



国际中文学术期刊卓越工程 建设期刊

ISSN 3105-5915

科学与技术探索

Journal of Science and Technology
Exploration



2025
1卷2期 2



环球未来出版社
Global Future Press

科学与技术探索

Journal of science and technology exploration

ISSN 3105-5915 月刊

主编：吴九江

副主编：张连超 匡敏球

编委成员：邵志杰 郑钧涛
岳海旺



GLOBAL FUTURE PRESS

主办 | 环球未来出版社

官网 | www.gfpress.org

邮箱 | gfpress@yeah.net

地址 | 中国香港尖沙咀亚
士厘道 34 号星光行大厦 7
楼 A5 室

目录 TABLE OF CONTENTS

形态变迁与个体价值 Morphological change & Individual value

AI 推动数字素养形态演化的社会机制与变迁意义 — 姜楠、项华

Social Mechanism and Significance of AI Promoting the Evolution of Digital Literacy Form —
JIANG Nan, XIANG Hua

pp.1 – 5

轻量设计与生态价值 Lightweight Design & Ecological Value

天然纤维复合材料在老年人助行器轻量化与环保设计中的应用 — 刘倩茹

Application of Natural Fiber Composites in Lightweight and Environmental Protection Design of
Walking Aids for the Elderly – LIU Qianru

pp.6 – 16

教学层与 AI 技术嵌入 Teaching layer & AI technology embedding

动态知识图谱驱动的三阶融合 AI 教学体系研究 — 谢统薇

Research on the Third-order Fusion AI Teaching System Driven by Dynamic Knowledge Map –
XIE Tongwei

pp.17– 25

RWA 通证化与价值实现 RWA Generalization & Value realization

基于区块链技术的虚拟电厂一站式建设与实时监控系统研究——兼论 RWA 通证化实现路径
— 吴兴生、廖恒波、李春丽、吴兴秋、熊晖

Research on One-stop Construction and Real-time Monitoring System of Virtual Power Plant
Based on Blockchain Technology — Also on the Realization Path of RWA Generalization –
WU Xingsheng, LIAO Hengbo, LI Chunli, WU Xingqiu, XIONG Hui

pp.26 – 37

性能测试与优化方向 Performance testing & Optimization direction

云计算信息系统规划研究 — 唐明

Research on Cloud Computing Information System Planning – TANG Ming

pp.38 – 43

AI 推动数字素养形态演化的社会机制与变迁意义

姜楠 项华

(浙江开放大学马克思主义学院, 浙江 杭州 310012)

摘要: 人工智能普及重构数字世界互动逻辑, 倒逼数字素养从传统“工具适配能力”向涵盖AI协作、算法认知、伦理判断、内容溯源的“AI协同综合能力”演化。通过思辨分析, 梳理数字素养从“工具使用”到“AI协作”的形态跃迁脉络, 剖析技术渗透、需求驱动、制度引导、文化重构四大社会机制的内在作用逻辑, 从个体竞争力重构、社会包容与效率提升、国家数字竞争力夯实三个维度阐释演化的深层意义, 为AI时代数字素养培育提供理论支撑。

关键词: 人工智能; 数字素养; AI; AI 协同

引言

当职场人借助ChatGPT完成市场分析报告的框架搭建, 学生通过AI辅导机器人拆解数学难题, 老年人尝试用智能语音助手预约社区体检, 人工智能已不再是科幻作品中的概念, 而是深度融入生产、生活、教育等核心领域的“数字基础设施”。这种融入并非简单的技术叠加, 而是对人类与数字世界互动逻辑的根本性重构——它打破了传统数字技术“工具属性”的边界, 让AI从“被动执行指令”转向“主动协同创作”, 从“单一信息传递”转向“个性化认知塑造”。

伴随这一重构, “数字素养”的内涵也悄然发生质变。过去, 数字素养意味着“会用电脑编辑文档、能辨别钓鱼网站链接”, 是个体接入数字世界的“基础门票”; 如今, 面对AI生成的虚假新闻、算法构建的信息茧房、人机协作中的权责边界, 数字素养必须升级为“能与AI高效协同、会解读算法逻辑、可判断AI伦理风险、善追溯AI内容真伪”的复合型能力。如果说传统数字素养解决的是“会不会用”的问题, 那么AI时代的数字素养则要回答“如何用好、如何避险、如何负责任地用”的命题。

然而, 这种演化并非自然发生: 有人因AI素养不足被挡在数字红利之外, 比如不会用AI农业数据分析的农民难以适应智慧农业的发展; 有人因对AI伦理认知缺失陷入使用误区, 比如随意用AI生成他人肖像引发侵权争议。因此, 厘清AI推动数字素养形态演化的内在社会机制, 解读这一演化对个体生存、社会运行、国家发展的深层意义, 不仅是回应“如何培养AI时代必备能力”的现实需求, 更是构建公平、有序、可持续数字文明的核心议题。

一、数字素养形态的演化脉络: 从“工具适配”到“AI协同”

要理解AI对数字素养的重塑, 需把握其从传统数字时代到AI协同时代的核心跃迁, 二者在技术定位、素养维度、人与技术关系上存在本质差异。

基金项目: 浙江省高校思想政治工作精品项目(浙教办函〔2024〕224号);浙江开放大学高等教育教学改革项目(XJG202409);浙江省现代远程教育学会科学研究课题(DES-24Y03);浙江开放大学312人才培养工程资助。

作者简介: 姜楠(1997-),男,大学讲师,主要从事网络文化与传播研究。
项华(1973-),男,大学副教授,主要从事马克思主义哲学研究。

传统数字时代（20世纪90年代至21世纪初），数字技术的核心角色是“辅助人类完成特定任务的工具”，对应的数字素养本质是“人适配工具”的能力，聚焦三大基础维度。一是基础操作素养，即掌握硬件与软件的使用方法，比如用计算机进行文档编辑、用智能手机连接无线网络、用浏览器检索信息，这是个体接入数字世界的“入门门槛”；二是信息筛选素养，即在海量网络信息中辨别真伪、筛选有用内容，例如通过对比权威媒体报道判断新闻真实性、通过关键词精准检索学术论文；三是安全防护素养，即保护个人数字隐私与财产安全，比如设置包含字母、数字、符号的复杂密码、不随意在陌生平台泄露身份信息。这一阶段，人与数字技术是“人主导工具”的单向关系，素养目标是“让个体顺畅使用工具、规避基础风险”。

随着生成式AI、算法推荐、VR/AR等技术成熟，数字素养进入“AI协同时代”，形态发生根本性跃迁，呈现三大新特征。其一，从“工具使用”到“AI协作”。传统模式下，人是工具的唯一主导者，比如用Excel处理数据需手动输入公式；而AI时代，人需与AI形成协同——用ChatGPT生成市场分析初稿后，需结合行业经验优化逻辑框架、修正数据偏差；用AI数据分析工具得出用户消费趋势后，需验证结论与业务实际的适配性；用AI设计软件创作海报后，需注入品牌特有的人文创意。此时的素养核心，是“引导AI方向、修正AI错误、超越AI局限”的协作能力。其二，从“信息辨别”到“AI内容溯源”。传统信息辨别依赖“交叉验证来源”，而AI生成内容（虚假新闻、仿冒音视频、伪造学术数据）低成本且高逼真，倒逼素养新增“溯源能力”——通过查看内容元数据、使用AI检测工具识别生成痕迹、分析内容逻辑漏洞（如时间线矛盾），判断信息是否由AI生成及是否真实。其三，从“安全防护”到“AI伦理判断”。传统数字安全聚焦“个人权益保护”，而AI引发的信息茧房、算法偏见、版权纠纷等伦理问题更复杂：算法推荐是否限制认知自由？AI招聘是否存在性别歧视？AI创作是否侵犯原创版权？这些问题涉及社会公平与权利边界，因此“AI伦理判断素养”成为核心——个体需理解AI运行逻辑，辨别伦理风险，甚至参与AI伦理规则讨论。

从“工具适配”到“AI协同”的演化，本质是数字技术从“辅助人类”向“与人类共生”的角色转变，而这一转变的落地，离不开四大社会机制的支撑。

二、AI推动数字素养演化的四大社会机制

（一）技术渗透：场景嵌入倒逼素养适配

人工智能从“实验室技术”走向“普惠工具”的过程，也是其全面嵌入生产、生活、教育场景的过程。当AI成为场景运行的“必要组件”，个体若不提升适配素养便会陷入“数字排斥”，这一“倒逼效应”是演化的基础动力。生产领域，AI重构职场技能需求：互联网企业的AI训练师需掌握数据标注、模型调优，传统制造业的智能质检员要操作AI视觉检测设备，行政岗位需用ChatGPT处理公文。智联招聘2024年报告显示，83%企业将“AI工具使用能力”列为招聘优先条件，未掌握者通过率低47%，职场需求倒逼个体纳入“AI协作素养”。生活领域，AI重塑日常交互：老年人不会用AI健康码难乘公共交通，消费者缺乏AI虚假宣传辨别能力易遭损失，家长无AI内容监管素养难避低俗内容，这些“AI依赖”场景让“AI内容溯源”“AI安全防护”从“可选技能”变为“必备能力”。

（二）需求驱动：发展追求催生素养升级

技术渗透是“外部倒逼”，个体对发展机会的追求与社会竞争压力则构成“内部驱动”。AI时代，数字素养成为“获取资源、提升地位的核心资本”，催生主动升级需求。个体层面，AI素养与发展红利直接挂钩：大学生用AI学术助手提升论文质量，自媒体创作者靠AI

剪辑降低成本、提高产出，农民借 AI 农业数据分析优化种植收益，这些“可见收益”让个体从“被动适应”转向“主动学习”，推动素养从“基础型”向“增值型”演化。社会层面，“数字素养竞争”成为群体、区域竞争的关键：青年群体 AI 素养高于中老年，导致后者在数字资源获取中处于劣势，比如线上医疗、电商优惠，倒逼中老年参与社区 AI 培训；经济发达地区 AI 教育普及、场景丰富，居民素养更高，欠发达地区为缩小鸿沟引入 AI 启蒙课程，加速素养升级。

（三）制度引导：政策与教育塑造素养方向

数字素养演化并非无序，政府政策与教育体系为其划定方向，避免“碎片化”。政策层面，各国将“提升全民数字素养”纳入战略规划：中国《数字中国建设整体布局规划》提出培养 AI 协作、算法认知、伦理判断能力，欧盟《数字教育行动计划》要求将 AI 素养纳入基础教育，美国《国家 AI 战略》强调 AI 风险识别能力，政策还通过财政补贴提供保障，比如中国农村 AI 培训补贴。教育层面，学校构建“从启蒙到专业”的系统化培养链条：幼儿园借 AI 机器人启蒙认知，中小学开设 AI 与算法课程，大学设 AI 伦理、协作实践课，职业教育开展 AI 工业应用、医疗辅助定向培训，确保不同群体获得适配培养，让素养演化形成“循序渐进、全面覆盖”的体系。

（四）文化重构：数字理念重塑素养内涵

AI 重构数字文化形态，“人机共生”“负责任的 AI 使用”等理念形成，让素养从“技能层面”延伸至“价值层面”。“人机共生”理念下，个体意识到 AI 是“有自主性的协作伙伴”，比如自主生成创意方案，素养新增“尊重 AI 特性、善用 AI 优势、弥补 AI 不足”的维度——如用 AI 写文案时，需修正表达缺陷、注入人文价值，实现协同创作。“负责任的 AI 使用”理念下，AI 换脸诈骗、算法歧视等争议倒逼素养涵盖“伦理责任”：自媒体需标注 AI 生成内容避免误导，企业需规避偏见 AI 工具防止歧视，用户需尊重 AI 版权，让素养从“个体技能”升华为“社会责任感”的体现。

三、数字素养形态演化的深层变迁意义

（一）个体层面：从“数字适应”到“数字赋能”，重构生存竞争力

传统数字时代，素养价值是“帮助个体适应数字世界”；AI 时代，素养升级为“赋能个体超越局限”，通过 AI 协作实现能力“跨越式提升”。“效率赋能”让个体突破能力边界：设计师用 AI 生成方案后专注创意优化，教师用 AI 批改作业后聚焦因材施教，科研人员用 AI 处理数据后加快突破。“机会赋能”为个体打开新空间：掌握 AI 训练技能可入职新兴岗位，具备 AI 创作素养可投身“AI+自媒体”，了解 AI 农业应用可转型智慧农业经营者。素养从“生存基础”变为“发展资本”，帮助个体在 AI 时代获得更多生存与发展机会。

（二）社会层面：从“数字鸿沟”到“数字包容”，优化运行效率

传统“数字鸿沟”是“接入鸿沟”即设备与网络，与“技能鸿沟”即基础操作；AI 时代是“AI 素养鸿沟”。素养演化通过“升级+普及”缩小鸿沟，推动社会从“排斥”到“包容”：老年人学 AI 健康工具后自主管理健康，残疾人借 AI 辅助工具参与社交就业，比如图像识别、实时字幕，欠发达地区居民经 AI 培训提升收益、缩小差距。同时，全民素养提升优化社会效率：消费领域减少虚假消费与监管成本，治理领域公众参与 AI 政策讨论，比如算法透明化，文化领域产出“AI+人文”优质内容，实现“全民参与数字建设”，减少因素素养差距导致的社会矛盾。

(三) 国家层面：从“数字大国”到“数字强国”，夯实核心竞争力

“全民数字素养”是国家数字竞争力的基础，AI推动的素养演化助力中国从“数字基础设施大国”向“数字人才强国”转型。数字经济层面，“AI+各行业”融合需“行业知识+AI素养”的复合型人才——工厂需懂AI的工程师优化生产线，医院需会用AI的医生解读影像，学校需掌握AI的教师开展个性化教学，素养提升为数字经济提供人才储备，推动产业从“技术引进”到“自主创新”。科技自立层面，AI技术突破需“全民认知与兴趣”：青少年经素养教育可能成长为科研人才，公众懂AI可参与技术测试、提建议，为突破提供“土壤”。国际治理层面，具备素养的公众可参与国际AI伦理讨论，企业可合规经营，学者可传递中国“负责任的AI发展”理念，让中国从“规则接受者”变为“参与者、制定者”，提升国际数字话语权。

四、结语

AI推动的数字素养形态演化，从来不是技术单方面主导的“技能升级”，而是技术渗透、需求驱动、制度引导、文化重构四大社会机制相互交织的结果——技术为演化提供了“场景基础”，需求注入了“内在动力”，制度明确了“发展方向”，文化丰富了“价值内涵”。这一演化不仅让数字素养从“工具适配”走向“AI协同”，更重塑了个体与数字世界、社会与技术、国家与全球数字格局的关系。

从个体维度看，数字素养已从“生存基础”变为“发展资本”，它让个体在AI时代突破能力边界，获得更多元的生存与发展机会；从社会维度看，数字素养是弥合“AI素养鸿沟”、实现数字包容的关键，它让不同年龄、地域、群体都能共享数字红利，提升社会运行的整体效率；从国家维度看，数字素养是夯实数字经济根基、提升科技自立能力、争夺国际数字治理话语权的核心支撑，它决定着一个国家在全球数字竞争中的核心竞争力。

当然，这一演化过程仍面临挑战：中老年群体与青少年群体的AI素养差距尚未有效缩小，部分欠发达地区的数字素养教育资源仍显不足；AI技术的快速迭代让素养培养内容难以“与时俱进”；AI伦理争议的复杂性也让“伦理判断素养”的培育面临认知难题。应对这些挑战，需要个体保持“终身学习”的意识，主动适应技术变化；需要社会搭建“多元协同”的培训体系，为弱势群体提供更多支持；更需要国家完善“制度保障”，将数字素养培育纳入长期战略，推动教育、政策、文化资源的统筹整合。

唯有如此，AI推动的数字素养演化才能真正成为“个体赋能、社会进步、国家强盛”的动力，让数字技术不仅改变生产生活方式，更能滋养出兼具技术能力与人文素养、既懂创新又守底线的数字公民，为数字时代的良性发展奠定坚实基础。

参考文献：

- [1] 李芳. 教师数字素养培育的内容体系与路径选择[J]. 中国远程教育, 2025, 45(09): 74-88.
- [2] 原左晔, 李子月. 究竟什么是“数字素养”——国外“数字素养”概念的历史流变、本质追寻与未来走向[J]. 外国教育研究, 2025, 52(08): 43-58.
- [3] 周济南, 胡梦田. 数字治理从“赋权”到“平权”：数字素养培育的生成机理与实现方略[J]. 重庆社会科学, 2025, (07): 80-95.
- [4] 潘晓婷, 龙耘. 迈向智能协同：人工智能时代新数字素养的生成性框架建构[J]. 编辑之友, 2025, (07): 93-98.
- [5] 苏明月, 赵阳. 公民数字素养的核心要素与法治建构[J]. 中国特色社会主义研究, 2025, (03): 55-68.
- [6] 汤倩雯, 殷子涵, 张浩. 生成式人工智能背景下大学生数字素养培育目标与实施策略[J]. 图书馆工作与研究, 2025, (04): 95-102.

