

# 元宇宙初探： 概念内涵、技术体系及发展建议



## Metaverse: Concept, Architecture, and Suggestions

冯大权/FENG Daquan<sup>1,2</sup>, 张胜利/ZHANG Shengli<sup>1</sup>,  
吕星月/LYU Xingyue<sup>1,2</sup>, 王振中/WANG Zhenzhong<sup>3</sup>

(1. 深圳大学电子与信息工程学院, 中国 深圳 518060;

2. 深圳大学数字创意研究中心, 中国 深圳 518060;

3. 中央广播电视总台技术局, 中国 北京 100038)

(1. College of Electronics and Information Engineering, Shenzhen University,

Shenzhen 518060, China;

2. Digital Creative Research Center, Shenzhen University, Shenzhen 518060,

China;

3. Technical Management Center, China Media Group, Beijing 100038, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1002

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20240724.1017.002.html>

网络出版日期: 2024-07-24

收稿日期: 2023-12-05

**摘要:** 人工智能、虚拟现实、数字孪生等数字技术的快速发展,使得人类的生活空间不再仅仅局限于现实物理世界,以数字内容、数据算法构成的数字虚拟空间逐渐成为人们生活中不可或缺的一部分。“Metaverse (元宇宙)”被认为是未来虚实相融的终极形态,但由于概念转译问题以及缺乏广泛的学术共识,目前“元宇宙”依然是众说纷纭的状态,公众对这一概念难以形成准确清晰的认识。基于此,通过梳理数字生成技术的发展进程,从中国数字化进程和国情出发提出“复合宇宙”概念,从而促进相关部门、从业者、用户更好地理解这一新兴技术,引导产业的健康发展。在阐述复合宇宙的概念内涵的基础上,对元宇宙的必备要素、技术支撑、应用场景这3个方面进行深入阐述分析。最后,对元宇宙的未来发展提出建议,包括技术突破、规则制定、产业布局、人才培养等方面。

**关键词:** 元宇宙; 复合宇宙; 技术体系; 发展建议

**Abstract:** With the rapid development of digital technologies such as artificial intelligence, virtual reality, and digital twins, human living space is no longer limited to the real physical world. The digital virtual space composed of digital content and data algorithms has gradually become an indispensable part of people's lives. The Metaverse is considered the ultimate form of the fusion of virtuality and reality in the future, but due to issues with conceptual translation and a lack of broad academic consensus, the Metaverse is still in a state of divergent opinions, making it difficult for the public to form an accurate and clear understanding of this concept. The development process of digital generation technology is reviewed and the concept of "complex universe" is proposed from the perspective of China's digitalization process and national conditions, in order to promote relevant departments, practitioners, and users to better understand this emerging technology and guide the healthy development of the industry. Based on the concept and connotation of complex universe, an in-depth analysis of essential elements, technical support, and application scenarios of the metaverse is provided. Finally, relevant suggestions are put forward for the future development of Metaverse, including technological breakthroughs, rule formulation, industrial layout, and talent cultivation.

**Keywords:** Metaverse; complex universe; technology system; development suggestion

**引用格式:** 冯大权, 张胜利, 吕星月, 等. 元宇宙初探: 概念内涵、技术体系及发展建议 [J]. 中兴通讯技术, 2024, 30(S1): 3-15. DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1002

**Citation:** FENG D Q, ZHANG S L, LYU X Y, et al. Metaverse: concept, architecture, and suggestions [J]. ZTE technology journal, 2024, 30(S1): 3-15. DOI: 10.12142/ZTETJ.2024S1002

## 1 元宇宙的技术演进与认知挑战

随着数字技术的迅速发展,同时伴随着几何物体、自然场景、工业场景等研究在计算机图像领域中的不断推进,到20世纪末21世纪初,利用计算机图形技术构建现实中难以实现的场景即数字场景技术,在影视数字内容制作<sup>[1-2]</sup>、模拟飞行训练<sup>[3-4]</sup>、城市场景三维重建<sup>[5-6]</sup>等领域得到

广泛应用。

步入21世纪后,数字生成技术越发成熟,以数字场景技术及其应用为起点和基础,陆续衍生发展出虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)、数字孪生等技术及相应产品,如表1所示。其中,VR技术面向纯粹的虚拟世界,具体是指利用360°拍摄,通过头戴式显示器

(HMD)、VR Glass 等终端设备为用户提供包括视觉、听觉、体感等在内的全方位沉浸式主观体验。与VR不同,AR强调在真实世界中增加虚拟信息,实现数字化的文字、图像、视频、三维模型等叠加入现实世界,形成增强型主观体验。从AR开始,数字生成技术不仅面向纯粹虚拟,而且不断追求虚实共融和连通<sup>[7]</sup>。1994年,文献[8]总结了VR和AR的关系,并进一步提出了MR概念。MR是虚拟现实技术的进一步发展,其基于光场技术,将虚拟现实与增强现实融合到一起,在呈现效果上使虚拟对象看起来是现实世界的一部分,在学界<sup>[8]</sup>和业界<sup>[9]</sup>都陆续获得了关注。最近,扩展现实(XR)概念又被提出,它由VR、AR、MR共同构成,将数字对象作为现实世界的代理并受之驱动,力图将现实世界与虚拟世界融为一体并相互作用。

数字孪生是虚拟世界对现实世界的完整镜像,强调数字虚拟空间中映射真实世界的物体。数字孪生包含物理产品、虚拟产品及二者之间的联系,在2010年由美国国家航空航天局(NASA)正式提出。德国的“工业4.0”则进一步推动了数字孪生的发展<sup>[10]</sup>。中国学者指出,数字孪生是综合运用感知、计算、建模等信息技术,对真实物理空间进行多物理量、多尺度、多概率的仿真并在虚拟空间中完成映射<sup>[11]</sup>,认为其将给制造业带来革命性变化,并广泛服务于智能设计、智能加工、智能装配和智能服务<sup>[12]</sup>。

当前,人工智能、虚拟现实、云计算、区块链、5G、产业互联网以及数字孪生等数字技术,加速推进数字生成技术、数字内容创作方式、数字场景互动模式发生变革,并不断将虚拟世界和现实世界的融合发展推升至新的高度。近两年,曾经在科幻小说《Snow Crash》中描绘的人们可以通过各自虚拟分身(Avatar)进行语言、行为等交互行为的虚拟世界<sup>[13]</sup>,开始被各方力量推动从而实现从概念到现实的飞跃。这一虚拟世界被原著作者STEPHENSON命名为“Metaverse”,中国通常翻译为“元宇宙”。2021年以来,众多美国高科技巨头企业包括Roblox、Meta、英伟达、微软等,纷纷推出自己的元宇宙发展计划,在全球范围掀起了元宇宙产业发展的浪潮。

元宇宙的发展热潮迅速在全球范围内攀升,并从最初的社交、游戏、娱乐领域,逐渐拓展至公共治理、军事、文化等多个领域。2021年11月,首尔市政府制定了全球第一个中长期元宇宙政策文件,宣布建立“元宇宙首尔”(Meta-verse Seoul)平台<sup>[14]</sup>。该平台计划打造虚拟市长办公室、虚拟旅游区等,用于改善市政管理、优化公共治理。同年12月,日本多家相关公司成立元宇宙的业界团体“日本元宇宙协会”(The Japan Metaverse Association),该协会通过组织多种形式的交流活动促进元宇宙技术和相关服务的普及,提升相关商业环境和用户保护体制的健全性<sup>[15]</sup>。2022年6月,美国国防初创公司Red 6发布基于AR技术创建的机载战术增强现实系统(ATARS),该系统使美国战斗机飞行员能够与包括中国和俄罗斯战机飞行员在内的虚拟对手进行空中格斗练习<sup>[16]</sup>。Red 6宣称ATARS系统的目标是要创建一个“军事元宇宙”(Military Metaverse),通过这一系统将世界各地的作战人员连接起来,使他们能够实时训练。

随着5G、大数据、人工智能、区块链等数字技术的兴起,互联网应用拓展至人们生活及工作的方方面面,工业、交通、金融、文旅、教育、医疗等传统产业与互联网不断融合,数字经济正快速成为继农业经济、工业经济之后主要的经济形态。2022年1月,中共中央国务院印发了《“十四五”数字经济发展规划》(以下简称《规划》)。《规划》从优化升级数字基础设施、充分发挥数据要素作用、大力推进产业数字化、持续提升公共服务数字化水平、健全完善数字经济治理体系、着力强化数字经济安全体系、有效拓展数字经济国际合作8个方面对中国“十四五”时期数字经济发展做出了总体的部署<sup>[17]</sup>。2022年10月,工业和信息化部、教育部、文化和旅游部、国家广播电视总局、国家体育总局等五部门联合发布《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022—2026年)》,强调虚拟现实是新一代信息技术的重要前沿方向,是数字经济的重大前瞻领域,将深刻改变人类的生产生活方式。

