

基于元宇宙与数字孪生的虚实消费融合研究

王 鹏, 时柏营, 胡西欣, 杜文鑫, 梁 成

山东建筑大学交通工程学院, 山东 济南

收稿日期: 2025年8月21日; 录用日期: 2025年9月1日; 发布日期: 2025年9月28日

摘 要

在元宇宙、数字孪生与人工智能等颠覆性技术驱动下, 虚实融合消费场景(Phygital Consumption)正深刻重塑全球零售生态。本文系统梳理其理论基础、技术路径与治理挑战, 创新性提出“感官-社交-价值”三维分析框架, 揭示其对消费者决策、供应链管理及商业模式的深层次影响。研究指出, 虚实融合可以有效弥合传统电商的“体验赤字”, 催生数字资产交易、社交化购物等新业态, 拓展商业价值边界。但同时也面临技术成本、隐私伦理和虚实价值平衡等挑战。基于此, 本文前瞻性提出未来五大研究方向——深化技术融合、优化体验设计、构建治理框架、评估可持续性 & 整合跨学科理论, 旨在为学界与业界提供兼具前瞻性与实践性的指引。

关键词

元宇宙, 数字孪生, 虚实融合

Research on Phygital Consumption Integration Based on Metaverse and Digital Twins

Peng Wang, Baiying Shi, Xixin Hu, Wenxin Du, Cheng Liang

School of Transportation Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: August 21, 2025; accepted: September 1, 2025; published: September 28, 2025

Abstract

Driven by disruptive technologies such as the metaverse, digital twins, and artificial intelligence, phygital consumption is profoundly reshaping the global retail ecosystem. This paper systematically reviews its theoretical foundations, technological pathways, and governance challenges, proposing an innovative “sensory-social-value” tri-dimensional analytical framework to reveal its deep-

文章引用: 王鹏, 时柏营, 胡西欣, 杜文鑫, 梁成. 基于元宇宙与数字孪生的虚实消费融合研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(10): 127-135. DOI: 10.12677/ecl.2025.14103122

level impacts on consumer decision-making, supply chain management, and business models. The study demonstrates that phygital integration effectively bridges the “experience deficit” of traditional e-commerce, catalyzes new business forms (e.g., digital asset trading and social shopping), and expands commercial value boundaries. However, it concurrently faces challenges including technological costs, privacy ethics, and balancing virtual and tangible value. Accordingly, this work prospectively identifies five future research directions: deepening technology integration, optimizing experiential design, establishing governance frameworks, assessing sustainability, and integrating cross-disciplinary theories—providing forward-looking and practical guidance for academia and industry.

Keywords

Metaverse, Digital Twins, Phygital Integration

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来，以 5G 大带宽低延迟网络为传输基础、AR/VR 三维可视化重构商品展示形态、区块链实现虚拟资产确权流通、人工智能驱动个性化交互的数字化技术集群加速成熟，推动消费场景从“线上 - 线下二元对立”向“虚实无缝融合”的深刻变革[1]。这一协同效应催生的虚实融合消费(Phygital Consumption)模式在 Z 世代对沉浸式体验的需求驱动下快速发展，虚拟试穿、数字藏品及元宇宙社交等创新形式突破娱乐边界，向零售、教育、文旅等实体经济领域全面渗透[2]。美妆虚拟试色技术显著提升转化效率，数字资产与实体商品的融合开拓品牌新价值空间，社交化购物模式重构流量获取路径，标志着消费行为向沉浸化、数字化、社交化的系统性升级，形成驱动新商业生态的核心动力。

在这一背景下，虚实融合消费已成为数字经济时代的重要增长点。它既解决了传统电商的“体验赤字”问题，通过虚拟技术还原线下购物的感官真实性；又突破了实体零售的时空限制，创造出数字原生消费价值。中国凭借完善的数字基础设施、活跃的创新生态和政策支持，正成为全球虚实融合商业实践的领先者。深入探究其发展路径与影响机制，对于把握未来消费趋势具有重要理论与现实意义。