- [7] 尹开国. 人工智能素养: 提出背景、概念界定与构成要素 [J]. 图书与情报, 2024, (03): 60-68.
[8] 蔡迎春, 张静蓓, 虞晨琳, 等. 数智时代的人工智能素养: 内涵、框架与实施路径 [J]. 中国图书馆学报, 2024, 50 (04): 71-84.

The Social Mechanism and Significance of Change in AI-Driven Evolution of Digital Literacy Forms

JING Nan, XIANG Hua

(School of Marxism, Zhejiang Open University, Hangzhou, Zhejiang 310012, China)

Abstract: The popularization of artificial intelligence (AI) reconstructs the interaction logic of the digital world, forcing digital literacy to evolve from the traditional "tool adaptation ability" to an "AI collaborative comprehensive ability" that covers AI collaboration, algorithm cognition, ethical judgment, and content traceability. Through speculative analysis, this paper sorts out the vein of digital literacy's morphological leap from "tool use" to "AI collaboration", analyzes the internal functional logic of four major social mechanisms—technological penetration, demand-driven, institutional guidance, and cultural reconstruction—and explains the in-depth significance of the evolution from three dimensions: the reconstruction of individual competitiveness, the improvement of social inclusion and efficiency, and the consolidation of national digital competitiveness. It provides theoretical support for the cultivation of digital literacy in the AI era.

Key Words: Artificial Intelligence; Digital Literacy; AI; AI Collaboration

天然纤维复合材料在老年人助行器轻量化与环保设计中的应用

刘倩茹

(江西理工大学, 江西 赣州 341099)

摘要: 随着我国社会老龄化发展进程的加快, 引发了老年产品市场以及产业结构的变化。目前我国老年产业处于新生阶段, 面临着产业结构空缺与市场供需不平衡等问题。本文以 70-80 岁, 处于介助阶段, 有轻度或中度障碍的老年人为目标人群, 对老年人的多功能智能助行器展开设计研究。旨在设计一款符合人机工学标准, 安全稳定、功能较为完善且能够顺应当下移动互联网时代智能养老理念下的无压力的助行产品, 更好地满足老年人居家和出行活动需求。本文使用, 文献调查法, 案例分析法, 比较研究法等^[1]。本论文聚焦于老年人助行器的材料设计与优化, 深入探讨天然纤维复合材料在老年人助行器轻量化与环保设计中的应用。通过对天然纤维复合材料性能特点的分析, 结合老年人助行器的功能需求与使用场景, 研究天然纤维复合材料在助行器结构设计、加工工艺及表面处理等方面的应用方法与技术路径, 从而实现老年人助行器的轻量化, 零压力及环保的特征。了解老年人助行器的国内外研究现状、我国老年产业及国内天然纤维复合材料产品市场的发展状况; 通过总结和分析市场上现有的老年人助行产品, 找到存在的痛点及主要问题。实验与测试结果表明, 采用天然纤维复合材料可有效降低助行器重量, 同时满足力学性能要求, 且具有良好的环保优势, 从安全性、稳定性、功能性、环保性、舒适性和美观性五个维度^[4], 为老年人助行器的创新设计提供了新的思路与方向。

关键词: 天然纤维复合材料; 老年人助行器; 轻量化; 环保设计

引言

随着全球人口老龄化程度的不断加剧, 我国已经步入了深度老龄化的阶段。老年人对助行器具的需求日益增长。助行器作为帮助老年人改善行动能力、提高生活自理能力的重要工具, 其设计的合理性与功能性至关重要。传统助行器多采用金属、对人体有害的塑料等材料, 存在重量较大、环保性差、不易携带等问题, 难以满足老年人对轻便、舒适、环保产品的需求, 及天然纤维复合材料的应用, 轻量化, 便于操作, 如天然纤维(如亚麻、hemp、竹纤维等)与树脂复合后, 重量远轻于传统金属(如钢、铝合金)或部分合成材料。老年人体力相对较弱, 轻量化的助行器更易推动、搬运, 能减少使用时的体力消耗, 降低操作难度。良好的力学性能, 兼顾强度与安全性, 经过合理复合工艺处理后, 天然纤维复合材料具有足够的强度、刚度和抗冲击性, 可满足助行器对承重、稳定性的要求。同时, 其材质相对“柔韧”, 若发生碰撞, 对人体的冲击力小于金属, 能降低意外磕碰时的受伤风险。亲和性好, 提升使用舒适度, 触感温和: 天然纤维复合材料表面温度受环境影响小, 冬季不冰冷、夏季不烫手, 直接接触更舒适。减震性优: 相比金属, 其弹性更好, 能减少行走时的震动传递, 减轻手部

基金项目: 2025 年度江西省科学教育学会在校研究生课题《百年建党献礼工程设计史料收集整理及时代价值研究》项目

作者简介: 刘倩茹(2000-), 女, 硕士研究生在读, 研究方向为产品设计方向。

和手臂的疲劳感。环保且可持续，天然纤维来源于植物，可再生、易降解，生产过程能耗较低，符合环保理念。对于注重绿色生活的用户或社会趋势而言，是更友好的选择，设计灵活性高，复合材料易于加工成型，可根据老年人的身体特征（如手掌大小、握持习惯）定制造型，使助行器更贴合人体工学，提升使用便利性。

1 研究背景

1.1 研究目的与意义

1.1.1 研究目的

（1）提升助行器性能，增强老年人使用感受

减轻重量：采用低密度的天然纤维（例如亚麻、竹子、黄麻），有助于降低助行器的总重量，从而减轻老年人手臂和肩膀的负担。

提高舒适度：天然纤维的阻尼特性能够吸收震动，减少行走时的冲击，进而提升助行器的使用舒适性。

更符合人体工程学：通过复合材料的可塑性，设计出更贴合老年人握持习惯的手柄和可调节结构。

研究天然纤维复合材料在老年人助行器设计中的应用，目的是实现助行器的轻量化和环保化，提升使用体验和产品的可持续性，促进老年人辅助器具行业的绿色增长，以满足社会对适老化产品日益增长的需求。

（2）促进环保可持续康复辅具的发展

减少碳排放：与玻璃纤维或碳纤维相比，天然纤维可降解，有助于减少塑料污染，符合全球碳中和的趋势。

推动循环经济：利用农业副产品（如椰壳纤维、甘蔗渣）制造复合材料，以提高资源的循环利用率。

（3）降低生产成本，提升产品的普及度

原材料成本低廉：天然纤维资源丰富，价格低于其他高性能合成材料，适合大规模生产。

适应本地化生产：在资源丰富的地区（如东南亚的竹纤维、非洲的剑麻）发展本地化生产，以降低运输成本。

（4）研究智能与多功能的集成

融合传感技术：探索如何在天然纤维基体中嵌入柔性传感器，以监测步态、预防跌倒等健康数据。自修复与抗菌特性：研究天然纤维与生物基树脂的改性，赋予助行器抗菌或自修复的功能等。

1.1.2 研究意义

（1）社会意义：改善老年人生活质量，助行器的轻量化与舒适性提升可降低使用门槛，帮助更多行动不便的老年人保持独立移动能力，减少跌倒风险，提高社会参与度。环保材料的使用符合“健康老龄化”理念，减少医疗辅具对环境的影响。

（2）经济价值：促进绿色产业的兴起，天然纤维复合材料的产业链（包括种植、加工、生产）能够促进农村经济发展，同时创造就业机会。这符合欧盟、日本等地区对可持续产品政策的扶持，提升了在国际市场上的竞争力。

（3）科技价值：推动材料科学与康复工程的创新融合，促进天然纤维在医疗辅助器材中的研究与应用，缩小传统材料与生物基材料之间的性能差异。为其他康复设备（例如轮椅、矫形器）提供可参考的材料解决方案。

(4) 提升结合力: 通过研究纤维表面处理技术(例如硅烷偶联剂)来增强与树脂的粘合性。标准化与耐久性测试: 构建一套适用于天然纤维助行器的疲劳和耐候性评估标准。用户接受度调查: 研究老年群体对环保材料的认知和偏好, 为产品设计提供指导。

天然纤维复合材料在老年人助行器领域的研究, 不仅致力于提高产品性能和可持续性, 而且对于推动健康老龄化和绿色制造具有深远意义。未来的发展需要跨学科的合作(包括材料科学、康复工程、工业设计), 以实现技术革新和产业化的成功应用。

1.2 分析国内外研究现状

1.2.1 国内研究现状

中国学者在老年人助行器领域应用天然纤维复合材料的研究迅速发展, 主要关注点包括材料改良、结构优化以及生态设计理念的融合。国家“双碳”战略的实施和老龄化社会需求的增加, 促使国内科研机构和企业加强了对环保助行器材料的研究, 取得了一系列有实用价值的成果^[2]。国际竹藤中心在竹纤维复合材料研究方面领先, 其“以竹代塑”创新在 SAMPE 中国 2025 年展览会上备受瞩目。该中心展示了 170 余件竹纤维合成革、复合毡材/板材等代塑产品, 展现了竹纤维在替代传统塑料方面的广泛应用潜力。竹纤维具有生长迅速、可再生和高强度等特性, 其复合材料密度仅为 $1.1\text{--}1.3\text{ g/cm}^3$, 比铝合金轻 50% 以上, 比强度接近某些铝合金, 非常适合用于助行器的轻量化设计。国际竹藤中心通过技术创新, 解决了竹纤维复合材料在耐候性和界面结合强度等问题, 为老年人助行器领域的应用扫清了技术障碍。在生态设计理念融入助行器研究方面, 单振宇和王弘扬提出了基于生态设计原则的老人助行设备设计框架。他们认为, 由于老年人身体状况的变化, 助行器需要频繁更换, 导致资源浪费, 而生态设计策略可以显著改善这一问题。研究团队总结了六条老人助行产品的生态设计原则: 渐变性设计(通过模块化、可扩展设计延长产品生命周期)、空间适应设计(优化结构便于收纳)、功能适老化设计(可调节结构适应不同需求)、二次利用设计(构件可重组为其他用品)、五感生态设计(通过材料触感等提升环保意识)以及生态共享系统设计(建立助行器租赁体系)。这些原则为天然纤维复合材料在助行器中的应用提供了系统的设计指导。在标准制定与产业化方面, 中国存在一定的差距。目前, 国内尚未形成专门针对天然纤维复合材料助行器的产品标准和评价体系, 相关研究多处于实验室阶段或小规模试制, 大规模产业化应用案例较少。国际竹藤中心王戈研究员指出, 竹纤维等天然材料复合产品的性能评价标准及其应用前景是需要重点研究的课题。随着“以竹代塑”倡议的推进和产学研合作的深化, 预计未来几年中国在天然纤维复合材料助行器的产业化方面将取得突破性进展。从市场需求角度分析, 中国的助行器产业正处在转型升级阶段。《2024-2030 年中国助行器行业发展调研与前景趋势预测报告》指出, 随着老龄化社会的到来以及医疗保障制度的完善, 助行器的社会需求将持续增长, 推动产业向更加专业化、服务化的方向发展。报告预测, 未来助行器将更加注重使用环保材料和技术, 减少生产过程中的能源消耗和废弃物排放^[2]。这一市场趋势将为天然纤维复合材料在助行器领域的应用创造有利条件。区域性发展特色也逐渐显现。浙江、广东等沿海地区凭借竹木资源丰富和制造业基础雄厚的优势, 在竹纤维、麻纤维复合材料助行器研发方面走在前列; 而北方地区则更多关注天然纤维与耐寒材料的复合研究。这种基于区域资源禀赋和技术积累的差异化发展, 有助于形成多元互补的产业格局, 推动天然纤维复合材料助行器技术的全面进步。

1.2.2 国外研究现状

在老年人助行器领域应用天然纤维复合材料呈现出技术多元化、应用深度化的特点, 欧美发达国家凭借其材料科学和医疗康复设备的领先优势, 在创新材料研发、智能化融合及全生命周期评估等方面取得了显著进展。这些研究不仅关注材料本身的性能提升, 更注重从用

户需求出发,构建完整的生态化解决方案。瑞士 Freshape 公司开发的 HiWood 木纤维纸增强材料代表了当前国际天然纤维复合材料的高性能化研究成果。这种革命性材料在 2025 年巴黎 JEC 世界复合材料展览会上引起广泛关注,其密度仅约 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$,杨氏模量超过 40GPa,弯曲强度高达 450MPa,机械性能可与某些钢材和铝合金媲美。HiWood 材料采用连续木材改性技术,保留了天然木材的纹理和美学特性,同时具备完全生物降解和可回收的特点,为助行器结构件的轻量化环保设计提供了全新选择。Freshape 公司已尝试用 HiWood 替代碳纤维材料打造无人机和自行车原型,验证了其在要求严苛的结构应用中的可行性,这一技术路线对高性能助行器开发具有重要启示。英国国家复合材料中心(NCC)与慈善机构 Motivation 合作开发的亚麻纤维增强轮椅座板是天然纤维复合材料在助行设备中实际应用的典型案例。该设计采用固瑞特(Gruit)公司的亚麻纤维和 Sicomin 公司的 Infugreen 生物基树脂,替代了传统轮椅使用的胶合板底座和 PU 泡沫座垫。这种绿色复合材料座板不仅重量更轻,而且更能适应高温高湿的气候条件,解决了原有材料易变形、降解和污染的问题。特别值得注意的是,该项目采用了“本地化制造”理念,根据不同地区资源禀赋,亚麻纤维可替换为亚洲的黄麻或南美的剑麻,降低运输成本的同时提高当地就业技能。这种因地制宜的技术路线对发展中国家助行器的普及具有重要参考价值。在生态设计理论研究方面,国际学者提出了更为系统的助行器全生命周期管理框架。与国内研究相比,国际上的生态设计更强调从原料获取到废弃处理的完整链条优化,包括绿色材料选择、低碳生产工艺、使用阶段能耗降低以及报废后的生物降解或循环利用。NCC 研究工程师 Adam Healey 指出,他们的轮椅座板设计留有很大空间用于进一步优化,并计划探索座椅底板的回收潜力,以获取更多的环境效益。这种贯穿产品全生命周期的生态设计思维,为天然纤维复合材料助行器的可持续发展提供了方法论指导。

