

# 元宇宙在医疗领域应用研究\*

苏文星

郑琰莉

(先进操作系统创新中心(天津)有限公司 天津 300450)

(天津泰达普华医院 天津 300203)

宋元涛

(中国科学院大学应急管理科学与工程学院 北京 100049)

**[摘要]** 介绍元宇宙相关概念、定义及架构, 阐述元宇宙在医疗领域应用与研究进展, 分析元宇宙在医疗领域可能面临的风险与挑战, 提出建议, 包括开展元宇宙医疗核心技术攻关、推动元宇宙医疗生态与标准构建等。

**[关键词]** 元宇宙; 医疗领域; 智慧医疗

**[中图分类号]** R-058 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.3969/j.issn.1673-6036.2023.04.003

**Study on the Application of Metaverse in the Medical Field** SU Wenxing, Advanced Operating System Innovation Center (Tianjin) Co., Ltd, Tianjin 300450, China; ZHENG Yanli, Tianjin TEDA Puhua International Hospital, Tianjin 300203, China; SONG Yuan-tao, School of Emergency Management Science and Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**[Abstract]** The paper introduces the concept, definition and structure related to the metaverse, expounds the application and research progress of the metaverse in the medical field, analyzes the risks and challenges that the metaverse may face in the medical field, and puts forward suggestions, including developing the core technology of the metaverse medical treatment, promoting the construction of the metaverse medical ecology and standards, etc.

**[Keywords]** metaverse; medical field; smart medical care

## 1 引言

科技发展推动信息技术创新, 促进数字技术与

实体经济深度融合, 催生诸多新产业、新业态、新模式。元宇宙是融合多种高新技术的新型互联网应用和社会形态, 具有多技术性、社会性、超时空性等特点。元宇宙的本质是将现实世界进行数字化、

**[修回日期]** 2022-11-10

**[作者简介]** 苏文星, 硕士, 发表论文 2 篇; 通信作者: 宋元涛, 博士, 副教授, 发表论文 20 篇。

**[基金项目]** 住房和城乡建设部课题“城市医疗服务设施安全与风险防控理论与方法研究”(项目编号: 2022-k-049); 广西壮族自治区创新驱动发展专项“基于自主可控底层技术的物联网应用系统开发工具研究及应用示范”(项目编号: 桂科 AA22068069)。

虚拟化，通过数字化仿真建模分析技术、高速通信技术、物联网技术、控制技术等将现实活动与数字化虚拟场景进行高度融合。国家“十四五”规划中提出要进一步加强对元宇宙底层核心技术基础能力<sup>[1]</sup>，截至 2022 年 6 月，已有 7 省、17 市地方政府相继发布元宇宙建设规划。

元宇宙的兴起顺应时代发展趋势，元宇宙与各学科领域深度融合将是科技发展的必然趋势。国家“十四五”规划中强调医疗领域的创新发展需进一步加强，元宇宙医疗是借助元宇宙技术在传统医疗基础上发展起来的，能够在健康服务、科研教学、辅助决策、协同发展等方面为其提供支撑，助推传统医疗逐步向智慧医疗演进，具有重要研究意义。本文梳理当前元宇宙在医疗领域的发展方向与研究热点，讨论其面临的风险与挑战，并提出相应建议，旨在为元宇宙医疗的后续研究提供新思路。

## 2 元宇宙概述

### 2.1 定义及应用架构

2.1.1 定义 目前元宇宙并无统一定义，Ning H 等<sup>[2]</sup>认为元宇宙是一种集成多种科技手段的沉浸式互联网应用和社交模式。Lee L H 等<sup>[3]</sup>将元宇宙定义为利用互联网、万维网和扩展现实（extended reality, XR）等技术共同打造的一个和物理世界平行的虚拟空间。元宇宙并非是单纯的产品或技术，而是将上述技术整合而产生的新型互联网应用和社会形态<sup>[4]</sup>。

