

• 特约稿 •

元宇宙研究与应用综述

赵 星^{1,2,3} 乔利利^{3,4} 叶 鹰⁵

(1.复旦大学大数据研究院,上海,200433; 2.复旦大学国家智能评价与治理实验基地,上海,200433; 3.元宇宙与虚实交互联合创新中心,上海,200433; 4.华东师范大学经济与管理学部,上海,200062; 5.南京大学信息管理学院,南京,210023)

[摘 要] 从理论概念、关键技术、应用场景和政策治理四个方面,对元宇宙研究与应用现状和未来进行了述评。学界目前形成了平行宇宙观、融合宇宙观和进化宇宙观三类理论观点,分别汇聚出复刻现实、增强现实和超脱现实三种技术发展路径。在认知交互商业生活、工业生产、文化教育和城市社会的数字经济方面产生了百花齐放的积极气象。治理上,本文建议中国的元宇宙发展应构建“自主可控”的产业、“虚实交互”的方向和“包容审慎”的态度。最后,本文给出了元宇宙指数、元宇宙时长和元宇宙人口三个元宇宙基本测量指标,分别表征元宇宙的空间、时间与发展状况。

[关键词] 元宇宙 虚拟现实 增强现实 去中心化 数字人 数字经济 智能治理

[中图分类号] G203 [文献标识码] A [文章编号] 2095-2171(2022)04-0012-12

DOI: 10.13365/j.jirm.2022.04.012

A Review of Metaverse Research and Applications

Star X.Zhao^{1,2,3} Qiao Lili^{3,4} Fred Y.Ye⁵

(1. Institute of Big Data (IBD), Fudan University, Shanghai, 200433; 2. National Institute of Intelligent Evaluation and Governance, Fudan University, Shanghai, 200433; 3. Institute of Metaonreal, Shanghai, 200433; 4. Faculty of Economics and Management, East China Normal University, Shanghai, 200062; 5. School of Information Management, Nanjing University, Nanjing, 210023)

[Abstract] In review of the current situation and future of research and application of metaverse, this paper focus on four aspects: theoretical concepts, key technologies, application scenarios and policy governance. The academic community has now formed three major theoretical perspectives: parallel universe view, fusion universe view and evolutionary universe view, which converge three technological development paths of replicated reality, augmented reality and transcendental reality, respectively. The digital economics in business life, industrial production, culture and education, and urban society have produced a positive weather of blossoming. In terms of governance, this paper suggests that the development of metaverse in China should be built with "autonomous and controllable" industry, "virtual-reality interaction" direction and "inclusive and prudent" attitude. Finally, this paper presents three basic metaverse indicators, namely metaverse index, metaverse duration and metaverse population, to characterize the space, time and development of meta-

[基金项目] 本文系教育部科学技术与信息化司智能社会治理研究项目“智能化沉浸式教育场景的网络设施关键技术标准及环境评价研究”和中国工程院战略研究与咨询项目“数据要素流动与风险管控关键问题研究”的研究成果之一。

[作者简介] 赵星,教授,博士生导师,研究方向为数据智能与智能评价、元宇宙与智能治理,本文通讯作者,Email: xzhao@fudan.edu.cn; 乔利利,博士研究生,研究方向为智能评价与治理、战略管理; 叶鹰,教授,博士生导师,研究方向为信息计量分析、图书情报理论。

本文引用格式: 赵星, 乔利利, 叶鹰. 元宇宙研究与应用综述[J]. 信息资源管理学报, 2022, 12(4): 12-23, 45.

verse respectively.

[Keywords] Metaverse; Virtual reality; Augmented reality; Decentralization; Digital human; Digital economy; Smart governance

1 前言:元起之时

伴随互联网 3.0、工业 4.0、社会 5.0 的进阶,元宇宙成为当前备受关注的产业领域与研究热点^[1-3]。作为人类对未来社会终极形态的积极想象^[4-5],元宇宙所构造的虚拟世界与现实世界的关系成为讨论的焦点。然而,从文学构想的借用到产业应用的落地,各界对于元宇宙探索仍处于混沌初开的阶段,不同领域专家对于元宇宙远未形成统一而清晰的认知^[6]。总体上,当前仍处于“前元宇宙时代”。在这一阶段,技术路线不一,应用场景稀缺,治理路径不明^[7],挑战与机遇并存,但机遇大于挑战。元宇宙本身代表的变革基因,将在经济、社会、空间到信息等方面重塑人类的生活状态^[8-9],仿若遥不可及又似乎充满确定性。在美好理想与当下现实之间,本文试图从理论概念、关键技术、应用场景和政策治理四个方面,对元宇宙研究与应用的现状进行评述和讨论,并藉此略为探讨这一人类数字空间的未来发展。

2 理论概念:虚实之间

元宇宙的概念,既有兼容并包之意,又有无限拓展之期。文学作品《雪崩》中,用户以数字化身进行交互的虚拟平行世界被称为元宇宙^[10],也成为了多数学者提到的元宇宙起点^[11-13]。从最初的文学形象,后来的《失控玩家》《黑客帝国》的影视形象,再拓展为《Second Life》中的虚拟空间,元宇宙的概念形象貌似逐渐清晰。但由于目前尚且没有高覆盖面的应用场景,对于元宇宙的界定,就难有结论。Lee 等^[13]从虚拟世界与现实世界的二元视角,提出元宇宙发展所必经的三个阶段:数字孪生(digital twin)、数字原生(native content creation)与虚实共生(co-exists and interoperates)等,具有一定代表性。本文在对现有元宇宙概念及有关讨论进行简要梳理的基础上,从与现实宇宙的关系角度,抽取出平行宇宙观、融合宇宙观和进化宇宙观三大类主流观点。

2.1 平行宇宙观

“天人合一,物我两忘”是人类打破时空限制的生存诉求。元宇宙被解读为人类智造的数字虚拟宇宙,通过映射自然宇宙构成人类思想的实验室^[14]。尽管产业界聚焦于元宇宙应用场景的延拓,学者们还是更关注元宇宙在人类思想、行为数据化和显性化过程中的作用机制。这与钱学森先生将虚拟现实命名为“灵境”不谋而合。由于现实世界的时空限制,高奇琦等^[4]将元宇宙称作人类对现实社会模拟与投射的“幻境”,李晓宇^[15]则将其看作由科技打造的超越现实的多维虚拟世界。前者代表当代人对打破时空藩篱的诉求,后者则将元宇宙看作科技改变社会场景的尝试。以数字孪生等技术打造的平行世界或镜像世界,成为对元宇宙的基本印象^[16]。在元宇宙构成上, Park 等^[9]提出了真实感、准入和身份的普及、交互性和可扩展性四大要素基础。人们可以通过数字化身在元宇宙中进行交流^[17-18],由此现实世界的活动在增强或虚拟现实服务的帮助下也有了新的活动空间^[2]。功用性成为对元宇宙平行空间设计的一个主要思路, Wang 等^[8]提出元企业和元城市的概念,与现实企业和城市中的人、物、组织、场景等要素相对应,为实现通过计算实验方法分析和评估决策场景、提高决策效率和效果提供模拟方案。此外,元宇宙也可作为企业营销在虚拟世界的数字副本,实现虚拟平台、内容服务、消费者和商业行为的创新^[19]。总体上,平行宇宙观所指向的镜像世界,更多地强调了元宇宙的功能性,在 2021 年元宇宙热潮到来之前,这一领域便已有了多年的发展,工业互联网和数字孪生等领域已开始产生出一定的成果。