2 天然纤维复合材料分类

2.1 天然纤维复合材料定义

天然纤维复合材料是以天然纤维(如亚麻纤维、竹纤维、剑麻纤维等)为增强体,与可降解或环保型基体材料(如生物基树脂、天然橡胶等)复合而成的材料。根据基体材料的不同,可分为天然纤维增强生物基树脂复合材料、天然纤维增强橡胶复合材料等。通过优化纤维排布和树脂配比,在保证强度的前提下降低材料密度,实现“轻量但坚固”的特性。比传统金属材料(如铝合金)更轻,可减少产品整体重量,同时保持一定的抗压、抗弯曲性能,适合对便携性有要求的场景。

天然纤维复合材料的环保性,材料从生产到废弃的全生命周期中,对环境影响较小的特性。天然纤维可自然生长,来源可再生,减少石油基材料依赖;生产过程能耗低,碳排放少;废弃后可生物降解,不会长期残留污染土壤或水源。

2.2 天然纤维复合材料性能特点

(1) 轻量化:天然纤维密度较低,相较于金属和传统塑料,能有效减轻制品重量,密度低(通常 $1.0\text{--}1.5\text{g}/\text{cm}^3$),比铝合金($2.7\text{g}/\text{cm}^3$)、钢材($7.8\text{g}/\text{cm}^3$)更轻,适合对重量敏感的产品(如老年人助行器、汽车内饰)。便于老年人操作和携带助行器。

(2) 力学性能:具有一定的强度和模量,通过合理的纤维排布与基体选择,可满足助行器的力学性能要求,保障使用安全。

(3) 环保性:天然纤维可再生,且部分基体材料可降解,天然纤维(亚麻、剑麻、竹等)源自植物,生长周期短,可重复种植;搭配可降解树脂(如聚乳酸)时,废弃后在自然

环境中可被微生物分解，减少白色污染。产品废弃之后，能够有效减少环境污染，符合可持续发展的原则。

（4）承重性能：单位重量的强度接近玻璃纤维复合材料，抗拉、抗弯性能良好，适合替代部分传统金属材料；冲击韧性，纤维自身的柔韧性可吸收冲击能量，减少材料断裂风险。

（5）加工与功能特性：成型性好：可通过热压、注塑等工艺制成复杂形状，适应多样化产品设计；隔热与隔音：天然纤维的多孔结构使其具有一定隔热和降噪效果，适用建筑、汽车领域；耐腐蚀性：对酸、碱等化学物质的耐受性优于金属材料，不易生锈。

（6）局限性：耐水性差，天然纤维易吸水膨胀，导致强度下降，需通过表面涂层或改性处理改善；耐高温性有限：长期使用温度通常低于100℃，不适合高温环境；性能分散性：纤维品质受种植环境影响，可能导致材料性能波动，需严格控制原料筛选。

（7）舒适性：天然纤维具有良好的亲肤性，表面触感温和，在与人体接触的部位使用，可提升老年人使用助行器的舒适度。

3 天然纤维复合材料在老年人助行器轻量化设计中的应用

3.1 结构设计优化

（1）力学分析与结构选型：运用有限元分析软件，对助行器的结构进行力学模拟，分析不同部位的受力情况，优化框架结构，选择合理的杆件形状与连接方式，在确保结构强度的同时，降低材料用量。例如，采用三角形框架结构增强稳定性，同时适当减小非关键部位的杆件尺寸。

（2）选择天然纤维复合材料应用于助行器的哪些部位：依据力学分析，建议在助行器的非主要承重或辅助承重区域（例如扶手、装饰板、部分框架等）优先考虑使用天然纤维复合材料。至于主要承重部分，则推荐将天然纤维复合材料与金属等高强度材料结合使用，以达到减轻重量和确保安全性的均衡。

3.2 天然纤维复合材料性能提升与优化

（1）纤维改性：利用表面改性技术对天然纤维进行处理，例如运用碱处理、偶联剂处理等手段，目的是加强纤维与基质之间的界面粘结力，进而提高复合材料的整体力学性能^[8]。

（2）选择与优化基体：挑选出符合助行器使用标准的基体材料，并探究各种基体材料对复合材料性能的作用^[6]。通过引入增韧剂、增强剂等辅助材料，改善基体的性能，以适应助行器的使用标准。

（3）纤维与基体配比的优化：通过实验确定不同纤维含量、纤维长度与基体的配比，找出最优组合，确保复合材料在减轻重量的同时，也拥有优秀的强度、韧性和耐久性。

3.3 天然纤维复合材料在老年人助行器中的设计应用思路

（1）性能提升与材料功能化

强化机械特性：探索创新纤维改良方法（例如纳米纤维素增强、生物基树脂复合）来增强材料强度、柔韧性和抗疲劳能力，以符合助行器长期使用的标准。

提高环境耐受性：研发耐潮湿、防霉变、抗紫外线的天然纤维复合材料，确保在各种气候条件下均能正常使用。

集成多功能特性：研究具备自我修复、抗菌或温度感应功能的智能复合材料，以提升助行器的安全与舒适度。

（2）设计创新与减轻重量

仿生结构改进：参考自然界中的轻质结构（如蜂窝、竹节结构），结合拓扑优化算法，设计出既坚固又轻巧的助行器框架。

模块化构建：开发可拆卸、可调整的助行器结构，满足不同老年人的身高、体重和使用偏好。

3D打印技术运用：采用生物基材料的加成制造技术，实现个性化复杂结构的定制，减少生产成本。

（3）环保性与循环经济结合

全生命周期评估（LCA）：系统分析天然纤维助行器从原料获取、生产、使用到废弃的碳排放和环境影响，优化绿色制造工艺。

可降解与回收技术：研究助行器废弃后的高效降解或回收方法，如生物降解树脂复合、纤维分离再利用等，减少环境污染。

低碳生产模式：推广农业废弃物（如秸秆、甘蔗渣）作为纤维原料，降低生产成本并促进资源循环利用。

（4）智能化与适老化结合

智能传感集成：在天然纤维复合材料中嵌入柔性传感器，实时监测使用者的步态、重心变化，预防跌倒风险。

人机交互优化：结合老年人操作习惯，开发语音控制、触觉反馈等友好界面，降低使用门槛。

健康数据联动：通过物联网技术将助行器与健康管理系统连接，提供运动量监测、跌倒报警等功能。

（5）标准化与产业化推进

建立行业标准：制定天然纤维复合材料助行器的性能测试标准（如耐久性、安全性），推动规范化生产。

跨学科合作：促进材料科学、康复医学、工业设计的深度融合，加速产品落地。政策与市场驱动：呼吁政府补贴环保型助行器研发，并通过消费者教育提升市场接受度。

4 天然纤维复合材料在老年人助行器环保设计中的应用

4.1 环保的全生命周期考量

在选择原材料时，我们优先考虑可再生和可分解的天然纤维以及基质材料，以确保从源头减少对环境资源的消耗和污染。

在生产过程中，我们致力于环保，通过改善天然纤维复合材料的加工技术，采用绿色制造技术，如模压成型、注射成型等低能耗、低污染的成型技术，以降低生产环节的能源消耗和废物排放^[2]。

在产品使用和回收方面，我们设计了易于拆卸的助行器结构，便于废弃后对不同材料进行分类回收。同时，我们也在研究天然纤维复合材料的回收再利用技术，以提高资源利用率，降低产品全生命周期的环境影响。

在表面处理和环保装饰方面，我们采用环保型涂料或表面处理技术，对天然纤维复合材料进行表面处理，以提高材料的耐磨性、耐水性和美观性。例如，我们使用水性涂料进行涂装，以避免传统溶剂型涂料中挥发性有机化合物（VOCs）的排放。

在轻量化设计技术

研究方面，轻量化技术作为天然纤维复合材料应用于老年人助行器的核心优势之一，已成为当前研究的重点方向。通过结构优化、材料复合和制造工艺创新等多维度探索，研究人

员不断突破传统助行器的重量限制,同时确保足够的结构强度和稳定性,为老年用户提供更加轻便、舒适的使用体验。

5 实验与测试

5.1 实验设计

(1) 材料制备: 根据前期研究确定的纤维与基体配比及处理方法, 制备不同类型的天然纤维复合材料试样。

(2) 助行器模型制作: 选取典型的助行器结构, 采用设计优化后的天然纤维复合材料制作助行器模型。同时, 制作采用传统材料(如铝合金、塑料)的助行器对比模型。

5.2 性能测试

(1) 力学性能测试: 对复合材料试样及助行器模型进行拉伸强度、力学性能测试^[3], 包括弯曲强度和压缩强度等。评估其是否满足助行器的使用要求。

(2) 重量测试: 测量不同材料助行器模型的重量, 对比分析天然纤维复合材料在轻量化方面的优势。

(3) 环保性能测试: 对天然纤维复合材料进行生物降解性能测试, 评估其在自然环境中的降解速度与程度。

(4) 性能提升与功能增强: 通过纤维的改性处理(例如使用碱处理、硅烷偶联剂处理)或与可分解树脂(例如PLA、环氧大豆油树脂)的混合, 可以进一步增强材料的抗湿性、耐磨性和界面的结合力, 以适应助行器的长期使用。天然纤维的阻尼特性有助于振动的吸收, 从而提高使用的舒适度; 某些纤维(如亚麻)的抗菌性能还能改善卫生条件。

5.3 天然纤维复合材料助行器轻量化设计用材

天然纤维基材: 植物纤维: 如亚麻、黄麻、剑麻等, 具有低密度(约1.2-1.5g/cm³)、高比强度的特点, 且来源广泛、成本较低, 是助行器框架等结构件的常用纤维材料。

动物纤维: 羊毛纤维等, 虽强度稍逊, 但弹性和韧性较好, 可用于局部缓冲部件, 提升使用舒适度。

常用基体材料: 聚合物基体: 以热塑性塑料(如聚丙烯、聚乙烯)和热固性树脂(如环氧树脂)为主。它们能与天然纤维良好结合, 形成复合材料, 既保留纤维的力学优势, 又通过基体的塑形性满足助行器的结构设计需求, 同时进一步降低整体重量。这些材料的组合应用, 可在保证助行器承载能力和使用安全性的前提下, 有效实现轻量化设计, 提升用户使用的便捷性。

5.4 结果分析

整理并分析实验的测试结果, 比较天然纤维复合材料助行器与传统材料助行器在力学性能、重量、环保性能等方面差异, 以验证天然纤维复合材料在老年人助行器轻量化与环保设计中的可行性与优势。

6 天然纤维复合材料视角下老年人助行器设计思路

6.1 助行器可用性设计流程

在开发基于天然纤维复合材料的产品时, 首要任务是辨识并确定用户的真实需求, 随后依据这些需求和可用性原则来设定评估标准。以此为基准, 设计出产品方案, 并搭建原型。原型搭建完成后, 通过模拟用户与产品的互动来检验产品的可用性, 确保它符合既定的用户需求。若测试中发现问题, 则必须对方案进行调整和改善, 这一过程需持续进行, 直到最终

设计能够获得用户的认可。致力于实现助行器的材料环保型以及产品的轻量化设计,要做到用材对人体无危害,做到绿色设计。

6.2 助行器可用性用户需求分析

为更准确地把握目标用户群体的实际需求和对现有产品的可用性评价,收集量的用户数据,体现了用户对助行器产品的需求。

四轮助行器的坐垫位置设计不当,导致用户在从助行模式转换到休息模式时必须转身或者绕行至助行器的前面,这个过程中平衡能力较差的用户很容易摔倒,且绕行过程中,设计不合理的助行器突出的支架,也容易绊倒用户,增加了使用的危险性。其次,储物空间的布局也存在问题,用户反映,大多数产品将储物袋设计在坐垫底或坐垫后侧下方,这要求用户在坐下休息时必须起身或者大幅度转身才能拿到物品,对于那些行动不便或有身体限制的用户来说很不方便。以及,部分用户认为助行器前侧的空间不够宽敞,最后,用户还指出现有助行器包含过多调节部件,使其感到困惑,过多的调节步骤不仅增加了学习和记忆产品使用步骤的难度,还可能导致用户在户外使用时因操作不当而发生意外。此外,一些助行器采用的材料是对人体有害的物质材料,长期使用会潜移默化的影响使用者的健康,所以在选材时,要选用环保且对人体无毒无害的材料来制作产品。以及,一些用户反映某些助行器在收纳时不方便折叠且重量大,不适宜老人独自一人时使用,这些都是需要改良的点。

6.3 助行器可用性评价指标

根据上述用户需求的可用性分析,结合用户的生理和心理需求^[5],以及产品所涉及的人机工程学方面的要求,总结了四个评价维度包括:易学性(考察用户能否快速掌握助行器的使用方法),易用性(评估该产品的各功能能否方便用户使用),用户满意度(体现了用户在使用过程中的整体满意程度,包括情绪因素及美观以及使用便携等),用材方面(用材环保,力学性能优异,承重能力优异,整体轻量化设计,保证性能的前提下,与天然纤维符合材料结合,成本相对较低)。

依据这四个层面,设定了明确的评估标准,这些指标被整理成一个表格,如表1所示,用于系统化地衡量和改进天然纤维复合材料助行器的用户可用性。

评价维度	评价指标	指标描述
易学性	易操作	第一次使用时能快速理解使用
	易记忆	第二次使用时仍会操作使用
易用性	易切换模式	是否可以快速实现助行模式与休息模式或他人助推模式转换
	易取物	方便拿取及放置物品
易稳定		是否容易侧翻
	易行走	行走时不会有阻碍或心理压力,更灵活
用户满意度	舒适	使用行走与休息时是否舒适且方便
	方便	是否有助于日常生活行走,更便捷
	美观	外形设计是否符合消费群体的审美,配色是否美观
	情绪	使用过程中无心理压力,心情愉悦
用材	环保型	用材要环保性好,遵循可回收,再循环,再利用原则
	力学性能优异	耐磨,抗压等方面表现更均衡,适用范围更广,注意弹性,韧性结合。
	轻量化	可以选用复合材料结合,做到轻量化设计
	成本相对较低	在保证性能的前提下,与天然纤维复合材料结合,降低材料整体成本,性价比更高。