2.1.2 应用架构 从技术角度看，元宇宙整合了扩展现实、区块链、数字孪生、人工智能、通信网络、物联网、数字货币等新兴技术，使虚拟与现实高度互通，具有技术叠加性、虚实相容性、实时交互性和高度沉浸性等特征<sup>[5]</sup>，在元宇宙应用架构中，由上述新兴技术所组成的基础支撑层为元宇宙的实现提供支撑。元宇宙利用建模、渲染、交互等工具为不同应用领域构建海量虚拟场景，感知层通过视觉、听觉、触觉等智能设备搭建起虚拟世界与现实世界间的桥梁，并经由数据层的传输与分析实现整个应用体系的智能感知、协同交互。同时，相应的政策法规与标准规范也为元宇宙的健康发展指

明道路，见图 1。



图 1 元宇宙应用架构

### 2.2 应用研究情况

目前元宇宙已在诸多领域展开应用研究，其中在游戏、社交领域的表现形式最为直观。2021 年 10 月脸书（Facebook）推出可在虚拟空间进行沉浸式会议的元宇宙软件<sup>[6]</sup>；同年，百度在元宇宙“希壤”中举办人工智能（artificial intelligence, AI）开发者大会<sup>[7]</sup>，这也是国内首次在元宇宙举办的大会。在教育领域，2022 年教育部教育信息化技术标准委员会等组织联合主办“数字化转型与教育元宇宙”高峰论坛，推动了元宇宙在教育领域的发展<sup>[8-9]</sup>。在工业领域，有公司研发基于全能宇宙的新一代虚拟工厂产业标准<sup>[10-11]</sup>。在医疗领域，2022 年 2 月全球首个元宇宙医学协会暨联盟（International Association and Alliance of Metaverse in Medicine, IAMM）在上海成立<sup>[12]</sup>，元宇宙在医疗领域的探索进入快车道。

## 3 元宇宙在医疗领域的应用

### 3.1 总体应用情况

元宇宙医疗是元宇宙在医疗领域的落地与拓展，基于元宇宙构建的虚拟空间打破现实世界对时空、资源的限制，进一步促进医疗领域的创新与发展。早在 2012 年 Yu X 等就提出元宇宙可为医疗领域实现有效协作和知识共享提供支撑，能提供个人与他人进行社会互动的社会情感环境。现阶段，传

统医疗正处在数字化转型的关键阶段, 这为元宇宙医疗的发展奠定了良好基础。同时, 元宇宙产业发展很大程度上依赖于底层技术支撑与政策支持。近年来脑机接口、云计算、区块链、人工智能等技术在医疗领域形成广泛的研究与应用基础, 因此元宇宙在医疗领域具有广阔的发展前景。

### 3.2 元宇宙在医疗健康服务中的应用

3.2.1 虚实相容 随着社会发展水平的提升, 人们对医疗健康服务的期望不断提高, 而元宇宙医疗的引入为解决该问题提供了新思路。虚实相容性是元宇宙的核心特征, 黄云辉等<sup>[13]</sup>设计一款自助三维导诊系统, 就诊者可通过虚拟场景快速了解就医环境并准确获取导诊路线, 提升就诊效率。邱平<sup>[14]</sup>提出依托虚拟现实 (virtual reality, VR) 设备的沉浸感、交互性, 可为抑郁症治疗带来新思路。闫邦奇等<sup>[15]</sup>应用增强现实 (augmented reality, AR) 眼镜在卫生检疫查验中进行创新性探索。

3.2.2 孪生数字人 虚拟人是元宇宙的基础生命形态, 在元宇宙医疗中可以基于患者健康档案建立“孪生数字人”, 给予就诊者更加科学便捷的健康服务。2019 年金小桃等<sup>[16]</sup>提出个人全息健康信息剖面模型, 并讨论如何扩展该模型来有效提高日常生活与医疗服务质量。另外, 元宇宙感知设备的发展可以帮助残障人士从听觉、触觉、嗅觉、神经方面提升感知。浙江大学在 2020 年完成国内首例植入式脑机接口 (brain computer interface, BCI) 临床转化研究<sup>[17]</sup>, 该项技术帮助患者通过思想来控制机械肢体进行运动, 可以有效改善部分运动功能和生活能力丧失患者控制外部环境的能力<sup>[18]</sup>。

