

数字孪生与元宇宙视角下“人机协作型”职业形态的演化路径研究

谢统薇

摘要：在新一轮科技革命蓬勃兴起的背景下，数字孪生与元宇宙技术通过虚实协同机制，正在重构全球各行业的职业形态。本文基于政策导向与产业升级需求，对数字孪生及元宇宙的技术特征进行对比和分析，揭示二者相互融合趋势下新兴职业被催生和发展的具体路径，进而提出人机协作型职业的三维分类框架，并构建对应的技能需求金字塔模型，旨在为明确未来的职业发展方向与制定产业政策提供相关理论依据与实践参考。

关键词：数字孪生；元宇宙；人机协作；职业形态

一、引言

在全球新一轮科技革命与产业变革的背景下，数字孪生与元宇宙技术作为推动数字经济和实体经济融合的核心引擎，正在重塑人类的生产生活方式与职业形态的演进逻辑。这一变革趋势与我国的战略导向高度契合，党的二十大报告明确提出，“促进数字经济与实体经济深度融合，打造具有国际竞争力的数字产业集群”。《“十四五”数字经济发展规划》将“数字孪生”列为关键核心技术，同时“元宇宙”被纳入“十四五”产业数字化转型的重点方向。工业和信息化部办公厅等发布的《工业和信息化部办公厅关于推动工业互联网加快发展的通知》《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023—2025年）》等文件，更是从技术攻关、场景应用、生态构建等维度细化了具体的实施路径，为“人机协作型”职业形态的演化提供了顶层设计支撑^[1]。

现有研究多聚焦于数字孪生或元宇宙，但针对某个单一技术架构或独立场景的应用，特别是在“人机协作型”职业的界定标准、分类框架及演化路径等关键问题上，仍缺乏更为深度的分析。而我国恰处于“双循环”新发展格局构建的关键期，《“十四五”智能制造发展规划》提出“到2025年，70%的规模以上制造业企业大部分实现数字化网络化”的目标，同时《“十四五”国家老龄事业发展和养老服务体系规划》也强调“推进智能化服务适应老年人需求”，二者均对人机协作场景下的职业能力提出了全新的要求^[2]。在此背景下，数字孪生与元宇宙视角下“人机协作型”职业形态的演化，不仅是落实国家数字经济战略的重要实践，更是破解技术迭代与职业能力错配矛盾的关键点。因此，本文从两种技术的协同性、职业重构、案例和技术依赖等方面进行深入剖析，以期为新时期职业的发展及改革、人才培养体系的优化和产业政策的制定提供一定的理论支撑与实践参照。

二、数字孪生与元宇宙的协同性分析

（一）数字孪生

关于数字孪生，普遍认为是指以虚实映射、实时交互及预测优化为逻辑，通过物联网传感器、数字线程架构与多精度建模等技术，实现物理实体全生命周期的数字化镜像。例如，企业先通过几何、物理、行为及规则建模，构建出可能包含结构参数、材料属性、运行阈值等多精度的数字孪生体之后，采用传感器或视觉识别系统等物联网设备进行数据的实时采集与预处理，从而在实时交互机制方面构建出数据通道，最终对数字孪生体与物理实体的状态偏差率进行控制。随着人工智能（AI，Artificial Intelligence）技术的不断发展，许多工业级的数字孪生体已开始集成各类机器学习模型，如长短期记忆递归神经网络、随机森林故障诊断等，大幅降低了工厂设备的能耗率，有效发挥了工程应用效能的优化作用^[3]。

（二）元宇宙技术

元宇宙技术，是一种以沉浸式交互、跨平台操作及去中心化为核心的架构，是依托空间计算和数字身份技术进行虚实融合的全新技术模型，推动工作模式从物理空间向虚拟空间延伸^[4]。例如，在特殊教育或医疗等行业，往往会先通过 WebGL、Unity、Unreal Engine 等工具构建虚拟元宇宙场景，再由患者佩戴脑机接口设备，借助脑电信号或视觉传输信号等指令的输入，进入治疗平台或沉浸式学习，从而获得更具针对性的治疗效果或独特的学习体验。

