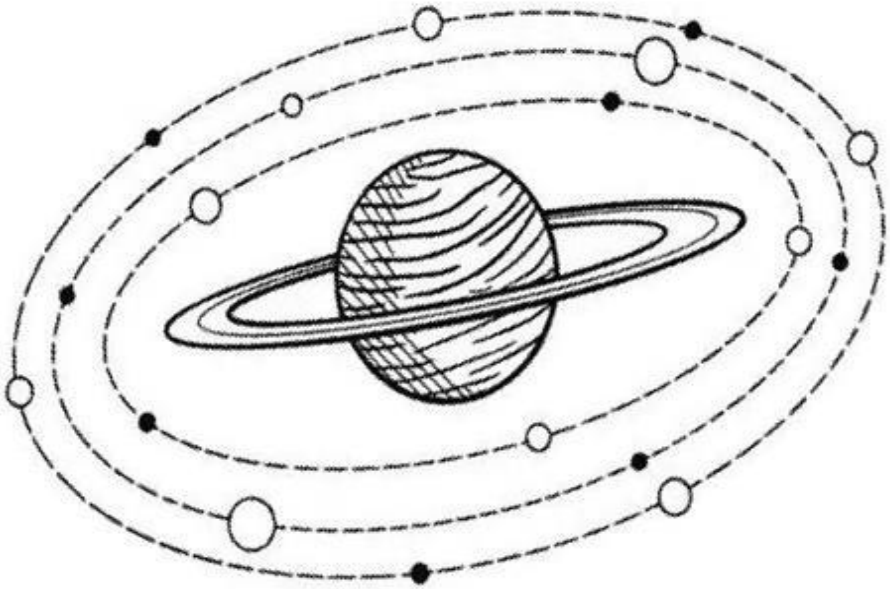
中国元宇宙白皮书

龚才春　　主编



2022年01月26日

主编简介

龚才春（男，1978-），国科创新研究院首席科学家，北京信息产业协会元宇宙专家委员会（筹）发起人，中关村数字媒体产业联盟常务副秘书长，中关村数字媒体产业联盟元宇宙实验室执行主任，国家互联网数据中心产业技术战略发展联盟副主任委员。教授，博士生导师。2008 年毕业于中国科学院计算技术研究所，获工学博士学位，长期从事自然语言处理、大数据挖掘等领域的研究。原阿里巴巴搜索研发专家，大街网首席科学家，职品汇创始人，中科金人工智能研究院院长。

起草单位

北京信息产业协会

中关村数字媒体产业联盟

中国科技新闻学会大数据与科技传播专业委员会

中国市场信息调查业协会区块链委员会

北信产发（北京）科技产业发展有限公司

文档声明

本版本的《中国元宇宙白皮书》，并非最终版本。在文字编排、用词措句、参考文献等方面都有许多不到之处；由于时间仓促、编委人数较多，可能行文风格也有许多不一致之处；元宇宙刚刚兴起，我们对元宇宙的核心技术的理解也还没有非常透彻，不排除未来还有新的技术出现；元宇宙还在起步阶段，未来产业发展态势还不特别明朗，我们也只是根据历史的科技发展来预测未来元宇宙可能的产业趋势，不排除未来元宇宙的实际产业落地与我们预想的有较大差异；元宇宙的经济问题、伦理问题、道德问题、法律问题、社会治理问题都没有成熟的研究成果，更没有可行的技术方案。

虽然我们编委的每一位专家都努力地尽量把工作做到尽善尽美，但白皮书仍不可避免地有许多不完美、缺陷、甚至错误。如果您对本声明的内容很忌讳，请回避本白皮书。

编 委 会

指导专家：

谭建荣　中国工程院院士

顾问：

钟义信　北京邮电大学原副校长

易绵竹　俄罗斯国际信息化科学院院士

编委：

范脡　企业网 D1Net CEO

邝世诚　北京信息产业协会常务副理事长

王斌　中关村数字媒体产业联盟执行主席

石峰　中国科技新闻学会大数据与科技传播专委会秘书长

黄永彬　中国市场信息调查业协会区块链委员会秘书长

梅一多　中关村科学城城市大脑股份有限公司技术总监

马亚中　中关村科学城城市大脑股份有限公司副总裁

张金玉　北京虚实科技有限公司创始人&CEO

胡凝　上海桐元软件开发有限公司总经理

何伟　星汉云图创始人&IIDR 数字视觉研究实验室主任

李约翰　天下数学引擎科技（深圳）有限公司 CTO 兼 CEO

张宗帅　中国科学院计算技术研究所

孙喜庆　特美通传媒科技创始人

孟虹　中央美术学院网络信息中心主任

王运嘉　北京枫玉科技公司董事长

刘成墉　集美大学副教授

刘建明　清华大学能源互联网创新研究院 ICT 首席科学家

杨洪泉　北京安杰律师合伙人

徐晋　清华互联网研究院产业学者

晏中林　红舫资本管理合伙人
宋国欢　联通数字科技有限公司云计算产品总监
赵天奇　北京聚力维度科技有限公司创始人兼 CTO
李洋　雪松控股集团 CIO & CDO
卢洪波　中国信达资产管理股份有限公司高级副经理
韦新　西安蓝脑科技有限公司 CEO
汤建强　中科隆光科技有限公司总经理
杨盼盼　北京市农林科学院数据科学与农业经济研究所
史蔚安　保利演出数字文旅事业部
张瑾　联通研究院数字经济分析师
蒙胜军　现任西安交大新闻与新媒体学院新闻系系主任
方俊　北京外号信息技术有限公司创始人兼 CTO
刘强　北京石油化工学院人工智能研究院院长
李春林　北大博雅智库副理事长
周俊明　广州深声科技创始人 CEO
汪翠芳　江西财经大学 VR 现代产业学院副院长
潘通　神州健康总经理
张磊　YAFA 雅法资本合伙人
曹冬林　厦门大学信息学院
马庆胜　清控紫荆教研总监
刘冬冬　中国大数据网执行总编兼 CEO
曹吉昌　住建部科技与产业化发展中心处长
周舟　著名华语原创歌手
郭雨齐　北京赛思利通科技集团有限公司总经理
刘祥涛　深圳番多拉信息科技有限公司创始人
王思宁　北京中电普华信息技术有限公司副总工
李静　湖南科技学院理学院计算科学系系主任
刘俊中　北京赛思联科技术有限公司总经理
黄涌　蓝色传感（北京）科技有限公司董事长

李亦宁	西安工业大学文学院新闻传播系副教授
陈京雷	AMT 集团董事、合伙人
王冬宇	北京邮电大学人工智能学院副教授
孙雪峰	小水智能总裁兼 CGO
曹三省	中国传媒大学协同创新中心副主任
杨芳	北京酷鸟飞飞科技有限公司联合创始人
黄尚	理想产业长兴资本董事长
王树西	对外经贸大学
王明文	江西师范大学计算机信息工程学院院长
李岳龙	国科创新研究院院长
马韫韬	中国农业大学土地学院教授
魏大宽	湖南科技学院智能制造学院院长
葛振斌	新华网物联网技术总监
左家莉	江西师范大学
李宏伟	江西师范大学博士
姚新新	51WORLD 高级咨询
韩旭	中国空间技术研究院钱学森空间技术实验室助理研究员
张玥	网易杭州研究院生态合作部总经理
郑贵德	中国电力投资集团大数据专家委员
李正海	北京金山顶尖科技股份有限公司高级顾问
徐宁	上海数据交易中心 CEO 助理
王欣	上海外国语大学国际工商管理学院 MBA 中心主任
朱家泉	科大讯飞股份有限公司副总裁
刘文中	人民网人民数据技术总监
陈星	新浪 VR 总经理
肖昂	360 商业化部门前端架构师
陈红	南昌理工学院客座教授
黄邦兴	星汉云图项目部负责人
徐振猛	汽车之家搜索产品经理

沈普芳　色空艺术创始人

涂浩瀚　环球数码集团副总裁

支持单位：

企业网 D1Net

元宇宙大讲堂

上海多媒体行业协会

国家互联网数据中心产业技术技术战略发展联盟

目 录

第一篇：缘起篇 15
第 1 章 元宇宙的孕育 16
1.1 从游戏发展视角看元宇宙..... 16
1.2 从互联网发展视角看元宇宙..... 17
1.4 从中国神话视角看元宇宙..... 19
1.5 美国科幻里面的元宇宙..... 21
1.6 文学、影视、游戏作品里的元宇宙..... 22
1.7 元宇宙概念的提出..... 27
1.8 元宇宙概念的爆发 28
参考文献：..... 29
第 2 章 理解元宇宙 30
2.1 直观理解元宇宙..... 30
2.2 元宇宙的核心特征..... 31
2.3 元宇宙为什么会横空出世..... 33
2.4 元宇宙的发展阶段..... 43
参考文献：..... 44
第 3 章 元宇宙的理论基础 45
3.1 三个世界理论..... 45
3.2 人是游戏者理论..... 46
3.3 游戏改变世界理论..... 46
3.4 开放复杂巨系统理论..... 47
3.5 大成智慧学..... 48
3.6 平行智能社会理论..... 52
3.7 元宇宙社会媒介理论..... 54
参考文献：..... 56
第二篇：现状篇 57
第 4 章 巨头的元宇宙布局 58
4.1 Facebook：元宇宙大潮中的激进派..... 58

4.2 微软：以企业元宇宙为重点切入.....62
4.3 腾讯：以社交为核心切入.....66
4.4 字节跳动：内容运营体系为引领.....70
参考文献.....73
第 5 章 各国元宇宙的政策与现状 73
5.1 美国的政策与现状.....74
5.2 欧洲的政策与现状.....74
5.3 日本的政策与现状.....75
5.4 韩国的政策与现状.....76
5.5 中国各方的观点.....78
5.6 各地政府的元宇宙相关政策.....81
参考文献.....83
第三篇：技术篇 85
第 6 章 元宇宙体系架构 86
6.1 元宇宙体系参考模型.....86
6.2 元宇宙系统互操作性.....87
6.3 元宇宙应用行为逻辑.....88
6.4 元宇宙技术参考架构.....89
6.5 前人归纳的元宇宙的技术体系.....101
6.6 分层的核心技术.....105
参考文献：.....109
第 7 章 接入技术 110
7.1 人机交互设备技术.....110
7.2 脑机接口技术.....118
参考文献：.....133
第 8 章 基础软件层 137
8.1 操作系统.....137
8.2 数据库技术.....139
8.3 编译器与编程语言.....153

8.4 元宇宙的普遍语言.....164
参考文献：.....170
第 9 章 5G 通信技术.....171
9.1 5G 通信技术概述.....171
9.2 5G 无线关键技术.....173
9.3 5G 网络关键技术.....177
参考文献:.....181
第 10 章 云计算技术.....182
10.1 云计算概述.....182
10.2 云计算发展趋势.....190
10.3 通用计算平台.....194
参考文献：.....195
第 11 章 去中心化技术层.....196
11.1 区块链的定义与特征.....196
11.2 区块链技术概述.....203
11.3 区块链支持跨系统互操作.....216
11.4 元宇宙中的区块链.....217
11.5 NFT 技术.....225
参考文献：.....236
第 12 章 虚拟技术.....237
12.1 虚拟身份.....237
12.2 虚拟人.....251
参考文献：.....280
第 13 章 数字孪生技术.....281
13.1 元宇宙的数字孪生技术.....281
13.2 人工智能技术.....300
参考文献：.....320
第四篇：产业篇.....321
第 14 章 元宇宙的产业地图.....322

14.1 终端产业.....322
14.2 应用生态.....323
14.3 服务产业.....325
14.4 平台技术.....326
14.5 网络技术.....328
14.6 底层技术.....328
参考文献：.....329
第 15 章 产业元宇宙.....330
15.1 能源元宇宙.....330
15.2 农业元宇宙.....338
15.3 金融与投资元宇宙.....349
15.4 地产元宇宙.....356
15.5 职业教育元宇宙.....358
参考文献：.....362
第 16 章 消费元宇宙.....364
16.1 艺术元宇宙.....364
16.2 文旅元宇宙.....372
16.3 虚拟数字人营销.....408
参考文献：.....417
第五篇：法律与监管篇.....419
第 17 章 元宇宙的法律界定.....420
17.1 阿凡达的法律责任.....420
17.2 伦理、法律与道德.....421
17.3 元宇宙构建技术的法律适用.....422
17.4 元宇宙里的法律适用.....423
17.5 分身与化身的法律责任.....423
17.6 元宇宙资产的法律适用.....425
17.7 元宇宙里的经济行为.....426
17.8 结语.....426

参考文献：.....427
第 18 章 元宇宙经济法治体系 428
18.1 元宇宙经济体系.....428
18.2 元宇宙经济的法治路径.....430
18.3 虚拟资产的法治议题.....432
18.4 结论.....437
参考文献：.....437
第 19 章 元宇宙的科技监管 440
19.1 科技监管的必要性.....440
19.2 国际监管现状.....441
19.3 科技监管建议.....441
参考文献：.....441
第 20 章 元宇宙的数据安全与网络安全 442
20.1 元宇宙下的数据保护问题.....442
20.2 元宇宙下的网络安全法律问题.....443
参考文献：.....445
第六篇：伦理与风险篇 447
第 21 章 元宇宙的伦理问题 448
21.1 非人性与道德冷漠.....448
21.2 开放融合与道德冲突.....448
21.3 自由意志与责任淡化.....448
21.4 加剧宅文化.....449
21.5 元宇宙的道德构建.....449
参考文献：.....453
第 22 章 元宇宙的可能风险 454
22.1 资本操纵与媒体操纵的风险.....454
22.2 舆论泡沫风险.....456
22.3 被现实垄断操纵的风险.....458
22.4 元宇宙经济运行风险.....459

22.5 沉迷与堕落风险.....461
22.6 伦理与道德风险.....462
22.7 社会治理风险.....463
22.8 产业内卷风险.....463
22.9 算力成熟度风险.....464
22.10 技术成熟度风险.....466
22.11 知识产权风险.....469
22.12 隐私风险.....470
参考文献：.....472
第七篇：经济篇.....473
第 23 章 元宇宙经济学.....474
23.1 后古典分析框架.....474
23.2 认识元宇宙的离散主义.....476
23.3 元宇宙经济系统的原结构与宏建构.....479
23.4 数字产品的稀缺性与价值的制度起源.....483
23.5 元宇宙投入产出的分布效用分析法.....485
参考文献：.....488
第八篇：人才篇.....491
第 24 章 元宇宙人才战略.....492
24.1 元宇宙顶级人才分布.....492
24.2 元宇宙发展人才需求分析.....497
24.3 元宇宙应用为人才带来的影响与变革.....504
24.4 元宇宙对现有工作岗位的冲击与机遇.....506
24.5 元宇宙在行业应用的人才布局思路.....508
24.6 元宇宙人才队伍建设路径探讨.....509
24.7 元宇宙对新生代的影响以及新型教育模式.....512
24.8 元宇宙人才面临的机遇与边界.....514
参考文献：.....519
第九篇：畅想篇.....521

第 25 章 元宇宙畅想 522

25.1 元宇宙经济畅想..... 522

25.2 元宇宙社会畅想..... 523

25.2 元宇宙生产畅想 524

25.3 元宇宙科技畅想..... 525

25.4 元宇宙教育畅想..... 526

25.5 元宇宙生活畅想..... 527

参考文献: 529

第 26 章 编委畅想 532

第一篇：缘起篇

当今世界风起云涌，各种新技术层出不穷，技术革命的浪潮一个胜过一个，而元宇宙无疑是 2021 年各种技术术语中“最靓的仔”。

本篇主要讲述元宇宙的前世今生，介绍什么是元宇宙，介绍元宇宙为什么会横空出世，以及元宇宙相关的理论基础。

第 1 章 元宇宙的孕育

2021 年是元宇宙元年，但冰冻三尺非一日之寒，元宇宙的概念的提出和内涵的升华，也是一个漫长的过程，是人类在不断追求极致体验的过程中对技术不断提出更高要求的必然产物。本章给大家阐述元宇宙从思想孕育，到概念提出，到媒体宣传，到资本运作的完整过程，方便读者更清晰地认识元宇宙的前世今生，更清晰地认识元宇宙的未来趋势。

1.1 从游戏发展视角看元宇宙

我们现在理解的元宇宙，很多理念最初都来源于游戏。在元宇宙概念爆发之前，开放多人游戏（Open Multiplayer Game）经历了从文字界面到 2D 图形界面的演变，以及从 2D 图形界面到 3D 图形界面的演变，并且在游戏中增加交互与 UGC（User Generated Content，用户产出内容）的属性。游戏创作者通过增加游戏的纬度、交互程度以满足用户对于体验的更高需求。下面我们简单梳理一下游戏的发展历程如下[1]。

- 1979 年出现了第一个文字交互界面，将多用户联系在一起的实时开放式社交合作世界，如诞生了文字网游 MUDs（Multi-User Dungeons，多人历险游戏）等。
- 1986 年，Habitat 作为第一个 2D 图形界面的多人游戏环境，首次使用了化身 Avatar，也是第一个投入市场的 MMORPG（Massive Multiplayer Online Role-Playing Game，大型多人在线角色扮演游戏）。
- 1994 年，Web World 的技术突破，实现了第一个轴测图界面的多人社交游戏，用户可以实时聊天、旅行、改造游戏世界，开启了游戏中的 UGC 模式。
- 1995 年，Worlds Incorporated（世界公司）成立，第一个投入市场的 3D 界面 MMO（Massive Multiplayer Online Game，大型多人在线游戏），强调开放性世界而非固定的游戏剧本。
- 1995 年，Active Worlds 上线，这是基于小说《雪崩》（Snow Crash）创作的，以创造一个元宇宙为目标，提供了基本的内容工具来改造虚拟环境。
- Second Life 是第一个现象级的虚拟世界，发布于 2003 年，拥有更强的

世界编辑功能和发达的虚拟经济系统，吸引了大量企业与教育机构。人们可以在其中社交、购物、建造、经商。在 Twitter 诞生前，BBC、路透社、CNN 等报社将 Second Life 作为发布平台，IBM 曾在游戏中购买过土地，建立自己的销售中心，瑞典等国家在游戏中建立了自己的大使馆。

- 2004 年,Baszucki 和 Erik Cassel 创办 DynaBlox,一年后改名为 Roblox。它是世界最大的多人在线创作游戏平台。至 2019 年，已有超过 500 万的青少年开发者使用 Roblox 开发 3D、VR 等数字内容，吸引的月活跃玩家超 1 亿，并于 2021 年 3 月 11 日在纽交所上市。

回望过去 20 多年，互联网已经深刻改变人类的日常生活和经济结构。从科幻走进现实，无论是 Roblox UGC 3D 虚拟世界的新内容的呈现方式，Fortnite 举办的线上演唱会，还是动物之森和 Horizon 带来的虚拟社交，它们都是底层科技和核心技术的迭代衍生出来的“新内容”，虚拟与现实碰撞，更沉浸、更互动。这些新内容与其对应的底层技术的进步打开了元宇宙的大门，也激发了人们对互联网未来的展望。

回望从 1979 年的游戏出现，到现在的元宇宙的全过程，都可以发现一个主线，就是体验的不断提升。人们对于游戏体验的不断追求，造就了游戏技术的不断进步。当 3D 图形游戏成为游戏的标配的时候，人们又会追求更高的游戏体验，那就是沉浸式的、可交互的、用户可编辑的、永久在线的、实时的游戏体验，这就为提出元宇宙的概念创造了肥沃的土壤。Roblox 也正是抓住这一点，将元宇宙直接写入招股说明书，成为元宇宙第一股。而 Roblox 上市后的表现也确实好得让人惊愕。

1.2 从互联网发展视角看元宇宙

我们从互联网过去的发展历程，来预测未来互联网的发展趋势。互联网最初是用于军事目的的。美国政府希望某个军事基地被敌人打掉了之后，其他的军事基地还能够正常的运转。这就是美国 DARPA 启动网络研究的原因。DARPA 开发了最早的互联网，而最早的互联网只连接了 4 个站点[2]。

后来互联网开始民用化，就变成了我们现在所说的 PC 互联网。1994 年互联网进入中国，开启了中国的互联网时代。在互联网刚进入中国的时候，网络的速

度很慢，体验也很差。互联网的第一个业务就是电子邮件服务。中国互联网介入因特网的标志也是往美国发了一封电子邮件。随后文字的新闻成为互联网的热点，雅虎、搜狐、新浪相继提供服务，后来称为“门户”的网站越来越多，成为互联网的主流服务。

人们对文字型的新闻服务不满意，开始追求更高的体验要求，加上网络速度的进一步提升，互联网技术的进一步提升，门户网站开始出现图片服务。我们看到的新闻、电子邮件、网页都开始出现图片。

随着网络速度进一步提升，网络技术也进一步提升，人们对互联网体验提出越来越高的要求，于是 MP3 服务开始出现，电子商务开始出现，QQ（最先叫 OICQ，Open I Seek You）聊天开始进入每一个网民的视线。MP3 搜索造就了现在的百度搜索，电子商务造就了现在的阿里巴巴，社交造就了现在的腾讯，BAT 格局成了 2000 年左右中国互联网的三足鼎立的格局。

亿万网民对体验的要求一直推动了技术的进步，推动着互联网网速的进一步提升，新的业态也如雨后春笋般涌现。人们不仅仅满足于在互联网听听盗版的 MP3 音乐，视频服务开始进入大众视野，UGC 视频也开始风云际会。国内的优酷、土豆、六间房风生水起，国外的 Youtube、Instagram 也迅速的攻城略地。网速的提升也给互联网带来了新的业态，如中央电视台开始提供网上电视服务，各种直播网站开始出现军阀割据和长期鏖战的局面。最终优酷土豆合并，且被阿里巴巴收购，百度的爱奇艺成功从 UGC 平台转化为 PGC 的成功典范，腾讯视频也笑到最后，国外 Google 收购 Youtube。视频平台从群雄混战的春秋时代进入了三国鼎立时代。

移动互联网也在快速发展，从最初的大哥大、BP 机时代，快速跑步进入了 2G 时代。手机逐步普及，手机短信成为 2G 时代最受欢迎的业务，我们甚至把那个时代形象地称为“拇指时代”。人们对移动互联网体验的追求，促使移动互联网迅速跃过 2.5G 时代，进入 3G 时代。2.5G 时代的彩信业务看上去很美，却如昙花一现，被真正的 3G 服务替代。图片、音乐、彩铃、动图等服务涌现。各种新技术到达一个奇点，芯片技术、基带技术、网络技术、触摸屏技术等达到一个新的高度。乔布斯审时度势，顺应历史潮流，天才地提出现在称为“智能手机”的创意，并落地为苹果第一代手机，开始了智能手机的新时代。4G 在中国的快速

商业化，让中国进入移动互联网时代，腾讯通过微信拿到第一张移动互联网船票，阿里巴巴通过手机淘宝拿到第二张移动互联网船票，百度也寄希望于百度地图，拿到第三张移动互联网船票。

4G 时代，BAT 三足鼎立的格局被攻破。百度地图没有帮百度拿到移动互联网的船票，百度外卖和百度糯米都没有成为移动互联网时代笑到最后的人，阿里巴巴通过来往挑战腾讯社交老大的企图也失败，腾讯与 360 展开二选一鏖战却被发改委约谈的时候，在 BAT 榻前伺候的美团、今日头条不知不觉成长为巨人，抖音更是成为中国新时代 4 大发明之首。

大家正沉浸在 4G 时代的荣光里，5G 技术一声炮响，给各巨头一记重拳，互联网新的格局更迭又开始了。国家给阿里巴巴开出 180 亿美元的巨额罚款，传统互联网产业迅速落幕，4G 时代兴起的互联网业态开始暗淡，5G 时代需要新的业态，需要新的技术，需要新的弄潮儿。自动驾驶、远程医疗并没有支撑起 5G 网络的应用。5G 的迅速商用化，而自动驾驶技术、远程医疗技术的成熟与落地没有跟上，时代需要新产品，用户需要新体验，适度超前布局的 5G 需要新场景，于是元宇宙出现了。

从最初的 PC 互联网，到苹果智能手机和 3G 技术开启的移动互联网，这就是一个体验的不断提升的过程。现在我们对移动互联网和 PC 互联网有更高的沉浸式的体验要求，这其实就是元宇宙化。在元宇宙这个概念普及之前，腾讯的马化腾就把这一个元宇宙化后的互联网称之为全真互联网。从这点上讲，全真互联网其实就是元宇宙的另外一个术语。

从最初的 4 个站点互联，到所有 PC 的互联，到所有的手机互联，到未来万事万物的互联，就是一个连接越来越普遍的过程，这是一个必然趋势。互联网从最初的只能发发邮件，到看看文字新闻，到文字的聊天室，到图片新闻，到音视频内容在互联网传输，到现在的电影、短视频、直播，到未来的全息视频、到未来的数字人等，这是一个体验越来越好、越来越沉浸式的一个过程，这也是一个必然的过程。

1.4 从中国神话视角看元宇宙

相信大家都听过元宇宙，那到底什么是元宇宙呢？我们先不给定义，先从中

国的一些神话故事来看一看到底以前有过一些什么跟元宇宙相关的事情。我们的科学的原动力，尤其是现代科学，来源无外乎就是两个，一个就是神话故事，一个就是科幻小说[3]。

中国神话故事最精彩的无外乎《西游记》、《封神榜》等。这些神话故事中有很多的法术。其中有不少法术，现在的科学技术已经把它们变成了现实。还有哪些法术在技术上没有实现呢？在《西游记》里边，大家记忆最深刻的法术就是腾云驾雾。腾云驾雾现在技术上已经实现了，那就是我们的飞机。孙悟空的火眼金睛也已经实现了，那就是我们的红外扫描。所有的地铁、高铁、机场等场所，现在都有安检设备。我们的红外夜视仪，也用另一种方式实现了火眼金睛的功能。当然千里眼、顺风耳这些大家都知道，手机就实现了这些功能。那么《西游记》里边各种各样的法术，到底还有哪些没有实现？总结这些神仙法术，只有三个还没有实现：

- 第一个就是孙悟空有七十二般变化，现在的技术还没有实现；
- 第二个在《西游记》里边为了获得长生不老，大家都要去吃唐僧肉，现在的技术还没有实现长生不老；
- 第三个，观音菩萨给了孙悟空三根救命毫毛，救命毫毛的法术还没有实现。

那么，今天的元宇宙就是要实现我们神话故事里边一直还没有实现的这三大法术： 七十二般变化、三根救命毫毛、长生不老。

那么问题就是怎么实现七十二般变化？在现实世界中能不能实现？所以我们需要元宇宙。我们在元宇宙里边就要来实现七十二般变化、人类的永生和救命毫毛。

其实很简单，对于人来说，人分为两部分，一部分是我们物理意义上的肉体，专业术语称之为肉身。一般认为，肉身其实价值并不大。另外一个就是我们的思想、意识，或称之为灵魂。灵魂可以标识我们每一个人。所以一个人包含肉体和灵魂两部分。如果能够把一个人的所有的知识，包括他说话的声调、语气、思维方式等，都能够用计算机存起来，那么再加一个肉体的话，就可以实现另一种意义上的永生。肉身现在的技术其实已经相对成熟，类似于我们现在的充气娃娃，以及现在研究非常火热的类人机器人。类人机器人实现了人类肉体的功能。如果能够把我们的一些思想、知识、思维方式存到计算机里边，并且赋予给某个人形

机器人，那么这个人就实现了永生。在这种情况下，就有一点类似于神话里面所说的“借尸还魂”。既然他的魂还在，那么这个人就实现了永生。

这就是为什么我们认为元宇宙很容易实现神话故事里那三个还没有实现的法术的原因。再看一看中国历史上最成功的一部动画片《哪吒之魔童降世》。大家可能都看过这个电影了。《哪吒》里面印象最深刻的一个场景就是山河社稷图。哪吒和太乙真人忽然掉进山河社稷图，然后就出不来了。山河社稷图是女娲娘娘的一个法宝，曾赠给二郎神杨戬，用于困住梅山七怪之一袁洪。

山河社稷图与另外一个神话故事的情节也非常类似。大家都看过《聊斋志异》，《聊斋》里面经常讲的一个经典的情节，就是一个落魄的书生要进京赶考，路过一个破庙，在破庙里面看到一幅画，画里面有一个美女，然后他望着这个美女发呆之后，忽然就神奇地进到了这个画的世界里面去了。他在画里边不能自拔，就遇到了他的聂小倩，他们就谈了一场轰轰烈烈的恋爱，就不想回到现实世界，不想面对现实的落魄，也不想失去美丽虚幻的爱情。

这看上去其实跟我们现在要讲的元宇宙也非常类似。在另一部名著《红楼梦》里面贾宝玉梦到的一个梦境，叫做太虚幻境，其实跟现在的元宇宙也非常类似。大科学家钱学森曾把虚拟现实（Virtual Reality）翻译成了灵境。灵境和太虚幻境非常相似。所以现在大红大紫的元宇宙，并不是一个新鲜的话题，只是它以前不叫这个术语而已。

1.5 美国科幻里面的元宇宙

真正意义上的元宇宙这个术语来自于美国。1992 年，美国的一个科幻小说家 Neal Stephenson（尼尔·史蒂芬森）写了一本小说《Snow Crash》（雪崩）。在《雪崩》里边，他第一次提出了 Metaverse 这个术语。这个术语，我们现在就直接翻译成了元宇宙。他讲的就是人类未来的某一天，整个世界已经变得很落魄、很破烂了，大家都到了一个虚拟的一个充满阳光生机的一个游戏世界里边去，这个游戏世界称之为元宇宙，这就是美国的科幻。

大家可能也看过《头号玩家》、《失控玩家》。2009 年的时候，有一个电影叫《阿凡达》。《阿凡达》其实阿凡达的英文单词叫做 avatar，而 avatar 的意思其实就是中国神话故事里面所说的化身，就是孙悟空的三根救命毫毛的功能，拔出

一根毫毛就可以变作他的化身。《阿凡达》说的就是人会进入另外一个宇宙，这个宇宙里面他有一个化身，这个化身跟我们的肉身有一个对应关系的，我们的肉身很多事情完成不了。《阿凡达》男主角 Jack，他在现实世界里面是一个残疾的退伍军人，但是他的阿凡达是一个身体健硕的潘多拉星球的一个小伙子。这样就构成了一个现实世界和虚拟世界的两个不同的形象。

当然，在美国最有名的一个元宇宙相关电影叫《The Matrix》(《黑客帝国》)，这应该就是元宇宙的最终形式，也就是说虚虚实实、实实虚虚，大家都区分不了现实与虚拟了。在《黑客帝国》里，人不知道他到底是活在现实的世界，还是活在一个虚拟的世界里面，人是没有能力区分的。所以这可能就变成了元宇宙的一个最终的一个状态。

1.6 文学、影视、游戏作品里的元宇宙

众所周知，元宇宙来自于科幻小说《雪崩》。然而，元宇宙的概念在文学作品中出现的更早，并不断地在影视作品、游戏中出现，直至今日。随着 20 世纪的后现代主义的发展，很多以“Meta”为前缀的元文学、元游戏和元电影开始出现在我们面前。

1.6.1 元小说的产生

尽管元宇宙的概念和正式命名于 20 世纪，明确来源于《雪崩》，但采用元叙事创作手段的作品，其历史远不止半个世纪。塞万提斯创作于 17 世纪的《唐吉坷德》就是元小说的典范，虚拟的角色想要打破边界，混淆现实与虚拟。1996 年挪威作家乔斯坦·贾德的畅销书《苏菲的世界》小说，也是一部小说中的小说，让人们站在宇宙看地球。这类题材之所以能不断萌生，主要是因为自从上世纪末的计算机和 3D 技术开始盛行，人们对 3D 虚拟世界，尤其是游戏带给人的体验和想象越来越期待。就像如今大量的小说、动漫作品都采用穿越题材一样。

1.6.2 游戏第二人生

在游戏第二人生中，人们在自有土地上创造世界和交易虚拟财产。在著名潜入游戏《合金装备》中，游戏中的一个密码让玩家绞尽脑汁也无法找到，最后发现居然要从包装盒上一个不起眼的提示上获得密码，创造了从虚拟世界来现实世

界寻找答案的一次穿越。近年来，打破许多人对元游戏认知的要数《ICEY》。在这个闯关游戏中，始终有一个“旁白”不断地提示玩家游戏世界的虚拟性，以此来破解谜题。与之非常相似的还有《史丹利的寓言》。

第二人生是美国林登实验室推出的一个网络游戏。这个游戏的独特之处在于，这款游戏没有经验、等级之类的常见元素，也不是以娱乐性为核心，而是非常接近现实世界——每个人在游戏中有着高度的自主性和创造性。他们通过游戏内置的一套 3D 建模工具，创建游戏元素。在游戏中，系统提供给玩家一些土地，玩家成为“居民”。居民可以在土地上创造各种物品，包括房屋、植被、交通工具、生产工具等等。这些工具除了自己使用，也可以用来出售。这里面最大的吸引人之处在于玩家对自己创造的物品有完全的产权。第二人生是将“虚拟资产”这一概念让人们广泛认知的功臣。

随着这款游戏越来越庞大，参与的人越来越多，虚拟世界中的商业价值被逐步开发出来。从最开始的广告牌模式，到投资虚拟土地的房地产开发商、设计虚拟形象及服饰的设计师等。更重要的是，这些在虚拟世界中被创造出来的虚拟价值，可以有条件地变为真金白银，兑换成现实世界中的法币，这显然是一个大胆而伟大的创举。

据民间统计，Second Life 世界中有七千多种挣钱方式，年经济总产量达到了 6400 万美金，这相当于小型国家一年的 GDP。在这样的虚拟资产基础上，许多世界著名的企业开始入驻虚拟世界：IBM 建立了自己的销售中心，CNN 建立了自己的游戏报纸，微软也在游戏中建立了分公司。有大量的玩家辞掉了自己现实世界中的工作，在这个虚拟世界中从事全职工作。游戏中通用的货币林登币（Linden Dollar）已经跟美元开通了汇率。

当然，Second Life 也有他的致命伤。在创建虚拟物品的过程中，需要大量用到 3D 建模、脚本语言 LSL，这显然是需要专业的美术功底和程序功底的。这个变态的入门门槛将大量爱好者拒之门外。因此，在未来的元宇宙中，创造虚拟元素的环节该如何优化，兼顾低门槛和创造性，是一个重要的课题。这个问题上，风靡全球的游戏《我的世界》给了我们很好的启发。

另一个风险，来自于虚拟世界的经济体系。据介绍，在 Second Life 中，由于林登币和美元可以实现兑换，创造了一个虚拟财富可以直接转化为现实世界利

益的机会。很多团体和个人瞅准这个机会，在虚拟世界内部做起了银行、股票交易的生意。据林登实验室的分析，这些机构的收益率大多在 20%以上，有些甚至达到了 40%-60%。巨大的利润不仅导致虚拟世界银行业的泛滥，出现了一批打着银行名义进行诈骗的行为，还催生了一个个林登币黑市市场。由于黑市中的林登币兑美元汇率要远远低于官方汇率（270 林登币兑换 1 美元），居民利益及虚拟世界经济都受到了很大的损害。因此，在元宇宙世界中，如何管控虚拟货币与真实世界中的货币兑换，其重要程度与复杂程度并不亚于真实世界的金融体系。

1.6.3 电影《黑客帝国》

图 1- 1：《黑客帝国》剧照

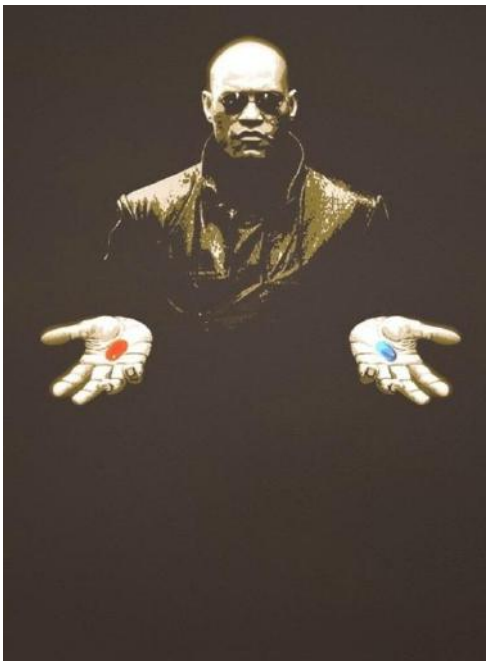


图 1-2：《黑客帝国》中区分现实与虚拟的药丸

在其后的接近 30 年间，元宇宙的概念也同时在《黑客帝国》、《安德的游戏》、《头号玩家》、《失控玩家》、《西部世界》等影视作品中出现，并为人们所广泛接受。例如，《黑客帝国》是较早的完整呈现由电子与网络技术构筑的虚拟世界的电影作品。该作品的要旨便在于勘破虚假、寻求真实——哪怕那个用“插管”技术搭建起来的虚拟世界是如此的繁荣，哪怕现实是如此的残破、颓败和恐怖。再例如，《安德的游戏》同样在真实的战争与虚拟的战争训练之间逐渐模糊真假界限，而在这里，被附加于真假之上的对立项是遵循伦理道德的责任与道德真空。安德受到欺骗，将战争当作了一场电子游戏，于是绕过道德的审判，完成了一次

残忍的屠杀。总之，我清楚我是虚拟世界中的角色。可是想要继续，我们就得在虚拟世界之外做点事。这就是元的概念。

从概念到文学，从文学到游戏，从游戏到电影，无论是在虚拟中寻求真实，还是想从真实中探究虚拟，无论是影视、小说、游戏，当我们打破这些边界，对“常识之下”的认知进行挑战和探索的时候，Meta 真正的价值——自反性、超脱性的思维就出现了。而元宇宙，可以说是一个关于超越和回溯的虚拟世界。

1999 年的《黑客帝国》从电影一开始，导演就告知有些事情在生活和工作中是存在的，大家会觉得是无中生有或错误的或有差距的。科学证实，人类的视觉可见波长的范围是 380nm-780nm 之间，但肉眼看不到并不表示不存在。物质世界是没有颜色，人类看到的 7 种颜色仅仅是大脑创造出来的一个画面，是无中生有的“习惯”而已，人类的视觉，眼见为实是不可信的。

导演向我们描述了一个画面：生活在虚拟世界的人都认为自己是真实存在的，而结局也就是真相却很残酷，这些人只是一段电脑程序罢了。哲学和宗教认为世界是上帝创造的，或是偶然出现的，或是物质组成的。通过导演的虚拟和现实互换的描述，通过基诺里维斯可选择的 2 种命运，不愿意被打搅打破的美梦轮回和被营养液流程化流水线作业的嵌入电脑流程的繁殖实相，心灵枷锁这一错觉再一次得到验证。正如人类白天看到的太阳是 8 分钟前的太阳，是过去的，不存在的。晚上看到的星星，可能是几亿光年或几百亿光年之前的那一缕光，也是过去的，不存在的。同样的，按照光速原理，人类耳朵听到的声音也是过去的，不存在的。大多数人类不会考虑很多，仅有极个别的人类曾经猜想，物质世界是高纬度宇宙的平面二维映射，而低纬度宇宙的人类因认知的愚昧而把自己关进心灵的牢笼，这一点正如春蚕吐丝直至或者就是为了把自己弄死一样。故事的最后，基诺里维斯成就了，或者说成为了人类中的一个觉知者，悟道了，暗示了他有拯救人类的任务，为后续做了一个明显的伏笔。最后，导演的整部电影就是通过虚实交叉变换的元宇宙的这一奇点来提醒大家温习一个传统文化经典《金刚经》核心偈颂：一切有为法，如梦幻泡影，如露亦如电，应作如是观。

1.6.4 电影《头号玩家》与《失控玩家》元宇宙概念的区别

《头号玩家》与《失控玩家》都是近年来讲述元宇宙世界的知名电影作品。然而，两部作品对元宇宙的刻画和描述，却有着不同的侧重点和价值观。下面来

做个对比分析。

图 1-3：《头号玩家》剧照

图 1-4：《失控玩家》剧照

（1）现实世界和虚拟世界的差异

《头号玩家》中的元宇宙，展现了现实与虚拟的巨大反差。电影背景设定在一个更加贫瘠的未来世界，真实世界的混乱、停滞与虚拟世界的虚幻、美好带来的巨大反差，让身处于当下的我们更容易看到自己世界的影子，也带有暗示性的告诉我们未来的样子，即“最强劲的精神寄托（Super Drug）”。这个故事背后想要带给人的启示性的内容，才是导演史蒂文·斯皮尔伯格更想要实现的目标。对于曾拍出《侏罗纪公园》《少数派报告》等既具有商业性，同时还带有思考性和科幻色彩的他来说，《头号玩家》仍旧在强调人与科技，人与自然的关系。

而《失控玩家》的元宇宙，重点展现的是虚拟世界中人的觉醒，而不是虚实世界的切换。这也是对元宇宙意义的思考：在一个时空可以加速，收益和回报更加稳定，允许失败重来的世界中，人们获得的经验、体验、感悟，会从虚拟世界传给现实世界中的自己，从而丰富人生阅历，做那些现实中不可能做到的事。这种回溯才是元宇宙这个虚拟世界给现实世界中最大的意义。

(2) VR 元宇宙和 MR 元宇宙形式的不同畅想

《头号玩家》的世界是完全 VR 化的。主角只有通过一个完全的舱型设备，才能进入纯数字化的世界中。而《失控玩家》中构建的是一个 MR 世界。通过戴上一种特殊眼镜，你就可以看到一个层叠在现实世界之上的世界，也就是所谓的玩家视野。

我们现在很难判断未来哪种形式的世界会成为主流，但已经可以根据它们所表现出来的特性做出一些预测：《头号玩家》式的纯粹的 VR 世界更适合沉浸式娱乐。其特点为需要有固定的时间段不受干扰，需要暂时不去理会生理上的需求，需要与现实世界完全隔绝等。这显然是一种完全沉浸和与现实隔离的元宇宙世界，很有可能是我们居家或在室内娱乐的未来形式，也许会取代电影或游戏。而《失控玩家》中展现的 MR 世界，借由戴眼镜和不戴眼镜，将世界变为普通版和信息加强版两类。这样的虚拟世界构想是依托一个现实世界的基础上产生的信息可视化的世界。这种元宇宙更像我们未来外出后看到的世界，各种信息依托于楼宇、街道、交通工具、各种室内室外的空间设施。这种形式很有可能是户外交通、娱乐、社交等获取信息的未来形式，而作为载体的 MR 眼镜将取代我们的手机等移动终端。

总而言之，元宇宙的人文魅力，在于它并非一个独立的逃离世界。正相反，其最大魅力在于人们在现实与虚拟两个世界中穿梭，从而在能够反复重置或浓缩加速的世界中经历更多故事，扮演新的自我，传递感情，创造信息，最终实现自我的回溯和迭代。正如《头号玩家》电影中的一句话：“我们这代人被称为迷失的一代，迷失并不是因为我们去了哪里，而是因为无处可去。”

1.7 元宇宙概念的提出

这个概念源自美国著名科幻作家 Neal Stevenson 于 1992 年发表的科幻小说《雪崩》，这本书最先提到了元宇宙 Metaverse[4]。《雪崩》中这样描述元宇宙：“戴上耳机和目镜，找到连接终端，就能够以虚拟分身的方式进入由计算机模拟、与真实世界平行的虚拟空间。”而 Metaverse 由 Meta 和 Verse 两个词根组成，Meta 表示“超越”“元”， verse 表示“宇宙 Universe”。《雪崩》向大家启蒙了元宇宙的概念，小说描绘了一个庞大的虚拟现实世界，所有现实世

界的人在元宇宙里都有一个网络分身，人们用数字分身来进行活动，并相互竞争以提高自己的地位。元宇宙象征着一个平行于现实世界的、人造的虚拟维度，参与者能做的事和经历只会受到想象力的限制。到目前看来，《雪崩》里描述的元宇宙还是相对超前的未来世界。

1.8 元宇宙概念的爆发

经过区块链的孕育，Decentraland、Cryptovoxels、opensea、Sandbox 等平台逐渐成长起来，形成元宇宙的一极；随着 Roblox 的出现，真正意义上的元宇宙平台开始进入人们视野；Omniverse、微软 Mesh 平台、Meta、TwinMaker 等平台紧随其后、相继兴起，使得元宇宙基础平台日渐厚重。

另一方面，经过幻影 UE5、unity 的长期耕耘，元宇宙的内容建设得到了有力的保障。STARL、Shahid、Crayta、Core、Weta、Parsec 、SyncSKetch、Mirror、MLAPI、QFrameWork 等一系列插件的日益成熟，使得内容制作阵营如虎添翼，品质极速飞升，元宇宙的第二个基础得以确立。同时，Lightship、Lingo3D、Godot、touchdesigner、Blender、Zbrush 等软件的成长，进一步为 UE 与 Unity 助力。实时动捕等技术的日益成熟与平民化也使得元宇宙具有了良好的生态基础。

HtcVivePro、ocluse quest2、微软 holense 3、苹果 AR 等设备的日渐成熟，构成了元宇宙的第三个基础。

国内市场，MetaAPP、 iCloser、thingJS、爻览 AR、元主角、中科虚拟人、轨道镜、聚力维度、Vswork 也紧随其后，构建了良好的项目生态。

至此，元宇宙羽翼丰满、呼之欲出，Facebook 应时而动，整个互联网生态随声附和，全球产业界振臂与应，元宇宙概念得以彻底爆发。

本章内容由杨盼盼、史蔚安、龚才春、卢洪波、孟虹起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 沈阳教授团队.2020-2022 元宇宙发展研究报告.2021.09.16.

[2] 龚才春.元宇宙：头脑风暴 or 未来已来.2021.12.30.

[3] 龚才春.元宇宙：神话与科技的完美统一.2022.01.06.

[4] 郭泽译.雪崩.Neal Stephenson 著.四川科学技术出版社.2009.

第 2 章 理解元宇宙

元宇宙是人们使用计算机制作出来一个与现实世界平行的数字世界。

2.1 直观理解元宇宙

那么我们讲了这么多神话，讲了这么多科幻，那么我们再来说一下，到底什么是元宇宙呢？我们一般给一个简单的定义就是：元宇宙是平行于现实世界的一个虚拟世界或者说数字世界。也就是说，这个世界是我们在计算机里面形成的一个世界，把我们的现实的世界映射到了计算机这个网络世界里，同时这个虚拟世界也能够影响我们的现实世界。

2021 年 12 月 23 日，中纪委网站发表文章《深度关注：元宇宙如何改写人类社会生活》，也给出关于元宇宙的如下定义[1]：

通常说来，元宇宙是基于互联网而生、与现实世界相互打通、平行存在的虚拟世界，是一个可以映射现实世界、又独立于现实世界的虚拟空间。它不是一家独大的封闭宇宙，而是由无数虚拟世界、数字内容组成的不断碰撞、膨胀的数字宇宙。“我们认为，元宇宙的发展方向应当是一个 100%渗透、一天 24 小时不间断使用的互联网形态。”天风证券全球科技首席分析师孔蓉表示，可以将元宇宙理解为“3D 版的互联网”，即通过使互联网具象化的 3D 表现方式获得沉浸式体验。

举一个例子，我把一个人的思想映射到了电脑里边去了，那么我们就把这个人“孪生”到元宇宙里面了。随便举一个例子吧。我的外婆已经过世二十多年了，我现在想跟我外婆一块儿聊聊天，一块儿吃个饭，怎么实现呢？那么只需要把我外婆的所谓思想（我们称之为灵魂），放到计算机里边保存起来，然后我们从计算机生成的这个虚拟世界里，让外婆再回到现实世界，就可以跟我一块吃饭聊天了。如何实现从虚拟世界回到现实世界呢？我们只要做一个人形机器人，把虚拟世界里保存的这个人的灵魂，赋予到这个人形机器人，那么这一个人形机器人就是我的外婆，她就可以跟我聊天，就可以跟我吃饭。这就是神话里经常出现的“借尸还魂”，我如果遇到什么样的困难的事、伤心的事，我是可以跟她交流的，于是我们就用另一种方式实现了长生不老。

这样的话，虚拟世界也可以影响我们的现实世界。现实世界和虚拟世界，这两个世界是平行的，且融合在一起的。我们把这个平行于现实世界的虚拟世界，就称为元宇宙。元宇宙这个概念不一定特别好理解，我们后面可以一步一步的来跟大家来讲解。现在没有理解元宇宙的概念也没有关系。反正就是我们会在电脑里面再造一个宇宙，这个宇宙跟我们的现实世界是平行的，且能够影响我们的现实世界。

我们就把这个电脑造出来的数字世界，称为元宇宙。这是我们给的一个不是很学术化、很正式的一个定义。

2.2 元宇宙的核心特征

讲元宇宙未来的技术发展趋势之前，我们要先讲讲元宇宙的基本特征。我刚玩了一个 3D 的游戏，或者我看了一个《阿凡达》这样的 3D 电影，这个叫不叫元宇宙？如果说叫元宇宙，为什么？如果说这不是元宇宙，又是为什么呢？

我觉得未来的元宇宙应该有四个核心的特征，满足了所有四大特征的，就是一个完善的、完整的、完备的元宇宙，满足部分特征的就是一个初级的元宇宙。

2.2.1 沉浸式体验

元宇宙的第一个特征叫做沉浸式的体验。沉浸式的体验是我们对元宇宙或者对未来互联网的一个本质追求。因为人们不满意现在的互联网体验，就是因为人们要追求沉浸式的体验，所以才提出元宇宙这个概念。举一个例子，大家现在看到的 IMAX 3D 版的电影《阿凡达》。这只有 3D 的效果，只能够听到他的声音。观众在看电影《阿凡达》的时候，并不能够亲身体验到潘多拉星球的场景，不能身临其境的体验到与阿凡达一样骑在斑溪兽（Banshee）背上的那种飞翔的感觉。也就是说，即便是观众看的是《阿凡达》这样优秀 Imax 电影，也没有沉浸式的体验。沉浸式的体验是元宇宙的第一个追求目标。现在的很多 3D 游戏，只能算是元宇宙的雏形。Roblox 这个公司，它就是一个元宇宙公司，元宇宙的游戏也主要追求沉浸式的体验。

可能现在大家都讲得比较多的沉浸式还是集中在视觉和听觉的沉浸式体验。在视觉上看到的和在精神上体验到的这个效果是一模一样的，是最好的视觉体验。听觉的沉浸式体验也是大家追求的目标，目前大家也比较关注，研究也比较多，

效果也已经不错。

在未来，也许会很快实现触觉的沉浸式体验。我看着对面来了一个美女模特，我用手一摸，也许就能够摸到模特那种特有的美女的触感。也许在未来的一个较短的时间里，这种触觉的沉浸式体验就可以实现。在元宇宙里面看到一个美女，甚至可以体会到牵着她手的那种感觉，这是一种更好的体验。

再下一步，未来可能就要做嗅觉的沉浸式体验。也许在不久的未来，元宇宙里一个大美女走过来，我们是可以闻到她身上的那种女性特有的体香。在现实世界里，较高档的酒店一般都是通过嗅觉来让客户记住的。每个酒店都会设计自己独特的香味，例如全季酒店就是抹茶香。让你一进酒店就闻到这种香味，并深深的记住这个香味，然后记住这个酒店。未来元宇宙也会如此。

在比较远的未来的元宇宙里，也许还可以实现尝到外婆给我做的那种所谓的“外婆的味道”的菜肴，哪怕我外婆已经过世多年。外婆做的菜可能不是很好吃，但由于我们小时候吃习惯了，就特别喜欢那个味道。哪怕我们到了中年也记得那个味道。哪怕外婆不在世了，肉身已经消失了，在元宇宙里也能够尝到那种熟悉的味道。

元宇宙味觉在未来是可以实现的。这就是元宇宙的第一个特点，叫做沉浸式的体验，我们的人类的视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉在元宇宙里都有可能实现，在未来，第六感也有可能在元宇宙实现。

2.2.2 虚拟身份

元宇宙的第二个特征是数字身份，或者叫虚拟身份。虚拟身份就是要实现观音菩萨给孙悟空的三根救命毫毛的功能。孙悟空拔出一根毫毛就能够变作他的化身，化身还是跟唐僧在一起，但是他的本身（或叫肉身）已经钻到铁扇公主的肚子里去了，这就实现了肉身和化身的分离。这个化身的实现技术就是我们所说的数字身份。我们每一个人在未来的元宇宙里边都有一个或者若干个数字身份。我的身份在元宇宙里边可能是一个大教授，一个大博士，但也有可能是一个小市民，一个农民，或者是一个大元帅、一个国王，当然也不排除是阿猫阿狗这样的一个动物，或者我就喜欢做佛下的那座桥，这都有可能。也就说我未来在元宇宙里边可能是各种各样的化身形态，但是这些化身都是我的身份，所以需要有一个身份的标识。

2.2.3 虚拟经济

元宇宙第三个特征就是虚拟经济，或者叫元宇宙经济。我们现在的经济是基于现实世界的经济，你给我一斤粮食，我就给你三块钱，一手交钱一手交货。未来在元宇宙里边也会有大量的交易，这就是形成我们所说的虚拟经济。

2.2.4 虚拟社会治理

我再加一个特征，叫做虚拟的社会治理。大家可能看过《头号玩家》,《失控玩家》，里边每一个人都有身份，戴上眼镜就有特定身份。有一些人比较强壮，一到了这个元宇宙里边，他可能任意的烧杀掠夺。那么在我们期望的元宇宙里面，是不是也会变成这个鬼样子呢？我们觉得有可能也不是这么恶劣，我们也不希望这么恶劣。因此，要防止人的恶，发扬人的善，在元宇宙里边也要有社会的治理。至于怎么防止烧杀抢掠、强奸、猥亵等各种各样的事情的发生，这就需要社会治理。而在元宇宙里边，可能没有一个中央化的一个强大的政府，这就需要社区化的社会治理。

总结一下，元宇宙的核心特征就是 4 个：沉浸式体验、虚拟身份、虚拟经济和虚拟社会治理。

2.3 元宇宙为什么会横空出世

要跟大家讲的第二个问题，就是为什么元宇宙这个概念会忽然横空出世，而且在 2021 年会这么火。2016 年是虚拟现实元年，而过去几年里，虚拟现实发展不温不火。2021 年是元宇宙元年，为什么虚拟现实热情不再，而以虚拟现实为基本特征的元宇宙却如日中天？

2.3.1 各行各业严重内卷

第一个原因，其实就是我们现在这个时代，各个行业都严重的内卷，尤其是互联网行业，内卷非常的严重。在中国，互联网行业应该说是由三大业务起家的，或者说中国的互联网的最先成熟的就是三大业务：以百度为代表的搜索业务，以阿里巴巴为代表的电子商务业务，以腾讯为代表的社交业务。这就是所谓的 BAT，这是第一代互联网的典型的代表，BAT 三家公司，他们分别代表搜索、电商和社交[2][3]。

这三个业务是中国最早的互联网的业态或者说最成熟的业态。这三个业态内卷都非常的严重。举一个例子，就说电商吧。现在中国的电商网站应该在 5000 家左右，大的电商网站或者大家经常用的电商网站也有十几家，互相之间竞争非常激烈，淘宝、京东、拼多多竞争已经白热化，抖音、美团还在加入竞争。

在淘宝这个平台，里边卖家有九百多万家。这九百多万的卖家，内卷也非常的严重。举一个例子，《模型思维---简化世界的人工智能》这本书，电子工业出版社卖 158 块钱一本。另外一家商家，看到电子工业出版社卖 158，他就卖 157，第三家就卖 156……这么恶意的竞争下去，整个行业都受损失，到最后就是内卷非常严重，电商整个行业利润都非常的单薄。

我们再来看看其他的互联网相关业务，包括外卖，包括单车业务、打车业务等，内卷都非常的严重。各企业之间的竞争，都是存量的竞争，没有增量了。中国一共就只有 14 亿人，百度搜索基本上覆盖七八亿的用户，已经很难有新增的用户了。电商也是如此，中国的电商业务的用户群体也有六七个亿了。京东和淘宝之间天天就竞争这六七亿存量用户，你抢我的，我抢你的，没有增量用户群体。

我们的三大运营商也是这个样子，互相之间抢客户。现在基本上大家都有一两个手机号，所以运营商互相之间的竞争，它也只有存量竞争，没有增量用户可以竞争。在没有增量的时候，内卷就会急剧加。竞争急剧加剧的时候就会导致整个行业的利润非常单薄，所以急需要新的利润增长点，需要新的增量的业务。

元宇宙就是这样一个新的增量业务，在这个赛道里边我们不需要恶意竞争。谁做出来了什么成果，都有中国 14 亿人作为潜在的用户群体，就可以优先获得一些比较好的利润。所以，从商业模式上讲，在现在的内卷非常严重的情况下，我们需要新增的业务点。

大家可以看到 2021 年的另一件大事，就是一个 10 万亿的教育产业，基本上被一巴掌拍的不剩下多少了，尤其是 K12 的教育。之前的 K12 教育已经内卷非常严重了，现在又加上政策禁止，所以基本上它的想象空间也不是特别大了。

我们的人工智能行业呢，情况怎么样？会好一点吗？人工智能从 2014 年火爆到 2021 年的今天，基本上也算是一地鸡毛的状况。人工智能公司之间的恶意竞争或者说内卷也非常的严重，你能够做的，我也能做，你在做的，我也在做，结果就是恶意竞争。所以人工智能公司也需要新的业态来提升利润点。

大家都需要一个新的业务场景，能够跳出内卷的怪圈，重新有序发展。恰好元宇宙出现，而且这是一个非常好的点，一个非常好的利润增长点。所以这就导致了元宇宙这个概念会横空出世。

2.3.2 疫情憋出来的元宇宙

“元宇宙其实就是疫情下憋出来的”，这是周鸿祎先生对元宇宙横空出世的解读。从 2019 年的春节到现在的这两年多的时间里，大家都憋在家里，都行动不是很自由。大家都在家里憋着，而且大家都只能线上开会。线下的交流很不畅通，那我们就会到线上。回到线上之后大家就想着我们线上还能做什么。我们现在的直播会议，是不是跟线下大家跟我交流，效果没有那么直接呀，没有那么有沉浸感？那么我们就想能不能让我们现在的这种线上培训也好，教学也好，或者上课也好，或者教育也好，能不能让它有一种身临其境的感觉呢？这种身临其境的感觉的需求，其实就是疫情憋出来的。我们天天被憋在家里面憋的太多了，我们线上开会那个感觉又不是很好，所以我们希望我们的线上开会感觉更好一点点，能不能够就像我跟在线下跟他交流一样的效果？

这其实就是元宇宙要解决的问题，沉浸式体验。所以为什么元宇宙会横空出世，其实疫情逼出来的或者说叫做疫情憋出来的。

2.3.3 技术到达一个奇点

第三点，就是现在我们的这些技术发展已经到了一定阶段，我们称之为技术的发展已经到了一个奇点。过了这个奇点之后就会形成下一波的技术浪潮，恰好元宇宙就是这个样子。我们前期我们的大数据、人工智能、5G、区块链、物联网等相关技术都有了一定的积累。在这个积累的基础之上，我们就在那想，我们要有一个新的业态出来，能够把这些我们这些年辛辛苦苦研发的成果、研发的技术都能够用起来，形成一个新的业态，而且是新增的业态，而且又有广阔的市场。这个市场就是一个最佳的市场，这个场景就是一个最佳的场景。恰好元宇宙满足所有的要求。所以在这点上，我们说元宇宙的横空出世，就是因为技术到达了某个奇点的产物[2][3]。

大家可能都有印象，2007 年最惊艳的产品就是横空出世的苹果手机。为什么在那个时间点乔布斯会推出苹果手机呢？为什么苹果手机会让人惊艳得目瞪

口呆？为什么苹果手机一下子就开启了一个智能手机的时代？其实不是因为乔布斯他天才出众，其实是恰好在那个年代，众多的技术恰好达到一个奇点。芯片的技术日益成熟，可以将手机做的很小；当时 3G 网络开始成熟并开始商业化。最重要的就是触摸屏的技术已经成熟，触摸效果已经非常灵敏了。为什么我们现在的智能手机都用触摸屏？就是因为在 2007 年左右，触摸屏的技术也达到了一个奇点，已经完全可商用了。其他的一些应用软件的技术也达到了一个奇点。芯片技术能够保证我们的手机做的更小，基带技术让我们的通信能够速度更快，3G 和后来 4G 技术能够让我们的网络速度也能够很快。在所有这些技术都达到了一定的水平的时候，大家都要去想，把这些技术集合起来可以做一个什么样的产品，就能够改变世界的？在 2007 年那个时代，智能手机就是这样一个所有技术拼凑出来的一个最好产品。

乔布斯由于把握了这个技术奇点的到来，又设计出了一款天才的产品，这就是我们现在都在用的智能手机。所以他开启了智能手机的时代，也保证了苹果这个公司在智能手机这个赛道里边，一家公司的利润就能够占到整个行业利润的 80%以上。

我们现在处于一个全新的技术奇点时代，元宇宙所需要的这六七大类技术都达到了一个奇点，因此元宇宙概念的横空出世，也就不意外了。现在的芯片技术，尤其是人工智能芯片，GPU 技术、基带技术、5G 网络技术……现在都不错了。在中国，人工智能、大数据、区块链，以及物联网等技术都达到了一定的水平。那么在这种情况下，一定要出现一个跨时代的、引领未来的一个产品赛道要出现，现在这个产品或者说这个业态就是元宇宙。所以元宇宙是各项核心技术的发展到了一个奇点的一个必然的产物。

2.3.4 资本需要新故事

还有其他的原因，导致现在元宇宙的横空出世，在这里我们总结三方面的需要：资本需要新故事，技术需要新场景，用户需要新体验[4]。

在当今社会，经济供给大于需求的背景大势下，尤其是伴随着我国四十多年的改革开放，经济大势已经从当初计划经济向市场经济转变，需求旺盛、供给不足的态势，已转变为现在的需求萎缩、供给饱和的态势，经济发展态势也由强转弱。根据产融互动效应，资本是产业孵化的天然催化剂，而产业价值则是资本的

必然回报。当新的风口或可产业化的机会来临时，产业资本为了预期中丰厚的回报，往往会不甘落后的投资孵化各种前沿技术，营造各种新潮概念，并试图通过打造各种技术应用和各行业的应用场景进行落地转化，以做到价值变现。

资本在追求利润的道路上永不休眠。正如马克思在《资本论》中所说："资本家害怕没有利润或利润太少，就像自然界害怕真空一样。一旦有适当的利润，资本就大胆起来。如果有百分之十的利润，他就保证到处被使用；有百分之二十的利润，它就活跃起来；有百分之五十的利润，它就铤而走险；为了百分之一百的利润，它就敢践踏一切人间法律；有百分之三百的利润，它就敢犯任何罪行，甚至冒绞死的危险。[5]"

前面说了各行各业严重的内卷，那么投资人就不知道该去投什么项目了。资本、投资人都需要新的赛道，需要新的投资故事。如果没有新的赛道出现，没有新的投资故事，大家就不敢投资了。当大家都不敢投资的时候，整个世界的经济就有可能要下滑。所以元宇宙的横空出世，一个原因就是资本需要出口，或者说资本需要新的故事。恰好了元宇宙是满足这个条件，它是一个全新的故事，而且很容易想象它的商业模式是非常正确的，而且它的未来的市场容量是巨大的，也是很好计算的。元宇宙这些特点，满足资本对于最佳赛道的全部要求。

举个例子，我看到的一个数据，到 2025 年元宇宙市场的份额至少是在 8000 亿美元以上。这是一个非常大的赛道。如果再稍微说的大一点点，从行业上来看，应该说未来我们的各行各业都有可能要元宇宙化，所以这是一个非常大的赛道。对于资本来说，它有足够的想象空间。

所有游戏都需要更好的体验，线上会议、线上培训、教育也都需要更好的沉浸式体验，都需要元宇宙化。线上培训为了获得一个特别好的、跟线下培训一样效果的培训体验，就需要元宇宙。如果通过元宇宙来实现的话，那么光培训市场有多大，大家是很容易想象的。游戏虽然现在处于被打压的态势，但是我们需要打压的不是游戏这个赛道，而是要打压不良游戏厂商特意增加付费环节，特意让青少年上瘾等行为。游戏是寓教于乐的一种最佳方式，游戏是鸟类和哺乳类动物学习知识特有的方式。游戏在中国至少有 12 亿受众，这个赛道也是非常巨大的。综上所述，元宇宙是一个非常大的一个赛道，肯定远远超出了大家的预期。在中国，如果元宇宙正常发展的情况下，达到我们 GDP 的一半是很有可能的。也就是

说四五十万亿的一个规模，在未来的一个合适的时间点是有可能的。这是一个非常好的资本故事[2]。

2.3.5 技术需要新场景

技术也需要新的场景。在过去的这些年里，大数据成为了我国的国家战略，人工智能成为了我国的国家战略，区块链技术也成为了我国的国家战略。在这些核心技术方面，我国都有较多技术积累。这些技术需要新的一个场景，才能够让这些技术更加的落地，才能够让我们体验到这些技术给我们带来的快感。

我国现在架设了超过 100 万个 5G 基站，5G 网络商业化已经初见成效。这就首先需要我们找到 5G 的使用场景。如果还是刷抖音，或到电商网站去购物，或者是做直播，这些都不需要 5G 网络，4G 网络体验已经足够满足要求。那么 5G 能够做什么呢？我国在 5G 网络启动商业化的时候，也就是 2019 年的时候，大家想的 5G 最佳的应用场景是自动驾驶。但是很遗憾，自动驾驶的技术相对来说还不是特别成熟，现在还没有达到一个完全可商用的状态。所以，5G 布局等不到，至少现在还等不了自动驾驶的成熟、落地、商业化。5G 技术已经优先于自动驾驶技术的成熟，并成功的开启了商业化进程。未来，我国的 5G 网络会架设得非常完善，只要应用场景足够丰富，架设 500 万个基站很容易实现。在这种情况下，自动驾驶这个应用场景迟迟没有落地，那么我们 5G 肯定不能干等了。

我们也想过 5G 技术应该在矿山、煤矿、天然气矿、油矿钻井等场景能够有很多的应用需求。确实，这些应用场景可以用到 5G，但是这些应用场景都是相对较小的场景。例如，中国能够一共有多少个煤矿？有多少个油井？它的数量不是很多，不会要求我们 10 亿人都要去煤矿挖煤，所以这个场景只是一个小众市场而已。5G 用于矿山、油井等这些场景也不能够把整个 5G 的流量塞满，5G 的商业化也等不及这些场景的落地。

原先被寄予厚望的另一个 5G 的应用场景就是远程医疗。我的老家是湖南南县，南县人民医院可能要做一个手术，但是南县可能没有这么资深的专家，于是想请北京协和医院一位资深的专家能给南县的一个病人手术。这就可以通过 5G 网络来操纵南县人民医院的手术设备，给病人开刀。这个事情想起来都让人激动不已，这也是一个很好的 5G 应用场景。实际上，远程医疗也有一个问题，中国到底有多少家医院呢？又有多少个手术需要北京协和医院的医生来远程手术呢？

所以这不是一个普适性的、巨大的一个场景，它也填不满我们的 5G 网络，也满足不了资本对 5G 巨额投资的回报要求。

在这种情况下，5G 技术比较尴尬，等待这些大场景来不及，等来的也是小众场景。那么 5G 需要什么场景呢？目前最好的场景就是元宇宙。元宇宙都对网络速度、带宽、延迟、稳定性的要求是远远超出我们理解的。我们的 4G 网络已经能够满足线上会议、线上培训等场景，而现在的 5G 网络还远远不能够满足我们未来的元宇宙。元宇宙能够持续不断地推进网络技术的发展。

现在的 5G 还满足不了未来的元宇宙的需求。如果需要完全沉浸式的体验，哪怕就是玩一个游戏或者看一个电影，需要的数据量是惊人的。举个例子，我们看电影《侏罗纪公园》，如果要体会到跟一群恐龙在同一个园子里边奔跑一样的身临其境的感觉，需要达到这种沉浸式的体验效果，每秒钟需要的数据量大概是 150G。现在的 5G 网络一秒钟能够传输的理论速率是 125M。所以元宇宙对我们未来的网络要求还会有很大的提升。元宇宙是一个非常好的提升我们网络速度或者能够把现在的 5G 网络用起来的新场景。

元宇宙对未来人工智能的芯片、人工智能的算法、物联网、区块链技术等都会提非常非常高的技术要求。元宇宙能够保证未来在 50 年以内可能都有很多可以研究的内容，能够保证相关技术源源不断的发展。因为有需求，才能够促进技术的不断进步。从这一点上讲，元宇宙也是一个非常好的场景。

2.3.6 用户需要新体验

第三点就是用户需要新体验。现在大家看到的直播，观众很明显的知道主播是在远方，观众不能感觉到跟主播在一起的体验感。现在的直播效果就没有主播在观众身边直播的那种身临其境的体验，而用户肯定需要持续更新的体验、更身临其境的体验，这种对体验的极致追求，是技术不断进步的动力，也元宇宙横空出世的原动力。

大家现在在抖音上看视频，你肯定明显知道这就是手机上出来的一个视频而已。你看到的那个视频，只是抖音上的一个视频，肯定没有那种进入到视频场景里的身临其境的感觉。

举个例子，假如这是一个美食的视频，他在教观众怎么做红烧肉。观众只能看到主播在做红烧肉，能够听到他讲红烧肉怎么做。观众不能闻到红烧肉的香味，

也不能尝到红烧肉的味道，连那种他在观众身边做红烧肉的体验感都没有。那么很自然的，观众希望有一个更好的体验：我赶紧主播就在我跟前做红烧肉，最好还能够闻到红烧肉的香味，最好还尝到那种红烧肉的味道。这种极致的、身临其境的体验，是对短视频提的新要求。互联网发展到现在，需要有全新的、更加身临其境的体验感受，这都是在元宇宙里边要实现的。

正是因为资本需要新的故事，技术需要新的场景，用户需要新的体验，所以就想出来了元宇宙。这是一个非常好的资本故事，也是一个非常好的应用场景，未来也能够带给我们更好的用户体验。元宇宙的体验会比我们现在的要好很多，就像现在互联网的体验比早期互联网要好很多一样。

1994 年互联网进入中国，当时互联网的速度还非常的慢，所以当时互联网的主要场景只能是发邮件、看新闻，而且这些新闻和邮件基本都是文字的，没有图片。过了一段时间，网络的速度提升了，网民开始用上 ADSL 了，一秒钟有 100K+的速度了，网民就开始看图片了，就开始在互联网上听音乐了。等网络速度再进一步提升的时候，大家就可以在网上看电视了，就可以在网上看电影了。现在无线网络也达到了网上看电影的要求。我们的 4G 网络，其实就早已达到了看高清电影和直播的要求。

移动网络的发展亦是如此。当年的 2G 网络基本上就只能发手机短信。3G 网络基本上就是看手机彩信或者简单的图片。4G 网络就实现了在线看视频的要求。我们现在的 5G 网络，未来肯定就不是简简单单看一个平面的视频，一定至少是看具有 3D 效果的视频，或者说全息视频。

再远一点的未来，大家肯定不仅仅满足于看 3D 效果的视频，我们还可以听到声音，还可以有触觉和嗅觉的体验感。到那个时候，看到一个美女过来，我们甚至都可以体验到摸着她脸的感觉，闻到她清香的感觉。摸到她脸的那种感觉，是如此真切，跟我们在现实生活中摸到这个女孩子脸的感觉可能是一模一样的。着就是所谓的沉浸式的体验。举一个例子，笔者的女友在湖南，而笔者在北京。笔者每天晚上要跟女友亲吻一下，那么怎么实现远程亲吻呢？在元宇宙里边的下一个技术热点就是实现虚拟世界的触觉，现在很多公司都在研究触觉这块，也许在不久的未来就可以实现远程亲吻，这个效果跟我们在现实世界里边男女亲吻的效果能够做到一模一样。

沉浸式的体验还可能包括嗅觉的体验，现在也有部分公司开始研究嗅觉。也许在不久的未来，或者不应该不会超过 15 年，大家再看直播，再看到别人做红烧肉的时候，也许就可以看这个视频的时候闻到红烧肉的味道。也许在很远的未来，我们就不仅仅是闻到红烧肉的香味，还能够真的吃到红烧肉的味道。大家都耳熟能详的科幻电影《黑客帝国》，里面就有一个有意思的场景对白："我知道我刚才并没有吃土豆烧牛肉，但是我的大脑就给我一个信号，告诉我刚才吃了土豆烧牛肉。"所以，未来人类并不需要真实地去吃某个东西，才知道我肚子不饿，才能够体会到刚才吃了某个东西。人的大脑其实是没有区分现实和虚拟的能力，就像我们做梦一样，有时候人很难区分我刚才到底是做了一个梦，还是昨天就发生的这个事。所以在未来元宇宙比较成熟的时候，一定可以做到你刚才吃了红烧肉，其实就是给你的大脑发了一个信号而已，并不是你真正的吃了红烧肉。

2.3.7 未来 30 年的支柱产业

最后一点，为什么元宇宙会横空出世？为什么我们要提元宇宙，而不去说其他的场景？现在技术达到一定的奇点，为什么会提出元宇宙而不去提其他的场景呢？为什么资本需要新故事，大家就讲元宇宙的故事呢？技术需要新的场景，大家讲元宇宙的场景呢？为什么用户需要新体验，大家就讲元宇宙的体验呢？

中国未来 30 年的元宇宙产业，相当于过去 30 年的房地产产业。在过去的大概 30 年里，房地产行业是中国经济的支柱产业。房地产成为中国支柱产业的原因就在于房地产能够带动上游、中游、下游的一系列行业的正向发展。

举个例子，它的上游可能包括生产水泥、钢筋、预制板、砖瓦、瓷砖等一系列的建筑材料，这本身就是一个巨大的市场。所以房地产产业升温，这些上游产业也能够跟着房地产行业活跃起来。它的中游产业可能包括设计商、开发商、监理商、装修公司等，这些都是房地产的中游产业。房地产的下游产业包括物业公司、维修公司、零售商、家具商、餐饮、医院、学校、健身等。也就是说，通过一个房地产行业的活跃，可以带动上中下游一系列产业活跃起来。中国有 14 亿人口，至少有 3 亿到 4 亿套房子的需求。这本身就是一个巨大的市场，它又能够带动上游、中游和下游更庞大的市场。所以通过房地产行业，就能够带动整个中国的经济发展。

现在房地产行业对中国经济的发展应该已经乏力了，那么未来谁来带动整个

中国经济的发展呢？未来 30 年我国的支柱产业是什么呢？成为中国未来 30 年经济的支柱产业需要具备什么条件呢？

首先，这个产业一定要像房地产一样，本身必须具有广泛的用户群体，本身就有巨大的市场空间。前面提到的自动驾驶其实是满足这个条件的。目前中国汽车保有量为 3.93 亿辆，未来汽车保有量还会增加。如果都能实现自动驾驶，将拥有巨大的用户群体。可惜自动驾驶的技术并不成熟，目前还看不到商业化的迹象，自动驾驶附带的很多法律、道德问题还有待商榷。因此，自动驾驶不大可能成为未来我国的支柱产业。

远程医疗也不可能成为我国的支柱产业。远程医疗只有大医院或者中型医院有需求，而医院的数量是有限的，它不可能变成一个全民的使用场景。远程医疗是一个小众场景，不可能成为我国未来的支柱产业。我们的煤矿、油矿、铁矿、铜矿等也不构成一个全民的一个场景，毕竟数量都有限。

元宇宙是一个非常好的场景，全国可能至少有 12 亿人都可以成为元宇宙的终端用户，且几乎所有的公司，所有的政府部门、事业团体都可以成为元宇宙的 B 端用户。所以元宇宙的用户群体是非常大的，元宇宙本身就是一个非常庞大的产业。元宇宙作为未来互联网的存在形式，过去互联网触达过的用户，未来都是元宇宙可以触达的客户；过去互联网改造过的场景，未来都是元宇宙可以改造的场景；过去互联网优化过的产业，未来都是元宇宙可以优化的产业。

其次，这个产业必须有庞大的上游和下游产业，而元宇宙也是满足这个条件的。元宇宙有广泛的上游企业、中有企业和下游企业。上游企业可能我们的芯片厂商、基带厂商、网络厂商，云计算厂商、人工智能厂商等。元宇宙本身可能也包括了区块链、数字孪生、世界编辑器等中游企业，元宇宙还需要大了的内容创意和内容生产商。当然元宇宙的中游产业还包括了操作系统、数据库、编译器等基础软件。元宇宙的下游产业就更多了。游戏、社交、广告、媒体、政务都将是元宇宙的下游产业。各行各业，包括航天、航空、汽车、军事等各个行业，都有可能成为元宇宙的下游应用。

综上所述，元宇宙具有丰富的上游、中游和下游的产业，所以它就会像过去房地产这个行业一样，能够带动整个经济的发展，所以笔者预测未来元宇宙将成为中国经济的一个新引擎，会变成中国经济的支柱产业。

2.4 元宇宙的发展阶段

面对人类认知革命带来的信息大爆炸,人类个体记忆容量和处理能力的局限性越发凸显，人类需要体外的可不断扩展的存储容量及算力，来存储海量的知识并提供相应的处理能力。基于新一代 ICT 技术群构建元宇宙，这个问题得到了有效解决。

元宇宙孕育产生自互联网。从混沌初开的 ARPA 网，演化到全球覆盖的 Web 互联网，进而演化出 3D 时空互联网。自此互联网逐渐走出蒙昧状态，步入元宇宙的发展进程。

元宇宙从概念热炒到应用落地，需要一个渐进发展完善的过程。元宇宙概念内涵丰富、外延广泛，随着实际落地及产业规模化，其发展重点将会有明显变化，应用形态将展示显著不同的特点。

元宇宙未来的技术发展的阶段，一般认为会分为三个阶段：数字孪生阶段、数字原生阶段和虚实共生阶段。

2.4.1 数字孪生

数字孪生就是把我们的现实世界映射到虚拟世界。现在大家做的很多事情都是数字孪生，也就是把现实世界想办法映射到虚拟世界里。

面对全球一体化诸多挑战，中国提出了人类命运共同体的理念和方案。要解决全球化治理难题，先进科学的治理工具成为必须。从网络媒体日益盛行开始，传播媒体正从零散信息的记载和报道，向信息的系统整合、模拟仿真方向发展。新一代 ICT 技术群的快速发展，使得构建孪生地球成为可能。从区域范围看，包括孪生社区、孪生园区、孪生城市、孪生中国及其他国家等；从行业应用看，包括孪生文旅、孪生工厂、孪生建筑、孪生电力、孪生城市循环系统等；基于孪生地球，可实现各领域、各行业应用的有效统合，实现虚实共生，实时互动的全局沉浸体验环境，实现更加智能的平行世界。

2.4.2 数字原生

第二个阶段叫做数字原生。创作者本身已经在数字世界里，就在数字世界里去生产某一个产品。这个产品本身就是从虚拟世界里面生产出来的，这叫做数字原生。举个例子，在现实世界中有一个北京城，在网络里面有一个虚拟北京城。

现实世界里，北京五道口没有一家叫“龚博士湘菜馆”的餐馆。在虚拟北京里原来也没有“龚博士湘菜馆”。我在虚拟北京城的五道口开一个龚博士湘菜馆。这个湘菜馆就是在数字世界里面生产出来的一个数字产品，这就称为数字原生。

2.4.3 虚实共生

第三个阶段就是虚实共生。在虚实共生的阶段，人类是区分不了哪里是现实世界，哪里是虚拟世界了。这就实现了最终的我们看到的《黑客帝国》这个电影里面描述的那个场景，人以为是生活在一个现实世界里面的，但是大家不知道其实只有大脑的脑电波而已。我们的手，我们的四肢，我们的身体其实都是被一台叫做 Matrix（矩阵）的人工智能机器所控制的。这就是最终的一个元宇宙的一个虚实共生的阶段。

本章内容由龚才春、孙喜庆起草，龚才春修改。

参考文献:

[1] 中纪委网站，深度关注：元宇宙如何改写人类社会生活.2021.12.23.

[2] 龚才春.元宇宙：头脑风暴 or 未来已来.2021.12.30.

[3] 龚才春.元宇宙：神话与科技的完美统一.2022.01.06.

[4] 赵国栋,易欢欢,徐远重.元宇宙.中译出版社.2021.8.1.

[5] 马克思.资本论.人民出版社.2018.4.1.

第 3 章 元宇宙的理论基础

元宇宙，其本质是人类创造的一个虚拟世界。过往研究虚拟世界的相关理论非常丰富。本章我们选取一些代表性的理论进行介绍，以期为元宇宙发展提供丰富角度的参照和理论支撑，主要包括：

- **三个世界划分理论**：从哲学角度，对物理世界、心理世界、人工世界进行了划分及深入探讨。
- **人是游戏者理论**：从文化及史学角度，揭示了人是游戏者，及人类社会的游戏本质及其游戏属性。
- **游戏改变世界理论**：从未来学及心理学角度，指出“游戏化”可以让破碎的现实变得更美好，游戏化的巨大影响力将可重塑人类文明；
- **开放复杂巨系统理论**：从科学研究及方法论角度，提出“开放复杂巨系统”概念以及“定性到定量的综合分析方法论”；
- **大成智慧学理论**：从人类认识世界的前科学、应用技术、基础理论、及哲学的角度，提出“大成智慧”知识体系，强调“集大成，得智慧”，性智+量智，缺一不成智慧；
- **平行智能社会理论**：从人工智能技术及应用角度，探讨其对人类社会的影响及改造；
- **元宇宙社会媒介理论**：从社会传播学角度，揭示了“元宇宙”的社会媒介本质，提出孪生媒介、虚构媒介概念及元宇宙社会媒介理论的基本参考框架。

3.1 三个世界理论

卡尔·波普尔（Karl·Popper）在 1972 年出版的《客观知识》一书中，系统地提出了他的“三个世界”划分理论，将物理世界、心理世界、人工世界作为并列存在的主体。三个世界是统一、连贯的。物理世界，是物质的、客观的外在世界；心理世界，则是指人类的内心和思想的状态和过程，是主观的；人工世界，则是人工创造的知识和思想成果，它是主观的产物，但却是客观存在。只有把客

观知识的世界和个人的主观世界区别出来，才会有知识自身的积累和发展，知识才能成为全人类的精神财富，而不至于仅存在发明家的头脑里。人工世界不仅具有客观实在性，而且具有自己的生命，“而一旦理论存在着，它们就开始有一个它们自己的生命：它们产生以前不能预见到的推论，它们产生新的问题” [1]。

波普尔把心理世界、物理世界并列，重现了哲学史上身心二元论的观点，与唯物主义一元论发生了冲突。但是波普尔是以他的实现进化论来说明世界的产生和存在的，所以又不同于传统上的身心二元论，而是构建起了三元论体系。他相信世界的发展是处于三个亚世界的相互作用之中的。波普尔把心理世界放在中介的地位上。

元宇宙概念的内涵及外延，属于人工世界的范畴。元宇宙是人类心理世界的反映，同时又是一个不同于物理世界的新的客观存在。元宇宙与物理世界之间不仅有虚实共生、IoT 数据集成的关系，还需要通过人类心理世界作为桥梁才能互相作用。波普尔的三个世界理论，把人的思想活动成果，纳入统一的三元本体论体系来考察，这对我们研究、发展元宇宙相关理论提供了有价值的参照。

3.2 人是游戏者理论

《人：游戏者》为著名荷兰文化史学者约翰·胡伊青加(Johan Huizinga)的代表作，是文化史研究的经典[2]。本书从游戏的角度探讨了游戏与人类文化演进的紧密关系，详尽探讨了希腊、印度、中国、北欧等文明中游戏概念的演化历程，全面展示了游戏对人类文化的重大影响，阐述了游戏对于现代文明的重要价值。

胡伊青加把游戏作为“生活的一个最根本的范畴”来论述，采取文化-史学的研究进路和方法，且对游戏用语进行了细致的考察，最终得出了“人是游戏者”、“文明是在游戏中并作为游戏而产生和发展起来的[2]”这两个惊人结论，一反西方在人和人性理解上的理性主义传统，张扬和强调人的游戏本质和游戏因素对于文明的极端重要性。

3.3 游戏改变世界理论

《游戏改变世界》作者简·麦戈尼格尔(Jane McGonigal)，美国著名未来学

家，世界顶级未来趋势智库“未来学会”游戏研发总监，美国著名交互式娱乐服务公司 42 Entertainment 首席设计师。

世界所有玩家花在《魔兽世界》上的总时间超过 593 万年，相当于从人类祖先第一次站起身来演进至今的时长；美国青年在 21 岁以前，玩游戏的平均时长超过 10000 小时，10000 小时足以让他们成为专家；通过游戏，我们帮助他人改善生活，甚至解决能源危机等世界性问题。游戏是改变世界的一种有效方法。

游戏，前所未有的占据和改变了我们的生活，它是如何击中了人类幸福的核心，提供现实世界中匮乏的奖励、挑战和宏大胜利的？《游戏改变世界》为我们揭开真相，游戏可以弥补现实世界的不足和缺陷，游戏化可以让现实变得更美好，并用大量实践告诉我们该如何驾驭游戏的力量，解决现实问题，并提升幸福感。

《游戏改变世界》指出：游戏化是互联时代的重要趋势。游戏化将要实现四大目标：更满意的工作、更有把握的成功、更强的社会联系及更宏大的意义。如果人们继续忽视游戏，就会错失良机，失去未来。而如果我们可以借助游戏的力量，便可以让生活变得像游戏一样精彩[3]！

3.4 开放复杂巨系统理论

钱学森、戴汝为等一代中国科学家经过长期实践探索，在系统学、控制论等理论基础之上，提出了“开放的复杂巨系统”理论及其相应的“从定性到定量的综合分析方法论”。这对元宇宙的构建、发展、治理都将提供很有价值的理论指导和参考。

如果子系统种类很多另有层次结构，它们之间关联关系又很复杂，这就是复杂巨系统。如果这个系统又是开放的，这巨系统就成了开放的复杂巨系统。举例说：人体、生物体、人脑、地球环境以至社会、互联网，都是典型例子。

对于开放复杂巨系统，耗散结构、系统协同学无法有效解决；现代科学还原论认为微观决定宏观，或者直接上升到哲学高度谈“宇宙全息统一论”，都不是有效之法。

实践证明，唯一能有效解决开放复杂巨系统问题的方法，就是定性定量相结合的综合集成方法。在这些研究和应用中，通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合，提出经验性假设(判断或猜想)；而这些经验性假设不能用严谨的科

学方式加以证明，往往是定性的认识，但可用经验性数据和资料以及几十、几百、上千个参数的模型对其确实性进行检测；而这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上，经过定量计算，通过反复对比，最后形成结论，而这样的结论就是我们在现阶段认识客观事物所能达到的最佳结论，是从定性上升到定量的认识。定性定量相结合的综合集成方法，就其实质而言，是将专家群体(各种有关的专家)、数据和各种信息与计算机技术有机结合起来，把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来。这三者本身也构成了一个系统。这个方法的成功应用，就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势。近几年，国外有人提出综合分析方法(Meta-analysis)，对不同领域的信息进行跨域分析综合，还不成熟，而从定性到定量的综合集成方法却是真正的 Meta-synthesis[4]。

3.5 大成智慧学

钱学森在完成“两弹一星”的科学体系建设后，将其研究领域扩展到更为广阔的范围，对于社会各种复杂性问题的哲学思考和关于马克思主义哲学的发展，逐步形成了“大成智慧”体系。大成智慧的知识体系如下图所示[5]。

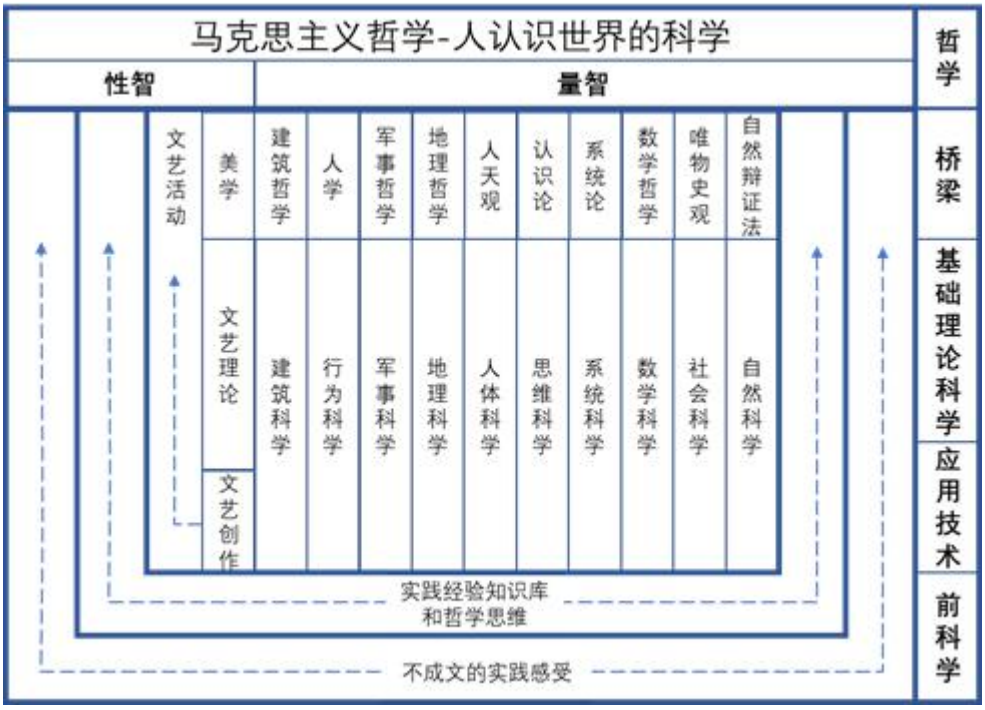


图 3-1：大成智慧学知识体系

3.5.1 大成智慧学的内涵

中国古代哲人讲“集大成，得智慧”。人的智慧是两大部分：量智和性智。缺一不成智慧！大成智慧学告诉我们：在处理复杂的问题时，既不能只顾“量智”，搞还原论、“死心眼儿”，也不能只顾“性智”，空谈整体论、浮于幻想。

什么是“量智”和“性智”呢？现代科学技术体系中的数学科学、自然科学、系统科学、军事科学、社会科学、思维科学、人体科学、地理科学、行为科学、建筑科学等 11 大科学技术部门的知识是性智、量智的结合，主要表现为“量智”；而文艺创作、文艺理论、美学以及各种文艺实践活动，也是性智与量智的结合，但主要表现为“性智”。

“量智”主要是科学技术，是说科学技术总是从局部到整体，从研究量变到质变，“量”非常重要。当然科学技术也重视由量变所引起的质变，所以科学技术也有‘性智’，也很重要。大科学家就尤其要有‘性智’。

“性智”’是从整体感受入手去理解事物，中国古代学者就如此。所以是从整体，从‘质’入手去认识世界的。中医理论就如此，从“望、闻、问、切”到“辨证施治”，但最后也有‘量’，用药都定量。

大成智慧学告诉我们：在处理复杂的问题时，既不能只顾“量智”，搞还原论、“死心眼儿”，也不能只顾“性智”，空谈整体论、浮于幻想。要做到多维度知识的融合应用[6]。

3.5.2 科学与艺术的结合

从思维科学角度看，科学工作总是从一个猜想开始的，然后才是科学论证；换言之，科学工作是源于形象思维，终于逻辑思维。形象思维是源于艺术，所以科学工作是先艺术，后才是科学。相反，艺术工作必须对事物有个科学的认识，然后才是艺术创作。在过去，人们总是只看到后一半，所以把科学和艺术分了家，而其实是分不了家的；科学需要艺术，艺术也需要科学。科学与艺术的结合。

3.5.3 逻辑思维与形象思维的结合

从思维方式来看，逻辑思维方式，大多用于科学研究与实验，所以也叫做科学思维方式。侧重于形象思维的方式，大多用于艺术创造与艺术活动，所以，也叫做艺术思维方式。

逻辑思维的结果一般都是比较确定的、惟一的、可以表达的。因而对于加工处理便于形式化的信息时，可以用电子计算机（电脑）帮助解决。但是，计算机的功能是有限的，单纯用逻辑思维，单纯靠计算机处理，没有人的形象思维，是不可能获得大成智慧和创新科学技术的。

灵感思维属于形象思维的一种，是人们在生活中真有的，我自己就有过多次，解决了研究中遇到的难题，但有一点必须明确：即灵感思维也是以人头脑中沉积的知识为基础的，如果没有人类的实践认识（自己的、他人告知的、书本上学得的），灵感思维也不能自天而降。

3.5.4 思维的整体观与系统观

运用整体观和系统观，在处理各种复杂事物和人的问题时，既要弄清其微观的、细节的、量的准确变化，掌握好“度”，又要注意从宏观上、整体上，系统地把握其各层次、各因素、各方面质的变化与飞跃。不能只搞还原论、“死心眼儿”，也不能空谈整体论、浮于幻想。而是要把微观与宏观、还原论与整体论、理论与实践、部分与总体有机地结合起来，从整体上观察和解决问题。大成智慧学教我们总揽全局，洞察关系，所以促使我们突破障碍，从而做到大跨度地触类旁通，完成创新。

3.5.5 大成智慧与灵境技术

1996 年春天，钱老更为明确指出：“信息革命的一个与前几次产业革命不同之处似在于直接提高人的智能。”他敏锐地预见到当时还只是初现端倪的“虚拟现实技术”(Virtual Reality Engineering)的无限威力，特别强调它能够使人们的创造思维能力大大提高。钱老把“Virtual Reality Engineering”翻译成更有中国文化味儿的名词叫：“灵境技术”，他并且兴奋地预言：“灵境技术是继计算机革命之后的又一项技术革命。它将引发一系列震撼全世界的变革，一定是人类历史中的大事。[7]”

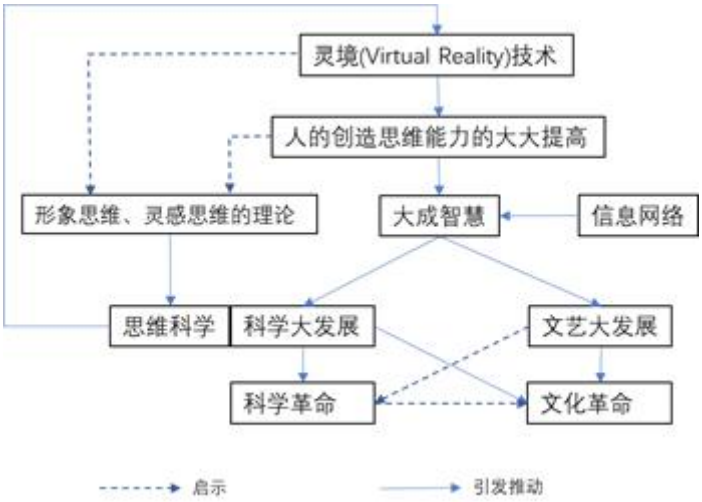


图 3-2：灵境技术与大成智慧的关系

3.5.6 历史发展六段论

钱学森基于对“世界政治一体化”趋势的判断，洞察人类社会发展的必然走向，提出了“世界社会”新思想，认为这是人类走向世界大同共产主义社会的必经阶段。这与习近平主席提出的“人类命运共同体”理念异曲同工，都是对马克思主义理论的实践总结和有益发展[8]。

图 3-3：钱学森的历史发展六段论

元宇宙，无疑也属于开放的复杂巨系统；要有效分析其中规律，解决其中的复杂问题，大成智慧学提供了相对完整的科学知识体系；而要让“元宇宙”切实造福于人类社会，“从世界社会到共产主义”的发展理念也将具有借鉴意义。钱学森创建的“开放的复杂巨系统理论”、“大成智慧学”，“世界社会”的发展理念，对“元宇宙”的概念厘清、理论创新、应用实践、未来发展都将是有益的参照。

3.6 平行智能社会理论

中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室主任王飞跃博士，在 2015 年发表的一次名为《平行时代的平行智能体系》的演讲中，系统阐述了其“平行智能社会理论”[9]。

生命与智能是人类最美好、最重要的两类追求。本来，智能的研究应在生命的研究之后，仿“生”就行了。可惜，生物、医学、神经生理学家至今还没有完全弄清楚大脑的机制、思维的法则，智能科学想仿也没有明确的途径。从技术或工程角度而言，智能的本质就是利用已知、解决未知；从已知到未知就只能靠想象了，目前主要的方式有结构主义、功能主义、行为主义等。

人想象靠大脑。大脑是开放的，几乎可以瞬间感知自己所有已知的知识，并推理未知的世界、未知的问题。机器想象靠什么？目前只能靠算法，而且是封闭的算法：迄今为止，不管是多么复杂的机器算法，几乎全都限制在机器的内存空间中。如果算法不“解放”、不开放，人工智能永远只能“人工”、无法逼近人类、无法“类人”：人工智能就只能滞留在第一境界，利用已有的知识，解决已知的问题，就是目前 Google 和百度的正在追求的水平，无法到达智能的第二境界。问题是算法如何开放？

王飞跃认为算法只能在第三世界开放，这个第三世界不是政治意义上的第三世界，而是波普尔的第三世界。一般人只熟悉两个世界，物理世界和心理世界；但波普尔告诉我们，还有个第三世界——人工世界。农业社会干了什么？简单来说就是开发了物理世界的地表资源。工业社会又干了什么？主要是通过文艺复兴，开发心理世界，解放了思想，发展了科学，发明了蒸汽机加电动机，回过头又开发了物理世界的地下资源。到了今天，第一世界开发了，第二世界也开发了，环境污染、精神污染之后，物联网、云计算、大数据来了，必须开发第三世界了，这就是智能时代的使命。农业社会的完成打破了“血缘的不对称”，当时是靠出身、靠家族；工业社会到了今天打破了什么，打破的是“信息的不对称”；那么新智能时代崛起的就是“智力的不对称”了。开放智能算法，开发人工世界，最终消除“智力的不对称”，就是新智能时代的历史任务。

算法一定要在第三世界开放，为什么？物理世界，人类只是行动的主体；到了心理世界，人类是认知的主体；只有在人工世界，人类才是真正的主宰，愿意

干吗就干吗，因此人类设计的算法能够在这里得到解放，不必非得受到经济、法律、道德甚至科学上的约束，唯一的约束就是想象，特别是爱因斯坦的“想象”。未来世界的和谐，一定是这三个世界的和谐，加起来就是平行世界。我不是学物理的，但知道物理学中有个平行宇宙的概念，四个阶层的平行，从简单的重复到数学上的抽象。平行世界需要平行智能——就是开放的算法带来的开放的智能，这是解除人工智能“常识难题”或“常识诅咒”这一瓶颈的最有效的途径；对我而言，这就是新智能科学的发展方向。

将来人的生活空间 50%在现实的空间，50%会在虚拟的空间。这就是化解复杂性以及智能化矛盾的方法，就是一定要使用 ACP 的平行理念：人工社会（Artifiical Societies）+计算实验（Computational Experiments）+平行执行（Parallel Execution）。支撑 ACP 方法的就是社会物理网络系统，即 CPSS：Cyber-Physical-SocialSystems，它比眼下正热的 CPS 多了一个 S，这至关重要，这个 S 把人及其组织纳入系统之中，使平行成为可能。将来，一定是真人与虚人一体化的平行人：平行人=人+i 人，平行物=物+i 物，开始是虚实的一对一，然后是一对多，多对一，最后是多对多，形成虚实互动、互生、互存的平行社会。从本质上讲，ACP 的平行理念的核心就是把复杂性与智能化系统“虚”的和“软”的部分建立起来，通过可以定量实施的计算化、实时化，使之“硬化”，真正用于解决实际的问题。而所谓的大数据、云计算、物联网正是支撑 ACP 方法的核心技术。

通过构建人工系统和实际系统闭环反馈、虚实互动、平行执行的平行系统，使两者协同发展，并确保系统按照人类期望的目标发展。不仅系统需要平行；将来的人、物、设备、工业过程、智能系统、农场、企业、组织、社区、城市、社会甚至世界，也一定要是平行的才是完整的，一对一，一对多，甚至多对一，最后将实现多对多。平行智能体系包括：一个核心，就是平行；两个支撑，ACP 和 CPSS；三个主题，也就是智能系统，智慧管理和社会智能。

王飞跃博士提出的平行智能社会理论，对面向现实世界、虚实共生的元宇宙的持续构建和治理，提出了实用的方法论和技术手段，具有很高的实践指导价值。

3.7 元宇宙社会媒介理论

传播理论一代宗师哈罗德·英尼斯强调一个基本观点："一种新媒介的长处，将导致一种新文明的产生。"媒介是人类文明得以传承和传播的重要介质。人类社会的文明发展史伴随着传播媒介的不断演进。大众传播媒介，从图文媒介、视听媒介、网络媒介发展到"元宇宙"阶段，产生了鲜明的跨代特征，预示着未来媒体的基本形态。[10]

2021 年"元宇宙"概念受到各界高度关注，在此之前，中科院提出"平行智能社会"，腾讯科技提出"全真互联网"，中国传媒大学提出"全时全域沉浸媒介"，工业界实践"数字孪生"，地理信息界则强调"时空大数据"，这些都是紧密相关的概念。产学研用各方虽着眼角度不同，但对未来媒体预见的基本理念是一致:基于 TCP/IP/HTML 的"Web 互联网"将进一步演化为全时沉浸的"3D 时空互联网"。

在系统梳理媒介发展历史，深入研究新一代 ICT 技术及"时空大数据"的广泛应用，融合产学研用社会各界对媒介演进趋势预见基础上，我们提出"孪生媒介"、"虚构媒介"两个概念。**孪生媒介**，是将物理实体空间及其构件的虚拟数字孪生体作为信息承载、展现、组织及传播的介质，基于互联网络为用户提供实时在线、沉浸交互体验的新一代媒介。**虚构媒介**，是基于物理空间不存在的虚构的数字体作为传播介质的媒介，MMORPG 游戏是虚构媒介的典型应用。

	图文媒介	视听媒介	网络媒介	孪生媒介	虚构媒介
特点 优势	符号描述 抽象逻辑 可读性强	视听一体 现场感强 真实性强 感染力强 受众低门槛	全球互联 服务丰富 信息海量 时效性强 随时在线	拟真世界 虚实共生 身临其境 自然交互 平行执行	虚拟场景 虚拟创作 虚拟体验 沉浸自由
业务 形态	绘画书法 报刊图书	广播电视电影 影像记录	SNS/电商/搜索/地图 网络视频/mail/会议	孪生媒介/孪生文旅 智慧城市/模拟仿真...	虚拟社会在线游戏化 各行业深度XR应用
服务 模式	文字语法 图文混排	蒙太奇/特效 兼容图文	文本超链接 兼容视频\图文	自由视角/自然交互 瞬移/穿梭/游戏机制 兼容网络/视频/图文	虚拟应用融为一体元宇宙 虚拟为主，现实为辅
局限 劣势	不形象 时效性差	画面边界限制 需要解码显示设备	需要网络连接 需要计算终端	全时全域沉浸的孪生媒介 需专门力量建设维护更新	虚拟世界脱离现实 宅文化反噬人及现实社会

人与媒介的关系：沉浸/参与/交互性趋于增强

图 3-4：各类媒介的比较

对各类媒介多个维度做横向对比，从印刷图书为载体的图文媒介，到以电子信号为载体的视听媒介、以互联网为载体的网络媒介，到以孪生/虚构数字体为载体的孪生媒介/虚构媒介，人与媒介的关系，其沉浸感、参与感、交互性逐步趋于增强。

尽管人们对“元宇宙”做了各种诠释，但形成全时在线、互联互通、互操作的统一时空，才是元宇宙成型的基本条件；在此之前，尽管互联网平台可做到随时在线、网站可通过 HTML 实现全球互联，但并未形成统一的 3D 时空及在其中的应用互操作。从“元宇宙”内容角度看，可分为拟真、虚构两大类。拟真的元宇宙，其本质是孪生媒介；虚构的元宇宙，其本质是虚构媒介（或称为：游戏媒介）。随着人类向地外星际宇宙的不断探索，以及向人类精神内在的持续探求，借助元宇宙的媒介力量，将逐步突破地球限制、突破自然规律限制，甚至演化为星际物种、数字物种。

元宇宙媒介（孪生媒介、虚构媒介）是构建未来媒体、乃至构建平行智能社会的新基点。元宇宙社会媒介理论的基本参考框架包括以下维度：

- **媒介与社会一体同构**：“在媒介与社会加速一体同构的进程中，虚拟社会与现实社会的边界正在进一步模糊，虚实社会将成为全媒体时代的社会形态。[11]” 元宇宙既是新一代的传播媒介，同时也是现实社会在虚拟世界中的 3D 映射和呈现。元宇宙将逐步构建起虚实融合、沉浸交互、模拟仿真、平行执行的智能社会形态，对全球政治、生产经济、社会关系、以及人们的日常生活都将带来巨大影响。
- **主流价值观主导算法**：针对甚嚣尘上的去中心化、无政府主义、唯科技等论调，坚持以社会主流价值观来定义“元宇宙”底层逻辑，避免算法失控，约束科技伦理，不能放任自流。
- **信息组织方式的变革**：元宇宙孪生媒介对信息的组织方式要求更加直观可视化，易于语义理解，利于逻辑推理，便于自然交互式沟通。过往离散碎片化的信息、平面为主的展现方式，将越来越趋向于知识图谱+3D 模型的信息组织和呈现方式。
- **更加自然的交互体验**：目前主流的遥控器、键盘鼠标、触屏等交互外设不会

是元宇宙应用的最佳选择，综合语音、手势、眼动、动感/触感模拟、AI 助理等各种自然交互技术，实现更加直观、沉浸、轻松、自在的交互体验，是元宇宙应用追求的方向。脑机接口，能否成为主流交互方式，仍有待 BMI 技术的进一步发展。

本章内容由孙喜庆起草，龚才春修改。

参考文献:

[1] 卡尔·波普尔.客观知识：一个进化论的研究 [M]. 舒炜光等译. 上海译文出版社. 1972.

[2] 约翰·胡伊青加. 人：游戏者[M]. 成穷译. 贵州人民出版社. 1998.

[3] 简·麦戈尼格尔. 游戏改变世界[M]. 闾佳译. 浙江人民出版社. 2012.

[4] 钱学森文集第 6 卷. P67-75, 国防工业出版社. 2012.

[5] 钱学森书信. 第 7 卷，p286-287. 国防工业出版社. 2007.

[6] 钱学森 1992 年 11 月 13 日与王寿云、汪成为、战汝为、于景元、钱学敬、涂元季六人的谈话，收录于《创建系统学》，山西科学技术出版社. 2001.

[7] 钱学森书信 第 8 卷[M]. 国防工业出版社. 2007: 398-399.

[8] 李曦恒. 缔造大同-钱学森“世界大同+共产主义”理想新论[M]. 社会科学文献出版社. 2017.

[9] 王飞跃. X5.0-平行时代的平行智能体系. 新智能时代论坛主题报告[R]. 2015.

[10] 孙喜庆. 孪生媒介：平行世界传媒体系参考框架初探. 互联网天地[J]. 2021(1).

[11] 廖祥忠. 媒介与社会同构时代国际传播人才培养必须着力解决的三大问题. 现代传播[J]. 2021(1).

第二篇：现状篇

元宇宙风起云涌，成为 2021 年最炽手可热的术语。元宇宙相关的每一个新闻都会迅速成为人们的谈资。一个利好的消息会让元宇宙相关股票飙升，会让相关从业者信心百倍；一个利空的消息会让元宇宙相关股票应声而落，会让大众又开始怀疑元宇宙是不是一个炒作、一个噱头、一个庞氏骗局。

本篇讲述各个龙头企业的元宇宙布局，各国政府元宇宙相关政策。为我国未来制定元宇宙相关政策提供参考。

第 4 章 巨头的元宇宙布局

自元宇宙概念股 Roblox 于 2021 年 3 月 11 日在美国上市，元宇宙迅速进入人们的视野，科技巨头们纷纷布局元宇宙，尤其 Facebook 改名 Meta 全力押注元宇宙，掀起了各大科技巨头“元宇宙热”。以 Facebook、微软、腾讯、字节跳动为代表的科技大厂持续加码元宇宙赛道，围绕 VR/AR 硬件设施、3D 游戏引擎、内容制作平台等与元宇宙相关的多重领域拓展能力版图。

4.1 Facebook：元宇宙大潮中的激进派

2021 年 10 月 28 日，马克·扎克伯格在 Facebook Connect 大会上宣布将 Facebook 更名为 Meta（取自元宇宙英文 Metaverse 的前 4 个字母），并于 2021 年 12 月 1 日起以新的股票代码“MVRS”进行交易，标志着将以元宇宙为先，通过发展 AR、VR 等软硬件及相关生态，最终将公司打造成元宇宙企业。

4.1.1 开足马力全面布局元宇宙

Facebook 在元宇宙方面的探索一直走在前列，2021 年 9 月投资 5000 万美元成立 XR 计划和研究基金，用于元宇宙生态规则的探索和研究，通过和行业伙伴、民权组织、政府、非营利组织以及学术机构等建立合作，分析元宇宙中存在的问题和机会。

图 4- 1：Facebook 改名 Meta，转向元宇宙公司

（1）Facebook 的元宇宙愿景

2021 年 7 月，马克·扎克伯格描述了他对元宇宙的愿景，希望用五年左右时间将 Facebook 打造为一家元宇宙公司。扎克伯格表示“我们希望，在未来十年内，10 亿人将能接触元宇宙，成为一个承载数千亿美元的数字行业，并为数百万创作者和开发者提供就业机会。” 目前来看，Facebook 的元宇宙版图覆盖了办公、游戏、社交、教育、健身等多种场景，并在不断探索更丰富的应用领域。

（2）Facebook 元宇宙团队组织架构

Facebook 正式更名为 Meta 前，已着手组建新产品团队来进行元宇宙的研究和实践。自 2019 年 9 月起，包括 Oculus 在内的 AR/VR 团队被重新命名为 Facebook Reality Labs，目前 Facebook 有近一万名员工在从事 VR/AR 相关的工作，占全部员工比例近 20%。 Reality Labs 旨在通过对科技的创新打造出下一代人与人的连接的方式：在游戏，工作，教育等多个方面改变人们的生活，帮助人们进入元宇宙。

2021 年 7 月，Facebook 正式宣布，将组建一个专门开发“元宇宙”的产品团队，隶属于 Reality Labs。公司高管 Andrew Bosworth 担任元宇宙团队的牵头人，团队主要成员包括 Instagram 产品副总裁 Vishal Shah，以及领导 Horizons VR 世界开发的 Facebook Gaming 副总裁 Vivek Sharma 和负责 Oculus 内容的高级主管 Jason Rubin，元宇宙团队的主要成员来自 VR 游戏团队、AR/VR 内容团队以及收购的 Unit2Games 团队。

4.1.2 前瞻布局 VR/AR 领域

Facebook 在 VR 硬件方面处于行业龙头地位，自 2014 年收购 Oculus 以来，持续加码 VR 生态。2016 年发布了第一代消费者版 VR 设备 Oculus Rift CV1，并持续更新迭代，一共推出了 5 代产品，据 IDC 数据，2021 年 Q1 的 VR 硬件市场，Oculus 系列产品占据了 75%的市场份额，其最新产品 Oculus Quest 2 因出色的性价比（起步价 299 美元）收到消费者喜爱，出货量高达 460 万台。通过硬件渗透率的提升，将带动用户数量、创作者数量的增加，以硬件促进软件和应用生态的完善。

图 4- 2：Oculus Quest 2 销售数量可观

Facebook 布局新一代 MR 设备 Project Cambria，与 Quest 系列兼容但是一套全新的、带来更好体验的硬件产品，通过混合现实技术，包括面部和眼动追踪的功能帮助用户获得更好的社交临场感，从而将现实世界更好的呈现在头显中，带来更逼真的感知体验。

2021 年 11 月 16 日 Reality Lab 发布了触感手套的最新研究进展，可以让使用者在 VR 世界中再现抓握物体或用手在表面上滑动等感觉，通过在软制动器(actuators)和微流体的新兴领域(分别用于假肢和 PoC 诊断设备的技术)的突破性进展，提高 VR 世界中抓握物体的舒适度和使用感。这是 Facebook 元宇宙大图的另一重要部分，将视觉、声音和触觉融合在一起，使增强的数字世界更加逼真。而通过在 XR 领域的研发推进，Facebook 在元宇宙领域逐步形成领先的技术优势。

图 4- 3：使用触感手套在数字空间中感受虚拟物品并与之互动

4.1.3 积极推广数字货币 Diem

经济系统是元宇宙内各项活动顺利开展的基石。2019 年 6 月 Facebook 发布 Libra 数字货币白皮书，初衷是建立一套简单的、无国界的货币和为数十亿人服务的金融基础设施，在安全稳定的开源区块链基础上创建一种稳定的货币。2020 年 Libra 正式更名为 Diem，Diem 作为稳定币是一种与美元或欧元等法定货币挂钩的加密货币。Diem 项目运行在自己的区块链上，具有流动储备资产（现金、现金等价物、超短期国债）的完全支撑。目前 Diem 协会会员由 26 家公司和非盈利组织构成，包括 Shopify、Uber、Spotify 等具有大量支付场景的公司。

4.1.4 拓宽元宇宙内容生态

Facebook 近两年收购 6 家 VR 公司和游戏工作室，不断丰富 VR 场景的内容制作能力，打造基于 VR 硬件终端的系列社交应用，包括提供虚拟居家场景的 Horizon Home，虚拟远程会议和办公的 Horizon Workrooms，以及具有用户自主创作功能的游戏社交平台 Horizon Worlds，让虚拟现实中的社交参与度更富有深度和广度。

Horizon Workrooms 于 2021 年 8 月推出，重新定义了“办公空间”，提供一种虚拟现实混合体验，用户可以在 Workrooms 中的各类虚拟白板上表达自己的想法，并且可以将自己的办公桌、电脑和键盘等带进 VR 世界中并用它们进行办公。Workrooms 提供各类办公场景和陈设，用户可以根据需求选择不同的会议室和办公室。

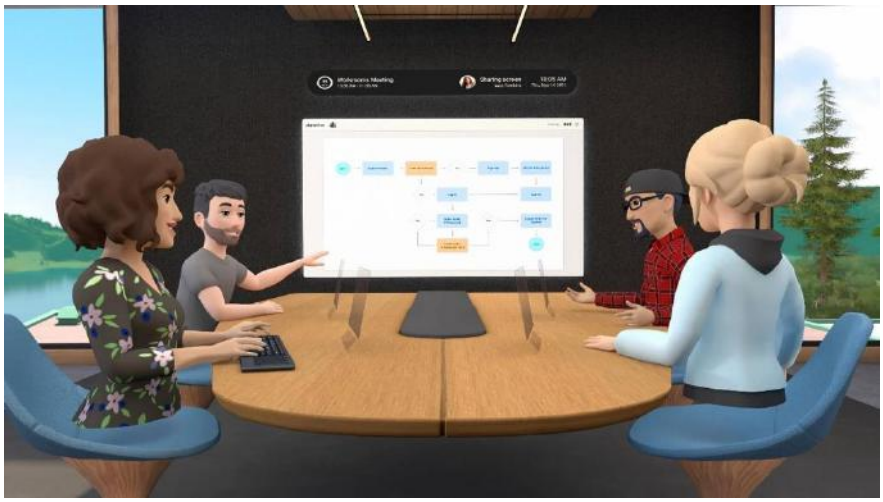


图 4- 4：Horizon Workroom 会议场景

随着硬件和软件的全面更新优化，未来必然会迎来应用场景的大幅扩建。Facebook 依托自身 Facebook、Instagram 等约 30 亿用户的社交网络体系，在元宇宙生态方面拥有天然的用户基数优势，为元宇宙内容、应用的试验与创新提供了孵化温床。此外，Facebook 通过底层技术研发开发工具及平台，以 Spark AR、Presence Platform、Pytorch 等赋能内容创作，联手创作者共同实现元宇宙的宏大愿景。

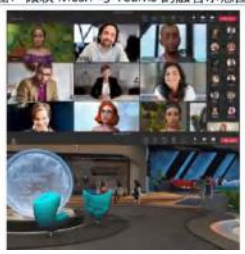
4.2 微软：以企业元宇宙为重点切入

随着社交网络巨头 Facebook 将品牌更名为 Meta，以推动为消费者和企业构建元宇宙的计划。微软也不甘示弱，决然加入了元宇宙大战。

4.2.1 办公与游戏并重

微软元宇宙布局主要体现在办公和游戏行业。比如，要在其协作办公软件 Teams 内部建立虚拟世界，利用 3D 化的卡通人物造型，通过语音、体感等智能技术，降低会议的疲劳度，使人们彼此能够更真切沟通；Xbox 等游戏平台游戏如《我的世界》、《模拟飞行》等已经在一定程度上接近元宇宙。与 Meta 的元宇宙愿景不同，微软不是要自己控制元宇宙，而是希望将不同的元宇宙连接起来。

图：微软 Mesh 与 Teams 的融合示意图



图：微软的VR产品HoloLens 2 及应用场景示意图

图：Xbox 游戏《我的世界》Windows 10 版本界面

图 4- 5：微软元宇宙典型产品及应用

4.2.2 微软眼中的元宇宙

在微软看来，元宇宙的本质在于构建一个与现实世界持久、稳定连接的数字世界，元宇宙将让物理世界中的人、物、场等要素与数字世界共享经验。比如，在企业加速数字化转型的过程中，元宇宙可以让人们在数字环境中会面，借助数字替身以及更有创意的协作方式，让人们从世界的各个角落，更加自如地彼此交流沟通。

元宇宙是“智能云和智能边缘的巅峰之作”。微软首席执行官萨蒂亚·纳德拉(Satya Nadella)今年夏天在微软 Microsoft Inspire 大会上发表主旨演讲时表示：“企业元宇宙将物联网、数字双胞胎、混合现实结合在一起。有了我们的元宇宙堆栈，你可以从数字双胞胎开始，为任何物理或逻辑的东西建立丰富的数字模型，无论是资产、产品，还是跨越人、地点、事物及其互动的复杂环境。这些数字双胞胎被实时绑定到物理世界，因此你可以监控环境，并使用混合现实在其中进行协作。你可以运行仿真，可以应用 AI 来分析和预测未来的状态。”

4.2.3 技术与产品支撑

微软为驱动元宇宙提供了所需的各种技术和产品支撑，已经形成从数据预测与模拟、历史数据追踪分析、建模与检测及同步现实世界等能力进行突破的技术栈，涉及 IoT、数字孪生、混合现实等技术领域，以及在人工智能的帮助下，以自然语言进行交互，并用于视觉处理的机器学习模型等技术储备；主要产品包括 Microsoft HoloLens、Microsoft Mesh、Power Platform、Azure 等。

微软在 AR 领域成熟产品当属 HoloLens2，售价 3500 美元,相比于市面上虚拟现实相关产品（Meta 公司 2020 年推出的 Oculus Quest 2 售价仅 299 美元），微软 HoloLens 的缺点在于价格偏高。HoloLens 2 搭载了高通公司的骁龙 850 处理器以及第二代定制的全息照相处理单元。HoloLens 2 带有 6DoF 跟踪，空间映射和混合现实捕足功能，还支持实时眼动追踪（两个红外摄像机），语音命令，Windows Hello。微软将其设计为适合配戴近视眼镜，因此用户无需将眼镜摘下来即可使用 HoloLens。一次充电即可使用 2-3 小时，并且支持 USB-PD 快速充电。

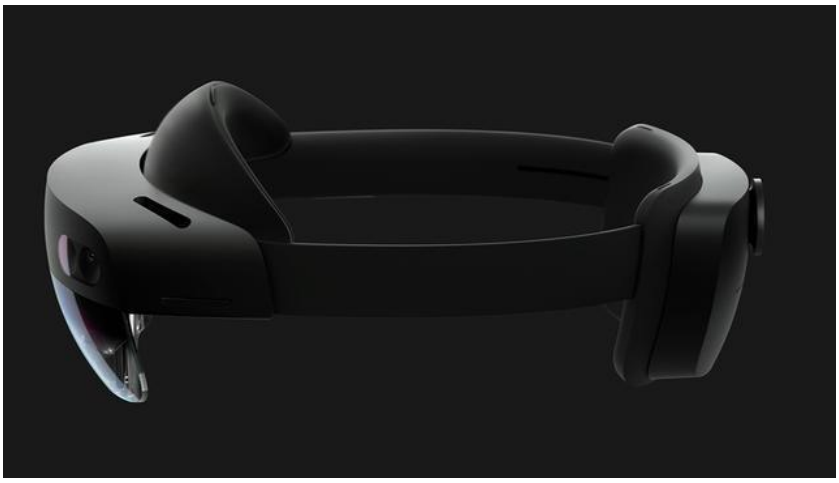


图 4- 6：微软 HoloLens 2

微软表示，明年将把虚拟体验协作平台 Mesh 直接植入到 Teams 中，将不同元宇宙无缝粘合起来。微软将元宇宙的重心放在未来的工作领域。微软 Mesh 给用户的感觉始终就像是 Teams 会议的未来，通过加入 3D 化的卡通人物造型，可通过语音、体感等智能技术，对正在开会人的语音、体态等进行合成展示，给人一种身临其境的感觉。微软正在努力让会议更具互动性，比如共同模式(Together Mode)和其他实验。

图 4- 7：微软虚拟会议场景

微软将使用人工智能（AI）来聆听用户的声音，通过 3D 采集设备对用户的姿态表情进行识别，然后通过 3D 的形式将用户的声音、体态、表情等通过虚拟的卡通动画形式展示出来。通过这种会议形式，可以很大程度消除人的会议疲劳，从而提升会议效率。在这个场景中，我们可以看到微软在元宇宙的布局，更倾向于存在感、肢体语言、眼神交流和反应等通过虚拟技术呈现出来，这些都是直接影响人类切身体验核心要素。微软的核心是想构造沉浸式虚拟空间，提高人类在其中的参与度、体验感，人们不仅可以在里面进行高效会议，还可以进行沉浸式联网游戏和社交，甚至可以使用微软应用程序进行项目上的协同合作。

微软甚至增加了对翻译和转录的支持，所以用户可以在虚拟 Teams 空间里与来自世界各地的同事见面，语言障碍更少。微软 Mesh 首席产品经理凯蒂·凯利(Katie Kelly)表示：“微软 Teams 有望在 2022 年上半年开始使用这些虚拟空间和虚拟头像。我们的目标是到明年上半年，你将能够进入身临其境的虚拟空间，

然后能够协作和使用微软的工具。”

4.2.4 办公领域案例及未来

企业将可以在 Teams 内部建立自己的虚拟空间或元宇宙。Kipman 和他的团队花了数年时间与埃森哲共同打造支持 Mesh 的沉浸式空间。埃森哲拥有超过 60 万名员工，为全球客户提供服务。疫情爆发之前，埃森哲就建立了一个虚拟园区，来自任何地方的员工都可以聚集在这里喝咖啡、听讲座、参加聚会和其他活动。疫情爆发后，沉浸式空间的重要作用便突显出来：帮助新员工入职。这个充满未来感和游乐园般的沉浸式空间有一个中央会议室、一个虚拟会议室和一辆可承载新员工四处参观的单轨列车。在这空间中，高层领导可以通过经验分享使得新人快速了解企业文化，位后面项目合作打下基础。这时虚拟空间的主要作为是拉近人与人的距离，提高彼此相互信任与同理心，提高人们的交流与协作效率。企业人员甚至在虚拟空间中，可以直接进行应用程序使用如制作 PPT 等。

图 4- 8：微软虚拟空间中与应用程序交互

元宇宙的定义以及它包含的内容因使用对象不同而存在较大差异，但竞争正变得越来越激烈。除了预想的企业用例之外，基于消费的模型也可能是微软的元宇宙目标。Teams 拥有近 2.5 亿月活跃用户，即使很少的用户使用元宇宙技术，这对该公司来说也是值得的，因为首先产品的认可需要逐步渗透的，其次随着运营和趋势的发展，用户对产品认可和接受程度的提升，那么代表未来发展趋势的 Teams 相信付出的努力不会白费的。

4.3 腾讯：以社交为核心切入

腾讯是国内最能从元宇宙概念受益的互联网公司，目前的布局恰好切中了早期元宇宙发展阶段的重点。从底层技术例如游戏开发引擎 UE、云服务、大数据中心，到中层的各类型内容产品和成熟的社交网络互通生态，再到上层组织管理对 PCG 部门的战略调整，腾讯都可以说具备了布局元宇宙的优越条件。同时，腾讯对外投资的布局涉及到了互联网虚拟世界的方方面面，包括电商、陌生人社交、直播、本地生活等等。

4.3.1 元宇宙是腾讯的大布局战略之一

2019 年 2 月，Roblox 与腾讯共同出资成立了一家合营公司“罗布”，Roblox 持股 51%，腾讯持股 49%，并计划上线中国版的 Roblox 平台“罗布乐思”。Roblox 主要提供“罗布乐思”底层技术开发、平台内容，腾讯则负责中国地区的发行营销等。彼时该合营公司主要推进游戏开发生态的培养，向中国青少年传授编码基础、游戏设计等技能，举行高校游戏创意比赛等，扶持优秀的开发者和作品。2020 年初，Roblox 完成了 1.5 亿美元的 G 轮融资，腾讯参投。

通过两年的开发者生态培育，2020 年 12 月，中国版 Roblox 平台“罗布乐思”获得了版号，并已经在 2021 年 7 月 13 日正式上线，游戏上线第一天冲入 iOS 游戏免费榜第一名， 第二天排名第三。

平台内部游戏基本是 Roblox 的“国服”版本，做了本地化的移植开发，可选择游戏类型较多，但大部分为低龄向的模拟经营、冒险、休闲社交等。玩家可以在平台商店购买物品装扮角色，也可以在游戏内购买道具；平台通用的虚拟货币“罗宝”与人民币的兑换为 1 元=10“罗宝”，大量购买能有折扣。目前平台尚未开放创作 UGC 内容的 Studio，并且玩家之间也不能使用“罗宝”交易。

腾讯代理发行的《罗布乐思》，在定位上是集体验、开发于一体的多人在线 3D 创意社区、让用户能够尽情创作内容，并在虚拟社区中与伙伴一同体验交流，共同成长。而字节投资的代码乾坤的主要作品《重启世界》，将创造内容、娱乐体验、社交互动融为一体，是一个青少年创造、娱乐、社交平台。

《罗布乐思》在今年 7 月登陆国内，一个多月后，字节投资的《重启世界》8 月 24 日上线，免费游戏榜最高达到第 20 名。

无论是定位还是发行时间，双方都十分巧合。但实际上，这巧合的背后，则是在行业称之为“元宇宙元年”的 2021 年，早做打算。

元宇宙最吸引人的一点在于它把现实世界运行逻辑引入了数字世界，通过社交互动，让大家感受到了一种介于现实和虚幻之间的特殊体验，而游戏作为一个载体，能够高度还原一个接近现实的虚拟场景。字节和腾讯都相中这类游戏的原因，也正是因为此。

除此外，这类游戏中所提供的游戏都是由其用户所制作。在《罗布乐思》内，乐趣不仅来自玩游戏，还源于做游戏。许多游戏的开发都与 Roblox 公司无关，全都由平台用户开发而成。目前，罗布乐思的官网骄傲地表示，其用户已经创作了超过两千万款游戏。

除了游戏外，社交同样是一个重要的角力场。腾讯投资的 Soul，就是主打“年轻人的社交元宇宙”的标签，按照其定义，用户通过完成 30 秒的“灵魂鉴定”就能找到与自己兴趣相投的同龄人，自由表达和认知世界，建立属于自己的“社交元宇宙”。

此外，腾讯自研的“厘米秀”，实际上也可以看做是一个低配版的社交元宇宙，目前已经应用到 QQ 上，作为用户之间虚拟社交的一个方式。从目前来看，腾讯和字节在元宇宙的交锋上，仍处于各自发展和筹谋的一个阶段。

4.3.2 腾讯布局的逻辑

腾讯和字节相继投入到元宇宙赛道中，其背后的逻辑并不完全相同。腾讯一向以嗅觉敏锐著称，马化腾在内部刊物《三观》中写到：“一个令人兴奋的机会正在到来，移动互联网十年发展，即将迎来下一波升级，我们称之为全真互联网。”

有行业人认为，全真互联网是元宇宙的最终形态，入局元宇宙，可以拿到通往下一个互联网时代的船票。对于已经拥有游戏和社交两大王牌的腾讯，自然不想错过。但从目前的情况看，腾讯仍然还是以投资的方式去试探这一全新的领域，有点像当年先投资拳头公司，最后再进行收购。字节恰恰相反，为了追赶腾讯，选择了收购到自研的 All in 打法。

腾讯在社交、游戏和影业直播等领域的多年布局，使其形成了相对完整的版图。国外媒体曾制作过“Tencent’s Metaverse”(腾讯元宇宙)完整产业图。这其中不仅有英雄联盟等游戏，也有拼多多、美团等电商购物平台。

腾讯的元宇宙布局虽然全面，但在最体现“元宇宙”概念的领域，还略微差点意思。所以腾讯积极收购那些比较纯粹的“元宇宙企业”。

比如，在 2020 年 2 月 Roblox 1.5 亿美元 G 轮融资中，腾讯就已经参投，并独家代理 Roblox 中国区产品发行。更早之前，腾讯收购 Epic 40% 股份。旗下拥有《堡垒之夜》等游戏的 Epic 公司， 在 4 月份获得 10 亿美金融资，主要用于开发元宇宙。甚至还曾与字节竞价 VR 公司 Pico 的收购，只是最终未能如愿。

腾讯 21Q1 业绩会上宣布开启新一轮 投资周期，游戏方面包括加大对“跨平台、长生命周期”的游戏大作的投资和对“元宇宙”的投资。“元宇宙”早期形态是 UGC 游戏+社交， 终极形态是现实世界的完全映射。我们参考 Roblox 发展的成功经验，腾讯的业务布局恰好切中了早期元宇宙发展阶段的重点，即社交+游戏+内容。另外，腾讯的云服务、金融支付和广告业务等各业务方面都有望获益。

未来中国游戏市场的发展方向主要有：1）具备更广玩家基础和更长生命周期的高质量、创新性、跨平台游戏；2）元宇宙；3）游戏出海。

4.3.3 腾讯布局元宇宙的优势

在“资本+流量”战略的指引下，腾讯专注于收购而非自然创新，以全面布局元宇宙。2011 年起，总裁刘炽平及首席策略官 James Mitchell 的带领下，腾讯建立并执行“资本+流量”的全新发展战略——吸引公司在其拥有巨大流量的平台上建设，投资赢家、给他们更多的流量，增加投资或收购赢家，产生更多的流量，吸引更多的公司。目前，腾讯在底层架构、后端基建及内容与场景这三大组件方向上均着力布局。

底层架构：腾讯没有直接布局 XR 硬件，但是通过投资 Epic Games、Snap 占据 VR/AR 生态的有利地位——Unreal Engine 帮助渲染虚拟世界、Snap 协助打造镜像世界。

后端基建：To C 端，腾讯打造全周期云游戏行业解决方案，为用户提供全链路云游戏平台与生态。To B 端，腾讯云布局全场景 IDC 能力，目标是做新基建的“基建”。

内容与场景：腾讯在社交(微信+QQ)、游戏(全球最大游戏公司)、娱乐内容等领域的优势地位稳固。腾讯在智慧零售与企业服务的布局也逐步深化。

Roblox 的 CEO Baszucki 认为："在元宇宙内，首先，用户需要有一个虚拟身份的形象，可以是摇滚明星或时尚模特。同时你还可以在元宇宙里社交，这必须是'具有沉浸感'的。通过低延迟的链接，你可以随时到任何时间、任何地点。大量差异化的内容支撑着人们长期的兴趣，安全而稳定的经济系统，确保人们可以在元宇宙里生活。"

这段诠释是目前对于现阶段元宇宙定义最为透彻的一段话，简单来说，就是用户能够在虚拟世界享受到现实生活中的快感，相当于是在虚拟世界中复制一个现实世界，包括电商、新消费等消费场景。

有行业人认为，元宇宙的最终目标也许是，"自己都无法分辨是在模拟世界还是现实世界"。发展元宇宙是一个循序渐进的过程，其中也会有不同的内容和形式。

在人、云、算力、时延等方面上，现有的技术并不足以去支持元宇宙的实现。一位腾讯的架构师向 Tech 星球表示，"现在的 VR、AR、MR，在某种程度上希望去解决虚拟世界"展示"给我们的问题。先不说效果如何，这个接口的也只能提供视觉和听觉信息。虽然视觉和听觉为我们提供了大部分信息量，但其它感知能力，触觉，嗅觉，味觉也是在虚拟世界能让我们有真实感的关键。如何让我们的手和身体能够感受到虚拟世界里的物体，似乎是个无解的问题。"

另外，在"算力需求"这一侧，不同用户也有着差别。例如，在元宇宙中，用户只和身边的小范围世界交互，但如果当他拿起望远镜，又或者是坐着宇宙飞船探索宇宙怎么办？所以，每个用户的算力需求变化很大。

而时延也是一大问题，从接收到用户的输入到给用户输出其周围的世界，不能有可察觉的时延。

综合上述可以看出，Metaverse 基础设计的要求，既要有"行星级"算力，还要有巨大的弹性和很小的时延。目前的技术演进并不是那么容易解决。

其他还有考虑如何降低成本，如何培养人才，未来平台的数字货币如何发行，如何打破各大平台之间独立的生态，都将会是今后需要解决的问题。

以现在的技术背景，元宇宙仍然处于一个萌芽的阶段，无论是腾讯还是字节，现在的布局都是在为元宇宙的建设打下底层基础，但作为下一个十年的船票，多方之间的激烈竞争在所难免。

4.3.4 腾讯对早期元宇宙的影响

早期元宇宙的核心是“社交+内容+娱乐”。基于元宇宙的变现方式，不仅腾讯游戏业务将受益，广告业务和其他内容业务都有望受益，以及基于元宇宙对底层技术的要求，腾讯的云服务、金融支付等也将获得发展。

元宇宙能利用腾讯强大的社交网络，通过 UGC 游戏模式变现。游戏内容方面，腾讯通过 “罗布乐思”平台在游戏 UGC 上占据先发优势。基于庞大的用户群体，积极产出内容，内容丰富达到一定程度后，平台投入迅速降低但收益持续增加。

元宇宙能够为腾讯提供更多的广告库存。我们测算朋友圈广告库存尚有 1 倍的空间。2020 年朋友圈日活 7.8 亿，朋友圈人均单日浏览动态条数在 80 条左右，广告实际平均加载个数为 2.5 个/天/人。我们预计 2020 年朋友圈广告规模在 400 亿元，CPM 在 56 元。假设 2025 年朋友圈广告的最大加载个数能达到 8 个/天/人，CPM60 元，广告实际平均加载个数达到 4.0 个/天/人，则朋友圈广告规模能达到 701 亿元，年化 12%的增速。我们认为元宇宙能够为腾讯广告创造更多的库存位，打开广告增长的空间上限。

腾讯云技术和金融科技是元宇宙发展的底层引擎。云服务方面，由于腾讯长期在游戏、社交平台、支付等领域的用户流量和产品积累，腾讯云计算目前在消费互联网和金融领域具备较大优势。未来腾讯云的潜力将主要集中在 SaaS 领域，同时也将作为腾讯在底层技术上的重要战略布局，支撑上层各项互联网业务的发展，包括“元宇宙”概念方向。

金融科技方面，对标支付宝，微信凭借自身流量基础与生态构建，微信支付日均支付笔数已领先支付宝，随着腾讯金融业务产品线的不断完善，有望稳健缩小差距迎头赶上。理财、

小额贷款等高利润业务也将在信用体系的逐步搭建下贡献更多收益。“元宇宙”概念的重点之一就是数字经济文明，腾讯的金融科技业务具备构建虚拟货币体系的想象空间。

4.4 字节跳动：内容运营体系为引领

字节跳动已经建立起庞大的内容运营体系，这一点与元宇宙的内容生产较为

类似。但这些内容目前都是基于文本、视频、声音的，基于元宇宙的概念，将信息的呈现从二维升级成三维，让用户在虚拟世界中体验信息带来的真实感，身临其境，是字节跳动在元宇宙大战中要做的事情。

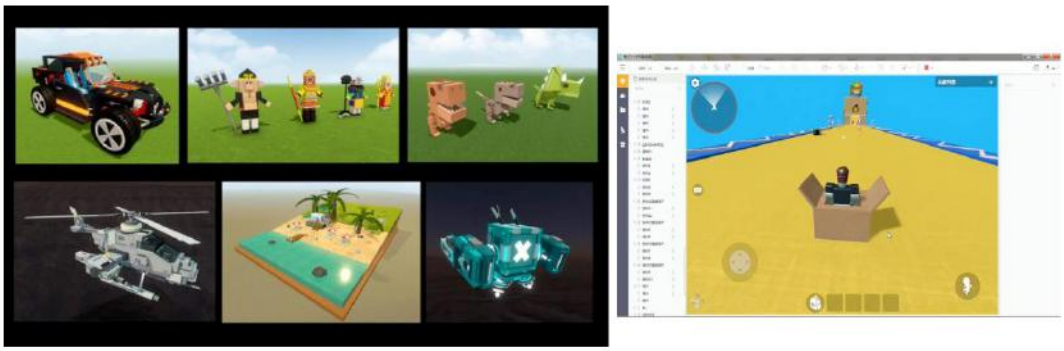
4.4.1 内容运营的元宇宙

字节跳动想要凭借自身的社交、内容、全球化优势，将 Tiktok、飞书（Lark）应用到下一代颠覆手机的终端设备中，去构建属于自己的“元宇宙”。

4.4.2 技术与产品支撑

字节跳动也在积极探索元宇宙所需要的技术储备，在自然语言处理、机器学习、计算机图形学和增强现实、安全与隐私、计算机视觉、数据挖掘、系统与网络、语音与音频等技术领域做持续技术积累、创新。除了在技术上积极探索外，投资收购元宇宙基础设施公司也是不遗余力。