本研究围绕虚实融合消费场景的核心挑战提出三个关键问题：首先，虚实融合技术如何重构消费者决策路径？传统的需求识别 - 信息搜索 - 评估选择 - 购买决策 - 购后行为的线性路径正被虚拟体验驱动的非线性决策所替代，需探究 AR/VR 等技术对消费者认知、情感和行为各阶段的影响机制。其次，企业如何平衡虚拟体验与实体交付的成本效益？这涉及技术投入，比如 3D 建模和算力成本与运营效率，比如库存周转和退货率降低的量化关系，以及不同行业的最优投入策略。最后，虚实融合中的伦理风险如何治理？包括数据主权、数字成瘾以及虚拟资产金融化带来的新型风险，需要构建技术、法律和市场协同的治理框架。这三个问题分别对应消费行为变革、企业战略选择和监管制度创新三个维度，共同构成虚实融合商业化的核心研究议题。

2. 理论框架

虚实融合技术的三维模型理论框架包括感官层、社交层和价值层三部分，理论框架图如下图 1 所示。

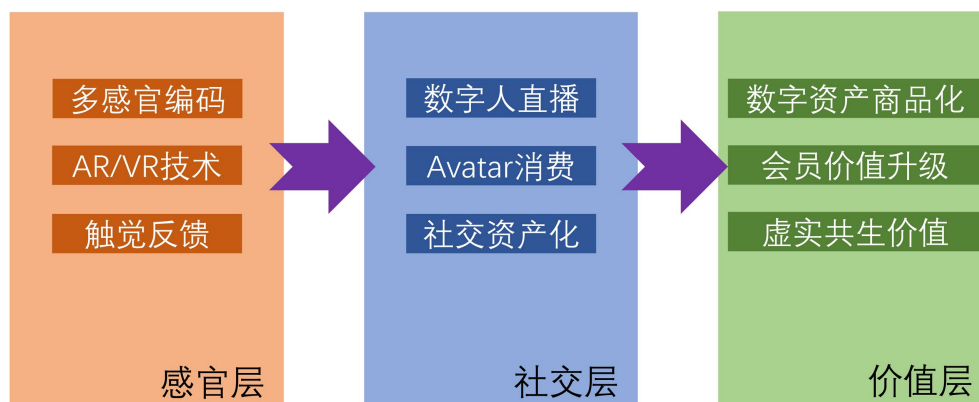


Figure 1. Phygital technology framework diagram

图 1. 虚实融合技术模型图

2.1. 感官层(Sensory Integration)

作为虚实融合消费的基础维度，感官层通过 AR/VR、触觉反馈等数字技术对多感官通道进行模拟与增强，系统性解决传统线上购物的“感官缺位”问题。AR/VR 技术支持商品在真实环境中的虚拟映射，比如家具的空间摆放，显著优化用户对物理属性的感知精度；触觉反馈技术则通过力学与温控模拟，提升对材质特性的远程判断能力[3]。这些实践本质上是对多感官营销理论的数字重构，一方面实现感官信号的数字化编码，比如 3D 建模生成可交互孪生体，另一方面突破跨模态感知融合与实时反馈延迟的阈值，使虚拟体验逼近物理真实。技术应用呈现轻量化趋势，移动端逐步成为主流载体[4]。

感官数字化正深度重塑消费决策机制。神经科学研究证实，多维感官输入可显著增强认知投入，推动消费者从被动浏览转向沉浸式交互，延长决策链路并深化品牌认知[5]。然而，当前技术仍面临关键瓶颈，触觉反馈难以精确模拟复杂力学特性，如织物弹性形变，制约全感官闭环的形成。未来需聚焦触觉仿真算法的突破，同时平衡技术精度与普惠性，构建覆盖多消费场景的感官增强体系。

2.2. 社交层(Social Interaction)

作为虚实融合消费的核心维度，社交层通过数字人直播、Avatar 交互等技术重构传统社交购物模式，创造高沉浸感体验[6]。“数字人 + 真人”双主播形态实现全天候产品展示与答疑，突破时空限制；元宇宙中的虚拟消费场景，如品牌概念店则通过个性化数字分身支持用户参与时装秀、拍卖等社交活动。这些实践推动社会临场感理论在数字环境中的进化：社交主体从单一真人扩展至数字人、Avatar 与用户的多元网络；交互方式由基础图文升级为具身化非语言交流，比如手势和眼动追踪等；消费行为本身转化为可积累的社交资产，形成“消费 - 社交 - 创作”闭环生态[7]。