上述两种技术各有侧重，但二者正在呈现多维度的融合。数字孪生为元宇宙提供底层数据支撑。同时，元宇宙也扩展了数字孪生的交互维度，如通过全息投影进行跨地域协作。这种持续的融合使数字孪生不仅能对物理世界进行精确的映射与分析，还能通过元宇宙的沉浸式体验和交互功能，为用户提供一个更加丰富、高效的协作平台。双技术的互补不仅全面推动了职业场景从传统的物理操作转向虚实共生的交互模式，更催生了一系列新兴职业，如虚拟工厂运维师、元宇宙建筑师、数字孪生分析师等。这些新兴岗位要求从业者具备跨学科的知识与技能，能够熟练运用数字孪生和元宇宙技术解决复杂问题并进行创新。随着 AI 技术的不断迭代创新，数字孪生与元宇宙的协同效应将在更多领域得到体现，为职业形态的演化不断提供驱动力。

三、人机协作型职业的界定与分类

人机协作，是通过物理空间或虚拟空间的时空耦合，构建出基于双向数据通道的一种动态交互系统，最终实现任务目标的协同优化或价值的创造与创新。根据人机协作的定义、人智能的融合深度及控制权限的分配，本文将人机协作型职业划分为：协助型、合作型、协同型三类。

协助型职业主要以人类决策为核心中枢，机器进行协助执行工作。例如，豆包的会议纪要功能、讯飞听见、阿里云通义听悟等，机器方采用自然语言处理与计算机视觉技术构建辅助决策系统，承担数据密集型的任务，但核心工作仍由人类负责，如会议纪要中的逻辑框架构建与异常处理，AI 只起到辅助作用。这也是目前最为常见的一种人机工作场景。

合作型职业往往是人类负责非结构化的决策，机器执行重复性或标准性的任务，通过混合现实终端实现实时的人机协同工作。例如，新松的智能焊接系统采用定位精度的激光视觉引导工人用示教器设定焊缝的轨迹，由机器人完成复杂的曲面焊接，进而形成人类规划和设计、机器执行烦琐或危险行为的一种合作模式。

协同型职业则更加强调人机的融合，由人类提供相关领域经验或过往数据，AI 和人类在各自领域，以人机共创与虚实验证相结合的新型协作范式，实时共同完成场景的创新与突破，从而提升生产效率，实现工作创新。例如，Manus 能通过多智能体强化学习算法，实现人类规划师与 AI 在产线布局方面的协同优化。

表 1 不仅涵盖了当前人机协作型职业的三种主要类型，还为未来职业形态的演化提供了理论支持。结合以下具体案例，能更清晰地理解不同人机协作型职业的特点及其在实际应用中的表现情况。

表 1 人机协作型职业的界定与分类

职业类型	核心特征	技术载体与案例	代表性模型 / 机器人
协助型	由人类主导，AI 辅助决策或执行	DeepSeek：人类审核逻辑框架，生成式 AI 自动提取并处理信息 达闼云端机器人：通过 AI 的视觉识别，辅助质检员完成精密零件检测	微软的 Teams 智能纪要生成器、海康威视的工业质检 AI 系统
合作型	人机的动态分工与能力互补	碧桂园博智林建筑机器人：工程师实时调整施工参数，地坪研磨机器人完成标准化作业	波士顿动力 Atlas（建筑场景版）、库卡 LBR iiwa 协作机械臂
协同型	人机的深度融合与共创	NVIDIA Omniverse：建筑师与 AI 共同完成建筑方案，AI 实时验证结构力学与能耗数据	英伟达 Project GR00T 人形机器人系统、腾讯云的智能工业大脑