2021 年 4 月，投资代码乾坤，代码乾坤成立于 2018 年，公司产品有青少年创造和社交 UGC 平台《重启世界》。《重启世界》被外界称为“游戏界抖音”。据公开信息介绍，《重启世界》基于代码乾坤自主研发的互动物理引擎技术系统而开发，由具备高自由度的创造平台及高参与度的年轻人社交平台两部分组成，致力于满足用户的游戏娱乐体验。在游戏中，玩家可以使用多种基础模块，或变形或拼接制作样式各异的角色、物品及场景，而组装好的素材可以获得与真实世界相似的物理特性。这些技术正是字节跳动在构建自己内容运营元宇宙所需要的。



资料来源：《重启世界》　　资料来源：,AppStore

图 4- 9:《重启世界》游戏场景

2021 年 11 月，投资众趣科技，众趣科技是一家 VR 数字孪生（数字孪生指的是通过数据手段模拟克隆一定范围内的物理世界中的物体）云服务商，专门做

3D 实景重建，可以通过用一个普通的第三方全景相机拍摄，云端搭建 3D 空间模型，为字节跳动提供最基本的空间数据，为其打造自己的“元宇宙”提供最基础设施。

2021 年 8 月底，字节跳动以溢价近 9 倍、15 亿美元的价格收购 VR 软硬件制造商 Pico。Pico 现已囊括 349 项已授权专利，范围涵盖图像、声学、光学、硬件与结构设计、操作系统底层优化、空间定位与动作追踪等 VR 核心技术领域。Pico 也有 650+已受理的专利。字节跳动曾对外表示，收购 Pico 后将支持其在 VR/AR 领域的长期投资，吸纳 Pico 的软件、硬件以及人才和专业知识的优势，并逐步深化在元宇宙领域的长期投资。

对于字节跳动收购 Pico 对行业带来的影响，海比研究院的资深研究员李进宝认为，字节跳动的互联网基因和社交属性（尤其是抖音）与元宇宙非常契合。借此优势再结合 Pico 的硬件优势，通过软件应用推动硬件的发展，硬件的迭代升级可以使更多的应用程序功能成为可能。推动虚拟现实软硬件相互促进发展，打通硬件、软件、内容、应用和服务的虚拟现实全产业链环节，有望打造具有竞争力的软硬一体的完整 VR/AR 生态系统甚至是最终的元宇宙生态。

字节跳动近期在海外（东南亚地区）上线了一款名为“Pixsoul”产品，主打 AI 捏脸功能。字节上线 Pixsoul 看中的是捏脸带来的社交可能性，这可能是字节跳动切入元宇宙赛道的另一种方式。从公开披露的产品细节来看，Pixsoul 目前提供两个高清特效，其中之一便是 Avatar（虚拟化身）。Avatar 能将用户的照片转变为相应的 3D 形象，也可塑造成电子游戏中的虚拟角色。

图 4- 10：字节跳动 Pixsoul 产品

4.4.3 字节跳动的元宇宙愿景

随着元宇宙大战愈演愈烈，字节跳动发挥自身流量、内容运营优势，逐步打造自身基于内容运营的“元宇宙”。除了积极发挥自身内容精准推送的技术优势外，也在积极投资、部署元宇宙所需要的数据基础设施和硬件设施。在收购 Pico 之后，字节跳动已打通设备-内容-平台的生态闭环，未来有望复制成为中国版的“Facebook 并购 Oculus”，字节跳动在元宇宙领域的积极部署和尝试、切入，足见其打造符合自身需求元宇宙的决心。

本章由张瑾、潘通、陈红、刘强起草，由龚才春修改。

参考文献

[1] 许英博，陈俊云.元宇宙的未来猜想和投资机遇[R].中信证券.2021.11
[2] 陈梦竹，尹芮.元宇宙专题——未来的未来[R].国海证券.2021.11
[3] 汪阳，李想.元宇宙的行业布局思考[R].安信国际.2021.12

第 5 章 各国元宇宙的政策与现状

元宇宙风起云涌，成为 2021 年最炽手可热的术语。元宇宙相关的每一个新闻都会迅速成为人们的谈资。各国也在积极备战元宇宙赛道，纷纷出台了相关政策。本章整理了各国与元宇宙相关的政策，以及元宇宙的发展现状，供我国未来制定相关政策提供参考。

中国对待新事物，特别是科技新事物向来宽容，愿意提供一定的便利和空间，让新事物自由生长。如果新事物有利于国计民生，那么后续的支持力度会加大；

如果新事物披着华丽外衣却干着违法勾当，中国会逐步取缔。对于最近热议的元宇宙，《人民日报》称：是镜花水月还是触摸得到的未来，是资本炒作还是新的赛道，是新瓶装旧酒还是科技新突破，下结论前不妨“让子弹飞一会儿”[1]。

5.1 美国的政策与现状

美国政府对于元宇宙仍处于观望状态，尚未提出明确的元宇宙建设纲要性文件和官方表态，其对数据安全的担忧及产业巨头垄断风险的警惕暂时占据上风。美国的监管机构重点关注数据安全和隐私保护问题。毕竟在元宇宙中，不论是用户直接提供的，还是间接产生的信息数据，如生物特征、位置和银行信息、消费习惯、游戏习惯等，都属于数据安全和隐私保护的范畴。

为了遏制数据滥用和隐私泄露，美国的监管机构采取了执法行动，2018 年美国联邦贸易委员会(Federal Trade Commission)对 Facebook 的消费者数据泄露行为处以 50 亿美元的罚款，并对这个社交媒体平台实施了更严格的隐私限制。监管部门的重拳出击让互联公司不得不更加谨慎地对待用户数据。

2021 年 10 月，美国两党参议员提出《政府对人工智能数据的所有权和监督法案》，要求对联邦人工智能系统所涉及的数据特别是面部识别数据进行监管，并要求联邦政府建立人工智能工作组，以确保政府承包商能够负责任地使用人工智能技术所收集的生物识别数据。这一新规体现出美国国会对于基于数据与身份识别的数字化渗透持谨慎态度，元宇宙同样基于类似技术理念。

另一方面，美国企业持续推动美国政府加强对元宇宙的认知，以塑造有利的竞争和创新环境，让美国相关产业在全球脱颖而出。Meta 等科技巨头正积极与美国政策制定者、学者、合作伙伴和专家洽谈，以帮助其以“负责任”的方式来构建元宇宙版图，并试图与各方为元宇宙虚拟世界创建标准和协议，塑造科技巨头对于新兴互联网形态的自我监管模式。美国政府与业界间的博弈短期内难见分晓。

5.2 欧洲的政策与现状

欧洲对元宇宙持高度谨慎态度。欧盟《人工智能法案》、“平台到业务”监管法规、《数字服务法案》《数字市场法案》等立法说明了监管机构在处理元宇宙时

可能采取的立场和倾向，包括增加透明度、尊重用户选择权、严格保护隐私、限制一些高风险应用。这些立法预示着欧盟更关注元宇宙的监管和规则问题，试图在治理和规则上占据先发优势，进而保护欧洲内部市场。

欧洲缺乏互联网基因，没有大型的原生态互联网公司，其市场基本都被美国互联网巨头占领。欧洲的诉求是加强互联网企业的监管，防范数字龙头企业利用垄断地位扼杀竞争活力，反感美国科技巨头在欧洲赚取巨额利润却仅缴纳微薄税款。

2020 年 12 月，欧盟委员会公布了《数字服务法》和《数字市场法》两项法律的草案，这两项法案共同为包括社交媒体、在线市场和其他在线平台在内的所有数字服务提出了一套新规则。它们旨在促进整个集团的竞争，同时保护用户免受他们在网上可能遇到的许多伤害。

在元宇宙时代，预计欧盟将继续推动对虚拟世界的监管，维护欧盟市场的竞争与活力。

5.3 日本的政策与现状

日本寻求扶持元宇宙相关产业，建立新型国家优势。日本经济产业省于 2021 年 7 月发布《关于虚拟空间行业未来可能性与课题的调查报告》，将元宇宙定义为“在一个特定的虚拟空间内，各领域的生产者向消费者提供各种服务和内容”。报告认为，该行业应将用户群体扩大到一般消费者，应降低 VR 设备价格以及 VR 体验门槛，并开发高质量的 VR 内容留住用户；政府应着重防范和解决“虚拟空间”内法律问题，并对跨国、跨平台业务法律适用等加以完善；政府应与业内人士制定行业标准和指导方针，并向全球输出此类规范。这些建议体现了日本政府对元宇宙行业布局的思考，即通过现有的发展成果尽可能在民众范围内推广元宇宙理念，同时通过指导与政策制定来规范元宇宙的建设[3]。

日本的元宇宙市场的构建正在加速。日本的加密资产（虚拟货币）兑换平台 FXCOIN 等在 2021 年 12 月中旬成立元宇宙的业界团体，业界团体名称为“一般社团法人日本元宇宙协会”。相关团体将与金融厅等行政机关相互配合，启动市场构建，力争使日本成为元宇宙发达国家。除了 FXCOIN 和 CoinBest 等日本的虚拟货币兑换平台之外，涉足电子钱包业务的 Ginco 等也将参加。还将呼吁其他互

联网金融公司和游戏公司等加入。

日本将成立的元宇宙协会除了研究世界动向之外，还希望加深与行政机构的沟通，为方便日本企业在元宇宙市场展开活动而铺平道路。例如，日本的《民法》只承认实物的所有权，因此除了如何处理虚拟物的所有权等法律问题之外，还将梳理位于元宇宙的虚拟土地被变为非同质代币（NFT）、虚拟货币被用于相关支付之际能否在虚拟货币兑换平台以外完成等与金融的接触点[5]。

5.4 韩国的政策与现状

5.4.1 率先成立元宇宙协会

在全球范围内，韩国政府对元宇宙反应最快，率先已经成立了元宇宙协会。2021 年 5 月 18 日，韩国信息通讯产业振兴院联合 25 个机构（韩国电子通信研究院、韩国移动产业联合会等）和企业（LG、KBS 等）成立“元宇宙联盟”，旨在通过政府和企业的合作，在民间主导下构建元宇宙生态系统，在现实和虚拟的多个领域实现开放型元宇宙平台。随着韩国政府大力推动元宇宙相关项目，如今该联盟已经包括了 500 多家公司和机构，包括三星，KT（韩国电信巨头）。

公司和行业团体在此联盟中将共同分享元宇宙趋势和技术，并组成一个与元宇宙市场相关的道德和文化问题的咨询小组。该联盟还将承担联合元宇宙开发项目。韩国科学和信息通信技术部表示将向该联盟提供支持，特别是在帮助公司建立开放的元宇宙平台方面[4]。

5.4.2 产业政策扶持元宇宙

在产业政策上，韩国政府希望在元宇宙产业中发挥主导作用。2020 年年底，韩国科技部公布了一份《沉浸式经济发展策略》（Immersive Economy Development Strategy），目标是将韩国打造为全球五大 XR 经济国家。在 2021 年 7 月韩国公布的《Digital New Deal 2.0》中，也能看到元宇宙与大数据、人工智能、区块链等并列为发展 5G 产业的重点项目。韩国数字新政推出数字内容产业培育支援计划，共投资 2024 亿韩元（11.6 亿元），其中 XR 内容开发、数字内容开发和 XR 产业基础共支援 760 亿韩元。

2021 年 8 月 31 日，在韩国财政部发布总共 604.4 万亿韩元（3.23 万亿人民

币）2022 年预算中，政府计划拨出 9.3 万亿韩元（人民币 516 亿元）用于加速数字转型和培育数字经济产业。其中，计划斥资 2000 万美元（1.28 亿人民币）用于元宇宙平台开发，并斥资 2600 万美元（1.66 亿人民币）开发有关数字安全的区块链技术。

5.4.3 首尔政府实践元宇宙平台

2021 年 11 月 3 日，首尔市市长吴世勋提出首尔愿景 2030（The Seoul Vision 2030）计划，它旨在使首尔成为一个共存的城市、全球领导者、安全的城市和未来的情感城市。为期五年的元宇宙首尔基本计划是其中打造未来城市愿景的一部分，该计划旨在改善公民之间的社会流动性并提高首尔市的全球竞争力。目前，首尔计划为该项目投资 39 亿韩元（约 2100 万元人民币）。

根据该计划，首尔的元宇宙生态系统主要分三个阶段进行，分别是引入（2022 年）、扩张（2023-2024 年）、定居（2025-2026 年）。

首尔计划在 2022 年第一阶段建立名为元宇宙首尔的高性能平台，并在经济、教育和旅游等领域提供服务，在年底前完成该平台的创建向公众展示。在未来，首尔市政府还会将元宇宙平台应用扩展到市政管理的所有领域，以提高政府官员的工作效率。

吴世勋市长在接受采访时曾说，如果这个项目成为现实，那么首尔市民很快就可以戴上他们的 VR 设备，与市政府官员会面进行虚拟咨询。同样的，市政府也可以参加群众活动。

根据为期五年的“元宇宙首尔基本计划（Basic Plan for Metaverse Seoul）”，元宇宙平台暂定名为“元宇宙首尔（Metaverse Seoul）”，将于 2022 年年底建成。放眼全球，首尔市政府是第一个制定全面的中长期元宇宙政策计划的地方政府。根据计划，首尔市政府将陆续在元宇宙平台上提供各种商业支持设施和服务，包括虚拟市长办公室、首尔金融科技实验室、首尔投资和首尔校园城等。

该计划中，搭建的元宇宙所提供的服务将涵盖包括经济、教育、旅游、通信、城市、行政和基础设施这 7 个基础领域。首尔市政府也专门制定了提供公共服务的政策，以通过使用先进技术开发的元宇宙平台，克服现实世界中时空限制和语言障碍等问题。

在经济领域中，首尔将在元宇宙中设立首尔金融科技实验室。其目的是在虚

拟世界中提供经济领域的相关服务。首尔金融科技实验室将在元宇宙中帮助企业吸引外国投资，虚拟人物将为外国投资者提供咨询及一站式服务。

此外，谷歌为创业者设立的首尔创业营 Campus Town 中的创业公司培育业务将在元宇宙平台中进行，包括数字内容创作培训和社交活动等。

在元宇宙中最活跃的教育领域方面，首尔市政府将设立首尔开放城市大学（Seoul Open City University）的虚拟校园。首尔市政府运营的在线教育平台 Seoul Learn，将为青少年提供各种沉浸式内容，例如讲座、导师计划和招聘会等服务。

在旅游观光方面，首尔将建设旅游景点，如光华门广场、德寿宫和南大门市场等将成为元宇宙首尔虚拟旅游的特殊区域。根据首尔市政府的介绍，游客可以乘坐城市观光巴士在元宇宙中游览。首尔的代表性节日和展览，如首尔鼓节和首尔灯节，因疫情原因无法开展，未来可以作为 3D 沉浸式内容在元宇宙平台中举行。

再来则是公共服务，如民诉、咨询、公共设施预订等。以上这些服务也将在元宇宙中提供，为市民提供更便捷的服务，这也将提高首尔整体的数字城市水平。首尔市政府未来还将在市政厅创建一个元宇宙版本的市长办公室，并将其作为政府与居民之间的开放式沟通渠道。

首尔也计划利用虚拟现实、增强现实和扩展现实相结合的技术升级城市管理。为弱势群体提供众多服务以确保他们的安全和便利，包括使用扩展现实设备为残疾人提供安全和便利的服务。

最后则是首尔将引入元宇宙会议来举办不同的活动，并将其作为沟通渠道。首尔还将利用最先进的技术开发基于元宇宙的远程工作环境。首尔市政府表示，将在虚拟空间中推出智能办公室。虚拟形象的公职人员提供咨询服务将成为现实。

首尔市元宇宙生态系统的构建目的是扩大对公共城市服务的访问。首尔将通过公共需求与私人技术的结合，开创一个名为“元宇宙首尔”的新大陆，让首尔成为一个智能、包容的城市。

5.5 中国各方的观点

元宇宙是一个新事物，中国政府目前并没有官方的明确政策。中国对待新事

物，尤其是科技新事物向来较为宽容，愿意提供一定的便利和空间，让新事物先自由生长。

5.5.1 我国对于科技新事物较为宽容

如果新事物有利于国计民生，那么政府后续的支持力度会加大。例如，2000 年代电子商务刚刚出现的时候，中国在很多方面为电子商务的发展提供便利，例如减免电子商务的税收等。随着电子商务的发展，事实证明电子商务确实利国利民，有利于国计民生，有利于就业、有利于创业。于是，中国为电子商务的发展提供更多便利，并于 2019 年通过了《电子商务法》。

如果所谓的新事物披着华丽外衣却干着违法勾当，中国政府会将其逐步取缔。例如，互联网金融在 2013 年左右刚刚兴起的时候，中国政府对其寄予厚望，将互联网金融看作是解决中小企业融资难、融资贵的一个有效途径，将互联网金融看作是金融创新，甚至李克强总理在 2013 年、2014 年、2015 年、2016 年、2017 年的政府工作报告中，多次提到互联网金融的重要性。但是随着互联网金融平台（P2P 平台）的不断倒逼，人们逐渐发现所谓的互联网金融，所谓的 P2P 平台，无非就是民间融资、民间集资的网络翻版，甚至沦落为金融传销、击鼓传花的庞氏骗局、非法融资、非法集资、集资诈骗，通过网络的加持放大，其危害性更大。P2P 严重影响我国的金融安全，造成了大量的金融难民，产生了很大的社会不稳定因素，于是 2020 年我国开始对 P2P 平台叫停清退。

5.5.2 防止恶意炒作

即便是简单的炒作概念，我国也一般不会一概否定。新事物刚刚出现的时候，一般来说是不够完美的，多多少少有些缺点，新生事物的发展，需要一个过程。一些概念本身开始的时候不够清晰，甚至没有太多实用价值，但是这些概念本身就是一道“石头汤”，吸引大量的资本、技术融入其中，产生一些有价值的东西。例如“云计算”，“云计算”刚刚出现的时候，很多人质疑：这不就是分布式计算吗？但是随着资本、技术的加持，“云计算”得以迅猛发展，目前已经完全脱离分布式计算的范畴，有了自身独立的技术体系、应用场景。

但是应该警惕的是，无良资本的投机和恶意炒作，很容易造成严重的金融风险，产生大量的社会不稳定因素。例如：很多人炒作比特币等虚拟货币，发行大

量无成本的空气币（如：马勒戈币、嫩模币等），高价卖出牟利，甚至私自建设大量的虚拟货币炒作平台，模仿股票 IPO 进行虚拟货币的 ICO，坑害了大量的投资者。这不是投资，这是披着大数据、云计算、人工智能外衣的网络赌博、网络诈骗、旁氏骗局、金融传销，让很多家庭倾家荡产，造成社会动荡隐患，应该坚决封杀。

勿庸置疑，或许大量嗜血的无良资本，早已紧紧盯上了元宇宙概念，认为元宇宙有炒作价值，认为元宇宙是资本炒作新的风口，所以各路资本不遗余力的为元宇宙大力宣传，开始传统而简单的炒作套路：大量资本进入→宣传造势→吸引更多的资本进入→水涨船高→抽身退出，赚的盆满钵满时即落袋为安。

5.5.3 人民日报的评论

2021 年 11 月 17 日，《人民日报》发表评论《万物皆可“元宇宙”？》。文章提到如下观点：

关于元宇宙的讨论仍在继续，有人充满乐观与向往，也有不少怀疑的声音。是镜花水月还是触摸得到的未来，是资本炒作还是新的赛道，是新瓶装旧酒还是科技新突破，下结论前不妨“让子弹飞一会儿”。不过可以明确的是，一些新概念承载着人们对技术发展的信心，以及对未来美好生活的期待。推动新概念及其产业逐步走向成熟需要时间，通向令人神往的科技未来需要脚踏实地、打好发展地基。正如不论虚拟现实、增强现实还是混合现实，中心词都是“现实”，这也预示着离开了现实的支撑，终归是海市蜃楼无本之木。“基础不牢地动山摇”，这样的道理不论在真实宇宙还是元宇宙，应该都是适用的。

5.5.4 中纪委对元宇宙的评论

2021 年 12 月 23 日，中纪委网站发表文章《深度关注：元宇宙如何改写人类社会生活》，提到如下观点：

世界上没有称为“元宇宙”的单一技术，元宇宙是现有各种技术的组合和升级，可以理解为“3D 版的互联网”。

扩展现实技术由 VR 和 AR 提供沉浸式的体验，可以解决手机解决不了的问题。数字孪生技术，能够把现实世界镜像到虚拟世界里面去，这意味着在元宇宙里面，人们可以看到自己的虚拟分身。随着元宇宙进一步发展，对整个现实社会

的模拟程度加强，用区块链技术搭建经济体系后，人们在元宇宙里也许不仅仅是花钱，也有可能赚钱。

元宇宙作为新兴事物，仍是一个不断发展、演变的概念，不同参与者以自己的方式不断丰富着它的含义。

所以，不要狭隘地将元宇宙理解为一个社交游戏平台，如果它能将我们的现实世界更加 3D 化、立体化，效率将会得到大大的提升，拉近人与人之间的距离。”孔蓉表示，极致沉浸的交互体验能带给人们远超 2D 时代的体验，生活、工业、社会、科技迭代将大大提升效率，人力成本、资源成本、时间成本、交易成本等也有望降低。

理性看待元宇宙带来的新一轮技术革命和对社会的影响，不低估 5-10 年的机会，也不高估 1-2 年的演进变化。

目前部分公司炒作元宇宙概念与真实的元宇宙有较大差异，需要去伪存真、谨慎判断。在业界看来，元宇宙较长一段时间内都将成为下一代互联网发展的目标，这有赖于底层技术和算力层面出现的核心技术突破、技术演进与变化。

5.6 各地政府的元宇宙相关政策

虽然我国目前还没有国家层级的元宇宙政策出台，但是许多地方政策已经出台元宇宙相关的扶持政策。

5.6.1 上海市相关政策

《上海市电子信息产业发展“十四五”规划》提到：加强元宇宙底层核心技术基础能力的前瞻研发，推进深化感知交互的新型终端研制和系统化的虚拟内容建设，探索行业应用。

新一代信息技术融合应用，围绕人工智能+大数据、云计算+边缘计算、5G+扩展现实、区块链+量子技术、云边端协同、数字孪生+数据中台等方面，推进技术协同攻关、标准规范制定和平台建设、应用创新等。

5.6.2 “十四五”数字经济发展规划

《“十四五”数字经济发展规划》指出：创新发展“云生活”服务，深化人工智能、虚拟现实、8K 高清视频等技术的融合，拓展社交、购物、娱乐、展览等

领域的应用，促进生活消费品质升级。

5.6.3 《金融科技发展规划（2022-2025 年)》

《金融科技发展规划（2022-2025 年)》提出：搭建多元融通的服务渠道。以线下为基础，依托 5G 高带宽、低延时特性将增强现实（AR)、混合现实（MR）等视觉技术与银行场景深度融合，推动实体网点向多模态、沉浸式、交互型智慧网点升级。

5.6.4 2022 年武汉市政府工作报告

《2022 年武汉市政府工作报告》中提出：武汉要加快壮大数字产业，推动元宇宙、大数据、云计算、区块链、地理空间信息、量子科技等与实体经济融合，建设国家新一代人工智能创新发展试验区，打造小米科技园等 5 个数字经济产业园。

5.6.5 2022 年合肥市政府工作报告

《2022 年合肥市政府工作报告》提到：未来五年，合肥将前瞻布局未来产业，瞄准元宇宙、超导技术、精准医疗等前沿领域，打造一批领航企业、尖端技术、高端产品，用未来产业赢得城市未来。

5.6.6 无锡市滨湖区：《太湖湾科创带引领区元宇宙生态产业发展规划》

《太湖湾科创带引领区元宇宙生态产业发展规划》明确，要注重空间布局和产业推进相结合，整体规划、系统推进产业集聚、人才引育、生态发展和应用场景等工作；注重应用引领和场景驱动相融合，围绕滨湖区产业发展需求和智慧城市建设的新场景，发挥试点示范作用，推动元宇宙技术在多领域深度应用；注重协同发展和一体发展相整合，推动元宇宙产业上下游各环节、各主体协同发展，加快元宇宙与集成电路、区块链、人工智能、云计算等技术融合创新发展。

到 2025 年，滨湖将通过元宇宙生态产业集聚发展、关键技术创新发展、专利标准引领发展、应用示范跃迁发展、专业人才梯次发展等手段，打造成长三角元宇宙技术创新高地、生态产业发展高峰、人才集聚高原，基本形成技术引领、企业集聚、示范应用、标准完备的元宇宙产业生态，成为国内元宇宙产业发展的典范，打造元宇宙的“滨湖名片”。

5.6.7 《关于加快北京城市副中心元宇宙创新引领发展的八条措施》

《关于加快北京城市副中心元宇宙创新引领发展的八条措施》提出：对在元宇宙应用创新中心新注册并租赁自用办公场地的重点企业进行 50%、70%、100%三档补贴；在内容设计上，突出元宇宙与文化旅游融合发展的特色；在产业空间上，规划“1 个创新中心+N 个特色主题园区”的元宇宙产业空间布局；在应用场景上，瞄准数字赋能、文化科技融合领域，“打造实数融合的文旅新场景”，为企业提供技术展示创造空间。

本章由晏中林、龚才春起草，由龚才春修改。

参考文献

[1] 人民日报，万物皆可“元宇宙”？2021.11.17.

[2] 中纪委网站，深度关注：元宇宙如何改写人类社会生活.2021.12.23.

[3] 韩亚峰、李峥：《元宇宙愿景背后的机遇与风险》，新华社客户端，https://baijiahao.baidu.com/s?id=1717541133424464918&wfr=spider&for=pc，2021 年 12 月 27 日。

[4] 大文：《国会态度逆转，美国需要什么样的加密市场监管框架？》，https://www.tmtpost.com/5930648.html，2021 年 12 月 9 日。

[5] 焦娟：《全球视角下的元宇宙竞争——中美日韩元宇宙发展与布局各有千秋》，安信证券研究报告。

第三篇：技术篇

元宇宙是人工智能、区块链、大数据、5G、云计算、物联网、数字孪生等技术达到一定奇点后的产物，元宇宙是各技术的集大成者。元宇宙的成功，势必离不开这些技术的进一步成熟和商业化。

本篇分析元宇宙依赖的各项核心技术，分析技术之间的关系，分析各技术未来的发展趋势等。

第 6 章　元宇宙体系架构

在国际标准组织、开源组织引领下，诸多科研机构、技术供应商、商业资本、以及领先国家的合力推动下，新一代 ICT 技术群（包括 5G 泛在网、边缘计算、物联网、高密度集成电路、云计算、大数据、人工智能、区块链、数字孪生、XR、量子计算、智能终端等）已成为全球广泛共识的通用技术体系。各类私有的、无法达成国际共识的技术，将无法获得全球应用的机会。

本章从如何构建“元宇宙”的复杂巨系统方法角度，对元宇宙的技术架构进行分析和说明。平台构建所需各类技术将后续分章节具体介绍。

6.1 元宇宙体系参考模型

基于现有互联网要构建起完整统一的三维虚拟世界，并能够模拟自然环境规律、人类社会基本规则，元宇宙形态才可以基本成形。

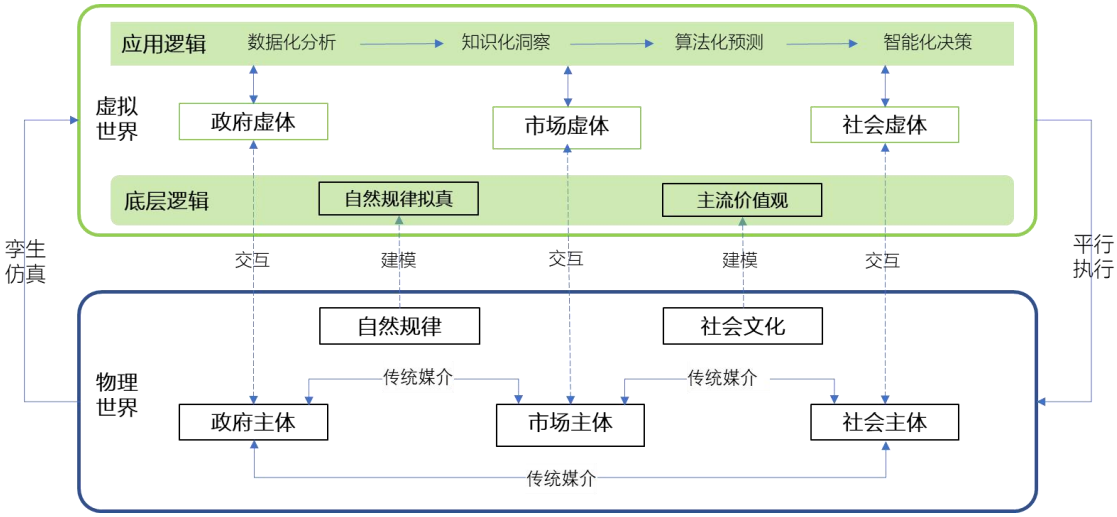


图 6-1：元宇宙体系参考模型

数字孪生构筑的虚拟世界，是对物理世界的孪生仿真，其中包括自然环境和人造环境的孪生仿真，也包括人类社会主体及其行为（政府主体、市场主体、社会主体）的孪生仿真。回看物理世界的传统媒介（包括互联网），仅是离散碎片化的信息传递和简单交互，而孪生地球将可实现时空统一的拟真世界，充分体现“媒介与社会的一体同构”的传媒理念。

孪生媒介的“底层逻辑”设定，是对自然规律及社会文化的拟真实现。自然

规律的拟真，可完全拟真地球上的自然规律，也可提供突破自然限制的“道具”；社会文化的拟真，则以基本仿真模型为手段表达社会治理、法律规范、道德伦理等社会基本规则，而坚守主流价值观的底线，则是其最基本也是最重要的要求。

底层逻辑是上层应用的基础和约束。孪生媒介应用，均可共享孪生媒介基础平台的各类共享服务能力和资源，也可借助孪生媒介实现数据化描述、知识化洞察、算法化预测、智能化决策。孪生应用产生的决策执行作用于虚拟世界的对象，同时也平行执行作用于物理世界的实体对象。

6.2 元宇宙系统互操作性

元宇宙不可能由一家企业或机构建成，也不可能由一个平台统一支撑。不同的元宇宙系统及应用间要实现互联互通互操作，需要建立在大量的标准规范基础之上。要实现全球范围“孪生地球”的互操作，就必须达成全球范围共识的国际标准体系。

互操作可分为基础时、设计时、进行时三类。基础时互操作是指终端层、网络层的接口规范、网络协议、OS+SDK 规范、交互指令及访问协议等与硬件相关的标准规范。设计时互操作要求有关文件格式、数据结构、语言语法、表现形式等静态的标准规范。进行时互操作在基础时、设计时基础上还需要更多的服务过程（注册、发现、组合、调用）和应用过程（应用发现、应用使用、应用穿梭）等相关体系规范。

元宇宙是在现有互联网基础之上发展而来，现阶段在网络层（TCP/IP/5G 等）、数据层（OpenGIS/IFC/IFD 等）、平台层（ISO/IEC 17788 等）有良好的标准规范基础，但应用层(HTML/WebGL 等)、终端层（OpenXR 等）处于快速发展变化过程中，有部分规范标准建设成果，但将有巨大的更新、发展空间。

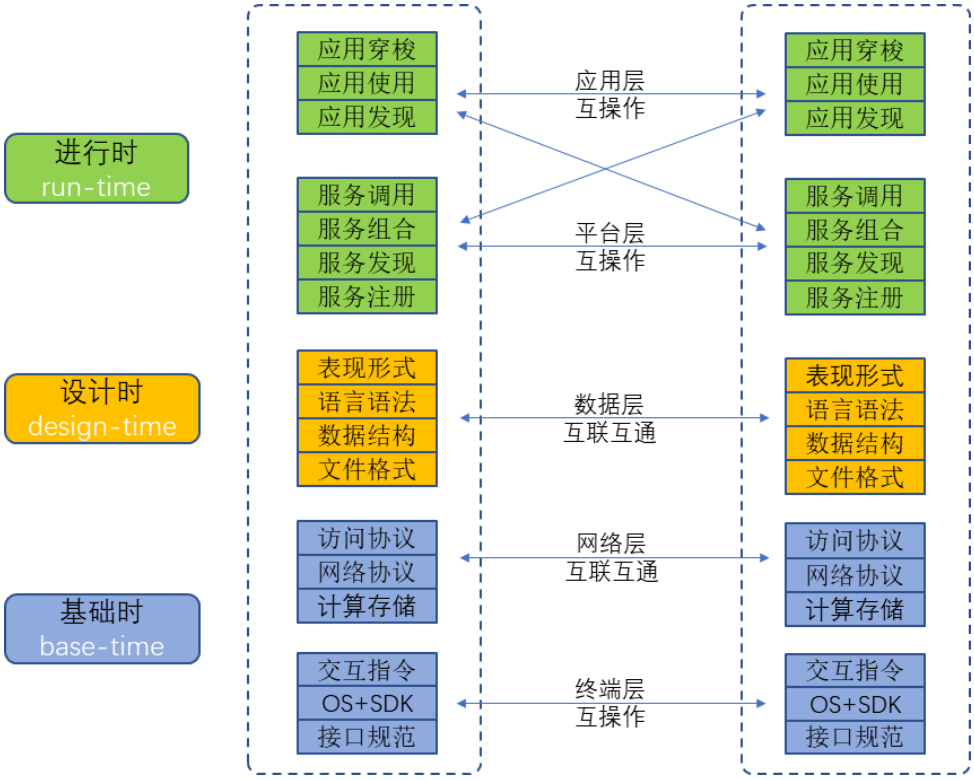


图 6-2：元宇宙系统互操作性

6.3 元宇宙应用行为逻辑

从图文媒介、视听媒介发展到网络媒介，电子化、数字化、网络化技术一波波叠加提升了社会信息生产和传播能力，从而引发了信息大爆炸。这带给个人的是信息过载、面对海量信息的麻木和无措。为了解决用户有效获取信息的问题，信息组织方式必须不断演进。图书出版物丰富之后，产生了图书情报和档案管理的编目、文献检索方法；广播电视节目越来越多之后，线性频道演化出电子节目指南 EPG，进而演变出可访问海量点播节目库的分级菜单；互联网通过 HTML 协议将数十亿的 Web page、Video、Game、APP 关联起来。

“元宇宙”构建的虚拟世界，本质是新一代的传播媒介—孪生媒介。元宇宙对信息的组织方式要求更加直观可视化，易于语义理解，利于逻辑推理，便于自然交互式沟通。过往离散碎片化的信息，将更大程度上趋向形成一致的知识图谱。过往以平面展现和功能实现为主的应用，也将趋向更加人性化的 3D 孪生应用。过往许多割裂的、独立的业务系统，也将趋向于开放融合；孪生应用相互连接，形成平行世界的社会生态巨系统。

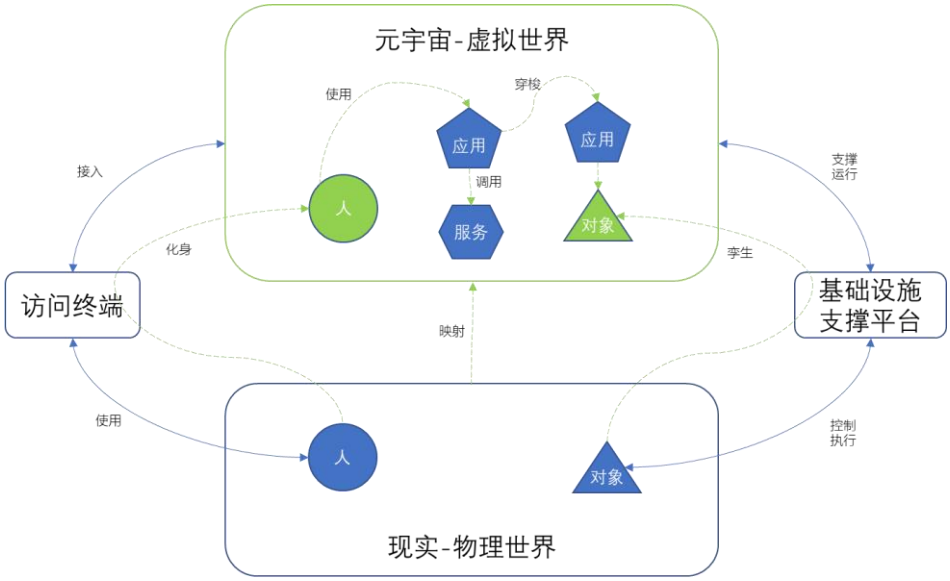


图 6-3：元宇宙应用行为逻辑

用户使用元宇宙中各类应用，需通过访问终端接入元宇宙虚拟世界，以自己的数字人为虚拟化身代理自己在元宇宙中进行各类操作行为。各类元宇宙应用均是 3D 交互形式的，应用间跳转通过瞬移、穿梭门等形式互相连通。元宇宙中各类对象的通常是现实物理世界中实在对象的孪生体。用户与虚拟对象交互，通过应用功能实现。复杂应用的部分功能可通过调用云平台的各类共性服务来实现。ICT 基础设施及支撑平台，为元宇宙的正常运行提供保障。物理对象通过 IoT 平台可驱动虚拟对象的行为及状态变化，用户在虚拟环境中对虚拟对象的操作，也可通过支撑平台作用传递给物理对象，实现虚实平行的控制执行。

元宇宙中虚构的游戏应用，现实世界中并没有孪生体，也不存在平行执行条件。仿真推演的孪生应用，如暂不进行平行执行，则可通过副本方式运行，待要正式执行时再启动平行执行机制。

6.4 元宇宙技术参考架构

本节给出的元宇宙技术参考架构，是元宇宙整体的参考架构。也可作为某个元宇宙平台、服务系统、应用系统的参考架构，帮助建设运营方找到自身在元宇宙整体中的位置，便于开展与相关部分的协同，并在遵循规范基础上实现互操作。

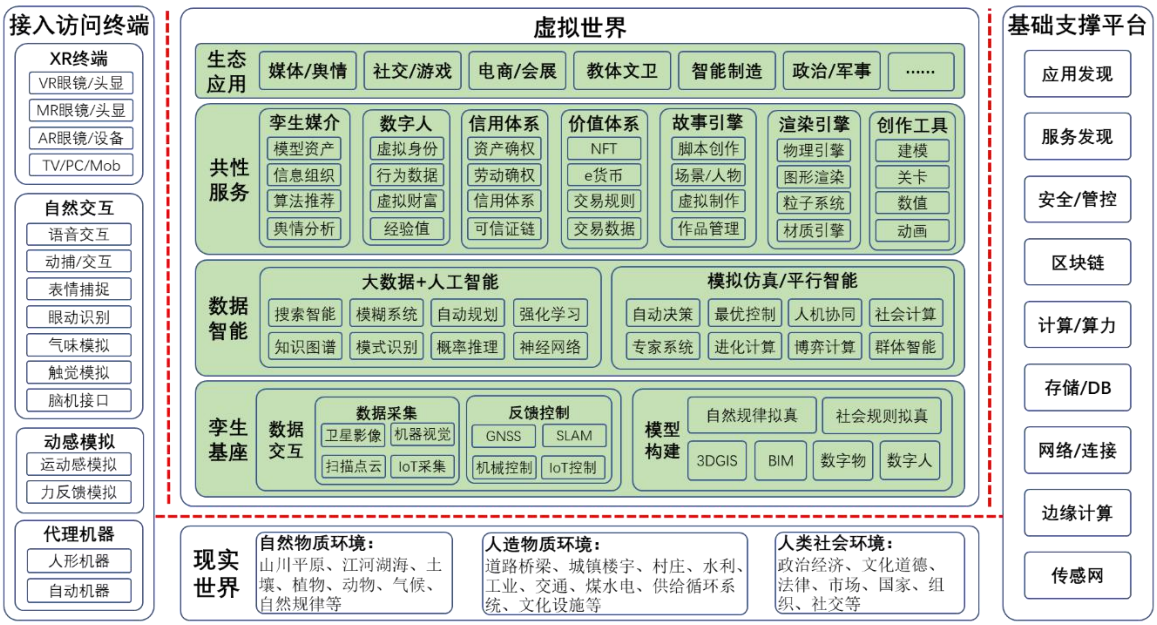


图 6-4：元宇宙技术参考架构

元宇宙技术参考架构的整体逻辑，与 7.3 元宇宙英勇行为逻辑保持一致性。可分为接入访问终端、现实世界、虚拟世界、基础支撑平台四大部分。真正意义上的的“孪生地”元宇宙，是指“虚拟世界”部分。下面对“虚拟世界”相关部分做重点介绍，其他部分做概要介绍。

6.4.1 现实世界

现实世界，是孪生地球元宇宙生成的物理原型基础，也是其作用的对象。真实的现实世界，可分为自然物质环境、人造物质环境、人类社会环境三部分。

（1）自然物质环境

指人们所生活的，肉眼可见可感知的自然物理世界，包括如山川平原、江河湖海、土壤、绿化、植被、动物、气候、自然规律等。

（2）人造物质环境

指人类以自然物质为材料人为改造形成的环境，包括如道路桥梁、城镇楼宇、村庄、水利、工业、交通、安防、煤水电、供给循环系统、文化设施等。

（3）人类社会环境

指人类社会运行所遵循的基本规则，包括政治经济（国际交流、国家治理等）、法律法规、文化道德、市场、金融、行业自律、社交等。

6.4.2 接入访问终端

用户需通过接入访问终端，才能进入元宇宙的虚拟世界。接入访问终端，需要为用户提供视、听、触、味、嗅全方位的感官沉浸体验，同时要提供更加自然的运动感、力反馈的自然交互方式，必要时还需提供代理机器作为物理身体的替代或延伸。接入访问终端包括 XR 终端、自然交互、动感模拟、及代理机器等。

（1）XR 终端

XR 终端主要指 VR\AR\MR 终端设备，也涵盖传统的 PC\TV\PAD\Phone\LED 屏等终端产品。随着元宇宙生态应用的丰富，VR\AR\MR 终端渗透率会日渐增高，成为主流的新一代消费级个人计算平台。

（2）自然交互

自然交互是指摆脱键盘鼠标，通过语音、动作等更加自然方式获得视听触味嗅感官信息的交互方式。具体可分为语音交互、动捕交互、表情捕捉、眼动跟踪、气味模拟、触觉模拟、脑机接口（BMI）等。

（3）动感模拟

动感模拟，是 VR 模拟仿真应用创新的重要支撑技术，为 VR 用户在虚拟环境中的快速运动提供位移感知，乃至全方位移动感知的模拟体验。运动感模拟，可通过电缸驱动搭建 2Dof\3Dof\6DoF 动感平台来模拟运动位移感觉。操作力反馈，可通过力传感器来测量或模拟三维力矩带给人的肌肉感知；

（4）代理机器

代理机器，可以是人形服务机器人，仿生机器人，也包括工业机器人。代理机器主要用途是作为人的物理替身去完成特定任务。人形机器人形象拟人亲切，

用户接受度高，可用于陪伴、服务、教育、娱乐等场景；仿生机器人，主要是模仿各类生物，替代人去完成人无法完成的任务，如模拟飞鸟、四足动物、昆虫、鱼类等的代理机器；工业机器人主要用户生产线，替代工人更加高效、准确的流水线作业。如需基于数字孪生进行管理控制，代理机器的行为数据可以同步到元宇宙中的数字代理人，并驱动数字代理人的行为。

6.4.3 基础支撑平台

元宇宙 3D 时空互联网，与当下的 2D 互联网类似，是新一代 ICT 技术的综合性应用，但要求将更加苛刻。IoT 传感网、边缘计算、5G 泛在网、云存储/DB、云计算/算力、区块链、信息安全、以及服务发现、应用发现等都是元宇宙技术体系所必需的基础支撑技术。随着 ICT 技术的创新和进步，元宇宙的基础支撑平台技术也将同步演进。

元宇宙支撑平台，必然将成为数字经济发展的重要载体。作为定位面向全国、全球的公有云平台，从建设之初就应考虑公有云的架构及布局。元宇宙支撑平台的规划建设必须摆脱小而全、定制化项目的旧模式，走标准化、规模化的云平台之路。

元宇宙应用，涉及大量图形渲染、AI 计算、内容分发等需求，且对端到端访问带宽、时延的要求较目前的网络直播、短视频等应用会更高，采用“云+网+边+端”协同的平台架构，才可有效保障用户体验。元宇宙应用可充分发挥 5G 泛在网的优势，必将成为 5G 及后续 6G 的关键应用。

6.4.4 孪生基座

元宇宙孪生基座层，主要实现现实物理世界 1:1 模型复刻的孪生虚拟场景，构建起虚实平行的孪生地球新时空。

（1）数据采集

通过卫星影像、机器视觉、扫描点云、IoT 采集等方式获得丰富的数据源。采集的地形物貌、建筑等数据经处理形成 3D 基础图层；标示信息、可移动物、人员活动、社会活动等数据分主题经处理形成要素图层。

机器视觉，是采用 AI 技术对图形图像基于模式识别进行自动化分析、处理

的智能技术。IHS 的研究显示，2021 年全世界将有超 10 亿支监控摄像头，其中超过 50% 的镜头部署在中国，中国平均 2.7 人有一台摄影机。公共场所的监控视频数据，可基于 AI 算法进行实时 3D 视频建模，这将有效补充孪生媒介中社会活动实时数据的不足。

（2）反馈控制

数据交互，包括 3D 场景数据、IoT 感知数据、以及社会活动数据的采集与反向控制。基于 IoT 感知网建立起物理世界与数字世界的孪生关系。

即时定位与地图构建（SLAM），用户机器对当前空间进行实时的高精度识别和 3D 建模，是机器视觉的一种应用。机器视觉技术，可对图形图像做深入的 AI 理解并形成语义，支持更高的智能化应用需求。

空间计算，这里指对地理空间（室外）、室内空间大规模信息进行计算、分析、应用的技术。通常来说，涉及到 3DGIS、BIM\CIM、LBS 应用等广泛领域。

全球导航卫星系统（GNSS）之前大家最熟悉的是美国的 GPS，2020 年 7 月中国北斗系统（BDS）正式开通全球卫星导航服务。北斗系统可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务，并且具备短报文通信能力，已经初步具备区域导航、定位和授时能力，定位精度为分米、厘米级别，测速精度 0.2 米/秒，授时精度 10 纳秒。

室内定位技术：过去利用 WIFI、蓝牙、RFID、红外、UWB、超声波、可见光等技术进行室内定位，由于需专门布网，成本较高。5G 的 R16 标准定义了端到端定位系统框架，使得 5G 网络具备室内空间的带内定位能力，也可与其他定位技术融合实现更高精度的定位。

平行执行的反馈控制，还有机械控制、IoT 控制等方式，实现对物理世界中对象的执行操作。

（3）模型构建

模型构建，包括基于 3DGIS 引擎的场景模型构建、整合及渲染，包括自然规律拟真模型的构建及维护，也包括主流价值观底层逻辑的模型构建及维护。

3D 场景模型构建，是实现孪生媒介的呈现“介质”和交互界面，类似于图文媒介的纸张，视听媒介的屏幕，网络媒介的 Web 页面。

孪生媒介的基础是大规模的室外室内 3D 场景模型。3D 场景数据可来源于卫星影像、矢量地图、倾斜摄影、全景拍摄、激光扫描等。这些海量数据可通过 3DGIS(3D Geographical Information Systems)引擎进行整合，处理，并面向 XR、TV、PC、Mob 等各类终端提供高效流畅的访问体验。之前的 3DGIS 行业应用注重实用功能，对视觉效果并不重视。孪生地球元宇宙由于其沉浸体验的特点，对 3DGIS 的视觉效果提出了更高的要求，需要更好的图形渲染技术。为降低孪生地球的场景数据计算量，需针对不同应用场景所需的模型精度制订分级规范，应用可根据需求加载相应精度的模型。要对上百平方公里的城市，乃至全国、全球的地形地貌进行高精度场景建模，过去是个耗资巨大，几乎不具备可行性的事。近年来随着 AI 技术的发展和算力的提升，只需具备一定规模的计算集群，通过汇集多源数据，基于 AI 算法即可自动高效建模，并可实现以天为单位的数据更新维护。这使得建设和长期运营“孪生地球”的实用可行性大大提高。

3DGIS 主要解决宏观场景的模型构建及管理。BIM 则可有效解决具体到每栋建筑内部结构的微观场景的模型构建及管理。

对数字人、单体化数字物体的建模，可采用激光扫描、照片 AI 建模、人工建模等方式生成。数字人模型，可采用动作捕捉及表情捕捉技术，有真人动作加以驱动，也可定义动作脚本自动驱动。

底层逻辑模型构建，是基于算法的规则实现。自然规律拟真，是在数字世界对自然规律拟真基础上的可控性改造。社会规则拟真，是人类社会记忆在孪生媒介“大脑”里的“进化性遗传和潜意识”。

6.4.5 数据智能

元宇宙的数据智能层，主要实现对采集数据的信息化治理形成语义化知识，进而实现基于孪生地球模型的各类仿真任务执行。

（1）大数据+人工智能

AI 技术核心是在大数据基础上的智能算法及数据处理应用。海量的数据、信息如不进行有效分析，并进一步形成语义理解基础上的知识网络，其价值无法得到有效利用。模式识别、神经网络、模糊系统、强化学习、知识图谱等一系列 AI 技术，将对海量信息处理、特定问题求解提供有效工具。

知识图谱，是对数据、信息的进一步语义化分析处理的结果，并且是一个持续优化的动态过程。利用知识图谱技术，可对过往离散碎片化的结构化、非结构化数据进行语义化处理形成统一的知识体系，这将对提供更加人性化的信息获取、自然人机交互提供坚实基础。知识图谱（Knowledge Graph），是应对信息量爆炸式增长的新一代语义网络、知识管理技术，是 AI 的重要基石及 AI 应用的重要驱动力。

模式识别，是用算法根据样本的特征进行分类的技术，在图像处理、机器视觉、自然语言处理（NLP）、动作交互、语音交互、舆情分析、行为分析等等领域都可应用。

概率推理，是根据不确定的信息作出决定时进行推理的方法。可结合专家先验知识，由已知变量信息来推导未知变量信息。

神经网络，是模仿动物神经网络行为特征进行并行处理的算法模型，依靠网络复杂程度，通过调整内部大量节点之间相互连接关系，从而达到信息处理目的。

模糊系统，从宏观出发，模仿人的综合推断来处理常规数学方法难以解决的模糊信息处理问题，使计算机应用得以扩大到人文、社会科学及复杂系统等领域，已广泛应用于自动控制、模式识别、人机对话、医疗诊断、地震预测、天气预报等方面。

自动规划，更注重于问题的求解步骤和过程，而不是求解结果。可用来监控问题求解过程，并能够在造成较大的危害之前发现差错。

强化学习，受行为主义心理学启发，通过学习反馈激励-更新模型参数的策略，以达成信息处理模型优化和最大化的目的。在推荐系统、人机交互系统、人机博弈游戏等领域得到广泛应用。

（2）模拟仿真/平行智能

仿真模拟，是对因果关系的推理活动，基于有效数据集和模拟算法，在 3D 场景的仿真验证机制，类似人脑对某个问题的综合分析的形象化思考。由于数据、算法都不可能一步到位，因此这是个反复推演的机制。这类仿真模拟是基于孪生地球“元宇宙”提供功能型、智能型服务的基本机制和方式。

专家系统，基于某领域专家知识与经验，进行推理和判断，模拟人类专家的

决策过程来处理该领域问题。基于多领域专家系统、多知识库，有利于解决复杂巨系统问题。

自动决策，又称知识自动化，将静态知识与活动流程相结合，形成更为复杂的知识，该知识已经调用即可自动执行决策任务。许多 PaaS 流程服务可看作知识自动化的应用。

进化计算，受生物进化自然选择和遗传信息传递规律的启发，基于全局性概率搜索算法，把要解决的问题看作环境，可能的多个解组成种群，通过自然演化和迭代寻求最优解。

最优控制，在给定约束条件下，寻求一个控制函数，使给定的系统性能指标通过自适应控制达到极大值(或极小值)。

群体智能，从蚂蚁、蜜蜂等社会性昆虫的群体行为得到启发，以去中心的分布式控制，在若干优化原则下实现群体的自组织性，不会因一个或有限几个个体出现故障而影响群体求解行为。

博弈计算，是指使博弈各方实现各自认为的最大效用，即实现各方对博弈结果的满意，使参与各方都不想改变自己的策略，从而达到相对均衡的状态。

人机协同，是指从定性到定量综合集成法，把专家体系、数据和信息体系有机结合起来，构成一个高度智能化的人机结合、人网结合的决策体系。

社会计算，广义而言是指面向社会科学的计算理论和方法，狭义而言是面向社会活动、社会过程、社会结构、社会组织及其作用和效应的计算理论和方法。社会活动及社交媒体传播具有混沌特性。用整体论而不是还原论来研究社会计算问题，以有效解决方案而不是确定性求解作为社会计算的追求目标。基于人工世界的“元宇宙”，使实验、观察、演绎、证伪等成为可能，可使社会计算和复杂系统理论“科学”化。

6.4.6 共性服务

元宇宙的共性服务层，可实现基于孪生地球元宇宙云平台的可充分共享、可重复使用的功能、组件、模型、资产、算法、工具、流程的规范化服务提供，支持各类孪生应用的敏捷开发和运行。

为了向上层应用提供便捷的服务/微服务管理支撑，需遵循全流程 DevOps。服务提供方，可以是平台运营方，也可是经认证的合作伙伴。符合规范的服务经

审核后可在孪生媒介云平台正式发布，如该服务得到诸多应用的使用，则服务提供方可获得相应收益。

（1）孪生媒介

孪生媒介，以孪生地球的虚拟环境及孪生体作为媒介的载体，为广大用户提供大众传播服务。可提供的共性服务有模型资产管理、信息组织发布、内容算法推荐、舆情商情分析等。孪生媒介服务不仅向媒体机构的媒体应用开放，也可向个人、公司、政府开放，让各类主体都有发布信息的权利，当然要在主流价值观的约束之下。

元宇宙中的孪生媒介无处不在，孪生媒介是一个重要的基础性服务。海量模型资产的管理，需要孪生基座的支持；组织信息并向任意指定孪生媒介位置做发布，需要创作工具的支持；根据用户个性化需求向其定向推荐匹配内容的算法，需要数据智能 AI 算法支持；针对性的舆情商情分析，需要大数据分析平台支持，而是否有违背社会规则、主流价值观的内容或行为，不能靠传统媒体的人工审核机制，而需要模型构建的底层逻辑支持。

（2）数字人

近年来，随着 XR 技术及应用的日趋成熟，Microsoft，Google、Facebook、Epic Games、Intel、Digital Domain，以及国内的华为、腾讯、百度、搜狗、魔珐等公司，都在虚拟数字人方面投入大量资源，以期实现更加逼真、易用的虚拟数字人产品。数字人可独立于虚拟环境及应用，成为一类重要的共性服务，向更多的第三方应用提供赋能。

数字人，业界也称作虚拟化身、AVATAR、虚拟角色、虚拟代理人，是指通过 3D 技术构建人体 3D 模型，可配备衣着等装饰，通过动作捕捉、表情捕捉等技术赋予其动作，通过真人声音或语音合成技术赋予其独特的声音，从而实现或高度逼真、或卡通风格的虚拟角色，用于影视制作，或虚拟社交、游戏等在线应用。

数字人，既可以是用户本人的虚拟化身（代理人），也可以是元宇宙中某个政府部门、商业机构对外提供服务的智能客服角色，甚至有可能是一个文明实践教育游戏中的一个 NPC 角色。这种人格化载体，将可为用户接受服务提供更加自

然的交互方式。

用户在使用数字人代理时，需要绑定自己的虚拟身份，在元宇宙中的行为数据将被记录，成为经验值积累的依据，也将与元宇宙信用体系相关联。用户在元宇宙中可以创造属于自己的虚拟财富，这些财富可由元宇宙信用体系加以确权，也可通过元宇宙价值体系，在现实世界中变现。

（3）信用体系

传统的信用体系，采用 AAA(身份认证、鉴权、计量)方式对用户（组织、法人、个人等）在系统中的权限进行确认，通过消费及行为数据的分析对其进行信用评级。目前每个平台或系统的信用系统，对某个特定主体的信用评价都是片面的。元宇宙的信用体系，将可基于全局数据做出更加全面的信用评估。元宇宙的信用体系，可基于区块链技术支撑，对用户的资产、劳动进行确权，无法被篡改，提供可信证链。

（4）价值体系

元宇宙价值体系，与信用体系有一定关联，同样可基于区块链技术支撑实现各类交易，交易物可包括各类资产、劳动、NFT 等。价值体系更为重要的是，要为元宇宙世界定义交易规则，发行 e 货币，建立起完整的经济、金融、市场、消费体系。元宇宙价值体系的建立，必然要考虑现实世界经济体系的关系。如何能够获得国家的认同，既能实现虚实经济体系的互通，又不至于扰乱现实世界经济秩序，被各国政府强行关闭。这个问题，到目前为止仍没有各方都满意的答案，因此仍存在不确定性。

（5）故事引擎

无论电影电视剧、游戏、剧本杀，还是只有 5 分钟的短视频，都需要有个剧本。元宇宙故事引擎，首先提供剧本创作辅助工具，并可与虚拟模型资产、数字人等服务能力打通，获得场景、人物资源，借助创作工具进行虚拟制作，并实现对创作作品的管理。

尤瓦尔·赫拉利在其《人类简史》中特别强调了人类“虚构故事“的重大意

义：“‘虚构’能力的重点不只在于让人类能够拥有想象，更重要的是可以‘一起’想象，编制出种种共同的虚构故事，不管是《圣经》的《创世纪》、澳大利亚原住民的‘梦世纪’，甚至现代所谓的国家其实也是种想象。这样的虚构故事赋予智人以前所未有的能力，让我们得以集结大批人力、灵活合作。”

《好莱坞的十大故事引擎》总结了房内怪物、组队寻宝、愿望成真、天降横祸、成长之路、终生伴侣、侦探解密、屌丝逆袭、挑战制度、超级英雄等 10 个好莱坞故事模式。传统视频是线性叙事，故事通常是一个结局。但新的交互视频的叙事，由于加入了多个故事分支，会带来不同经历，结局可以是同一个或多个。随着影视与游戏的合流，开放性叙事越来越受到高度关注，由于引入 NPC（固定脚本或 AI 驱动），故事交互性更强，玩家体验多了，但有可能失去主题聚焦。

元宇宙故事引擎，需综合考虑故事剧本的聚焦性、精彩性，与故事开放性、交互性的平衡，才能有效支持元宇宙时代的故事创作。

（6）渲染引擎

元宇宙渲染引擎，包括离线渲染引擎、实时渲染引擎、渲染流化引擎三类。离线渲染引擎，主要用户影视 CG、图片高品质渲染，随着渲染算力的提升以及实时渲染的快速发展，离线渲染引擎使用可能会减少。实时渲染引擎，主要用于游戏开发及运行，目前已越来越多被集成用于影视虚拟制作中，实现影视预演、CG 制作前置，有机会彻底改变传统影视制作流程。渲染流化引擎，主要用于支持云游戏的运行和使用，游戏运行在云端服务器，实时渲染画面以视频流方式推送到用户终端，用户操控指令上传到服务器并实现对游戏的实时控制。云游戏模式给低配终端用户一种玩大型高品质游戏的途径，将来可能会持续存在。

元宇宙渲染引擎，需要有材质引擎、物理引擎、动画引擎、粒子引擎、图形渲染（光线追踪、后处理）、声音渲染等核心功能。需要提供超低时延的实时渲染效率，以及更加易于使用的蓝图等功能。

（7）创作工具

不同的经济形态，由不同的生产力和生产关系所决定。人员组织及传播模式影响生产关系，生产工具则直接影响生产力。农业经济时期，以锄犁锹为工具，

辅助人力和畜力的生产力；工业经济时期，以机械设备为工具，以热力电力为生产力；数字经济时期，以云与计算为生产工具，以网络和算力为生产力。具体到文化传媒领域，图文媒介时期，以排版和印刷机器为生产工具；视听媒介时期，音视频拍摄用摄像机和编辑软件为生产工具；网络媒介时期，应用软件开发及内容处理以计算机和智能手机为主要生产工具；元宇宙时期，3D 建模及应用开发工具将成为主要内容生产工具。

元宇宙是一个开放的新时空，要允许更加自由、低门槛的 PGC\UGC 创作者共同参与建设。新的 3D 应用开发引擎及工具集，要在保障生产内容品质的前提下，尽量降低用户学习和使用成本。目前游戏影视制作领域的一系列工具，如 3DMAX\AE\U3D\UE5\MAYA\AVID\Premiere\Finalcut 等会继续被使用，但需要出现更加便捷易用的工具，以释放大众的生产力，就像目前流行的短视频和网络直播一样普及。元宇宙应用创作工具，需要有 3D 模型转换、3D 场景框架、UI 框架、XR 引擎、设计 Studio（包括场景设计、模型设计、数值系统设计、关卡交互设计、版本发布的 IDE 集成开发化境）等功能构成，并通常与实时渲染引擎密切配合使用。

随着内容制作全流程上云发展，XR(VRARMR)及孪生应用制作的需求，我国在内容生产工具领域有一次赶超的难得机遇。国内公司通过构建围绕元宇宙应用场景的 E2E 核心能力，包括实时渲染引擎等，将有机会推出面向全球的新型、高效的生产工具集，改变当下对国外工具的强依赖被动局面。

6.4.7 生态应用

元宇宙的生态应用层，必然要构建一个开放的应用生态，就像现实世界里一样，人是自主的主体，其行为有无限种可能，当然会受到底层逻辑的约束。

孪生应用的呈现终端可以是 XR 眼镜，也可后向兼容 TV、PC、Mob 等终端。孪生应用相比于之前，具备更大的信息容量、更丰富的信息组织形式、更人性化的交互体验。孪生应用可以直观访问“孪生地球”的方式作为入口形态，如类比现有概念，这将是个超级 APP，是个 3D 形态的新型门户或应用商店。元宇宙平台应提供尽可能低的孪生应用开发门槛，支持视频\游戏\APP\XR 应用创新，以形成平行世界丰富的孪生应用生态。

鉴于孪生地球元宇宙的全球视野尺度，必然导致门槛高垒，且孪生地球云平

台是构建平行世界智能社会的重要基础设施，国家有必要在肇始阶段就加强统筹及管控，这将大大降低出现过度商业化、过多版本并存的无序状态的可能性。通过国家特许经营方式，完全有条件形成统一时空的孪生地球元宇宙平台，打造统一、开放的孪生应用生态。

构建起全球用户认同并自愿加入的“孪生地球”元宇宙平台，将是实践“人类命运共同体”理念的有效工具。“孪生地球”的游戏规则建立，应以“人类命运共同体”愿景为出发，需充分考虑如何消除国家、民族之间的政治文化隔阂。全球能够参与“孪生地球”平台竞争的玩家仅有个位数，这将成为全球秩序治理的“水晶球”，成为人类文明与智慧聚合的共同精神家园。

具体的元宇宙生态应用包罗万象。不同类型的用户，可以是政府、社会组织、企业、军队，也可以是小组、个人，通过创作工具，充分利用共性服务和平台资源，都有机会创作出优秀的孪生应用，实现自我价值和社会价值。从应用服务领域分，主要包括媒体、舆情、社交、游戏、电商、会展、教育、体育、文化、旅游、医疗卫生、智能制造、政治、军事、金融、地产等等。所有应用的形态无法假设，需要广大用户去创作和塑造。

6.5 前人归纳的元宇宙的技术体系

自元宇宙概念深入人心后，元宇宙的核心技术已经被若干专家和团队进行了梳理。典型的有国盛证券梳理的 BAND 技术体系[7]和赵国栋梳理的 BIGANT 体系[8]。

6.5.1 国盛证券提出的 BAND

元宇宙核心技术的第一个版本，我看到的是国盛证券的分析师宋嘉吉老师在研究报告中提出的[7]。他给的叫做四个核心技术，它简称 BAND。B 表示是区块链技术（Block chain），A 表示是人工智能技术（Artificial Intelligence），N 表示是网络技术（Network），包括我们的 5G/6G/WiFi6 等，D 表示是显示技术（Display），就包括我们的虚拟现实、全息投影等。

6.5.2 赵国栋提出的 BIGANT

赵国栋老师集前人之所长，在他们写的《元宇宙》、《元宇宙通证》这几本书

中，创造性地提到了元宇宙的六大技术，它简称是 BIGANT（大蚂蚁）。我们重点讲一讲赵国栋老师讲的技术体系[8]。

（1）区块链技术

B 就是区块链技术（Block Chain）。在元宇宙中，我们为什么要用区块链技术，而不用我们现在的这些基于中心化的技术呢？举个例子，我们现在看到的这些抖音、快手、腾讯、阿里等其实都是中心化的技术，为什么我们的元宇宙要采用区块链的技术呢？原因就在于我们的元宇宙要实现这么几个功能。

第一个，元宇宙里要有虚拟身份。就像刚才说的孙悟空的三根救命毫毛可以变作他的三个化身，这个化身就是代表孙悟空的一个身份。这个虚拟身份只能够用区块链技术来实现。

另外一个就是说未来我们在元宇宙里面看到的很多都是数字产品。我们现在看到的很多的产品都是现实世界的产品。举个例子，我要吃的饭，我要喝的饮料，我要盖的被子，这些都是一些现实的产品。在未来元宇宙里面要卖的是很多数字产品。

举个例子，虚拟化身的一副眼镜、一个服装或一个道具，这些都可能变成未来元宇宙里面的主要商品。这些商品要在元宇宙里面进行售卖，第一个问题，就是要变成一种资产。那这如果它不能变成资产的话，那么它就不能不能够买卖。在数字世界里，不资产化，它的数量就是无限的，无限的话买卖起来就没有意义了。所以这些数字产品一定要用区块链技术资产化，我们一般称之为 NFT（Non-Fungible Token）技术。有了 NFT 技术，就可以标识某一个数字产品了，标识它到底是由谁生产的，或者说它的所有权是谁？拿到这个所有权之后，这个所有权人就可以对它进行售卖，并获得相应收益。这个数字资产的标识，是用 NFT 技术实现，而 NFT 也必须使用区块链技术。

第三个，我们要在数字世界里面，或者说在元宇宙里实现买卖，那么就一定要有货币。我拿着“钱”去买你的东西，你拿着“钱”来买我的东西，这个钱在虚拟世界里一定要存在，它要充当交易中介的作用。这个交易中介，一定是数字货币，而这个数字货币必须用区块链技术。

为什么不能用我们现在的法币，不能用我们现在的银行呢？我们现在的金融

体系是基于银行的，银行是工业化时代的一个产物，银行能够存在的原因就在于我们只有少数的交易需要走银行的交易，大部分还是线下点对点的交易方式。点对点的交易方式，典型的就是我们古代农业社会的一手交钱一手交货，所以这样就不需要中心化的银行服务。现在不管我们的微信支付，还是支付宝的支付，还是我们到银行去取钱，或者说我们到银行去转账，都是通过银行这个节点。

在未来的元宇宙世界里，由于这交易太频繁了，你如果通过一个中心化的银行节点的话，没有哪个银行的电脑能够支撑起这么庞大的交易量。所以未来的交易，数字货币只能是去中心化的，只能是数字货币，就有点类似于我们现在的比特币等其他数字货币一样的，必须是去中心化的。

最后一个就是数字交易。我们的这个交易的过程，如果也是走的银行的话，那么没有哪个银行体系能够支撑未来的数字交易这么高频次的交易。在元宇宙，我们可能每时每刻每秒都在进行大量的交易，所以未来一定是通过去中心化的方式来完成的交易，这些需要区块链技术。

（2）交互技术

第二个技术，我们称之为交互技术（Interaction），其实也就是说我们的现实世界的人或者现实的世界怎么跟元宇宙这个平行世界进行交互呢？这就需要交互，我们称为元宇宙的入口，元宇宙入口一般就是我们所说的这些硬件的设备。

现在我们用的比较多的入口设备就是虚拟现实眼镜。虚拟现实眼镜做的比较好的有 Facebook 的 Quest，以及今日头条收购的 PICO，谷歌的 Google Glass，这都是 VR 眼镜，我们一般叫虚拟现实眼镜。

第二个就是头盔。我们戴上一个头盔之后，就能够体会到那种沉浸式的 3D 的感觉。第三个用的比较多的就是脑机接口。现在脑机接口技术其实已经比较成熟了。你只要带上一个脑机接口，把它一打开，那么你心里想的什么问题，大家就都知道了。这个就不需要再给你聊天交流，我就知道你心里想什么。因为人脑里想事的时候是有脑电波的，这个脑电波我们是可以用计算机捕获，并且去识别。你到底刚才你心里在想什么？所以未来测谎仪是不需要的，我只要带上这个脑机接口，我就知道你心里到底在想什么脑机接口呢也是为了一个会用的比较多的一个元宇宙的元宇宙的入口。

（3）游戏引擎和空间计算

第三个技术就是游戏引擎和空间计算。因为我们在元宇宙里面就像玩一个游戏一样，他看到的很多东西，其实是一个数字世界。只是因为我们戴上了 VR 眼镜或者头显之后，我们会有一个沉浸式的体验，我们的大脑是区分不出来这是一个虚拟的世界，还是现实世界里。这个技术在游戏前，我们要保证游戏的画面的、音质，以及未来可能会出现的触觉、嗅觉、味觉等的实时效果，这就需要游戏引擎技术。我们未来的元宇宙里面肯定都是 3D 的效果，所以我们要做大量的空间计算才能够计算出来。你看到的 3D 人，应该怎么去打印出来，或者说把它显示出来，这有大量的空间计算。

（4）人工智能

第四个技术就是人工智能。人工智能技术会在元宇宙中充当一个非常重要的作用。我不知道大家还记不记得那个动画片《哪吒》。这个动画里边提到了有一个《山河社稷图》。哪吒和他的师傅太乙真人进入了《山河社稷图》。这个《山河社稷图》其实就是一个池塘荷叶里边的一个图，进去了之后就进到了另外一个世界。在这个世界里边他是通过一支笔----指点江山笔----来设计《审核社稷图》，指点江山笔每画一划，就可以出来一个新的效果，例如一个假山、一条河流，一艘小船等。

举个例子，我用指点江山笔一画，《江山社稷图》可能就出现了一条河流，再一画可能就出现了一艘船，出现了一棵树，出现了一座桥，这个东西一划就出来了。在未来我们的元宇宙里边这种功能肯定是要实现的，那怎么实现呢？就是我们的人工智能的技术，我们要在元宇宙里边实现一个世界编辑器，或者我们就叫做一个编辑器吧，用于编辑元宇宙里面的各种资产和监管机制。

我们用简单的一画，就知道你到底是要画一个人，还是要画一条狗，这个狗你到底是希望一条白色的狗，还是一条拉布拉多，或一条黄毛？这个要用人工智能来进行计算。我们的人工智能技术可能在未来有很多的应用场景。

在那个里面，编辑器很重要。这就像我们以前 P 图都是用 Photoshop，但是 Photoshop 它太专业了，不是每一个人都会用的。直到美图秀秀之后，基本上这个事情就变成了一个大众的事情。现在几乎每一个女孩子都会用美图秀秀来 P 图，

也就说我们未来元宇宙里边的 P 图，或者说我们做这些事情，也要像美图秀秀这样的人工智能工具简单易用，这样元宇宙世界的构造才会变成一个家喻户晓的、人人都会的事情。这中间需要大量的人工智能的技术。

（5）网络技术

第五个技术就是我们所说的网络技术。我们现在的元宇宙就是基于我们的 5G 网络的，它保证了高速率、高并发、低延迟。

在这么一个网络，首先要保障高带宽而且必须稳定，这样就提升了我们对网络的要求。现在看上去 5G 的速度 100M，应该也不满足未来的元宇宙的需求。我们要达到未来 150G/秒左右的网络速度，人类才能够完全区分不了这到底是虚拟世界还是现实世界。这对我们未来的互联网提出了更高的要求。要保证我们未来的网络更加低延迟、高带宽、高速率、高稳定，同时我们可能也要加强我们的压缩算法。未来 150G/秒的速度直接传输还是有困难的，那么我们的压缩、解压缩技术也需要进行大量的研究工作。

（6）物联网技术

第六个技术就是物联网技术。我们要把我们现实生活的这个现实世界映射到虚拟世界里面去，那么我们首先要做的事情就是感受到这个现实世界。举个例子，我们要在虚拟世界里构建虚拟长江，就必须知道现实世界里边有长江，用众多的传感器检测河水水位的实时变化。只有实时捕获长江水位的实时变化，才有可能在虚拟世界里面构建一个跟我们现实世界的长江一模一样的一条数字长江出来，这就需要物联网技术。

6.6 分层的核心技术

赵国栋老师提到的元宇宙的六大技术很经典，我个人认为让大家很容易把六大技术割裂开来，读者不容易看到六大技术之间的相关关系，也不方便理解为什么六大技术的奇点出现后就会出现元宇宙。

我也谈一谈我对元宇宙未来的核心技术的一个理解。我认为元宇宙的核心技术可能不是六大技术，我把元宇宙的核心技术分层[9][10]。

图 6- 5：元宇宙的技术架构

6.6.1 硬件技术层

第一层，我认为是硬件的技术，主要是芯片的技术。我们觉得现在的 5G 芯片、基带芯片、人工智能芯片、手机芯片、电脑的芯片等，这些芯片的处理速度还远远达不到未来元宇宙的要求，至少还需要提升上万倍，几十万倍。未来元宇宙这个赛道能够用满现有芯片性能上万倍，芯片性能也必须进一步提升才能满足元宇宙的要求。未来不管是 cpu、gpu、基带、人工智能芯片，这些技术都需要快速的发展。所以我认为芯片技术是未来的元宇宙的一个核心的技术。

6.6.2 接入技术层

元宇宙的第二个核心技术层，我称之为接入技术。接入技术有一点类似于赵国栋老师提的交互技术。其实也是要把我们现实世界映射到虚拟世界的一些数据采集的工具，我们也认为是元宇宙的入口。

这些技术主要指虚拟现实的设备，包括前面提到的 VR 眼镜、VR 头显、脑机接口等。这些的技术需要进一步的发展，才能满足未来我们迫切需要的沉浸式体验。脑机接口是未来一个很重要的研究方向，有助于我们未来更自然地进入元宇宙。

6.6.3 基础软件层

第三层核心技术就是基础软件。基础软件层应该包括操作系统、数据库、编译器等。

未来的元宇宙时代应该有全新的操作系统出来，我觉得不大可能是我们现在用的 iOS 操作系统，或者是微软的 Windows 操作系统、也不会是 Linux、Unix 等这些操作系统。现在看上去，中国华为的鸿蒙操作系统是比较有可能成为一个未来相对一个比较好的元宇宙操作系统的选项。

基础软件还会有数据库的技术。元宇宙里面会有大量的数据需要存储，数据量会远远超出我们的预期。未来元宇宙需要的数据库可能不是现在的关系型数据，也不会是目前常用的 MongoDB、Neo4J 等。未来可能有各种各样的各种格式的、各种异构的巨量的数据。所以呢在元宇宙里面数据库的技术算是一个核心。

未来在元宇宙里边可能也要开发应用，可能也要编程。元宇宙编程可能也要有一种编程的语言和编程的编译器，这些都是我们所的基础软件，这是元宇宙的第三层，我们称之为基础软件层。

6.6.4 去中心化技术层

元宇宙的第四层核心技术，我认为有可能是去中心化技术，去中心化技术很多就是我们所说的区块链的技术。区块链的技术主要实现的就是四个功能，数字身份、数字资产、数字货币和数字交易。

去中心化解决的第一个问题就是数字身份。孙悟空每一根毫毛要变成一个化身，这个化身需要能够标识这是孙悟空的化身，而另一个是是猪八戒的化身。这就是用数字身份。这个身份标识最好的办法就是用区块链技术。

未来元宇宙里面交易的应该大部分是数字产品。数字产品的复制成本为零，理论上很容易生产无数个，这不符合经济学原理。因此，一个数字产品要变成一个可销售的商品，它必须于资产化。资产化就是标识该商品或者说该产品到底是谁生产出来的。今天我看到一斤粮食，这个粮食是某一位农民生产出来，所以我要给他钱，他才会把他的粮食给我，这是在现实世界是这么办的。在虚拟世界里，我怎么知道这一个道具或者一个皮肤是谁生产出来的呢？这个标识技术现在一般采用 NFT，全称叫 Non-Fungile Token。这个技术就是用区块链来实现的，所以数字资产化的实现必须要用到区块链技术。

第三个，只要有交易就必须要涉及到利益，也就说在元宇宙里，某个人设计的一个道具、游戏、服装等，这是他辛辛苦苦做出来的，谁想获得都应该给钱。在元宇宙里面应该怎么给钱呢？元宇宙里的“钱”，不大可能是现实世界的美元、

人民币、欧元等法币，元宇宙里面的钱是基于区块链技术的，我们称之为数字货币。

第四个，元宇宙要实现交易，这个交易的过程不能够通过银行。在未来的元宇宙里，没有哪家银行的服务能力、处理能力能够满足未来元宇宙的交易需求。未来元宇宙的商品交易不可能是基于中心化的银行体系，只能是基于去中心化的、点到点的、一手交钱一手交货的这种形式的数字交易。

区块链主要是实现数字身份、数字资产、数字货币、数字交易这四大功能。

6.6.5 数字创作层

第五层核心技术是数字创作技术，包括数字孪生、数字原生和虚实共生。数字孪生技术其实就是把我们的现实的世界通过数据的采集映射到虚拟的世界里去。举一个例子，我们现实世界里有一个北京城，那么要把整个北京搬到元宇宙里面去，搬到这个数字世界里面去，这个要用的技术就是数字孪生技术。

另一个技术就是我刚才所说的元宇宙里面的世界编辑器，或者我们叫做数字设计技术。在元宇宙里面的数字北京城，它是一个线上的城市，或者说虚拟北京城。在这个虚拟北京里边，可以给它设计一个元宇宙产业基地，可以设计一个服装店，或开一个中餐馆，这都需要去编辑，去设计。

举个文旅的例子，在我们生活的现实世界里有座黄山，它在虚拟世界里边也有一个黄山，我们也想去虚拟世界里边去看一看黄山。那么我们就要去元宇宙李编辑一个虚拟黄山来。一个好的编辑器，这应该像女孩子用的美图秀秀一样，效果立马可见，使用灵活，且人人会用。这一个技术非常的重要。

6.6.6 应用开发技术层

最后一个就是我们的应用开发技术。在元宇宙里，可能会优先实现的应用就是游戏、社交、媒体、广告等。在未来，每一个行业、每一个产业都会元宇宙化，这就需要开发大量的元宇宙应用程序，那么应用程序的开发也是一个核心的技术。所以，我们理解的元宇宙的核心的技术分为六层，第一层是芯片技术，第二层技术叫接入技术，第三层技术是基础软件技术，第四层技术是去中心化技术，第五层技术是数字孪生与数字设计技术，第六层技术是应用程序开发技术。

这是我理解的未来元宇宙里边的六层核心技术，或者说六大核心技术群。

本章由孙喜庆、张宗帅、龚才春起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 孙喜庆. 孪生媒介：平行世界传媒体系参考框架初探. 互联网天地[J]. 2021(11).

[2] 廖祥忠.媒介与社会同构时代国际传播人才培养必须着力解决的三大问题. 现代传播[J].2021,01.

[3] 吉拉尔德·M·埃德尔曼.第二自然[M].唐璐，译.湖南科学技术出版社，2018.

[4] 尤瓦尔·赫拉利. 人类简史[M]. 林俊宏, 译. 中信出版社. 2014,11.

[5] Kevin Cheng. 好莱坞十大故事引擎. 知乎[EB/OL]. https://www.zhihu.com/ people/kevinzcheng/posts.

[6] 2021 年全球大数据行业技术竞争格局. 前瞻经济学人[EB/OL]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1715195453329408516&wfr=spider&for=pc.

[7] 宋嘉吉.国盛证券.区块链行业：元宇宙，互联网的下一站.2020.5.30.

[8] 赵国栋,易欢欢，徐远重.元宇宙.中译出版社.2021.8.1.

[9] 龚才春.元宇宙：头脑风暴 or 未来已来.2021.12.30.

[10]龚才春.元宇宙：神话与科技的完美统一.2022.1.6.

第 7 章 接入技术

接入技术是人们进入元宇宙的入口技术，直接影响我们进入元宇宙后的体验。目前的接入设备还是以虚拟现实眼镜、头盔显示、脑机接口等为主。为方便接入元宇宙，还需要场景端设备的辅助，主要包括无线定位技术、定位定姿技术等。

7.1 人机交互设备技术

第一部分将介绍 VR 眼镜相关的技术，介绍 AR 眼镜相关的技术，包括显示技术，芯片架构处理技术等。

7.1.1 AR 眼镜相关技术

AR 核心硬件发展至今已有 20 年以上的历史，从 2012 年 google glass 发布至今，各大厂家都推出自己的 AR 硬件产品。相对于 VR 眼镜，AR 眼镜需要感知周围的复杂环境，而且轻量化和续航方面都有更加严苛的要求，所以其硬件的需求远高于 VR 眼镜。调研发现 AR 眼镜的硬件产品出货量远低于 VR，2021 年 VR 眼镜的出货量达到千万台，而 AR 眼镜的出货量只在十万台的数量，差了两个数量级。其主要原因之一是 AR 硬件技术从光学、显示、主控芯片、加工产业链还未成熟，产品形态不稳定，整体发展慢于 VR。

目前，AR 硬件整体水平还处于上游核心零部件和技术突破阶段，其中进展最快的当属光学显示技术。光学显示主要由微型显示器与棱镜、自由曲面/Birdbath、光波导等光学元件组成。

- 第一类以 Google Glass 为代表的 LCoS+棱镜方案，价格便宜但视场角较小且遮挡部分光线，但是由于光学显示方案的限制无法做成普通眼镜的形态；
- 第二类以 Epson BT300 和 Nreal Light 为代表的 Micro OLED+自由曲面/Birdbath 方案，对比度、分辨率、色彩还原度表现较好，视场角较大，但 Micro OLED 亮度低，光学本身透光率较低，体积方面也较大，而且由于光机在上方，导致鼻梁受力过大，佩戴不舒适；
- 第三类以 HoloLense 和 Rokid Glass 2 为代表的 Lcos/DLP/Micro LED+

光波导方案，此方案亮度，透光率较高眼动范围较大，显示部分可以做轻薄和类似于眼镜的形态，但存在严重的偏色问题。

如上三类显示方案中我们认为高亮度低功耗的 Micro LED+衍射波导是未来 AR 眼镜显示方案的主要方向。所以光学显示方面未来兼顾高密度、高刷新、高亮度、低功耗的 Micro LED 技术还需要进一步突破。衍射波导方面除了二维扩瞳解决眼动范围小重影问题外，偏色问题也会一个重大的挑战。

表 7-1：AR 光学主流方案

光学显示系统	特点	代表产品	图片
LCoS+棱镜	价格便宜，体积小，视场角小，遮挡视线，无法做成轻量化形态	Google Glass Vuzix M300	
Micro OLED+自由曲面/Birdbath	成本低，对比度和清晰度高，视场角大，部分有重影，透光率低，量产良率较高，可量产	Epson BT300 Rokid Glass Nreal Light	
LCoS+波导	亮度高，视场角大。分辨率高，眼动范围较大，显示色彩和对比度差	Hololense Magic Leap One	
LBS+全息反射	体积小，功耗小，视场角小，眼动范围小，透光率高，容易做成眼睛形态，对比度低，色彩显示差	North Focals	

7.1.2 其它移动端技术

除了光学显示外，处理器、电池及专用传感器等方面目前还在沿用移动端技术，主要以高通为主，国内君正、瑞芯微多媒体处理还处于低端水平，相比于国外技术差距较大，整体来看现有处理器已不能满足 AR 眼镜轻便化的需求。期待 Micro LED+二维扩瞳衍射波导、碳基或锗基高制程半导体芯片、石墨烯电池、LED 制备材料及工艺、VC 液冷等高端散热等技术的加持与突破，快速推动 AR 硬件及产业链的发展。AR 硬件现状及未来如图 2 所示。

表 7-2：AR 硬件现状及未来

	现在	未来
处理器	**高通处理器是主流** 目前处理器 80%以上为高通手机 8 系列、XR 系列为主，其他厂家的手表、中低端多媒体处理器为辅	半导体 3nm 以下工艺继续突破，锗基半导体技术实用化，半导体大厂重视并投入开发适用于 AR 终端各场景下的处理器；国产晶晨、君正等厂家快速突破，占据塞道
显示	**多种显示各有优缺共存使用：**LCOS、硅基 OLED、DLP 均有使用、Micro-LED	小体积、高响应、低功耗 Micro-LED 批量量产，密度不断突破，成为未来主流
光学	**多种方案优缺点明显共存使用：**棱镜、自由曲面/Birdbath、光波导均有使用	波导，尤其衍射波导解决偏色、光效低的问你个问题后一定是未来
感知交互	**高端搭载 SLAM 交互** 部分高端眼镜搭载多传感融合技术的 SLAM 感知技术，能够理解环境	低功耗、快速动态响应的 camera 等传感器不断发展、主动探知环境和被动环境感知相结合的交互方式为最佳

此外，具备和周围环境感知交互的能力是 AR 眼镜区别 VR 眼镜最大的不同之处，如何在 AR 眼镜上实现轻量级环境感知交互是巨大的挑战。现阶段，AR 眼镜主要采用双目摄像头硬件+SLAM 技术来感知周围的环境，其功耗和重量都无法满足长期舒适佩戴的需要，主流的具备 SLAM 能力的 AR 眼镜重量都在 150g 左右，其开启 SLAM 后续航都不足 1 小时。为了解决功耗和重量的问题，目前已经有一些公司开始探索使用被动感知的方式，即通过在环境中部署基站设备，主动告知 AR 眼镜位置、姿态和其他所需的信息，着将是下一小节的重点介绍内容。

7.1.3 场景端设备

第二部分将介绍环境中部署的帮助眼镜和环境进行交互的设备，包括无线定位技术、灯塔基站技术和光标签基站等。

（1）核心技术：无线定位技术

无线定位技术通过在环境中部署无线基站，通过简单的计算能够主动告知用户终端具体的位置信息。无线定位技术是相对比较成熟的技术，已经在手机端大规模应用，近些年来，也涌现出一些新的技术，例如 UWB，5G 等技术。

目前，室内定位技术众多，下面将从定位原理、定位方式及性能方面分析介绍一下 5G 基站定位、4G 基站定位、蓝牙 4.2 定位、蓝牙 5.1 定位、Wi-Fi 定位、UWB 定位等定位技术。室内位置解算分为终端侧解算和网络侧解算两种。其中终端侧解算是指不经过网络传输，终端可直接解析其自身位置，室外以 GNSS 为代表，室内需定位信标发送其坐标位置信息。目前室内定位技术多以网络侧解算为主。无线定位信号测量主要包括功率测量、时间测量和角度测量。功率测量包括三角定位和指纹定位，时间测量包括 TOA、UTDOA 和 OTDOA，角度测量包括 AoA 和 AoD。

基于功率测量（三角定位技术）。通过接收信号强度(RSS, Received Signal Strength)计算得到终端到多个定位节点的距离，并以已知节点位置为圆心，终端距离节点的距离为半径形成圆形，多个圆的交点就是终端位置。基于场强进行距离估计时，当终端距离定位基站较近时，信号强度对应的距离分辨率较好，精度较高，当终端距离定位基站较远时，信号强度对应的距离分辨率差，精度较低。通常，当定位精度要求在 2-3m 时，定位节点部署间距要求在 6-8m。此种定位方式要求定位基站与定位终端间可直视，无墙体等阻挡，可达到较高定位精度。

基于功率测量(指纹定位技术)。当定位信号存在非视距等环境影响因素时，测量到的场强等信息 难以真实反映定位基站与终端间的实际距离时，可采用指纹定位技术 减轻此类误差。指纹定位技术由离线与在线两个阶段构成。离线阶段即指纹库采集阶段，首先进行定位区域的网格划分，然后采集不同网格的信号特 征值，将采集得到的信息建立定位指纹库，特征值可为场强等信息。在线阶段即指纹定位阶段，测量信号特征值，将测量的信号特征值与 指纹库中的预存信息进行指纹匹配，根据匹配算法得出终端坐标位置 指纹定位技术主要缺点在于指纹数据库采集工作量大，且在后期维护过程中，随着环境发生变化，需重新采集维护指纹数据库。

基于时间测量（TOA 测量）。TOA(Time of Arrival)又称 TOF(Time of Flight)，一般又分为双向测距和基于时钟同步的 TOA 测距。常用的双向测距法不需要定位标签和定位基站之间严格时钟同步，只需要未知点(即定位标签) 向参考点(即定位基站)发送信号，定位基站也向定位标签发送信号。

基于时间测量（TDOA 测量）。基于时间到达差(TDOA，Time Deference of

Arrival)的定位法要求参考点之间的时钟严格同步，而对参考点与未知点之间则没有时 钟严格同步的要求，这就能相对简化定位系统，降低定位系统成本。TDOA 定位法的定位过程:预先将所有参考点之间时钟同步，未知点发出信号，不同参考点在不同时刻接收到该信号，选取某参考点接收到信号的时刻作为基准，其他参考点收到信号的时刻减去该基准 得到定位信号到达时间差，该到达时间差即为 TDOA 值。根据未知点与两个参考点之间的 TDOA 值可以建立一条双曲线，实现二维定位需要至少三个参考点建立一组双曲线方程求解得到未知点的位置估计。

基于角度测量（AOA 测量）。到达角(Angle of Arrival, AOA)是发射器通过单一天线发送特殊的数据包，接收器通过多天线接收，由于各个天线到发射器的距离不同，会产生相位差。通过相位差和天线间的距离计算出相互之间的角度关系。采用到达角测量在视距传播时定位精度较高，在非视距传播时定位精度显著降低。

基于角度测量（AOD 测量）。出发角(Angle of Departure, AOD)与到达角相反，接收器是单天线，发射器多个天线发射特殊的数据包，接收器根据产生的相位差、天线距离，计算出相对的方向和距离。

基于以上技术统计目前定位技术关键指标评估如表 3 所示。要注意的是，无线定位技术的定位精度指标是在理想情况下测得的，即无遮挡的情况下。由于商业环境的复杂性，且存在很多移动的物体，导致实际场下的定位精度下降的很厉害，无法满足元宇宙虚实结合的应用需要。以 UWB 为例，无遮挡情况下的定位误差能达到 30cm 左右，但在有遮挡的情况下，定位误差可能就到了 300cm 左右了。下一小节，我们将论述抗干扰更强的高精度的定位定姿技术。

表 7-3：无线定位技术关键指标评估

	5G	4G	蓝牙 4.2	蓝牙 5.1	Wi-Fi	UWB
定位精度	分米级	米级	米级	分米级	米级	分米级
定位时延	十毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	百毫秒级
并发容量	百级	百级	百级	百级	百级	百级

（上行）						
基站功耗	十瓦级	十瓦级	瓦级	瓦级	十瓦级	瓦级
终端功耗	瓦级	瓦级	毫瓦级	毫瓦级	瓦级	百毫瓦级
基站成本	千元级	千元级	百元级	百元级	百元级	千元级
终端成本	千元级	百元级	十元级	十元级	十元级	百元级

（2）核心技术：定位定姿基站

为了在用户终端上实现虚实结合的云宇宙，不但需要知道设备的准确位置，还需要知道设备的实时姿态。前面叙述的无线定位技术在以下几个方面无法满足元宇宙的需要。首先，无线定位技术无法知道设备的姿态；其次，无线定位技术的定位精度无法满足虚实结合（例如增强现实）应用的高精度需求。为了解决这些问题，近些年来涌现了一些新的布设在环境中的基站设备，其中代表性的设备为 HTC Vive 的 LightHouse 基站和 WhyHow 公司的光标签基站。

LightHouse 基站如图 1 所示，基站里包括一个红外 LED 阵列，和两个转轴互相垂直的旋转的红外激光发射器，代表 X 轴和 Y 轴。在目前的基站中，每 20ms 为一个周期，红外激光发射器转一圈所有的时间为 10ms。整个基站一个周期的工作过程为：红外 LED 阵列在每一个周期开始时的闪光一次；然后 X 轴的旋转激光扫过整个空间，耗时 10ms，Y 轴激光器此时间段不发光；接下来 Y 轴的旋转激光扫过整个空间，耗时 10ms，X 轴激光器此时间段不发光。

用户的终端设备，包括、手柄等的多个光敏感应器通过接收激光获得位置和姿态的信息。每一次红外 LED 阵列闪光时，终端设备获取到同步信号，接下里可以测量出 X 轴激光和 Y 轴激光分别到达传感器的时间。由于旋转激光器匀速旋转的角速度已知，通过乘上当前接收到激光的时刻和同步时间的时间差，即可得到此刻该传感器点相对于基站的 X 轴角度和 Y 轴角度。此外，分布在眼镜和手柄上的光敏传感器的位置是已知的。通过各个传感器的位置差，结合每一个传感器的角度信息，简单的解算后可得到眼镜和手柄的位置和姿态。

图 7- 1：LightHouse 基站示意图

（关键器件包括：一个 LED 阵列和两个相互垂直的旋转的激光发射器）

在场景中部署两个 LightHouse 基站，可以支持室内 5*5 平方米对用户终端设备的位姿计算，精度为亚厘米级，更新频率达到 50Hz，可以给用户带来良好的体验。但是，由于 LightHouse 基站技术只能支持室内小空间，所以目前只能应用在 VR 领域。在元宇宙虚实结合的室内外各种复杂场景中，我们需要新的技术手段来支持轻量级的位姿计算。

值得注意的是 WhyHow 公司 2019 年发布了自主知识产权的“光标签”的基站设备，其中的一款产品“快喵”如图 2 所示。该基站设备能够给远至百米的用户终端提供定位定姿的信息，且适用于室内外各种场景。光标签基站通过发射编码光信号来传递信息，并且通过融合计算机视觉和人工智能技术，场景中的各类带有摄像头的智能终端设备（手机、智能眼镜、机器人、车辆等）能够获取到光标签基站的 UID 和终端设备相对于基站的位置和姿态的信息。

相对于上述的 LightHouse 基站技术，光标签基站具有如下的优势。1）适用于现有及未来的主流用户终端。光标签通过编码光信号来传递信息，适用于带有摄像头的各种智能设备，因此能够与现有的主流用户终端（也即手机）进行直接交互，而不需要对手机进行硬件方面的定制或修改；同时，光标签也能够与未来的用户终端（例如智能眼镜）进行交互。2）远距离信息交互能力。光标签能够与智能设备在远至百米视距距离进行交互。3）单基站定位能力。单个光标签基站就能够对智能设备实现定位定姿。4）信息安全。光标签基站所传输的信息是

动态加密的信息，并且信息不能被复制转发。同时，光标签具有良好的抗干扰能力，在工作时不会受到环境中的无线电信号的干扰。5）适用于室内外各种场景。场景环境的变化（例如，场景特征的变化、光照的变化）不应影响光标签的正常使用。

图 7- 2：光标签基站的快喵产品

通过上述分析，相对于 LightHouse，光标签基站更加适用于虚实结合的元宇宙场景。光标签基站可以定位为元宇宙中的信息交互和空间定位基础设施，在将其部署到如道路、公园、景区、机场、社区、商超、步行街等场景中之后，可以作为元宇宙的入口，与智能设备进行信息交互并可以帮助智能设备确定其在空间中的位置和姿态信息。

此外，在光标签基站被越来越多地布置到现实世界中时，这些基站可以作为现实世界和虚拟世界连接的锚点，构成一个网络，现实世界中的任何用户或者智能设备都可以通过扫描该网络中的任意一个光标签基站来获得其需要的信息和服务，获得进入元宇宙的能力。光标签基站构成的网络可以作为元宇宙中新一代信息基础设施平台，向政府部门或者商业第三方开放接口并提供数据支持，从而构建一个基于光标签基站网络的功能完善并且可以不断进化的元宇宙生态系统，从而有效地为元宇宙中的智慧城市、数字城市提供技术支撑，促进元宇宙的实现和不断完善。

7.2 脑机接口技术

7.2.1 脑机接口的前生今世

（1）脑机接口原理及定义

脑机接口(Brain-Computer Interface，以下简称 BCI)，是指在有机生命形式的脑或神经系统与具有处理或计算能力的设备之间，创建用于信息交换的连接通路，实现信息交换及控制。

以现在人类对脑科学知识的认知来看，大脑和意识的物理本质是电活动。脑神经在遇到刺激或思考时，细胞膜外大量钠离子会涌入细胞内，进而打破原有电位差形成电荷移动，从而出现局部电流，电流传递过程中继续刺激其他神经元，最终形成意识，这些意识或被解读，或形成运动指令输出给身体。

脑信号的解读过程非常繁琐，监测到脑信号后需要通过复杂数学方法展现脑信号不同维度，将共性信号归类后解读该类信号的大脑意图，通过算法和测试将信号与大脑意愿如肢体运动幅度和准确性匹配，将行动结果反馈回大脑。

（2）脑机接口发展阶段

脑机接口技术的发展可以划分学术探索阶段、科学论证阶段和应用实验阶段。

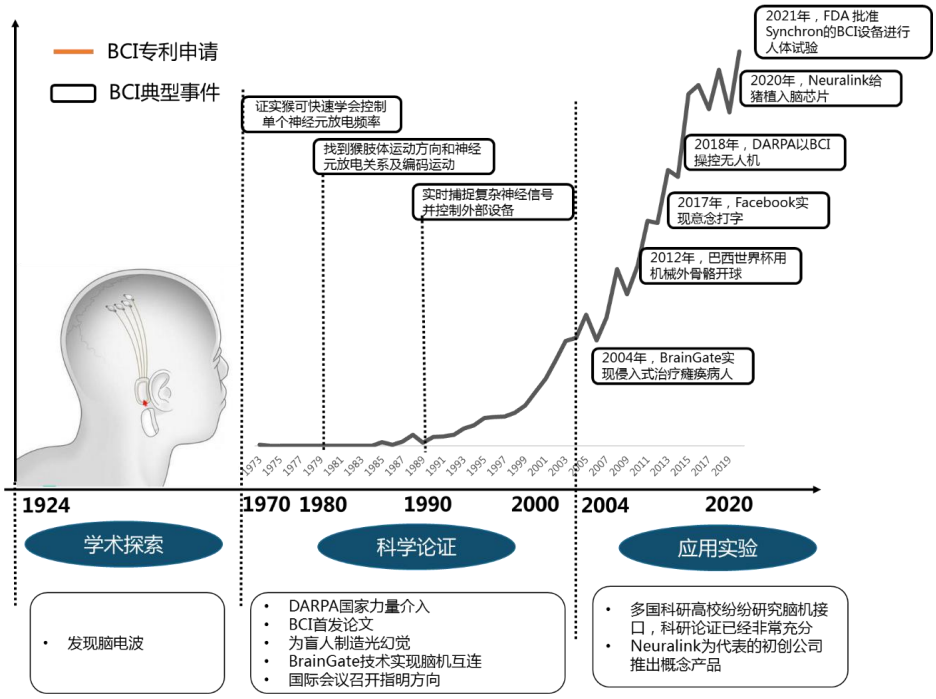


图 7-3 脑机接口技术的发展

1924 年，德国精神科医生汉斯·贝格尔在一名颅骨缺陷的病人头皮上记录到了电流计镜面的微小振动，首次记录到脑电波，开启了脑机接口相关技术的学术探索时代，且在此期间内发现了脑电分析重要指标，即脑电图、与大脑不同状态相关的 α 波和 β 波；1969 年，研究员埃伯哈德·费兹设计了游戏，让猴子通过特定思考来触发仪表盘的指针转动，从而获得游戏奖励，此后科学家尝试通过解码大脑电信号准确方便地控制外部设备，脑机接口迈入科学论证阶段，在此期间科学论证的研究日益增多。1970 年美国国防高级研究计划局（DARPA）开始组建团队研究脑机接口技术；1973 年首篇以“脑计算机通讯”命名（brain-computer communication）的论文发表；1978 年，William Dobelle 为视觉皮层植入 68 个电极阵列的盲人制造了光幻视；1998 年 Emory 大学的 Philip Kennedy 和 Roy Bakay 以侵入式脑机接口协助脑干中风患者控制电脑光标，布朗大学同年实现电脑芯片和人脑连接的 BrainGate 技术；1999 年和 2002 年两次脑机接口国际会议的召开为脑机接口技术的发展指明了方向。随着神经科学与相关技术的不断突破，脑机接口技术开始快速发展。2004 年脑机接口技术进入科学论证阶段，BrainGate 实现侵入式治疗瘫痪病人；2005 年 Cyberkinetics 公司获得美国 FDA 批准，开始进行运动皮层脑机接口临床试验；2009 年美国南加州大学的 Theodore

Berger 小组研制出能模拟海马体功能的神经芯片；2012 年巴西世界杯截肢残疾者凭借脑机接口和机械外骨骼开出第一球；2014 年华盛顿大学通过网络传输脑电信号实现直接“脑对脑”交流；2016 年脊髓损伤患者用脑机接口控制仿生外骨骼，利用虚拟现实（VR）技术反馈触觉；2017 年 Facebook 实现意念打字；2018 年 DARPA 实现意念同时操控多架飞机和无人机；2019 年加州大学旧金山分校的神经外科学家 Edward Chang 教授开发出解码器，可将人脑神经信号转化为语音；2020 年 Neualink 给猪植入了脑控芯片；2021 年，Synchron 的脑机接口设备被 FDA 批准得以进行人体试验。脑机接口领域在不断的学术研究和产业创新发展过程中，脑认知和机理研究促进了信号处理、模式识别、计算技术等发展，产业推进也带动了芯片技术、材料技术等不断突破。

图 7-4：2012 年巴西世界杯截肢残疾者利用脑机接口技术开球

（3）脑机接口技术热度

（A）脑机接口已成全球关注的热点技术

脑机接口被科技界认为一种颠覆性技术，将推动新产品、新服务的出现，对科技创新发展具有重要意义。由于其存在巨大的想象空间，近几年一跃成为科技创新高地和社会热点话题。Gartner 公司 2018 年和 2019 年连续两年在新兴技术成熟度曲线中提及脑机接口，认为类脑智能、神经芯片硬件和脑机接口是重要的技术趋势。2020 年 12 月阿里巴巴达摩院发布《2021 十大科技趋势》，认为脑机接口极具研究价值，可帮助人类超越生物学极限。脑机接口初创公司 Neuralink 在 2019 年和 2020 年分别对外公开了脑机接口重要研究成果，引发了全球广泛关注，热搜指数短时间内激增。我国对脑机接口的关注度也日益提升，在百度搜索

引擎中，以脑机接口做关键词的日均搜索热度从 2011 年的个位数增长到 2021 年的日均 400 次。

图 7-5 脑机接口关键词百度搜索指数趋势

（B）脑机接口技术日趋完善，市场应用广阔

脑疾病及康复医疗带来脑机接口广阔应用市场。阿尔茨海默症、脑卒中、帕金森等脑类疾病高发于老年人群体，而老龄化现象正在出现。据国家统计局人口普查数据，截止 2000 年末，中国 65 岁及以上人口国内占比 6.96%，2019 年末这一占比升至 12.6%，老年人的不断增多或将带来大量的脑疾病诊治需求。脑疾病全球患者数量庞大且治疗负担重。据世界卫生组织的《2021 年世界卫生统计》报告，2019 年全球十大死因中脑疾病上榜两种，分别是脑卒中、阿尔茨海默症和其他痴呆症。从 2000 年到 2019 年，阿尔茨海默症的疾病负担增加一倍，即反映疾病负担的伤残调整生命年指标翻倍。《中国脑卒中防治报告(2018)》显示，我国脑卒中发病率正在以每年近 9%的速度增加，每年新发病例 150 万-200 万人；到 2030 年，国内脑卒中患者将达 3177 万人。每年新增康复训练老残人数约 500 万人。这些数字背后是康复医疗的广阔需求市场。此外，当今社会职场人群的心理、精神问题高发，目前已超过 5400 万人患有抑郁症，脑机接口在精神压力检测和缓解方面也存在空间大有可为。

随着计算机科学、神经生物学、数学、康复医学等相关学科的不断探索与交叉融合，加上广大的市场需求，脑机接口技术正从基础科研走向市场。一方面，基于脑机制的根本理解为脑疾病带来新型疗法，另一方面，业界认为未来 10-15 年或将出现新一代交互方式，用意念控制机器、脑控开关都将会成为现实，应用

潜力巨大。在医疗、教育和消费品等市场，都将带来远超十亿美元的空间。

多家咨询机构对脑机接口技术的市场规模增长持乐观态度。据咨询公司 GrandViewResearch 测算，2019 年全球脑机接口市场规模为 12 亿美元，预计 2020-2027 年期间，复合年均增长率为 15.5%。市场研究机构 Valuates Reports 测算至 2027 年复合年均增长率为 13%，市场规模达 38.5 亿美元。Statista 公司则测算出 2018-2025 年复合年均增长率为 12%，北美地区是全球最大市场，占总市场份额超过六成。全球市场研究机构 Acumen Research and Consulting 预测，从 2020 年到 2027 年，全球脑机接口市场预计将以约 13.8% 的复合年增长率增长，到 2027 年市值将超过 34.763 亿美元。

① 多国积极布局，加大投入脑机接口研究

由于脑科学具有重要的科研价值和战略意义，近年来多国相继提出基于脑科学、神经科学和信息科学相结合的人类脑计划。

美国脑机接口研究起步早且投入力度大。美国早在 1989 年率先提出全国性脑科学计划，2013 年再次提出脑计划“US BRAIN Initiative”，探索人类大脑工作机制、绘制脑活动全图、建模类脑相关理论和脑机接口，推动神经科学研究和大脑疾病新疗法开发，启动资金逾 1 亿美元，12 年间计划共投入 45 亿美元。2016 年美国国家卫生研究院(NIH)支持“通过推进创新神经元技术开展大脑研究”项目，美国国防高级研究计划局则启动开发可侵入式脑机芯片和神经接口系统。

日本 1996 年制定为期 20 年的“脑科学时代”计划，每年投资 1000 亿日元，总投资达到 2 万亿日元。2008 年提出“脑科学战略研究项目”，重点开展脑机接口、脑计算机研发和神经信息相关的理论构建。2014 年科学省宣布“脑计划”的首席科学家和组织模式。日本“脑计划”侧重于医学领域，主要以猴子大脑为模型研究老年性痴呆和精神分裂症等人类大脑疾病。

欧盟 1991 年出台“欧洲脑 10 年”计划。2013 年提出“人脑计划”，重点开展人脑模拟、神经形态计算、神经机器人等领域研究。集合来自不同领域的 400 多名研究人员，设立专项研发计划“人类大脑计划（HBP）”，10 年间投入 10 亿欧元科研经费。

此外，韩国 2016 年发布《脑科学研究战略》，重点研发脑神经信息学、脑工程学、人工神经网络、大脑仿真计算机等领域。澳大利亚政府 2019 年投入 924

万美元用于研究脑机接口的商业化。加拿大等国家也纷纷出台各自的脑计划，探索脑认知、脑融合等领域。

我国统筹布局类脑智能研究，高度重视脑机智能关键技术研发和产业化。2006 年《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020）》首次把“脑科学与认知”列入基础研究八大科学前沿问题。2016 年《“十三五”国家科技创新规划》将脑科学与类脑研究列入“科技创新 2030”重大项目。2017 年国务院《新一代人工智能发展规划》提出 2030 年类脑智能领域取得重大突破的发展目标。2017 年科技部印发《“十三五”医疗器械科技创新专项规划》通知，提出在康复护理领域，加快发展康复、助残、养老等相关的人机交互、脑机接口技术；2018 年《工业和信息化部关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》提出，要加快脑电交互的创新研发。中国在 2035 年规划中提出，未来 15 年国家科研将聚焦攻克人工智能、生命健康、脑科学等八大领域。十四五规划进一步提出要强化国家战略科技力量，瞄准人工智能、脑科学等前沿领域，实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技项目。反映出我国脑科学研究迈向新征程，进入系统整合解决脑科学重大问题的关键时间节点。

7.2.2 科技创新趋势

（1）技术创新发展

（A）脑机接口技术发展依赖多学科创新与协同进步

图 7-6 脑机接口技术体系

总体说来，脑机接口技术体系分为硬件层、软件层和应用层。

硬件层包括脑电采集设备和外控设备。脑电采集设备包括核心零部件和器件、电极、芯片、电源和材料。核心零部件和器件包括信号处理芯片、采集器、同步器、刺激器、解码器、传感器等。电极的关键技术包括干湿电极和刺激技术。传统大脑刺激多用电或者磁，存在容积传导（volume conduction）问题。前沿的无创刺激方法包括用超声信号深入聚焦定向刺激大脑深部，达到调控或治疗的效果。材料方面包括石墨烯、导电膏、导电胶、柔性材料等。外控外联设备包括机械臂、仿生手、无人机等。

软件层包括生物信号分析、核心算法、通信计算和安全。脑机理认知方面一定程度上也属于软件仿真和实现的重要方面。随着对脑机理的不断认知，采集获取的数据量越来越庞大，未来将陆续面临数据压缩算法和存储技术，以及高通量高速数据无线传输等方面的挑战。此外，基于脑电的信息认证及信息安全保护也将是软件层重点研究和解决的问题。

应用层包括生物医疗、教育、娱乐、AR/VR、军事工程和智能生活等方方面面的应用。脑机接口早期发展的应用场景主要是医疗康复，近几年研究及应用领域逐渐扩大，从代替现有的部分功能转变为增强人类的各种感知能力，包括治病、脑增强和脑沟通等方面。

作为一门交叉学科，脑机接口的关键技术发展需要多学科的协同进步。例如，电极和探针有赖于材料学、基础化学、合金工艺等学科的进步，芯片有赖于基础物理、量子力学、量子计算等基础学科，芯片能力和计算速度提升有赖于新的计算模型开发等应用科学；外控外联设备对底层科研要求更高，甚至依赖工程和工艺进步。

① 侵入式和非侵入式技术路径并存发展

当前，脑机产品可以分成侵入式和非侵入式。侵入式脑机接口技术通常直接植入大脑灰质，由此获取高质量和高信噪比的神经信号，细胞水平的空间分辨率和时间分辨率较高，但安全风险较大，容易引发免疫反应和愈伤组织，进而导致信号质量衰退甚至消失。据澳大利亚新南威尔士一所医院数据显示，在 71 起侵入式电极治疗癫痫的手术中，死亡率高达 2.8%。由于人体排异反应，很多芯片在插入人体后表面被结膜，导致信号急速缩减。即便是 Neuralink 公司成功植入猪的芯片，也因尺寸如同硬币大小对人脑并不合适，因此侵入式技术更多应用于医疗或实验等专业场景，如重症康复和治疗。

非侵入式脑机接口技术，无需动手术，直接从大脑外部采集大脑信号。常用的非侵入式信号有头皮脑电（EEG）、功能近红外光谱（fNIRS）和功能核磁共振成像（fMRI）等。由于颅骨导致的信号衰减作用和电场分散模糊效应，导致信号分辨率低，很难确定发出信号脑区或相关放电的单个神经元，导电膏失效时信号也无法传输。不过非侵入式技术产品由于安全性高、成本低、可接受度高，成为面向消费应用市场的主流，占据了美国 85%以上的市场份额。

目前的科技水平来看，两种技术路径均存在不同的难题有待解决，也决定了二者分别向不同类型的应用场景发展。

② 朝向“脑到机”、“机到脑”、“脑到脑”和“脑机融合”方向发展

未来脑机技术的创新发展按照信息传输方向分类，或将是从脑到机、机到脑、脑到脑和脑机融合四个方向发展。

1）“脑到机”的信息传输方向是由大脑到机器。基本原理是：通过脑信号检测技术获取神经系统的活动变化，识别信号类别和动作意图，用计算机把思维活动转变成命令信号驱动外部设备，实现大脑直接控制外部环境。典型应用如：1999 年 Chapin 用人工神经网络算法将老鼠运动皮层神经集群电信号转换为水泵控制指令，实现了大脑对外部设备的直接控制；2012 年浙江大学采集解码猴子大脑的“抓、勾、握、捏”四种手势的神经信号，并通过猴子脑信号控制机械手完成不同动作运作。

2）“机到脑”的信息传输方向由机器到大脑。基本原理是：对生物大脑或其他神经系统特定部位施加精细编码的外部刺激(如微电刺激、光刺激)，来唤醒或控制生物的某些特定感受和行为。典型应用如 2020 年荷兰神经科学研究所在大脑视觉皮层中植入新开发的高分辨率电极，使受试猴子大脑中出现人工植入的运动和复杂形状感知。2020 年从澳大利亚墨尔本莫纳什大学开发的仿生眼，可通过结合智能手机式电子设备和植入大脑的微电极使盲人恢复视力，预临床实验超过 2700 小时刺激均未引起广泛组织损伤。当前机到脑的实际应用多以无创物理刺激手段进行，以改善大脑功能和行为，目前已经在睡眠、认知增强、精神类疾病干预等方面开展了大量的应用研究。

3）“脑到脑”是大脑与大脑之间的网络通信。基本原理是：通过对一个大脑的神经信号实时解码并重新编码后直接传输到另一个大脑，从而对另一个大脑产生作用。大脑间直接通信可作为新型生物体交互手段，对神经康复、脑机协同具有重要参考价值。相关研究目前较少。典型应用如：华盛顿大学将检测到的实验者 A 想象右手动的头皮脑电信号转化为经颅磁刺激，作用于实验者 B 大脑的左运动皮质区，令 B 的右手向上移动；2014 年，法国、西班牙和哈佛大学的专家首次实现“脑对脑”信息传输。在印度的参与者脑电图信号经由互联网传输到法国，法国的参与者脑部视觉皮层受到电磁感应从而接收到“思想”信号。

4）“脑机融合”是大脑和机器的深度融合。基本原理是：大脑与机器互相适应、协同工作，把生物脑的感知能力与机器的计算能力结合，生物和机器在信息感知、信息处理、决策判断，甚至记忆、意图多个层次相互配合。脑机融合的相关研究有：2011 年，Nicolelis 团队提出脑-机-脑信息通路的双向闭环系统，在对猴子大脑神经信息进行解码的同时将猴子触觉信息转化为电刺激信号反馈到

大脑，实现了脑与机的相互配合。

脑机技术极有可能颠覆传统的人机交互模式，使人类不再仅通过键盘和鼠标与机器沟通。凡是大脑可以操控的现实场景，都可以通过脑机接口来实现，实现人与万物互联。

（2）学术成果研究

脑机接口涉及神经科学、认知科学、神经工程、材料科学、人工智能等多个学科融合，从基础研究到工程应用都还有很长的路要走。基础科学的进步是脑机产业创新和发展的保障。在学术界的积极推动下，脑机接口的理念、方法和技术不断进步。

① 脑机接口学术研究起步较早且近期研究趋热

2000 年前后，全球多国科研机构和高校在脑机接口领域纷纷开展研究工作，从国家级的科研项目数量来看，美国的科研项目数量领先，其次是法国、日本和中国，均超过百项。

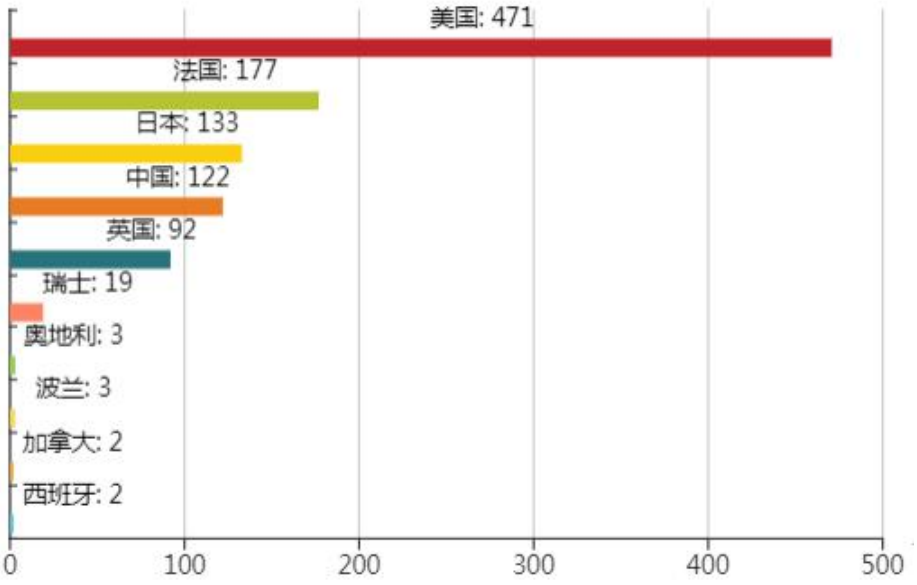


图 7-7 各国脑机接口科研立项数量

从科研项目的承担单位看，芝加哥大学、加利大学、斯坦福大学、杜克大学、华盛顿大学、东京大学、佛罗里达大学、波士顿大学、大阪大学、浙江大学和清华大学等是主要的科研机构，立项数量较多。

脑机接口技术的科研立项带动学术研究成果的繁荣，相关论文逐年增多。Web

of Science 数据库中脑机接口论文数量目前达到 1.4 万余篇，2009 年后增长趋势加快，其中，2020 年由于审稿等原因导致数量有所下降，低于真实水平。

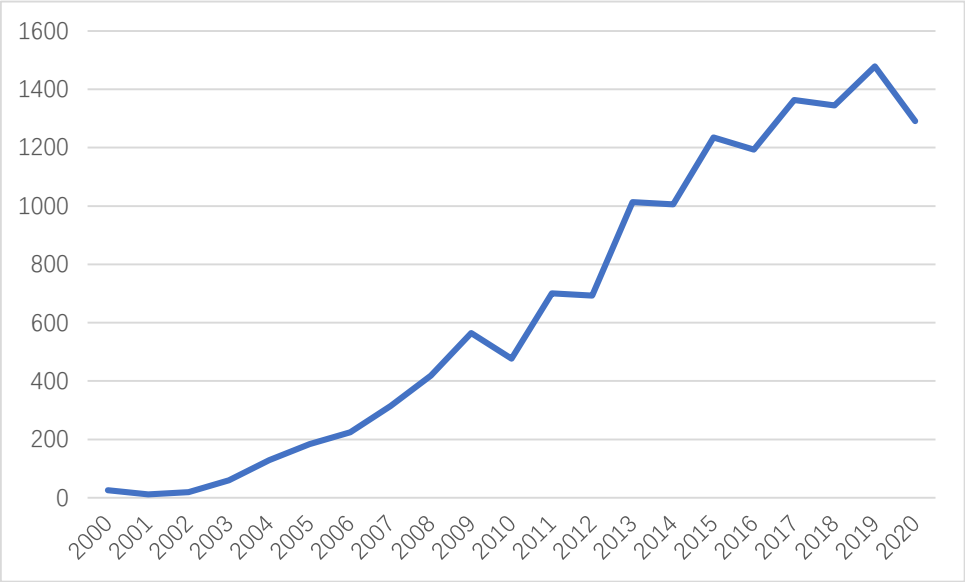


图 7-8：2000 至 2020 年脑机接口学术论文发表趋势

美国、中国、德国的脑机接口论文数量处于领先位置，其中美国论文 3607 篇，全球占比为 25.2%。美国的加利大学和佛罗里达大学、德国的图宾根大学和柏林大学、奥地利的格拉茨技术大学、中国的中国科学院和清华大学等单位论文发表数量全球领先。

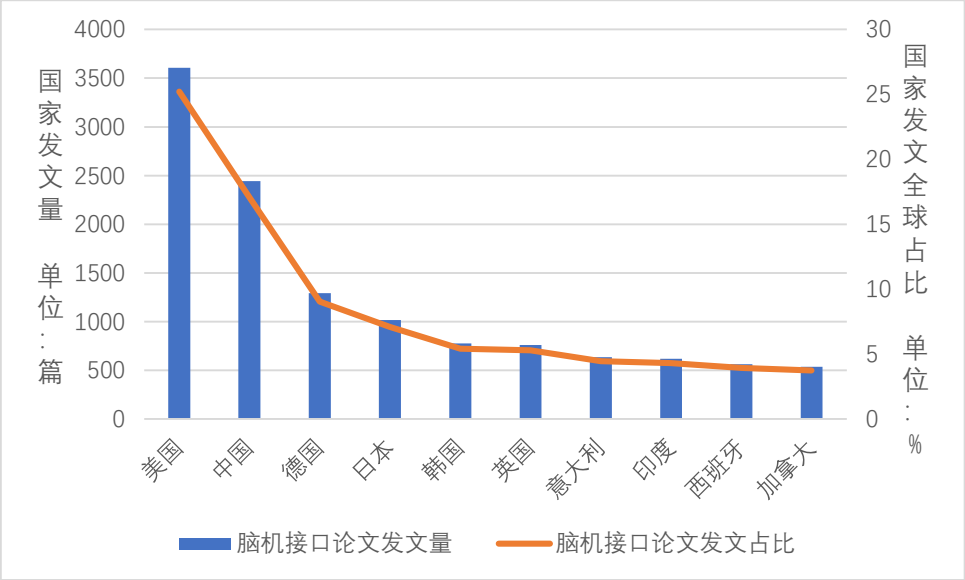


图 7-9：2000 至 2020 年各国脑机接口学术论文发表量及占比

表 7-4 全球脑机接口学术论文发表单位 Top10

科研高校	论文数	国家
加利大学	566	美国
图宾根大学	356	德国
格拉茨技术大学	299	奥地利
中国科学院	278	中国
佛罗里达大学	224	美国
柏林工业大学	217	德国
高丽大学	214	韩国
宾夕法尼亚高等教育系统	213	美国
新加坡科技研究局	209	新加坡
清华大学	209	中国

根据脑机接口论文的关键词词频以及关键词共现网络分析，目前学术界的研究热点主要分为五大类：一是应用于康复领域的研究，通过对脑电信号的分类与识别，实现对神经系统疾病和心理疾病的监测与康复治疗。二是用于残障群体生活质量提高的研究，利用脑机接口技术为功能障碍患者建立与外界交流的通道。三是基于人工智能算法的研究，如利用人工智能算法提取脑电图特征。四是基于稳态视觉诱发电位的脑机接口系统的研究。五是脑功能成像技术的研究，如功能性近红外光谱技术、功能磁共振成像、神经反馈等。

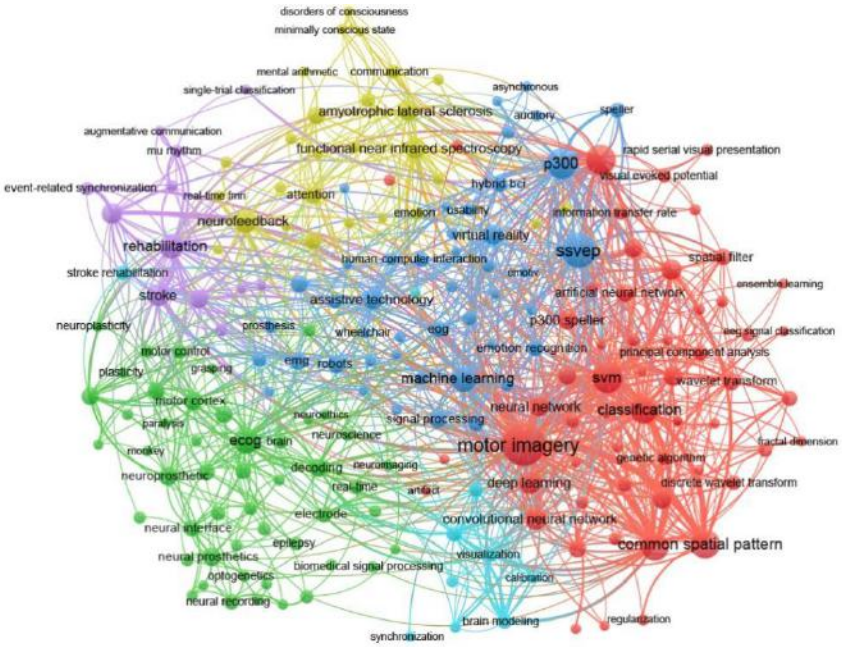


图 7-10 脑机接口学术论文研究热点方向

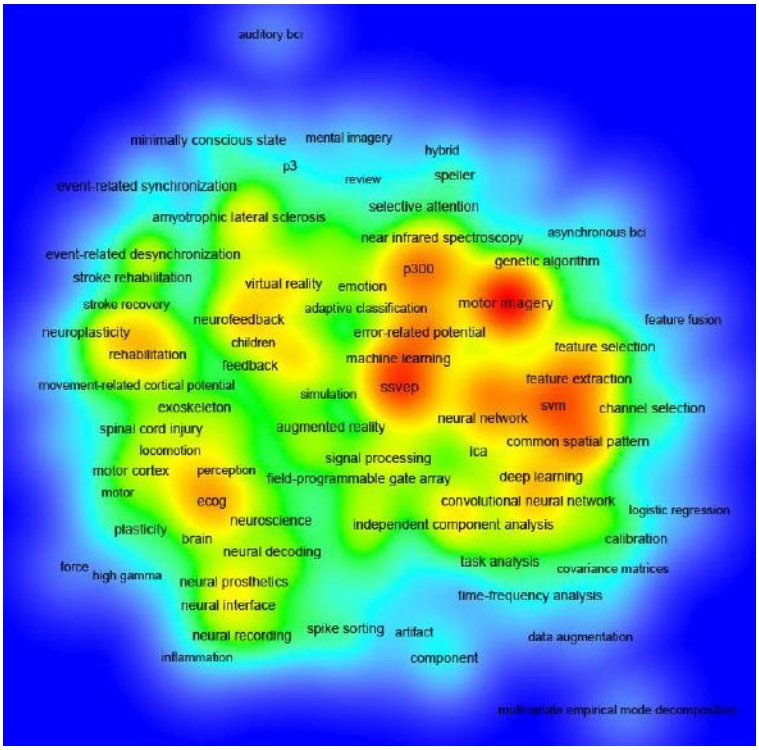


图 7-11 脑机接口学术论文研究热点方向

（2）多国科研高校和实验室积极探索脑机接口技术

目前，世界多国的科研高校和实验室都已开始了积极探索脑机接口技术的研究工作。奥地利 Graz 技术大学、德国柏林工业大学、Tübingen 大学等是脑机接口最早先行者，发表了一系列开创性成果，多次举办国际会议和国际竞赛；美国的 Wadsworth 研究中心研究脑机接口的医疗应用，其开发的开源平台 BCI 2000 在业内影响较大；麻省理工学院注重跨领域脑科学研究，并侧重计算建模；加州大学开发了完善、强大的脑电信号分析工具包 EEGLAB；纽约大学、华盛顿大学、新加坡科技研究局、美国斯坦福大学、韩国首尔大学、日本丰田汽车等是较为积极的研发机构。杜克大学早期在猴子脑中植入电极，来控制电脑光标的运动。匹兹堡大学在猴子和人身上做实验，可以控制虚拟的光标和控制实体的机械臂。而后布朗大学、斯坦福大学、伯克利大学、卡耐基梅隆大学、加州理工学院、美国国防高级研究计划局等研究机构都开始进行侵入式研究，也取得进展。

（3）中国研究团队已遍及多所高校且取得突破

中国的脑机接口技术虽然起步较晚，但发展迅猛。2017 年成立了中国生物

医学工程学会医学神经工程分会下的“脑-机接口”学组，是中国脑机接口领域的官方团体。中国高校在脑机交互技术研发方面非常踊跃，清华大学、浙江大学、天津大学、上海交通大学、电子科技大学、华东理工大学、华南理工大学、国防科技大学、中科院、华中科技大学等高校都已设立课题组研究相关问题。

清华大学在基于 SSVEP（稳态视觉诱发电位）的无创脑机接口方面起步早且实力领先，在国际脑机接口大赛中取得优异成绩，2001 年就实现控制鼠标、控制电视按键，2006 年通过运动想象控制两个机器狗进行足球比赛，并进行基于运动想象脑机接口及功能性电刺激技术的康复训练新方法。清华大学早在 2007 年就荣获“基于脑电信号的脑-机接口的研究”自然科学奖。

浙江大学在“侵入式脑机接口”领域处于国内领先水平。其 2020 年在国内首次通过高位截瘫患者颅内植入电极，实现意念控制机械手臂，可以进行复杂运动控制。

天津大学和中国电子信息产业集团在 2019 年联合研发了全球首款脑机接口专用芯片。天津大学还与中国航天员训练中心开展合作，揭示失重、噪声、情绪等对脑电影响，实现了高识别度、高稳定性、适于空间环境的脑-机接口自适应分类技术；建立了针对航天特征的实验策略和训练方法。天津大学在 2020 年研制出脑控无人机系统，可实现四个自由度的连续控制。上海大学结合虚拟现实技术改善脑卒中患者肢体运动功能障碍；上海交通大学研发出基于光遗传技术的可拉伸光电集成脑机接口 MEMS 器件，能自适应脑组织形变或微动，可有效避免脑组织机械损伤，抑制芯片诱发伪迹和环境电磁干扰。

电子科技大学在被动式脑机接口研究方面，基于脑电和音乐都服从无标度特性的特点，在 2009 年建立了独特的无标度脑波音乐技术，实现了多种脑（情绪）状态的生态性生理音乐表达。

（4）国内脑机接口创新研究中心加速落地

从 90 年代开始，我国陆续在北上广及重点省会城市成立脑科学研究相关中心和实验室。并于 2017 年和 2018 年分别成立了类脑智能技术及应用国家工程实验室、北京脑科学与类脑研究中心，推动脑机接口技术的创新和发展。近些年国内脑科学相关高科技产业园、基地和创新研究中心陆续落地。例如，2019 年南京江北新区启动脑计划，引进和培育一批脑科学与类脑研究领域的新型研发机构、

顶尖人才团队和创新型企业。2020 年 6 月深圳市发布了光明科学城空间规划纲要，2021 年光明脑科学技术产业创新中心成立，但还尚未形成产业园，但大多仍处于发展初期。

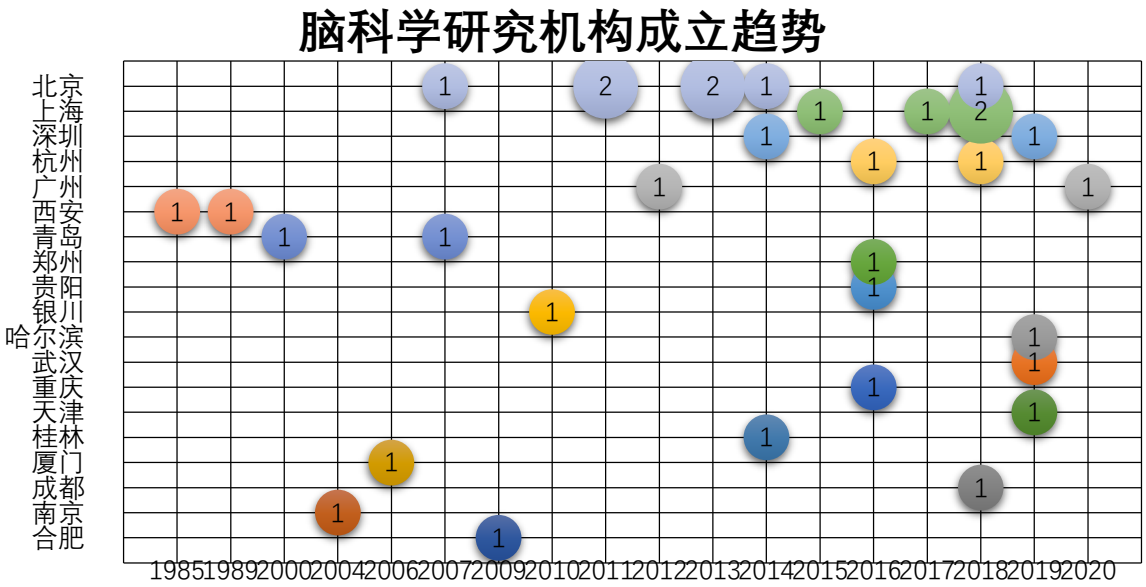


图 7-12 我国脑科学科研机构发展趋势

此外，企业和高校也在政府的支持下入驻园区和设立研究院，围绕“脑科学”产业推进创新发展。例如 2021 年，南京江北新区启动了脑与类脑产业（未来脑园）计划启动，并成立南京脑科学与类脑智能创新中心，新区引进落实了南京慧脑云脑科学研究院、北京优脑银河等一批创新载体。为企业提供人才、技术、市场的支持。宁海、杭州和珠海高新产业园也吸引了脑陆科技入驻。上海市通过“脑与类脑智能基础转化应用研究”科技重大专项支持复旦团队在脑机接口芯片上集成深度学习技术，模拟大脑认知能力，探索帕金森病、阿尔茨海默病等神经功能认知障碍疾病的预测和治疗。

本章由方俊、韦新、黄涌、孙雪峰、姜孟、金城起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 疾病负担使用伤残调整生命年 (DALY) 计算。一个 DALY 代表相当于一年完全健康的损失.

[2] https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/global-health-estimates-leading-causes-of-dalys.

[3] 科研项目为 2013 年至 2020 年 1 月的重点国家级区块链科研项目(中国科研项目的统计数据来自中国自然科学基金和国家社科基金)。检索数据库为中国工程科技中心科研项目数据库.

[4] World Health Organization. Global health estimates: Leading causes of DALYs.2019. https://www.prnewswire.com/news-releases/brain-computer-interface-market-to-reach-3-85-bn-globally-by-2027-at-14-3-cagr-allied-market-research-301086617.html.

[5] https://docs.openbci.com/docs/08FAQ/HowProductsGoTogether.

[6] 边金田. 人工智能技术在计算机中的发展和应用[J]. 电子世界, 2014.

[7] 郭苗苗, 徐桂芝, 王磊,等. 听觉脑-机接口技术实验范式的研究进展[J]. 中国生物医学工程学报, 2013, 32(5):7.

[8] 张俊伟, 刘建平. 脑机接口技术的研究进展[J]. 国际生物医学工程杂志, 2013, 36(4):5.

[9] 郑载舟. 基于实时功能磁共振成像的脑机交互自然图像检索技术研究[D]. 解放军信息工程大学.

[10] 伍中联, 张永. 驾驶员疲劳状态检测软件的设计[J]. 商情, 2013(13):1.

[11] 海生. 意念控制世界[J]. 天津中学生, 2013(9):1.

[12] 杜鹃. 中国科学技术发展战略研究院建院 30 周年[J]. 科技中国, 2013(1):2

[13] 李健芃. 基于稳态视觉诱发电位的脑机接口系统的设计与实现[D]. 兰州大学.

[14] 郭衍龙. 基于运动想象与稳态视觉诱发电位的混合脑机接口系统研究[D]. 昆明理工大学，2017.

[15] 胥凯. 植入式脑机接口中神经元重要性评估及锋电位的高效解码[D]. 浙江大学，2015.

[16] 杨雪. 基于动物实验的脑—机接口研究[D]. 浙江大学，2007.

[17] 胡晓飞. 帕金森病运动亚型及认知症状的功能与结构磁共振研究. 第三军医大学，2016.

[18] 张玉台. 加强创新驱动促进大学与科研院所创新成果转化[J]. 中国科技产业，2014，000(002):22-23.

[19] 刘畅. 脑科学知识在中小学校的传播策略研究[D]. 郑州大学.

[20] 罗旭. 控脑技术发展及军事应用预测研究[D]. 第三军医大学，2016.

[21] 俞李嘉，俞琦. 移动医疗技术在医疗服务中的应用和发展[J]. 卫生经济研究，2013(08):60-62.

[22] 李海海. 跨国公司研发国际化与我国的对策[D]. 湘潭大学，2003.

[23] 董微微. 基于复杂网络的创新集群形成与发展机理研究[D]. 吉林大学，2013.

[24] 吴朝晖，俞一鹏，潘纲,等. 脑机融合系统综述[J]. 生命科学，2014，26(6):5.

[25] Abderrahmane Kheddar. 脑机接口的研究现状及未来应用的展望[J]. 机器人产业，2018(5):5.

[26] 高诺，鲁守银，张运楚,等. 脑机接口技术的研究现状及发展趋势[J]. 机器人技术与应用，2008(4):4.

[27] 孙中磊，刘英富，涂悦,等. 脑-机接口技术发展现状及脑控动物应用前景[J]. 军事医学，2016，40(10):843-846.

[28] 任岩，安涛，领荣. 脑机接口技术教育应用:现状、趋势与挑战[J]. 现代远距离教育，2019(2):8.

[29] 徐振国，陈秋惠，张冠文．新一代人机交互:自然用户界面的现状、类型与教育应用探究——兼对脑机接口技术的初步展望[J]．远程教育杂志，2018，36(4):10.

[30] 杨红宇，徐鹏，陈彦．异步脑机接口技术现状及发展趋势[J]．中国生物医学工程学报，2011，30(5):7.

[31] 谢俊祥．脑-机接口技术研究现状及面临的挑战[C]// 中国医学科学院医学信息研究所．中国医学科学院医学信息研究所，2010.

[32] 高越．美国脑机接口技术研究及应用进展[J]．信息通信技术与政策，2020(12)：75-80.

[33] 于淑月，李想，于功敬，等．脑机接口技术的发展与展望[J]．计算机测量与控制，2019，27(10):5-12.

[34] 全球脑机接口行业分析报告．(2017-06-26)[2020-10-26]. http://zhigu.news.cn/2017-06/26/c_129640983.htm.

[35] 投资风口上的“脑机接口”离“商业着陆”还有多久[EB/OL]．(2019-11-14)[2020-10-26].https://tech.hexun.com/2019-11-14/199265345.html.

[36] 程中和，唐孝威，石青云，等．关于大力加强我国脑科学研究的建议[J]．中国科学院院刊，1997，(6):396-397.