### 3.3 元宇宙在医疗科研教学中的应用

3.3.1 扩展沉浸式临床教学 传统的医疗科研教学存在场景不够逼真、实验器具与案例不足、研发试错成本较高等问题。元宇宙医疗通过虚拟仿真技术将复杂抽象的概念以更加形象真实的方式呈现, 其真实感、交互感、沉浸感有效解决教学实践中的“三高四难” (即高风险、高成本、高污染, 难看见、难再现、难操作、难进入) 问题。早在 2009

年澳大利亚格里菲斯大学医学院就开展扩展沉浸式临床教学 (clinical learning through extended immersion in medical simulation, CLEIMS) 项目<sup>[19]</sup>, 通过在学校建立模拟真实医疗环境的临床技能中心, 使学生在高度仿真的工作环境中进行沉浸式实践, 为培养高质量医学生发挥重要作用。2022 年杨飞等<sup>[20]</sup>利用虚拟仿真系统对临床护理要求十分严格的胸腔闭式引流构建实训项目, 以提升医护人员护理质量。

3.3.2 全流程模拟与展示教学 传统医药学科研与教学具有成本高、周期长、成功率低等难点问题, 而元宇宙医疗可以通过仿真与分析技术为科研与教学过程提供全流程的模拟与展示, 如完成候选药物分子的设计与合成, 动态调整配比参数验证研发效果, 利用区块链技术加强数据的安全与共享<sup>[21]</sup>, 极大降低教学科研的成本与风险, 推动药学教育的发展<sup>[22]</sup>。

### 3.4 元宇宙在医疗辅助决策中的应用

3.4.1 辅助医疗决策 辅助医疗决策是指通过提供诊疗数据或者方案, 辅助医务人员进行临床决策。传统方法是医生根据自身经验对备选方案进行研判, 而元宇宙医疗主要利用人工智能、大数据、云计算等技术对大量真实病历、影像、临床数据等进行综合分析、建模、仿真、优化, 进而得出较为科学和全面的辅助决策方案。Revathi J 等<sup>[23]</sup>通过人工智能算法对多导联心电图进行分析, 用于诊断心电信号异常的医疗决策, 实验结果显示该方法对检测束支传导阻滞和心肌梗死效果较好。

3.4.2 疾病风险预测 元宇宙医疗利用人工智能算法还可以对患者的疾病风险进行预测。何础<sup>[24]</sup>基于电子病历, 利用 XGBoost 算法构建电子衰弱指数能很好地预测老年住院患者住院期间及出院后 1 年内不良事件的发生风险, 对疾病预防研究有一定借鉴意义。Taye G T 等<sup>[25]</sup>从 120 秒长的心率变异性 (heart rate variability, HRV) 和心电图信号中提取特征以预测室颤发生前 30 秒的情况, 这项研究结果验证了利用 QRS 波形特征预测心室颤动发作的可行性。

3.4.3 人体结构虚拟重构 在现阶段手术过程

中,最大的难点在于手术时要在错综复杂的人体结构中找到病灶点,而利用元宇宙医疗可以对人体结构进行虚拟重构,医生可以在复杂手术前对手术方案进行全方位模拟,从而提高手术成功率。2021 年第 29 届亚洲心血管与胸外科学会年会上,首尔大学医院利用 XR 平台进行手术模拟,推动了元宇宙在医疗领域的发展。

### 3.5 元宇宙在医疗协同发展中的应用

3.5.1 “远程医疗+虚拟医院” 目前国际、国内各区域医疗发展存在资源不平衡问题。国家“十四五”规划中强调要完善可持续、多层次医疗保障体系,推广远程医疗,加强数字化建设,促进医疗协同发展。元宇宙医疗可以将患者各种生理特征远程映射到医疗专家面前的全息数字人身上,专家根据患者健康状态及时做出诊断并给出相应治疗方案。“远程医疗+虚拟医院”组合不仅可以打破时空和资源限制,还可以实现与不同地区医生交流合作,促进各地区医疗行业协同发展,为患者提供更加优质的医疗服务。