2021年后元宇宙的热度持续攀升,中国一些省市陆续出台针对元宇宙相关技术产业的重要战略规划。2021年12

▼表1 数字生成技术相关概念的演进历程

概念	定义
数字场景	利用数字技术和计算机图形技术构建现实中难以实现的场景,根据真人和场景的互动关系再将真人嵌入数字场景中
虚拟现实	利用360°拍摄,通过HMD、VR Glass等终端设备为用户提供包括视觉、听觉、体感等在内的全方位沉浸式主观体验
增强现实	在真实世界中增加虚拟信息,实现数字化的文字、图像、视频、三维模型等叠加入现实世界,形成增强型主观体验
混合现实	基于光场技术实现,融合了增强现实与虚拟现实,使虚拟对象看起来是现实世界的一部分,将虚拟对象与现实世界融为一体
数字孪生	在数字虚拟空间中映射真实世界的物体,并通过数据方式对虚拟对象驱动,从而形成客观信息镜像模型

HMD: 头戴显示器 VR: 虚拟现实

月印发的《上海市电子信息制造业发展“十四五”规划》中提到,上海要前瞻部署量子计算、第三代半导体、6G通信和元宇宙等领域<sup>[18]</sup>。2022年1月,浙江省数字经济发展领导小组办公室发布的《关于浙江省未来产业先导区建设的指导意见》中明确,元宇宙与人工智能、区块链、第三代半导体等产业并列,是浙江省到2023年重点未来产业先导区的布局领域之一<sup>[19]</sup>。2022年4月,《广州市黄埔区、广州开发区促进元宇宙创新发展办法》发布,政策涵盖技术创新、应用示范、知识产权保护等10个方面,明确工业元宇宙、数字虚拟人、数字艺术品交易等体现元宇宙发展趋势的重点培养领域<sup>[20]</sup>。2022年8月,北京市通州区人民政府与市科委等机构联合发布了《北京城市副中心元宇宙创新发展行动计划(2022—2024年)》的通知,力争在未来3年将城市副中心打造成为以文旅内容为特色的元宇宙应用示范区,打造元宇宙生态链企业,建成典型应用场景项目,制定相关标准,同时形成元宇宙与文化、旅游、商业、城市服务等各领域虚实融合发展“1+N”产业空间体系,以助力北京建设数字经济标杆城市<sup>[21]</sup>。

与此同时,相关专业机构、院校、行业组织等也开始对元宇宙进行布局。2022年6月,“十四五”数字孪生黄河建设方案通过水利部审查,拟构建与物理黄河同步仿真运行、虚实交互、迭代优化的自主产权数字仿真平台<sup>[22]</sup>。2022年8月,中关村互联网教育创新中心等单位发布《元宇宙教育共识》,阐述了通过元宇宙来革新未来学习理念、学习环境,赋能未来学习与教育新范式,提高教育生产力<sup>[23]</sup>。2022年9月,世界人工智能大会举办“AI医疗与元宇宙论坛”举办,提出利用元宇宙技术来构建多元医疗场景和多重服务来重塑下一代数字医疗<sup>[24]</sup>。

中国高科技企业方面,字节跳动通过抖音、今日头条、飞书等产品,建立起了全球化的内容流量入口,同时通过入

股VR硬件厂商Pico,打通了“设备+内容+平台”的生态闭环。腾讯以投资、合作等形式在VR、AR硬件开发方面持续布局,2012年收购元宇宙世界标杆企业Epic Games 40%的股份,2020年2月参投“元宇宙第一股”Roblox,2022年6月提出“超级数字场景”<sup>[25]</sup>概念并成立XR部门。腾讯不断在视频、影视、文学、音乐等泛文娱领域延伸内容产品布局,形成了“社交+内容+娱乐”的初步元宇宙版图<sup>[26]</sup>。此外,许多其他中国公司也陆续投入到相关建设实践中去,如百度“希壤”元宇宙项目、华为云虚拟数字人“云笙”、阿里巴巴云游戏服务品牌“元境”、网易伏羲旗下沉浸式活动平台“瑶台”等。

然而,目前对Metaverse概念的讨论仍处于众说纷纭的现状,而且关于未来它能够呈现出的形态,似乎没人能给出一个明确的描述。表2整理了目前国际知名企业及组织对Metaverse的定义。其中,Roblox从游戏社区的角度将元宇宙定义为永久在线、人人共享的3D虚拟游戏空间;Meta从社交平台的视角将元宇宙界定为一个聚焦于社交连结的3D虚拟世界网络,是融合虚拟现实技术并用专属的硬件设备打造一个具有超强沉浸感的社交平台;NVIDIA则从算力技术平台的视角推出Omniverse(工业元宇宙)平台旨在打造“工程师的元宇宙”;Epic从渲染引擎的角度将元宇宙视为一场前所未有的大规模参与的实时3D媒介;微软从办公平台的视角强调元宇宙帮助人们在数字化环境中相聚并进行舒适的协作。能够看到不同机构所设想的Metaverse空间性质是由该机构的功能性质或服务对象所决定,例如Meta、Epic、微软、英伟达分别探索构建虚实共生的社交空间、经济空间、工作空间以及生产空间。此外,在名称转译方面,虽然中国网络界、信息技术人士和新闻与传播学界将Metaverse通常译成元宇宙,但也有学者进行词源分析后质疑这一中文译名的准确性<sup>[27]</sup>。

▼表2 国际知名企业或组织对Metaverse概念认知

企业或组织	定义
Roblox(罗布乐思游戏社区)	Metaverse是一个将所有人关联起来的永久性的共享的3D虚拟世界,每个人都拥有自己的数字身份Metaverse具备了身份、朋友、沉浸感、低延迟、多样性、随地性、经济系统、文明 <sup>[28]</sup>
Meta(Facebook于2021年10月28日更名为Meta)	Metaverse是一组虚拟空间,在这里你可以与不同物理空间的其他人一起创建和探索,开展工作、娱乐、学习、购物、创作等活动 <sup>[29]</sup>
NVIDIA(英伟达人工智能计算公司)	Metaverse是一个或多个通过Omniverse的连接来实现的共享的虚拟世界,具有交互性、沉浸性和协作性 <sup>[30]</sup>
Epic	元宇宙将是一场前所未有的大规模参与的实时3D媒介,带有公平的经济系统,所有创作者可以参与、赚钱并获得奖励
Microsoft(微软公司)	Metaverse使跨越物理世界和数字世界的共享体验得以实现,帮助人们在数字化环境中相聚,更舒适地使用化身,并促进来自世界各地的创造性合作 <sup>[31]</sup>

总的来看,由于概念转译不统一、学术共识缺乏等问题,目前元宇宙依然处于众说纷纭的状态,未形成统一概念。这同时也导致公众对该词的理解缺乏整体清晰的认识。元宇宙的未来设想是打造一个虚实融合的世界,这一虚实融合的世界包含4个层面的内容,即现实世界、模拟现实世界的虚拟世界、构建创新的虚拟世界、虚实融合的世界<sup>[32]</sup>。为促进新一代信息技术的融合创新发展和应用落地,引导相关产业的健康发展,帮助政策制定者和相关行业的从业者了解并参与领域建设。本文从中国数字化发展进程和国情出发,提出更便于理解的概念“复合宇宙”<sup>1</sup>,翻译为“Complex Universe”,混合词为“Comverse”。本文通过这一概念来解释元宇宙,进而对元宇宙的必备要素、技术体系、应用场景作出系统性的阐述。

## 2 复合宇宙:元宇宙的内涵解读

### 2.1 概念特征

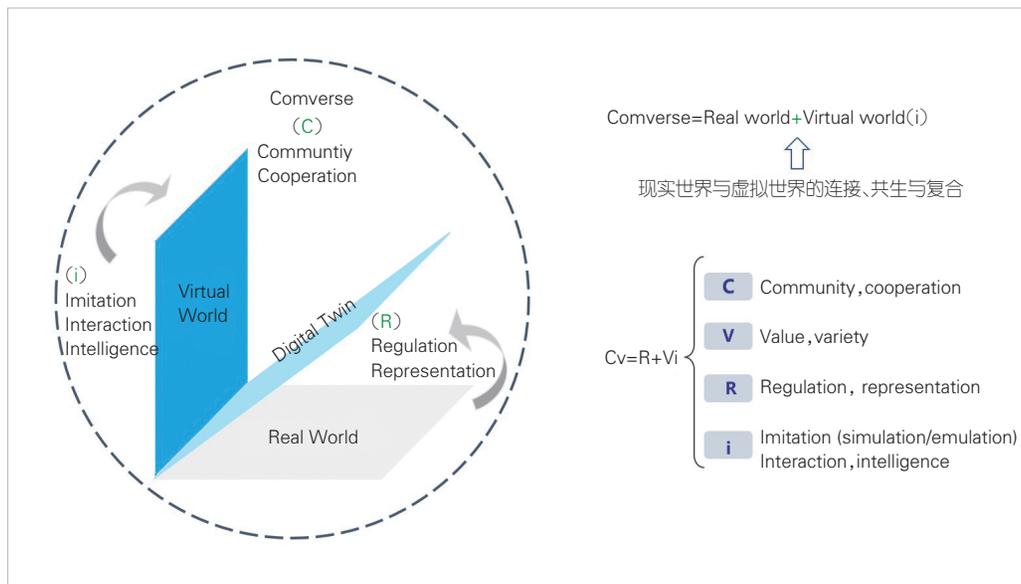
虚拟世界和现实世界能够通过介质(数字载体)实现相互转换、相互影响以及相互拓展。未来虚拟世界和现实世界不是平行的关系,而是正交的关系。复合宇宙是对元宇宙内涵的一种解读和拓展,它更加全面、深入地描述了虚拟世界与现实世界融合的终极形态,为理解和探索未来世界提供了新的视角和思路。复合宇宙本质是虚拟、现实两个世界复合而成,因此借助复数虚实坐标这种形象的表达来描述复合宇宙虚实并存的形态特征,如图1所示。具体来说,复合宇宙