社交重构显著增强消费决策的情感驱动力，神经经济学研究证实群体虚拟互动能深度激活愉悦中枢，提升品牌黏性与社群凝聚力。然而，数字身份割裂问题制约生态发展，跨平台 Avatar 数据难以互通，导致社交资产流通受阻。未来需构建统一数字身份体系，打通虚拟社交资本的全场景流转，同时平衡沉浸体验与认知负荷，防范社交过载风险。

2.3. 价值层(Value Creation)

价值层作为虚实融合消费的驱动力，通过数字资产与实体经济的深度绑定，重塑传统价值创造逻辑[8]。其实践呈现两大创新模式：数字资产商品化将实体商品与数字凭证结合，比如虚拟鞋绑定实体球鞋，赋予消费者所有权验证与稀缺性权益；会员价值升级则把消费行为转化为可交易的数字资产，如 NFT 奖

励体系强化用户忠诚度与复购行为。这些实践催生“虚实共生价值”新范式，表现为三大特征：资产双栖化、用户共创化、体验金融化，形成“收藏－增值－消费”的闭环生态[9]。

该价值体系正深刻变革商业逻辑：品牌通过数字资产绑定显著提升用户黏性与长期价值，但面临价值认知差异与监管缺失的挑战。部分消费者质疑数字资产的实用性，交易风险亦随市场炒作放大。未来需构建稳健的虚实价值锚定机制，利用区块链实现实体与数字资产的动态权益联动，同时建立合规交易环境与国际监管协作框架，确保虚实共生价值的可持续发展。

3. 技术路径

3.1. 元宇宙商店

元宇宙商店作为虚实融合消费的核心载体，其技术模型架构呈现“四层三端”的典型特征[10]。具体如下图 2 所示，通过系统性整合前沿数字技术，实现消费场景的全维度重构。

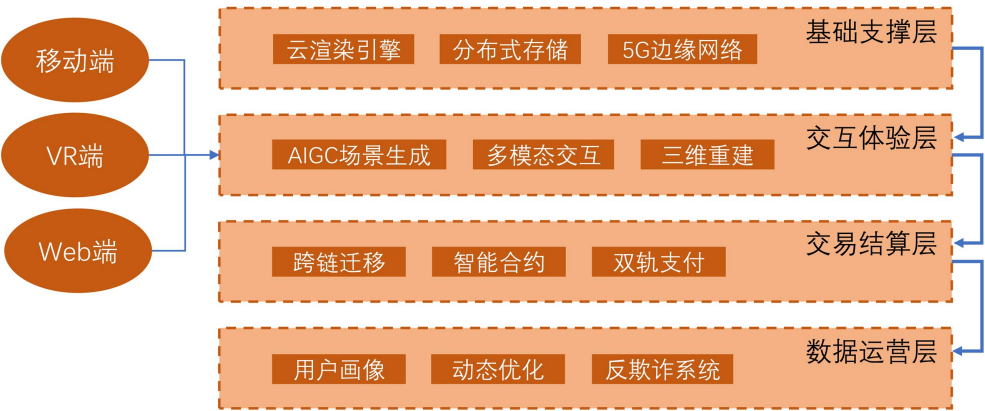


Figure 2. Architectural diagram of the metaverse store model
图 2. 元宇宙商店模型架构图

3.1.1. 基础支撑层：构建高可靠数字基座

该层致力于打造元宇宙商店稳定运行的底层基础设施。核心依托高速边缘网络实现低延迟通信，并结合分布式存储系统高效处理海量并发访问。利用先进的内容寻址技术，确保包括庞大 3D 模型在内的数字资产能够快速加载与访问。高性能云渲染引擎动态调度计算资源，保障大规模用户同时在线时依然提供流畅、高帧率的视觉体验。贯穿全层的零信任安全架构构建了严格的身份认证与访问控制体系，为整个平台奠定坚实可信的安全基础。

3.1.2. 交互体验层：重构多维感官交互

本层聚焦于创造高度逼真且自然的沉浸式购物体验。运用精密的三维扫描与物理级材质渲染技术，支持商品进行全方位、高细节的展示，甚至可透视内部结构，显著提升用户对商品的感知深度。集成化的多模态交互引擎无缝融合了精准的手势识别、高响应眼动追踪以及沉浸式空间音频技术，共同营造出接近真实世界的自然交互感受[11]。基于强大生成式 AI 与语义理解的智能场景生成功能，允许用户通过简单的自然语言指令即时创建高度个性化的虚拟购物环境，大幅降低了沉浸式场景的构建门槛，有效解决了传统电商的感官体验缺失问题。