2.2 融合宇宙观

“有无相存,虚实相生”是数字化后人造产物必然面临的交互关系。相比于技术形态的空间,元宇宙也被认为是一种虚实相融的社会形态^[20]。从科技改变社会的视角,其开启了

“后人类社会”新纪元。而随着元宇宙对人类政治、经济、社会和文化活动的渗透,其也被看作是内容为中心的兴趣交换和社会互动的媒介。喻国明^[21]将元宇宙定义为新一代信息技术经过不同排列组合后形成的集成型应用场景,最终指向一个与现实高度关联、互通的虚拟平台。延续这一定义,陈苗等^[22]将元宇宙应用于以 NFT 为中心的图书馆、档案馆与博物馆的技术采纳和活动创新框架之中。依托“去中心化”的网络布局,元宇宙是代表人类对重启人类社会秩序的实验。李黎玥^[23]从三个层面解读元宇宙的定义,其一,从形态上元宇宙是一种互联网应用和社会形态,由多种技术的整合来实现;其二,元宇宙能实现虚拟与现实的高度融合;其三,用户可以产生或编辑内容。其中,作为未来智能城市的融合空间,元宇宙提供了人们能够自由在现实和虚拟之间穿梭的社会实践空间^[24]。最后,时空格局的重塑,也成为元宇宙规则适用的场景突破。从真实性与虚拟性的双重视角,元宇宙可被视为一个联通现实世界与虚拟世界的人类数字化生存迁移的载体^[25]。融合观说明,元宇宙的发展将对人、技术和社会的重塑产生重要影响。

2.3 进化宇宙观

“青出于蓝,而胜于蓝”是元宇宙超越现实的追求。元宇宙也被定义为基于数字技术构建的数字社会,是新一代的数字网络,是数字文明的高阶形态。其所涵盖的不仅是互联网由 2.0 进化到 3.0,还将是社会 5.0 的蓝本或具象。社会 5.0 计划由日本提出,是一个继狩猎采集社会、农业社会、工业社会和信息社会后,由科技创新引领的变革所创造的新社会,也被命名为“超智能社会”^[26]。其以人为中心,通过网络空间和物理空间的融合,解决各种社会问题,如老龄化、出生率下降、基础设施老化等社会面临的可持续发展挑战^[27]。赵星等^[5]将元宇宙看作是未来数智社会的一部分或一类空间。从人的视角,元宇宙的发展是互联网的重心由信息转移到人的讯号。向安玲等^[28]提出了元宇宙的时空延展性、人机融合性、经济增值性,认为在未来将存在“社会化”的虚拟空

间迭代。这一顺势而行、兼容并包的意向,使得元宇宙在解决社会基本矛盾中发挥建设性作用,成为学者思考的方向^[29]。从社会变革和产业发展角度,进化宇宙观或具有相对明确的可解释性。在这一意义上,目前元宇宙对社会和产业的影响,可以分为四方面,即新的经济运行形式、新的社会交往模式、新的空间构建模式、新的信息交互方式。

其一,新的经济运行形式。经济形态变革是元宇宙发展的核心动力之一。从生产组织上,这种连接现实与虚拟的新经济模式,以新的资产、产品、服务形态和生产组织结构重塑为特征,推动社会的生产能力和数字化转型的变革^[30]。如 NBA 的体育赛事传播中,元宇宙可赋能其在产品形态、内容营销、观众体验等方面的革新^[31]。从发展阶段来看,元宇宙是在互联网经济进入滞涨期后,资本界与产业界合力将信息产业的核心技术“连点成线”形成突破升级的经济转型。通过对既有的信息壁垒和资源边界的突破,依托数字货币和数字法币的发展,元宇宙围绕数字资产形成了新的经济生产和商业模式^[32]。其中,非同质化代币(Non-Fungible Token, NFT)的出现,为创业产业企业家提供了非金融交易系统,从而创造新的收入流和利益相关者参与模式^[33]。从构成要素上,与以实体、原子和所有权为特征的现实世界运行机制不同,元宇宙的运行机制是以信息、字节和共享为特征^[34],区块链、NFT 等形成的信任和交易模式,降低了交易成本和搜索成本,实现资源分配和定价模式的改变,形成元经济的发展革新^[35]。

其二,新的社会交往模式。元宇宙以生活新内容、新形式和新习惯,实现人类行为的自由互动。首先,从交往形式上,Massinger 等^[36]指出,这种互动将以数字替身的形式进行,成为人的现实身份与人际关系在虚拟世界的延伸和映射。其次,在互动感知上,虚拟现实领域的技术进步,引发了实时多传感器虚拟传递,使得人类的交互涉及到多种感官,如视觉、听觉以及触觉等,这种场景也拓展到工作、消费、客户-员工等活动之中^[37]。最后,从互动深度上,元宇宙以重构人类生存时空新场域、形成人类社会

生活新方式、形塑人类思想行为为新特点^[38],从根本上改变人类交互的模式与特征。其中,脑机接口等技术的发展,使得普特南的“缸中之脑”思想实验具有可及性,通过电子脉冲信号的传递将实现双向的信息通讯,实现人类意识在虚拟世界中的沉浸式交互^[39]。

其三,新的空间构建模式。理论上,元宇宙会带来一种更环保节约的活动组织方式,提供更自由发挥的空间。首先,元宇宙作为多层虚拟空间的集合体而存在。Ryskeldiev等^[40]将这种空间看作是一个持久的、不断更新的、映射到不同地理空间位置的混合现实空间的集合。在虚拟的共享空间中,用户可以在其中以3D数字对象和虚拟化身交互来模拟真实世界,保存和使用虚拟构建的成果^[41]。其次,元宇宙也被看作是虚拟活动开展的环境载体。Mystakidis^[3]将其定义为一个由持久性多用户平台中的社会化、网络化的沉浸式环境组成的相互联系的网络。以虚拟城市为例,元宇宙通过三维虚拟空间的构建来重建城市空间,并将改变用户对城市的象征性的环境感知,但不干扰现实城市的物理特征^[42]。最后,元宇宙的未来将是完全沉浸式的、超时空、自我维持的空间,成为融合物理、人类和数字世界的三元虚拟世界^[1]。传统实体空间的地点及人与人之间的距离被弱化,元宇宙成为欧式空

间、社会空间和赛博空间的互相嵌套^[43]。而相比于私人元宇宙,公共元宇宙将提供一个由分散的自治组织网络管理的未来社区,通过加密社区、加密国家等虚拟政治实体,重塑未来的企业、国家竞争^[44]。