表1 天然纤维复合材料助行器可用性评价指标

7 结论与展望

本项研究揭示,天然纤维复合材料在设计轻便且环保的老年人助行器方面展现出巨大的潜力。通过精心设计结构、提升材料性能和选择合适的加工技术,使用天然纤维复合材料的助行器在满足必要的力学性能的同时,实现了减轻重量,并且具有优秀的环保特性,满足老年人对助行器的需求以及社会可持续发展的目标。轻便的设计减轻了老年人的负担,增强了助行器的便携性和操作的灵活性,特别适合那些肌肉力量减弱的老年人。由于天然纤维来自可再生资源,其生产过程产生的碳排放远低于合成纤维或金属,这与可持续发展的理念相契合。这些材料可以生物降解或通过低碳方式回收,减少了助行器废弃后对环境的影响,符合“绿色设计”的趋势。性能的提升和功能的扩展,使得天然纤维原料成本较低,尤其适合在资源丰富的地区推广,有助于降低助行器的生产成本。环保特性可以增强产品的市场竞争力,满足消费者对健康生活和生态责任的双重追求。天然纤维复合材料为老年人助行器的轻量化和环保设计提供了有效的解决方案,其综合性能、生态效益和社会价值都十分显著。未来,通过材料的改良和技术的整合,有望在老年健康辅助设备领域得到更广泛的应用。

随着社会老龄化的迅速发展,这不仅展示了技术创新与设计的结合,也体现了人文关怀和社会责任感的具体化。未来的研究可以进一步深入,探索新型天然纤维复合材料的开发,以提高其性能和性价比;天然纤维复合材料在老年人助行器领域的应用,不仅能够满足轻量化和环保的需求,还可以通过智能化和个性化设计来提升用户体验。未来的研究需要突破材料性能、制造工艺和成本的限制,同时加强产学研的合作,推动这一绿色技术从实验室走向产业化,为全球老龄化社会提供可持续的解决方案。优化助行器的整体设计,结合智能化技术,提升产品的功能性和安全性及天然纤维复合材料成本造价相对较低,使得价格更能被大多数老年人接受;加强天然纤维复合材料在助行器大规模生产中的应用研究,解决生产工艺

中的关键技术问题,推动天然纤维复合材料在老年人助行器及其他适老化产品中的广泛应用。

参考文献:

- [1] 王子卿. 可持续设计理念下的老年人智能助行器创新设计研究[D]. 广东工业大学, 2019.
- [2] 曹森伟, 朱亮, 谢开元. 一种一体式自沉型结构的可降解海草种植模块生产工艺:202410656451[P]. 2024-08-02.
- [3] 张雁鸿. 纳米颗粒增强 PTFE 材料的制备方法及其性能研究[D]. 华中科技大学, 2006.
- [4] 饶旭日. 老年人无动力助行器设计研究与实践[D]. 北京工业大学, 2020.
- [5] 李晗京, 陈欣然, 李晶. 基于可用性洗护瓶产品研究设计[J]. 设计, 2021, 34(13): 133-135.
- [6] 洪钧. 天然纤维增强复合材料的制备及性能研究[D]. 安徽工程大学, 2012.
- [7] 陈婉, 任钟鸣, 孔李波. 可用性视角下的老年人助行器设计研究[J]. 工业设计, 2025, (3): 29-32.
- [8] 任超. 芒麻/聚乙烯复合材料热氧老化性能与机理[D]. 南京林业大学, 2009.

Application of Natural Fiber Composites in Lightweight and Environmental Design of Walking Aids for the Elderly

LIU Qianru

(Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou , Jiangxi 341099, China)

Abstract: With the acceleration of China's social aging process, changes have been triggered in the elderly product market and industrial structure. At present, China's elderly industry is in the emerging stage, facing problems such as gaps in industrial structure and imbalance between market supply and demand. This paper takes the elderly aged 70-80, who are in the assisted living stage with mild or moderate disabilities, as the target group, and conducts design research on multi-functional intelligent walking aids for the elderly. The purpose is to design a pressure-free walking aid product that meets ergonomic standards, is safe and stable, has relatively complete functions, and conforms to the intelligent elderly care concept in the current mobile Internet era, so as to better meet the elderly's needs for home and travel activities. This paper adopts methods such as literature survey, case analysis, and comparative research [1]. This paper focuses on the material design and optimization of walking aids for the elderly, and deeply explores the application of natural fiber composites in the lightweight and environmental design of walking aids for the elderly. By analyzing the performance characteristics of natural fiber composites and combining the functional requirements and usage scenarios of walking aids for the elderly, it studies the application methods and technical paths of natural fiber composites in the structural design, processing technology, and surface treatment of walking aids, so as to realize the lightweight, pressure-free, and environmental protection characteristics of walking aids for the elderly. It also understands the domestic and foreign research status of walking aids for the elderly, as well as the development status of China's elderly industry and the domestic natural fiber composite product market; by summarizing and analyzing the existing walking aid products for the elderly on the market, it identifies the existing pain points and main problems. Experimental and test results show that the use of natural fiber composites can effectively reduce the weight of walking aids while meeting the mechanical performance requirements, and has good environmental advantages. From the five dimensions of safety, stability, functionality, environmental protection, comfort, and aesthetics [4], it provides new ideas and directions for the innovative design of walking aids for the elderly.

KeyWord: Natural Fiber Composites; Walking Aids for the Elderly; Lightweight; Environmental Design

动态知识图谱驱动的三阶融合 AI 教学体系研究

谢统薇

(郑州工程技术学院 商学院, 河南 郑州 450044)

摘要: 针对当前高校课程知识点复杂、学生认知碎片化及实践能力薄弱等共性问题, 本研究构建了“教学图谱全局导航-AI 工具链深度赋能-个人图谱动态迭代”的三阶融合 AI 教学体系。并在试点院校开展教学实验, 分别于教学图谱层构建了目标、动态知识及网络问题的三大图谱。在 AI 工具层通过自动生成代码、建模仿真等实现数据的智能分析。个人图谱层借助 DeepSeek 模型生成专属知识脑图, 反哺教学图谱。实验结果表明该体系有效提升了学生的知识整合与实践能力, 为高等教育的数字化转型提供了可推广范式。

关键词: 知识图谱; AI 教学; 高等教育数字化; 教学创新

引言

在全球高等教育数字化转型的背景下, 人工智能技术与教学的深度融合已成为推动教育变革的关键动力。2024年12月, 世界慕课与在线教育大会在伦敦召开, 会议明确提出全球高等教育已进入“智慧教育元年”, 这标志着以AI为代表的新兴技术正在重塑教育生态, 推动教学模式向更加智能化和个性化的方向转型^[1]。我国高度重视教育的数字化发展, 于2022年启动了国家教育数字化战略行动, 并将其上升为国家重要战略, 后续中共中央、国务院印发的《教育强国建设规划纲要(2024—2035年)》, 更为高等教育的数字化转型提供了政策指引^[2]。2025年4月, 教育部等九部门联合印发的《关于加快推进教育数字化的意见》, 在总结前期实践经验的基础上, 进一步明确了教育数字化的发展路径和实施策略, 并强调要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导, 充分发挥数字化技术优势, 推动教育高质量发展, 助力教育强国建设目标的实现^[3]。

河南省作为我国重要的高等教育基地, 拥有丰富的教育资源和完整的学科体系。然而, 在教育数字化转型的进程中, 河南省内诸多高校却面临不少现实挑战。例如: 高校的传统教学模式难以适应AI时代学生对个性化学习的需求; 跨学科教学中的知识壁垒问题也尤为突出; 技术资源与实践平台的不足导致产学研衔接不畅等。这些问题不仅制约了人才的培养与质量提升, 也与河南省建设国家创新高地的战略目标存在一定差距^[4]。针对上述问题, 本研究提出基于动态知识图谱技术的AI教学体系, 通过构建“知识演化图谱+智能推演引擎”的新型教育范式, 以我国本科院校的代表性工科课程《系统工程》为实践案例, 验证了该体系在提升教学效果和促进学科交叉方面具备有效性, 为区域高等教育的数字化转型提供了可借鉴的实施路径。

一、需求分析与问题定位

本研究以河南省某本科院校作为试点, 对该校的物流工程、国际经济与贸易、车辆工程等专业分别进行调研, 并结合超星学习通平台的学生行为日志分析, 剖析了当前高等教育教

基金项目: 郑州工程技术学院“人工智能教育教学典型应用场景案例”(PX-111251634)阶段性成果、郑州工程技术学院重点学科建设项目资助。

作者简介: 谢统薇, 博士, 讲师, 研究方向为人工智能教育和机器学习。

学体系面临的三大核心挑战。首先是知识关联的困境，该校 78.6% 的学生在跨章节学习时难以建立有效的知识联系，概念网络断裂现象明显，导致学生的知识迁移能力薄弱。另外，在工科实验课程中教学虚实断层的问题尤为突出，63.4% 的教师反映教学案例与理论存在显著脱节，特别是在系统建模环节中，虚拟仿真与实物操作的衔接不畅，导致实验操作转换成功率不足 52%。最后，个性化的教学指导缺失严重，82.3% 的学生表示时常陷入统一进度与个体差异的矛盾中。

针对这些关键问题，本研究构建了“教学图谱全局导航-AI 工具链深度赋能-个人图谱动态迭代”的三阶闭环体系，如图 1 所示。该体系运用超星 KG-BERT 图嵌入技术，构建了包含 182 个知识节点的动态网络，实现了概念关联强度的量化表征、认知路径的实时优化，以及跨学科知识的有机融合。在技术实现层面，DeepSeek-R1 模型与工业级工具的深度集成，形成了强大的工具链支持，不仅实现了代码的自动生成和参数的智能寻优，更显著改善了虚实实验的衔接效率。同时，本研究的核心在于建立了双向的反馈机制，通过学生个人知识图谱的持续迭代，反哺教学系统的优化升级。

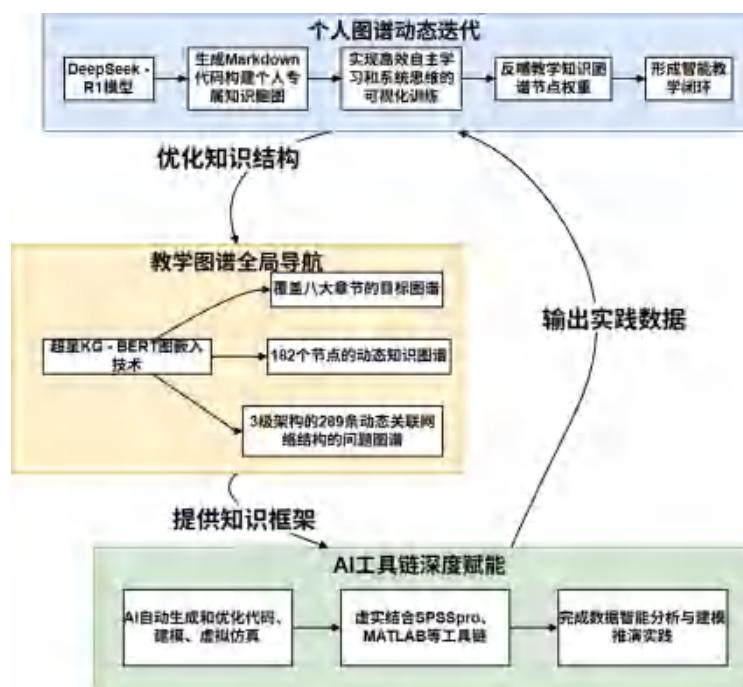


图 1 动态知识图谱驱动的三阶 AI 教学体系逻辑图

二、动态知识图谱驱动的 AI 教学体系构建

本研究主要通过知识、目标和问题三类图谱的协同，将高校课程的核心知识转化为可视的关联网络。教师端可依托图谱动态调整教学路径，实现知识显示的网络化与学生问题诊断的智能化，进而使教学策略更加精准。而学生端可借助该工具，自主构建专属的知识脑图框架，将抽象思维转化为可交互的关系节点图谱，全面提升学生对知识的学习和系统思维的培养。

（一）动态目标和知识图谱

本研究提出的 AI 教学体系，在动态目标-知识图谱的协同框架构建方面，通过多层级语义关联，实现了教学目标的系统化映射与可视化。如图 2 所示，动态知识图谱方面采用三级

目标分解机制,构建了覆盖测试课程《系统工程》的八大章节知识能力矩阵。其中一级目标锚定国家战略需求与专业认证标准,例如:建立了“系统思维培养”与“双碳战略实践”的映射关系。并通过自然语言处理技术,从《中国工程教育专业认证标准》和《2030年前碳达峰行动方案》等政策文件中自动提取关键词,形成目标制定的依据。二级目标采用能力矩阵建模方法,运用潜在语义分析,确定各章节与核心能力的关联权重。三级目标则基于布鲁姆认知分类学,采用BiLSTM-CRF模型对182个知识节点进行自动标注,实现从记忆到创新的认知层级划分。这种动态耦合机制使目标体系能够随政策要求,及行业需求的变化而进行自适应调整。



图2 本研究开发的动态目标图谱及知识图谱

在本研究所构建的动态知识图谱中,各个知识节点的关联通过三种机制实现,其中因果关联基于学生测试数据的自动更新条件概率,采用贝叶斯网络进行建模。并列关联运用了词嵌入技术,通过余弦相似度计算,保持语义的一致性。依赖关联则构建了有向无环图,确保知识递进的逻辑性。如图2,针对《系统工程》中的核心概念,本研究实时关联最新的工程案例,例如:新能源汽车电池回收的系统评价,并通过案例库的动态扩充保持教学内容的时效性。这种动态知识图谱的可视化引擎,以力导向算法与语义缩放技术,支持从宏观架构到微观细节的多尺度浏览^[5]。

(二) 问题网络图谱

同时,本研究搭建了覆盖3级架构,289条动态网络的问题图谱,如图3所示,该问题网络图谱采用三级递进式架构,以《系统工程》该课程的系统方法论为指导,实现了复杂问题的结构化表征。分别由三列纵向文本节点构成,依次对应三类问题层级,即第一类节点表征学科的核心问题,如“多目标冲突下的系统优化”。第二类节点主要聚焦案例驱动型的问题,如“医疗资源调度中的排队模型”的构建。第三类节点则细化至工具的操作层面,如“基于Python的蒙特卡洛仿真参数调优”。各层级节点通过蓝、绿、金黄三色连线形成复杂网络,其中蓝色连线表示概念关联,绿色连线体现认知依赖,金黄色连线则标注工具支持关系。



图 3 本研究开发的动态关联网络问题图谱

基于系统工程中的反馈控制原理,本研究所开发的问题网络图谱的权重,能够根据教学过程中的实时数据持续优化。例如:当监测到学生在特定节点,如“层次分析法权重计算”时会遇到普遍性的困难,该问题图谱将自动强化该节点与基础概念节点间的关联强度。同时,针对不同专业的背景,如物流工程与车辆工程,问题图谱能够动态调整展示案例的不同侧重点,确保与各个专业的培养目标相契合。这种动态的演化机制,使问题图谱始终保持与教学进程的同步,为分析课程中的复杂问题提供了动态认知支架^[6]。

(三) AI 工具链协同

基于上述知识与问题图谱,本研究所开发的 AI 教学体系在 AI 工具链的应用方面,通过工具集成与功能耦合、智能辅助与个性化支持,及双向反馈与系统演进三个方面,协同构建了完整的“数据-模型-应用”闭环。工具集成与功能耦合作为底层架构,通过 API 网关和中间件技术,将 SPSSpro、SPSSAU 与 MATLAB 等专业工具,与 DeepSeek-R1 模型进行了深度耦合,使 MATLAB 的数值计算引擎与 DeepSeek 的代码生成能力相结合,协助学生自动完成从数学模型到可执行代码的转换。SPSS 系列工具的数据分析模块与知识图谱的语义网络相融合,帮助学生更好地基于各自专业知识进行智能数据解读。