3.1.3. 交易结算层：可信数字资产生态

该层构建了灵活、安全且合规的价值流通体系。混合支付网关支持多种形态的数字货币进行高效结算，

满足多样化支付需求。集成了广泛关税规则的智能合约引擎能够自动执行复杂的跨境交易分账与清关流程。先进的跨链协议实现了不同区块链生态间数字资产的便捷迁移与互操作性。同时,运用量子级加密技术为交易和资产安全提供最高等级的保护,有效维护了数字资产的真实性与价值,构建了可信赖的数字经济环境。

3.1.4. 数据运营层：智能决策中枢

作为驱动精细化运营的核心引擎,该层深度洞察用户行为。用户画像系统通过持续采集用户在虚拟空间中的多维行为轨迹与注意力焦点,构建精准的兴趣图谱。基于强化学习的智能引擎实时分析数据,动态优化虚拟空间的商品陈列与布局策略,显著提升高潜力商品的曝光效果。结合隐私保护技术,比如联邦学习,构建的反欺诈系统,在保障数据安全的前提下实现了对异常交易的高效识别。三者协同运作,驱动形成精准营销、高效风控与持续优化的智能决策闭环。

3.1.5. 三端用户入口

元宇宙商店通过三种互补的终端入口覆盖多元用户需求:移动端基于增强现实技术提供轻便快捷的接入方式,实现碎片化场景下的便捷购物,覆盖最广泛的消费群体。VR端依托专业沉浸式设备,提供深度交互与高度拟真的购物环境,服务于追求极致体验的用户。Web端则通过区块链技术,专注于数字资产的确权、交易与收藏,吸引新兴的数字资产消费人群。三者形成有机闭环,移动端负责引流与便捷入口,VR端深化沉浸体验与用户粘性,Web端则沉淀数字资产价值,共同推动虚拟与现实消费场景的无缝融合与价值流转。

3.1.6. 现存瓶颈与演进方向

当前发展面临三大核心瓶颈:跨平台互操作性受限于标准碎片化,制约数字资产自由流通,需通过建立开放联盟标准和通用转换工具推进生态融合。硬件普及门槛因高端设备成本较高,正探索轻量化移动解决方案与云端算力协同以降低终端依赖。虚实价值锚定需强化实体商品与数字权益的内在关联,建立更稳固的价值基础。

面向未来,演进路径聚焦于:探索神经接口技术实现更直接的意图理解与情感交互,开启精准个性化服务新维度;融合可持续性设计理念,运用绿色算法与碳足迹追溯构建环境友好的虚拟经济;引入DAO治理模式,通过代币机制赋予消费者参与平台规则制定与商业决策的权利,共同塑造更加民主化、普惠化、智能化且可持续发展的下一代元宇宙商业生态。

3.2. 供应链优化

数字孪生技术通过构建物理世界的虚拟镜像,正在重塑现代供应链管理体系,实现从生产端到消费端的全链路优化[12]。供应链优化框架图如下图3所示。

3.2.1. 架构概述与数据流动

本系统构建了一个完整的供应链智能化闭环管理体系,其核心是“物理层-数字孪生层-决策层”的三层架构设计。物理层由智能生产线、仓储、运输工具和零售终端组成,它们通过先进的工业物联网协议实时采集全流程数据,比如生产状态、库存水平、物流位置、销售情况等,并以极低延迟传输至数字孪生层[13]。作为中枢的数字孪生层,首先通过专业的数据平台对来源多样、结构复杂的原始数据进行清洗与融合,随后利用集成了物理引擎与自适应学习算法的动态建模引擎,构建出高度逼真的供应链虚拟映射。

3.2.2. 数字孪生层核心功能与决策闭环

在数字孪生层中,一个融合了尖端可视化技术的供应链沙盘能够流畅地呈现海量细节,并支撑着关键的智能分析模块。这些模块包括:利用深度学习与信号分析实现精准设备故障预警的预测性维护模块;