3.5.2 远程监控与远程手术 2019 年美国建立虚拟家庭医院以便管理医院无法容纳的患者,通过虚拟仿真技术对患者进行远程监控,确保患者及时被评估和治疗<sup>[26]</sup>。2019 年北京积水潭医院等多家医院利用 5G 技术远程操控骨科机器人手术获得成功<sup>[27]</sup>。2021 年陈春玲<sup>[28]</sup>构建 5G 结合 AR 的急危重症协同救治系统。同年,华中科技大学同济医学院叶哲伟教授团队<sup>[29]</sup>通过混合现实云平台技术,成功为远在 3 600 千米和 4 500 千米外部队医院的前线战士和边疆居民开展 3 台远程会诊手术。

## 4 元宇宙在医疗领域应用的风险与挑战

在元宇宙等新兴概念与技术的持续赋能下,医疗领域将提供更加高效便捷的服务以及更加公平开放的医疗资源,进一步促进医疗领域协同发展。但由于元宇宙医疗目前仍处于起步阶段,发展尚不成熟,因此面临着诸多风险与挑战。

### 4.1 技术发展层面

元宇宙是虚拟世界与现实世界的结合,是经济系统、社交系统、孪生系统、去中心化认证系统、现实场景等多重要素的集合体,对算法、算力、渲染、基础设施等有极高的要求。同时元宇宙医疗必须在安全可靠的基础上发展,目前在医疗临床应用上仍有很多需要攻破的技术难题<sup>[30]</sup>。另外,扩展现实技术允许人们直接与周围环境或设备沉浸式交互,但扩展现实交互设备存在成本高、不够便捷等问题,在一定程度上制约其使用。

### 4.2 安全、伦理与法律层面

元宇宙追求虚实空间的深度结合,这意味着元宇宙中的行为难以受到现实世界法则约束,存在谣言、经济诈骗、暴力、恐怖主义、极端主义泛滥等不确定性<sup>[31]</sup>。同时,元宇宙包含复杂的社会关系,与现实世界的真实身份紧密相连,因此必须充分考虑数据隐私保护问题<sup>[32]</sup>。数字资产和身份认证的唯一性以及高度交互性决定元宇宙中应当建立相应的法律体系。确定一套保证元宇宙稳定运行的约束机制,建立元宇宙中的道德规范和法律准则,是实现元宇宙和现实世界良性互动、正向反馈的必然要求。另外,元宇宙医疗为医生和患者带来的相关影响也是值得思考的问题。

## 5 元宇宙在医疗领域应用发展建议

### 5.1 持续元宇宙医疗核心技术攻关,夯实元宇宙医疗发展基础

元宇宙医疗产业的发展很大程度上依赖于其底层的技术支撑与政策支持,因此相关组织可在芯片、传感器、光学组件、光学显示、脑机接口等领域进行重点攻关,加速基础软件、虚拟引擎、操作系统研发,强化 5G/6G 通信网络、人工智能算法、人机交互、虚拟建模技术研究,切实夯实元宇宙医疗发展的技术基础,实现核心技术自主可控。由于元宇宙医疗相关技术研究投入成本巨大,政府可出台相关政策支持相关产业发展,鼓励产学研融合,

为医疗发展提供强劲动力。

## 5.2 推动元宇宙医疗生态与标准构建, 助力元宇宙医疗健康发展

目前元宇宙医疗的应用场景比较有限, 主要涉及教学、辅助决策、远程手术等方面。未来随着科技、管理的发展和完善, 将会有更多应用场景出现。相关组织可围绕元宇宙医疗持续构建丰富的生态系统。元宇宙医疗在伦理、法律、经济、信息安全等层面的建设还不够完善, 要加快制定统一的技术、数据、通信等标准, 以规范行业健康发展。政府可加强对元宇宙医疗的监管和引导, 推广元宇宙相关理念, 加快相关法律法规的制定。医院、高校作为医疗体系的核心, 在人才培养方面要重视学科交叉, 打破固有学科边界, 为元宇宙医疗领域储备更多专业人才。

## 6 结语

本文首先对元宇宙定义及架构进行初步概括; 其次梳理元宇宙在医疗健康服务、医疗科研教学、医疗辅助决策、医疗协同发展中的前沿研究成果, 分析元宇宙在医疗领域应用的风险与挑战; 最后提出元宇宙在医疗领域应用发展的建议。虽然目前仍存在一定的局限性与挑战, 但相信随着相关技术不断地发展以及体系的持续完善, 元宇宙在医疗领域的应用研究一定会有更广阔的前景。

## 参考文献

- 1 新华社. 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 [EB/OL]. [2022-08-22]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm).
- 2 NING H, WANG H, LIN Y, et al. A survey on metaverse: the state-of-the-art, technologies, applications, and challenges [EB/OL]. [2022-08-22]. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2111/2111.09673.pdf>.
- 3 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 [EB/OL].