智能辅助与个性化支持方面,本研究采用了动态适配机制,根据学生的学习轨迹提供精准支持。例如:当检测到学生对系统的可靠性进行分析时出现理解偏差,DeepSeek 模型能够基于问题图谱的关联分析,自动生成包含 Markdown 注释的代码模板,并推荐相关的学习视频。教师端则可通过管理界面实时显示全班学生的知识掌握热力图,支持教师基于图神经网络对各个班级学生的学习模式进一步分析。同时,本研究所开发的 AI 教学体系建立了双向的反馈通道,形成持续优化的闭环机制。学生端的操作数据,例如:学生对代码的修改记录、模型参数的调整路径等,均会实时更新到学生的个人知识图谱中,通过权重调整算法动

态重构各个节点的关联。学生的个体数据经脱敏处理后，也将聚合至教师端，驱动教学知识图谱的迭代更新。例如，当超过 30% 的学生在“排队论应用”节点出现相似的错误模式时，AI 教学体系会自动触发教学预警，并基于群体数据生成和补充相关教学方案。

三、核心技术架构与教学应用路径

本研究构建的 AI 教学体系采用分层式架构，如图 4 所示，实现了从数据采集到认知迭代的全流程支持。核心层基于图神经网络和 DeepSeek-R1 大模型，通过知识图谱的嵌入式表示，将课程知识点映射到低维向量空间。这种表示方法不仅保留了语义关联特性，还支持高效的相似度计算和推理。中间层整合了 SPSS Modeler Auto 等工具，构建了“图谱特征提取-数据降维-模型优化”的智能链路。其中，特征提取模块利用图注意力机制，自动识别关键的知识节点，数据降维采用 t-SNE 算法实现高维学习数据的可视化，模型优化环节主要通过贝叶斯优化自动调整参数。应用层面向具体的教学场景，即为目前的试点院校提供代码生成、虚拟仿真等操作，并在教学实验中成功支持了 86% 的学生完成从数据采集到系统建模的全流程实践，较传统实验教学方法提升 40% 的操作效率，有效破解了传统教学中理论与实践脱节的难题。

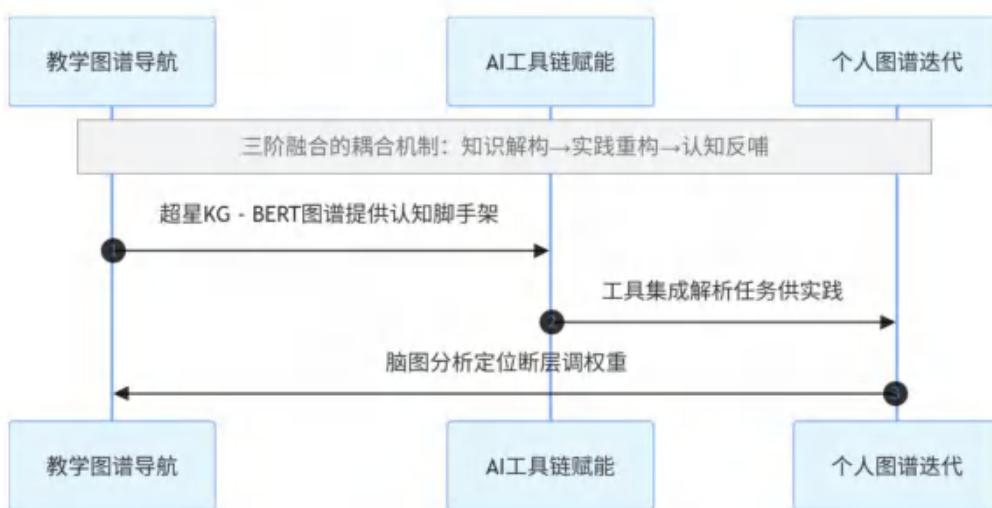


图 4 AI 教学体系的应用路径

（一）知识图谱应用与学生学习支持

本研究所开发的 AI 教学体系，首先在知识图谱的应用方面突破了传统静态知识组织的局限，实现了三重动态机制。首先，基于 DeepSeek-R1 模型的增量学习能力，每周自动从试点院校的学术文献和教学资源中抽取新知识，通过语义相似度计算和更新图谱节点。之后，采用协同过滤算法分析学生群体的学习轨迹，动态调整节点间的关联权重。最后，通过双向长短期记忆网络分析学生的提问内容，实时扩展问题的解决路径。这种动态机制使测试课程《系统工程》的知识图谱，在四个月的教学实验周期内迭代了 12 个版本，节点数量从初始的 182 个增长至 257 个。实证数据显示，使用动态图谱的学生在知识迁移能力测试中得分提高了 27%，且能够构建出更具逻辑性的个人知识脑图。

（二）多模态数据融合分析技术

针对教学过程中的异构数据问题,本研究首先通过光学字符识别和自动语音识别技术,将物流工程专业的教材、讲义和课堂录音等转化为结构化文本,并利用知识图谱的语义关系路径,建立不同模态数据间的关联映射。尤其对于工科专业的实验操作视频类数据,采用3D卷积神经网络提取时空特征,并将其锚定到图谱的相应节点。这种多模态数据的融合方法,显著提升了数据分析的可解释性^[7]。例如:在系统建模任务中,学生可追溯每个分析步骤的知识依据,使决策过程透明度大幅提升。同时,本研究开发的AI教学体系支持跨模态检索,例如:当学生输入概念进行查询时,可直接定位到相关的授课视频片段,使检索的准确率达到89%。

(三) 虚实联动的个性化推荐

虚实联动作为工科实验教学的难点,本研究采用强化学习框架,将知识图谱作为状态空间,学习目标作为奖励函数。通过知识诊断测试初始化学生的认知状态,之后基于策略网络生成个性化的学习路径建议,最后根据学习效果动态调整策略。与传统的学习推荐系统相比,本研究融合了虚拟仿真和真实的实验数据,构建出更加全面的状态表征。同时,本研究引入了课程的目标约束,确保推荐路径符合教学大纲的要求。目前,在实验课程中显示学生的平均学习效率提升了32%,且83%的学生反馈推荐内容与个人需求高度契合。教师端数据显示,本研究显著改善了试点院校的学习资源利用率,实验设备的闲置率从45%降至18%。

四、实证研究与效果分析

(一) 实验设计与数据采集

本研究采用实验研究方法,于2025年2月至6月在试点院校开展教学实践,旨在验证本研究所开发的动态知识图谱驱动AI教学体系的有效性。实验选取2023级物流工程专业4个平行班级作为研究对象,其中实验组为2个班级,共计86人,采用基于动态知识图谱与AI工具链的新型教学模式。对照组为2个班级,合计82人,沿用传统的PPT讲授与案例分析相结合的教学方式。在实验开始前,首先通过独立样本t检验对两组学生的前测成绩进行比较和分析, p 值为0.21,表明两组学生在实验前的知识水平不存在显著差异。为确保之后的实验内部效度,两组采用统一的教学大纲、教材和课时安排,且由同一教学团队授课。

在评估体系设计方面,本研究构建了四个核心维度的综合评价框架,包括:知识掌握水平、系统思维能力、学习效率及学生满意度^[8]。知识掌握水平通过目前试点院校所使用的超星学习通平台,对实验课程八个章节的内容进行测试和期末闭卷考试,进行综合量化评估。系统思维能力的测评则采用该课程中的“多目标优化决策”,及“医疗资源调度建模”两项综合任务,通过教师和AI工具双盲评分的方式确保评价的客观性。学习效率的评估基于平台记录的重复学习行为,和薄弱知识点的错误率变化情况。学生满意度调查使用经过信效度检验的Likert 5级量表。实验结束后问卷的回收率达92%,且Cronbach's α 信度系数为0.87,确保了数据的可靠性和有效性。

(二) 实验结果与量化分析

如表1,通过实验组与对照组的前后测数据分析,结果表明在知识掌握与思维能力提升方面,实验组的期末平均成绩为 82.4 ± 6.2 分,较对照组的 75.1 ± 7.8 分,高出9.7个百分点,这一差异具有统计学的显著性。尤其在系统建模这一核心章节的考试中,实验组得分率高达89%,显著高于对照组的72%。同样在综合任务评估中,实验组学生在多目标优化决策和医疗资源调度建模环节,给出的解决方案获得逻辑完备性 84.5 ± 5.1 分,明显优于对照组的 67.2 ± 8.3 分。且在AI工具链提供的自动代码生成与参数优化功能方面,实验组学生的

建模效率高出 40% 左右, 这在一定程度说明, 实验组在复杂问题的解决能力上, 也较对照组具备明显优势。

评估维度	具体指标	实验组	对照组	统计检验
知识掌握水平	期末考试成绩 (分)	82.4±6.2	75.1±7.8	$t=3.12, p=0.008^{**}$
	系统建模章节得分率 (%)	89±5.3	72±8.1	$t=4.25, p=0.005^{**}$
系统思维能力	综合任务评分 (分)	84.5±5.1	67.2±8.3	$t=5.67, p=0.002^{**}$
	章节重复学习时长 (小时)	2.8±0.9	4.2±1.2	$t=-4.89, p=0.001^{**}$
学习效率	薄弱知识点错误率 (%)	15.2±4.1	33.8±6.7	$t=-6.34, p=0.001^{**}$
	节点跳转频次 (次/章)	12.3±3.2	5.3±2.1	$t=8.76, p<0.001^{**}$
学生满意度	教学模式认可度 (%)	83.2±7.5	47.3±9.2	$\chi^2=18.6, p<0.001^{**}$
教学效果	知识点正确率 (%)	85.6±6.3	66.8±8.4	$t=5.92, p=0.003^{**}$

表 1 实验组与对照组关键指标对比分析

在学习效率提升方面, 如表 1 中的实验数据显示, 实验组学生平均每章节的重复学习时长从 4.2 小时降至 2.8 小时, 降幅 32%, 同时, 薄弱知识点的二次错误率减少了 55%, 这说明本研究所开发的动态知识图谱的个性化导航功能, 显著提升了实验组学生的学习效率。通过对学生学习行为日志的分析, 发现实验组学生更倾向于通过节点跳转路径探索知识的关联, 其节点跳转频次较对照组高出 2.3 倍。这种非线性的知识探索方式, 不仅提高了实验组学生的学习效率, 还促进了学生对知识体系整体架构的理解。由此说明, 实验组学生在知识迁移能力方面也表现出极大的优势, 能够更快速地将所学知识应用到新的问题情境中。

关于学生反馈与教学改进, 由满意度调查结果可知, 实验组中 83% 的学生对新型的教学模式表示认可, 认为本研究所开发的动态图谱能够帮助其更好地理解知识关联, 这一比例明显高于对照组的 47%。并且质性分析发现, 学生非常认可 AI 生成的个人知识脑图功能, 认为该功能可快速定位学生的学习漏洞, 如在“蒙特卡洛仿真参数调优”等复杂知识点的学习过程中, 为学生提供了有效的学习支持。从教师的角度观察, 动态知识图谱实现了教学过程的实时监测与反馈, 教师能够通过系统, 及时发现实验组学生在“排队模型构建”等知识点上的共性问题, 并及时动态调整教学的重难点, 将知识点考核的正确率提升了 28%。

五、结语

综上, 本研究针对高等教育数字化转型中的核心挑战, 构建了动态知识图谱驱动的 AI 教学体系, 在理论层面, 提出的“目标-知识-问题”三图谱的协同模型, 通过语义网络与动态演化机制, 实现了从国家战略需求到具体知识节点的贯通映射, 突破了传统线性教学模式的局限, 为智能化教学提供了新的认知框架。技术实现上, 本研究所研发的基于 DeepSeek-R1 的动态知识图谱引擎, 融合了图神经网络、强化学习与工业级工具链, 构建了支持“数据采集-建模分析-认知迭代”全流程的智能教学系统, 其核心创新在于实现了知识表示、工具调用与认知诊断的有机统一。上述实证研究结果表明, 本研究目前在《系统工程》课程应用中成效显著, 实验组在知识掌握方面, 已实现成绩提升 9.7%、系统思维任务评分提高 25.7%, 和学习时间节省 32% 等关键指标, 均显著优于传统教学模式。因此, 本研究创建的“全局导航-智能赋能-动态迭代”三阶闭环教学模式, 不仅有效解决了知识碎片化、虚实断层等长期存在的教学难题, 更为“人工智能+教育”的深度融合提供了可复制、可推广的实践范式。

尽管本研究取得了一定的成果, 但未来仍需应对诸多挑战。首先, 在技术优化方面, 未来还需防范算法偏见可能对教学公平产生的影响。本研究计划未来引入关于公平性评估的指标, 建立算法的动态修正机制, 确保 AI 教学体系能够更加公平和公正地运行。在推广应用方面, 本研究将不止局限于试点院校, 未来将不断更新知识图谱, 实现一年内至少覆盖河南

省内 2 至 3 所高校, 完成 30 余文理课程的全面应用, 并将现有的师生共建模式, 升级为高校与企业协同机制。同时, 开放 API 接口对接更多工业平台, 提高知识图谱构建的效率, 以及与河南省区域产业的适配性, 为校企合作与产教融合提供有力的支持, 更好地推动高等教育教学模式的创新与优化。

参考文献:

- [1] 易凯渝, 韩锡斌. 从混合教学到人智协同教学: 生成式人工智能技术变革下的教学新形态 [J]. 中国远程教育, 2025, 45 (04) :85–98.
- [2] 李永智, 曹培杰, 武卉紫, 等. 基于教学思维链的教育大模型推理显化研究 [J]. 开放教育研究, 2025, 31 (04) :4–11.
- [3] 黄廷祝. 人工智能时代教学形态的主动变革 [J]. 中国大学教学学, 2025, (Z1) :85–91.
- [4] 朱许强, 沈自茹. 从线性到图谱: 学生学习方式的转向 [J]. 教育评论, 2025, (07) :93–102.
- [5] 于菲, 李京, 刘智光, 等. 基于情景分析和负面评论的用户需求识别方法 [J]. 机械设计, 2025, 42 (08) :205–211.
- [6] 付英, 苏海龙, 李宪博. 基于 CiteSpace 的科研诚信及伦理治理文献计量与知识图谱分析 [J]. 社会科学家, 2025, (04) :185–190.
- [7] 舒忠梅. 高校多模态档案知识图谱构建与智慧利用路径研究 [J]. 浙江档案, 2025, (07) :29–32.
- [8] 缪玉松, 张欣刚, 张颖, 等. 人工智能与虚拟仿真赋能基础力学实验教学改革初探 [J]. 实验室研究与探索, 2025, 44 (08) :155–160.