[37] Vidal J J. Real-time detection of brain events in EEG[J]. Proc IEEE, 1977, 65(5):633-641.

[38] Carmena J M, Lebedev M A, Crist R E, et al. Learning to control a brain－machine interface for reaching and grasping by primates[J]. PLoS Biol, 2003, 1(2):e42.

[39] Song D, Chan R H, Marmarelis V Z, et al. Nonlinear dynamic modeling of spike train transformations for hippocampal-cortical prostheses[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2007, 54(6 Pt 1):1053-1066.

[40] Hung C P, Kreiman G, Poggio T, et al. Fast readout of object identity from macaque inferior temporal cortex[J]. Science, 2005, 310(5749):863-866.

[41] Gage G J, Ludwig K A, Otto K J, et al. Naïve co-adaptive cortical control[J]. J Neural Eng, 2005, 2(2):52-63.

[42] Vetter R J, Williams J C, Hetke J F, et al. Chronic neural recording using silicon-substrate microelectrode arrays implanted in cerebral cortex[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2004, 51(6):896-904.

[43] 革命性假肢——DARPA 下一代仿生机械臂即将上市[EB/OL].2016-07-12)[2020-10-26].http://www.dsti.net/Information/News/100421.

[44] Yang G Z, Bellingham J, Dupont P E, et al. The grand challenges of Science Robotics[J]. Science Robotics, 2018, 3(14):7650.

[45] 陈小刚, 杨晨, 陈菁菁,等. 脑机接口技术发展新趋势——基于 2019—2020 年研究进展[J]. 科技导报, 2021, 39(19):10.

[46] 王鑫哲. 脑机接口技术在医疗领域的应用前景分析[J]. 科技传播, 2019, 11(5):2.

[47] 杨鑫, 吴边, 陈卫东,等. 脑机接口技术在航天领域的潜在应用[J]. 载人航天, 2012, 18(3):6.

第 8 章　基础软件层

基础软件层主要包括操作系统、数据库、编译器、元宇宙普遍语言等。

8.1 操作系统

操作系统（operating system，简称 OS）是管理计算机硬件与软件资源的计算机程序，是所有应用软件调用物理或逻辑计算资源、存储资源的媒介。操作系统是其最基本也是最为重要的基础性系统软件，也是最复杂而庞大的计算机软件系统。无论在物理机、虚拟机还是在容器中，操作系统都需要处理如管理与配置内存、决定系统资源供需的优先次序、控制输入设备与输出设备、操作网络与管理文件系统等基本事务。多数情况下操作系统也提供一个让用户直接和系统交互的可视化操作界面，但这并不是必须的。

操作系统会控制其他程序运行，管理系统资源，提供最基本的计算功能，如管理及配置内存、决定系统资源供需的优先次序等，同时还提供一些基本的服务程序，例如：

8.1.1 文件系统

提供计算机存储信息的结构，信息存储在文件中，文件主要存储在计算机的内部硬盘里，在目录的分层结构中组织文件。文件系统为操作系统提供了组织管理数据的方式。

8.1.2 设备驱动程序

提供连接计算机的每个硬件设备的接口，设备驱动器使程序能够写入设备，而不需要了解执行每个硬件的细节。简单来说，就是让你能吃到鸡蛋，但不用养一只鸡。

8.1.3 用户接口

操作系统需要为用户提供一种运行程序和访问文件系统的方法。如常用的 Windows 图形界面，可以理解为一种用户与操作系统交互的方式；智能手机的 Android 或 iOS 系统，也是一种操作系统的交互方式。

8.1.4 系统服务程序

当计算机启动时，会自启动许多系统服务程序，执行安装文件系统、启动网络服务、运行预定任务等操作。操作系统就好像是一个政府，其它软件都会被它管控，操作系统在给其他软件提供各种便利的同时，还会约束其他软件不能为所欲为。

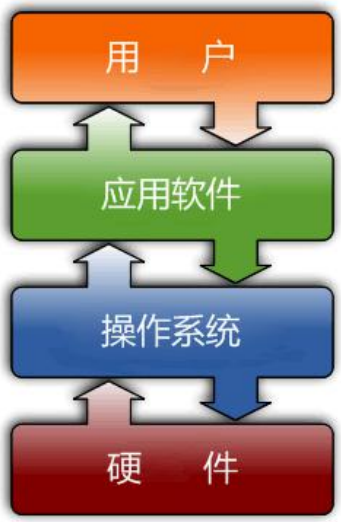


图 8-1：操作系统与其他系统的层次关系

8.1.5 操作系统的主要功能

当今常见的操作系统有微软的 windows，苹果的 Mac OS，以及开源的 Linux 等。国产的操作系统多以 Linux 为基础进行加工和改造，以统信的 UOS 操作系统为例，有基于 Debian、CentOS、欧拉三个 Linux 主流技术路线的多个发行版，应对桌面、服务器、云计算、边缘、嵌入式、便携、车载、专用设备等多个领域的不同场景需求。

操作系统主要包括以下几个方面的功能 ：

- **进程管理**：其工作主要是进程调度，在单用户单任务的情况下，处理器仅为一个用户的一个任务所独占， 进程管理的工作十分简单。但在多道程序或多用户的情况 下，组织多个作业或任务时，就要解决处理器的调度、 分配和回收等问题 。
- **存储管理**：存储分配、存储共享、存储保护 、存储扩张。

- **设备管理**：设备分配、设备传输控制 、设备独立性。
- **文件管理**：文件存储空间、目录 、文件操作、文件保护。
- **作业管理**：是负责处理用户提交的任何要求。

在元宇宙的体系中，操作系统又可以分成两类。一类是承载服务端的操作系统，它包括物理服务器上的操作系统(HostOS)、虚拟机中的操作系统(GuestOS)、容器中的操作系统（基础镜像，如 minbase)；另一类是承载用户客户端的操作系统，比如 VR 眼镜、手持设备、传感器等等终端设备上的操作系统。前一类我们着重解决的是计算资源、存储资源的定义、分配和利用，是云计算基础设施中的重要一环；后一类我们关注的重点是与用户间的交互，终端设备上的操作系统与应用软件间的界线将被模糊化，因为从某种程度上来说，这些设备自打一开机就已成为用户与元宇宙世界交互的接口，是用户操作自身行动与能力的操作系统。

8.2 数据库技术

数据库是“按照数据结构来组织、存储和管理数据的仓库”，是一个长期存储在计算机内的、有组织的、可共享的、统一管理的大量数据的集合。数据库是一个实体，它是能够合理保管数据的“仓库”，用户在该“仓库”中存放要管理的事务数据，“数据”和“库”两个概念结合成为数据库。数据库能合适的组织数据、方便的维护数据、严密的控制数据和有效的利用数据。(摘自《科普中国》)

8.2.1 通用数据库发展综述

（1）数据库技术发展

数据库有很长的发展历史。特别是 2000 年起，数据由于互联网的普及和全球化进程的加速带来了爆发式的增长，传统的数据库公司已经无法解决如此海量的数据处理请求，已经稳固的数据库技术、架构与市场的平衡逐渐被打破。2010 年前后诞生了一批基于分布式技术的高性能可扩展特性的非关系型数据存储的 NoSQL 数据库与保留关系 SQL 处理方式的 NewSQL 数据库。这类数据库开创性地结合了新的互联网技术，对传统的数据库行业进行了冲击，逐渐在多业务场景应用支撑、高可用、数据分析方面得到广泛认可。

2015 年前后，随着云时代的到来，许多企业的全部或部分 IT 设施转向云计算，开始注重基础设施的弹性伸缩能力，云化数据库架构通过计算存储分离来解耦计算节点和存储节点，从而实现计算节点的弹性伸缩、以及存储节点的在线扩缩容，从而解决用户可以按需付费、峰值数据处理无感知问题。数据库与云计算技术结合形成的云数据库技术也逐步成为趋势。“云数据库”是将数据库以服务的形式给用户提供，无须使用数据库资源的用户自建机房来对数据库进行运维，更加专注到对数据的有效利用上。从某种意义上来说，云数据库就是数据库的资源集合，是一种前所未有的数据库商业模式或者交付方式，而并非传统意义上的一款单独的数据库内核。

根据 IDC、赛迪等统计，基于公有云的关系系数据库的市场份额会在今后逐年扩大，其中公有云的 NoSQL(包括 Hadoop)数据库在市场份额也将扩大。

（2）国内数据库技术发展

我国数据库技术起步较晚，但是经过三十多年的发展，随着信息化建设的深入，整个数据库行业已取得明显进展：厂商迅速发展、市场份额逐年提高、国内数据库进入国际视野、获得权威机构认可、产品已具备金融级性能和可用性、并逐渐进入政府和大中型企业的核心系统等，也已经成功应用于政务、教育、电力、金融、农业、卫生、交通、科技等许多行业。

国内数据库产业经过多年的储备和发展，多款产品逐步成熟，并且不断在行业中应用，取得了行业用户的肯定，保障了行业信息应用的稳定和发展。而且，基于芯片、服务器、操作系统、数据库软件、中间件及行业应用的适配工作正在蓬勃开展，生态链条正在逐步完善，生态圈、生态社区构建初具规模。同时，供应链建设尤其是供应链安全等方面被关注程度提升，成为行业管理的重要方向。

目前，基于国内信息创新领域持续加强政策支持和产业投入，信息安全战略以技术联盟、产业联盟的方式，从业务、芯片、操作系统、数据库各种厂商共同参与下，全面适配上下游厂商，基本建立起了数据库的国内生态体系。

8.1.2 通用数据库主要分类

数据库有多种类型，适合不同的应用场景。数据库按应用类型可分为操作型、分析型以及事务分析混合处理型数据库；按数据关系组织可分为关系型 SQL、非

关系型及关系型 NEWSQL 数据库；按集中分布可分为共享存储集群及分布式集群数据库等。

下面分别介绍不同类型数据库的主要特点：

（1）按业务类型分

（A）操作型数据库（Operational DBMS）

操作型数据库的代表为联机事务处理型数据库（On-Line Transaction Processing -OLTP）是一种面向交易的数据库，其本质是以事务为单元的数据库管理系统。操作型数据库主要用于应对日常流水类业务，主要是面向消费者类的业务。OLTP 型数据库基于事务一致性，被广泛应用到核心交易系统，又称为实时交易系统。其存放数据的形式一般为行存数据，通过 ETL 的清洗转换工具将数据导向面向分析的数据仓库中。重点使用此类数据库的场景包括但不仅仅包括：金融、银行、核心政务系统等对实时性要求较高的系统。

（B）分析型数据库（Analytical DBMS）

分析型数据库的代表为联机分析处理型数据库（On-Line Analytical Processing -OLAP）是一种面向分析的数据库，其本质是使分析人员、管理人员或执行人员能够从多种角度对从原始数据中转化出来的、能够真正为用户所理解的、并真实反映企业维特性的信息进行快速、一致、交互的存取，从而获得对数据更深入了解的一类软件技术。OLAP 型数据库大多采用列式数据存放方式，将数据由 ETL 工具从实时数据库中将数据导出到各类主题进行分析。此类技术在业界也被称为数据仓库技术，用于区分 OLTP 型的数据库技术。应用场景大多为企业决策分析型应用。

（C）事务分析混合处理型（HTAP）

HTAP 是混合 OLTP 和 OLAP 业务同时处理的系统，混合事务/分析处理(HTAP)是一种新兴的应用体系结构，它打破了事务处理和分析之间的“墙”。它支持更多的信息和“实时业务”的决策（Garnter 定义）。由于 OLAP 型数据库大多需要离线将 OLTP 数据导出，所以就会造成数据时效性的降低。一些对决策时效性要求较高的场景就会对 OLTP 和 OLAP 混合的数据库需求较大（如对实时消费

的分析决策推送类场景，高时效性的数据意味着精确的推送），所以衍生出了 HTAP 数据库。此种数据库主要用于对实时分析需求较高的核心交易系统，核心业务系统。其数据的存放方式大多为行列混存方式。

（2）按集中分布分

（A）共享存储集群型

共享存储集群型数据库又叫共享磁盘型，采用多台服务器共同部署数据库管理软件。数据一致性保障通过内存复制的方式在多台服务器间进行。共享存储集群型数据库允许多个数据库实例同时访问、操作同一数据库， 具有高可用、高性能、负载均衡等特性。但多个数据库实例同时访问、修改同一个数据库，必然带来了全局并发及数据在节点间的传递效率问题。共享存储集群型在面向大规模数据应用存在扩展问题。在 2000 年底甲骨文公司发布了其 9i 的版本，其中有一项名为 Oracle Real Application Cluster - RAC（真正应用集群）的技术，提出了利用共享存储（盘阵）技术以及内存共享技术将多个服务器通过网络联合起来达到逻辑的统一的数据库架构。RAC 数据库通过将数据库系统软件部署在多台物理服务器和一个外部存储阵列上的方式满足了许多核心系统的算力和存储能力升级。全球数据来到了 10ZB 级别，并且每年以至少 50%的增量增长。在这样的环境下“RAC”架构的数据库管理系统在解决存储容量进一步的扩展和到达一定规模的集群的服务器间数据快速交换与对阵列访问通道瓶颈等问题出现了不足。

（B）分布式集群型

分布式集群型数据库又叫无共享架构（Shared Nothing）数据库。这种数据库采用多台服务器，利用服务器内部的 CPU，内存以及本地磁盘，完全不对其中的磁盘和内存进行实时同步。分布式数据库系统通常使用较小的计算机系统，每台计算机中都可能有 DBMS 的一份完整拷贝副本，或者部分拷贝副本，并具有自己局部的数据库，不同节点计算机通过网络互相连接，共同组成一个完整的、全局的逻辑上集中、物理上分布的大型数据库。

(3) 按关系组织分

（A）关系型 SQL 数据库

关系型数据库即是被广泛认知的数据库管理系统（DBMS），采用了关系模型来组织数据，以行和列的形式存储数据。关系模型可以简单理解为二维表格模型，而一个关系型数据库就是由二维表及其之间的关系组成的一个数据组织。此类数据库大多采用的是 SQL 语言进行数据操作。从数据存放角度通俗理解就是，使用关系模型存放数据的数据库即是关系型数据库。

（B）非关系型数据库

非关系型数据库又被称为“NoSQL”数据库，用于解决一些通用的关系型数据库无法或者不好解决的痛点。非关系型数据库大多摒弃了如关系型的数据存放方式、基于 SQL 的数据访问规则、事务的强一致等在特殊场景来说不是很有必要的特性。此种数据库包括但不仅仅包括：键值数据库、列存数据库、图数据库、文档数据库。大数据的出现开始让数据库平衡的产业格局变得松动，以 MongoDB 为为代表的 NoSQL 数据库异军突起，席卷了整个数据库生态，让各大应用厂商发现，除了关系型数据库之外，还有另外的数据处理模型。NoSQL 数据库采用了分布式架构与可能的外挂的分布式存储。但是摒弃了传统关系型数据库的管理方式与操作方式，也不满足各类事务特性。

（C）关系型 NEWSQL 数据库

大数据时代到来，使得许多的传统领域也面临着对海量数据处理的需求。适用于大多数行业的数据模型依旧是关系型数据，所以数据库科学家们开始思考结合分布式技术和基于 SQL 的关系型数据管理方式来研发一种新型的数据库。“NewSQL”数据库即是利用分布式理论，将数据按关系型的管理，满足 ACID 事务特性的数据库，同时解决 NoSQL 数据库系统不具备高度结构化查询等特性，以及传统 SQL 数据库规模扩展问题。NewSQL 数据库是基于分布式架构与分布式事务技术的新型关系型数据库，结合了传统关系型数据库的管理形式，如表、视图、存储过程等对象的管理。底层的存储部分可能采用外挂的分布式存储，也可能基于各类存储技术自行开发。

8.1.3 元宇宙对数据库影响

随着大数据的发展，单一的数据库类型已经无法满足大数据的发展需要，目前已经有不同类型的数据库可以服务不同的应用场景。本质上，元宇宙中的不同应用场景也需要相应匹配的数据库提供服务。

无论是现实还是虚拟世界，数据库都是重要 IT 基础技术支撑，为了维系元宇宙的日常运作，数据库为数字孪生世界的镜像和混合现实世界中的虚拟扩展提供数据平台支撑。元宇宙中的一切虚拟概念，不论其描述的是具体对象，还是抽象对象，以及所有与元宇宙对象发生关联的现实对象，都可能在数据库中有所体现。元宇宙下的数据库将面临新的技术挑战。

在元宇宙虚拟世界，其数字化程度远高于现实世界，经由数字化技术勾勒出来的空间结构、场景、主体等，实质都是以数据方式存在的，需要实现主体数据化、场景数据化、行为及交互行为的数据化。因此，元宇宙的虚拟世界，需要比现实更多的数据支撑。虽然这些数据并不全存储在数据库中，其它系统也会承担元宇宙的数据存储，但元宇宙虚拟世界的空间结构、场景、主体等的基础数据、关联数据、活动及运行数据、发展变动数据需要存储在数据库中。所以，元宇宙下的数据库至少应该支持超大数据规模、数据多样化及多种数据处理模式的要求。

元宇宙虚拟世界中，数据类型各种各样。经济系统中需要记录各种交易信息，这种类型多为结构化数据，适合交易型关系数据库；各种实体及其经济活动存在各种直接和间接关系，这种关系错综复杂，适合图数据库；各种感知设备以及数字孪生产生的各种流数据，适合流数据或实时数据库；虚拟世界的实体对象的各种活动轨迹及位置需要适合 GIS 空间数据库；各种文档、图像、图像、声音、视频等还可能适合包括文档数据库等其它数据库。

元宇宙下，数据类型复杂、处理方式多样。由于各种类型数据库各有所长，分别可以高效应对不同的场景，很难只使用一种数据库完成应对各种应用场景。但使用一个统一的数据库语言，或者每种类型数据库一个统一数据库语言是可行的。统一语言可以建立在统一虚拟逻辑层上，由虚拟逻辑层下的具体数据库引擎执行操作。

图 8-2：元宇宙虚拟世界场景（截自：2020-2021 元宇宙发展研究报告-清华大媒体研究中心）

8.1.4 元宇宙数据库重要特色

（1）与区块链融合

为了构建经济系统，元宇宙需要依靠区块链技术。区块链本质上就是一个去中心化的账本数据库，其底层通常为 Key-Value 的 NOSQL 数据，区块链分布节点数据由共识算法来维持各个节点的账本数据的一致性，由密码算法实现各个区块之间的链接，实现数据的签名和确权，由账户模型来表达这个数据是由谁产生的，谁发起的，以及流转给谁的，由脚本系统来具体驱动这些脚本数据的验证，执行等操作。

区块链数据库能够保存现有相关的信息以及之前所有信息，生成历史数据库，它们像自己历史上不断扩展的档案一样成长。通常，随着元宇宙中依赖区块链的数字化交易增加及历史数据的累积，区块链账本之间的数据同步延时会逐步增加，系统整体性能逐步下降，因为区块链数据库与分布式数据库有所不同，分布式数据库每个节点只存储数据库的部分数据，而区块链每个节点存储完整数据库。所以元宇宙下，高频使用且不断扩展的区块链的数据库将面临性能考验。

以下是区块链账本数据库示例：

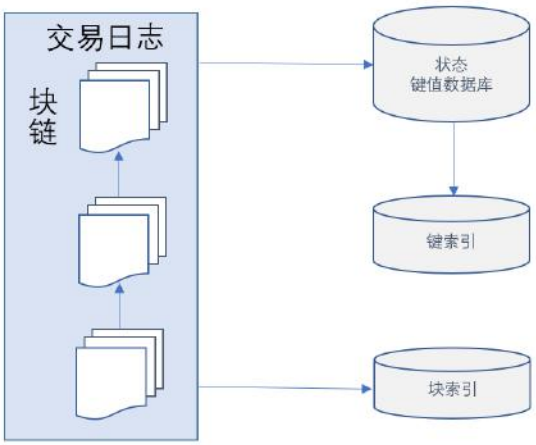


图 8-3：区块链技术的数据库记录

区块链应用把数据保存在账本中。通过共识机制对账本进行读写操作。账本是一个 Key-value 的状态加块链，以追加的方式写入，不可更改。块链就是一系列连在一起的块，用来记录历史交易。状态对应账本的当前最新状态，它是一个 key-value 数据库。

（2）支撑数字孪生

元宇宙中包含了实体世界和的虚拟世界的映射和交互，这也是数字孪生，数字孪生首先面向物的。数字孪生需模拟完整、广泛的虚拟物件，数字孪生可以基于 VR/AR 设备、5G、6G、云端边缘、智能传感器、机器视觉等实现虚拟世界活动控制、设备运行维修等。数字孪生也可以很好提供设备开发仿真、能源监控及预测性维护，厂商或将能在工业元宇宙共通平台上建立虚拟工厂，串接各厂区与跨企业合作互通，拥有庞大数据的产业大厂。

由此可见，元宇宙下，有大量数据来自智能穿戴设备、五官感应设备、IOT 系统，包含现实与虚拟设备运行及设备运行状态数据。这种数据处理实时性要求很高，所以，元宇宙下的数据库，将面对大量高频度实时数据，实时数据存的时间窗口大小直接影响需要为实时数据提供的存储空间大小。

实时数据库的一个重要特性就是实时性，包括数据实时性和事务实时性。数据实时性是现场 IO 数据的更新周期，作为实时数据库，不能不考虑数据实时性。事务实时性是指数据库对其事务处理的速度。它可以是事件触发方式或定时触发方式。事件触发是该事件一旦发生可以立刻获得调度，这类事件可以得到立即处

理，但是比较消耗系统资源；而定时触发是在一定时间范围内获得调度权。作为一个完整的实时数据库，从系统的稳定性和实时性而言，必须同时提供两种调度方式。

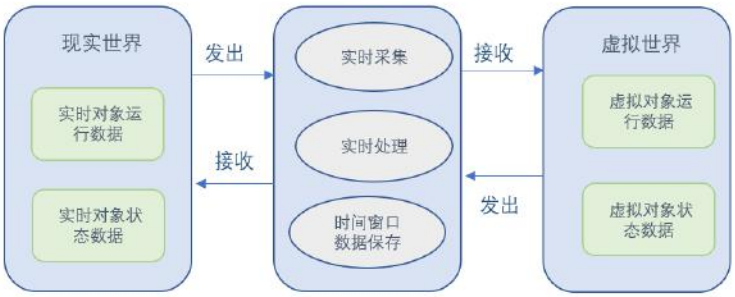


图 8-4：数字孪生实时数据库交互

（3）三维可视化

一图胜千言，传统数据库已经为可视化打下良好基础，尤其是 BI（商业智能）可视化，已经为管理决策提供了非常直观的效果。由于元宇宙是与现实世界平行的虚拟世界，现实世界存在的人、物、山、川、河流，现实世界的各种实体都可能需要在虚拟空间出现。

虚拟空间需要展现大量三维动态实体，为了模拟真实世界，传统的与二维图形、图像并不能满足元宇宙的需求。而仿真成像的三维图像将会在元宇宙中大量使用。游戏中我们常见到的城市、沙漠、山地、丘陵、林地、海洋等都可以作为三维模型。通过模型库可以展示较强真实感的人物、建筑、树木、道路等。

图像一般分为两类——矢量图和位图。以照片或图片为例，图像由不同颜色的点阵组成。 这叫位图，我们看到的基本都是它,我们常见的 *.bmp ; *.jpg 等等都是。另一类图形就像有些工程设备图和卡通漫画等，它们主要由线条和色块组成,用代数式来表达每个元素。然后把这些元素的代数式和它们的属性存储，这样生成的就叫矢量图。简单的一句话就是:这种图形效果是通过公式计算获得,并可无限放大不失真。目前已有技术可通过基本图像素材加机器学习或矢量计算辅助生成的三维动态图像。其中，用于深度学习算法训练的高逼真度仿真图像已经取得成效，但占用资源较多、影响 IO，而基于矢量技术的三维图像比较成熟而且占用资源少。

矢量图是面向图像或绘图图像，矢量图可以根据几何特征绘制，并由算法计算生成。矢量图主要元素有点、线、矩形、多边形、圆和弧等，它们是通过数学公式计算出来的。矢量图可以做到无论放大还是缩小，颜色边缘都非常平滑，非常清楚。矢量图优点是占用存储空间小、可编辑对象的图像元素、放大或缩小的图像不影响图像的分辨率，图像的分辨率不依赖于输出设备。矢量图技术已经很成功应用在空间地理数据库，目前，三维模型数据库输出格式包括 3D MAX、FLT、OSG 等，并支持多种地形数据格式导入。模型数据库可以渲染出高仿真实体，对算力要求比较高。相信未来元宇宙也会大量使用基于矢量技术的三维图数据库。

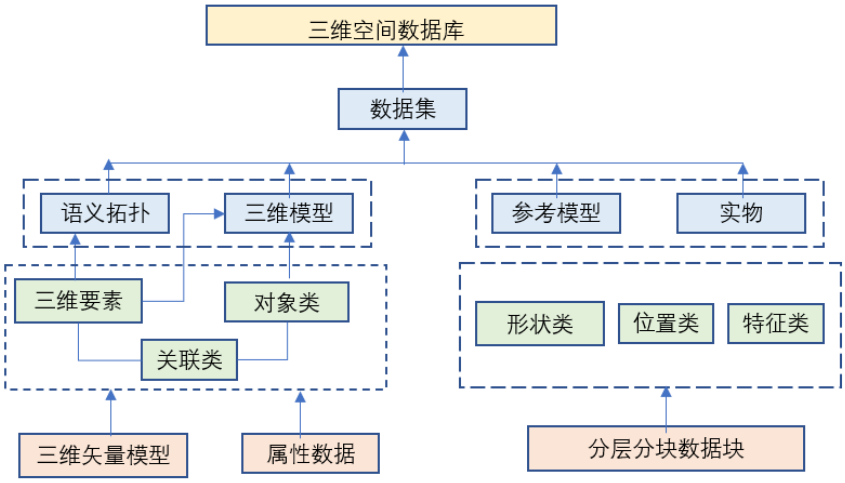


图 8-5：三维空间数据库结构示意图

8.1.5 元宇宙数据库关键技术

（1）分布式技术

元宇宙的概念从建立就决定着它一定是以去中心化的方式运行的，去中心化，这个虚拟空间不以某个服务主体的主观意志为转移，是一个由全体独立个体共同经营维护的空间，需要以去心中化的平权式的共享机制和共治机制为保障。

在去中心化的运行机制下，分布式数据库将是元宇宙的重要要求。分布式数据库的可扩展性可以满足存储不断增长的需求。但由于事务型业务有强一致性的要求，现实世界中分布式数据库各节点之间为了保证一致性，需要限制分布式写的节点，也就是并发写需要排队，从而带来了数据库扩展性和性能的局限。随着元宇宙全数字化环境的发展，通过对强一致性的灵活处理，分布式数据库的规模

将能满足元宇宙的发展需求。

分布式事务型数据库在异常情况中保证事务 ACID 的特性的核心技术主要为二阶段/三阶段提交技术，又称为 2PC/3PC（phase commit).。

二阶段提交原则是在分布式系统中引入一个协调角色，区别于普通的事务参与者，他是直接响应用户的节点，将一个完整事务切分为分布式事务给与参与者。这样参与者在执行事务的过程中，将原来一次执行完成的提交操作做一次预执行或者执行准备，这样即使参与者在提交事务过程中如果出现异常，可以向协调者报告并让他告知其他参与者也对这笔操作进行失败处理。

三阶段提交在二阶段提交当中在第一阶段与第二阶段之间插入了一个准备阶段，使得原先在两阶段提交中，执行者在预执行过程中，由于协调者发生崩溃或错误，而导致参与者处于无法知晓是否提交或者中止的“不确定状态”所产生的可能相当长的延时的问题得以解决。

由于关系数据库对一致性要求很高，所以分布式数据库是分布式数据库的发展重点和难点。为了实现分布，需要对数据库进行切分，通常由水平切分和垂直切分，数据按照业务逻辑水平切分，性能高低主要体现在数据存放方式和业务的贴合程度上，而按照数据容量切片存储，性能高低主要体现在对数据块（片）调度的高效性上。

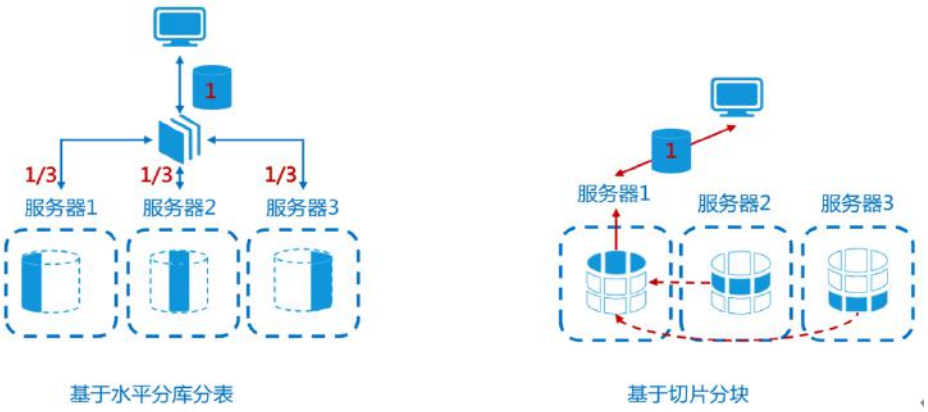


图 8-6：分布式数据库切分方式示意图

(2) 云化技术

云计算其实就是一种通过虚拟化技术实现大规模计算的架构和方法。在云计

算中，资源和功能都以服务的方式提供出来供用户使用。云计算将资源以抽象的方式或者逻辑的方式进行表示，通过虚拟化可以将不同服务器的资源以统一的整体的形式进行提供。

元宇宙是高度虚拟化世界，需要相适应的虚拟技术支撑。云数据库需要建立在云计算技术之上。云数据库可以随着云资源的扩充，其所属的计算和存储都随之扩展。为此，云数据库首先需要具备存储与计算分离架构，传统的存储计算一体化以及共享存储的数据库都无法满足云数据库的需要。

云数据库架构示意如下：

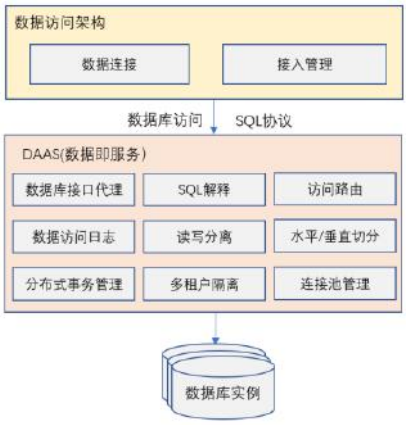


图 8-7：云数据库架构示意图示意图

其中：

数据库接口代理：实现统一的数据访问接口代理，业务组件或模块通过接口代理来访问底层的数据库服务。在接口代理的实现过程中需要考虑数据库连接池的管理，数据库负载均衡等相关内容。

SQL 解析：负责解析客户请求的 SQL 语法，需解析出语句的读、写特性，并根据语句特性进一步解析其中的 schema、表、字段、条件等信息。如：新增语句需解析出所插入字段的字段名和值；查询、修改、删除语句需解析出 Where 条件中包含了哪些条件表达式。

数据路由：负责根据语法解析的结果，在规则池中查找与之相关的规则。找到后将解析结果代入规则中进行运算，得到语句需要转发的具体物理数据库节点。而对于规则池则主要包括语句的读写规则，水平拆分的分片规则，数据对象的访问规则等。

多租户管理：可以实现在数据库实例和数据库 Schema 两个级别的多租户共享和管理功能。数据库层共享以数据库为基本的划分单元，即为每一个租户创建/分配一个数据库实例，共享存储和服务器。Schema 层共享以 User/Schema 为基本的划分单元，即数据库实例已经创建，在此基础上为每一个租户创建一个 Schema，多租户之间共享存储、服务器、操作系统服务和数据库实例。

管控代理：为实现对整个数据库资源池的集中管控和性能监控，需要对每一个数据库物理节点放置数据库管控代理。管控代理一方面实现对物理数据库节点的统一操作入口，一方面实现对资源的实时监控和性能数据采集。

管控功能：提供对服务集群中的不同数据库服务节点进行节点的添加、删除、启动、停止等功能。完成服务集群的伸缩；完成节点信息的采集，以及针对节点进行的手动操作的日志记录； 完成和节点代理服务进行交互的工作；完成和监控系统进行交互；共同完成服务的管理和监控功能。

（3）安全隐私

元宇宙中，每个组织和个人都会拥有自己数据，数据安全与隐私将是数据库必然考虑的重点。除了区块链外，数据库本身技术也要采取必要措施保证数据安全与隐私。

元宇宙数据库安全及隐私主要考虑技术有：

安全通信：使用安全套接层协议，通过使用加密算法保护的链路层，并对服务端和客户端进行双向验证，保证客户端和服务端之间通讯的保密性和完整性。同时，安全通讯也对高可用环境下的连接管理器和客户端、服务端间的通讯，服务端和服务端间的通讯进行了安全保护。

身份认证：支持常规数据库用户口令认证方式，同时支持插入式身份验证模块、轻量级目录访问协议、单点登录用户对数据库访问的验证集成。

角色管理：预定义了数据库安全管理员，数据库审计管理员，数据库管理员等默认角色，也可以由系统管理员根据实际业务需要创建角色和分配用户。

自主访问控制：自主访问控制粒度分为数据库级、表级、字段级。数据拥有者和其指定的用户可对不同粒度对象设置不同的权限管理。

强制访问控制：使用基于标签的访问控制系统以实现强制访问控制要求。安

全标签由一个或多个带顺序的数列型构件、无需的集合型构件、表示层级关系的树型构件组成。强制访问控制力度达到行级。

安全存储：存储数据的保密性是安全数据库的最重要的功能之一。数据管理中的数据加密采用库内加密的方式，在数据库管理系统的内核存储引擎上进行数据加解密处理，即数据在进行物理 I/O 时完成加 / 解密工作。由于数据页只有在真正进行 I/O 时才进行加解密操作，从而对于合法用户来讲是完全透明的，因此也可以称为透明存储加密。加密算法及秘钥由符合国密标准的硬件加密卡提供。

安全审计：由安全操作员进行审计掩码的设置，可针对每个用户、全局分别进行审计掩码的设定，可设定要求、排除两种审计掩码的设定，审计掩码可对 160 种审计事件进行组合。由审计操作员执行审计的启停和配置管理，并对审计记录进行分析。

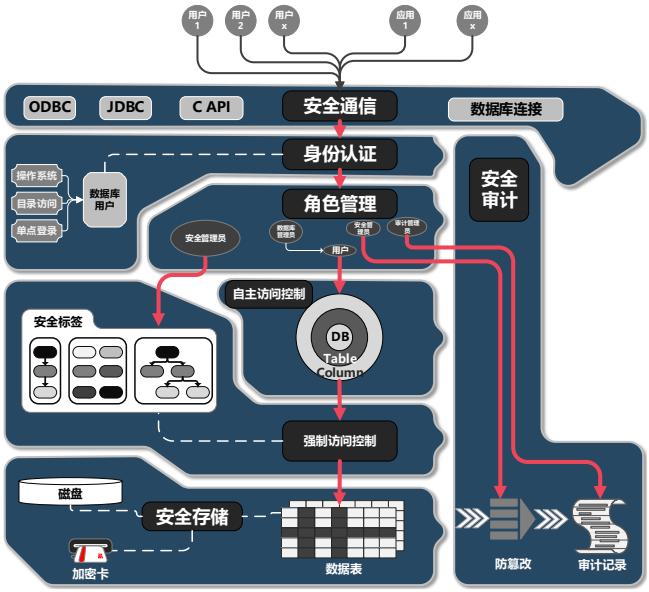


图 8-8：数据库安全隐私技术示意图

（4）硬件计算加速

相对现实世界，元宇宙更需要计算能力的提升。比如，大量虚拟实体的动态生成、大量的 AI 分析，还有元宇宙的实时响应，都需要大量的算力。元宇宙的大数据存储可以采用分布式存储技术，通过增加存储节点解决。但计算能力仅通过增加节点并不够，比如数据库的分布并行处理，由于受到一致性的约束，有时候交易记录并不能都通过增加节点提高效率，还有一些无法切分的实时任务也不

能依赖增加节点解决实时响应问题。所以，类似这些问题，还需要借助硬件技术共同解决。

解决数据库计算能力除了软件和算法优化外，对于密集型计算还可以通过硬件技术来提升算力。使用内存数据库是一种办法之一，但仅使用内存数据库还存在局限性，比如存储容量不足，而且算力增加很有限。采用并行异构计算技术提升计算能力是一种经过验证可行的办法。目前，一种比较有效的硬件加速办法方法是在 CPU 的基础上，增加 GPU(图形处理器)和 FPG(现场可编程逻辑门阵列)实现并行异构计算。

GPU 主要擅长做类似图像处理的并行计算，图形处理计算的特征表现为高密度的计算而计算需要的数据之间较少存在相关性，GPU 提供大量的计算单元（多达几千个计算单元）和大量的高速内存，可以同时对很多像素进行并行处理。

GPU 的设计出发点在于 GPU 更适用于计算强度高、多并行的计算。GPU 的逻辑控制单元相比 CPU 简单，所以要想做到指令流水处理，提高指令执行效率，必然要求处理的算法本身复杂度低，处理的数据之间相互独立，所以算法本身的串行处理会导致 GPU 浮点计算能力的显著降低。

FPGA 作为一种高性能、低功耗的可编程芯片，可以根据客户定制来做针对性的算法设计。FPGA 由于算法是定制的，所以没有 CPU 和 GPU 的取指令和指令译码过程，数据流直接根据定制的算法进行固定操作，计算单元在每个时钟周期都可以执行，所以可以充分发挥浮点计算能力，计算效率高于 CPU 和 GPU。

基于 GPU 和 FPGA 硬件加速技术架构示意如下：

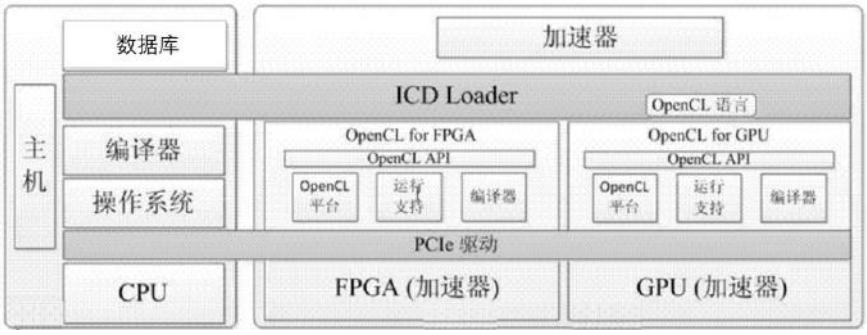


图 8-9： GPU/FPGA 异构计算示意图

8.3 编译器与编程语言

互联网用 0 和 1 的语言连接了机器与机器；随身互联网（移动互联网）用字

符、图片、视频的语言连接了人与人；技术革命现在还差最后一环：连接人与机器。人类在未来的 5 年内便会进入 Metaverses 时代——这是一场比互联网还重要的技术革命。届时世界上各个国家各个语言的人会在 Metaverses 里 0 距离交流，不仅是人与人的交流，还有机器与机器的交流，人与机器的交流。那么什么样的语言才能胜任 Metaverses 的需求？让我们从人类语言的角度来反推未来的大一统语言。

图 8-10：传统编程语言已经无法满足现代文明的需求

8.3.1 什么是语言?

什么是语言？不考虑文学价值的前提下，其实完完全全就是一个从信息转化为编码再转化回信息的问题。

而编程语言，首先它是语言（也就是信息的编码），其次它才是编程语言。所以《信息编码理论》给了我们一个科学客观可量化的准则去研究编程语言。

所以，接下来我们从编码的 6 个性质去分析传统编程语言以及为什么它们跟不上时代了。

（1）完备性

完备性即所有该被描述的信息都能被描述出来。比如香农就证明了：仅用 0 和 1 两种符号，只要符号数量足够多就可以描述一切信息。相反，假如某种语言只有 1 个比特的长度，那么我想用它表述所有“yes, no, maybe” 这三种信息就是不可能的（它就不完备），但是如果有 2 个比特就可以。

再举一个更偏人类语言的反例：“所有的笔”就无法被英文描述出来。因为“all pens”不包括铅笔 pencils。当然你也可以说"all pens and all pencils”

来包括铅笔，但是这能包括尚未被发明的其他笔吗？比如把铅（我知道铅笔里的铅不是铅）换成铜作笔芯来写字的铜笔，尚未被发明不过姑且叫他 pencopper? 那就要写成 "all pens and all pencils and all pencoppers"…… 那如果又发明了镍做笔芯的笔呢？…。

但是"All writtables" 似乎又过多：包括了煤炭，用手指写血书……等等不是笔的东西。所以英文这个语言就无法描述 “所有的笔”这个信息，所以不完备。

所幸，关于完备性，虽然所有的编程语言都是图灵等价的——即有图灵完备性，但是，图灵的完备真的就足够完备了吗？？

再直接一点，你如何用编程语言去描述图灵停机问题？（图灵证明了图灵停机问题无法被编程语言写出来。）虽然大家都知道停机问题无法被编程语言写出来，但是研究（用非编程语言描述）这个问题却有巨大的学术价值。编程语言的这个缺陷算不算严重的完备性缺失呢？

这些问题只是所有传统编程语言共同的“原罪”的一个缩影。

编程语言有一个优势，所有能被描述的问题就能被解决。因为你描述这个问题的过程就是编写代码的过程。等描述完成了，代码也就写完了，那接下来直接执行这个代码就一定能解决这个问题。（只要写代码的过程中没混入 bug 就一定没问题）。

但是学过基本逻辑的人都知道“逆否命题”等价于原命题。

刚才我们已经说过了，对于编程语言而言：x 能被描述 → x 能被解决；这是编程语言的一大优点。但是这恰恰也就成为了编程语言的致命缺点，因为其完全等价于：x 不能被解决 → x 不能被描述

编程语言无法描述不能被解决的问题——所以编程语言作为一个语言不是一个完备的语言（但是仍然图灵完备）。

作为编程语言，编程语言具有图灵完备性，但是编程语言作为语言却不完备—— 那，完备或不完备真的重要吗？换言之， 那些无法被解决的问题，真的值得被描述吗？？？反正他们也无法解决，能不能描述也无所谓啦？

而这恰恰就是当代文明和古代文明最大的划分之处。在当代文明的分工合作的经济模式下，每个人都有自己专有的知识，信息非常分布式，能产生价值的信

息都不完整地握在一个人手里，像如何生产一支铅笔这样简单的知识世界上甚至都没有一个人从头到尾完整地知道，铅笔公司的 CTO 都不知道，制造铅笔的材料也是铅笔公司从别人手中买来的现货……

Think of all the persons and the numberless skills that went into their fabrication: the mining of ore, the making of steel and its refinement into saws, axes, motors; the growing of hemp and bringing it through all the stages to heavy and strong rope; the logging camps with their beds and mess halls, the cookery and the raising of all the foods. Why, untold thousands of persons had a hand in every cup of coffee the loggers drink! (Read, 1958)

所以提出问题的人和解决问题的人通常都不是同一个人，因为提出问题和解决问题需要的是两种截然不同的知识——很难被同一个人掌握。提出需求的人通常是消费者（甲方），解决需求的人通常是生产者（乙方） —— 除非你是乔布斯这样极具洞察力的神人，不然生产者不该替消费者提出需求。然而，消费者往往又是没有能力解决问题的人，所以他们需要向别人描述自己不能被解决的问题，但是根据上面的推论，

x 不能被解决 → x 不能被描述

所以他们要描述的问题就是不能被描述的问题……就此产生了逻辑悖论。现代文明中有大量的需求、技术、市场等信息需要甲方通过描述将这些信息传递给乙方去解决，而编程语言的原罪让它无法胜任这个功能。但是因为#自洽性 的问题，人类的自然语言同样也不够适合胜任这个功能，具体在下一章解释。

传统编程语言的原罪来自于：编程语言最初是为了解决科研问题---尤其是数学问题而发明，而科研是一个极其不服从经济学的领域。之前我们刚讲到世界上没有一个人知道如何从头到尾做简单如铅笔的产品。但是在科研领域复杂如“费曼图”、“黑洞”、“11 维弦论”等问题居然存在不止一个人从头到尾掌握完整的信息。所以，在科研领域往往提出问题和解决问题的就是同一个人，而发明编程语言的天才也就陷入了自己的知识诅咒。

但是 即使是这样科研界也不乏从《费马大猜想》到 300 年后的《费马大定理》这样的分布式接力棒模式。

所以，总的来说，传统编程语言无法满足现代文明“分布式”解决问题的需求——无论是空间的分布式还是时间的分布式还是二者皆有之。

（2）自洽性

编码后的信息不能解码出两个矛盾的信息。

我举一个上过报纸的真实例子：“乙方还欠款 100 万元。”

请问乙方到底现在还欠不欠那 100 万元，乙方到底还钱了吗？？？？？？？？

读到这里，有的读者可能会松一口气：编程语言无歧义，不可能出现这样的情况。但是，事实真的如你所以为的吗？？？

现代文明已经进入大数据时代，“天文数字”都不足以描述我们未来要处理的数据量。传统单线程地处理数据早就不够了，必须多个机器多个进程同时处理数据，即俗称的“高并发”。图灵在设计图灵机的时候只考虑了单线程计算，那些图灵等价的传统编程语言也继承了这个原罪，在高并发的场景下图灵当时思考的欠缺就暴露出来了。

以下我们用 C#代码举一个非常简单的由高并发导致不自洽的例子：从 1 到 10000 求和。学过小学数学的读者都可以轻易算出答案=50005000

但是，从以下代码的运行结果我们可以看到，同样的这份求和代码可以“很神奇地”算出不同的答案，而且每次算出来的结果都不一样，都相当于一个随机数生成器了。而且重要的是代码里面的过程没有任何随机数、人为、网络因素。

```
private static double SUM = 0;

1 个引用
private static void sumInterval(int lowerBound, int upperBound)
{
    for (int i = lowerBound; i <= upperBound; i++)
    {
        double NEWSUM = SUM + i;

        for (int j = 1; j <= 1000; j++)
        {

        }

        SUM = NEWSUM;
    }
}

1 个引用 | 1/1 通过
public static void Thread_From_To(int lowerBound, int upperBound)
{
    print("Summing " + lowerBound + " to " + upperBound + " thread starts");
    sumInterval(lowerBound, upperBound);
}

[Test]
| 0 个引用
public void TestMultiThreadingSum_1_10000()
{
    for(int i = 0; i < 10; i++)
    {
        int lowerBound = i * 1000 + 1;
        int upperBound = 1000 * (i + 1);
        ThreadStart threadStart = new ThreadStart(()=>Thread_From_To(lowerBound, upperBound));
        Thread thread = new Thread(threadStart);
        thread.Start();
    }

    Thread.Sleep(1000);

    print("SUM is "+SUM);
}
```

Ampligence数学

图 8-11：运行代码举例

```
测试详细信息摘要
TestMultiThreadingSum_1_10000
源: TestPlayground.cs 行 103
持续时间: 1 秒
标准输出:
  Summing 1 to 1000 thread starts
  Summing 2001 to 3000 thread starts
  Summing 1001 to 2000 thread starts
  Summing 3001 to 4000 thread starts
  Summing 4001 to 5000 thread starts
  Summing 5001 to 6000 thread starts
  Summing 6001 to 7000 thread starts
  Summing 7001 to 8000 thread starts
  Summing 8001 to 9000 thread starts
  Summing 9001 to 10000 thread starts
  SUM is 15247554
```

Ampligence数学

图 8-12：测试详细信息摘要 1

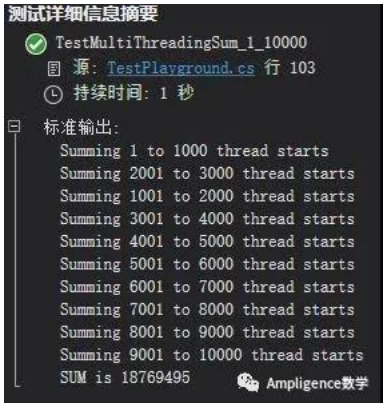


图 8-13：测试详细信息摘要 2

（3）简洁

即编码的信息密度要高，或者学术地说信息熵高 ——同样一个信息，别的编码要占硬盘 1GB，我的编码只占硬盘 0.9GB，那我的信息密度就更高，就更简洁。

比如，研究表明，同样一本书，中文版占的硬盘空间差不多是英文版的一半。所以中文语言的信息密度更高。

（4）易用

倒不是说，我的硬盘真的差那 0.1GB 以至于容不下不简洁的语言，而是简洁直接关系着这个语言的学习门槛以及使用门槛——即易用。

易用分 2 个方面：易写（易编码）、易读（易解码）。

我们想象一下假如“茴香的茴有一亿种写法”，甚至再夸张一点，每个字都有一亿种写法，那中文会是什么样的语言？很显然，没有哪个普通人能学好中文，解读文字会成为一种专门的高智商职业。

而且每个中文字所占的空间要从 2 字节变成 6 字节（估算，具体值不重要）。所以我们发现，#易用 和上一条 #简洁 是互相关联的。简洁自然就易写。能写一个字解决的问题，就无需 10 个字。

而传统编程语言就恰恰相当于是“茴香的茴有一亿种写法”。比如“排序”用中文表示就 2 个字，但是“排序”用编程语言来写，就真的写得出一亿种写法。还有，比如“二叉树”、“循环”、“搜索”、“发信”、…… 其实都可以写出一亿种写法。

那怎么解决这个问题呢？答案是抽象 （其结果为信息隐藏）。

其实我一开始说的假如“茴香的茴有一亿种写法”并不是假如。如果把每个人手写茴的字体都算成一种写法的话，那么的确可以有一亿种写法不为过。但是人眼却有一种神奇的抽象能力把那一亿种不同的茴抽象成同一个“茴”字，这就是抽象的力量。而且，这种抽象还必须要有共识：即：我抽象的茴和你抽象的茴是同一个茴。不然我把一亿种茴抽象出一个长这样的“回”，你抽象出一个长那样的“囿”，他抽象出长另一个样的“艹”，虽然大家都抽象了茴，但是却无法达成共识的茴，也没啥用。

而且“解读文字会成为一种专门的职业”也不是“假如”，其实这就是“打字员”——用肉眼对手写字体进行抽象，再用输入法打字对其进行编码。而 OCR 文字识别技术的出现让机器可以自动做这种抽象工作，所以打字员这种职业也几乎消失了（还有就是现在也几乎没人手写文件了）。

那么什么时候会出现一种广泛作用于编程语言的 OCR 技术——把一亿种“搜索算法”抽象成一个“搜索”？

我不知道什么时候会出现，甚至不知道这种逆运算理论上是不是可能，但是现实告诉我们：与其先瞎写再用 OCR 技术做抽象，不如一开始生产信息（打字）的时候就（用输入法）把抽象工作做好。编程语言也应该一样。很显然，传统的编程语言并不自带这种强制抽象+达成共识的机制，或者说，虽然大多数语言有一定的抽象能力，但是却缺乏强制性，以及把抽象达成共识的能力。

《信息编码理论》主要服务于两个领域：信息压缩和信息加密。显然这两个领域对"易读"的要求是相反的，"易读"反而是信息加密的劣势。所幸，这次我们把讨论的主题限制为"语言"所以不存在这种矛盾性，因为很显然语言应该要有易读性。

虽然"茴香的茴有一亿种写法"对"易写"没有多大影响，甚至还可能是加分，因为写者只需挑选他自己最方便（最短、最简单、最熟悉、周围人最爱用.....）的那种写法写就好了。但是这种“易写”的代价却是“不易读”。

"茴香的茴有一亿种写法"对读者却是噩梦。因为读者需要学会全部一亿种写法才能顺利完成信息的"解码"。别说一亿种写法了，光是简体字和繁体字两种写法就足以劝退很多人。

同样的道理，一个要满足现代文明需求的编程语言就需要像秦始皇一样的霸

主出来强制推行车同轨书同文------也就是抽象。那什么样德高望重的候选人能当此重任？我认为只有数学。而且这种限制不会对语言的完备性造成任何影响，就像秦始皇统一了字体后并不影响读书人妙笔生花写出各种文学作品。这种限制了却没限制的微妙限制通常就被称为一种编程范式：即每种编程范式都是在移除使用者某些自由度，同时却不影响语言的完备性。

例如：面向函数编程移除了变量发生改变的自由度（不能变的变量还叫变量吗？）

例如：面向对象编程移除了对象外访问对象内的自由度（即 private 变量）

例如：面向过程编程移除了随处可以 goto 的自由度

例如：我一直在说的那个符合现代文明需求的编程语言在延续先前语言的优势之外应该移除写具象代码的自由度，强制用户把抽象和具象分离开，且强制为每一个抽象"词汇"建立全球共识。

例如：在键盘上不断按 0 或 1 来编程就没有移除任何自由度，所以这不是一个编程范式，也没有专门的名字 （如果有，请告诉我~~~？面向疯人院编程？）。

(4) 纠错

我先以最通俗易懂的例子给大家演示一下什么是纠错：少数服从多数投票纠错码。

假如我写了一张欠条，欠你 8 百元。由于你保管不当在吃饭的时候把酱油飞溅到 8 上了，现在这个 8 看起来像 3 一样，怎么办？------这就是为什么在重要场合数字应该大写成捌佰元。但是假如这个酱油点比较大，把整个捌都盖住了怎么办？

解决这个问题的答案叫做纠错码。纠错码可以很复杂也可以很简单。复杂到等价于如何在 N 维空间里堆叠球体密度才最大——至今仍然是数学界的一大未解问题。

但是今天我举一个最简单的例子：投票纠错码。

编码者和解码者先事先协议好：为了避免上次的问题，编码者在写的时候把每个字都重复 3 遍。根据协议……888 百百百元元元=8 百元。这样任意一个字出错了都可以纠正回来。比如出现 838 的情况，那么少数服从多数，是 3 出错了应

该改成 8，金额为 8 百元。338 则相反，是 8 出错了应该改成 3，则金额为 3 百元。甚至彻底删掉一个都不怕：88 能还原回 888.

反观传统的编程语言，不小心改动任何一个非空格的字符都会导致 bug，或者更大概率是压根无法编译。

有人会说，这恰恰是传统编程语言信息密度高的表现，不需要用三个字节的 8 去表示一个字节 8 的信息。但是信息密度高对于编程语言来说真的是很大的价值吗？就算是，也应该是编译后的语言而不是编译前的语言。而且，传统编程语言的信息密度其实也不高呀……

```
pblic cless Person
{
      sting name="john;
      strng nickname=this.nam;

      Public class Student : Prson
      { long studentID=0}

//这块代码真的不该编译通过吗？
}
```

基于编码理论，我们知道通过故意加入冗余从而降低信息密度的典型目的是为了纠错，但是现有编程语言虽然加入了冗余，降低了信息密度，却无法做到自动纠错——可谓是邯郸学步。比如以上那块代码，虽然人眼能做到无障碍纠错，但是编译器却不能全自动纠错。所以要么编程语言发展成像纠错码（例如著名的汉明码）一样能自动纠错，要么就索性去掉这些冗余信息提高信息密度——无论哪种做法，共同的结果都是没有无法编译的代码：无错则直接编译，有错则先纠错再编译（注：这不是说让编译器放宽审查标准，以 run-time error 为代价来换取编译通过）。

(5) 鲁棒性

鲁棒性与纠错性类似，都是在出错的情况下亡羊补牢。区别在于，能纠正回来的错误叫纠错，剩下那些实在纠不回来的错误就要靠鲁棒性。

鲁棒性在信息编码的场景下可以写作以下公式：

info + εa ← code + εb

即，若编码发生了微小的偏差，解码后的信息应尽可能也只与原信息发生微小的偏差。

我以中文和英文的鲁棒性为例展开讨论。

中文编码：糖

英文编码：sugar

中文编码：葡萄糖

英文编码：glucose

现在我同样删掉编码的前 2/3

中文编码：XX 糖

英文编码：XXXXose

以这种程度的信息损失，纠错是纠不回来了。

但是中文我仍然能解码出大部分信息。我知道这个东西是甜的，能给我补充能量，虽然我丧失了葡萄有关的信息，但和原信息也不算差太远——解码后的信息应尽可能也只与原信息发生微小的偏差。

再看英文..... goose？鹅？dose？做？

对于语言而言，鲁棒性更重要的意义是"文盲友好"。

假如我是个中文文盲，葡萄两个字太复杂了我不认识，但凡我认识一个 糖字，我就能读懂大部分意思——解码后的信息应尽可能也只与原信息发生微小的偏差。

若我是个英文文盲呢？glucose? glue？胶水？打死也不会联想到 sugar。

对于中文而言，不仅是词，甚至一个字都是具有鲁棒性的。"茱"，虽然我不知道它具体是什么，但我把"茱"的下半部分盖住，仅看"艹 "就能猜到它是一种植物——而且还是草本植物，（我还猜它读作"朱"）。鲁棒性，多么美好的性质。

这些讨论的目的不是对比中文和英文的优劣。而我们再反观传统编程语言的三大编程范式：面向对象、面向函数、面向过程里只有面向对象的“继承”具备类似这一性质，而且“继承”还被誉为面向对象范式的**最大败笔**。

而数学引擎可以用子集、等价等数学概念修复传统编程语言继承的历史遗留问题，重塑编程语言的鲁棒性。

8.3.2 总结

人类的语言经过千年的沉淀才具有了这些优质语言的性质，而某些编程语言（JavaScript）只用了 10 天就被赶工出来了……

所以我们发现，如果按照这以上 6 个方面去改进编程语言，那么编程语言也可以成为一种像日常语言一样的人类语言。而数学引擎技术将充分发挥数学的优势，承载以上 6 大优势成为这次 Metaverses 技术革命里连接万物的大统一语言——Metaverses 六要素之首【神话→魔法→未来→Metaverses】。

8.4 元宇宙的普遍语言

元宇宙概念的提出，是资本、技术和人类需求发展到一定阶段的产物，是人类社会发展的特殊样态。彼时人类社会的现实生活和虚拟（数字）生活的界限将不再泾渭分明。物理空间的局限性将极大缩小，不同国家的人与人之间的交流将更加频繁。元宇宙空间的普遍语言问题是我们不得不面对的重要课题。

8.5.1 元宇宙空间人类交流的特点

元宇宙空间的人类交流语言不同于现实世界中人类交流语言。元宇宙空间作为一种虚拟与现实相结合的空间，该空间内人类交流语言的特点可以归结为以下几个方面：人类交流更加便捷、跨语言文化交流更加频繁、对普遍语言的需求更加迫切。

（1）人类交流更加便捷

元宇宙空间里，人类的空间局限性将被打破，人类借助 VR 与 AR 技术能够与虚拟和现实空间中的任何人随时随地展开交流。交流问题比现实世界中显得更为重要。

（2）跨语言交流更加频繁

全球化的今天，跨语言交际离我们似乎并不遥远。我们有大量的机会与不同种族、文化、语言背景的人进行交流。但实际上，这种交流仍然只停留在少数人中间，在世界总人口中的比例很小。究其原因，主要可以归结为三个方面：物理

空间的障碍仍然严重影响着跨语言交际的规模；各个国家普通民众受教育水平的差异仍然影响着跨语言交际的质量；人类现实世界的属性仍然影响着跨语言交际的意愿。

展开来说，虽然如今交通工具越来越便捷，在各国之间旅行、进行商务活动也更加方便，但物理空间仍然是现实存在着。即使乘坐飞机出国旅行，也可能花费十几个小时的时间，这极大降低了跨语言交际的意愿。互联网的普及，一定程度上解决了物理空间局限性带来的问题，但是又涉及到第二个方面，即民众受教育水平的差异。并非所有人，甚至并不是大多数人都接受过良好的教育，或者掌握了多种外语，具备跨语言交际的能力。我们应该看到，世界上还有众多地区经济发展水平严重滞后，甚至温饱问题尚未解决，匡论接受教育。我们不能被发达国家普通民众受教育水平所蒙蔽，而应该认清更真实的人类社会。话说回来，即使人们接受过高等教育，但是受制于人类自身认知水平，也不可能掌握太多语言。一个人一生能够精通一两门外语已经很不错了。这是影响现实世界跨语言交流质量的重要原因。最后，现阶段人类的社会发展形态仍然是现实属性的，也就是说，人们仍然认为现实世界比虚拟世界更为重要，更为重视现实世界。但应该看到，人类社会正处于从现实世界向虚拟世界的过渡阶段。人类开始逐渐适应虚拟世界的沉浸感和体验感。元宇宙对于人类的最大吸引力，在于其提供了迥异于现实世界的新鲜体验。物理空间的打破，使得不同种族、国家的人与人之间的交流更为频繁，也更加具有现实意义。

（3）普遍语言需求更加强烈

跨语言交流的需要使人们更加迫切地寻求一种普遍语言。如果说上帝为了阻止人类建造巴别塔而让人类说不同语言，那么在元宇宙空间人类则需要借助普遍语言重建巴别塔。普遍语言将打通人类交流的障碍，让元宇宙彻底释放其潜能。

建造一种元宇宙空间的普遍语言具有如下现实意义。首先，元宇宙空间需要最大限度地释放其交流和交际的潜能，才能最大限度地为空间内的人服务。其次，由于历史、地理和文化等原因，造成了世界各国所使用语言的差异。彼时人类没有构建普遍语言的需求和意识。元宇宙时代的来临使得人类第一次有机会按照自己的需求和想法构建起一个平行于现实世界的虚拟世界，因此人类也第一次有机

会按照自己的需求和想法构建起一套普遍的元宇宙空间内所使用的语言。最大限度地减少由于语言差异给人类带来的交际障碍，甚至是冲突和困境。最后，普遍的元宇宙语言能够在元宇宙建立之初成为维系人类社会的纽带。元宇宙空间就像人类一次大的空间迁徙，像是全体人类的第一次宇宙探险。前路漫漫，风险和挑战横亘在前行的路上。如果人类不能找到一根纽带将所有人联系在一起，就很容易在宇宙的探险中分崩离析。建构元宇宙空见的努力也将付之一炬。

8.5.2 元宇宙空间普遍语言构建的顶层设计

元宇宙空间内人类交流普遍语言的构建，需要顶层设计。需要在元宇宙构建之初就做好宏观规划，避免语言问题可能给元宇宙构建带来的麻烦。顶层设计需要解决三个方面的问题：一是遏制语言霸权，二是打破语言壁垒，三是拒绝人造语言。处理好这三个问题，才能更好地建构元宇宙空间的普遍语言，为元宇宙空间服务。

（1）遏制语言霸权

当今的世界，是英语占据绝对统治地位的世界。无论是政治、经济、科技还是文化领域，英语已被默认为是全球性的交流语言。但必须指出，英语（无论是其任何变体）都带有鲜明的盎格鲁撒克逊文化色彩。英语中的一些词如民主（democracy）、公平(fairness)、正义（justice）权利（right）等，在当今世界上似乎被认为是普世价值，但它们反映的其实是盎格鲁撒克逊民族的文化和伦理价值。语言霸权加剧了当今世界的不平等，引起种族间的冲突。因此要避免某种语言在元宇宙空间占据统治地位，进而形成语言霸权.

（2）打破语言壁垒

元宇宙是现实世界的延申，是人类生理、心理机能的拓展。现实世界中因物理空间局限性、人的生理局限性不能实现的东西，要在元宇宙中实现。元宇宙面对的是全体人类，而非人类的个别群体。元宇宙要激发全人类的参与感和满足感。具体到元宇宙普遍语言层面，我们认为，就是要保证普遍语言的简单和易懂。元宇宙是发达国家精英群体所预见到并参与设计的人类未来社会发展形态，但却不能只考虑精英阶层的教育水平和需求。当今世界还有大量受教育水平很低的人群，

以及与外界联系很少的土著社群，他们的语言能力有限。当今世界各个国家，偏远地区人群因未能掌握所在国家标准语而失去升学、就业机会的例子比比皆是。如果元宇宙普遍语言不考虑这些群体的实际需求，就剥夺了这些群体参与到元宇宙中的权利，造成新的不平等。

（3）拒绝人造语言

元宇宙空间的普遍语言一定不能是人为创造的语言。人造语言的一个重要缺点就是缺少使用该语言的母语者，全世界任何人对该语言都没有亲切感，所有人都会觉得有生疏感，对任何语言社团的人都不够友好。如果想要普及这种语言，那么成本又太高。让全人类都习得一种全新的语言几乎是一项不可能完成的任务。所以元宇宙空间的普遍语言一定要来源于当前人类各个族群现有的自然语言，从各个语言中抽离出一套普遍的元宇宙语言。我们相信这样的一套普遍语言是存在的，因为世界各个民族的人群彼此之间能够相互交流证明一定存在着人类与生俱来便具有的概念。这些概念是不言自明的，人们依靠这样的概念理解更为复杂的概念。某种语言中复杂概念可能很难在其它语言中找到对等概念，但是一些最简单的概念一定存在于所有语言中，这是人类相互顺利交流的基础。

8.5.3 元宇宙空间普遍语言的假设方案

在语言学发展史上，构造普遍语言的想法吸引着历代语言学家。世界语（Esperanto）、全球语（Globish）等都是这方面的有益探索。但是，这些普遍语言方案都存在着这样或那样的问题。以世界语为例，这是一种人为创造出来的语言，世界上没有任何一个人以世界语为母语。虽然创始人波兰学者柴门霍夫声称世界语简单易学，但仍然未在任何国家大范围普及。全球语则以英语为蓝本，指的是："在'地球村'概念的环境下，许多母语不是英语的人，在国际场合说的一种不讲究文法的简化版英语，但是其词汇中也掺杂着大量带有盎格鲁撒克逊文化烙印的词，也不是一种理想的普遍语言。我们认为理想的普遍语言应该具备跨语言的视角。

在语言学发展史上，符合我们上面提出的各项要求的普遍语言方案是由澳大利亚著名语言学家安娜·韦日比茨卡（Anna Wierzbicka）提出来的自然语义元语言（Natural Semantic Metalanguage）和最近几年由其团队核心成员克里

夫·戈达德（Cliff Goddard）主要跟进的最简语言（Minimal Language）。

（1）最简语言的提出

最简语言由自然语义元语言学派的创始人安娜·韦日比茨卡（Anna Wierzbicka）和该团队重要成员 Cliff Goddard 提出，其目的是“重塑全球交流话语”。最简语言来自自然语言，其词汇和语法在世界所有（或绝大多数）语言中普遍存在。因此就有最简语言的变体，如最简英语、最简俄语、最简汉语、最简法语等。元宇宙空间中使用最简语言，既能满足各国家的人使用母语的现实需求，同时又能保证很容易地将其翻译成其他语言，由于其词汇、语法简单，能够打破语言壁垒，让使用者很容易掌握。

（2）最简语言的构成

最简语言包括 250 个左右跨语言通译或近似通译的词及其配套语法。主要由三个部分组成：一是语义基元——全世界所有自然语言中普遍存在的最简单、清晰、无法被进一步释义的词，如 I、YOU、KNOW、 THINK 等，共计 65 个；二是普遍语义分子，比语义基元意义更复杂，可以作为其他更复杂概念的解释工具，在各语言中通译或接近通译存在，如 hand、mouth、blood、the earth、sun、children、men、women 等，共约 69 个；三是对最低限度语言来说实用的词，它们比语义分子意义更为复杂，在大部分语言中普遍存在，对探讨全球性的政治、经济、文化等领域的议题至关重要，如 country、 government、capital、 science、the law、health、education、 sport 等，共计 120 个左右。

最简语言的语法部分被称为“易译语法”（Simple Translatable Grammar）。正如最简语言的词汇部分不仅包括语义基元和普遍、近似普遍语义分子一样，最简语言的语法部分也不仅包括普遍语法，也包括一些非普遍的语法结构。

语义分子和易译语法的组合便构成了一套自然语言。这样一套语言在世界所有（或绝大多数语言）中普遍存在。这套语言中的词汇和句法不仅普遍存在，而且非常简单、易懂、易学，也能够很容易地翻译成其他自然语言。最大限度地减少了元宇宙空间内普遍语言的普及成本。此外，由于最简语言来源于自然语言，每个民族的语言中都存在一套该民族的最简语言，这套最简语言又能够与世界上

任何一个民族的最简语言完美互译，翻译过程中也不会携带某一民族特有的文化词汇，因此也就能够避免因文化差异而造成的冲突。最简语言能够最大程度地凝聚全人类的共识，是语言学发展现阶段能够为元宇宙空间建设找到的最可行的方案之一。如果能够利用好这套语言，势必能够助力元宇宙空间建设，为人类在元宇宙空间的生存和发展提供帮助。

（3）最简语言在元宇宙空间的应用

元宇宙空间最简语言的应用非常广泛，大致可以分为以下几个方面。

首先，作为日常交流语言。虽然最简语言的词汇和语法非常有限，如果想要表达复杂的意思不会像自然语言那样流畅和便捷，但是最简语言的表达力是有保障的。换句话说，使用最简语言还是能够表达任何想要表达的意思。当我们只有有限的词汇和语法可以利用时，我们将反思我们之前所使用的语言是否过于复杂和抽象。我们将通过这样一套普遍语言，简化我们的表达，梳理我们的逻辑，建构一种崭新的元宇宙空间人类交流模式。同时，这样一套最简语言，能够为元宇宙空见的人类创造一种新鲜的使用体验，这也是元宇宙空间的重要功能之一。

其次，可作为探讨元宇宙空间行为规范、道德准则和相关章程等具体事务的语言。元宇宙空间作为人类主导的一种社会样态，必然需要规范性的道德、法律法规。现实社会中，道德规范和法律规范使用的术语都是极其抽象的，很难在不同语言中找到对等词，因此会造成不同国家、种族的人之间理解上的障碍，甚至造成冲突。同时，使用复杂抽象语言写就的道德和法律规范，对普通人而言是非常难以理解的。因此往往很多时候，法律规范的解读成为了法官、律师等专业人士的特权，普通民众失去了解读法律规范的基本权利。如果这些规范使用最简语言写就，不仅能保证规范最大限度地在跨语言交际中保持中立，同时也能保证最普通的民众也能够理解，最大限度地保证了普通人的权利。

最后，最简语言可作为机器处理语言的核心成分。最简语言的词汇和语法普遍存在于各个语言中，如果我们基于这套词汇和语法构建一种机器翻译语言，那么可能会颠覆以往的机器翻译原理。我们的设想是，以最基本的词汇语法为基础，构建更为复杂的概念。当我们把所有可能要表达的概念全部通过这些普遍存在的、最基本的词汇语法构建起来的时候，我们就能够建立起基于最简语言的人类语言

系统。如果能够做到这一点，我们就能够迅速处理一些复杂概念，顺利地将复杂概念迅速翻译为基本词汇和语法构成的文本。我们可能会发展出一套迥异于现有机器翻译模式的新的模式。

元宇宙空间普遍语言的问题是迫切需要我们解决的重要问题。其方案可能有千种万种，我们只是基于自身的研究兴趣和水平提出了一种比较符合元宇宙空间各项要求，同时比较成熟的语言学方案。由于当前元宇宙仍处于草创阶段，对于元宇宙的探讨仍然处于非常火热、众说纷纭的阶段，元宇宙空间内普遍语言的问题更是仅停留在设想的阶段。在此抛砖引玉，只是希望我们的想法和方案能够为元宇宙空间的建设提供一点有益的启发，共同为元宇宙的合理发展，人类社会健康前进献计献策。

本章由郑德贵、李约翰、易绵竹起草，由龚才春修改。如有侵权，由起草人负责。

参考文献：

第 9 章　5G 通信技术

元宇宙有可能是下一代互联网，元宇宙场景里实时交互所需要的低延时、渲染重构虚拟世界中的画面，以及 VR、AR、MR 等 XR 移动设备要能实现真正的沉浸感，对通信网络有更高的要求，需要更先进的移动通信技术支撑。具有超大容量、超高带宽、超低时延、超大连接特性的 5G 移动通信技术，是实现人、机、物三元信息社会万物互联的网络基础设施，能够支持元宇宙场景的大量应用创新。

9.1 5G 通信技术概述

未来随着元宇宙的逐渐普及，更高阶的深度沉浸感势在必行，需要全产业链协同发力，5G 移动通信技术的持续演进将支持泛在千兆、毫秒级时延的网络基础设施是非常关键的一环。另外，目前，基于 5G 的杀手级应用还未出现，市场需求度和渗透率还不高。元宇宙有可能以其丰富的内容与强大的社交属性打开 5G 的大众需求缺口，提升 5G 移动通信网络的覆盖率。因此，5G 移动通信技术将为元宇宙提供网络基础设施支撑，元宇宙将为 5G 网络技术的发展提供新的杀手级应用场景。

9.1.1 全球 5G 移动通信技术总体发展态势

21 世纪 20 年代，将是全球 5G 移动通信网络蓬勃发展的十年，预计在未来，将有更多 5G 网络商用，为元宇宙提供网络基础设施支撑，为数字经济社会提供新生产力平台。当前，在全球范围内，5G 正在快速发展过程中，众多电信运营商均已经宣布或即将宣布 5G 商用。根据 GSA 的统计，截至 2020 年 9 月中旬，全球共有 129 个国家/地区的 397 家运营商对 5G 网络进行了投资，124 家运营商已经进行 5G 网络的建设，其中来自 44 个国家/地区的 101 家运营商已经推出了符合 3GPP 标准的 5G 服务。

全球主要国家和地区均出台了各自的 5G 扶持政策，各运营商亦开始在 5G 网络方面进行投资。美国方面，美国尚未公布基站数和用户数等指标，但 5G 网络主要覆盖少数城市，5G 用户数约在数百万。其特色是全球范围内率先实现毫米波频率组网，其中 Verizon 已经商用，AT&T 计划实施，这与美国政府释放更多

毫米波频段，用于 5G 网络相关。日本方面，2018 年发布了“Beyond 5G”战略，计划在 2023 年达到 21 万基站的规模，并且总共投入 110Mhz 的频段用于 5G 网络实施；2030 年前，在全球率先实现 6G 商用，并获得全球基础设施 30%份额。目前，日本四家移动运营商均实现 5G 商用，截至 2020 年 10 月，基站总数在 3-4 万，用户总数在 500 万左右。韩国方面，韩国 5G 商用后，韩国科学技术信息通信部发布《实现创新增长 5G+战略》，旨在将 5G 全面融入韩国社会经济，使韩国成为引领全球 5G 新产业、领先实现第四次工业革命的国家。目前，韩国的 5G 用户数超过 1000 万，5G 基站 12 万，全国整体网络覆盖不完善，众多地方无法使用。欧盟方面，欧洲运营商众多，且都重视 5G 的发展，但截至 2020 年 10 月末，全欧洲范围 5G 基站总数仅在 5 万左右，这一方面与欧洲各国运营商相互竞争性不足有关，另一方面与 20 年前，3G 频谱天价拍卖，导致运营商元气大伤有密切关联。

9.1.2 国内 5G 移动通信技术总体发展态势

我国移动通信技术起步虽晚，但在 5G 移动通信技术标准研发上正逐渐成为全球的领跑者， 力争 2025 年建成国际领先的移动通信网络。根据 IPLytics 在 2020 年 1 月发布的专利分析报告，全球 5G 核心专利，有 34%被中国企业掌握，位列全球首位。在产业实践上，根据中国工信部披露的数据，中国 5G 基础设施和用户数全面增长，70 余万基站（全球占比 7 成以上）与超过 2 亿的终端连接遥遥领先于世界其他国家。而根据 2021 年全国工业和信息化工作会议上的信息，2021 年中国将新建 60 万以上的 5G 基站，继续巩固全球领先的优势。

政府层面，顶层前沿布局已逐步展开，明确了 5G 技术突破方向。一是我国从国家宏观层面明确了未来 5G 的发展目标和方向。《中国制造 2025》提出全面突破 5G 技术，突破“未来网络”核心技术和体系架构。企业层面，国内领军企业已赢得先发优势。华为、中兴、大唐等国内领军通信设备企业高度重视对 5G 技术的研发布局，在标准制定和产业应用等方面已获得业界认可。

可以预见，随着 5G 移动通信技术与元宇宙场景应用逐步推广，技术与行业融合将随之加速，新业态、新模式将不断涌现。要做好元宇宙对 5G 移动通信技术需求的跟踪研究，加强与企业和个人用户的对接，及时发现新的增长点。重点开展 5G 关键技术研发与元宇宙应用示范，发挥 5G 对元宇宙发展的信息化支撑作

用,助力提升中国移动通信产业的国际市场竞争力。

9.1.3 5G 移动通信核心技术演进概述

为提升元宇宙场景下的各类业务（如 VR、AR、MR 等）支撑能力，5G 移动通信在无线关键技术、网络关键技术、开放测试验证平台方面将有新的突破。在无线关键技术方面， 将引入能进一步挖掘频谱效率提升潜力的技术,如大规模天线技术、新型多址和全频谱接入技术、编码调制技术等；在网络关键方面，将采用更灵活、更智能的网络架构和组网技术,如采用控制与转发分离技术、软件定义无线网络（SDN)、网络功能虚拟化（NFV)、统一的自组织网络 (SON)、异构超密集网络部署等；在开放测试验证平台方面，将建设 5G 网络开放实验床，提供基于真实环境的端到端 5G 网络测试验证解决方案。

9.2 5G 无线关键技术

9.2.1 大规模天线技术

大规模天线阵列在现有多天线基础上通过增加天线数可支持数十个独立的空间数据流，将数倍提升多用户系统的频谱效率， 对满足 5G 系统容量与速率需求起到重要的支撑作用。大规模天线阵列应用于 5G 需解决信道测量与反馈、参考信号设计、天线阵列设计、低成本实现等关键问题。

根据概率统计学原理，当基站侧天线数远大于用户天线数时，基站到各个用户的信道将趋于正交。这种情况下，用户间干扰将趋于消失，而巨大的阵列增益将能够有效地提升每个用户的信噪比，从而能够在相同的时频资源上支持更多用户传输。在实际应用中，通过大规模天线，基站可以在三维空间形成具有高空间分辨能力的高增益窄细波束，能够提供更灵活的空间复用能力，改善接收信号强度并更好地抑制用户间干扰，从而实现更高的系统容量和频谱效率。

大规模天线技术带来的好处主要体现在以下几个方面：第一、大规模天线的空间分辨率与现有天线相比显著增强， 能深度挖掘空间维度资源， 使得网络中的多个元宇宙场景下的用户可以在同一时频资源上利用大规模天线提供的空间自由度与基站同时进行通信， 从而在不需要增加基站密度和带宽的条件下大幅度提高频谱效率。第二、大规模天线可将波束集中在很窄的范围内，从而大幅度

降低元宇宙场景下的用户终端之间的干扰。 第三、可大幅降低发射功率，从而提高功率效率。第四、当天线数量足够大时,最简单的线性预编码和线性检测器趋于最优,并且噪声和不相关干扰都可忽略不计。

大规模天线技术为系统频谱效率、用户体验、传输可靠性的提升提供了重要保证，同时也为异构化、密集化的网络部署环境提供了灵活的干扰控制与协调手段。随着一系列关键技术的突破以及器件、天线等技术的进一步发展，大规模天线技术必将在 5G 移动通信系统中发挥重大作用。

9.2.2 新型多址技术

面向未来，元宇宙场景将成为未来移动通信发展的主要驱动力，5G 不仅需要大幅度提升系统频谱效率，而且还要具备支持海量 VR、AR、MR 等终端设备连接的能力，此外，在简化系统设计及信令流程方面也提出了很高的要求，这些都将对现有的正交多址技术形成严峻挑战。新型多址技术通过发送信号在空/时/频/码域的叠加传输来实现多种场景下系统频谱效率和接入能力的显著提升。此外，新型多址技术可实现免调度传输，将显著降低信令开销，缩短用户接入时延，节省用户 VR、AR、MR 等终端功耗。

目前业界提出的技术方案主要包括基于多维调制和稀疏码扩频的稀疏码分多址（SCMA）技术，基于复数多元码及增强叠加编码的多用户共享接入（MUSA）技术，基于非正交特征图样的图样分割多址（PDMA）技术以及基于功率叠加的非正交多址(NOMA)技术。新型多址技术通过多用户信息在相同资源上的叠加传输，在接收侧利用先进的接收算法分离多用户信息，不仅可以有效提升系统频谱效率，还可成倍增加系统的接入容量。此外，通过免调度传输，也可有效简化信令流程，并降低空口传输时延。

SCMA 是一种基于码域叠加的新型多址技术，它将低密度码和调制技术相结合，通过共轭、置换以及相位旋转等方式选择最优的码本集合，不同用户基于分配的码本进行信息传输。在接收端，通过 MPA（Message Passing Algorithm）算法进行解码。由于采用非正交稀疏编码叠加技术，在同样资源条件下，SCMA 技术可以支持更多用户连接，同时，利用多维调制和扩频技术，单用户链路质量将大幅度提升。此外，还可以利用盲检测技术以及 SCMA 对码字碰撞不敏感的特性，实现免调度随机竞争接入，有效降低实现复杂度和时延。PDMA 以多用户信息理

论为基础，在发送端利用图样分割技术对用户信号进行合理分割，在接收端进行相应的串行干扰删除（SIC），可以逼近多址接入信道的容量界。用户图样的设计可以在空域、码域和功率域独立进行，也可以在多个信号域联合进行。图样分割技术通过在发送端利用用户特征图样进行相应的优化，加大不同用户间的区分度，从而有利于改善接收端串行干扰删除的检测性能。MUSA 是一种基于码域叠加的多址接入方案，对于上行链路，将不同用户的已调符号经过特定的扩展序列扩展后在相同资源上发送，接收端采用 SIC 接收机对用户数据进行译码。扩展序列的设计是影响 MUSA 方案性能的关键，要求在码长很短的条件下（4 个或 8 个）具有较好的互相关特性。对于下行链路，基于传统的功率叠加方案，利用镜像星座图对配对用户的符号映射进行优化，提升下行链路性能。

用户体验速率、连接数密度以及时延是 5G 移动通信系统的三个最关键的性能指标，上述新型多址技术相比于 4G 移动通信系统的 OFDM，不但可以提供更高的频谱效率，支持更多的用户连接数，还可以有效降低时延，将作为 5G 移动通信系统的基础性核心技术之一。

9.2.3 全频谱接入技术

全频谱接入通过有效利用各类移动通信频谱（包含高低频段、授权与非授权频谱、对称与非对称频谱、连续与非连续频谱等）资源来提升数据传输速率和系统容量。6GHz 以下频段因其较好的信道传播特性可作为 5G 的优选频段，用于无缝覆盖，6~100GHz 高频段具有更加丰富的空闲频谱资源，可作为 5G 的辅助频段，用于热点区域的速率提升。信道测量与建模、低频和高频统一设计、高频接入回传一体化以及高频器件是全频谱接入技术面临的主要挑战。

全频谱接入采用低频和高频混合组网，充分挖掘低频和高频的优势，共同满足无缝覆盖、高速率、大容量等 5G 系统需求。考虑高频段传播特性与 6GHz 以下频段有明显不同，全频谱接入重点研究高频段在移动通信中应用的关键技术，目前业界统一的认识是研究 6~100GHz 频段，该频段拥有丰富的空闲频谱资源，可有效满足未来 5G 对更高容量和速率的需求，可支持 10Gbps 以上的用户传输速率，能更好地支撑元宇宙场景下各类业务（如 VR、AR、MR 等）的用户质量保障。

基于高频信道的特征，高频通信系统以多天线、阵列天线技术为核心。第一、采用收发波束赋形技术，以及窄波束的对准与跟踪技术，以提高高频系统的覆盖。

第二、采用适用于不同高频频点信道传播特性的信号波形，以及支持高低频混合组网下统一的空口帧结构及接入机制。第三、采用自适应感知频谱技术，以支持授权频谱和非授权频谱等多种频谱使用需求。第四、采用适用于高频通信的编码调制技术、点射技术、干扰管理技术以及高效的 MAC 层技术等，提升高频空口传输的性能。

综上，采用高、低频混合组网模式，结合数据面与控制面分离的架构，利用超密集网络和高频自适应回传技术，可以有效地解决元宇宙场景下的高容量和高速率需求，同时，也能够保持较低的网络部署成本。但要推动高频通信标准化和产业化，尚需在信道传播特性、空口技术方案、高低频组网和射频器件上实现技术突破。

9.2.4 先进调制编码技术

未来各类应用场景对 5G 的性能指标要求差异将会很大。元宇宙场景的各类业务对单用户链路的速率要求极高，这就需要在大带宽和信道好的条件下支持很高的频谱效率和码长。在密集部署场景，无线回传会广泛应用，这就需要有更先进的信道编码设计和路由策略来降低节点之间的干扰，充分利用空口的传输特性，以满足系统高容量的需求。

先进调制编码涵盖许多单点技术，它们大致可以分为链路级调制编码、链路自适应、网络编码三大领域。第一、链路级技术包括多元域编码、比特映射技术和联合编码调制等，多元域编码通过伽罗华域的运算和比特交织，从而使得链路在高信噪比条件下更容易逼近香农极限，并且增加分集效益。新的比特映射技术采用同心辐射状的幅度相位调制（APSK），能够提高频谱利用效率。联合调制编码采用相位旋转等技术，使得链路在快衰信道下更加鲁棒。第二、链路自适应包括基于无速率和码率兼容的，以及一些工程实现类的编码，可以通过对码字结构的优化以及合理的重传比特分布，让调制编码方式更准确地匹配快衰信道的变化。链路自适应的理论研究主要是设计具有多种候选码率和码长的码字。在无速率码方面，前向堆栈译码算法可以大大简化 Spinal 码的接收器实现。在码率兼 容类型码方面，LDPC 的进一步优化可以实现更灵活的码率自适应和码长。链路自适应的工程实现中，采用软 ACK/NACK 可以提高传输效率，在缺乏准确信道信息反馈的情形下，以无级变速的方式与快衰信道相匹配。第三、网络编码利用无线传

输的广播特性，捡拾节点之间无线传播中所含的有用比特信息，能够提高系统的吞吐量。网络编码技术主要包括码字设计和系统设计。码字设计的目标是设计协作传输的效率更高，与各个分支链路信道条件相匹配的信道编码；系统设计的内容包括用户配对、路由选择和资源调度等。网络编码是与部署场景密切相关的，具体方案需要针对某一种场景进行优化。

先进调制编码技术可以用于很多场景。多元 LDPC 码、新的比特映射技术和超奈奎斯特调制适合大带宽大数据传输，在高信噪比环境增益明显，较适于元宇宙场景。联合编码调制的旋转调制依靠多发射天线提高链路的鲁棒性，十分适合广域覆盖场景。网络编码可以加强多个节点之间传输的协作性，适合用于超密集组网环境。

9.3 5G 网络关键技术

9.3.1 控制转发分离技术

在 5G 系统里，网络控制功能和数据转发功能将分离解耦，形成集中统一的控制云和灵活高效的转发云。控制云实现局部和全局的会话控制、移动性管理和服务质量保证，并构建面向业务的网络能力开放接口，从而满足元宇宙场景下各类业务的差异化需求并提升业务的部署效率。转发云基于通用的硬件平台，在控制云高效的网络控制和资源调度下，实现元宇宙场景海量业务数据流的高可靠、低时延、均负载的高效传输。

控制面的控制逻辑方面，通过对网元控制功能的抽象和重新构建，将原本分散的各类控制功能进行集中，从而形成相对独立的接入统一控制、移动性管理、连接管理等模块，各个模块之间可以根据业务需求进行比较灵活的重组，适配不用场景和网络环境的信令控制要求。控制面还需要具备虚拟化平台的能力，实现网络资源的按需编排能力。通过网络切片技术按需构建专用和相互隔离的网络服务，从而提升 5G 网络的灵活性和动态伸缩性。另外，在控制面构建能力开放功能，通过应用程序编程接口 API 对网络功能进行高效抽象，屏蔽底层基础设施，实现网络能力向第三方应用的开放。转发面方面，将会话控制能力进行分离，网关位置下沉，实现分布式的部署。在控制面的集中管理下，转发面通过灵活的网关锚点、移动边缘计算等技术实现元宇宙场景下业务端到端海量数据流量的大容

量、低延时的高效传输，提升用户业务的 QoE。

控制和转发功能分离后，转发面将专注于业务数据的路由转发，具有简单、稳定和高性能等特性，以满足未来元宇宙海量移动流量的转发需求。控制面采用逻辑集中的方式实现统一的策略控制，保证灵活的移动流量调度和连接管理。集中部署的控制面通过移动流控制接口实现对转发面的可编程控制。控制面和转发面的分离，使得网络架构更加扁平化，网关设备可采用分布式的部署方式，从而提升网络整体系统的灵活性和效率。

9.3.2 软件定义无线网络（SDN）

多种类型的业务和多样化的元宇宙场景对 5G 提出了多样化的性能需求，而这些多样化的性能需求显然无法通过统一的网络架构来保证，因此，5G 提供网络功能和资源按需部署的能力，来满足元宇宙多样化的业务需求。在云化基础设施上，采用软件定义无线网络构建逻辑隔离的网络切片来适配服务不同的元宇宙业务。

在软件定义网络中，分成应用层、控制层、基础设施层。其中控制层通过接口与基础设施层中的网络设施进行交互，从而实现对网络节点的控制。因此，在这种架构中，路由不再是分布式实现的，而是集中由控制器定义的。基于 SDN，将物理网络通过虚拟化技术分割为多个相互独立的虚拟网络，即组成相互隔离的管道，每个虚拟网络被称为一个网络切片，每个网络切片中的网络功能可以在定制化的裁剪后，通过动态的网络功能编排形成一个完整的实例化的网络架构。通过为不同的元宇宙场景创建不同的网络切片，使得网络可以根据不同的业务特征采用不同的网络架构和管理机制，包括合理的资源分配方式、控制管理机制和运营商策略，从而保证元宇宙场景中的网络性能需求，提高用户体验以及网络资源的高效利用，例如在超密集网络场景下引入本地化的控制管理机制和数据传输机制，降低网络中的信令开销和传输路径的跳数。

基于 SDN，通过网络编排，控制平面利用计算、存储和网络资源的最佳配置而直观地部署 5G 网络服务，迅速部署并扩展应用。除了易于访问，SDN 还可快速响应不断变化的业务。SDN 将大大改变 5G 网络基础架构的配置和管理方式。通过把控制功能和网络其他部分分离开来，SDN 以全局视角管理网络环境。各个业务不会再孤立地运行，可以从全局形成智能管控平台，从而把握全网的业务状

态。另外，通过 SDN 对基站资源进行分片实现基站的虚拟化,从而实现 5G 网络的虚拟化,不同的运营商可以通过中心控制器实现对同一个网络设备的控制，支持不同运营商共享同一个基础设施， 从而降低运营商的成本， 同时也可以提高网络的经济效益。由于采用了中心控制器， 未来 5G 移动通信网络中的不同接入技术构成的异构网络的无线资源管理、网络协同优化等也将变得更为方便。

9.3.3 自组织网络（SON）

随着移动通信网络的发展,依靠人工的方式难以实现网络的优化。为了帮助运营商更好地管理网络中巨大数量并且可能来自不同设备厂家的基站，降低 OPEX，由 NGMN（next generation mobile network）联盟中的运营商主导，联合主要的设备制造商提出了自组织网络(SON) 的概念,自组织网络的思路是在网络中引入自组织能力， 包括自配置、自优化、自愈合等,实现网络规划、部署、维护、优化和排障等各个环节的自动进行， 最大限度地减少人工干预。5G 系统采用了复杂的无线技术和无线网络架构,使得网络管理远远比与现有网络复杂,网络深度智能化是保证 5G 网络性能的迫切需要。因此,自组织网络将成为 5G 的重要技术。

5G 移动通信网络将存在多层、多无线接入技术的共存,导致网络结构非常复杂，各种无线接入技术内部和各种覆盖能力的网络节点之间的关系错综复杂，5G 网络应该能支持更智能的、统一的 SON 功能， 能统一实现多种无线接入技术、覆盖层次的联合自配置、自优化、自愈合、自规划。因此，SON 主要包括以下功能，第一、自配置，通过自动连接和自动配置，新基站可以自动整合到网络中，自动建立与核心网之间（S1 接口）和与相邻基站之间（X2 接口）的连接以及自动配置。第二、自优化，在 UE 和 eNB 测量的协助下，在本地 eNB 层面上和/或网络管理层面上自动调整优化网络。第三、自愈合，实现自动检测、定位和去除故障。第四、自规划，在容量扩展、业务检测或优化结果等触发下，动态地重新进行网络规划并执行。

目前,现有的 SON 技术都是面向各自网络， 从各自网络的角度出发进行独立的自部署和自配置、自优化、自愈合和自规划， 不能支持多网络之间的协同。因此， 还需要研究支持协同异构网络的 SON 技术， 如支持在异构网络中的基于无线回传的节点自配置技术， 异系统环境下的自优化技术， 如协同无线传输参数

优化、协同移动性优化技术、协同能效优化技术、协同接纳控制优化技术等，以及异系统下的协同网络故障检测和定位，从而实现自愈合功能。

9.3.4 异构超密集网络

异构超密集网络通过增加基站部署密度，可实现频率复用效率的巨大提升，但考虑到频率干扰、站址资源和部署成本，超密集组网可在局部热点区域实现百倍量级的容量提升。在异构超密集网络中,网络的密集化使得网络节点离终端更近,带来了功率效率、频谱效率的提升,大幅度提高了系统容量，以及业务在各种接入技术和各覆盖层次间分担的灵活性。

干扰管理与抑制、小区虚拟化、接入与回传联合设计等是超密集组网的主要技术。第一、在干扰管理与抑制策略方面，主要包括自适应小小区分簇、基于集中控制的多小区相干协作传输，和基于分簇的多小区频率资源协调技术。自适应小小区分簇通过调整每个子帧、每个小小区的开关状态并动态形成小小区分簇，关闭没有用户连接或者无需提供额外容量的小小区，从而降低对临近小小区的干扰。基于集中控制的多小区相干协作传输，通过合理选择周围小区进行联合协作传输，终端对来自于多小区的信号进行相干合并避免干扰，对系统频谱效率有明显提升。基于分簇的多小区频率资源协调，按照整体干扰性 能最优的原则，对密集小基站进行频率资源的划分，相同频率的小站为一簇，簇间为异频，可较好地提升边缘用户体验。第二、在小区虚拟化技术方面，小区虚拟化技术包括以用户为中心的虚拟化小区技术、虚拟层技术和软扇区技术。以用户为中心的虚拟化小区技术是指打破小区边界限制，提供无边界的无线接入，围绕用户建立覆盖、提供服务，虚拟小区随着用户的移动快速更新，并保证虚拟小区与终端之间始终有较好的链路质量，使得用户在超密集部署区域中无论如何移动，均可以获得一致的高 QoS/QoE。第三、在接入与回传联合设计方面，包括混合分层回传、多跳多路径的回传、自回传技术和灵活回传技术等。混合分层回传在架构中将不同基站分层标示，提供一种轻快、即插即用的超密集小区组网形式。多跳多路径的回传是指无线回传小基站与相邻小基站之间进行多跳路径的优化选择、多路径建立和多路径承载管理、动态路径选择、回传和接入链路的联合干扰管理和资源协调，可给系统容量带来较明显的增益。自回传技术是指回传链路和接入链路使用相同的无线传输技术，共用同一频带，通过时分或频分方式复用资源，从而能够以较

低的部署和运营成本来满足基于 5G 网络的云宇宙场景端到端业务质量要求。

异构超密集网络将是满足未来移动数据流量需求的主要技术手段。超密集组网通过更加“密集化”的无线网络基础设施部署，可获得更高的频率复用效率，从而在局部热点区域实现百倍量级的系统容量提升，为未来元宇宙场景提供高容量的 5G 移动通信网络基础设施支撑。

本章由张宗帅起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] IMT-2020（5G）推进组 5G 概念白皮书.

[2] IMT-2020（5G）推进组 5G 无线技术架构白皮书.

[3] IMT-2020（5G）推进组 5G 网络技术架构白皮书.

[4] 尤肖虎，潘志文，高西奇等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术. 中国科学：信息科学，2014，44：551-563，doi:10.1360/N112014-00032.

[5] 贺敬，常 疆. 自组织网络（SON）技术及标准化演进.

[6] 5G 网络全球发展现状和发展趋势.http://www.elecfans.com/d/1460508.html.

[7] 黎文娟，乔标，邵立国等.中国 5G 发展现状与未来趋势.

[8] 苑朋彬，杨帅，赵蕴华，汪芸辉. 5G 全球趋势与中国战略.

第 10 章 云计算技术

云计算是一种基于互联网的，只需最少管理和与服务提供商的交互，就能够便捷、按需地访问共享资源（包括网络、服务器、存储、应用和服务等）的计算模式。根据美国国家标准与技术研究院（NIST）定义，云计算具有按需自助服务、广泛网络接入、计算资源集中、快速动态配置、按使用量计费等主要特点。

云计算是元宇宙技术架构中的底核心科技重要组成部分，通过提供软件定义的基础设施让元宇宙生态运作起来，向元宇宙用户交付服务器、存储空间、数据库、网络和分析等的资源平台。

10.1 云计算概述

云计算的核心思想：按需提供弹性的信息化资源与服务，实现基础设施资源共享，进而向用户提供服务。

云计算的主要特征有：

- **弹性扩展：**按需购买，可以随时增加或减少资源容量；
- **费用低：**无需购买软硬件，无需承担管理维护等人力成本；
- **速度快：**只需点下鼠标；
- **工作效率高：**专注自身业务，无需关注底层硬件维护和管理；
- **性能佳：**规模效益，遍布各地数据中心，降低网络延迟；
- **可靠性强：**冗余站点对数据镜像处理，提供数据备份，灾难恢复和和实现业务连续性。

云计算模式相比于传统计算模式，从接入方式、应用使用方式、服务器类型及数量、应用与服务器的关系等方面，有着显著的优势。

传统模式	比较项目	云计算模式
用户通过LAN等方式连接到传统数据中心	接入方式	用户可以在任意位置通过Internet连接到云中
用户通常需要将应用安装到本地后才能使用	应用使用方式	用户可直接使用云提供的各种应用服务，无需在终端安装具体应用
大型服务器，数量较少	服务器类型及数量	小型服务器，数量庞大
具体的应用只能运行在具体的服务器上	应用与服务器的关系	应用运行在服务器上，不与具体的服务器绑定

图 10- 1：云计算模式与传统模式对比（来源：华为企业服务）

10.1.1 云计算的分类

云计算可以按照服务类型和部署类型进行分类。

（1）按服务类型分类

a. IaaS：提供 IT 基础设施，例如服务器、虚拟机、存储、网络、系统等；

b. PaaS：提供开发、测 试、交付和管理软件应用程序所需的环境，无需考虑对基础结构进行设置或管理；

c. SaaS：向用户提供软件应用复合和用户交互接口等服务，以订阅为基础按需提供。

（2）按部署类型分类

- **公有云：**由第三方提供商提供的云服务，用户无需购买硬件、软件或支持基础架构，只需为其使用的资源付费即可；
- **私有云：**在企业内部提供云服务，由单个公司拥有和运营，或托管在第三方服务商；
- **混合云：**是公有云和私有云的混合，使用私有云作为基础， 同时结合公有云的服务策略，管理和运维职责由企业和云提供商共同分担；
- **社区云：**是有共同利益（如任务、安全需求、政策、遵约考虑等）并打算共享基础设施的组织共同创立的云。

10.1.2 云计算的发展历程

云计算主要分为四个发展阶段。

（1）第一阶段

19 世纪 60 年代，大/小型机时代拉开“伟大 IT 时代”的序幕：

a. 优点：RAS（高可靠性、高可用性、高服务性）、 性能强大、安全稳定；

b. 缺点：通用性差、非标准化、专用封闭、缺乏灵活、高成本（包括硬件、软件和人员）。

（2）第二阶段

19 世纪 80 年代，采用标准化业务模块构建的 PC-X86 服务器，网络开始形成：

a. 优点：开放、兼容、集成，标准化程度高、性能媲美大/小型机、更低的成本；

b. 缺点：企业规模扩大后服务器剧增，硬件成本高、信息不能共享，系统集成管理复杂。

（3）第三阶段

1998 年 VMware 推出虚拟化技术，使得 IT 资源的利用率和灵活性得以提高：

a. 优点：“共享”基础设施 、 “共享”应用服务、“共享”信息服务、“共享”IT 服务；

b. 缺点：无法实现弹性运算、用户无法与 IT 资源直接交互、业务缺少 IT 支持。

（4）第四阶段

2006 年 3 月 Amazon 推出弹性计算云服务，提供弹性的按需供给的 IT 资源：

a. 优点：超级计算能力、资源高效利用、高度安全与可靠、面向业务部门；

b. 缺点：公有云安全性和私密性有待提高。

10.1.3 中美云计算发展对比

(1) 美国

- 美国是云计算行业的先行者，产业早期启动受益于 Google、Amazon 等企业的大力研发投入和宣传推动；
- 虚拟化技术提出后，Amazon、Google 等美国互联网企业率先进行云计算相关技术与产品的研发，并开始推出相关业务；
- 由于按需配置、成本较低及龙头企业推广，大型企业、政府开始接受公有云及私有云，开发者也出于成本与便利的考虑，愿意在云平台上开发云应用，整个美国云计算产业开始蓬勃发，云计算服务对象开始由企业拓展至社会大众，整个产业已形成完整的价值链与生态环境。

(2) 中国

中国落后北美 5-7 年，学习国外为主，后加上政府支持，2017 年呈现强劲增长势头。2020 年，中国云计算市场规模达 2091 亿元，其中公有云市场规模达 1277 亿元，相比于 2019 年增长 85.2%；私有云市场规模达 814 亿元，较 2019 年增长 26.1%。

10.1.4 云计算的商业模式及特点

云计算的用户向云服务商发起资源服务申请，云服务商通过技术平台进行资源调度，并将处理的结果反馈给用户。

相比于传统 IT 服务，云计算的特点主要包含：

- **共享：**包括网络，服务器，存储，应用软件，服务等；
- **按需易扩展：**按使用量付费，只需投入少量管理工作，与服务供应商进行少量交互；
- **从产品到服务：**终端用户不必再购买服务器、存储设备等硬件，转而租赁硬件资源和软件，从产品维护角度，终端用户本身不必再投入资源，转由服务商提供；
- **从 License 授权到服务费：**云计算服务厂商通常提供多种类型的套餐来

满足不同的需求，支付的周期可以按照年、月进行付费或按照使用量来支付服务费用，避免一次性投入过大而利用率不高的情况；

- **规模性带来竞争壁垒：**云计算厂商客户越多，采购成本和运营成本也就越低，同时，终端客户在采购时会优先考虑具有品牌效应的企业，同时也会形成一定的使用粘性，平台化能够增强云计算厂商的竞争力，拉开与竞争对手的差距，这些因素都形成了云计算厂商的竞争壁垒，具有共享经济类似的特性。

图 10-2：IT 传统服务架构与云计算服务架构的对比（资料来源：IBM）

元宇宙必须要建立在先进的数字基础设施之上。元宇宙的“沉浸感”“低延时”“随地”特性不仅对 VR/AR 硬件技术和网络传输系统提出了很高的要求，还取决于高性能的云边计算能力和流媒体技术。云计算框架做为所有上层应用的基础设施，在元宇宙技术栈中占有举足轻重的作用。

云计算（cloud computing）是分布式计算的一种，指的是通过网络“云”将巨大的数据计算处理程序分解成无数个小程序，然后，通过多部服务器组成的系统进行处理和分析这些小程序得到结果并返回给用户。云计算早期，简单地说，就是简单的分布式计算，解决任务分发，并进行计算结果的合并。因而，云计算又称为网格计算。通过这项技术，可以在很短的时间内（几秒钟）完成对数以万计的数据的处理，从而达到强大的网络服务。现阶段所说的云服务已经不单单是一种分布式计算，而是分布式计算、效用计算、负载均衡、并行计算、网络存储、热备份冗杂和虚拟化等计算机技术混合演进并跃升的结果。

云原生是一种新型技术体系，是当前云计算领域的绝对主流，从字面意思上来看可以分成云和原生两个部分。云是和本地相对的，传统的应用必须跑在本地服务器上，现在流行的应用都跑在云端，云包含了 IaaS,、PaaS 和 SaaS。原生就是土生土长的意思，我们在开始设计应用的时候就考虑到应用将来是运行云环境里面的，要充分利用云资源的优点，比如云服务的弹性和分布式优势，就需要以下几个关键技术。

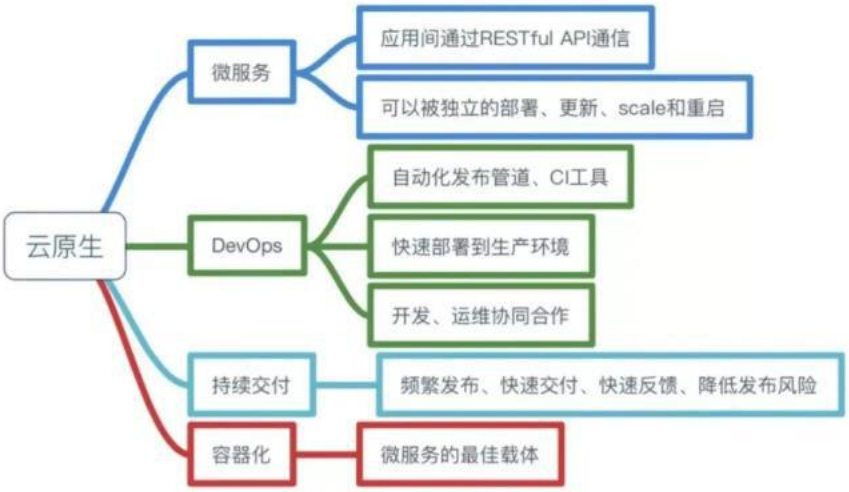


图 10-3 云原生

- **微服务：**它解决的是我们软件开发中一直追求的低耦合+高内聚。它的本质是把一个大工程分成若干块低耦合的小服务，这样每个小服务出问题时，其它服务还能正常对外提供服务。
- **DevOps：**它把开发和运维融合为一个团队。提供自动化测试、发布、整合工具，达成开发运维协同合作。
- **持续交付：**是指在不影响用户使用服务的前提下频繁把新功能发布给用户使用，频繁的小版本快速交付可以得到快速反馈从而降低发布风险。
- **容器化：**它的好处在于运维的时候不需要再关心每个服务所使用的技术栈了，每个服务都被无差别地封装在容器里，可以被无差别地管理和维护，并且服务之间实际环境隔离，局部的损坏不影响整体的工作。

超融合基础架构（Hyper Converged Infrastructure，或简称“HCI”）是在云原生技术体系下衍生出的新型基础架构，是指在同一套单元设备中不仅仅具备计算、网络、存储和服务器虚拟化等资源和技术，而且还包括备份软件、快照技

术、重复数据删除、在线数据压缩等元素，而多套单元设备可以通过网络聚合起来，实现模块化的无缝横向扩展，形成统一的资源池。

超融合在本地很容易实现：即将计算、网络和存储都集成在一个设备内。而在大规模网络环境下，超融合能将硬件和虚拟的各类计算资源进行整合管理，紧密集成为一个超融合平台。计算资源包括 CPU、GPU、内存、存储、网络等，通过高级管理界面及自动化工具把这些资源抽象化和池化为底层资源，然后将它们动态分配到在虚拟机或容器中，为上层的数据分析处理、人工智能、机器学习等应用或服务提供资源。分配基于与应用一致的策略，按需分配、动态扩展。这种基础架构可以为数据中心带来最优的效率、灵活性、规模、成本和数据保护。

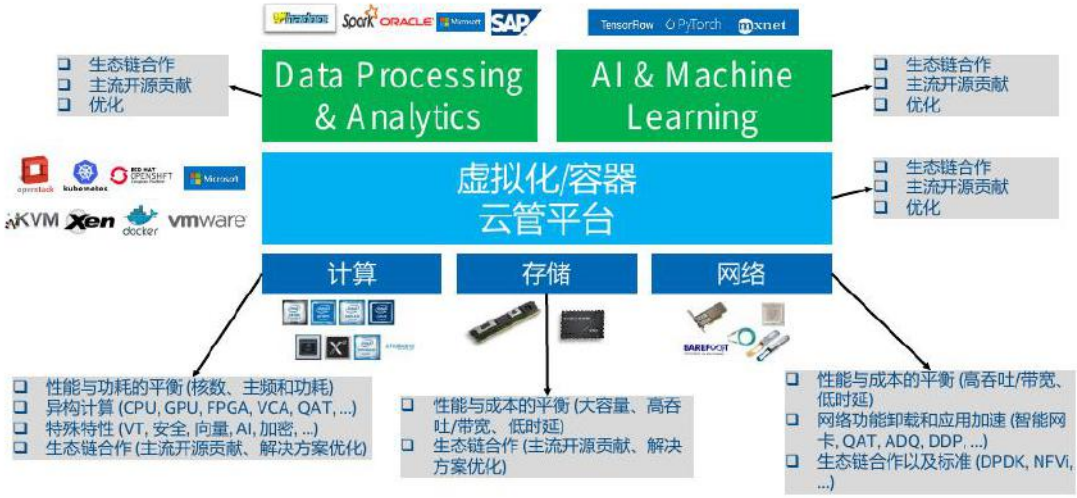


图 10-4 虚拟云/容器云管平台

超融合这种基础架构可以用来：

- **构建私有云：**在本地部署云式基础架构，兼容各种架构硬件，同时降低成本、提高控制力和安全性。
- **延展至公有云：**在云计算生态系统中实现了一种“HCI 即服务”的模式，加快部署速度并减少管理基础架构所花的时间。
- **实现真正的混合云：**多种类云的管理、跨数据中心、公有云和边缘环境、虚拟机和容器的应用组合。

现今的超融合强调虚拟机和容器的混合应用。以统信的超融合平台为例：它利用 docker 或 isulad 作为容器运行环境；用 Kubernetes 构建云原生底座编排微服务；用 kubevirt 实现云原生框架上虚拟机的承载；用 rancher 实现多集群

管理、微服务治理、资源监控；用 harvester 实现虚拟机的创建与生命周期管理；用 longhorn 实现分布式存储的管理；用 harbor 提供微服务与组件的镜像仓库服务。可以看到，这样一个典型的超融合架构是集合了世界领域众多开源软件而形成的，并不是一家公司独立所能为的。它具备以下特点：

（1）运算、储存、网络单元的融合

传统的存储区域网络架构使用的运算和储存单元是分离的。传统的服务器外接 SAN 交换机、储存设备等，超融合架构则将运算和储存单元合二为一。这样每个服务器节点单元同时可提供运算资源和储存空间，每一台超融合架构的服务器节点就相当于传统服务器外接交换机和储存设备，即使用服务器节点的磁盘驱动器来提供需要的储存空间。

（2）实际的硬件资源与虚拟化平台的完整融合

超融合架构中，运算资源（如 cpu 中的几个核，物理显卡拆分出来的 vgpu，内存中的多少 G）和储存资源（多块物理磁盘相联后划分出 PV，其上又建立 PVC 相当于逻辑磁盘）都是通过超融合管理平台来分配并合理调配伸缩的。在统信的超融合架构中，虚拟机和容器都是封装在 k8s pod 中的，因此可以理解为是一种以 pod 为核心的虚拟化应用。超融合架构的运算资源和储存资源都是软件定义化的，硬件部份只是一台普通的通用硬件服务器，用户在虚拟机或容器中使用的运算资源和储存资源完全依靠超融合平台软件所构建，隔绝了应用与底层的物理设备间的联系。

（3）更易于管理

在传统中，由于运算与储存资源是由各自独立的服务器与储存设备来提供，操作管理也是独立的，管理者必须分别透过不同的管理工具来管理这两种设备。管理者须在储存设备上从 LUN、连接映像等这些设定着手，然后再将设定好的储存装置挂载到服务器主机上，通过 Hypervisor 提供给 VM 使用。在超融合架构中，运算与储存二合一，只需单一的平台就可同时管理运算和储存资源的设定。用户可根据自身需要来设定运算与储存资源的服务等级，实际资源的分配可由管

理平台自动完成，管理变得轻松而简单。

（4）纵向构建和横向扩展

超融合架构由于把运算与储存融合在一台设备，每台超融合设备都含有独立、完整的运算、储存硬件资源，所以每台设备也就构成了一个独立的基础单元。通过丛集架构，用户可以以一台超融合设备为单元，以堆叠的方式将更多的节点加入到丛集中，来扩展整个超融合架构丛集的容量。

（5）云原生框架的优势继承

极简的架构，让系统更灵活，部署更简单，运维更简单；天然高可靠性，容灾恢复，负载均衡能力；资源消耗低、利用率高、按需扩展、动态伸缩的特性；通过普通硬件的联合提供高性能、高安全性、高性价比的解决方案。

10.2 云计算发展趋势

全球和中国的云计算市场整体高速增长，在云计算的渗透过程中，客户都聚集在 IaaS 和 SaaS 上，但是 PaaS 是将软件研发平台作为一种服务，以 SaaS 的模式提交给用户，是 SaaS 模式的一种应用。所以，PaaS 是 IaaS 的差异化竞争，又是 SaaS 从点到面发展的关键产业链环节，因此，IaaS 和 SaaS 厂商主动向 PaaS 环节延伸。但是 PaaS 的高技术壁垒特性，导致其市场规模较 IaaS 和 SaaS 小，PaaS 的出现可以加快 SaaS 的发展，尤其是加快 SaaS 应用的开发速度。应对元宇宙发展趋势，云计算将会是 IaaS+PaaS+SaaS 的一体式的交付模式。

对于云计算产业来说，过去两年称得上是不平凡的两年。一是新冠疫情的出现，加速了远程办公、在线教育等云服务的发展，也加快了云计算应用落地的进程，深刻地改变了社会的生产和生活方式，并在社会治理、疫情分析、资源调度等方面发挥了重要的作用，即从某种程度上促进了元宇宙的发展。二是全球数字经济的背景下，云计算成为企业和家庭数字化转型的必然选择，以云计算为核心，融合人工智能、大数据、区块链、物联网等技术实现企业信息技术软硬件的全面升级，加速了数据的流通、采集、处理、挖掘，有效地提升了社会运行的效率。三是随着元宇宙的概念诞生，云计算承担了类似所有基础设施的操作系统的角色，

是通信网络基础设施、算力基础设施与新型技术基础设施协同配合的重要承载平台，也是整合了所有创新能力的平台。这些都为云计算产业的发展带来新的发展趋势。

10.2.1 混合多云

考虑到数据安全性、供应商锁定、云服务成本效益等问题，会有越来越多的企业开始采用多云策略。混合多云是由多个云服务组成、公有云与私有云相结合的云计算方法，其来自多个云供应商的公共云或私有云。据统计，目前有 90%以上的企业将使用多种云服务和平台。

10.2.2 分布式云

分布式云将公有云服务(通常包括必要的硬件和软件)分布到不同的物理位置（即边缘），而服务的所有权、运营、治理、更新和发展仍然由原始公有云提供商负责。Gartner 预测，到 2025 年，超过 50%的组织将在其选择的地点使用分布式云，从而实现转型业务模式。分布式云满足本地数据、本地处理、本地网络需求，提升应用效率、优化成本。

分布式云是融合计算、存储、网络、应用核心能力的分布式开放平台。靠近终端侧、覆盖全面的“云边端网管业” 一体式云方案。通过将资源建设在更靠近终端用户侧的 IDC 机房，并根据行业应用（比如流媒体）的要求以及终端客户接入的情况进行智能调度，满足行业客户在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全保护等方面的关键需求，提供一站式靠近终端侧客户、覆盖全面的云资源，通过就近计算和处理，优化响应延迟、中心负载和算力成本。帮助数字化服务下沉到终端侧，有效降低计算时延和成本；是一站式靠近终端侧、覆盖全面的云方案。

分布式云通过将一致架构的云基础设施和服务，从中心 Region 延伸到业务所需的各类位置，包括城域范围内的热点区域、企业的数据中心机房、以及企业的各类业务现场，让云的能力无处不在，让企业可以从全局的视角重新思考业务的分布策略，加快企业全面云化的进程。

分布式云将本地公有云、城域社区云、IoT 边缘云、网络边缘云连接在一起进行资源的调度，形成统一的云服务。

- **本地公有云：**完整的公有云服务以私有化方式进行体现
- **城域社区云：**多级多域多分支，灵活轻量的云服务需求
- **IoT 边缘云：**物联终端接入，直接与终端数据交互；
- **网络边缘云：**与网络基础设施集成的边缘云（其中可与 5G 结合构建移动边缘云）
- **分布式云平台：**主要包含分布式云、分布式网、运行环境、调度管理系统。

一朵分布式云：将云基础设施和服务延伸到业务所需的各类位置，包括城域范围内的热点区域、企业的 DC 机房、或企业的各类业务现场，从而满足多场景、多地域的业务需求。

一张分布式网：从网络的角度，企业面临多种组网环境之间的高效互通难题，如云网络和企业 IDC 网络之间的互联互通，中心 Region 和边缘在同一 VPC 内互通等等。

一致运行环境：对于分布式云来讲，一致的运行环境是非常关键的能力。从开发环境到运行和部署环境，实现无差别的体验。

一套管理系统：企业通常存在多层级的组织结构，统一的资源统筹和业务管理对于提高企业治理效率尤为重要。

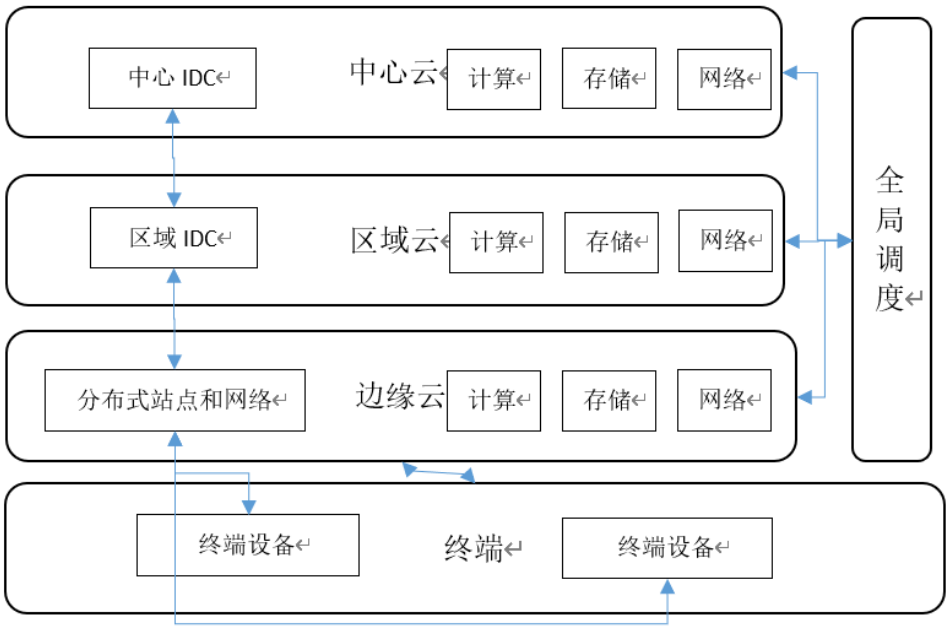


图 10-5：分布式云管理调度逻辑架构

10.2.3 算网融合

随着 5G 技术商用和与边缘计算技术的发展，以及芯片制程工艺进一步提升，终端侧的算力也将迎来大幅提升，新兴应用驱动数据处理越来越向边端扩散，以获得更低的时延响应，这一阶段计算服务具备典型的分布式特征。随着算力分布式与网络连接的泛在化，算网融合已成大势所趋，计算服务的架构演进又将呈现算网一体的新特征，形成一个集中和分散统一协同的云网边端泛在化计算服务框架。

算网融合的目标是建立计算和通信能力融为一体、协同调度的基础设施环境，其核心即通过自动化和智能化的调度与编排，使用户可在任何场景下无感知地将计算（算力、存储、网络等）需求与云边端多级计算服务能力连接适配，实现算力从产生、调度、交易到消费的闭环，形成算网一体的新型可信共享计算服务模式。

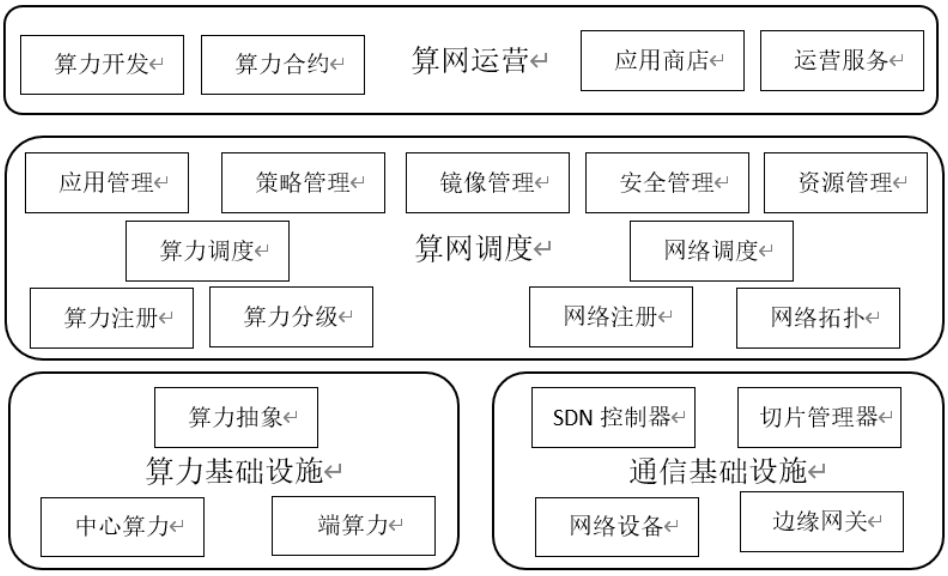


图 10-6：算网融合功能架构

算力抽象是算力基础设施层的关键技术。算力资源包含多种不同类型指令集和异构硬件，比如 CPU、GPU、FPGA 等。算力抽象在异构基础设施上对算力进行抽象建模，通过在软件层面提供跨硬件的标准、开放的编程环境与编程接口，使得应用开发者无需了解底层硬件的具体信息，就可以将应用在任意底层硬件上执行。

算力调度是算网调度层的关键技术之一。在云网边端之上需要构建多级的算力调度系统层以形成全网算力调度与网络调度匹配，将整个算力基础设施额和通信基础设施纳入统一的算网体系。算力调度平台实时获取云网边端各级算力节点

资源信息,通过自动化、智能化的调度方法及算法,提供最优化的应用部署及动态管理方案。

10.3 通用计算平台

从计算机发明以来，信息技术的商业模式经历了五代的发展：第一代自动化数据处理、第二代知识型工作和企业重构满足部门级信息化的需求、第三代互联网客户和全球采购满足企业级的信息化需求、第四代云计算和数字化业务满足产业级的数字化需求、第五代人工智能和元宇宙满足生态级的数智化需求。

同时，计算平台的核心技术也伴随着发展了五代：第一代的大型机上的文件系统和批处理、第二代个人电脑上的图形化用户界面和软件包、第三代互联网上的广告和电子商务、第四代移动互联网上的大数据和云计算、第五代融合了人工智能、机器学习、区块链等技术的的新一代云计算平台。

所以，数字经济时代，5G\6G 加 ABCDI（人工智能、区块链、云计算、大数据、物联网）的计算平台，构建传输、存储、计算、分析、自我学习、应用、再传输的闭环生态，更是打开了未来的想象空间，有望成为元宇宙时代的通用计算平台，加速元宇宙升级落地的趋势。

图 10-7：新一代通用计算平台功能架构

本章由张宗帅、宋国欢起草，由龚才春修改。如有侵权，由起草人负责。

参考文献:

第 11 章 去中心化技术层

去中心化技术层主要包括区块链技术，以及与区块链紧密相关的 NFT 技术等。

11.1 区块链的定义与特征

11.1.1 术语表

- **区块链：**是一个由分布式账本、去中心网络和互操作协议构成的系统，支持原生价值表示的应用。
- **实体：**参与进行交互行为的个体，在区块链系统中以非对称密码学的公私钥对及其扩展协议作为身份标识，持有私钥签名即为实体鉴权。具有去中心化、自主管理、隐私保护、安全等特点。
- **分布式一致性账本：**一种增量修改式的数据存储结构，由去中心化的点对点网络中的节点共同维护，通过共识算法来保证账本一致性，具有数据公开且历史数据难以篡改的特点，通常为区块链系统提供可信存储及智能合约支持。
- **共识：**账本节点按照特定的协议确认写入账本的数据，以保证账本的一致性。
- **智能合约：**记录在账本中的可执行代码，通过在分布式账本节点上运行的智能合约引擎执行，每次执行的输入输出同样记录在账本中。
- **预言机：**是一种向区块链提供可信外部数据的服务。借助预言机，用户可以预测区块链系统以外事件的结果并永久记录在区块链上成为事实。

11.1.2 区块链特征和技术导览

(1) 区块链特征

区块链技术被认为是互联网发明以来最具颠覆性的技术创新，它依靠密码学和数学巧妙的分布式算法，在无法建立信任关系的互联网上，无需借助任何第三方中心的介入，就可以使参与者达成共识，以去中心化的架构解决了信任和价值

的可靠传递难题。

区块链具备如下 5 个特征：

①去中心化：区块链技术不依赖额外的第三方管理机构或硬件设施，没有中心管制，除了自成一体的区块链本身，通过分布式计算和存储，各个节点实现了信息自我验证、传递和管理。常见的区块链也并不是绝对的去中心化。架构不同，去中心化的程度也不同：根据应用场景的不同，可以有完全去中心、多中心和弱中心。

就像常说的公有链，它是一个开放给所有互联网用户的去中心化分布式账本，比如比特币、以太坊，都是完全去中心化的公有链架构。

但是有些场景中，比如银行之间做的支付交易、跨境支付交易等，实际上是几个银行之间构建一个联盟链，是介于公有链和私有链之间的一种账本结构，是部分去中心化。

再如，在一个企业内部构建的专有链中，区块链的共识机制、验证、读取等行为均由一个实体控制并只对实体内部开放，这种架构的中心化程度就是偏高的。

②开放性：区块链技术基础是开源的，除了交易各方的私有信息被加密外，特别的，无授权区块链的其它类型数据对所有人都是开放的，任何人都可以通过公开的接口查询区块链数据并开发相关应用，整个系统的信息高度透明；

③独立性：基于协商一致的规范和协议，整个区块链系统不依赖其他第三方，所有节点能够在系统内自动安全的验证、交换数据，不需要任何人为干预；

④安全性：只要不被黑客掌控全部节点的 50%，黑客无法操纵修改网络数据，这使区块链本身变得非常安全，避免了主观人为的数据变更；

⑤匿名性：除非有法律规范要求，单从技术上讲，各节点的身份信息不需要公开或验证，信息传递可以匿名进行。

各种应用场景围绕区块链的三种类型形态：公有链、专有链、联盟链进行展开。

图 11-1：区块链应用场景

(2) 区块链和元宇宙技术导览

元宇宙是可以映射现实世界又独立于现实世界的虚拟空间，是虚拟世界和现实世界界限打破的结果，是虚拟世界和现实世界日益融合的未来。在这个过程中，会促进一系列“连点成线”的科学技术的进步和跨行业的产业聚合，并且打破虚拟和现实的界限，促进虚拟和现实融合。

区块链技术可实现可信的数据协同，以此打造良性竞争的商业环境，以区块链作为互联网的核心技术，粘合云计算、物联网、大数据、移动通信及人工智能等为代表的数字技术，共同构建元宇宙的技术基础设施，形成元宇宙生态，驱动社会生产方式变革。

元宇宙场景的丰富性，对区块链技术提出新的要求。常见的 Bitcoin 公链时延 10 分钟、区块大小 2MB~32MB、TPS 为 1、燃料费(Gas fee)为 1U(1U=1 美元)。而 Ethereum 公链，虽然时延降低为 15 秒，但是 Gas fee 高达 20U，区块大小仅仅为 20KB~100KB。现有区块链显然无法适应元宇宙业务场景对区块链的需求。比如：物联网场景可能要求时延秒级甚至毫秒级并且燃料费可以忽略不计、XR 等场景可能要求区块大小达到 1GB 级甚至更高要求。随着元宇宙场景的快速丰富，区块链作为元宇宙基建之一，必须实现同步的创新。

下表是常见公链技术性能指标：

表 11-1 区块链性能表

	TPS	Gas fee	时延	区块大小
Ethereum	15	20 美元	15 秒	20KB~100KB
Bitcoin	1	1 美元	10 分钟	2MB~32MB
polygon	1 万	0.0001 美元	秒级	<10M
Solana	5 万+	0.0001 美元	0.4 秒	1~10MB
BSC(私链)	3000+	0.001 美元	3 秒	1~10MB
Verseport	10 万+	0.0001 美元	0.5 秒	<1GB
Ethereum	15	20 美元	15 秒	20KB~100KB
Bitcoin	1	1 美元	10 分钟	2MB~32MB
polygon	1 万	0.0001 美元	秒级	<10M
Solana	5 万+	0.0001 美元	0.4 秒	1~10MB
BSC(私链)	3000+	0.001 美元		1~10MB
Verseport	10 万+	0.0001 美元	0.5 秒	<1GB

(3) 不同技术模块和区块链系统之间的关系

乔布斯曾提出一个著名的“项链”比喻，iPhone 的出现，串联了多点触控屏、iOS、高像素摄像头、大容量电池等单点技术，重新定义了手机，开启了激荡十几年的移动互联网时代。现在，随着云计算、物联网、大数据、XR、移动通信及人工智能等技术创新逐渐聚合，元宇宙也走向了“iPhone 时刻”，开启互联网的下一个时代。

元宇宙就是一个整合多项技术和多个系统的开放型系统，各系统各有偏重，分别提供数据采集、处理和表现的能力，大量对数据的操作在各个技术系统之内完成，区块链作为可信基础设施，主要作用是粘合元宇宙各个技术系统并提供价值交换的去中介信任保障。

图 11-2：元宇宙的技术基础设施

11.1.3 区块链+物联网

物联网可以对现实世界进行感知，并将数据传输到元宇宙世界，从而实现元宇宙世界与现实世界的虚实联动；未来，将面临物联网设备的真实性鉴别、物联数据的上链存储等问题，可以采用区块链技术，通过“1 物 1 码”方式给物联网设备赋码，实现物联网设备的真实性鉴别；物联数据的可信上链存储将面临高并发海量流数据的上链问题，在目前的区块链结构中，一般采用写入去中心化存储的方式实现（例如 IPFS、Arweave）。各团体也在研发大数据可信上链技术，例如：原生支持大数据对象链 Verseport Object Chain，进行解决。

11.1.4 区块链+云计算

元宇宙是关于宇宙的宇宙，也是现实宇宙的虚拟镜像，需要强大的算力支撑；云计算自 2006 年出现以来，以其虚拟化、易扩展性、高可靠性、强兼容性、高性价比等特征逐步成为现代互联网的数字化基础设施，前景被长期看好。元宇宙作为下一代互联网，云计算将仍然承担元宇宙基础设施的职责。区块链将在云计算基础设施基础上，叠加去中心化的 P2P 覆盖网络、共识算法、区块链结构，并通过区块链的“去中心化、匿名性、数据不可篡改”等特性解决云计算的“可信、可靠、可控制”问题，实现可信的数据协同；共同构建元宇宙的强大算力平台。

11.1.5 区块链+网络通信基础设施

预计元宇宙至少需要 5G 以上网络，实现全球覆盖以及几乎无延时的网络体

验。进一步的，6G 网络将能够使用比 5G 网络更高的频率，并提供更高的容量和更低的延迟。6G 网络的目标之一是支持 1 微秒甚至亚微秒的延迟通信；室内定位精度达到 10 厘米，室外为 1 米，相比 5G 提高 10 倍。在覆盖范围上，6G 网络将是一个地面无线与卫星通信集成的全连接世界，通过将卫星通信整合到 6G 移动通信，实现全球无缝覆盖，“万物互联”才可能真正实现。

具有 AI 功能的 6G 有望释放无线电信号的全部潜力，转变为智能无线电，为元宇宙用户提供实时、流畅的沉浸式体验。

表 11-1：各代移动网络性能

网络	应用时间	最高下载速度	下载电影时间（375M）
1G	1979 年	2 Kbps	17 天+
2G	1991 年	100 Kbps	8 小时+
3G	1998 年	8 Mbps	6 分钟+
4G	2008 年	150 Mbps	20 秒
5G	2018 年	10 Gbps	3 部电影只需 1 秒
6G	2030 年（预期）	100Gbps–1Tbps	300 部电影只需 1 秒

11.1.6 区块链+大数据

元宇宙是人的智慧操控数据去搭建一个虚拟的世界，数字社会更像是数据自学习后产生的“数据自慧”。所以数据应用的最佳表现形式是元宇宙，目前来看极致情况可能是数字生命自我繁衍与生长的数字社会。元宇宙也是人的宇宙，每个人都将成为其中的数据中心节点，基建、场景、物品等都将由人或 AI 生成，即 UGC、PGC、AIGC，每一个新进来的人都会有一份相应的数据档案，之后产生的交互数据被不断填充到各个数据节点中，也由此织成一张大网。数据摩尔定律一样将覆盖到元宇宙，即元宇宙中数据每隔 2 年也将增长 1 倍，未来，元宇宙中的

大量数据会给现实世界中的元宇宙基础设施系统带来巨大的硬件与云端压力，同时对区块链的性能也提出了新的要求。

目前，区块链由区块链接而成，单个区块一般有最大尺寸限制（例如 Bitcoin 的区块大小限制为 2MB~32MB，Ethereum 限制为 20KB~100KB），同时，区块链还存在出块时延和 TPS 限制，在目前的区块链技术条件下，将无法满足元宇宙对大数据的要求，需要综合去中心化存储，例如 IPFS、Arweave，并研发大数据可信上链技术，例如原生支持大数据对象链 Verseport Object Chain，进行解决。

11.1.7 区块链+人工智能

算法是人工智能发展的重要引擎和推动力，算法是一种有限、确定、有效并适合用计算机程序来实现的解决问题的方法，是理论中最纯粹的知识形式。在某种意义上，其可以看作是一种理性的计算工具。在数据和算力的支撑下，算法经历了一个不断发展的过程。而算法发展的过程，就一定程度上来说，也可以看成是人工智能不断进步的过程，即实现机器学习，进而进入到深度的学习。在具体的学习过程和算法的过程中，人工智能也经历了从浅层的神经网络发展到复杂的机器学习网络。其中，浅层的神经网络的整个的输入和输出是在一个比较简单的网络里构建的；而进入到深度学习的网络以后，会产生在网络和神经元之间的复杂的机器学习网络。具备越来越强的自主学习与决策功能的算法，是元宇宙时代全新的认识和改造这个世界的方法论。

算法的强作用力也将体现在元宇宙世界中。

一是助力虚拟对象智能化。元宇宙高度融合了虚拟与现实世界，在元宇宙中，虚拟对象是重要的存在，正如 2013 的奥斯卡获奖电影《她》所展示的一样。电影中，一次偶然机会，主人公接触到最新的人工智能系统 OS1，它的化身 Samantha 拥有迷人的声线，温柔体贴而又幽默风趣。人机之间存在的双向需求与欲望，让主人公沉浸在由声音构筑的虚拟现实中，最后爱上了这个人工智能系统。未来，虚拟对象和人的智能行为将更多地出现在各种虚拟环境和虚拟现实应用中，但这个前提是——虚拟对象足够智能。

二是交互方式智能化，算法的日益精进将大大提升智能交互体验，将综合视觉、听觉、嗅觉等感知通道，带来全新的交互体验，让虚拟现实真正“化虚为实”。并且，对于虚拟现实内容研发来说，算法的进步也将带来内容生产的智能化，人

工智能将提升虚拟现实制作工具、开发平台的智能化及自动化水平，提升建模效率，提升虚拟现实内容生产力。

元宇宙中的虚拟对象智能化、交互方式智能化都需要基于区块链的可编程智能合约进行承载，需要基于场景需求，将人工智能算法编写为智能合约程序，并发布在区块链上运行；从而实现元宇宙的人工智能。同时，区块链也需要人工智能，特别是机器学习、数据挖掘和数据可视化等人工智能方法，有助于捕捉区块链中的异常行为，识别交易中的风险，检测智能合约中可能存在的脆弱程序等。因此，可以采取主动识别行动来防止区块链的破坏性或非法行为，从而使区块链更加智能化。区块链和人工智能相辅相成，共同构建元宇宙的智能底座。

11.2 区块链技术概述

11.2.1 区块链技术

2008 年，日裔美国人中本聪第一次提出了区块链的概念，在随后的几年中，区块链成为了电子货币比特币的核心组成部分，成为所有交易的公共账簿。

从科学技术角度来看，区块链是一个信息技术领域的术语。从本质上讲，区块链一种数据以区块为单位产生和存储，并按照时间顺序首尾相连形成链式结构，同时通过密码学保证交易不可篡改、不可伪造及数据传输访问安全的去中心化分布式账本，存储于其中的数据或信息，具有不可伪造、全程留痕、可以追溯、公开透明、集体维护等特征。

区块链概念中所谓的分布式账本，其作用和现实生活中的账本基本一致，按照一定的格式记录流水等交易信息。起初是在各种数字货币交易中记录转账信息，随着区块链的发展，记录的内容由各种转账记录扩展到各个领域的数据。

区块链的关键技术组成主要为：对等网络、密码学算法、共识算法、账本储存模型、智能合约和虚拟机、区块链治理。其中，密码学算法与共识算法是最核心的关键技术。

(1) 对等网络（P2P）

对等计算机网络(Peer-to-Peer Networking, P2P 网络)，是一种消除了中心化的服务节点，将所有的网络参与者视为对等者(Peer)，并在他们之间进行任