(Comverse)是由“Com”和“Verse”两个单词组成,缩写为“Cv”。其中,“Com”表示复合的“Complex”,Verse指宇宙“Universe”。复合宇宙概念公式“ $Cv = R + Vi$ ”中,“R”表示现实世界“Real world”,具备物质实体;“V”表示虚拟世界“Virtual world”,具备数字内容与数据编码;i代表一系列技术,包括Imitation (Simulation/Emulation)、Interaction、Intelligence等;“+”符号强调复合宇宙虚实世界的连接、超越、创新等复合关系的全域性特征。此外,复合宇宙还具备以下属性:

1) 社区(Community)与社会性。复合宇宙可以视为各类实体及其相关关系的集合,底层结构是主体参与、互动以及身体感官浸入,在虚拟空间中互动并形成现实社区、仿现实虚拟社区、超现实虚拟社区。虚拟社区既包括工作环境、学习环境、生活环境、娱乐环境等数字,又包括成员们的数字化身。

2) 协作(Cooperation)与共享。在复合宇宙社区中,用户、场景、工具、功能之间实现连接与交互,实现多方共建与互通共享。任何现实中的人都可通过数字工具实现在虚拟世界中的身份构建,继而参与到协同网络之中,在不同领域的数字环境中实现创作、交易、社交、娱乐、收益等功能。

3) 规则(Regulation)与有序性。复合宇宙通过制定运行规则,处理人与人(真实人与数字人、数字人与数字人的对照关系及伦理关系等)、人与物(时间关系、空间关系等)、物与物(现实物品与虚拟物品、虚拟物品与虚拟物品间的映射关系及价值关系等)之间的关系问题,以维持可控性与稳定性。其中,人与人之间的规则包括数字人身份管理与建立限制、虚拟社区伦理道德与行为规范,人与物之间的规则体现于主体意识对存在本体的映射与转换,物与物之间的规则体现在所有权申明(数字资产)、等价交换原则与一般等价物(数字货币)确立。



▲图1 复合宇宙的概念模型

1 本文根据丁文华院士2021年11月提出的复合宇宙概念整理成文。

容呈现方式主要通过照片、视频等方式进行视听方面的呈现,本质上是将内容记录之后进行情景再现。目前,数字内容呈现方式主要通过4K/8K超高清、VR技术实现逼真还原,视听呈现内容在感知延迟、清晰度、自由度、观看体验方面都得到了极大提升。在复合宇宙时代,虚拟与现实的边界将逐渐模糊,数字内容生成方式将会迎来革新。届时同一对象将具备更多类型的呈现形式,包括VR(面向纯粹虚拟世界)、AR(以现实世界为主提供增强信息)、MR(以现实世界为主或以虚拟世界为主)、Digital Twin(虚拟世界对现实世界的完整镜像)、EVR(以虚拟世界为主,数字对象作为现实世界的代理并受之驱动)。

5) 仿效(Imitation)模拟及仿真。复合宇宙具备仿真的拟态空间和沉浸的体验感。在游戏电竞与娱乐影视领域,复合宇宙中可具备数字人仿真性、参与上的交互性、VR沉浸式体验、多用户社交、个人数字形象可定制等特点。在工业生产领域,复合宇宙提供现实世界的数字化映射及驱动数据,可以在数字世界中搭建真实工厂的数字场景,进行工业化生产的模拟、规划、设计及测试等工作,实现在与真实工厂环境一样的数字孪生工厂中的生产作业。在医疗健康领域,复合宇宙中可形成人类身体及器官的数字仿生体,并与真人关联同步,辅助健康管理和疾病看护,实现对身体数据的实时诊断。

6) 交互与相互作用(Interaction)。复合宇宙是虚拟世界与现实世界融合的终极形态,必然会回到现实社会产生反作用并形成推动现实社会发展与演化的内生动力和外部条件。复合宇宙是虚实共生的,物理世界与数字世界是相互构造的。人们可以随时随地切换身份穿梭于虚拟世界和现实世界,在虚拟时空节点中工作、学习、娱乐,交易所形成的数字产品。

7) 智能化(Intelligence)。人工智能为复合宇宙中的数字内容创作和数字人创建提供基础理论保障和前沿技术支撑,赋能应用场景扩建与用户内容生产。围绕2D+/3D高精数字人建模、驱动、渲染及评测方法等关键技术,通过传统制作流程中全面融入AI技术,预期在数字人模型和材质自动化生成、基于语音的表情和嘴唇动画、数字人实时渲染、数字环境引入、数字人与数字环境融合等方面获得关键技术突破,极大提升数字人的逼真度和制造效率。智能化的目标之一是使虚拟数字人达到具备高感知能力且能够实现自我认知甚至进化的智能驱动。

8) 价值(Value)。复合宇宙具有价值属性,是处理人与人、人与物、物与物之间经济关系的具体表征。复合宇宙的价值属性具体表现于类似于现实世界的经济系统和货币交

易体系,包括数字市场、数字产品、数字消费、数字货币、数字资产等要素。基于区块链所形成的价值互联网,未来复合宇宙平台可实现从信息互联到价值互联、从用户生成内容到AI生成内容等转变<sup>[33]</sup>。用户既是消费者、体验者,又是生产者、创作者。这将提升用户的创作热情和参与感,推动建立全新的知识经济模式。

9) Variety(多样性)。虚拟世界具有超越现实的多样性,表现在多重的内容生产形式、传播形式、呈现方式,以及广泛的用户群体、丰富的应用场景和新业态。各行各业的用户都能在复合宇宙社区中创造内容,因此平台产生内容的方式将由专业生产内容(PGC)向用户生产内容(UGC)、人工智能生成内容(AIGC)转变,内容创作也将具备多种形态。未来复合宇宙在实现最广泛用户连接的同时,基于庞大而多样的用户群体,新的消费需求将不断被开发,催发出新业态、新场景、新服务。复合宇宙是一个动态演进的复合体,其边界将不断扩大。当社会数字化程度深化时,复合宇宙的边界和囊括范围将不断扩大。

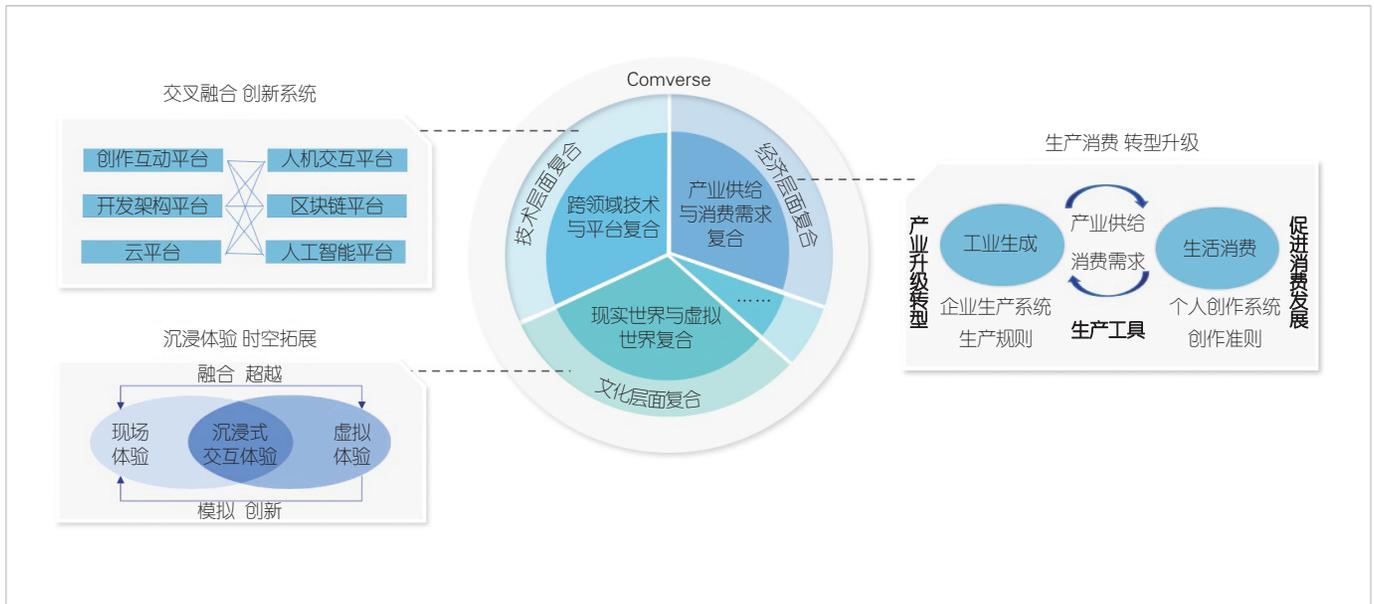
以上复合宇宙九大属性可归纳为“ $C_v = R + V_i$ ”的形象表达,如图1所示,其中C代表Community、Cooperation等,V代表Value、Variety,R代表Regulation、Representation,i代表Imitation(Simulation/Emulation)、Interaction、Intelligence等。