- [2022-08-22]. <https://arxiv.org/pdf/2110.05352v2.pdf>.
- 4 闫佳琦, 陈瑞清, 陈辉, 等. 元宇宙产业发展及其对传媒行业影响分析 [J]. 新闻与写作, 2022 (1): 68-78.
- 5 张夏恒, 李想. 国外元宇宙领域研究现状、热点及启示 [J]. 产业经济评, 2022 (2): 199-214.
- 6 O'BRIEN M, CHAN K. Explainer: what is the metaverse and how will it work? [EB/OL]. [2022-08-22]. <https://apnews.com/article/meta-facebook-explaining-the-metaverse-f57e01cd5739840945e89fd668b0fa27>.
- 7 撒元明. 在“元宇宙”上开会——2021 百度 AI 开发者大会在元宇宙召开 [J]. 中国会展 (中国会议), 2021 (24): 36-37.
- 8 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), 2021, 39 (1): 84-94.
- 9 “数字化转型与教育元宇宙”——第十三届数字校园建设与创新发展高峰论坛通知 [J]. 现代教育技术, 2022, 32 (7): 1.
- 10 清华大学. 2020—2021 年元宇宙发展研究报告 [R]. 北京: 清华大学, 2021.
- 11 iBox. 打造农业新生态, iBox 携手国牧润丰共创元宇宙农场 [EB/OL]. [2022-09-02] [https://news.ibox.art/html/news/detail/news\\_detail\\_67.html?1661842039268](https://news.ibox.art/html/news/detail/news_detail_67.html?1661842039268).
- 12 郭潇雅. 揭开“元宇宙医学”面纱 [J]. 中国医院院长, 2022, 18 (6): 25-27.
- 13 黄云辉, 刘笑寒, 姚俊峰, 等. 自助三维导诊系统的研究与实现 [J]. 郑州大学学报 (工学版), 2019, 40 (2): 55-58, 81.
- 14 邱平. 基于 VR 技术在抑郁症患者治疗中的运用 [J]. 科技视界, 2019 (16): 232-233.
- 15 闫邦奇, 朱春燕, 水克娟, 等. AR 智能眼镜在卫生检疫查验中的应用探索 [J]. 中国口岸科学技术, 2020 (1): 58-62.
- 16 JIN X T, WANG G Y, HUANG A P. Personal healthinfo profile: a promising potential of health big-data applications and developments in China [J]. Big data research, 2019, 5 (1): 3-11.
- 17 吴雅兰, 柯溢能. 高位截瘫可用“意念”喝可乐打麻将 浙江大学完成国内首例植入式脑机接口临床转化研究 [J]. 今日科技, 2020 (4): 2.
- 18 蒋勤, 张毅, 谢志荣. 脑机接口在康复医疗领域的应用研究综述 [J]. 重庆邮电大学学报 (自然科学版), 2021, 33 (4): 562-570.

(下转第 57 页)