其四,新的信息交互模式。信息是元宇宙中实体的构建和存在方式。每一次信息技术或产业革命,本质上都是在拓新信息交互方式。第一,信息交互的通道拓展。元宇宙延续并拓展了信息传递场景和效率。其中,诸如视觉通道、触觉通道、嗅觉通道和味觉通道的交互,通过更高的沉浸式使得元宇宙中的信息传递更自由且符合人类的行为^[45]。第二,信息交互的结构突破。由于时空限制的突破和去中心化的网络结构,用户可以在元宇宙中实现高自由度、高匹配度和一体化的信息生产、信息采纳和信息交流^[6]。第三,信息交互的中心转移。元宇宙作为人类思想的虚拟空间,将探索以人为中心的信息交互模式。以数字记忆为特征的元宇宙信息交互价值^[46],使人类的思维和意识突破当下的时空限制,为实现跨文化、跨时空的“数字永生”提供了发展机遇。未来脑成像等技术的发展将突破传统的间接交互到真实交互、自然交互和脑电波交互^[47],以直接的意识传输提高人类智慧创造的效率。

上述三类理论概念要点归纳见表1。

表1 元宇宙的三类理论概念

定义分类	内涵	参考来源
平行宇宙观	映射现实世界的数字虚拟世界,构成人类思想实验室。	高奇琦等 ^[4] ;黄欣荣 ^[14]
	人类以数字化身进行交流活动的数字场所。	Davis等 ^[17] ;Xu等 ^[18]
	社会活动的副本。	Wang等 ^[8] ;Hollensen等 ^[19]
融合宇宙观	技术推动的虚实相融的社会形态。	Park等 ^[9]
	社会互动的集成应用场景和虚拟平台。	喻国明等 ^[16]
	虚拟与现实交互的社会实践空间。	李黎珩 ^[23] ;白龙等 ^[24]
进化宇宙观	以生产组织、交易方式和信任机制突破的新经济模式。	吕鹏 ^[29] ;何哲 ^[30]
	以数字化身、多感官、实时性和沉浸式为特征的社会交往模式变革。	Messinger等 ^[36] ;蒲清平等 ^[38]
	多层空间集成、共享和感知的环境空间和平台。	Ryskeldiev等 ^[40] ;Nabben ^[44]
	信息交互通道、结构和中心变革。	吴江等 ^[6] ;夏翠娟等 ^[46]

3 关键技术:接口之争

技术是连接自然宇宙与元宇宙的基础与入口。而与元宇宙相关的技术如虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)、人工智能(AI)、云计算、5G通信、数字孪生和区块链等底层核心支撑技术都有望在未来一段时间进入成熟期^[48],为元宇宙的整合与实现提供技术保障。类似平行宇宙观、融合宇宙观和进化宇宙观,元宇宙的发展路径从技术实现的视角,也可以划分为复刻现实、超脱现实和增强现实三类。

复刻现实,以工业和管理驱动的切入视角,构建出依托现实的“明镜世界”。数字孪生以互联网上的数字仿真构建“镜像空间模型”“信息镜像空间模型”等,为复杂的工业制造,如飞行器的全生命周期模型提供完整映射。这种映射以一种能够准确指示和预测计算的方式提供了对物理实体的真实模拟^[49]。复刻现实主要基于物联网、云计算、机器学习和人工智能等综合技术。通过通信协议与物理系统连接,使得数据和信息从物理产品传感器流向数字孪生体^[50]。其反映了物理对应物的属性,包括物体的运动、温度、甚至功能。现有的应用如产品设计、计算机辅助设计、智能城市规划、人工智能辅助工业系统、机器人支持的风险操作等,均是以物理现实的数字副本为主要特征^[13]。在工业元宇宙之外, Song等^[51]也提出通过数字孪生和区块链构建智慧城市的模型,可用于诸如城市能源消耗、在线和移动政府服务、分布式的信息管理、精准决策等场景。这种数字虚拟城市的构成包括物理/感知层、网络/传输层、中间件/技术层以及应用/服务层。各类传感器负责物理测量并向处理器发送信号,诸如射频识别(RFID)、近场通信(NFC)、加速计、监控摄像头、激光雷达、转发器、智能仪表、全球定位系统、传感器回路、智能手机和其他数字平台生成了一系列实时数据,经由通讯层,包括Wi-Fi、蓝牙、卫星、蜂窝(4G/5G/6G)、物联网等连接与传输技术,实现多模网络的数据通信。其中云计算等技术则通过支持物理层多个组件进行分布式数据处理,可充当物联网体系结构不同组件之间的接

口^[52]。复刻现实为现实世界的虚拟场景应用于记录、模拟和预测提供了基础接口。

超脱现实,以VR社交、游戏行业的全面升级为主,将构建出虚拟的“灵镜世界”。在计算机发展史上,交互模式从字符用户界面、到图形用户界面,再到智能手机上的动作语音操控,不断突破用户使用计算机的难度瓶颈。而以X联网、身份建模、社会计算和去中心化技术为核心呈现出的元宇宙虚实融合的接口需要切实以沉浸式的人机交互为特征。其中X联网拓展了物联网、人联网和思维联网,使得元宇宙中的关联关系拓展为物与人、人与人、人与思维之间的交流与信息互动^[53]。数字人的出现和应用,代表人类通过虚拟现实技术创造的脱离现实的数字分身。VR等技术通过虚拟现实环境使得人的数字分身能够在元宇宙中通过头戴式显示器、控制器以及一些附着在人身体上的跟踪器捕捉用户的运动并进行相应的行为和交互的呈现^[54]。元宇宙的最终价值仍在于终端应用及内容的用户体验。游戏引擎通过对现实世界的映射、复现和再创造,可帮助构建“元宇宙成熟形态”。如Rospigliosi^[55]提出Roblox等沙盒游戏,可为用户提供虚拟环境并使他们可以构建和塑造环境。

增强现实,以MR等为基础,通过商业、文旅、教育等领域模式革命,将创造出虚实结合的“滤镜世界”。方凌智等^[56]从元宇宙构建的维度,提出元宇宙需要优化目前的扩展现实设备、强化沉浸式装备等的发明和制造。以AR、MR为代表的硬件技术的发展,使得虚拟开放世界更加拟真、人机交互方式更具沉浸感和现实感,硬件的进步有助于缩小与元宇宙成熟形态之间的差距。Zhu^[57]提出了一个多场景组合框架MetaOnce,通过实体关联事件的全面分析推理实现多场景元宇宙的社交体验。从定义来看,增强现实是一种将虚拟信息自然融合到真实世界中的技术,根据信息呈现方式的不同可以分为头戴式、手持式和空间式三大类。袁庆曙等^[58]提出增强现实为探索物理和虚拟世界之间的交互新方法创造了机会。其中,融入脑机交互、眼动和情感等隐式交互模式是未来人机交互模式的重要拓展方向,以降低人与

信息之间的交互障碍,提高交互意图判断推理能力,使多用户之间交互成为可能。因而,Mo-zumder 等^[41]提出元宇宙可以应用物联网、区块链、人工智能等技术等使人安全、自由地参与超越现实极限的社会和经济活动。