## 2.2 多层次复合

复合宇宙虚实融合的生态,催生出人们在虚拟世界的第二身份、全新生活方式等新的社会维度,为人们提供另一维度下的全新生活。虚拟世界具备和现实世界的相同特征,包括身份、娱乐社交、商业、社会治理等,以及对虚拟世界的感知能力。除了总体虚实层面的融合,复合宇宙中的“复合”也体现在技术、经济、文化等各个方面,如图2所示。

一是技术层面的复合。复合宇宙是整合了多种技术而产生的虚实相融的社会形态。技术层面的复合是指跨领域技术与平台的复合。通过技术层面的复合搭建需求为导向的高效平台,如云平台、人工智能平台、人机交互平台、数字人生产平台等。通过各种技术和平台的交叉融合,一方面可以解决虚拟世界内容生产问题,满足复合宇宙快速扩充需要,另一方面可以改变行业生产方式,降低进入门槛,从而颠覆产业格局。

二是经济层面的复合。经济层面的复合是指产业供给与消费需求的复合。供需层面的复合可促进产业升级转型和消费发展,畅通供需大循环。在消费端,复合宇宙通过整合各项数字技术,给我们带来全新的社交、游戏、购物体验,催



▲图2 复合宇宙在技术、供需、虚实层面的复合

生新服务、新业态。在产业供给端，复合宇宙为工业生产带来了高效的技术支撑和生产平台，推动供应链领域数实融生的生产范式革新以及全链条的优化范式革新。例如，在智能制造领域，宝马集团借助英伟达的Omniverse平台，首次实现了整座工厂生产线的仿真，通过数字化工厂提升了灵活性和精确性，总体实现了30%的效率提升。

三是文化层面的复合。文化层面是以虚拟世界和现实世界的文化活动内容为载体。例如，演出、旅游、电竞、体育赛事、图书馆、博物馆等，通过沉浸式交互体验实现在欣赏、观看、阅读情景中现实体验和虚拟体验的复合，达到了虚实融合、时空拓展的文化传播与共享的目的。未来复合宇宙时代的数字内容生成与呈现方式将引来革新，实现虚拟体验与现场体验深度融合，进而通过虚拟世界与现实世界互作用机制更新规则、应用、产品，影响至人们的社交模式、教育模式、娱乐方式、创作与传播手段等社会生活文化领域各方面。

### 3 元宇宙的必备要素

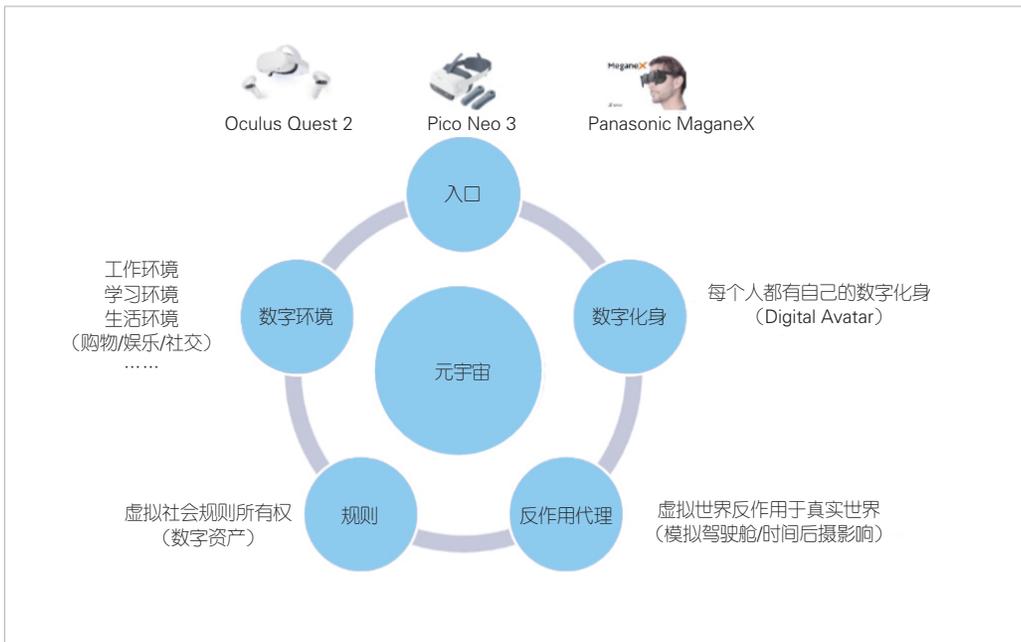
元宇宙是虚拟世界和现实世界融合的终极形态。虚拟世界可以根据现实世界模拟出来的，也可以是创新出来的虚拟人、物、环境等，即在现实世界中没有与之对应的实际人、物、环境。元宇宙的虚实融合包含现实世界、模拟现实世界的虚拟世界、构建创新的虚拟世界、虚实融合的世界4个层面。要实现元宇宙的虚实融合需要具备5个必备要素：虚拟世界入口、数字环境、数字化身和虚拟世界规则、反作用代理，如图3所示。

#### 3.1 虚拟世界入口

用于人机交互的硬件设备是元宇宙的入口。目前比较成熟的技术有VR和AR，而脑机接口则是一个未来开拓方向。脑机接口通过采集分析人类大脑产生的脑信号来直接操控外部设备，有助于提高人类与外界交互的效率，同时提供味觉、嗅觉、触觉等多感官体验。现在的应用大多通过用户的使用习惯或者大数据库来进行识别或提供，一旦脑机接口成熟后，用户可以通过意念来传输对外界的信息交互。未来这将在元宇宙交互中不可或缺的一环。需要说明的是，在未来人机交互需要多种交互显示技术相互结合才能让用户获得更好的体验。

#### 3.2 数字环境

数字环境是构建元宇宙的基础架构，它通过数字孪生、AI等计算机技术模拟物理世界的自然环境，或者创造物理世界不存在的虚拟环境。目前已有一些应用案例，例如孪生城市、数字工厂等。孪生城市通过可视化决策系统将城市各部门海量信息资源进行整合共享，覆盖城市管理的关键领域，通过数据可视化构建一系列业务决策模型，实现对当前状态的评估、对已发生问题的诊断和对未来趋势的预判，提高城市运营管理水平。数字工厂通过数据可视化对工业厂房、生产线、设备等管理要素进行三维仿真展示，集成视频监控、设备运行监测及其他传感器设备实时上传的监测数据，对生产流程、设备运行状态进行实时监测，真实再现生产流程、设备运转过程等，为设备的研制、改进、定型、维护和效能评估等，提供有效、准确的决策依据。



▲图3 元宇宙五大必备要素

### 3.3 数字人

数字人是元宇宙的主要活动体，人们可通过数字身份自由地参与到未来元宇宙的运行中，人们可以在其中进行学习、工作、创造、娱乐、社交、交易等各种活动。通过3D建模、渲染、人工智能、NPL等技术创建一个数字化的虚拟人，使其具备社交、互动以及记忆等属性。

### 3.4 虚拟世界规则

伴随着技术发展和应用场景的不断成熟，未来元宇宙将演化成为一个超大规模、极致开放、动态优化的复杂系统。这一系统将由多个领域的建设者共同构建，涵盖了网络空间、硬件终端、各类厂商和广大用户，保障虚拟现实应用场景的广泛连接，并展现为超大型数字应用生态的外在形式。元宇宙的本质是达到虚实融合的世界体系。由于其开放性和复杂性，现有物理世界的规则难以满足未来元宇宙中各种生态应用的需求，因此需要在目前真实物理世界规则的基础上再构建一套科学高效的数字规则体系，以保证元宇宙的可持续发展。