四、现有职业形态的演变路径分析

（一）传统职业的智能化升级

事实上，在数字孪生与元宇宙技术的持续渗透下，契合上述三种类型人机协作特征的职业正在不断诞生或升级。Gartner《制造业数字化转型报告》预测，从 2021 年到 2025 年，制造业中数字孪生运维师岗位需求年增长将从 10% 达到 30%^[5]。以某大型汽车制造企业为例，其每月因生产线设备故障，平均停机 30 小时左右，次品率约为 5%，但引入数字孪生技术后，操作员可通过虚拟模型实时监控生产线运行状态，提前预测设备潜在故障并进行预防性维护。实施数字孪生技术一年后，该工厂生产线的停机时间减少至每月 10 小时以内，产品次品率降低至 2%，显著提高了生产线的运行效率和产品质量。中国建筑业协会《2023 智能建造发展报告》显示，建筑业智能建造产业技师的岗位需求逐年增长，预计 2025 年底可达到 25%^[6]。在中国工程机械工业协会装修与高空作业机械分会四届四次会员代表大会暨 2024 行业年会会议中，住建部建筑施工安全标准化技术委员会，发布报告《人人讲安全各个会应急——畅通生命通道，防范高空作业生产安全事故》指出，在 50 层的高层建筑外墙清洗项目中，采用传统的人工清洗方式需要约 30 天才能完成，且每年因外墙清洗作业导致的安全事故发生率约为 2%^[7]。而智能建造产业技师岗位出现后，可通过远程控制机器人开展清洗任务，只需要 10 天即可完成过去相同工作量，且安全事故发生率几乎为零^[8]。这不仅提高了作业效率，还极大降低了人工操作风险。

（二）新兴职业的诞生

随着数字孪生和元宇宙技术的飞速发展，许多新兴职业应运而生。2022 年人力资源和社会保障部早已将“数字孪生应用技术员”纳入国家职业分类。国际数据公司 IDC 发布的《2025 年全球数字孪生市场预测报告》评估未来相关的新兴岗位将达 50 万个^[9]。腾讯文旅与故宫博物院联合发布的《数字文化遗产白皮书》显示，在某大型非物质文化遗产学习项目中，通过数字孪生技术创建的太极拳虚拟教学平台上线后 1 年内就吸引了超 100 万人次，显著扩大了中华优秀传统文化的传播范围，有效提升了中华优秀传统文化的影响力^[10]。智联招聘发布的《2022 元宇宙行业人才发展报告》显示，2022 年 1—7 月全平台元宇宙相关招聘职位数同比增长 16.6%。埃森哲在《远程协作效率研究》中提到，以 Meta 公司的 Horizon Workrooms 为例，该平台年度企业用户增长近 300%，并通过向用户提供远程协作和虚拟会议的沉浸式体验，使会议效率提高约 30%，员工满意度提升约 20%^[11]。

（三）职业边界的消融

数字孪生和元宇宙技术的融合正在逐渐消融传统职业的边界，并催生更多跨领域协作和灵活就业的形态。在医疗领域，医生可通过患者的数字孪生模型模拟手术，同时与元宇宙中的全球专家进行联合会诊。例如，据荣获 2024 年上海市科技进步一等奖的《肾癌精准治疗体系关键技术的创新与应用》项目报道，其构建的数字孪生高阶映射手术模型，使复杂肾癌保肾手术成功率从 72% 提升至 96%^[12]。约翰霍普金斯大学的《心脏数字孪生临床研究》也显示，复杂手术成功率提升至 85%^[13]。

在时尚行业，自由职业者可通过 AI 数字分身承接多平台任务，如虚拟模特的试装功能，为各大品牌提供个性化的虚拟试衣服务。市场研究机构 Wise Guy Reports 预测，全球虚拟试衣市场将实现从 2024 年至 2035 年，期间年复合增长率达 14.2%^[14]。浙江网信办发布的《数字经济发展白皮书》显示，增强现实（AR, Augmented Reality）试衣提升转化率达 25%^[15]。天猫的《虚拟试衣行业报告》表明，2021 至 2025 年，时尚行业的虚拟试衣服务市场规模从 20 亿元将增长至 80 亿元^[16]。