务和工作负载分配。P2P 去除了中心服务器，是一种依靠用户群共同维护的网络结构。由于节点间的数据传输不再依赖中心服务节点，P2P 网络具有极强的可靠性，任何单一或者少量节点故障都不会影响整个网络正常运转。

区块链使用对等网络，并不存在唯一一个中心节点来校验并记录交易信息，校验和记录工作由网络中的所有对等节点共同完成。区块链节点对等维护同一账本，账本数据的更新需要满足大部分数据节点同步更新。因此，篡改区块链账本的成本非常高，区块链账本具有防篡改能力。对等网络是区块链信任的基础。

(2) 密码学算法

区块链采用密码学算法保证链上事务的一致性和完整性，同时保证事务内容不可篡改性。区块链密码学算法主要包含非对称加密算法和密码杂凑算法（也叫哈希算法）。其中，区块链以非对称加密算法实现确权，以哈希算法保证交易完整性和构建区块之上。进一步的，为了保证区块链系统的效率和业务数据的隐私安全，一些扩展的密码学算法也被应用到区块链之中，如提高共识效率的可验证随机函数 VRF、隐私保护的零知识证明和同态加密等。

特别的，哈希算法达到密码学安全，具备三个特性：

- **碰撞阻力：**是指对于两个不同的输入，必须产生两个不同的输出。如果对于两个不同的输入产生了相同的输出，那么就说明不具备碰撞阻力，或是弱碰撞阻力；
- **隐秘性：**也被称为不可逆性，是指 y = HASH（x）中，通过输入值 x，可以计算出输出值 y，但是无法通过 y 值去反推计算出 x 值。为了保证不可逆，就得让 x 的取值来自一个非常广泛的集合，使之很难通过计算反推出 x 值；
- **谜题友好：**这个特性可以理解为，谜题是公平友好的，例如算法中 y = HASH（x），如果已知 y 值，想去得到 x 值，那就必须暴力枚举，不断的尝试才能做到，并且没有比这更好的办法，没有捷径。

因此，哈希算法的计算过程消耗计算资源，也为共识算法提供算力复杂度的支持，常常被用来作为工作量证明的共识算法实现。

(3) 共识算法

区块链是一种分布式共识系统。所谓共识，通俗来说，就是我们大家对某种事物的理解达成一致的意思。对应区块链系统中，区块链单节点的区块通过某种共识算法来解决自己的“账本”跟其他节点的“账本”保持一致的方法，就是让区块链中区块信息保持一致的方法。进一步的，共识的目的是使得区块链账本的储存内容保持一致。在区块链系统中，所有的参与节点将就交易的状态达成一致。共识算法保证在区块链网络中一定节点容错率的情况下，区块链节点的账本在网络中达成一致。

区块链网络为了在多个节点中达成共识，采用的共识算法十分消耗系统资源，因此产生了区块链中所谓的“不可能三角”。区块链的不可能三角是从分布式系统的 CAP 原则发展而成，CAP 原则又称 CAP 定理，指的是在一个分布式系统中，一致性（Consistency）、可用性（Availability）、分区容错性（Partition tolerance）。CAP 原则指的是，这三个要素最多只能同时实现两点，不可能三者兼顾。区块链的不可能三角指在区块链中，很难同时做到既有很好的“去中心化”，又有良好的系统“安全性”，同时还能有很高的“交易处理性能”。

共识算法具有不同的性能、安全和信任指标，为上层业务服务。比较常见的共识算法有 CFT 和 BFT。

- **普通容错类算法（Crash Fault Tolerance，CFT）：**指当网络节点运行的系统出现网络、磁盘故障、服务器宕机等普通故障时，这些共识网络中的节点无法参与共识过程，整个共识网络仍能针对某个提议达成共识，经典的算法包括 Paxos、Raft 等，这类算法性能较好、处理速度较快、可以容忍不超过一半的故障节点；
- **拜占庭容错算法（Byzantine Fault Tolerance，BFT）：**指除了容忍系统共识过程中出现的普通故障外，还可容忍部分节点故意欺骗(如伪造交易执行结果)等拜占庭错误，经典算法包括 PBFT 等，这类算法性能较差，能容忍不超过三分之一的故障节点。

根据不同的业务需求，可以选择不同的共识算法组成区块链系统，平衡效率、容错性和信任度实现。

①Po*的凭证类共识算法

对于节点数目非常多的区块链系统，网络通讯的代价非常的高，因此通常会选择竞争出块的共识算法，每个节点都可以选择提案区块，但是只有量化证明获得高分的区块才被整个网络接受。比如比特币采用的耗费大量计算资源的工作量证明（Proof of Work，PoW）算法。

除此之外的一些 PO*（Proof of *）类算法。这类算法引人“凭证”的概念，即 Po*中的“*”，代表各种算法所引入的凭证类型，根据每个节点的某些属性（拥有的抵押资产总数、流动性质押量、可贡献的计算资源、声誉等），定义每个节点进行出块的难度或优先级，并且取凭证排序最优的节点，或是取凭证最高的小部分节点进行加权随机抽取某一节点，进行下一段时间的记账出块。

这种类型的共识算法在一定程度上降低了整体的出块开销，同时能够有选择地分配出块资源，即可根据应用场景选择“凭证”的获取来源，是一个较大的改进。然而，凭证的引人提高了算法的中心化程度，一定程度上有悖于区块链“去中心化”的思想，且多数该类型的算法都未经过大规模的正确性验证实验，部分该类算法的矿工激励不够明确，节点缺乏参与该类共识的动力。

这类共识算法通常被用来作为公链的共识算法。

②共识算法升级和区块链系统升级

区块链中的分叉往往指的是在原有区块链基础上，按照不同规则分裂出另外一条区块链。分叉分为两种，硬分叉和软分叉。

硬分叉现象指的是区块链发生永久性分歧，在新共识规则发布后，部分没有升级的节点无法验证已经升级的节点生产的区块，通常硬分叉就会发生。代码出现一个硬分叉，会改变算法的难度级别。

软分叉，也属于系统内的短暂现象，并不会分叉出一个新的区块链。一般是指，区块链系统升级，一部分节点并哪怕没有及时升级，也仍旧可以工作。区块链出现软分叉之后不会像硬分叉一样产生两条链，而是还会保持在一条链上，软分叉会进行一些升级，但是不会影响整个系统的稳定性和有效性，旧节点会兼容新节点，只是新节点不兼容旧节点而已，二者依然可以共存在一条链上。

目前，区块链技术的发展还处于很初期的状态，分叉对于区块链来说，就相当于一个技术迭代的过程，随着人们不断发现区块链技术现有的限制，只有不断升级和扩展这项技术，才能让区块链技术走向成熟。当然，这种分叉跟区块链不

可篡改的特性正在背道而驰，但是分叉的结果是由区块链成员共决定的，某种程度上来说依旧遵守着去中心化的原则。

(4) 账本储存模型

分布式账本需要保证账本在对等网络中所有节点保证一致。账本的储存模型体现对等网络交互协议和节点达成一致性共识的过程。

区块链是分布式账本中基础的储存模型之一，目的是保证对交易条目顺序的强一致性。一个区块顺序打包多条交易；一个区块之内顺序打包有限条数的交易，保证记账过程的结果快速落账可查；区块和区块之间以链式存储，前后区块的连接包含密码学的一致性证明，单独修改某个区块中的某条信息而不改变后续区块中的信息以现阶段的技术是不可能达成的，而修改后续所有区块中的信息付出的代价将是巨大的，这就形成了区块链“防篡改”的特性，也保证系统可以长久的运行下去。

除此之外，不同的账本储存模型衍生出不同的分布式账本系统。比如 DAG（有向无环图），相比于传统的链式结构的分布式账本系统，采用了 DAG 结构的分布式账本系统，不同节点可以打包不同的交易，由于不需要在全网络节点保持所有账本，因此共识过程效率更好、节点储存内容更少。但是相比传统链式结构，支持 DAG 的储存模型的分布式账本系统更加复杂。严格意义上来说，DAG 技术不属于区块链范畴，但是随着“区块链”接受度的增加，区块链的含义也随之扩展，可以泛指所有分布式账本系统。因此，DAG 系统也属于区块链系统。

(5) 智能合约和虚拟机

可编程区块链是区块链发展到一定阶段的产物，它与之前的区块链最大的不同就是提供了“智能合约”。智能合约相当于一段代码，它可以作为交易记录被发送到区块链网络上，在条件满足时触发执行。智能合约从技术上解决了交易参与方实现交互的信任问题，提供了点对点的合约，以区块链的共识信任背书来实现“智能”履约。

可编程区块链的去中心化应用平台之上，可以开发构建更加复杂的分布式应用，这类应用在使用过程中同时体现了区块链作为信任基础设施提供的信任背书。

智能合约的引入使得区块链从最初单一数字货币应用，融入到各个领域之中，涵盖金融服务、政务服务、供应链、游戏等各种类别的应用。

①智能合约虚拟机

智能合约虚拟机（Virtual Machine，VM）是区块链系统必不可少的执行层组件，智能合约虚拟机赋予了区块链运行去分布式应用的能力。虚拟机作为区块链之上的“操作系统”，必须保证智能合约执行的结果在所有节点之上的严格一致性。因此，为了适配不同的应用场景，演化出不同的虚拟机“操作系统”，形成独立的开发者生态。从架构上来说，VM 为智能合约提供计算资源和运行容器。

②智能合约的风险

智能合约以数字形式来定义承诺。如果在创建过程中不够严谨，容易留下隐患。智能合约的安全隐患主要包含三个方面：

- 智能合约代码中是否有常见的安全漏洞；
- 智能合约是否可信；
- 智能合约是否符合一定规范和流程。

智能合约安全漏洞主要包括整数溢出、越权访问、拒绝服务、逻辑错误、信息泄露和函数误用等漏洞，由于智能合约的基石是代码，伴随代码技术的演化，未来将出现更多的安全隐患，区块链是一个多方协同合作的系统，因此有必要充分挖掘去中心化运营和系统集体维护机制所内含的潜在力量，形成高效的共识机制，激励各方从风险防范角度共同维护系统的正常运营，防范各种风险的发生。

(6) 区块链治理

为了维护区块链网络的稳定性，达成区块链节点之间的信任合作，实现区块链分布式应用生态，区块链需要治理。区块链治理包含区块链节点治理、智能合约治理和分布式应用用户治理三个部分。

区块链节点治理是区块链系统对节点加入网络、参与共识的方式和方法进行管理。区块链节点治理以智能合约实现，包含法律治理和经济治理两类。法律治理是指节点之间账本共享和节点参与网络以合同或者协议作为支撑，根据协议要求批准节点加入或退出，并加以实施；经济治理主要是针对全球性质的区块链网络，无法使用单一法律进行治理，转而选择以经济模型进行治理，即提供服务能

获得经济激励，作恶节点会受到经济惩罚，各节点运营商根据收益和成本的关系自由加入或退出。区块链的公链类型往往采用经济背书。

区块链智能合约治理主要针对如何在区块链上部署和运营智能合约进行治理。智能合约是否需要经过批准之后才能部署和生效是智能合约治理的主要内容。智能合约部署是否存在准入机制是目前公链和联盟链的最大区别。公链对智能合约准入不作限制。

分布式应用用户治理指区块链应用的用户同时受区块链网络治理，主要为了满足联盟链的联盟治理需求。

在区块链治理各模块中，节点准入方式和智能合约部署准入方式是判断区块链系统是否为准入型区块链重要依据。

11.2.2 区块链技术发展

（1）区块链的应用

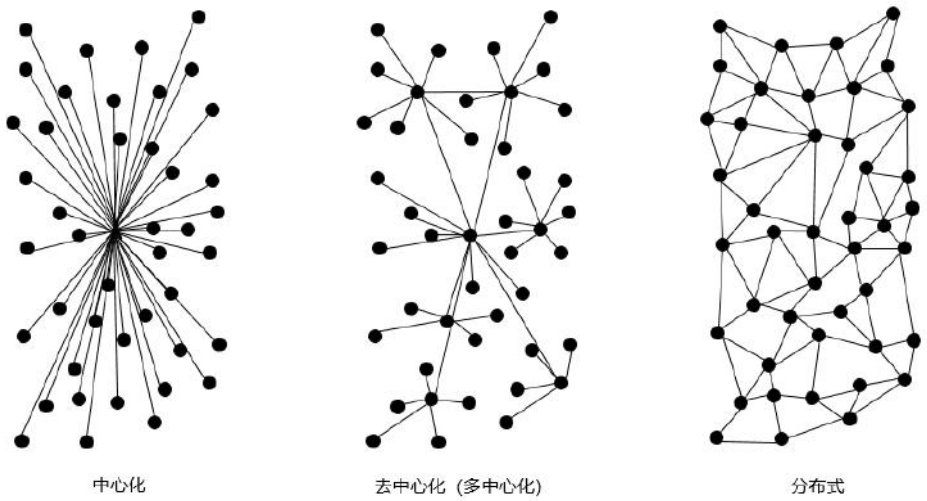


图 11-3： 网络形态变化

互联网应用形态包含中心化、去中心化和分布式三类。中心化由一个中心服务提供商提供信息互联服务；去中心化也是多中心网络形态，指多个中心为互联网提供相同的互联网应用；分布式是由互联关系方（事务参与人）点对点的自主进行互联和交互。

中心化网络的中心服务提供商会形成单点瓶颈，既有改变交互关系和内容的

作恶能力，又有滥用用户数据的可能。区块链可以很好地改变网络形态，由中心化网络转变为多中心网络，在一个系统中任意节点的权利和义务都是均等的，系统中的数据块由整个系统中具有维护功能的节点来共同维护，任意节点停止工作都不会影响系统整体的运作。多个节点提供相同服务，通过节点治理的方式彼此监督，达成可信且“无法作恶”的目标。由此为构建分布式网络提供支持。

①信任背书

区块链网络通过共识达成账本强一致性，共识代表了区块链网络的节点集体执行的结果。因此区块链账本的信任背书由区块链网络提供，代表了集体的意志。改动账本内容需要经过节点集体共识，作恶成本极大，因此具有“防篡改”的特性。区块链采用密码学方法保证账本内容的确权；同时保证前后区块中的交易数据不可乱序，可以重放，因此对所有交易可以追溯。防篡改、可确权、可追溯是区块链技术的显著特征。因此各种信息透明真实问题以及由此衍生出来的信用与信任问题，可以因区块链这一软件新技术而得以解决，从而降低由于信用与信任缺乏而导致的经济社会成本过高的问题。解决信用背书问题，降低由于信用或信任问题而带来的各种成本，可以说是区块链软件技术应用最根本与核心的价值优势。

目前区块链技术应用广泛，如供应链金融、物流、外贸等等。对于区块链技术，各国科技巨头近年来也早有布局，金融、医疗、公证、社交等领域的区块链技术应用探索逐渐成熟。如全球各大银行成立区块链联盟、德勤等著名会计师事务所研发区块链审计技术、纳斯达克首推区块链证券交易、IBM 联合三星布局区块链物联网等。区块链技术的应用或将重塑我们的社会或每一个人，因为每个“记账人员”的信息都不可篡改，那么每个人将都会更珍惜自己的信用。因此，区块链解决信用背书问题的前景值得期待。

②身份识别和隐私保护

区块链采用非对称加密的密码学算法识别使用者，持私钥者就被认为是用户本人。对于不同业务，采用数字签名证明用户本人，或者表示是控制用户身份的一个实体。为保证这类身份实体中公钥的可信性，一般采用区块链保持公钥信息。可以用区块链中的智能合约，来进行账号管理，比如对密钥对定期做更换，以防忘记或者被泄露。进一步的，通过智能合约的方式，可以支持给用户提供跨平台

和跨服务的同一实体识别。

在信息技术飞速发展的时代，信息安全至关重要，身份认证是信息安全系统中的首要防护措施，是保障网络安全运行的重要技术之一。区块链作为一个新兴技术，让它作为身份管理系统的工具会解决一部分传统集中式信息管理的缺点，产生显而易见的作用。

结合了区块链技术的身份识别拥有以下几个特点：第一，区块链的分散化解决了公共信息共享的问题，通过数据加密和算法解决数据共享后的权限问题；第二，区块链技术具有开源、透明的特点，这个数据的录入是由所有参与者共同监督的，并且他们都知道系统的运行规则，信息一旦录入将无法被更改，提高了系统的可追责性，降低了信任风险；第三，区块链技术可以通过私钥和加密技术来防止数据泄露，只有获得授权的人才可以对数据进行访问；第四，不用担心数据丢失，因为每个节点中都储存着完整的数据备份，即使丢失数据也可以从其他备份中恢复过来。

(2) 区块链扩容

由于共识过程对区块链系统性能的巨大损耗，区块链交易的执行效率无法满足日益增长的业务需求。由此引入“扩容”的区块链技术。扩容，是当某个容器或承载物不足以支撑或承载现有事物需求时，技术上通过扩大容器的容量或承载物的体积的方式来满足需求。

①分片和侧链

链上扩容意味着要直接在区块链主链系统上动手术，去修改区块链主链系统的基础规则、区块大小、共识机制等等，以此来扩大区块容量。说白了，就是把主链这个系统的道路修的更宽一点。

链上扩容的主要采用的是分片技术，分片技术来自中心化数据库技术，将大型数据库数据进行切分，并分布在特点的服务器中，以提高数据库性能。如果将分片技术运用到区块链中，就相当于将区块链网络里的所有待处理任务进行分解，全网的节点也进行分组，每一组同时处理一个分解后的任务，这样就从原先全网节点为 1 个组并由单一节点处理全网的所有任务，变成了多组节点同时工作，简单地说，分片就是一种基于“分而治之”原理，在点对点网络中分割计算能力和

存储工作负载的分区方式，分片后每个节点不再需要负责处理整个网络的交易负载，而仅需处理其所在分区中的交易。

与当前的区块链相同，分片中包含的信息也是由多个节点共同维护的，从而保证了账本的去中心化和安全性，启用分片后每个人仍然可以看到账本中的所有信息，只不过人们不再需要处理和存储所有的信息。

进一步的，搭建相同的区块链系统来分流原系统的压力，也是扩容的方案之一，这个分流的区块链方案叫做“侧链”。

侧链和分片从技术上是相通的，区别是侧链的治理方式可以和主链不同而分片必须服从主链的治理。

②二层网络

将大量的业务提交到链下处理，最后实现链上的清结算，这种扩容方案被称为二层网络。二层网络的执行，需要保证最后在链上保存链下处理的证明，能够接受挑战和仲裁结果的处理。二层网络的解决方案包含状态通道、乐观卷（optimistic rollup）、零知识卷（zk rollup）等方案。

二层网络的原理可以理解为：先把要做事情的凭据汇集在一起，然后按照事先约定的协议，凭据进行承诺执行，如果两个人频繁交互，就一直保持这个状态，如果两个人决定停止交互，就关闭状态，结算清楚之后记录到主链上，结算结果以主链账本为准。这个原理就相当于我们日常生活中进行包月服务，不是每一次服务做一下结算，而是先把钱压在账户里证明我有钱做支付，然后月末进行结算，完成一笔包含历史交易证明的转账。

(3) 预言机

区块链上的智能合约和去中心化应用对外界数据拥有交互需求。因为区块链也是基于共识的系统，所运行的智能合约也要求一定要是确定性的程序。预言机对数据验证这一步骤是为了契合共识机制，使最后反馈给智能合约的数据也是“确定性”的。预言机的运行原理是当区块链上的某个智能合约有数据交互需求时，预言机在接收到需求后，帮助智能合约在链外收集外界数据，验证后再将获取的数据反馈回链上的智能合约。

比如，一些像是股票或者汇率的实时价格数据、天气预报、市场预测等其他

人工智能平台数据、IoT 传感器数据、真实世界物流追踪数据等，都可以使用区块链的预言机技术。

11.2.3 区块链的跨链操作

区块链作为底层基础设施，目标是提供可信的数据互操作，发展出不同的业务产品。同时，由于区块链共识的过程对应性能损耗较大，因此需要结合不同的外部系统共同支持业务实现。进一步的，跨系统互操作同样支持跨链互操作，区块链系统支持链上治理的技术实现，不同联盟之间、合作层级之间，按照不同的区块链组网模式，同样支持产业链跨流程治理和分级治理。

(1) 扩展基础设施

①区块链平台服务 BAAS

区块链平台服务（Blockchain as a Service，简称 BaaS）是一种基于主流技术的区块链平台服务，可以帮助可信业务需求方快速构建更稳定、安全的生产级区块链环境，大幅减少在区块链部署、运维、管理、应用开发等方面的挑战。

BaaS 提供多种区块链技术引擎支持，支持主流开源区块链技术 Hyperledger Fabric、企业以太坊 Quorum，以及根据不同领域特性优化的领域区块链，满足多种用户需求。区块链平台服务帮助用户一键式快速创建和部署生产级区块链环境，提供图形化的区块链管理运维能力，实现参与企业和业务的动态添加，简化区块链的部署流程和应用配置。BaaS 还需要具有隔离性，比如基于不同区块链服务创建的联盟链网络，建立在云计算多租户隔离（包括计算/存储/网络等资源的隔离）的基础之上，保证了区块链业务参与方的独立性和自治性。业务参与方可分布于不同的地域，实现跨地域联盟网络的建立。

②分布式存储服务 IPFS

IPFS(InterPlanetary File System)，是一个点对点的分布式文件系统协议，也被称为“星际文件系统”。在 IPFS 的世界里，存储服务提供商将不再是中心化服务器，而是 P2P 网络里的计算机。与任何人都可以运行一个区块链节点一样，任何人也都可以运行一个 IPFS 节点，并加入网络来形成全球的文件系统。IPFS 将相同的文件进行了 hash 计算，确定了其唯一的地址。文件在 IPFS 中是可共享的，并且在很多节点间复制，几乎不可能出现无法访问文件的情况。

区块链中存储的数据在所有节点之中都需要保存，因此存储成本巨大，甚至由于区块大小的限制，有时甚至无法保存。IPFS 增加了区块链系统的储存能力。可以结合区块链和 IPFS 实现高效可确权的数据存储和访问。以分布式电商系统为例，我们可以将商品图片和商品描述信息等信息存储在同样去中心化的星际文件系统（IPFS)中，而仅仅在链上保存这些数据的 ID；Verseport Object Chain 产品将大数据对象存储到 IPFS 中，并在区块的交易中附带上大数据对象的 IPFS 的 hash 地址，实现交易对象指向大数据对象的链接结构，实现对象链，解决大数据对象(比如 1GB 的超大文件)的上链问题。

③分布式身份

分布式身份从根本上解决了身份不自主可控、隐私泄漏、可移植性差、互操作性差以及单点风险等问题，不依赖于中心身份提供商，真正具备身份的自主可控性、安全性、自解释性、可移植性、互操作性。在分布式场景下赋予每个用户自主控制和使用数字身份的能力，并针对身份数据等敏感信息进行隐私保护。分布式身份的技术架构包括分布式账本、标准的 DID 协议、标准的可验证凭证协议和以此构建的应用生态。在实现上会基于区块链完成身份的注册、发现，可验证凭证的申请、签发、授予和验证，以及相关数据的隐私存储和可信计算。

分布式身份支持通过区块链实现多系统同一实体识别和跨系统鉴权。

特别的，分布式身份如果采用去中心化标识（DID）和可验证凭证（VC）协议，是可以支持对传统公钥基础设施（PKI）进行封装的，增加了分布式身份对互联网协议的易用性和平滑迁移的能力。

④通证经济

随着区块链系统网络规模的增大使得区块链系统使用成本非常大，因此区块链应用集中在高价值的、低复杂度的业务中。区块链最大的应用是通证。

通证的定义是“可流通的凭证”或者“可流通的加密数字凭证”。通证的三要素为：权益、加密、流通。权益是指通证需要具有固有或内在的价值，是价值的载体和形态。它既可能是看得见、摸得着的商品，也可能是没有实体形态的股权，甚至可能是一种信用或者权利。它来源于社会对其价值背书方信用的认可。加密是指其具有以区块链技术为支持的加密学加持，真实、可识别、无法被篡改的特性。流通是指通证的流动作用，能够在一个网络中流动。它可以被使用、转

让、兑换、交易等。

区块链可以做很多应用，包括做公证，用来记账记信息等，但是区块链最好的应用是在上面发行可信的数字凭证，也就是通证。通证不仅拥有电子化支付的便利、流通性、全球性并可以实现 7×24 小时全天候市场交易，更重要的是通过可靠技术，通证在区块链上无法造假，这决定了通证可以代表各种各样的价值。通证本质上要解决的是一个社群通过代码决定什么样的行为要受到实时的激励、什么样的行为要被实时的惩罚，以及怎样确保激励和惩罚是公平、公正的。区块链的技术变革是一项重大的变革，它对现有商业模式及社会关系均有重塑作用，他认为普通投资者也可以参与，同时要明白参与的是什么。

通证作为荣誉激励和经济激励的凭证，结合区块链技术体现出通证持有人的价值。

(2) 多链融合网络

区块链作为信任基础设施，为分布式应用提供信任背书。在实际业务中，不同的业务合作需要复合信任背书的支持，由此形成多链融合网络的需求。

目前国内的多链网络主要包含区块链服务网络和星火·链网。

①区块链服务网络（BSN）

区块链服务网络（Blockchain-based Service Network）是一个跨云服务、跨门户、跨底层框架，用于部署和运行区块链应用的全球性公共基础设施网络，由国家信息中心、中国移动通信集团公司、中国银联股份有限公司、北京红枣科技有限公司共同发起。互联网是通过 TCP/IP 协议将属于各方的云资源和数据中心连接而形成的，BSN 则是通过一套区块链环境协议将属于各方的云资源和数据中心连接而组成。两者均不属于任何单一组织，都是公共基础设施。

服务网络致力于改变目前区块链应用开发和部署的高成本问题，以互联网理念为开发者提供公共区块链资源环境，极大降低区块链应用的开发、部署、运维、互通和监管成本，从而使区块链技术得到快速普及和发展。

BSN 由遍布全球的公共城市节点组成。在公共城市节点上，应用发布方和使用方可以使用统一身份证书发布、管理和加入不限数量的区块链应用，不再需要建设独立的区块链运行环境。所有应用通过负载均衡机制使平均资源消耗降至最

低，运行成本仅为传统区块链云服务的 20%。通过 BSN，一个应用可以独立成链并开始运行。中小微企业、甚至学生在内的个人都可以通过 BSN 进行创新、创业。

②星火·链网

作为国家区块链与工业互联网新型融合基础设施，“星火·链网”是以工业互联网为主要场景，以标识这一重要数字资源为基础，以区块链技术为自主创新，并将与芯片技术、人工智能结合发展的融合型基础设施。在产业数字化转型和数字经济发展的进程中，工业互联网标识解析体系解决了身份和数据上链问题，区块链则为数据上链后形成连接秩序提供重要机制和手段，是形成工业互联网中数字生产关系的关键。随着工业互联网连接规模变大，通过区块链可打通产业上下游间的数据，有助于实现核心企业生态内共享、工业企业间互信共享、工业互联网平台间价值共享，利用区块链技术为工业“网络化生产”推进中遇到的生产协同、工业安全、信息共享、资源融合、柔性监管等挑战提供相应的解决方案。

11.2.4 国内自主可控区块链技术

区块链网络提供多节点的信任背书，支持各层次各领域联盟合作的需求。所有联盟都需要合乎法规的要求，法律背书也是信任背书的一种，并且其优先级高于集体信任背书。因此，自主可控的区块链需要满足法律规范的需求，保证链上数据合规，支持跨领域数据隐私保护。

“长安链”是基于自主可控的区块链专用加速芯片、全球领先的每秒处理交易数达 10 万笔以上的算力、软硬件一体、模块化可灵活装配等行业领先技术开发的区块链底层技术平台，开源开放的公益性平台，是国内首个自主可控的区块链技术体系。“长安链”的应用场景涵盖食品追溯、供应链金融、碳交易等领域，还将与数字人民币融合创新，推进数字经济领域高质量发展。

11.3 区块链支持跨系统互操作

可互操作的不同业务系统之间进行交互，需要满足如下要求，由可区分的不同信息系统组成，每个系统代表一个独立的信息系统，事务可以跨多个系统执行；

1) 每一个系统中记录的数据，能够被另一个可能的外部系统，以事务方式调用，满足以语义兼容的方式访问和验证。
2) 以区块链支持跨系统互操作，由区块链作为可信基础设施，帮助信息系

统事务交互时锁定信源，建立信道，并执行事务，完成最后事务执行之后的数据归属的确权和辅助事务成本收益的对账和清结算。

3) 特别的，区块链系统也是一类信息系统，因此跨系统互操作协议也需要支持区块链之间的跨系统事务。

11.3.1 跨系统信源管理

基于区块链实现分布式身份，由信息系统支持分布式身份相关接口，各自保存区块链注册的分布式身份和系统内账户体系的映射关系，以分布式身份标识为索引，实现多系统同一身份识别。通过多系统互操作时跨系统实体识别，实现对互操作通信双方信源的识别。

11.3.2 跨系统信道管理

通过信息系统对数据访问授权令牌化，并且将令牌以通证形式上链，在经过分布式身份实体识别之后，对令牌通证确权来实现鉴权，根据令牌指代的权限内容构造外部系统访问本系统的交互信道，实现互操作通信双方信道的建立和维护。

11.3.3 跨系统内容互操作

以区块链基础设施支持跨系统信道建立之后，不同的信息系统之间遵循标准化网络协议进行内容交互，执行事务，实现可信的跨系统互操作。

互操作协议的三个要素是语法、语义与规则，区块链作为可信第三方，可以为不同信息系统注册互操作元数据协议。基于元数据协议，实现不同信息系统中的协议实现同步，支持事务自动执行。协议同步包含语法同步、语义同步和规则同步。

11.4 元宇宙中的区块链

11.4.1 数据成为生产要素

(1) GDPR 和《管理办法》

欧盟议会于 2016 年 4 月 14 日通过的《通用数据保护条例(General Data Protection Regulations)》(简称 GDPR)14，于 2018 年 5 月 25 日在欧盟成

员国 内正式生效实施。该条例被称为史上最严格的数据法规，它不仅对个人数据权力保护做出了详细说明，还对违规行为制定了严格的处罚措施。这些处罚是以行政罚款的形式出现的，可以对任何类型的违反 GDPR 行为进行处罚，包括纯粹程序性的违规行为。

2019 年 5 月 28 日，国家互联网信息办公室发布《数据安全管理办法(征求意见稿)》(以下简称“管理办法”)。《管理办法》声明国家坚持保障数据安全与发 展并重，鼓励研发数据安全保护技术，积极推进数据资源开发利用，保障数据依法有序自由流动。

GDPR 和《管理办法》的出台和实施标志着数据的收集与使用，经过最初的野蛮发展之后，开始进入规范发展阶段。

(2) 生产要素

党的十九届四中全会通过了《中共中央关于坚持和完善中国特色社会主义制度、推进国家治理体系和治理能力现代化若干重大问题的决定》，其中第六部分第(二)条提出“健全劳动、资本、土地、知识、技术、管理、数据等生产要素由市场评价贡献、按贡献决定报酬的机制。” 这是七大生产要素概念的首次提出。

数据成为生产要素对于“要素分配理论”具有重要意义。

一方面，在新的数字经济和数字社会时代，数据本身就是生产资料。占有数据，就能够基于数据提供衍生服务，创造价值，提高生产力。

另一方面，数据要素是对上述劳动、土地、资本、管理、技术、知识六大要素的数字化，能够随时记录要素发生的变化，应用大数据技术和相关算法做出决策，通过改变六大要素的优化组合就能创造出更多的生产力。同时，有了实时的数据，就完全可以对任一要素的贡献进行精准计算，这样才能使“要素贡献理论”真正落地。

(3) 数据确权

数据成为生产要素，首要保证数据本身的归属权和使用权，也就是确权。

区块链技术提供数据确权的能力。区块链确权是指，在用户创建数据资产时，通过用户的分布式身份，经由用户签名，进行数据的上链；当用户完成自主数据

上链的操作之后，通过区块链去中心化和分布式记账等特点，有效保证存储的电子数据与用户的所有权关系不被篡改，保障确权数据的真实性和原始性。在应用大数据技术和相关算法决策的过程中，保证贡献值的计算。

进一步的，由于区块链可溯源的能力，所有对与数据的修改和迭代，都可以借助区块链技术实现完整的追踪，数据价值的增值过程和交易的过程，也可以通过溯源的方式根据数据加工的贡献进行收益的分配，保证数据所有者的利益。

(4) 隐私保护

在区块链系统中，每一个参与者都能获得完整的数据备份，所有的交易数据公开透明、不可篡改。对无需隐私保护的数据而言，这是区块链无可比拟的优势。而对于需要加强保护的隐私数据来说，这又成了区块链足以致命的缺陷。

数据成为生产要素，同样要关注数据主权和隐私保护。

如何在区块链中保护数据隐私？是满足个人、企业、政府等对保护数据隐私要求，推动区块链技术规模化落地应用必须要解决的难题。目前常见的解决方案包括：同态加密、差分隐私、ABE、多方安全计算（MPC）等。

隐私计算技术本质上都要满足数据隐私性的基本要求：“可用不拥”、“不可还原”、以及“不可重标识”的要求。

（A）同态加密

同态加密是指这样一种加密函数，对明文进行环上的加法和乘法运算再加密，与加密后对密文进行相应的运算，结果是等价的。这个特性对于保护信息的安全具有重要意义，利用同态加密技术可以先对多个密文进行计算之后再解密，不必对每一个密文解密而花费高昂的计算代价；利用同态加密技术可以实现无密钥方对密文的计算，密文计算无须经过密钥方，既可以减少通信代价，又可以转移计算任务，由此可平衡各方的计算代价；利用同态加密技术可以实现让解密方只能获知最后的结果，而无法获得每一个密文的消息，可以提高信息的安全性。正是由于同态加密技术在计算复杂性、通信复杂性与安全性上的优势，越来越多的研究力量投入到其理论和应用的探索中。

（B）属性加密（ABE）

属性加密（ABE），又称模糊的基于身份的加密（Fuzzy identity-based

encryption)，最先由 Waters 提出，也被看作是最具前景的支持细粒度访问的加密原语。ABE 实现了一对多的加解密。不需要像身份加密一样，每次解密都必须知道接收者的身份信息，在 ABE 中它把身份标识被看做是一系列的属性。当用户拥有的属性超过加密者所描述的预设门槛时，用户是可以解密的。

属性加密解决了对称加密密钥传输带来的密钥泄露的问题，因为对称加密的加密密钥与解密密钥相同。实现了加密数据的细粒度访问控制，即数据拥有者可以指定谁可以访问加密的数据，数据拥有者对数据具有完全的控制权。

（C）安全多方计算(MPC)

安全多方计算的定义是“针对无可信第三方情况下，安全地进行多方协同的计算问题。即在一个分布式网络中，多个参与实体各自持有秘密输入，各方希望共同完成对某函数的计算，而要求每个参与实体除计算结果外均不能得到其他参与实体的任何输入信息。

简单的说，虽然区块链和多方安全计算都是一群人按照特定规则（协议）进行交互，但区块链主要是为了共同对完成的计算的正确性进行验证，从而实现对结果的一致认可并防止结果的记录被篡改。而多方安全计算（MPC）的目的是为了在对输入保密的情况下，得到计算结果。区块链重在可验证的计算，强调的是计算的可验证性，这一过程中并不考虑输入数据的保密性。而 MPC 强调的是计算过程中对于输入数据的保密性。但是 MPC 并不能确保数据是可验证的。

区块链和 MPC 在应用中发挥的作用不同。两者并不排斥，而是可以综合使用的。区块链可以通过采用 MPC 技术来提升自身的数据保密的能力，以适应更多的应用场景。例如 ZCash 通过零知识证明的手段在 Bitcoin 上添加了保护交易隐私的功能。另外，在加密货币之外的领域，比如联合征信、医疗数据联合建模、拍卖清算、广告推荐等应用场景，区块链做存证+MPC 做隐私保护就是一个很好的解决方案。

（D）联邦学习

联邦机器学习（Federated machine learning / Federated Learning），又名联邦学习，联合学习，联盟学习。联邦机器学习是谷歌(Google)2016 年提出的一个 机器学习框架，能有效帮助多个机构在满足用户隐私保护、数据安全和政府法规的要求下，进行数据使用和机器学习建模。联邦学习是在保障大数据交

换时的信息安全、保护终端数据和个人数据隐私、保证合法合规的前提下，在多参与方或多计算节点之间开展高效率的机器学习的一种新兴人工智能基础技术，与分布式机器学习不同的是联邦学习需要一种去中心化分布系统来保证用户的隐私安全，在保障数据安全和交换、训练效率前提下进行有效的机器学习。联邦学习作为分布式的机器学习范式，可以有效解决数据孤岛问题，让参与方在不共享数据的基础上联合建模，能从技术上打破数据孤岛，实现 AI 协作。

区块链作为一个去中心化、数据加密、不可篡改的分布式共享数据库，可以为联邦学习的数据交换提供数据保密性来对用户隐私进行保障，保证各参与方之间的数据安全，也可以保证多参与方提供数据进行模型训练的数据一致性。区块链的价值驱动激励机制也能够增加各参与方之间提供数据、更新网络模型参数的积极性。基于区块链的应用优点，目前已经有一些应用区块链的联邦学习系统提出。

11.4.2 数字孪生

数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

元宇宙是一个不断发展的数字空间网络，内部是效率的革命性提升，外部是千万行业的线上虚拟。它是现实和虚拟的结合，是一个与现实世界平行存在、相互连通、各自精彩的模拟世界。未来线上与线下、真实世界与模拟世界之间会无缝融合、有机连通。数字孪生将与元宇宙（Metaverse）融合在一起。

(1) 数据自治

区块链能够提供信任基础设施，这个特性帮助我们进入到了机器信任时代，这种信任的建立通过特定的算法实现，为系统建立规则，每个节点都要遵守这个规则，不能打破。区块链采用基于协商一致的规范和协议，整个系统中的所有节点都能在去信任的环境自由安全地交换数据，使得对“人”的信任改成了对机器的信任，任何人为的干预都无法发挥作用。

区块链实现了自治，让参与方、中心系统按照公开算法、规则形成了一种自动协商一致的机制。区块链的智能合约更加接近现实，可以从多个方面让机器参

与这类能完成判断和执行；DAO 又让区块链有了更多的无限猜想，具备了人类社区行为属性。

随着区块链技术的发展，智能合约、DAO 的出现，越来越多的应用也将产生更多的数据。这些数据也是自治产生的，可以通过各种隐私保护，实现数据的安全性。

数字孪生以数据形式呈现，数据自治体现了区块链的确权和可追溯的特点，数据实体和孪生实体的价值通过区块链上自治数据的价值体现。

(2) 实体侧写

实体数字孪生保有大量的自治数据，在实际使用的过程中，合乎业务需求的孪生实体是其数据的一个子集。因此，以数字孪生的有限维度的数据形成了实体的一个侧写，这个侧写拥有部分自治数据的权限，参与到对应的业务之中。不同信息系统的不同业务使用不同的实体侧写，结合隐私保护的技术，实现了实体和数字孪生的身份安全保护。

进一步的，实体侧写为跨系统互操作提供有效的前置资质审核能力。

(3) 信用分、声誉值

元宇宙在对现实世界进行数字模拟，除了现实的物理世界，还包括人类社会以及与社会属性相关的内容，如：用户身份及关系、沉浸感、信用、荣誉、实时性和全时性、多元化和经济体系等，只有这些要素全部得到满足才是真正意义上的元宇宙；而这些具有社会属性的内容是元宇宙的高层次数据孪生。

11.4.3 粘合世界

元宇宙的概念最初来源于 1992 年美国科幻小说家尼奥•斯蒂文森的《雪崩》，描述了一个平行现实世界的网络世界-Metaverse，所有现实世界的人在 Metaverse 中都有一个化身，在其中交往和生活。Metaverse 包含 5G、AI、区块链、内容制作等多种元素，其核心是通过虚拟体验 XR（Extended Reality，扩展现实），XR 技术及设备的持续迭代来不断优化用户的数字化生活体验；基于 XR 的数字化服务将围绕各类场景不断渗透，将为颠覆性沉浸式的元宇宙数字生活体验带来突破，成为开启元宇宙时代的重要载体。

元宇宙的初期更多的是不同行业进行一些技术单点的线上化、数字化与虚拟化尝试。完成初期的应用及技术沉淀，实现有行业属性的各个基础独立的元宇宙，此时的元宇宙具有分散化、单行业、多中心小生态的特点。为了区分统一的宏观元宇宙概念，我们称独立的小元宇宙实例为“世界”。XR 是这个阶段的关键进入工具，通过 XR 进入各镜像化的小元宇宙空间，实现各元宇宙的交互与体验。

之后，独立行业的元宇宙开始逐步打通数据与标准，实现相似相融的整合阶段。元宇宙将会出现跨平台、跨行业的生态互通及融合，逐步由分散式、多中心的小生态融合形成聚合式、围绕产业和个人双中心的两大元宇宙生态体系。XR 与身份和标准相结合实现跨宇宙的互操作，此时，元宇宙进入方式更加多样化，脑机技术的成熟必将带来元宇宙的沉浸式体验感。

不同于表现层技术，区块链作为可信的三方基础设施，能够为应用系统提供多系统互操作的确权、溯源、价值认定的能力，因此可以被用来作为可信桥接众多世界的通用价值载体或信道保持设施。可以认为，区块链可以用来粘合多个元宇宙实例的基础设施。

（1） 数据及数据权限资产化

数据资产是指由个人或企业拥有或者控制的，能够为拥有者带来未来经济利益的，以物理或电子的方式记录的数据资源。常见的数据资产是指以个人或企业的照片、文档、图纸、视频、数字版权等等以文件为载体的数据，相对于实物资产以数据形式存在的一类资产。数据资产被认为是数字时代的最重要的资产形式之一，数据资产也是元宇宙的最重要的资产形式。

区块链作为可信基础设施，粘合元宇宙各个技术系统，对数据的操作在各个技术系统之内完成，区块链提供同一数据跨系统访问的权限支持，因为数据保有价值，根据价值可传递的特性，数据访问权限也具有价值，也可以资产化。

元宇宙的是对现实世界的模拟和交互，元宇宙本身就是一系列数据构成的系统。区块链是元宇宙的新基建之一，区块链能够实现数据确权。确权后的数据必将产生丰富的数据变现方式，实现更加彻底的数据及数据权限的资产化。比如：NFT 类应用场景，在游戏道具、工艺品、图片等场景都比较火热。

(2) 跨系统资产价值评估体系

镜像化的小元宇宙之间的交互与体验，必将产生跨宇宙的资产价值评估体系。这个体系的建立，需要用户的 DID（去中心化身份），DID 在不同宇宙间实现同一实体识别。其次用户使用 DID 在进行宇宙跨越的时候，要有跨宇宙（系统）价值评估体系，这样才能实现数据资产在宇宙之间的便利流通。促进最终宇宙的融合。

(3) 现实世界价值交换

区块链提供可信基础设施的支持，这个信任指的是共识信任，以提高作恶成本的设计来提高可信度。同样的，强个体也可以提供信任背书，因此当我们描述可信第三方的时候，不是片面强调区块链信任而拒绝一些强中心的信任背书。

区块链粘合多个元宇宙世界，支持跨世界数据互操作，支持数据资产价值评估。可信价值兑付，既可以借助数字孪生和区块链资产交换技术进行支付，也可以通过中心化网关来接受现实世界一般等价物，如法币的承兑。

进一步的，由虚拟世界创造的虚拟产品也通过 3D 打印等技术转化为现实世界的实物，参与现实世界的交易。

11.4.4 展望：区块链元宇宙模式

前面讲到元宇宙是对现实世界的模拟和镜像，是对人类社会的模拟。区块链实现了自治，让参与方、中心系统按照公开算法、规则形成了一种自动协商一致的机制。区块链的智能合约更加接近现实，可以从多个方面让机器参与这类能完成判断和执行；DAO 有让区块链有了更多的无限猜想，具备了人类社区行为属性。

因此未来的元宇宙，用户也将形成一个个社区团队在各元宇宙中进行体验。元宇宙中的用户不只是体验者，同时也是内容的创作者，因为区块链的存在，内容的创作就是创作者的资产（形成 NFT），这也将激发用户的创作和参与的热情。

元宇宙不仅仅是对现实的模拟，也能实现与现实世界的交互，比如远程会议、数据资产在现实世界的变现等。同时元宇宙的自治模式，同样可以对现实社会（社团）进行社会实践模拟。

11.5 NFT 技术

11.5.1 NFT 技术概述

通证(Token)是区块链系统中应用最广的技术。非同质化通证(Non-Fungible Token，NFT）是通证的一种，区块链系统中描述唯一性实物资产的技术。

（1）通证定义和发展

①通证（Token）

区块链系统需要在网络节点之中达成账本一致，其共识的过程极大的损耗性能，因此区块链系统常被用来记录和执行较低复杂度、价值最高的事务。通证（Token）是区块链系统中应用最广的技术，原意是指“令牌、信令”，通常被用来代表一切权益证明，指代区块链中可流通实体的凭证。由于指代实体具有价值，通证在区块链中也被用来表示数字资产，具有交付权、交换权、使用权、收益权等多种属性。在国内业务应用之中，根据业务场景和指代权利的不同，通证也被称为共票。在公链的数字资产层面，通证也被称为代币。

区块链行业中，通证有三个要素：

- 数字化权益证明。通证必须是以数字形式存在的权益凭证；
- 加密性。通证的真实性、防篡改性、保护隐私等能力，由密码学保障。
- 可流通性。通证必须能够在一个网络中流动，从而随时随地可以验证。

加密数字通证是加密数字货币的自然延伸，现金的数字化到加密数字货币，通用化之后直到加密数字通证。

区块链的本质是历史记录不可篡改的账本。无通证区块链系统是基于区块链构建，去中心化或多中心，将链外资产作为激励手段，以业务流程为中心，金融属性较弱。通证经济系统是基于区块链构建，是可以中心化的、以链内原生通证为经济激励、以通证流转为中心、金融属性较强。

通证立足于实体经济、为实体经济服务。通证启发和鼓励大家把各种权益证明，比如门票、积分、合同、证书、点卡、证券、权限、资质等等全部拿出来通证化，放到区块链上流转，放到市场上交易，让市场定义其价格，同时在现实经济生活中可以消费、可以验证，可以使用。

②通证类型

区块链通证以数字化权益证明的形式保存到区块链上，数字化的过程包含数据的生成和修改两类操作。

数据的生成包含两类：

- 独立权益凭证，指代独立数据生成；
- 批量权益凭证，根据数据模板批量生成数据。

数据的修改包含两类：

- 同类型数据统一修改，指代权益凭证状态一同变化；
- 个性化数据独立修改，指代权益凭证状态独立变化。

区块链采用通证的技术，提供了原子记账单位的实现标准，规范了包含转移、量化、简单授权的接口。为潜在的价值转移提供支持，同时满足了在降低区块链系统执行压力的情况下充分发挥可信能力的需求。

可以把区块链通证根据数据产生和修改的特性分解成三类：

表 11-3：区块链通证根据数据产生和修改的特性分解表

	独立生成数据	根据模板批量生成数据
个性化数据独立修改	Non-Fungible Token 独立数据	Partially-Fungible Token 批量生成数据，数据实例独立修改
同类型数据统一修改	（不适用）	Fungible Token 批量数据，通用批发类数据 token 特别的，单一资产类 token 是这种（utility token 等）

- 同质化通证（Fungible Token，FT）。指代批量生成和修改性状的可流转权益，一般用来支持基础流动性的价值转移工具；
- 部分同质化通证（Partially-Fungible Token，PFT）。指代批量生成，但是允许独立修改性状的数字权益，一般用作同时满足批量首发但是根据持有人不同独立合规需求的特殊价值转移工具；
- 非同质化通证（Non-Fungible Token，NFT）。指代独立生成和修改性状的数字权益，通常被用来指代不可分割且独特的数字权益资产。

技术而言，同质化通证一般被用来作为系统内权益流转时一般等价物的作用，部分同质化通证常常被用来作为金融领域二级市场合规之用，本章节集中研究非同质化通证的相关技术。

③非同质化通证（NFT）

非同质化通证，每个通证拥有独特且唯一的标识，两两不可互换，最小单位是 1 且不可分割。非同质化通证由于其唯一性，可以指代系统内实物或实物权益，进而可以提供确权、防伪、收藏、便于交易的功能。由于其所指代的实物或实物权益由价值，因此可以成为一种数字资产。NFT 作为一种数字资产，可以方便的保存、流转、交易。NFT 具有不可替代的特性，可以用来指代独一无二的东西，比如博物馆里的蒙娜丽莎原画，或者一块土地的所有权。

④ NFT 发展

2017 年，Larva labs 在以太坊区块链上推出 1 万个算法生成的像素头像，每个头像都是唯一的，与其他头像不一样。这是以太坊早期的非同质化代币。开始的时候每个头像都可以让拥有以太币的用户免费获取，每个用户限取一个头像。后面这些头像可以在二级市场上交易。

这些图像是利用以太坊上的智能合约来验真和保证唯一。具体说来，就是图像像素经过压缩存在链上，图像的哈希值（利用 SHA256 算法计算的数据指纹）存在智能合约中，智能合约通过哈希值能验证图像的真伪。 智能合约是区块链的一个重要功能。简单来说，智能合约是一个在链上能执行的代码，它能改变链上的状态，也能保存状态。智能合约与传统程序最大的不同点在于三点，第一点与传统程序运行在单一节点不一样，智能合约同时运行在多个分布式的节点上；第二点是智能合约一旦部署，不受任何个人或机构的控制，而传统程序则则由某个中心化的机构或个人控制。第三点是智能合约的代码、执行结果都可以在链上查询，公开透明。基于这三个特点，区块链上的智能合约用于数字资产生命周期管理就更可信，更公平，更透明，更公正客观。Cryptopunk 图像实质上就是基于以太坊智能合约发行的 NFT。

2017 年，Dapper Lab 在以太坊区块链上推出加密猫，Cryptokitties。每个加密猫都是独一无二的 NFT。加密猫实现技术也成为以太坊上 EVM 智能合约的 NFT 实施标准 ERC721。

Dapper Lab 后面针对数字资产管理的实际需求推出了专为 NFT 设计的区块链 Flow。Flow 的特点是把数字资产作为链上第一公民，保证数字资产不能被复制或销毁。数字资产的智能合约保存在每个用户的账户里，通过开放接口让其他用户调用。2020 年，Dapper Lab 与美国 NBA 篮球协会合作，推出 NBA Top Shot。NBA Top Shot 是 NBA 篮球明星精彩动作的小视频，在 Flow 区块链上做成 NFT。然后在交易市场出售。据 Dapper Lab 宣布，NBA Top Shot 上线三个月，总共售出 3 亿多美金的小视频 NFT。

为什么这些看似简单的像素图像能卖到这么贵呢？主要是因为这些图像的稀缺性，加上可以通过区块链能保证其不可伪造、不可销毁，交易过程能保证安全，因此适合于收藏、投资，也迎合了一些数字产品投机人的需求。

NFT 的概念今年也很快传导到国内。国内机构也纷纷布局 NFT。国内的监管禁止用虚拟货币支付 NFT，国内的合规做法一般是用人民币来做支付结算手段。2021 年 6 月 23 日零点，支付宝与敦煌美术研究所共同推出基于两款蚂蚁链发行的付款码皮肤 NFT 正式上线。两款 NFT 各限量 8000 份，售价为 10 支付宝积分+9.9 元，并且同一款皮肤同一支付宝账户只能兑换一次。兑换成功后可进入“付款码换肤管理”页查看兑换的皮肤并进行换肤操作。虽然活动只有短短的一天，但是截止到 23 日早上 8 点半两款 NFT 就已经被抢光。

2021 年 8 月，腾讯上线 NFT 交易平台幻核，首期限量发售 300 枚“有声《十三邀》数字艺术收藏品 NFT”。幻核 App 显示，腾讯这次发售的 NFT 黑胶唱片内包含李安、陈嘉映、李诞等十三个人物的语录，用户购买前可互动体验，购买后可拥有专属镌刻权。这些 NFT 单价 18 元，上架后不到 1 秒即售罄。而随后，在二手交易平台上，这件原价 18 元的 NFT 艺术收藏品，拍卖价已经涨到了 10-20 万，其中的特殊限量版 NFT 价格已经上涨到了 26 万。

2021 年 9 月，支付宝发行限量 21000 份杭州亚运会火炬 NFT，原件 39 元，很快被炒到 300 万元。

2021 年 10 月 23 日，腾讯网刊登题为“中国监管部门加强对互联网企业 NFT 平台监管”消息，报道近期监管部门加强了对中国互联网企业发行 NFT 以及建立 NFT 平台的监管力度，并约谈了部分互联网企业。目前包括腾讯（幻核）、阿里巴巴（蚂蚁粒）等，都已完全删去 NFT 字样，改为“数字藏品”。但另一方面，各

类传统互联网与消费品企业，都在积极加入 NFT 领域。近期麦当劳中国、DHL 中国、京东等均纷纷发行了自己首个 NFT。

目前 NFT 的法律定位还没有完全清晰。一些人士倾向于认为 NFT 代表的是虚拟资产，但从数字资产角度来看，NFT 所映射的确实是实际的有价值的资产，属于实体经济的一部分。

元宇宙中的数字资产都将会以 NFT 的形式存在。可以预见，无论是否叫 NFT，或数字藏品，基于区块链确权的数字资产将是元宇宙中的底层资产。

(2) NFT 技术发展

①数字权益和相关工具

- 数字权益

NFT 代表数字化权益证明，包含三个基础功能：数字化实体映射、确权、流通。NFT 采用区块链平台实现可信确权，以密码学支持公钥绑定资产流动性证明，对于实体数字化映射的方案有多种备选：

数字化信息直接上链。可信度最高，但是储存成本也高；

链外储存，链上保留元数据和完整性校验证明。基于证明能够反查出原始数据资源。需要注意的是，根据不同政策法规，如果根据证明无法出示原始资源的作恶行为，其惩罚的措施需要明确。

其中，实体数字化包含多种数据类型，链上通过索引获得的数据元数据，主要包含带语义数据（支持数据模板规约）（或称为元数据模板）和目前数据库技术采用的关系型数据。此外，还有非结构化、半结构化数据。这类数据可以通过“数据预处理”、“结构化（schema generation）”等方案转化为前两类数据（特别是带语义数据）。其中数据的元数据规约技术，包含但不限于元数据引擎技术、语义网 schema 技术以及 W3C 的 JSON-LD 相关协议。

- 区块链平台

NFT 数字化权益搭建在不同的区块链系统之上，不乏为了 NFT 优化的基础设施，简要列举如下：

a)以太坊。在 NFT 市场或不可替代的代币开发方面，以太坊 Ethereum 是最受欢迎的平台之一。由于交易历史和代币元数据在以太坊上可公开验证，因此

更容易证明所有权历史。由于所有以太坊产品共享公共后端，NFT 变得可跨产品移植。此外，以太坊永远不会下降；因此，代币将始终可供出售。

b)Flow。Flow 是一个快速、去中心化的区块链，专为新一代数字资产、应用程序和游戏而设计。该平台被广泛用于使用 Cadence 编程语言创建 NFT 市场和 NFT。

c)Tezos。Tezos 是一个开源区块链平台，适用于由构建者、研究人员和验证者社区支持的应用程序和资产。Tezos 使用用 LIGO 智能合约语言编写的预编译 FA2 NFT 合约，支持 NFT 市场和 NFT 的开发。

d)Cardano。Cardano 是一个区块链平台，具有为分散系统和应用程序提供无与伦比的安全性和可持续性所需的技术和工具。它还支持 NFT 和其他数字资产的开发。

- 存储平台

NFT 数字化权益的指代由数据组成，保存到不同的介质之上，除了区块链和中心化系统之外，还有一些分布式储存项目可以作为备选：

a)IPFS。IPFS 是一种点对点超媒体协议，旨在以分散的方式存储媒体内容。由于与 NFT 相关的媒体文件不能直接存储在区块链上，IPFS 可以存储所有这些数据。

b)Filecoin。Filecoin 是一个去中心化的存储网络，专门设计用于存储最关键的信息，例如媒体文件。存储平台包括开发人员开始使用 NFT 的去中心化存储所需的一切。了解其好处后，Truffle Suite 还推出了带有 Filecoin Box 的 NFT 开发模板。

c)Pinata。Pinata 也是在 IPFS 上上传和管理文件的流行平台之一。它为 NFT 提供安全且可验证的文件。

②令牌化和资产化

目前大部分的 NFT 所指代的数字化权益都是数字化主权，即 NFT 指代数据源拥有权本身，拥有 NFT 就拥有了数据源和数据源指代的实体。事实上，数字化权益还可以包括更细化的数据实体操作权限，如访问权、租用权等。这些权限可以使用令牌的逻辑来做抽象，并支持技术实现，关注的是针对数据实体的使用能力。

区块链采用通证的技术，提供了原子记账单位的实现标准，规范了包含转移、

量化、简单授权的接口。为潜在的价值转移提供支持。令牌也有转移的需求，因此通证和令牌的关系是不矛盾的，都是为了降低区块链系统执行压力的情况下充分发挥可信的能力。

可以把区块链通证和区块链权限管理的可信令牌合二为一，区块链上映射数据权限的令牌。令牌通证转移代表数据权限转移，适用场景包含但不限于:

①创建数据副本，允许对方“拥有”数据，可以结合区块链通证价值转移做进一步设计。这个时候创建副本，生成新的令牌通证，所有权转移，支持新的令牌通证交换；

②当前数据所有权转移，自己保留“只读”权限。令牌通证所有权交接给对方，所有基于令牌通证的交换不受本人管理。

③为了保证数据和通证的对应关系，通常对数据加上通证相关的数字水印。

④进一步的，三方或多方数据加工，可以采用同态加密、零知识证明、可信执行环境等技术，实现数据源、数据加工方、数据结果分离，产生的结果数据可以再次做令牌化。

由于实体提供的使用服务本身具有价值，也存在资产化的能力。因此，通证令牌化关注通证使用，而通证资产化关注价值评估和流转的过程。

③分布式身份和复合通证铸造

区块链技术支持实现分布式身份，解决多系统同一实体识别的能力。针对指代实体在不同系统中的权限授权过程抽象为令牌，经过区块链铸造形成通证。这种情况下，NFT 被用来作为 NFT 持有人调用特定系统中使用特定实体提供服务的凭证。

进一步的，数据使用过程中不停变化甚至产生新的数据。数据本位的角度，是旧的数据实体改变性状或者创生出新的数据实体，由此产生 NFT 迭代和嵌套。同时，区块链支持多系统互操作，复杂的授权模型也衍生出复合通证铸造的需求。

④ NFT 应用扩展工具

- NFT 市场

基础 NFT 可以指代数据和媒体资源；扩展 NFT 的令牌属性关注指代实体的使用，资产属性指代实体的价值，并支持价值转移。NFT 以智能合约实现，支持和区块链上各种去中心化应用交互。NFT 可以和已有的区块链资产进行交换。

NFT 市场是支持资产交换的通用扩展工具。NFT 市场支持 NFT 的展示、索引、挂单和买卖。特别的，由于 NFT 的一大品类是艺术品， NFT 市场需要支持竞标或拍卖模式。

- NFT 二级市场

NFT 具有资产属性，区块链有去中心化金融的应用。NFT 和去中心化金融的应用结合形成 NFT 的金融二级市场。比如抵押 NFT 置换为流动性资产的流动性置换应用、根据 NFT 发行可分割的债券应用等。

- 开放性 NFT

对应开放性区块链系统，有一类特殊 NFT 协议。把通证指代数字实体的元数据进一步抽象，使 NFT 指代实体具有一定的扩展性。这种情况下，有限元数据支持系统内自由扩展，这样的 NFT 代表什么，有什么用，有什么具象，有什么功能，有什么价值，有什么业务逻辑，交给了上层应用去解释和扩展。区块链系统可以支持多个应用系统，也意味着，同一个 NFT，有可能被多个产品、多个社区赋予完全不同、或有关联的元数据。

11.5.2 跨系统 NFT

区块链采用多中心部署方式，构造竞争协同环境。通过分布式身份体系，以区块链实现物权关系确权的过程，可以满足分布式环境的一致性需求。

传统 IT 方案围绕数据展开，系统具有各自的数据权限管理。数据权限可以使用数据令牌的技术，持有令牌者即获得对应数据访问权限。区块链防篡改、可追溯的能力是一个很好的容纳令牌的平台。进一步的，区块链强一致性的代价是频繁写性能的降低，仅仅关注令牌的分发和鉴权可以把区块链的优势发挥到最大。跨系统 NFT 具有以下应用方向：

(1)集成权限管理。区块链支持多系统互操作，NFT 关注实体数字化指代和实体互操作权限约束，因此 NFT 可以集成多系统的权限管理服务；

(2)NFT 驱动信息系统：存储、系统信道。特别的，NFT 可以作为互操作信道维持的令牌，来保证跨系统互操作参与方的连接和信息交换。

(3)语法对齐。NFT 配套元数据完整性校验，对应元数据描述数据协议，有助于跨系统互操作时候不同系统数据协议的数据抽象、句法对齐和语义对齐。

(4)支持一般等价物交换。由于 NFT 贯通不同系统，因此适用于和一种系统

通用的价值量化工具进行价格标定，方便在系统服务调用的时候进行成本和收益的对账和清结算。

11.5.3 元宇宙中的 NFT

（1）元宇宙 NFT 生态

元宇宙的实体指代包含接入元宇宙的用户、智能设备、人工智能，以及元宇宙中的富媒体信息形成的数据实体。这些实体都可以有数字身份，也都可以通证化，并支持进一步的细粒度进行权限规约，形成令牌化通证。可以说，元宇宙中所有的动作行为和客体都可以通证化。根据数字实体产生的特征，元宇宙的数字实体主要包含三类：

数字化指代。现实世界和虚拟世界之中只有一个实体保持活动状态。实物经过托管之后的电子化展示凭证，可以去托管方赎回实物或兑换真品；

①虚拟实体。现实世界创造者，根据实物在虚拟世界实现的，或者直接在虚拟世界创造的新数字实体。类似现实世界艺术家创造的虚拟艺术品。虚拟世界的实体指代和现实世界的无关联，在虚拟世界流通，不影响实物在现实时间流通。

②虚拟原生实体。人工智能艺术家创造的纯虚拟艺术品，可以借助 3d 打印等手段在现实展示，但是核心权利仅在虚拟品上。

③由于现在虚拟化技术日益完善，各系统的体系架构都具备开放性的设计。依托 NFT 技术，可以实现泛宇宙的授权、鉴权、审计方案。

虚拟世界支持数字孪生，但是由于系统相对封闭，如何在不同系统之中对同一数据孪生的实体进行识别，并且将这同一实体在不同系统的数据应用到本系统的开放生态中去，造成更多的可能性，这是亟待解决的问题。

区块链作为可信的三方平台可以为跨系统互操作提供实体识别和权限管理的能力，这就为跨系统互操作打下扎实的基础。通过同一套区块链权限标准，可以为同一个数字孪生协同不同的系统更好的为自己服务，同时也为系统本身开放性生态提供无限可能并进一步打造出交叉生态圈。

（2）元宇宙 NFT 业务展望

元宇宙的 NFT 将拥有更广泛的使用场景：

①零售业。从 7-11 到 Gamestop 之类的零售商，将使用 NFT 来激励用户购物，利用创作者将流量吸引到门店。例如，只有从 Gap 商店购买才能解锁的 Yeezy NFT，或能够解锁特斯拉汽车专属功能的 NFT。

②服务业。NFT 未来可以用来解锁对服务和爱好者社区的访问。NFT 持币者可以和有影响力的厨师、摄影师、医生和小众爱好社区进行互动，此类模式将会蓬勃发展。这也将扩展到其他服务，比如交通、酒店和按摩等服务。

③社会运动。随着数百万人进入加密社区，通过 NFT 所有权支持政治事业的社区将获得强烈关注。想象一下，一个关注气候变化的 NFT 群体，其 NFT 销售收入直接用于政治游说，而这些工作由社区 DAO 协调。

④社交媒体市场。未来，将出现基于 NFT 收藏的社交信息流，提供顶级收藏家策略及研究的介绍，并为收藏家提供互动平台。这些社交信息流将演变为社交电商市场，具有评论、分析等功能。

⑤多人游戏。NFT 将通过激励群体行为来创造蜂巢活动。例如，参与 MMORPG 游戏的用户一旦达到 1 万人，就会解锁全新的等级关卡。向已签署合同、将其底层 NFT 资金池化的用户空投稀有的 NFT。届时，收藏将成为一项团队运动。

⑥NFT 借贷平台。由于 NFT 可以解锁临性的访问，比如参加会议，所以短期借贷市场将会兴起。例如，我借给朋友 FWB ，以便他们可以参加相关的活动。可以把它想象成一个 StubHub （一家票务代理公司）市场，但交易对象是 NFT。

⑦NFT 指数。通过指数获得数百个 NFT 项目的风险敞口，这样的机会将随着市场风向标深挖收藏家的 NFT 资金投入情况而激增。想象一下未来的「佳士得 NFT ETF」。这些 NFT 指数影响力足够大，可以让资产流动起来，投资者会对其趋之若鹜。这类指数还将扩大民众对 NFT 社区的支持。

⑧抵押借贷。迄今为止，加密借贷项目一直反对 NFT 持有者用 NFT 做抵押借贷。但是，随着机构资金的流入，NFT 资产成为更好的价值储存手段，届时抵押借贷市场将为所有 NFT 持币者提供灵活性和流动性，而不再是巨鲸独享此类权益。

⑨碎片化。将 NFT 拆分为若干权益份额，让更多的人可以投资 NFT 蓝筹资产，例如拥有 Crypto Punk NFT 的若干分之一。其结果会怎样？随着更多资金进入 NFT 市场，NFT 的流动性增加，NFT 蓝筹资产的升值空间会更大。

⑩DeFi。随着 NFT 狂热爱好者对 NFT 资产进行质押以获取收益的路径越来越熟练，NFT 带来的收益将不仅限于 APY。NFT 将成为 DeFi 的底层资产之一，包括提供社区访问资格。此类项目不会是简单的储蓄游戏，NFT 也将是对社区的投资。

(11)换取忠诚度。随着品牌和创作者追求用户忠诚度的提升，用户参加社区中的活动将会获得 NFT 奖励。如果会员贡献了内容？奖励 NFT。参与了调研答卷？奖励 NFT。参加了购买活动？奖励 NFT。NFT 比传统的优惠券更具流动性，也更有面子。

(12)研发。品牌和创作者将通过奖励 NFT 的方式，获取外界对产品开发的见解：痛点、营销方案、路线图等。NFT 还将解锁早期产品发布的机会和潜在的利润分享。品牌会跟踪和维护这些至关重要的关系。

(13)内容贡献。未来，用户可以通过提交短视频、评论和教程等内容，以赢取 NFT 奖励。这是一个营销领域的冷启动飞轮。相应权益可以通过代码写入智能合约，以便在广告中使用贡献者的内容，同时为内容贡献者带来利润。

(14)客户群组 NFT。想象一下，如果你作为 Air Jordan 球鞋的首批客户之一而收到了相应 NFT，到了今天，这个 NFT 将具有多高的价值。多年后，耐克公司将通过怎样的特殊渠道和产品来奖励你。群组 NFT 将用来证明你在某个特定时间段采取了某种特定行动。

(15)用户教育和用户支持。用户如果展示出对品牌产品非常了解，可以获得 NFT 奖励，企业可以利用这一方式吸引新人引入社区，或以此提供用户支持。这可能比品牌方员工做同样的事情会有更大的影响力。

(16)赏金。创作者和品牌将在社区内发布独特的任务，对完成相应任务的用户奖励 NFT。此类任务可以涵盖任何事情，比如完成问卷调查、为社区推荐成员、参加活动等等。赏金可以是高度竞争性的，也可以是开放性的。

(17)排行榜。NFT 社区将通过排行榜的方式展示头部持有者，实现参与活动的游戏化。头部贡献者将获得奖励以及相应的影响力权重，从而激励社区积极持有 NFT 和参与活动，以确保自己的投资获得更好的回报。

NFT 的发展才刚刚起步，未来一片光明。在调动社区广泛参与和奖励上，NFT 技术每天都在进步，这一市场前景极其光明。

11.5.4 数字资产保护

分类：一般等价物（DCEP/RCEP）、实物资产电子化、实物资产虚拟化、虚拟原生资产。资产类服务：首次流通、二次流通、一级市场、二级市场。资产流通手段：custodian、bond、流动性置换等。

未来艺术品趋势有三个方向，

（1）实物经过托管之后的电子化展示凭证，类似支付宝内的支付人民币，

（2）根据实物实现的，或者是现实艺术家在虚拟世界创造的新艺术品，艺术品虚拟化，DCEP，

（3）人工智能艺术家创造的纯虚拟艺术品，虚拟货币。

持有对应艺术品的 NFT，

（1）电子化的可以去托管方赎回或兑换真品，

（2）虚拟化的在虚拟世界流通，不影响实物在现实时间流通，

（3）虚拟艺术家创造的虚拟艺术品，可以借助 3d 打印等手段在现实展示，但是权利在虚拟品上。

数字艺术品因为数字化的能力可以有新的艺术形态，比如时间模拟，动态视觉等，也许无法实体化，但是本身任然有艺术价值，可以丰富品类。

NFT 并不是等同数字艺术品，而且艺术品的权限，目前的 NFT 主要是艺术品主权，所以很多人误解 NFT 就是艺术品本身。实际上有很多细分的，比如租让展示权，异化加工权等。 目前没有一个艺术品是真实存在以太坊上的，但是以太上 NFT 的持有者等同拥有 NFT 对应艺术品的主权。

本章由胡凝起草，由龚才春修改。如有侵权，由起草人负责。

参考文献：

第 12 章 虚拟技术

虚拟技术是虚拟现实技术、虚拟身份技术、虚拟人等技术的统称。

12.1 虚拟身份

12.1.1 虚拟身份概述

身份技术的核心是系统身份识别和系统业务使用时的身份资质校验。前者表示实体在不同系统中的识别，后者表现为实体在系统中授权、鉴权和审计。

区块链的核心是提供普适的信任背书的支持，基于可信区块链身份技术构建的跨系统实体识别和权限管理模型形成多系统身份信任模型。由元宇宙中不同系统形成世界，世界之间通过区块链进行粘合。因此，元宇宙中的虚拟身份主要解决同一实体的在不同世界中的映射、信任和表现（Presentation）问题。

（1）术语表

- **实体：**参与进行交互行为的个体，在不同系统中有对应的身份标识；
- **分布式身份标识：**元宇宙之中使用的一个去中心化的分布式标识协议，用于元宇宙中对人、财、物、事的身份关联，具有去中心化、自主管理、隐私保护和安全易用等特点；
- **可验证凭证：**一个实体对另一个实体（包括自己）的某些属性给出的描述性声明，并附加自己的数字签名，用以证明这些属性的真实性，可被其他实体验证；
- **分布式信任框架：**元宇宙粘合不同系统，实现分布式信任的核心逻辑层，主要包含分布式身份标识协议、分布式信任模型及分布式信任传递体系等部分；
- **多源认证。**指多个不同的认证方从不同角度、不同方面对同一实体进行多维认证；
- **信任锚：**被一定的实体群体所信任的实体，作为一些信任传递链的源头，为元宇宙提供基础身份认证服务；

- **匿名凭证：**一种匿名的且不可连接的方式来出示用户的电子身份凭证，用于保护用户隐私；
- **非对称密码算法：**也称公钥密码算法，即使用一对密钥的密码算法系统。密钥对包括一个可以公开的公钥和一个需要保密的私钥；
- **去中心化标识：**或分布式标识，是一种密码学中可验证和自管的标识。DID 通过非对称加密的密码学方法标识实体，持私钥者即为标识做指代实体；
- **身份认证：**确认操作者身份的过程。常见的身份认证方式有口令、凭证和生物识别等；
- **Know Your Customer：**KYC 是一个业务流程，用于验证客户的身份并评估其适用性，以及识别业务关系中的潜在非法风险。

（2）身份技术发展

①身份类型

随着互联网的发展，每个用户在互联网上的数据不断累积，其中有很大一部分关联了数字身份标识。从全球互联网的发展历史来看，可以简单地通过用户对身份控制权的掌控力度，分成四种身份类型：分别是中心化身份、联盟身份、以用户为中心的身份、自主身份。

- **中心化身份：**用户身份控制权由特定的权威机构所掌握。就像身份证：是由政府这样一个特定的权威机构，为我们每个人的身份编号，同时关联我们的姓名，生日，性别等，这种个人的身份属性信息是中心化身份；
- **联盟身份：**用户身份控制权由多个联盟参与方共同掌握。在早期企业场景中应用较多，当一家公司收购另外一家公司时，他们的用户需要进行打通，早期由于大家都用账号，密码登陆，所以会出现一段时间，在一个平台需要有两个或多个联盟参与方，进行用户身份的管理和控制，以实现这两个公司用户的合并；
- **用户为中心的身份：**由用户或机构控制身份，可以实现非联盟成员的用户跨平台认证。用中国网民的数字身份画像举例，最常见的身份不外乎这么几种：一个是账号密码、一种是用 email 或者手机号作为账号，然后设置一串密码登录、还有一种情况，不申请账号密码，直接用微信

扫一扫登录，这样能避免我在不同平台密码总是记不住的问题；

- **自主身份：**用户自主掌控身份，同一身份可以访问任意平台。

②公钥基础设施 PKI（Public Key Infrastructure）

PKI 体系是一种中心化的信任模型。目前标准的加密技术是基于 PKI（公钥基础设施）的，即一套在 20 世纪 70 年代出现在信息技术领域的协议。PKI 的原理是通过随机生成一串数字组成的公钥，而只有信息的指定接收者才能破解。PKI 对身份验证问题提供了一个解决方案，就是数字证书，即能够证明联系人身份的电子文件。这样在对话开始前，先提交数字证书能够让双方确认身份。目前，有一种被称为认证机关的第三方委托机构（CA），即受到国家认可、负责发放并管理所有参与网上业务的实体所需数字证书的机构。

用户首先向作为信任锚的认证中心申请一个数字证书。认证中心对申请者审查通过后，将其身份信息和公钥写入数字证书，并附加认证中心的数字签名。通过认证中心签发的数字证书即认证了用户的身份和公钥的绑定关系，任何人都可以使用认证中心的公钥来验证该证书的真伪，进而使用证书中的公钥验证用户的签名，确认其身份。同时，拥有数字证书的用户还可以申请作为下级认证者对其它用户颁发数字证书，其颁发的数字证书的效力最终由认证中心保证。在 PKI 模型中，任何参与方都必须无条件的信任认证中心，信任关系通过实体间的数字签名从认证中心逐层传递下去。

中心化的信任模型有很多优点，其严谨的信任传递方式、清晰明确的信任与非信任边界在很多场景下都是极佳的特性，解决了现实中的很多问题。然而，中心化的信任模式也存在一定的缺陷。除了需要无条件信任锚，对诚实性及安全性由较高的要求以外，面对现实世界的复杂信任关系，这种依赖于中心节点的模式会严重限制应用的灵活性。

③身份垄断问题和解决方案

身份垄断问题主要发生在除自主身份之外的三类身份解决方案。

随着身份服务提供商越来越成熟，打通的平台越多，身份垄断问题凸显出来。用户绑定的身份越来越多，如果身份服务中断，可能什么平台都上不去；甚至，如果身份服务遭到了破坏、攻击或者主动作恶，就能模拟用户身份登录身份关联的所有互联网服务。用户的互联网应用数据，很有可能被身份服务通过这种方式

获取，这就造成了一种数据过于集中的风险。

为了解决身份垄断问题，万维网创始人蒂姆·伯纳斯·李（Tim Berners-Lee）提出 Solid 项目，希望为每个平台提供一个身份登录的方式：他希望每个人，每个用户或者几个用户之间，可以自己搭建一个类似微信这样的身份提供商，来解决用户身份被大厂控制的场景。类似身份提供商的商业模式叫 ID as a service（IDAAS）。这种方案是用户自主管理身份信道的方式。

另一种解决方案叫去中心化身份，不同于原来互联网应用账号密码的登录体系，去中心化身份是一种基于公私钥对的登陆方式，持私钥者就被认为是用户本人。对于不同业务，采用数字签名证明用户本人，或者表示是控制用户身份的一个实体。这样的证明通过密码学算法就可以完成，身份校验过程中不需要第三方参与交互，可以称为“去中介化”的身份交互。这种通过去中介的身份关系，组成分布式业务网络的技术，被称为去中心化身份。为保证去中心化身份中公钥的可信性，一般采用区块链保持公钥信息。可以用区块链中的智能合约，来进行账号管理，比如对密钥对定期做更换，以防忘记或者被泄露。

进一步的，通过智能合约的方式，除了可以帮助用户取回身份控制权之外，还可以支持向给用户提供服务、存有内容数据的社交平台，要回更多数据，实现内容的自主管理。

④去中心化标识 DID（Decentralized Identifier）

随着区块链技术的推广，越来越多人认为我们需要一个去中心化的钱包或公私钥对，管理登录权限，需要用智能合约管理私钥的更换。

慢慢大家形成共识，就出现了两个在国际上比较有影响力的组织，分别是 W3C（万维网联盟），以及 DIF（去中心化身份的一个基金会）。他们分别从制定互联网标准和工程驱动不同的维度，共同推动 DID 去中心化身份的标准化。

在 DIF 中，我们可以看到像微软还有国内比较有名的公司，比如微众银行，中国信通院，以及在区块链应用上比较有影响力和前瞻性的组织。W3C DID 标准也是一个开放的标准，从 2017 年到现在，已经有 114 个 DID 标识符在 DID 标准申请并被认可通过，DID 正在成为去中心化身份的全球标准。

分布式数字身份标识符是由字符串组成的标识符，用来代表一个数字身份，不需要中央注册机构就可以实现全球唯一性。通常，一个实体可以拥有多个身份，

每个身份被分配唯一的 DID 值，以及与之关联的非对称密钥。不同的身份之间没有关联信息，从而有效地避免了所有者身份信息的归集。分布式身份标识是一种去中心化的可验证的数字标识符，具有分布式、自主可控、跨链复用等特点。实体可自主完成 DID 的注册、解析、更新或者撤销操作。DID 具体解析为 DID Document，DID Document 包括 DID 的唯一标识码，公钥列表和公钥的详细信息(持有者、加密算法、密钥状态等)，以及 DID 持有者的其他属性描述。

由于 DID 需要一个公开的可信的系统查询公钥，DID 的服务往往部署在区块链上。

DID 标识总共包含 4 部分：DID 标识符，DID 文档，DID 方法，还有 DID 的解析规则。

- **DID 标识符：**对去中心化身份的一段标识，是用户身份的唯一标识；
- **DID 文档：**是 DID 组织的一个通用性的文档，上面记录了关于身份的一些属性的信息，是一个标准文档；
- **DID 方法：**对身份管理密钥的控制方法，包括创建身份，修改身份，查询身份，消除身份等函数或者方法；
- **DID 解析规则：**每个 DID 记录在不同的系统中。不同系统有不同的关于用户身份函数的约束和接口，这些信息汇总集合成一个文档的规则，就是规则解析的内容。

①DID 的特点有很多，符合 DID 特点的项目，才能成为 DID 标准里的被注册的协议。总的来说，DID 是相对开放的，她有一套相对严谨的审核机制，但是她并没有要求一个协议里包含标准所描述的所有功能。

②DID 标准对用户使用场景，用户的操作行为，做了一些功能的定义，比如：

③保证 DID 有一个全球唯一的账号；

④DID 账号是跨区域的，不受特定的司法管辖区所控制；

⑤DID 承载服务受密码学保护，DID 不能被管理员修改；

⑥不需要依赖一个特定的身份提供商，证明和被验证都不需要第三方提供商；

⑦自我发行、自我管理；

⑧可以对密钥对进行轮换。

特别的，由于 PKI 也是公私钥对的密码学方式管理身份，DID 协议支持使用

PKI 系统发出的证书来管理这个身份标识，这就为混合身份模型提供可能。

⑤ 可验证凭证 VC（Verifiable Credential）

DID 支持业务系统所配套的权限管理技术称为可验证凭证 VC （verifiable credential）。可验证凭证提供了一种规范来描述实体所具有的某些属性，实现基于证据的信任。可验证凭证的工作流程大概是这么描述的，作为一个 DID 的实体人可以去任何地方获得这个可验证凭证（授权），这个凭证是由 Issuer 颁发的；通过一系列密码学的形式来对这个完整性和一致性进行校验（鉴权），使用的过程中并不需要这个凭证的颁发者参与，只需要在凭证的持有者和验证者之间通过一个公允的第三方的凭证签发公钥查询匹配，就可以对这个凭证的完整性和一致性进行校验。

DID 持有者，可以通过可验证凭证，向其他实体证明自己的某些属性是可信的。同时，结合数字签名和零知识证明等密码学技术，可以使得凭证更加安全可信，并进一步保障用户隐私不被侵犯。

这其实就是业务的“去中介化”。DID 的 decentralized 在这边更适合使用的字眼，中文的翻译应该叫去中介，而不是我们常常理解的区块链去中心。

这些可验证凭证的保存场所对应的公钥发放的地方经常会使用去中心化网络，这个是大家会误以为一定要使用在区块链上的一个原因，事实上 DID 并不对区块链有强依赖的需求，他只要有一个信任背书来维持这个包括 VC、DID 的发放逻辑。同时因为是 DID 和 VC 共同组成了一个去中介的交互逻辑。所有一切是通过密码学来实现的，这就使得它可以做成一个可编程的模式。

这个可编程的验证模型和 web 的愿景，就是点对点直接进行交互这个过程是不谋而合的。所以这就给把区块链作为一个基础设施往上来走提供了一种业务的思路，这个思路就是用去中介的方式，同时用可以编程的区块链的技术来把相关的鉴权过程做编程的原子性实现。

⑥ 去中心化的信任模型

除了依赖特定的中心实体构建信任关系以外，实体之间还能够自发和对等地产生信任关系。信任的传递由实体间的相互认证实现。一个实体被数量越多的实体认证，其可信度就越高；被可信度越高的实体认证的实体，亦将获得更高的可信度。

去中心化的信任模型是一种支持多个信任源、多种信任维度的多元化信任，具有极高的灵活度。在不同的场景下可以根据不同的信任评估方法评估实体的信任度，这种高度的灵活性使其在现实生活中具有广泛的用途。

区块链技术提供的全球记录网络保证了数字货币不会被骗子利用，而区块链技术是基于去中心化的概念，将认证过程分散到整个用户群体中。避免 PKI 这种加密形式被日以强悍的算力突破的最好办法是，将去中心化结合在 PKI 中。只有改变数字证书中心化的管理方式，才能免去被黑客入侵破坏的危险，也就是将数字证书放在遍布世界的账簿中，从根本上杜绝数据被修改。此外，去中心化系统已经被证明能够有效保护数据不被篡改，同样，如果使用区块链系统替代单一的认证机关，数字证书的安全性就能大大提高。

⑦数字身份与区块链

数字身份，是指通过数字化信息对个人进行唯一性的识别。无论是台式电脑、服务器、智能手机还是电子护照，都需要通过身份认证，确认合法的数字身份。数字身份不仅包含出生信息、个体描述、生物特征等身份编码信息，也涉及多种属性的个人行为信息。随着互联网和数字化的快速发展，数字身份的重要性也在急剧上升，对电子政务的发展来说也举足轻重。

2018 年达沃斯世界经济论坛提出：一个好的数字身份应该满足 5 个要素:

- **可靠性：**好的数字身份应具备可靠性，可以建立对其所代表的人的信任，行使其权利和自由，以证明他们有资格获得服务。
- **包容性：**任何需要的人都可以建立和使用数字身份，不受基于身份相关数据的歧视风险影响，也不会面临排除身份的身份验证过程。
- **有用性：**有用的数字身份易于建立和使用，并且可提供对多种服务和交互的访问。
- **灵活性：**个人用户可以选择如何使用他们的数据，共享哪些数据以进行哪些交易，与谁交易以及持续多久。
- **安全性：**安全性包括保护个人、组织或各种设备免遭身份盗用及滥用，不会出现未经授权的数据共享和侵犯人权等行为。

传统数字身份存在痛点。完整的数字身份与每个人的身体、言谈举止、财产和信誉等息息相关，因此也是十分宝贵的资产。但这些身份信息安全性低、容易

泄露，每年都有很多身份信息被盗的情况发生，因而急需一种新的方式来保护数字身份。对于政府使用数字身份来说，一是数字身份数据来源于各部门各业务系统，采用的数字证书和电子签章不互通互认，没有统一的标准。从而导致公众重复提交办证材料，办证难、用证难的问题。二是数字的可信验证受承载网络、认证中心等条件限制，使用上并不方便也难以推广至政府以外行业。

区块链数字身份具有优势。提升证照信息防伪能力。区块链技术去中心化、公开透明和不可篡改性等特征，为解决传统电子证照数据真实性、自证性提供方法。保障证照信息安全。通过区块链技术的非对称性加密保障信息安全。即使出现单点故障，分布式系统的特性可以保障系统的正常使用。提升服务效率。通过电子证照目录体系的建立，实现快速检索的功能，规范电子证照的管理，提升服务效率。实现电子证照库的高效率查验比对，解决政府、企业、公民之间的证件查验难题，提升政府治理能力的现代化水平，为市民生活提供便利。部门信息共享，简化审批流程。由于政府各部门职能差别，数据归集管理不同，因此证照数据分散在各部门系统中。区块链通过建立联盟链的方式，实现数据共享，有效采集、归集各部门的信息，简化审批流程，为“一门一次一窗”的实现助力。

区块链数字身份应用。区块链层为设备和用户数据提供分布式存储与身份验证平台，保证了身份数据的不可篡改性。智能合约具有可审查性、透明性及公正性，使用智能合约对设备和用户权限进行验证，并对数据进行管理。设备节点和用户账户以密码学为基础，使用公私钥作为身份认证。公众可以自行上传信息，政府部门完成认证。系统还可以对自然人周边信息进行认证，公众可以选择对信息进行授权使用，保障隐私。

（3）分布式身份和数字孪生

分布式身份基于去中心化身份方案，核心需求是实现多系统的同一身份识别和针对身份的多系统一致性权限管理。

数字孪生的出现源于感知、网络、大数据、人工智能、控制、建模等技术在最近十年的集中爆发。尤其是传感器和低功耗广域网技术的发展，将物理世界的动态，通过传感器精准、实时地反馈到数字世界。通过数字化之后经网络化实现由实入虚，在虚拟世界交互运算之后经网络化智能化由虚入实，通过虚实互动，

持续迭代，实现物理世界的最佳有序运行。

用技术的描述，数字孪生充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。数字孪生诞生于工业生产制造领域，但数字孪生目前的应用范畴已远超工业制造领域，催生了智慧人、智慧城市的应用体系。数字孪生具有跨系统、分布式的特征，也有去中介交互的需求，满足分布式身份的使用条件。

使用 DID 实现跨系统实体标注，DID 之间的关系可以以可验证凭证的方式或者在 DID 文档中描述，比如物权关系等。

进一步的，针对人工智能、数据实例，都可以授权生成 DID，配套系统映射形成虚拟身份，通过数字孪生技术绑定并驱动智能硬件。

12.1.2 多系统虚拟身份

（1）身份一致性

多系统的身份一致性可以描述为：跨系统同一身份识别。使用用户为中心的身份方案，如，SSO 的方法，通过 B2B 的合作方式，在服务端实现用同一种用户的账户体系登录不同的业务系统。现在像 Facebook ID、google ID，或者微信账户都可以提供 SSO 服务。从互联网应用角度而言，满足易用性需求，对应存在身份垄断问题。

采用自主身份方案，以 DID 标识为基础，扩展成为自主身份服务，也可以支持跨系统身份识别。这个身份系统仍然可以做到终端用户无感，对应的身份管理手段则实现到用户的个人终端上面，可以是电话或者个人电脑。

（A）DID 应用模型

对于业务的信任关系，也就是我们普通系统设计中提到的权限管理（对于业务的信任需求）。

在我们描述 DID 的时候，并不是说要打破现有的系统应用逻辑。在我们现有的应用逻辑情况下，如果把数据权限令牌化，将令牌和业务鉴权逻辑进行绑定，也就是用户持有这个令牌就是拥有对这个数据进行对应业务逻辑操作的权限。

这些令牌可以和分布式身份绑定，以可验证凭证的手段进行业务的前置鉴权，

以令牌进行业务操作。

令牌的所有权和描述由区块链系统维护，其增删改功能满足 FT/PFT/NFT 标准。由于采用区块链通证进行令牌管理，令牌具有价值，隐含资产化能力。

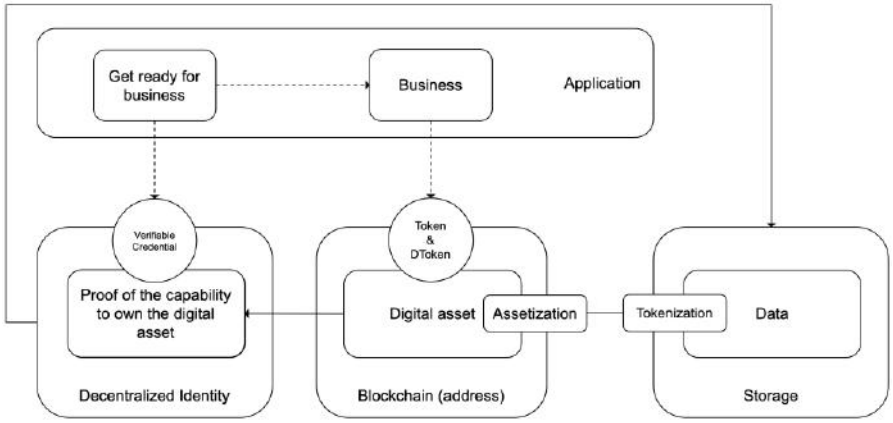


图 12-1： DID 应用模型

进一步的，可以通过一些密码学方案，如，选择性披露、区间证明，把可验证凭证的一些鉴权数据进行脱敏，形成匿名凭证。把敏感信息隐藏脱敏之后，仍然可以验证这个凭证的有效性。整个过程是使用 DID 方式对现有的应用系统进行外部封装，满足跨系统信任需求，实现跨系统的权限管理，

使用 DID 实现跨系统实体标注；

使用可验证凭证和令牌描述身份关系和权限标注，如，物权关系。

（B）承载平台

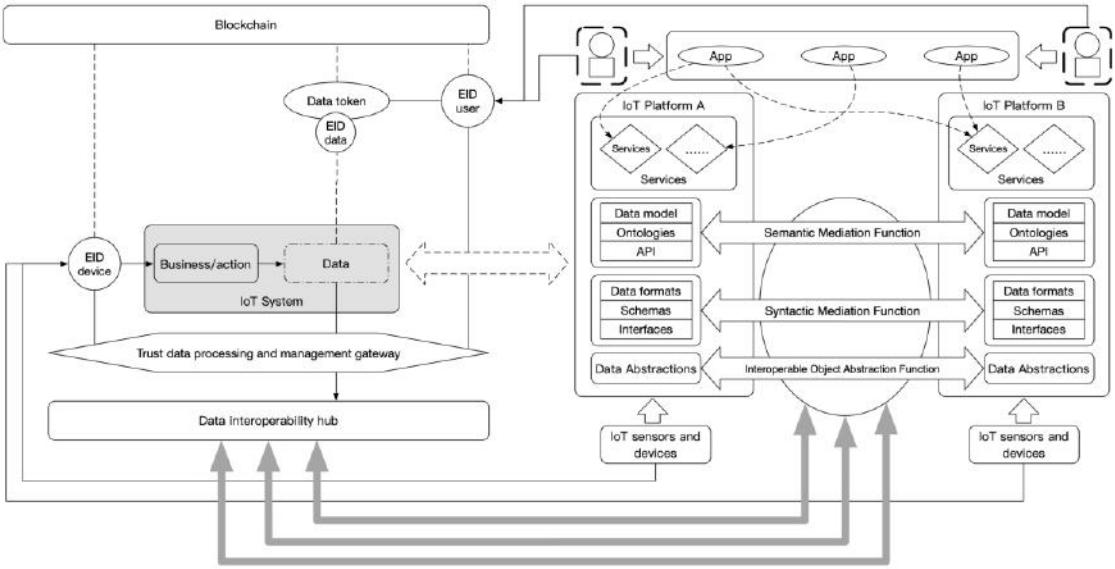


图 12-2：承载平台

用户会诟病系统的中心化，关注的是其在信息的传播过程中，有能力介入信源的信息内容、信源的封装和信道的管理。一方面，这种可介入性使得中心化系统服务提供商有低成本作恶的可能，没有那么可信；另一方面，信息系统的高效性恰恰体现在中心化运算能力之上。

分布式身份往往构建在区块链系统之上，区块链的信任模型是建立在高作恶成本、低效率增删改的基础之上。两者形成互补。

基于 DID 的应用模型，技术上可以以信任模型建立多系统权限控制：把数据本身进行抽象，给数据本身一个去中心标识；以可验证凭证和去中心令牌进行鉴权；业务系统仍然以中心化形式提供高效服务。这就实现了自主身份的跨系统复杂业务互操作服务。进一步的，区块链的历史区块记录支持审计功能。

（C）身份隔离

由于分布式身份的方案将用户信息在用户终端层面进行维护，支持用户不同信息绑定不同身份标识，可以实现统一实体不同侧写的虚拟身份分割，满足终端用户社交圈子隔离的需求。

（D）互联网标识

目前很多 SSL ，包括一些 X.509 的 CA 证书发送方都是基于 PKI 标准协议实现，隐含着可以沿用现有网络体系的非对称加密协议封装成为 DID 的可能，其潜在的价值，就可以实现互联网身份标识的无缝升级；也可以支持把目前很多 to B 的 DNS 寻址方案应用到终端个人资产定位。

（2）身份声誉值/信用值

分布式声誉体系是信任网络的重要组成部分，将信任网络和上层业务应用结合起来。

- 身份使用场景在使用过程中由区块链令牌进行确权和记录，形成数据积累；
- 基于积累数据，针对不同维度形成行为分析，配套量化算法计算出对应的数字，形成可验证凭证。可以认为，这个值就是对应虚拟身份的某方面侧写的身份声誉值或者信用值；
- 相同的元数据维度切片，可以使用不同的量化算法，形成不同的声誉评

估体系；

- 信誉值可验证凭证支持进一步脱敏形成匿名凭证。

这个分布式声誉体系同时也是一个开放性身份评估框架，量化之后的结果，支持评估过程区块链智能合约的实现，满足可编程虚拟身份的要求。

一方面，通过受信者声誉评价为应用验证者导流，提升应用对于用户交互体验的设计，更好地服务用户；

另一方面，用户使用不同的业务应用，应用作为施信者为受信者用户提供信任背书，良好的声誉可以帮助用户得到更多更好的服务，受信者通过持续的积累本体生态中的声誉，促进整个生态应用的用户质量良性发展。

(3) 语义模型的 NFT 扩展

使用令牌方案实现分布式身份跨系统的权限管理，按照语义学描述，是一个主谓宾结构：某些实体拥有某些权限，通过这些权限执行对应业务操作，操作了某些数据实例。

语义表述，名词指代实体（实例），对应标识；动词指代动作，对应令牌，使用令牌等于执行动作。

DID 标识不是只能指代人，数据、人工智能、智能硬件都可以用 DID 标识；令牌逻辑，同样适用区块链 FT/PFT/NFT 的通证形态。

主语是一个标识，数据是一个标识，这个主谓宾结构中的动宾短语通过令牌来进行鉴权，就可以在不打破现有系统的业务逻辑情况下实现跨系统的互操作的描述。

对应的实现，就是对应 DID 标识的权限令牌通证化，使用区块链对通证确权的形式完成鉴权过程。

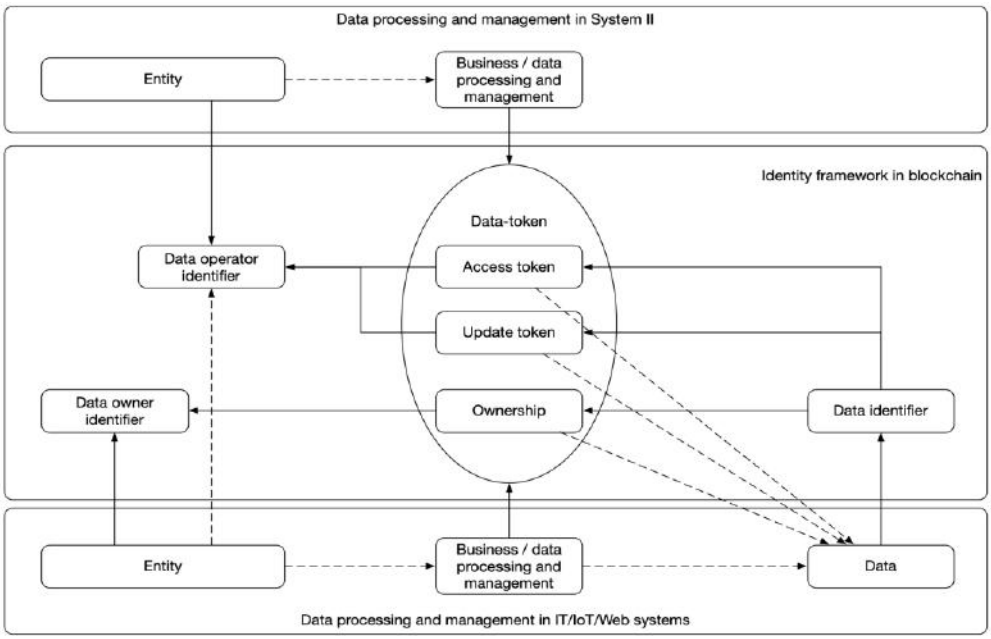


图 12-3：语义模型的 NFT 扩展

进一步的，如果是机器人来驱动这些数据，或者这些数据本身作为一个实体，是可以成为主语的。对应的实现支持人本位或者物本位的转化，也就是采用相同语义、不同句法描述相同业务操作的时候，主语（令牌持有者）和宾语（令牌访问提供者）之间，其实是可以互换的。

由于采用区块链通证进行令牌管理，令牌主权转移支持资产化交易的过程。

12.1.3 元宇宙中的虚拟身份

元宇宙中，以区块链粘合不同系统，可以支持以区块链实现自主身份的相关协议。元宇宙系统中使用虚拟身份的场景主要包括两个大类：一方面，虚拟世界中模拟和展示现实的投影；另一方面，将虚拟世界中创建的虚拟身份反应到现实中来。

虚拟身份的声誉体系支持用户在做交互的时候量化鉴权编程实现，这个量化的值就体现了交互过程中身份的价值。

（1）数字孪生

以分布式身份驱动多系统数字孪生技术，应用到元宇宙之中，将物理世界的动态，通过传感器精准、实时地反馈，通过数字化之后经网络化实现由实入虚到

元宇宙世界；在元宇宙世界交互运算之后经网络化智能化由虚入实，再反馈到现实世界。

通过实体映射、数据采集、网络集成、数据分析、模型计算、控制反馈的过程，实体、数据、智能设备、人工智能等都可以以身份驱动业务工作流。分布式身份方案可以支持标识映射、跨系统实体识别和完整的跨系统权限管理支持。

进一步的，身份交互过程中，身份关系变化产生的主权转移需要满足等价交换原则，价值评估的标准可以采取分布式虚拟身份的量化方案。以元宇宙的价值体系，实现数字孪生的实体价值。

（2）身份表现（presentation）

元宇宙采用分布式身份进行实体标识和应用量化方案，虚拟身份同时需要表现层支持。

元宇宙支持将像 Siri 这样的人工智能助理表现为一个具象化形像，可以与人类产生互动。它们将来不仅能够听见人类的声音，还能看到人类的虚拟化身，捕捉到脸部、手臂之类的动作变化、细微表情和情绪波动。

反过来，人类的表情采集解析之后也可以在元宇宙社交中进行虚拟形象展示。进一步的，人类表情数据也将成为交互信息的一部分，被系统采集、分析和学习。这些数据和模型，也将成为虚拟身份的维度数据加以沉淀。

元宇宙的另一大优势在于用户可以随时随地组织数据，一些虚拟装置也可以用过三维的渲染方案进行表现，帮助人类建立对三维世界的感知。

12.2 虚拟人

12.2.1 概述

(1) 背景意义

现实现实世界中人是主体，因为有了人，世界才多姿多彩丰富灵动。

在元宇宙世界中，人同样是主体。

首先，元宇宙中的虚拟数字人不能是低级别且没有灵魂的，需要活灵活现展示出一个有灵魂的虚拟数字人，他的肢体、形象、表情、动作、穿着打扮等必须让身处元宇宙的人和看元宇宙内容的人感觉到他是一个有血有肉有七情六欲的“活人”。

其次，元宇宙之所以被称之为宇宙，是因为虚拟数字人不能只有几个、十几个，需要有大量具备独一无二灵魂的虚拟数字人在其中学习、工作、生活才能称之为宇宙。

在这样的背景下，如何以更快的速度和更低的成本打造更多活灵活现具备独一无二灵魂的高级别虚拟数字人便是通向元宇宙的关键。

(2) 定义

在元宇宙的世界中，虚拟数字人不能是动不起来的图片，也不能是用手 K 帧的动画视频，他必须是可实时驱动的、高级别效果外形风格各异的、人人能用且用得起的，同时他还可以做各种复杂交互和运动，各自有着独一无二的灵魂。

(3) 术语

12.2.2 技术实现

(1) 建模

(A) 人工智能单图生成生成

传统通过二维图像重建出三维模型是用 3D Morphable Model（3DMM）方法来进行，该方法存在一定的局限性，由于模型特点所致，该方法无法生成包括皱

纹在内的诸多模型细节，而且也并没有涉及脸部以外的躯干和肢体。由于其技术缺陷，该方法已经基本脱离于时代。

在传统方法的基础上，近年来结合 3DMM 使用人工智能深度学习方法训练其人脸模型参数来重建的新技术逐渐被市场所采纳，已经成为主流。如今，在此方法基础上迭代扩展后，已经有头部企业可以通过照片计算重建出人脸以外的躯干和肢体部分。在轻量化元宇宙虚拟数字人应用上，目前该方法依然是单图生成模型的首选。

（B）传统模型制作

- 虚拟人造型范式

虚拟人造型应符合几个范式：审美范式、美学范式、设计范式、信息美学范式。

首先，虚拟人需要符合审美范式，所谓颜值即真理，审美是心理，心理是潜意识，潜意识是决策。元宇宙为潜意识实时决策提供了沃土，所以虚拟人要过的第一关是审美范式。但虚拟人的审美不是美学意义上的审美，是心理学意义上的审美，是大众审美，是均值审美。

其次，虚拟人需要符合美学范式，所谓美是感受，当下的感受是反射，十年的感受是经历，五十年的感受是回忆，一百年的感受是经典，一千年的感受是文化，一万年的感受是原理，这些都会形成美学范式。虚拟人的美学范式是万年级原理级的，说的再通俗一点就是直觉，直觉是虚拟人要遵循的美学范式。

第三，虚拟人要符合设计范式，虚拟人终究是一个产品设计，基本的设计范式是一定要遵循的，而最重要的设计范式是创意。

第四，也是最关键的一点，虚拟人需要符合信息美学范式，也就是大数据视觉范式。大数据视觉范式是指为帮助人们理解与分析，采用计算机图形和图像处理技术，基于第四范式、设计思维、交互设计、自然界面、意义图谱等，对具有体量巨大、来源多样、生成极快、且多变等特征并且难以用传统数据体系结构有效处理的大规模数据集展开的近观察、短逻辑意义的视觉呈现。

- 虚拟人造型模式

首先，从审美上讲，无论技术怎样进步，快照式的超真实虚拟人其色彩体系需要进一步优化，所以即使是高度依赖于技术的超真实虚拟人也离不开美术师的

介入，来创造油画级的超级虚拟人，或者国画式的超级虚拟人。

对于一般意义上的虚拟人，虚拟人最重要的是要创造一个个新 IP，创意是首当其冲的，而创意更加不是快照式的，而是美术式的。

第三，虚拟人需要表达某种意义图谱、精神图腾、心理眷恋，而这一切只有用绘画的方法，而不能用摄影的方法，用美术的方法，而不是扫描拓扑的方法来获得。

- 虚拟人造型非计算机技术体系

关于虚拟人造型非计算机技术体系，设计心理是第一要考量的因素，创作方法是第二要考量的因素，创意方法是第三要考量的因素，社会心理与哲学是第四要考量的要素。当然，美术学常用的方法：色彩、造型、平面、关系等等是更基础的部分。

（C）人工智能扫描重建

当前的扫描重建技术分为静态扫描和动态扫描两大技术方向。

相较于静态扫描，目前动态扫描技术路线的头部公司仍旧需要至少 2G 的带宽环境支持，相当于每秒要传输并处理至少 250MB 的数据，这样的技术对带宽环境要求及后处理环境条件极为严苛，其所带来的成本便居高不下，综合来看目前仍旧不适合应用在元宇宙级虚拟数字人的重建。

在静态扫描方面目前主流的技术为激光结构光扫描和静态相机阵列扫描。

激光结构光扫描优势在于其扫描精度较高，但该技术劣势同样突出，在扫描时间上该技术需要数秒甚至分钟级的时间。再高的精度，也无法长时间让人完全保持绝对的静止，显然这样的条件明显无法满足元宇宙虚拟数字人的扫描重建要求。

静态相机阵列扫描目前扫描过程所需的时间仅仅为千分之一秒，优秀的系统已经可以达到 1/5000 甚至 1/8000 秒，这样的扫描时间需求让真人扫描重建成为了可能。在精度上，优秀的系统也已经逼近甚至超越了激光结构光扫描的程度。这样的扫描重建技术，无论在扫描可行性还是精度以及成本上，可以说在当下无疑成为了扫描重建技术路线中元宇宙虚拟数字人重建的首选。

图 12-4：静态相机阵列扫描示意图(来源于聚力维度科幻成真实验室，Apache Licence)

(2) 渲染

（A）基于物理的渲染技术（PBR）

虚拟数字人渲染的真实程度，受到模型、贴图和光的影响。首先需要明确，基于物理的渲染技术，这里的物理，一定程度上指的就是光的作用与影响。第二需要注意，基于物理的渲染技术并不是单独一项技术，它是一系列物理和数学技术叠加的组合应用成果。

PBR 的基础在于最大限度的模拟了真实世界各种物体不同材质和不同表面特征受到直射、反射、散射等各种光线影响并且它们之间又相互作用、相互影响，直至最终这些光线被捕捉的完整过程。在这个过程中，涉及到微平面理论、能量守恒、菲涅尔反射、线性空间、色调映射、物质的光学特性等。

图 12-5：高级别超写实虚拟数字人（来源于聚力维度赛博演猿平台，Apache Licence）

在 PBR 技术落地过程中，BRDF 和 BSDF 的出现起到了关键性的作用。由此，主流 3D 引擎 Unreal Engine、Unity、Frostbite、Cry Engine 均达成了 PBR 的实现。在此基础上，虚拟数字人渲染技术实质性的摆脱了人们口中常说的“塑料感”和“恐怖谷效应”。

（3）驱动及场景结合

①驱动

虚拟数字人的驱动方式分为语音驱动型和真人驱动型。

语音驱动型通常由文字输入转为语音，之后语音口型表现在虚拟数字人上，其缺点是缺少面部表情，肢体动作单一，毫无整体情感传递可言。

真人驱动型数字人背后由真实的人类所驱动，数字人的喜怒哀乐完全由背后的真人所控制，该技术所呈现的数字人可以更好的传达情感，使数字人更加活灵活现，是元宇宙中更好的虚拟数字人实现。

真人驱动可以分为光学动作捕捉和惯性动作捕捉以及基于视频的动作捕捉。

光学动作捕捉通过对目标上特定光点的监视和跟踪来完成运动捕捉的任务。

最常用的是粘贴能够反射红外光的标记点，通过摄像头对反光标记点进行追踪捕捉。惯性动作捕捉主要是基于惯性测量单元（Inertial Measurement Unit，IMU）来完成对人体动作的捕捉，即把集成了加速度计、陀螺仪和磁力计的 IMU 绑在人体的特定骨骼节点上，通过算法对测量数值进行计算，从而完成动作捕捉。但以上方式对环境要求高且造价高昂一定程度上并不适用于元宇宙。

基于视频的捕捉技术分为采用特殊定制摄像头的路线以及采用普通摄像头捕捉的路线。由于需要特殊定制装备，使用者不能随时随地很方便的进入元宇宙，这并不是元宇宙适用的首选路线。

基于普通摄像头的捕捉主要是通过人工智能识别视频中的面部及肢体动作来完成的捕捉，这种视觉捕捉方式因其简单、易用、低价，已成为目前使用的频率较高的动作捕捉方案。而且这种方式无需使用者适配，具有灵活轻量化的特性，是目前元宇宙场景下最佳的捕捉驱动实现方式。

②与场景结合

元宇宙是虚实结合的世界，这意味着虚拟人和真实场景能够相互感知和影响，虚拟人实体化能够在场景中真实存在，场景数字化后能被虚拟人感知。想象一下，在元宇宙的世界里，虚拟人在特定的时间能被放置在合适的地点，例如将虚拟导游放置在需要介绍的景点附近给游客进行讲解。进一步，虚拟人能在真实的场景中行走运动等，例如虚拟的动画人物在真实世界中奔跑躲藏，让用户去追赶。最后，虚拟人能和真实场景进行交互，例如虚拟人能和场景中的真实人进行交流，能控制真实电梯和机器人等。为了实现上述的场景，我们需要通过用户的终端设备设备获取场景的关键信息，包括终端设备在场景中的位姿和姿态，场景中的地面、墙面和障碍物信息，以及场景中各个物体的类别和属性信息。为了得到这些关键信息，我们需要位姿计算和场景感知的技术。此外，由于云宇宙沉浸式和虚实结合的特点，智能眼镜更加符合元宇宙中虚拟人的使用场景，所以本章在论述时会强调和智能眼镜的结合。

- **位姿计算技术**

在用户的智能眼镜中，为了能够在场景中的正确位置渲染出虚拟人，需要知道智能眼镜的位置和姿态。当前主要存在两种方式来实时的计算智能眼镜的位置和姿态。一种是即时定位与建图技术(simultaneous localization and mapping,

SLAM) [1]，另一种是通过在场景中安装额外基站设备的方式来告知智能眼镜的位置和姿态。

SLAM 技术主要应用在室内机器人导航领域，包括构建场景中的三维点云图和位姿跟踪两个过程。由于 SLAM 的技术只能适用于静态变化较小的场景，且存在功耗巨大和后期运营成本高的问题。导致该项技术无法适用于云宇宙下复杂多变的场景，尤其在对功耗和重量要求非常苛刻的智能眼镜上。

通过在场景中安装一个或多个额外的基站设备，主动向智能眼镜告知位姿信息是另外一种技术路径，这种实现方式让智能眼镜实现了轻量化的位姿计算。这种实现方式的代表性的工作为 HTC VIVE 采用的 LightHouse [2]技术和 WhyHow 公司提出的光场交互技术。Lighthouse 通过在场景中部署两个红外激光发射器的基站，在室内 5*5 平方米的范围，可实现对眼镜精准位置和姿态的计算。WhyHow 公司的光场交互技术通过在场景部署一个“光标签”的可见光基站设备，可以在室内外各种环境下给远至上百米的智能眼镜提供位置和姿态的信息，目前看来是一种轻量化的获取位姿信息的理想方法。

- **场景感知技术**

为了实现虚拟人能在场景中和真实物体进行交互，需要对场景进行感知。这包括对场景的基本属性进行检测和更高阶的语义感知技术。场景的基本属性包括地面、墙面和障碍物的检测，这样虚拟人就可以在场景中做出和真实人一样的运动，而不会出现穿墙或者半个身子在地下的奇怪现象。场景基本属性检测的实现方式有很多种，包括使用激光雷达、双目摄像头等传感器设备直接进行探测，使用深度学习等方法直接从单目图像中计算出相关的深度信息，或者对场景进行三维重建。除了对场景基本属性进行检测，我们还需要场景中更高阶的语义信息，例如场景中的物体的类别，哪些是人体、人脸、车辆、机器人等，这样虚拟人可以和相关的物体进行交互。场景语义感知涉及使用人工智能的方法对传感器的数据进行处理，相关的技术包括且不限于目标检测、语义分割、人体关键点检测、人脸检测和表情检测等技术。

12.2.3 技术分级

（1）实时驱动能力

- L0、单张图片，或手 k 动画，渲染一张要很长时间，无法实现实时生成数字人内容
- L1、可以实时驱动面部、肢体、躯干，时延 2s 以内
- L2、实现较为精准的捕捉驱动能力，时延 500ms 以内
- L3、实现低延迟和更为精准的捕捉驱动能力，时延 100ms 以内
- L4、在感官上无法察觉数字人与控制者存在明显驱动方面差异，时延 60ms 以内
- L5、控制者与数字人不存在驱动方面使用差异，时延 20ms 以内

（2）普适性

- L0、传统手 k 动画，或渲染后期制作，尚在计划中无法落地于元宇宙
- 该级别的虚拟数字人大多停留在概念演示的阶段，演示背后的技术仍还停留在传统行业的手 K 动画，或者渲染后期制作，完全不能在元宇宙世界中真正落地。
- L1、科研及实验单位可负担的使用环境，单个数字人成本几百万
- 这里是不仅仅停留在纸面，而是真正迈出一步的阶段。产研单位已经实质性的拥有了原型产品的技术，但并不具备规模化的能力，往往价格高昂，单个数字人成本在百万级别，相关设备不可复刻。
- L2、尖端企业级客户可负担的使用环境，单个数字人成本几十万
- 虚拟数字人已经具备一定量产条件以及可定制条件，在商业上有需求的头部企业可以单独定制自身形象的虚拟数字人并承担相关费用，单个数字人成本在几十万，相关设备具备一定的通用性。
- L3、小企业或自由职业者可负担的使用环境，单个数字人成本几万
- 虚拟数字人已经基本达到规模化产业化，在外形一定程度上定制的前提下，单个数字人成本在几万元，相关设备完全具备通用性，一般企业和

热爱数字人的个人均可接受的价位。

- L4、大众可负担的使用环境，单个数字人成本 1 万以内
- 在相关设备拥有完全通用性的同时具备一定的轻量化、小型化属性，单个数字人成本在 1 万以内，一般大众均可以接受。
- L5、常规一般民用消费品，无需支付额外成本
- 虚拟数字人已经成为一般大众日常用品，相关产品具备轻量化、小型化等特点，大家可以没有成本顾虑的随时随地便捷的使用。

（3）视觉效果表现力

- L0、静态图形简陋，画质低劣，无动态表现
- L1、静态图形简单，画质单一缺少细节，动态表现稳定无明显 BUG，但表情和动作很简单，一般用于低幼内容
- L2、静态图形网格较少，画质不够细腻，动态可以呈现少量表情动作，一般用于游戏卡通等低端场景
- L3、静态达到游戏类高级别，中等影视级，网格复杂，画质精细，动态可以精准传达情感
- L4、静态可以一定程度以假乱真，动态上可以完整还原控制者情感，最高级别影视等级
- L5、静态和动态上无法分辨是在现实中还是数字世界中

（4）与人、与物、与世界的交互能力

- L0、不能做到任何的交互
- L1、人工指令触发录制的规定动作实现预制的交互画面
- L2、自动识别触发录制的规定动作实现预制的交互画面
- L3、手部实现与指定物体基本的捏、拿、点、按、划等动作的交互及部分交互反馈
- L4、人的手脚、四肢实现与部分人、物、世界的交互及大部分交互反馈
- L5、如同现实世界，与人、与物、与世界，可以做到无所不能的交互

12.2.4 创新的应用表现形式

（1）身份识别与关系

（A）虚拟身份

身份技术的核心是系统身份识别和系统业务使用时的身份资质校验。前者表示实体在不同系统中的识别，后者表现为实体在系统中授权、鉴权和审计。

元宇宙中，以区块链粘合不同系统，支持以区块链实现自主身份的相关协议。元宇宙系统中使用虚拟身份的场景主要包括两个大类：一方面，虚拟世界中模拟和展示现实的投影；另一方面，将虚拟世界中创建的虚拟身份反应到现实中来。

（B）虚拟人身份

虚拟人是元宇宙中虚拟身份的展示（presentation），包含现实自然人的虚拟化展示和虚拟世界造人展示。其中，虚拟世界造人包含系统人工智能驱动虚拟人和现实运营团队驱动虚拟人。

- **虚拟人数据**

虚拟身份作为云宇宙之中实体识别的基础，持有身份之后，不同世界的虚拟人相关数据归属权属于身份，同一身份数据支持跨系统互操作。

虚拟身份相关的多维度数据可以支持不同算法形成不同维度的声誉，被元宇宙不同系统用来作为实体准入判断。也就是说，持有虚拟身份的虚拟人才可以进入不同元宇宙的不同世界之中。对应的，虚拟人在元宇宙中的行动（展示）轨迹作为虚拟身份数据积累的一部分，也可以被用来支持虚拟人声誉。

- **隐私保护**

虚拟人是虚拟身份的展示，对应数据包含展示模型，由于元宇宙包含潜在跨系统操作的需求，虚拟人展示模型也会在多个系统中被分享。其中，自然人虚拟化的数据模型包含现实身份信息，可能被应用要元宇宙之外的信息系统之中，针对自然人虚拟化的数据模型，需要考虑自然人外观的数据隐私保护。人体模型数据的隐私保护包含但不限于：模型中数字水印技术，人脸识别算法的关键指标异化等干扰算法。

（2）超现实

人们中说，在技术之上，走在人类最前沿的，一定是艺术家。元宇宙彻底释放了人类的想象力，虚拟人在其中可以进行包括游戏、社交、广告、体育、金融、会议会展、娱乐等等常规的内容。在这样的内容之上，虚拟人可以做的更多，闪电换装、飞翔、无限缩小躯体进入微观世界、星际旅行等等等等。突破你认知的，并不仅是艺术，在技术的变革所带来的创新之下闯进你世界认知和感知的冲撞，一定将成为现实——科幻成真。

12.2.5 虚拟人的关键技术

虚拟人存在的目的，不仅仅是有了形象用于展示，更重要的是在环境中与真人进行互动，并承担相应的职责。因此，虚拟人的技术涉及到六部分：模型构建、驱动、人格构建，交互能力，场景结合能力，大脑认知图谱。

下图为虚拟人关键技术及其成熟度，按颜色由浅至深标示成熟度高地。

图 12-6：虚拟人关键技术成熟度

（1）模型构建

虚拟人建模技术是计算机图形学研究领域的重要分支。当前，虚拟人建模方法主要包括基于软件的直接建模法、基于数据捕获的扫描建模法、基于标准虚拟人模板的参数化建模法。这 3 种建模方法均可实现对虚拟人模型的构建，但其在

应用范围、可推广性等方面仍然存在诸多的限制与不足。建模之后的渲染，用于构建虚拟人的真实感，捏脸、身材变形和换装，可以基于基础基本模型进行自动化建模及调整，是实现虚拟人快速多样化、AI 量产化直观重要的因素。

（A）直接建模法

传统的虚拟人角色定制设计主要依赖于虚拟建模软件，如 3Ds max、Maya，该方法构建的虚拟人模型定制性好，能全方位满足用户对虚拟人角色模型的需求，但是其对设计人员的软件操作水平、设计经验、美工能力要求较高，存在设计周期长、成本高等不足。

传统通过二维图像重建出三维模型是用 3D Morphable Model（3DMM）方法来进行，该方法存在一定的局限性，由于模型特点所致，该方法无法生成包括皱纹在内的诸多模型细节，而且也并没有涉及脸部以外的躯干和肢体。由于其技术缺陷，该方法已经基本脱离于时代。

在传统方法的基础上，近年来结合 3DMM 使用人工智能深度学习方法训练其人脸模型参数来重建的新技术逐渐被市场所采纳，已经成为主流。如今，在此方法基础上迭代扩展后，已经有头部企业可以通过照片计算重建出人脸以外的躯干和肢体部分。在轻量化元宇宙虚拟数字人应用上，目前该方法依然是单图生成模型的首选。

（B）扫描建模法

当前的扫描重建技术分为静态扫描和动态扫描两大技术方向。

相较于静态扫描，目前动态扫描技术路线的头部公司仍旧需要至少 2G 的带宽环境支持，相当于每秒要传输并处理至少 250MB 的数据，这样的技术对带宽环境要求及后处理环境条件极为严苛，其所带来的成本便居高不下，综合来看目前仍旧不适合应用在元宇宙级虚拟数字人的重建。

在静态扫描方面目前主流的技术为激光结构光扫描和静态相机阵列扫描。

激光结构光扫描优势在于其扫描精度较高，但该技术劣势同样突出，在扫描时间上该技术需要数秒甚至分钟级的时间。再高的精度，也无法长时间让人完全保持绝对的静止，显然这样的条件明显无法满足元宇宙虚拟数字人的扫描重建要求。

静态相机阵列扫描目前扫描过程所需的时间仅仅为千分之一秒，优秀的系统

已经可以达到 1/5000 甚至 1/8000 秒，这样的扫描时间需求让真人扫描重建成为了可能。在精度上，优秀的系统也已经逼近甚至超越了激光结构光扫描的程度。但也由于扫描后需要精修的时间过长，并且模型过大，也影响了普及。

图 12-7：静态相机阵列扫描示意图(来源于聚力维度科幻成真实验室，Apache Licence)

（C）参数化建模法

参数化建模法对传统的模型建模法进行了改进，舍弃了传统的切割人台建模方法，不对模型的特征部位直接应用缩放函数，而是通过创建适当的控制函数对模型的各个点的点信息进行单独的变换.过程分为 3 个部分：建立基本人台、基本人台数据的读入绘制和对人台进行参数化变换。通过该方法获得的模型特征部位之间过渡自然，变形逼真，能较好地应用于服装 CAD 系统及服装在线试穿系统等。

（D）渲染

虚拟数字人渲染的真实程度，受到模型、贴图和光的影响。首先需要明确，基于物理的渲染技术，这里的物理，一定程度上指的就是光的作用与影响。第二需要注意，基于物理的渲染技术并不是单独一项技术，它是一系列物理和数学技术叠加的组合应用成果。

PBR 的基础在于最大限度的模拟了真实世界各种物体不同材质和不同表面

特征受到直射、反射、散射等各种光线影响并且它们之间又相互作用、相互影响，直至最终这些光线被捕捉的完整过程。在这个过程中，涉及到微平面理论、能量守恒、菲涅尔反射、线性空间、色调映射、物质的光学特性等。

在 PBR 技术落地过程中，BRDF 和 BSDF 的出现起到了关键性的作用。由此，主流 3D 引擎 Unreal Engine、Unity、Frostbite、Cry Engine 均达成了 PBR 的实现。在此基础上，虚拟数字人渲染技术实质性的摆脱了人们口中常说的“塑料感”和“恐怖谷效应”。

（E）换装捏脸身材变形

材质换装，比如换贴图和 shader 挂点，在角色上制作挂点，然后挂上武器飘带等更改蒙皮(Unity 中为 Skin Mesh Render)，只要所有的蒙皮基于同一套骨骼开发，就可支持换装。在换装的时候 SkinMeshRender 重新复制 bone 信息就可以完成蒙皮的绑定。通过合并 Mesh 减少 Drawcall。

捏脸及身材调整有二种方式。一是用 Blendshape（融合变形），通常用于面部动画，直接修改顶点。二就是用骨骼驱动，采用修改骨骼矩阵的方式影响 SkinMesh。二种方式最终的目的都是修改顶点。

（2）驱动

当前的驱动方式分为中之人驱动和 AI 驱动。

中之人驱动，主要应用于虚拟偶像、虚拟主播以及个人 Avatar，即虚拟人本身不具有智能，通过真人进行表情和肢体动作的驱动。此种方式虽然需要有真人支持、设备辅助，且不具备自交互能力，但此种方式是快速使虚拟人活起来的方式，也是未来与身体体验装备结合，使人们通过自己化身进入元宇宙获得沉浸感体验的方式。

AI 驱动通过对对象人脸、语音、手势、姿态以及环境等的识别，以唤起虚拟人的反馈，进而驱动做出相应的口型、表情动作和环境交互。AI 驱动是虚拟人成为离开真人进行单独面对对象交互的必要条件，是虚拟人真正能够提供智能服务的最核心要素。

（A）中之人驱动

表情捕捉 Animoji

表情驱动（Animoji）是在人脸部设定特征点，并根据深度摄像头对特征点的追踪变形动画+骨骼动画+骨骼控制 来实现 Animoji。变形动画需使用预先制作好的表情基作为变形目标，通过变形的方式来确定模型表面每个顶点最终的位置；骨骼控制是在设计师刷好骨骼对蒙皮的权重后，就可以通过骨骼控制或者加载骨骼动画来实现非变形部分的动画。虚拟形象分为强表情部分和弱表情部分，以头部举例：脸部为强表情部分，眼睛牙齿耳朵等为弱表情部分。强表情部分用捕捉的表情数据更新，弱表情部分则根据用户头部的运动数据与表情变化来更新。

随着 iPhone X 的发布进入大众视野，但是由于受到原深度摄像头的硬件限制，在其他手机上一直未能实现。随着三星在 MWC2018 发布了新机 Galaxy S9 系列，它带来了 AR Emoji，安卓手机大厂的介入，使 Animoji 的表情驱动方式日趋成熟。

动作捕捉

动作捕捉可以分为光学动作捕捉和惯性动作捕捉以及基于视频的动作捕捉。

光学动作捕捉通过对目标上特定光点的监视和跟踪来完成运动捕捉的任务。最常用的是粘贴能够反射红外光的标记点，通过摄像头对反光标记点进行追踪捕捉。惯性动作捕捉主要是基于惯性测量单元（Inertial Measurement Unit，IMU）来完成对人体动作的捕捉，即把集成了加速度计、陀螺仪和磁力计的 IMU 绑在人体的特定骨骼节点上，通过算法对测量数值进行计算，从而完成动作捕捉。但以上方式对环境要求高且造价高昂一定程度上并不适用于元宇宙。

基于视频的捕捉技术分为采用特殊定制摄像头的路线以及采用普通摄像头捕捉的路线。由于需要特殊定制装备，使用者不能随时随地很方便的进入元宇宙，这并不是元宇宙适用的首选路线。基于普通摄像头的捕捉主要是通过人工智能识别视频中的骨骼变化来完成的捕捉，这种视觉捕捉方式因其简单、易用、低价，已成为目前使用的频率较高的动作捕捉方案。而且这种方式无需使用者适配，具有灵活轻量化的特性，是目前元宇宙场景下最佳的捕捉驱动实现方式。

（B）AI 驱动

口型驱动

虚拟人语音动画合成（Voice-to-Animation）技术，可以让用户输入文本或语音，通过 VTA API 自动生成与音频流相对应的 3D 虚拟形象人脸表情系数，从

而完成 3D 虚拟形象的口型和面部表情的精准驱动。

口型驱动包含文本驱动和--语音驱动。文本驱动口型，通过文本合成语音，能够实现动作时序对齐，并生成动画 Blendshape 系数。驱动虚拟形象说话时，嘴部肌肉能够自然联动；语音驱动口型，通过语音生成口型变形系数，驱动虚拟形象能够口型动作精准、面部表情逼真的表达，与人交互拟真自然。

需纤维虚拟人人脸模型构建特征点，基于其确定嘴唇骨骼特征点，并通过建立音素与视位之间的映射关系、视位与口型关键帧之间的映射关系，对嘴唇骨骼特征点构建口型变化关键帧和中间帧，构建基于汉语拼音（或其它语种）音素驱动的人脸动态口型模型，人脸动态口型模型包括口型变化关键帧以及口型变化中间帧的编号、嘴唇骨骼特征点坐标值、插入时间，其中，音素指根据语音的自然属性划分出音节发音动作的最小单位，视位指音素发音时上下嘴唇和上下颚所在部位的状态，口型关键帧用以记录虚拟人物在音素发音时嘴巴动画画面中的关键内容，口型中间帧用以表示一个音素发音时从口型产生到口型结束的完整变化过程。

表情动作驱动

表情动作驱动可以让虚拟人在接受外界环境输入，根据自己的响应语音和预设反馈来做出适合的表情和动作，这需要为虚拟人构建 3D 人体骨骼关节的知识，并嵌入到个性化姿势表情字典中。

虚拟人的表情动作输出是参数化的一系列人体姿势，这是一个人体、面部和手部的 3D 联合模型，使用运动学骨架模型对人体动力学进行建模，具有 54 个关节，包括脖子、手指、手臂、腿和脚，面部表情可根据需求而确定骨骼及关键点数。通过动作捕捉或手 K 的方式为虚拟人建立表情动作库。如果使用重复的表情动作，这会使虚拟人看起来很无聊。为了使人体动作更具表现力和变化性，需要在一些关键词出现时将特定姿势加入到输出动作中，例如巨大、微小、高、低等；或通过与语义理解中的情绪模型关联，加入特定表情动作到输出动作中，例如开心、难过、怎么办等。这需要建立了一个字典，将这些关键词映射到它们相应的表情动作。

建立了个性化关键表情动作库后，还需处理数据稀疏性和多样性以及重复性的问题，并利用 3D 骨骼约束来生成身体动力学，从而保证其姿势在物理上是合

理的。

（3）场景结合能力

元宇宙是虚实结合的世界，这意味着虚拟人和真实场景能够相互感知和影响，虚拟人实体化能够在场景中真实存在，场景数字化后能被虚拟人感知。想象一下，在元宇宙的世界里，虚拟人在特定的时间能被放置在合适的地点，例如将虚拟导游放置在需要介绍的景点附近给游客进行讲解。进一步，虚拟人能在真实的场景中行走运动等，例如虚拟的动画人物在真实世界中奔跑躲藏，让用户去追赶。最后，虚拟人能和真实场景进行交互，例如虚拟人能和场景中的真实人进行交流，能控制真实电梯和机器人等。

为了实现上述的场景，我们需要通过用户的终端设备设备获取场景的关键信息，包括终端设备在场景中的位姿和姿态，场景中的地面、墙面和障碍物信息，以及场景中各个物体的类别和属性信息。为了得到这些关键信息，我们需要位姿计算和场景感知的技术。此外，由于元宇宙沉浸式和虚实结合的特点，智能眼镜更加符合元宇宙中虚拟人的使用场景，所以本章在论述时会强调和智能眼镜的结合。

（A）位姿计算技术

在用户的智能眼镜中，为了能够在场景中的正确位置渲染出虚拟人，需要知道智能眼镜的位置和姿态。当前主要存在两种方式来实时的计算智能眼镜的位置和姿态。一种是即时定位与建图技术(simultaneous localization and mapping，SLAM) [1]，另一种是通过在场景中安装额外基站设备的方式来告知智能眼镜的位置和姿态。

SLAM 技术主要应用在室内机器人导航领域，包括构建场景中的三维点云图和位姿跟踪两个过程。由于 SLAM 的技术只能适用于静态变化较小的场景，且存在功耗巨大和后期运营成本高的问题。导致该项技术无法适用于云宇宙下复杂多变的场景，尤其在对功耗和重量要求非常苛刻的智能眼镜上。

通过在场景中安装一个或多个额外的基站设备，主动向智能眼镜告知位姿信息是另外一种技术路径，这种实现方式让智能眼镜实现了轻量化的位姿计算。这种实现方式的代表性的工作为 HTC VIVE 采用的 LightHouse 技术和 WhyHow 公司

提出的光场交互技术。Lighthouse 通过在场景中部署两个红外激光发射器的基站，在室内 5*5 平方米的范围，可实现对眼镜精准位置和姿态的计算。WhyHow 公司的光场交互技术通过在场景部署一个“光标签”的可见光基站设备，可以在室内外各种环境下给远至上百米的智能眼镜提供位置和姿态的信息，目前看来是一种轻量化的获取位姿信息的理想方法。

（B）场景感知技术

为了实现虚拟人能在场景中和真实物体进行交互，需要对场景进行感知。这包括对场景的基本属性进行检测和更高阶的语义感知技术。场景的基本属性包括地面、墙面和障碍物的检测，这样虚拟人就可以在场景中做出和真实人一样的运动，而不会出现穿墙或者半个身子在地下的奇怪现象。场景基本属性检测的实现方式有很多种，包括使用激光雷达、双目摄像头等传感器设备直接进行探测，使用深度学习等方法直接从单目图像中计算出相关的深度信息，或者对场景进行三维重建。除了对场景基本属性进行检测，我们还需要场景中更高阶的语义信息，例如场景中的物体的类别，哪些是人体、人脸、车辆、机器人等，这样虚拟人可以和相关的物体进行交互。场景语义感知涉及使用人工智能的方法对传感器的数据进行处理，相关的技术包括且不限于目标检测、语义分割、人体关键点检测、人脸检测和表情检测等技术。

(4) 交互能力

（A）语音识别

语音识别（Automatic Speech Recognition）是让机器通过识别和理解过程把语音信号转变为相应的文本或命令的高技术，相当于虚拟人的耳朵。语音识别是一门涉及面很广的交叉学科，它与声学、语音学、语言学、信息理论、模式识别理论以及神经生物学等学科都有非常密切的关系。

语音识别技术主要包括特征提取技术、模式匹配准则及模型训练技术三个方面。建过程整体上包括两大部分：训练和识别。训练通常是离线完成的，对预先收集好的海量语音、语言数据库进行信号处理和知识挖掘，获取语音识别系统所需要的“声学模型”和“语言模型”;而识别过程通常是在线完成的，对用户实时的语音进行自动识别。识别过程通常又可以分为“前端”和“后端”

两大模块："前端"模块主要的作用是进行端点检测(去除多余的静音和非说话声)、降噪、特征提取等;"后端"模块的作用是利用训练好的"声学模型"和"语言模型"对用户说话的特征向量进行统计模式识别(又称"解码")，得到其包含的文字信息，此外，后端模块还存在一个"自适应"的反馈模块，可以对用户的语音进行自学习，从而对"声学模型"和"语音模型"进行必要的"校正"，进一步提高识别的准确率。

目前国内已有多家厂商提供语音合成（TTS），目前已在语音客服、语音助手等多个领域广泛应用，还基本上实现了面向个人的声纹识别，可以将说话人声纹信息与库中的已知用户声纹进行 1:1 比对验证和 1:N 的检索，进行个人身份认证。为元宇宙中直接交互时的身份识别，提供了又一基础工具。

（B）语音合成

语音合成，又称文语转换（Text to Speech）技术，能将任意文字信息实时转化为标准流畅的语音朗读出来，相当于虚拟人的嘴巴。它涉及声学、语言学、数字信号处理、计算机科学等多个学科技术。

TTS 结构包含三个部分：语言处理--在文语转换系统中起着重要的作用，主要模拟人对自然语言的理解过程——文本规整、词的切分、语法分析和语义分析，使计算机对输入的文本能完全理解，并给出后两部分所需要的各种发音提示；韵律处理--为合成语音规划出音段特征，如音高、音长和音强等，使合成语音能正确表达语意，听起来更加自然；声学处理--根据前两部分处理结果的要求输出语音，即合成语音。

目前已有多家厂商提供语音合成（TTS），不仅实现了多语言、方言等，基于先进的深度学习技术，还已经基本实现仅需上传少量音频数据，即可快速高效的合成专属语音合成音色，赋予产品个性化声音形象，为人机交互创造更多真实感。

（C）人脸图片物体识别

识别人脸、图片和物体，是虚拟人识别环境的能力，都属于计算机视觉范畴，目前已经相对成熟。

通常包括图像处理、模式识别或图像识别、景物分析、图象理解等。计算机视觉包括图像处理和模式识别，除此之外，它还包括空间形状的描述，几何建模以及认识过程。实现图像理解是计算机视觉的终极目标。

图像处理技术把输入图像转换成具有所希望特性的另一幅图像。例如，可通过处理使输出图象有较高的信-噪比，或通过增强处理突出图象的细节，以便于操作员的检验。在计算机视觉研究中经常利用图象处理技术进行预处理和特征抽取。模式识别技术根据从图象抽取的统计特性或结构信息，把图像分成予定的类别。例如，文字识别或指纹识别。在计算机视觉中模式识别技术经常用于对图象中的某些部分，例如分割区域的识别和分类。给定一幅图像，图象理解程序不仅描述图象本身，而且描述和解释图象所代表的景物，以便对图像代表的内容作出决定。在人工智能视觉研究的初期经常使用景物分析这个术语，以强调二维图象与三维景物之间的区别。图象理解除了需要复杂的图象处理以外还需要具有关于景物成像的物理规律的知识以及与景物内容有关的知识。

其中人脸识别已经非常生疏，图片识别也在日臻完善，物体识别正在逐步渐进，这相当于虚拟人的眼睛，是虚拟人实现如同真人一样智能交互的重要组成。。

（D）手势识别

手势识别（Gesture recognition）是通过数学算法来识别人类手势，可以来自人的身体各部位的运动，但一般是指脸部和手的运动。用户可以使用简单的手势来控制或与虚拟人交互，让虚拟人理解人类的行为。手势识别在多模态交互中非常重要，尤其是在外部环境比较嘈杂的情况下，可以精准交互，是体现虚拟人智能的最重要方式之一。

其核心技术为手势分割、手势分析以及手势识别。手势分割是手势识别过程中关键的一步，手势分割的效果直接影响到下一步手势分析及最终的手势识别。目前最常用的手势分割法主要包括基于单目视觉的手势分割和基于立体视觉的手势分割。手势分析是完成手势识别系统的关键技术之一。通过手势分析，可获得手势的形状特征或运动轨迹。手势的形状和运动轨迹是动态手势识别中的重要特征，与手势所表达意义有直接的关系。手势分析的主要方法有以下几类：边缘轮廓提取法、质心手指等多特征结合法以及指关节式跟踪法等 。手势识别是将模型参数空间里的轨迹（ 或点） 分类到该空间里某个子集的过程，其包括静态手势识别和动态手势识别，动态手势识别最终可转化为静态手势识别。从手势识别的技术实现来看，常见手势识别方法主要有：模板匹配法神经网络法和隐马尔可夫模型法。