### 3.5 反作用代理

元宇宙是虚实共生的，现实世界与虚拟世界是共同构造的，其中必然存在相互作用机制。元宇宙中两个世界的相互作用表现为：不是现实世界单向作用于虚拟世界，而是现实世界中的事物可以在虚拟世界中找到映照的同时，虚拟事物同样可以反作用于现实世界并产生现实影响。在虚拟时空节点

中工作、训练、学习、娱乐、交易所形成的数字产品、模拟结果，一部分还会传回现实世界进而对现实世界产生影响。例如，服务机器人可以看成是虚拟数字人在现实世界的反向代理，模拟飞行器和模拟生产甚至能够发挥时间的后摄作用，以达到虚拟世界对现实世界的实质影响，避免或降低一些灾难性事件的影响。

## 4 元宇宙支撑技术

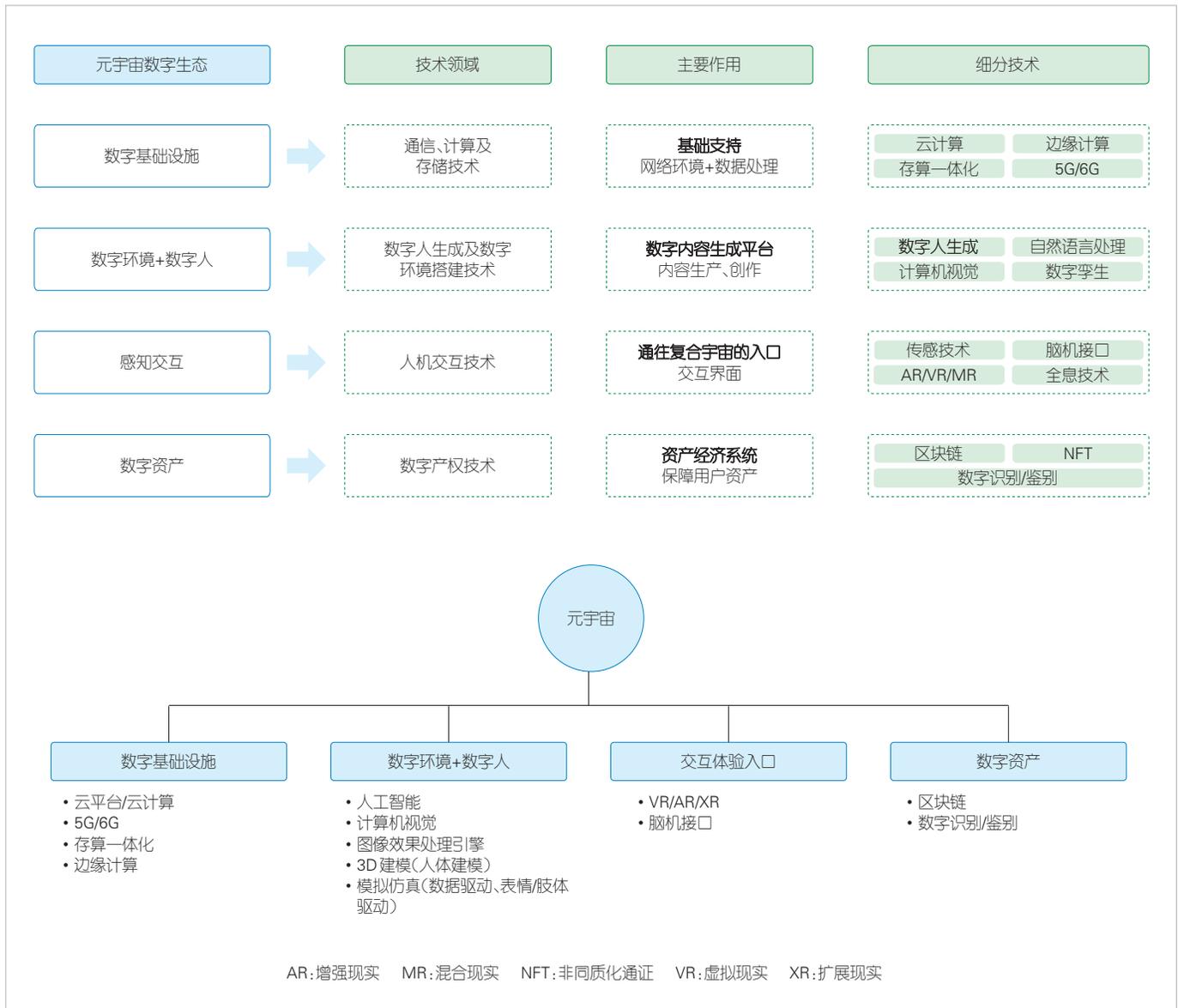
打造元宇宙生态，在数字环境中建立媲美于真实世界的虚拟世界，需要依托下

一代移动网络提供全新的与之相适配的高性能支撑，解决数字对象和数字环境内容在生产、传输和交互各层面的关键技术问题，实现高效高质的数字对象与数字环境的适配和驱动。此外，还需要制定适用于元宇宙的规则体系并建立规则引擎，确保虚实世界有效融合、符合伦理、有序运行。下面我们将围绕构建元宇宙的数字生态体系，介绍相关关键基础支撑技术，如图4所示。

### 4.1 数字基础设施

元宇宙中的虚拟世界并不是完全“虚拟的”，而是基于人的智力与体力劳动构建的数字对象和数字环境，是运行在底层各种物理资源之上形成的用于生产生活、可呈现可参与的信息复合体。人-人、人-物和人-信息之间的全新交互方式将会带来爆炸性的数据量。这些新场景和新需求的实现都离不开强大的通信支撑。动态环境建模、实时动作捕捉、实时3D图形生成、多元数据处理、实时定位跟踪等数字环境的实现都需要海量的算力支持。因此，包括通信和算力等基础设施的数字基建是构建元宇宙的基础，支撑着元宇宙内部的泛在连接和高效配置。通信基建支撑元宇宙运行，覆盖了5G/6G移动通信、光纤通信、Wi-Fi 6、工业互联网等多种类型系统设施，为元宇宙的互联和交互提供保障。算力基建作为元宇宙数字化进程中的算力底座，依托数据中心、智能计算中心等实现大数据、云计算、边缘计算、存算一体等能力支撑。

未来元宇宙不仅支持个人沉浸式娱乐消费型应用，还将



▲图4 元宇宙关键支撑技术

广泛应用于交通、工业、医疗、国防等生产型应用。不同应用场景下，各业务的可靠性、速率、延迟、隐私保护、移动性管理等服务需求都可能有很大的不同。因此，如何利用有限的网络资源，通过弹性灵活的资源管理调配，为不同业务的差异化需求提供按需的服务并提高元宇宙的经济价值，将是元宇宙生态建设中面临的一个重要挑战。未来需要结合计算集群管理、网络切片、分布式数据存储等技术，充分调动各方算力、带宽、存储资源，建立有确定性网络服务能力的资源管理体系，提供差异化的业务体验，满足多维度的服务需求。根据不同业务的服务质量需求，设计与之相适应的高效接入控制与资源匹配机制，并针对传输信道时变、用户业务请求动态变化来设计智能化的通信、存储、计算资源配置

机制，实现资源与业务的灵活、智能、动态匹配，从而为元宇宙的生态应用提供可靠的差异化服务。

#### 4.2 数字环境与数字人

元宇宙需要通过提供海量的数字人、数字孪生体等数字对象来构建沉浸式的虚拟世界，同时需要建立合理、可操作、可执行的规则体系，实现物理世界与虚拟数字世界之间的实时交互。然而，目前数字环境、数字人等数字内容生成技术存在生成周期长、效率低、成本高、进入门槛高等痛点。现有的人工智能模型通常比较大，需要大量的算力，这对资源受限的移动设备是一大挑战。因此，未来需要使用高效生产工具（如3D建模引擎、渲染引擎等）解决虚拟世界

中人与物的快速生成问题,降低普通用户的参入门槛。此外,目前人工智能模型算法大都是一个“黑盒子”,缺乏可解释性,元宇宙中的开发人员、虚拟世界设计师和用户都无法理解人工智能的决策过程。因此,需要借助可解释性人工智能,提高用户的信任度、模型可审核性和操作效率,同时降低法律风险和安全威胁,保证用户的可靠体验。

与此同时,元宇宙虚实融合的新型社会形态,其多样性、复杂性远超现有真实世界。现有的规则体系无法支撑元宇宙的健康持续发展。需要研发通用的数字规则引擎来建立合理的可操作可执行的相应业务规则体系,推动自动化工作流程并形成自我进化机制。