作为元宇宙系统的基础能力,人机交互的性能水平直接决定了人在元宇宙中的能力边界,进而决定了元宇宙对人类的价值。软硬件的接口决定了未来元宇宙的交互模式。切入方式的差异,最终将以信息沟通效率作为技术递进的根本。而前期在技术尚未完全突破的情况下,复刻现实和超脱现实是其初始形态,最终元宇宙需要以人的意识和知觉的融入,作为解决信息沟通效率问题的关键。沉浸感、交互性、构想性,既是元宇宙的要素,也是未来社会虚拟化的重要表现。最后,应当指出的是,接口技术之争将成为元宇宙技术竞争的关键,第一个广受欢迎的C端(消费者端)人机交互接口产品的形态将决定此后元宇宙产业的走向,而最终交互接口的性状,则将很大程度塑造元宇宙系统的最终形态。综合2022年当下情况,本文认为AR可能是元宇宙前期特别是虚实交互场景的重要入口,而脑机接口则有望成为元宇宙人机交互接口的最终选择。另外,这些关键技术决定着元宇宙发展的路径,未来元宇宙也很可能在技术主导下变更发展路径和方向。

4 应用场景:融合之景

元宇宙的发展需要底层技术、硬件设备与内容生态的协同构建。当前元宇宙的技术与场景处于探索整合期。预计发展的第一阶段以游戏等平台为入口,在虚拟世界中进行社交互动,形成沉浸式体验的雏形。第二阶段将在虚拟平台中广泛连接消费、物流生活服务等真实元素,让元宇宙融入社会生活。第三阶段以“虚实合一”实现虚实世界的密不可分。在具体的技术架构上,当前元宇宙形成了以底层技术为基石,以硬件为入口,以软件为最终价值体现的技术创新体系^[7]。而在应用层面,元宇宙的到来以虚实融合的应用为特征成为当前阶段的共识。超越最初提出的虚拟空间“下一代互联网”的提法,形成“下一代信息产业”的概念,结合虚拟世界来构建新的经济社会与产

业形态,体现“以虚促实”“脱虚向实”的发展路径,走向“虚实融合生长的社会空间”的新构建。在前期构建底层交互平台的基础上,探索内容研发和虚实融合产业链的完善,成为目前元宇宙应用的主要路径。以认知交互商业生活、工业生产、文化教育和城市社会为主体的赛道布局,成为元宇宙“以虚入实”的前期切入方向。

在认知交互方面,新兴虚拟场景为用户带来真实的交互体验,以满足用户的精神需求,同时带来社会及经济价值。元宇宙作为新的社会文明系统,将人的意识与物质分离,又形成高度互通的状态。郁锋^[59]指出未来元宇宙可以作为人类脑部的智识(包括意识、精神、思想、记忆)等上传云存储的空间,而不仅仅是当下人类精神活动的实时栖居之地。在Lee等^[60]的探索中认为,当前的脑机接口与元宇宙相关的技术结合,可以通过大脑信号向用户提供友好和更为直观的通信方式。因而,元宇宙可通过信息技术与脑科学的融合,逐步实现在虚拟世界的“智识复刻”“智识互动”和“智识永生”,为人类智慧的生存提供新的形式^[61]。

在商业生活方面,元宇宙成为重构商业形态和生活方式的全新风口,其在旅游、娱乐、艺术、办公等垂直商业赛道快速变革,改写产业形态、创新组织形式,带动了商业发展和生活方式的升级^[62]。早在元宇宙初期,虚拟游戏“第二人生”就触发了相应的实体产业如大众等的虚拟商业模式探讨,即在元宇宙中,如何通过信息流向创新各类活动、宣传、制作、体验等模式^[63],实现商业价值的创造。Jeong等^[64]也提出,以互动为特征的元宇宙,也将数字孪生与实时业务结合,克服了现有在线购物的局限性,打破现有的平面式在线模式内容枯燥、沟通有限、缺乏体验等不足,改善信息沟通,实现模式创新。早在21世纪初,虚拟人的研究已经初具规模^[65],至今在商业和生活场景的应用才开始落地,以虚拟人为特征的人物形象,如SMG融媒体中心虚拟新闻主播、虚拟歌姬洛天依等,从个体IP的视角,显示了运营娱乐、社交平台等的初步商业闭环。

工业生产方面,元宇宙将新技术连点成

线,创建新型信息通信技术与实体经济深度融合的新生态,从而变革管理机制、赋能技术生产、增值产业融合。元宇宙作为互联网的未来,在区块链、人工智能、扩展现实等新技术之上,实现从信息互联到价值互联、从用户生成内容向 AI 生成内容转变。数字孪生是元宇宙初级阶段在工业生产的应用,尤其是汽车、飞机等复杂性高的制造行业。Vachálek 等^[66]根据西门子支持的汽车行业项目来解释工业 4.0 的内涵,该项目利用数字孪生优化生产流程、主动维护和持续改进过程数据处理。Qi 等^[67]通过比较大数据和智能制造在制造业的产品设计、生产计划、制造和预测性维护层面的应用,提出当前智能制造正成为全球制造业转型升级的焦点。

文化教育层面,元宇宙在创新人才培养模式、赋能智慧教育环境、提供多样化教育资源、支持多元化学习生活以及实现智能教学评价等方面均具可操作性。教育元宇宙的诸多理解普遍停留在元宇宙的教育应用层面,如创建虚拟身份和沉浸式交互。如鲁力立等^[68]在对元宇宙下的未来教学模式探讨中,提出一种打破“虚拟”与“现实”壁垒,消解“线上”与“线下”的概念,形成颠覆和超越上一代互联网格局与思维的“混沌”新宇宙。以情境知识构建可解决元宇宙中客观知识世界与主观虚拟世界的弱连接问题^[69]。辛海霞^[70]将元宇宙作为技术概念,讨论了元宇宙驱动图书馆实现对象孪生、指标孪生和决策孪生。在图书情报界的应用场景中,结合书理学理论进行图书馆元宇宙构建^①也是很好的案例,以“书、人、用”理念扩展支持构筑图书馆元宇宙,可为图书馆知识交流模式提供参考。

元宇宙赋能社会管理和智慧城市建设的下一个前沿,是以在线共享数字空间、现实虚拟感知交互等核心特征,催生全新的社会管理数字化转型。元宇宙为建立新的知识经济模式提供了新的可能,但也带来了新的治理问题和法律挑战。未来超智能社会的构建,是人类社会向人机物三元融合社会迈进的阶段性表现。Wang 等^[8]从元经济、元管理和元城市的视角,提出了元社会(metasocieties)的概念以解释元

宇宙对社会治理的影响。当前新加坡的“智慧国家 2025”计划、“电子欧洲”的智慧城市发展计划、英国的“智慧社会”、日本的“超智能社会”等,都着眼于未来的新型社会或城市形态下的创新发展模式^[71]。

5 政策治理:敏捷之治

5.1 治理前瞻

元宇宙作为新赛道,概念未定,技术待成,场景未展,不可避免存在争议和反对的声音。在元宇宙中由于虚实结合产生的高自由度、时空变革等,可能产生的问题包括虚拟与现实割裂、个体能力退化、现实社会萎缩等。从整体来看,元宇宙面临的风险包括虚拟与现实的伦理性风险、运行机制不完善带来的内生性风险,以及新兴产业不确定性带来的规制性风险。其中,虚拟与现实的伦理性风险主要来自个体层面的虚实平衡问题^[25]、经济模式的价值主权问题^[15]、社会层面的技术伦理问题^[6]等。运行机制不完善带来的内生性风险来自元宇宙本身软硬件平台设计缺陷导致的安全漏洞、硬件后门,以及去中心化机制的隐藏问题等^[72-73]。由资本主导带来的元宇宙的弱公共性,规则的制定者在初期形成的运行模式对垄断和不平等的加剧等,为元宇宙的治理带来了风险^[74]。此外,新兴产业面临的未知和不确定性,也会放大安全漏洞,产生泡沫化风险。