- 2 肖兴政, 巴才国, 孙俊菲. “十三五”时期区域卫生健康信息化建设发展回顾与展望 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2021, 18 (3): 303-307.
- 3 李静. 我市城市公立医院综合改革进展顺利 [N]. 南宁日报, 2019-07-26 (3).
- 4 王存库, 朱岩, 吴士勇, 等. “十三五”时期全国基层卫生信息化发展回顾分析 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2021, 18 (3): 319-323.
- 5 郝晓宁, 马骋宇, 刘志业, 等. 中国基层卫生信息化改革的成效及问题研究 [J]. 卫生经济研究, 2020, 37 (7): 3-5.
- 6 计虹. “十三五”医院信息化发展回顾与“十四五”展望 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2021, 18 (3): 308-313.
- 7 张宇希, 胡建平, 周光华, 等. “十三五”时期卫生健康信息化发展及展望 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2021, 18 (3): 297-302.
- 8 吴士勇, 李岳峰. 国内外卫生健康信息标准管理机制比较分析 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2021, 18 (1): 41-49.
- 9 肖勇, 田双桂, 沈绍武. 我国中医药信息化建设与发展的思考 [J]. 医学信息学杂志, 2019, 40 (7): 12-17.
- 10 谢天宇, 曹继忠, 赵姝婷, 等. “十三五”规划研究——中医药信息化建设现状及思考 [C]. 北京: 第四届中国中医药信息大会, 2017.
- 11 李岳峰, 胡建平, 庾兵兵, 等. 我国卫生健康信息标准建设成效与思考 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2021, 18 (3): 324-329.
- 12 王志辉, 黄望英. 我国中医药高等院校信息化人才培养现状研究 [J]. 计算机教育, 2017 (2): 94-99.
- 13 申展. 简述医疗物联网技术和构架 [J]. 智能建筑电气技术, 2018, 12 (1): 13-16.
- 14 游静, 罗慧英. 区块链支撑下的“互联网+医疗健康”服务体系与关键业务流程研究 [J]. 中国数字医学, 2020, 15 (7): 48-50.
- 15 李致鸿. 全国政协委员、原保监会副主席周延礼: 降低保险公司税收负担打破医疗“信息孤岛” [N]. 21 世纪经济报道, 2019-03-05 (11).

(上接第 21 页)

- 19 杨祥云, 李占江. 澳大利亚 Griffith 大学医学院仿真医疗环境中扩展沉浸式临床教学 (CLEIMS) 项目介绍 [J]. 医学教育管理, 2021, 7 (4): 464-468.
- 20 杨飞, 黄蓉, 钱进丽, 等. 胸腔闭式引流虚拟仿真系统在本科护理实训教学中的应用 [J]. 护理实践与研究, 2022, 19 (1): 5.
- 21 俞陶然. AI 制药兴起, “弯道超车”有望 [N]. 解放日报, 2022-01-12 (7).
- 22 刘秋爽, 蔡本志. VR 技术在药学教学中的应用研究进展 [J]. 中国继续医学教育, 2022, 14 (1): 167-171.
- 23 REVATHI J, ANITHA J, HEMANTH D J. An intelligent medical decision support system for diagnosis of heart abnormalities in ECG signals [J]. Intelligent decision technologies, 2021, 15 (1): 19-31.
- 24 何硪. 基于机器学习构建电子衰弱指数及识别衰弱临床亚型研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2021.
- 25 TAYE G T, SHIM E B, HWANG H J, et al. Machine learning approach to predict ventricular fibrillation based on QRS complex shape [J]. Frontiers in physiology, 2019 (9): 1193.
- 26 RYAN P P, HAWKINS K L, ALTMAN S, et al. A novel virtual hospital at home model during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic [J]. Infection control & hospital epidemiology, 2021, 42 (9): 1140-1142.
- 27 田伟, 张琦, 李祖昌, 等. 一站对多地 5G 远程控制骨科机器人手术的临床应用 [J]. 骨科临床与研究杂志, 2019, 4 (6): 349-354.
- 28 陈春玲. 5G + AR 急危重症协同救治系统探索与实践 [J]. 电子技术与软件工程, 2021 (24): 99-101.
- 29 刘玮, 郜勇, 王揽月, 等. 基于 5G 的混合现实影像云平台在远程手术中的应用研究 [J]. 中国数字医学, 2022, 17 (2): 21-25.
- 30 陈小刚, 陈菁菁, 刘冰川, 等. 基于脑电的脑机接口技术在医学领域中的应用 [J]. 人工智能, 2021 (6): 6-14.
- 31 黄楚新, 陈智睿. “元宇宙”探源与寻径: 概念界定、发展逻辑与风险隐忧 [J]. 中国传媒科技, 2022 (1): 7-10.
- 32 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望 [J]. 自动化学报, 2016, 42 (4): 481-494.