### 4.3 感知交互

感知交互技术是物理世界与数字世界进行交流互动的桥梁。未来,在感知交互技术的支持下,我们与虚拟世界的交流互动将更加高效便捷。目前,元宇宙的终端呈现大多依赖VR/AR/XR等入口技术,对于用户和数字世界的交互问题,多是采用定位、语音、手柄等单一交互方式,力度、温度、味道等其他感官的交互体验尚需完善,需要结合不同维度的感知和接口技术提出更具便捷性、普适性的交互方法,并实现多要素融合的高级情感交互,在虚拟世界中实现与真实世界等同的交互体验。此外,对于脑机接口技术,目前还处于早期研究阶段,脑信号处理的原理机制、用户的感知调控还需要进一步明确。另外,一些安全问题需要亟待解决,例如:脑机接口植入人脑时可能带来的健康风险、使用脑机接口可能带来的隐私信息泄露问题、外界通过脑机接口对使用者的大脑进行干涉产生的安全问题等。

### 4.4 数字资产

元宇宙中虚拟世界都是基于数字技术完成的。所有的数字对象、数字环境,以及他们的状态变化等都以数据比特的形式记录于系统设备上,因此,需要建立安全、高效的数字资产管理系统,来充分调动各方智力、算力、带宽、存储资源,并提供良好的利益分配机制,解决传统互联网产业里贡献者利益分配不合理、网络资源利用不充分等弊端。

元宇宙中数字资产可分为虚拟原生资产和虚实共生资产。虚拟原生是虚拟世界自身创造或者经济循环而产生的资产,例如虚拟世界工具、虚拟人以及游戏中售卖的道具等。虚实共生是虚拟世界和现实世界映射而产生的数字资产,是物理世界实物资产的数字化、三维化体现,例如虚拟住宅、办公楼、生活生产工具等。构建一套支撑元宇宙运作的数字资产系统离不开多种技术的融合,相关技术主要包括区块链

技术和数字身份识别技术。

区块链是支撑元宇宙经济体系的技术基础。去中心化思想的引入,赋予了元宇宙从根本上颠覆当前现实世界中社会生产关系和协作方式的潜力。非同质化通证(NFT)、去中心化自治组织(DAO)、智能合约、DeFi等区块链技术,将激发创作经济时代的发展,催生海量的创新内容。区块链技术将有效打造元宇宙去中心化的结算平台和价值传递机制,保障价值归属与流转,实现元宇宙经济系统运行的稳定、高效、透明和确定性。

数字身份可以将真实信息以数字代码的方式展现,从而对个体进行可识别刻画,以便对这个真实身份持有者的实时行为信息进行绑定、查询和验证。在元宇宙中,数字身份识别技术可以将物理身份与数字身份相匹配。数字身份识别的广泛应用可有效保障隐私数据安全,降低客户接入成本,提高互联网的经济价值。

## 5 元宇宙的应用场景

从全球市场增长来看,元宇宙产业具有广阔的市场价值。根据Insider在2022年7月发布的数据,2024—2026年全球元宇宙的市场预测约在2400亿~8000亿美元之间。2022年11月,工业和信息化部、教育部、文化和旅游部、国家广播电视总局和国家体育总局联合发布《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022—2026年)》(简称为《行动计划》),明确到2026年,中国虚拟现实产业总体规模(含相关硬件、软件、应用等)将超过3500亿元,虚拟现实终端销量将超过2500万台,建成10个产业公共服务平台。《行动计划》中提出的10类“虚拟现实+”规模化应用试点,具有市场需求、政策支持和产业基础等落地优势。总体来看,元宇宙的应用场景归纳为ToC端(直接面向个体消费者提供相关的产品服务)和ToB端(面向企业或特定用户群体提供相关的产品服务)两类。ToC端的应用包括文化旅游、演艺娱乐、体育健康、教育培训、残障辅助等;ToB端的应用包括工业生产、融合媒体、商贸创意、智慧城市、安全应急等。

### 5.1 文化旅游

元宇宙时代的文化旅游将提供生动的线上游览与观赏体验。数字与文化在元宇宙时代的融合创新,实现了文化形态从以内容化传播到互动化体验的升级,在元宇宙中构建的虚实联动的场景,让文化内容展现得更丰富,使文化传播与共享更便捷。一方面,借助地理信息技术、虚拟现实技术、人机交互技术,打造数字IP景区空间(如虚拟公园、线上文

化展馆、数字街区等)和沉浸体验产品(如旅行规划体验、线上导游导览、文物古迹复原等),让用户在身临其境的同时可以与虚拟空间中的角色和展品进行互动;另一方面,元宇宙中进行数字“云游”能够使景区景点、文化藏品、展会作品获得传统线下展览无法相比拟的曝光度,让优秀传统文化和旅游资源得到更广泛的传播和推广。

## 5.2 演艺娱乐

现阶段的娱乐方式大多为旅游、影视、游戏等,在元宇宙时代这些娱乐场景将采用互动平台、全息投影、体感交互等技术打造沉浸体验。元宇宙的应用将发展成三维层面上的应用,不再拘泥于现有的手机、PC上的二维平面式的呈现关系。在AR、VR设备帮助下搭建常态化的虚拟现实线上直播摄制播出环境、新型互动表演区,观众可以进入数字环境中体验,既可以以客观视角观看,也可以以主观视角参与。未来游戏体验也会朝着更加沉浸式方向发展。通过可穿戴的全身触觉传感衣,游戏中的摔倒、受伤可以通过网络传导到触觉感受器上,让我们有类似的切身感受。游戏平台也正在由传统的“游戏+社交”向外扩展,融入文化、娱乐、商业等多重要素。

## 5.3 体育健康

聚焦“大体育,大健康”发展需求,围绕日常健身、专业训练、运动休闲等不同情景,在元宇宙时代,不论是体育用品、运动设施,还是健身软件、健康管理平台,都将实现虚拟现实终端及内容兼容适配,打造线上线下相结合的数字化、智能化、沉浸化的新型体育运动解决方案。元宇宙将提供治疗方案可视化平台,用于病情诊断、手术辅助、病人沟通等多个方面,有效提高医疗效率。同时,元宇宙可形成人类身体及器官的数字仿生体,并与真人关联同步,通过对虚拟身体数据的模拟分析,得到最佳的医疗与健身方案。在医疗资源紧张的环境下,虚拟世界的智能医生将发挥重要作用。对于极高难度手术,患者的身体数据完全仿真,医生可在虚拟场景中进行模拟练习。这不仅保证医疗安全,还能够降低医疗成本。

## 5.4 教育培训

元宇宙技术能够通过场景空间的再造与重现,使师生通过数字化身参与课堂,在虚拟教学场所(包括虚拟现实课堂、教研室、实验室与虚拟仿真实训基地)中实现无障碍地进行实时交流,教学将因为虚拟世界的无限可能性而变得更加生动有趣。例如,学生可以通过VR设备进入细胞、器官甚至月球表面,看到物质的变化、分离和重组。互动结合多

样化的数字对象,能够实现与复杂现象与抽象概念的互动实操,可以打破物理世界中的器具限制,实现面向仿真环境的实践教学,特别是在人体解剖、手术模拟、化工实验等领域更能极大程度上降低实验损耗并起到防范突发事件的作用<sup>[34]</sup>。

## 5.5 残障辅助

所谓的信息无障碍是指,无论健全人还是残疾人、无论年轻人还是老年人都能够从信息技术中获益,任何人任何情况下都能平等地、方便地、无障碍地获取和利用信息<sup>[35]</sup>。在元宇宙时代,虚实融合的生态将催生出人们在虚拟世界的第二身份以及全新生活方式,能够为残障弱势群体提供健全的生活保障,满足老弱病残等弱势群体的出行需求、文娱需求、就业需求等。例如在满足出行需求方面,开发出行辅助技术,研制并推广一批适配残障弱势人群的虚拟现实设备,使老年人和残疾人重新获得出行的能力,通过化身进行虚拟出行,并配置远程出行监控。

## 5.6 工业生产

元宇宙提供现实世界的数字化映射及驱动数据,可以进行工业化生产的模拟、规划、设计及测试等工作,改变现有“计算机仿真-模拟验收”的生产方式,达到提质、增效、降本的效果。元宇宙在工业上的应用则比数字孪生更具潜力空间,更加重视虚拟空间和现实空间的协同联动,例如:支持多人协作和模拟仿真的虚拟现实开放式服务平台,支撑产品设计、加工制造、远程运维等环节的数字化和智能化转型。其所反映的虚拟世界既具有现实世界的映射,又具有现实世界中尚未实现甚至无法实现的体验与交互,实现虚拟操作指导现实工业<sup>[36]</sup>。例如,现实世界的生产流程可以先在虚拟世界进行全方位的模拟和仿真,从而找到最优的生产顺序与投料时间和方式。