Research on a Three-Level Integrated AI Teaching System Driven by Dynamic Knowledge Graphs

XIE Tongwei

(School of Business, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou, Henan 450044, China)

Abstract: Addressing common challenges in higher education such as complex course knowledge points, fragmented student cognition, and weak practical abilities, this study constructs a three-level integrated AI teaching system characterized by "global navigation via teaching knowledge graphs, in-depth empowerment through AI toolchains, and dynamic iteration of personal knowledge graphs." Teaching experiments were conducted in pilot institutions, where three core graphs—target graphs, dynamic knowledge graphs, and networked problem graphs—were established at the teaching graph level. At the AI tool level, intelligent data analysis was realized through automatic code generation, modeling, and simulation. At the personal graph level, the DeepSeek model was employed to generate personalized knowledge mind maps, which in turn fed back into the teaching knowledge graphs. Experimental results demonstrate that this system effectively enhances students' knowledge integration and practical capabilities, providing a scalable paradigm for the digital transformation of higher education.

Key words: knowledge graph; AI teaching; Digitalization of higher education; Teaching innovation

基于区块链技术的虚拟电厂一站式建设与实时监控 系统研究——兼论 RWA 通证化实现路径

吴兴生¹ 廖恒波² 李春丽² 吴兴秋³ 熊晖^{4*}

(1. 中国节能协会, 北京市 北京 100000; 2. 中国电子信息产业集团, 广东 深圳 518000; 3. 深圳市方佳消防工程公司, 广东 深圳 518000; 4. 河源开放大学 广东 河源 517000)

摘要: 在全球能源转型与碳中和目标的双重驱动下, 新能源技术如储能、光伏、风电等快速发展, 分布式能源资源 (DER) 的大规模接入对传统电网提出了严峻挑战。虚拟电厂 (Virtual Power Plant, VPP) 作为整合分布式能源资源的关键技术, 通过先进的信息通信技术 (ICT) 聚合分散的能源资源, 实现资源的优化调度与市场交易, 正成为能源互联网的核心组成部分。本文系统论证了虚拟电厂的一站式建设过程与路径设立, 详细阐述了实时远程监控系统的架构设计与实现方法, 创新性地引入区块链技术以确保数据透明性、安全性与可追溯性。同时, 本文深入分析了区块链技术在虚拟电厂中的多维度应用潜力, 为未来真实世界资产 (Real World Asset, RWA) 的通证化运作提供了切实可行的技术接口与通道。通过构建完整的理论框架并结合实际案例研究, 本文提出了一套标准化、模块化的虚拟电厂建设体系, 涵盖资源规划、技术架构、监控系统、区块链集成等关键环节。研究表明, 基于区块链的虚拟电厂不仅能够提升能源系统的智能化水平与运行效率, 还能为能源资产的金融化创新提供技术基础, 推动能源系统向去中心化、透明化、市场化方向发展。

关键词: 虚拟电厂; 一站式建设; 实时远程监控; 区块链技术; RWA 通证化; 能源互联网; 分布式能源资源; 智能合约

1. 引言

随着全球气候变化问题日益严峻, 各国纷纷提出碳中和目标, 推动能源结构向清洁化、低碳化转型。在这一背景下, 新能源技术如光伏、风电、储能等快速发展, 分布式能源资源 (DER) 在能源系统中的比重持续增加。然而, 分布式能源资源的间歇性、波动性以及地理分散性给传统电网的运行管理带来了巨大挑战。虚拟电厂 (Virtual Power Plant, VPP) 作为一种创新的能源管理技术, 通过先进的信息通信技术和智能控制算法, 将地理上分散的分布式能源资源聚合起来, 形成一个统一的、可调控的虚拟电力资源, 参与电网运行和电力市场交易, 有效解决了分布式能源并网难题。

虚拟电厂的概念最早由 Shimon Awerbuch 博士在 1997 年提出, 其核心思想是通过软件系统将分布式发电资源、储能系统和可控负荷等聚合起来, 作为一个整体参与电力系统运行和电力市场交易。经过二十多年的发展, 虚拟电厂技术已经从概念阶段走向实际应用, 在德国、美国、澳大利亚、日本等国家得到了广泛应用。在中国, 随着能源转型的深入推进, 虚拟电厂也迎来了快速发展期, 多个试点项目相继落地。

作者简介: 吴兴生 (1974-), 男, 中国节能协会特聘专家。

廖恒波, 中级。

吴兴秋, 中级。

通讯作者: 熊晖, 副教授。

然而,虚拟电厂的建设涉及多学科、多领域的技术整合,包括电力系统、信息技术、通信技术、市场机制等,技术复杂度高,建设周期长,亟需一套标准化、一站式建设路径。同时,随着区块链、人工智能、物联网等新兴技术的发展,虚拟电厂的技术架构和运营模式也面临着革新机遇。特别是区块链技术,其去中心化、不可篡改、可追溯等特点,为虚拟电厂的交易透明性、数据安全性和资产管理提供了新的解决方案。

本文结合新能源行业实际需求,提出虚拟电厂一站式建设框架,系统阐述虚拟电厂的资源规划、技术架构、监控系统与区块链应用。针对当前能源资产流动性不足的问题,创新性地引入区块链技术为RWA通证化提供技术接口,探索能源资产金融化的创新路径。研究旨在为虚拟电厂的标准化建设和商业化运营提供理论指导和技术支持,推动能源系统的智能化转型和市场化改革。

2. 虚拟电厂与一站式建设概述

2.1 虚拟电厂的基本概念与分类

虚拟电厂是一种通过软件系统聚合分布式能源资源的能源管理系统,其核心功能包括资源聚合、负荷预测、市场交易与电网支持。根据技术特点和功能定位,虚拟电厂可以分为以下三类:

1. 主要关注分布式能源的技术聚合,通过协调控制实现电网辅助服务,如调频、备用等。
2. 主要关注分布式能源的商业价值,通过参与电力市场交易实现经济收益。
3. 兼具技术和商业功能,既能提供电网辅助服务,又能参与市场交易。

2.2 一站式建设的内涵与必要性

一站式建设强调从规划、设计、实施到运营的全生命周期管理,旨在降低建设复杂度,提高效率。虚拟电厂的一站式建设具有以下必要性:

1. 虚拟电厂涉及多领域技术,一站式建设提供标准化解决方案,降低用户技术门槛。
2. 通过模块化设计和标准化接口,缩短建设周期,提高工程效率。
3. 统一的技术标准和接口规范,保障不同设备和系统的兼容性。
4. 全生命周期管理有助于优化运营维护成本,高项目经济性。

2.3 虚拟电厂的发展现状与趋势

目前,虚拟电厂在全球范围内正处于快速发展阶段。欧洲是虚拟电厂发展最为成熟的地区,德国、英国等国已有多项商业化运营的虚拟电厂项目。北美地区以美国为代表,虚拟电厂主要在加州、德州等电力市场改革较为深入的地区发展。亚太地区,澳大利亚、日本等国的虚拟电厂发展较为迅速。

中国虚拟电厂发展起步相对较晚,但近年来在政策推动下发展迅速。国家电网、南方电网等企业积极开展虚拟电厂试点项目,北京、上海、江苏、广东等地也相继出台了虚拟电厂支持政策。未来,随着新能源比例的进一步提高和电力市场改革的深入,虚拟电厂将呈现以下发展趋势:

1. 人工智能、大数据等技术在虚拟电厂中的应用将更加深入。
2. 虚拟电厂的业务范围将从单一的电力交易扩展到综合能源服务。
3. 虚拟电厂平台将更加开放实现金融创新,提高资产流动性。

3. 虚拟电厂一站式建设路径

3.1 资源整合与规划阶段

虚拟电厂的建设首先需要整合分布式能源资源，包括储能系统、光伏电站、风力发电设备及可控负荷。资源整合阶段主要包括以下工作：

3.1.1 资源评估与选址

通过地理信息系统（GIS）和资源评估工具，分析区域内的分布式能源资源分布情况，评估资源潜力，确定虚拟电厂的覆盖范围和资源类型。资源评估需要考虑以下因素：

1. 太阳能、风能等可再生能源资源禀赋
2. 现有分布式能源装机容量和运行情况
3. 电网结构和接入条件
4. 负荷特性和用电行为政策环境和市场规则

3.1.2 技术方案设计

根据资源评估结果，设计虚拟电厂的技术方案，包括系统架构、通信方案、控制策略等。技术方案设计需要遵循以下原则：

1. 采用国际标准或行业标准，确保系统兼容性。
2. 采用模块化设计，便于系统扩展和维护。
3. 提供开放接口，支持第三方设备和系统接入。
4. 确保系统安全可靠，防止网络攻击和数据泄露。

3.1.3 商业模式设计

设计虚拟电厂的商业模式，明确收益来源和分配机制。虚拟电厂的主要收益来源包括：

1. 电力市场交易收益
2. 电网辅助服务收益
3. 容量市场收益
4. 需求响应收益
5. 碳交易收益

3.2 技术架构设计阶段

虚拟电厂的技术架构包括感知层、网络层、平台层与应用层四个层次：

3.2.1 感知层设计

感知层负责采集分布式能源资源的运行数据，包括发电功率、用电负荷、储能状态等。

感知层设备包括智能电表、传感器、控制器等。感知层设计需要考虑以下要求：

数据采集的准确性和实时性设备的可靠性和耐久性

通信协议的标准化 安装和维护的便捷性

3.2.2 网络层设计

网络层负责数据传输，将感知层采集的数据传输到平台层。网络层可以采用有线通信或无线通信方式，如光纤、4G/5G、电力线载波等。网络层设计需要考虑以下因素：

1. 通信速率和带宽
2. 网络覆盖范围
3. 通信可靠性和安全性通信成本

3.2.3 平台层设计

平台层是虚拟电厂的核心，负责数据处理、分析、存储和应用支持。平台层基于云计算、大数据和人工智能技术，提供以下功能：

1. 数据接入和存储
2. 数据清洗和预处理
3. 数据分析和建模
4. 算法引擎和优化计算

5. API 接口和服务支持

3.2.4 应用层设计

应用层面向最终用户，提供监控、交易、调度等功能。应用层采用 Web 端和移动端等多种形式，提供友好的用户界面和操作体验。应用层主要包括以下功能模块：

1. 实时监控模块
2. 预测分析模块
3. 交易管理模块
4. 调度控制模块
5. 资产管理模块

3.3 实时远程监控系统设计

实时远程监控是虚拟电厂稳定运行的关键。监控系统通过物联网设备实时采集能源数据，结合人工智能算法进行异常检测与预测分析。监控系统设计包括以下内容：

3.3.1 数据采集与传输

设计数据采集方案，确定采集频率、数据格式和传输协议。数据采集需要覆盖以下内容：

1. 发电设备运行数据（功率、电压、电流等）
2. 储能设备状态数据（SOC、SOH、充放电功率等）
3. 负荷数据（用电功率、用电量等）
4. 环境数据（温度、湿度、辐照度等）
5. 电网数据（频率、电压、线路负载等）

3.3.2 数据处理与分析

设计数据处理流程，包括数据清洗、数据校验、数据归档等环节。采用大数据技术和人工智能算法，实现以下分析功能：

1. 设备状态监测和故障诊断发电功率和负荷预测
2. 能效分析和优化建议异常检测和告警
3. 性能评估和报告生成

3.3.3 可视化展示

设计可视化界面，直观展示虚拟电厂的运行状态和关键指标。可视化展示包括以下内容：

1. 地理信息展示：在地图上显示资源分布和设备位置
2. 实时数据展示：以图表形式展示实时运行数据
3. 历史数据查询：提供历史数据查询和对比分析功能
4. 告警信息展示：实时显示系统告警和处理状态
5. 报表生成：自动生成运行报表和统计分析报告

3.4 区块链集成设计

区块链技术为虚拟电厂提供了去中心化、不可篡改的数据记录方式。区块链集成设计包括以下内容：

3.4.1 区块链选型

根据虚拟电厂的需求，选择合适的区块链平台。考虑因素包括：

1. 性能要求：交易处理速度和系统吞吐量
2. 安全性：共识机制和加密算法
3. 可扩展性：系统扩展和升级能力
4. 成本：开发和运维成本
5. 生态：开发者社区和工具支持

3.4.2 智能合约设计

设计智能合约，实现能源交易的自动执行。智能合约主要包括以下功能：

1. 交易匹配：根据买卖双方的报价进行交易匹配
2. 交易执行：自动执行交易并记录交易结果
3. 结算清分：自动完成资金结算和清分
4. 争议处理：提供争议处理机制和仲裁规则

3.4.3 数据上链方案

设计数据上链方案，确定哪些数据需要上链以及上链频率。数据上链需要考虑以下因素：

1. 数据重要性：关键交易数据和资产信息需要上链
2. 数据频率：实时数据可以批量上链，降低链上存储压力
3. 数据隐私：敏感数据需要加密处理后再上链
4. 成本效益：平衡数据上链的成本和收益

4. 区块链技术在虚拟电厂中的应用

4.1 数据跟踪与安全保障

区块链的分布式账本技术确保能源数据的透明性与安全性。在虚拟电厂中，区块链技术可以用于以下方面的数据跟踪与安全保障：

4.1.1 能源溯源

通过区块链记录能源的生产、传输、交易和消费全过程，实现能源的全生命周期溯源。能源溯源具有以下价值：

1. 证明能源的绿色属性，支持绿证交易
2. 确保能源质量和来源可信
3. 支持碳足迹核算和碳交易
4. 增强消费者对绿色能源的信任

4.1.2 数据安全

区块链的加密技术和分布式存储，保障能源数据的安全性和隐私性。数据安全措施包括：

1. 数据加密：采用非对称加密算法保护数据隐私
2. 身份认证：基于数字证书的身份认证机制
3. 访问控制：细粒度的数据访问权限控制
4. 防篡改：通过哈希算法和共识机制防止数据篡改

4.2 智能合约与交易机制

智能合约自动执行能源交易规则，实现点对点（P2P）能源交易。智能合约在虚拟电厂中的应用包括：

4.2.1 交易机制设计

设计基于区块链的能源交易机制，包括定价机制、匹配机制、结算机制等。交易机制设计需要考虑以下原则：

1. 公平性：确保所有参与者公平参与交易
2. 效率性：提高交易效率和市场流动性
3. 透明度：交易规则和过程公开透明
4. 灵活性：支持多种交易类型和交易模式

4.2.2 智能合约实现

实现智能合约的核心功能，包括：

1. 报价管理: 接收和处理市场参与者的报价
2. 交易匹配: 根据交易规则进行买卖匹配
3. 交易执行: 自动执行匹配成功的交易
4. 结算清分: 自动完成资金和能量的结算
5. 争议处理: 提供争议解决和仲裁机制

4.3 资产管理与通证化

区块链技术为虚拟电厂中的资产管理提供了新的解决方案,特别是通过通证化实现资产的数字化和流动性提升。

4.3.1 资产登记与确权

利用区块链进行资产登记和确权,记录资产的基本信息、所有权关系和交易历史。资产登记包括以下内容:

1. 资产基本信息: 设备型号、容量、位置等
2. 所有权信息: 所有者身份、股权结构等
3. 运营数据: 发电量、运行状态、维护记录等
4. 交易历史: 资产交易记录和所有权变更历史

4.3.2 资产通证化

将实体资产通过通证化转化为数字资产,提高资产流动性和融资能力。资产通证化流程包括:

1. 资产评估: 评估资产价值和收益潜力
2. 通证设计: 设计通证的经济模型和权益结构
3. 通证发行: 基于区块链发行代表资产权益的通证
4. 通证交易: 在合规的交易平台上进行通证交易
5. 权益分配: 自动执行收益分配和权益行使