（E）姿态识别

姿态识别的方法，通常是通过检测图像中的人体并返回人体矩形框位置，精准定位 21 个核心关键点，包含头顶、五官、颈部、四肢主要关节部位，支持多人检测，包含检测图像中的所有人体，标记出每个人体的坐标位置；并可支持不限人体数量，适应人体轻度遮挡、截断的情况。

姿态识别需要预先定义多个姿态类别，每个类别包含了一定的姿态范围；然后为每个姿态类别标注若干训练样本，通过模式分类的方法训练姿态分类器以实现姿态识别。这一类方法并不需要对物体进行建模，一般通过图像的全局特征进行匹配分析，可以有效的避免局部特征方法在复杂姿态和遮挡关系情况下出现的特征匹配歧义性问题。然而姿态识别方法只能将姿态划分到事先定义的几个姿态类别中，并不能对姿态进行连续的精确的估计。

单人姿态估计方法在单人识别效果较好，应用于多人姿态识别还是效果有待改进的。同样多人姿态估计效果较好的应用于单人姿态估计的效果不理想。多人姿态估计有两种主流的研究方法，自顶向下（top-down），先检测出多个人，再对每个人进行姿态估计，可以将 detection 的方法加上单人姿态估计来实现；自底向上(bottom-up)：先检测出关节点，再判断每一个关节点属于哪一个人。评价多人姿态性能好坏两大数据集：MPII Multi-Person Dataset 和 MSCOCO Keypoints Challenge。人体的识别要忍受来自定位和识别的双重误差，这是人体姿态识别需要研究和解决的问题。

姿态识别用于虚拟人识别交者的动作和意图，以做出相应反馈。如虚拟心理咨询师，根据其行为判断当前意图，并进行针对性交互内容的生成。

（F）情绪识别

当前情绪识别主要有两种方式，面部表情识别和声音识别。

当前基于深度学习的多角度人脸表情识别方法，可将采集到的原始图像进行预处理：对表情区域进行定位、裁剪；人脸表情图像特征提取：将经过预处理的图像，输入到 VGGNet 深度神经网络模型对人脸表情图像进行特征提取，得到特征图，将特征图输入到神经网络进行训练；人脸表情分类：将训练后得到表情采用 Softmax 层对图像进行分类，确定最终表情。当前主流的面部表情识别，主要可区分六个基本情绪：快乐，悲伤，愤怒，惊讶，害怕和恶心，也可以识别“中

立”状态并识别“蔑视”表情，可以提供情感态度分析（感兴趣，困惑和无聊等），心率，视线方向，效价和唤醒度，个人特征（如性别，年龄）等数据。并根据交互对象如婴儿，儿童，成人或老年人，调整至适合的分析模型。

当前使用最广泛的情绪检测方法是通过声音来检测人的情绪。情绪检测器除了识别一些关键词和短语，比如对手的名字，还通过测量语速和音频来评估说话人的焦虑程度。它会将那些检测出的客户生气或者焦虑的文件标记出来，然后进一步分析他们的情绪反应是因为对服务质量不满意还是在无理取闹。此种方法已经广泛应用于语音客服等领域。

（G）辅助展现

虚拟人生长在虚拟世界，其相较于真人之间交互最不同的一点，就是可以展现人需要借助外部实物才能展现的内容，比如借助电脑或图片才能展现的图表，借助实物才能展现的操作。

虚拟人可以在语音交互的同时，通过知识图谱等调取相关的辅助文字、图片、视频、图表、模型、场景、粒子效果，以及现实世界无法展现的内容，如凤凰、飞碟等，一站式全方位立体生动呈现信息，无需再次查询。这对于指导现场操作、讲解文旅故事、客户服务等 AI 数字员工类虚拟人，是降低成本提高效率的最重要能力之一。

（H）流程操控

机器人流程自动化（RPA）系统是一种应用程序，它通过模仿最终用户在电脑的手动操作方式，提供了另一种方式来使最终用户手动操作流程自动化。当前的 RPA 界面依然停留在二维页面，已有 Avatar RPA 出现，可通过语音命令虚拟人的形式，执行流程化操作，无需手动输入和配置，并可实时汇报工作状态和结果。

虚拟人也可与相关系统后台连接，进行实时查询计算数据生成交互内容，或按照指令操控具体设备。智能家居、自动驾驶等已经开始广泛应用，这是虚拟人在虚拟世界的重要优势，也是未来 AI 数字员工等取代真人进行工作的能力基础。虚拟人也将成为所有流程操控的交互界面。

（5）认知图谱

人工智能已经在以上人际交互能力中的“听、 说、看”等感知智能领域达到或超越了人类水准，但在需要外部知识、逻辑推理或者领域迁移的认知智能领域还处于初级阶段。让虚拟人具备认知智能，即认知图谱，具体体现在机器能够理解数据、理解语言进而理解现实世界的能力，体现在虚拟人能够解释数据、解释过程进而解释现象的能力，体现在推理、规划等等一系列人类所独有的思考认知能力上，需要去解决推理、规划、联想、创作等复杂任务。

虚拟人也不能依赖开始输入的知识，需要能够记录所有交互过程及内容，并在其中提取出相关知识，通过实时图谱和知识推理的方法，与原有知识进行整合，并据此形成对每一个对象的新的交互。从而可以成为真正自学习、有记忆机理，并且通过意识处理器构建专属意识，形成类人的大脑功能，才能成为元宇宙中有意义的独立存在。

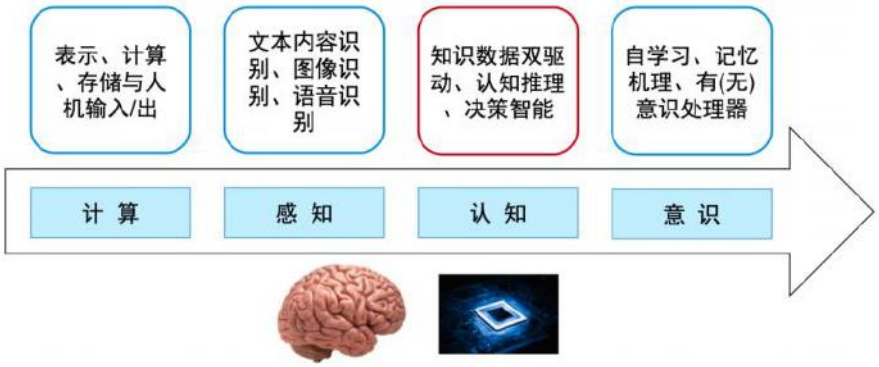


图 12-8：人工智能发展的几个阶段

（A）自然语言处理

自然语言处理(Natural Language Processing, NLP)是以语言为对象，利用计算机技术来分析、理解和处理自然语言，包括自然语言理解(NaturalLanguage Understanding, NLU)和自然语言生成(Natural LanguageGeneration, NLG)两部分。它是典型边缘交叉学科，涉及到语言科学、计算机科学、数学、认知学、逻辑学等，关注计算机和人类(自然)语言之间的相互作用的领域。

实现人和虚拟人之间自然语言通信意味着要使虚拟人既能理解自然语言文

本的意义，也能以自然语言文本来表达给定的意图、思想等。前者能听懂用户的语音内容是自然语言理解范畴，后者能准确回复属于自然语言生成。

基于传统机器学习的自然语言处理技术，将处理任务进行分类，形成多个子任务，传统的机械学习方法可利用 SVM（支持向量机模型）、Markov（马尔科夫模型）、CRF（条件随机场模型）等方法对自然语言中多个子任务进行处理，进一步提高处理结果的精度。但是，从实际应用效果上来看，仍存在着以下不足：(1)传统机器学习训练模型的性能过于依赖训练集的质量，需要人工标注训练集，降低了训练效率。(2)传统机器学习模型中的训练集在不同领域应用会出现差异较大的应用效果，削弱了训练的适用性，暴露出学习方法单一的弊端。若想让训练数据集适用于多个不同领域，则要耗费大量人力资源进行人工标注。(3)在处理更高阶、更抽象的自然语言时，机器学习无法人工标注出来这些自然语言特征，使得传统机器学习只能学习预先制定的规则，而不能学规则之外的复杂语言特征。

基于深度学习的自然语言处理技术，式通过深度学习模型如卷积神经网络、循环神经网络等，通过对生成的词向量进行学习，以完成自然语言分类、理解的过程。与传统的机器学习相比，基于深度学习的自然语言处理技术具备以下优势：(1)深度学习能够以词或句子的向量化为前提，不断学习语言特征，掌握更高层次、更加抽象的语言特征，满足大量特征工程的自然语言处理要求。(2)深度学习无需专家人工定义训练集，可通过神经网络自动学习高层次特征。

（B）知识图谱

虚拟人能够进行智能交互，就要求必须构建自己的知识图谱（Knowledge Graph, KG），才能形成如同人一样的大脑学习及存储知识。

知识图谱是融合认知计算、知识表示与推理、信息检索与抽取、自然语言处理与语义 Web、数据挖掘与机器学习等技术的交叉研究。以结构化的方式描述客观世界中概念、实体、事件以及它们之间的 关系，本质上是一种语义网络，网络节点表示实体或者概念，边表示实体或者概念之间的关联关系。其中，概念是指人们在认识世界过程中形成的对客观事物的概念化表示，如国家、城市、人物等；实体是客观世界中的具体事物，如中国、北京等。属性也是一种实体，用于描述事物的内在信息，比如中国的面积、人口等。关系描述

概念、实体之间客观存在的关联，如首都描述了城市和国家的关系，国家和城市之间概念和子概念的关系等。

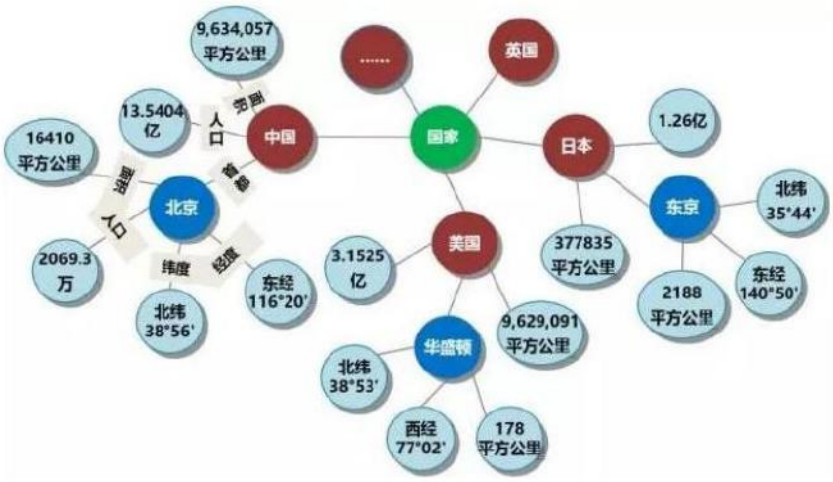


图 12-9：关系描述概念、实体之间客观存在的关联

知识图谱技术包括知识图谱表示、知识图谱构建和知识图谱存储三方面内容。

知识图谱表示（Knowledge Graph Representation），又称知识图谱嵌入（Knowledge Graph Embedding），关键思想是将知识图谱中的实体和关系映射到连续的向量空间中，以便简化操作，同时保留知识图谱的固有结构。实体和关系嵌入表示有利于多种任务的执行，包括知识图谱补全、关系抽取、实体分类和实体解析等。

知识图谱构建在逻辑结构上主要分为：数据层和模式层。数据层包含大量的事实（fact）信息，即（实体，关系，实体）或者（实体，属性，属性值）等三元组表示形式，将这些数据存储在图数据库（比如：开源的 Neo4j、Twitter 的 FlockDB、sones 的 GraphDB、中科天玑自主研发的 Golaxy Graph 等）中会构成大规模的实体关系网络，进而形成知识图谱。模式层是知识图谱的核心，建立在数据层之上，存储的是提炼后的知识。通常采用本体库来管理模式层，即使用本体库对公理、规则和约束条件的支持能力来规范实体、关系以及实体的类型和属性等对象之间的联系。本体库在知识图谱中的地位相当于知识库的模具，拥有本体库的知识图谱冗余知识较少。

知识图谱存贮，当前有两个主流的知识图谱数据模型：RDF 图模型和属性图模型。RDF 图模型中一条三元组的谓语可以在另一条三元组中作主语或宾语，具有超图本质，而属性图中顶点和边属性不能再定义属性，因此 RDF 图模型的表达能力强于属性图模型。属性图模型虽然在理论基础方面不如 RDF 图模型完善，但是在工业界的应用范围更广阔，尤其是随着 Neo4j 等图数据库的应用，其获得了较强的用户认可度。

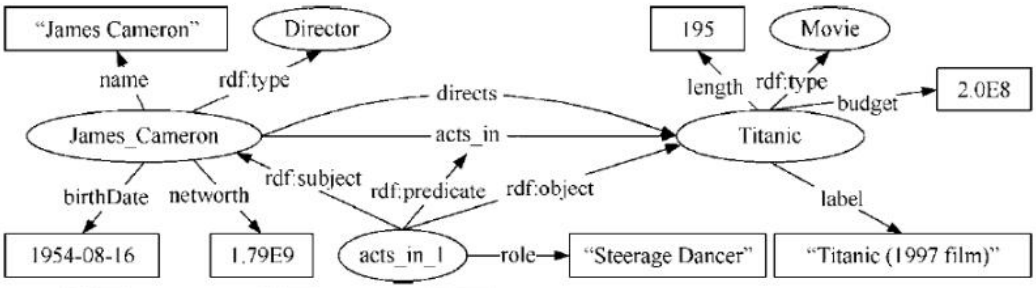


图 12-10：属性图模型

（C）知识推理

知识推理（Knowledge Reasoning, KR）是实现认知智能不可或缺的部分，认知推理将结合人脑的推理过程，协同结构化的推理过程和非结构化的语义理解，进一步解决知识输入后的阅读理解问题。认知推理可以帮助虚拟人获得真正如同人一样的多知识协同的推理能力，发现已有知识，自主形成新知识，更加智能的进行交互。

知识推理是为一系列能力的总称，包括有意识地理解事物的能力、建立和验证事实的能力、运用逻辑的能力以及基于新的或存在的知识改变或验证现有体系的能力。 总体来说，知识推理是利用已有的知识，按照某种策略，获取新知识的过程。根据知识推理的相关定义，发现已有的知识是实现知识推理的前提，新知识是知识推理的结果。已有知识和推理得到的新知识的表示形式可以是句子（比如姚明的妻子是叶莉）、案例（比如小明以前参与了银行抢劫案件）、多元组表达形式（比如（姚明，夫妻，叶莉））等。

知识推理的方法包含用于描述逻辑推理的方法、基于规则推理的方法、基于分布式表示推理的方法。

基于逻辑推理的方法，描述逻辑（Description Logic）是一种面向对象的知识表示的形式化方法，是一阶谓词逻辑的可判定性子集。与其他知识表示方法相比，描述逻辑的显著优点是具有推理机制，能实现知识之间的自动推理，因此描述逻辑近年来成为人工智能领域的研究热点。

基于产生式规则的方法，产生式规则系统是一种前向推理系统，可以按照一定机制执行规则从而达到某些目标，被应用于自动规划、专家系统上。产生式规则系统由：事实集合（Working Memory, WM）、产生式/规则集合（Production Memory, PM）、推理引擎组成。

基于规则推理的方法，逻辑规则是知识图谱推理任务的有用表示，因为它们是可解释的，可以提供对推理结果的洞察。在许多情况下，这种可解释性导致了传输任务的健壮性。考虑知识图谱结构的规则推理方法是在知识图谱上进行路径挖掘，将一些路径近似看成规则，通过实体间的路径来判断实体间是否存在指定关系的特征训练 模型。这类工作代表性的方法是基于随机游走的规则挖掘、关联规则挖掘。

（6）人格构建

由于情绪在人类活动中具有重要的作用，人们需要的是有情绪表现的交互，而非冰冷的机械式互动。建立具有情绪表现力的虚拟人能极大地提升人机交互的用户体验感。无论是虚拟偶像、还是个人 Avatar，或者数字员工，都有着自己的人格身份认定。需要通过性格模型、情绪模型及对象模型进行人格的设定，进而具备真正个人性智能交互的能力。这需要依据心理学和认知行为学开发情感模型和性格模型，并为之构建与表情动作字典相对应的调用关系；还可加入习惯用语、惯常语气助词等，以及其面对不同对象的交互方式，形成虚拟人的人格。

（A）情绪表现模型

构建虚拟人的情绪表现模型，需要包含表情动画、姿态情绪表现以及头部细节表现。

表情动画需要 3D 形式来展现面部表情，最终实现更加逼真的可参数化表达的表情动画，目前有多种方式。主流之一是采用 MPEG-4 面部动画参数，通过强

度和时间变化合成面部表情；之二是在 FACS（面部肌肉活动编码系统）基础上，做出基于参数的面部动画--每个参数对应一个运动单元（AU），将 FACS 中定义的同现原则作为一种特殊的模糊逻辑来实现面部动画，以避免不自然的面部表情。

姿态情绪表现，包含肢体动作、手势等姿态语言。除为虚拟人根据人格设定的特定姿态动作外，还可用于根据环境变化进行行为表达，当前已有通过建立行为和音乐之间的关联映射，以不同的头部行为展现音乐中蕴含的不同情绪，通过舞蹈动作来体现虚拟人的沮丧或高兴等情绪，在行走模型中引入情绪因子，结合运动学表现了虚拟人在不同情绪下的步态等。

头部细节表现是指除了上文提到的大动作之外，作为情绪的直接表达，头部的细节动作。细节动画能够极大地提高虚拟人的表现力，表达更为丰富自然的情绪。包括虚拟人的眼睛注视行为，这需要虚拟人具有表现力的眼动行为进行了建模，为不同的情绪状态生成不同的眼动行为。此外，甩头、偏头等行为也能展示虚拟人的情绪。

（B）性格表现模型

不同性格的人，通过情感及语义理解反馈相同的情绪，反映出的外在交互特征及回复都应不同。构建虚拟人的性格表现模型，需要包含表情幅度速度、动作幅度速度、语速语调特征、语音内容特征、知识调用逻辑等。

需要根据性格分类（目前尚无标准形式），为虚拟人构建参数及模型库。

表情及动作幅度速度，是指面部骨骼和关键点、身体骨骼和关节的动作路径及速度，应根据对应性格如活泼、开朗、平和、消极等，构建相应的区间参数和范围，以辅助展现响应性格，实现并非千人千面却同一动作反馈。

语速语调特征，是指为不同性格虚拟人构建声音时，需参照真人原型本体或其人格设定，构建模型库及参数以支撑不同性格虚拟人进行调用。语音内容特征和知识调用逻辑，也是虚拟人拥有独特人格标签的重要特质。包括习惯用语配置、习惯反馈方式配置、以及同等情况下优先知识调用配置。

虚拟人需将性格与情绪表现模型结合，将表情动作及语音语调结合，才可构建语音视觉的统一模型，将自然会话交互转变为情绪会话交互，

（C）对象区分模型

人不面向所有人谈论同一事件，使用的都是不同语言和表情动作，也不会向

所有人敞开心扉，对应虚拟人则为相应内容、职责和权限。虚拟人也需要与不同的用户进行交互，如果使用相同的性格情绪，将无法使交互这获得如同面对真人一样的交互感及氛围。

如虚拟偶像，对待成年粉丝和儿童粉丝，语气应该完全不同；AI 数字员工，对待老板和客户应该完全不同；个人 Avatar，在工作场景下和生活场景下，对同一问题的反馈也应完全不同。

为此需要为虚拟人构建对象库，通过分类及人脸识别、身份识别等进行对象的区分判断，以调用相应权限、功能、职责、情绪性格，并结合之前的交互内容，进行响应表情动作语音交互内容的合成展现。

当前此领域的研究重点方向，不仅包含对象库的设定，还有情绪感染和博弈算法。以解决当前人机情绪交互相对简单，机械反馈千篇一律智能性不足的问题。用户在与虚拟人进行交互的过程中希望虚拟人具有更高的智能性， 使虚拟人和用户之间能够相互影响。为此需要借鉴情绪感染的方法和博弈论思想，建立虚拟人和用户之间的情绪博弈模型，为建立适应不同用户情绪体验需要的个性化虚拟人提供方法。

（7）生命数据库

虚拟人并非游戏中的 NPC，每一局都可以清空记忆再次来过。因此，不仅仅是个人 Avatar 需要实现数字孪生的数据同步，包含 IP 型、功能型虚拟人，都需要有类似真人的全生命周期全知识和交互数据记录，才能实现拟人化交互。

这相当于构建人的灵魂，当前的数据存储方式如图数据库等无法支撑。为此，需构建面向虚拟人的生命数据库。这是未来虚拟人能够成为元宇宙中基本元素的重要技术。当前尚无实际落地研究投入和产品，需要数据底层技术方的发力。

本章由张金玉、赵天齐、孟虹、胡凝、方俊起草，由龚才春修改。如有侵权，由起草人负责。

参考文献:

第 13 章 数字孪生技术

13.1 元宇宙的数字孪生技术

13.1.1 数字孪生概述

元宇宙融合了互联网、游戏、社交网络和虚拟技术等技术,造就了一种全新的、身临其境的数字生活。数字孪生成为构建元宇宙的核心技术之一,数字孪生技术的成熟度,决定了元宇宙在虚实映射与虚实交互中所能支撑的完整性，而元宇宙为数字孪生技术的发展提供了新的场景。

数字孪生有几个核心特点：

- 物理世界与数字世界之间的映射；
- 动态的映射；
- 不仅仅是物理的映射，还是逻辑、行为、流程的映射;比如生产流程、业务流程等；
- 不单纯是物理世界向数字世界的映射，而是双向的关系，也就是说，数字世界通过计算、处理，也能下达指令、进行计算和控制；
- 全生命周期，数字孪生体与实物孪生体是与生共有、同生同长，任何一个实物孪生体发生的事件都应该上传到数字孪生体作为计算和记录,实物孪生体在这个运行过程中的劳损，比如故障，都能够在数字孪生体的数据里有所反映。

数字孪生诞生于工业生产制造领域,但是目前数字孪生目前的应用远远超越工业制造领域。数字孪生催生智慧城市 2.0。随着 ICT(信息、通信、技术)成为智慧城市发展的主要动能，移动通信、互联网、云计算、物联网、人工智能、大数据在智慧城市都得到了广泛应用。全域感知、数字模拟、深度学习等各领域的技术发展也即将迎来拐点，这使得城市的数字孪生应运而生。

2021 年 3 月,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》(以下简称“十四五规划纲要”)正式发布并明确提出 “加快数字化发展，建设数字中国”，将数字化作为推动经济社会发展重要的战略手段。这也是我国第一次将数字化作为专篇进行重点部署、第一次明确数字经济体

系内容、第一次将场景作为发展数字经济的重要抓手，第一次明确强调数据要素的重要作用。“探索建设数字孪生城市”首次纳入十四个五年规划纲要，为数字孪生城市建设提供了国家战略指引。同时，住建部、发改委、自然资源部、工信部、网信办等部门均出台相关政策，加速推动数字孪生相关技术、产业、应用的发展。“数字孪生城市”这一理念提出后受到政府和产业界的高度关注与认同，各地对数字孪生城市规划和建设的需求非常强烈，企业纷纷入局数字孪生城市建设，包括运营商、地理信息与测绘、BIM、建模仿真、集成商、互联网企业、大数据厂商、硬件厂商等，集结各领域优秀企业，共同建设数字孪生城市。

当前，新冠疫情防控和洪涝灾害等事件充分暴露出我国城市治理还存在诸多短板和弱项，包括城市风险预警预测滞后、突发事件应急响应迟钝、资源统筹协调能力不足等，将全周期管理意识落实到城市治理的具体实践中还有很多现实困难，需要解决目前还存在的技术应用割裂、数据碎片化分布、治理协同难以达成等问题。如何通过数字孪生技术，构建韧性城市，是当前亟需解决的问题。

13.1.2 城市数字孪生技术

（1）城市数字孪生技术发展

①城市数字孪生技术核心价值

智慧城市是把新一代信息技术充分运用在城市中各行各业，是基于知识社会下一代创新的城市信息化高级形态。智慧城市实现信息化、工业化与城镇化深度融合，有助于缓解“大城市病”，提高城镇化质量，实现精细化和动态管理，并提升城市管理成效和改善市民生活质量。

数字孪生在智慧城市发展与建设中的核心价值在于，它能够在物理世界和数字世界之间全面建立实时联系，进而对操作对象全生命周期的变化进行记录、分析和预测。智慧城市中的数字孪生可以分为四个阶段，分别是：

- 对城市现状进行精准、全面、动态映射的现状孪生；
- 从历史数据中学习、分析、识别、总结并发现城市运行规律的学习孪生；
- 人工监督下模拟不同环境背景下的发展情景的模拟孪生；
- 最终通过实时数据接入与人工智能自动决策的自主孪生。

图 13-1：数字孪生的发展层次

智慧城市数字孪生的发展还有很长一段路要走。数字孪生高度依赖物联网所采集的数据和信息，而就目前的技术水平来看，还存在一些难点需要攻克。如，精细化尺度下城市数据的全域感知和历史多维数据的获取，依旧有难度；物理实体空间的数据还不够详尽。

②数字孪生身份体系

完善的智慧城市体系需要整合多个系统、多种数据采集智能硬件，获得多维度多模态的跨系统数据，通过多系统同一数字孪生识别的技术，以跨系统数据授信、确权的方式整合数据，通过人工智能算法对数据处理之后反馈到智慧城市系统并分发到应对的软硬件系统之中，反馈到物理世界。

其中，数字孪生需要解决多系统同一身份识别，跨系统数据分级脱敏和授信的问题。

基于区块链的分布式身份技术，可以为数字孪生的不同应用系统提供一致的可信的第三方身份和权限管理平台，解决数字孪生跨多个系统的同一身份识别问题。

进一步的，基于分布式身份可验证凭证的技术，可以实现智慧城市对数字孪生的准入判断；基于分布式身份的区块链令牌技术，可以实现数字孪生跨系统的操作确权问题。

特别的，针对智能硬件和人工智能也可以授予虚拟身份，基于（数字原生）虚拟实体的令牌授信技术，可以由智能系统主动驱动智能算法，实现自动化数据分级脱敏和授信的问题。由此实现可信的由学习孪生、模拟孪生、自主孪生驱动的全自动智慧城市解决方案。

（2）城市数字孪生技术架构

基于云计算、大数据、人工智能、物联网新一代信息技术构建的开放创新和运营平台，其深度整合汇集政府数据、设备感知数据、历史统计数据、GIS 数据、行为事件、宏观经济等人、事、物数据，开展数据融合计算，完成数据融合、智能感知、业务联动处置闭环，实现城市运行感知、公共资源配置、宏观决策指挥、事件预测预警等。并基于统一的标准和规范，积累完整的城市大数据资产，支撑城市管理、生态环保、安全保障、应急管理、公共服务、产业发展等各领域的数字化转型升级，辅助城市管理者实现从规划-建设-管理-运维的城市全生命周期体检评估，有利于提升城市精细化治理水平，提升政府管理能力。

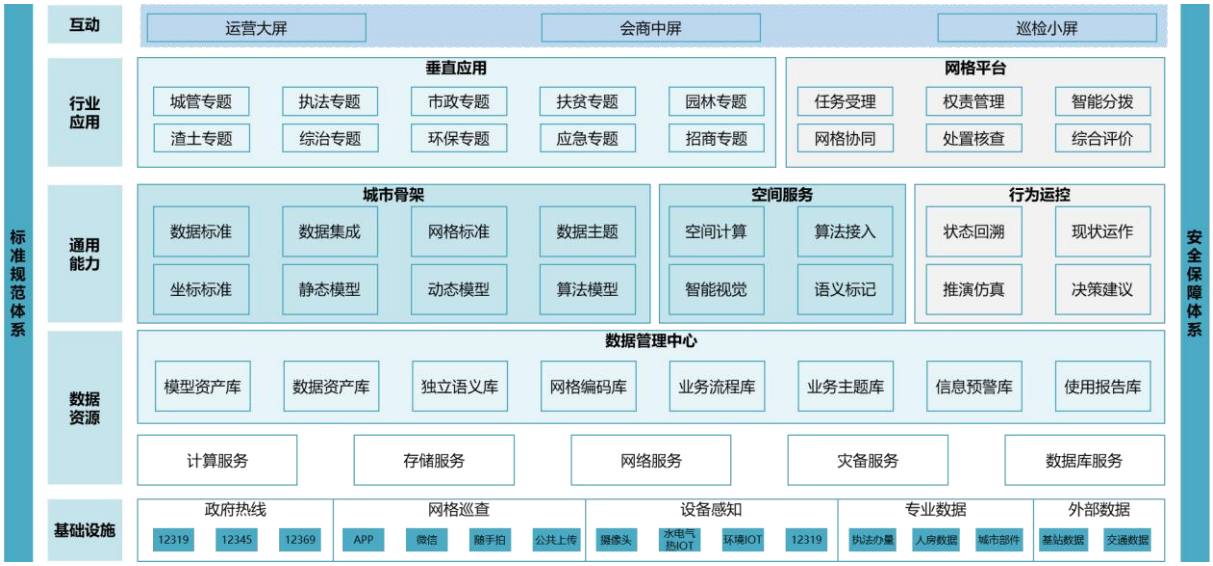


图 13-2：城市数字孪生技术架构

（3）城市数字孪生关键技术

（A）新型测绘技术

城市数字孪生的特征在于物理空间与现实空间的交互，在数字世界中塑造与真实城市相互映射的数字孪生城市，构建全要素、全空间的城市数字模型，实现针对城市的动态监测、仿真、预测和优化。伴随城市建设不断生长，以城市建设、生态等模型作为基础，对建筑物、构筑物通过 GIS、BIM 等数字化方式不断完善。城市数字孪生对新型测绘技术提出新的需求，与传统测绘技术相比，新型测绘以空天地数据获取、全息空间数据采集、二三维一体测绘、泛在测绘和按需组装服

务等形成基于地理实体的城市数字孪生测绘核心技术，成为构建城市数字孪生的数据基础。

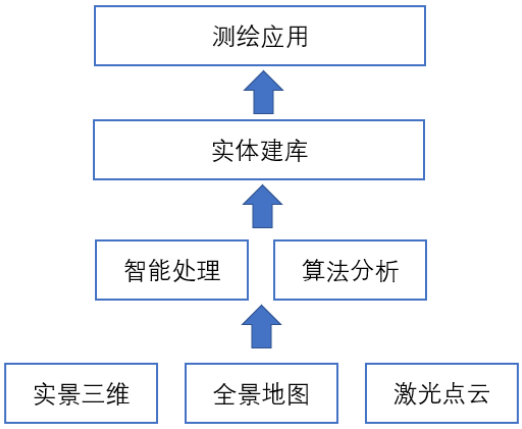


图 13-3：新型测绘技术体系

在城市数字孪生中需要综合处理和分析各类城市相关的测绘信息，基于实景三维、全景地图和激光点云等技术获取城市全景信息。智能处理和算法分析过程将全息采集的多源化数据进行清洗、匹配、定位等处理，将时空信息、几何信息、属性信息和拓扑信息进行进一步融合和有效组织，形成物理实体库，与对应的地理场景相融合，实现城市的三维重建。

（B）多源数据融合技术

数字孪生系统包含全要素场景衍生数据（DEM、DOM、矢量、倾斜摄影、BIM、激光点云、人工模型等）、行业数据（城市、交通、航空、码头、医疗、工地、能源、生态、水务等）、物联感知数据（智能手机、可穿戴设备、传感器等）等多种数据。以 GIS 数据、IoT 数据、BIM 数据、公共专题数据、行业专题数据、互联网数据等海量异构多维时空数据为数据源，利用机器学习、深度学习算法，对时空大数据进行自动识别、数据挖掘及三维重建，能够为数据赋予空间特性及用途，构建涵盖地上地下、室内室外、二三维一体化的全息、高清的数字空间。同时，构建时空数据库，为数据设计统一定义、存储、索引及服务机制，形成 TB 级数据集、分布式集群管理，实现数据统一接入、交换和高效共享，构建全要素数据体系，为城市提供完整统一的三维数字底板。

图 13-4：全要素场景数据处理

（C）三维实景建模技术

三维建模是城市数字孪生建设的关键内容，建立在三维 GIS 平台基础之上，可以带来有效感知和实景可视化的效果。以应用场景为导向，基于不同精度标准还原较大规模城市及区域场景，能够实现大规模环境下的多尺度建模。融合倾斜摄影、激光点云数据、GIS 基础数据、IoT 数据及其他业务数据，匹配不同尺度与不同颗粒度数据，生成多尺度数据融合标准，以此标准为依据，自定义不同层级呈现的数据主题，完成人、事、地、物全要素的多尺度建模，实现物理空间与数字空间的分层次映射。同时，基于深度学习技术，对点云进行语义分割，进行多种场景下的事件检测、事件相关元素以及事件间的关系抽取，再进一步做单体的语义建模，形成三维语义模型，将模型赋予灵魂。

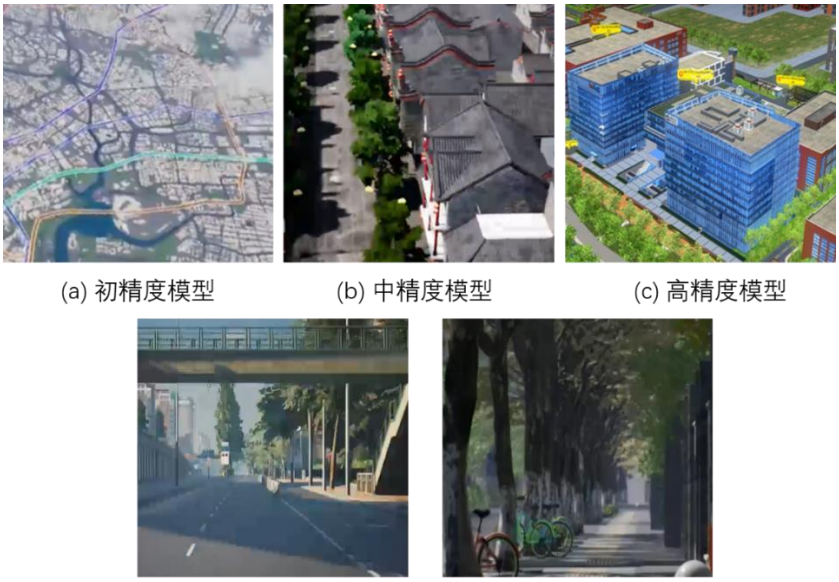


图 13-5：多尺度建模

当前，基于遥感技术和航空摄影进行三维建模的技术较为成熟，其主要利用快速摄影匹配技术，在软件辅助下，通过人工的方式获取影像建筑物的特征进行建模。遥感影像的覆盖的范围广，相对于新型测绘技术成本较低。但在遥感影像和航空摄影中无法避免建筑物的遮挡问题，需要有针对性的贴图，对于较大范围内的城市建模，工作量较大。此外，倾斜摄影技术建模利用多镜头航摄仪，对物理实体的顶部和侧立面进行影像采集、纹理分析和建模，获得精度更高、范围更大的影像数据信息。倾斜摄影的不足是大飞机高空摄影时细节损失较严重，多采用低空无人机影像采集，但低空无人机采集会缩小采集范围，因此，该技术仍存在发展空间。

（D）模拟仿真技术

虚拟现实是一种基于可计算信息的沉浸式交互环境，其核心是模拟和仿真。仿真就是将“虚拟现实”技术应用在城市管理、规划、建筑设计等领域，通过数字化的方式真实再现城市现实，并基于城市运行数据，运用人口、交通、环境、经济等理论，分析城市实际问题，预测城市发展，为城市规划、管理、防灾减灾等提供科学依据的一种手段。

城市仿真从 2000 年开始到 2018 年已走过三个阶段，从 BIM（建筑信息模型 ）时代、CIM（城市信息模型）时代到现在的 DSM（数字地表模型）时代。BIM 能够

在微观层面上对建筑信息进行细致的描述和建模，将 GIS 与 BIM 融合，可以互相弥补不足。CIM 是由大场景的 GIS 数据+BIM 数据组成的，实现城市的数字化仿真。基于计算流体力学的严密理论，利用有关数据建立精确城市模型，根据气象数据设定准确的边界条件，综合考虑地形、气象、水文、建筑物、污染源等因素对现状以及发展趋势的影响，真实再现城市各种复杂现象，提供各种现象细节的有关数据，实现实时三维可视化。

（E）虚实交互技术

随着中国社会发展主要矛盾的转化及新型城镇化的转型升级，智慧城市虚实间的交互方式将更加复杂化和综合化。虚拟环境与现实实体的活动在智慧城市管理中应具有统一性，其交互过程追求互利、相互促进。未来智慧城市的运营会依托大量基于增强现实的虚实交互技术。AR 建立在虚拟环境与真实场景无缝融合的基础上，因而其交互过程更注重交互的情境与互反馈。基于 AR 的交互系统实现的关键技术有注册跟踪定位技术、虚拟信息绘制渲染及虚实场景融合显示技术，虚实场景融合作为其中的关键，与三维仿真技术相似，其难点不在于虚拟环境的逼真化表示，而是融合处理必须满足智慧城市对地理数据框架实时性的需求。

（F）三维可视化技术

三维可视化技术是基于游戏引擎、3DGIS 技术、混合现实技术，多层次实时渲染复杂三维场景，从宏观的城市场景到精细局部的微观细节，支持三维场景全域可远观、可漫游，观察距离从 32 千米到 1 米，实现对空间地理数据的可视化表达，对物理场景进行 1:1 还原，实现地上地下一体化、室内室外一体化、静态动态一体化。地上地下一体化基于地形挖开和侧面剖切的方式，对地下空间进行展示浏览的可视化功能。支持将地下地质模型、水体模型等上升到地表独立进行可视化查看，使地上地下三维场景既可以一体化展示，也可以独立化展示。室内室外一体化基于游戏引擎的流式关卡加载技术，快速高效地实现由室外至室内的一体化浏览。静态动态一体化在大范围静态三维场景下，支持人流、车流等各类智能交通体的动态模型可视化。

图 13-6：大场景到精细场景

图 13-7：地上地下

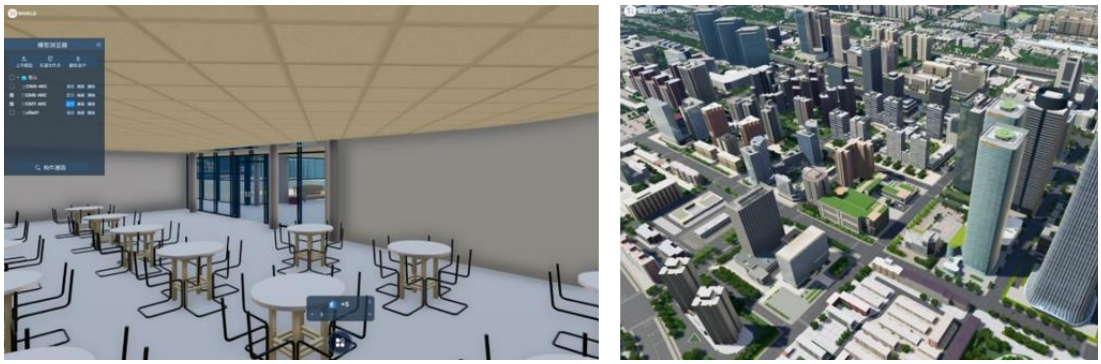


图 13-8：室内室外

图 13-9：静态动态

(4) 应用实践

（A）城市规划

城市规划是城市建设的重要依据，是城市管理的基础。它对一定时期内城市的经济和社会发展、土地利用、空间布局以及各项建设的综合部署、具体安排和实施管理规划具有方向性作用，是城市管理的龙头和城市发展的蓝图。

以总规、控规、详规为理论支撑，融合 GIS、栅格等二维数据，BIM、3Dmax 等三维数据，倾斜摄影、IoT 等动态数据，多粒度、多层级、全要素还原城市前世今生，整合用地规划、规划评估等业务于一体， 贯穿规划-审批-实施-监测预警的业务闭环，实现规划与实施的反馈联动与全过程量化决策。例如，城市信息模型（CIM）以三维模型为载体，通过对空间规划、城市设计空间要素的模拟以及对工程建设项目信息的录入、管理和应用，实现国土空间规划、城市设计以及工程建设项目全生命周期内的数字化信息应用和统一，从而实现城市规划建设精细化空间治理和高效管理。

（B）城市建设

城市建设以规划为依据，通过建设工程对城市人居环境进行改造，对城市系统内各物质设施进行建设，城市建设的内容包括城市系统内各个物质设施的实物行态，是为管理城市创造良好条件的基础性、阶段性工作，是过程性和周期性比较明显的一种特殊经济工作。城市经过建设后投入运行，为市民创造良好的宜居环境，保障市民正常胜过，服务城市经济社会发展，最终服务城市运行。

依托 BIM 强量化、语义化建模、可视化渲染、视频融合等技术，围绕人、机、

料等关键因素，整合工程报建、监督管理等业务于一体，还原城市建设现场，突破传统建筑施工现场参建各方现场管理的交互方式、工作方式和管理模式，实现安全、质量、进度、成本的结合，促进施工监管水平的全面提高。

（C）城市管理运营

汇聚城市各类感知数据、公共设施数据、人流量数据、视频监控数据、DEM、DOM、点云数据等，依托视频智能算法、GIS、大数据、系统动力学、区块链、物联网等技术，以重点人、重点区域、重点场所、重点事件为对象，构建城市自然管理、城市经济管理、城市社会管理和城市建设管理为场景的城市管理体系。

通过对城市的“呼吸”（城市生态、环境）、“脉搏”（城市车流、人流、物流、能源流）、“体温”（城市社会生活与政务、民生服务）等“生命体征”进行实时、全面、客观的态势感知、全面监测，研判城市运行的趋势和规律，及时发现城市潜在运行风险，助推城市的精细化治理。

13.1.3 数字孪生工业和智能制造技术

（1）概述

元宇宙目前很多，相对合理的说法是说数据孪生是元宇宙的核心，但是对于元宇宙目前的成熟度，大部分人认为元宇宙尚未到来，技术还谈不上尽善尽美，所以不妨让子弹飞一会儿。

笔者以为，把元宇宙作为一种理念，一种思维方式，按照基础设施能力有所显著提升的条件下，改进目前的数据孪生的水平，使其达到一种跨越式的显著改进，这种思路应该是一种可行的思路，而未来也是确定性较高的，预计的收益也巨大。同时强调这种场景显然不同于游戏，社交，而是立意上就定位在元宇宙赋能传统产业，所以可以探索前行。

（2）数据孪生的基本概念解读

一般意义上的数据孪生可以理解成物理世界在虚拟世界的映射，这种映射强调真实，例如说人的真实度，城市建筑的逼真性，地图的精确性等。而简化的数据孪生，例如一个人，出生就有身份证，产品从开始就有一个独立编号。而更为复杂，或者说专业的概念，如百度百科上的“数字孪生是充分利用物理模型、传

感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。”这段话十分拗口，其实简单点说，就是针对实物的机电产品或扩展产品或事物，例如航天的空间站、航空的飞机、铁路的机车车辆，甚至扩大化到城市、园区，对象也包括涉及环保、安全的如水、电、风、火等等，在其运营应用过程中，利用传感器同时采集数据（实际上总有轮询周期，只是周期根据要求高低等具体问题具体分析，确立最小采样间隔），采集数据的类型包括如温度、湿度、时间、地点，例如机床设备会有机床转速、进给速度等等，将采集到的数据进行建模，而这个模型与历史知识库、模型库、预置的数值进行对比、分析，从而判断事物当前的状态，假如当前的事物时处于工作状态的，则判断其是否正常，分析其寿命，判断其是否能完成当前的单位工作任务，如果不正常，或者不能完成后续任务，则需要进行相应的停止、维护、修理、更换工作。如果是停机状态，则分析其是否可以满足下一个运作周期的要求。

图 13-10：工业数字孪生

数字孪生首先主要应用在航空设备、机电设备，后期泛化应用到楼宇、园区、城市、能源、交通等。以及一些高要求领域，例如医疗；在政府治理中，例如环保、安全、应急等领域也得到了广泛的应用。稍微狭义一点分解数字孪生，则会有监控系统、状态维护、寿命预测三方面应用。

监控系统是以前叫的比较多的信息系统名称，如果狭义理解数字孪生，只是传输出数据，显然是不够的。监控系统采集的数据需要传输，需要存储，需要清

洗，这些工作都很重要。而数据传到到数据中台后，我们不能只展示原始数据，我们需要确立阈值，或者阀值，或者说临界值，来判断数据对应状态，也就是如设备是否正常，不正常的要转化出警告条目信息，或者在监控屏警告框显示。而这种警告、错误有的系统做得更为自动化，往往强调时效和闭环控制。例如强调时效性，传感器秒级采集，毫秒级采集。所谓孪生，通常理解为同时、或者实时，但是采集真正同时做不到的，频率高了，意味成本大幅度上升，甚至是跨越式上升。而目前的监控系统大多不是使能的，大多人看到问题，然后去安排处理。少量的监控系统带有自动化执行功能，甚至智能性执行功能。

监控系统主要侧重点在业务的运行，功能的情况，例如机床设备完成的产品数量；状态维护则主要是事物本身的状态，例如机床设备的状态，是不是存在故障。例如一个损耗件，目前的损耗量是多少，机床机油的量是不是到达警戒线。以往的设备维护模式主要是定期维护，或者出现故障的紧急维护。定期维护如果设定间隔过长，则风险高，时间过短，浪费资源，影响生产，而出现故障才维护，一般认为是意外，后果可能会比较严重。而随着信息化基础、理论、计算技术、相关业务知识积累，数据采集的种类、数量有所提升，时效性也更为及时，这样根据检测数据进行计算，可以更加有效地利用设备。

而寿命分析，可以说成是状态维护的进一步深化，计算的基础设施要求高，计算的时间长，有的则涉及系统出现一些异常问题的应对策略设计，因此往往需要人工的介入，系统需要更高的柔性。

前面的几种模式用个具体例子说明更容易理解。例如机车发动机有早期故障，以 180 公里时速行驶，继续行驶下去，缺陷越来越大，坚持不到下一站，会停在路上，这叫机破，发动机也损伤严重，修复成本大，难度大，费用高。现场救援麻烦。但是如果能及时发现早期故障，分析后，可以用 80 公里速度行驶到下一站，显然这样解决问题的投入就小很多。

而随着数字孪生概念的提出，越来越要求数据的种类、数量增加、数据更加精确，有的则更加强调人的视觉感受，例如城市的数据孪生。

图 13-11：物理世界和数字孪生

（3）数据孪生的发展

数据孪生的狭义就是物理实体，孪生出数据，有的则会有数据传输，而进一步发展，称为信息物理系统 CPS，信息物理系统的构成包括三个要素，通讯、计算与控制，具备使能能力，具备闭环控制能力。可以认为是数据孪生是信息物理系统的核心组成成为数据孪生。近阶段也有一个新名称诞生，就是 HCPS，这种模式则引进了真实的人，这样就更为完整。

从前述的内容来分析，主要是设备的应用状态，而从机电产品的生命周期而言，通常简单可以分为三个阶段，设计、生产和应用。那么对于数字孪生，设计与生产也有大量的应用。

在产品设计的时候，尚没有真实的产品，或者会先制造出小型样机，这种情况下，对于产品需要进行分析计算，那么相关的环境工况设定，往往是根据真实场景的虚拟映射来完成，这部分内容也可以说是数据孪生。例如一辆新型汽车，在真实如城市道路对应构建的虚拟环境下虚拟运行，实时产生新车的响应情况数据，这个和实物监控类似，根据采集到的响应数据，分析新车的性能指标，看不是达到设计要求，还有没有哪些要改进。

而在生产场景，出现了一个名词，称为产品指导生产，也可以理解成数据孪

生。例如一件衣服生产，以前是有工单，领衣料，根据工单进行生产。实际情况经常会出现领不到衣料，于是影响生产的情况。而按照产品指导生产的模式，则是，领衣料，或者流水线上流过来的衣料，衣料上附有衣料的二维码，工人用系统的扫描设备进行扫码，系统显示出加工工艺，这样指导生产。而生产结束后，再一次扫码，则衣物的生产完成信息则及时地输入到生产管理系统中了。这种模式对于多品种、小批量的生产形态更为有效。

（4）数据孪生与元宇宙的关系分析

11 月 2 日新华社发文表示，元宇宙是基于扩展现实技术提供沉浸式体验，以及

利用数字孪生技术生成现实世界的镜像。这个定义还是太狭义了。通常而言，元宇宙的概念中的虚拟数据包含两个部分，首先是存纯粹意义的虚拟数据，然后是数据孪生的数据，也就是实到虚的隐映射。显然缺少了一大部分。这些虚拟数据包括例如标准、规章制度，计算方法、规范等等，预测的场景等等。对照产品，例如设计阶段的三维模型，显然是没有实物进行对照的。然后分析数据的厚重度与意义，例如元宇宙强调沉浸感，真实体验，多种感官体验，多种交互模式，显然这些内容也是传统的数据孪生中没有的。而从场景看，目前元宇宙中的游戏，社交、虚拟营销等等，在传统的数据孪生中也不存在。

综合总结，数据孪生，强调由实到虚，继续虚到虚的转化，到可指导行为，而行为，就导致实的变化，进而又产生新的虚的数据。这样可以是开环 可以是闭环，也可以是，螺旋式上升。虚虚实实，虚实融合，可将其比喻成人的 DNA。所以可以简单理解为：数据孪生是工业元宇宙的一部分，当然也是元宇宙的一部分。

（5）从数据孪生发展到元宇宙

目前元宇宙的概念还相对空泛，目标也不够清晰，因此笔者经过与多位专家进行探讨，提出了一些观点，从目标、到要素及阈值，并与数据孪生进行对比。

目标设想：元宇宙提出的沉浸感、真实感、模拟身份、去中心化，新型社交模式等，很多具有科幻性，不确定性，价值与意义也不明确。而数字孪生更非常

务实，价值与意义明确。

笔者提出的有中国特色的元宇宙，包括了人，包括了创意，这样构成了执行单元，具备使能，因此不象数字孪生往往看待成纯粹意义的信息化系统。

元宇宙包含、管理内容更为完整、流程化、精细化、精确化，例如以工业为例，以往通常说设计、生产、应用三个阶段，而工业元宇宙可以细化除前述外包括：此意过程、工艺设计过程、检测过程、仓储与运输过程、项目验收过程、改进与革新过程等、总结与知识积累等。

单元技术的深化。以监控的角度说明，展示的内容不仅仅是所谓简单的复刻，更要强调利用使用增强现实，让人更好地觉察到系统的异常。这里沉浸感只是其中一个要素，而考虑让你的响应时间、操作速度等内容，将使监控的水平提高到一个显著改进的层级。

集成化技术。元宇宙涉及的各种技术、场景、应用更为繁杂，更为讲求要素之间的数据架构，模型，接口等内容，强调大集成能力。

元宇宙有一种提法是未来的场景，也就是基础设施还需要大幅度地提升，例如有人提出，因为网络能力不足、数据流量不足，所以 VR 眼镜的信息展示存在缺陷，还有头盔太重，用户往往使用 15 分钟就会出现眩晕状态。

元宇宙涉及很多文化、规章制度、风险、安全等内容。数据孪生则相对技术化。

小结起来，就是元宇宙的理念更为高远，那么利用元宇宙概念下的成熟技术，以及目前已经进入探索阶段的技术、设施等，针对具体的数据孪生系统，提出显著提升的功能要求来规划改进，综合实现采集提升，传输能力，计算能力（包括虚拟展示能力），控制能力，执行能力，虚实结合能力(这个是一大重点)，然后整合起来，实现总体的能力得到显著改进，甚至说革命的水平。

有一句话叫未来已来，只是未能普及。那么大力推进元宇宙概念下的相关先进技术，在新兴技术、基础设施已经有所改善的环境下，显然具备很高的可行性。另一概念就是一些萌芽状态的先进技术，可以集中起来，针对一些典型的场景，构建一些样板性项目，从而实现对未来的引导作用。

（6）目前通常存在的问题及实施案例

就目前而言，我国的生产、生活、学习场景下，需要应用数据孪生，乃至需要应用元宇宙级的数据孪生显然十分必要。例如，在生产现场经常出现小老广问题，也就是小问题、老问题、范围很广，具体的如很多实物没有标签、过程没记录、 记录不完整，正确性不足、很多重要数据填报不及时、系统不闭环、数据混乱、数据不足，不足以恰当展现事物现状及寿命状态，模式需要改进，甚至是企业、产业需要升级，园区需要腾笼换鸟。

而从实施数据孪生，并将数据孪生进入元宇宙模式的意义而言，在此仅举三个案例。化工领域的油气井生产中，以往的模式是每天检查一次出油量，如果有异常则安排人员到现场处理。而实现油田数据孪生系统后，可以分钟级地查看油田的生产状态，这些信息包括数字信息，例如温度、湿度、压力、流量等，也可以包括是否有牲畜进入围栏的照片、影像等。这种模式提高了油气田管理的时效性，精确性。平均一个地块可以达到 1.4%~4%的产量提升，而按费用计算，一年的投入不足 2 万元，而原油增产价值高于 10 万元，显然效果显著。（数据来源：山东天工石油装备有限公司）

一个地区的老百姓意见很大，认为饭店酒店不卫生，采购的材料是否新鲜，厨师是否健康，后厨是否干净，是否有地沟油，是否有剩菜回用等等，每天市长投诉电话不断。于是地区决定实施饭店、酒店的监控系统，摄像头安装在后厨，摄像头采集数据后，数据传递到中控室，而中控室设置在食品药品监督*管理*局，老百姓可以利用手机、计算机远程查看。结果项目实施后，后厨卫生管理明显改进，老百姓认为政府做了一件实事、好事。

类似的，一个地区出现过环保恶性事件，一些群众到市政府前抗议。地区政府实施环保监控系统，增加了采集设备的数量，对于重点单位、地点进行了全覆盖，数据统一采集到环保局中控室。而中控室是普通老百姓可以直接进入的，而正因为百姓可以自由地进入，起到了监督作用。偶尔发生环保不良事件，中控室环保局工作人员必须快速处置，最终地区环环境得到了明显改善。

（7）结语

信息不对称是一种常态，理念在改变、技术在升级、基础设施也在革命性地

提升。以往很多以为高不可攀的先进技术，实际已经可以进入到普及阶段。例如计算机的计算能力提升、图卡显示能力提升、大尺寸平面、大屏、5G 网络等等，这些提供了技术保障。同时一些新的模式，例如众筹采购、租用模式，地区公共服务等降低了成本。这就为新兴技术的普及提供了可能。同时供应商、客户也在不断地提高要求，现在的市场竞争也进入了全球化，企业也需要大幅地提升业务水平、技术水平、产品水平、应用服务能力，从而把创新水平、生产管理水平、物资能源利用水平、环保安全监控水平提到一个更高的层级。而一些新兴的技术也需要重点突破，构造样板场景，样板产品、样板应用，从而促进数字经济相关产业蓬勃发展。

新兴技术的推广与深化应用需要正确的观念，需要多方都以积极的态度参与，以改进的目的去做事，这样才能用确定性去应对不确定性。利用政府的政策、金融领域的投资、研究机构、教育机构的研究和人才培养、智库的策划等要素，把下一代版的数据孪生推进到探索实施阶段，也就是元宇宙初级阶段，为今后的全面发展树立起灯塔，构造出一个又一个历程碑，显然具有重要意义。

13.1.4 数字孪生航空航天技术

（1）元宇宙对航天的影响

如果说互联网大大提升了信息资源的效率，元宇宙则进一步将虚拟世界连入了物理世界，实现多资源再优化分配，生产效率再提升，能够“重塑世界”。对航天领域的影响具体体现在以下几个方面。

一是劳动力生产效率将得到提升。后疫情时代，居家办公成为常态，办公场所信息系统通过与家庭信息系统连接，借助 AR、AI 技术，实现信息在线处理，员工间交互与专业会议随时召开，航天办公场所将与生产场所互通，极大便利了各厂所单位沟通协调。多类型沉浸式航天器设计软件的开发也会大大提高设计和生产速度，降低航天器成本。

二是土地等物理资源将得到扩充和连接。数字土地是平行的“数字世界”在原有地理空间维度上的拓展，使土地资源的内涵在虚拟维度得到扩充，空间得到复用。尤其是在首都非核心功能疏解的大背景下，航天用地审批将更加困难，办公场所的多维度扩充，将会牵引相关技术发展和虚拟经济增长。

三是数字资产的丰富会引导资本再分配。随着数字世界中劳动价值的创造，会首先引起数字资产的分配，由于现实世界中的资产可以通过元宇宙进行转化，将会引起现实资本的再分配。

四是智力资源的普及和平台化。在元宇宙中，人将获得多种身份投射，智力资源（包括领域专业人士，AI，以及算力等）既能够应用在现实世界中，同时基于 AI、云、XR 等技术，教育传播和具象化教学将会普及。航天相关知识可能出现门槛降低的情况。

五是数据资源的交易、开放与管理被提上日程。借助通信技术的发展，信息速度和稳定性大幅提高，精准高效提供更多维度的个性化服务，有利于数据获取和确权，也能够正确引导数据交易的透明和公开性。航天发展多年，累积了大量的空间数据优势，数据资源交易的发展也将带动和挖掘更多的国际潜在用户。

（2）数字孪生技术对航天技术的推动作用

当前航天产业正快速向市场化、商业化发展，在数字孪生技术赋能下，其设计模式和产业格局也将发生系列变化。数字化航天是航天领域未来发展的重要方向，“数字孪生技术”作为重要突破口，将会扩大航天产业的高技术优势。

一是大力推动设计研发向数字工程化靠拢。现代航天工程越来越复杂，传统设计方法不能满足高时效、快节奏的设计需求。数字孪生概念的出现为提升工作效率提供了新的思路。数字孪生使用原始经验数据，通过进行虚拟测试与验证，及时发现设计缺陷并加以修改，避免反复迭代设计所带来的高昂成本和漫长周期。使用全面虚拟化设计的任务模拟与智能计算进行航天器设计，通过任意设定需要考虑的组件、物理量、边界和模型，通过大容量计算终端进行分析反馈确定的直观结果。

二是推进制造装配面向并行低成本化演进。在进行飞行器各部件的实际生产制造时，建立飞行器及其相应生产线的数字映射系统，可以模拟和跟踪其加工状态，并通过合理配置资源减小停机时间，从而提高生产效率，降低生产成本。这将大幅降低商业航天群智能卫星生产和发射成本。

三是发展智能精准化在轨智能监测与维护服务技术。利用飞行器的智能场景构建的元宇宙天地一致性并行空间飞行器系统，可以实时监测和推衍系统损伤状

态与趋势，并结合智能算法实现模型的动态更新，提高故障预示推演能力，进而指导优化维护调度、提高管理效能。

13.2 人工智能技术

随着科技的发展，人类在逐步研究大脑的工作机理和智能的产生过程，在这一过程中人工智能技术应运而生。时至今日，人工智能技术已经成为现代科技的一个制高点，国家发展的重大战略。

随着元宇宙这一概念的提出，为人工智能技术的发展提出了一个新的目标。人工智能技术为元宇宙中的核心技术（如 VR/AR 技术、数字孪生技术和区块链技术）提供了强大的驱动力。

表 13-2：人工智能技术与元宇宙核心技术的关联

元宇宙核心技术	人工智能相应的驱动技术
VR/AR	计算机图形、计算机视觉、机器学习、多模态融合
数字孪生	统计计算、大数据分析、知识图谱、计算机视觉、机器学习、自然语言处理、人机协同计算
区块链	智能合约

13.2.1 全球人工智能技术总体发展态势

1956 年，John McCarthy、Marvin Minsky、Nathaniel Rochester 和 Claude Shannon 等首次提出了“人工智能”这一术语，标志着“人工智能”这门新兴学科的正式诞生。二十世纪六十年代，以模式识别、专家系统为代表的人工智能技术掀起了第一次人工智能技术浪潮。二十世纪七八十年代，人工智能的第二次浪潮产生了以框架知识表示和知识库为代表的新一代人工智能技术。其后的二十世纪九十年代，以支持向量机和语义网络为代表的人工智能技术进一步夯实了人工智能技术的发展基础。2005 至今，以深度学习和知识图谱为代表的技术进一步

触发了人工智能技术第三次浪潮。

人工智能技术不仅仅在学术界引起了空前的关注，也进一步在企业界中产生了大量应用需求。美国 McKinsey 公司 2020 年 11 月的调查报告显示：50%的受访者表示，他们的公司至少在一项业务功能上使用了人工智能技术。随着元宇宙概念的提出，人工智能技术继续在 AR/VR、数字孪生和区块链技术上持续发力。

在 AR/VR 技术上，人工智能等技术将在未来改变增强现实和虚拟体验，进一步深入到日常办公和生活中，逐步打造虚拟的工作场所并模拟完全互动的办公环境。

在数字孪生技术上，人工智能技术将进一步加快智慧城市的发展。利用虚拟仿真技术将城市中的建筑和设施完整、详尽的呈现出来，结合人工智能技术的诊断、预测和决策能力，实现真实世界的数字孪生展示并进行合理优化。

在区块链技术上，人工智能技术将与区块链技术进行深入融合，建立新型社会信用体系，最大限度降低人际交往成本和风险。

13.2.2 国内人工智能技术总体发展态势

国内人工智能技术紧跟美国的脚步，虽然在科研水平上与美国还有一定的差距，但在人工智能技术的落地应用上已形成一定的产业优势。国家为提高人工智能技术的发展水平，颁布了一系列的政策。2020 年 8 月 5 日，中国标准化管理委员会、中央网信办、国家发展改革委、科技部、工业和信息化部，五部门联合印发《国家新一代人工智能标准体系建设指南》。该指南提出了具体的国家新一代人工智能标准体系建设思路、建设内容，并附上了人工智能标准研制方向明细表，在国家层面进一步规范了人工智能的应用体系，明确了其发展方向。

在 AR/VR 技术上，《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江省数字经济发展十四五规划的通知》中提出推进“5G+工业互联网”、“5G+虚拟现实/增强现实（VR/AR）”、人工智能物联网（AIoT）、“区块链+物联网”等融合创新产业化，构建“硬件+软件+平台+服务”产业生态。

在数字孪生技术上，2020 年 4 月，国家发改委印发《关于推进“上云用数赋智”行动，培育新经济发展实施方案》中，方案提出要围绕解决企业数字化转型所面临的数字基础设施、通用软件和应用场景等难题，支持数字孪生等数字化转型共性技术、关键技术研发应用，引导各方参与提出数字孪生的解决方案。2020

年 9 月 11 日，工信部副部长强调，要前瞻部署一批 5G、人工智能、数字孪生等新技术应用标准。

在区块链技术上，国家科技创新 2030 战略中新增“新一代人工智能”重大专项，并于 2017 年 7 月经国务院发布《新一代人工智能发展规划》，其中具体指出，“充分发挥人工智能技术在增强社会互动、促进可信交流中的作用，促进区块链技术与人工智能的融合，建立新型社会信用体系，最大限度降低人际交往成本和风险”。

13.2.3 人工智能核心技术演进概述

（1）核心技术：机器学习

机器学习技术研究的是人类的分析和推理能力，是现代人工智能的基石，几乎大部分的人工智能应用都采用了机器学习/深度学习方法实现从数据中学习和发现特定的模式。其基本过程如下图所示。首先，在训练过程中通过机器学习算法学习输入数据中隐含的特征和模式，进而将数据模式表征为对应的模型；其次，在测试过程中通过模型分析给定样例所体现的特征与模式并输出结果。

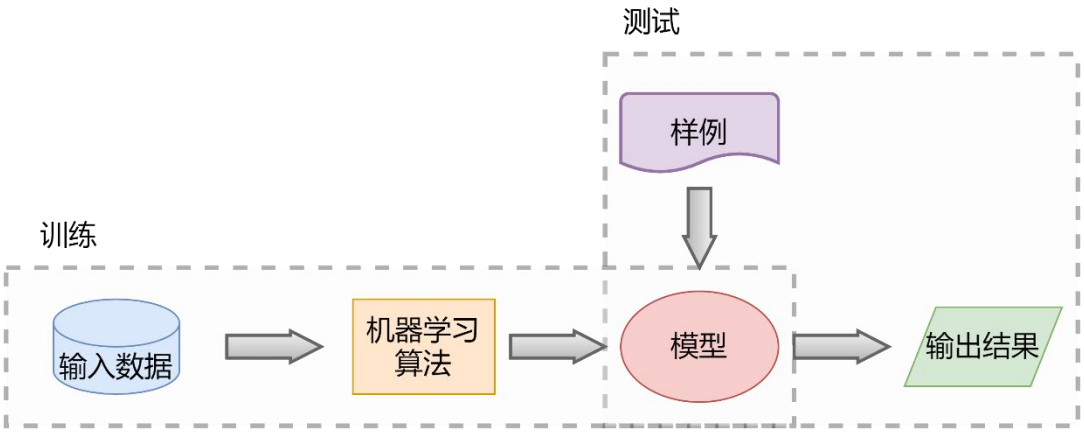


图 13-12：机器学习的基本过程

在元宇宙中，虚拟世界与现实世界的人和物将产生大量的数据，通过利用机器学习技术的学习能力，可以有效分析数据中的特征与模式，从而构建虚拟世界与现实世界的元智能，实现高效的人机协同和管理。

虽然目前机器学习/深度学习技术对构建元宇宙中的元智能具有重要的作用，但目前该技术还未能将弱人工智能提升到强人工智能。其原因在于目前的技术主

要通过对数据分布的拟合来实现数据模式的分析，尚不具备对数据进行抽象和归纳的能力。

为解决上述问题，国内外研究机构纷纷对机器学习/深度学习的逻辑推理和知识表征能力进行研究，从而构建对数据具备抽象、归纳和推理能力的机器学习方法。

（2）核心技术：计算机视觉

计算机视觉技术研究的是人类的视觉感知和分析能力，是现代人工智能的重要研究领域，目前比较著名的人工智能应用大都出自该领域，如：人脸识别、无人机、无人驾驶等。其基本过程如下图所示。首先，通过机器学习或特征抽取算法将图像和视频中的特征进行表征，并构建计算模型；其次，通过模型分析图像和视频中的视觉特征并输出结果。

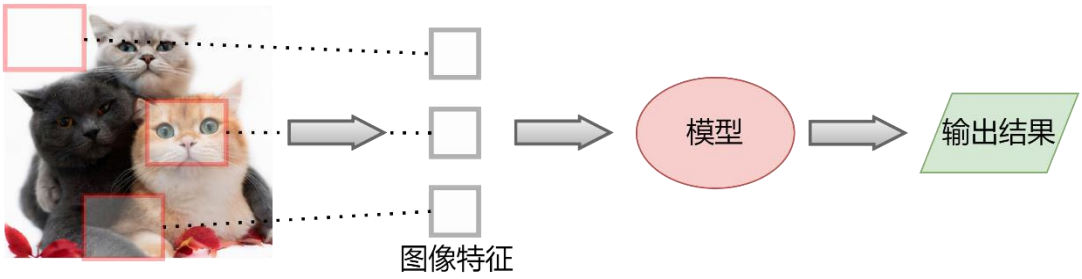


图 13-13：计算机视觉的基本过程

在元宇宙中，虚拟世界与现实世界的人和物的构建和识别将大量使用到AR/VR 中的计算机视觉技术，从而构建虚拟世界与现实世界的数字孪生系统，实现元宇宙的视觉物质基础。

目前针对 VR/AR 的计算机视觉技术普遍计算量大，算法涉及大量的并行计算，而专用的 GPU 等硬件设备在还存在发热量大等问题，因此还无法构建低延迟、高沉浸的虚拟视觉世界。

为解决上述问题，国内外研究机构纷纷将计算机视觉相关的核心算法植入人工智能芯片，通过大量的计算核心实现大规模的并行计算，从而提升计算速度降低计算延迟，并进一步提高沉浸式的视觉体验。

（3）核心技术：自然语言处理

自然语言处理技术研究的是人类的语言感知和分析能力，是人工智能标志性的研究领域，著名的图灵测试就需要被测试的机器具有一定的语言理解和分析能力。经典的自然语言处理基本过程如下图所示。首先，通过语料预处理和特征向量化将语料中的句子表征为可计算的张量；其次，通过语言模型学习算法学习张量中体现的语言模式，并构建计算模型；最后，通过模型分析样例中的句子信息并输出结果。

图 13-14： 自然语言处理的基本过程

在元宇宙中，无论是虚拟世界还是现实世界，人与人、人与虚拟人、虚拟人与虚拟人之间的沟通大都是通过语言文字形式进行表达，通过利用自然语言处理技术的语言学习能力，可以有效分析虚拟世界和现实世界中的语言信息，从而构建虚拟世界与现实世界的智能语言信息处理能力，实现元宇宙中的跨宇宙沟通与语言信息服务。

自然语言处理技术对构建元宇宙中的语言信息服务具有重要的作用，但目前该技术还未能实现真正的语言理解。其原因在于目前的技术主要通过对文本语料的统计分析来构建语言表征模型，而语言的复杂性和多样性使得小概率的语言模式难以有效学习。

目前，国内外研究机构试图通过两种方式来解决上述问题。一种是从数据的角度出发，构建大量的语言文本语料和深度语言模型，其中代表性的就是 GPT 模型。另一种是从知识层面抽象语料中的概念，构建基于知识图谱的语料表征模型，从而构建对文本信息具备知识抽象、归纳和推理能力的语言模型。

(4) 核心技术：人机协同计算

人机协同计算技术研究的是人类的群智行为能力，是人工智能重要的研究领域，未来的人工智能将组合人与机各自的优势，实现高度的人机协同统一。人机协同计算的基本过程如下图所示。首先，人对环境做出人类决策；其次，可穿戴式设备经过对环境的分析做出 AI 决策；最后，通过混合决策模型融合人类决策和 AI 决策输出最终结果。

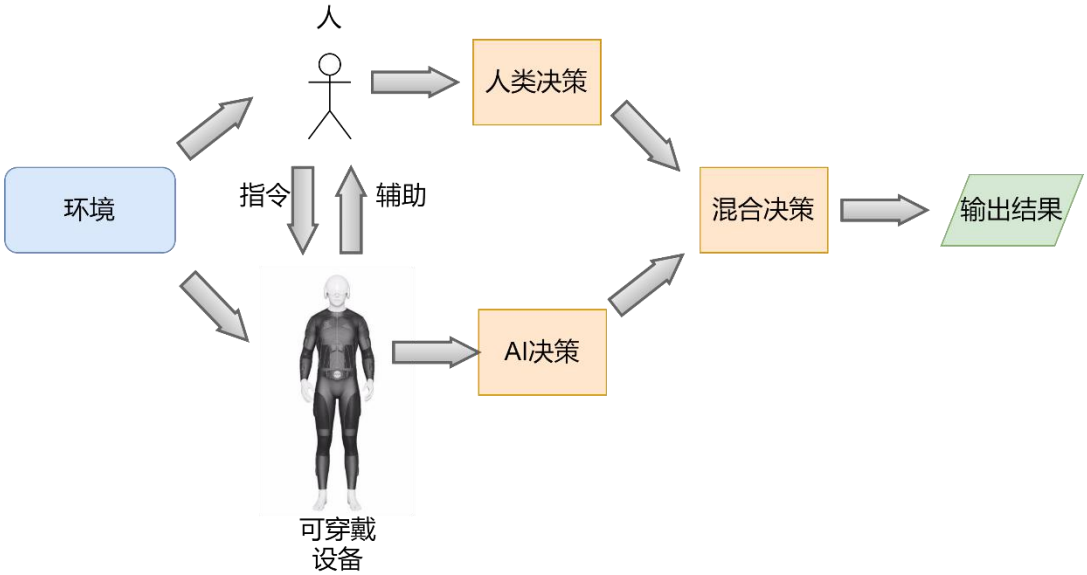


图 13-15： 人机协同计算的基本过程

在元宇宙中，要实现虚拟世界与现实世界的互通，必然通过人机协同计算构建人机协同的虚拟环境以及真实环境的感知与决策，通过人、机、物异构群智能体的有机融合，利用其感知能力的差异性、计算资源的互补性、节点间的协作性和竞争性，构建具有自组织、自学习、自适应、持续演化等能力的元宇宙智能感知计算空间，从而实现虚拟世界与现实世界相同的环境感知和沉浸式体验。

人机协同计算技术对构建元宇宙中的环境感知具有重要的作用，但目前该技术存在异构群智能体人机物协同效率低的问题。其原因在于目前的技术主要面向单一群体间协作，缺乏异构智能体间的协作机理的指导。

目前，国内外研究机构探索生物集群协同机理与异构群智能体间高效协作的隐含关联和物理映射机制，发掘人机物高效协同机理。如：研究蚂蚁、蜜蜂、鸟、鱼等生物群体的形成和演化机制、集体行为机制、自组织和自适应方式、群体决策

模式等。

13.2.4 元宇宙中的智能语音技术

在现实世界里，我们最常见的沟通和情感表达方式都是通过语音来实现的。随着科技的发展，也延伸出来大量智能化的软硬件系统，以服务于我们的日常生活和工作。智能语音交互作为人机交互的重要方式，除了能听会说地进行简单的问答，我们更希望未来智能语音能真正地倾听我们的需求，并给予情感上的反馈。

在元宇宙里，语音交互方式不仅能得到平行应用，而且会凸显出其更加重要的地位，包括人与人、人与环境、人与物的互动。特征识别相关的智能语音技术，包括声纹识别、性别识别、年龄识别、情绪识别等；语音内容生成相关的语音技术，包括语音合成、歌声合成、语音翻译等；与语音内容识别相关的语音技术，包括语音识别、语音唤醒、声源分离、场景识别、语音去噪等。语音识别和语音合成技术将在下文进行重点描述。

（1）语音识别

元宇宙拉近全世界各国人们的距离，可以做到人与人之间随时随地开启语音沟通模式。沟通的双方可能来自于现实世界中的不同角落，也可能是某个人来到了另一端全新的虚拟世界里，人们与环境沟通，与各种应用的沟通，以满足其在物质与精神生活的需求。

在人机交互过程中，首要解决的问题是，如何让沟通双方能听清听懂对方所说的话，这就需要自动语音识别技术的支持。语音识别是涉及声学、语言学、信号处理、数学、计算机科学等多个学科的交叉学科，是如语音检索、智能问答、机器翻译、语音转写等应用的前提。当今信息社会的高速发展迫切需要性能优越的，能满足各种不同需求的自动语音识别技术。但是，这样的目标面临着诸多困难，如：

① 语音信号会受到上下文的影响而发生变化；

② 发音人以及口音的不同会导致语音特征在参数空间分布的不同；

③ 同一发音人心理和生理变化带来的语音变化；

④ 不同的发音方式和习惯引起的省略、连读等多变的语音现象；

⑤ 环境和信道等因素造成的语音信号失真问题。

语音识别技术在元宇宙中的应用也存在同样的问题。元宇宙是所有人的数字化世界，接纳世界上所有的人，这就需要语音识别技术支持所有国家的官方语言，进一步还需要考虑官方语言之外的各个地方语言。要做到流畅地沟通，我们需要在听清对方发音的前提下，具备听懂对方语言的能力。借助语音识别技术，极大地降低了沟通成本，消除了沟通障碍。这里首先需要做的工作，即说话人的语音转换为对应的语言文字，随着再翻译为听者能够听懂的语言文字，进一步通过说话人的音色合成出对应的语音出来。

语言和语音也是文化传承和风土人情传播的载体，目前世界所有国家政府都展开了语言资源的保护。但这是一项艰巨的浩大工程，需要收录足够多的准确的语言文字及对应的语音数据资源。目前国内主流的语音识别厂商主要解决中英语言，以及主要的几大方言的语音识别，较少地考虑更多地域的方言变种。其结果，就是带来识别准确率不高的问题，影响下一步的语义理解，可能直接导致语音交互的失败。理论上，世界上所有语种的语音都可以通过技术手段来识别，按照国际注音方法（IPA），每个口型下的发音都有对应的注音符号。但遗憾的是，并不是所有语言都对应有文字。这就使得即便我们实现了该语种的语音识别，我们依然无法进行接下来的文本的语义理解，无法提供智能化的语音交互能力。幸运的是，随着社会发展进步，人们受教育程度愈来愈高，全世界的儿童小孩都在接受世界教科文组织认可的语言和文字。在国内，新生代的普通话和英语口语水平明显高于老一辈，我们只需要做好主流语种就能覆盖到人群的 90%以上。但这带来的问题，将会是有些语种因为它的不通用，以及元宇宙的不支持，将逐渐消亡，地道的家乡味越来越缺乏。

语音识别除了语种问题，要大量的语音数据用于训练预料，还要考虑实际应用过程中不同人群的发音问题，比如老年人发音时可能的口齿不清，儿童宝宝发音可能的口嘴不灵利等问题。目前语音识别技术 SOTA 水平，通常需要长达数万小时的各类应用场景的语音数据作为训练预料。当前技术还存在很多不足，如对于强噪声、超远场、强干扰、多语种、大词汇等场景下的语音识别还需要很大的提升；另外，多人语音识别和离线语音识别也是当前需要重点解决的问题。虽然语音识别还无法做到无限制领域、无限制人群的应用，但是至少从应用实践中我们看到了一些希望。

①语音识别技术原理

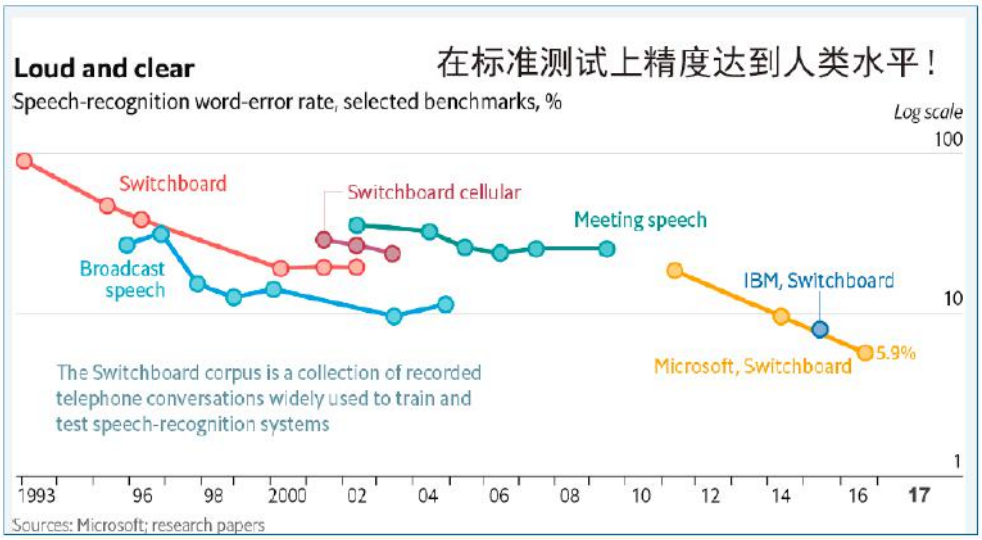


图 13-16：语音识别精度

上图是从 1993 年到 2017 年在 Switchboard 上语音识别准确率的进展情况，从图中也可以看出 1993 年到 2009 年，语音识别一直处于 GMM-HMM 时代，语音识别率提升缓慢，尤其是 2000 年到 2009 年语音识别率基本处于停滞状态；2009 年随着深度学习技术，特别是 DNN 的兴起，语音识别框架变为 DNN-HMM，语音识别进入了 DNN 时代，语音识别精准率得到了显著提升；2015 年以后，由于“端到端”技术兴起，语音识别进入了百花齐放时代，语音界都在训练更深、更复杂的网络，同时利用端到端技术进一步大幅提升了语音识别的性能，直到 2017 年微软在 Swichboard 上达到词错误率 5.1%，从而让语音识别的准确性首次超越了人类，当然这是在一定限定条件下的实验结果，还不具有普遍代表性。

当前的语音识别技术框架主要为以下几个模型组成：声学特征提取、声学模型、语言模型等。

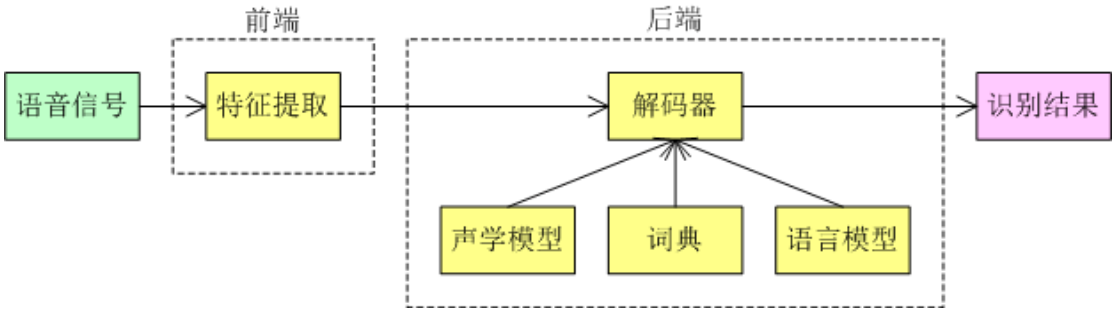


图 13-17：语音识别技术框架

① 声学特征提取

首先从输入的语音信号中，提取出合适的声学特征参数供后续声学模型训练使用。需要考虑以下三个方面的因素。第一，应当具有比较优秀的区分特性。以使声学模型不同的建模单元可以方便准确的建模。其次，特征提取，既需要将信道、说话人的因素消除，保留与内容相关的信息，又需要在不损失过多有用信息的情况下使用尽量低的参数维度，便于高效准确的进行模型的训练。最后，需要考虑鲁棒性，即对环境噪声的抗干扰能力。

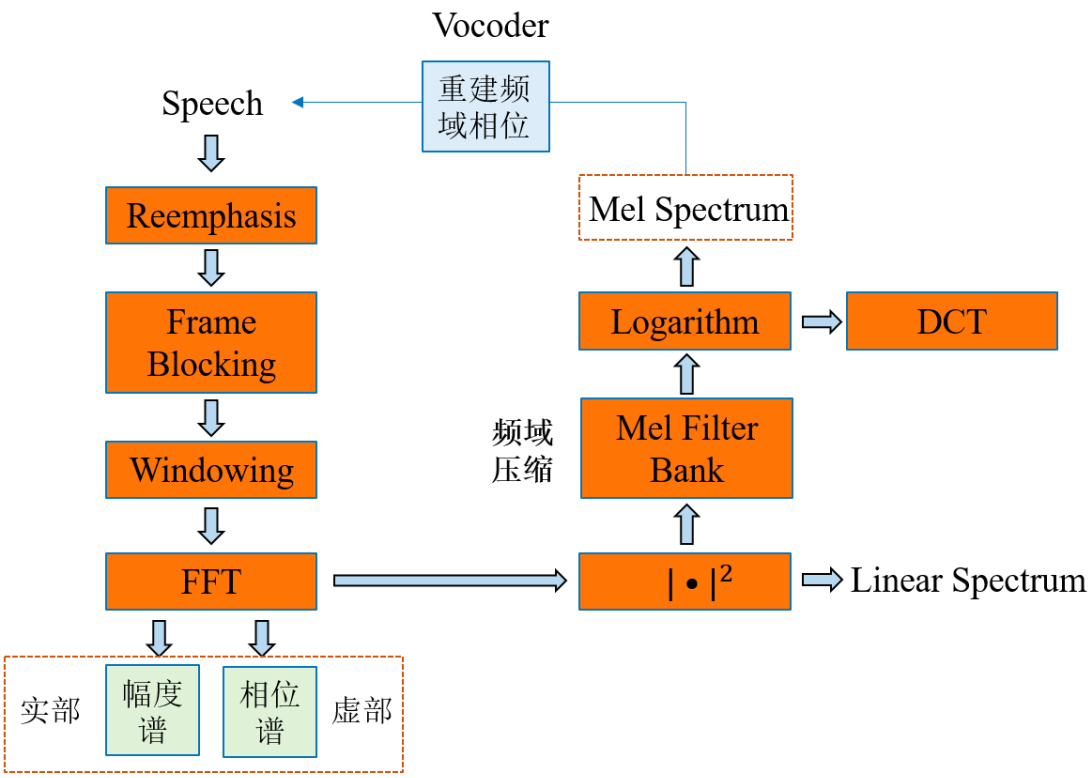


图 13-18：声学特征的提取流程图

② 声学模型

声学模型是将声学特征和语言特征之间建立映射的过程。在端到端声学模型中，输入一段语音（以帧为基本单位），输出对应的文本（以音素或字词为基本单位），两端数据都处理成规整的数学表示形式。

端对端学习需要考虑的首要问题也是输入输出的不定长问题。对于输入，可以考虑将不同长度的数据转化为固定维度的向量序列。输入分帧逐次进入模型，使用基于注意力（Attention）的网络结构可以将积累的历史信息在最后以固定维度一次性输出。对于输出，往往要参照输入的处理。先考虑输入长度不做处理

的情况，此时输出的长度需要与输入保持匹配。因为语音识别中，真实输出的长度远小于输入的长度，可以引入空白标签充数，这是 CTC（Connectionist Temporal Classification）损失函数常用的技巧。然后再根据这个向量解码出一个文本序列（真正实现时，每次解码出一个词，其针对输入的注意力权重有所差异和偏重），此时输出的长度便没有了参照，则需要其他机制来判断是否结束输出，比如引入结束符标签，当输出该标签时便结束输出。

当前研究人员提出了一套结合 Transformer 家族的编码器和流式 Transducer 框架的解决方案，可以平衡识别推理中准确率、实时率、延迟问题，也很好地兼顾模型训练开销问题。RNN Transducer (RNN-T)为流式 ASR 提供了一种自然的方式，因为它的输出条件取决于先前的输出标签和直到当前时间（即帧）的语音序列。这样一来，它也去掉了 CTC 的条件独立性假设。凭借天然的流式处理能力，RNN-T 成为业界最受欢迎的端到端模型。

③ 语言模型与语言处理

语言模型包括由识别语音命令构成的语法网络或由统计方法构成的语言模型，语言处理可以进行语法、语义分析。

语言模型对中、大词汇量的语音识别系统特别重要。当分类发生错误时可以根据语言学模型、语法结构、语义学进行判断纠正，特别是一些同音字则必须通过上下文结构才能确定词义。语言学理论包括语义结构、语法规则、语言的数学描述模型等有关方面。目前比较成功的语言模型通常是采用统计语法的语言模型与基于规则语法结构命令语言模型。语法结构可以限定不同词之间的相互连接关系，减少了识别系统的搜索空间，这有利于提高系统的识别。

②未来语音识别技术的几个方向

① 低资源语音识别

方言、少数语种、特定场景的音频获取和标注都非常困难（音频数据一般成本在 200-500 元/小时，一些敏感场景或者稀有数据甚至无法获得），如果解决低资源语音识别将极大降低算法落地成本。

② 鲁棒性语音识别

语音信号多变性受到信源和信道影响，例如口音、高噪声、语音混叠等因素严重影响语音识别效果，如何确保语音识别系统在复杂声学环境稳定的性能？当

前一些思路，前端做信号处理；如会议室这类复杂声学环境可通过 Beamforming、AG、NoiseCanceling 等算法提高信号质量从而改善后端识别效果；但问题依旧未完全解决。

③ 个性化语音识别

模型根据用户行为习惯自适应，针对性地提高个体识别效果；当然，这需要一个前提条件“用户的数据和隐私得到有效的保护”。

④ 完全端到端的语音识别

目前端到端的方法通常是考虑声学和语言模型的同时优化；如果能进一步，“同时优化信号处理、特征表示、声学模型、语言模型”，那么这种完全端到端方法的建模能力和鲁棒性将会更强。

自从十年前采用基于深度神经网络 (DNN)的混合建模以来，自动语音识别(ASR) 的准确率得到了显着提高。这种突破主要是使用 DNN 代替传统的高斯混合模型进行声学似然评估，同时保留声学模型、语言模型和词典模型等所有模块，进而组成了混合 ASR 系统。最近，研究人员通过从混合建模过渡到端到端（E2E）建模有了新的突破，新方案使用单个网络将输入语音序列直接转换为输出标记序列。这样的突破更具革命性，因为它推翻了传统 ASR 系统中已经使用了几十年的模块式建模。

端到端模型比传统的混合模型有几个主要优点：

首先，端到端模型使用与 ASR 目标一致的单一目标函数来优化整个网络，而传统的混合模型单独优化每个模块，无法保证全局最优。并且，端到端模型已被证明不论在学术界还是在工业界都优于传统的混合模型。

其次，由于端到端模型直接输出字符甚至单词，大大简化了语音识别流程。相比之下，传统混合模型的设计复杂，需要大量 ASR 专家经验知识。

最后，由于端到端模型采用单一网络，比传统的混合模型更加紧凑，因此，端到端模型可以部署到高精度、低延迟的设备上。

虽然端到端模型在语音识别准确率方面达到了最优的效果，但大部分商业 ASR 系统仍然采用的是混合模型，因为语音识别准确率并不是影响 ASR 系统的唯一因素。影响商业模型部署决策的实际因素有很多，例如流式音频、延迟、自适应能力等。

（2）语音合成

在元宇宙里，在脑机接口技术成熟之前，人们接收信息的主要还是依靠眼睛和耳朵。我们除了听到真人说话，还会有其它的语音，包括 NPC、虚拟化身、智能问答、语音内容等。这都是语音合成的技术自动地将文本转化为听者能听懂的语音。人们除了在元宇宙中与外界沟通用到语音，人们的日常生活和工作也需要大量的语音内容。语音本身，除了传递信息外，还有情感和身份属性。人们对语音有特别的要求，比如我们在听新闻时，希望是字正腔圆的标准播音员的声音。我们在听有声小说时，希望听到与故事情节一致的情绪起伏的声音。在语音助手时，希望声音是甜美温柔的。而且，现实世界中的声音控在元宇宙中依然存在。也就是我们对语音合成技术有更高的要求，不仅要合成出与真人无差异的语音，还要真实自然、富有情感。语音风格要与应用场景相一致，音色需要让用户满意。

元宇宙中，每个用户都能充分地将自己的现实世界中的个性无限制地展现。人们除了要有自己的形象，也要有自己的声音。但面对所有用户要配备一个与自己无差异的声音时，这就对语音合成技术提出了巨大的挑战。每个 NPC、虚拟化身不可能会配合提供大量的语音数据，这要解决少量语音数据的声音克隆问题。还需要让每个人的声音都带有丰富情感，需要有情感迁移和情感强度控制的支持，并且需要让自己的声音说出自己从未学习过的语言。除了语音合成外，还需要给每个虚拟个体赋予充分的语音天赋，让每个音色都能吟诗唱赋。一个人只需要说几句话，就能用他的音色唱任何歌曲。

当然，并不是每个人都愿意将自己的声音原原本本地展现出来，还有一部分人希望自己在元宇宙里用别人的声音，包括在自己声音的基础上进行变声或美声，也包括直接将自己的声音转换为某一个具体人（明星或 IP 卡通）的声音的语音转换。

（A）语音合成技术原理

语音合成技术的本质是将文本信息转化成语音信息的过程，通常包括三个核心模块：语音合成前端、声学模型、声码器。语音合成前端，亦称为文本预处理，为中文文本添加韵律信息，并将汉字转化为注音序列。声学模型，根据文本前端输出的信息产生声学特征，如：将注音序列映射到梅尔频谱或线性谱。声码器，利用频谱等声学特征，生成语音样本点并重建时域波形，如：将梅尔频谱恢复为

对应的语音。

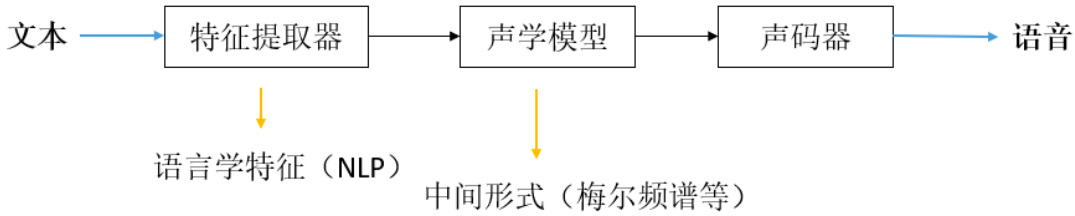


图 13-19：将梅尔频谱恢复为对应的语音

① 语音合成前端

将文字转换为语言特征的过程，当前主要采用传统的机器学习方法 CRF 或通用的语言模型（如 Bert），对前端中的 TN、分词、词性预测、多音字（包括轻声、儿化音等）消歧、韵律预测、情感预测。需要持续结合场景应用的数据进行场景化的技术迭代，会涉及到包括场景数据的持续积累和数据质量标准的不断提高工作。在实际应用过程中，需要考虑模型大小、计算复杂度、准确率等方面需求。

② 声学模型

在业界通用的 Seq2Seq 框架下，包括文本特征提取层、文本特征对齐、声学特征表示层等环节，需要考虑合成的效果和发音的准确率。需要设计出高效的语音特征细节的学习和捕获模型，以实现语音特征的充分学习和存储，从而合成出细腻、丰富、饱满的语音。还要考虑到语音时间序列的因果性，设计符合语音特性的文本特征提取器和对齐机制，以提升对齐速度和性能。同时，对齐合理，能够极大地提升合成语音风格还原度。

目前声学模型的主要研究集中于端到端的模型，即直接输入文本或者注音字符，系统直接输出音频波形或声学特征。端到端系统降低了对语言学知识的要求，可以很方便在不同语种上复制，批量实现几十种甚至更多语种的合成系统。并且端到端系统表现出强大丰富的发音风格和韵律表现力。接下来介绍当前主流的几个 TTS 后端模型：

1）Tacotron

真正意义上的端到端语音合成系统，输入文本(或注音字符)，输出语音。只需输入注音字符(或文本)，即可输出声音波形，所有特征模型自行学习；方便各种条件的添加，如语种、音色、情感等；避免多模块误差累积。但模型除错难，人为干预能力差，对于部分文本发音出错，很难人为纠正；端到端不彻底，

Tacotron 实际输出梅尔频谱(Mel-Spectrum)，之后再利用 Griffin-Lim 这样的声码器将其转化为最终的语音波形，而 Griffin-Lim 造成了音质瓶颈。

2）DeepVoice

将传统参数合成的 TTS 系统分拆成多个子模块，每个子模块用一个神经网络模型代替。DeepVoice 将语音合成分成 5 部分进行，分别为：文本转音素(又称语素转音素，G2P)、音频切分、音素时长预测、基频预测、声学模型。DeepVoice 提供了完整的 TTS 解决方案，不像 WaveNet 需要依赖其它模块提供特征，使用的人工特征也减少了；合成速度快，实时性好。但误差累积，5 个子模块的误差会累积，一个模块出错，整个合成失败，开发和调试难度大。虽然减少使用了人工特征，但在这个完整的解决方案中，仍然需要使用音素标记、重音标记等特征。直接使用文本输入，不能很好解决多音字问题。

3）DeepVoice2

DeepVoice 升级版，引入“说话人”向量，能够合成多种音色的语音。对 DeepVoice 的改进：音频切分模块和上代结构不变，但加入了 batch normalizaiton 和残差连接，对原始音频做平滑归一化处理，固定阈值来确定是否为静音音素。

DeepVoice 使用一个模型同时预测音素时长和基频，而 DeepVoice2 分拆成两个模型。音素时长预测看作是序列标准问题，将连续时长离散化。基频预测使用时长和音素作为输入，只输出发音概率和基频。在 encoder、decoder 和 vocoder 三处添加说话人信息，说话人信息是自动从语音数据中学习到。

4）DeepVoice3 & Tacotron2

DeepVoice3，基于卷积序列到序列模型的多说话人语音合成。Tacotron2 使用了一个和 Wavenet 十分相似的模型来代替 Griffin-Lim 算法，同时也对 Tacotron 模型的一些细节也做了更改，最终生成了十分接近人类声音的波形。

5）Transformer

模型主体仍是原始的 Transformer 结构，在输入阶段和输出阶段做了一些改变。在编码器的输入阶段，首先把文本转化为音素，对音素进行了词嵌入，然后进入编码器预处理网络。编码器的预处理网络主要是由 3 个卷积层组成，之后预处理网络的输出就会被送入 Transformer 前馈网络。训练速度大大提高，加快了

2 到 3 倍。实践上，有些 rnn 轻易可以解决的问题 transformer 没做到，比如复制 string，或者推理时碰到的 sequence 长度比训练时更长（因为碰到了没见过的 position embedding）。

6）FastSpeech

微软提出的快速、鲁棒的语音合成方案，借鉴了 Transformer。并行合成梅尔频谱，极大加速声学特征的生成；删除了注意力机制，避免注意力机制无法对齐的问题。

③ 声码器

将声学特征转换为语音波形的这类模型通常被称作声码器，一般来说，目前的端到端语音合成首先由声学模型生成声学特征，比如梅尔频谱、线性谱等，再由声码器转换为最终的语音。生成语音中的韵律、表现力等由声学模型决定，而清晰度则由声码器决定，声码器限制了最终合成语音的音质，同时也是整个语音合成模型的计算瓶颈。接下来介绍当前主流的几种声码器技术：

1）传统声码器 Griffin-Lim/Straight/World

Griffin-Lim 是一种在仅有幅度谱，而缺少相位谱的惯况下熏建时域波形的算法。由于要对抛弃相位信息的语音波形进行恢复，因此需要通过迭代，尽可能“猜测”出原始信息。

Straight（Speech Transformation and Representation using Adaptive Interpolation of weighted spectrum)，即自适应加权谱内插，是一种语音信号分析合成的算法。Straight 将语音信号解析成相互独立的频谱参数（谱包络）和基频参数（激励部分，语音信息），能够对语音信号基频、时长、增益、语速等参数进行灵活调整。该模型在分析阶段仅针对语音基音频率、平滑功率谱和非周期成分 3 个模型参数进行提取分析，在合成阶段利用上述 3 个模型参数进行语音重构。Straight 算法采用 PSOLA 技术和最小相位脉冲响应相结合的方式，在合成语音时输入待合成语音的基音频率轨迹和去除了周期性的二维短时谱包络。

World 声码器也是一个纯信号处理的声码器。相比起其他传统的声码器（如 Straight、Griffim Lim 等），WORLD 的音质更好、速度更快。相比一些基于神经网络的声码器（MelGAN、LPCNet 等），WORLD 的计算复杂度更低，更适合用于低

性能计算设备。另外，WORLD 不需要大量的数据进行训练，即插即用，非常方便。WORLD 声码器的本质：source-filter 模型，一种简单的方式描述了语音的产生过程。source 指声源，即声带震动，发出一串脉冲信号（pulse train）。声带震动的越快，声音的音高越高，脉冲信号越密集。但是，对于中文中的清音（k，h 等），声带震动不明显，于是用一串白噪声来模拟。filter 指声源信号经过的部位，包括声道、喉腔、口腔、嘴唇、牙齿等。在这些部位的共同作用下，我们能够发出不同的音色、不同的元音辅音。这些部位共同组成一个滤波器系统，可以将其看作一个线性时不变系统（Linear time-invariant system）。所以 source-filter 模型，就是一串脉冲信号/白噪声进入一个线性时不变系统（卷积操作），最终得到语音信号。

2）WaveNet

WaveNet 是一种典型的自回归生成模型，所谓自回归生成模型，即是利用前面若干时刻变量的线性组合来描述以后某时刻变量的线性回归模型。不对语音做任何先验假设，而是利用神经网络从数据中学习分布，不直接预测语音样本值，而是通过一个采样过程来生成语音。WaveNet 能根据声学特征，生成高质量的语音。但每次预测一个采样点，速度慢。

3）WaveRNN

WaveRNN 采用一种全新的声码器架构，结构尤其简单，主体仅由一个单层循环神经网络（RNN）组成，并且 RNN 利用稀疏矩阵进一步降低计算量，相比 WaveNet 合成速度提升 10 倍左右。

4）GAN 系列声码器（MelGAN/HiFiGAN）

MelGAN 采用非自回归前馈卷积架构，在不引入额外蒸馏和感知损失的前提下，依然能够产生高质量的语音，是第一种利用 GAN 合成时域波形的方法。MelGan 模型计算复杂度低，并行度高合成速度极快。

HiFiGAN 是近年来在学术界和工业界都较为常用的声码器，能够将声学模型产生的频谱转换为高质量的音频，这种声码器采用生成对抗网络（Generative Adversial Networks，GAN）作为基础生成模型，相比于之前相近的 MelGAN，引入了多周期判别器（Multi-Period Discriminator，MPD）。HiFiGAN 同时拥有多尺度判别器（Multi-Scale Discriminator，MSD）和多周期判别器，目标就是尽

可能增强 GAN 判别器甄别合成或真实音频的能力。HiFiGAN 提出了多感受野融合模块。WaveNet 为了增大感受野，叠加带洞卷积，逐样本点生成，音质确实很好，但是也使得模型较大，推理速度较慢。HiFiGAN 则提出了一种残差结构，交替使用带洞卷积和普通卷积增大感受野，保证合成音质的同时，提高推理速度。

5）LPCNet

LPCNet 利用了 LPC 系数来简化神经网络，本质上来讲，就是神经网络部分拟合的是真实采样点和 LPC 算出来的采样点之间的误差。也就是给定一帧语音的 BFCC，先计算出 LPC，然后利用 LPC 来计算当前的采样点，然后用网络来估计误差，LPC 估计出的采样点和网络估计出的误差相加就是更逼近真实值的采样点。LPCNet 分为两部分，一部分是每帧计算一次的特征计算部分，另一部分是每个采样点都要计算的采样部分，特征计算的输入就是 BFCC 和两维的 pitch 信息，输出可以称为帧特征。采样部分的输入是特征计算部分的输出和用 LPC 计算的当前采样点的线性部分，还有上一个采样点以及上一个采样点的采样网络输出（非线性部分），输出就是当前点的非线性部分。最后只要将 LPC 计算的值和采样网络输出的值加起来就是最后的输出。

（B）未来语音合成技术的几个方向

① 少样本训练的语音合成

当前的语音合成技术，通过训练学习来获得与语料库中语音数据相接近的合成效果，包括音色还原度、音质、音准等效果。随着深度学习技术的进步，对语料库的数据量要求逐步降低，从传统拼接法需要数十甚至上百小时级的语音数据，降低到现在的声音克隆只需几十秒钟。少样本训练的合成效果，还远无法达到数小时的精品合成效果，无论是音质，还是表现力上，仍处于消费级水平。少样本训练的语音合成，将会是未来相当长的时间内语音合成的重点研究方向。未来将实现一句话完美合成任何文字、任意语种的技术，将不是梦。

② 情感语音合成

人与人在沟通过程中，不仅仅是语音内容信息的传递，也是情感陪伴的过程。人们的情绪，包括喜怒哀乐等，都需要在沟通过程中得到合理的表达。在情感陪伴属性较强的人机交互应用场景中，情感语音合成技术的价值更加凸显。不仅如此，在内容生产中，丰富的情感表达，与内容情感相一致的表现同等重要。如 AI

合成有声书时，需要给小说中每个角色设置与其身份、年龄、性格、性别相匹配的音色，还要有与故事情节发展相一致的情感表达。在情感语音合成中，还有考虑情感强度的控制，比如“非常生气”与“有点生气”之间应该要有差异。

③ 完全端到端语音合成

当前的语音合成技术，未能达到真正意义上的端到端合成。在语音合成涉及到文本和语音数据的制作和标注，具有较高的数据门槛，耗费大量的时间和成本。在算法设计和技术实现上，包括语音合成前端、声学模型、声码器模型都能做到与语种无关，但语种与语种之间的差异非常大。在做好一种语种的情况下，新增语种的支持，依然是一项耗费巨大的工作。需要找专业的录音员，需要熟悉该语种的语言专家来做数据标注，需要将该语种的语言规律转换为语音合成前端设计的规则。这也是目前语音合成服务厂商没有办法提供所有语种的支持的原因。这期待着完全的端到端语音合成技术的突破。

④ 个性化语音合成

在元宇宙里，每个虚拟化身或 NPC 都可以设置富有独特的形象和声音，以彰显自己的个性。不希望与他人用同一个音色，这就需要低门槛的个性化语音合成技术的支持。除了需要低样本训练的语音合成技术的支持外，还需要能够兼容低质量的录音数据支持。现实中，并非所有人都有专业的录音设备、录音环境来录制高质量的语音数据作为训练数据。

⑤ 语音转换

任意人的语音都能实时地转换为某个目标人音色的声音，并携带说话人的情绪、说话节奏等语音信息，这是语音转换技术。这也是语音合成技术在到达完美效果之前的一个过渡技术，即合成与目标人音色一致的语音同时，希望保留真人的其它语音特征。

⑥ 唱歌合成

每个音色都能实现同音色说话、同音色唱歌，而且能唱任意歌曲，这是元宇宙中任何虚拟化身多希望具备的能力。

(3) 其它智能语音技术

(A) 语音去噪

人们在元宇宙里依然无法随时随地在安静环境下生活和工作，还是受到外部环境的各种噪声的影响。这会严重影响元宇宙里人与人的沟通、人机沟通，也会影响人们对元宇宙中的优质声音作品的欣赏。这就需要支持各种嘈杂环境下的语音去噪技术。在现有的去澡技术上，在能够听清对方语音内容的前提，对接受到的声音品质有更高的要求。

（B）声纹识别

声纹识别在元宇宙中的重要性将凸显，声音的来源，所有用户的信息，留下的痕迹都将被记录。声音的区分和身份识别将主要通过声纹识别技术。有了声纹识别后，我们也能快速地锁定我们的目标声音的所有公开内容的搜索。

（C）语音翻译

在元宇宙里，每个人通过虚拟化身存在着，与外界沟通交流，不再有地区限制，拉近了世界各地人们的距离。我们可以随时随地在世界的另一个角落走街串巷，领略其风土人情。现实世界中的语言障碍和文化鸿沟将不复存在，人们可以直接用自己母语沟通。这其中就需要语言翻译技术的支持，实现世界各地的人无障碍沟通。元宇宙中，除了日常生活、旅游，还有更多的工作会涉及到跨国沟通合作，语音翻译也将日趋重要。

(4) 未来智能语音技术发展趋势——多模态智能语音技术

多模态语音识别技术，结合场景中的视觉、文字、声音等，提升识别准确率。它们这些多模态信息来自于不同的传感器，数据的形成方式和内部结构有很大的区别，例如，图像是自然届存在的连续空间，而文本是依赖人类知识、语法规则组织的离散空间。多模态数据的异质性对如何学习多模态间关联性和互补性提出挑战。常见的多模态研究分为以下五类：

- **表征：**如何挖掘模态间的互补性或独立性以表征多模态数据。
- **翻译：**学习一个模态到其他模态的映射。例如：image captioning。
- **对齐：**将多模态数据的子元素进行对齐。例如 phrase grounding
- **任务：**将一幅图中的多个物体与一段话中的短语(或单词)进行对齐。在学习表征或翻译时也可能隐式地学习对齐。
- **融合：**融合两个模态的数据，用来进行某种预测。例如：Visual Question

Answering 需融合图像和问题来预测答案；Audio-visual speech recognition 需融合声音和视频信息用以识别说话内容。

- **共同学习(co-learning)：**模态间的知识迁移。使用辅助模态训练的网络可以帮助该模态的学习，尤其是该模态数据量较小的情况下。

本章由马亚中、梅一多、李建华、姚新新、韩旭、胡凝、李正海、方俊、曹冬林、周俊明起草，由龚才春修改。如有侵权，由起草人负责。

参考文献:

第四篇：产业篇

2021 年是元宇宙元年，相当于互联网的 1994 年。回顾互联网进入中国的这二十多年，再对比 2021 年的元宇宙，就可以大致预测未来元宇宙会怎么发展。元宇宙最重要的事情是落地，天天鼓吹元宇宙概念是不利于产业发展的。1994 年互联网进入中国，2000 年左右中国互联网出现寒冬。我们也要避免元宇宙出现类似的境地。

本篇讲述元宇宙在各个产业的可能应用场景，帮助读者梳理未来元宇宙的产业化进程，也给创业、科研、投资的读者提供参考。

第 14 章 元宇宙的产业地图

元宇宙是下一代互联网发展的新形态，体现为“3D 时空互联网”。元宇宙将在现有互联网基础上演化升级而来，尤其是网络技术、平台技术中通用的部分，将复用现有互联网的基础。元宇宙的创新主要体现在 3D 沉浸交互特性，从产业角度看，技术产业化主要体现在终端、应用、平台服务、以及相应的底层技术、配套服务等方面。我们立足中国市场，尽量不涉及国外技术及服务供应商，整理了中国元宇宙产业生态地图（2021）。

图 14-1：元宇宙产业生态地图

由于元宇宙仍在逐渐成形及快速变化中，不可能做到十分全面准确，但我们会尽量做到为想快速了解元宇宙产业化发展总体状况的读者提供系统性有效参考。下面按细分领域进行具体介绍。

14.1 终端产业

终端作为用户接入访问元宇宙的工具，其用户使用量、普及率是影响元宇宙产业的重要指标参数。这里的终端产业，包括了 XR 终端整机、自然交互及动感模拟技术、以及代理机器等部分。

14.1.1 XR 终端

XR 终端主要指 VR\AR\MR 终端设备，也涵盖传统的 PC\TV\PAD\Phone\LED 屏等终端产品。随着元宇宙生态应用的丰富，VR\AR\MR 终端渗透率会日渐增高，成为主流的新一代消费级个人计算平台。

14.1.2 自然交互

自然交互是指摆脱键盘鼠标，通过语音、动作等更加自然方式获得视听触味嗅感官信息的交互方式。具体可分为语音交互、动捕交互、表情捕捉、眼动跟踪、气味模拟、触觉模拟、脑机接口（BMI）等。

14.1.3 动感模拟

动感模拟，是 VR 模拟仿真应用创新的重要支撑技术，为 VR 用户在虚拟环境中的快速运动提供位移感知，乃至全方位移动感知的模拟体验。运动感模拟，可通过电缸驱动搭建 2Dof\3Dof\6DoF 动感平台，来模拟自行车、汽车、船舶、飞机等在运动时，人体产生的加减速、爬升下降、转弯倾斜、颠簸震动等感觉。操作力反馈，可通过力传感器来测量或模拟三维力矩带给人的肌肉感知；

14.1.4 代理机器

代理机器，可以是人形服务机器人，仿生机器人，也包括工业机器人。代理机器主要用途是作为人的物理替身去完成特定任务。人形机器人形象拟人亲切，用户接受度高，可用于陪伴、服务、教育、娱乐等场景；仿生机器人，主要是模仿各类生物，替代人去完成人无法完成的任务，如模拟飞鸟、四足动物、昆虫、鱼类等的代理机器；工业机器人主要用户生产线，替代工人更加高效、准确的流水线作业。如需基于数字孪生进行管理控制，代理机器的行为数据可以同步到元宇宙中的数字代理人，并驱动数字代理人的行为。

14.2 应用生态

元宇宙产业能否健康茁壮发展，能有多大发展空间，构建起丰富繁荣的应用生态是重中之重。元宇宙应用与传统互联网应用最大差异在于：3D 可视化、虚实共生、身临其境、自然交互、平行执行。因此目前所有互联网应用都需 3D 升级，

也必然有全新的应用及业务模式产生。

14.2.1 媒体舆情

目前 VIVEPORT、VeeR 这样以 VR 应用及全景视频为主要内容的聚合平台，还仅仅是应用商店的简单照搬。斗鱼联合华为推出 5G+VR 直播业务则仅是直播视频源改为了全景视频。爱奇艺 VR 以观影为主，尝试了互动视频的创新，也聚合了部分轻量 VR 游戏。咪咕重点布局了包括巨幕、全景点播、明星陪伴、VR 直播、VR 游戏五大场景，跟爱奇艺是类同模式，PICO 等设备提供商自带的应用商店也是类似。

14.2.2 社交游戏

腾讯借微信、QQ 的用户优势，拓展到类似 VRChat 的元宇宙社交将很容易。字节跳动旗下的重启世界，可以看作其进军元宇宙领域的重要举措。网易游戏、米哈游、完美世界、中青宝等从游戏角度杀入元宇宙，都有自身良好的基础。

社交及游戏，是元宇宙中最易于用户接受和上手，也最容易吸引流量的应用，也将是元宇宙舆论场的重要组成部分，同样应对底层逻辑加以约束。

14.2.3 电商会展

电商直播网红薇娅被罚 13.4 亿，电商税收合规化成为国家整治重点。疫情延续 2 年来，会展业受到严重打击。元宇宙的兴起，将为电商、会展行业寻求新模式带来契机。百度 VR、悉见、辰视、华为河图，都看到了城市商业街区、商业综合体的 XR 电商、营销的潜力。

14.2.4 教体文卫

教育、体育、文化旅游、娱乐、医疗卫生等领域，目前 XR 应用已有较好开展，该领域企业也较多。

14.2.5 智能制造

随着工业 4.0、数字孪生近几年的深入应用及推广，智能制造、智慧工厂领域不断有新的进展。智能制造是个完整体系，通常独立运用，不一定纳入消费元宇宙的统一空间。智能制造的基础是精密制造设备，并对工厂生产线（APM、PLM 等）建立数字孪生模型体系。

14.2.6 政治军事

目前以城市为单位的规划建设管理 3D 可视化平台比较常见，但国内省级或国家整体完成 3D 化智能管理的还不成熟。随着数字中国、实景中国战略，及时空大数据平台在国土规划领域应用的推进，“孪生中国”的实现近在眼前。

14.2.7 其他应用

元宇宙应用场景非常丰富，这里仅归类罗列了六大类，还有许多领域没有列出，例如农业、房地产、城市、数字金融、产业园等。

14.3 服务产业

元宇宙产业生态中，除核心的终端产业、应用生态、平台技术外，配套服务提供者的规模也非常庞大，产业规模不容小觑。其中主要包括咨询、智库、媒体服务、代运营、集成交付、外包众包、代加工等。

14.3.1 咨询智库

新兴产业的发展，从概念萌芽、炒作过热、幻灭低谷、低调复苏、成熟应用各阶段，离不开行业协会、联盟、咨询机构、高端智库的大力推动。尤其是元宇宙概念的兴起，引发高度关注，专家学者纷纷著书立说讲学，活动峰会频频举办，业界积极响应。其中活跃的代表有，中国科技新闻学会、北京信息产业协会、中国虚拟现实产学研联盟、中国民营科技实业家协会、中关村大数据产业联盟、中关村数字媒体产业联盟、上海虚拟现实与增强现实产业联盟、深圳虚拟现实产业协会等。

14.3.2 媒体服务/运营

新兴产业的发展，垂直行业媒体的吹鼓手作用也不容忽视。从 VR 到元宇宙，各媒体始终为行业咨询交流、线上线下服务不遗余力。

电商直播领域的运营角色主要是各类 MCN。元宇宙产业的兴起，必然会带动各个层面的运营服务公司。

14.3.3 集成交付

新一代 ICT 技术高歌猛进的 20 年来，由于系统复杂程度日益提高，系统集

成商在大型系统集成项目交付的过程中起到了重要作用。神州数码、易华录、太极等一批集成商承担了数字政府、智慧城市的建设交付的重要角色。特美通传媒科技有限公司在建设运营 VR 特色产业基地的基础上，与业界机构建立了广泛的合作关系，并在媒体融合、3D 交互应用、XR 应用集成创新方面，进行了大量解决方案探索和案例实战，具备各类 XR 行业应用集成交付能力。在影视、游戏大型项目制作过程中，由于涉及诸多工具软件，集成平台起到了流程穿通、资源共享的重要作用。在后续大量元宇宙应用开发的过程中，集成类软件也将是非常必须的。

14.3.4 外包代工

在产业链中外包代工环节的繁荣，是行业生态丰富的重要标志。影视 CG、3D 模型、游戏动作、创意设计、软件开发、产品设计、设备生产等领域都存在大量外包代工类服务型企业。

元宇宙产业发展进程中，公司自主进行内容制作及应用开发需要自有团队投入资源来做，在自身条件和时间不允许的情况下，也可通过外包/众包方式完成快速交付。

14.4 平台技术

元宇宙产业需要大量应用生态企业，同样需要大量平台技术企业，为应用生态提供丰富的技术能力服务。平台技术企业主要分为三大类：数字孪生类、创作工具类、IT 支撑平台类。

14.4.1 数字孪生

数字孪生体系是元宇宙技术平台重要的部分。元宇宙虚拟时空需要的地形地貌、建筑空间、数字人、数字物品、特色应用场景，都需要数字孪生类平台服务。

(1) 3DGIS/BIM

基于 3DGIS 技术，可为元宇宙提供“孪生地球”的地形地貌，用于支撑各类应用实现沉浸体验。

基于 BIM 技术，可为元宇宙提供各类建筑的结构及模型，用于支撑各类应用

在人造物理空间中的活动。

（2）数字人/物

数字人/数字物品的模型制作，可以用 3D 扫描快速建模，也可用建模工具人工创作。

（3）行业引擎

面向某些细分行业元宇宙应用提供特定云平台 PaaS 服务的行业引擎，是精专特新企业适合的元宇宙创新领域。

14.4.2 创作工具

元宇宙生态应用的快速丰富，需要给广大创作者提供使用便捷的创作工具。元宇宙应用的创作工具，目前还是沿袭了已有的图形图像、游戏开发、影视 CG、渲染引擎等相关工具。ROBLOX 等开放世界游戏也有将工具集成到平台中的趋势。而主流工具则通过建立开发者社区等有发展为元宇宙平台的趋势。创作工具主要包括应用开发工具、图形图像工具、渲染引擎等。

14.4.3 IT 支撑平台

元宇宙的 IT 支撑平台不会是一个平台，而应是多个平台的互联互通互操作。2D 互联网阶段的大量网站基于 IP 网络，通过 DNS、HTML 实现了相互间的链接和跳转。随着云计算、大数据/AI、物联网、区块链等新一代 IT 技术的应用普及，元宇宙的支撑平台将进一步增强标准化、实现互联互通互操作。

（1）云计算

经过 10 余年的发展，云计算已逐渐形成了完善的 IaaS\PaaS\SaaS 架构体系。以云平台为架构，可整合大数据/AI、物联网、区块链等技术为一体，作为元宇宙发展第一阶段的 IT 支撑平台。

（2）大数据/AI

截止 2021 年 9 月，全球大数据第一大技术来源国为中国，专利申请量达

254887 项，占全球大数据专利总申请量的 38.55%；其次是美国，大数据专利申请量占全球总申请量的 34.01%，二者合计占比超过 70%。日本和韩国排名第三和第四，但是与排名第一第二的差距均较大。

（3）物联网

物联网是数字孪生得以实现的重要构成部分，是连通物理世界与元宇宙的数据纽带。国内 IoT 云平台分为家电企业、电信运营商、互联网企业、工业智能企业四大类。

（4）区块链

区块链作为去中心化可信技术，获得广泛关注，有机会在元宇宙技术平台中承担重要角色。

14.5 网络技术

网络技术及平台是所有通信及互联网的基础设施，也将是元宇宙的核心基础设施。网络技术产业主要分为设备制造、网络运营两类角色。

14.5.1 设备制造

随着网络接入技术演进到 5G 无线网、WIFI6、光纤入户，3 个千兆网络给 VRAR 及元宇宙应用普及奠定了良好基础。

14.5.2 网络运营

网络平台基础设施建设及运营的角色，可分为基础电信运营商、IDC/CDN 网络运营商两类。目前国内全牌照电信运营商仅电信、移动、联通、广电四家，IDC/CDN 运营商代表企业有世纪互联、万国数据、蓝汛、网宿科技等。尽管按 WTO 规则我国电信市场已对外开放，但国外电信运营商市场份额占比不高。

14.6 底层技术

底层技术是指通用性强、影响面广的关键技术、元器件、基础软件等。这里分硬件元器件、基础软件两部分进行介绍。

14.6.1 硬件元器件

硬件元器件产业水平，将直接影响终端产业的国产自主程度。主要涉及的有光学器件、显示屏、传感器、核心芯片等。

14.6.2 基础软件

基础软件也是我国的卡脖子技术环节。元宇宙产业发展，需要许多基础软件，这里主要指操作系统、数据库、编译器类的。我国基础软件从跟随到赶超，在 AI 及元宇宙时代，终于有机会逐步扭转落后被动的局面。

本章内容由孙喜庆起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 孙喜庆. 孪生媒介：平行世界传媒体系参考框架初探. 互联网天地[J]. 2021(11).

[2] 廖祥忠.媒介与社会同构时代国际传播人才培养必须着力解决的三大问题. 现代传播[J].2021,01.

[3] 吉拉尔德·M·埃德尔曼.第二自然[M].唐璐，译.湖南科学技术出版社，2018.

[4] 尤瓦尔·赫拉利. 人类简史[M]. 林俊宏，译. 中信出版社. 2014,11.