## 5.7 融合媒体

元宇宙时代的数字内容生成与呈现方式将引来革新,在新闻报道、体育赛事、影视动画等融合媒体内容制作领域,超高清、虚拟现实技术的进一步发展将使视听呈现内容在清晰度、自由度、观看体验等方面实现大幅提升。通过运用虚拟现实全景摄像机、三维扫描仪、声场麦克风等设备,探索新型导演叙事、虚拟拍摄技术,实现虚拟体验与现场体验深度融合。在人与人之间的社交活动中,将产生基于虚拟化身等新形式的互动社交新业态。通过真人驱动的数字化身,无论身处何地,人们都可以与好友、同事进行“面对面”沟通。此外,经过赋能的数字化身可以独立开展社交活动,后

台驱动的真实人可通过“主观视角+客观视角”观看。数字化身可为社交障碍人群提供社交引导。

### 5.8 商贸创意

随着中国经济进入高质量发展阶段,民众对高品质教育、医疗、养老、家庭服务、文化娱乐等诸多方面的需求将持续增加。与此同时,新一代信息技术促进制造业和服务业在产业链上的融合,人工智能技术引领服务业革新,它们共同催生更多定制性、创意性、互动性的服务,打造商贸新业态。在智慧家装、虚拟看房、大型会展、时尚创意等商贸领域,将产生商贸活动体验新模式。用户在外卖点餐时可直接线上进入餐厅,如同现实前台点餐一样,体验餐厅服务,同时餐品将通过无人机在第一时间送至家中。

### 5.9 智慧城市

智慧城市或称数字城市,是一个虚实交互的城市空间概念。虚拟数字城市再现了城市实体空间,实体城市生活同时为虚拟数字空间提供需求。城市管理者对于城市基础信息和状态的掌握,受限于数据收集和统计的时间。面对管理方面存在的延时性和不准确性等问题,现实的物理城市空间将在元宇宙中实现实时化、精细化、动态化的数字重现与改造,有效支撑城市规划、空间治理、公共服务等多项智能城市应用,打造虚实融合的餐饮、购物、休闲体验,优化资源配置和空间利用,推动城市智慧商圈建立,赋能城市经济发展。

### 5.10 安全应急

元宇宙技术中虚拟现实的仿真应用及其可视化延伸,促进安全应急防范系统和应急演练的数字化转型,开展沉浸式虚拟演练,加快构建满足矿山安全、危化品安全、自然灾害防治需求的智慧警务与应急管理体系。例如,学习游泳时可以通过模拟训练进行安全教学,仅通过大脑获得溺水的信号来教会学员如何避免溺水,而不必亲身经历危险的溺水。除了应急演练和安全教育教学之外,元宇宙技术还将在军工生产、士兵训练、军事教育等国防军事方面产生重要影响。

## 6 未来发展建议

### 6.1 锚定关键基础技术,共同支撑概念落地

元宇宙通过数字对象和数字环境的生成、传输、呈现等技术,在数字环境中建立起媲美于真实世界的虚拟世界,实现虚实双向协同与互动,具有广阔的应用前景,但实现从概念到落地还需要依靠多项基础技术的共同支撑。在构建数字环境方面,由于数字环境存在领域众多、待建模型数量巨大

等难点,未来数字人和数字环境生成技术及平台需要同时兼顾效率与成本等。在数字人生成方面,则需要重点解决现实世界中的以数字人进入虚拟世界的建模、驱动、渲染等技术问题,提升数字人制作的逼真度和制造效率。此外,我们还需要确立虚拟世界规则,包括虚拟世界中人与人、人与物的相互协同关系,以及虚拟世界反作用真实世界的准则。

### 6.2 建立高效生产平台,技术赋能开发应用

元宇宙的繁荣有赖于多方的共建、共享和共治。构建数字内容是元宇宙发展的基石,但目前存在生成周期长、效率低、成本高、大规模应用难以实现的发展痛点,阻碍了元宇宙的快速扩充。因此,未来需要建立高效生产平台和工具集,解决虚拟世界中人与物的快速生成问题,降低普通用户的参入门槛。Epic公司开发了虚幻引擎(UE),形成一套完整的开发工具。面向任何使用实时技术工作的用户,从设计可视化和电影式体验,到制作PC、主机、移动设备、VR和AR平台上的高品质游戏,该套工具适用于游戏、建筑、汽车与运输、广播与实况节目、影视、模拟仿真等领域<sup>[7]</sup>。虚幻引擎和Quixel的合作后,通过Quixel网站提供的工具,可访问Megascans资产库,获取数千种来自真实世界的3D资产。全新赋能平台具有颠覆产业的能力,因此中国应抓住时机,尽早布局研究建立高效的生产平台和工具集,攻克决定行业走向的共性关键技术,打造开放并举的元宇宙体系。

### 6.3 探索制定协同规则,维持虚拟世界秩序

元宇宙正处于发展初期,制定通用的标准体系和互操作接口规范,是建立开放互联、兼容并举的多元元宇宙生态的基础条件。2022年5月25日在瑞士达沃斯举行的年会上,世界经济论坛宣布了一项新倡议“定义和建设Meta-verse”<sup>[38]</sup>。2022年6月,Meta、微软、英伟达、华为、Epic Games、Adobe等33家企业与组织作为创始成员,成立了元宇宙标准论坛<sup>[39]</sup>。论坛主要围绕开放元宇宙所需的互操作性标准即互通性、互兼容性以及验证互通性,共同探索和推动相关标准的制定。随着现实世界和虚拟世界越发深度融合,虚实互动的场景与方式将越来越多样,互动效果也将越来越真实,相应的监管问题将成为元宇宙持续、健康发展的关键议题。

与现实世界类似,元宇宙涵盖各种民事活动和商业活动,诸如产权侵犯、商业纠纷,甚至诈骗问题是无法避免的,需要借鉴实体世界的规章制度,建立相应伦理法规和商业规则。注重保护个体权利、维护社区稳定、保障国家总体安全,亟需在现行法律法规基础上优化并制定虚拟世界的协

同规则。通过制定身份管理规则、伦理法律规范、物品权属与交易规则等一系列规则,处理人与人、人与物、物与物之间的各种关系,以维持系统可控性与稳定性。布局包括伦理、经济、信息安全、社区共识等各方面在内的治理规则,推动虚拟世界和现实世界的规则相接轨,助推产业向上、向善发展。以技术促发展,科技发展成果全民共享。

#### 6.4 拥抱重要历史变革,科学布局新兴产业

如今元宇宙相关概念大热,全球科技巨头企业争相在该领域布局,核心目的是打造以企业自身为主的产业生态并制定有利规则<sup>[40]</sup>。韩国、日本等也希望在全球虚拟空间中积累先发优势,成立了各类联盟,并打造国家级虚实融合发展平台。中国不少地方政府和企业积极布局相关产业,但整体上在布局基础硬件和底层操作系统、制定虚拟世界规则、聚焦以数字技术服务实体经济发展方面关注较少。当前正处在虚拟世界与现实世界融合发展的起步阶段,中国应提前谋划,站在元宇宙的战略高地,通过政策良性引导产业健康发展,避免资本炒作概念,支持企业布局核心软硬件和颠覆性技术,加强信息通信基础设施和先进算力的保障,改变过去在信息技术领域长期受制于人的被动局面。最后,坚持以实体经济为本发展元宇宙产业,避免脱离实体经济发展,加速实体产业与数字经济的融合,更好解决工业生产和社会生活中智慧工厂、智慧交通、智慧城市等各种场景中的实际问题。

#### 6.5 立足时代风口,探索培养复合型人才机制

数字经济的快速发展对新兴产业人才的数量和质量都提出了更高的要求。在虚实深入融合成为趋势的当下,数字化人才供给如何跟上时代步伐,是元宇宙发展的一大挑战,更是人才教育领域的重要思考方向。当前尚未存在一套成熟的元宇宙人才培养模式,元宇宙探索建设亟需复合型人才队伍。对于高校和科研院所来说,当务之急是完善自身建设,培养一批搭建元宇宙全产业链工程师。然后由这些元宇宙工程师对其他专业进行升级,主要包括搭建元宇宙虚拟空间、通过虚拟实训为企业培养人才。作为人才培养基地,高校和科研院所只有理顺了培养方案、课程设置、平台设备等基本事项,才能更好地抓住机会。

#### 参考文献

- [1] HUEBSCHMAN M, MUNJULURI B, GARNER H. Dynamic holographic 3-D image projection [J]. *Optics express*, 2003, 11 (5): 437-445. DOI: 10.1364/oe.11.000437
- [2] HANJALIC A, LAGENDIJK R L, BIEMOND J. Automated high-