敏捷治理可能成为应对上述问题和风险的选择方案。薛澜等^[75]指出,敏捷治理是一套具有柔韧性、流动性、灵活性和适应性的监管行动或方法。赵星等^[5]针对元宇宙当前脱实向虚、游戏为先、治理未预的问题,提出以法律、科技和教育的敏捷治理制约和规制,作为提升元宇宙治理的参与度、监管目标导向、节奏与力度等的工具。从数据安全层面,学者提出经过本土化的数据安全敏捷治理模式,主要工具包括正式的、分层级的权力和控制的元级治理结构,由博弈转向合作、由监管转向学习

① 赵星. 构建图书馆天堂的具象——一些元图书馆的探索案例. 天堂的具象:图书馆元宇宙的理想//元宇宙与虚实交互系列论坛. 2021 年 5 月 16 日. 在该论坛中赵星提出元图书馆的五大应用场景,提出以“书、人、用”的理论实现图书馆利用数字孪生和增强现实,实现人与人、人与世界的知识交流,以及信息和知识与人的更好的虚实交互方式。

等关系的转变,以及设置高低强度政策工具以承接技术更新等^[76]。而在智慧城市与智慧社区带来的技术风险和传统风险叠加中,可通过适应性治理理念、风险响应的社区多元共治体系、风险预测防控、助推式的政策工具,以及社区信息官等制度作为应对^[77]。

去中心化被认为是元宇宙的重要创新应用和基本特征,将以虚实融合的方式改变现有社会的组织和运作。去中心化自治组织(Decentralized Autonomous Organizations, DAO)通过代码和组织架构为元宇宙的治理提供了基于智能合约算法和代币投票的自治机制^[78]。尽管这种模式在运行上不受人为干预,因参与者既是用户(使用者)也是创造者(建设者),其产生了更负责任的信任方式,新的生产和协作信赖关系理解个体跟社会的边界,并且尊重这个边界。但目前这种模式也存在局限性,一是承认 DAO 的司法辖区并不多,大多数国家对 DAO 的法律定义还处于灰色地带^[79]。二是安全性几乎仅由代码来保证,如果智能合约代码没有合理编写,可能会遭到恶意攻击并导致参与者损失资金。过度的自治也存在低效率沟通、信息扯皮、代币激励机制的设计合理性等问题。三是去中心化机制不等于去中心化结果。元宇宙从逻辑上绕过了对平台与中介的需求,却无法阻止虚拟资产向投资大户与机构倾斜^[18]。在没有监管的情况下,不仅会有垄断,甚至会有资本暴力的存在。最后,尽管被称为去中心化自治组织,但却不能完全自治,需要有人创建决策框架来确保 DAO 以有效的方式进行治理,并在经济上使用如 NFT 等激励网络参与者参与,以保证其自主运行机制的完善。总之,凡是涉及“去中心化”系统或机制,从安全的角度,都应审慎关注其是真正意义上取消了中心化管理机构,还是将更为绝对化(或从物理

硬件等角度)的中心管理机构“隐藏”于系统之中。

另一方面,应充分认识到社会变革的速度经常会慢于技术变革的节奏。产业界在推动技术变革和产业发展的过程中,应当关注技术逻辑的适应边界。社会变革通常是比技术变革要更为复杂和充满阻力的过程。在技术和产业发展过程中,在没有足够历史参照物的前提下过度强调社会变革的必要性,对于技术变革和产业的发展是否有利,是需要慎重考虑的问题。同时,社会变革导致的未来不确定性,也是产业界容易忽视但实际上应当充分关注的方面。

5.2 中国道路

政策保障是驱动元宇宙理性发展的支持工具。对于中国而言,元宇宙产业兴起需要国家将其纳入发展体系之中。目前在国际层面,日本以“社会 5.0”作为其超智能社会的布局规划^[80]。韩国于 2021 年提出“元宇宙首尔基本计划”,成为全球首个提出中长期“元宇宙”政策计划的政府。2021 年以来,元宇宙也已成为国内各地政府争相抢占赛道的领域,涵盖专门的元宇宙政策、政府工作报告、产业合作协议以及成立机构等形式。当前国内部分地区的元宇宙发展与治理政策如表 2 所见。

元宇宙因其虚实融合的特性而能以前所未有的创新方式,对真实社会的经济和思想产生影响。尽管当前底层技术的日渐成熟为元宇宙打造提供了思路,但元宇宙的未来仍然依赖于硬件和基础设施、标准和协议、量化及支付工具、政策及监管框架等的完善。从表 2 中的诸多政策理念中可以观察到,以上海、厦门、广州等地为代表的中国地方政府已开始探索一条与西方企业在 2021 年所倡导的“虚拟世界构建”不同的元宇宙发展道路。

表2 当前中国各省市元宇宙发展与治理主要政策^①

时间	地区	内容	来源
2021/12/30	上海	前瞻布局元宇宙新赛道	上海经信委发布《上海市电子信息产业发展“十四五”规划》
2022/1/1	江苏无锡滨湖区	打造国际创新高地和国内元宇宙生态产业示范区	《太湖湾科创带引领区元宇宙生态产业发展规划》
2022/1/5	浙江	将元宇宙列为未来产业技术重点方向	《关于浙江省未来产业先导区建设的指导意见》
2022/1/19	北京通州	打造覆盖元宇宙产业的基金,包括早期及长期子资金	《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》
2022/02/16	上海虹口	打造北外滩元宇宙发展和应用示范区,培育和引进一批元宇宙场景应用优质企业,建设一批元宇宙产业经济空间	上海市虹口区《元宇宙产业发展行动计划》
2022/3/21	山东省	培育虚拟现实产业高地,加强底层技术革新,聚焦数字经济新业态	《山东省推动虚拟现实产业高质量发展三年行动计划(2022—2024年)》
2022/3/25	全国	以数字技术与实体经济深度融合为主线,做优做大我国数字经济	国务院《“十四五”数字经济发展规划》
2022/3/25	安徽	引导企业布局元宇宙新兴业态,开展元宇宙平台建设,加速数字技术赋能实体经济	《安徽省“十四五”软件和信息服务业发展规划》
2022/3/29	杭州市	未来五年内将培育XR上市企业5家,引培XR产业相关企业300家,扶持技术攻关和场景应用项目100项	杭州未来科技城XR产业“五年计划”
2022/3/31	厦门市	打造“元宇宙生态样板城市”和数字化发展新体系	厦门市《元宇宙产业发展三年行动计划(2022—2024年)》
2022/4/6	广州市黄埔区	推动元宇宙相关技术、管理、商业模式的产业化与规模化应用,培育工业元宇宙、数字虚拟人、数字艺术品交易等新业态和新模式	《广州市黄埔区广州开发区促进元宇宙创新发展办法》
2022/04/24	重庆市渝北区	打造“元宇宙先导试验区”和“元宇宙生态产业园”,构建元宇宙治理与产业发展体系	重庆市渝北区元宇宙产业创新发展行动计划(2022—2024)