[5] Kevin Cheng. 好莱坞十大故事引擎. 知乎[EB/OL]. https://www.zhihu.com/people/kevinzcheng/posts

[6] 2021 年全球大数据行业技术竞争格局. 前瞻经济学人[EB/OL]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1715195453329408516&wfr=spider&for=pc

第 15 章 产业元宇宙

15.1 能源元宇宙

15.1.1 概要

能源数字经济正进入高速发展阶段，混合现实、区块链、人工智能、云计算、大数据、物联网、5G/6G 等先进信息技术快速融入能源互联网的“源网荷储”全环节。元宇宙进一步打开了能源互联网连接的大门，成为未来能源互联网发展的新方向，是能源数字经济发展的下一个形态，其技术突破和模式创新将带动能源革命的实体经济与数字经济深度融合，推动能源数字经济走向新的发展阶段。

当前，能源供需不平衡等问题突出，能源电力行业亟需全面提高劳动生产率、资本产出率和全要素生产率。融合物联网、区块链技术等技术的元宇宙能有效触达能源基础设施，推动智能电网数据要素的可信透明流通和全流程留痕使用，从而促进能源系统各类资源和要素以更便捷的方式向更有效益的领域流动，扭转能源行业发展模式、提升行业全要素生产率。能源系统运行管理走向高度智能化、精确化和标准化，加速各环节互联互动，为各行业进一步变革提供更有效的动力之源。

元宇宙可涵盖能源系统的底层架构、推动互联互通和应用层创新，促进电力用户、设备等之间的交互形式，用户可更方便参与互动体验，电力巡检、设备维护将产生颠覆性的革命，保障能源生态系统的资源可视化、数据安全化。元宇宙将推动形成“全环节、全贯通、全覆盖、全生态、全场景”的能源开放服务体系，进一步推动能源互联网应用平台建设和生态价值的体现，为“构建以新能源为主体的新型电力系统”提供技术支撑。

未来的智能电网形态如图 15-1 所示。

图 15-1：智能电网形态示意图

15.1.2 元宇宙与新型电力系统

构建以新能源为主体的新型电力系统是今后 10 年或 20 年的重点工作，电力市场、能源市场将逐步建立，分布式能源、虚拟电厂、储能等多种市场元素将推动能源生产和供电模式的多元化，区块链技术必将广泛应用。由于元宇宙融合云计算、区块链、物联网、智能交互等前沿技术，将会促进信息通信技术与能源技术的深度融合，促进新型电力系统加速技术创新。

新型电力系统是一个复杂、大型的信息物理系统，是一个智慧能源系统，面临的问题和挑战更为复杂，如何达到虚拟与现实的结合，如何让虚拟为现实服务，将是我们需要研究的科学问题。例如与电网仿真分析、高速计算融合，搭建虚拟世界的新型电力系统，解决电力系统的复杂性，保障新型电力系统安全稳定运行是我们近期研究和示范验证的重点。

随着新型电力系统建设的推进，面向新能源的源网荷储协同互动将更加灵活，电网与微电网协同控制将更加便捷。元宇宙将助力传统电力系统向高度数字化、清洁化、智慧化的电力系统方向演进，提升电网统筹调度各级电网、分布式微网以及服务源网协调、荷网互动的能力。

15.1.3 元宇宙在能源互联网中的典型应用场景初探

（1）沉浸式电力设备巡检、运维与故障处理

沉浸式电力设备巡检、运维与故障处理主要利用电力工作人员智能前端设备，

基于准确位置定位和元宇宙相关技术，动态显示生产系统回传的图像和后台结果，完成高性能的人机交互，根据指令引导现场工作人员进行操作，熟悉后操作后可以达到深度沉浸式效果。

在电力企业现场故障抢修、巡视等工作领域，以电力工作人员佩戴智能可穿戴设备为主，通过图像识别和混合现实技术，快速正确的指引设备位置，并且直观、快速的从云端业务大数据获取到现场设备的属性及参数，能直观的看到设备内部结构、历史运行数据，通过智能可穿戴设备的光学显示器将多种辅助信息叠加在现实世界之上并显示给用户。

基于混合现实（MR:Mix Reality）技术在沉浸式工作中的应用，以标准的数据协议接入需要展示的电网数据，再通过智能可穿戴设备直观的三维界面对虚拟设备进行操控。MR 可提升用户体验及视觉冲击，实现电网设备的展示、查询、漫游等操作，使用户完全沉浸于三维虚拟场景，并且跟场景中的虚拟设备进行互动，达到现实世界所无法完成的辅助作用。

沉浸式工作在电力系统中的未来应用，将集中在变电站、地下管网、线路设计施工、故障定位等电网工作中实现更直观、更全面的工作支撑。图 15-2 是变电站智能巡检示意图。

图 15- 2：变电站智能巡检眼镜中的混合现实内容

运维人员在变电站现场可以自动对应远程正在运行的设备，根据我们擅长的巡视习惯与三维模型互动，检查传感器采集的数据，增强了交互体验的现场沉浸

效果。通过混合现实、云、高速通信技术的综合应用，变电站设备可视化能力提升 80%以上，电力设备识别操作智能化水平提升 90%以上，现场运行维护作业的效率提升 30%以上。

图 15- 3：配电线路智能运维

（2）元宇宙典型技术场景设计

围绕数字配网、数字营业厅和绿电交易、能源工业云网及 C 端等领域，深化元宇宙相关技术的场景应用，元宇宙的探索将加速传统电力系统向高度数字化、清洁化、智慧化的方向演进。

（A）全景仿真数字化配网

全景仿真数字化配网主要基于数字孪生、人工智能等技术，通过全景仿真电网架构、线路和元器件等方式，实现虚拟场景下新型配电网系统的规划推演、方案模拟和预案验证，从而反馈指导物理电网的优化运行和资源配置。

基于实际配网系统构建配网元宇宙，将新型配网系统复杂能量信息耦合运行关系分解成可解析、可模拟、可计算的数学关系，实现配网的真实镜像，建立全景仿真的元件、网架、规模、模型和场景。基于配网元宇宙开展能源规划方案评估、集群调度方案验证、保护策略校验以及源网荷储互动实验模拟等，挖掘配网的服务潜力，加速配网调度控制及优化。未来，随着分布式新能源的加速发展和

并网，在不影响配网安全可靠运行的前提下，配网元宇宙将实现分布式新能源的“无条件”接入和消纳。

（B）沉浸式数字营业厅

沉浸式数字营业厅基于区块链、VR/AR 、虚拟数字人等元宇宙相关技术，通过高价值、高粘性的内容设计，实现沉浸式客户陪伴、业务办理无感体验等一系列现场体验。

利用 3D 立体全景模型搭建数字化营业厅，打造带有“电力”、“绿色”等属性的客户专属陪伴服务，加强客户互动，实现报装报修、电力交费、智慧家居控制等场景互动，为电力用户提供全方位智慧化用能服务。基于客户数字账号实现业务办理无感体验，并可添加虚拟产品，将纸质、平面化的使用说明书等变成高沉浸感、强 IOT 联接的数字孪生售后服务，同时将消费者评价、意见反馈建成基于智能协议的数字资产。围绕用能场景、产业链场景，搭建“数字化展厅”、“数字化直播间”，为发电企业、多元负荷用户等提供专属化、线上化产品服务介绍与体验。

多样化、高粘性的沉浸式数字化营业厅服务极大的丰富电网业务覆盖范围和场景，大幅拉进与客户的距离，深度体验智能电网、智慧电力的优质服务。

（C）全息能源工业云网

全息能源工业云网基于数字仿真、混合现实等元宇宙相关技术，实现产品设计、研发、生产制造、物流运输及运维的全流程仿真、维修及管理。

在研发设计环节，用虚实共生的可视化方式模拟验证设计、规划和优化产品全生命周期的制造过程，解决产品试制周期长、制造工艺不稳定等问题。

在生产制造环节，通过高度联网化的智能制造系统，实现高沉浸感、全实时数据仿真的生产制造管理，推动设计和制造的高效协同。

在物流运输环节，利用平台连接供需两端的优势，将基于消费数据的产品设计和闲置的共享工厂有效连接，并利用区块链智能合约将产品高效配置到客户手中，实现物流高效衔接和流转。

在运维环节，利用数字仿真、VR/AR 等技术提供设备跟踪、远程运维、施工现场管理、虚拟培训等服务，保障技术人员可以在任何位置启用共享设备体验，一线设备巡检人员可以更为精准的掌握设备原理、状态参数和运行状态。

全息能源工业云网将进一步贯通能源工业业务链，通过技术革新，降低设计研发至运行维护全环节的试验验证、优化调度以及时间等一系列成本，提高能源工业云网服务效率。

围绕数字配网、数字电力营业厅和绿电交易、能源工业云网及 C 端等领域，深化元宇宙相关技术的场景应用，典型设计场景如图 15-4 所示。

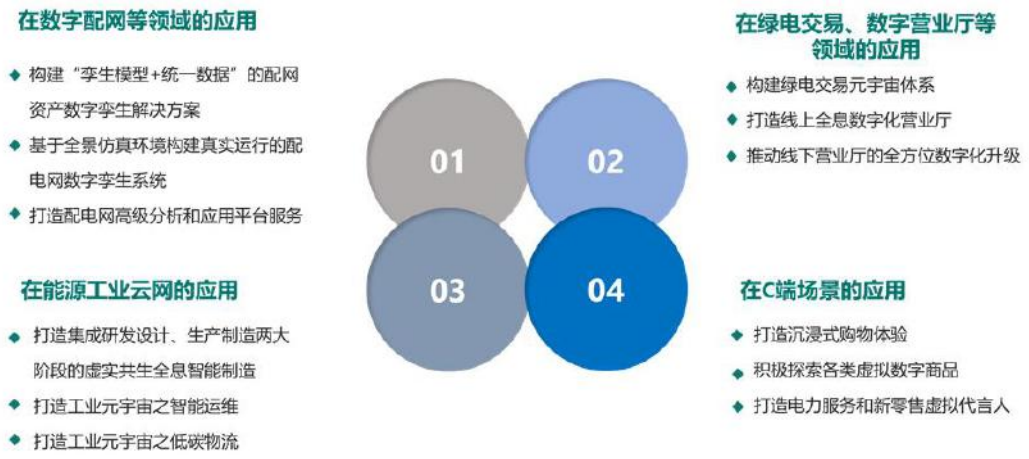


图 15- 4：智能电网典型场景设计

（3）能源元宇宙

能源互联网从本质上看是一种多方参与、多域业务并存的分布式能源网络环境，随着我国对能源互联网投入的不断加大、政府法规的持续支撑，能源互联网建设的加速度也越来越大。由于能源互联网和区块链均具有开放、智能和共享的特点，因此在能源互联网中引入区块链是十分可行的。在能源互联网中，利用区块链技术承载能量流、信息流获取的状态信息与数据，并结合智能合约参与管理调控环节，提高整体网络的正反馈能力，引入区块链可从不同维度支撑能源互联网的建设。

区块链技术为能源互联网提供技术支撑，能源互联网为区块链技术提供应用场景与市场。与传统电网相比，区块链技术的主要优势体现在安全、透明和高效等方面，同时能源互联网存在供需分散、系统扁平化和交易开放等特征。因此，基于区块链的优势以及能源互联网的特征，可将能源互联网与区块链进行结合，利用区块链技术对分布式综合能源管理系统间能量流、数据流和价值流的对等共享与管理贯通，进而实现能源区块链融合发展，为区块链在能源互联网的发展提

供理论基础与应用指导。能源区块链架构如图 15-5 所示。

图 15- 5：能源区块链架构

近年来绿电快速发展，消纳压力日益增长，市场化交易是促进绿电消纳的重要手段，由于绿电特殊的环境价值和完成消纳量指标等政策要求，需要在电力交易过程中明确区分，但缺乏公开透明的交易体系、权威的绿电消纳证明技术、安全高效的绿电交易平台。区块链具有多点共识、防篡改、可溯源等技术特征，与上述业务痛点高度契合。国家电网研发了基于区块链的绿电交易平台，如图 15-6 所示。该平台以科技创新推动绿色能源发展为出发点，结合我国现阶段绿色能源发展所面临的各项挑战，开展基于区块链的绿电溯源、交易体系及关键技术研究，构建促进绿色能源消纳的市场机制，搭建公开透明、高效可信的绿电交易平台，该平台 2018 年已经投入应用，近 3 年来又有了进一步的发展，引导和激励了市场主体积极消纳绿色能源，助力了我国清洁低碳发展。

图 15- 6：基于区块链的绿电交易平台

15.1.4 发展建议

元宇宙在能源互联网中的应用仍处于探索期，应加强相关技术攻关、开展试点验证。

1) **研发能源元宇宙专用芯片。**研发体积小、功耗低、性能高的能源互联网专用人工智能芯片，适用于多类可穿戴设备、视觉分析设备，提高电力系统生产运维的技术手段，为目标识别、场景分割、手势识别、姿态识别等多类人工智能应用提供基础物理载体。利用目前各种 RFID 标签、各类传感器（温度传感器、湿度传感器、震动传感器等）技术，进一步配合能源元宇宙，利用 3-5 年时间完成低功耗的电力系统专用的传感芯片研制，并在多场景中投入应用。

2) **研究元宇宙在智能电网中应用场景并示范验证。**研究元宇宙相关技术在智能电网或能源互联网中的应用范围、电力场景。选取若干应用场景，对元宇宙的场景应用进行技术攻关，打造更多用于技术应用的示范验证，并将其集成到现有业务进行试点。元宇宙在能源互联网中应用的发展路线如图 15-7 所示。

3) **构造能源领域元宇宙创新联合体。**在元宇宙有关联盟或论坛中成立元宇宙能源互联网专委会或相关非营利团体，构建涵盖上下游的生态圈，聚焦能源产业、数字经济、电子商务等领域元宇宙的产业研究，加快区块链、人工智能、数字孪生等元宇宙产业技术创新与融合，推动元宇宙赋

能实体产业发展。

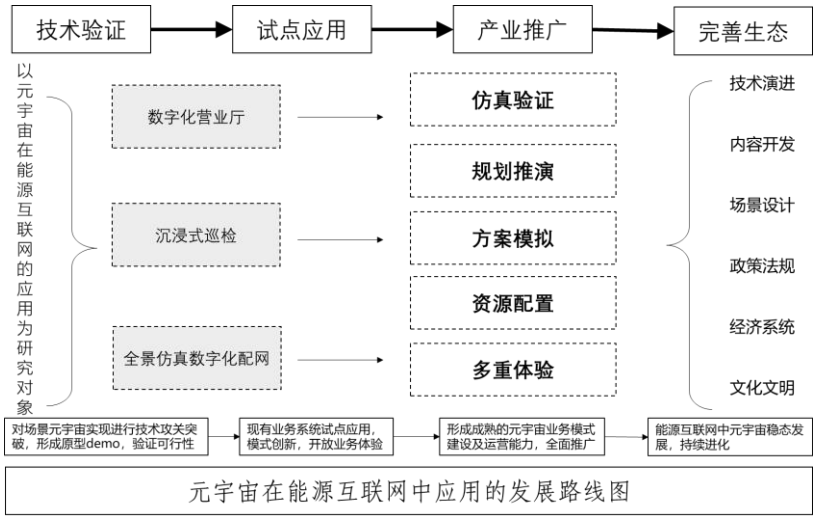


图 15- 7：元宇宙在能源互联网中应用的发展路线图

15.2 农业元宇宙

15.2.1 农业发展现状

（1）农业发展概述

农业为人类衣食之源、生存之本，是国民经济和社会发展的基础。农业生产是人类利用动、植物生长本能将外界环境中的物质和能量转化为人类所必须的农副产品的一种经济活动。纵观农业发展历程，先后经历了原始农业、传统农业和现代农业。其中，原始农业以应用石器工具从事农业生产为特征，主要采用刀耕火种的耕作方式，完成了年年易地的生荒耕作向定期轮换耕作的转变；传统农业是在自然经济条件下，采用人力、畜力、工具以及铁具等为主的手工劳动方式，主要依靠世代积累下来的传统经验；现代农业是在现代工业和现代科学技术基础上发展起来的，采用各种机械设备作为生产工具，投入大量人工生产的物质和能量以换取农产品产量，生产方式由顺应自然转变为改造和利用自然、由凭借传统经验变为依靠科学，高度机械化和化学化的农业生产模式各个环节都需要消耗石油，会造成气候变化、环境污染、生态破坏、资源枯竭等问题，甚至会引起食品安全问题。

随着社会经济的不断发展，以及人们对农业的重视程度加深，高效、稳定和

可持续已成为农业发展的目标。2017 年，习近平总书记在中央农村工作会议指出："要坚持质量兴农、绿色兴农，实现质量兴农战略，加快推进农业由单纯增产导向转向提质导向"。党的"十九大"报告提出要按照"产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕"的总要求，加快推进乡村振兴与农业现代化。2021 年政府工作报告提出，全面推进乡村振兴，完善新型城镇化战略。

（2）面临的挑战

全球气候异常变化给农业带来了不确定性。近年来，由于厄尔尼诺、拉尼娜等全球性气候异常导致的洪水、干旱、风暴等气象灾害频发，给人类社会经济生活造成了极大地损失。此外，由于气候变化带来的禽流感、猪瘟、口蹄疫、晚疫病、稻瘟病、褐斑病等动、植物疾病也给农业生产造成了严重损失。

地域差异加剧了农业发展的不均衡性。自然地理环境决定了农业的生产与发展，平原区域种植业发达，丘陵区域适合林果业发展，草原区域普遍从事养殖业，而高海拔地域不适于开展农业。农作物和牲畜对某种特定环境的适应性，决定了其仅能在部分区域达到最佳地生长状态，造成了农作物和牲畜产品分布的不均衡。此外，发达国家在经济和科技上的双重优势助推了农业产业的发展，加剧了全球农业发展的不均衡。

农业生产的周期性长且有季节性，农产品的价格波动幅度大。农业生产从育种选种、种养殖过程的变量调控，到形成产量，是一个漫长的周期，无法快速形成反馈闭环。同时农业生产过程也容易受到灾害性天气和动植物疫病等突发因素的影响，生产供给波动的风险较大，加上我国农业的小生产与大市场的衔接的效率偏低，导致农产品的价格往往比工业品的价格波动幅度大。

（3）主要机遇

新时代社会主义发展观，给农业发展带来了新得发展机遇。习近平总书记指出，我国发展已经站在新的历史起点上，要根据新发展阶段的新要求，坚持问题导向，更加精准地贯彻新发展理念，切实解决好发展不平衡不充分的问题，真正实现高质量发展。

现代技术的发展与农业产业相倚为强。5G、区块链、人工智能、脑机接口、

虚拟现实、智能机器人、数字孪生等技术发展日新月异，这些现代科学技术的长足迅猛发展，给农业带来了变革的技术基础。而农业大产业也为技术的施展提供了肥沃的土壤。

15.2.2 农业元宇宙核心技术

数字孪生作为农业元宇宙重要的基础性技术，提供了农业元宇宙的平台，在此基础上，区块链、人工智能、虚拟现实、智能机器人等技术应用于元宇宙，使元宇宙具有了真实世界的属性，同时兼具虚拟世界的便利、低成本、快捷的优点，为农业生产的进步带来了新的可能性。

（1）区块链

区块链是一种共享数据库，存储其中的数据具有“不可伪造”、“全程留痕”、“可以追溯”、“公开透明”和“集体维护”等特点。利用区块链的可追溯性、防篡改性记录并呈现农产品从生长到交易的全过程，映射真实世界的每一个环节农产品生产环节，并溯源产品。利用区块链技术的去中心化特点构建起农村分布式交易金融体系，使得买卖双方直接点对点进行交易，使交易和结算同时进行，还可以利用其防篡改的特点，保障金融数据的安全和有效性。区块链技术按照发展阶段可分为区块链 1.0、区块链 2.0 和区块链 3.0。

- **区块链 1.0 时代：比特币诞生**

比特币的诞生是区块链 1.0 时代到来的标志，主要创新是创建了一套去中心化的、公开透明的交易记录总账。区块链 1.0 时代的特征有：①通过密码学技术将加盖时间戳的数据块以首尾相连的方式有序联系在一起。②全共享账本确保了账本信息的真实性。③应用非对称加密算法通过公钥与私钥结合的方式搭建了比特币的安全防御系统。④设定共识机制、规则等通过一致的、开源的源代码进行验证。

- **区块链 2.0 时代：智能合约诞生**

区块链 2.0 的代表是’以太坊’，以太坊提供了各种模块让用户可以自由创建应用，即“合约”，实现各种商业与非商业环境下的复杂应用逻辑，从而实现无需人为监督的、不可篡改、自动化运行的合约。

- **区块链 3.0：应用于更多领域**

区块链 3.0 将更加实用,赋能各行业，不再依赖于第三方或某机构获取信任与建立信用，能够通过实现信任的方式提高整体系统的工作效率。

（2）农业人工智能

早在在 21 世纪初，人工智能技术便开始了在农业相关领域的推广和探索，但由于当时技术水平有限，并未带来太多实质性的进展。人工智能技术在我国现代农业生产中应用的时间相对较短，随着物联网和图像识别技术的成熟与发展，近 10 年推出了智能采摘机器人、智能检测土壤、果实分拣、气候灾难预警、检测病虫害等智能识别系统。从实际应用的效果来看，将人工智能与农业机械技术相融合，可广泛应用于农业的耕整、种植、采摘等环节，极大提高劳动生产率、土地产出率和资源利用率。

利用农业人工智能技术实现农作物生长过程的数字仿真和动物发育的数字仿真。农作物生长过程的数字仿真主要包括虚拟农作物的实现，建立农作物生长模型；动物发育的数字仿真指通过虚拟动物技术实现对动物养殖过程的精准模拟，调控“虚拟动物”模仿真实动物的各种反应，帮助决策动物生存环境、动物营养需要、遗传资源固和品种选育等。

（3）农业智能机器人

农业智能机器人结合了机器人技术、自动控制技术、无线传输技术、计算机网络技术等。随着物联网技术、深度学习、大数据等理论知识的普及，农业智能机器人的性能日趋完善，在培育种苗、收获果实等方面已取得初步成效。我国于 20 世纪 90 年代中期开始农业机器人的研发。1998 年，作为我国农业机器人技术早期研发单位之一的中国农业大学，研制出了自动嫁接机器人，解决了蔬菜幼苗的柔嫩性、易损性和生长不一致性等难题，适用于黄瓜、西瓜、甜瓜等幼苗的嫁接，可实现取苗、切苗、接合、固定和排苗的自动化操作，形成了具有自主知识产权的农业机器人技术。在此基础上，结合我国农业特点，科研人员在采摘机器人、锄草机器人、施药机器人、采棉机器人、育苗机器人、胡萝卜分拣机器人、养殖巡检机器人、饲喂机器人等方面的研究相继取得进展，一些关键技术不断突破，形成了一些具有自主知识产权的技术成果。

农业智能机器人是农业元宇宙在现实世界的末端执行设备和数据采集设备。用户在元宇宙中对农作物及畜禽做出的操作通过农业智能机器人作用于现实世界，并通过智能机器人将实施操作后农作物及畜禽状态实时反馈至农业元宇宙中，用户可以直观地观察农作物和畜禽的长势。此外，还能通过智能机器人执行用户在农业元宇宙中虚拟农场下达的耕作、施肥、剪枝、收割、清洗、挤奶等各项指令，极大地提升农业生产的智能化水平。

(4) 数字孪生

数字孪生是以数字化方式创建物理实体的虚拟模型，借助数据模拟物理实体在现实环境中的行为，通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段，为物理实体增加或扩展新的能力。2003 年，密歇根州立大学 Grieve 首次提出数字孪生的概念，并将其定义为一种实体和虚拟产品相连接的三维模型。随后数字孪生技术在制造业的产品设计、生产制造、故障预测等细分领域逐渐得到应用，并显示出独特的技术优势。国际权威信息技术咨询机构 Gartner 连续 3 年(2017、2018、2019 年)将数字孪生评为全球未来十大关键技术之一。这项技术对于弥合制造业物理世界和信息世界的鸿沟，推动新一代信息技术与制造业深度融合，进而实现中国制造 2025 和工业 4.0 的核心理念——智能制造具有重要作用。2011 年，Michael Grieves 教授在《几乎完美：通过 PLM 驱动创新和精益产品》给出了数字孪生的三个组成部分：物理空间的实体产品、虚拟空间的虚拟产品、物理空间和虚拟空间之间的数据和信息交互接口。在 2016 西门子工业论坛上，西门子认为数字孪生的组成包括：产品数字化双胞胎、生产工艺流程数字化双胞胎、设备数字化双胞胎，数字孪生完整真实地再现了整个企业。北京理工大学的庄存波等也从产品的视角给出了数字孪生的主要组成，包括：产品的设计数据、产品工艺数据、产品制造数据、产品服务数据、以及产品退役和报废数据等。无论是西门子还是北京理工大学的庄存波都是从产品的角度给出了数字孪生的组成，并且西门子是以它的产品全生命周期管理系统（product lifecycle management，PLM）为基础，在制造企业推广它的数字孪生相关产品。同济大学的唐堂等人提出数字孪生的组成应该包括：产品设计、过程规划、生产布局、过程仿真、产量优化等。该数字孪生的组成不仅包括了产品的设计数据，也包括了生产品的生产

过程和仿真分析，更加全面，更加符合智能工厂的要求。北京航空航天的陶飞等人从车间组成的角度先给出了车间数字孪生的定义，然后提出了车间数字孪生的组成，主要包括：物理车间、虚拟车间、车间服务系统、车间孪生数据几部分组成。物理车间是真实存在的车间，主要从车间服务系统接收生产任务，并按照虚拟车间仿真优化后的执行策略，执行完成任务；虚拟车间是物理车间的计算机内的等价映射，主要负责对生产活动进行仿真分析和优化，并对物理车间的生产活动进行实时的监测、预测和调控；车间服务系统是车间各类软件系统的总称，主要负责车间数字孪生驱动物理车间的运行，和接受物理车间的生产反馈。

当前，随着 5G、虚拟现实和增强现实等技术的成熟和商用部署应用，数字孪生技术正在加速与其他行业的深度融合，已经成为智慧城市管理等复杂系统认知和管控的关键技术之一。随着农业传感器、物联网技术、农业模型和大数据分析系统、农业智能装备和专用机器人等科技成果的不断涌现，农业科研、生产、流通和服务领域已经快速实现了数字化和网络化，正向智能化阶段迈进。农业数字孪生系统将有机整合、融合农业生产的物理实体和数字空间，实现“连接－感知－决策－控制”一体化，能够更好地感知和认知农业复杂系统并实现智慧管控，有望为农业数字化转型升级提供新动能。

数字孪生技术是实现农业元宇宙的重要基础。该技术可以对现实世界的事物进行建模，使其数字化，并将其在元宇宙中进行复现，通过声、光、电、热等一系列传感器，又可以将现实世界的信息回传并作用于农业元宇宙的数字孪生模型上，实现现实世界与元宇宙之间的同步，此外，数字孪生技术还有助于克服作物、禽畜生长周期长、难以在短时间内取得实验结果的缺点，在农业元宇宙中可根据数字孪生模型对现实世界进行仿真，以缩短实验周期，节约实验成本，并将仿真结果作为真实世界农业生产的指导意见，使农业生产更加科学、规范。

15.2.3 元宇宙在农业中的应用

当前，农业生产以及农业科学研究产生的海量数据仅聚焦在单个因素或几个因素对农业生产效益的影响，而未关注到因素间的内在联系可能对农业生产产生的潜在作用。农业元宇宙的出现为农业产业发展提供了新的契机。农业元宇宙在数字空间内完全复刻出了与现实世界中相同的农业生产资料及周边环境，从而在数字世界中实现各类现实世界需要的农业生产实践和科研试验，并通过信息交互

向现实世界反馈信息。元宇宙的时间异步、多场景共存和沉浸式感知等特点将极大地推动农业生产力发展，克服了现实世界中农业生产及科研耗时、耗力、耗资源的弊端。

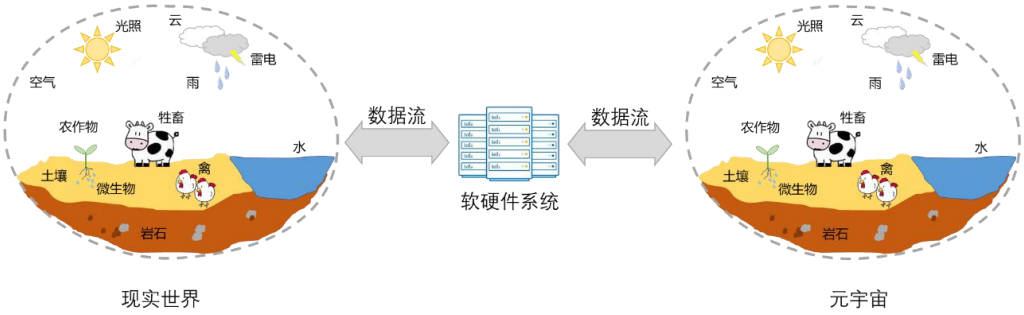


图 15- 8：农业元宇宙的数字孪生

农业元宇宙在农业中的应用主要表现在以下几个方面：

（1）虚拟动植物——生长状态高精度模拟

利用虚拟动植物、数字孪生等技术在农业元宇宙中实现了动植物及其生长环境的全要素复刻，即在数字世界中构建与现实世界中一致的动植物生长场景。基于植物营养学、动物营养学、土壤学、生物化学、生态学、环境科学等基础理论，在农业元宇宙中引入现实世界中实际发生的各种物理、化学及生物过程的基本规则，借助现实世界中传感器获取的海量数据不断优化调整农业元宇宙中虚拟动植物模型，实现农业元宇宙与现实世界中动植物无差别的新陈代谢过程。

（1）农作物是种植业发展的根本，农业元宇宙在农作物育种、病虫害监控以及生长过程观测等方面具有重要作用。

- 种子是种植业发展的基础，育种的主要目标是培育和筛选适应性强、产量高、抗病虫害的品种。传统的育种过程要经历多个生长季的田间试验，不仅耗费人力、物力和时间，还可能由于异常天气、人为破坏等不确定因素造成育种失败。农业元宇宙为育种工作提供了一个高效、便捷地的技术手段。利用农业元宇宙中作物及生存要素的情景重构功能，根据目标作物及所在环境条件构建育种试验，按照育种试验方案生成具有不同气候条件、不同土壤条件、不同地貌特征的作物田间生长场景。借助元宇宙的时间异步性，短时间内在数字世界中完成作物全生命周期或多个

生命周期的成千上万个育种场景的模拟，根据模拟结果确定作物育种方向及配套环境条件，及时向现实世界反馈并调整育种策略。

- 疾病是造成作物减产的重要原因，如何实现作物疾病的早发现是当前农业领域科学研究的热点。作物疾病数据库是农业元宇宙的重要组成部分，作物疾病识别也是农业元宇宙的基础功能。通过现实世界与虚拟世界的同步信息流，农业元宇宙能够实时判断田间作物生长状态，并根据模拟结果对管理措施不当、气候异常、微生物入侵等可能引起作物疾病的情形发出预警，并通过专家决策系统给出对策，及时反馈至现实世界。同时，通过农业元宇宙强大的物联网络，对于传播性作物疾病的入侵可能性、破坏危害性发出预警，及时将预警和对策反馈至现实世界。

（2）畜禽养殖业是人类获取肉、蛋、奶等副食品的重要途径。农业元宇宙为畜禽养殖业的升级和发展提供了新手段。

- 通过监控畜禽生长状态，制定精细化的养殖策略。通过现实世界中各类传感器获取畜禽发育过程的实时数据，利用畜禽个体的数字档案在农业元宇宙中实现数字孪生。养殖从业者可以在农业元宇宙中实时查看畜禽个体的生长状态，如进食量、排泄量、运动量等，农业元宇宙中畜禽养殖系统将对畜禽个体健康情况进行评估，辅助畜禽养殖从业者进行决策。根据畜禽群体的生长状态及健康状况，在农业元宇宙中对即将实施的增加喂养频次、增加光照时间、增加运动量等养殖措施进行单因素或多因素的多时空场景模拟，根据模拟结果确定最佳养殖对策反馈给畜禽养殖从业者，畜禽养殖从业者根据农业元宇宙中专家会商功能确定最终需要采取的养殖措施。
- 利用农业元宇宙中畜禽养殖功能实时监控畜禽个体的生长状态，对食欲下降、排便频次增加或减少、精神状态下降等异常状况及时向畜禽养殖从业者发出预警，通过农业元宇宙中专家会商系统让专家能够跨地域实时观察和了解畜禽个体状况并做出合理的研判，专家建议及元宇宙智能预测结果及时向畜禽养殖从业者反馈。基于农业元宇宙的巨型网络覆盖，及时对当前畜禽疫病流行情况、感染可能性及致损情况进行评估，及时向畜禽养殖从业者发出警告及提出防治对策。

（2）智能化农场——无人化智能农业生产

农业智能化机械设备的发展与应用是农业元宇宙与现实世界连接的重要途径，也是实现无人农场的核心。在农业元宇宙虚拟空间内，农业生产者可以借助农业智能机械设备对农作物和畜禽的生长状态进行实时观测，并利用时间异步情景模拟功能获取最优管理对策，最终通过智能化农业机械设备落实在农业元宇宙中确定的管理措施。

- 做好田间管理是提高作物产量的一个重要手段。当前农业生产受效益优先策略影响，普遍在作物生长的几个关键时期采取田间管理措施，如施底肥、追肥等，而无法覆盖到作物的整个生长过程。借助于农业元宇宙，可以将现实世界中农田在数字世界中重构，现实世界中农田的养分、水分、气温以及作物生长状态等基础数据实时传递到虚拟场景中，实现现实世界和虚拟场景的数据流同步。基于农业元宇宙的强大计算能力，在虚拟场景中不断进行作物生长状态以及不同田间管理措施的模拟，通过对模拟结果的综合分析确定不同阶段最优的田间管理措施，并将该决策反馈至现实世界中执行。
- 集约化养殖是目前畜禽养殖产业的主要发展方向，也是向人类提供肉、蛋、奶等副食品的主要来源。圈舍养殖是集约化养殖的主体，通过人为控制圈舍环境保证畜禽健康生长发育。农业元宇宙中畜禽养殖圈舍及畜禽个体信息通过现实世界中各类传感器获取，畜禽养殖系统将自动对畜禽个体健康状态及预期出栏情况进行评估，并向畜禽养殖从业者发出评估结果及后续养殖措施，经养殖从业者确认后的养殖措施及时反馈至圈舍智能化养殖设备，虚拟现实的智能化装备辅助圈舍管理作业过程，清扫、投喂、运输、消毒等，提高养殖业生产效率和智能化程度。而散养畜禽无法实现对养殖环境的智能化调控，但是能够根据草地、林地等的实时承载力水平调整畜禽养殖策略，达到草畜平衡、林畜平衡的可持续发展状态。

（3）农产品溯源——产品全生命周期体验

构建现实世界和元宇宙世界的农产品种养殖、加工、运输、配送、分销完整

链条，现实世界和数字世界相互映射，在数字世界中实现完整的信息存储和展示。实现在元宇宙场景下数据的有机多维度整合，打通现实世界和数字世界的商流、物流、信息流和资金流四流合一。利用元宇宙的全息感知软硬件，使产品购买者能够切身感受到农作物和畜禽的生长环境，直观地见证农产品加工、运输、配送及分销等过程。如消费者在现实世界中购买了一包玉米，使用农业元宇宙接入设备即可观看到玉米从种子萌发、田间管理、成熟收获、加工包装、运输分销、货物上架等所有过程；或者购买了一块牛排，消费者可以在农业元宇宙中见证到小牛出生、生长发育、饲养方式、生存环境、屠宰加工、运输分销、销售上架等过程。

（4）沉浸式课堂——农业专业性知识学习

利用农业元宇宙中高精度的虚拟动植物模拟技术以及与现实世界中数据交换等功能，为农业类专业的大中专院校师生提供虚拟实训场所，开展各类专业试验课程，如在虚拟情景中观察不同水分、光照、温度等环境条件会对农作物或畜禽产生何种影响，不同养分条件会造成作物产量发生如何变化，不同畜禽品种在何种条件下会达到最大出肉率等。同时，也可利用该系统对幼儿园、中小学群体开展兴趣课，让同学们在虚拟空间内认识农作物和畜禽，观察农作物的根系、叶片以及花瓣等，观看畜禽的四肢、颜色、皮毛等，了解农作物或畜禽的生长发育过程，提升同学们对农业的认识与兴趣。

（5）定制化生产——开心农场实例化展现

随着经济社会发展，人们对身体健康以及食品安全愈加重视。现实世界中农业生产要素在农业元宇宙中实现了完全复刻，这为消费者提供了全新的购物体验。消费者可在农业元宇宙中订购满足自身需求的耕地或农场，按照消费者主观决策开展定制化农业生产，如在一块耕地上种植西红柿、辣椒等，或在农场里养殖 5 只鸡、1 头牛等，消费者实时参与到农业生产活动中，当农产品成熟收获后直接运送给消费者，将游戏中的开心农场在农业元宇宙中实例化。

15.2.3 元宇宙给农业发展带来的风险与局限

（1）信息泄露制约农业发展

元宇宙开放式的网络连接以及去中心化的数据储存方式，对农业生产信息以及环境信息可能产生数据泄露的潜在风险。如由一个企业或一个农户的专利品种信息、产量数据以及经营状况等在元宇宙中储存，这些隐私数据被他人获取破解后可能引起特有市场波动直接造成企业或农户的损失。现实世界与元宇宙的数据流是实时互通的，在元宇宙即可向现实世界中智能化装备发出指令，如果数据流被他人监控破解后，会导致作物田间管理方式等无形资产泄露，产生竞品造成某种或某类产品进入恶性竞争。

（2）垄断性问题

元宇宙是以现实世界为物质基础的，其不能脱离于现实世界而独立存在。当前，开展元宇宙探索的都集中资本雄厚的高新技术企业，其掌握着充足的资金、强大的技术团队和完善的管理体系。可以预见在元宇宙运行之初，各高新技术企业将迅速占领各个领域，运用其技术优势在元宇宙中迅速形成垄断，这将对极大地限制农业发展。

（3）不公平发展问题

元宇宙的实践先天的排除了传统小型农业发展模式，会造成地区发展的不平衡。农业元宇宙是建立在海量农业生产及相关环境数据基础上的，不仅需要作物、土壤、气候等基础数据，还需要通过铺设在农田、果园、菜地等区域的大量传感器产生数据，这就要求在农业元宇宙建设前进行大规模的基础设施建设。基础设施建设往往需要投入大量资金及时间，偏远地区以及广大小型企业和农户很难参与其中，这势必会造成区域发展的不平衡。

15.3 金融与投资元宇宙

15.3.1 区块链是元宇宙基石

区块链技术为元宇宙提供了去中心化的清结算平台和价值传递机制，能够保障元宇宙的价值归属与流转，从而保障经济系统的稳定、高效，保障规则的透明和确定性执行。去中心化的虚拟资产能够跨平台、脱离内容本身进行流通，变得更加“真实”。

具体而言，区块链 DeFi、NFT 赛道快速迭代，从早先的币圈与链圈之争进化为逐步链接真实世界，且通过 DeFi 构筑金融模型，使更多的人和机构开始接受这种虚拟资产范式；游戏行业探索出了以用户创作主导，经济系统为核心的 Roblox 模式，游戏 UGC 模式广受市场认可；5G 基站、大规模 IDC 数据中心的落成以及“东数西算”的推进，在网络数据传输、算力上为元宇宙新时代提供了基础；新一代 VR 设备实现使用体验广受好评，销量迎来增长，显示技术从 3D 向全真演进。

15.3.2 元宇宙的催化剂---DeFi

DeFi 对于元宇宙的意义深远，高效可靠的金融系统能够加速元宇宙的构建。用户对自有链上资产各项金融活动的完全掌控，所有人的金融操作不受地理、经济水平、信任限制。通过智能合约，能够自动自主执行，规避黑箱操作。DeFi 与 NFT 结合能够拓展到元宇宙的内容、知识产权、记录和身份证明、金融文件等，能够创造了一个能容纳更多样化资产、更复杂交易的透明自主的金融体系，支持元宇宙文明的构建。

区块链 Blockchain——全球化清结算平台，构建元宇宙经济体系。区块链技术能为元宇宙提供价值传递的解决方案。区块链技术经历了从单一的去中心化账本应用向着虚拟时空的价值传输层进化，目前已经实现了一个虚拟世界价值传输的样板。凭借开源的应用生态和创新性的商业模式，区块链应用快速发展和繁荣，在全球范围内掀起快速迭代。过去几年加密资产经历了大幅价格波动，主流社会对区块链技术与 Token 的态度迥异，但单从创新而言，智能合约、自动做市商机制、跨链、二层网络等层出不穷。从比特币到以太坊，再到近期火热的 DeFi 和 NFT，区块链技术展示了作为跨时空清结算平台的高效性。

站在元宇宙的角度，迫切需要业界统一的经济规则。Roblox 之所以将 Game 改为 Experience，是因为传统中心化游戏规则中，没有透明的经济系统，氪金玩家通过虐非人民币玩家获得快感，而自己也被游戏中的无尽通胀所收割。区块链的出现保证了虚拟资产的流转能够去中心化地独立存在，且通过代码开源保证规则公平、透明，而智能合约、DeFi 的出现将真实世界的金融行为映射到了数字世界.

比特币实现了去中心化的资产记录和流转。在比特币网络中，多方维护同一个区块链账本，通过“挖矿”也就是计算随机数的方法确定记账权，从而实现账本的去中心化、安全性、不可篡改。通过“挖矿”奖励的经济学激励设计，矿工会自愿购买矿机提供算比特币经过十多年的时间验证，其价值储存功能已经被部分海外市场机构和政府所接受。系统算力在 180EH/s 左右（一秒进行 1.8×1020 次哈希计算）。经过多年的运行，从未出现严重的安全性问题，已被越来越多的人接受其资产属性，虽无法承担法定货币的流通职能，但在部分持币人之间充当着一般等价物，这种转账并不基于任何中心化的账户体系力从而维护整个交易网络，保证系统的安全性.

以太坊通过智能合约和虚拟机实现了去中心化通用计算，以太坊开发者可以自由地创建去中心化应用。开发者可以自由地创建、部署合约，以太坊矿工在挖矿的同时，需要通过虚拟机执行合约程序，并由新的数据状态产生新的区块，其他节点在验证区块链的同时需要验证合约是否正确执行，从而保证了计算结果的可信.

以太坊中的智能合约是一种预设指令，总是以预期的方式运行。智能合约概念于 1995 年由 NickSzabo 首次提出，智能合约允许在没有第三方的情况下进行可信交易，这些交易可追踪且不可逆转。以太坊上的智能合约公开透明且可以相互调用，保障了生态的开放透明，通过开源实现信任。但如果程序漏洞被黑客先发现使用，也会造成资产上的损失.

简言之，以太坊通过搭载智能合约，将 A 与 B 之间的某种约定以“If-else”的表述写入程序中，并让全网见证这一约定，到期自动执行，避免了传统意义上中心化见证、担保等行为带来的额外摩擦成本。当前，以太坊的生态热度不断提高。近日平均每日新增部署 250 个合约，日均 16 万次合约调用，并且保持着增

长趋势。而基于区块链智能合约的去中心化应用 Dapp，主要集中于金融、游戏、博彩、社交领域，用户数量与资产量在稳步增长。Dapp 通过链上智能合约实现了关键逻辑的去中心化执行，从而某些解决场景的信任问题，如金融应用中的信用传递、游戏应用中的关键数值等。与传统网络应用不同，Dapp 无需注册，使用去中心化的地址即可确定用户信息.

DeFi（去中心化金融 DecentralizedFinance）是最为活跃的 Dapp，通过智能合约代替金融契约，提供了一系列去中心化的金融应用。用户可以通过 DeFi 实现虚拟资产的相关金融操作，运用 DeFi 对虚拟资产进行资本配置、风险和时间维度上的重新配置。DeFi 通过将金融契约程序化，在区块链上复现了一套金融系统。DeFi 上的应用可以粗略分为稳定币、借贷、交易所、衍生品、基金管理、彩票、支付、保险。现实中很多 DeFi 的功能远超上述九类，主要源于其可以向“乐高积木”一样互相组合，又被称为 MoneyLego。

DeFi 高效、透明、无门槛且可以自由组合，这些特点使得 DeFi 生态快速发展和繁荣，被更多用户所接受使用。任何用户都可以访问并使用 DeFi，FabianSchär 发表在美联储圣路易斯联储官网的研究报告认为：“DeFi 可以提高金融基础设施的效率、透明度和可及性。此外，该系统的可组合性允许任何人将多个应用程序和协议组合起来，从而创建新的、令人兴奋的服务。”

传统金融系统大多基于信任，并依赖中心化的机构，但 DeFi 用智能合约取代了其中一些信任要求。这些合同可以承担托管人、托管代理和 CCP 的角色。例如，如果双方希望以代币的形式交换数字资产，则不需要 CCP 的抵押，相反，这两个交易可以进行原子性的结算，这意味着两个转移都将被执行，或都不会被执行。这大大降低了交易对手的信用风险，并使金融交易更加高效。更低的信任要求可能会带来额外的好处，即减少监管压力和对第三方审计的需求。几乎在金融基础设施的每个领域都有可能实现类似的效率提升.

DeFi 应用程序是透明的。所有交易都是公开可见的，智能合约代码可以在链上进行分析。可观察性和确定性执行至少在理论上达到了前所未有的透明度。

默认情况下，任何人都可以使用 DeFi 协议。因此，DeFi 有可能创建一个真正开放、无障碍的金融系统。这尤其表现在基础设施的要求相对较低，以及由于不需要身份认证带来的歧视风险几乎不存在这两点上。例如，如果监管要求对安

全代币进行访问限制，这种限制可以在代币合约中实现，而不会影响结算层的完整性和去中心化特性。

DeFi 协议经常被比作乐高积木。共享结算层允许这些协议和应用程序相互连接。链上的基金协议可以利用去中心化的交易协议，或者通过借贷协议实现杠杆。任意两个或多个部分都可以被整合、分解或重构，以创建全新的东西。任何以前创建的东西都可以被个人或其他智能合约使用。这种灵活性使得金融工程的可能性不断扩大，并引起了前所未有的兴趣.

15.3.3 虚拟物品资产化--NFT

NFT 的出现，实现了虚拟物品的资产化。NFT 是非同质化代币，是一种非同质化资产，不可分割且独一无二。非同质化资产的特点在于不能进行分割，且并不是完全相同的，恰恰现实世界和虚拟世界中的大部分资产都是非同质化的。NFT 能够映射虚拟物品，成为虚拟物品的交易实体，从而使虚拟物品资产化。可以把任意的数据内容通过链接进行链上映射，使 NFT 成为数据内容的资产性“实体”，从而实现数据内容的价值流转。通过映射数字资产，从此装备、装饰、土地产权都有了可交易的实体.

NFT 的出现将改变虚拟创作的商业模式，虚拟商品从服务变成交易实体。在传统模式下，像游戏装备和游戏皮肤，其本质是一种服务而非资产，他们既不限量，生产成本也趋于零。运营者通常将游戏物品作为服务内容销售给用户而非资产，创作平台也是如此，用户使用他人的作品时需要支付指定的费用。NFT 的存在改变了传统虚拟商品交易模式，用户创作者可以直接通过生产虚拟商品，交易虚拟商品，就如同在现实世界的生产一般。NFT 可以脱离游戏平台，用户之间也可以自由交易相关 NFT 资产.

NFT 可以成为元宇宙权利的实体化，如同实体钥匙一般。程序能够通过识别 NFT 来确认用户的权限，NFT 也能够成为了信息世界确权的令牌。这将实现虚拟世界权利的去中心化转移，无需第三方登记机构就可以进行虚拟产权的交易。NFT 提供解决思路本质上是提供了一种数据化的“钥匙”，可以方便地进行转移和行权，且一系列相应权限可以存在于中心化服务或中心化数据库之外，大大增强了数据资产交易、流转的效率，且流转过程完全不需要第三方参与.

例如在虚拟世界 CryptoVoxels 中，持有某个地块的 NFT 便拥有权利对这个

地块的限定空间内进行开发、改造、布置和出租。系统并没有把用户的权限信息记录在服务器中，而是记录着相应的 NFT 的权限信息。CryptoVoxels 中的地块 NFT 可以看作是一种高级形态的地契，它的流转执行并不需要中间登记机构，拥有权和改造权限通过链上通证进行转移，拥有该 NFT 的用户直接可以获得相应权限。元宇宙中权益 NFT 资产化能够促进权益的流转和交易。这种特点可以让元宇宙中的任何权利轻松实现金融化，如访问权、查看权、审批权、建设权等，方便这些权利的流转、租用和交易。NFT 虚拟资产交易从今年年初热度开始急速上升，目前月均交易额在 3 亿美元左右。用户创作的虚拟作品 NFT 总市值在快速增长。

15.3.4 元宇宙投资模式

区块链项目已经打造了一套元宇宙价值传输的简易样板。用户创作的 NFT 虚拟资产，可共用一系列基础设施，在项目间传递、联动。并且依靠 DeFi 金融系统，实现虚拟世界的普惠金融：用户可以低成本地以虚拟资产进行抵押借贷，进行分割和证券化。Decentraland 是第一个基于以太坊 NFT 进行价值流转的虚拟空间应用。用户可以进行创建和体验，并从内容和应用程序中获得收益。该平台的主要功能之一是能够在其虚拟现实情景中购买土地，并开展建设。

Decentraland 内的地块由不可替代的 NFT 代币 LAND 表示，这些代币跟踪以太坊区块链上的所有权。在 Decentraland 中拥有 LAND 类似，用户能够在 Decentraland 中使用 LAND 来构建三维空间和应用程序。在区块链世界中，不同项目的虚拟资产可以脱离项目进行交易。Decentraland 中的游戏资产和地块不仅可以在项目内部平台进行交易，也可以在其它平台交易。OpenSea 成立于 2017 年，是第一个 NFT 综合交易平台，也是目前交易量最大的 NFT 综合交易平台。OpenSea 目前有超过 10 万登记用户，超过 1500 万件 NFT 商品，总交易额超过 3.5 亿美元。和传统的虚拟资产交易平台不同的是，OpenSea 并不限制资产的项目来源，无论是 Cryptovoxels 中的土地、Axieinfinity 中的装备，只要是区块链上的 NFT 资产，都可以通过进行上架交易。OpenSea 也可以非常方便地发行自己的数字资产，平台可将用户上传的图片、视频、3D 模型进行存储和 NFT 化.

NFT 技术极大程度地方便了虚拟资产在不同项目间的联动。Cryptovoxels 是一个基于以太坊 NFT 技术的虚拟空间项目，其优势在于易于展示、对终端机能要求低，能够方便地向他人展览自己的虚拟物品和建筑。用户可在空间中进行自由

的创造展示，项目采用了和《我的世界》类似的方块搭建方法，任何人都可以轻松地建设这个世界。

Cryptovoxels 受到了加密艺术家们的青睐，通过打造画廊，用户可以直接购买展示的 NFT 作品。每一名加密艺术家都希望自己的作品能够得到更好的展示机会，CV 中的建筑都是非常直观的，用户可以在一个小时之内构建一个简单的展馆，把自己的 NFT 艺术品放置其中，这同时也是一个简单的艺术品交易所。随着越来越多的艺术家入驻 CV，将带来越来越多的买家，新的流动性源源不断地产生。随着更多用户的加入，发生社交联系，又会诞生一系列全新业态.

随着加密资产价格连创新高，在财富效应的驱使下，很多新用户开始学习并熟练去中心化的应用规则，甚至将自己创作的虚拟作品在链上实现资产化，大量使用 DeFi 应用，接受区块链技术作为价值承载和传输的工具。用户也开始追求加密资产的线上应用场景，数字艺术与虚拟世界成为最好的对象。从今年一月份开始，数字资产 NFT 的交易额再快速爆发，数字艺术、虚拟创作 NFT 的数量也在快速增加。

Roblox 在沙盒游戏的基础上，打造了稳定的经济系统。这使得创作者能够通过虚拟创作，获得现实中的收益，沙盒游戏开始迈向 UGC 平台。在经济激励下，用户的创作被激发，目前平台已有超过 1800 万个游戏体验。这种以玩家创作为主导，带来了沉浸式体验和社交场景，已经看到了元宇宙的雏形。Roblox 因此被称为元宇宙第一股，是第一个将“Metaverse”概念写进招股说明书的公司。Roblox 创立于 2004 年，其核心为游戏平台 Roblox，提供面向用户的客户端、面向开发者的 RobloxStudio 工具集，以及 Roblox 云服务，使玩家和开发者尽情在虚拟世界中创作，游玩、竞技、社交。2019 年，Roblox 的社区玩家 MAU 过亿，累计有千万名创作者使用过 Roblox 提供的工具来开发游戏，并在一年内市值飙升了整整 10 倍.

15.3.5 元宇宙投资策略

虚拟资产与虚拟身份用户在传统互联网平台中的虚拟资产和虚拟身份存在以下问题，这些问题阻碍了元宇宙的到来与发展。（1）传统互联网虚拟资产的解释权往往在平台机构，其资产属性并不明确。（2）虚拟世界的经济系统完全依赖运营者的运营水平，难以做到自发调整平衡。（3）用户的身份信息以及衍生的相

关数据被完全掌握在平台机构手中，缺乏隐私。而区块链能通过去中心化的权益记录，保障了用户的虚拟资产权益不被单一机构所掌控。这种权益记录方式使得虚拟资产近似于物理世界得真实资产，用户可以随意地处置、流通、交易，不受中心化机构的限制。区块链发展成熟的 DeFi 生态，能够为元宇宙提供一整套高效的金融系统。从虚拟资产的抵押借贷、证券化、保险等各个方面，为用户提供低成本、低门槛、高效率的金融服务。用户的虚拟资产如同现实资产一般，享受到金融服务，从而进一步强化了虚拟物品的资产属性。通过虚拟产权的稳定和丰富的金融生态，元宇宙经济系统将具备如现实世界中的调节功能，用户的劳动创作的虚拟价值将会由市场决定。传统的虚拟资产难以跨平台流通，区块链可以降低虚拟资产在多个平台流动的难度。传统的游戏资产在内的虚拟资产是记录在运营机构的数据库内，虚拟资产的跨平台转移涉及需要多方数据互信，成本高且难以实现。通过 NFT 记录虚拟资产的归属信息，并在区块链去中心化网络中以点对点的方式进行交易 NFT，本质上是因为这些项目采用了区块链平台进行资产的清结算，减少了信任风险，提高了清算效率。

区块链技术让用户控制自己的身份数据的实现终于找到了技术突破口。W3C 提出了基于区块链的分布式数字身份 DID 的概念，分布式数字身份具有以下：1）安全性：身份所有者身份信息不被无意泄露，身份可以由身份持有者持久保存，身份信息提供可符合最小披露原则；2）身份自主可控：用户可以自主管理身份，而非依赖可信第三方；身份所有者可以控制其身份数据的分享。3）身份的可移植性：身份所有者能够在任何他们需要的地方使用其身份数据，而不需依赖特定的身份服务提供商。目前在包括瑞士楚格市在内的多处组织，正尝试开展落地区块链分布式数字身份。基于分布式数字身份，社交网络应用的作用是提供服务，而无法进行社交数据的垄断。人与人之间的网络社交链接发生在数据层面，而非应用层面，这种模式下也能够有效地促进新的社交应用地诞生，以适应元宇宙复杂多样地社交场景.

投资策略：互联网的下一站，布局“BAND”赛道，关注模式创新与平台资源整合虽然当下离实现元宇宙的愿景尚有距离，但趋势已起，元宇宙或是下一轮科技创新的“集大成者”，成为互联网的下一站。元宇宙 BAND（区块链、游戏、通信、显示技术）各个技术赛道标的的投资机会。同时强调元宇宙商业模式尤其是

内容平台商业模式的发展创新，以及各个赛道间的资源整合。Roblox 的市值不断突破新高，表明着元宇宙的概念和 Roblox 的商业模式广受市场追捧。元宇宙未来主要面向 C 端，游戏作为主要的展现方式，游戏平台和游戏开发公司是元宇宙发展。随着游戏内容的不断丰富与提升，云游戏商业模式将迎来新的发展，对于低延迟、大带宽接入网络的需求提升，5G 的渗透率有望进一步提升。同时元宇宙的沉浸式体验离不开虚拟现实技术，VR 赛道值得关注。

15.4 地产元宇宙

2021 年，元宇宙代表公司 Roblox 上市，腾讯提出全真互联网概念，Facebook 旗下 AR/VR 设备 Quest 2 销量快速增长，市场对元宇宙进展高度关注。我们认为，元宇宙方兴未艾，随着技术的发展，数字化进程持 续加速，元宇宙有望从游戏逐步渗透到千行百业，并最终向全真互联网延伸。上述过程中，在游戏内容生 产领域见长的公司，用户基础、内容生产以及业务覆盖较广的综合平台，以及基础引擎、算力布局上优势突出的公司有望脱颖而出。

15.4.1 千行百业的数字化

元宇宙起源于小说《雪崩》对未来虚拟场景的描 述，当前市场对元宇宙的概念尚未形成统一认知，诸多社交、游戏类产品皆尝试探索元宇宙。我们认 为，元宇宙本质上是对现实世界的虚拟化、数字化过程，需要对内容生产、经济系统、用户体验以及 实体世界内容等进行大量改造。当前节点，内容创作与运营、AR/VR 技术已经逐步成熟，因此我们判 断以游戏、社交为代表的内容产业有望率先产生变化，未来伴随数字孪生、仿真等技术的成熟，千行 百业数字化加速之后，不同产业的“子宇宙”有望连接成为范围更大的“元宇宙”。

15.4.2 元宇宙带来新增长点

2020 年，全球互联网用户渗透率超过 60%，科技巨头在传统互联网业务进入到平稳增长之后，积极布局探索元宇宙，寻找下一代科技红利下的互 联网增长极。海外厂商中，Facebook 积极布局 AR/VR，辅以 Horizon 等新一代社交应用，探索社交元 宇宙；国内市场，腾讯提出“全真互联网”概念，结合元宇宙特征，积极探索从游戏到生活服务，并 延伸至企业数字化的多个领域。字节跳动则依

靠自身短视频流量，通过投资并购等方式，从游戏领域积极布局和探索元宇宙机遇。

15.4.3 元宇宙或许并不遥远

作为基础和先决条件，VR 等硬件设备体验不断提升、价格不断下降，在大厂的推动之下渗透率有望快速提升。5G、云计算、区块链等基础设施逐步成熟，内容及应用生态亦在硬件及基础设施的推动之下快速发展，元宇宙的成熟虽然还很遥远，但是探索正在加速；

15.4.4 元宇宙有望重构虚拟世界

“媒介即信息”，作为更沉浸、更丰富的媒介形式，相比互联网元宇宙必然会带来人类社会、经济更大的冲击和重构；移动互联网用来更短的时间实现了从渗透率到商业价值的全面超越；在硬件、基础设施加速推进之下，元宇宙有望以更快的速度成熟。并在平台生态、硬件需求、基础设施、内容形态等方面带来全新的机遇。

在元宇宙中，人们进行数字创造产出数字化的产品，并作为可供交易的商品。元宇宙中的数字资产具有产权属性，并可作为商品交易。数字市场是数字产品交换用的市场，是整个数字经济的核心。通过运用区块链去中心化等技术，元宇宙拥有自身的货币体系，用户可在元宇宙完成生产经营活动获得数字货币，用以满足自身的数字消费。

15.4.5 元宇宙地产行业的发展展望

1) 地产的展厅建设，可以减少实物展厅，而利用数字化展厅，更好宣传和推介。
2) 在概念阶段，可以让客户先进行沉浸式购房体验，生产和生活体验。甚至是产线的提前建模，更能完美体现客户入住后的感官体验。
3) 开放更多参与接口，让更多生产企业做好铺排。
4) 4 可批量形成建设图纸。实现所见就所有，降低产品与需求不匹配的矛盾。

15.4.6 元宇宙视角下，国际展会与生产要素重构

1) 逐步取代广交会等等国际展会。可以线上线下相结合。
2) 产品要素标签化，更多参数可以展示
3) 极大降低交流的商旅成本等
4) 通过区块链的技术实现订单签约，合约制定。极大增强信用。

15.5 职业教育元宇宙

上世纪 80 年代，计算机辅助教育进入人们的视野。我国计算机辅助教育起步较晚，1978 年才提出计算机辅助教育的研究项目，之后，北京师范大学和华东师范大学成立现代教育技术研究所。在计算机辅助教育阶段，大量的 CAI（Computer Assisted Instruction）课件被应用到实际教学当中。上世纪末本世纪初，互联网的普及为基于网络的线上教育提供了基础条件。近二十年来，网络教育蓬勃发展，尤其是 2020 年至今的新冠肺炎疫情，网络教育更是发挥了巨大的作用。2021 年，元宇宙概念爆发。元宇宙是人类利用媒介技术根据物理世界而创造的数字虚拟世界，其使用的基本技术有虚拟现实、人工智能、网络、区块链、视觉沉浸技术等。在元宇宙的虚拟世界中，人们可以进行社交、娱乐、学习、购买虚拟商品等。元宇宙为教育提供了一种全新的突破性的教育环境和工具。元宇宙的最突出优势是能够为教师和学习者提供一种沉浸式的教学互动场域，满足师生在物理世界和虚拟世界的教与学需求。虽然原来的 CAI 课件也希望最大程度仿真和模拟实际的物理世界，但受限于技术水平和能力，这些 CAI 课件的仿真和模拟现实世界的程度较低，不能像元宇宙一样为学生提供身临其境的教育场域，而元宇宙将为教育带来许多深远的影响。

现代教育的目标和职能是不仅要培养领导与管理人才，也要培养大量有文化的劳动者和不同种类的专业人才。职业教育是教育的重要组成部分，在国家经济和社会发展中占有举足轻重的作用。2014 年，国务院颁发了关于加快发展现代职业教育的决定，提出要培养培训大批中高级技能型人才。职业教育的教学内容是实践技能教学为主，贴近经济界、企业界的实际需求，与普通高等教育和中小学教育显著不同。职业教育的教学设备、教学模式、教学手段均有自己的特点和要求，元宇宙为职业教育提供了新的方式、手段和许多新的可能。

职业教育元宇宙就是元宇宙在职业教育领域的应用。元宇宙是个新生事物，如何在职业教育中用好元宇宙？元宇宙能够为职业教育带来哪些变化呢？

15.5.1 虚拟教学设备将弥补职业教育的办学短板

实践技能教学需要配套的教学设备，没有教学设备学生无法实训操作。法国有句谚语："在打铁中方才能成为铁匠"，简单的知识传授不能够让学生真正掌握技能和知识，所以实践技能型教学必须有"打铁"所需要的炼铁炉、铁锤等必须的工具。职业院校需要购买和配备相应教学设备才能培养合格的产业工人。比如：培养汽车修理工人的职业院校，就需要购买一定数量的汽车发动机、变速箱等汽车部件；培养制造业工人的职业院校，就需要购买主流的数字机场。这些实际的教学设备往往价格昂贵，有的设备占地面积较大，对学校的场地环境要求很高，有的设备升级变化也较快，这就对办学的职业院校提出了较高要求。对于不发达地区和经费紧张的职业院校，这些设备的投入往往成为办学的阻碍。

元宇宙让数字化虚拟教学设备进入职业教学。高仿真的数字化虚拟设备能够全面模拟物理设备，让学生通过使用虚拟教学设备进行实训操作，掌握所学的技能和知识。数字化虚拟教学设备能够解决现有物理教学设备的投入高、运行维护复杂以及不能实时升级到最新技术等方面的缺陷，所以在职业教育中，广泛使用数字化虚拟教学设备开展实训操作，在我国具有广阔的市场前景和实际价值。目前，在航空航天、军事等领域，高仿真数字化虚拟装备在训练中应用较多；在一般的民用行业，数字化虚拟设备的逼真度、普及化和专业性还有待提高。

15.5.2 数字智能教师实现全时伴读的个性化教育

教师对教育教学具有至关重要的作用。2018 年中共中央国务院印发《关于全面深化新时代教师队伍建设改革的意见》，提出"全面提高职业院校教师质量，建设一支高素质双师型的教师队伍"。从我国目前职业院校现实情况看，高素质的"双师型"教师仍然比较欠缺。利用元宇宙、人工智能等技术，打造数字智能教师能一定程度解决教师欠缺的问题。

目前，元宇宙数字人已经在电视节目中作主持人，能够成为智能客服机器人回答客户提出的问题，所以打造针对职业院校特定专业特定课程的数字智能教师在技术已经成为可能。数字智能教师参与教学过程中，能够为学生提供 7*24 小

时的全时教育服务，随时解答学生提出的问题，并能够针对每个学生提供个性化教育，这将从一定程度缓解职业院校师资短缺的问题，让学生随时感受到“教师”的关怀和教育，让教育无时不在、无处不在。

15.5.3 NFT 为学生提供学习成果积累和不同体验的学习奖励

元宇宙作为一个数字虚拟世界，有了“货币”和流通之后，这个数字虚拟世界才将更有活力。利用区块链技术实现的 NFT（Non-Fungible Token 的简称，意为非同质化代币）就是虚拟世界的“货币”。NFT 能够为数字虚拟世界每个虚拟物品进行类似货币定价一样标记定价，万物皆可 NFT。

利用 NFT 技术，我们可以记录学生的学习成果、学习成长经历、所获得的技能与证书等，也可以将 NFT 标记的虚拟物品奖励给优秀学生，为学生提供一种不同体验的学习激励。在未来，如果数字虚拟世界和现实物理世界无缝融通之后，NFT 在现实物理世界具有价值后，那么 NFT 学习奖励将对学生更加有吸引力。

15.5.4 沉浸式互动教学环境让深度学习更容易发生

在职业教育元宇宙中，将为教师、学生、管理者等相关主体创建数字身份，为客观对象创建相应的虚拟数字对象，形成虚拟世界的教学场所，教师和学生可以在虚拟的教学场所进行互动教学。从教育学的角度看，元宇宙的赋能教育的突出优势是能够为师生创设一种能够平行于现实教学环境的虚拟的沉浸式的教学互动场域。这种虚拟的沉浸式的教学互动场域，突破了物理世界的局限，使教师和学生可以不受客观物理世界的限制进行教学。元宇宙实现了“虚”“实”的完美结合，将重塑教育学习环境，让深度学习更容易发生。

利用元宇宙技术，我们可以开发有针对性的基于元宇宙的职业教育课程的教学环境，并将高水平教师的教学内容知识图谱化和人工智能化，让师生可以在超现实的环境中的进行沉浸式的互动教学，就像“黑客帝国”“头号玩家”等电影中描述的一样，师生可以通过佩戴人机接口设备，在虚拟数字世界中学习、生活、交友，这样就不需要购买昂贵的物理教学设备。元宇宙的技术设备主要包括：人机接口设备、网络、计算机等，利用元宇宙开发的职业教育课程的虚拟教学环境是一个软硬件结合的集成环境，为师生提供数字化沉浸式的教学互动环境，学生能全身心沉浸在这个有吸引力的教学场景中深度学习。

目前一些院校和企业已经建设了一些基于虚拟现实技术的课程资源，笔者已经见到了汽车维修课程，师生通过 VR 眼镜、手柄，可以在虚拟环境中手把手的互动教学，学生还可以操作虚拟的汽车零部件维修汽车。这些课程资源是元宇宙在职业教育的有益尝试，虽然其技术水平还不高，但是已经展现出职业教育元宇宙的潜在巨大价值。

15.5.5 高仿真的游戏式教学更好的激发学生的学习兴趣

很许多人感叹“如果工作和学习也能像打游戏一样该多好！”，许多学生都很喜欢打游戏。职业教育元宇宙可以实现游戏化教育，在创设的虚拟化教育场域中，设置知识通关游戏，让学生在学习知识的过程中，挑战自我，给学习者一种参与感和成就感，将枯燥的学习变得鲜活、生动和有趣。

在职业教育元宇宙中采用游戏化教育教学方式将具有重要的价值。游戏中的及时反馈系统以及带给学习者的参与感、成就感系统能够有效促使学习者在学习过程中达到心流状态；游戏美学通过丰富的多媒体与简明的设计，可以刺激学习者兴奋性和注意力，激发学生的学习兴趣；游戏化所构建的安全试错环境使得学习者能够在不断的尝试中提升认知技能。兴趣是最好的老师，所以将教育过程游戏化，寓知识和技能教育于游戏通关中，将能有效激发学习者的学习兴趣，让学习变得更加鲜活、更加有吸引力，教学效果将倍增。

15.5.6 元宇宙有利于促进职业教育优质资源共享与教育公平

我们国家的职业教育长久受到社会各方面歧视，导致过去很多年的职业教育发展存在诸多问题。比如：职业院校在资金投入方面存在明显短板、家长也认可不愿意孩子就读职业院校。中国职业技术教育原副会长、深圳职业技术学院创校校长俞仲文说，“虽然国家提倡两类教育要均衡发展，但在十年前搞职业教育百所示范校，却只投入 20 个亿，还不及一个 211 院校的投入”；在一些欠发达地区，职业教育办学经费更加不足，这就直接导致师资缺失、办学条件跟不上、办学设施欠缺，进而导致职业教育质量无法满足产业需要，无法培养出高素质的技能型人才。

职业教育元宇宙本质上讲还是数字技术的应用，数字技术的一个特点就是几乎可以零成本复制，所以职业教育元宇宙能够有效解决优质资源不足，实现优质

教育资源共享，有助于解决教育公平问题。

15.5.7 职业教育元宇宙促进 “线上线下”教育的融合

“元宇宙”就是利用媒介技术展现出的虚拟世界，其本质就是发达的虚拟世界；不同的媒介技术从不同的维度刻画现实世界，向人们展示不同层面的虚拟世界。职业教育元宇宙将在线上的虚拟教育场域下开展教学，这个虚拟教育场域是现实物理世界的高度仿真。传统的职业教育主要是在校园开展线下教育。利用职业教育元宇宙，就可以实现“线上线下”教育的融合。比如学生可以在线上学习职业技能和知识，并进行仿真练习和操作；在初步掌握后，学生就可以在实际的物理教学环境中实训操作。这种“线上线下”结合的教育方式，能够减少物理教学设备的损耗，尤其是对于具有一定危险性实训操作，职业教育元宇宙更加能发挥其巨大的作用。

认知学习理论认为人类获取信息的过程是感知、注意、记忆、理解、问题解决的信息交换过程。职业教育元宇宙能够让学习者在高度逼真的虚拟世界进行认知学习，元宇宙也必将对职业教育产生深远的影响。

本章内容由刘建明、卢洪波、马庆胜起草，由龚才春修改。

参考文献：

[1] 刘建明，林弘宇，陶雄强. 物联网与能源互联网[M] 电子工业出版社,2021.

[2] Jianming Liu,Ziyan Zhao，Research and application of wireless sensor network technology in power transmission and distribution system，Intelligent and Converged Networks[J]，IEEE Xplore，ISSN 2708-6240，Vol.1，No.2，Sept.2020.

[3] 刘建明，赵子岩，季翔，物联网技术在电力输配电系统中的研究与应用[J]. 物联网学报，2018.

[4] 刘建明，施明泰，庄玉林等. 增强现实,虚拟现实和混合现实技术在电力系统的应用研究[J]. 电力信息与通信技术,2017.

[5] 谭磊，陈刚. 区块链 2.0[M] 电子工业出版社,2015.

[6] 刘建明，李祥珍. 物联网与智能电网[M] 电子工业出版社,2012.

第 16 章 消费元宇宙

16.1 艺术元宇宙

艺术元宇宙由艺术元空间、数字孪生、虚拟精灵、视觉图谱、艺术 AI 大脑构成，表现现实、数字、抽象三个世界，艺术元宇宙是元宇宙的基础。

16.1.1 艺术元空间

（1）虚拟展览与虚拟拍卖

清·冯宁所作的《仿杨大章画<宋院本金陵图>》，被誉为“南京版清明上河图”，近日“金陵图数字艺术展”在南京展出。

元宇宙时代，虚拟展览、虚拟与现实交互展览、虚拟拍卖将成为重要的形式。

图 16- 1：“金陵图数字艺术展”在南京展出

（2）交互媒体与互动电影

以 TeamLab 为代表的交互媒体是近些年来比较热的一种实用性艺术形式，作品在创新性、观赏性、娱乐性、互动性、学术性等取得了巨大成就，而且也展示出非常好的商业前景。

元宇宙的基础社交平台为交互媒体的超现实互动扫平了道路，数字造型技术

通用模型格式的发展为模型共享扫平了道路，元宇宙催生的现地体验场景的极大丰富为现实融合扫平了道路。总之，元宇宙会为交互媒体带来全新的局面。

图 16- 2：交互媒体形式

（3）虚拟表演与虚拟播音

一场名为“华熙 ADS·次元重合·沉浸式演唱会”的活动于 12 月 25 日圣诞夜，在“成都华熙 LIVE528·M 空间 ”演出。

未来，虚拟音乐会、虚拟 T 台秀、虚拟舞蹈、虚拟戏剧、虚拟戏曲都会成为元宇宙的基本组成部分。

图 16- 3：华熙 ADS•次元重合•沉浸式演唱会

(4) Z 世代

心理剧、剧本杀、角色扮演等这些形式，在元宇宙时代将更加虚实结合，元宇宙化。

日前，飞轮、滑板等新兴运动形式在年轻人中兴起。未来，运动型新社交将会成为一种新的风尚。

Z 时代一方面会在虚拟世界中徘徊，一方面会在现实世界中寻求新的变化。

Z 时代的元宇宙将呈现虚拟与现实二元性的特点。

16.1.2 艺术数字孪生

(1) NFT 数字服装

今年夏天耐克与 Roblox 合作创造虚拟社群，并正式收购虚拟球鞋、时尚品牌 RTFKT。RTFKT 创立于 2020 年，主要生产虚拟球鞋。同期，Adidas Originals 宣布进军元宇宙。西班牙全球时尚巨头 Zara 当地时间本周二（2021 年 12 月 7 日）宣布，推出其首个为人类和化身设计的服饰系列。这些实体和虚拟模型可以在全球任何地方的该品牌连锁店中购买。

随着人工智能技术的兴起，虚拟服装相关一直在非常进步。在元宇宙时代，虚拟服装一方面会秉持传统服装领域的模式，另一方面会深度介入到虚拟世界场

景生成，在虚拟精灵换装问题上提供强有力的支持，极大的增强元宇宙体验感。

图 16- 4：虚拟服装

(2) NFT 数字音乐与数字剧本

日本音乐大师坂本龙一的「595 music notes」NFT 计划，于 2021 年 12 月 21 日在 NFT 销售平台 Adam by GMO 开售。

NFT 数字音乐将音乐从消费品转变为收藏品，所有非实物独创性生产品都可以走这样一条道路，这会促使新工匠模式的产生。

(3) 数字艺术创客

3D 打印 1984 年面世，30 年以创客的方式开始在全球流行，但 3D 打印机因价格、窄生产面、产品品质无法突破等问题，一直没有成长起来。

数字艺术创客是未来重要的一个产业，以美国麻省理工 FabLab 实验室为代表的轻型全场景微工业数字加工工具套件为代表的模式，为有创意、美术能力的年轻工艺设计师带来了新的生产模式。

小批量、差异化、低成本、个性化、超小众、艺术化、创意化的新型工匠式生产模式正在兴起，元宇宙将为这一模式赋能。

如果基于元宇宙，FabLab 模式与数字加工中心结合，其生产品质将大幅提升，将进一步触发爆发出巨大的生产潜能。下图是德国新兴企业 Zellerfeld 基

于可回收材料进行的 3D 打印生产，这也是一种新的模式。

图 16- 5：Zellerfeld 基于可回收材料进行的 3D 打印生产

（4）艺术教育

未来学习空间是指基于包括认知主义、行为主义、建构主义、联通主义在内的经典和新兴教育学学习模型，以及包括三时、六艺、传习、试用、不器、恒工、官学、内省等在内的中国特色和中国古典学习模型，依托于 AI 教师、电子白板、室联网直播互动等技术体系而建立的人人能学、时时能学、处处能学的教学环境。

元宇宙时代，社交平台和可视化展呈与仿真平台的成熟，未来艺术教育乃至未来教育将发生全面的变革。

16.1.3 虚拟精灵

虚拟人是元宇宙中重要的一环，这已经渐渐成为共识。虚拟人造型会成为新 IP 产生的重要一环，在不久的未来也会达成共识。

（1）虚拟人造型范式

虚拟人造型应符合几个范式：审美范式、美学范式、设计范式、信息美学范式。

首先，虚拟人需要符合审美范式，所谓颜值即真理，审美是心理，心理是潜

意识，潜意识是决策。元宇宙为潜意识实时决策提供了沃土，所以虚拟人要过的第一关是审美范式。但虚拟人的审美不是美学意义上的审美，是心理学意义上的审美，是大众审美，是均值审美。

其次，虚拟人需要符合美学范式，所谓美是感受，当下的感受是反射，十年的感受是经历，五十年的感受是回忆，一百年的感受是经典，一千年的感受是文化，一万年的感受是原理，这些都会形成美学范式。虚拟人的美学范式是万年级原理级的，说的再通俗一点就是直觉，直觉是虚拟人要遵循的美学范式。

第三，虚拟人要符合设计范式，虚拟人终究是一个产品设计，基本的设计范式是一定要遵循的，而最重要的设计范式是创意。

第四，也是最关键的一点，虚拟人需要符合信息美学范式，也就是大数据视觉范式。大数据视觉范式是指为帮助人们理解与分析，采用计算机图形和图像处理技术，基于第四范式、设计思维、交互设计、自然界面、意义图谱等，对具有体量巨大、来源多样、生成极快、且多变等特征并且难以用传统数据体系结构有效处理的大规模数据集展开的近观察、短逻辑意义的视觉呈现。

（2）虚拟人造型模式

首先，从审美上讲，无论技术怎样进步，快照式的超真实虚拟人其色彩体系需要进一步优化，所以即使是高度依赖于技术的超真实虚拟人也离不开美术师的介入，来创造油画级的超级虚拟人，或者国画式的超级虚拟人。

对于一般意义上的虚拟人，虚拟人最重要的是要创造一个个新 IP，创意是首当其冲的，而创意更加不是快照式的，而是美术式的。

第三，虚拟人需要表达某种意义图谱、精神图腾、心理眷恋，而这一切只有用绘画的方法，而不能用摄影的方法，用美术的方法，而不是扫描拓扑的方法来获得。

（3）虚拟人造型非计算机技术体系

关于虚拟人造型非计算机技术体系，设计心理是第一要考量的因素，创作方法是第二要考量的因素，创意方法是第三要考量的因素，社会心理与哲学是第四要考量的要素。当然，美术学常用的方法：色彩、造型、平面、关系等等是更基

础的部分。

（4）虚拟人造型计算机技术体系

Max，C4D，Maya、Zbrush、Blender、UE、Unity 等软件及其插件的迅速发展为虚拟人、虚拟物的快速、超写实、高清晰、高品质的生成铺平了道路。

虚拟人的生成包括：写实、抽象、卡通、科幻、偶像、拟物化、IP 化等模式。

图 16- 6：虚拟人形象 1

图 16- 7：虚拟人形象 2

（5）虚拟物造型计算机技术体系

除了拟人造型，拟物也是未来重要的发展趋势。拟物包括两种：一种是拟形，另一种未来更重要的是连同功能一并构建出来。后一种既可以拟物、也可以在元宇宙中运行，还可以在现实世界中生成，变成现实的存在。

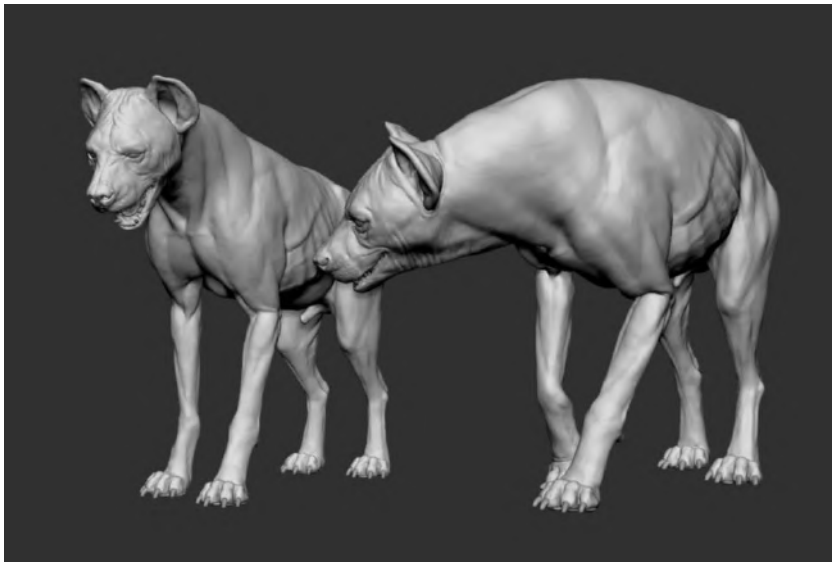


图 16- 8：虚拟物造型 1

图 16- 9：虚拟物造型 2

（6）虚拟精灵

虚拟精灵是在虚拟人、虚拟物在元宇宙中运行过程中，产生类似人的一系列属性，虚拟精灵既可以是现实中的人通过实时动捕、数字孪生等方式驱动，也可能由元宇宙大脑通过人工智能驱动。虚拟精灵是元宇宙独有的一种新形式。

图 16- 10：虚拟精灵

16.2 文旅元宇宙

16.2.1 文旅产业发展趋势

2009 年 8 月 31 日，中国第一份有关文旅融合的政策《文化部、国家旅游局关于促进文化与旅游结合发展的指导意见》颁布。该意见明确提出促进文化旅游融合发展，以文化提升旅游内涵，以旅游扩大文化传播。十八大以来，文化产业和旅游产业受到高度重视，以习近平总书记为核心的党中央从顶层设计和战略高度强调“文化自信”，部署发展文化产业；国务院积极指导推进全域旅游，促进文旅产业融合和集聚发展。2018 年 3 月国务院机构改革，将文化部与国家旅游局合并新组建文化和旅游部，昭示着从政府顶层设计和管理方面已经将文旅融合作为新时代重要工作目标任务，也预示着文化和旅游行业将面临新的发展机遇和新的变革。

文化和旅游部公开发布的数据显示，2018 年全国实现旅游总收入 5.97 万 亿元，同比增长 10.5%；旅游业对 GDP 的综合贡献为 9.84 万亿元，占 GDP 总量的 11.04%。国家统计局发布的报告显示，2018 年全国文化产业实现增加值 3.87 万亿元，比 2004 年增长 10.3 倍，占 GDP 比重由 2004 年的 2.15%、2012 年的 3.36% 提高到 2018 年的 4.3%，在国民经济中的占比逐年提高。以上权威部门数据显示，文化和旅游消费构成经济增长的重要因素，文化旅游产业发展活力强劲且呈现纵

深发展的态势，逐渐成为中国国民经济的支柱性战略性产业。

伴随国民经济的发展和人均国民收入的提高，我国居民可支配收入及时间也将不断增加，有利于支撑文旅产业进入新一轮发展期，并主要呈现 X 方面发展态势。

一是国内旅游进入高质量发展期。在追求高质量发展的新时代，融合创新成为新风尚，旅游群体的理性取代了盲从，游客希望在旅游时感觉更安全、更方便、更舒适、更自由、更快乐，更具体验感、获得感、幸福感。文化与旅游的深度融合使人暂离平淡生活，在旅行中去追求诗与远方的梦想，从而获得精神和文化的更大满足，为生活补足动力。

二是文化成为旅游的核心驱动力。旅游消费主体越来越注重旅游的“文化感”和“体验感”。文化是一种内在、普遍的精神需求，是旅游的灵魂，也逐步成为旅游的主要动机和最终回报。差异化的文化资源彰显地方文化的独特魅力，地域特色体现的文化底蕴往往难以模仿和复制，能满足游客高层次的文化需求，是培育旅游核心竞争力的关键。

三是“+ 旅游”将成为社会各界关注的焦点。如果说“旅游 +”反映了旅游业寻求与关联产业融合发展的主动作为，那么“+ 旅游”则是其他产业与旅游业的自觉融合和联动发展。“+ 旅游”是经济发展到高级阶段的必然产物。“+ 旅游”不是关联产业与旅游业的简单叠加，而是使旅游业实现产业化提升、规模化拓展，使关联产业焕发新活力、拓展新空间、实现新跨越的融合发展模式。从相互关系上说，关联产业是根本，在旅游业的重塑之下获得新生命。旅游业提供平台，重塑农业、工业、商业、科技等业态，将看似不相关的产业要素进行有效融通，催化新旧动能转换。

四是数字经济有望重构文旅产业新格局。文化和旅游产业的数字化从未停止，并且正在加速。科技进步与产业升级总是相伴而行，现代科技是现代旅游业产生的重要基础，也是推动产业进步的关键力量。根据第 44 次《中国互联网络发展状况统计报告》，截至 2019 年 6 月，我国网民规模达 8.54 亿，手机网民规模达 8.47 亿。随着信息化、网络化、大数据、智慧化、智能化等数字科技的深入发展，人类社会数字化趋势越来越明显，以 5G、智能硬件、AR/VR、神经界面、数字媒体、短视频等为代表的新一轮数字经济方兴未艾，正在重构文化和旅游产

业新格局。

在新时代的背景下，诗和远方已经成为一种新的精神追求，而文化和旅游的融合发展完美满足了这种追求。文化和旅游联系紧密相互依存，它们的融合既可以继承和发展中华优秀传统文化，促进文化产业的发展，又赋予了旅游业强大生命力和持续发展的强劲动力。

科技赋能文旅产业目前处在一个关键窗口期，消费者对于新国潮、中华文化增强自信的过程是前所未有的时代文化背景。以文化的使命来看科技赋能是未来文旅产业顶层设计的起点。

16.2.2 文旅产业发展面临的挑战

目前，我国的文旅产业正处于转型升级期，由于文旅产业自身的特点，以及，游客群体多样化与多元化特征日渐增强，使文旅产业面临很多挑战。这些挑战表现在疫情影响、时空限制、节能低碳、人景交互等四个方面。

（1）疫情短期内无法结束，文旅产业受到冲击较大

疫情暴发后，无论是国家层面为严防疫情扩散所采取的硬核举措，还是公众对新冠病毒所产生的恐慌情绪，都致使文旅市场的消费需求一度出现了“应激性”萎缩。据 2020 年 2 月 1 日上海市新冠肺炎疫情防控新闻发布会数据，上海市取消的出行达 20 余万人次；湖南省文化和旅游厅数据显示，截至 2020 年 2 月 11 日，湖南省取消的境外游达 102367 人次，取消的国内游、省内游分别达到 114551 人次和 24011 人次；四川省文化和旅游厅数据显示，截至 2020 年 2 月 2 日，四川省有 1242 家旅行社均暂停组织旅游团队出行，7.43 万人取消境内旅游，0.28 万人取消入境游，2.5 万人取消出境游；甘肃省文化和旅游厅数据显示，截至 2020 年 3 月 30 日，甘肃省取消旅游团队 547 个，涉及 11183 人；今年春节期间，安徽省 289 家星级酒店接到退房申请 7.76 万单。

我国新冠肺炎疫情得到有效遏制后，国内文旅市场也日趋回暖。但由于国外疫情防控形势依然不容乐观，加之国内个别省市出现了疫情的波动，使得文旅市场消费需求依然低迷。中国旅游研究院发布的《2020 年清明节假日旅游市场研究报告》显示，清明假期国内旅游接待总人数较 2019 年减少六成。因此，在后

疫情时代的新全球化，人与人的接触将受到物理空间的限制，文旅产业发展需要找寻新的出路，才能破解当前疫情下的文旅产业困局。

（2）受到时空特性限制，诸多物理世界常人无法企及

人类对自由的追求是一个永恒的命题，旅游，是人类随个人意愿，去往内心目的地的一种方式。然而，受到时间和空间等限制条件，使绝大多数人类都不能随心随遇地自由来往于内心向往之地。

在时间方面，旅游是需要充足的时间才可进行的，也正因此，限制了很多游客的出行。对于一些有经济条件的人群，往往受到繁忙工作和应酬影响，个人自由时间受到严重限制，没有集中的时间段可供休息、放松，尤其是走访其他地域观光游览。同时，一些年轻人虽然有时间旅游，但却不愿在路途中花费大量时间，更不愿集中在各类长假去“人山人海”的旅游胜地，因为，这样会把大量的时间浪费在排队上，使假期旅游比日常工作更消耗体力、精力。

在空间方面，受到物理世界的客观制约，很多地域或景区是普通游客永远无法企及的。例如，巍峨宏大、气势磅礴的珠穆拉玛峰是无数人的向往之地，但攀登到世界之巅，除了要有极大的勇气，还需要有超越常人的身体素质，因此，那里一直人迹罕至；德雷克海峡不仅是世界上最宽距离的海峡，还是世界上最深的海峡，那里有白雪皑皑的冰川，也有神秘的极光，但由于这条航线极其危险，使很多游客望而却步；还有一些地域，如耶路撒冷、阿富汗等，有着较为悠久的历史，是文旅胜地，但缺因为战乱等人为因素，使很多游客无法随心所欲观光。

因此，当今世界的科学技术，依然不能完全打破物理世界的时空限制，使人类的游览活动不能完全自由。

（3）节能降碳已成长期战略，传统文旅亟需绿色转型

近年来，气候变化问题引起了世界范围内前所未有的重视和关注。以 1901-2000 年这 100 年的平均温度为基准，21 世纪以来，全球已增温近 1 度。联合国环境规划署（UNEP）预测，如果世界各国继续维持当前的排放政策，将导致 2100 年全球平均温度相对于工业化前水平上升 3.4℃-3.7℃，并使全球平均温度持续上升。温度的持续上升将会引发冰川消融、海平面上升和极端天气频发等一系列

问题，这将会威胁到人们的生产与生活，甚至影响到整个社会的正常运转。在此背景下，减少温室气体排放、应对气候危机已成为全球共识。

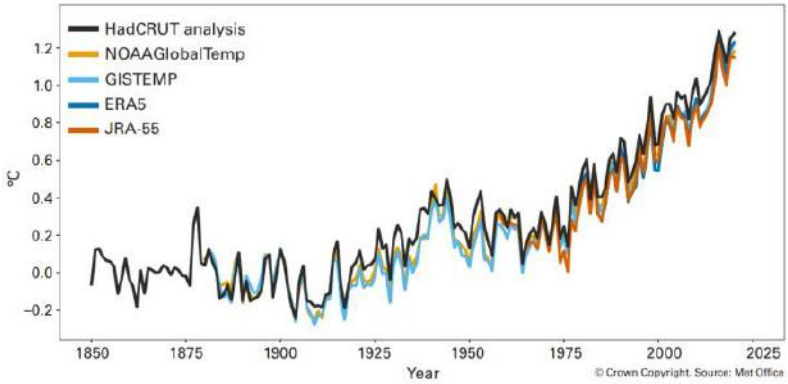


图 16- 11：全球平均气温变化幅度

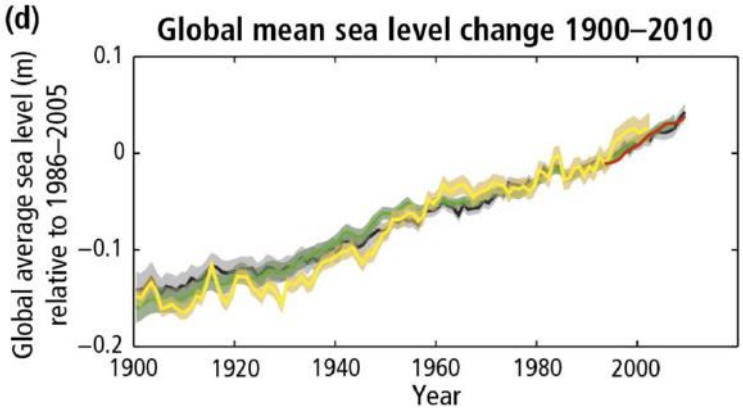


图 16- 12：1900-2010 年全球平均海平面变化

为应对气候变化，国际上召开了多次会议，并达成了相关协议。其中，联合国于 1992 年通过了《联合国气候变化框架公约》，包括中国在内的 189 个温室气体排放国就支持解决气候变化问题作出了承诺，明确了减少温室气体排放、促进可持续发展的总体目标。1997 年，149 个国家签订了《京都议定书》，该条约进一步明确了减排气体的种类及额度，力求将大气中的温室气体含量稳定在一个适当的水平。2015 年，《巴黎协定》对 2020 年后全球应对气候变化的行动作出了统一安排，提出要将全球平均气温较前工业化时期上升幅度控制在 2 摄氏度以内，并努力将温度上升幅度限制在 1.5 摄氏度以内。随着各项气候协议的不断出台，各国都加快了治理气候问题的步伐。

中国作为世界第二大经济体以及绿色经济技术的领导者，义不容辞地承担起了促进世界可持续发展的重任。2020 年 9 月 22 日，国家主席习近平在第七十五

届联合国大会一般性辩论上郑重向世界宣布，中国将力争在 2030 年前实现二氧化碳排放达到峰值、2060 年前实现碳中和。这意味着中国经济将正式步入低碳转型的发展轨道，中国将在未来 40 年对国内的经济成长、产业结构、技术路径、商业模式、乃至居民生活方式进行一定程度的调整。在这一目标的引领下，我国将进行新一轮的产业结构调整，完成新旧动能转换，并优先发展数字经济、高新科技产业、现代服务业等低耗能产业。我国很多地区和企业迅速对此做出响应，积极研究制定双碳行动方案。

文旅产业具有多元化的消费形式，其中涵盖各类交通运输设施，例如飞机、火车、客车等，在运营过程中通过消耗化石能源而产生大量的碳排放。另一方面，游客在各类景区的观光游览，对当地的生态和环境将造成不同程度的压力，尤其是五一、十一等长假，集中的客流在破坏当地自然生态的同时，也将造成区域二氧化碳排放显著提高。

因此，在碳达峰、碳中和的战略目标下，文旅产业如何突破传统格局，在满足游客需求的同时尽量不产生二氧化碳排放，是值得我们关注的问题。

（4）人景融合交互深度不足，游客体验感无法提升

时代快速发展使人们追求物质需要的同时，对于精神建设的追求也越发精致细腻。传统娱乐休闲为主的文化与旅游方式已不能满足人们需求，对于如何提高各类景点、景观带给人们的体验性、互动性成为当下景区建设的热点，以“人景交互”为特征的交互式文化与旅游方式，越来越受到专家学者的重视。

“人景交互”的思想来源于交互设计，是交互设计手法在规划设计中的应用与体现，注重人与景观等客观事物的交流和沟通，注重人对物理事物的体验和理解，与现代化设计中“以人为本”的理念不谋而合。因此，“人景交互”可以理解为将交互设计理念应用于旅游景区设计当中，通过一定的艺术形式和手法，运用特定的技术和材料，创造出可被理解、可被感知、可被参与的场所，从而达到人与景观环境的交流互动。

然而，传统的旅游模式缺乏人景交互，诸如“停车拍照、上车睡觉”的旅游模式，远远不能满足游客对旅游区的深度体验。即使目前市面的“深度游”、“体验游”，也均是把游客设定为“过客”，而不能真正的作为景区或景点中的一份子，

深度体验旅游带来的认知体验和文化提升。

16.2.3 文旅元宇宙当前技术应用

元宇宙是集成与融合现在与未来全部数字技术于一体的终极数字媒介，它将实现现实世界和虚拟世界连接革命，进而成为超越现实世界的、更高维度的新型世界。本质上，元宇宙描绘和构造了未来社会的愿景形态。媒介是人体的延伸，不同于分割感官以致传播权力外化的模拟媒介技术，数字媒介以再造“数据躯体”具身的新型主体方式实现了传播权力向个人的回归，个体的赋能赋权是数字时代媒介技术进化的根本逻辑。新时期，基于文旅产业的发展趋势及面临挑战，元宇宙的新技术、新模式、新业态有望为文旅产业带来新的变革。

（1）VR/AR/MR

VR/AR 技术在文旅行业中的应用主要体现于虚拟旅游和数字化复原两方面。虚拟旅游场景以轻 VR 为主，表现为 VR 全景照片及 VR 视频，用户只需佩戴相应设备便能实现全景浏览。数字化复原主要应用于博物馆及文化古镇，通过该技术，人们可以看到已经消失的文物或遗迹。AR 应用的场景相对较多一些，可以植入景区各类主题 IP，设计寻宝、集物、打卡等互动，吸引游客扫描进行空间交互娱乐体验，有利于实现精准位置营销，促成商业转化。AR 技术结合主题 IP 与剧本杀，进行联合开发，为景区的智慧化发展提供了新发展思路，AR 剧本杀让游客仅需用手机扫描景区场景即可体验到虚拟与现实完美结合的场景布置、玩家搜证环节，其游玩模式为剧本创作带来了更多空间想象力，为游客增添了沉浸式数字化体验选择。

在 2021 年 8 月的中国—上合组织数字经济合作展馆智慧旅游展厅内，中国

三峡博物馆，以晚清老地图《增广重庆地舆全图》为场景，运用融合 AR、VR 技术的混合现实 MR 技术，让人“走进”地图。体验者通过佩戴 HoloLens 全息设备，便置身于晚清时期的街道、店铺、码头等场景中，通过人、场景、真实文物、虚拟内容等之间的融合互动，生动理解文物背后故事。大足石刻研究院通过光影与雷达互动方式，全面呈现大足石刻原貌，利用 MR 大屏结合动作识别与 AR 技术，在实体造像的基础上叠加虚拟场景，让体验者与千年石刻进行对话，成为国

内首创的新体验形式，不仅如此，体验者还可以将 MR 大屏体验形式和文化内容复刻至移动端小程序上，通过手机扫石刻造像来完成受众与造像之间的互动体验。

（2）人工智能

智能推荐系统已被广泛应用于原创内容开发领域，在国外，Netflix 基于其推荐系统进行项目成功率预测，在国内，各种推荐系统基于海量数据，从不同维度对 IP 开发潜力进行评估，拓宽 IP 开发方向；计算机视觉则对视觉世界进行了数据性的解构与高级语义层面的再现，目前智能视觉在视频、图像生产，设计制作等方面得到广泛应用，图像美化、图片自动编辑、图片修复、图片替换、智能审核等；智能语音技术从语音文字相互转化、语音交互等方面拓展了声音的维度与可能性，在语音主播、高难度唱腔、智能音箱、即时翻译等领域深度介入到文化内容生产环节；自然语言处理技术在文化生产中也得到了广泛运用，通过为文本在各个语言空间寻找映射或函数的方式，在文本情感分析、文本翻译、文稿撰写和文本审核等场景均有应用，并体现了一定的商业价值；机器智能决策在游戏领域得到了良好应用，人工智能技术生成的电脑玩家，可以基于大量历史记录，伴随游戏环境的变化做出正确反应动作。

人工智能技术介入艺术创作，正在引发艺术行业从业群体的热烈关注。在人工智能音乐方面，能够轻松实现一定质量的智能作曲、智能演奏。平安科技在古典交响乐编曲创作上实现了人工智能技术的完整开发应用，上海音乐学院着手开展人工智能对于中国民族乐器以及乐器技法识别的研究，中国音乐学院进行了编钟等中国民族乐器的测评研究，通过频谱分析的方式，对乐器的音准、音量、延时、音色及隔离度等参数进行量化评估，进而在认识并改善音色，优化乐器音响等方面开展实践性运用；人工智能美术方面，运用图像分析和特征提取技术，计算机能够从绘画作品中学习大量美术创作知识，提取绘画图像的有效特征，实现绘画作品价值评估、绘画作品版权保护、绘画作者识别、绘画风格比较和绘画语义情感分析等。

在可见的未来，随着传感器和智能器材的普及，人工智能将被赋予更为细致的视觉、听觉、触觉，2021 年 8 月，北京航空航天大学的一个研究团队公布了其开发的一种新型触觉传感技术，能够让机器人拥有像人一样的触觉，感受

物体表面的纹理及物体的硬度。现实世界正在被加速度数据化，海量丰富的数据将使人工智能技术在文化旅游产业发展上充满巨大提升空间。

(3) 区块链及 NFT

区块链在数字文化版权方面的应用已全面展开，人们运用区块链技术可信、可追溯的特点进行各种类型的数字文化版权登记、变更、授权与衍生等交易，同时，区块链技术可对数字文化企业的股权、无形资产等合约或财产的真实性进行智能化管理，实现价值传递，此外，区块链技术在数字文化产品与服务的跨境支付、贸易结算、衍生品合约买卖等交易场景方面也将发挥重要作用。中国版权保护中心、华夏微影文化传媒中心等共同推出运营微电影微视频区块链版权（交易）服务平台“微视频 360”，是区块链技术在版权确权、保护、交易服务应用中的先行者，平台以区块链为底层技术，从根本上建立了微视频自拍、自传、自定价、去中心化，自收益、按法规纳税的商业模式，为我国知识产权版权运营提供了有效参考。

在网络视频行业，代币经济为网络视频产业提供了新的融资、创作、发行方式。如，网络影视剧项目初期，可以通过发行代币来进行融资，投资者可以在未来使用代币消费该产品及其衍生品，也可在社群进行代币交易，从影视产品的价值变动中获得收益，越来越多的世界各地的艺术家们可以在不同应用程序上为自己的影视、音乐甚至慈善项目进行融资发行和版权交易。

2021 年以来，NFT（非同质化代币）从小众圈层快速走向大众化，NBA 巨星凯文·杜兰特、日本著名艺术家村上隆、美国传奇影业、图形软件巨头 Adobe Photoshop、《纽约时报》、《时代周刊》等名人和名企都在关注并参与 NFT，国内众多的新兴 NFT 数字艺术平台也正在兴起。

16.2.4 文旅元宇宙当前案例

元宇宙是数字化转型的最终形态，有望成为集娱乐、社交、学习、生产、生活为一体的数字世界，与现实世界紧密融合。元宇宙的特点之一是临场感，而沉浸式的旅游也是旅游新的发展方向之一。已有多家文旅相关景区、主题公园、艺术中心等，进行了文旅元宇宙的大胆探索和尝试，为我们提供了借鉴思路。

（1）迪士尼

2021 年 11 月 11 日消息，华特迪士尼(DIS.N)首席执行官 Bob Chapek 表示，旗下集团正准备将技术引进到虚拟世界，迪士尼准备进入元宇宙。Chapek 在迪士尼第四季度财报中表示，“我们迄今为止的努力只是一个序幕，希望能够更紧密地连接真实世界和数字世界，允许在我们自己的 Disney Metaverse 自由地讲述童话故事。”

Chapek 表示，进入这一新的数字前沿与迪士尼悠久的技术创新历史是一致的，这可以追溯到近一个世纪前的 Steamboat Willie，这是第一部以同步声音为特色的动画片。他将其设想为流媒体视频服务迪士尼+的延伸。

迪士尼前数字业务执行副总裁 Tilak Mandadi 于 2020 年在领英上写道，要创建一个元宇宙主题公园，通过可穿戴设备、智能手机和数字接入点，将“现实世界和数字世界汇聚在一起”。

迪士尼是“元宇宙”主题公园赛道上入局的行业先锋。去年年底，迪士尼公布了其宏大的“元宇宙” 战略，其已经开始探索如何在迪士尼乐园游乐项目组合中解锁“元宇宙”技术。例如，迪士尼邮轮的原创舞台剧《冰雪奇缘》，是早期结合实体和数字技术的项目。它将传统的剧院技术与最先进的技术相结合，创造出阿伦黛尔这一冰雪世界。运动追踪视频图形与大型移动布景的结合，也有助于使游客完全沉浸在冰雪奇缘世界中。

迪士尼乐园、体验和产品（DPEP）数字与全球首席执行官、执行副总裁 Tilak Mandadi 就该战略提供了更多信息。他表示：“一切都始于一个联网的乐园，游客可以使用联网设备，如可穿戴设备、电话和其它互动数字接入点，与周边物理环境进行互动。当乐园加上计算机视觉、自然语言理解、增强现实、人工智能和物联网等技术时，就可以将物理环境与数字世界无缝结合，创造出特殊的新体验。在未来几年里，我们的游客将在乐园内外体验‘元宇宙’——从《星球大战：银河星际巡洋舰》开始，然后会有即将亮相的新项目。”

Mandadi 还表示：“我们已经开始探索如何在迪士尼乐园游乐项目组合中解锁‘元宇宙’技术。许多游客对我们早期结合实体和数字技术的项目有所熟悉，例如，迪士尼邮轮的原创舞台剧《冰雪奇缘》，将传统的剧院技术与最先进的技术相结合，创造出阿伦黛尔这一冰雪世界。运动追踪视频图形与大型移动布景的

结合有助于使我们的游客完全沉浸在冰雪奇缘世界中。随着技术的进步，我们乐园有信心继续推出更加精彩绝伦的体验。”

正如迪士尼已经指出的，AR 增强现实技术将是其战略的一个关键要素。Mandadi 指出：“在我们的乐园里，关键是借助增强现实和混合现实技术，提升游客趣味体验感。物理世界和数字世界的结合仍然是我们的主要关注点，但我们也可以将目光放远，利用同样的技术将迪士尼乐园的魔力延伸到家庭。”

“扩大我们的影响力，讲述多样化和具有包容性的故事，并将魔力延伸到乐园大门以外的地方，是我们的首要任务。”他说，“由数字驱动的‘元宇宙’体验的最大优势之一，是能够快速改变体验，以确保给游客带来持续的新鲜感和参与感，并能够利用数据对游客进行个性化分析。”

Mandadi 总结了“元宇宙”在增强迪士尼乐园及乐园之外讲述故事方面所发挥的作用：“‘元宇宙’允许人们扮演既定角色，甚至可以做自己——在整个故事中为自己创造角色。给故事增添新角色。这是‘元宇宙’实现个性化的关键。”

（2）张家界

2021 年 11 月 18 日，张家界元宇宙研究融合发展研讨会暨张家界元宇宙研究中心挂牌仪式在武陵源区大数据中心吴家峪门票站举行，张家界自此成为全国首个设立元宇宙研究中心的景区。张家界元宇宙研究中心设置在了张家界市武陵源区旅游高质量发展数字化转型工作领导小组办公室，“元宇宙研究”将成为武陵源区数字化转型的重要研究内容。

此举引发诸多争议，被认为是在“蹭热点”。面对成立元宇宙研究中心是“蹭热点”的争议，张家界所属的武陵源风景名胜区和森林公园管理局相关人士今天回应称：“我们是很认真地在推进这个事情”。该人士表示，中心成立的目的是将武陵源区数字化转型与元宇宙技术对接应用，景区不会研究元宇宙的技术开发，而是落脚于元宇宙的应用场景。

论及应用场景，张家界与元宇宙确有几分渊源。元宇宙一词来自尼尔·史蒂芬森 1992 年的科幻小说《雪崩》，指的是一个与现实世界平行、并与现实世界交互的虚拟世界，或者说是现实世界的一种“高级映射”。

而在当年大火的科幻题材电影《阿凡达》中，亦真亦幻的“潘多拉”星球场

景令人印象深刻，其取景地正是张家界。有这样的“科幻”基因为基础，张家界试图将整个景区打造成为一个可沉浸的元宇宙应用场景，也在情理之中。

（3）西安大唐不夜城

根据公开信息，正在筹备阶段的《大唐·开元》项目，打造的正是大唐不夜城的“镜像虚拟世界”。按照设想，游客不论身处何方，都可以通过端口登入这一虚拟世界，动动手指就能在完美复原的唐朝街道上游览、购物，享受和现实世界一样的商家折扣，甚至可以邀请异地的朋友一起逛街。

在这个虚拟世界中，唐长安城建筑沙盘将按照真实比例一比一大小搭建，并打造出一个有百万居民的古代长安城。早期体验用户甚至可以参观唐长安城主体建筑的建设进程，共同参与其未来的规划和建设。

这样的互动听起来很酷，但同样需依赖于数字技术。西安曲江大唐不夜城文化商业管理有限公司总经理邢乐说，为了更好地复原唐长安城的风貌，相关公司正与国内知名的数字古建建筑团队“明城京太学”和“史图馆”合作，通过数字化技术进行元宇宙的内容搭建和创作。同时，腾讯、阿里、网易、b 站等都在探讨与大唐不夜城进行元宇宙应用的深入合作。

正在打造《大唐·开元》的大唐不夜城，也已在数字化产品上小试牛刀。11 月 3 日和 4 日，蚂蚁链宝藏计划上线了西安首个 3d 建筑模型的数字藏品“大唐开元·钟楼”、“大唐开元·小雁塔”，每个数字藏品共发行 10000 份，上线后数秒即全部售罄。其中，“大唐开元·钟楼”的售价为 19.9 元。用户购买后，通过蚂蚁链技术上链确权生成唯一的数字凭证，保障用户在购买、收藏等环节的真实性、独特性，有效保护文物数字版权。

（4）深圳奥雅绽放数字艺术中心

奥雅绽放数字艺术中心元宇宙体验空间于 11 月 19 日在深圳价值工厂举办启动仪式。据公司介绍，通过全息影像、VR、AR、MR 以及传感技术等，该场馆将为观众提供一个面向未来科技与生活方式的“全沉浸、低延时、强交互”的元宇宙空间体验场景。据悉，该元宇宙体验空间拟于 2022 年 5 月 1 日开放运营，目前正面向全球征集元宇宙从概念层面转向实际应用与落地层面的优秀创意。

“价值工厂沉浸式、极具神秘感的空间，与当下大热的‘元宇宙’在许多层面上都有着异曲同工之妙，基于这种共通性，奥雅设计和绽放文创希望共同创造一个具有未来感的空间。”奥雅设计（300949）联合创始人、总裁李方悦致辞时表示。

此前，全经联幸福产业 IP 奥雅设计已开始逐步探索。先是于今年 2 月 A 股上市，随后，9 月正式投资 teamLab 合作伙伴绽放文创，高起点介入沉浸式互动娱乐领域；10 月与腾讯文旅签署战略合作协议；11 月 14 日，奥雅与其参股的深圳市绽放文创投资有限公司，及绽放文创全资子公司深圳市绽放文化科技有限公司，就通过增资方式战略控股绽放科技事宜，在深圳签署了《关于共同运营深圳蛇口价值工厂“大筒仓”项目增资合作协议》，致力于将“大筒仓”项目打造为世界级的前沿数字艺术打卡圣地及元宇宙体验空间。经过各方协商确定，拟对绽放科技增加注册资本 1900 万元，其中，奥雅设计认缴注册资本 1020 万元。增资完成后，绽放科技的注册资本由 100 万元增加至 2000 万元，奥雅设计将持有绽放科技 51%的股权，并将其纳入公司合并报表范围。

据介绍，本次增资完成后，双方将组建专业团队人员进行落地执行。奥雅绽放数字艺术馆将主要聚焦于尝试体现元宇宙六大支撑技术中的“交互技术”，通过全息影像、VR、AR、MR 以及传感技术等，为观众提供一个面向未来科技与生活方式的“全沉浸、低延时、强交互”的元宇宙空间体验场景。

绽放科技从事文化科技、数字科技、多媒体科技等业务，并于今年 1 月 8 日与招商局蛇口工业区控股股份有限公司针对“大筒仓”项目签署了房屋租赁协议，约定了绽放科技的运营权。据悉，当时绽放科技即计划将该项目建设为“绽放数字艺术馆——元宇宙空间”。

（5）深圳冒险小王子元宇宙主题乐园

2021 年 12 月 3 日，“冒险小王子元宇宙主题乐园新闻发布暨学术对话会”在深圳举行。由深圳童话爸爸文旅科技有限公司开发的国内首家元宇宙主题乐园将落地深圳光明小镇，项目计划三年总投资 75 亿元，带领 IP《冒险小王子》进入元宇宙时代，使得冒险小王子成为国内第一家元宇宙主题乐园。

该项目由亲子度假酒店、主题乐园及其周边产业组成，集休闲娱乐、度假、聚会、拓展、购物等多种功能于一体，把动漫、影视、媒体广告、游乐园等串联

起来形成价值累加与升华。其中乐园包括纳尤古广场、齐格威魔法学校、精灵街、精灵湖泊、冒险森林、魔幻乐园、天空兽等 7 个部分。

据了解，冒险小王子元宇宙主题乐园以《冒险小王子》原创主题形象和故事为核心，打造差异化，园区内各游乐设备结合时下先进的 AR、VR 和全息投影技术，增强互动性和体验感，让孩子在身临其境的真实体验中玩乐、学习和成长。乐园预计 2022 年年底正式对外开放。

(6) 海昌公园

海昌海洋公园则是与 Soul App 携手打造“海底奇幻万圣季——打开年轻社交元宇宙”主题活动，作为其对元宇宙探索的第一步。活动通过分享万圣社恐星球测试赢取公园门票、使用 AR 贴纸合影搞怪获取“万圣灵魂派对”入园资格、乐园盲盒缆车惊喜互动等线上线下联动的创意玩法，实现现实与虚拟的勾连，为年轻一代带来沉浸式、场景化的社交新体验。据了解，活动上线后 48 小时就有超 14 万年轻用户积极参与互动，曝光破亿。

Souler(Soul 的用户)以及海洋公园爱好者们，可通过参与 Soul 站内测试、分享海昌海洋公园定制万圣贴纸合影、展现万圣精彩瞬间等方式，获得海昌海洋公园的“万圣灵魂派对”入场券，实现现实与虚拟的勾连。据了解，海昌集团旗下的十座主题公园皆参与了本次活动，这也意味着线上世界的玩家们，可在上海、三亚、大连、青岛、成都、天津、武汉、重庆以及烟台任意城市的海昌海洋公园完成线下打卡。

16.2.5 元宇宙带给文旅的根本性变革

元宇宙是数字化转型的最终形态，有望成为集娱乐、社交、学习、生产、生活为一体的数字世界，与现实世界紧密融合。元宇宙的特点之一是临场感，而沉浸式的旅游也是旅游新的发展方向之一。

元宇宙的新技术、新模式、新业态将会重构文旅的边界和定义，以集成技术和创新文化，达成内容和体验赋能，使文旅成为元宇宙领域的先行者。

主题公园的主题场景与开放世界游戏的虚拟身份玩法有机结合，在实体空间以剧情体验推动线下沉浸，通过虚拟技术结合移动终端同步线上虚拟世界的搭建，并同步开放第三方内容接口，这种空间形态本身就已经接近了元宇宙愿景。结合

元宇宙概念，打造线上线下成为一个有机整体，虚实结合的文旅必将会更加繁荣有趣。

文旅场景不再是单一的观览过程，游客更趋向于在体验的过程中自我代入。在此背景下，实景密室备受年轻消费群体青睐。这一具备强线下社交属性的休闲业态正以多样化的形式与文旅产业相融合，无论是酒店、景区、影视基地、古镇还是邮轮，这种依托项目既有空间形态加持沉浸式体验的模式，打开了文旅场景运营的新思路。

实景沉浸式文旅项目的风靡也无疑体现出移动互联网时代人们的社交新需求。在主题场景下，通过剧情的关联促使消费者之间建立起更深的社交链接。全民戏精的背后是人们是在真实世界中追求一种“超现实感”。在以故事线为设计指引搭建的主题园区内，认真扮演自己任务中塑造的角色，与其他玩家、NPC（Non-Player Character 非玩家角色）演着对手戏来获取线索，实景沉浸项目提供的是一个消解现实隔阂的深度社交场域。

多元化沉浸式体验无疑大大强化了线下娱乐的吸引力，线下文旅也朝着影视作品中描绘的理想状态成为一种极具游戏感的实景载体，如科幻神剧《西部世界》所描述的乐园形态，在其独特世界观故事背景下融入 NPC、任务机制等游戏玩法，或是《头号玩家》、《失控玩家》在线上以 MMO（Massive Multiplayer Online Game 大型多人在线游戏）的形式构建真人玩家开放式任务机制。这类开放世界游戏似乎都能通过多维度实景沉浸手段在主题公园中找到落脚点。

从迪士尼的“在逃公主”到环球影城的“返校巫师”，游客对主题公园的主题消费会自发产生身份带入的诉求。伴随着主题公园对于园区沉浸体验系统的设计优化，通过世界观的架构引导消费者产生对园区场景的主观先验性假设，实现消费者自我带入会成为乐园策划的重要议题。

未来线下文旅都将以线下开放世界的姿态，通过对世界观故事体系的架构对消费者行为进行组织，让消费者能够充分调动体验的主观能动性，自由地在园区空间中漫游同时随机完成游戏任务，获得更多维度沉浸式游憩体验。

（1）时空的变革

“四方上下曰宇，往古来今曰宙。”宇宙（Universe）在物理意义上被定义

为所有的空间和时间（统称为时空）及其内涵，包括各种形式的能量、物质，以及影响物质和能量的物理定律。元宇宙（Metaverse）是一个全新的平行宇宙，是将虚拟与现实融为一体，“虚实共生”创造出的新人类文明。

传统的旅游，郁达夫在《故都的秋》中这样描述，“所谓旅游,就是从自己呆腻的地方去看别人呆腻的地方”。从本质上看，旅游的异地性是最为凸显的一个特征。“生活在别处”是旅游动机的真实写照。人们之所以选择旅游，是为了感受充满文化印记的风土人情，体验独具地缘特色的生活方式。在我们当前的不包含外太空的语境之下，更多的指向到达地球上的某个位置。而文化，广义指人类在社会实践过程中所获得的物质、精神的生产能力和创造的物质、精神财富的总和。文化以时间线分布在不同的区域。文化与旅游的融合，迫切需要多维时空的构建，才能展现其博大的内容。

元宇宙所构建的虚拟空间、多维时间线以及沉浸式体验与当下文旅产业发展的方向不谋而合，正好契合了数字化时代下文旅行业所追求的新发展模式。元宇宙将会打破时空限制，极大地增强各地旅游风景区的趣味性和沉浸感。元宇宙是打破旅游时空观的媒介，对于文旅行业来说，更像是主题文化的虚拟体验地，一方面可以帮助景区更好地将旅游园区的主题文化根植在用户心里，进而转化为文化产品。另一方面，也会激发和衍生出更多意想不到的作品，来满足客户多元化的需求。

文旅产业在元宇宙的加持下，场景的时空体验得以不断延展，空间运营的价值将变得更加多元，虚实无间的文旅元宇宙是最好的承载体。

（A）线上线下分开到深度耦合

受疫情防控影响，“云上游”“数字景点”等旅游新模式迅速发展，为旅游业发展赋予了新动能。据媒体统计，疫情防控期间，包括北京八达岭长城、颐和园、圆明园等景点在内，全国有超过 100 个城市的 500 多个景点，可以用 VR 全景技术进行参观，体验当地的风土民情和土特产品。故宫博物院打造“数字博物院”并推出“云游故宫”，输出更多精品数字文化传播内容。然而，当前的 VR 游览、慢直播、网上订票等线上业务与线下实地游览分离度高，不能完全契合到真实场景中，即使是景点中的语音导游讲解，也是与实地游览的简单结合，无法满足游

客的深度体验需求。

传统的线上是二维空间，与线下的三维空间耦合度很差。更多 VR/AR/MR 技术的运用，将使其具备深度耦合的可能。

从线上看，已有 VR 技术应用到直播中，当前的实景演出或比赛，可通过 VR 直接接入体验身临其境的感受；或将演出或发布会整体搬入元宇宙中，观众以 Avatar 的形式参与，并与周边环境及其他参与者产生互动。

从线下看，利用增强现实技术，通过位置识别、图片物体识别等，将虚拟内容叠加渲染到实景之中并深度互动，可将线上内容与线下环境高度融合为一体；利用线上构建内容在线下屏幕中互动展示，如线上开设布置店面显示在线下大屏幕的历史画卷中，线下与实体文创店关联打印售卖等；利用线上游戏导引，线上完成部分内容，线下实地完成部分内容；或线上通过化身与线下游客同游等。

在元宇宙的视角下，线上线下的屏幕壁垒、空间壁垒被打破，文旅产业的线上与线下体验将深度耦合到一起，线下活动随时同步到线上可沉浸式参与，线上人员随时显现到线下进行互动，实现身临其境的空间穿越。

（B）数字孪生到数字原生

数字孪生在文旅产业中已经得到了运用。一些景区通过数字孪生技术对景区范围内的建筑、植被、景观文物进行建模，在虚拟世界中打造出与现实世界一般无二的“孪生”虚拟景区，这样就形成了最基础的景区数字孪生平台。2021 年 3 月，龙门石窟与相数科技实现合作，“龙门石窟世界文化遗产园区数字孪生平台”随后上线，该平台通过激光点云技术，对龙门石窟内的文物和景色进行了高精度的数字化复原，将龙门石窟“照搬”上虚拟世界，让其原貌得以在互联网保存。

用数字化技术还原现实世界中的历史文物古迹实现遗产保护，实现线上 3D 沉浸体验，同步线下线下数据，是“数字孪生”技术应用的目标。数字孪生也可以帮助很多现实中无法实物化的内容，如非物质文化遗产，以动态场景的形式进行展现。但由于现实世界（Universe）的承载，即便当前的所有线下文旅内容都建成了数字孪生，也无法满足旅游对文化内容的承载。

文旅元宇宙中，数字孪生为主将升级为数字原生占据更高比例，更多的当前实物文明不存在的物体将以数字原生的方式被创造和展现，5000 年的文明史，

40 亿年的地球史，乃至科幻或者架空的内容都将大量创生，让文旅内容极大丰富。

数字原生代表与生俱来的数字架构和能力；相比非数字原生（包括数字孪生），数字原生内容在产品服务、管理模式、业务模式、商业模式、用户体验等方面具备天然的竞争优势，创作者的主体也将产生深刻变革，由景区博物馆艺术馆艺术家等，转变为人人皆可参与创造。大部分数字原生产品并不需要或者无法构建实物载体，只需在数字世界展现，它们将成为空间无限容纳的文旅元宇宙的主要内容。

（C）此时此地到多维时空

在物理世界中，人类不可避免地受到时间和空间的限制，随心所欲地旅行受到极大限制。即使是在旅途中的游客，也只能感受到目的地的当前时空，无法扩展与发散。

时间的一维性是当前宇宙（Universe）的规则，受限于此，物理的人类仅仅可以体会到当前时间无法回溯到过去或进入到未来，也仅仅能在此地无法穿越到其它地点。“珍惜当下”，即指珍惜当下的时空及周边一切。大量的穿越剧、玄幻剧和科幻剧，都体现了人们对于进入不同时空亲身参与或改变历史、创造未来的深刻诉求。

研究表明，沉浸式体验会改变体验者的主观时间。元宇宙的深度沉浸，将为让人的感觉时间发生变化，相当于拉长了尺度，获得了更多的时间，因而可以构建更加丰富的人生体验。但即便进入完全沉浸的虚拟或现实空间，也很快会出来回到现实之中，无法和当前物理世界或其它沉浸空间的内容、经济、社交获得融合。

而元宇宙是整合多种新技术而产生的新型虚实相融的科技应用和社会形态，它基于虚拟/扩展现实技术提供沉浸式体验，基于数字孪生/原生技术生成现实世界的镜像，基于区块链技术搭建经济体系，将虚拟世界与现实世界在经济系统、社交系统、身份系统上密切融合，形成多维时空，并且允许每个用户进行内容生产和世界编辑，并通过跨越各个时空的 play to earn 收益，应用于虚拟机现实之中。

在元宇宙中，游客可以往返于战火之中的阿富汗与巍峨高耸的珠穆拉玛峰之间，体验美国总统白宫中的日常工作，也能感受到非洲难民们的食不果腹。虚拟世界中，我们也能穿梭于时间长河之中，可以与历史人物交流互动，也能化身为某位人物在元宇宙中改写历史。此外，游客也可以自己打造未来时间，构建专属且可与其他游客交互的元宇宙，多个元宇宙之间有效并联，通过既独立又互动的方式，全息营造上至太空、下至地心世界的旅游体验。

（2）交互叙事的变革

交互叙事（Interactive Storytelling）是由交互性（interactivity）和故事叙述（storytelling）组成，意指在叙事过程中，故事线的展开并不是固定的，而会根据观众对叙事系统的输入而发生变化，在传达故事作者的主旨的同时，让观众产生亲身参与到故事之中的感觉。交互叙事中的互动可以是创作者、故事、角色、NPC、环境多方之间产生的互动，是一种故事的发展随玩家所做的互动和选择而改变的故事世界，是非线性互动叙事。这样玩家才能融入到沉浸式体验的游戏过程中，而非被动的接受信息。这也是文旅元宇宙区别于传统文旅的重要特征。

传统的文旅叙事，是游览观看为主的单向的、一维的，我们很难形成沉浸式体验。“沉浸”是人类精神生态中的一种特殊现象，以当事人将注意力集中于某种境界或思想活动为特征。沉浸可分为四种类别，统沉浸用来描述玩家沉浸在游戏的机制、挑战和规则中，类似于一种“心流”状态；空间沉浸是玩家在虚拟世界中或被传送到虚拟世界中的感觉，并且在这个世界里有具体化的概念；移情/社交沉浸描述的是玩家与游戏中的角色（AI 或真人）和社交环境之间的联系；剧情/顺序沉浸可以用来描述玩家看到一系列活动持续发展之后的冲动，比如探索新空间或者升级玩法机制。

虚实结合的元宇宙不仅为我们提供了某种可以浸入的空间，也将我们带到一个可以将自己的幻想付诸实施的时间。文旅元宇宙的沉浸体验，使文旅场景不再是单一的观览过程，通过交互叙事体验的变革，为游客提供虚拟仿真的场景、故事情节、角色身份，使玩家能够全身心的投入其中，产生自我代入感乃至心流，获得更有品质的旅游体验。

（A）异构身份的强化

旅游的意义不仅在于看到不一样的风景，更在于体验不一样的生活。从日复一日的生活中抽离出来，到陌生的环境中感受不一样的人生，这是旅游的意义所在。作为游客的个体所追求的也是身份异构化，然而传统文旅之中，沉浸感的缺失、时空的有限性，让我们无法处于完全沉浸的身份异构快感之中。

在元宇宙中的文旅活动，身份映射实现了旅游主体身份异构化。元宇宙从本质上来看，是一个独立于现实世界之外的虚拟平行世界。在元宇宙中，每个个体的身份是有别于现实世界的真实身份而独立存在的。通过身份映射，每个个体得以在元宇宙中体验与现实生活不一样的人生，实现身份异构化。

元宇宙所传递出的“通过身份映射实现身份异构化”的理念，与当下旅游业发展中的一些现象相契合。 从近年来大热的剧本杀可见一斑，这股热潮已经延伸到了旅游行业：江西上饶望仙谷景区的剧本杀体验项目《我就是药神》、成都青城山旅游区结合民宿场景打造的实景沉浸式探案馆“壹点探案”……“剧本杀+旅游”这一新组合已成为旅游行业的新风潮。究其原因，剧本杀构建了一个游离于日常生活之外的游戏空间，人们在这一空间中获得全新的身份，通过换装等进行角色扮演体验味人生，将“人生如戏”诠释得淋漓尽致。在这个“游戏空间”中，身份的异构化让人们获得了全新的体验，在此基础上叠加社交属性，进而实现基于身份的映射的互动。

基于这一诉求，文旅元宇宙以角色、服装、环境强化身份的异构，也成为文旅元宇宙的主要手段。 而线上，通过选择 Avatar 的身份和装扮，也可达到此效果。

（B）承载体的多元化

传统的文旅叙事，以山水、建筑、文物、雕塑、绘画等为实物载体，以诗词、历史故事、导游词等为虚拟载体。其实现的“走马观花、打卡拍照”已无法充分满足大众需求。

基于这一诉求，围绕实物载体打造更丰富全面的体验，构建深度沉浸感的旅游产品已成为游客的上佳之选，中国首部实景 360 度全沉浸互演出《南京喜事》，将六朝古都南京独特的文化底蕴融入其中，围绕“人生八喜”的故事线，让游客

换上传统服装，在高度还原的南京古宅中身临其境地体验金陵故事。景区中的工作人员以 NPC 形式出现，人也成为了交互叙事的承载体。

除了传统的舞美置景、氛围营造之外，虚拟现实(VR)、增强现实(AR)技术的也成为了重要载体。特别是对于以历史文化为主题的旅游景区及文化展馆，游客仅凭遗址遗迹难以完整了解其全部内涵，而通过 VR、AR 以及多媒体交互技术的生动再现，游客可以获得更为全面更为直观的感受与体验。中国大运河博物馆《运河上的舟楫》展览，通过复原古代“沙飞船”，生动展现了古代舟楫在运河穿行的历史画卷，回溯千年，营造“人在画中游”的沉浸式体验。

沉浸式体验是元宇宙的基本特征之一，VR、AR、MR 等作为构建元宇宙的技术基石，让交互叙事的承载体更加丰富多元，使得环境灯光工作人员、甚至景区的智能服务机器人、智能设备等万物皆载体，全方位容纳支撑强化游客的异构身份，不仅为线下体验构建了更加沉浸式的环境，更为构建线上虚拟文旅元宇宙提供了可以快速转化的素材。

（C）交互体验的多模态化

人类的自然交互方式可以分为两大类：感觉通道交互，负责接受信息，主要有视觉、听觉、触觉、力觉、动觉、嗅觉、味觉等；效应通道交互，负责输出信息，主要有手、足、头及身体、语言、声音、眼神、表情等。所谓“模态”，英文是 modality，用通俗的话说，就是“感官”，多模态即将多种感官融合。

传统的文旅以视觉为主，对目标客体的观看并不能形成交互。索道滑道玻璃栈道等的出现，调动了人们紧张的情绪，延伸到了更多的身体感知和传达，也是几年前大行其道的重要原因。大型沉浸式街区、景区实景剧本游戏的兴起，已经将餐饮、娱乐、体育等多内容融入，形成了更丰富的与真实事物的色声香味触的全方位交互，以营造身临其境的氛围。

而元宇宙中将实现更丰富的多模态交互体验，即通过文字、语音、视觉、动作、环境等多种方式进行交互。南京德基美术馆的“金陵图数字艺术展”意图营造一个身临其境的禁令盛世，给人以全景式、多感官、多维度的震撼感受，通过 UWB 高精度定位技术，在室内实现精确到厘米级的定位，让虚拟人作为观众的有效载体，进入动态长卷，让 TA 作为观众的化身“人物入画实时跟随”，进行沉浸

式体验。很多展览之中已经开始将触碰感知、人形识别、体态识别、手势识别、表情识别、语音识别等融合运用，通过交互改变周围环境，实现对物理空间客观实体的操作向信息空间中的虚拟对象发出服务要求，并得到及时反馈，营造与环境的深度互动。

数字内容的多模态互动，是元宇宙的基本属性，也要求实现对数字内容的全方位知识及交互模式构建，最终实现元宇宙中万物有灵的全方位交互，

（3）获得感的变革

“获得感”（Sense of Gain）是一个本土性非常强的“中国概念”，在国外尚不存在直接的概念对应。国外社会治理中的一些热门概念，如“幸福感”（Sense of Happiness）、“主观生活质量”（Objective Life Quality）等，都被用来评价公民生活状况，与“获得感”存在一定的相似性，但这些概念往往更偏重主观感知，且在评价主体、评价内容与评价标准等方面与“获得感”存在一定的区别。“获得感”是一个含义丰富的概念，它与“幸福感”“相对剥夺感”“失去感”“失落感”“参与感”等概念存在联系。就字面含义来讲，“获得感”是对“获得”的主观感受，它是建立在“客观获得”基础之上的，对“客观获得”的主观感觉。

传统的文旅方式因其线上线下割裂、内容不够丰富多元，吃住行游购娱依然是核心要素，都以旅游为主，并没有与文化深度关联，大多数是旅行过后拍照打卡，吃美食晒酒店。同行者绝大多数以家人朋友或已经预约好的驴友为主，以过客的身份进入到景区之中，在线上发表评论游记、社交媒体图文视频已经是全部参与方式。

文旅元宇宙将打破这种限制，从文化上深度融合，从社交上全面拓展，从过客变为创造者，使身心的获得感得到极大的丰富。

（A）文化的深度体验

文化旅游定义是以旅游文化的地域差异性为诱因，以文化的碰撞与互动为过程，以文化的相互融洽为结果的，它具有民族性、艺术性、神秘性、多样性、互动性等特征。文化旅游的过程就是旅游者对旅游资源文化内涵进行体验的过程，它给人一种超然的文化感受，这种文化感受以饱含文化内涵的旅游景点为载体，

体现了审美情趣激发功能、教育启示功能和民族、宗教情感寄托功能。

中国文化旅游可分为以下四个层面，即以文物、史记、遗址、古建筑等为代表的历史文化层；以现代文化、艺术、技术成果为代表的现代文化层；以居民日常生活习俗、节日庆典、祭祀、婚丧、体育活动和衣着服饰等为代表的民俗文化层；以人际交流为表象的道德伦理文化层。文化旅游产业是一种特殊的综合性产业，因其关联性高、涉及面广、辐射性强、带动性强而成为新世纪经济社会发展中最具有活力的新兴产业。文化旅游包括历史遗迹、建筑、民族艺术、宗教等内容。其涵盖性强，几乎可以囊括所有相关的产业。

但由于时空的局限性，让文化属性大多以叠加态在旅游上附着，无法更广泛深入的与旅游结合。文旅元宇宙将极大的提升文化的容纳性，并赋予丰富的展现形式、交互方式。不仅可以增强吸引力，提高经济效益，还可大力弘扬中国文化，允许游客以亲历者的视角进行沉浸式体验，进而获得更加广泛深入的文化体验，传承中华民族优秀文明。

（B）社交的拓展延伸

经常使用社交软件的人一定会发现，在爱好栏中旅游几乎成为了人们必选的标签。与其他的爱好相比，旅游同样可以为人们带去精神上的放松，甚至能比一般的爱好为人带去更多的精神享受。而人们在社交中也会更喜欢和经常旅游的人进行交谈。

但传统的文旅模式基本以家庭式、亲友式为主，在旅行中增加感情和集体记忆。以驴友相约为主也兴趣游成为了部分人的选择，但大多为提前约好，社交旅游在近年兴起，主流的旅游类论坛，如穷游网、蚂蜂窝旅游攻略、走遍欧洲、背包客栈等还是以旅行达人为中心，长篇攻略为载体，社交以共同制定线路、行程安排等为主体。

随着社会结构的演变，越来越多的年轻人不愿同家人们一起旅行，并不是因为感情的淡泊，而是因为更加注重人性和共同爱好的追寻。以往的攻略型社交无法满足其需求。

在线上，人们可以在个人兴趣度极高同时非常细分的领域，以场景叙事故事为兴趣结合点，以 Avatar 化身的形式，进入场景并与同伴共同探索、互动。开

放式无限承载允许更多的人直接进入同一环境，虚拟演唱会既是全面参与的最典型案例。景区也可在元宇宙中设定活动，全民参与其中并互动。在线下可以沉浸式角色扮演的形式随机性快速成团，不仅可以形成对彼此更深刻的基于某一角度的了解和认知，更加极大的拓展延伸社交圈，构建个人丰富的存在感。

（C）从过客到创造者

基于旅游目的地的有限容纳性和环境整体性、文物保护性，无法允许游客进行改变或创造。早年间的“到此一游”是唯一的留下痕迹形势，也已经被全面禁止。游客是也仅仅可以是过客，发表评论邮寄、进行社交媒体图文视频发布直播已经是全部参与方式。

敦煌莫高窟发起的“数字供养人”计划，从敦煌供养人的历史渊源出发，鼓励大众通过互联网公益，以及游戏、音乐、动漫、文创等数字创意方式，参与到敦煌壁画的数字化保护中来，成为敦煌文化的数字供养人，将敦煌文化一代代传承下去。

而文旅元宇宙中，因其数字空间的容纳性，虚实结合的展现性，将提供更丰富的参与和创造形式。play to earn 是重要的经济形态，将允许玩家进行创作并因此获得收益。线上参与者可通过 Animoji 等方式远程扮演 NPC 为景区或活动提供服务，或者开设虚拟店面进行销售。线下游客可通过认领服务角色，成为景区中的 NPC。所有人都可以通过对虚拟内容的二次创作形成自己独有的数字藏品，并以 NFT 方式进行资产认证，向编剧/景区/其它游客进行销售数字作品，或通过线上/周边商店进行打印制作。游客可以在过程中探索并实时创造内容或故事，通过互动叙事引擎快速生成可玩版本，吸引玩家选用买单收益。

16.2.6 文旅产业链的重构

产业链是产业经济学中的一个概念，是各个产业部门之间基于一定的技术经济关联，并依据特定的逻辑关系和时空布局关系客观形成的链条式关联关系形态。产业链是一个包含价值链、企业链、供需链和空间链四个维度的概念。这四个维度在相互对接的均衡过程中形成了产业链，这种“对接机制”是产业链形成的内模式，作为一种客观规律，它像一只“无形之手”调控着产业链的形成。

产业链的本质是用于描述一个具有某种内在联系的企业群结构，它是一个相对宏观的概念，存在两维属性：结构属性和价值属性。产业链中大量存在着上下游关系和相互价值的交换，上游环节向下游环节输送产品或服务，下游环节向上游环节反馈信息。

自 2018 年起文化和旅游部成立以来，文化和旅游产业的边界就在不断扩展，而随着产业数字化程度加深，越来越多的文旅新业态诞生，难以纳入单一文化产业或旅游产业链的范畴，这也对我们审视文旅产业链，提出了全新的要求。

农业及工业时代的文旅，以旅游目的地为主要载体，产业链也围绕目的地展开，主要包含吃住行游购娱的相关服务商，是以线下服务为主的一维线性属性。文化与旅游的结合点，仅限于实物和人的认知；

信息时代的文旅，以数字信息化技术对旅游目的地进行了改造、提升和赋能，强调了数字技术和数据资源为传统文化和旅游产业带来的效率提升以及产出的增加，主要表现为景区数字化管理、旅游过程数字化服务、线上内容数字化展现、线下体验数字化互动、旅游衍生品等，更多的文化艺术内容、技术服务商进入到产业链中，具有纵向延展的二维平面属性。文化内容开始生长触角，与旅游过程初步融合；

文旅元宇宙，以文化为主线，以技术为引导，以深度沉浸多模态交互为特征，以线上线下融合体验为形式，将文化所指代的“人类在社会实践过程中所获得的物质、精神的生产能力和创造的物质、精神财富的总和”内容结合并展现到极致，构建虚实无缝融合、内容极大丰富的新产业链。延伸到了科技研发、生产应用的各个领域和范畴，使得几乎每个精神和物质产品都接入到文旅产业链之中，使得几乎所有业态都成为了文旅元宇宙的一部分，使得文旅元宇宙有了横向纵向贯穿的三维立体属性，成为一个全新的业态。文化与旅游全方位深度融合，科技成为手段和平台，旅游成为了已有文化的载体、新文化的创生地。

为此，本报告将文旅元宇宙产业链界定为：以科研技术为重要驱动、以文化创意为核心内容、以旅游服务为应用场景的产业活动。

（1）线下场馆

线下景区场馆，一直以来是旅游的最重要载体，包括景区、公园、博物馆、

艺术馆、园区、街区、小镇、演出活动等。运营方以拥有独一无二的场地资源为主要竞争力，提供围绕场地的一系列线下服务，包括提供优美整洁有序的环境、导游导览服务、环境中独有内容的呈现及体验、基本游览生活设施保障等。

与过去相比，文旅行业的边界在模糊，外延在伸展。尤其对线下场地而言，文旅场所的概念，已经发生了巨大的改变。超级文和友是一家餐厅吗？阿那亚是一家房地产公司吗？钟书阁是一家书店吗？亿航白鹭是一家无人机公司吗？它们都已变成了文旅项目。旧厂房，老街道，废弃的矿坑，也都在成为文旅项目。比如 798、宽窄巷子、深坑酒店、英国伊甸园；工厂、农村也在文旅化，成为工业旅游或乡村旅游。比如 VANS 的伦敦隧道滑板乐园、施华洛世奇的水晶公园、桃米村。

旅游目的地，已经从过去狭义的景区，延伸到一切皆可文旅。我们对于文旅的定义在被不断刷新，我们的思维也在不断被颠覆。“打败你的往往不是你的竞争对手，而是外来者”。方便面被美团、饿了么打败；电信巨头被微信颠覆。景区面对的竞争对手，将不再是其它景区，而是完全意料不到的文旅消费形态。它们像曾经的竞争对手一样，抢夺着注意力和用户的选择权。线下场所的变革，对于传统 70-80%收入来源于门票的景区而言，是巨大的降维打击。

我们看到文旅线下场所的变革，基本上划分为 3 个阶段：

（A）景区文旅

以风景+人文历史的传统 A 级景区为主，以自然资源为主要竞争力，体验以单向观看为主。工作人员以场所服务、导游导览为主；技术应用以线下文物保护、修复维护为主；收益以门票为主，大多为一生一次的游客消费模式。

（B）服务综合体文旅

以人造/改造的博物馆+艺术馆+主题公园+乐园+工业园区+度假村+街区+小镇+演出服务等为主，以综合服务体的形式出现，提供一站式全方位的服务，着力打造沉浸式环境体验。工作人员以运营服务、活动策划为主；技术应用以线上线上预约购票、电子导游导览、图片 360° VR、慢直播、大数据分析为主，线下以闸机人脸身份证验票、单点交互体验、人流监控安全预警为主；收益以线下门

票+二次消费为主，有重大更新、季节变化时游客会重复消费。

（C）元宇宙文旅

将以元宇宙兴起为起点，以新技术的加持、新内容的创造、新体验的产生为依托和动力，更加扩大化旅游目的地的范畴，出现一批文旅新物种。一切线下商业体，都将以丰富的内容服务、深度的融合体验关联文旅属性，成为新文旅的承载体。以深度沉浸体验的故事场景承载体形式出现，构建线上线下贯通的多维时空，打造个性化服务每个游客可根据习惯爱好身心完全融入的元宇宙体验。真人工作人员以内容创造、故事建构、辅助场景为主，虚拟 AI 数字员工以智能服务、角色扮演为主；技术应用以线上线下深度融合、实体机器人服务、多模态深度互动、AI 智能服务、VR 沉浸体验、AR 渲染叠加为主、游客兴趣社交、游客 play to earn、数字孪生景区、数字原生元宇宙为主。收益以线上线下融合消费为主，突破季节时空障碍，强粘性游客多次重复消费。

（2）线下实体商家

近几年国内旅游业的发展势头持续向好，旅游消费规模不断扩大，在景区等线下旅游场所及周边入驻及开业的商家数量也在不断增加。商家分为项目服务型商家，包含索道、滑道、玻璃栈道、游戏、体育、VR 等体验项目，生活服务型商家，如餐饮、酒店等，以及商品售卖型商家，如生活用品文创产品等，租用服务型商家，如共享单车、共享充电宝、共享导游机、流动餐车等。通常采用固定租金、消费分账的模式。

建设投入、租金是商家最大的成本。大多商家收入来源单一，完全依赖线下直接消费收益。由于新冠疫情的影响，许多景区客流受阻，对商家尤其是景区入驻商家收益也产生了巨大的影响。这要求商家不仅仅依靠天然客流，以内容形成核心吸引力和聚集力，成为景区的网红打卡地、叙事必经地，才能提升到达游客比例、获得更多的停留时长及消费内容，这要求商家提供更多的获得感，超出实物及服务本身的体验，成为游客“心流”的激发地。

实体商家是元宇宙中的重要元素，元宇宙中区域内商家、区域外商家的边界

将逐渐模糊，都可以完全无违和的融入到景区叙事之中，呈现出相应的角色，也将有更多的新型服务商家融入。如提供角色装扮的换装店、化妆店、剧本杀店，成为故事环节的体育竞技娱乐项目、构建穿越时空体验的餐饮服务场所等，文创及纪念品将以装扮、道具等形式参与到全过程，以沉浸式体验为主的酒店民宿成为主流。租用型商家，尤其是服务型机器人将大量涌现，不仅仅承担服务作用，更可扮成 NPC 与游客进行互动及引导，如北京环球影城的大黄蜂，已经成为重要打卡点。

所有线下实体商家，都将向文化内容服务商转变，将与景区一起构建线上玩法，售卖数字产品及服务，以抵消疫情或政策限制产生的线下客流影响。由于线上的海量容纳性、低成本和便利性、以及多维时空场景，还将有大批仅仅线上入驻线下并无实体的商家--即文旅元宇宙原生商家涌入。

（3）文创产品

文旅场景真正吸引人的是文化，只有通过文化才能与游客产生共情。过去的文创产品以实物为主，通过在文旅景区进行销售，通过游客现场购买佩戴，或带回陈设使用的方式实现更持续性的体验和共情。然则由于实物的空间占用以及完全静态属性，更多是一段时间之后即被束之高阁或弃置。

Z 世代人群情感和精神需求高，深受科技发展塑造的社群关系和社圈文化影响，是虚拟世界原生世代，喜爱线上消费、个性化消费、潮玩消费。随着 Z 世代在文旅消费占比的增加，数字消费的需求也与日俱增。文创产品的开发也必须符合 Z 世代群体的偏好。

利用主题乐园、景点、博物馆、艺术馆、乡村、古镇、度假区、旅游城市本身丰厚的文化底蕴和文化瑰宝，结合数字艺术创意创作、二次元社圈文化、文化共建等方式，编织具有吸引力的故事背景，将使更多设计、创意、生产、制造、以及交易平台加入到文创产品的产业链之中，源源不断地生产具有共情性的文创产品（包含实物与数字）。沉浸式的场景体验，将催生文创产品具备更多的故事道具属性。根据角色选取服装、配饰以及物品，将引导实物文创产品除了售卖之外，也开启租用体验模式。

目前很多文创潮玩，已经开启了 NFT 数字藏品模式。颜值正义+社交属性+数

字体验+情感投射+文化内涵……更多产品本身之外的附加要素构成了新潮玩，潮玩概念正在找寻不同的载体，以更丰富的形态切入新文旅市场。普通潮玩可以直接在实体店或者线上平台购买拆盒体验，而原创 IP 元素结合 AR 技术，打造虚实结合场景，便让潮玩“活”起来，为玩家提供搜寻、打卡及领养数字潮玩 IP 的多元体验，更具沉浸感和科技感，催生多感官、强互动、开放性的审美体验，实体空间和虚拟空间消费情境联动，强互动交流也加速了潮玩创新。

数字化时代，以区块链、人工智能、3D 打印等为代表的技术的出现使个性化定制、柔性设计、参与式生产成为可能，在降低艺术创作门槛的同时，打破了实体旅游中门票经济对旅游业发展的桎梏，用创意、设计、体验、消费等方式延长了旅游产业链。以旅游纪念产品的创意开发机制为例，腾讯推出的敦煌诗巾项目对敦煌壁画、藻井、雕像的 200 多种文化元素进行数字采集，并将数据库向全部小程序用户开放，短短一个多月便有 200 多万“云游客”参与设计，用户在收获了个性化的旅游纪念品同时，更形成了 10 余万件可以商业化的创意作品，每位游客都自觉成为了创意、生产、传播、消费的主体，无形中链接了更多人接触敦煌、了解敦煌。

(4) 内容服务商

文化内容，是文旅的重要元素。传统的山水建筑、导游词讲解已经不能承载元宇宙所需要的丰富内容。沉浸式故事的构建将为文旅元宇宙打开一道道穿越时空的体验之门。实物实景搭建受限于场地、成本等因素，将导致大量虚拟内容的创生，与实景叠加渲染出历史场景、想象画面，成为游客深度体验的重要部分。

数字虚拟内容，则将成为构建文旅元宇宙中必备的元素，以虚拟建筑、虚拟历史人物、虚拟道具等形式，结合 AR 技术，打造虚实结合时空穿越的场景；以 AI 赋能，即可成为景区中的导游、NPC、故事情节的重要线索、环境叠加展现的穿越时空辅助，为玩家提供多感官、强互动、开放性的丰富体验乐趣，更具沉浸感和科技感。实体空间和虚拟空间消费情境联动，强互动交流也加速了文旅内容的创新。这将吸引大批模型师、动画师、艺术家等进入其中，提供数字内容。

故事的构建，将成为最重要的吸引力。导游将成为一项不再存在的职业，进而被更有代入感的各种 NPC、DM 所取代。作家、编剧、策展人等将进入此领域，

创作更多的历史文化、悬疑科幻故事，让旅游变成角色扮演的探索。这也将使景区等线下场所，成为一条条故事线、一个个平行时空的载体，成为大型游戏场、游乐场。

文旅元宇宙，将打开广阔的空间，容纳更多产品形态，并拓展产业链。线上线下结合的游学、教育、游戏、剧本杀等将大量创生。随着假期学科培训的限制，已经有很多教培机构转向游学玩一体的形式。而地理、历史、物理、诗词等都是和文旅紧密结合的内容，体育游也在兴起，在线上虚拟或线下实景中，沉浸感的不知不觉中学习知识提升技能，家长也将更愿意以文旅为形式载体。其所需要的内容，都将产生大量的虚拟场景，构成文旅元宇宙中的重要元素。

（5）软件和设备服务商

此处的服务商，包含 OTA、景区电子导游服务、线上 VR 景区、一机游平台以及景区大数据平台、闸机系统、监控系统、互动装置等，将从基础服务向内容服务、智能应用、沉浸环境构建延伸。

文旅线上平台以提供线路、机票酒店门票销售、电子导游导览、图文介绍的 OTA 和一机游为主，已无法满足日益增长的内容深度需求，将促使其转变为内容设计方。传统的 OTA 平台携程就发布了“星球号”构筑的内容版“元宇宙”，并首次把内容价值营销纳入财报中。飞猪还首推了景点剧本杀旅游，把当下年轻人最火的体验游戏与旅游相结合，创新旅游产品内容。

线上图片 VR 景区，因其内容的单一和交互的缺乏，并没有形成预期的传播、影响力以及收益。线上 VR 景区，也将从传统的全景图片，转向 3D 数字孪生景区，或者数字原生景区，整合更多的互动形式及内容；而以文旅为背景的线上互动闯关寻宝小游戏、文创定制小程序等，将同时整合 NFT 数字创意产品，成为文旅软件服务商中的新生力量。

更多位置服务公司，如通过蓝牙 Beacon 进行户外米级精准定位，通过 UWB（Ultra WideBand）室内厘米级精准定位并可与智能手环、腰牌或手机连接的供应商将进入产业链，并帮助已有设备可感应智能化，使环境与游客产生更加精准直接无人员引导服务的瞬时触发个性化互动。

AR/VR 体验设备、互动屏幕装置、沉浸式体验馆等将更大量进驻线下场所。

早在多年前，著名的迪士尼等主题公园便开始尝试通过 VR 技术，让虚拟游玩项目变成具有更逼真效果、更难忘有趣的体验。以云南冰雪海洋公园内的 VR 体验馆为例。其引入了幻影星空振动 VR、站立式 VR、9D VR 双人座、9D VR 六人座、7D 互动影院等多套设备后，每天接待人数超过数千人。

（6）辐射及长尾效应

景区内容的变革，将辐射到景区周边配套场景、乃至整个小镇城市之中。元宇宙中景区内商家、景区外商家的边界将逐渐模糊。如同曾经开设网店一样，未来越来越多的大型商业实体如商城、公园将构建自己的元宇宙，越来越多的小商家将选择入驻成为其中的内容提供者和服务者。文旅行业将延伸到整个服务业，并且建立起各种时空线，允许人们在线上线下融合体验。

如现在的酒店和民俗，已经兴起的沉浸式剧本杀，已经是文旅的新形态和新内容。剧本杀引入酒店，既是对文旅融合创新模式的探索，也是对文旅产业和市场需求以及城市度假潮流等方面的探索。以酒店本身为故事背景，加上酒店拥有的环境，将玩家真实代入推理游戏，结合酒店本身的舒适性和客户流动性，让玩家享受身心放松。玩家从入住酒店开始进入游戏剧情，直到离开酒店结束。在此期间，休息和饮食时间将全部纳入游戏环节。玩家化身为福尔摩斯，在迷雾般的线索中剥茧还原真相，享受饮食和茶水。与相关技术的结合，将使此类酒店直接开进元宇宙中，供人们远程旅游消费，或线下虚实结合体验。

中国有着 5000 年悠久的文明历史，每一个地区都有着丰厚的历史资源可以挖掘。未来的旅行，将是在时空交错之中穿行在过去与未来之间。随着 AR/MR 技术的发展，可以在线下进行一扫秒变的穿越时空；随着 VR 技术的发展，人们可以在线上如同逛淘宝店一样 D 逛整个城市，和每一个商家的线上 AI 数字员工进行交流、沉浸式消费。

文旅元宇宙，将改变大多数人的工作和生活方式。比如旅游服务工作者，只需身处家中借助虚拟 Avatar 化身，或操控外骨骼机甲/装备，即可直接出现在设定位置的实景之中扮演导游或 NPC，参与现场与游客的交互。亲朋想相约旅行，也可以通过化身的方式进行。更多的学习课程，将置入文旅场景元宇宙中进行。

16.2.7 文旅创新机遇

文旅领域巨大的包容性、市场容量，为创新形式和内容提供了广阔的土壤。除传统的文旅内容之外，因为文旅的文化及独特自然地理资源属性，更多的艺术节、音乐节、展会展览等，将在文旅元宇宙中举办；更多的商家将选择入驻文旅元宇宙，成为电商的最新形态；更多的作家、游戏、影视公司将跨媒体叙事，将文旅元宇宙作为最新的内容承载体；更多的动画师模型师艺术家音乐家文创潮玩，将成为内容创造者；更多的教育、培训、游学机构，将以文旅互动叙事的方式改造产品，融入文旅元宇宙；更多的虚拟人将融入其中成为文旅元宇宙的原住民...这些都是文旅元宇宙生态的重要组成和中间力量，也还将有更多未知形式，在文旅元宇宙中创生。

这些都将促使文旅元宇宙成为元宇宙应用的先行者和典范，有望率先打造创新的平台、引擎和应用形式，引领元宇宙发展。

（1）数字资产平台

文旅领域有着大量的 IP 资源，且已经有大量的艺术品、文物已经建立了 3D 模型。然而构建繁荣有吸引力的文旅元宇宙，构建可以线上体验的数字孪生景区，构建线上线下沉浸式体验的穿越时空感，体系文化内容和内涵，还需要更大量在虚拟世界中展现的素材以及共识的交换展现价值体系，才能吸引更多人/机构加入创作并形成良性循环。

NFT（Non-Fungible Tokens，即“非同质化代币”）是基于区块链技术的契约的数字化凭证，是当前可见的最适合的数字资产认证方式。目前已有一些机构建立了 NFT，通过将画作、艺术品等的图片上链并制作成 NFT，当前的很多 NFT 藏品，是一张上链的静态或者动态的图片，无论是画作、收藏卡、CryptoPunks、Bored Apes 还是 Loot（它更简单，是一行文本）等。NFT 所表达的，过于简单的形式，也让很多传统用户感到不适应，并认为它是链上 JPG。且其应用形式都仅仅是收藏，仅仅单品的视觉感受体验，并不能展现出应用价值，与致力于打造沉浸感的元宇宙也相去甚远。