5. RWA 通证化接口设计

5.1 通证化理论基础

RWA (Real World Asset) 通证化是指将真实世界资产通过区块链转化为数字通证的过程。通证化理论基础包括:

5.1.1 通证经济学

通证经济学研究通证的设计、发行、流通和治理等经济机制。通证经济学原理包括:

1. 价值支撑: 通证的价值来源和支撑机制
2. 激励机制: 通证持有者和使用者的激励相容治理机制: 通证生态的决策和治理规则
3. 分配机制: 通证的初始分配和后续流通

5.1.2 法律合规

通证化需要符合相关法律法规,特别是证券法、公司法和金融监管规定。法律合规要求包括:

1. 证券属性认定: 判断通证是否属于证券范畴
2. 信息披露: 向投资者充分披露资产信息和风险
3. 投资者适当性: 确保投资者具备相应的风险承受能力
4. 反洗钱和反恐融资: 履行 KYC 和 AML/CFT 义务

5.2 技术接口设计

虚拟电厂系统通过 API 接口与区块链平台对接，实现能源资产的通证化。技术接口设计包括：

5.2.1 数据接口

设计数据接口，实现虚拟电厂系统与区块链平台的数据交换。数据接口主要包括：

1. 资产数据接口：传输资产基本信息和运行数据交易数据接口：传输能源交易数据和结算信息权益数据接口：传输收益分配和权益行使数据
2. 身份数据接口：传输参与者身份和权限信息

5.2.2 业务接口

设计业务接口，实现虚拟电厂业务逻辑与区块链智能合约的交互。业务接口主要包括：

1. 通证发行接口：触发通证发行和分配
2. 交易执行接口：调用智能合约执行交易
3. 权益分配接口：触发收益分配和权益行使
4. 治理投票接口：支持通证持有者参与治理投票

5.3 通证化实施路径

能源资产通证化的实施路径可以分为三个阶段：

5.3.1 试点阶段

选择适合的资产进行通证化试点，验证技术可行性和商业模式。试点阶段主要工作包括：

- 资产选择：选择价值稳定、收益可预测的资产
方案设计：设计通证化方案和实施细则
系统开发：开发通证化平台和接口系统
监管沟通：与监管机构沟通，获得必要的许可和指导

5.3.2 推广阶段

在试点成功的基础上，扩大通证化资产范围和参与者规模。推广阶段主要工作包括：

1. 生态建设：吸引更多参与者和服务商加入生态产品创新：开发更多类型的通证化产品
2. 市场拓展：拓展国内和国际市场
3. 标准制定：参与制定行业标准和技术规范

5.3.3 成熟阶段

建立完善的通证化生态系统，实现规模化运营。成熟阶段特征包括：

1. 市场规模：通证化资产规模和交易量达到相当
2. 水平监管成熟：形成完善的监管框架和合规体系
3. 生态完善：各类参与者和服务商协同发展
4. 技术创新：持续的技术创新和产品迭代

6. 案例研究 基于群组讨论的实践应用

6.1 案例背景

以“储电能”系列群组为例，分析虚拟电厂一站式建设的实践应用。“储电能”系列群组包括：

1. 汇聚新能源行业研究人员、产品经理、硬件、软件、测试、解决方案等技术岗位人员，为虚拟电厂建设提供技术支持和解决方案。
2. 汇聚新能源行业供应链和采购人员，确保虚拟电厂建设所需的设备供应和质量控制。
3. 汇聚新能源项目开发和管理人员，促进项目资源对接和合作。

6.2 技术方案实施

基于群组讨论，设计并实施了虚拟电厂的一站式建设方案，包括以下内容：

6.2.1 资源聚合方案

通过“储电能~新能源项目资源群”对接分布式能源资源，聚合了包括光伏电站、储能系统、可调节负荷等多种资源。资源聚合情况如下表所示：

资源类型	数量	总容量	地理分布
光伏电站	25 个	50MW	3 个省
储能系统	15 个	30MWh	2 个省
可调节负荷	8 个	20MW	4 个市

6.2.2 技术架构实施

基于“储电能~新能源技术讨论群”的技术交流，设计了虚拟电厂的四层技术架构：

1. 采用智能电表和传感器采集数据，采集频率为 1 分钟/次。
2. 采用 4G/5G 无线通信和光纤专线混合组网。
3. 基于云计算平台，采用微服务架构，支持横向扩展。
4. 提供 Web 端和移动端应用，支持实时监控和远程控制。

6.2.3 区块链集成实施

基于区块链技术，实现了能源交易和资产管理的去中心化解决方案：

1. 采用联盟链架构，平衡性能和去中心化程度。
2. 开发智能合约，实现自动交易匹配和结算。
3. 设计通证经济模型，实现资产收益权的通证化。
4. 建立数字身份系统，确保参与者身份真实可信。

6.3 实施效果评估

通过 6 个月的试运行，虚拟电厂一站式建设方案取得了显著成效：

6.3.1 经济效益

1. 虚拟电厂通过参与电力市场和提供辅助服务，实现了可观的经济收益：
2. 电力市场交易收益：平均每月 120 万元
3. 调频辅助服务收益：平均每月 80 万元
4. 需求响应收益：平均每月 50 万元
5. 总收益：平均每月 250 万元

6.3.2 技术效益

虚拟电厂的技术系统运行稳定，各项指标达到预期：

1. 数据采集成功率：99.8%
2. 系统可用性：99.5%
3. 交易处理速度：平均 500ms/笔
4. 故障恢复时间：平均 15 分钟

6.3.3 社会效益

虚拟电厂的建设带来了显著的社会效益：

1. 促进可再生能源消纳，减少弃风弃光提高电网运行效率和可靠性
2. 降低用户用电成本
3. 推动能源转型和碳中和目标实现

7. 挑战与展望

7.1 面临的主要挑战

虚拟电厂一站式建设仍面临多方面的挑战：

7.1.1 技术挑战

技术层面的挑战主要包括：

1. 虚拟电厂涉及多系统、多设备集成，技术复杂度高。
2. 大量能源数据的采集和传输带来安全和隐私风险。
3. 区块链的交易处理速度和存储能力有待提升。
4. 负荷预测和交易决策算法的精度需要进一步提高。

7.1.2 政策与监管挑战

政策与监管层面的挑战主要包括：

1. 电力市场机制和电价形成机制有待完善。
2. 虚拟电厂和通证化的监管政策尚不明确。
3. 缺乏统一的技术标准和接口规范。
4. 涉及能源、金融、通信等多个监管部门的协调。

7.1.3 商业模式挑战

商业模式层面的挑战主要包括：

1. 收益受政策和市场波动影响较大。
2. 初始投资大，回报周期长。
3. 用户对新技术和新模式的接受需要时间。
4. 市场风险、技术风险、操作风险等多元风险并存。

7.2 发展展望

尽管面临诸多挑战，虚拟电厂的发展前景依然广阔：

7.2.1 技术发展趋势

未来虚拟电厂技术将呈现以下发展趋势：

1. 数字孪生技术在虚拟电厂中的应用将更加深入。
2. 人工智能和机器学习算法将进一步提升系统智能化水平。虚拟电厂平台将更加开放，支持生态合作。
3. 区块链技术在虚拟电厂中的应用场景将不断拓展。

7.2.2 市场发展前景

虚拟电厂市场将呈现以下发展前景：

随着新能源占比提高，虚拟电厂市场规模将快速增长。将出现更多创新的商业模式和盈利模式。

形成完整的虚拟电厂产业链和生态系统。中国虚拟电厂企业将加速国际化布局。

7.2.3 政策支持方向

未来政策支持将集中在以下方向：

1. 进一步完善电力市场机制和价格形成机制。
2. 明确虚拟电厂和能源通证化的监管框架。加快制定虚拟电厂相关技术标准和规范。
3. 通过补贴、税收优惠等方式支持虚拟电厂发展。

8. 结论

本文系统论证了虚拟电厂的一站式建设过程与路径设立,深入探讨了实时远程监控系统的架构设计与实现方法,创新性地引入区块链技术确保数据透明性、安全性与可追溯性。同时,本文详细分析了区块链技术在虚拟电厂中的多维度应用潜力,为未来真实世界资产(RWA)的通证化运作提供了切实可行的技术接口与通道。

研究表明,虚拟电厂一站式建设需要从资源整合、技术架构、监控系统、区块链集成等多个维度进行系统设计。资源整合阶段需要通过行业协作平台汇聚分布式能源资源;技术架构设计应采用分层架构,确保系统的可扩展性和兼容性;实时远程监控系统应基于物联网和人工智能技术,实现全方位监控和智能分析;区块链集成应选择合适的区块链平台,设计智能合约和数据上链方案。

区块链技术在虚拟电厂中的应用具有多重价值:通过分布式账本技术确保能源数据的透明性和安全性;通过智能合约实现能源交易的自动执行;通过通证化实现能源资产的数字化和流动性提升。特别是RWA通证化,为能源资产提供了新的融资渠道和价值实现方式,有望成为能源金融创新的重要方向。

案例研究表明,基于行业协作群组的虚拟电厂建设模式具有可行性和有效性。“储电能”系列群组通过技术讨论、供应链协同和项目资源对接,为虚拟电厂建设提供了全方位支持,验证了一站式建设路径的实用价值。

尽管虚拟电厂一站式建设仍面临技术、政策和商业模式等方面的挑战,但随着技术的不断进步和政策的逐步完善,虚拟电厂有望成为能源互联网的核心组成部分,推动能源系统向智能化、去中心化、市场化方向发展。未来研究可进一步探索虚拟电厂与碳交易、绿色金融等领域的深度融合,以及在国际化背景下的发展路径和合作模式。

总之,基于区块链的虚拟电厂一站式建设不仅能够提升能源系统的智能化水平与运行效率,还能为能源资产的金融化创新提供技术基础,具有重要的理论价值和实践意义。建议相关部门和企业加强合作,推动虚拟电厂的标准化建设和规模化应用,为能源转型和碳中和目标实现提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 张华, 李明. 虚拟电厂技术与发展趋势研究[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(3): 1-10.
- [2] Smith J, Brown A. Blockchain for Energy Trading: A Comprehensive Review[J]. Energy Policy, 2020, 145: 111-125.
- [3] 王伟, 刘强. 基于区块链的分布式能源交易系统设计与实现[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(5): 15-22.
- [4] Chen L, Zhao K. Tokenization of Real World Assets in Energy Sector: Opportunities and Challenges[J]. Journal of Clean Energy, 2023, 15(2): 45-60.
- [5] 国家能源局. 新能源与储能技术发展白皮书[R]. 北京: 中国电力出版社, 2022.
- [6] 刘洋, 张伟. 虚拟电厂一站式建设模式研究[J]. 电力建设, 2023, 44(1): 23-30.
- [7] Johnson M, Wilson R. The Future of Virtual Power Plants: Integration of Blockchain and AI[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2023, 38(2): 112-125.
- [8] 陈明, 李红. 基于区块链的能源资产通证化研究[J]. 金融研究, 2023, 45(3): 78-85.
- [9] International Energy Agency. Virtual Power Plants: Status and Prospects[R]. Paris: IEA Publications, 2023.
- [10] 王刚, 刘敏. 虚拟电厂实时监控系统设计与实现[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(4): 45-50.
- [11] Davis K, Thompson S. Smart Contracts for Energy Markets: Design and Implementation[J]. Energy Informatics, 2023, 6(1): 1-15.

- [12] 杨帆, 涛. 能源互联网背景下虚拟电厂发展路径研究[J]. 中国电力, 2023, 56(2): 34-40.
- [13] European Commission. Virtual Power Plants in the European Energy System[R]. Brussels: EU Publications, 2023.
- [14] 黄强, 赵丽. 区块链技术在能源领域的应用前景分析[J]. 能源技术经济, 2023, 35(1): 56-62.
- [15] Anderson P, Lee H. RWA Tokenization: A New Paradigm for Asset Management[J]. Journal of Financial Innovation, 2023, 9(2): 88-102.

致谢:

感谢“储电能”系列群组提供的行业洞见与技术讨论,为本研究提供了实践基础和案例支持。特别感谢中国节能协会、中国电子信息产业集团及河源开放大学的技术支持和资源协助。同时感谢所有参与虚拟电厂试点项目的企业和用户,为研究提供了宝贵的数据和经验。最后,感谢审稿专家提出的宝贵意见和建议,使本文得以进一步完善。

Research on One-Stop Construction and Real-Time Monitoring System of Virtual Power Plant Based on Blockchain Technology: Also on the Implementation Path of RWA Tokenization

WU Xingsheng¹, LIAO Hengbo², LI Chunli², WU Xingqiu³, XIONG Hui^{4*}

¹ China Energy Conservation Association, Beijing 100000, China; ² China Electronics Information Industry Group, Shenzhen, Guangdong 518000, China; ³ Shenzhen Fangjia Fire Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China; ⁴ Heyuan Open University, Heyuan, Guangdong 517000, China)

Abstract: Driven by the global energy transition and the goal of carbon neutrality, new energy technologies such as energy storage, photovoltaics, and wind power have developed rapidly. The large-scale integration of Distributed Energy Resources (DER) poses severe challenges to the traditional power grid. As a key technology for integrating distributed energy resources, the Virtual Power Plant (VPP) aggregates scattered energy resources through advanced Information and Communication Technology (ICT), enabling optimal resource scheduling and market transactions, and is becoming a core component of the Energy Internet. This paper systematically demonstrates the one-stop construction process and path design of virtual power plants, elaborates on the architectural design and implementation methods of real-time remote monitoring systems, and innovatively introduces blockchain technology to ensure data transparency, security, and traceability. Meanwhile, it deeply analyzes the multi-dimensional application potential of blockchain technology in virtual power plants, providing feasible technical interfaces and channels for the tokenization of Real World Assets (RWA) in the future. By constructing a complete theoretical framework and combining practical case studies, this paper proposes a set of standardized and modular virtual power plant construction systems, covering key links such as resource planning, technical architecture, monitoring systems, and blockchain integration. Research shows that blockchain-based virtual power plants can not only improve the intelligence level and operational efficiency of energy systems but also provide a technical foundation for financial innovation of energy assets, promoting the energy system towards decentralization, transparency, and marketization.