由上述案例可以看出，数字孪生与元宇宙技术正在深刻改变全球的职业形态，为未来的职业发展提供无限可能。这些变化不仅提升了工作效率与质量，还为劳动者创造了更多元化、更灵活的就业机会。

五、技术依赖与技能需求

（一）技术依赖度的分层

职业存在形式与工作模式的变化，必然会对技术的依赖程度及从业者所需的技能素养产生影响，“人机协作型”职业形态演化的最典型特征是较高的技术依赖性。一般认为，其技术依赖度的核心技术架构可划分为感知层、认知层与协同层三个维度，分别对应工业级、行业级与生态级技术体系。

感知层主要是对物理世界的数字化重构，核心技术是多模态传感器和边缘智能处理^[17]。这是构建数字孪生和元宇宙的底层数据基础。

认知层聚焦于虚实世界的智能交互，核心技术是 AI 算法。首先，是强化学习，如生物学领域的 DeepMind 的 AlphaFold 3 模型，通过数字孪生模拟蛋白质折叠过程，已将药物的研发周期从 5 年缩短至 18 个月。其次，是自动生成对抗网络，如 Adobe Firefly 利用生成对抗网络虚拟面料的纹理，使服

装的设计效率提升 300%，材料浪费减少 40%。最后，是驱动渲染引擎，如西门子能源公司通过 Unity 在虚拟工厂中实现 10 万级设备模型的亚毫秒级物理仿真，每年节省公司维护成本近 20 亿美元。

协同层则更关注跨域生态的价值创造，主要技术为区块链基础设施。例如，在元宇宙的房地产交易中，Decentraland 能够通过智能合约自动执行虚拟土地交易中的产权转移，将交易成本降低 90%；天下秀推出的“云游中国”平台，借助 Web 3.0 技术实现了文旅场景的虚实融合，用户可通过非同质化通证门票解锁独家数字藏品。

（二）技能需求金字塔模型

随着技术依赖度的分层，技能需求也呈现出金字塔式结构。底层能力主要包括 AI 工具的使用和数据可视化。AI 工具的使用要求从业者能够熟练掌握 AI 应用技能并与 AI 进行高效交互，从而获取所需信息或解决方案；数据可视化则要求从业者能够将复杂数据以直观的方式呈现出来，帮助决策者轻松理解数据背后的含义。例如，在数据分析中，从业者需使用数据可视化工具（Tableau、Spsspro、Matlab 或 PowerBI 等），将分析结果以图表形式呈现，从而轻松把控行业的关键趋势。

中层能力涵盖了人机交互设计和伦理风险评估。人机交互设计要求从业者能够理解用户需求，设计出符合大众认知习惯的交互界面，并不断优化用户体验。伦理风险评估则要求从业者在技术应用时充分考虑潜在的伦理问题，如算法歧视和隐私侵犯等，确保技术的公平性与安全性。

顶层能力则是战略决策的创新。尤其是在元宇宙商业模式下，从业者需具备前瞻性思维，能够洞察未来的市场趋势，制订出具有创新性的商业策略。例如，在设计虚拟商品的交易模式时，能确保交易的安全性与透明度，同时探索全新的盈利模式（如虚拟广告或虚拟活动赞助等）。这种顶层能力不仅需要对技术有深入的理解，更需要对市场和用户需求有极其敏锐的洞察力，方能推动“人机协作型”职业形态的不断演化。

六、结语

数字孪生与元宇宙技术的协同发展，在不断重塑现代职业形态的同时，亦面临多重挑战。首先，数据安全与隐私问题格外突出，元宇宙中用户行为数据的跨平台流通，应通过区块链技术持续提供保障。此外，虚拟世界中的权责界定也是较为重要的问题，如自动驾驶事故中数字孪生模型的决策责任归属问题，目前仍需制定进一步规范相关责任划分的法律法规。在技术融合方面，目前各类机器学习模型的精度与算力仍处于瓶颈期，在很大程度上制约了实时仿真的应用。未来，还需期待量子计算与边缘计算技术的进一步发展，为元宇宙提供更高效的沉浸式体验，进而推动技术标准化与跨行业协作，为人机协作职业的发展与广泛应用奠定坚实基础。