综上所述,在元宇宙这样的关乎未来整个经济社会发展模式的重要领域中,中国应对其发展模式有充分的思考和创新,不应再对西方模式亦步亦趋。首先,“自主可控”应是中国元宇宙产业发展的首要因素。从这一代的信息产业开始,应该在整体产业链上掌控自主权和安全可控的产业链条。其次,“虚实交互”和“以虚强实”应成为中国元宇宙应用场景的首要方向,依托于工业商业、文化教育、政务办公和城市交通等实体领域的元宇宙化升级,应是首先需要鼓励的方向。最后,“包容审慎”可成为政府治理的主要态度,在“去中心化”“数字藏品”等涉及组织模式变革或核心资源重塑的创新上,可以敏捷治理的模式,打造更有韧性的管理机制与治理模式,探索出相关方向的中

国特色发展道路。

5.3 量化工具

量化指标可为元宇宙治理提供相应的评估方案。本文在前述基础上,提出元宇宙指数、元宇宙时长和元宇宙人口三个指标,分别表征元宇宙的空间应用、时间占用和人类发展,供后续研究和应用参考,如表3所示。

6 结语

元宇宙降临,新世界开启。在元宇宙的理论探讨中,目前学界形成了平行宇宙观、融合宇宙观和进化宇宙观三类主流观点,分别在关键技术层面汇聚了复刻现实、增强现实和超脱现实三种技术发展路径。前述三种技术在人机交互接口上的竞争,可能成为元宇宙未来发展道路的决定性因素之一。而三类理论观点

^① 受篇幅限制,本文仅列举2022年5月之前的元宇宙相关政策。除上述以外,部分地区也在各类工作会议中将元宇宙纳入其发展提议,如山西省政协第十二届五次会议,提出“抢抓元宇宙风口,促数字文旅产业转型升级”,以及江西省虚拟现实产业链工作推进会,提出引育一批元宇宙龙头企业。此外,一些地方政府如河北廊坊提出建设元宇宙信息港,江苏南京在长三角首届元宇宙数字生态大会提出成立“江北新区元宇宙生态创新联盟”,以及《河南省数字经济促进条例》提出打造全国领先的元宇宙产业园等。

和三种核心技术的交织发展,在应用场景方面产生了百花齐放的创新,认知交互商业生活、工业生产、文化教育和城市社会等方面的新应用和新场景层出不穷,“去中心化”“数字藏品”和“虚拟数字人”等新概念开始深入人心,“前

元宇宙时代”正在快速演进,等待“奇点”到来。而在政策治理上,可重点关注“敏捷治理”的理论和“去中心化”的理念。在“去中心化”上,各界应慎重观测“中心化”是否被隐藏的问题,产业界应避免技术变革逻辑的简单移用。

表3 元宇宙发展量化测度指标

指标名	测算方式	测度含义	历史性节点
元宇宙指数	C端用户拥有(或经常使用)元宇宙专门入口硬件设备(VR/AR等)的比率	这是一个元宇宙硬件渗透率指标	元宇宙成为日常生活大部分
元宇宙时长	24小时中,人们使用元宇宙应用、进入元宇宙度过时间占比	这是一个元宇宙化应用指标	人类对于元宇宙的依存超过现实宇宙
元宇宙人口	活跃虚拟人(数字人、数智人)数量与生物人数量之比值	这是一个元宇宙社会化进程指标	硅基生命成为主流生命模式

本文建议,中国的元宇宙产业发展应首要考虑“自主可控”,应用场景应首先发展“虚实交互”和“以虚强实”方向,而政府治理应抱有“包容审慎”的态度并探索敏捷治理的模式。通过元宇宙的发展,寻求更有韧性的管理机制与治理模式,在“没有石头可摸”的全新赛道中,总结归纳出新的中国特色经济社会发展道路。本文给出了元宇宙指数、元宇宙时长和元宇宙人口三个指标,分别表征元宇宙的空间应用、时间占用和人类发展的基本测量指标,供后续的研究、应用和治理探讨。

在全文最后,应强调的是,虽然“元宇宙”一词已成为全球约定俗成的热词,但产业界从文学界借取的这一用词,存在天生的不明确性和抽象性,也一定程度上造成了理解和普及的困难与混乱。目前部分人将元宇宙简单的理解为一项技术、一类场景或一个具体产业,从单一技术演进、单一场景描绘和单一产业发展的视角去看待元宇宙,认为其过于遥远抑或近

在眼前,或都系误解。元宇宙是包含了一系列信息等产业前沿技术、一大批几乎涉及所有领域的应用场景和大部分传统与新兴产业升级的横断性概念。若要类比,“下一代互联网”也很可能缩小了其本质范畴,元宇宙应该类比的是工业4.0这样层级的概念。

从这一意义上,“元宇宙”是一个错误的用词,其更为合理的用词是“数字空间”。一个数字化转型完成后、数字经济发展到一定程度时,会分阶段、分行业、分形式以参差不齐的速度,逐步显现的虚实结合的社会性数字空间。

致谢:本文研究过程中得到了上海市经济和信息化委员会刘文先生、华为技术有限公司的房思哲先生和张中阳先生、亮风台(上海)信息科技有限公司唐荣兴先生、虚幻引擎(中国)的褚达先生、复旦大学大数据研究院邹宏先生和华东理工大学虚拟现实教学实验室蔡方先生的提示或建议,特致谢意。当然,文责与错误作者自负。

参考文献

- [1] Wang Y, Su Z, Zhang N, et al. A survey on metaverse: Fundamentals, security, and privacy[J]. arXiv preprint arXiv:2203.02662, 2022.
- [2] Damar M. Metaverse shape of your life for future: A bibliometric snapshot[J]. Journal of Metaverse, 2021, 1(1): 1-8.
- [3] Mystakidis S. Metaverse[J]. Encyclopedia, 2022, 2(1): 486-497.
- [4] 高奇琦, 梁兴洲. 幻境与虚无: 对元宇宙现象的批判性反思[J]. 学术界, 2022(2): 54-64.
- [5] 赵星, 陆绮雯. 元宇宙之治: 未来数智世界的敏捷治理前瞻[J]. 中国图书馆学报, 2022, 48(1): 52-61.
- [6] 吴江, 曹喆, 陈佩, 等. 元宇宙视域下的用户信息行为: 框架与展望[J]. 信息资源管理学报, 2022, 12(1): 4-20.
- [7] 赵星. 前瞻布局“元宇宙赛道”上海为何提倡“虚实融合”? [EB/OL]. 中新社. [2022-04-24]. <https://www.chinanews.com.cn/cj/2022/03-15/9702288.shtml>.
- [8] Wang F Y, Qin R, Wang X, et al. Metasocieties in metaverse: Metaeconomics and metamanagement for metaenterprises and metacities[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2022, 9(1): 2-7.