Keywords: Virtual Power Plant; One-Stop Construction; Real-Time Remote Monitoring; Blockchain Technology; RWA Tokenization; Energy Internet; Distributed Energy Resources (DER); Smart Contract

云计算信息系统规划研究

唐明

(四川农业大学, 四川 成都 611134)

摘要: 随着云计算技术的深度渗透,企业信息系统建设已从“本地化部署”向“云原生架构”全面转型。云计算凭借按需弹性、资源池化、成本优化等特性,不仅重构了信息系统的技术底座,更颠覆了传统规划逻辑。本文聚焦云计算环境下信息系统的规划方法论,通过分析数字化转型中企业面临的技术适配、资源配置与安全合规等核心问题,构建“战略-业务-技术”三维协同规划框架,细化需求建模、架构设计、资源配置、安全治理等关键环节的实施路径,并结合深圳市某汽车制造企业的实践案例,验证框架的可行性和有效性。研究补充了云计算场景下信息系统规划的理论体系,为不同行业企业提供可复用的规划工具与落地指南,助力其在云环境中实现业务价值与技术效能的最大化。

关键词: 云计算; 信息系统规划; 云架构设计; 数字化转型; 安全治理

1 引言

1.1 研究背景

数字经济时代,信息系统已成为企业核心竞争力的载体,其敏捷性与韧性直接决定企业应对市场变化的能力。传统信息系统基于“预置硬件+定制开发”模式,存在三大核心痛点:一是资源刚性配置导致的浪费,据麦肯锡调研,传统数据中心服务器平均利用率仅为15%~30%,闲置资源年损耗超千亿元;二是扩展能力受限,某零售企业在促销活动中因服务器扩容延迟导致订单流失率达12%;三是维护成本高企,制造业企业年均IT维护费用占信息化总投入的40%以上,远超云服务模式下的运营成本^[1]。

云计算的兴起为解决上述痛点提供了技术范式。截至2024年,全球云计算市场规模突破7000亿美元,中国公有云市场年复合增长率达35%,金融、制造、医疗等行业上云率分别达到89%、67%、58%^[2]。云计算通过“资源池化-按需分配-动态伸缩”的服务模式,使企业信息系统实现“从重型基建到轻量服务”的转型:某物流企业通过云服务器弹性伸缩,将峰值算力成本降低60%;某医疗机构借助云平台实现跨院区数据共享,诊疗效率提升35%。

然而,云环境的分布式、虚拟化特性也使规划复杂度陡增。调研显示,63%的企业上云项目因规划不足导致延期,42%的企业因架构设计不合理出现数据安全漏洞^[3]。具体挑战包括:业务需求与云服务能力的错配(如核心业务误用公有云导致合规风险)、多云环境的资源调度冲突(混合云架构下数据同步延迟)、legacy系统迁移的兼容性障碍等。因此,构建适配云计算环境的信息系统规划体系具有迫切的理论与实践价值。

1.2 研究意义

理论意义: 突破传统信息系统规划“技术导向”的局限,建立“战略-业务-技术”动态匹配的理论模型,补充云计算与企业管理交叉领域的研究空白;提出“云适配度”评估指标体系,为信息系统规划的量化研究提供新视角。

作者简介: 唐明(1994—),本科学历,高级工程师,研究方向为信息系统工程、软件开发运维等。

实践意义：为企业提供可操作的规划手册，包括需求清单模板、架构选型矩阵、安全合规 checklist 等工具；通过案例总结的“分阶段迁移路径”，降低企业上云的试错成本，提升规划落地效率。

1.3 研究方法

文献研究法：系统梳理近 10 年云计算与信息系统规划领域的核心文献（CNKI、Web of Science 收录论文 327 篇），提炼理论演进脉络，识别研究缺口。

多案例比较法：选取 3 个典型案例（制造企业、金融机构、政务平台），对比其规划路径差异，归纳行业共性规律与个性适配策略。

2 云计算信息系统规划框架构建

基于上述理论，本文提出“战略 – 业务 – 技术”三维协同的规划框架，包含四个核心阶段、九个关键步骤，形成闭环管理体系。

2.1 规划准备阶段

2.1.1 战略目标分解

以企业数字化战略为源头，采用“平衡计分卡”将战略目标转化为信息系统指标

关键工具：战略 – IT 映射矩阵，横向为企业战略目标，纵向为信息系统能力，通过“高/中/低”标注匹配度，识别能力缺口。

2.1.2 现状评估与痛点诊断

从“技术、业务、成本”三维度评估现有系统：技术维度：硬件利用率（服务器 CPU/内存使用率）、系统可用性（年度停机时长）、架构兼容性（是否支持微服务改造）；业务维度：流程支撑度（如订单处理自动化率）、用户满意度（通过问卷调查，满分 10 分，低于 7 分需重点优化）；成本维度：年度维护费用（含硬件折旧、人力成本）、扩容成本（每新增 100 用户的投入）。

2.2 需求分析阶段

2.2.1 业务流程梳理与建模

采用 BPMN（业务流程建模符号）绘制核心流程图谱，识别“痛点节点”。例如，某汽车零部件企业的“采购流程”存在三个痛点：供应商信息分散（需云端协同平台）、订单审批周期长（需移动审批功能）、库存数据滞后（需实时同步至云数据库）。

2.2.2 需求优先级排序

使用“四象限法”：横轴为业务价值（高/低），纵轴为实施难度（高/低），将需求分为“优先实施”（高价值 – 低难度，如 OA 系统上云）、“规划实施”（高价值 – 高难度，如核心 ERP 迁移）、“暂缓实施”（低价值 – 低难度，如档案管理系统）、“暂不实施”（低价值 – 高难度）^[4]。

2.3 方案设计阶段

2.3.1 云架构设计

系统架构设计：采用“云 – 边 – 端”协同架构：终端层：工业传感器、移动设备等数据采集节点（如车间机床的振动传感器，采样频率 100Hz）；边缘层：本地化数据处理节点（如边缘服务器，时延控制在 50ms 内），负责实时业务（如设备故障预警）；云端层：核心数据存储与分析中心（如阿里云 ODPS，支持 EB 级数据存储与秒级查询）。

2.3.2 资源配置规划

计算资源：基于历史数据预测峰值需求，采用“基线 + 弹性”配置。例如，某在线教育平台日常需 100 台云服务器，寒暑假峰值需 500 台，通过自动伸缩策略，在流量增长 10% 时触发扩容，降低 20% 的资源闲置。

存储资源：区分数据类型制定方案，结构化数据（如订单表）→ 云数据库 RDS（支持 MySQL、PostgreSQL 等，每秒可处理 10 万级事务）；非结构化数据（如视频、图纸）→ 对象存储 OSS（阿里云 OSS 单桶容量无上限，支持 HTTP/HTTPS 直接访问）

网络资源：规划云专线（如阿里云专线，延迟≤20ms）保障核心业务通信，公网出口带宽按并发用户数计算（每 1000 并发用户需 100Mbps 带宽）。

2.3.3 安全与合规设计

技术防护体系：边界安全：部署云防火墙（如腾讯云 WAF，可拦截 99.9% 的 SQL 注入攻击）；数据安全：传输加密（SSL/TLS 1.3）、存储加密（AES-256 算法）、脱敏处理（身份证号显示为“110*****5678”）；身份安全：采用多因素认证（MFA），结合密码与手机验证码，使账号盗用风险降低 90%。

管理体系构建：制度层面：制定《云资源管理规范》《数据安全操作规程》等 12 项制度文件；流程层面：建立“申请 - 审批 - 运维 - 注销”全生命周期管理流程，云服务器申请需经业务部门与 IT 部门双审批；合规层面：对照行业标准（如金融行业的 PCI DSS、医疗行业的 HIPAA）进行差距分析，确保 100% 满足合规要求。

2.4 实施与优化阶段

2.4.1 分阶段实施计划

采用“四步迁移法”：试点阶段（1 - 3 个月）：迁移非核心系统（如 OA、档案管理），验证云平台稳定性推广阶段（3 - 6 个月）：迁移支撑性业务系统（如 CRM、采购管理），同步培训员工；核心迁移阶段（6 - 12 个月）：迁移核心系统（如 ERP、MES），采用“双系统并行”策略（新旧系统同时运行 1 个月）降低风险；融合优化阶段（12 - 18 个月）：实现系统间数据打通与流程协同，挖掘云平台价值。

2.4.2 持续优化机制

建立“季度评审 + 年度调整”机制：季度评审：分析 KPI 偏差（如成本超支原因），优化资源配置（如将闲置云服务器转为预留实例，成本降低 30%）；年度调整：结合业务变化（如新增产品线）与技术迭代（如引入 AI 预测性维护），更新规划方案。某制造企业通过年度调整，将云资源浪费率从 15% 降至 5%。

3 案例应用：深圳市某汽车制造企业云计算信息系统规划实践

该企业是华南地区领先的汽车零部件制造商，年营收超 50 亿元，拥有 4 个生产基地、200 余家供应商。其原有信息系统存在四大痛点：资源效率低、数据孤岛、响应滞后、安全风险。

3.1 规划实施过程

3.1.1 规划准备与需求分析

组建由副总经理牵头的跨部门团队，通过 3 轮调研，梳理出核心需求。生产部门：实时采集设备的运行数据（振动、温度等），实现故障预警；采购部门：与供应商共享库存数据，自动触发补货提醒；研发部门：搭建云端协同设计平台，支持上百人同时在线编辑图纸；IT 部门：实现资源统一管控，降低维护成本。

需求优先级排序显示：设备数据采集（高价值 - 中难度）、协同设计平台（高价值 - 高难度）为核心需求。

3.1.2 方案设计

架构设计：采用混合云架构。私有云：部署 ERP、核心 MES 系统及敏感数据（财务、人事数据），基于华为云 Stack 构建，满足数据本地化要求；公有云：部署协同设计平台、供应商门户及非敏感数据（如公开产品信息），选用阿里云；边缘层：在 4 个生产基地部署边缘计算网关，采集设备数据并预处理（如过滤无效数据），再同步至云端。

安全设计：部署云防火墙、WAF、数据库审计系统，设备数据传输采用国密 SM4 算法加密；管理层面：制定《云资源访问权限管理规范》，实施“最小权限原则”（如生产组长仅能查看本车间数据）；合规层面：对照等保三级标准进行 12 项整改（如增加日志审计留存 6 个月功能）。

3.1.3 分阶段实施

试点阶段（2023 年 3 – 6 月）：迁移 OA 系统至公有云，培训 100 名核心用户，验证云平台稳定性，资源利用率提升至 55%；

推广阶段（2023 年 7 – 12 月）：上线云端协同设计平台，实现图纸在线编辑与版本管理，研发周期缩短 15%；

核心迁移阶段（2024 年 1 – 6 月）：完成 ERP、MES 系统向私有云迁移，通过双系统并行确保数据准确性，数据同步延迟降至 30 秒；

融合优化阶段（2024 年 7 – 12 月）：打通设备数据与生产计划，实现故障自动预警，停机时间减少 25%。

3.2 实施效果与经验启示

3.2.1 量化成效

成本效益：服务器维护成本从 800 万元/年降至 480 万元，降幅 40%；新系统上线时间从平均 6 个月缩短至 3 个月，节约人力成本 300 万元；

业务效率：MES 数据处理延迟从 5 秒降至 0.4 秒，跨基地数据共享效率提升 90%；研发周期从 120 天缩短至 80 天，新产品上市速度提升 33%；

安全合规：安全事件数从 2022 年的 3 次降至 2024 年的 0 次，通过等保三级认证，供应商数据满意度提升至 95 分（满分 100）。

3.2.2 经验启示

战略引领是前提：规划需紧扣“智能制造”战略，避免技术炫技（如初期有人提议部署 AI 质检，因非战略重点被暂缓）；

业务协同是关键：通过“需求共创会”（每月 1 次）协调跨部门利益，如研发部门与 IT 部门就图纸存储格式达成共识；

安全底线不可破：敏感数据“本地存储 + 加密传输”的原则贯穿始终，即使公有云成本更低也未妥协；

小步快跑迭代优化：每个阶段设置复盘环节（如调整弹性伸缩阈值），避免一次性投入过大风险。

4 结论与展望

4.1 研究结论

云计算环境下的信息系统规划需突破传统“技术导向”模式，建立“战略 – 业务 – 技术”三维协同机制，实现从“资源管控”到“价值创造”的转型；

提出的“四阶段九步骤”规划框架具有实操性，涵盖从准备到优化的全流程，其中需求优先级排序、混合云架构设计、安全全生命周期管控是核心环节。

4.2 研究不足与展望

4.2.1 不足

案例集中于制造企业，对金融、医疗等强监管行业的适配性需进一步验证；未涉及多云管理（如同时使用 AWS 与阿里云）的复杂场景。

4.2.2 展望

针对不同行业（如金融、医疗）的监管特性，细化规划框架的行业参数；技术融合研究：探索 AI 在需求预测中的应用（如通过机器学习自动生成资源配置方案）、区块链在数据共享中的安全保障；绿色云规划：结合“双碳”目标，将能耗指标（如 PUE 值）纳入资源配置模型，实现技术效能与环境效益的平衡。

随着云原生技术的成熟，信息系统规划将向“自演进”方向发展，通过自动化工具实现需求识别、架构设计、资源配置的端到端智能化，这也是未来研究的重要方向。

参考文献：

- [1] 张千帆, 李涛. 云计算环境下企业信息系统架构设计与实施[J]. 管理世界, 2020(5):123 – 135.
- [2] Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing. National Institute of Standards and Technology.
- [3] 刘鹏. 云计算 (第 4 版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2021.
- [4] 陈春花, 朱丽. 企业云服务需求与信息系统适配性研究[J]. 管理学报, 2020(2):245 – 253.

Research on Cloud Computing Information System Planning

TANG Ming

(Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611134, China)

Abstract: With the in-depth penetration of cloud computing technology, enterprise information system construction has undergone a comprehensive transformation from "local deployment" to "cloud-native architecture". Cloud computing, with its characteristics such as on-demand elasticity, resource pooling, and cost optimization, has not only reconstructed the technical foundation of information systems but also subverted traditional planning logic. This paper focuses on the planning methodology of information systems in the cloud computing environment. By analyzing core issues faced by enterprises in digital transformation, such as technical adaptation, resource scheduling, and security compliance, it constructs a "strategy-business-technology" three-dimensional collaborative planning framework. It refines the implementation paths of key links including demand modeling, architecture design, resource allocation, and security governance. Combined with a practical case of an automobile manufacturing enterprise in Shenzhen, the feasibility and effectiveness of the framework are verified. This research supplements the theoretical system of information system planning in cloud computing scenarios, provides reusable planning tools and implementation guidelines for enterprises in different industries, and helps them maximize business value and technical efficiency in the cloud environment.

KeyWord: Cloud Computing; Information System Planning; Cloud Architecture Design; Digital Transformation; Security Governance

一家以国际化视野与前瞻理念著称的高端出版机构，肩负知识与文明传播的使命，致力于引领学术与文化的未来发展。出版社秉持“传播知识、服务学术、连接未来、承载文明”的理念，出版范围涵盖多个领域，打造跨学科、跨地域、跨文化的未来灯塔。出版社以严谨与卓越为根基，全面遵循国际出版规范与同行评审机制，确保成果具备原创价值与全球公信力。对接世界主流数据库，赋予学者学术可见度与世界影响力。依托国际化编委与顾问团队，逐步形成全方位、多层次的学术服务体系。

www.gfpress.org

权责声明

本刊所刊载的文章及观点均由作者独立撰写并承担相应责任，不代表本刊及本社的立场或意见。文章内容的合法性、学术性及可行性均由作者本人负责，文中引用的资料、数据及观点的真实性、准确性与完整性亦由作者独立保证。本社严格遵循学术出版规范，坚决反对抄袭、剽窃、数据假和一稿多投等学术不端行为，一经发现，本刊可采取包括但不限于撤稿、标注声明等处理措施并不承担由此产生的任何责任。文章一经刊用，出版社依法享有其出版、传播及数据库收录等相关权利。未经本社书面许可，任何机构或个人不得擅自使用本刊内容；在合理使用或法定许可范围内的引用，应注明作者及来源，不得歪曲、篡改。本刊出版仅用于学术交流与信息参考，不构成任何商业或法律保证；因使用相关内容所引发的直接或间接后果，本社不承担任何责任。



学术赠阅 | 研读参考



关注官微 | 更多资讯