作者简介：谢统薇，郑州工程技术学院讲师，人工智能教育博士。

参考文献

- [1] 贺兴，陈旻昱，唐跃中，等. 基于数字孪生与元宇宙技术的能源互联网态势感知系统论方法研究（一）：概念、挑战与研究框架 [J]. 中国电机工程学报，2024，44（2）：547-561.
- [2] 黄炜烨，陈希亮，赖俊. 面向人机协作的智能体训练方法研究综述 [J]. 计算机科学，2025，52（10）：176-189.

- [3] TAO F, ZHANG H, LIU A, et al. Digital twin in industry: State-of-the-art [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018, 15 (4): 2405–2415.
- [4] 曹明伟, 张迪, 彭圣洁, 等. 元宇宙技术发展与应用综述 [J]. 计算机科学, 2025, 52 (3): 4–16.
- [5] Gartner Inc. Manufacturing Digital Transformation Report [R]. Stamford, CT: Gartner Inc, 2021.
- [6] 纪沐辰. 更智能 更绿色 更高效——看建筑业 2023 年转型发展 [EB/OL]. 中国建设新闻网. (2024-01-11) [2024-06-11]. <http://www.chinajsb.cn/html/202401/09/37810.html>.
- [7] 中国工程机械工业协会装修与高空作业机械分会. 装修与高空作业机械分会四届四次会员代表大会暨 2024 行业年会会议纪要 [Z]. 无锡: 中国工程机械工业协会装修与高空作业机械分会, 2024-11-05.
- [8] 李浩, 王昊琪, 李琳利, 等. “人-机-环境”共融的工业数字孪生系统智能优化方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2024, 30 (5): 1551–1570.
- [9] QYResearch. 2025–2031 全球及中国数字孪生行业研究及十五五规划分析报告 [R/OL]. [2025-03-19] <https://www.qyresearch.com.cn/reports/5563918/digital-twin>.
- [10] FAN S, YECIES B, ZHOU Z I, et al. Challenges and opportunities for the web 3.0 metaverse turn in education [J]. IEEE Transactions on Learning Technologies, 2024, 17, 1935–1950.
- [11] 王海霞. 元宇宙产业学院三维建模人才培养路径研究与实践 [J]. 科技与创新, 2025 (5): 158–161.
- [12] 王林辉. 《肾癌精准治疗体系关键技术的创新与应用》项目荣获上海市科技进步一等奖 [EB/OL]. 泌尿时讯, 2025-06-27. <https://www.urology.com.cn/home/Detail?id=279>.
- [13] Johns Hopkins University. "Digital twins" of patients' hearts harness personal genetics to inform disease management [EB/OL]. (2023-07-20) [2025-10-15]. <https://www.bme.jhu.edu/news-events/news/digital-twins-of-patients-hearts-harness-personal-genetics-to-inform-disease-management/>.
- [14] Wise Guy Reports. Virtual Clothing Try-On Market Research Report: Forecast to 2035 [R/OL]. (2025-08-10) [2025-10-15]. <https://www.wiseguyreports.com/cn/reports/virtual-clothing-try-on-market>.
- [15] 浙江省经济和信息化厅等. 浙江省数字经济发展白皮书 (2022 年) [R]. 杭州: 浙江省经济和信息化厅, 2022.
- [16] 刘涛雄, 潘资兴, 刘骏. 机器人技术发展对就业的影响——职业替代的视角 [J]. 科学学研究, 2022, 40 (3): 443–453.
- [17] WANG H, HU B, DUAN Y. From human-machine collaboration to deviation: Understanding the catastrophe and resilience mechanisms of human-machine behaviors in intelligent environments [J]. Computers in Human Behavior, 2025, 167: 108–122.