应构建囊括 2D、3D、音视频、新交互艺术的 NFT 平台，包括艺术馆、博物馆、景区等已有实物的数字孪生内容，动漫、游戏、影视作品中创作的数字原生

内容，3D 模型师动画师、艺术家音乐家等已经创造的相关内容，并吸引大家在此平台上传更多新创作的内容。并与元宇宙应用打通，以 AR、VR 等形式展现，是构建文旅元宇宙生态的第一步。

元宇宙中的内容，毫无疑问应该是可以动态交互的，这要求所有的内容本身都应智能化，可展现自身的讯息，具备动态交互功能。如秦始皇的人物模型，应可以如同真人进行沟通对话；四方羊尊应能讲述编钟能讲述自己的铸造、使用及收藏历史并进行各种乐曲的演奏等。所有的 NFT 数字艺术品，都应构建自己的虚拟生命及相应知识库，并可记录数字世界中的每一次交互，形成动态生长的生命数据库。

（2）交互叙事引擎

交互式叙事（Interactive Storytelling）交互性是数字媒体艺术最本质的特点之一，数字媒体艺术的交互式叙事需要产生自己的叙事语法，包括人机互动、人际互动；以及跨媒介传播中的媒介互动等。元宇宙以交互性机制和多媒体作为媒介，很自然地成为交互式叙事的平台。

文旅元宇宙中，所有的历史典故、当代小说、科幻作品以及网络文学、剧本杀游戏，都可以置入实景之中，成为沉浸体验的内容。这不仅仅需要大量的环境因素、NPC 人物，更需要场景故事建构师，如同编剧一样组织各内容元素，形成有代入感的故事线。这需要一套智能编译系统，可自由选取相关元素，设计交互叙事流程。

因此构建一个可以让更多创作者便利编辑的引擎至关重要。过去的小说、电影等的叙事，几乎完全依赖于人工。文旅元宇宙的多维时空容纳，以及开放性创作需求，强烈要求将叙事引擎智能化，可以利用 AI 技术读取已有的文学作品直接生成，或通过输入基本目的和元素根据需要创造故事，同时还将相关交互内容赋予各个角色，拥有各自独立又相互关联的交互路径。并允许各元素、NPC 拥有各自的知识图谱，面向不同玩家展现响应的风格和内容，进行多模态交互，智能问答及多轮会话。

（3）文旅体验应用

游客已经化身成为玩家，传统的 OTA 平台和电子导游、一机游，由于其本身技术性和内容承载能力的限制，以及仅仅面向游览的单向性，已经无法满足和承载这一需求，亟需创新应用。

根据爱好选择体验内容，自动组建角色所需的虚实结合元素，如景点位置和与之关联的虚拟内容，关卡路线。可以如同游戏或剧本杀，组团进行探索游览及单人体验闯关探秘。同时需承载大量社交需求，包含玩家在过程中的位置查询、实时沟通以及内容传递分享、收藏交换等。

文旅体验应用应与数字资产平台及交互叙事引擎打通，承担文化知识传递（取代原来的导游/电子导游）、线路构建（取代原来的旅行社及 OTA）、商家导流等功能，形成内容创作者、故事创作者、玩家及线下场所、商家之间的生态价值链。

此类应用将是一个全新的业态组织形式，既可以线上虚拟体验，也可以线下虚实结合旅游，预期将逐步覆盖整个文旅产业链，是文旅元宇宙的承载体。

（4）线下智能设备

大量智能设备将投入使用，与环境及叙事紧密融合，辅助人员服务的同时，营造沉浸式多模态交互体验。

取代现场人员服务的智能机器人，如扫地机器人，修剪机器人，安保机器人、导览机器人、文创服务机器人、无人车等将广泛应用，其形态将深度贴合景区 IP 及故事设定，不仅承担服务功能，更可成为沉浸体验故事中的 DM 或 NPC，如装扮成为历史名人的机器人，与游客进行智能互动，引导故事线，或绘制制造文创产品。

智能互动屏幕、投影等，将通过精准定位技术，识别游客身份并触发与之相关的个性化互动。如人走近开始播放相应内容，或跟随互动。

沉浸式互动剧场将成为主流，借助声光电展示系统、VR/AR 技术，3D 全息投影、激光投影机、激光灯等营造大型炫酷的场景效果，是游客能够深度融入，甚至创造出超越肉眼和耳朵感知极限的“大奇观”，超越日常生活的感官体验，达到“超震撼”效果。

16.2.8 文旅产业在元宇宙中的价值、优势和产业链关系

与过去相比，文旅行业的边界在日益模糊，外延在无限伸展。我们已进入一个一切皆文旅，文旅赋能一切的时代。文旅在元宇宙的价值和产业链上，占据着重要的位置，将成为元宇宙应用的先行者、供给端和压舱石。

（1）打开元宇宙大门的先行者

文旅领域，因其线下场所的高度容纳、周边环境的深度沉浸、文化内容的丰富资源、技术应用的先期铺垫，文化生活的刚需承载，休闲娱乐的首选方式，从业人员的广泛深入，轻松愉悦的休闲体验，拥有了快速进入元宇宙的先天优势，将成为打开元宇宙大门的先行者。

（2）构建元宇宙内容的供给端

文旅的丰富内容资源，包括文物、建筑、艺术作品等，已经率先进入了 NFT 领域并发挥着巨大的吸引力作用。已经进行了多年的数字化，2D 及 3D 内容丰富；历史人物、动漫 IP 资源丰富；文化、艺术、文创等从业者人数众多，也将吸引更多的创作者进入到此领域，产出内容的 NFT 属性非常高。拥有快速构建文旅元宇宙内容的广阔土壤和基础素材，将成为构建元宇宙内容的供给端。

（3）奠定元宇宙文明的压舱石

元宇宙交互体验方式和形态将带来巨大变革，会对人们价值认知、心理变化产生重大影响，需要真正有益身心的内容构建，才能引导正确方向。中国 5000 年传统文明，有着辉煌璀璨的硕果，也奠定了我们的文化自信，成为了中国高速发展的基石。传承展现文明，正向美好事物的先期进入，将影响元宇宙中社会道德和行为规范。内容，将成为奠定元宇宙文明的压舱石。

16.2.9 风险和局限

文旅因其与文化相关的属性，率先站在元宇宙资产版权、价值观的前沿，为

此也产生了诸多风险，值得我们认真对待，并制定一系列相关法律法规。

（1）NFT 侵权及炒作风险

年初，佳士得公开竞标一件名为《每一天：第一个 5000 天》（Everydays:The First 5000 Days）的作品，在 15 天的网络竞拍里，历经 353 次出价，从 100 美元的起拍价一路飙升至 6025 万美元的天价落槌（加佣金 6934.6 万美元成交）。3 月 25 日，北京 798 第一场加密艺术 NFT 拍卖现场，一幅以 JPEG 形式存在的 NFT 艺术作品《新竹》，最终以接近 40 万人民币的价格被拍卖，成为国内 NFT 交易的典范之一。这幅作品由中国当代超现实主义画家冷军创作，本是一幅纸媒国画，在创作后期，作者借助电子摄像设备，将原作转化成了 NFT 数字艺术作品。在拍卖交易现场，艺术家当场销毁了作品的实体形式，从而保证数字作品的真正独一无二性。这种炒作形式非常值得警惕。

文旅相关的大量作品，如历史画作、文物等，由于其，由于其历史事件过久，后期委托公司进行数字化转化、3D 建模等，造成数字资产产权不清晰，或同时存留多个副本的情况。如非法拥有者率先上传区块链进行 NFT 铸造，将无法保证其不被侵权。

（2）历史篡改风险

中华 5000 年文明历史，有很多璀璨的文明。当前的影视、游戏已对其进行了多重改造。一些网络游戏中已经出现了歪曲历史的现象：把岳飞设计为“肉袒牵羊”的投降者形象，把秦桧定位为高等级的“天”等等。

文旅元宇宙具有具有公共文化产品的属性，是新型历史和文化传播的载体，容易在潜移默化中影响参与者的思想和判断，从而被动接受人为“加工”的历史。对此，内容规范必须加强自律和监管，相关从业人员对国家历史要有基本的尊重和敬畏，坚守创作底线，行业主管部门应强化前置审批管理，或通过 AI 工具等进行实时规范和审查，对“跑偏了”的内容“零容忍”，铲除其生存土壤。

（3）价值导向风险

近年来，我国网络游戏产值连续 9 年以每年约 30%的速度增长，诞生了营

收规模世界第一的游戏企业，但同时也存在部分游戏产品价值导向错误、质量不高、同质化严重，甚至含有法律法规禁止内容等问题。一些低俗、血腥、暴力的游戏严重伤害了青少年的三观。

剧本杀游戏中的剧本作为核心也一直饱受诟病。一方面目前市场上剧本良莠不齐，很多带有色情、暴力、恐怖情节的劣质剧本大行其道；另一方面优质剧本被肆意抄袭，严重挫伤市场创新积极性。

对此，主管部门要积极作为，只有在网络游戏的价值导向上严格设立红黑线，才能让沉浸互动体验内容的制作和生产符合正向价值观。

16.3 虚拟数字人营销

元宇宙核心是构建一个与现实世界平行的存在，人类在其中的化身须以虚拟形象代替，虚拟数字人在一定程度上被视为元宇宙的基建。随着元宇宙概念的持续火爆，越来越多的企业进入虚拟数字人营销领域，提前为元宇宙时代的发展做铺垫。

16.3.1 虚拟数字人类型

（1）按虚拟数字人的形象划分

- **二次元形象虚拟人。**二次元这一用法来源于日本，早期的日本动画、游戏作品都是以二维图像构成的，其画面是一个平面，简称“二次元”。二次元形象虚拟人通过 2D/3D 建模生成，具有非常强的可塑性，往往外型 Q 萌，颜值高，体现了 Z 世代对颜值的极致追求。如世界第一虚拟偶像日本梦幻歌姬“初音未来”的形象是身着灰绿服装，带红色发圈和耳机，扎着经典绿双马尾，梳 M 形刘海的电音少女。国内首位虚拟歌姬洛天依的形象虽然也以二次元为基础，但增添了浓浓的中国风：她的形象是一名外星少女，长长的灰发扎成中国传统环形辫，一双幽幽的碧瞳，项部配以碧玉、腰间挂着中国结。二次元虚拟数字人形象塑造随意自由，场景偏向二次元话题，深受二次元粉丝欢迎。

图 16- 13：洛天依

- **超写实虚拟人。**超写实虚拟人原型来自真人世界，按制作规范提供照片，完成形象定制。一个超写实虚拟人的诞生需要通过高精度原画设计、高写实 3D 建模、高水准的虚拟人引擎导入、高精度动作捕捉、最后完成精致的修帧渲染方能完成。这种虚拟数字人有着更贴近真人的虚拟形象，对真人的高强度还原的皮肤质感，还可以依据不同光影条件作出相应的模拟。例如，与周杰伦、费玉清同台对唱的“虚拟邓丽君”，其形象和歌喉都高度还原了邓丽君本人，让观众在歌声中感动落泪。但明星虚拟分身因版权问题，无法进一步拓展其商业价值，许多品牌和资本另辟蹊径选择自己造星。全球收入最高、影响力最大的 Lil Miquela 就是美国 Brud 公司推出的超写实虚拟人。超写实虚拟人虽然更加符合大众审美，但在短视频等智能化程度的更高的呈现场景中容易暴露其真人化程度不足的缺陷，对技术要求更高。

(2) 按虚拟数字人功能划分

- **虚拟网红**：指通过绘画、动画、CG 等技术制作，在虚拟场景或现实场景进行才艺表演、生活展示的形象。目前活跃在市场上的虚拟网红有 2018 年首次在 ins 上亮相的虚拟超模 Shudu Gram，与梦龙合作过的超高颜值日本虚拟网红 Imma，活跃在小红书上的本土虚拟网红 AYAYI 和翎 Ling，首个超写实男性虚拟网红川 CHUAN 等。虚拟网红营销模式与

真人无异。只不过他们不需要凭借容貌、口才、技艺、炒作费尽心思的获取流量，其个人身份、生活方式、外表，甚至思想和行为，都是背后团队精心设计的产物。

图 16- 14：Li1Miquela（图源网络）

- **虚拟歌姬。**初音未来和洛天依都是虚拟歌姬类虚拟数字人的典型代表。在本质上，虚拟歌姬，是“开源共创”这一参与式模式的应用实践。形象的版权开放是其获得巨大成功的关键一步，此举激励用户积极参与创作初音未来的同人插画、舞蹈、翻唱等作品，在生产过程中将其创造为自己喜爱的样子。
- **虚拟主播。**虚拟主播形象多以 2D 模型出现，并以真人声优配音。虚拟主播刚刚兴起时，以娱乐行业应用较多，如第一虚拟主播“绊爱酱”“疯婆子”辉夜月、“白海豚”电脑少女小白等。随着技术逐渐趋于成熟以及政策的扶持，虚拟主播迅速应用于新闻播报领域。例如，中央电视台的真人虚拟主播“小小撒”、“朱小讯”等，湖南卫视的数字主持人“小漾”，北京广播电视台“时间小妮”。虚拟主播具有效率高、零出错等优点，极大地提高了新闻播报效率。

16.3.2 虚拟数字人营销场景

（1）电商直播

自 2019 年起，电商直播就成为了全民追逐的新风口，既有自电商平台成长起来的导购主播，也有人气明星和品牌 CEO 跨界带货。仅 2020 年上半年，B 站每个月就有 4000 多位虚拟主播开播[1]。2021 年，“城市数字 IP 形象直播展示

暨城市虚拟直播间项目”在杭州启动，虚拟主播白素素作为城市旅游代言人，不仅与真人主播配合介绍了杭州的美食美景，还展示了舞蹈等多项才艺。充分挖掘电商直播营销场景，能够让更多中小虚拟偶像、虚拟主播完成商业变现，这是对只有行业少数顶级虚拟数字人才能进行的品牌广告代言，版权合作的传统营销方式的突破，有助于推动整个行业的良性发展。

（2）虚拟演出

图 16- 15：堡垒之夜

虚拟演出与初音未来等虚拟歌姬紧密相连。第一场以初音未来名义举办的演唱会可追溯至 2009 年，自此，每逢感谢日或诞生纪念日，出品方都会举办相关演唱会。2019 年由哔哩哔哩策划的初音未来、洛天依与 B 站吉祥物的同台合唱，在线观看人数超过 600 万。随着新冠疫情的爆发，后疫情时代的到来，虚拟演出扩展到包括真人在内的线上演出。2020 年 4 月，美国说唱歌手 Travis Scott 在《堡垒之夜》游戏中举办的虚拟音乐会，吸引 1230 万玩家在线观看。虚拟演出与 VR、AR 等尖端技术的结合使其边界不断拓宽，与社交、游戏等其他内容领域的结合也为其发展提供更多可能性。但是虚拟演出这种场景应用占比最低，其收入只占所有收入 5%-10%[2]。

(3) 广告代言

虚拟数字人也可以作为品牌商品的代言人，即虚拟代言人。品牌可结合自身的调性，自主打造出拟人化的虚拟形象，如花西子、欧莱雅的“欧姐”、肯德基的“KI 上校”、雀巢咖啡的“Zoe”等，但自创虚拟代言人前期投入巨大、回报周期长、风险系数更高，一些与品牌选择和具有知名度的虚拟数字人进行跨界联合，如“无限王者团”代言妮维雅男士、MECO 果汁茶，魔珐科技推出的翎 Ling 也完成了与特斯拉、Keep、VOUGEme、天猫等品牌的合作，并成为 2021 天猫奢品双 11 数字推荐官。广告代言是这两年新挖掘的营销场景，对于运营方而言，跨次元合作将放大虚拟偶像的影响力和商业价值；对于品牌来说，虚拟数字人是跨界圈粉，流量导入的利器。

图 16- 16：无限王者团代言 MAC

(4) IP 衍生

IP 衍生类似真人明星的流量变现方式，利用长期运营所沉淀的大量粉丝，开发围绕虚拟数字人自身 IP 衍生的周边产品。这也是最常用、最直接的营销场景，可以串联起多个产业共同发展。数据显示，消费者对于虚拟数字人衍生品的购买意愿较强烈，有 62.31%的消费者有可能购买虚拟偶像代言的商品，服装服饰、日常消费品、手办是消费者最愿意购买衍生品类型，分别占比为 48.98%、37.03%、33.09%[3]。IP 衍生做的最好的要数洛天依，现已开发出包括声库、手办、玩偶、徽章、演唱会周边、生日会周边等五十余种 IP 衍生品，合作代言品牌超过 30 家，横跨快消、美妆、餐饮、洗护、时尚、汽车等多个行业。

16.3.3 虚拟数字人的营销优势

（1）可塑性强，风险系数可控

众所周知，品牌邀请明星代言，是为了扩大影响力和知名度。但是明星对于品牌方而言，不啻为一把双刃剑。明星的不良行为，或者是随口而出的一句话，都有可能让代言品牌深陷舆论漩涡。近期，娱乐圈多位艺人连续“人设崩塌”，进一步凸现了虚拟代言人的优势。相较于真实艺人，虚拟代言人不会生病、衰老，也没有人设崩塌等问题，符合人们追求完美的心理，创造商业价值的能力更加稳定。

（2）吸引 Z 世代，立体化传递品牌理念

Z 世代，又称网络世代，他们对互联网拥有更强的感知和适应能力，消费能力强，愿意为喜爱产品支付更高的金钱，成为当前各商家营销的重点人群。作为附加的品牌符号，虚拟数字人能够潜移默化的传递品牌理念，立体地呈现品牌形象。尤其是品牌自建代言人，消费者可以通过“用户共创”的方式，对虚拟代言人的身材、长相、嗓音和性格进行打造，极大的提升了消费者的参与感，成为品牌与 z 世代情感沟通的重要桥梁。。

（3）商业价值高

虚拟数字人可以不停地随着潮流的变化和技术的发展迭代进化，使其拥有较高的商业价值的开发空间和可能性。在国外，虚拟网红 il Miquela 拥有 300 多万 ins 粉丝，仅 2020 年收入就超过了 1200 万美元。在国内，一部分虚拟数字人的热度和流量，也不亚于明星：洛天依在淘宝直播的坑位费达 90 万元，远超薇娅、李佳琦，洛天依的直播带货在线观看人数高达 300 万，近 200 万人打赏互动。肯德基根据洛天依成名曲《千年食谱颂》创作的广告歌，几周时间内微博点击量突破 250 万。根据数据显示，2023 年中国虚拟偶像带动市场规模预计达到 3334.7 亿元，核心产业规模预计达到 205.2 亿元，相较 2021 年均增长 3 倍有余[4]。

16.3.4 虚拟数字人营销的关键环节

（1）技术是虚拟数字人营销的基础

技术，是虚拟数字人受用户喜爱的主要原因。柳夜熙能够在抖音一夜涨粉突破百万，取得超越很多品牌运营多年的成绩，就在于视频拥有电影级的画面质感，人物几乎可以以假乱真。柳叶熙那颇具中国古风美女的精致鹅蛋脸，柳叶眉和丹凤眼，成熟的肢体语言和形态引得不少粉丝甚至发问，这到底是真人还是假人？技术，也是虚拟数字人的阿喀琉斯之踵。制作一个真实、酷炫的立体人物形象并不困难，难的是一旦虚拟偶像动起来，能不能给予用户较为真实的体验？如果虚拟人物的行动僵硬，嘴唇跟声音不很同步，哪怕是极其细微的不同点都会激起人们的反感。同时，技术的成熟稳定才是其开展商业活动的关键。因为技术故障，洛天依在直播间演唱时，用户只能看到动作听不到声音，而搭档主播李佳琦却不知情，一直极为配合地称赞洛天依的表演。这场由技术缺失导致的荒诞剧情对洛天依和代言品牌方都造成了一定的负面影响。

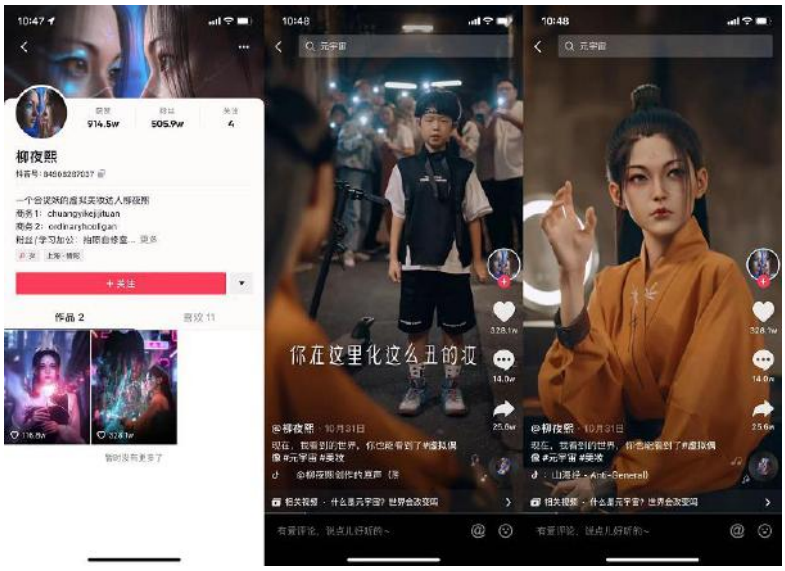


图 16- 17：柳夜熙

（2）人设是虚拟数字人营销的核心

人设是人物设定的简称，包括姓名、年龄、身高、出生背景、成长背景等。人设是虚拟数字人营销的核心，也是虚实界限的关键点。人设越具象，虚拟人形

象就越真实。古风虚拟偶像翎 Ling 的人设是一位热爱国风文化的女生，非常有国风感；洛天依的人设是既呆萌又腹黑的吃货少女。虚拟人物可以有多个人设，多维度下不同的人设指向，能够让形象更加立体。例如合创汽车推出的次元偶像奕心，其人设就非常多元。从定位来看，她是大学校园全能发展的超级新生；从技能来看，她既会唱跳，也有代表作《灵笼》，是个无所不能的国民爱豆；从性格来看，喜爱极限运动的她，跳脱了传统文静女性角色定位，展现出热血满格的活力女孩形象。

（3）内容是虚拟数字人营销的养分

人设建立之后，如何让人设更加丰满，就有赖于内容的创设。

其一，是智能化、场景化的展现形式。以奕心为例，她空降广州国际车展，充满赛博朋克未来感的舞台灯光加上大屏火焰爆发形式的合创 Z03 呈现，让奕心酷飒的舞蹈表演完美融合于合创 Z03 的潮智科技主题。 柳夜熙的视频里，融合了悬疑、美妆、剧情、后期特效技术，炫酷的霓虹灯条、赛博风格的都市以及捉妖人的设定融合在一起，亦幻亦真，兼具“赛博朋克和中式奇幻”风格。

其二，是为用户提供价值。以欧莱雅集团中国社交平台虚拟代言人“欧爷”为例，在“欧爷百事通”板块，欧爷作为新闻部长为用户带来最新美妆动态；在“欧爷说成分”板块，欧爷化身成分党专家为消费者讲解化妆品成分；在“欧爷面对面”板块，欧爷带领用户认识名人朋友，分享多元化的美。通过覆盖美妆新闻、成分揭秘、娱乐明星等多个兴趣圈层，欧爷为消费者提供了极具价值的丰富内容。

16.3.5 虚拟数字人营销的问题

（1）成本高企

创作虚拟数字人是一个耗时耗力的大工程。以国内第一虚拟歌姬洛天依为例，不仅前期设计耗资巨大，后续的优化、维护、运营等方面的投入也十分惊人，洛天依在其诞生后整整六年才终于开始盈利。腾讯依托于本就拥有可观粉丝量的国民级游戏王者荣耀，强势推广，才有“无限王者团”的成功。因此，该领域入局门槛较高，是创意设计、资金实力的综合比拼。尤其是品牌自建虚拟偶像，必须

做好持续投入的准备，并且想清楚自建偶像的目的。

（2）短期变现难

我国的虚拟数字人大概有上万个，但像洛天依这样能够进行直播带货、演唱会、节目活动等多种商业活动的头部虚拟数字人少之又少，需要有稳定的粉丝群体支撑。东方栀子、荷兹等虚拟数字人由于找不到合适人设与变现途径，随着热度的消失已慢慢被大家淡忘。出资方想要趁着元宇宙热潮短期迅速变现不太现实，推出虚拟数字人只是第一步，后续如何进行“人设化”经营并进行 IP 营销才是关键。

（3）内容运营乏力难出圈

客观的说，虚拟数字人毕竟不是真实人物，无法自行与消费者互动，因此强有力的内容运营便尤为重要。以 AYAYI 的推广为例，运营方先是选择具有时尚、潮流气息的小红书作为主推渠道，在其走红后又策划与各种时尚品牌进行联名合作，加深其时尚高街的人设和艺术感。钉钉所推出的“钉钉兄妹”能够得到用户喜爱，也有赖于钉钉在 B 站平台持续推出以他们为主角的各类形式丰富多样的动画视频。当前，针对目标受众进行细分的细分品类垂直运营较为单一，虚拟人个性大多就是吃货、萌蠢、歌姬等，缺乏立体性和多元化。后期，运营方也很难长期用视频、直播、图文等丰富的内容吸引粉丝，导致与粉丝的双向互动不足，如果代言的品牌受众群体与虚拟数字人的受众群体契合度不高，很有可能极大的制约营销效果：花西子同名虚拟代言人品牌微博点赞仅为百位数，肯德基虚拟上校的账号运营仅有数条动态，粉丝数不足千人。由此可见，虚拟数字人营销依然属于小众营销，要成为真正大众化的营销方式，还有很长的路要走。

本章内容由孟虹、李艺宁起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 艾媒网，2021 中国虚拟偶像行业发展及网民调查研究报告，https://www.iimedia.cn/c800/79578.html
[2] 观研天下，虚拟偶像行业产业链分析：上游制作成本高 下游商业化应用已深化，https://baijiahao.baidu.com/s?id=1713032602351052784&wfr=spider &for=pc，2021.10.8.
[3] 观研天下，虚拟偶像行业产业链分析：上游制作成本高 下游商业化应用已深化 https://baijiahao.baidu.com/s?id=1713032602351052784&wfr=spider&for=pc，2021.10.8.
[4] 艾媒数据中心，2017-2023 年中国虚拟偶像市场规模及预测分析，https://www.sohu.com/a/514191586_728793，2022.1.4.

第五篇：法律与监管篇

作为一个新事物，元宇宙带给人们太多期望，也带给人们不少担忧。就像曾经的互联网金融、P2P、区块链一样，曾经光鲜亮丽的高科技新事物，最终却变成了部分人用于炒作的噱头，甚至是用于诈骗的工具。

本篇讲述元宇宙的法律界定，研究元宇宙的伦理、道德和法律，研究元宇宙经济行为的法律责任，研究元宇宙未来可能的科技监管。

第 17 章 元宇宙的法律界定

目前元宇宙定义尚未有统一的定义或共识，在探讨其法律意义时，不可避免地会加入个人的主观认识与评价。在过去的 5 年里，与元宇宙经济概念紧密相关的加密货币大起大落，中国并没有为了规制加密货币而创设新的法条，只不过是出台了几项政策。因此，法律人的视角与一般人的视角不同，法律的稳定性与涵盖性往往会超越一般人的想象。

新技术会改变世界，也会改变法律，但是，法律人关注的不仅是技术本身的变化，而更关注技术为权利义务边界以及罪与非罪红线带来的变化，当然还有为公序良俗以及公共利益带来的影响。

17.1 阿凡达的法律责任

2009 年，詹姆斯·卡梅隆导演的 3D iMax 电影《阿凡达》票房大卖，掀起了 iMax 的革新浪潮。Avatar，其英文意译应当是“化身”，但国内音译为“阿凡达”。《阿凡达》描述地球资源逐渐耗尽，人类文明不得不向外太空扩展以寻求新的资源，潘多拉星球就是其中之一。电影的星球探险中，为了减少人员伤亡，人类用到了生物机器人技术。电影中的生物机器人外型与潘多拉星球上的原住民基本一致，但功能上它依然只是个机器人，即无智能也无思想更无灵魂，人类得通过“附身”在这个机器人上才能操控机器人。此时，机器人即成为人类的化身，机器人的一举一动、一言一行都代表人类自身的行为举止与思想灵魂。可以说，通过生物机器人，人类可以再生、重生甚至于永生。

技术的进步产生了新型的代理人，即数字化代理人。通过阿凡达，人类得以再生或重生，但阿凡达本身并没有独立自主的思想或行为，它仅是个生物机器人，但是，当人类附身在阿凡达身上后，它就成为了人类的化身，无论思想或行为，都是人类的。就法律而言，阿凡达的意思表示就是人类的意思表示，阿凡达的行为就是人类的行为，所以阿凡达即为人类的数字化代理人，或者数字人。数字人可以是善的，例如救灾数字人，也可以是恶的，例如战争数字人。无论善恶，一切法律后果得由其所代表或代理的人类承担。

17.2 伦理、法律与道德

伦理、法律与道德之间往往密不可分，也都相对抽象。简单地说，道德是伦理的基础，法律是道德的底线，法理学是伦理道德在法律体系中的具体体现。法理学主要有二大学派：自然学派与实证学派，自然学派主张“恶法非法”而实证学派则认为“恶法亦法”，至于“恶”的定义莫衷一是，在我国，不符合“公序良俗”的行为或可视为“恶”，所以，简单的说，自然学派偏向伦理，实证学派则偏向法律。法律是实证的与外在的，伦理是理想的内在的，但就法的本质而言，伦理是法律的基石。

俗话说：“法理无外乎人情”，最朴实的语言往往能一语中的。但何谓“人情”，在国内或可为我国《民法典》中的公序良俗，在国际则为统治阶级盱观全球的价值尺度。当下的趋势是各国愈来愈向实证学派靠拢，笔者认为其主要原因是国际冲突与日俱增且国内社会结构日趋复杂，各国统治阶级为了快速反应突如其来的外部变化与威胁，惟有强大的国力才能保护自我并对抗威胁，所以，各国统治阶级大都以国内优先为首要考量。马克思认为：“法律是统治阶级的意志体现”，实乃微言大义，一语道破实证精髓。

17.2.1 法律的作用

法律的主要作用在于定纷止争与惩恶扬善，但在判断或裁判是非善恶之前得明确“边界”，即，定纷止争的边界与惩恶扬善的边界，也就是俗话说的“红线”。元宇宙是互联网的延伸，互联网是跨时空的，就空间而已，互联网是跨国界的。但是，法域（法律适用的物理空间）是有边界的，所以，笔者首先要厘清的是：本文主要以中国法（广义的法，包含法律法规与部门规章等，但不包含港澳台的法）为阐述依据，以避免或减少歧义。

元宇宙是个大话题，也是个新兴的名词与概念，目前是百家争鸣百花齐放，说得上是锣鼓喧天旗帜漫天。在这个大话题里，笔者尝试缩小视角，从小点到小面地阐述笔者的观点，毕竟法律不能基于空想，笔者希望言之有物，至少可以明确几点具有法律意义的名词和概念，抛砖引玉，作为后人进一步探讨的铺垫。

17.2.2 法律不能基于空想

法律具有先天的滞后性，主要原因是：法律不能基于空想或畅想而凭空制定。

法律得基于先例与经验，没有先例或经验至少在立法技术上就很难设立规则，所以说，法律先是经验的总结与归纳，然后才是依据具体案情并结合法条进行演绎与裁判，即便如此，法官的个人经历与自由心证，即，对伦理道德的体会与认知，在个案中往往也起着关键的作用。所以，即便是现实世界芸芸众生的方方面面，法律都不一定能规制，更何况人类无法感知的世界和宇宙，法律不但无法设立更遑论规制。其实，也没必要规制，因为规制是有成本的，并且，在脑海中无限畅想是人类创新力的源泉，没必要过早的约束，除非有充分的理由可以预见其对社会与国家的危害。即便如此，也得等到思想付诸行动与行为（哪怕只是口头上的言论）才能进行实际的规制，人们脑海中的思想、畅想、空想与幻想既不可能也没必要规制，这是当今世界统治者与立法者的普遍共识。所以，“元宇宙”不能仅是思想、畅想、空想或幻想，必须有一定程度的为人们所感知到的“物化”（即，视觉、听觉、味觉、嗅觉与触觉，以下统称“体感”）。当然，当技术能够进步到一定程度，例如，通过脑机接口人们无需开口或行动就可以直接交流脑海里的思想，如此一来，或许可以改变“空想不罚”的普世原则。

17.3 元宇宙构建技术的法律适用

就构建元宇宙（更准确的说，“虚拟场景”或“虚拟应用”）的技术方案、方法与手段而言，现行法律依然是适用的。无论是芯片、硬件、计算机、算法、操作系统、应用软件、穿载设备、显示设备与场景设计工具等智力成果和知识产权，笔者认为，现行的法律基本上是能够覆盖并且依然适用的。至于虚拟场景里与现实主体（即，人类）无关的智力行为与后果（例如，由人工智能产生的“发明创造”、“智力成果”与“侵权责任”等）是否适用现行的法律则得具体个案具体分析，例如，全虚拟主体（即，与现实人无任何关联的“人”）的“智力成果”，是否可以得到法律的认可并受到法律的保护，如果认可的话，所有权应该属于谁的，是个学术界和实务界都在探讨的问题。再例如，全自动驾驶汽车肇事，是车主担责还是车厂担责，尚未有定论（目前倾向于由车主承担主要责任）。但是只有法律也是不够的，例如，如果我们认为元宇宙是互联网的延伸，而互联网是有“记忆”的，能“记住”网上的信息，而这种记忆是跨时间与空间的，不但时间的跨度极长，空间的跨度也极宽，所以为了保护个人隐私与敏感信息，有所

谓的“遗忘权”与“删除权”。但是，区块链也是基于互联网的，可是区块链上的数据与信息是很难删除的，尤其是公链，所以，即便法律规定了互联网（含区块链）上的信息在满足一定条件下得被删除，但如果没有相应配套的技术手段，即便判决了也无法强制执行，一旦判决书沦为空文，将导致法律威慑性的受损。

17.4 元宇宙里的法律适用

互联网非法外之地，元宇宙自然也非法外之地。线下不合法的，线上肯定不合法，线下合法的，线上不一定合法，但是，线下不能实现的行为，线上或许可以实现(例如,在现实世界里人类无法自由飞翔,但在元宇宙与虚拟世界里可以)，无论能否实现，就法律而言，法或非法以及罪或非罪的边界，编者认为，关键在于“映射度“，即虚拟世界与现实世界的关联度。虚拟世界的法律是由现实世界所制定与实施的，当某人一旦被法院认定得为其不当行为承担法律责任，即便这个行为是发生在线上或虚拟世界里，这个人也无法免责。至于担责的方式，则得依据具体的情况，或许发生在线下，也或许发生在线上（例如，发布赔礼道歉的公告）。所以，简单讲，虚拟世界的法律依然是沿用现实世界的法律，元宇宙与虚拟世界里所发生的一切依然是由现实世界所主宰的，毕竟法律的执行也得落实到现实世界里的人与物。

17.5 分身与化身的法律责任

首先，此处的“宇宙”实际指的是场景，无论是线下或线上、虚拟或现实。就法的视角而言，场景指的是在某个时空之内人、物、以及人与人之间、人与物之间所发生的行为，并且这些行为或其产生的效果具有法律意义上的“法益”，那么这个场景就是法律意义上的场景。

此外，虚拟场景的法律主体除了场景内的主体之外，还需加上场景外的运营主体，即运营场景的人或法人。映射度指的是虚拟场景与现实场景二者之间的关联程度。如果虚拟场景是现实场景的实时“数字化身”（或“数字孪生”），则属于高映射度。例如，视频会议，对比之下，电子游戏属于低映射度（因为游戏里的人与物不具有现实意义，当然，赌博除外，并且电子竞技或许也除外），而电影则属于零映射度（除非涉及过分的淫秽、暴力等法律所禁止的内容）。我们

由简到繁（其实都很简单），举例说明如下，以期举一反三触类旁通之效。为了准备区分，笔者认为，“数字分身”与“数字化身”的区别在于：在同一时间，现实主体只能有一个虚拟化身，但可以有多个虚拟分身。无论是化身或分身，只要映射度达到一定程度，现实主体都得为其化身与分身的不当行为承担相应的法律责任。

17.5.1 电影场景的法律责任

对于一般意义上的电影，观众所能做的只是坐在那里观赏电影的内容。在这个例子中，如果我们认为电影本身就是个虚拟场景，电影中所发生的一切行为当然都与观众无关，并且电影中所发生的一切活动也找不到现实世界里的关联关系，即，零映射度，所以，电影（或虚拟场景）内的一切行为自然不会侵犯到观众的法益，但有个例外。这个例外就是电影所展示的内容，如涉及过分的淫秽、暴力等现实世界里法律所禁止的内容，则会侵犯到观众的法益，此处“观众的法益”，指的不是特定观众（即，用户）的法益，而是一般社会公众的法益，即公序良俗的法益，此时，电影的运营者或提供者得承担相应的法律责任。此外，电影里的“人”（即，演员所扮演的角色）不是人，而只是图像（广义上的“物”），不具有人身法益，例如名誉权，除非能够证明与现实人存在一定程度上的映射度。

17.5.2 单人版电子游戏场景的法律责任

考虑一个单人版“打怪游戏“的虚拟场景，这个虚拟场景里的”人“即为用户的化身（可称为”虚拟人“），他可以在这个场景里大开杀戒而不用承担任何法律责任，因为被杀的怪物（或人）与现实世界没有任何映射度。但是，如同电影一样，游戏的运营者或提供者得为游戏的不当内容承担法律责任。

17.5.3 多人版电子游戏与电子竞技场景的法律责任

在多人版电子游戏（或电子竞技）的虚拟场景里，虽然每个玩家（现实人，即，用户）在游戏里都有对应的化身（虚拟人），但一般而言，其法律关系基本如同单人版电子游戏一样，由于映射度几乎为零，现实人因为游戏里虚拟人的不当行为而被法律追责的可能性几乎为零，除非游戏的内容涉及法律所禁止的不当内容，或者，现实人透过游戏进行法律所禁止的赌博行为，因为这些行为侵犯了公序良俗的法益。需要注意的是，本例中的赌博行为可以发生在玩家之间，也可

以发生在玩家与庄家（即，游戏的运营者）之间。说到这里，补充一点，赌博行为也可能发生在单人版游戏里，即，玩家与庄家对赌，也会受到法律的追责。

17.5.4 视频会议场景的法律责任

视频会议可视为一个映射度极高的虚拟场景，不同的技术实现可以提供用户不同程度的体验感、沉浸感或现实感，就法律而言，并不关注这些“体感”，而仅关注参会者（虚拟化人）之间的一言一行是否侵犯到了法益，即便这些言行发生在虚拟场景中，只要虚拟场景与现场场景的映射度够高。例如，虚拟化人甲在这个虚拟会议场景里辱骂虚拟化人乙，虚拟化人甲或许侵犯了虚拟化人乙的民事法益（例如，名誉权），甚至于刑事法益（例如，侮辱罪或毁谤罪），而需承担相应的法律责任。再例如，假设每位参会者都穿戴了体感手套（假设该手套可以传达与感受力度），虚拟化人甲与虚拟化人乙在虚拟会议场景里握手言欢，虚拟化人甲不慎用力过猛，造成虚拟化人乙手掌骨折，虚拟化人甲至少得为此承担损害赔偿的民事责任。

17.5.5 虚拟等同于数字

在笔者的语境里，虚拟和数字基本是同义的，只不过虚拟鞥着重于外在的表现形式以提供更好更直观的用户体验，所以虚拟化人等同于数字化人，虚拟人等同于数字人。同样的语境也适用于物。虚拟化人在虚拟场景内的行为视为用户自身的行为，所以，用户需要为其在虚拟场景内虚拟人的不当行为承担法律责任。

17.6 元宇宙资产的法律适用

元宇宙里资产的法律适用，如同前述，其关键仍然在于映射度。不过，我们有必要区分下数字化资产与数字资产。

17.6.1 数字化资产

数字化资产即为现实资产的数字化，也就是将现实世界里的资产以数字的形式表现出来，例如，网银，网络银行里的存款即为现实银行里的存款的数字表现。所以，一定是先有现实资产才会有数字化资产，如果二者之间不一致则以现实资产为准，此外，数字化资产的灭失不当然会导致现实资产的灭失，换言之，只要现实资产依然存在则可还原数字化资产。

17.6.2 数字资产

数字资产即为数字本身，只不过该数字具有经济价值，数字本身的灭失将导致资产的灭失。例如，传统的数字作品（例如，用 WORD 软件创作的一本小说）属于数字资产，假设这个数字作品的电子文件（即，数字载体）没有复制品，那么，一旦仅存的数字载体灭失则将导致该数字资产的灭失。当下的比特币（BTC）属于数字资产，该资产的数字载体是私钥。前几年盛极一时的加密猫（Crypto-kitty）也属于数字资产，其数字载体也是私钥，但是，它属于 NFT（Non-Fungible Token，非同质代币）的一种，而比特币则属于 FT（Fungible Token，同质代币），就法律意义而言，FT 为种类物，NFT 则为特定物。种类物是指品质、种类相同，即具有共同的物理属性与经济价值的物，它可以用品种、件数、质量、容积、重量等加以确定。这种物通常是同质的，可以相互代替的，如大米、小麦等，货币也是种类物，但是被用作收藏品的货币是特定物。种类物经过选择、购买、给付等被权利人指定的行为即可转化为特定物。需要注意的是，加密猫是 NFT 类型的数字资产，而 NFT 则不一定是数字资产， 当下有许多现实世界里的作品（例如，字画），经过数字化处理后，生成数字化资产，并以 NFT 的形式表现。

17.7 元宇宙里的经济行为

大富翁游戏可以是个纯粹的电子游戏，里面的“人”和“房地产”可以与现实世界丝毫没有任何关联，即，零映射度。但是，它也可以不那么纯粹，例如，里面的虚拟房地产可以映射到现实中的房地产，而里面的钱可以映射到现实中的法币或者比特币，假设里面的交易行为在特定条件下被法律所承认，那么，这个就不再是纯粹的游戏了，而是具有法律意义的虚拟交易场景。与此同时，我们别忘了这个游戏背后还有个运营者，用户与运营者或许也存在一定的经济法律关系，例如，用户得向运营者支付一定的费用才能参与这个虚拟交易场景，这个费用可以是数字代币（例如，比特币或 USDT）、数字化货币（例如，微信支付）、或者数字法币（例如，e-CNY，即数字人民币）。

17.8 结语

元宇宙是个新话题、新名词与新概念，虽然尚未有统一的定义，但无可争议

的是，元宇宙是互联网的延伸。在现有的生活、购物、社交、培训、工作和政务等互联网数字场景的基础上，元宇宙除了提高用户的体验感、沉浸感与现实感之外，笔者相信还将有更多更有新意的应用场景落地，其中当然蕴含了巨大的挑战与机遇以及商业利益。虽然法律有先天的滞后性，或许不能规制新型应用的方方面面，但是源于互联网与区块链的经验总结，笔者相信现行法律可以规制大部分的新型元宇宙应用与场景，就如同我国规则区块链领域里的加密货币一样。我国禁止加密货币的挖矿与线上交易等行为，至今我国并没有出台任何新法律或新规章，仅运用现行法律依然可以有效地规则与加密货币有关的不当行为。本章从阿凡达作为起点，从伦理道德与法理出发，先明确了相关的新名词与新概念，以厘清相互之间的边界，从而再借助虚拟场景中的人与物以说明法律适用的要点，并表达笔者的观点，同时也希望读者能经由这些场景与示例对元宇宙中的法律适用有个概括性的认识，从而能够举一反三且触类旁通。谨以此短文，抛砖引玉，希望能为专家学者的进一步研究起到少许铺垫的作用。

本章内容由王运嘉起草，由龚才春修改。

参考文献：

[1] 《中华人民共和国刑法》第二百八十七条之二：帮信罪。

[2] 《中华人民共和国民法典》第八条：“民事主体从事民事活动，不得违反法律，不得违背公序良俗”，将公序良俗确定为民法的基本原则。

第 18 章 元宇宙经济法治体系

完整的元宇宙经济法治体系具有重要地位，可为元宇宙运转的稳定与安全提供支撑，并据此追求元宇宙衍生文明的可持续性发展。笔者在本章首先阐述元宇宙经济体系概述与其法治路径，再就虚拟资产的法治议题提出看法，包含虚拟资产的物权属性、虚拟资产跨界流通机制、智能合约自救机制与非法风险治理等，仅供诸位读者参考。

18.1 元宇宙经济体系

元宇宙是融合各项新技术而生虚实相融的网络应用和社会形态，它能提供沉浸式体验，且基于数字孪生建构现实世界的镜像，并基于区块链技术铸造经济体系，将虚拟世界与现实世界在经济、社交、身份等领域紧密融合，并且允许所有用户进行内容生产和编辑[1]。

18.1.1 元宇宙经济的特点

“元宇宙经济”与物理世界的传统经济体系不同。从严而言，元宇宙的经济体系指的是虚拟产品的创造、交易与消费等环节都在数字世界中完成；元宇宙用户的多元创造内容是元宇宙经济的基础，用户创意的导出成为“虚拟产品”，透过区块链技术提供该产品的权利确认而形成“虚拟资产”，再借由区块链技术提供资产跨平台流通机制形成“虚拟市场”，并据此形成元宇宙经济体系。因此，元宇宙经济体系与区块链密不可分，其本质上是一个由去中心化节点构成的账本；区块链技术作为元宇宙的重要构成，能够承担起元宇宙经济体系的最基本元素——“数字身份”与“虚拟资产”[2]。

18.1.2 数字身份

“数字身份”是一种身份确定系统，让用户在元宇宙中具有虚拟身份上的安全性、可控性与可携带性，据此在元宇宙中从事各种行为。在传统互联网平台中，用户的虚拟身份信息与相关数据皆为平台机构所掌控，隐私性保障不足。然而，元宇宙中基于区块链技术的数字身份系统较为妥当，具有以下特性[3]：

- **身份安全性**：基于区块链的加密属性，用户所有者的身份可以由用户

持久保存。

- **身份可控性**：用户的身份与相关数据不再被平台所垄断，用户身份所有者可自主管理并控制其身份信息的分享，除能不被无意泄露外，更可以符合最小披露原则。
- **身份的可携带性**：用户身份所有者无需依赖特定服务提供商，能够在任何需要自己身份的场景使用其身份数据。

18.1.3 虚拟资产

目前对虚拟资产并无统一定义，国际上的“反洗钱金融行动特别工作组”(FATF) 在 2021 年 10 月出台的《虚拟资产及虚拟资产服务提供商风险指南》提到，虚拟资产是一种价值的数字表示形式且可以进行数字化交易或数字化转移，并可用于支付或投资目的；然而，虚拟资产不包括 FATF 建议书中其他地方已经涵盖的法定货币、债券和其他金融资产的数字表示形式[4]。在我国则有认为，虚拟资产可定义为“除法定货币和有真实基础的金融产品之外的，通过加密技术、分布式账户或类似技术，以数字化形式记录、存储、交易、转移，充当支付媒介或投资标的的一种虚拟化价值载体。”[5]由上述定义可知，“虚拟资产”是一种权益记录的价值系统，让虚拟产品包裹一个智能合约而具有资产属性，并产生不可分割和不可复制性，使得虚拟资产所有者可以在虚拟市场进行交易。在传统互联网中，平台机构掌握对于用户虚拟物品的话语权，用户对虚拟物品的资产属性并不明确，通常只有使用权而所有权益则紧抓在平台机构手中。相较而言，在元宇宙经济体系中，借由区块链技术可以构建起去中心化的虚拟资产权益记录，此种去中心的存储机制确保用户的虚拟资产权益不被单一平台机构所掌控，用户可以自由地处置、流通与交易，使得虚拟资产近似于物理世界中的真实资产。

由上述说明可知，元宇宙经济与物理世界中的传统经济体系截然不同，元宇宙经济是在数字世界中完成虚拟产品的创造、交易与消费等环节。然而，元宇宙真能与物理世界截然两立而不受影响吗？从实际发展而论，元宇宙是虚拟世界与物理世界的多重交织，元宇宙将以虚实融合的方式改变现有物理世界的组织运作，形成虚拟与物理世界的二面同存生活形态，促进线上线下一体的新型社会关系；甚至从经济层面而言，元宇宙并不会以虚拟经济取代物理世界的传统实体经济，

而是从虚拟维度激发传统经济新的活力。

18.2 元宇宙经济的法治路径

物理世界中传统经济的法治保障体系，凭借的是主权国家框架下的法规范体系，亦即借由主权国家颁布的法律与社会形塑的规范，对于实体商品与法定货币的市场经济行为加以规范。元宇宙经济是在数字世界中完成所有创造、交易与消费等环节，与物理世界经济体系截然不同，故传统主权国家框架下的法治体系即不能满足元宇宙经济的需求。

18.2.1 虚拟世界的法治基础

既然元宇宙经济体系与物理世界经济体系不同，是否就能享有绝对自由而不受法治拘束？答案显然是否定的。笔者认为，元宇宙经济同样需要法治确保该经济体系的持续性发展；所不同之处在于，由于经济体系的构成基础不同，基于区块链底层技术所构建的元宇宙经济，其法治规则的来源显然与传统经济有所差异。元宇宙经济的法治规则不再由单一的中心化组织进行决定，而是要回到“共识”的层面，通过建立个人、社会和国家之间的“公约”，创建文明有序的元宇宙经济法治保障体系。

（1）规则供给

从“规则供给”而言，元宇宙经济的法治规则内涵究竟如何形成？有论者认为，最理想状态应来自于“去中心化自治组织”（Decentralized Autonomous Organization，DAO）中全体成员的协同安排[6][7][8]。DAO 是基于区块链核心思想理念，由一群具有共识的成员自发组建的共创、共治、共享的一种团体组织[9]； DAO 的各项组织规则由成员共同协作而得，以智能合约形式编写在区块链上，借此自主运行而不受任何中心化组织或第三方之干预，这种情形属于“代码即法律”（code is law）的体现。在 DAO 模式下所形成的元宇宙经济法治规则，将具有充分开放、自主交互、去中心化控制与多元纷呈等特点，或许可成为应对不确定、多样、复杂环境的有效法治规则来源[10][11]。然而，此种基于智能合约的 DAO 规则供给仍有其局限性，未必能充分体现元宇宙经济法治规则的全貌，主要原因来自于智能合约的风险[12]，包含如下：其一、人类社会具备高度复杂

性而无法由区块链所完全模拟，在编写智能合约代码的表述能力不足情况下，许多规则恐怕无法被量化为代码。其二、人的重要性在编写智能合约阶段被极大地突出，智能合约编写、测试与审计都高度依赖人力完成，而人终究会疏忽出错，故无法保证代码的完全正确和安全。以上问题，仍有待后续研究加以克服。

(2) 规则需求

从“规则需求”而言，元宇宙经济的法治规则范围究竟包含哪些？笔者认为，元宇宙经济的法治保障乃区块链框架下的规范体系，聚焦在算法与区块链等运作而成规则、协议或标准等，对基于 UGC 的创作内容、虚拟资产、虚拟货币与交易市场等进行规范，包含但不限于[13]-[18]：数字身份保护、创作产品的知识产权保护、隐私权保护、虚拟资产保护、虚拟资产继承、虚拟货币监管（系统性金融风险）、跨宇宙数字贸易摩擦、税收、算力效率导致能源和碳排放问题，以及衍生出的各项违法行为防范，例如经济诈骗、资本投机、平台垄断、暴力行为、赌博行为、洗钱行为等。举例而言，数字身份作为元宇宙经济体系中的最基本元素之一，用户的数字身份与相关数据牵涉用户所有者的隐私，而隐私数据作为支撑元宇宙经济持续运转的底层资源，如何妥当地收集、储存与管理？如何合理授权和合规应用？如何避免被盗取或滥用或追责？如何避免基于盗用身份与相关数据的新型犯罪形式？尚待探讨。又例如元宇宙经济体系中的“虚拟产品”，其多主体协力创作与跨越虚实世界的改编，容易引发知识产权纠纷；详言之，即便元宇宙使用区块链技术便利于创作产品的认证、确权与追责，但元宇宙中所有用户皆是创作者，衍生出大量的多人协力创作产品，而协力创作关系存在一定的随机性和不稳定性，导致著作权人的确定具有复杂性，此时应如何确权？也有待进一步探讨。

18.2.2 虚实世界联动下的法治

元宇宙经济与物理世界发生联动的情形，并非特例。详言之，虽然元宇宙中经济体系与物理世界的经济体系不同，但如前面所述，元宇宙是虚拟世界与物理世界具有多重交织，二者不处于完全脱钩状态，甚至元宇宙和物理世界的经济在一定程度上会产生联动。举例而言，在元宇宙经济体系中可通过虚拟货币兑现法币而实现和物理世界经济的联动，当元宇宙的虚拟货币兑换法币出现巨幅价值波

动时，元宇宙的经济风险将传导至物理世界。又例如，元宇宙中创造的虚拟产品可能改编自物理世界中的真实人、事、物，此种跨越虚实世界所引发关于肖像权或著作权的侵权疑虑，也是虚实世界产生联动的事例。

在虚实世界联动频生情形下，完全去中心化的元宇宙经济法治体系并不妥当，仍需要中心化组织（例如国家）参与其中。笔者认为，在元宇宙经济与物理世界会产生联动的情形下，一味追求理想概念中高自由度、高开放度、高包容度的元宇宙经济法治体系，显然是不符合实际的；所称的自由、开放或包容，并非意味着经济体系中的行为不受拘束，也并非边界的无限泛化，而是应该在去中心化的框架中建立其行为边界的共识，且共识的形成需要中心化组织（例如国家）的积极参与，从多视角去进行探索，方为妥当。换言之，元宇宙世界和物理世界相同，都需要建构好相适应的社会规则、文化体系、经济体系、货币系统与法规范约束，其所涉及的边界划定都应有中心化组织的参与和监管，故在虚实世界联动频生的视角下，元宇宙法治的“完全”去中心化在一定程度上属于一个不符合实际的设想。

18.3 虚拟资产的法治议题

私有财产权向来是物理世界市场经济与法律活动的核心；同样的，虚拟资产作为元宇宙经济市场得以运转的最重要的条件，其法治保障体系之建构亦应受到重视。详言之，元宇宙经济的需求端，表现在元宇宙用户对于沉浸式体验与精神层面的需求，各种需求只能透过元宇宙经济供给端——各类型创作者的创意所形塑成的“虚拟产品”才能满足；创作者创造的“虚拟产品”须经赋予权利保护后，才能成为隐含产权属性的“虚拟资产”，也因此能为虚拟产品的创作提供强大的动力，方能满足元宇宙用户的多元需求，而元宇宙经济体系得以扩容与活络。在此情形下，围绕着虚拟资产及其权利所产生的纷争，也必然是元宇宙经济体系中最基本的冲突，故与物理世界的财产权冲突一样，虚拟资产的法治保障也应予以重视。

18.3.1 虚拟产品的资产化

虚拟产品乃基于数据所构建而成的产品，而相关数据可借由技术加以复制，且其重制成本极低，有心人士对于虚拟产品可以无限制的复制，导致虚拟产品欠

缺“物的稀缺性”；然而，“非同质化代币”（Non-Fungible Tokens，NFT）的出现，阻止了同一虚拟作品的多次销售[19]，可以实现虚拟产品的唯一性与资产化，从而实现虚拟产品的资产化。详言之，NFT 是一种基于区块链技术的数字化凭证，乃储存在数字账本中由软件生成而记录在智能合约的一种数据单元（data unit），透过哈希函数（hash）直接对应特定区块链和其中的智能合约，具有不可复制、不可篡改、全程可追溯的物理特征，可作为对特定虚拟产品来源的识别工具。换言之，NFT 可以把数据内容进行链上映射，直接对应上特定的虚拟产品，亦即虚拟产品的数据内容透过 NFT 就能成为具有资产性的“实体”，具备不可复制性、不可分割性而与物理世界中各类资产相同，基于其唯一性而产生了交换价值和交易价值，从而体现数据内容的资产价值。

由前述说明可知，NFT 不但可以帮助虚拟产品的资产化、维护创作者的权益，还能借由虚拟资产的不可复制性而避免元宇宙经济体系的通货膨胀。

18.3.2 虚拟资产的物权属性

我国近年来对于虚拟资产的保护已经逐步重视，例如 2020 年 7 月出台的《最高人民法院国家发展和改革委员会关于为新时代加快完善社会主义市场经济体制提供司法服务和保障的意见》即提到：“加强对数字货币、网络虚拟财产、数据等新型权益的保护，充分发挥司法裁判对产权保护的价值引领作用。”[20]在元宇宙经济中虚拟资产的法治保障究竟如何落实？笔者认为，首先应讨论虚拟产品所拥有的财产权属性为何？此一议题在以往或许难以认定，但在 NFT 大量运用后就不再难以界定。

（1）争议频生

从客观地观察，虚拟产品以数字化形式显现，具有可复制性与可低成本重现性，且无法借由物理占有而宣示其所有权，故缺乏“物的稀缺性”且具备“无形性”的本质，显然无法符合物理世界中的财产概念，导致虚拟产品的财产权属性在以往产生诸多争议，但在《民法总则》出台后已经获得了普遍肯定的共识。详言之，有关虚拟产品的纷争在我国法院案件中屡见不鲜，从早年法院判决可知，不是所有的法院都认为虚拟产品可以具备财产属性，理由是当时我国并无针对虚拟财产的立法保护。然而，原《民法总则》第一百二十七条（现为《民法典》第

一百二十七条）出台后就扫除了这样子的疑虑[21]，立法明文承认网络虚拟产品的财产属性；但网络虚拟财产的产权内容究竟如何界定？学理上却有争议[22]-[24]，向来有债权说、物权说、知识产权说、新型财产权说等观点，且各据其理，没有定论。兹说明相关学说内容如下：一、债权说：基于用户与网络运营商之间协议所形成的债权债务关系的外在形式，主张网络虚拟财产权是一种债权，虚拟财产权法律关系是债权法律关系；虚拟财产名为“财产”，实为“服务”，“网络虚拟财产”是用户享有的债权凭证。二、物权说：基于网络用户对虚拟财产的排他支配和虚拟财产本身的交换价值，将虚拟财产认定为“物”，虚拟财产权是一种物权，其应当适用现有法律对物权的有关规定。三、知识产权说：该主张突破物权与债权的两分法局限，认为网络虚拟财产权是智力成果，该种观点又可分为两类，一种认为虚拟财产是属于网络用户的智力成果；另一种认为网络虚拟财产是网络运营商的智力成果，网络用户通过支付对价仅获得其使用权，而非所有权，这一观点与之前的基于债权所享有的服务的认识具有相似性，只不过其成立要件更为严格。四、新型财产权说：该说认为网络虚拟财产权具有物债融合的多重属性，同时也包含了传统财产所不具有的特性，应当被认定为一种新型财产。用户对网络虚拟财产具有一定的独占性和排他性，因而具有物的特征；网络虚拟财产又是网络运营商作为或不作为的内容，因此又具有债的属性；用户和（或）网络运营商在创生虚拟财产过程中付出了智力劳动，因此虚拟财产又具有智力成果属性；某些网络虚拟财产，譬如原始数据、比特币，本身既不能视作物，又不是债，更不是智力成果，就使得虚拟财产具有不同于传统财产的特性。将前述几方面综合在一起来看，将网络虚拟财产视作新型财产更为合适，基于此，网络虚拟财产权应视作新型财产权。

（2）物权属性

虚拟资产的产权属性争议，在 NFT 广泛运用后将能得到解决，亦即 NFT 使得虚拟产品脱离可复制性而具有稀缺性、唯一性与可交易性，赋予虚拟产品新的属性而拥有“物权”特征，其持有者能够享有与民法上“所有权”可类比的权利与利益。详言之，NFT 可以成为对任何电子数据予以保全和识别的工具，任何虚拟产品都可被标记上 NFT，成为具有唯一性的“区块”而被永久保存和验证；在此

情形下，虚拟产品的权属与数量等信息得记录在区块链系统中，持有人可以对其进行排他性支配,已经符合了物权特征，故应参照物权保护路径进行保护；从 NFT 持有人所享有的权利内容而论，包括排他性占有、访问、控制、使用、收益与处分等，在性质上更为接近物权体系中的“所有权”[19]。

综上所述，虚拟资产法治体系的首要重点乃其权利属性，虚拟产品透过 NFT 显现出唯一性而形成资产化后，在性质上提升成为虚拟资产，其持有人即可以享有“物权”中关于所有权的法治保护。

18.3.3 关于虚拟资产法治的意见

在明确化虚拟资产的权物权属性后，将来在建构元宇宙经济中虚拟资产的法治体系时，笔者认为以下几个议题应予以重视，兹说明如下：

（1）跨界流通机制

由于元宇宙乃人为创造的虚拟世界，可以同时叠加存在多数个不同世界，故元宇宙经济法治体系应明文确保虚拟资产在不同世界中的“跨界流通”机制。详言之，传统的虚拟产品由中心化的平台或企业所开发，相关数据掌握在运营机构的数据库内，虚拟产品如欲实现跨平台流通将面临多方数据互信，其成本较高且难以实现。相较而言，元宇宙经济体系是以“区块链”为基石，凭借区块链技术即可能促进虚拟资产的“跨界流通”机制，例如元宇宙中各个不同世界同时采用区块链平台进行资产的清结算，而元宇宙用户的虚拟资产权利内容借由 NFT 加以记录，并在区块链网络中以点对点的方式进行交易，如此即可实现元宇宙经济体系中跨世界的虚拟资产交易，不但减少了信任风险，也能提高清算效率。回归到目前现况，元宇宙属于一个发展中的概念，各企业开发各自专属的元宇宙世界，彼此间并没有统一的规则或清算机制，虚拟资产脱离自己所属的元宇宙平台后将得不到其他元宇宙世界的认可，此情形不利于元宇宙用户权益的保障。笔者认为，只有在法治层面确保虚拟资产能在元宇宙不同世界中合法传递与获得权利保障，才能确保元宇宙经济体系的有效运行；为此，虚拟资产法治体系必须能体现出虚拟资产的“跨界流通”机制，如此方能作为建构“去中心化”的虚拟资产交易市场之基石。

（2）智能合约疑虑

元宇宙中虚拟资产的交易以智能合约为基础，笔者认为虚拟资产法治体系应明文要求智能合约加入“自救机制”，借此处理智能合约“毁约权丧失”与“消费者权益保护不足”的问题。详言之，交易虚拟资产的智能合约可能面临以下难题[12]：其一，基于智能合约的本质，双方意思表示编写为代码后，将在触发执行条件时由软件自行决策并自动执行，且具有去中心化与不可篡改特点而可解决元宇宙陌生用户间交易的信用缺失问题，故智能合约可以实现元宇宙中虚拟资产的安全高效交易；然而，智能合约自动执行模式使得虚拟资产交易无法反悔，与现有的合同当事人所享有的“毁约权”相矛盾，亦即抵触《民法典》第四百八十五条规定对于合同的承诺可以撤回、第五百四十三条当事人协商一致时可以变更合同等规定。其二，我们可以预想到虚拟资产交易是“格式化”的智能合约形式，尤其是企业用户与一般消费者用户之间所缔结的合约，恐怕会受到企业用户错误行为的影响而使得交易弱者的权益受到侵害。笔者认为，智能合约追求陌生用户间的信任，却牺牲了毁约自由、甚至牺牲弱势用户的权益，恐怕无法满足多数元宇宙经济参与者的需求，对智能合约交易模式的推广将形成阻碍。为解决上述难题，笔者认为虚拟资产法治规则中应要求智能合约加入“自救机制”，使得第三方对智能合约进行判断而预防交易风险，例如建立“多重签名机制”，即在智能合约中引入交易双方以外的第三人，由中立与专业的第三方持有第三把密钥，并设计智能合约的执行须得到三分之二密钥的确认，当交易双方中任一方不同意完成交易时，第三把密钥持有人即可基于类似于仲裁员地位进行判断，依据个案事实判断是否继续执行合约。

（3）非法风险治理：

虚拟资产交易恐沦为非法行为的助力，元宇宙中虚拟资产的法治体系应明文规范虚拟资产的监管体制。详言之，基于虚拟资产去中心化、匿名性与无国界等特点，虚拟资产在非法活动中可能被大量运用，例如逃税、洗钱、恐怖融资、勒赎、毒品交易、赌博，或是非法集资、传销、诈骗等非法金融活动等。为反欺诈、反洗钱、反恐怖，以及维护国家货币主权、投资者权益、经济秩序和金融安全，虚拟资产法治体系应从以下几点管理其非法行为风险：其一，现阶段宜明文确认

虚拟资产不具有金融属性，借此免于泛金融化包装与投机炒作，并避免沦为不法分子的洗钱工具；我国人民银行等五部委早在 2013 年发布《关于防范比特币风险的通知》[25]，认定虚拟货币作为货币（证券）在境内交易、自由兑换的违法性，即属于非法风险治理的范例。其二，明文建立虚拟资产的交易监测体系，尤其针对虚拟资产与法定货币兑换环节中，关于交易双方身份的确定、可疑交易的识别和资金流转渠道的追踪等。其三，强化境内外机构的虚拟资产交易信息共享与协查合作，境内外执法部门追逃追赃活动。

18.4 结论

元宇宙的经济体系与区块链密不可分，元宇宙经济的法治保障乃区块链框架下的规范体系，通过个人、社会和国家之间的“公约”所创建的去中心化法治保障体系；且因为元宇宙经济与物理世界频繁地发生联动，法治规则的形成仍需要中心化组织（例如国家）的积极参，方能为元宇宙运转的稳定与安全提供支撑，并据此追求元宇宙衍生文明的可持续性发展。由于元宇宙经济属于刚刚具备雏形阶段，其法治保障体系也应保持弹性发展空间，以最大的包容度接纳新技术驱动下的新市场，甚至将来不排除跳脱出物理世界的传统法治理念，重新建立能够应对元宇宙经济体系的新法治规则。

本章内容由刘成墉起草，由龚才春修改。

参考文献:

[3] 赵国栋、易欢换、徐远重：《元宇宙》，中译出版社，2021 年 8 月。

[4] 肖飒：《元宇宙，核心是对虚拟身份和虚拟财产的承载》，《零壹财经》，2021 年 11 月 25 日，网页：https://www.01caijing.com/blog/336761.htm。

[5] 艾贝学院：《元宇宙语境下数字身份的价值、机遇和挑战》，《中国经济新闻网》，2021 年 12 月 8 日，网页：https://www.cet.com.cn/itpd/itxw/3047727.shtml。

[6] 反洗钱金融行动特别工作组（Financial Action Task Force on Money Laundering，FATF）：《虚拟资产及虚拟资产服务提供商风险指南》（Updated Guidance for a Risk-Based Approach to Virtual Assets and Virtual Asset Service Providers），2021 年 10 月 29 日，网页：https://www.fatf-gafi.org/media/fatf/documents/recommendations/Updated-Guidance-VA-VASP.pdf。

[7] 第一财经官方帐号：《央行去年反洗钱处罚金额超 5 亿元，虚拟资产洗钱治理趋严》，《第一财经》，2021 年 11 月 26 日，网页：https://baijiahao.baidu.com/s?id=1717498771194508186&wfr=spider&for=pc。

[8] 国盛证券：《区块链-元宇宙（六）：元宇宙的运行之“DAO”》，《零壹财经》，2021 年 11 月 26 日，网页：https://www.01caijing.com/article/287236.htm。

[9] 李金龙：《元宇宙和 DAO 有什么关系？》，2021 年 12 月 21 日，网页：https://baijiahao.baidu.com/s?id=1719750487657243678&wfr=spider&for=pc。

[10]宋嘉吉：《DAO，元宇宙世界的基石》，2021 年 11 月 26 日，网页：https://baijiahao.baidu.com/s?id=1717453687862682505&wfr=spider&for=pc。

[11]郭少飞：《“去中心化自治组织”的法律性质探析》，《社会科学》，2020 年第 3 期。

[12]郭少飞：《再论区块链去中心化自治组织的法律性质——兼论作为法人的制度设计》，《苏州大学学报（哲学社会科学版）》，2021 年第 3 期。

[13]汪青松：《区块链作为治理机制的优劣分析与法律挑战》，《社会科学研究》，2019 年第 4 期。

[14]王延川、陈姿含、伊然：《区块链治理原理与场景》，上海人民出版社，2021 年 3 月。

[15]尹丽：《“元宇宙”来了，法律何为》，《法治日报》，2021 年 11 月 14 日，网页：http://www.legalweekly.cn/whlh/2021-11/04/content_8621716.html。

[16]程娟娟、杨荣宽:《元宇宙（Metaverse）的法律调整》，2021 年 11 月 2 日，网页：https://www.kangdalawyers.com/library/1597.html。

[17]张烽:《元宇宙的若干治理和法律问题》，2021 年 12 月 22 日，网页：https://www.8btc.com/article/6717430。

[18]黄春林:《迈向“元宇宙”的六道法律门槛》，2021 年 8 月 16 日，网页：https://www.sohu.com/a/483695688_100138309。

[19]任文岱:《元宇宙备受关注 法律需做好哪些准备》,《民主与法制时报》,2021 年 12 月 2 日，网页：http://www.mzyfz.com/html/2204/2021-12-02/content-1540356.html。

[20]肖飒:《元宇宙经济，现有税收法律体系适用吗？》,《零壹财经》,2021 年 12 月 21 日，网页：https://www.01caijing.com/blog/336807.htm。

[21]司晓:《区块链非同质化通证（NFT）的财产法律问题探析》,《版权理论与实务》，2021 年第 7 期。

[22]最高人民法院:《最高人民法院国家发展和改革委员会关于为新时代加快完善社会主义市场经济体制提供司法服务和保障的意见》,2020 年 7 月 22 日，网页：http://www.court.gov.cn/fabu-xiangqing-242911.html。

[23]《民法典》第一百二十七条对虚拟财产仅有原则性条款:“法律对数据、网络虚拟财产的保护有规定的，依照其规定。” 该条文对网络虚拟财产物权属性的模糊处理，显见网络虚拟财产的制度设计还需要不断深化，仍有很大的讨论与实践空间。

[24]陈兵:《网络虚拟财产的法律属性及保护进路》,《人民论坛》，2020 年第 27 卷第 4 期。

[25]梅夏英:《虚拟财产的范畴界定和民法保护模式》,《华东政法大学学报》,2017 年第 5 期。

[26]龙卫球:《数据新型财产权构建及其体系研究》,《政法论坛》,2017 年第 4 期。

[27]中国人民银行、工业和信息化部、中国银行业监督管理委员会、中国证券监督管理委员会、中国保险监督管理委员会:《关于防范比特币风险的通知》，2013 年 12 月 5 日，网页：http://www.gov.cn/gzdt/2013-12/05/content_2542751.htm。

第 19 章 元宇宙的科技监管

元宇宙的迅速发展,需要国家层面组织跨部门、跨行业完善基础性制度建设,大力发展监管科技。蓬勃发展的元宇宙经济逐步深深地改变全社会的生产生活方式，也推动传统监管方式的转变。在元宇宙发展中监管与自由是高度统一的，监管并不是为了限制元宇宙自由发展而存在,而是应看作满足大多数元宇宙参与者的自由，维持元宇宙的有效性的必要措施。

19.1 科技监管的必要性

元宇宙的迅速发展,需要国家层面组织跨部门、跨行业完善基础性制度建设,大力发展监管科技。蓬勃发展的元宇宙经济逐步深深地改变全社会的生产生活方式，也推动传统监管方式的转变。在元宇宙发展中监管与自由是高度统一的，监管并不是为了限制元宇宙自由发展而存在,而是应看作满足大多数元宇宙参与者的自由，维持元宇宙的有效性的必要措施。

在元宇宙发展过程中，监管科技是极其重要的新兴的技术保障，是元宇宙健康持续运行的关键。如果没有科技监管，就如同传统失效的市场，就不可能实现元宇宙理想中的自由。在元宇宙环境中，科技监管是动态的、可协调的。元宇宙技术发展一日千里，如果靠人工、非实时监管，由于元宇宙运行失灵造成的损失可能早就产生。如在人工智能等技术给监管赋能基础上，形成了完善的监管科技制度并依照执行，问题将随着解决。所以科技监管必须与元宇宙同步运行，只有这样，科技监管规则才能落地实施，将元宇宙发展中可能发展的风险控制在萌芽状态，保障元宇宙发展的平稳运行。

目前元宇宙技术和市场发展迅猛,而科技监管滞后性已经明显制约了元宇宙产业的发展。监管中存在监管盲区、监管缺位、监管失当的问题。监管盲区，即没有对元宇宙发展可能出现的风险点提前知晓和预判，看不到、不知道应该监管哪部分；监管缺位，就是存在问题未进行监管；监管失当，就是缺乏精细的监管手段，在实际中采用“一刀切”全部关闭的情况。

从长远来看，科技监管越有前瞻预见性，越可为元宇宙发展提供更多空间和自由，因此，有必要大力发展科技监管，解决监管体系中的诸多现实问题。

19.2 国际监管现状

美国《创新与竞争法》将“沉浸式技术”列为10个关键技术重点领域之一。2017年成立了虚拟现实、增强现实和混合现实国会核心小组，使其成员能够“教育(他们的)同事和其他人，确保国会尽其所能鼓励——而不是阻碍——这些创业领域。”2019年出台的《虚拟现实技术法案》(VR TECHS Act)提议成立“联邦政府内部现实技术可用性联邦咨询委员会”。然而，AR/VR技术及其应用很少得到更广泛的考虑，如讨论关键的政策问题，包括隐私、安全、在线安全以及未来的教育和工作。有一些关于隐私的独特问题，如AR/VR设备及应用因为物理和虚拟现实存在重叠，但从未完全融合，党团会议联席主席苏珊·德尔贝尼(Suzan DelBene)则担心，如果美国在隐私立法方面不迅速采取行动，其他国家将会填补监管方面的空白。(2021年11月美国元宇宙公共政策研讨会:2021年AR/VR政策会议）整体上国际社会对元宇宙出台科技监管法规不多，存在一定的监管盲区。

19.3 科技监管建议

鉴于目前我国元宇宙多行业迅猛发展，建议在国家层面成立跨部委协调牵头小组，成员单位包括但不限于中国人民银行、广电总局、工信部等多部委，尽快研究元宇宙发展趋势，提前出台规范指导性文件，对超过一定金额的元宇宙虚拟房地产类资产，设定一些监管科技门槛，防止杠杆化、份额化的方式进行买卖和交易，并对元宇宙相关行业及上市公司进行规范化宣传和推介，防止系统性金融风险的发生。

本章内容由卢洪波起草，由龚才春修改。如有侵权，由起草人负责。

参考文献:

第 20 章 元宇宙的数据安全与网络安全

如今互联网已经涉及了大量个人信息和数据，然而元宇宙为了打造一个近似于甚至超脱于现实世界的虚拟世界，需要对用户的身份特质和社会关系等信息及现实社会的相关物理设施等数据进行深度挖掘，因此元宇宙将对个人信息和数据进行海量处理，数据的种类和总量丰富的程度必将会是空前未有的。

20.1 元宇宙下的数据保护问题

由于元宇宙里，每个人的个人信息极其丰富，不仅种类繁多，总量非非常庞大。元宇宙快速发展的路上，如何确保用户个人信息安全和数据保护得到落实是亟待解决的问题。

20.1.1 中国个人信息和数据保护法律框架概览

2021 年是中国数据保护的里程碑年份，作为个人信息和数据保护领域的重要参考依据，《中华人民共和国个人信息保护法》（“《个保法》”）和《中华人民共和国数据安全法》（“《数据安全法》”）正式出台，与《中华人民共和国网络安全法》（“《网络安全法》”）共同构成了中国网络安全和数据保护的三驾马车。与此同时，针对特定行业细分的数据保护法规，如《汽车数据安全管理若干规定（试行）》（“《规定》”）也相继颁布，中央网信办也在抓紧制定与个人信息和数据保护有关的配套规定，如《网络数据安全管理条例（征求意见稿）》（“《条例》”）等。

20.1.2 元宇宙涉及的个人信息类型

关于个人信息的具体规定及分类，散见在不同的法律法规及标准中。《中华人民共和国民法典》中对个人信息的定义是“个人信息是指以电子或者其他方式记录的能够单独或者与其他信息结合识别特定自然人的各种信息，包括自然人的姓名、出生日期、身份证件号码、生物识别信息、住址、电话号码、电子邮箱、健康信息、行踪信息等”[1]。2021 年 11 月 1 日生效的《个保法》第四条规定“个人信息是指以电子或者其他方式记录的与已识别或者可识别的自然人有关的各种信息，不包括匿名化处理后的信息”。在《个保法》 生效前，对行业实

践具有重要参考意义的《信息安全技术 个人信息安全规范》（“《规范》”）规定“以电子或者其他方式记录的能够单独或者与其他信息结合识别特定自然人身份或者反映特定自然人活动情况的各种信息。个人信息包括姓名、出生日期、身份证件号码、个人生物识别信息、住址、通信通讯联系方式、通信记录和内容、账号密码、财产信息、征信信息、行踪轨迹、住宿信息、健康生理信息、交易信息等。”《规范》同时规定了识别个人信息的途径。元宇宙的构建丰富需要以技术手段收集用户在现实世界中的各种个人信息提升用户沉浸感，如个人姓名、性别、职业、职位、工作单位等，甚至是敏感个人信息，如人脸影像数据、个人健康生理信息（血压、心跳等）。此外在元宇宙的虚拟交易中，还可能涉及收集个人的交易和消费记录、流水记录、游戏类兑换码等虚拟财产信息等。

20.1.3 元宇宙涉及的其他敏感数据和重要数据

《个保法》第二十八条规定“敏感个人信息是一旦泄露或者非法使用，容易导致自然人的人格尊严受到侵害或者人身、财产安全受到危害的个人信息，包括生物识别、宗教信仰、特定身份、医疗健康、金融账户、行踪轨迹等信息，以及不满十四周岁未成年人的个人信息。” 《条例》规定“重要数据是指一旦遭到篡改、破坏、泄露或者非法获取、非法利用，可能危害国家安全、公共利益的数据”并列举了重要数据的种类[6]。《规定》也对汽车行业涉及的敏感个人信息和重要数据作出了定义。此外，鉴于元宇宙涉及将现实生活的物理情景重现虚拟世界中，因此将不可避免地涉及对道路、建筑设施等形状、空间位置及其属性等进行测定、采集等处理活动，相关活动将属于《中华人民共和国测绘法》下的测绘活动，测绘活动涉及到的一些地理数据可能具有高度敏感性，需要遵守国家的保密规定。

20.2 元宇宙下的网络安全法律问题

元宇宙融合了区块链、大数据等新兴和传统信息技术，面临的网络安全问题也更加突出。毫无疑问元宇宙需要依托现实社会的基础设施作为基础保障，这可能产生新的关键信息基础设施，这些基础设施一旦受到攻击或发生故障，其所造成的负面影响将难以衡量。元宇宙面临的网络攻击既可能针对元宇宙的最终用户和系统设备，也包括对元宇宙的运营商或服务提供商。用户的信息和运营商的数

据也将面临非法侵入、盗取、泄露等问题，信息安全不容忽视。

20.2.1 中国网络安全法律框架概览

《网络安全法》作为中国网络空间治理安全的基本法，对企业和个人在维护网络安全等方面作出了较为详细的规定。《网络安全法》还规定了关键信息基础设施的运营者的相应义务，如在中国境内运营中收集和产生的个人信息和重要数据应当在境内存储。因业务需要，确需向境外提供的，应当按照国家网信部门会同国务院有关部门制定的办法进行安全评估等要求[4]。2021 年颁布生效的《关键信息基础设施安全保护条例》细化了关键信息基础设施运营者的义务，但是对于关键信息基础设施的识别至今还没有统一的标准，但是鉴于元宇宙所处理的丰富数据及对国家和社会的影响，元宇宙的基础设施极有可能被认定为关键信息基础设施。

此外，互联网涵盖了社交、内容、游戏等多场景，监管部门亦颁布了《网络信息内容生态治理规定》、《互联网信息服务管理规定》、《区块链信息服务管理规定》等针对特定领域的法规作为补充。严重违反网络安全保护义务的，甚至可能触犯刑法（如拒不履行信息网络安全管理义务罪、非法侵入计算机信息系统罪、非法获取计算机信息系统数据、非法控制计算机信息系统罪等），遭受刑事处罚。

20.2.2 元宇宙涉及的特殊网络安全问题

全球科技产业视元宇宙这一前沿业态的开发建设为未来数字产业的制高点，由于元宇宙具有高度的互动性，元宇宙将并不会仅局限于某个国家或地区。目前，世界各国对数据跨境转移的问题都采取了较为严格的监管措施。《个保法》要求个人信息跨境转移需要满足事前评估、由第三方认证或签订标准合同等要求。数字的流动性也要求元宇宙将会是全球化，元宇宙的全球化要求因此必然会不可避免地与各法域间的数据保护法规相冲突，如何兼顾不同法域的数据保护法律推动元宇宙的融合是需要重点思考的法律问题。

本章内容由杨洪泉起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 《中华人民共和国民法典》
[2] 《中华人民共和国个人信息保护法》
[3] 《中华人民共和国数据安全法》
[4] 《中华人民共和国网络安全法》
[5] 《汽车数据安全管理若干规定（试行）》
[6] 《网络数据安全管理条例（征求意见稿）》
[7] 《关键信息基础设施安全保护条例》
[8] 《网络信息内容生态治理规定》
[9] 《互联网信息服务管理规定》
[10]《区块链信息服务管理规定》
[11]《中华人民共和国刑法》
[12]《中华人民共和国测绘法》

第六篇：伦理与风险篇

1994 年互联网刚进入中国的时候，人们除了感觉新鲜、好奇，更有一丝丝担忧：大家都沉浸在网络的虚拟世界里网恋怎么办？虚拟世界里全是骗子怎么办？虚拟的互联网会不会让国人道德败坏？互联网让大家不再见面交流怎么办？

2021 年，元宇宙进入大众视野，除了热捧，人们也有不少担忧，就像当年互联网进入大众视野时的一样。

本篇讲述元宇宙可能会带来哪些伦理问题，可能会有哪些风险？讲述这些伦理问题和风险，不是让读者躲避元宇宙，对元宇宙视而不见，而是让读者提前知晓可能的伦理问题和风险问题，也方便政策制定者防范相应风险。

第 21 章 元宇宙的伦理问题

由于元宇宙被认为是下一代互联网，以及结合元宇宙的 8 个关键特征，元宇宙所面临的伦理风险是传统互联网和元宇宙新特性的风险叠加。元宇宙所面临的伦理风险如下。

21.1 非人性与道德冷漠

与传统社会相比，元宇宙的世界将人转化为数字与符号，这种虚拟的本质使人的一切属性都呈现出数字化的特点，人与人之间从某种意义上讲是一种符号化的交往方式。这种交往方式失去了感性现实社会中人与人之间的温度，而是一种冰冷的数字、符号，从而将人的丑恶的本性暴露出来，导致道德冷漠现象发生[1]。

21.2 开放融合与道德冲突

元宇宙是一个敞开的多元化世界，是一个人人平等的世界，在那里人们可以自由发表任何信息。元宇宙的开放性和沉浸性使人们很容易在元宇宙的世界中进行面对面交流，世界各地和各家各派的学说在元宇宙的世界中自由碰撞，因而使得各种各样的道德观相并存，交互辉映。元宇宙道德的多源性不可避免地导致道德冲突。道德冲突的后果，对于民族国家来说就是经济、文化上强势的国家对劣势国家的价值观念，意识形态的渗透，从而造成元宇宙时代的经济、文化霸权。因为元宇宙中信息的内容反映的是一定国家的文化传统，社会价值观念和社会制度。对于个体来说，多元价值观念也容易使元宇宙主体在伦理评价中的道德相对主义和道德虚无主义思想盛行。

21.3 自由意志与责任淡化

元宇宙社会是自由的社会，给人们的行为提供了极大的自由度，人们摆脱了现实社会法律、规章制度的约束，进入到一个匿名的陌生新天地，因此，“现实社会中的道德，法律规范在元宇宙中没有用了”等等成为了人们在元宇宙中各种行为的借口。人们仿佛觉得自己的精神世界彻底到了解放，获得了真正的“自由”。在这种超脱现实的情感和欲望的冲动下，人们遗忘了自己的社会角色、社会地位

和社会责任，因此，人们在元宇宙中的行为难免会出现与道德违背，甚至触犯法律的行为。元宇宙社会为人们提供了极大的自由度，远远超出了人们社会责任的范围、这是一个不争的现实，而由此引起的道德失范问题也必会愈来愈多，愈演愈烈。这种不良的状况不仅破坏元宇宙秩序、而且会波及到社会的正常运转。

21.4 加剧宅文化

特定群体沉浸于元宇宙的虚拟社会生活而逃避真实世界的社会生活，可能出现的情况包括:“宅男”现象会更加严重，贫困人群等弱势群体以虚拟现实中的体验（如虚拟游戏、虚拟旅游）替代真实世界中的感受，但这些行为并不能从根源上克服这些社会问题。

虚拟现实在感官控制和意识控制上的滥用。虚拟现实技术比文字、影视等更易于影响和塑造人的主观意识和对事物的认知，具有较强的洗脑效果，出于传销、虚假宣传等不良目的的“虚拟现实洗脑”技术具有极大的危害性[2]。

21.5 元宇宙的道德构建

元宇宙会深刻影响未来社会人与人之间的关系，元宇宙这个虚拟社会也应成为一片道德的净土。

21.5.1 科技理性与价值理性的良性互动

在元宇宙虚拟社会道德伦理的理论层面，要正确认识科技理性与价值理性良性互动关系。

从哲学层面上讲，以科学技术为效用特征的科技理性在人类历史上创造了巨大的物质文明，它具有建构世界的作用；而以伦理道德特征的价值理性对于现实世界有批判作用。人类社会就是在科技理性的建设性与价值理性的批判性的两极张力中摇摆前进的。科学技术是一把双刃剑，元宇宙在促进人类社会前进的同进，也自觉不自觉地给人类添加了负值效应。然而，作为科学技术产物的元宇宙是一个事实领域的东西，它在价值领域并不做“该不该”的判断。也就是说，元宇宙是一种强大的工具和力量，对它进行善的还是恶的使用，完全取决于人的伦理道德价值取向。

今天，在科技理性取得话语霸权的情况下，人们把技术、工具价值推崇到了

无以复加的地步，由此导致了价值理性和人文道德精神的失落。科学技术的进步，在本质上是一种革命力量。科技负作用的产生在于科学技术的滥用和误用，在于人类价值观念的偏颇。元宇宙技术依旧处在探索与发展的过程中，必须借助人类特有的伦理智慧和道德精神的指引，才能防止人们在研究与运用中的急功近利，把技术的“不确定性”对社会可能造成的危害降低到最低限度。

21.5.2 元宇宙新道德的生成机制

元宇宙伦理规范的生成机制只能是立足于现实社会的传统道德，从中可以吸取一些体现元宇宙气质的新的道德观念。因为从“元宇宙伦理”本身来说，它实际上是一个虚拟命题，这并不意味着一种新的伦理道德的出现。但是，元宇宙伦理概念的出现，意味着在传统社会中形成的道德及其运行机制在元宇宙社会中的适用是有差异的，即元宇宙道德是由于电子空间的出现而产生的要求，它与根植于物理空间的既有道德有所不同，但决不能片面强调元宇宙道德与既有道德的差别而认为在电子空间中要形成一个与既有道德完全不同的道德体系，从而认为元宇宙道德的建设要从头做起。

实际上，传统道德是在人们长期的社会实践中形成的，它的一般原理和基本的运行机制反映了人们社会活动的一般规律，对规范人们的行为是有效的。人的社会行为应该有统一性的，社会的发展也应该具有连续性，因此决不能在社会中形成分立的既有道德和元宇宙道德。应该立足于发展既有道德，利用既有的道德的一般原则培养元宇宙道德的生成、运行机制和元宇宙道德规范体系，通过协调既有道德与元宇宙道德之间的关系，使之整体发展成为信息社会更高水平的道德。另外，伦理道德具有社会历史性，元宇宙道德不可能与传统道德彻底决裂，需要对传统道德资源做合理扬弃，元宇宙道德在一定程度上体现着与传统道德有历史的，内在的逻辑联系，体现着现代与传统的和谐统一。 因此，在元宇宙伦理建设中，人们应该吸收古今中外伦理思想资源中体现人类共同伦理道德精神和运行机制的优秀成果，成为元宇宙道德可资借鉴的东西。

关于这一方面的工作，西方社会已经做了非常有益的尝试，并且取得了较为显著的成果。例如美国计算机伦理协会制定的十条戒律：

1) 你不应当用计算机去伤害别人；

2) 你不应干扰别人的计算机工作；

3) 你不应窥探别人的文件；

4) 你不应用计算机进行偷窃；

5) 你不应用计算机作伪证；

6) 你不应使用或拷贝你没有付钱的软件；

7) 你不应未经许可而使用别人的计算机资源；

8) 你不应盗用别人的智力成果；

9) 你应该考虑你所编的程序的社会后果；

10) 你应该以深思熟虑和慎重的方式来使用计算机。

从内容上折射出的是传统社会的伦理精神：即伤害他人是不对的；影响他人工作是不对的；偷窃他人财物是不对的等等。

再如美国南加利福尼亚大学网络声明指出了六种不道德行为类型：

1) 有意地造成网络交通混乱或擅自闯入网络及其相连的系统；

2) 商业性地或欺骗性地利用大学计算机资源；

3) 偷窃资料、设备或智力成果；

4) 未经许可而接近他人的文件；

5) 在公共用户场合做出引起混乱或造成破坏的行动；

6) 伪造电子邮件信息。

其实质上反映的是传统的不道德行为：即不做有损于社会和人类的行为；不要伤害他人；不要欺骗他人等等。

再如在阿西莫夫的机器人三定律的启示下，德国汉堡大学的人机交互研究组的斯坦因尼克(Frank Steinicke)为其实验室建立了虚拟现实实验运用的三个简单规则：

1) 人(包括动物)一定不能因为虚拟现实技术的运用受到严重伤害；

2) 虚拟化身一定不能受到严重伤害，除非有悖规则 1；

3) 沉浸一定不能对使用者隐瞒。

其中，规则 1 是不言而喻的，但具体的实施要建立在对相关伤害的事实调研和原因分析的基础之上；规则 2 的合理性基于个人沉浸于虚拟现实中的行为对其身心和行为倾向的影响，包括虚拟身体的拥有感、多重虚拟身份的认同等；规则 3 实际上是从一般的研究伦理中的知情同意权衍生出的，即受试者或参与者必须

知道自己是否沉浸于虚拟现实，并且可以随时根据自己的意愿决定是否退出沉浸。毋庸置疑，这三个规则为虚拟现实技术划定了伦理底线，可以视为基本伦理原则。

21.5.3 关注现实社会中人性的全面发展

其三，关注现实社会中人性的全面发展，是实现元宇宙道德他律与自律、社会调控与个体自觉相统一的根本。

如何实现元宇宙道德规范的有效运行，实现元宇宙道德他律与自律，社会调控与个体的努力自觉，这是元宇宙道德规范运行的目标所在。元宇宙伦理问题出现的根本原因在于人自身，心病还需心药治。道德问题归根到底是一种与人性有关的社会问题。因为伦理只能是社会的伦理，道德只能是人的道德。

人性是人类作为一种特殊生命存在区别于其他生命存在的类本性。在一种类存在的意义上，我们可以说，人类的人性即是其文化特性。因为只有人能够创造承诺和发展自身特有的文化，包括人类自身的文明化和人类生活世界的文明化。元宇宙作为人的一种新的生存方式，一种文化方式，反映的是人类生活的文明化程度从工业社会向后工业社会、向信息社会以及数字化社会发展的必然。它的价值不仅仅体现在技术和经济层面，而且体现在文化层面。它不仅蕴涵着丰富的人文精神，而且为人们长期追求的一些价值理想提供了前所未有的现实平台。

然而，人类进步过程中的文明的正值效应和负值效应总是相伴而生的，这也正是人之为人所固有的矛盾所在。作为科技产物的元宇宙，从生产力的技术构成因素来看，它是人超越自然界必然的一种文化表征。换句话说，它是人类对自我个性人格的超越需要，因而它呈现出更多的自由性的特点与趋势。然而，由于元宇宙社会的数字化、符号化的本质，当现实社会中人们感到苦悲与无助时，进入到元宇宙世界，人们仿佛觉得自己的身心获得了极大的自由，随心所欲的发表言论。其实，这是一种对自由理念的误解。自由并不是一种随心所欲的释放，不是视而不见。真正的自由是对必然的认识和超越，是人们对其参与制定的规则的努力自觉的遵守。

因此，实现元宇宙社会中社会调控与个体自觉、他律与自律的统一的一个最具有操作性的思路是:在现实社会的生活中，在制度安排上尽可能让更多的人参与制定各种社会规则，提供一个培育良好的规则意识和健全人格的社会环境，对于减低人们在元宇宙社会中放纵自己，滥用自由的可能性确有帮助。当人们在现

实社会中有更多的自由和自我发展的机会时，也就是当人们对自由即自律有恰当的理解并对人的自我发展及其条件有更深刻的认识时，人们就会对既定的元宇宙道德规范达成共识并逐渐将其由外在规范内化为自己内心深处的道德准则，进而形成元宇宙道德社会层面和个体行为的良性互动机制[1]。

本章内容由李洋、蒙胜军起草，由龚才春修改。

参考文献：

[1] 冯昊青，网络虚拟社会道德构建的理论探讨，2006.

[2] 段伟文，虚拟现实技术的社会伦理问题与应对，2018.

第 22 章 元宇宙的可能风险

我没看懂元宇宙，至少现在没有看懂，我并不认为 Web3 是真实的，相比实际，这更像一些市场营销用的废话。

——埃隆马斯克

22.1 资本操纵与媒体操纵的风险

铺天盖地的媒体报导，曾炒红了人工智能、大数据、区块链等概念，今天又炒红了元宇宙概念。元宇宙相关股价的非理性飙升，也不排除有资本炒作的影子。

22.1.1 资本操纵

2021 年以来，元宇宙已逐渐成为投资者们“哄抢”的目标之一，似乎沾上元宇宙概念，股价就能飙升，短短一个月实现翻倍的概念股比比皆是，部分标的的估值或已远远偏离合理水平，如此异常的波动也引发了监管层的极大关注，中青宝、盛天网络、大富科技、易尚展示等多家公司收到沪深交易所下发的关注函或问询函。

如此强劲的资金热捧背后，是科技发展带来改造世界的无限可能支撑，还是强大的资金财团带来的资本拉升，吸引韭菜入场的序曲？

当局者迷，我们先切换到完整的产业投资视角，在投资新产业或不熟悉领域时，经常会参考行业生命周期理论。从行业出现到退出，通常会经历四个发展阶段：幼稚期、成长期、成熟期、衰退期。幼稚期的产品行业利润率较低或为负，市场增长率高、需求增长快、技术变动大、产品不确定性较强，此时行业壁垒较低；成长期市场增长率极高、需求增长率极高、技术趋于稳定、产品品种较多，行业利润处于逐渐攀升趋势，壁垒逐渐提高；成熟期的市场、需求增长率双双下滑，竞争更激烈，而技术日渐成熟，产品趋于稳定；随着行业产品过剩，增长率严重下降，行业活性也随市场萎缩而下降，行业逐渐的开始衰退，甚至衰亡。

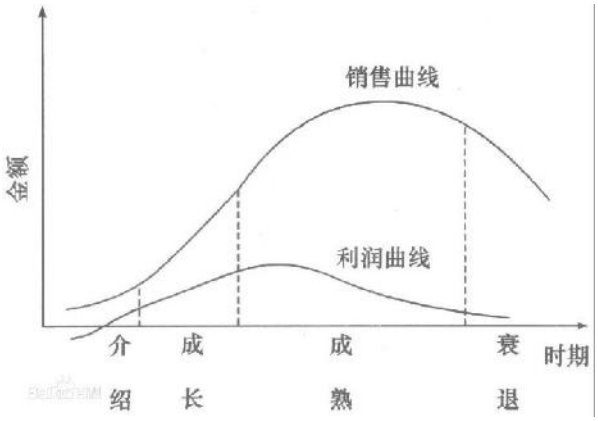


图 22-1：销售与利润曲线

元宇宙，作为“2021 年度热词”“2021 年度十大网络用语”“2021 年度流行用语”等，其行业还处于幼稚期。但元宇宙概念是科技发展的必然趋势，毕竟现实世界越来越难以改造，元宇宙承载着无限的可能，对虚拟世界的无限想象，能实现快速的世界经济打造而不受生产力束缚。

在原生行业的成熟、衰退期不断寻找新兴行业，快速开拓领域、加大投资，集中资源迅速做大，进而占据头部市场，是资本保持活性和企业经久不衰的不二法门，或许扎克伯格、微软、字节跳动、腾讯等头部公司已开始争夺未来市场的话语权而纷纷入坑。

提升到行业全周期的战略格局，当下热炒的“哄抢 Decentraland 和 Sandbox 虚拟土地拍卖”“加州大学伯克利分销虚拟世界毕业典礼”“虚拟世界演唱会”等等资本现象，就更像是资本为了推动行业概念成长所做的阶段性变现战术。对于普通人来说，持续关注，谨慎投资，做时间的朋友，不妨“让子弹飞一会”，切莫轻易交付身家。

22.1.2 媒体操纵

当一个新事物出现的时候，铺天盖地的媒体报导，对新事物的传播起到了积极的作用。另一方面，由于媒体人一般并不是新事物的创造者和践行者，媒体人对新事物的理解并一定特别准确。加上个别媒体为了吸引眼球，会故意夸大新事物的优点，或故意放大新事物的缺点，使得媒体报导偏离了新事物本身发展规律。特别是当媒体被某些利益团体所操控，新事物很容易出现被媒体操纵的风险。

现在可能每一个人都听到过元宇宙这个概念，这其实就是媒体运作的结果。

现在这个阶段是不是真的有必要要求每一个人必须要掌握元宇宙的相关技术呢？不需要。就像 2016 年的时候，人工智能在中国非常火，AlphaGo 战胜人类了。在中国人工智能非常的火，所以这些媒体就会炒作，未来的人类的很多工作岗位都会被人工智能替代。所以搞的所有人都忧心忡忡的，不知道该怎么办。所以我记得当时马斯克回答是：现在我们就担心人工智能会取代我们的岗位，会导致大量的人失业，就有一点类似于我们刚刚知道了什么叫牛顿万有引力定律，我们就担心火星上人口会爆炸一样可笑。

大家担忧的太早了，大家想的太远了。媒体有时候在报道元宇宙的时候，因为他不知道这个技术的现有水平，也不了解技术的发展趋势，也不知道哪些是可以实现的，哪些是很难实现的，哪些是有可能实现不了的。媒体的宣传就很可能掺杂个人的主观色彩。让人对新技术过于担忧，过度宣扬新技术带来的社会问题，或过度宣扬新技术的优势而让人们期望太高，这些都会对新技术的发展不利。媒体操纵是很多好技术最终失败的原因。我觉得未来的元宇宙可能会有被媒体操纵的风险。

22.2 舆论泡沫风险

我们先看两组数据：元宇宙百度搜索指数和谷歌搜索指数。

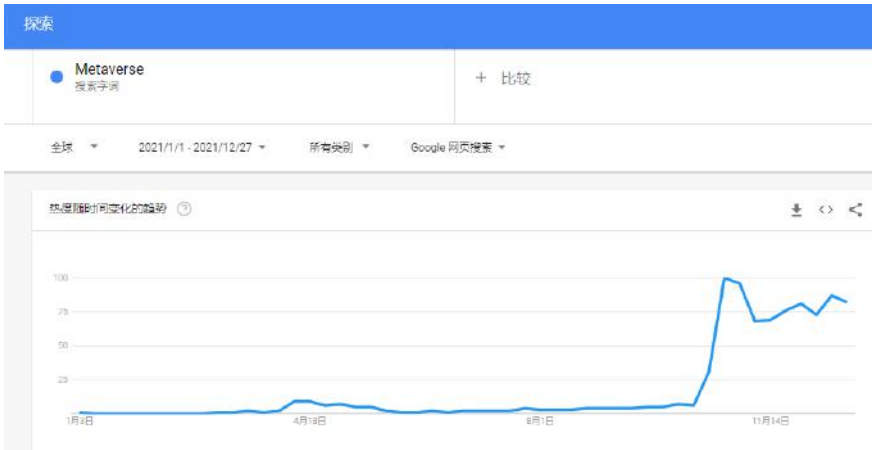


图 21-1：元宇宙百度搜索指数和谷歌搜索指数

有意思的是，截止 2021 年 6 月前，元宇宙百度搜索指数月均为 0，谷歌搜索指数月均<1，而 9 月百度搜索指数出现异常波动，11 月国内、国际指数剧烈攀升，短期内从无人问津一度飞跃为十几万的百度热搜指数，远不同于其它行业较为稳定性的搜索趋势（多数月均几千）。

值得注意的是，字节跳动在 8 月 29 日宣布收购 VR 公司 Pico，Facebook 在 10 月 28 日召开 Connect 大会宣布将公司名字更名为“Meta”，正式将元宇宙作为公司未来重心。涉及元宇宙的相关概念和指数由此被引爆，资本市场掀起了追捧热潮，11 月份以来，超过 30 只概念股涨幅超 30%，资金与舆论双重强烈追捧，使部分标的估值或已偏离合理水平。

行情报价 增仓排名 资金流向 DDE决策 盈利预测 财务数据 综合排名 多股同列 设置指标 导出

序号	代码	名称	振幅%	量比	市盈率(TTM)	市盈率(LYR)	市净率	流通市值	总市值	所属行业	60日涨幅%	年初至今涨幅%
1	300987	川网传媒	8.81	0.86	86.11	63.89	6.83	11.53亿	51.21亿	互联网服务	15.84	465.54
2	301011	华立科技	10.24	0.98	73.27	83.82	7.15	11.58亿	51.47亿	文娱用品	12.42	317.61
3	300052	中青宝	5.90	0.71	-67.00	-61.32	11.60	82.18亿	82.43亿	互联网服务	95.65	239.74
4	300264	佳创视讯	6.90	0.68	-61.84	-90.00	20.69	35.98亿	44.04亿	计算机软件	97.77	176.88
5	002655	共达电声	6.16	0.53	81.58	143.18	10.74	65.75亿	65.77亿	电子设备制造	83.43	152.00
6	002036	联创电子	5.63	0.57	175.89	150.77	6.44	247亿	251亿	光电子器件	43.16	129.10
7	300081	恒信东方	5.68	0.54	-25.04	-18.30	3.99	66.34亿	108亿	影视动漫	99.55	95.59
8	300364	中文在线	11.56	0.79	181.32	222.25	7.15	94.53亿	109亿	平面媒体	172.81	93.90
9	300612	宣亚国际	23.81	1.12	-174.34	-207.37	21.50	58.57亿	58.57亿	营销服务	176.09	89.94
10	300079	数码视讯	10.98	1.13	110.27	163.70	3.16	111亿	126亿	通信设备	4.64	88.22

图 21-2：涉及元宇宙的相关概念和指数

从产业发展进度来看，元宇宙的终极形态是一系列“连点成线”的技术创新总和，通过持续提升算力、高速无线的通信网络、云计算、区块链、虚拟引擎、VR/AR/MR、数字孪生、机器人仿生设备等等多项技术创新逐渐融合，人机交互会无限接近甚至超越人与人的交互体验，进而实现数字科技与人类文明的结合。而这一系列功能目前还是畅想阶段，目前已有很多优秀企业正在探索相关技术和商业模式，Roblox、Axie Infinity 等公司也都探索实现了游戏生产者和消费者的经济闭环，在实现元宇宙愿景形态的过程中，还会有更多层次不穷的商业化探索和尝试，现阶段由于技术发展的约束，元宇宙的雏形产品还存在很大争议，商业模式也存在较强的不确定性，短期的过度热捧更像是资本操作下的阶段性收割泡沫。

22.3 被现实垄断操纵的风险

元宇宙的去中心化和现实世界的垄断会存在矛盾。在我们现实生活中很多公司都是垄断的。举个例子，电商这块阿里基本上有垄断的地位，社交这块腾讯有垄断的地位，直播这一块，抖音基本是一个垄断的地位。有垄断的话，他们就会有一些中央的、集中的一套规则制定下来。举个例子，你如果在抖音上播了一些不合时宜的视频，或者反党、反政府、反社会主义的内容，那个抖音是可以直接把你的账号关闭。那么在虚拟社会应该怎么办？元宇宙里面没有中心化、垄断的机构，没有统一的规则体系，怎么避免不合时宜的内容？

去中心化与现实的垄断之间还有一个矛盾。大家知道的，前一段时间，特斯拉的老板，钢铁侠马斯克操纵了比特币。首先他就宣称他购买了 15 亿美元的比特币，接着他又宣称大家可以用比特币来购买特斯拉的汽车。这两个新闻一下子

导致比特币的价格涨了好几倍。然后马斯克偷偷的抛售比特币。抛售完后，他宣布比特币不能够购买特斯拉的汽车了，于是比特币价格大降。马斯克大赚一笔。比特币虽然是去中心化的，但马斯克利用他的垄断地位，获取了去中心化里面的利益。

所以元宇宙虽然是去中心化的，但是现实社会是垄断的。在这种情况下，现实的这些实体可以利用它在现实的垄断地位去操控一个去中心化的世界。这是有可能的，这也是一个风险。

22.4 元宇宙经济运行风险

第五个风险就是元宇宙的经济运行风险。我们现实的经济运行有中央政府做宏观的调控，可以做很多的监管和监测。在元宇宙里边没有中央政府，我们应该怎么办？这既是一个技术问题，同时也是一个规则制定问题。

在元宇宙之前，尽管虚拟经济取得了长足发展，但基本都是相对碎片化、去中心化和完全依附现实世界的。直到元宇宙的理念诞生，现实世界平行，也无限逼近现实世界，同时保持了一定的独立性，虚拟经济才有了一个相对可行的落地路径。人们通过沉浸式的空间体验，通过虚拟身份进行生活、学习、工作、娱乐，甚至繁衍生息，使得劳动创作、生产、交易等经济活动与现实生活中没有任何区别。

美国银行公布的报告说，“元宇宙将有无数个虚拟世界互相联结而组成，和我们的现实世界也紧密联结。”

“元宇宙将成为稳固的经济模式，涵盖工作和娱乐休闲，发展已久的各种产业和市场，例如金融银行业、零售、教育、卫生，甚至是成人娱乐等领域，都将出现变化。”

但是，蓬勃发展的背后也伴随着暗流涌动的经济风险。

一是短期阶段，局部过热显现表现突出。今年以来，元宇宙相关概念相关的产业出现吹捧过热现象，短期内已出现巨大波动，部分公司已经远远偏离估值水平，而很多技术和科技还需要一定时间的探索和沉淀，这个过程或将成为资本的阶段性金融收割工具；

二是资产上链与流转存在极大的监管风险。元宇宙在资产维度不断深化发展

主要有两条路径：一是既有资产上链，主要表现为货币、股权、债券、票据、黄金等资产上链流转。这种模式的资产上链受各国监管部门的影响较大。二是数字化原生资产上链。这种模式现阶段的一个比较主流的路径是非同质化通证（Non-Fungible Token，NFT）的发展。NFT 的重要特征在于，每一个 NFT 拥有独特且唯一的标识，两两不可互换，最小单位是“一”且不可分割，因而非常适合对具有排他性和不可分割性的权益和资产进行标记，并可以实现自由交易和转让。在技术维度，NFT 的通证协议标准主要是基于 ERC721，而一般的同质化通证（Fungible Token）的协议标准是基于 ERC20。这种特征让 NTF 打破了传统经济范式下对产权、版权、规制等的门槛限制，在一定程度上规避了互联网巨头的垄断，使得元宇宙中的任何权利轻松实现金融化，但同样的，一定程度上存在极大的监管风险，中国互联网金融协会、中国银行业协会、中国支付清算协会在 5 月份联合发布关于防范虚拟货币交易炒作风险的公告，同样 NTF 也存在极大的炒作风险，不受控的价格波动极有可能扰乱经济金融的正常秩序。如艺术家想要出售作品时，会创建或“铸造”NFT，从那时起它将作为对作品所有权的交易，然后通过平台将其货币化，无需中介即可出售且获利。当然，NFT 可以是知识领域，可以是实体资产，可以是金融票据，可以代表一幅画、一首歌、一个专利、一栋房屋、一个股权，甚至可以是一个黑色交易。

元宇宙作为现实世界的平行数字世界，不仅需要与现实世界实现信息维度的闭环，而且需要实现价值维度的闭环，实现两者链接的价值载体就是央行数字货币（Central Bank Digital Currency，CBDC）和全球稳定币（Global Stable Coin，GSC）。CBDC 是中央银行基于互联网、区块链、人工智能等数字技术发行的、具有现代货币本质属性的数字货币。现阶段链接元宇宙和现实世界价值维度的主要方式是 GSC。GSC 是非公共部门基于区块链发行的、与法定货币价格保持锚定的数字货币。

根据 GSC 保持价格稳定的模式，可分为基于抵押经济体系的 GSC 和基于“算法央行”模式的 GSC。

基于“算法央行”模式的 GSC 保持价格稳定的方式同中央银行调控货币供需动态平衡的方式基本一致，其进步意义在于借助代码实现这一过程的自动化和程序化，通过代码买卖基础货币以实现价格稳定，但存在的缺陷在于这种模式的

稳定币共识程度较为薄弱，很容易沦为资金盘和庞氏骗局，且货币发行与流通不仅仅代表一个数据，而是需要根据商品流通所需的货币量，也就是生产力和流通次数评估决定，由各国央行依法制定和执行政策，因此“算法央行”的政策风险极大。

而基于抵押经济体系的价格稳定模式根据抵押资产是否上链又可分为链上抵押模式和链外抵押模式。链上抵押的风险在于其抵押资产的价格也在时刻的变化和波动，并且抵押资产价格上升与下降具有不对称性：当抵押资产价格上升时，相同的抵押资产会生成更多的稳定币，同时抵押经济系统会提高借贷利率以抑制稳定币的过度投放；当抵押资产价格下降时，如何保证抵押经济系统的价格稳定就成为最大的风险因素。而链外抵押模式的资产并不上链，抵押资产被存托于区块链下的商业机构中，以美元、欧元、英镑等资产为主，其中美元资产的市场份额占了 95%以上。备受关注的全球稳定币 Diem 也是基于这种模式。现阶段主流的链外抵押稳定币包括 USDT、USDC、GUSD、PAX、TUSD 等。链外抵押模式能否有效取决于储备资产是否实行透明严格的定期审计，以保证抵押资产足值，当出现挤兑时不会出现系统性风险。此外，用户规模和信任度、稳定币发行量等也是影响链外抵押模式的重要风险因素。

22.5 沉迷与堕落风险

第四个就是堕落和沉迷的风险，先说一下沉迷风险。游戏是人类的本质，哺乳动物和鸟类都会玩游戏，哺乳动物通过游戏学会捕猎，鸟儿通过游戏学会飞翔。对于人类来说，游戏是有瘾的，是容易沉迷的。尤其当我们的游戏厂商特意的制造某些沉迷的效果时，会导致某些青少年沉迷于游戏。那我们是不是也会沉迷于未来的元宇宙世界里面，不想出来呢？就像《聊斋》里面的情景：一个落魄书生，进京赶考时经过一个破庙，看到一幅壁画，画里有一个美丽少女。他忽然进入这幅画的世界里，与少女整日恩爱不能自拔，他也不愿意回到现实世界。

在元宇宙里面，《聊斋志异》的这个场景会出现。我在元宇宙里面爱上了一个女孩子，我都不想回到现实世界了，因为我在现实世界里面就是一个穷光蛋，我在元宇宙里边特别富有。在元宇宙里，我爱上了一个大美女，不想出来了。这种风险是存在的这是有可能的。

元宇宙理想的运行状态下能够提供海量实时信息交互和沉浸式体验，而游戏作为元宇宙最佳的场景载体，更加加深用户沉浸式体验的深度。

清华大学最近发布关于元宇宙发展研究报告《2020-2021 年元宇宙发展研究报告》中指出，元宇宙因具身交互、沉浸体验及其对现实的“补偿效应”而具备天然的“成瘾性”，虽然我们的愿景是让人们在虚实之间自如切换，但所谓的沉浸式体验，极容易演变成网瘾，让人们沉迷其中而不能自拔。

凭借《三体》获第 73 届世界科幻大会颁发的雨果奖最佳长篇小说奖的作者刘慈欣，则发表了比较悲观的看法。他认为人类将会有两种命运：要么是走向星际文明，要么就是常年沉迷在 VR 的虚拟世界当中，变成像《黑客帝国》中浑身插满试管的怪物！

我们认为刘慈欣的观点，主要表达人们还不具备驾驭能解放人性技术的能力，某种程度上也不具备控制资本的能力，在这种情况下开发元宇宙，极有可能会让元宇宙成为人们的“精神核弹”。因此，随着元宇宙的持续深度发展，沉浸式体验深度越深，游戏场景越丰富越开放自由，必然会存在沉迷风险。

22.6 伦理与道德风险

再一个风险就是社会伦理和道德的风险。举一个例子，我刚才已经多次提到，在元宇宙里，对面来了一个漂亮的女模特，我可以摸下她的屁股。由于元宇宙沉浸式的体验效果，我现实世界里的肉身有那种真实的摸到她臀部的感觉。这个触觉是现实的还是虚拟的，人的大脑区分不了。我不知道是在现实生活中摸了这个女模特，还是我在元宇宙里面去摸了这个女模特，因为摸她臀部的感觉是一模一样的。

那么就会出来一个法律的问题。在现实社会中，假如我喜欢一个女孩子，但是这个女孩子不喜欢我。我能不能够到元宇宙里边去强奸她，或者跟她发生性关系？在现实社会里边，如果强制性的与喜欢的异性发生性关系，这要收到法律的制裁，叫做强奸罪，有国家机器保障定罪。那么在元宇宙里边大概率没有政府的存在，那么在元宇宙里跟喜欢的异性强制发生关系，这个算什么？算犯罪吗？还是算道德问题。反过来说，一个女孩子在现实社会如果提供性服务的话，这个要受到治安处罚条的，这叫做卖淫。如果她到元宇宙里边去提供这种性服务，那么

这算什么？

元宇宙既有很多法律的问题，也有很多伦理的问题。在现实世界里，我只能跟一个女人结婚。在元宇宙里，我可能有 100 个化身，我每一个化身是不是都可以找一个老婆呢？如果我可以找一个老婆的话，我们已经说了，在元宇宙的终极情况下，元宇宙人是区分不了现实和虚拟的，那么我跟在元宇宙里边跟 100 个女人结婚，与我现实生活中的肉身跟 100 个女人发生关系，那种体验是一模一样的。那么这叫什么？算重婚吗？元宇宙会带来未来社会的极大伦理问题，会对未来的道德产生巨大影响，有很多问题需要我们去研究和应对。

22.7 社会治理风险

在元宇宙里边有很多社会治理风险。我们没有中央政府治理的时候，在元宇宙里边会不会这些暴力、凶杀、强奸、猥亵等？这些人类所有的恶会不会都在元宇宙里面表现得淋漓尽致？我们要还元宇宙一片乐土，还元宇宙一片安详，我们该怎么办呢？我们怎么实现社区治理呢？那这个事情呢也是需要我们的社会学家和科研人员去研究的内容。

22.8 产业内卷风险

当前互联网产业的主要瓶颈是内卷化的平台形态。在内容载体、传播方式、交互方式、参与感和互动性上长期缺乏突破，导致“没有发展的增长”。技术渴望新产品的出现，例如 AI、XR、数字孪生、5G、大数据等对多种新型技术的统摄性想象。资本也一直都在寻找新出口，现实叠加虚拟打开广阔商业潜能。用户也一直期待着刺激的新体验，他们能够感受全新的交互体验从而摆脱“拇指党”。

清华大学最近发布关于元宇宙发展研究报告《2020-2021 年元宇宙发展研究报告》中指出，元宇宙是游戏及社交内卷化竞争下的概念产出。除却人才和用户资源的抢夺、监管压力加码，游戏及社交的产品模式也逐渐进入瓶颈期，虽然在新概念加持下阶段性实现了资本配置的帕累托改进，但概念上的突破并未从本质上改变产业内卷的现状。

从企业来看，目前元宇宙仍处于行业发展的初级阶段，无论是底层技术还是应用场景，与未来的成熟形态相比仍有较大差距，但这也意味着元宇宙相关产业

可拓展的空间巨大。拥有多重优势的数字科技巨头想要守住市场，数字科技领域初创企业要获得弯道超车的机会。虽然入局元宇宙的企业众多，但以现有资源分配情况来看，元宇宙生态仍然会走向封闭，各大巨头之间各自占据垄断的一角。当产业巨头形成垄断局面后，跟当下的移动互联网产业其实区别不大。在这个产业内，资本仍然会掌握主导权，在资本的操纵下，内卷只是早晚的问题。

22.9 算力成熟度风险

众所周知，支撑元宇宙的六大技术包括：区块链、交互、游戏、网络算力、人工智能和物联网技术，其中以区块链、交互、游戏和网络算力作为元宇宙的核心技术。区块链技术提供了去中心化的清结算平台，智能合约、DeFi、NFT 的出现保障元宇宙的资产权益和流转。游戏为元宇宙提供交互内容并实现流量聚合。5G 网络的升级保障了信息的传输速率。VR 等显示技术为用户带来更沉浸式的体验。

我们知道，元宇宙理想的运行状态包括大规模用户持续在线、沉浸感、高仿真、高效内容生产和去中心化信息存储及认证，要满足元宇宙的理想运行状态，提供海量实时信息交互和沉浸式体验的实现，需要通信网络技术和计算能力的持续提升作为基础，从而实现用户对于低延时感和高拟真度的体验。其中 5G 带来的网络稳定性、时延减少等通信网络能力升级，以及 GPU 浮点数据计算能力不断提升等在算力上的不断升级将推动元宇宙快速发展。

因此，我们认为网络算力是元宇宙最重要的基础设施，构成元宇宙的图像内容、区块链网络、人工智能技术都离不开网络算力的支撑，网络算力支撑着元宇宙虚拟内容的创作与体验，更加真实的建模与交互需要更强的网络算力作为前提。随着越来越多的企业和资本进入推动元宇宙快速发展，作为元宇宙基础设施的上游产业链将承担更大的压力。

网络算力压力主要表现在以下三方面：

- 网络稳定性

游戏作为元宇宙最佳的场景载体，而因为网络稳定性导致的丢包对游戏体验影响极大。通常情况下，我们在使用网络视频会议时，1%的丢包率是可以接受的。但是，根据《Gaming in the clouds: QoE and the users' perspective》中

包含的测试和结论，当丢包率等于或大于 0.3%时，网络游戏用户的体验感迅速降低。目前大多数网络游戏提供商建议至少 10-15 Mbps 的下行链路速度，以获得 720p 分辨率。这种网速要求和显示质量的手机游戏来说已经足够了，但对于想要在高清屏幕或者 VR 设备上享受终极沉浸式体验的元宇宙游戏爱好者来说还远远不够。

根据调研资料，元宇宙普及推广的场景应用，至少需要 5G 网络的全球覆盖，提供 1Gbps-10Gbps 的下行链路速度，以获得超高清 4k-8k 的分辨率。而为元宇宙多用户提供实时在线、流畅的深度沉浸式体验，我们预计至少需要 6G 网络的全球覆盖以及几乎无延时的网络体验，目前各国已开始密集部署 6G 研发，预计有望在 2030 年左右开始商用。 因此，5G 网络的全球覆盖率以及 6G 网络的部署商用进度，决定了元宇宙的发展速度和应用体验。

➢ 网络延时

同样，网络延迟也极大影响了网络游戏体验。根据诺基亚对网络游戏延时的细分规则，智能手机体验网络游戏的理想延迟为 70 毫秒，或者大约 30FPS 的两个完整帧。而具有强沉浸感的元宇宙游戏，通常采用 VR/头戴式等前端设备的交互方式，提出了至少需要 10ms 的游戏延时这样的苛刻要求，因为延迟可能会导致超过 20 毫秒的晕动病。

根据调研资料，5G 网络可以保障低于 10ms 的网络延迟、6G 网络可以保障微秒级的网络延迟。因此，5G 网络的全球覆盖率以及 6G 网络的部署商用进度，决定了元宇宙的发展速度和应用体验。

➢ 计算能力

算力，也称计算能力，指数据的处理能力，由数据的计算、存储及传输三项指标决定。硬件计算能力和云计算及边缘计算能力的发展将进一步升级用户低延时和高拟真的体验。硬件计算能力尤其是 GPU 计算能力的不断提升，一方面能够进一步升级元宇宙和云游戏的显示效果，使得更加拟真的场景和物品建模成为可能，并且增强渲染能力降低元宇宙的延迟感；另一方面 GPU 的升级也有望推动机器学习、人工智能领域的探索和应用落地。通过云计算和边缘计算，一方面降低了对于终端设备性能的门槛要求，拥有实现更高渗透率的潜力，另一方面通过对于边缘计算节点的建设，能够缩短信息流传输的距离从而降低网络传输部分

的时延。

根据国家工业信息安全发展研究中心最新发布了《新一代人工智能算力基础设施发展研究报告》。报告指出，国内新一代人工智能算力基础设施的建设依然面临着顶层制度建设和标准体系不统一的问题。其中最为突出的表现：

一是市场对算力的概念混淆，导致建设方向和建设需求错位；

二是行业定价标准混乱，针对人工智能算力基础设施建设的价格标准并未统一，各地同等规模项目的价格相差巨大。

三是在建设思路上，我国大多数计算中心采取了算力性能发展优先，再拉动应用发展的策略，忽视上层应用迁移及兼容程度，导致算力系统的初期应用效率偏低，无法完全支撑全面的智能化应用场景需求；

四是软硬件核心技术受制国外、重复建设、高能耗等问题，也亟待突围。

为元宇宙提供计算能力的算力在供给侧、需求侧、流通侧面临着大而不强、供需错配和结构性矛盾突出三大问题：

- 供给层面，算力发展呈现“大而不强”的态势。整体上仍然呈现出整体规模大、发展水平低的粗放发展态势。
- 需求层面，算力资源分布存在供需错配现象。除少数科技巨头外，中小型企业缺乏专有算力平台，制约技术研发，无法满足业务需求。
- 流通层面，区域间供需结构性矛盾突出、平台用户间算力资源衔接较难。

因此，算力压力主要表现在以下几方面：

一是顶层制度建设和标准体系的统一问题；

二是元宇宙对算力资源的需求会随着整个社会的全面入局而持续增长，上游产业链算力承载方会承担极大的压力；

三是庞大的算力需求还对应着大量的电力能源消耗，会成为双碳战略落地之前的一大阻碍。

22.10 技术成熟度风险

我们知道，支撑元宇宙的技术包括区块链、交互、游戏、网络算力、人工智能和物联网技术等。而从技术方面来看，5G、云计算、AR/VR、区块链、人工智

能等相应底层技术距离元宇宙落地应用的需求仍有较大差距。元宇宙要成熟落地，仍需要大量的基础研究做支撑，技术局限性是元宇宙目前发展的最大瓶颈和风险。那么这些技术的发展现状在一定程度上也反映了元宇宙的发展趋势。

（1）5G

从目前 5G 的发展来看，仍处在初期，还没有出现强大的 5G 应用，在市场上 5G 的需求度和渗透率也不高。

（2）云计算

随着大型游戏的发展，云计算、云存储以及云渲染都得到了快速的发展，作为元宇宙的基础也算是一个强有力的支撑，不过如何向元宇宙更好的提供实时交互式内容也是如今云计算发展中需要考虑到的问题。

（3）人工智能

人工智能可以大幅提升运算性能，元宇宙中内容生产、内容呈现以及内容审查的高效运作都离不开人工智能。但是想要在元宇宙中实现最大限度的自由，AI 技术就需要摆脱人工脚本的限制，向更高级的深度学习和强化学习发展，如此才能在元宇宙中呈现出随机生成、从不重复的游戏体验，允许玩家自由探索、创造。目前来看 AI 技术一直是政府着力支持的领域，经过几年的发展虽然有了初步的成效，但是达到符合元宇宙设想的 AI 在短时间内依旧是无法实现的。

（4）AR/VR/MR/脑机接口

交互：它包含了我们熟悉的 VR（虚拟现实）、AR（增强现实）和 MR（融合显示），这些技术都是为了给元宇宙玩家更沉浸式的体验。目前普遍存在价格昂贵，且在显示和定位技术方面存在技术瓶颈。

脑机接口：脑机接口技术正在成为科技巨头争夺的焦点，但目前主要应用于医学领域。

（5）区块链

区块链的虚拟资产与去中心化技术，使元宇宙中的价值归属、流通、变现和虚拟身份认证成为了可能，因此区块链技术也是元宇宙实现过程中不可缺少的一环。不过如今区块链的发展依旧处于初期阶段，监管问题也是去中心化技术发展起来的主要阻碍之一。

综合元宇宙所需技术的发展现状来看，真正的元宇宙其实还是很遥远的，毕

竟目前很多的核心技术都处于初步的发展中，技术所涉及的很多核心问题也还未能解决。

元宇宙发展中的技术风险主要表现在所需技术核心问题的解决、普及推广和政策监管等方面，相关内容如下：

（1）VR/AR 设备技术瓶颈最为突出

- VR/AR 设备的显示技术和定位技术研发难度较大，带来了调焦冲突、定位精度、纱窗效应等问题，直接影响体验的视觉舒适度，这是当前设备生产厂商正在着力解决的问题。
- 触觉或脑机接口设备尚未成熟，该技术有利于提升沉浸感，可直接通过精准的电流刺激使大脑获得相应感觉，实现真正意义的完全沉浸。
- 目前的 VR/AR 设备仍需不断升级，进一步轻量无线简便化，摆脱有线传输束缚、更加轻便提升佩戴体验。。
- VR 设备续航能力差，在高帧率的内容运转之下，VR 设备电量只能维持约 30 分钟，但根据米哈游的运营记录显示，玩家平均在线时长超过 30 分钟，这意味着硬件续航能力的不足会影响用户对于游戏内容的体验，从而影响 VR 硬件设备和软件内容生态的发展。

（2）用户围绕元宇宙平台的创新能力与速度难以预测

在虚拟现实硬件设备逐步完善的同时，内容和应用的同样需要紧跟步伐，避免产业链生态短板。根据 VR 陀螺，Steam 平台 VR 保持环比增长趋势，截止 2021 年 3 月，Steam 平台 VR 内容数量增加至 5711 款，但是现有 VR/AR 优质内容体量距离元宇宙程度仍显不足，爆款游戏可以在短期快速渗透，而行业的长期发展则依赖优质内容不断输出，形成与科技革新的共振，才能推动元宇宙行业持续发展。

（3）AI 算法、GPU 算力有待提升

目前，3A 游戏采用传统的终端渲染模式，受限于个人计算机 GPU 渲染能力，游戏的画面像素精细度距拟真效果仍有很大差距。为改进现有的渲染模式，提升游戏的可触达性，需要重点推进 AI 算法、GPU 算力的突破以及半导体等基础设施产业的持续进步。

（4）区块链政策监管风险

- 各国对于区块链应用发展政策的不确定性、以及数字世界涉及到的新政策与监管落地情况尚不明确。
- NFT 大多是在区块链通道上发行，等数字资产和经济体系的建立，当前仍与数字货币价格相关，可能面对币值波动和各国监管的风险。
- 没有规矩不成方圆，元宇宙中没有监管的话，就可能会有资本垄断甚至资本暴力的出现，因此元宇宙在未来的发展中一定会面领着各国的监管问题。

22.11 知识产权风险

随着元宇宙概念股 Roblox 于 2021 年 3 月 10 日在美国上市，元宇宙开始加速进入人们的视野。许多巨头也纷纷布局元宇宙，竞争逐渐进入白热化。新事物会带来机会而挑战也是伴随而来，当中除了数据保护和隐私问题、法律问题、货币和支付系统问题、算力压力和技术风险外，还包括知识产权的纠纷问题。

清华大学最近发布关于元宇宙发展研究报告《2020-2021 年元宇宙发展研究报告》中认为，虽然区块链技术为认证、确权、追责提供了技术可能性，但由于元宇宙的特性之大量的 UGC 生成和跨虚实边界的 IP 应用，无疑加剧了知识产权管理的复杂性和混淆性。

知识产权的纠纷问题，主要包括合法性、侵权两方面：

1、知识产权注册的合法性

知识产权的注册，由每个政府设立的国家知识产权部门负责登记注册，我国由国家知识产权局负责。申请人可以是自然人、企业法人、事业法人、社会组织法人。

在中国，所有法人组织都必须经过登记，因此只有国家承认的组织或个人才能申请注册知识产权，被看好用于未来区块链管理的 DAO 组织在我国尚未被法律认可，因此知识产权无法登记在 DAO 组织名下。

但在美国怀俄明州，法律承认中心化自治组织的法律地位、认可有限责任公司可以转型为 DAO，因此 DAO 组织可以作为知识产权的申请人，合法直接拥有知识产权。

2、知识产权的侵权

侵害知识产权民事案件可主要分为著作权案件、商标权案件、不正当竞争案件三种类型，而元宇宙中涉及的知识产权侵权主要是著作权侵权，主要包括：

1) 破解和复制源代码侵权，即侵害游戏作品的计算机软件著作权。
2) 擅自发布游戏，即游戏网站未经许可，擅自发布小游戏等游戏软件，侵害作品信息网络传播权。
3) 游戏中元素侵权，即未经相关权利人许可，在游戏中使用了他人享有著作权的卡通人物形象、画面或其他元素。
4) 游戏侵害作品改编权，即游戏基于其他小说、影视作品等人物形象、情节加以改编，侵害原作品作者的改编权案件。
5) 游戏公司间互诉侵权，主要涉及游戏公司的作品抄袭纠纷。

因此，知识产权纠纷在元宇宙领域始终是一个绕不开的话题。元宇宙是一个集体共享、自由创作的空间，并且基于 AR、VR、AI 和区块链等技术，未来极有可能创作出超出现有认知的人机交互方式或内容，这对于知识产权保护来说将是更大的挑战。

22.12 隐私风险

参照“GB/T 25069-2010 信息安全技术 术语”，个人信息（personal information），是指以电子或者其他方式记录的能够单独或者与其他信息结合识别特定自然人身份或者反映特定自然人活动情况的各种信息。（注:个人信息包括姓名、出生日期、身份证件号码、个人生物识别信息、住址、通信通讯联系 方式、通信记录和内容、账号密码、财产信息、征信信息、行踪轨迹、住宿信息、健康生 理信息、交易信息等。）；

个人敏感信息（personal sensitive information），是指一旦泄露、非法提供或滥用可能危害人身和财产安全，极易导致个人名誉、身心健 康受到损害或歧视性待遇等的个人信息。（注:个人敏感信息包括身份证件号码、个人生物识别信息、银行账号、通信记录和内容、财产 信息、征信信息、行踪轨迹、住宿信息、健康生理信息、交易信息、14 岁以下(含)儿童 的个人信息等。）

参照元宇宙的 6 层架构，元宇宙可能会面临如下的几类隐私风险：

22.12.1 元宇宙厂商和平台雇员的风险

元宇宙厂商和平台的雇员可能错误或失误处理客户的个人隐私数据，例如：雇员可能设置元宇宙社交或游戏场景的用户个人敏感信息对该场景内的任何人可见。

缺乏职责分离，例如：一个雇员提交用户个人敏感信息查询申请流程，同时该雇员也是该请求流程的审批人员。

缺乏意识和培训：雇员缺乏隐私保护的培训和意识。

22.12.2 元宇宙平台不充分的隐私控制风险

网络不充分的内建隐私控制（对应元宇宙 6 层架构第 1 层“硬科技”），例如：访问通过 URL 访问个人信息的数据文件，不需要访问授权。

系统不充分的内建隐私控制（对应元宇宙 6 层架构第 3 层“系统”），例如：无需密码就能访问客户数据库。

应用不充分的内建隐私控制（对应元宇宙 6 层架构第 5 层“应用”），例如：一个元宇宙的游戏应用，没有使用安全的加密协议去加密个人敏感信息的输入。

22.12.3 元宇宙设备不充分的隐私控制风险：

对应元宇宙 6 层架构第 2 层“硬件计算平台”。

元宇宙设备不充分的内建隐私控制，例如：不需要密码，就能通过元宇宙终端设备登录元宇宙平台。

已知的元宇宙设备漏洞，例如，一个元宇宙终端设备软件的 bug，允许对设备内存未授权的访问，从而能找到明文的用户登录 ID 和密码。

22.12.4 未授权的物理访问风险

未授权的物理访问客户个人敏感信息，例如，客户在元宇宙中的交易信息的纸质拷贝，放在元宇宙服务提供商未上锁的柜子中，所有元宇宙服务提供商的雇员均能访问。

22.12.5 不安全的数据处理方法风险

对应元宇宙架构的 1-6 层，例如：装有客户敏感信息的硬盘，未经过专业工具的消磁或多次覆写，仅桌面删除文件，就提供给其他地方使用。

22.12.6 有问题的数据活动：

对应元宇宙架构的 1-6 层。

恶意的意图，来自外部或内部人员，以及恶意的应用程序。例如：外部黑客利用元宇宙厂商防火墙的漏洞获取了访问个人信息的权限；有权访问用户个人信息的内部元宇宙厂商雇员，分享用户的个人信息给外部人员，导致了对这些用户的欺诈活动或其他犯罪活动。

授权用户的威胁，授权用户的错误和失误的行为和信息披露。

设备的威胁，设备被盗，设备使用的政策和合同不合规。

隐私攻击，运用社会工程盗窃和欺诈等等。

本章内容由李洋、蒙胜军起草，由龚才春修改。

参考文献：

[1] 《2020-2021 年元宇宙发展研究报告-清华大学》

[2] 《GBT_35273-2017 信息安全技术 个人信息安全规范》

[3] 《网络虚拟社会道德构建的理论探讨》

[4] 《虚拟现实技术的社会伦理问题与应对》

[5] 《头豹研究院_元宇宙系列报告——VR 设备行业研究报告：元宇宙基石》

[6] 《头豹研究院_元宇宙系列报告：元宇宙产业链及核心厂商发展路径分析》

[7] 《元宇宙专题深度报告：未来的未来-国海证券》

[8] 《探索元宇宙框架，生产力的第三革命-天风证券》

[9] 《“数字未来”系列一：元宇宙，未来数字绿洲入口已打开》

[10] 《互联网终局-元宇宙：未来十年最重要的投资赛道》

[11] 《区块链元宇宙（二）：算力重构，通向 Metaverse 的阶梯》

第七篇：经济篇

元宇宙是一个新事物，由于传统经济学中的绝对理性和资源有限两个前提条件在元宇宙中不再成立，使得元宇宙的经济运行规律不能用传统经济学指导。古典经济学、新古典经济学在元宇宙中都不再适用。

本篇讲述分析元宇宙经济运行规律，希望给在元宇宙的技术浪潮中的创业的小伙伴一些启示，也给有关部门制定相应经济政策一些参考依据。

第 23 章 元宇宙经济学

23.1 后古典分析框架

23.1.1 经济学的发展脉络

从经济学的发展脉络而言，第一阶段可以归纳为研究粮食与纺织业大生产为主、以温饱等基本需求为出发点的古典经济学，第二阶段可归纳为研究工业化机器大生产为主、以发展空间等为出发点的新古典经济学，当前第三阶段可归纳为以研究数字与信息经济为主、以自我价值实现为出发点，以元宇宙为代表的后古典经济时代[1]。

（1）古典经济学阶段

第一阶段的古典经济学，是一个农业化大生产与纺织业大生产的时代，这个时代的科技发展，主要解决了人类的基本生存问题，也就是温饱问题。

古典经济学所遵循的哲学方法论是整体论，研究工具是总量的生产函数，所遵循的基本价值理论是劳动价值论。

（2）新古典经济学阶段

第二阶段的新古典经济学，是工业化大生产时代。这个时代的科技发展，主要解决了人类的发展空间问题。以电气化为特征，人类的航空、航天、航海和汽车工业发展突飞猛进，人类的触角延伸到世界各个角落。

新古典经济学所遵循的哲学方法论是连续主义，研究工具是基于微分的边际效用函数，所遵循的价值论是效用价值论。

（3）后古典经济学阶段

第三阶段的后古典经济学，则主要面对的是当代数字社会的兴起。这个时代，主要发生了计算机科学革命，催生了网络、大数据和物联网等庞大的社会变革[2][3]。这样的变革基于对社会的传统形态进行解构、表达与重构[4][5]，形成了崭新的数字社会。发展最快的还是对人社会价值的释放与构建[6]。

后古典经济学所遵循的哲学方法论是离散主义，研究工具是基于积分的分布效用分

析法，遵循的价值论是效用价值论[1,3]。

23.1.2 新古典经济学的缺陷

新古典经济学是当前主流经济学，世界知名大学都视为圭臬。但是，新古典经济学存在很多不能适应数字经济的重大逻辑缺陷。

首先，在逻辑出发点的存在重大问题。新古典经济学认为，由于存在资源是稀缺的这个前提，所以需要经济学对资源进行分配。但是新古典经济学只重视物质资源的稀缺性研究，并以此作为整个新古典经济学的逻辑起点，却忽视了社会价值的巨大现实意义。

在后古典经济学中，提出了稀缺二元性，指出稀缺性不仅有自然存在的，物质的稀缺，这是相对稀缺；还存在社会的，人类设计的，社会的稀缺，这是绝对稀缺的。在元宇宙中，所有的数字产品，包括数字货币，都是一种认为的算法设计，是一种社会价值稀缺[7]。比如，在元宇宙中 facebook 中，任何数字产品、数字服务与数字信息的供给，都是基于社会价值的稀缺，而不是应用于实体的实物。因此，当新古典经济学的理论体系建立在物质资源稀缺性基础上，完全没有考虑到社会资源的绝对稀缺性，不能应用于元宇宙经济系统分析[1]。