结合时空关联模型显著提升需求预测能力的需求感知模块；以及应用先进启发式算法大幅加速寻优过程的物流路径优化模块。这些智能分析的结果被传递至决策层，由基于多目标优化的人工智能决策矩阵生成平衡各方面需求的最优策略，比如设备控制指令、库存配置方案、运输调度计划等，最终这些决策被迅速反馈至物理层设备执行，形成高效的闭环控制。

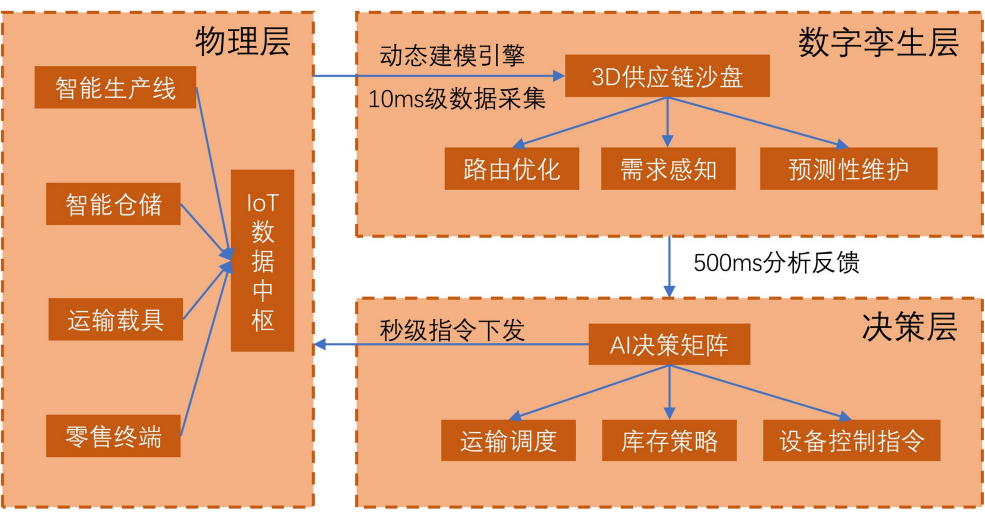


Figure 3. Framework diagram for supply chain optimization
图 3. 供应链优化框架图

3.2.3. 应用价值、场景适配与挑战展望

系统通过分层级的高效数据流支撑快速闭环运作，从边缘处理到云端分析再到指令下达，整体周期极短。为适应不同行业特性，系统提供定制化解决方案：例如为冷链物流打造温控链孪生体并预测货物损耗；为快消品行业提供动态定价与促销效果仿真；为汽车制造引入零部件应力模拟降低生产中断风险；为跨境电商整合通关规则引擎提升效率。事实表明，该系统在战略价值沉淀、响应速度突破、运营成本控制以及资产周转效率提升等多个维度均带来显著成效，并在全球性供应链场景中得到验证，展现出卓越的运营韧性、处理能力和可持续性效益。系统提供便捷的技术文档和可视化输出支持企业部署。当前主要挑战集中在数据安全治理的平衡以及初始投入成本，但随着技术成本下降和生态成熟，供应链数字孪生系统的广泛应用前景广阔。

4. 挑战与治理

4.1. 技术瓶颈

当前虚实融合消费面临两大核心技术瓶颈：第一个是硬件体验瓶颈。主流 VR 设备因刷新率不足与动态模糊效应引发眩晕问题，需通过光学模组轻量化，比如 Pancake 技术可以降低设备负载，同时依赖云端渲染分担终端运算压力，以平衡舒适性与成本。另一个是数据互通障碍。虚拟资产体系呈现平台割裂状态，不同生态的数字藏品无法自由流通，导致用户资产流动性受损。突破路径在于构建国家标准的区块链互通框架，推动跨链协议标准化。技术优化聚焦于硬件舒适性提升与开放生态建设，为大规模普及及扫除关键障碍。

4.2. 伦理风险

虚实融合技术引发三重新型伦理挑战：隐私边界模糊化表现为生物识别数据，比如眼动轨迹可能被

用于推测潜意识偏好，现行法律尚未明确此类敏感信息的归属权与使用规则，存在非授权商业利用风险；行为异化倾向在青少年群体中尤为突出，过度沉浸虚拟消费易诱发非理性购买行为，甚至削弱现实消费欲望；社会公平失衡则因数字资产投资门槛形成技术性区隔，加剧财富分化现象[14]。这些挑战亟待通过专项立法与技术伦理框架协同治理。