- [9] Park S M, Kim Y G. A Metaverse: Taxonomy, components, applications, and open challenges[J]. IEEE Access, 2022: 4209-4251.
- [10] Joshua J. Information bodies: Computational anxiety in Neal Stephenson's Snow Crash[J]. Interdisciplinary Literary Studies, 2017, 19(1): 17-47.
- [11] 李慧敏.自由与秩序:元宇宙准入的价值选择与身份认证的元规则[J].法治研究,2022(2):36-44.
- [12] 李晶.元宇宙中通证经济发展的潜在风险与规制对策[J].电子政务,2022(3):54-65.
- [13] Lee L H, Braud T, Zhou P, et al. All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda[J]. arXiv preprint arXiv:2110.05352, 2021.
- [14] 黄欣荣.元宇宙的哲学探索——从信息社会到宇宙大脑[J].理论探索,2022(2):5-11.
- [15] 李晓宇.“元宇宙”下虚拟数据作品的著作权扩张及限制[J].法治研究,2022(2):15-24.
- [16] 喻国明,耿晓梦.“元宇宙”:媒介化社会的未来生态图景[J/OL].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2022,43(3):110-118.
- [17] Davis A, Murphy J, Owens D. Avatars, people, and virtual worlds: Foundations for research in metaverses[J]. Journal of the Association for Information Systems, 2009, 10(2): 91-117.
- [18] Xu H, Li Z, Li Z, et al. Metaverse native communication: A blockchain and spectrum prospective[J].arXiv preprint arXiv:2203.08355, 2022.
- [19] Hollensen S, Kotler P, Opresnik M O. Metaverse: The new marketing universe[J]. Journal of Business Strategy, 2022: 1-7.
- [20] 清华大学新媒体研究中心.元宇宙发展研究报告 2.0 版[EB/OL].文化产业评论.[2022-04-24]. <https://www.163.com/dy/article/GUH81ER10519CS5P.html>.
- [21] 喻国明.未来媒介的进化逻辑:“人的连接”的迭代、重组与升维——从“场景时代”到“元宇宙”再到“心世界”的未来[J].新闻界,2021(10):54-60.
- [22] 陈苗,肖鹏.元宇宙时代图书馆、档案馆与博物馆(LAM)的技术采纳及其负责任创新:以 NFT 为中心的思考[J].图书馆建设,2022(1):121-126.
- [23] 李黎玥.元宇宙 虚拟与现实的高度融合[N].北京日报,2021-11-24(013).
- [24] 白龙,骆正林.身体、空间与城市:5G 时代智能城市的媒介化重构[J].新闻与传播评论,2021,74(1):26-34.
- [25] 张蓝姝,史玮珂.元宇宙:数字化生存的逻辑探究与反思[J].当代传播,2022(2):81-84.
- [26] Deguchi A, Hirai C, Matsuoka H, et al. What is society 5.0[J]. Society, 2020, 5: 1-23.
- [27] Fukuyama M. Society 5.0: Aiming for a new human-centered society[J]. Japan Spotlight, 2018, 27(Society 5.0): 47-50.
- [28] 向安玲,高爽,彭影彤,等.知识重组与场景再构:面向数字资源管理的元宇宙[J].图书情报知识,2022,39(1):30-38.
- [29] 吕鹏.“元宇宙”技术——促进人的自由全面发展[J].产业经济评论,2022(1):20-27.
- [30] 何哲.元宇宙新经济的裂变及可能趋势[J].人民论坛,2022(7):36-39.
- [31] 李宜岚.元宇宙背景下体育赛事传播创新研究——以 NBA 为例[J].新闻研究导刊,2022,13(5):13-15.
- [32] 袁园,杨永忠.走向元宇宙:一种新型数字经济的机理与逻辑[J].深圳大学学报(人文社科版),2022,39(1):84-94.
- [33] Chalmers D, Fisch C, Matthews R, et al. Beyond the bubble: Will NFTs and digital proof of ownership empower creative industry entrepreneurs? [J]. Journal of Business Venturing Insights, 2022, 17: e00309.
- [34] Monares P, Liu J H, Santibañez R, et al. Accessing the role of trust profiles for the economic growth of societies: a stochastic rule-based simulation using the prisoners dilemma game[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2020, 7(4): 849-857.
- [35] Jeon H, Youn H, Ko S, et al. Blockchain and AI meet in the metaverse[J]. Advances in the Convergence of Blockchain and Artificial Intelligence, 2022: 73-76.
- [36] Messinger P R, Stroulia E, Lyons K, et al. Virtual worlds—past, present, and future: New directions in social computing[J]. Decision Support Systems, 2009, 47(3): 204-228.
- [37] Hennig-Thurau T, Aliman N, Herting A, et al. The value of real-time multisensory social interactions in the virtual-reality metaverse: Framework, empirical probes, and research roadmap[J/OL]. Empirical Probes, and Research Roadmap, 2022.[2022-04-24].<https://ssrn.com/abstract=4090014>.
- [38] 蒲清平,向往.元宇宙及其对人类社会的影响与变革[J/OL].重庆大学学报(社会科学版),2022.[2022-04-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1023.C.20220129.1921.002.html>.