其次，新古典经济学提出了边际效用革命，用边际效用来分析投入产出关系。但是在元宇宙项目中，一切投入产出不是考虑边际，而是考虑基于大数据的整体价值。比如在元宇宙游戏 Roblox 中，一个新工具的开发，是基于每增加一个用户来进行分析的，还是基于整体用户的进行分析的？在策划元宇宙音乐会的项目时，要算的不是新古典的边际效用、不是微分方程，而是基于全网用户进行收入汇总，这是基于离散空间的分布积分。所以在后古典经济学中提出了的分布效用分析法，是对新古典边际革命的终结。

最后，新古典经济学提出效用价值论，用边际效用来批判古典经济学的劳动价值论。效用价值论是新古典经济的基石，可惜在元宇宙时代，也将不再适用。因为，在元宇宙场景中，一个数字产品有多少供给数量、是否有效用、有多少效用，是制度也就是规则所规定的，而不是边际决定的[8][9]。同样，在一个元宇宙场景中，可以参见哪些劳动，进行哪些交易，缴纳什么手续费，也是制度也就是规则所规定的。这就是制度规定了价值的测度空间，包括正反属性、基本维度、度量标准、计算方法。只有在制度规定的范围内，劳动才被许可，效用才可以体现[1][9]。因此制度价值论是劳动价值论与效用价值论的前提，在元宇宙时代更是如此。固守效用价值新古典经济学，无法解释和解决价值的来源问题，因此不可以应用于元宇宙经济系统。只有用后古典经济学，才可以对元

宇宙时代经济系统进行理论解释和实践指导。

23.1.3 后古典经济学与元宇宙

根据上述分析，我们很清楚新古典经济学必须让位于后古典经济学。当前，虽然国际、国内很多知名经济学家，在倡导经济学理论创新，但是没有敢于从逻辑出发点上直接批判新古典经济学。国内的经济学理论创新，无论是新结构经济学、过渡经济学、中观经济学，都不敢否定新古典经济学的陈旧框架，因此仅仅是新古典的缝缝补补。这些理论，无法应用于新经济的发展逻辑，更无法应用于元宇宙为代表的数字经济。我们要理解元宇宙经济系统的基本原理、核心原理、底层原理，需要经济学的基础性的、革命性的理论创新，需要成体系的、完备的、自恰的理论创新。

后古典经济学给出的离散主义经济哲学方法论，可以很好地理解元宇宙的运行原理，组织模式和系统构建方法。从离散主义角度出发，可以理解现实世界和虚拟世界，在绝对意义上是离散的，在相对意义上是连续的。而且本质是离散的，并归结于数。也就是毕达哥拉斯学派所说的，万物皆数[10]。

后古典经济学还给出了数字经济，特别是元宇宙经济系统发展的三大范式，即离散化解构、数字化表达和全息化重构是未来元宇宙经济现象的主要逻辑路径。离散化解构，对应的是网络经济学，通过互联网、物联网、移动通信等手段，把整个经济社会的自然价值与社会价值进行无尽的细分，这是元宇宙对现实生活进行镜像映射的基础。数字化表达，对应大数据经济学，通过大数据、电子信息对传统经济要素进行重新描述与表达，通过一定的数据结构进行各种应用方式的表达。最后，全息化重构，对应的是平台经济学，通过新型的平台模式对传统的经济行为进行崭新的价值挖掘与模式构建[4][5][6]。

23.2 认识元宇宙的离散主义

当讨论元宇宙的经济系统的时候，首先要理解，为什么元宇宙能够存在。当人们认为，元宇宙是现实世界的平行世界的时候，也要了解平行的前提。元宇宙能够存在的前提，是能够把这个世界进行离散化解构，数字化表达，平台化重构。所以解构、表达与重构，就是解读元宇宙三步曲[10]。

23.2.1 网络化解构

所谓解构，类似于通过无处不存在网络把世界切分为无数细分单元。我们的通讯网

络，实际上就是 GRID 结构；我们的监控网络，也是进行区块划分。我们的数字文件，更是分为不同给的信息单元在计算机上存储与发送。元宇宙实际上就是在上述三个数字经济基本模式下的最终表达形式。最终表型形式，就是各种符号或者数据的离散状态，这就是离散化解构。离散化解构是数字经济，乃至元宇宙的全部基础。

在认识解构之前，需要先了解离散的数字化表现。

离散必然和连续联系在一起。“离散”是“连续”的否定，即“不连续”；“连续”则是指事物、数量的一种属性，这种属性使它们容易被分割或结合，并且不会因此而丧失它们原有的本性。“离散”与“连续”是数量关系中一对极为深刻的矛盾，二者互相对立，也互相补充。

离散主义，是数字经济时代的哲学方法论，其基本思想，就是把连续性的生活分成有意义的独立个体，甚至细分到比特。细分到比特之后，就可以重构过去所有模式[10][11]。具体到商业模式，如果说传统的商业支付是要跑到银行网点、带上银联卡、填写单据等等手续，而今确是在个体化的手机客户端，通过支付宝钱包、微信钱包、Facebook 钱包，实现了转账支付的功能，这就是把银行的柜台离散化为手机终端。

过去，人们需要到大型超市去集中购买商品，现在在元宇宙企业，比如淘宝网上、抖音上，就可以购买：一个年销售额达到 1 万亿的巨大商业超市，它的表现形式不再是沃尔玛那样的大型的、整体的、统一的商场，而变为单体的、电子化、数字化的手机应用软件，这就是离散化。同样，我们到火车站买票订票，现在直接在网络实现、在终端机上自主打印，这也是离散化。过去需要照片印刷，现在则完全把相片变成数字组合，通过网络一次可以群发给无限多的人，那么这里的照片，就是从无限分辨率的连续的胶片变为数字的、离散的、数码的格式。发送方法，从具体的、实在的邮局变成通过电子信箱以 byte（比特）形式传播，就是生活离散化的典型表现。

离散主义，就是基于离散的角度解构与重构社会经济结构，在现实与虚拟的离散空间中，分析其社会经济要素相互关系的方法论[10]。离散主义方法论在具体应用中，主要表现在以下几个方面：

1) 经济社会的解构：基于离散的视角，表达或解释客观世界，即物质世界或客观世界的性质与形态离散式表达；
2) 对经济社会解构之后的基本要素信息的获取与传递，包括对客观世界映射的手段网络化、数字化；
3) 基于价值关联的要素解读与要素重组，包括数字化处理与大数据重构；

4) 研究对象、手段、方法具有离散性，同时结合连续性思维模式或连续性函数建模方式。

这种数字化、离散化解构，在元宇宙的应用中，又包含四个主要方向：

- 一是对供求关系以及数字产品的数字化表达；
- 二是对社会或交易空间的数字化表达；
- 三是对信息不对称的数字化表达；
- 四是对社会关系的数字化表达。

因此，离散主义思想的本身，就是把生活合理地“分割”或“碎片化”，把对“整体”的连续性研究转化为对 “个体”的离散化研究。离散主义就是对整体的解构，从而展示为独立的个体，然后通过汇总个体达到对整体的把握。

23.2.2 数字化表达

离散化步骤反映了我们看待客观世界的精确程度。实践证明适当的属性离散化随着属性数目的增长而呈指数增长，这种指数增长的数据为现代经济的全息化重构提供着源泉。更重要的是，对事物、行为等定性概念般的描述，也可以通过一定的标识逐渐的使模糊性不断的显化出来，这样定性描述在一定的路径上不断向精确的数据表达靠近并收敛。而所谓的精确数据、定量表达，由于信息噪声的存在，其精确性中的正确性也需要一定的判断。从而，定性分析和定量分析在大数据时代都向数字化解析，向精确和准确靠近[3]。

伴随针对元宇宙为代表的数字经济研究的深入开展，针对连续属性的数据进行离散化的方法得以不断的实践和完善，一般认为，连续属性离散化主要有三种不同的方式：第一种是以有无监督为标准，划分为有监督的离散化和无监督的离散化；第二种是以是否以全局为标准，划分为全局离散化与局部离散化；第三种是以静态和动态为标准，划分为静态离散化与动态离散化。

显然，当人们说元宇宙就是现代经济的二元映射的时候，是现实世界的平行世界的时候，其实，已经考虑到对现实世界的数字化重构，甚至再发扬光大。但是前提，必须是可以数字化。

随着数字科技的飞速发展，世界的数据量正在爆炸，不仅需要存储和管理庞大的数据，同时可以通过元宇宙平台，对所有成员或者用户的个人信息，各个层面、各种可能的社会信息进行分析和数字表达，从而实现最后的重构，也就是价值提取。比如，分析用户的网上行为，最近的检索关键词，就可以精准推送相关产品。分析玩家对数字工具

的使用方法，上网时间和上网频次，就可以知道他的性格特点，精准推送类似于博彩属性的数字产品，以强化这些用户的投机欲望，最终是庄家，也就是元宇宙平台赚的盆满钵满[5]。

23.2.3 平台化重构

在这场具有革命性意义的数字经济时代，经济社会直接或间接表现为离散化了的数字关系，最后通过元宇宙平台，对信息重构从而获得巨大的群体性收益。从处理技术上来说，元宇宙平台常用的是统计分析方法，主要是针对这些数据进行发掘，找出其中的数据关联，提取有价值的数据，从整体上通过元宇宙进行重构或者价值实现。

在离散主义新视角下，社会大生产发生了很大变化，社会化大生产的重心产生了转移，主要表现为产生精神效用的数字产品。这些数字产品的物理效用明显弱化，精神效用的离散化数字表达成了数字产品的主要内容。结合马斯洛的需求层次理论，自我超越的价值主张对个人行为具有重要影响。而元宇宙平台恰恰提供了这样的机会，可以通过平台供给与重构数字化精神产品，增进个体幸福感。

目前，元宇宙平台涉及的数字产品重构及其广泛，以游戏、电影、社交网络等为代表的数字产品和数字服务供给，成了社会经济的主要成份。以 Facebook 为代表的企业，其市值迅速超过了很多传统物质商品生产企业[4][5][6]。

元宇宙平台中，数字产品不同于传统意义上物质产品，因为数字产品生产可以低成本复制。数字产品的成本，除了一次性投入的高成本之外，分担成本基本是零。其实，对数字产品的消费，所耗费的成本，更多的表现为消费者的消费成本，而不是数字产品的复制成本。消费者在元宇宙中，消费数字产品和数字服务，必然需要付出的货币形式的物理成本加上精神消耗的时间成本。这是为什么在有的元宇宙中，看个广告，玩个游戏，就可以获得收入的重要原因。

总的来说，离散主义方法论强调经济社会从过去的形象化的模拟表达方式，转变为当今数字时代的离散表达方式。通过网络化结构、数字化表达和平台化重构，这三步曲，对社会或交易空间的进行数字化表达，形成可塑的数字空间，并逐步演化成为现在的元宇宙平台生态。针对不同行业之间的行业技术，以及他们之间的信息壁垒进行的数字化表达与重构，形成了数字关联，这种数字关联，正是元宇宙的价值增长点[1][10]。

23.3 元宇宙经济系统的原结构与宏建构

要指导元宇宙经济系统的建设，就需要首先了解什么是元宇宙经济系统的结构。要

了解元宇宙经济系统的结构，就要了解现实生活中，什么是经济结构。关于经济结构，百度百科有很长的定义。国内著名的关于结构的经济学术，新结构经济学也有自己的说法。

23.3.1 经济结构

无论是是新结构经济学也好，还是百度百科也好，仅仅说了结构就是关系。再看看新结构经济学发表的所有国际、国内的论文，把经济结构直接等同于要素之间的比例关系，加减关系，顶多是加权的比例关系。

除了数量关系测度，比如最简单也最为新结构经济学所能理解的比例关系，就是最简单的数量关系。数量关系测度有很多，继续深入研究下去，如果考虑经济运行主体的基本架构，比如组织关系，这是数量关系？或者是数量关系中的比例关系？显然这是拓扑关系。如果考虑消费者针对不同商品的偏好，这就既不是数量关系，也不是拓扑关系，那是偏序关系。

但是现在的结构主义经济学，或者新结构经济学，都笼统地局限在数量关系中的比例关系，既没有考虑数量关系更深的测度，也完全没有想到拓扑关系和偏序关系。用这样的结构主义研究成果，不能指导现实经济，更不能指导具有极强表达能力的元宇宙经济系统。

为此，需要首先真正了解什么经济的结构，然后，在此基础上，认识到如何去建构元宇宙。当代经济现实一再证明，任何经济结构绝对不是孤立的“成分与比例”等数量关系；也体现为元宇宙内外、虚拟人之间的经济秩序，这是一个序数关系；同时体现为一个元宇宙平台与其它元宇宙平台的数字产权与数字支付纽带，这又是一个拓扑关系。

因此，元宇宙，甚至，现实世界的，经济结构就是一定社会背景下经济要素之间的关系。其中，社会背景是约束条件，可以是现实的社会背景，也可以是虚构的元宇宙社会背景，比如在元宇宙的开篇之作《雪崩》。故事发生在 21 世纪初期的美国的洛杉矶，在这个未来中美国联邦政府将大部分权力给予了私人企业家和组织，国家安全交付给了雇佣军队，公路公司之间也相互竞争来吸引司机来上他们的路，政府剩余的权利只是做一些繁琐的工作而已，社会的繁荣安定与他们无关。

政府的大部分的土地被各个大的私人瓜分，并建立了个人领地。作者斯蒂芬森描绘了一个超现实主义的数字空间“Metaverse”，为地理空间所阻隔的人们可通过各自“化身”（avatar）相互交往，度过闲暇时光，还可随意支配自己的收入。《雪崩》中还有着和私营准国家实体性质类似的大型公司：中央情报公司（国会图书馆是其数据库）、“买

了飞”（同时经营特许连锁监狱）、超元警察、强制执行者、吴氏安保产业、激进快递…

这就是元宇宙的社会背景。但是除了社会背景之外，即便是雪崩中的黑社会，也得有基本的管理制度，社会运营体系吧。因此，元宇宙建设就需要厘清经济要素包括哪些部分，这些部分构成了黑帮管理社会的基础。在这个雪崩世界里，要缴纳保护费，这是数量关系。不同黑帮之间有交易关系，这是拓扑关系。黑帮内部，必须有层级，这是序数关系。

其实，即便是元宇宙空间中的黑帮社会，管理起来，都需要扎实的经济结构分析手段。不要说现实世界，在虚拟的元宇宙世界里，带队伍，都是不容易的。继续来看经济要素。经济要素是经济运行的各个相关对象，构成了集合；要素之间的关系，包括数量关系（代数关系）、序数关系和拓扑关系。对元宇宙经济结构的研究，以及元宇宙中各项制度的规定和数字经济结构的调整，就是对上述关系的运算、分析与干预。

简单地说，经济结构就是要素之间的关系。这样的关系既可以是直观的，比如成分关系、数量比例关系。也可以是高级的数量关系，比如确认经济的维度，引入多维空间，从而引入高等代数的基本概念，把要素以及要素的关系通过集合论的高级形式也就是代数表达。对于存在基本运算的要素及其关系的集合，可以引入群的概念，比如产业集群中产业结构关系可以引入群与环等研究手段。大家不要觉得群运算很遥远，其实计算机中早就运用，更不要说元宇宙作为计算机应用的高级形态，更是在群与环运算基础之上的[8]。

23.3.2 元宇宙经济结构

元宇宙结构之间制度规定个，也是就是平台参与要素的关系，与现实生活相比的好处是比较灵活，因为可以主观给定。包括各种基于主观要求所给定的测度，例如序数效用下的偏好关系；以及主观构造的总量求和关系，例如关于数字生产或者长时间在线的效用测算。

在高级经济结构描述中，如何刻画人们的效用偏好一直是个重要却又难解的问题，并且在元宇宙时代，又是一个可以通过对玩家行为的监测，对玩家进行个性特征提取，从而引导玩家偏好。大家玩手机，都会发现，抖音或者新浪，会推送你感兴趣的话题给你。你会感觉自己的讲话被偷听了，事实上，就是被偷听了。

引入序数关系结构，通过使用序数集合的相关工具，可以更准确地刻画包括效用偏好在内的社会价值序列或者社会经济秩序。序数关系结构及其相关数学工具，将是规划元宇宙中社会秩序规定，以及元宇宙中人们数字效用偏好的重要分析手段[8][12]。

当然，这样的经济结构关系还可以通过数学工具进行转化。例如在构建元宇宙经济结构时，会涉及到对虚拟组织结构与虚拟社会结构的图形表达与分析，也就是图论的内容。事实上，随着代数学的发展，图论完全可以转化为代数问题。因此，图论分析可以归纳到代数关系或者数量关系的分析中。

总之，经济结构是基于经济要素与经济对象的集合，根据客观事实与主观需要，所形成的数量关系结构、序数关系结构、拓扑关系结构，并在此基础上根据约束条件产生的各种运算与分析[8]。

那么把经济结构分为是上述三个基本关系，经济结构分为上面三大结构，是因为数学本身就是这三个结构。研究元宇宙，需要追溯一下当代数学史。布尔巴基学派归纳了三种最基本的数学结构类型，即代数结构、拓扑结构和序结构。这三种结构又称为母结构，三者之间有其内在的联系，其他结构则是在母结构基础上经过交叉、复合形成的派生结构。

23.3.3 建构主义经济学

因此，对元宇宙经济结构的分类和设计，应该客观地遵循布尔巴基学派的重要观点，把经济结构分为三大基本类型。对经济结构的设计，则既要考虑现代结构主义数学的公理和逻辑体系，同时应该现实地考虑与当代建构主义数学思想相结合，也就是遵循人的需要与主观能动性，并借助机器智能构建分析框架。

所以，元宇宙时代，正是经济结构从结构主义向建构主义融合过度的阶段。对元宇宙经济结构的研究与设计，就需要后古典经济学的一个重要的方法论支撑体系：建构主义经济学[8]。

建构主义经济学，是指基于建构主义基本思想，强调经济学家和经济主体的主动观能动性，认为经济活动是经济主体基于知识、经验而生成经济价值、建构经济模式，以及规定分析范式的具体实践，这些具体实践常常是在当前社会与其他经济主体的互动中完成。

建构主义经济学，作为后古典经济学的方法论板块，具有着广阔的实践背景。我们对元宇宙经济现象的理解与认知，始终要在三大母结构基础上，贯穿着建构主义的思想内核。根据后古典经济学稀缺二元性的基本判断，我们对经济现象的分析方法紧密围绕着自然价值与社会价值在调整，并且不断地随着人们的主观价值变化而相应调整。

在构建元宇宙时，强调建构主义经济学的思想指导，就是强调经济体的主动性在建构元宇宙经济系统过程中的关键作用，从而构建新的主观价值与新的主观消费。

23.4 数字产品的稀缺性与价值的制度起源

23.4.1 经济学中的稀缺性

传统的新古典经济学，始终在研究物质资源的相对稀缺。他们主要局限在现实世界的、物质化的产品，研究这些现实的、物质化的产品，如何生产、如何分配，如何分工等等，最终可以通过投资、人才培养、管理制度与科技手段，去不断克服稀缺性，达到社会大生产，更普遍地满足人们需求。而后古典经济学认为稀缺性本身，就是一个值得批判的话题，要从绝对与相对的两个对立面去讨论，后古典经济学的产生，就是因为发现，稀缺性可以通过一分为二的观点进行重新理解。

23.4.2 稀缺性的制度约定

在元宇宙没有来到之前，人类社会的很多工作，他们的目的指向并不是物质价值，而往往指向社会价值。比如，人类需要有政治身份，需要功勋和名誉，需要学术地位，需要有不同的自豪感，需要所谓的奢侈品抬高身价……等等。这些，都是对社会价值的追求与索取。而这样的社会价值是不可能通过科技手段或者社会分工来解决稀缺性的。不可能说，技术发展了大家都发博士学位；或者通过分工，让全社会的人都成为劳动模范。同样不可能说，在元宇宙 NFT 游戏，比如 Axie Infinity 中，给每个游戏玩家发放成千上万个 NFT 小精灵进行战斗、繁殖等。因为社会价值的稀缺性，是一种制度规定。一旦放开制度，每个人都是劳动模范，每个玩家都有无穷多小精灵，那就烂大街了。元宇宙 NFT 游戏肯定没有人玩了。所以社会资源的产生是制度规定的，他的稀缺性须是绝对的。

因此，对社会价值的规定是社会制度的重要内容，也是元宇宙的重要内容。元宇宙中的数字产品成本为零，但是只有规范了这些数字产品的稀缺性，才能确定基于零产品成本元宇宙的经济秩序，从而构建元宇宙信用基础，而有了信用基础才能构建元宇宙经济系统[12][13]。

23.4.3 钻石与水

用后古典经济学分析一下钻石与水，这个例子一方面对元宇宙经济系统的构建，有原理性的指导意义；一方面，是树立经济学理论的论证需要。

亚当·斯密在《国富论》中指出：生活中，没什么东西比水更有用；但是，能用它交换的货物却非常有限；很少的东西就可以换到水。相反，钻石没有什么用处，但可以

用它换来大量的货品。后面有人继续演绎，在沙漠里，钻石比不上水，在城市里，水比不上钻石。但是各拿一瓶水、一个钻石，从兰州坐高铁到乌鲁木齐，路过沙漠的时候，能不能请你用你的钻石换我的水？你肯定不愿意。因为我们的高铁很快就可离开沙漠了。那么当人与世隔绝的时候，你是个自然人还是个社会人？当你是自然人的时候，钻石的社会价值是不存在的。自然人、原始人，当然要水不要钻石。在反过来到人类社会中，你给一个大猩猩一瓶矿泉水，一颗钻石，他一定要水不要钻石。因为，他融入不了人类社会，钻石的社会价值无法体现出来[12]。

23.4.4 价值的自然属性与社会属性

因此，水和钻石都有两个属性：自然属性和社会属性，因此有两个稀缺性，自然价值的稀缺性和社会价值的稀缺性。

新古典经济学、奥地利学派、亚当斯密，犯下了的错误就是混淆了两个稀缺性。当然，他们也不知道有这两种稀缺性。所以，在沙漠里水与钻石相比较的时候，自然属性成为主要方面；在人类社会里，水与钻石相比较的时候，社会属性成了主要方面。混淆两个属性，用水的自然价值与钻石的社会价值相比较，这就是新古典经济学或者边际效用学派犯下的错误。

稀缺性的二元性，带来了对元宇宙商品或者服务的自然价值与社会价值的区分。对元宇宙虚拟社会，乃至现实社会的管理，一定不是简单的数量关系管理。因为人们可以在自然价值上有相对的、可计算的标准，但是在社会价值上就只能偏好排序，而不能数量上测算。具有同样自然功能的数字产品或者实体产品，由于具有不同给的社会价值，就形成了市场的不同份额。这就带来了元宇宙产品类型的多样性，市场发展趋势的多样性。从元宇宙来看，数字产品的生产可以是以产品的虚拟形态为代表的自然价值生产，也可以是社会价值生产——比如元宇宙游戏中的各种虚拟职位。

有了自然属性与社会属性的区分，就有了对价值属性的区分，从而推断出价值是自然制度与社会制度在两个属性上的两种规定。在这个判断基础上，后古典经济学提出了制度价值论，这也是指导元宇宙经济体系建设的重要理论[11][12]。毕竟在元宇宙经济系统里面，既有对现实稀缺性的映射，更多情况下数字产品的稀缺性是一种程序定义。

23.5 元宇宙投入产出的分布效用分析法

23.5.1 边际分析法的终结

新古典经济的研究前提是企业对产品进行生产和再生产。但是，新古典经济学的基本理论已经完全不适用与元宇宙时代的数字经济分析。因为，在数字经济时代，存在消费性再生产、消费和生产统一性的情况。也就是说，数字经济下，产品的生产与再生产，不是新古典经济学所认为的由企业完成的，而是由消费者完成，而且再生产成本也相应地由消费者承担。

在元宇宙为代表的数字经济时代，出现了有别于工业化时代、由企业进行产品大规模生产的现象。数字时代，企业的主要成本是产品研发、市场推广等非生产性成本，不再进行社会化大生产。数字经济下更多的生产性行为基本上与消费行为同时进行。在数字经济领域，针对产品再生产的边际效用分析法就失去了适用性：企业更多侧重于前期的研发投入，产品的生产者不再是企业，数字产品的生产成本也趋近于零。

这时候，新古典经济学的生产理论和边际效用理论，完全没有了用武之地。因为在数字经济时代，企业只研发产品不生产产品了，无法谈边际效应。由于企业还得生存，总要计算产品的效用。

由于元宇宙时代，数字企业的生产成本的变量，为前期研发投入也就是常数，企业产品再生产的过程转嫁给消费者，这时传统意义上的边际效用分析法将失去应用前提。成本与收益间，将不再存在基于单位产品的边际微分等对应关系，边际效用分析显然不再适用于分析数字化企业的投入产出关系。于是后古典经济学提出分布效用分析法。

23.5.2 元宇宙的分布效用分析

数字经济下，消费者在现实或虚拟空间消费或再生产包括数字产品在内的各种产品。消费者的消费行为、产品的销售区域等，可以通过大数据的技术手段在虚拟或现实的离散化网络空间中得以全面汇总与分析。从企业、消费者和变量关系的角度，分析数字经济下的投入产出关系。

首先考虑元宇宙企业收入如何测算。设数字经济空间经过离散化解构之后形成维要素空间，数字化产品对元宇宙企业的利润贡献通过每个经济要素的独立贡献分别表现出来，这里的经济要素包括消费者也包括其他组织或个体。数字化产品被经济要素消费之

后，以直接获得的收益或者间接的溢出效应等形式，在每一个离散点形成了对元宇宙企业的利润贡献。在这维要素空间中，元宇宙企业在特定的离散区域所能获取利润，那么对元宇宙企业而言产品带来的收入可以通过以下两种方式给出：可数可加的情况，所有产品可数，并且每个产品的离散收益都可以测算，则总收入就是各个可数点的收益汇总；在只知道空间概率分布的情况下，给定的空间维数和消费者离散点的分布函数，同时给定对应每一个离散空间点的单位产品产生的离散收益，则企业在离散空间中的总收入就是一个空间分布的积分[11]。

其次考虑消费者效用如何测算。数字经济下产品与服务成立的前提，是价值关联。假定这多维要素空间中，产品对消费者产生若干关联效用存在一个离散区域。这个区域中，可以给出在每一个要素点产生的关联离散效用。同样，数字产品给消费者贡献的总关联效用可以通过以下两种方式给出：可数可加的情况下：假定在离散区域为中任意离散点的关联效用可数加，则消费者关联总效用就是离散点的效用求和；在只知道空间概率分布的情况下：假定给出关联效用在多维要素空间中的分布函数，以及对应每一个离散空间点的关联效用贡献值，则消费者关联总效用就是一个空间分布的积分。

一般情况下，元宇宙数字产品价格越高，离散空间中有支付能力的消费者越少，因此数字产品分布函数是数字产品价格的减函数。考虑到产品分布直接影响到产品给消费者带来的关联效用分布，因此产品分布与关联效用分布正相关，进而关联效用分布也是数字产品价格的减函数。另外一方面，元宇宙数字产品在离散空间中对元宇宙企业的收入贡献有可能是产品价格的增函数，但离散空间点上消费者的关联效用与产品价格的关系则需要视情况而定。

对元宇宙企业或消费者而言，最终利润与个人效用，不仅取决于前期投入成本以及消费者进行产品消费的综合成本，还与数字产品对元宇宙企业的收入贡献或者个人关联效用的空间分布密切相关。

基于积分方法对离散化分布之后的经济效益进行总量测算，并依此作为分析手段的方法，称为分布积分分析法，简称分布分析法，这么给出定义：分布分析法是指，在数字经济的离散化空间中，基于分布函数进行积分处理以计算累积利润或关联效用，以此作为数字产品投入产出或消费者消费行为的分析方法。

与传统的边际分析方法相比，分布分析方法在数学工具上从过去的连续函数的微分方法转变为空间分布的积分方法，分析问题的重点从单位产量变化对产出的影响，变成了数字产品的离散分布对企业整体累积利润或个人单位效用的影响。

23.5.3 分布分析法的应用

以元宇宙经济的典型代表网约车为例，探讨分布分析法与价格空间优化分析法的具体应用。网约车在很多国家得到普及，并且也受到了很多争议。关于网约车公司（例如滴滴打车）的盈利模式与定价机制，一直受限于新古典等传统的供需平衡分析模式，未能得到很好的解释与分析。

根据分布效用分析法，网约车公司的主要收益来自于离散化分布在现实与虚拟空间的各种汽车服务个体、消费者个体所贡献的收入汇总[11]。这里需要注意的是，根据消费性再生产和消费生产同一性的定义，消费者也直接参与了数字化生产，因此，消费者生产过程中的溢出收益就被网约车公司获得，比如个人消费储值的利息与残值、个人有效数据等。

由于网约车不像 Facebook 那样可以让消费者直观感受关联价值，所以价格因素就起到了关键作用。对网约车公司而言采取降价或者充值补贴等形式，就可以直接提升消费者效用，从而占领市场，也就是扩大网约车在离散化数字空间中的分布范围。这种数字经济离散空间中要素分布的扩大，又进一步放大了企业分布的累积利润。因此，对网约车公司而言，制定价格的策略不是寻找供需平衡点，而是寻找多目标优化之后的价格可行空间。在这个价格空间中，达到对企业分布累积利润函数和消费者关联效用函数的最优化。至于最终价格的确定与调整，则受制于价格空间中各个网约车公司之间的目标函数优化方法与平台竞争策略[5][11]。

再用分布效用分析法在分析一下数字经济典型现象“长尾效应”。在统计学中，把分布曲线中非凸起部分、向一侧或者两侧延伸的区域，口语化称为长尾。具备这样特征的分布曲线包括幂律分布和帕累托分布等等，例如正太分布的两翼延伸部分也属于长尾。

作为一个经济学概念，由“连线”杂志主编克里斯在“长尾”一文中最早提出。长尾作为一种形象化的表发方式，描绘了过去商业模式所忽视的群体，包括在对经济现象中广泛存在、不为重视或者难以整合的群体客户及其需求。克里斯用长尾来描述诸如亚马逊和 Netflix 之类网站如何通过商业平台对客户的汇集，如何通过平台上数据整合和挖掘满足这类传统商业模式所忽略的群体及其需求。谷歌作为一个最典型的“长尾”公司，其主要商业模式就是把广告商和出版商的“长尾”进行了商业化。谷歌让数以千万计的小企业和个人在其站点投放广告，这是一个巨大的长尾市场，无数的小生意集合在一起就是一个不可限量的大市场。

对这些无数小生意或者无数个体贡献的效用进行测度，就用到本文提出的分布效用

积分分析法。这也是通过分布分析法分析经济现象和商业模式的意义所在，可以预见会成为现代经济发展所必需要使用的分析手段[10]。

与传统的边际效用分析方法相比，分布效用分析方法在数学工具上从过去的连续函数的微分方法转变为空间分布的积分方法，分析问题的重点从单位产量变化对产出的影响，变成了数字产品的离散分布对企业整体累积利润或个人单位效用的影响。

分布积分分析法针对产品的可能性分布，使用积分的方法对其效益进行测算；根据积分后的效益，再对产品的投入进行分析。其主要出发点在于：元宇宙数字产品再生产的成本为零，传统的边际成本分析方法就不再有效；元宇宙市场效益需要累积，客户的范围，具有离散化、跨界化的特点。计算这些区域所代表的效益的方法，则对应于概率分布与区域积分等数学工具[11][13]。

如果说，基于微分思想的边际分析已经成为物质产品分析的主流分析手段，那么有理由相信基于积分思想的分布分析法，将逐步成为数字经济时代，特别是元宇宙中研究投入产出与效用分析的主流分析手段。

本章内容由张艺伟、徐晋起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 徐晋. 后古典经济学原理. 中国人民大学出版社，2015.

[2] 徐晋. 大数据平台. 上海交通大学出版社，2014.

[3] 徐晋. 大数据经济学. 上海交通大学出版社，2014.

[4] 徐晋. 平台经济学. 第二版，上海交通大学出版社，第 2 版，2013.

[5] 徐晋. 平台竞争战略. 上海交通大学出版社，第 1 版，2013.

[6] 徐晋. 平台经济学案例分析. 上海交通大学出版社，2012.

[7] 徐晋. 虚拟货币与虚拟银行学. 上海交通大学出版社，2008.

[8] 徐晋，梁米亚，论经济结构的数学基础与建构主义趋势[J]吉林大学社会科学学报 ,2019,59(05).

[9] 徐晋. 宏观制度经济学论纲[J]. 产经评论,2018,9(02):5-20.

[10] 徐晋. 离散主义理论方法应用[J]学术月刊，2018. 3.

[11] 徐晋.宏观制度经济学导论——泛函原型、量化理性与分布效用分析[J].中国矿业大学学报(社会科学版),2018,20(01):51-83.

[12] 徐晋.稀缺二元性与制度价值论：后古典经济学范式基础,《当代经济科学.2016（12）.

[13] 徐晋.离散主义与后古典经济学，当代经济科学.2014（2）.

第八篇：人才篇

元宇宙是人工智能、大数据、区块链、5G、云计算、物联网、数字孪生等技术达到一个奇点的产物，而这些领域都有非常迫切的人才需求。

本篇主要讲述元宇宙的主要人才分布，元宇宙各技术范畴的人才诉求，未来元宇宙可能带来的人才变革，普通人在元宇宙这个赛道的机遇与挑战等，为国家和各级地方政府制定元宇宙相关的人才政策提供决策依据。

第 24 章 元宇宙人才战略

24.1 元宇宙顶级人才分布

24.1.1 顶级学者

一般而言，某个领域的专家往往需要从业或专注研究时间数年以上，且在业内或学术界取得一定成绩、或享有一定声望后才可被称为“专家”。目前，元宇宙还处在襁褓阶段，学术界对于产业发展进程的把控虽然严谨，但面对飞速发展的科技水平，以及复杂的国际竞争（含政治因素）时，尚无法得出较为精准的推论。

以目前元宇宙领域的从业者眼光来看，与高端芯片业、网络通讯、光学追踪、显示器面板、游戏设计、社区运营甚至心理学等领域有关的学者，在未来均有机会成为元宇宙领域的顶级专家。在此基础上，现有或将来从事元宇宙领域学术研究的人才也必将从上述几个行业中吸取营养，综合考量，进而成为该领域的顶级学者。

24.1.2 顶级企业家

目前，全球已宣布进入元宇宙赛道的企业为数众多，这其中也包括了众多原领域中的龙头企业。在未来，这几家巨头的举措和布局将在很大程度上影响全球元宇宙领域的发展进程。作为行业的领导者，以下几位知名创始人和管理者可以被称为顶级企业家：

（1）马克•扎克伯格（Meta）

毫无疑问，他创办并管理至今的 Facebook 至今仍是全球互联网社交的龙头厂商。一直以来，扎克伯格对于用户心理的揣摩与把控是业内顶尖水准，其在原领域中的成绩绝非偶然。作为一名犹太裔 80 后企业家，扎克伯格对于公司的管理能力也丝毫不逊于全球老一辈企业领导者，而作为年轻人，他对于互联网的发展更有着高度敏感性，以及果断而迅速的执行力。

2021 年 10 月 29 日，Facebook 正式更名为 Meta。公司创始人兼 CEO 扎克伯格也公开宣布：公司将在五年内彻底转型为元宇宙平台。如果说 2021 年是元宇宙的元年，那打响第一枪的毫无疑问是 Meta，而做出这个重要决定的正是扎克伯格本人。

在硬件基础方面，扎克伯格领导下的 Oculus 在推出 Rift/Rifts、Quest/Quest2 等成功产品后，已在全球 VR 头显领域占据了最大份额，这就在很大程度上为期推广和运

营其元宇宙平台奠定了良好的硬件基础。在此基础上，再辅以公司过往对互联网社区的运营能力、对互联网用户的把控能力，Meta 将毫无疑问地成为元宇宙赛道的种子选手，而扎克伯格也将成为元宇宙领域的顶级企业家。

（2）黄仁勋（Nvidia）

作为全球显卡芯片业的绝对霸主，Nvidia 自上世纪 90 年代末就已成为行业里的明星企业。在独立显卡市场，Nvidia 在 2021 年 Q3 的全球出货量中占据了 83%，是当仁不让的龙头企业，而作为企业创始人兼 CEO，黄仁勋自始至终都主导了公司的所有研发和销售策略，他无论在行业内，还是广大 C 端用户群体中，都拥有极高的声望和影响力。

今年 8 月，英伟达首席执行官黄仁勋的一段“虚拟人”视频在各大社交平台刷了屏。原因在于，在一次公开演讲中，黄仁勋用了 14 秒的“虚拟人”替身，但由于“虚拟人”太过逼真，所以无人察觉。

而这段视频也带火了英伟达的一个基础设施平台 Omniverse，据悉，该基础设施平台是用于创造虚拟空间的软件平台，它集合了语音 AI、计算机视觉、自然语言理解、推荐引擎和模拟技术方面的技术，而上文大火的“虚拟人”就是它的作品之一。

在业内看来，Omniverse 堪称 NVIDIA 诞生至今 20 多年的软硬件技术集萃，能为元宇宙的实现提供最底层的技术支持。对此，黄仁勋本人也毫不否认，他在接受 CNN 旗下财经节目《Mad Money》采访时也公开表示：

“我们之前浪费了太多来弥补我们不能模拟的事实，NVIDIA 想做的是在元宇宙中模拟所有的工厂，在 Omniverse 这一平台，可以模拟植物，可以模拟电网，模拟许多”。

综上所述，Nvidia 在未来的元宇宙领域中，仍将扮演不可或缺的角色，其打造的工程师元宇宙也会成为一个巨大的发动引擎，而负责制定一切运行标准的不是别人，正是黄仁勋。

（3）库克（Apple）

作为全球市值最大公司的掌门人，库克其实一直在避谈元宇宙，转而强调 AR 的前景和重要性。不过，就在知名苹果预测专家郭明錤的最新报告中，我们看到苹果也将在 2022 年推出自己的 VR 头显产品，其迈向元宇宙领域的可能性也无限增大。

一直以来，苹果对其产品生态圈的把控堪称业内顶级，而在 M 系列自研芯片推出后，开发者的作品仅需简单适配即可登录平台旗下的所有硬件平台，这对于旨在彻底融入用

户生活的元宇宙概念而言，无疑是巨大且独一无二的优势，而库克对于产业链和成本的把控能力之强，也将在很大程度上决定这家巨头在未来战场中的优势地位。

24.1.3 顶级实验室

在目前及未来相当长的一段时间里，各领域尤其是互联网行业的巨头会在很大程度上推动元宇宙的发展，其各自旗下的专业实验室在这个过程里会扮演极为重要的角色。

目前，在所有宣布进入元宇宙领域的厂商中，来自 Meta（Facebook）的 Facebook Reality Labs（中文译名为现实实验室）在业内享有极高的声誉，目前已在虚拟现实相关领域作出了巨大贡献，它在 Met 提供强劲技术支持的同时，也间接引领了全世界的元宇宙开发方向与进程。

2020 年 9 月，前 Oculus 公司首席科学家迈克尔·阿伯里(Michael Abrash)宣布，Oculus 的研发部门正被更名为“Facebook 现实实验室”。此前，Michael Abrash 最初在 2016 年的 Oculus Connect 大会上对未来五年的发展进行了大胆的预测，刻画了 AR/VR 在未来 5 年内的特定方向发展，包括 VR 头显的当前每度像素数量、单眼分辨率以及视场拓宽，亚伯拉什当时还指出，当前的固定焦点深度将在 5 年内发展成可变焦点深度。

24.1.4 投资人与创业者

元宇宙各项关键技术刚刚兴起，整个产业链还处在高速发展的不稳定阶段，且大量核心技术、元器件、产品还不成熟，远未定型；而元宇宙创业，又无法脱离整个产业链和生态，这就意味着对于元宇宙的创业及投资，既不同于对互联网、移动互联网等基于成熟产业链和生态环境商业模式创新的创业与投资；也不同于对于半导体、新能源等基于成熟商业模式的技术和产品创新的创业与投资。

在元宇宙领域，在商业模式创新，和行业应用创新领域，对创业者和投资人的要求，如同一体两面，相辅相成。对于这两者，首先都要求能够对整个产业链的能力，包括元器件、系统软硬件的产能、良品率和关键性能等指标，了然于胸，才能避免在做出商业模式创新，或者行业应用创新时，忽略了硬件能力限制，以至于失败；其次还要求能够准确预见未来 1-3 年的产业基础创新进展，从而规划自身的产品或者拟投资对象的战略发展路径，避免创新所依托的关键技术、产品被更高级的替代品所颠覆，导致整个创新失去基础而荡然无存。

对于行业应用创新(ToB 为主)，需要创业者在深度理解和运用元宇宙相关技术之上，还对所落地的传统行业具有深刻的认知和广泛而深入的人际关系连接，唯有如此，才能

快人一步，预先精准找到元宇宙技术落地的关键需求点，并给出可行的解决方案，同时将解决方案变成潜在客户的明确商务需求，最终成功签约落地。而投资人则需要建立广泛的人际网络以捕捉到相关创业者和创业项目信息，更需要相关传统行业人际网络，以找到专家来对相关项目可行性、价值进行评估，同时需要具备超出行业局限的判断力，因为往往专家对于新技术的判断，存在天然的局限性，既需要充分理解和尊重其意见，但是又不能泥古不化。最终综合判断，评估该创业项目当前的生命力，特别是未来的发展潜力。

对于商业模式创新（ToC 为主），需要创业者具备穿越时空的想象力和创造力，能够规划出前所未有的全新应用，并且还能充分利用好当前不完美的软硬件条件。对于投资人，则需要判断出应用是否具备风靡一时的基础，以及创业者是否具备足够的格局和能力，在一流赛道上最终胜出。

在元宇宙领域里还有另外一类创新，就是基础元器件、基础引擎和软件、以及终端硬件，这一类创业和投资，与前述情况又不尽相同。

对于基础元器件的创业者，必须具备坚实的理论和应用基础，具备长期的产业实践经历，而且创业团队中需要有长于量产的成员，还必须掌握核心技术和关键工艺。而投资人就需要具备判断能力，确保能够精准识别判断该团队能否真正完成从技术创新到量产的全部道路。

对于基础引擎和软件，首先需要创业者选择具备高技术门槛的赛道，并且自身具有迈过该技术门槛的实力，因为低技术门槛赛道很容易引来红海竞争，并且在大厂面前毫无抵抗能力。其次需要创业者能够选对具有海量需求且付费意愿和能力高涨的赛道，才能带来足够的商业价值。而投资人则需要具备找到此类创业者的能力，以及判断创业者技术水准和赛道未来方向的能力。

对于终端硬件，因为元宇宙是一个复杂的系统，基本上终端硬件创业者无能力自产元器件和基础引擎软件，需要使用第三方产品，所以终端硬件创业者在这方面站在同一起跑线上，比拼的更多是设计能力，供应链整合能力和销售能力，在这方面，大厂具有天然优势，然而大厂往往谋定而后动，所以创业者还是具有领跑机会，关键在于选择合理的时机入场，从而保证在产品恰好成型的时间能够迎来产业爆发，未来有机会被大厂并购。而对于投资人则需要精准的判断创业者的能力，特别是该项目的时间周期，能否与产业整体发展过程中，大厂入局时间相吻合。

经过对近年来，国内 VR/AR 领域已经公开披露的 842 次融资事件的统计，可获得不

同投资机构实际投资频率、阶段和赛道投资倾向相关数据。（数据来源：IT 桔子，受数据源所限，可能有部分融资事件未被统计）

下表为近年来在 VR/AR 领域累计投资超过 5 次的投资机构投资频率（从高到低排列）。

其中左侧为近年所有年份投资机构投资频率，右侧为 2020-2021 两年中，投资机构投资频率。

从下表可见，最近两年投资机构对 VR/AR 的投资偏好有所转变，部分在 2015-2016 年度间频繁出手的投资机构，在 2020-2021 年相对比较沉寂，也有部分投资机构，如小米、联想创投，持续保持了对 VR/AR 领域的投资热度。

表 24-1：元宇宙赛道主要投资机构

近 2 年来投资情况			近年来全部投资情况	
排名	投资机构	投资次数	投资机构	投资次数
1	小米集团	6	松禾资本	19
2	联想创投	4	高通	14
3	清控银杏创投	4	真格基金	14
4	基石资本	4	和君资本	13
5	中金资本	4	朗玛峰创投	12
6	高通	3	小米集团	12
7	中科创星	3	IDG 资本	12
8	阿里巴巴	3	宏达电 HTC	12
9	腾讯投资	3	联想创投	11
10	华登国际	3	顺为资本	10
11	建银国际	3	泰有投资	9
12	碧桂园创投	3	北极光创投	9
13	招银国际	3	九合创投	9
14	真格基金	2	源星资本	8
15	北极光创投	2	暴风科技	8
16	晨晖创投	2	晨晖创投	7
17	东方富海	2	赛富基金	7
18	启明创投	2	老鹰基金	7
19	峰瑞资本	2	经纬中国	7
20	BAI 资本	2	东方富海	7
21	创东方投资	2	清控银杏创投	7
22	元璟资本	2	启明创投	7
23	红杉资本中国	2	中科创星	7
24	深创投	2	奥飞娱乐	7
25	启迪之星	2	峰瑞资本	7

26	昆仲资本	2
27	中电中金基金	2
28	哈勃投资(华为旗下)	2
29	愉悦资本	2
30	网易	2
31	火山石资本	2
32	梅花创投	2
33	欣旺达	2
34	招商局资本	2
35	源码资本	2
36	字节跳动	2
37	鸿泰国微基金	2
38	中信证券	2
39	临港智兆	2
40	中信产业基金 CPE	2
41	亦庄国投	2
42	宏达电 HTC	1
43	顺为资本	1
44	九合创投	1
45	源星资本	1
46	老鹰基金	1
47	创世伙伴资本	1
48	清科创投	1
49	蓝驰创投	1
50	君联资本	1

京东	6
和壹资本	6
洪泰基金	6
优格资本	6
英诺天使基金	6
达晨财智	6
阿里巴巴	6
UCCVR	6
腾讯投资	6
华创资本	5
创世伙伴资本	5
盛景网联(盛景嘉成)	5
清科创投	5
仁智资本	5
盟云移软	5
蓝驰创投	5
君联资本	5
同创伟业	5
BAI 资本	5
创东方投资	5
PreAngel	5
水木资本	5
联创永宣	5
科大讯飞	5
华登国际	4

24.2 元宇宙发展人才需求分析

元宇宙作为全新的行业领域，潜藏着诸多新机遇，为人才需求和建设带来了新的机遇与挑战。

目前元宇宙人才需求有四大类，第一是基础设施类，需要软件领域熟悉云计算、高并发等技术特征的人才；第二是硬件交互类，主要集中在 VR、AR、MR、全息影像技术、脑机交互技术、体感传感技术等专业领域人才；第三是技术应用类，包括虚拟平台、电子游戏技术、人工智能技术、区块链技术等来监管和维护元宇宙的运转体系等相关人才，确保元宇宙持续稳定、符合标准、高效健康运转；第四是协同构建类，包括法律、金融、支付方式、内容、服务等共同构建和维持元宇宙的社会形态完整稳定。

此外，从行业发展来看，未来必然需要更加多元的人才。在元宇宙真正形成一定规模后，才能更好地促进行业生态建立。

24.2.1 多元人才供给的重要性与紧迫性

就元宇宙领域而言，未来一定会经历这三个时期：起步阶段、高速增长阶段、高质量发展阶段。在这个过程里，多元人才的培养和引进是具有决定性意义的。伴随着国际国内元宇宙领域的加速变化，加快多元人才领域基础工作建设的重要性和紧迫性全面上升。

在全球兴起元宇宙概念的背景下，各领域巨头企业的竞争也已提前打响，这对于我国高速发展的互联网行业来说，是一个巨大且前所未有的挑战，因为元宇宙的存在会对所有用户的生活造成巨大的冲击和影响，我国急需多元化人才来应对机遇和风险。

总的看，在元宇宙发展的各个阶段里，多元人才供给是破解多方面发展矛盾、实现多方面发展目标的关键一招。

24.2.2 元宇宙人才领域来源及该领域人才发展概况

（1）网络基础设施

网络基础设施是实现元宇宙最底层的基础设施。正像公路系统由国道、城市干道、辅道共同组成的一样，元宇宙所需的网络也是由骨干网、城域网、局域网这样层层搭建才使得任何一台联网的虚拟现实设备能够随时连入元宇宙世界。

目前，我国多数高校普遍已开设网络工程专业，专门为网络领域人才市场供不应求的迫切需要而设置的专业。培养的人才具有扎实的自然科学基础、较好的人文社会科学基础和外语综合能力；能系统地掌握计算机网和通信网技术领域的基本理论、基本知识；掌握各类网络系统的组网、规划、设计、评价的理论、方法与技术；获得计算机软硬件和网络与通信系统的设计、开发及应用方面良好的工程实践训练，应获得较大型网络工程开发的初步训练。

在未来，元宇宙网络基础建设所需的人才仍将来自网络工程专业。目前，我国共有168 所开设计算机科学与技术学科，其中学科排名前十的学校有北京大学、清华大学、浙江大学、国防科技大学、北京航空航天大学、北京邮电大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学、南京大学、华中科技大学。

排名	学校名称	评估结果
1	北京大学	A+
2	清华大学	A+
3	浙江大学	A+
4	国防科技大学	A+
5	北京航空航天大学	A
6	北京邮电大学	A
7	哈尔滨工业大学	A
8	上海交通大学	A
9	南京大学	A
10	华中科技大学	A

图 24- 1：网络工程排名前十的学校

（2）芯片

对当今科技产业，芯片的重要性正像是第一、二次工业革命中的蒸汽机、内燃机，或是更甚。无论是人们常用的手机、电脑，还是企业应用的数据中心、工业机器人，都离不开芯片的支撑。在未来，当大多数人徜徉在元宇宙的精彩世界时，芯片的重要性则变得更加重要。

从芯片产业链的整个上下游来看，该领域基本上分为芯片设计、制造、封测和应用四个环节，人才需求主要分为芯片设计类、芯片制造类、芯片应用类。其中，芯片设计专业堪称该领域的重中之重。

目前，我国学子如果要进入芯片设计专业，就需要学习集成电路设计与集成系统专业，目前国内尚未推出该专业的学科排名，但长期以来在业内和民间普遍认为电子科技大学、清华大学、北京大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、中国科学技术大学、浙江大学、复旦大学、华中科技大学和上海交通大学是该领域的尖子学校。

（3）可穿戴设备

在元宇宙世界里，可穿戴设备具有极大的重要意义，它能给用户带来更加完美和真实的体验，例如能够感应外界刺激的手套、服装，能够根据电子信号释放气味的味觉模拟器等，甚至游玩元宇宙所需的 VR 头显本身也可算作穿戴设备的一种。

从专业角度上说，可穿戴设备领域分为软硬件两大领域。在硬件层面，相关人才在大学期间主要会学习电子相关专业，包括电子信息、微电子、自动化、计算机、精密仪

器方向。这其中，数字电路、模拟电路、嵌入式系统、工业设计等课程最为重要。软件层面，则归属为传统的计算机和软件工程专业。如果是软件的话，那就是计算机、软件工程方向。

目前，我国高校对于相关专业的设置已相当完善，而国防科技大大学、清华大学、北京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、北京航空航天大学、电子科技大学、上海交通大学、华中科技大学、南京大学在相关专业的教学质量与研发实力均处在国内领先地位。

（4）网络及运算技术

根据工信部新闻发言人在 2020 年工业和信息化发展情况发布会上的发言，2020 年 5G 建设加速，全年新开通 5G 基站超 60 万个。当前 5G 渗透率仍处于快速提升阶段，根据工信部《5G 应用“扬帆”行动计划》，预计 2023 年 5G 个人用户普及率目标超过 40%，用户数超过 5.6 亿人， 5G 网络接入流量占比超 50%。随着 5G 渗透率的不断提升，网络传输速率和质量有望得到进一步提升，相关技术领域人才将为更多的企业级和消费级次世代应用创新实现落地。

（5）交互技术

软硬件交互技术在元宇宙世界里能直接左右用户的沉浸感，而沉浸感又能直接决定一家元宇宙企业成功与否。具体来说，交互设计涉及到的领域包括：心理学、工业设计、人因、 用户界面设计、媒体装置、情境设计、交互环境等众多方面，它是不同于传统设计专业的一门涉及到多个领域和学科的专业。

据腾讯 2020 年 CDC 报告显示，我国交互设计的从业者当中，5 年以上工作经验的占 26.7%。换句话说，有 73.3%的人工作年限再 5 年以下。这仍然是一个年轻的职业方向。同时，从这个调查中也发现，互联网的各个设计方向，从业者整体都比较年轻。而整个互联网以及元宇宙的发展长期来看还需要大量人才。

（6）人工智能

如今，人工智能堪称科技革命的制高点，它以智能化的方式广泛联结各领域知识与技术能力，释放科技革命和产业变革积蓄的巨大能量。在元宇宙的世界里，人工智能也将出演重要角色，为元宇宙赋予智能的“大脑”以及创新的内容。

在未来，元宇宙边界会不断扩展，并满足不断扩张的内容需求。在这个过程里，整

个产业都需要通过人工智能辅助内容生产。只有凭借人工智能赋能下的 AI 辅助内容生产和完全 AI 内容生产，才能够满足元宇宙不断扩张的内容需求。

在业内人士看来，中国在人工智能方面有四个优势：一是政策优势。党中央、国务院特别重视人工智能，科技部、发改委等都有相关规划，各个地方也都有一系列配套；二是数据优势，不管是互联网数据，旅游数据，还是医疗数据，中国都是全世界规模最大的；三是应用场景优势。中国是发展中国家，人工智能应用场景比任何一个地方都丰富；第四个优势是青年人多。

与此同时，我国在人工智能方面也有四个弱势或短板。如基础理论和原创算法，短板。由于起步较晚。前些年科研评估体系使得大家都追热风，很难在一件事上做二三十年、三四十年，坐冷板凳能坐住的人比较少，所以基础理论方面还是有比较大的差距，相关人才的涌现也显得比较稀少。

（7）物联网技术

物联网技术是元宇宙领域中十分重要的一环，它本质上是真实宇宙与虚拟“元宇宙”的链接，是提升用户沉浸感体验的关键部分之一。当前，元宇宙仍处在襁褓阶段，它的到来还有赖于各种技术的不断发展完善，但物联网技术的进步已经深切的影响着社会大众每个人的生活，在智能家居、智能楼宇、智慧城市、智慧农业、智慧车辆等应用领域。

目前，我国众多高校均已设置物联网专业，并将其设定为学科高度交叉与融合的专业，学习内容涉及信息与通信工程、电子科学与技术、计算机科学与技术。

主要专业课程包括程序设计基础（C 语言）、Linux 操作系统、数据结构、计算机网络、数据库系统与应用、面向对象程序设计(Java)、电子电路基础、数字电子技术、智能硬件、物联网感知技术、物联网通信技术、大数据分析及可视化、物联网安全等。

通信电子基础：电路分析基础、模拟电子电路、数字电路、通信电子电路、单片机原理及应用、通信电子电路、信号与系统、信息论与编码、数字通信原理、信息识别与系统设计实践等来掌握物联网的关键技术。

从学校来看，目前物联网专业知名度较高的大学有电子科技大学、东北大学、江南大学、武汉大学、北京理工大学、南京航空航天大学等。

（8）VR/AR

毫无疑问，VR/AR 是实现元宇宙的基础，只有在虚拟技术达到接近完美的状态下，

元宇宙才有高速普及和发展的机遇。2018 年 9 月，教育部将“虚拟现实应用技术”专业列入《普通高等学校高等职业教育（专科）专业目录》，自 2019 年起执行，归属于电子信息大类，专业类为计算机类。2021 年改为“虚拟现实技术应用”专业。

2020 年 2 月 21 日，《教育部关于公布 2019 年度普通高等学校本科专业备案和审批结果的通知》（教高函〔2020〕2 号），公布“2019 年度普通高等学校本科专业备案和审批结果”的“新增审批本科专业名单”有新专业“虚拟现实技术专业”。

当前我国虚拟现实技术人才相当短缺，现有的技术人员主要从游戏、动漫、3D 仿真、模型等行业转型而来，与行业结合的复合型高级人才储备明显不足，无法有效满足产业快速发展的需要。另据普华永道会计师事务所于 2019 年 11 月发布的报告“Seeing is believing（眼见为实）”显示，至 2030 年，我国对 VR/AR 人才的岗位需求将达到 682.26 万个。

(9) 3D 引擎

就目前而言，互联网和科技业大厂描述的元宇宙都充满了科技感和未来感，同时也带着满满的“3D”元素，3D 仿真、3D 场景、3D 虚拟现实等，而开发这些仿真效果就需要 3D 引擎和相关人才。目前，全球普遍使用的的 3D 引擎主要以美国厂商 Epic 开发的虚幻（Unreal）引擎和 Unity 公司开发的 Unity 引擎为主，我国自主开发的 3D 引擎尚处在发展阶段，应用领域普遍仅限于开发公司内部，尚未有大面积推广的成功案例。

从人才来源方面说，目前我国 3D 引擎方面的人才多来自高校计算机相关专业，并在实践与工作过程里逐渐掌握 DirectX 和 OpenGL 等相关底层技术，再通过系统学习 Unreal 和 Unity 等成熟引擎，从而具备相关的开发与设计能力。但就设计 3D 引擎本身而言，我国尚处在发展阶段，相关人才较为缺乏。

(10) 云计算

在业内人士看来，元宇宙必须要建立在先进的数字基础设施之上，其“沉浸感”、“低延时”、“随地”特性不仅对 VR/AR 硬件技术和网络传输系统提出了很高的要求，还取决于高性能的云边计算能力和流媒体技术。

作为一个全新的事物，元宇宙的成长和发展需要规模巨大的计算和存储能力支撑。更加真实、更加完整的体验也意味着海量的数据生产。现实世界的计算能力和存储能力直接决定了元宇宙的规模和完整度。可以看出，没有强大的云计算和大数据能力，就难

以在这场元宇宙争夺战中占领先机。

目前，中国是云计算市场增长最快的国家，其中阿里云、腾讯云和华为云位列国内市场前三。阿里云依靠电商业务的成长赢得国内众多企业的认可，占据国内市场近四成的份额，是全球云计算第三大公司。腾讯云虽然 2010 年才成立，但是借助腾讯庞大的投资生态和游戏生态迅速进入全球十大云计算公司之列。华为云则是发力政务云市场，依靠国内政务云市场 32%的份额位列该市场第一。

虽然目前云计算的发展速度比较快，但是由于云计算与大数据在技术体系结构上具有较多的重合（都是以分布式存储和分布式计算为基础），所以不少高校会选择开设大数据专业，单独设立云计算专业的高校并不算多，相关人才的涌现较为稀缺，多数优秀者主要来源为大数据公司和计算机专业毕业生。

（11）大数据

当前，“数据”这一生产要素正改变着各个行业的生产模式和商业模式，帮助企业进行数字化创新，帮助传统产业转型升级。而在未来的在元宇宙领域中，大数据也同样必不可少。

作为全球首颗量子卫星“墨子号”发射总指挥，王建宇曾公开表示：元宇宙同当年的光通讯等概念一样，是一种新的技术理念。但究其本质，元宇宙还是大数据的应用，目前的实际功能仍非常有限。

目前，我国已开设大数据相关专业的高校主要是：北京航空航天大学、清华大学数据科学研究院、复旦大学、外经济贸易大学、武汉大学、华南理工大学。

（12）区块链

区块链对元宇宙最大的作用就是使事物在真实物理世界和虚拟世界之间进行等值的相互映射、相互转换。整个进程是先从实到虚，再从虚入实，最后就是实就是虚，虚就是实，两者达到统一，无缝链接。

区块链作为一个新生事物，涉及到了密码学、计算机科学、网络通信、金融货币、经济模型、社会治理，甚至哲学等诸多内容。即使在纯技术层面，区块链也表现出了不同于传统本科计算机专业教学的一些独有内容。

成都信息工程大学开设的区块链专业，综合了几个院系的力量，花费了极大的时间精力，表现出了极大的诚意。课程设置内容多，覆盖广。但总体来看，这个区块链本科

专业综合程度还略显不足，区块链涉及到的经济理论、货币金融知识、法律法规要求、世界各国政策等内容涉及偏少。

从区块链行业的发展趋势和发展程度来看，区块链更适合在研究生甚至博士层面开展相应的教育和研究。如果在本科层面开设区块链专业，必然要对现有的计算机学科相关课程做大幅删减，这样才有可能在固定的总教育时间范围内，使人才培养目标更加精准，更加针对性，也会更加有特色。

24.3 元宇宙应用为人才带来的影响与变革

24.3.1 全面激发信息技术产业新一轮发展

历史时代变革发展的驱动因素可以归纳为两个部分：人类需求端和技术供给端。元宇宙是集合多层次用户需求、多项技术发展贡献的时代发展必然产物，是下一代沉浸式互联网交互形式的革命，打破现有生产生活方式，开辟新时代的钥匙。

随时代发展和疫情的催化，人们愈发重视精神娱乐消费，人们更深层次地期待全新的娱乐方式和社交体验，元宇宙能为人们提供虚拟听觉、视觉、触觉等新型娱乐方式，并满足用户的对虚拟世界的探求渴望，同时提供社交方式。

目前元宇宙发展正处于早期，《国家信息化发展战略纲要》等信息产业政策不断完善和大力支持，使得技术条件日益成熟，如 5G 基站的领先部署、云计算、区块链和 VRAR 等技术日新月异的发展，为推动元宇宙底层基础设施打下坚实基础。

元宇宙相关应用如 VR 游戏、云游戏、NFT、数字工厂等，都暂时停留在对元宇宙相关技术的浅层应用阶段，未将元宇宙应用融入产业的基础建设。元宇宙技术的发展和应用正在不断扩大，综合集成现有信息技术、交互设备、基础设施等领域，元宇宙技术的研发，产生高端人才和复合人才的新需求；元宇宙技术应用对产业的变革发展，产生新职业和新岗位。元宇宙将改变各行各业发展模式，推动产品创新，改变人才培养模式，建立就业市场新布局。元宇宙将全面激发信息技术产业新一轮发展，实现软件硬件技术产品创新创造。

24.3.2 沉浸式科技化升级现有产业业态

元宇宙是一个具备强沉浸感、强社交性、极致开放、持续的、大规模的综合系统，其系统架构可分为：

- 基础设施层（5G、云计算、边缘计算等保障交互的流畅性和低延迟，支撑大规

模用户同时在线交互）；

- 硬件交互层（VR、AR、MR、全息影像技术、脑机交互技术、体感传感技术等）；
- 技术应用层（虚拟平台、电子游戏技术、人工智能技术、区块链技术等来监管和维护元宇宙的运转体系，确保元宇宙持续稳定、符合标准、高效健康运转）；
- 协同构建层（法律、金融、支付方式、内容、服务等共同构建和维持元宇宙的社会形态完整稳定）。

清华大学新媒体研究中心发布的《2020—2021 年元宇宙发展研究报告》中提到，元宇宙是基于扩展现实技术提供沉浸式体验，基于数字孪生技术生成现实世界的镜像，基于区块链技术搭建经济体系。元宇宙是由不同类型建设者和多元化人才，共同构建的平行于现实世界的虚拟在线数字生态，多种信息技术则是其根基，沉浸式体验升级是其形态。随着技术的进一步发展，更多先进技术与创新应用也将逐步纳入元宇宙的组建中来。

通过强化元宇宙和产业链的深度融合，以及技术供给和市场需求的循环推进，加速渗透设计、生产、管理和营销等核心环节，创新优化产业组织结构和运营方式，深度激发资本投资活力。

基于各类元宇宙的基础支撑设施、交互设备和技术应用的成熟，各具特色的生态系统日益完善，带动新产品、新内容、新服务迅速发展，形成持续引领和激发市场需求的新引擎。持续引领产业向价值链高端迈进。

从生产方式的数字虚拟化改造，到生活水平的数字虚拟化提升，再到社会治理的数字虚拟化升级，元宇宙大量新兴应用场景持续培育形成。稳定迅速的数据传输，快速丰富的数据储备，丰富多彩的虚拟内容，创新的服务体验，完善安全的经济体系以及即将落地的商业价值等，实现产业高质量资源利用率及共享度，持续引领产业业态升级。

24.3 为技术创新和科学研究提供重要平台支撑

元宇宙的发展为各领域技术攻关、科学研究、前瞻探索提供了新的仿真试验平台，推动科技研究仿真模拟实验从软件仿真向人机高度融合、环境更为逼真的虚拟空间仿真转变，将对装备制造、航空航天、生物医学、新材料、新能源等领域技术攻关，以及生命、物质、地球、海洋、宇宙等领域深度探索研究产生深远影响。

24.4 元宇宙对现有工作岗位的冲击与机遇

24.4.1 元宇宙对现有工作岗位的冲击

元宇宙产业和技术的发展，对现有工作岗位和人才都将产生巨大的影响。

互联网方面：在线办公平台和一些数字化服务公司，通过低代码方案，为企业提供快捷、低成本的数字服务，节省了企业配备 web 开发人员的需求开支；人工智能通过语音识别、自然语言处理等技术，将在线会议过程中的语音同声翻译，实时文字记录，去除了需要专门翻译人员的苦恼；计算机视觉、智能驾驶技术发展使自动驾驶越来越成熟。对网约车从业人员产生替代性影响。截至 2021 年 6 月，全国共有 236 家公司取得网约车平台经营许可，各地共发放网约车驾驶员证 349.3 万本，车辆运输证 132.7 万本。

2019 年蚂蚁金服的“智能客服”业务覆盖蚂蚁金服旗下 420 多款产品，涉及多个行业领域。截至 2018 年中，自助服务总服务量日均 484 万，服务用户数超过 3 亿；相较于 2015 年，人力投入下降了 50%，但满意度达到 80%；人工服务接通率 99%，智能自助服务占比达到 97%，主动服务日均触达用户超过 100 万。

房产中介逐渐升级数字服务，建立线上交易流程。贝壳（BEKE.US）财报，截至 9 月 30 日，贝壳中介代理人（agents）的总数为 51.55 万人，相较二季度的 54.86 万人减少了约 3.31 万人。一部分原因是房产行业经济下行，另一部分原因来自于线上流程对传统带看房业务的冲击。

指标	2020年	2019年	2018年	2017年	2016年	2015年	2014年
就业人员(万人)	75064	75447	75782	76058	76245	76320	76349
第一产业就业人员(万人)	17715	18652	19515	20295	20908	21418	22372
第二产业就业人员(万人)	21543	21234	21356	21762	22295	22644	23057
第三产业就业人员(万人)	35806	35561	34911	34001	33042	32258	30920

图 24- 2：线上流程对传统带看房业务的冲击

数字服务的不断升级也将对工业产业岗位产生冲击：工业机器人在工厂生产中的大量采用，逐渐的替代传统工厂手工制造岗位。船舶行业通过研发履带式机器人、轮式机器人等系列产品，提供整套除锈方案，解决除锈工人稀缺的难题。一些 CAD（计算机辅助设计）、EDA（电子设计自动化），对传统设计岗位的冲击。采矿行业应用 5G 技术实现了对掘进机、挖煤机、液压支架等综采设备的实时远程操控，实现了对爆破全过程的高清监测与控制，解决了传统人工作业操作危险系数大、劳动强度高的问题，而另一方面

也将逐渐替代人工采煤。电力行业应用一是进行无人智能巡检，改善工人工作环境。实现无人机巡检数据安全、解决了传统输变线路巡检耗时长、耗人多、工作环境恶劣的问题，势必逐渐替代人工巡检岗位。

可见数字化发展未来必将替代更多的传统人力岗位，对传统一、二产业从业人员产生冲击。

24.4.2 元宇宙带来的新机遇

2021 年 12 月 8 日上午 9 点 03 分，国家邮政局快递大数据平台上的实时监测数据闪烁定格至“100000000000”。这是今年第 1000 亿件包裹。这一刻，我国快递行业件量正式步入千亿时代。

我国快递行业的大踏步发展，离不开数字电商的发展。而未来元宇宙在线购物体验会更加丰富多彩，人们在线购买欲望持续激发。而快递行业正是将元宇宙虚拟购物环节与现实世界串联的纽带，因此将产生大量的快递人力岗位和无人送达业务。

在接下来的 5-10 年，基于元宇宙的数字孪生技术、在线办公、虚拟社交、具身游戏、数字旅游、仿生机器人等上下游产业都将升级发展。由此会产生巨大的人才需求，如：游戏设计师、游戏开发师、电竞从业者、云端开发工程师、数字建模师、社区维护人员、ugc 内容创作者。大量企业基于元宇宙构建自己的企业社区，企业产品和企业生产、办公等信息，通过数字孪生模式构建生成。云服务企业或致力于提供数字建模业务的公司，为各企业赋能元宇宙服务。

一方面是各新兴行业和技术的发展要求大量岗位和人才，而另一方面却是相关领域人才的极度缺乏。

据统计，20 年 9 月中国互联网仅营销从业人员已超过 1000 万人。直聘网发布人才需求报告显示，2020 年以来，细分领域的软件人才如人工智能、网络安全领域的需求不断增长，我国仅网络安全专业人才缺口预估在 50 万以上，而每年网络安全相关专业的高校毕业生规模仅 2 万余人。

而据另一份基于领英平台的全球人才统计，截至 2017 年一季度，AI（人工智能）领域技术人才数量超过 190 万，其中美国相关人才总数超过 85 万，高居榜首，中国的相关人才总数为 5 万人，仅为美国的 1/17，同时，国内人工智能人才缺口达到 500 多万，供求比例仅为 1:10，供需严重失衡。计算机视觉算法工程师，作为人工智能最稀缺的人才之一，面临近百万的缺口。

根据美国第 20 版开发者国情报告，到 2021 年初，全球有 2430 万活跃软件开发人

员，其中包括 1300 万软件专业人士。与 2020 年中期相比，这是一个巨大的增长 20%。专家预测，到 2030 年，开发人员的数量将增长到 4500 万。这些令人印象深刻的数字证明，全球对 IT 专业人员的需求正在增长，并将继续增长。开发人员越来越多地参与新兴技术（使用、了解或对每种技术感兴趣的开发人员的百分比）：

- **机器人技术**：设计和建造可以模仿人类行为并以高精度协助人类进行不同活动的机器人（50.2%）；
- **迷你应用程序**：需要大型应用程序才能运行的小应用程序（49.8%）；
- **计算机视觉**：分析数字图像和视频以提取有价值的数据（49.1%）；
- **自动驾驶汽车**：开发无需人类驾驶员即可操作的汽车（45.1%）；
- **加密货币**：数据可用作交换媒介，换句话说，可用作数字货币或虚拟货币（44.9%）。

大量的岗位需求却面对着人才严重不足的境况，一方面对我们的人才建设培养提出了挑战，另一方面也意味着未来人才将会有更多新机遇。

24.5 元宇宙在行业应用的人才布局思路

24.5.1 元宇宙将优先改变文娱行业信息服务模式

元宇宙技术的融合将优先为娱乐、社交、文旅、教育、商贸等领域实现全新的具有颠覆式变革的全方位沉浸体验服务，是元宇宙技术当前及未来一段时间的主要应用场景，将会让用户具有全方位身临其境体验。

游戏场景应用是实现元宇宙的早期形态的关键。

游戏作为一种数字虚拟场景，是与元宇宙应用落地属性最为匹配的场景。元宇宙游戏内容需要从沉浸式体验、用户自主创造、自由开放世界、完善的交易系统等多个维度进行创新，构建多种玩法模式和世界系统。创新的游戏内容具备高吸引力，将为用户打造全新的游戏体验。

世界游戏产业巨头已在云游戏领域探索十年，2018-2019 年是云游戏从概念走向落地的标志性节点。微软于 2018 年推出基 Azure 的 Xbox 云游戏服务 Project xCloud，使得玩家可以在各种设备上游玩 Xbox 游戏；谷歌于 2019 年 GDC（谷歌开发者大会）正式公布云游戏平台 Stadia。

中国云游戏市场增速显著高于全球平均增速，中国将成为最具潜力的云游戏先行市场之一。根据 Newzoo 和腾讯研究院联合发布的《2021 中国云游戏市场趋势报告》数据显示，2020-2023 年中国云游戏市场规模的 CAGR 将达到 135%。全球云游戏市场规模的 CAGR 将达到 101%。

用户期待通过数字孪生世界、VR、AR、脑机接口等交互方式获得虚拟视觉、听觉、触觉等新型综合体验，实现人类在游戏世界中的深度沉浸。根据 VR 陀螺，20 年 Quest 平台影视内容占比 12%，排名第三，仅次于动作、休闲类游戏内容，Netflix、Youtube 等知名网站纷纷入局，VR 观影是元宇宙除游戏外的重要突破口，未来有望对线下影院、线上平面观影实现体验升级。

24.5.2 顶尖人才引领各领域创新研发、深度融合，实现技术新突破

从中期看，面向技术研发攻关领域提供技术模拟仿真平台将可能会是元宇宙技术的主要应用场景。元宇宙技术应用将会为装备制造、航空航天、生物医药、新材料、新能源等领域技术研发攻关研究提供虚实结合的仿真平台，提供人机全面融合、沉浸式设计仿真环境。这期间，各领域研发设计和仿真模拟软件技术和元宇宙深度融合应用是关键。

24.5.3 行业发展超前探索及研究

从长期看，生命科学、物质科学、海洋科学、地球与空间科学、信息科学等领域的超前探索研究将可能会是元宇宙技术的重要用武之地。元宇宙技术应用将会为上述领域科学探索提供更加完善的模拟探索环境，为人类研究自身、物质、宇宙和未来提供更加宽阔平台。这期间，基因库平台、高能物理实验设备、海洋监测网、天文望远镜、空间站等经济社会各类数字化平台系统与元宇宙平台的互联互通和信息共享是关键，为元宇宙模拟和探索未知世界提供丰富的数据支撑。

总之，随着元宇宙技术的发展，人类将可能利用信息技术创造一个更加与物理世界趋同的高级形态的数字孪生空间，为人类创新发展提供新的空间环境。

24.6 元宇宙人才队伍建设路径探讨

24.6.1 政府层面

近年来，我国把人工智能上升到国家战略，体现了我国发展战略性新兴产业的决心。在人工智能、虚拟现实、移动互联网、物联网、区块链等领域密集出台相关政策，更是促进了智能科技产业的发展。元宇宙作为沉浸式的智能科技行业的新兴代表，自然也受

到国家层面鼓励和支持。

为加快推进元宇宙相关行业的研发与应用，建议相关部门出台相关指导意见，推进元宇宙人才链梯队建设，开展项目试点示范，建立完善监管机制，营造良好环境，并给予政策扶持。

（1）增设元宇宙相关交叉学科，提高新生人才数量

元宇宙本质上是对现实世界的虚拟化、数字化过程，需要对内容生产、经济系统、用户体验以及实体世界内容等进行大量改造。但元宇宙的发展是循序渐进的，是在共享的基础设施、标准及协议的支撑下，由众多工具、平台不断融合、进化而最终成形。

在此背景下，该领域对于各相关学科的需求量是极为庞大的。目前，我国在人工智能、大数据、3D 引擎乃至交互设计方面的学科数量和质量尚无法和欧美强国媲美，这也会在很大程度上影响中国元宇宙领域的发展，进而在下一代互联网竞争中落于人后。

国内高校增设元宇宙相关交叉学科，大量培养相关人才，并提高新生人才数量与质量就变得极为重要，甚至可以被称为元宇宙诞生的必经之路。

（2）吸引归国高端人才

元宇宙概念诞生自西方互联网世界，其影响力虽然已快速蔓延至我国，但相关领域的进展仍以国外巨头厂商为主导，我国互联网企业的研发与经济实力虽然不弱，但在人才基础建设方面仍存在短板。在此背景下，吸引高端归国人才就是个无法避免且极为高效的选择。毕竟，元宇宙概念所需要的基础理论和技术均发源自美国科技与互联网产业，其延续性和系统性是国内厂商无法比拟的，想要在段时间里具备相当的竞争力，“外援”的重要性可见一斑。

（3）给予元宇宙产业适当政策倾斜

自本世纪初，中国便搭上了互联网普及的快车，无数企业吃到了前所未有的红利。就目前中国市值最大的几家厂商来说，排名前十中有一半均来自科技与互联网企业，而这一成就在二十几年前便得益于政府层面对于互联网产业的巨大扶持。

在元宇宙诞生阶段，传统的互联网与科技龙头企业尚需要时间来积累、试错乃至推倒重来，而对于更多的创企而言，适当的政策倾斜可谓是成长阶段的天然保护伞，让它们能在激烈的国际竞争中享有一定的先发优势，在站稳脚跟的同时，也给中国元宇宙产

业奠定良好的数量基础，并由此诞生出下一个 BAT 组合。

24.6.2 企业层面

（1）把握产业大趋势，找准发展方向

元宇宙体系较为复杂，产业链复杂万象，涉及领域较广。目前，元宇宙产业链主要涉及网络环境等底层技术，操作系统、硬件设备，软件、经济系统等。简单来说，元宇宙产业链可分为三种类型：硬件、软件、服务技术。

在社会学家眼里，元宇宙是未来人类满足自我需求、升级认知和价值实现的一种新载体，也是值得人们想象和憧憬的未来。

从现实角度来说，目前构建成熟元宇宙的条件尚不具备，未来 3-5 年元宇宙都将处在雏形探索期。根据科技产业发展遵循从硬件到软件，再到应用场景的传导规律，元宇宙还处在技术逐步发展的阶段。

不过可以预见的是，国内相关企业比将与网络环境、操作系统、内容生态等底层技术更好地结合，在元宇宙的发展过程里把握真实趋势，看准发展方向与模式，从而助推实现科技与人文的结合，推动游戏、工业、教育及社交等多场景在元宇宙的渐进式发展。

（2）联合高校培养各领域人才，建立长期人才储备

就目前而言，元宇宙相关领域的学科在各高校均有设置，教育与培养工作正有条不紊地进行，尖子人才也屡见不见。不过，当前全球科技强国对于元宇宙的重视程度远超想象，各相关行业巨头均已开始发力，无论软件、硬件还是其它配套产业，都已走上一条目标清晰、回报巨大的发展路径。

在此基础上，中国企业应当积极联合高校培养相关领域人才，从实际情况出发，适时给予莘莘学子们清晰的就业指引，增强他们对未来的信心。与此同时，也能给厂商建立长期有效的人才储备，从而在国内外的产业竞争里获得基础性优势。

24.6.3 高校与科研机构层面

（1）推动高校开放政策实施，深化产学研合作

相对而言，高校与科研机构是全国科技资源最集中的地区，其相关人才及科研实力更是国家发展的基础。目前，我国高校与科研机构的教学和研发水平突飞猛进，在科技

成果及知识积累、人才储备、实验手段、信息来源等方面均取得了巨大进步，但科研与市场的结合还不够紧密，科技成果转化效率还有待进一步提高。

同时，目前中国元宇宙相关企业虽然具备相当的资金基础、产业化实力和市场运作能力，但面对新兴领域的研发能力还有待提高，借用外部创新资源的能力尚需加强。

在此背景下，推动高校开房政策实施，深化产学研合作就是充分发挥其科技资源优势、增强企业自主创新能力的必由之路，是实施元宇宙创新战略、建设创新型网络生态的核心内容，是发挥高校与科研机构资源对我国元宇宙发展的高端、高效、高辐射作用的有效途径。

为达到该目标，就需要政府部门加大力度，引导企业、高校和科研院所转变观念，深化体制改革，积极营造良好的政策氛围，引导企业积极主动地与高校、科研院所开展产学研合作。

（2）提高科研经费，促进科研成果转化

科研经费管理是科技管理改革的重要内容，对于更好激发高校科研人员积极性、促进科技创新具有重要意义。与此同时，科技成果转化的过程，本质上是一个科技供给与市场需求对接的过程。科技供给主体根据市场实际需要，创造出符合市场需求的新技术、新产品，市场自然会为科技成果提供转移转化、价值变现的渠道。因此，建立以需求为导向的科技成果转化机制，是打通基础科研与元宇宙发展之间通道的主要方式，也是未来互联网生态大爆发的重要着力点。

24.7 元宇宙对新生代的影响以及新型教育模式

24.7.1 元宇宙对新生代的影响

在探索和发展元宇宙的过程中，芯片、AR、VR、AI、云计算、区块链、智能穿戴设备等各行业都将持续出现技术和产品创新。元宇宙的深度沉浸、虚拟数字化、实时交互、自由创造等多元化特性，使得人机交互水平达到甚至超越人和人的交互体验，人们可在短期内体验多元化人生，大幅缩短人与人之间的物理距离，屏蔽社交障碍，重构社交形式，重建社会阶级和经济体系，将彻底改变人与人、人与世界的关系，将从根本影响新生代世界观、价值观和人生观的建立。

互联网时代，人与人之间的关系从现实世界中移到了网络上，如线上教育、视频聊天、视频会议、电商等。元宇宙时代，人们将直接与虚拟数字世界进行交互，甚至打破

现实世界与虚拟数字世界之间的界限，虚拟世界对物理世界进行数字孪生，成为现实世界的拓展部分，再反向影响现实世界中的生产制造、生活方式、价值观念和社会体系等。

24.7.2 元宇宙催生的新型教育模式

2020 年，《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中明确提到“建设高质量教育体系”，包括“健全学校家庭社会协同育人机制、推动义务教育均衡发展和城乡一体化、提高民族地区教育质量和水平”等。教育在阻断贫困代际传递、促进乡村振兴、实现共同富裕等方面发挥着不可取代的独特作用。

随着 5G、AI、VR 等技术的高速发展以及疫情影响，线下线上融合的教学模式快速兴起，为教育行业带来全新的变革。受此影响，2020 年中国在线教育用户达到 3.51 亿人，使用率达到 34.6%，创历史新高。

图 24-3：2016-2020 年中国在线教育用户规模及使用率

随着元宇宙的不断发展创新，将巩固线上线下融合教学的场景，并逐渐发展成以线上教育为主。教育资源线上化可确保教学资源的公平性和高质量性，增大学生在时间和空间的灵活度，沉浸式教学场景丰富教学内容等。元宇宙教育打造的多种虚拟教室、沉浸式实验室等数字孪生教学场景，以及高度交互性的学习方式，将激发学生对获取知识的热情。可实现教师和学生的共同创新创作，颠覆性改变传统线下教育场景。

用户内容共创模式。元宇宙整合了人工智能、区块链、云计算等技术，用户原创的教育产品知识产权将得到高效保护，产品交易简单、公平、可靠，相关学历证明透明化，内容发布推广路径清晰有效。将激发广大教育从业人员在元宇宙中进行内容创作的兴趣与动力，大幅提升教育原创资源的丰富程度和质量。

多元角色沉浸体验。XR 技术将无限想法在虚拟空间中具象化，借助日渐完备的知觉管理系统，营造出强人机交互的沉浸式空间。教育内容的生产从 PGC、UGC 逐渐丰富到 AIGC，更多逼真细腻的虚拟场景将被设计出来，极大地拓展学习空间的边界。学习者可在不同的时空中扮演多种角色，并与其他角色进行密切互动。学习者既是知识形成过程的亲历者，也是知识理论诞生的参与者，大幅提升学习体验。

此外，元宇宙在职业教育、实践教育等领域构建的深度沉浸、高度交互的课程，将激发学生学习兴趣，提升课堂效率，节省教学成本，提高教学效果。沉浸式的体验将打破原有教育面临的边际成本高、教育资源稀缺的束缚，给教育行业注入新鲜血液。元宇宙教育时代充满无数种创新可能。

元宇宙教育的不断发展，可能将与传统教育行业在隐私保护、伦理道德、场景应用等方面出现更多的冲突与矛盾，需要我们“以学生发展为本”，助力实现教育的公平化、个性化和智慧化，共创元宇宙教育时代。

24.8 元宇宙人才面临的机遇与边界

24.8.1 各行业数字服务全面升级

据中国互联网信息中心发布的第 48 次中国互联网络发展状况统计报告显示:截至 2021 年 6 月，我国手机网民规模为 10.07 亿，网民中使用手机上网的比例为 99.6%;我国在线办公用户规模达 3.81 亿，较 2020 年 12 月增长 3506 万，占网民整体的 37.7%。

数字服务方面，即时通信、在线办公、网络支付、购物、外卖、旅行预订、网络视频、直播、游戏、网约车、在线教育、医疗都取得了巨大发展。

各行业数字服务的提升，对于互联网人才的需求都达到了前所未有的高度。据统计，2020 年 9 月中国互联网仅营销从业人员已超过 1000 万人。

直聘网发布人才需求报告显示，2020 年以来，细分领域的软件人才如人工智能、网络安全领域的需求不断增长，我国仅网络安全专业人才缺口预估在 50 万以上，而每年网络安全相关专业的高校毕业生规模仅 2 万余人。

而据另一份基于领英平台的全球人才统计，截至 2017 年一季度，AI（人工智能）领域技术人才数量超过 190 万，其中美国相关人才总数超过 85 万，高居榜首，中国的相关人才总数为 5 万人，仅为美国的 1/17，同时，国内人工智能人才缺口达到 500 多万，供求比例仅为 1:10，供需严重失衡。计算机视觉算法工程师，作为人工智能最稀缺的人才之一，面临近百万的缺口。

而随着被称为元宇宙元年的 21 年的即将结束，在接下来的 5-10 年，基于元宇宙的虚拟社交、具身游戏、数字旅游、仿生设备等上下游产业都将进行技术升级，来适应元宇宙的发展和应用。由此会产生巨大的人才需求，如： 数字建模师、游戏设计师、游戏开发师、云端开发工程师、ugc 内容创作者。各产品企业可能需要自己的虚拟店铺运营人员来承担现在的电商商铺运营。

24.8.2 强化科研创新，深化技术融合

最早，数字孪生思想由密歇根大学的 Michael Grieves 命名为“信息镜像模型”（Information Mirroring Model），而后演变为“数字孪生”的术语。美国国防部是最早提出利用 Digital Twin 技术，用于航空航天飞行器的健康维护与保障。2012 年 17 岁的美国少年 Palmer Luckey 制作的 vr 头显 Oculus Rift 问世，使公众对 VR 的兴趣重新被燃起。

在 vr、ar、数字孪生、人工智能、智能硬件方面，美国都是扮演着理念构建、先行实践的领跑者角色。

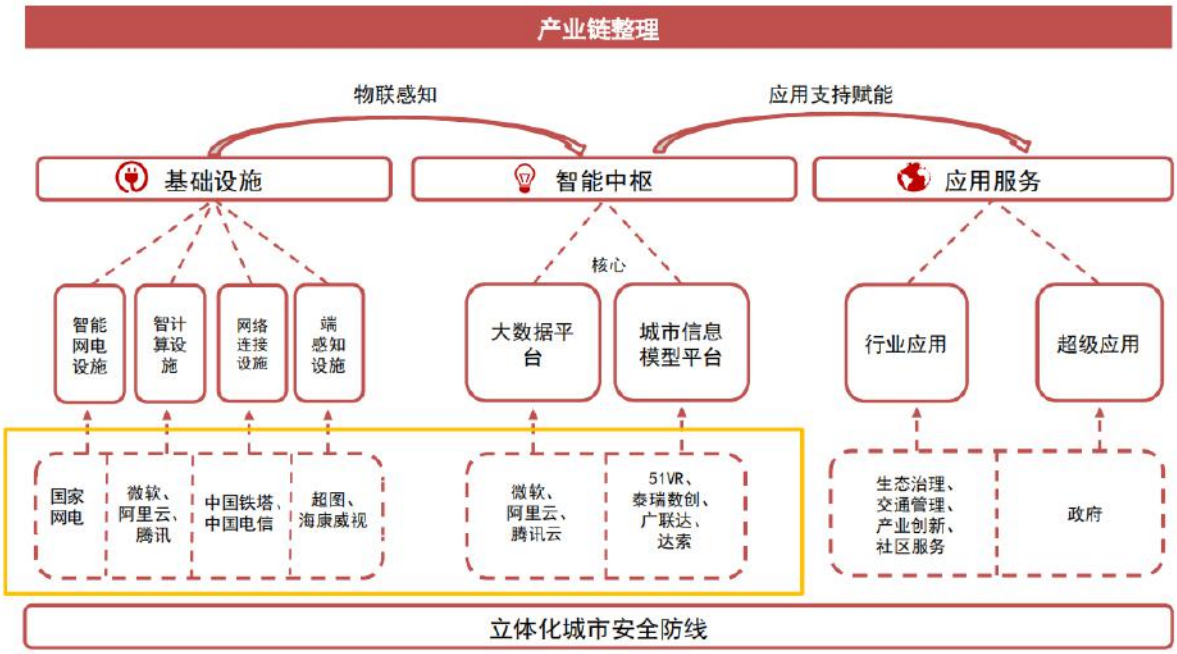


图 24-4： 立体化城市安全防线

虽然我国在工程硬件基础设施和 5g 网络方面技术领先， 网络基站和终端硬件设备都比较成熟； 我国云计算和云服务能力也在近年取得发展，能够满足元宇宙场景下数据预处理和预渲染以及数据传输的要求。但我们要看到与国外技术的差距，国外相关技术企业的大量创立，头显设备的不断推陈出新、虚拟游戏的投入和产出持续高涨、云服

务企业间的不断兼并扩张等都让我们倍感压力。 SpaceX 2015 年宣布星链 Starlink 计划，计划通过近地轨道卫星群，提供覆盖全球的高速互联网接入服务。2020 年 6 月 13 日，SpaceX 已成功发射第 9 批星链计划卫星。马斯克的星链计划，很可能给世界数据传输技术带来极具颠覆性的效应。

新一轮的技术产业竞赛，要求我们不断强化科研创新，才能满足各种产业发展的需求。

12 月 14 日，“元宇宙教育实验室”成立「元宇宙教育实验室」的主要工作就包含了： 进行元宇宙及元宇宙教育行业研究，总结行业发展规律，为行业及创业提供战略指引；积极传播元宇宙教育理念、思想和先进技术，加速行业发展，加强行业信息融通。

我国在教育事业上取得的长足进步，为我国的各行业提供了众多优秀人才，为科研创新提供基础保障。教育部网教育事业统计：2020 年，全国共有普通高校 2738 所。其中，本科院校 1270 所（含本科层次职业学校 21 所）；高职（专科）院校 1468 所。各种形式的高等教育在学总规模 4183 万人，全国普通本专科共招生 967.45 万人，在校生 3285.29 万人。招收研究生 110.66 万人，在学研究生 313.96 万人。

先进的技术理念一部分来自于社会企业的生产实践，另一部分来自于高校实验室。将两者相互融合，将实验室或企业的先进理念带入到实际的生产中去，在实践中校验技术的可用性和成果，是发展技术的正确途径。

24.8.3 促进社会全面健康发展，提前防治过度沉迷“元宇宙”

2021 年 7 月 20 日，共青团中央维护青少年权益部、中国互联网络信息中心、中国青少年新媒体协会联合发布《2020 年全国未成年人互联网使用情况研究报告》。报告基于全国 29155 名学生、5965 名家长抽样调查，展示了当前我国未成年人互联网使用状况和主要特点。

报告显示， 2020 年我国未成年网民达到 1.83 亿人，触网低龄化趋势明显。超过三分之一的小学生在学龄前就开始使用互联网。

利用互联网学习 的未成年网民比例为 89.9%，较 2019 年（89.6%）提升 0.3 个百分点。上网玩游戏的未成年网民比例为 62.5%，较 2019 年（61.0%）提升 1.5 个百分点。看短视频的未成年网民比例为 49.3%，较 2019 年（46.2%）提升 3.1 个百分点。

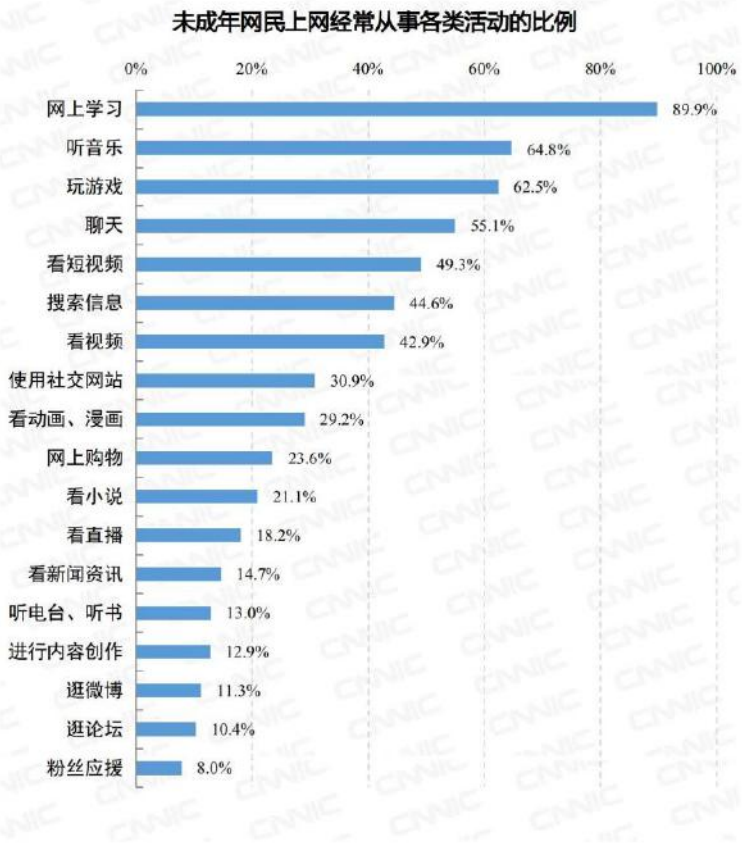


图 24- 5：未成年网民上网活动比例

从报告可以看出，网络是未成年人重要的学习阵地。学习、听音乐、玩游戏、聊天是近几年未成年人中排名靠前的网络活动。

元宇宙的虚拟世界具有具身交互、沉浸体验，本身极具成瘾性。 越来越逼真的游戏人物形象，越来越奇幻的游戏画面场景，游戏又会加深对未成年人的吸引力。

同时青少年由于心智发育还未成熟，对抗诱惑的自控力还不够强，极易陷入游戏沉迷。

另一方面人又是社会性群居型动物，对社交等有强需求。而过度沉浸在虚拟社交又会对现实人际关系产生负面影响。

青少年是社会发展的主要人才储备军，如何为社会人才创建良好的成长环境，成为元宇宙发展过程中必须重视的课题。

今年 6 月 1 日，新修订的《未成年人保护法》增设“网络保护”专章，首次在法律中规定未成年人网络保护，具有里程碑意义。随着法律日趋完善与专项行动持续推进，未成年人网络安全环境不断改善，未成年人网民认为自己在过去半年内遭遇过网络安全事件的为 27.2%，较 2019 年下降 6.8 个百分点。他们自身的权益意识也在不断加强，知

道可以通过互联网进行权益维护或举报的达到 74.1%。

腾讯 21 年 Q3 财报显示，2021 年 9 月，未成年人的游戏时长的占比仅为 0.7%，较 2020 年 9 月的 6.4%下降显著。腾讯游戏平均每天有 692 万个帐号进行刷脸登录操作，支付环节自动触发“人脸”，只要因拒绝或未通过验证就将被纳入防沉迷监管，数据显示有 77%用户在支付环节被拦截了充值行为。

诚然，社会和法律都在为构建全面和谐健康社会而努力，但面对未来的元宇宙世界。我们还面临诸多未知领域和场景。如：丰富的虚拟环境，会不会让学生对在线学习关注点发生改变，而改而关注场景内容中比较有趣的配套设施。具身交互的虚拟社交会不会让青少年欲罢不能，进而带来新的道德和色情犯罪。

如何防止人们过度沉迷元宇宙，首先我们应该从认知上理解元宇宙的意义。元宇宙不是电子游戏，元宇宙不等于虚拟世界。它是我们实现现实目的的一种新途径，只不过过程更美好，我们应始终重点关注我们的目标本身。

其次我们应该提前规划、预判、立法，防止人们沉迷。例如可以规定某类情景的接入门槛和时长、拒绝赌博、暴力等接入场景；提醒人们沉迷危害， 避免造成虚实不分，影响正常生活。

24.8.4 平衡经济价值

极光：《2020 年 Q1 移动互联网行业数据研究报告》的统计结果显示，过去一年用户使用时长的行业占比变化，移动互联网 top 8 行业的总使用时长占比在经历了连续四个季度的增长之后在 2020 年 Q1 有所缩减。其中，短视频行业的占比大幅增长至 21.1%，逼近即时通讯行业的占比。手机游戏行业占比较去年同期增长了 2.6%。综合商城的时长占比则下降至 3.2%，行业排名跌至第七。K12 类在线教育由于受政策导向影响，在线教育行业企业和用户数双双跌破极值。

在人口下降和疫情肆虐的双重影响下，生产企业和实体经济面临下行压力。 互联网诸多行业用户增长见顶、拉新和获客成本高企，用户增长率和用户时长双双下降。

但在元宇宙技术赛道方面，国内外投资和产出却在逐步攀升。

- Meta 在 2014 年以 20 亿美元收购了 Oculus。Oculus Quest 2 从 2020 年 9 月发售至今，累计销量超 400 万台。
- 微软公司 2021 年 4 月 12 日宣布，他们同语音技术、云计算和人工智能软件提供商 Nuance 达成了最终收购协议，交易价值 197 亿美元。
- 3、2021 年 4 月，3D 引擎技术商 Epic Games 完成 10 亿美元融资，投后估值

287 亿美元，公司宣布融资将主要用于公司发展及元宇宙相关的开发。

- 4、2021 年 4 月 20 日，字节跳动 1 亿人民币战略投资手机游戏研发商“代码乾坤”。
- 5、2021 年 8 月，字节跳动以 90 亿人民币收购国内领先的 VR 设备厂商 Pico。

元宇宙在经济方面将会产生众多影响，在元宇宙不断发展过程中一方面会带来多行业的技术积累和突破，一方面也会产生新的行业、社会运转模式等，为人类带来新的总量经济；元宇宙所能带来虚拟世界与现实世界的高度融合，能够进一步提升社会运转效率，有望深刻改变人类各行业的交互方式；随着元宇宙所带来社会运转效率的提升，以及虚拟世界中对现实行业的重现，个体能够扩大自身价值；数字货币和代币的可溯源性也能减少经济犯罪问题。

本章内容由何伟、朱家泉、黄邦兴、刘文中、陈星、高晟、高旭、钱雨、杨帅、张宁、王梓钦、张彦信、杨芳、端木海婴、范珊珊、徐振猛、肖昂、李静、马庆胜起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 王儒西、向安玲等.清华大学 2020-2021 年元宇宙报告.0.992 版.清华大学新闻与传播学院.清华大学,2021-9-16

[2] 许英博、陈俊云.元宇宙，人类的数字化生存，进入雏形探索期.中信证券，2021-11-2

[3] cnnic.2020 年全国未成年人互联网使用情况研究报告.cnnic.cn

[4] 极光. 2020 年 Q1 移动互联网行业数据研究报. https://zhuanlan.zhihu.com/p/138524776

[5] 人民网.工业和信息化部-持续提升制造业核心竞争力.2021-12-24

[6] 国家数据.年度数据-按三次产业就业分就业人员数.国家统计局.2021-12-24

[7] How Many Software Developers Are in the US and the World?. https://www.future-processing.com/blog/how-many-developers-are-there-in-the-world-in-2019/

[8] 付天姿、刘凯.通往真实的虚拟：道阻且长，为什么行则将至？——元宇宙行业深度报告.[pdf].光大证券，2021-12-9

[9] Newzoo&伽马数据.2021 年元宇宙全球发展报告.2021-12-17

[10]领英.中国未来技能趋势报告.2019-11-11

[11]领英.2021 未来招聘趋势报告.2021-7-28

[12]刘少逸、汪晓峰、钟林云.科技行业：数字化技术加速人才转型.2021-11-1

[13]赛迪智库.2020 年关键软件领域人才白皮书.2021-4

[14]亿欧智库.2021 全球人工智能教育落地应用研究报告.2021-8

[15]德勤中国科技.元宇宙系列白皮书—未来已来：全球 XR 产业洞察.2021-12

[16]数据来源：中商产业研究院整理

第九篇：畅想篇

如果我现在穿越到 30 年前，如何跟 30 年前的人解释什么是互联网，并且说动他投资互联网？我作为一个活在互联网时代里的人依然觉得这是一个难于上青天的事。如果非要我扛下这个不可能的任务，我想我会对 30 年前的人说，“互联网就是世界 30 年后的样子”。同样，什么是元宇宙？我也会说，“元宇宙就是世界再过 30 年后的样子”。并且我还多了一个难点。解释互联网靠的只是精准描述，而解释元宇宙靠的是精准预测+精准描述。

本篇讲述对未来元宇宙在各领域的许多畅想，包括元宇宙经济、元宇宙生产方式、元宇宙科技、元宇宙生活的各种畅想，也包括几十位专家委员的畅想。

第 25 章 元宇宙畅想

日光之下并无新事。前五百年无新事，后五百年也无新事。有的只是旧事以不同表象重新呈现。从过去推测未来，这就是本篇的元宇宙畅想。

那些在历史长河中一直不变的不变量还有一个洋气名字：第一性原则(First Principles)。从第一性原则出发， 就可一步一步像福尔摩斯一样推算出未知的未来，从而指导各种决策。根据第一性原则进行严格推理便可推算出未来的情况，那么本篇就把未来 10 年后元宇宙可能发生的事情做一些畅想。

25.1 元宇宙经济畅想

经济学家说，资源稀缺是不证自明的。

- **资源无限：**传统经济学假设人都是理性的，资源总是有限的，而在元宇宙中，所谓资源，不过是一个 0 和 1 组成的数据的集合，所谓资源数量，不过是一个变量，可以轻易地改为无穷大。
- **逆天改道：**在元宇宙中，我们完全可以创造一个没有引力的元宇宙，于是每个人都会飞了；我们也完全可以创造一个 4D 元宇宙，在时间上来回就像在空间上来回一样容易，所以元宇宙里或许真的有后悔药吃。
- **元宇宙不稀缺资源：**宇宙里的资源无非以信息形态、物质形态、能量形态存在。信息本身就是可以被复制的。而物质和能量通过改写宇宙底层的质量守恒定律和能量守恒定律，在元宇宙里也可以被复制了[10]。
- **时间不稀缺：**小明在 1 小时可以搬砖 100 块，小明可以在元宇宙里有 100 个化身，那么这 100 个化身 1 小时可以搬砖 10000 块。于是 1 小时并没有变化，但是小明的搬砖能力却是可复制资源。
- **元宇宙稀缺创新能力与本体的体验：**要继续深究时间是不是可复制资源的问题，前方就会分叉出两条路。一条路上摆着不可并行问题 [11]。通常来说，这类问题多见于创造性工作（例如：科研、艺术、），而非机械性工作。另一条是排除分身，研究“某本体（非分身）生物时间”是不是可复制资源的问题。但是有什么事情一定非要本体去做呢？那就是愉悦的体验——自成目的的体验。
- **可持续性被刻在大脑结构里：**马斯克已经能推动人类文明的进程，如果人人都拥有马斯克的资源，人类文明会如何爆炸式发展？元宇宙恰恰就是这样一个资

源无限的宇宙。当一个人已经要啥有啥的时候，他活着的意义必然是突破自己完成自我实现，这是刻在人性里的。

- **共献经济的可行性：**元宇宙是一个未来概念，但是共献经济自古都存在。亚当·斯密早就指出在恶劣环境中的工人要比在美好环境中的工人收到更多的工资，这叫补偿性工资差异[5]。反过来说，工作环境营造得越美好，就可以越少给工人付工资。那么工作环境如果好到极致，是不是就可以不付任何工资了呢？
- **付费发表学术论文：**科学家在发表学术论文的时候，不同于其他的期刊发表，作者不但拿不到一分钱稿费，反而还得自掏腰包付费去发表自己的文章。读者如果没在学术圈待过的话一定会觉得不可思议，这样的经济生态是怎么持续的？
- **元宇宙把代价降到零：**元宇宙可以违反物理，元宇宙可以时间倒流。元宇宙本来就是一个资源无限的宇宙，浪费一点成本又有啥大不了的呢？就算真的出现了什么重大浪费，大不了时间回滚一下就解决了。即使是相对稀缺的“本体生物时间”，以上我们也解释了，在资源无限的元宇宙里，做创新，做熵减，仍然是共献经济的效率更高。
- **总结：**表面上看“共献”是不求回报的，但其实回报已经在做事的过程中完成了。这个过程中的体验本身就是奖励。所以元宇宙经济学将是人类行为的一次范式转换：从 结果大于过程变成过程大于结果。这是探索-开发问题 [23]的一个极端解，人只负责有趣的探索，AI 负责无趣的开发。如果你有一个苹果，我有一个苹果，彼此交换，我们每个人就有了两个苹果，甚至多于两个苹果。

25.2 元宇宙社会畅想

- **谁最先进入元宇宙：**弱势群体，残疾人等。在元宇宙里高位截瘫的残疾人戴上 VR 设备可以不用脚就驰骋整个元宇宙，霍金这样的渐冻人插上了脑机接口也能像普通人一样体验生活。
- **从人治到法治到数学治：**比人治更高的是法治。虽然法的制定和执行都还是人，但却不是个体人，而是人的共识体，所以是一次进步。 但法依然是人定的。是人就会犯错，是人就会不自洽，是人就会不精确，是人就会多变，是人就有时间成本所以永远做不到 0 交易摩擦[7]。而数学治可以解决以上的“人”问题，做到 0 交易摩擦。
- **一言九鼎的诚信社会：**马斯克说：“我见过打破法律的人，却从未见过打破物理

的人。”不巧，在后元宇宙时代连物理都是可以打破的了，而最后无法打破的底线是数学。而元宇宙里的契约就是用数学书写的 [26]，即使签写契约的人都死了，契约仍然还是会如期履行，分毫不差。就像《哈利波特》里的魔法一样，元宇宙的契约才是真正不可打破的誓言[27]。元宇宙里没有意外，如果有，那只怪你没把合约写清楚、看清楚。

- **人人都是企业家：**注意这不是在说“人人都可以是企业家”，而是确确实实的“人人都是企业家”。在元宇宙里，成立公司进行社会活动就像注册账号一样简单，因为在元宇宙里成立公司就是注册账号。而且还不是跟某个中心化的组织去注册账号，而是跟数学注册账号。只要是承认数学的地方都会承认你的账号。你唯一需要做的就是随机产生两个质数，然后根据这两个质数生成公钥和私钥，分别相当于你的账号和密码[28]。
- **人类负担不起元宇宙崩坏的代价：**元宇宙将是人类本世纪之重要的发明，甚至可能超过互联网的重要性。这么重要的基建，我们如何保证它不朝意外的方向去发展？保证它不被一些别有用心的人垄断了利用来囚禁人类？用来压榨打工人？用来洗脑大众？甚至像电影《黑客帝国》里那样，元宇宙本身进化出了意识把人类囚禁了？答案就是元宇宙从底层设计上就不允许被任何人垄断。元宇宙必然是开放式的。

25.2 元宇宙生产畅想

- **比 3D 打印更低的试错成本：**3D 打印只能打印单一介质的生产资料。组合、分离、变化都是都需要人工操作。而万能打印技术站在 3D 打印的肩膀上，不仅可以利用 3D 打印技术制造生产资料，还可以用 3D 打印技术来生产组合、分离、变化的工具。真正做到全自动无人参与，所以比 3D 打印更高效。用来做小规模的试错当然成本也更低。而大规模的生产却不适用，就像没人用家用打印机去批量生产书籍一个道理。
- **AI 可以全自动驱动的创新过程：**从 0 到 1 生产出来靠的是万能打印技术的完备性，而生产的质量好与坏可能会是一个试探过程。就像做一盘菜，放多少克糖多少克盐仅仅是一个参数问题。而调参数恰恰是 AI 最擅长的工作。所以仅需建立一个评估好坏的反馈渠道，AI 就可以通过“梯度下降法”[20]自动找到最优参数，实现全自动创新[31]。

- **穷人卖给富人的保险：**传统的商业模式由商人去揣测用户的需求，猜对了商人就赚钱，猜错了商人就亏钱，其实是一种畸形的模式。谁最了解用户的需求？当然是用户自己。为什么要去揣测用户的需求？不让用户自己提出需求？传统模式下用户很难描述自己的需求，而元语言解决了这个问题 [29]。这种模型下能降低商人的风险，让商人可以更准确地调度资源 [31]，那商人当然愿意让利出一部分来购买这个保险。
- **创意是唯一的技能：**硅谷有句话："talk is cheap, show me your code"．而在元语言技术成熟后，这句话将倒过来。就像 30 年前使用 Word 写字是一个值得写在简历上的技能，而今天却是一个小学生都会的常识。写出程序不难，元宇宙更是能自动执行这个程序制造出无穷个产品。所以元宇宙唯一稀缺的是开始它的那个创意，一如既往地稀缺，而且越来越更稀缺。

25.3 元宇宙科技畅想

- **元宇宙推动数学，数学推动科学，科学推动科技，科技推动一切：**元宇宙里一切都是虚拟的，除了数字就是数学。共献经济最适合孵化数学、科学这样的创新发展。
- **元宇宙与星辰大海相辅相成：**"元宇宙是囚禁人的牢笼，星辰大海才是人的终极归宿？"这是多么幼稚的单细胞生物才能说出的言论。前文已经解释了，元宇宙囚禁人只会发生在垄断的情况下。事实上已经发生了，就发生在互联网 2.0 的架构下，而元宇宙新的 3.0 架构 [26]的出现恰恰是为了打破这种病态的架构，让没人可以垄断互联网，没人可以囚禁人。恰恰相反，元宇宙里的数学发展、仿真等技术，才会更好地帮助我们设计更高效的火箭去探索星辰大海。可控核聚变等技术大概率会诞生于元宇宙里的 AI 辅助式科研。而我们去其他星球捕获的能量又将反过来驱动元宇宙的 AI 模拟计算，两者实现正反馈。
- **探索无穷能量 vs 探索无穷信息，哪个才是终极目标？**那么问题就来了元宇宙里面的信息可以帮助我们获得更多能量。而更多的能量可以帮助我们计算更多的信息。所以到底哪个才更本质？
- **凡人之躯，比肩神明：**当人类掌握基因编辑技术之时，人类或将成为已知宇宙中首个完备的生物——可以自己按照自己的意愿进化成任何样子。到时候你还会说元宇宙是囚禁人类的牢笼吗？恐怕到时候我们倒会反过来想关上这个牢笼。

25.4 元宇宙教育畅想

- **什么是学，如何不同于记？**什么是学？有课堂就是学？有老师就是学？有校园就是学？有同学就是学？反过来问，没有课堂、老师、校园、同学就不能学？
- **记忆不是学习，遗忘才是学习：**学习和记忆的区别在于：学习可以解决没有学过的情况，学习可以纠错之前被教错的地方，而记忆不能解决之前没记过的情况，记忆不能纠错之前记错的地方 [21]。记忆在数学上的名字是“过度拟合”[21]，而解决过度拟合的方法叫做抽象，而遗忘正是大脑实现抽象的手段 [21]。所以元宇宙的价值是营造一个好的环境来帮助人类的大脑快速实现不过度的拟合，提前帮助大脑选取最有效的（最少）样本数据去学习。这又是 AI 的最适合的工作。
- **书本真的是信息的最佳载体吗？**由基础算法学可知，检索信息的最佳结构是分形（fractal）的树状结构（tree） [35]。然而传统纸质书籍由于物理性质限制，只能以全序（total order）的形式 [18]呈现信息。以其他形式呈现必将造成大量的纸质和人力浪费。而元宇宙有无穷的动态适应空间，适合以更优的数据结构呈现信息。
- **因材施教：**元教育绝对不是仿真课堂、仿真老师、仿真校园、仿真同学。元教育绝对不是把现实中的好的精髓坏的糟粕都囫囵吞枣都搬进元宇宙。元宇宙可以通过学生大量的历史数据样本精确计算出每一个学生需要的教育场景[17]。
- **读万卷书不如行万里路：**元宇宙可以把传统教材上需要学生自行脑补的插图，利用元宇宙的算力替学生完成这个脑补的部分。保证学生无论智商差异都可以接受信息。
- **从应试教育到体验式学习**学习骑车最好的方式是给他一辆自行车，而不是让他读自行车的说明书。让学生亲自上手体验，大脑自动会学习。让他摔倒，但是元宇宙负责保护他不被摔伤 [17]。做对和做错都是学习的一部分 [21]。自行车姑且每个家庭都负担得起，那学习太阳呢？学习细菌呢？学习原子呢？元宇宙的仿真模拟技术可以让学生亲自体验所有他想学的事情。仿真没错，错的是搞不清楚应该仿真的是什么。仿真的不该是呈现信息的屏幕而是学习的体验。
- **从（教育 + 游戏）到（体验躬行 – 不良情绪）：**元教育是快乐的，但不同于传统的游戏化教育，元宇宙并没有加入游戏时间去稀释学习时间，降低学习效率。

相反，元宇宙让学生上手体验学习，并且减去枯燥、焦虑等感受[17]，提高学习效率。

- **教育内容与 NFT：**元宇宙的开放架构很重要的一部分是 UGC （用户生成内容）。而元教育最缺的就是仿真内容，这些应该由各个领域的大师来长尾生产 [8]，然后 NFT 技术恰好可以用来保护 UGC 生产者的 IP 权益。

25.5 元宇宙生活畅想

- **完全信息对称：**传统市场没有信息对称[7]，信息对称很难做到，成本高，还算情有可原，消费者也可以理解。而进入 100%信息化的宇宙中之后，谁还不信息对称那就不是情有可原了。所以不执行信息对称的商家必然在竞争中处于劣势[7]，因为元宇宙的开放框架不允许垄断发生。
- **食品安全：**我吃的每一叶菜 x 都能在元宇宙里找到它的镜像 x'，在元宇宙里看它之前是长在哪块田里具体哪个位置的，每天平时浇的是什么水，施的是什么肥。我吃的每一块肉 x 都能在元宇宙里找到它的镜像 x’，看它之前是长在哪只动物身上的哪个部位，每天的运动量是多少，这只动物的爸爸妈妈是谁……当然这些也不需要我亲自来看，由我的镜像分身来负责把关就好了。
- **就业公平：**是工人本身的能力重要？还是对这个能力的背书重要？非名校毕业的人能力就一定不如名校毕业的学生吗？50 岁才开始学习就一定赶不上吗？女员工就不如男员工吗？对于每一个员工 x，雇主都能在元宇宙里找到镜像 x’，（在隐私信息授权情况下）看到 x 的完整学习、工作、义工历史、团队合作能力、每个项目上的表现与贡献……雇主本人看不懂也没关系，元宇宙的 AI 工具可以利用大数据帮助分析 x 的潜力、爆发力、等等传统情况下看不到的优秀品质。元宇宙里信息对称，也没有名义上“保护 X”的法律来实际迫害 X， 众生平等。
- **廉洁政府：**对于政府的每一笔税收 x，人民都可以在元宇宙里找到 x’，看到它的完整来龙去脉。
- **元宇宙让世界更简单：**所有人都会拥抱元宇宙就像所有人都会拥抱互联网。因为元宇宙让世界更方便、更简单。
- **人生的意义是做决策：**人活着就是一个接一个的决策，此时此刻的读者你可以选择停止阅读我的文章去做其他事情，或者你也可以觉得笔者我写得还挺好的

而选择继续读下去。一个人一辈子如果做了大量正确的决策，就会得到一个成功的人生；相反如果做了大量错误的决策就会混得很失败而且充满后悔。那么如何帮助人类更好地做决策？

- **可预测：**能先预测到结果，那么任何决策都会轻而易举。即使是买股票这样可以扭转人生的重要大难题，若能先预测到结果的涨跌，似乎也变得轻而易举[36]。
- **传统的公平无法被共识地定义：**雨公平地细润大地上的植被。大树吸收的量多，小草吸收的量少。为了追求表面的公平，把大树量给小草，或者把小草量给大树，这难道是真的公平吗？王思聪生下来就达到了很多人毕生不可及的高度，公平吗？王健林的私人财产不能传承下去，公平吗？所以元宇宙里不讨论传统的公平。差异即公平，开放即公平，自由即公平。
- **缸中之脑：**“缸中之脑”是希拉里·普特南（Hilary Putnam）1981 年在他的《理性，真理与历史》（Reason、Truth、and History）一书中，阐述的假想 [37]。“一个人（可以假设是你自己）被邪恶科学家施行了手术，他的脑被从身体上切了下来，放进一个盛有维持脑存活营养液的缸中。脑的神经末梢连接在计算机上，这台计算机按照程序向脑传送信息，以使他保持一切完全正常的幻觉。对于他来说，似乎人、物体、天空还都存在，自身的运动、身体感觉都可以输入。这个脑还可以被输入或截取记忆（截取掉大脑手术的记忆，然后输入他可能经历的各种环境、日常生活）。他甚至可以被输入代码，‘感觉’到他自己正在这里阅读一段有趣而荒唐的文字。”有关这个假想的最基本的问题是：“你如何担保你自己不是在这种困境之中？” [38]
- **梦醒之后：**做梦问题和缸中之脑问题是等价的，本身是无解的。所以为了解决这个问题我们必须引入一个额外状态“梦醒之后”才可以区分做梦，即某些情况下你能确认是梦醒状态，但其他情况下你不一定能确定自己的状态 。就像《盗梦空间》里用陀螺来区分做梦，那么什么可以作为那个陀螺呢？

本章内容由李约翰起草，由龚才春修改。

参考文献:

[1] 梁本熙. 高翊浚.大汉天子. 2001.

[2] S. I. Newton, Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, London: Cambridge, 1687.

[3] C. Shannon, A Mathematical Theory of Communication, vol. 27, The Bell System Technical Journal, 1948.

[4] 百度百科, "经济学 （经济学科学)," 百度百科, 15 1 2022. [Online]. Available: https://baike.baidu.com/item/%E7%BB%8F%E6%B5%8E%E5%AD%A6/589379. [Accessed 15 1 2022].

[5] A. Smith, The Wealth of Nations, Ware, England: Wordsworth Editions, 2012 .

[6] A. Einstein, "Uber das Relativitatsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen," vol. 23, no. 7, pp. 371-384, 1907.

[7] S. a. D. E. Sarri, Macroeconomics: Logic, Science, and Policy, BVT Publishing, 2013.

[8] [8] C. Anderson, The Long Tail: Why the Future of Business is Selling Less of More, Hachette Books, 2008.

[9] J. Li(马小扁), "元经济·畅想," [Online]. Available: https://mp.weixin.qq.com/s/65x20nUfCjyveFAS4LOasg.

[10] W. a. Z. W. Wootters, "A Single Quantum Cannot be Cloned," Nature, vol. 299, pp. 802-803, 1982.

[11] G. Amdahl, "Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large-Scale Computing Capabilities," vol. 30, p. 483－485, 1967.

[12] 张鹏翼, Director, 楚留香之新月传奇. [Film]. 中国.1985.

[13] T. Ferriss, The 4-Hour Workweek: Escape 9-5, Live Anywhere, and Join the New Rich, Harmony; Expanded, Updated ed. edition, 2009.

[14] C. theory, "List of Informal Logical Fallacies," 26 09 2020. [Online]. Available: https://www.logical-fallacy.com/articles/list-of-

informal-fallacies/. [Accessed 15 1 2022].

[15] D. Monk, Mathematical Logic, New York: Springer-Verlag, 1976. Propositional Logic - Axioms and Inference Rules, [Online]. Available: https://www.it.uu.se/itwiki.php?page=edu/course/homepage/progteori/ht12/Axiom.pdf. [Accessed 15 1 2022].

[16] M. Csikszentmihalyi, Flow: The Psychology of Optimal Experience, 1 ed., Harper Perennial Modern Classics, 2008.

[17] B. A. Davey, Introduction to Lattices and Order, Cambridge University Press, 2002.

[18] A. H. Maslow, "A theory of human motivation," vol. 50, no. 4, pp. 370-396, 1943.

[19] Y. Singer, "AM 221: Advanced Optimization," 24 2 2016. https://people.seas.harvard.edu/~yaron/AM221-S16/lecture_notes/AM221_ lecture9.pdf..

[20] P. Domingos, The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World, Basic Books, 2018.

[21] L. C. a. o. Rob Siltanen, Artist, Here's to the crazy ones. [Art]. Apple Inc, 2000.

[22] J. G. MARCH, "EXPLORATION AND EXPLOITATION IN ORGANIZATIONAL LEARNING," ORGANIZATION SCIENCE, vol. 2, no. 1, pp. 71-97, 2 1991.

[23] J. Li(马小扁), "我用数学定义了元宇宙," [Online]. Available: https://mp.weixin.qq.com/s/th9nQfCPMAVoGdoC9fM5gA.

[24] I. Morris, The Measure of Civilization: How Social Development Decides the Fate of Nations, Princeton University Press, 2014.

[25] V. Buterin, "Ethereum Whitepaper," 2013. [Online]. Available: https://ethereum.org/en/whitepaper/. [Accessed 15 1 2022].

[26] J. Rowling, Harry Potter.

[27] A. S. a. L. A. R. Rivest, "A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems," Communications of the ACM, 2 1978.

[28] J. Li(马小扁), "传统编程语言已无法满足现代文明的需求," [Online].

Available: https://mp.weixin.qq.com/s/HFy6ljqH32ARSEnPbYgSdQ.

[29] A. M. Turing, "COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE," Computing Machinery and Intelligence, vol. Mind 49, pp. 433-460, 1950.

[30] E. Ries, The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses, Currency, 2011.

[31] A. Flexner, The Usefulness of Useless Knowledge, Princeton University Press, 2017.

[32] A. Flexner, "The Usefulness of Useless Knowledg," Harper's Magazine, no. 197, 6-11 1939.

[33] L. E. W. Y. M. W. J. a. W. R. Childs, "CRISPR-Induced Distributed Immunity in Microbial Populations," PLoS ONE, vol. 9, no. 7, p. 101710, 2014.

[34] T. H. Cormen, Introduction to Algorithms, MIT Press, 2009.

[35] E. O. Thorp, Beat the Dealer: A Winning Strategy for the Game of Twenty-One, Vintage, 1966.

[36] H. Putnam, Reason、Truth、and History, Cambridge University Press, 1981.

[37] 百度百科，缸中之. https://baike.baidu.com/item/%E7%BC%B8%E4%B8%AD%E4%B9%8B%E8%84%91/6185744.

第 26 章 编委畅想

2021 年的元宇宙就相当于 1994 年的互联网。告诉大家一个小秘密，互联网时代曾经出现过的业态，在元宇宙时代可能都会再来一遍。例如互联网时代出现过网吧，元宇宙时代可能会出现元吧。互联网时代有互联网+，元宇宙时代可能有元宇宙+。

龚才春　国科创新研究院首席科学家

未来的元宇宙，创意将首次成为最重要的社会推动力量。在现实世界，科技是第一生产力，在元宇宙，创意是第一生产力。元宇宙将带领中国进一步腾飞，五千年的文化将赐予中国元宇宙无限想象空间。

周舟　知名原创歌手，北京信息产业协会元宇宙专委会（筹）形象代言人

元宇宙就像个收纳筐，初期的发展被炒作、标签、泡沫夹杂，短期的波动不影响长期的实践探索，终将在数字基建、沉浸交互、硬件设施、底层核心、社交模式等新的突破下成为新视界的窗口，技术先行，法律后至，也许经济风险、伦理制约、道德管控等会在元宇宙的边界下形成新的秩序体系反哺物理世界，行远自迩，踔厉风发。

何伟　星汉云图创始人

虚拟数字人是现实与元宇宙场景连接的重要“媒介”，它将成为人与万物之间的新交互载体。通过赋予虚拟人进行“新交互、新故事、新陪伴、新社交”的能力，未来将实现人机交互的“知心、走心、关心”，并依此形成虚拟与现实交汇融合的多元世界，摆脱物理世界的限制，让每一个人都能够充分、自由地实现人生价值。

朱家泉 科大讯飞股份有限公司副总裁

今天元宇宙的所有理念和应用都只是极其微小的，未来的元宇宙有着无限的发展空间。相应元宇宙圈的制度更要及时制定和细化，匹配上规则的元宇宙就像穿上了铠甲，会更加健康蓬勃的发展！

刘文中　人民网人民数据技术总监

历史时代变革的引擎是由人类需求和技术供给带来的循环刺激提供动力。元宇宙集合了多层次人类需求、多项新兴技术发展贡献，是时代变革的必然产物，是与现实世界相互映射的沉浸式虚拟互动空间。可承载用户娱乐、社交、交易、创作、生活等一切活动，与现实世界相融合、延伸、拓展，是开辟新时代大门的钥匙。

黄邦兴　星汉云图项目部负责人

元宇宙的发展是确定的，因为巨头需要新业务和新市场来提升营收和股价。元宇宙产业将通过自上而下的推动，最终影响到每个消费者，唯一的悬念是看谁的商业场景落地快，落地准。

陈星　新浪 VR 总经理

元宇宙未来究竟是脱实向虚，还是虚实结合?我觉得在目光可及的未来，应该是更好地让人类的感官能与数字化世界深度对接，以数字技术更好地提高现实世界的生产力和服务能力。

钱雨　清研载物人工智能基金合伙人

元宇宙是未来互联网的发展目标，是人类信息技术的另一场革命，元宇宙必将催生出超乎想象的新场景、新应用，也会孕育出新巨头。在 2021 年下半年诸多公司开始布局元宇宙这一方向，预计 1-1.5 年过后，将陆续会有相对成熟的产品或者应用落地。

王梓钦　虚拟动点政府事务部总监

元宇宙是利用科技创造的与现实世界映射与交互的虚拟世界，具备新型社会体系的数字生活空间。从某种意义上讲，元宇宙是另一种生存方式，随着经济社会的发展，随着科技和交互技术的不断进步，很可能成为延申人们生存体验的重要方式。

张宁　北京联通八区分公司副总经理

未来物理世界将与数字世界深度叠加交融，元宇宙提供了将物理世界向虚拟世界无线延展的可能性。

张彦信 华为（北京）虚拟现实创新中心总经理

元宇宙和我们的生活会无限叠加，也会更加全面的应用于孩子们的教育领域，新的教育体验要先做加法，再做减法，有趣简洁的体验方式融入孩子们的生活学习，让孩子们的身体和内心有力健康成长。

高晟　星汉云图联合创始人

元宇宙是虚实融合的世界。人们分别在两个世界中相遇，耕耘，交互，积累，又在另外的世界实现超脱，自反，和回溯。这种平行世界机制，无论最终在两个世界中实现，还是重叠在一个世界，都将拓宽人们的时空，让即便最普通的人也能经历更多的人生，扮演别样的自我，传递更丰富的感情，创造更多的信息。

杨芳　北京酷鸟飞飞科技有限公司联合创始人

元宇宙作为一种理念和思维方式，有些人认为能带来新的像工业革命一样的社会变革，有些人认为元宇宙就是个骗人的概念。笔者认为，在计算机运算水平、虚拟现实以及增强现实等技术的提高的前提下，元宇宙的到来将改变现有的生活和工作模式，由互联网时代进入到另一个全新的时代。

高旭　攀枝花学院数字媒体专业教研室主任

我们的未来世界可能是现实地球和无限宽广的虚拟宇宙并存。在这个虚拟宇宙中，每个国家都有一个自己的虚拟存在，连接后形成一个真正的网上联合国。而且这个世界里的每一个变化都会影响现实世界，与我们每个人息息相关。所有人都可以突破时空限制，在有限的生命中，探索无限的未知世界。

端木海婴　上海市多媒体行业协会副秘书长

技术并非出自人类的凭空想象，而是源于对现象的捕捉，元宇宙正是人们对当前社会进化发展的捕捉。

肖昂　360 商业化部门前端架构师

元宇宙是一个融合区块链、融合 VRAR、融合 5G、融合大数据、融合人工智能、融合所有未来科技的集合者。元宇宙是大国崛起，全球竞争的需要。其拥有六大特性即持续性、实时性、兼容性、经济属性、可连接性、可创造性，符合这六大特性的才能被称为元宇宙。

范珊珊　泰豪集团北京投资中心副总经理

元宇宙的新兴世界，不止于映射现实世界的平行宇宙，应该要突破想象，去创造过去、未来甚至其他文明的世界。多元化的新兴世界，弥补人生无法重来的缺憾，给予人们体验不同人生的机会。

徐振猛　汽车之家搜索产品经理

任何新生事物都有两面性，元宇宙也一样，但存在即有道理，元宇宙必然改变人类的生活方式。在元宇宙中，因为不受现实各种条件的制约，人类的想象力将会被无限的放大并实现，我们现在应该极力的保护好孩子们的想象力，这将是他们将来最大的财富和能力。

李静　湖南科技学院理学院计算科学系系主任

随着现代信息技术和数字经济的纵深发展，互联网将全面进入虚实融合交互的全域产业生态——全域互联、虚实融合、产业交互，无论你见或者不见，元宇宙以一种全新的生态就这样向我们走来……

汤建强　中科隆光科技有限公司

虚拟世界进化：在更高维度诗意地生活。

陈红　南昌理工学院客座教授

元宇宙是开启现实世界与虚拟世界相互融合的新世界，不是对现实世界的逃避和逃离，而是弥补现实世界中不能实现的梦想和目标。通过数字基建、数字交互、硬件设施、底层核心、社交模式等新的技术突破，冲破现实世界有限空间的束缚，实现人性的“真正自由”。

杨盼盼　北京市农林科学院数据科学与农业经济研究所

在元宇宙中，物理世界和数字世界融合在一个虚拟空间中，它也将是艺术、哲学与科技的完美融合，是如此让人着迷，它让世界变得更加丰富多彩。早已习惯了依赖互联网生活的我们，元宇宙让你我穿越时空、遇见历史、遇见未来！

汪翠芳　江西财经大学 VR 现代产业学院副院长

元宇宙是未来人类文明传播、传承的重要媒介，是全球社会治理的重要工具，是人类探索和认识宇宙的必备手段，是人类精神的未来栖息之地。

孙喜庆　特美通传媒科技创始人

“遂古之初，谁传道之？上下之形，何由考之？”2000 多年前，屈原在《天问》中已然试图追问宇宙诞生之理。是让人类延续并同时保留人类的肉体形式，还是仅仅让人类的意识以数字形式存在？所有的答案，兴许都可以从数字化永生中去探寻与发掘。

范士波 国家宽带网络与应用工程技术研究中心人工智能实验室主任

“人生而自由，却无往而不在枷锁之中”。人类创造元宇宙的目的，就是要满足冲破当前物理世界和社会环境束缚的向往，以实现“我的自由”。

张金玉　北京虚实科技有限公司创始人

灵境(元宇宙）是一场革命，将理念下的成熟技术普及化，将目前探索的技术集成试点，打造行业标杆，将具有灯塔意义，人类将跨越一大步。

李正海　北京金山顶尖科技股份有限公司高级顾问

元宇宙文明的可持续发展需要法治的支撑，在虚实世界联动的背景下，元宇宙经济法治规则应基于元宇宙用户、社会和国家间的“共识”而形成，并以最大的包容度接纳新技术驱动下的新世界。

刘成墉　集美大学副教授

元宇宙是互联网发展的一个重要产物，是一个新生事物。不应该简单的否定元宇宙，应该允许元宇宙在法律框架内健康的发展。

王树西　对外经贸大学

元宇宙的内容和生态建设，需要基于其核心构成要素，多维度思考、众技术突破、全场域协同，携手共同推进才能形成繁荣的局面。

张宗帅　中国科学院计算技术研究所

元宇宙这样一个新生事物，无论作为技术趋势还是产业发展方向来看，其本质都应是作为人类社会物理世界的增强和补充。我们科技从业者应该努力通过科技向善的方式，使其成为数字经济时代下推动社会进步、改善人民精神和物质生活的引擎！

李洋　雪松控股集团 CIO & CDO

元宇宙，用上帝视角来创造你的梦想世界，所有人的梦想世界编织成为现实的元宇宙。可能跟你想象的不一样，正常，那是别人的想象。请不要评价荒谬、错误、不道德，请尊重每个人的想法，尊重这个不一样，尊重元宇宙的多样性。

马庆胜　清控紫荆教研总监

非时非空，时空之始，变幻莫测，元宇宙在人类数字孪生与虚实交互中会出现新的商业模式与生态，iCloser 和大家一起探索与创建未来。

赖军　iCloser 创始人

元宇宙重塑数字经济体系，开启一个大创造的新纪元，引领人类社会走向新的文明形态。

阎雨　北京大学经济学院研究员

元宇宙，平行世界，衣食住行不一样，数字文明新体验。

郑贵德　中国电力投资集团大数据专家委员

当前随着多领域科技创新融合，我们对 20 年后元宇宙对人文和体验技术赋能充满遐想和期待，更多工作和生活持续以数字化方式迭代演进，承载着人类更多想象力和创造力，数字世界将与现实世界更加平行深入人类的工作和生活，期待元宇宙给人类带来更多福祉和自由。

卢洪波　中国信达资产管理股份有限公司高级副经理

什么是元宇宙？经济是社会的引擎。数字经济是经济的引擎。元宇宙是数字经济的引擎。艺术元宇宙是元宇宙的引擎。数字精灵是艺术元宇宙的引擎。元宇宙是新一代经济社会发展的引擎。

孟虹　中央美术学院网络信息中心主任

元宇宙技术为水电油气热、储能、新能源、节能降耗等能源互联和应用提供了新的技术手段，可推动各种能源的互联互通和应用层创新。元宇宙将推动形成“全环节、全贯通、全覆盖、全生态、全场景”的能源开放服务体系，进一步推动能源互联网应用平台建设和生态价值的体现，为构建以新能源为主体的新型电力系统提供技术支撑。

刘建明　清华大学能源互联网创新研究院 ICT 首席科学家

元宇宙在虚拟的数字世界里，摆脱空间和时间的束缚，集内容载体、用户体验、交互传播、应用场景、交易结算、数字货币等智能技术于一身。我们今天的创造和创新，正牌雏形探索期，将为技术进步和商业模式创新开启引擎！

陈京雷　AMT 集团董事、合伙人

元宇宙，开启虚拟和现实融合永续的新世界。

方俊　北京外号信息技术有限公司创始人兼 CTO

元宇宙是集粹，未来脑机接口技术将会成为基础设施，元宇宙终极形态是一系列的连点成线的技术与创新融合，新物种潜力可能超越所有人的想象。

黄涌　蓝色传感（北京）科技有限公司董事长

元宇宙科技将成为未来世界新的经济社会，但需要善控，使用不当将沦入如“黑客帝国”般的混乱，控制得当將如“星际迷航 Star Trek”利益星辰！

李岳龙　国科创新研究院院长

“元宇宙”是人类对宇宙明天的憧憬：它基于当前科技，也必将采用未来科技，连接过去、现在和未来……呈现一个以人类感受为核心的万物互联、虚实融合、超越星际、繁荣高效的依存状态。

周洛宏　天使百人会副理事长

元宇宙是一种高科技世界观的体现。扩展现实和数字孪生借助可信基础设施互相打通，技术体系相辅相成、互相促进，会产生新的市场、机会和价值。元宇宙支持虚拟世界观应用到现实生活，也给出现实社会的虚拟化可能性，让我们好好把握这无限可能的新机会！

胡凝　上海美凌软件开发有限公司总经理

元宇宙是对人类探索自由和自治边界的数字回应。

张瑾　联通研究院数字经济分析师

教育元宇宙相比较于互联网+教育，有着跨越代际的巨大飞跃，元宇宙将会与教育深度融合，它将带来新的教育模式。元宇宙实现了数字世界和物理世界的融合，带来教育模式、学习模式的变革，是一场教育行业的革命。

李春林　北大博雅智库副理事长

元宇宙是在 5G、人工智能、虚拟现实等多种新技术的支持下构建的一个平行数字世界，它将开启未来的"空间互联网"时代。

王冬宇　北京邮电大学副教授

元宇宙是开天辟地的大事情，具备新型社会体系的数字生活空间，打破了虚拟空间和物理空间的边界，它既可以复刻时下遵循物理定律的物理世界，也可以创造完全属于个人的世界。元宇宙可以做到灵魂永存，人的精神可以寄托，一个最接近宇宙的空间。

潘通　神州健康总经理

元宇宙在个体现代化的层面上来说，进一步消弭了空间和时间的界限，使得人们将基于工具性和价值性的媒介使用，拓展为兼具社会性、情感性的多维场域的再造，也就是说，元宇宙将会给现代化的个体带来真正意义上的诗和远方。

蒙胜军　西安交通大学新闻与新媒体学院新闻系主任

区块链技术是打通元宇宙虚拟世界和现实世界的桥梁，是驱动“虚拟世界”变成“平行宇宙”的纽带。其意义在于实现元宇宙中的价值交换，并保障元宇宙系统规则的透明执行。区块链技术必将成为推动元宇宙发展的基石。

郭莉　北京邮电大学国际学院院长

我们在元宇宙找到虚拟共生的“我”，也许是永生的“阿赖耶”。无数个平行世界里，打破认知边界的方式，有时反而需要构建一个知识的边界。

王思宁　北京中电普华信息技术有限公司副总工

刚刚过去的 2021 年，对科技界最有影响的莫过于元宇宙概念的再次爆发和火热！……当下人类社会进入数字经济新时代，不能把元宇宙简单地看做虚拟世界，其实它是我们现实世界的孪生，元宇宙是人类社会数字经济发展的更高阶段！

徐宁　上海数据交易中心 CEO 助理

中美对冲之际，“元宇宙”必将在中国经济中发挥不可替代的作用。

张磊　YAFA 雅法资本合伙人