- level movie segmentation for advanced video-retrieval systems [J]. *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, 1999, 9(4): 580-588. DOI: 10.1109/76.767124
- [3] JONES R M, LAIRD J, NIELSEN P, et al. Automated intelligent pilots for combat flight simulation [J]. *AI magazine*. 1999, 20(1): 27-41
- [4] HESS R A, MALSBURY T. Closed-loop assessment of flight simulator fidelity [J]. *Journal of guidance, control, and dynamics*, 1991, 14(1): 191-197. DOI: 10.2514/3.20621
- [5] BAILLARD C, MAITRE H. 3-D reconstruction of urban scenes from aerial stereo imagery: a focusing strategy [J]. *Computer vision and image understanding*, 1999, 76(3): 244-258. DOI: 10.1006/cviu.1999.0793
- [6] JAYNES C, RISEMAN E, HANSON A. Recognition and reconstruction of buildings from multiple aerial images [J]. *Computer vision and image understanding*, 2003, 90(1): 68-98. DOI: 10.1016/s1077-3142(03)00027-4
- [7] 王同聚. 虚拟和增强现实(VR/AR)技术在教学中的应用与前景展望 [J]. *数字教育*, 2017, 3(1): 1-10
- [8] Mixed Reality Laboratory. About us [EB/OL]. [2022-07-20]. <https://www.nottingham.ac.uk/research/groups/mixedrealitylab/about.aspx>
- [9] MagicLeap. 关于 magicleap 介绍 [EB/OL]. (2020-10-23) [2022-07-20]. <http://www.magicleap.org.cn/>
- [10] NEGRI E, FUMAGALLI L, MACCHI M. A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems [M]//CRESPO MÁRQUEZ A, MACCHI M, PARLIKAD A. *Value Based and Intelligent Asset Management*. Cham: Springer, 2020: 291-307. 10.1007/978-3-030-20704-5\_13
- [11] 河北日报. 数字孪生将带来制造业变革 [EB/OL]. (2020-09-30) [2022-07-24]. [http://hbrb.hebnews.cn/pc/paper/c/202009/30/content\\_56999.html](http://hbrb.hebnews.cn/pc/paper/c/202009/30/content_56999.html)
- [12] 中国政府网. 拥有“人”的能力,数字化时代制造业将带来哪些新形态? [EB/OL]. (2020-10-14) [2022-07-24] [http://www.gov.cn/xinwen/2020-10/14/content\\_5551358.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-10/14/content_5551358.htm)
- [13] STEPHENSON N. Snow crash [M]. 郭泽译,四川科学技术出版社, 2009
- [14] Smart City Korea. Seoul metropolitan government builds its own ‘Metaverse Platform’ for the first time in a new concept public service [EB/OL]. (2021-11-03) [2024-02-26]. <https://smartcity.go.kr/en/>
- [15] The Japan Metaverse Association .About us [EB/OL]. [2022-06-031]. [https://japanmeta.org/en/en\\_about/](https://japanmeta.org/en/en_about/)
- [16] MELNICK K. Red 6 just completed its first AR training mission with aircraft [EB/OL]. (2022-06-07) [2024-02-26]. <https://vrscout.com/news/red-6-just-completed-its-first-ar-training-mission-with-aircraft/>
- [17] 中共中央国务院. “十四五”数字经济发展规划 [EB/OL]. (2022-01-12) [2022-6-30]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/12/content\\_5667817.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/12/content_5667817.htm)
- [18] 上海市经济和信息化委员会. 上海市电子信息产业发展“十四五”规划 [EB/OL]. (2021-12-30) [2022-07-01]. <http://www.sheitc.sh.gov.cn/cyfz/20211230/99677f56ada245ac834e12bb3dd214a9.html>
- [19] 浙江省民营经济研究中心. 省数字经济发展领导小组办公室印发《关于浙江省未来产业先导区建设的指导意见》 [EB/OL]. (2022-01-05) [2022-07-01]. <http://www.myjjzx.cn/cj/view.php?aid=484>
- [20] 广州市黄埔区人民政府. 广州市黄埔区 广州开发区促进元宇宙创新发展办法 [EB/OL]. (2022-04-06) [2022-07-01]. [http://www.hp.gov.cn/gzjg/qt/gzshpqrqjfwzx/hprczc/rencai/czchb/content/post\\_8337694.html](http://www.hp.gov.cn/gzjg/qt/gzshpqrqjfwzx/hprczc/rencai/czchb/content/post_8337694.html)
- [21] 北京市通州区人民政府. 关于印发《北京城市副中心元宇宙创新发展行动计划(2022-2024年)》的通知(通政发〔2022〕13号) [EB/OL]. (2022-08-24) [2022-08-26]. <http://www.bjtz.gov.cn/bjtz/>

- jdhy/202208/1612429.shtml
- [22] 水利部信息中心.“十四五”数字孪生黄河建设方案通过水利部审查 [EB/OL]. [2022-08-26] [http://xxzx.mwr.gov.cn/zxpd/gdcz/202206/t20220623\\_1581441.html](http://xxzx.mwr.gov.cn/zxpd/gdcz/202206/t20220623_1581441.html)
- [23] 北京海淀.全国首份《元宇宙教育共识》在2022第二届元宇宙教育前沿峰会上发布 [EB/OL]. [2022-08-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1741235129158696331&wfr=spider&for=pc>
- [24] 亿欧网.共话AI医疗与元宇宙,影像与康复的新价值高地何方? [EB/OL]. [2022-09-05]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1743043125699356356&wfr=spider&for=pc>
- [25] 央广网.腾讯公司高级副总裁马晓轶:游戏正成为一个“超级数字场景” [EB/OL]. (2022-06-28) [2022-07-26]. [http://tech.cnr.cn/techph/20220628/t20220628\\_525886199.shtml](http://tech.cnr.cn/techph/20220628/t20220628_525886199.shtml)
- [26] iNFTnews.一文读懂腾讯的元宇宙生态布局 [EB/OL]. (2022-07-18) [2024-02-26]. <https://infnews.com/57794/>
- [27] 刘建明.科技大国“元宇宙”研究观点述评 [J]. 中国广播电视学刊, 2022(6): 11-17
- [28] LIN X. Metaverse: what? why? when? [EB/OL]. [2022-07-04]. <https://www.solactive.com/metaverse-what-why-when/>
- [29] Meta. Building the metaverse responsibly [EB/OL]. (2021-09-27) [2022-07-03]. <https://about.fb.com/news/2021/09/building-the-metaverse-responsibly/>
- [30] NVIDIA. What is the metaverse? [EB/OL]. (2021-08-10) [2022-07-04]. <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/08/10/what-is-the-metaverse/>
- [31] The Official Microsoft Blog. Microsoft cloud at ignite 2021: metaverse, AI and hyperconnectivity in a hybrid world [EB/OL]. [2022-07-04]. <https://blogs.microsoft.com/>
- [32] 德勤中国.元宇宙综观:愿景、技术和应对 [EB/OL]. [2022-07-24]. <https://www2.deloitte.com/cn/zh/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/metaverse-report.html>
- [33] 梅夏英, 曹建峰.从信息互联到价值互联:元宇宙中知识经济的模式变革与治理重构 [J]. 图书与情报, 2021(6): 69-74
- [34] 张欣.“元宇宙”将对教育产生什么影响 [N]. 中国教育报, 2022-01-03(2)
- [35] 中国残疾人联合会“无障碍声明” [EB/OL]. [2022-10-24]. <https://www.cdpcf.org.cn/wzasm/index.htm>
- [36] 赛迪智库.工业元宇宙:展望智能制造的未来形态 [J]. 河南科技, 2022, 41(9): 1-3
- [37] Epic. Engine-5 [EB/OL]. [2024-02-26]. <https://www.unrealengine.com/zh-CN/unreal-engine-5>
- [38] World Economic Forum. New initiative to build an equitable, interoperable and safe metaverse [EB/OL]. [2022-7-2]. <https://www.weforum.org/press/2022/05/new-initiative-to-build-an-equitable-interoperable-and-safe-metaverse>
- [39] Metaverse Standards Forum. 领先的标准组织和公司联合起来推动开放的元宇宙互操作性 [EB/OL]. [2024-02-26]. <https://>

- [metaverse-standards.org/](https://metaverse-standards.org/)
- [40] 邢相焯.元宇宙时代如何把握发展契机? [J]. 国资报告, 2022(2): 108-110

## 作者简介



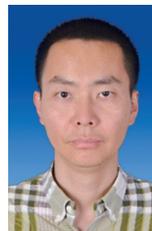
冯大权, 深圳大学副教授、博士生导师, 广东省哲学社会科学重点实验室(文化数字化与文化创新发展)副主任; 主要研究领域为无线边缘网络、沉浸式通信、数字创意技术。



张胜利, 深圳大学教授、博士生导师, 深圳大学电子与信息工程学院副院长; 主要研究领域为区块链技术、物理层网络编码。



吕星月, 深圳大学数字创意研究中心助理研究员; 主要研究领域为信息咨询与分析、数字人文。



王振中, 中央广播电视总台技术局正高级工程师, 总台技术局技术规划研究部副主任; 主要研究领域为媒体融合传播、4K/8K超高清制播。