4.3. 政策建议

为促进虚实融合消费健康发展，建议构建“技术－法规－行业”协同治理体系：技术层面需建立涵盖虚拟商品分类、数字资产标识及数据全流程管理的标准体系，开发基于监管沙盒的智能监测平台，运用联邦学习等隐私计算技术保障合规运营；法规层面应实施分级监管机制，制定差异化的数字健康管理策略，完善数字资产确权与交易法律框架，设立消费冷静期等用户保护制度[15]；行业层面要推动组建产业联盟，通过制定自律公约、共享反沉迷技术方案、建立风险对冲机制等方式实现多元共治。通过技术创新、制度保障与行业自律的有机配合，构建促进创新与防范风险并重的政策环境，推动虚拟经济与实体经济融合发展。

5. 未来研究方向

5.1. 神经消费学的突破

神经消费学正通过脑机接口技术实现关键突破，皮层反馈分析利用非侵入式头环捕捉虚拟购物中的脑神经活动，构建“感知－情感－决策”的认知映射模型；多模态融合系统协同眼动轨迹、皮肤电信号与表情变化等多维生物特征，形成综合行为预测机制[16]。伦理框架确立神经数据采集的边界原则，禁止深度干预技术并建立专项审查体系。该技术融合生物传感与人工智能，在保障隐私安全的前提下，开启消费行为理解的新维度。

5.2. 可持续性发展路径

针对元宇宙的高能耗挑战，需构建绿色技术体系：绿色渲染技术采用神经辐射场等新型算法，显著降低 3D 内容生成的算力需求；碳足迹可视化标注生产与传输过程的能耗数据，建立透明的环境责任追溯机制；循环经济模式推动数字资产回收平台发展，促进虚拟资源的重复流通与价值再生。三者协同推动元宇宙产业向低碳化、可循环方向演进，构建环境友好型虚拟经济生态。

5.3. 去中心化商业实验

电商模式正推动三大创新实践：社区治理赋予消费者代币投票权参与核心决策，实现商业民主化；收益共享机制将平台利润按用户贡献度分配，重构价值分配逻辑；自治仲裁系统依托智能合约自动处理交易纠纷，提升争议解决效率。三者协同构建用户共治、利益共享、规则透明的去中心化商业新范式，颠覆传统平台中心化运营模式。

5.4. 普惠性技术适配

面向发展中国家需求推进普惠性创新：轻量化解决方案开发低带宽依赖的交互技术，比如基于 SMS 的 AR 菜单，助力资源受限地区接入虚拟消费；离线交互设计通过预加载核心 3D 模型，确保网络不稳定环境的基础体验；低成本终端研发推动平价设备普及，比如入门级 VR 眼镜，降低技术使用门槛。三者协同弥合数字鸿沟，使新兴市场用户平等参与虚实融合经济生态。

5.5. 法律体系重构

亟需构建适应虚实融合的法律框架：数字遗产继承机制明确虚拟资产遗嘱公证与转移规则，推动虚

拟财产权属制度化；跨境司法协作体系建立元宇宙专属国际仲裁机构，破解跨国数字纠纷管辖困境；责任认定标准革新界定 AI 代理的法律主体资格与责任边界，应对自动化决策引发的伦理挑战[17]。三者协同为虚拟经济提供法律保障，平衡技术创新与权益保护。

6. 结论

虚实融合消费场景正在引发零售业“人-货-场”要素的深层次变革。本研究揭示其核心价值体现于三大维度：在体验维度，AR/VR 等技术有效弥合了线上购物的感官缺失，创造出媲美甚至超越实体环境的沉浸式消费体验；在效率维度，数字孪生等技术重塑供应链全链路，实现从生产到交付的系统性效能提升；在价值维度，数字资产作为新型价值载体，通过与实体经济的深度绑定拓展传统商业边界，形成虚实共生的价值创造范式。

技术驱动下呈现三个显著特征：消费场景实现虚拟与实体空间的无缝切换，赋予用户自由选择的灵活性；数字资产与实体商品构建相互赋能的闭环生态，推动价值协同增长；商业模式持续进化，从单点技术突破走向系统性生态重构。面向未来发展，需重点平衡三大关系：技术先进性与普惠性的协调，避免技术鸿沟扩大；商业创新与社会责任的统一，防范数字成瘾等衍生风险；全球标准与区域特色的兼容，构建开放包容的治理框架。