- [39] 张昌盛.人工智能、缸中之脑与虚拟人生——对元宇宙问题的跨学科研究[J].重庆理工大学学报(社会科学), 2021,35(12):52-63.
- [40] Ryskeldiev B, Ochiai Y, Cohen M, et al. Distributed metaverse: Creating decentralized blockchain-based model for peer-to-peer sharing of virtual spaces for mixed reality applications[C]//Proceedings of the 9th Augmented Human International Conference. 2018: 1-3.
- [41] Mozumder M A I, Sheeraz M M, Athar A, et al. Overview: Technology Roadmap of the Future Trend of Metaverse based on IoT, Blockchain, AI Technique, and Medical Domain Metaverse Activity[C]//2022 24th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). IEEE, 2022: 256-261.
- [42] Hemmati M. The metaverse: An urban revolution[J]. Tourism of Culture, 2022, 2(7):53-60.
- [43] 肖超伟,张旻薇,刘合林,等.“元宇宙”的空间重构分析[J].地理与地理信息科学,2022,38(2):1-9.
- [44] Nabben K. Building the Metaverse: ‘crypto states’and corporates compete, down to the hardware[J/OL].Social Science Research Network, 2021, 11. [2022-04-21]. <https://ssrn.com/abstract=3981345> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3981345>.
- [45] Zhao Y, Jiang J, Chen Y, et al. Metaverse: Perspectives from graphics, interactions and visualization[J]. Visual Informatics, 2022,6:56-67.
- [46] 夏翠娟,铁钟,黄薇.元宇宙中的数字记忆:“虚拟数字人”的数字记忆概念模型及其应用场景[J/OL].图书馆论坛, 2022.[2022-04-20].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1306.g2.20220311.1518.002.html>.
- [47] Huynh-The T, Pham Q V, Pham X Q, et al. Artificial intelligence for the Metaverse: A survey[J].arXiv preprint arXiv: 2202.10336, 2022.
- [48] 齐健.Gartner:新业态、新模式推动智慧城市加速发展[J].智能制造,2021(1):19-22.
- [49] 刘大同,郭凯,王本宽,等.数字孪生技术综述与展望[J].仪器仪表学报,2018,39(11):1-10.
- [50] Karaarslan E, Babiker M. Digital twin security threats and countermeasures: An introduction[C]//2021 International Conference on Information Security and Cryptology (ISCITURKEY). IEEE, 2021: 7-11.
- [51] Song Y, Hong S. Build a secure smart city by using blockchain and digital Twin[J]. International Journal of Advanced Science and Convergence, 2021, 3(3): 9-13.
- [52] Far S B, Rad A I. Applying digital twins in Metaverse: User interface, security and privacy challenges[J]. Journal of Metaverse, 2022, 2(1): 8-16.
- [53] 王文喜,周芳,万月亮,等.元宇宙技术综述[J].工程科学学报,2022,44(04):744-756.
- [54] Campbell M, Jovanovic M.Digital self: The next evolution of the digital human[J].Computer,2022,55(4):82-86.
- [55] Rospigliosi P. Metaverse or simulacra?Roblox, minecraft, meta and the turn to virtual reality for education, socialisation and work[J]. Interactive Learning Environments, 2022, 30(1): 1-3.
- [56] 方凌智,沈煌南.技术和文明的变迁——元宇宙的概念研究[J].产业经济评论,2022(1):5-19.
- [57] Zhu H.MetaOnce: A metaverse framework based on multi-scene relations and entity-relation-event game[J]. arXiv preprint arXiv:2203.10424, 2022.
- [58] 袁庆曙,王若楠,潘志庚,等.空间增强现实中的人机交互技术综述[J].计算机辅助设计与图形学学报,2021,33(3):321-332.
- [59] 郁锋.我们能实现精神不朽吗[EB/OL].澎湃新闻.[2022-05-12]. https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_15512735.
- [60] Lee S H, Lee Y E, Lee S W. Toward imagined speech based smart communication system: Potential applications on metaverse conditions[C]//2022 10th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI). IEEE, 2022: 1-4.
- [61] 吕鹏.元宇宙技术与人类“数字永生”[J].人民论坛,2022(7):21-25.
- [62] Bian Y, Leng J, Zhao J L. Demystifying Metaverse as a new paradigm of enterprise digitization[C]//International Conference on Big Data. Springer, Cham, 2021: 109-119.
- [63] Terdiman D.The entrepreneur's guide to Second Life:Making money in the metaverse[M].John Wiley & Sons,2007.
- [64] Jeong H,Yi Y, Kim D. An innovative e-commerce platform incorporating metaverse to live commerce[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2022, 18(1): 221-229.
- [65] 王兆其.虚拟人合成研究综述[J].中国科学院大学学报,2000,17(2):89.
- [66] Vachálek J, Bartalský L, Rovný O, et al. The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept[C]//2017 21st International Conference on Process Control(PC). IEEE, 2017: 258-262. (下转第45页)

- [30] 汪君,周群英.卓越、公平、多元:英国科研卓越框架(REF)改革的新动向及启示[J].应用型高等教育研究,2021,6(2):67-72.
- [31] Bornmann L. What is societal impact of research and how can it be assessed? A literature survey[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2013, 64(2): 217-233.
- [32] Bornmann L, Haunschild R, Adams J. Do altmetrics assess societal impact in a comparable way to case studies? An empirical test of the convergent validity of altmetrics based on data from the UK research excellence framework (REF)[J]. Journal of Informetrics, 2019, 13(1): 325-340.
- [33] 余厚强,李龙飞.政策文件替代计量指标影响因素研究[J].情报理论与实践,2021,44(7):28-36.
- [34] 陈仕吉,江文森,康温和,等.论文被引频次的影响因素研究[J].情报杂志,2020,39(5):83-88.
- [35] 刘意.中国人文社科期刊论文国际被引影响因素研究[J].现代情报,2020,40(4):136-147.
- [36] 石浩言.科学论文被引频次和下载量的影响因素分析[D].昆明:云南财经大学,2019.
- [37] 牟象禹,龚凯乐,谢娟,等.论文被引频次的影响因素研究——以国内图书情报领域为例[J].图书情报知识,2018(4):43-52.
- [38] 徐庆富,康旭东,张春博.多期刊比较视角下的论文被引频次若干影响因素研究[J].情报杂志,2018,37(2):147-153.
- [39] 王海涛,谭宗颖,陈挺.论文被引频次影响因素研究——兼论被引频次评估科研质量的合理性[J].科学学研究,2016,34(2):171-177.
- [40] Zhang L, Wang J. Why highly cited articles are not highly tweeted? A biology case[J]. Scientometrics, 2018, 117(1): 495-509.
- [41] 余波,赵蓉英.Altmetrics Top100 论文的演进特征及影响因素分析[J].现代情报,2020,40(7):134-143,151.
- [42] 张琳,社会英,尚媛媛,等.性别视角下国家自然科学基金项目负责人的成果产出与影响研究[J].信息资源管理学报,2021,11(3):110-120.
- [43] 余厚强,曹雪婷.Mendeley 阅读指标视角下的中美国际论文影响力比较研究[J].信息资源管理学报,2021,11(3):77-87.

(收稿日期:2021-11-08)

(上接第 23 页)

- [67] Qi Q, Tao F. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0:360 degree comparison[J]. IEEE Access, 2018, 6: 3585-3593.
- [68] 鲁力立,许鑫.从“混合”到“混沌”:元宇宙视角下的未来教学模式探讨——以华东师范大学云展厅策展课程为例[J].图书馆论坛,2022,42(1):53-61.
- [69] 姚占雷,许鑫.元宇宙中情境知识的构建与应用初探[J].图书馆论坛,2022,42(1):45-52.
- [70] 辛海霞.从技术概念到研究议题:元宇宙图书馆走向何种未来[J].图书与情报,2021(6):90-95.
- [71] 潘教峰.新科技革命与三元融合社会——关于雄安新区建设的宏观思考[J].中国科学院院刊,2017,32(11):1177-1184.
- [72] 郭江兴.网络空间内生安全发展范式[J].中国科学:信息科学,2022,52(2):189-204.
- [73] 赵星.前元宇宙时代的场景、风险与保险前瞻[EB/OL].[2022-05-15].<https://ibd.fudan.edu.cn/bf/77/c24062a442231/page.htm>.
- [74] 谢新水.作为“人造物”的元宇宙:建构动力、弱公共性及增强策略[J/OL].电子政务,2022.[2022-04-27].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5181.TP.20220410.1342.012.html>.
- [75] 薛澜,赵静.走向敏捷治理:新兴产业发展与监管模式探究[J].中国行政管理,2019(8):28-34.
- [76] 范玉吉,张潇.数据安全治理的模式变迁、选择与进路[J].电子政务,2022(4):114-124.
- [77] 葛天任,裴琳娜.高风险社会的智慧社区建设与敏捷治理变革[J].理论与改革,2020(5):85-96.
- [78] Gadekallu T R, Huynh-The T, Wang W, et al. Blockchain for the Metaverse: A review[J]. arXiv preprint arXiv:2203.09738, 2022.
- [79] 郭少飞.“去中心化自治组织”的法律性质探析[J].社会科学,2020(3):96-104.
- [80] 朱启超,王姝.日本“超智能社会”建设构想:内涵、挑战与影响[J].日本学刊,2018(2):60-86.

(收稿日期:2022-06-04)