为实现“以人为中心”的新型商业生态，建议沿三条路径推进：通过产学研协同建立国家级创新中心，加速关键技术落地与成果转化；构建涵盖数字资产交易、用户权益保障的核心标准体系，为行业提供制度保障；深化跨国治理协作，推动形成适应虚实融合的全球规则共识。唯有在技术创新与人文关怀并重的前提下，方能实现数字经济与实体经济的深度互嵌，使技术真正服务于人类美好生活。

致 谢

本研究都是基于文献查阅完成，特此向所有被引用文献的作者致以学术敬意。感谢学术开放平台提供的理论资源，以及相关领域学者公开的研究成果对本文框架的启发。文中涉及的元宇宙交互逻辑、数字孪生应用等分析，均受益于学界先驱的思想奠基。谨以严谨引注回报知识共享精神，文责由作者独立承担。

参考文献

- [1] 韩永辉, 刘洋. 元宇宙经济的层次架构, 运转规律与治理方向[J]. 国际经济评论, 2023(3): 95-120, 7.
- [2] 田芳堃, 桓文婷, 贾帅, 等. 基于 Z 世代自我理论的消费行为研究[J]. 现代商业, 2024(2): 32-35.
- [3] 张文涛, 马晓然, 田云龙, 等. VR/AR 与智能家居深度融合的场景构建研究[J]. 家电科技, 2023(S01): 409-412.
- [4] Meyerslevy, J., Bublit, M.G. and Peracchio, L.A. (2015) Sensory Marketing: Research on the Sensuality of Products. Routledge.
- [5] Heeps, G. (2021) Game Changer. *Automotive Testing Technology International*, 2021, 100-101. [https://doi.org/10.12968/S1467-5560\(23\)60019-3](https://doi.org/10.12968/S1467-5560(23)60019-3)
- [6] Biocca, F. (2006) The Cyborg's Dilemma: Progressive Embodiment in Virtual Environments. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3, JCMC324. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00070.x>
- [7] 魏梦迪. Bilibili 平台虚拟偶像直播公司运营策略研究——以郑州市 CY 有限公司为例[J]. 老字号品牌营销, 2024(18): 156-158.
- [8] Keke, H. and Ming, C.W. (2025) Reconceptualizing Entrepreneurial Marketing in the Age of Digital Commerce: The Case of China. *Journal of Digitainability, Realism & Mastery (DREAM)*, 4, 1-19. <https://doi.org/10.56982/dream.v4i06.312>
- [9] 杨杨. 借力数字藏品触达目标市场[J]. 国际公关, 2022(23): 195-196.
- [10] 王子航, 禹向群, 斯洪标, 等. 基于算力网络的元宇宙分层处理模型设计[J]. 大数据, 2023, 9(1): 51-62.

-
- [11] 钱子瑾, 陆一凡. 基于像素流的多游戏引擎实时云渲染系统设计与实现[J]. 数字技术与应用, 2025, 43(3): 126-128.
- [12] 张凯. 工业数字化转型白皮书[J]. 数字经济, 2021(3): 8-19.
- [13] Ohueri, C.C., Masrom, M.A.N., Habil, H. and Ambashe, M.S. (2023) IoT-Based Digital Twin Best Practices for Reducing Operational Carbon in Building Retrofitting: A Mixed-Method Approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, **32**, 2044-2065. <https://doi.org/10.1108/ecam-08-2023-0827>
- [14] 高川. 元宇宙赋能自考的理论意蕴, 风险审视, 善治路径[J]. 继续教育研究, 2025(4): 17-23.
- [15] 张小平. 2022 中国元宇宙科技传播白皮书[J]. 中国科技信息, 2023(2): 2-22.
- [16] Chen, Y., Fan, Z., Shi, N., Cheng, B., Huang, C., Liu, X., et al. (2025) MXene-Based Microneedle Electrode for Brain-Computer Interface in Diverse Scenarios. *ACS Applied Materials & Interfaces*, **17**, 33451-33464. <https://doi.org/10.1021/acsami.5c03798>
- [17] Kim, J. (2023) Metaverse and Online Dispute Resolution(ODR). *The Justice*, **194**, 302-334. <https://doi.org/10.29305/tj.2023.2.194.302>