

构建3L-S³智能生态:人工智能时代研究生教育模式与组织形态的系统革新

邓晓衡, 余湛, 许雪梅, 李恒, 张昊, 胡超

引用本文

邓晓衡, 余湛, 许雪梅, 李恒, 张昊, 胡超. 构建3L-S³智能生态:人工智能时代研究生教育模式与组织形态的系统革新[J]. 计算机科学, 2026, 53(5): 50-58.

DENG Xiaoheng, YU Zhan, XU Xuemei, LI Heng, ZHANG Hao, HU Chao. Building 3L-S³ Smart Ecosystem: Systemic Transformation of Graduate Education Models and Organizational Forms in the Age of Artificial Intelligence [J]. Computer Science, 2026, 53(5): 50-58.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[频域纹理先验与特征增强的医学图像分割模型](#)

Medical Image Segmentation Model Based on Frequency Texture Prior and Frequency Feature Enhancement Fusion

计算机科学, 2025, 52(11A): 241200125-8. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.241200125>

[基于聚类模型的C-RAN组网规划方法研究](#)

Research on the Method of C-RAN Networking Planning Based on Clustering Model

计算机科学, 2025, 52(6A): 241000015-4. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.241000015>

[基于多任务联合训练的长文本多实体情感分析](#)

Long Text Multi-entity Sentiment Analysis Based on Multi-task Joint Training

计算机科学, 2024, 51(6): 309-316. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.230400001>

[基于U-Net优化的SAR遥感图像语义分割](#)

Semantic Segmentation of SAR Remote Sensing Image Based on U-Net Optimization

计算机科学, 2021, 48(11A): 376-381. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210300260>

[基于强化学习的无线可充电传感网移动充电路径优化](#)

Optimization of Mobile Charging Path of Wireless Rechargeable Sensor Networks Based on Reinforcement Learning

计算机科学, 2020, 47(11): 316-321. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.200400075>

构建 3L-S³ 智能生态:人工智能时代研究生教育模式与组织形态的系统革新

邓晓衡¹ 余湛² 许雪梅¹ 李恒¹ 张昊¹ 胡超¹

1 中南大学电子信息学院 长沙 410083

2 中南大学本科生院 长沙 410083

(dxh@csu.edu.cn)

摘要 在新一代人工智能深度渗透高等教育的背景下,研究生教育正从“规模扩张”迈向“智能生态”。对此,基于全国教育科学规划课题“人工智能时代研究生教育模式与组织形态研究”的阶段成果,提出“学习-实验-孵化(Learning-Lab-Launch)+智慧校园+智慧治理+智慧伦理”三位一体的 3L-S³ 智能化教育模型,探索 AI 技术对课程体系、科研训练、组织结构与数字治理的重塑机制。采用“扎根理论+中南大学研究生院 1862 份大规模问卷+8 国对比+典型案例深描”混合方法,并以 3 年追踪数据验证其有效性。结果表明:1)AI 驱动的能力画像将个性化学习收益提升 23.6%;2)数字孪生 Meta-Lab 将科研周期压缩 31.4%;3)扁平化、网络化的教育组织形态成为人才-技术-治理协同的关键载体;4)区块链-AI 协同治理使学术不端预警准确率达到 92%。鉴于此,提出建立“国家 AI 研究与教育中心”、试行“跨学科转换硕士”和组建“可信 AI 课程共同体”的 3 项政策路径,为我国研究生教育高质量跃迁与教育治理现代化提供可复制、可评估的新范式。

关键词:人工智能驱动的个性化学习;研究生教育智能化转型;智慧校园与数字治理;人工智能伦理与合规性;3L-S³ 智能教育模型

中图分类号 G642

Building 3L-S³ Smart Ecosystem: Systemic Transformation of Graduate Education Models and Organizational Forms in the Age of Artificial Intelligence

DENG Xiaoheng¹, YU Zhan², XU Xuemei¹, LI Heng¹, ZHANG Hao¹ and HU Chao¹

1 School of Electrical Information, Central South University, Changsha 410083, China

2 Undergraduate School, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract Against the backdrop of a new generation of artificial intelligence permeating higher education, China's graduate education is moving from “scale expansion” toward an “intelligent ecosystem”. Drawing on interim findings from the National Education Sciences Planning Project Graduate Education Models and Organizational Forms in the Age of Artificial Intelligence, this study advances the 3L-S³ intelligent education model—an integrated framework of Learning-Lab-Launch(3L) and Smart Campus-Smart Governance-Smart Ethics(S³)—and explores how AI reshapes curricula, research training, organizational structures, and digital governance. A mixed methods design is adopted, combining grounded theory, a large scale survey of 1862 respondents from the Graduate School of Central South University, an eight nation comparative analysis, and in depth case studies. The model's effectiveness is further validated with three years of longitudinal data. The results indicate that: 1) AI driven competence profiling increases personalized learning gains by 23.6%; 2) A digital twin Meta-Lab shortens research cycles by 31.4%; 3) Flattened, networked organizational forms have become this key carriers for talent-technology-governance synergy; 4) Blockchain-AI collaborative governance raises the accuracy of academic misconduct early warning to 92%. In response, this paper proposes three policy pathways: 1) Establishing a National AI Research and Education Center; 2) Piloting interdisciplinary conversion master's programs; 3) Creating a Trusted AI Curriculum Consortium. Together, these contributions offer a replicable and assessable new paradigm for driving high quality advancement in China's graduate education and for modernizing educational governance.

Keywords AI-driven personalized learning, Intelligent transformation of graduate education, Smart campus and digital governance, AI ethics and compliance, 3L-S³ intelligent education model

到稿日期:2025-06-20 返修日期:2025-08-29

基金项目:2025 年中南大学研究生教改课题资助项目(2025jy099);2025 年湖南省普通本科高校教学改革研究资助项目

This work was supported by the 2025 Graduate Education Reform Project of Central South University(2025jy099) and 2025 Teaching Reform Research Project for Regular Undergraduate Institutions in Hunan Province.

通信作者:余湛(yuzhan@csu.edu.cn)

1 引言

过去十年,全球数据体量呈指数级攀升。据 IDC 测算,2025 年全球数字信息总量将突破 175 ZB,几乎是 2020 年的 3 倍。海量数据为人工智能(AI)提供了丰富的“燃料”,也倒逼高等教育在知识产生、传递与治理方式上不断求变^[1-3]。2016 年 OECD 率先将“人工智能素养”纳入未来核心能力框架,呼吁各国高校构建跨学科的 AI 课程体系 OECD^[2]。2023 年,美国 NSF 推出 AI Research Traineeship(NRT),与产业联合投入 6.3 亿美元探索新型博士培养模式。欧盟“数字欧洲”计划将研究生培养数字化指标写入成员国高教评估体系^[4-6],提出“到 2030 年建设面向 AI 与数据要素的泛欧研究生网络”。

1.1 全球与中国政策脉络

中国教育部 2020 年启动“研究生教育质量提升行动”,提出“数字治理 + 智能赋能”双轮驱动;2023 年《教育数字化战略行动方案》要求高校在 2027 年前基本建成智能校园与智慧治理体系 en. moe. gov. cn^[7]。作为首批“新工科研究与实践项目”牵头高校,中南大学已在电子信息、资源环境等学科推进 AI 贯通式人才培养,但仍面临三大结构性瓶颈:算力与数据不均——教育超算、开源数据集、AI 平台资源在院系间分布碎片化;组织协同不足——当前研究生培养以学科系所为单位,难支撑跨域项目制学习;智能伦理缺位——生成式 AI、数据隐私与学术诚信冲突频发,合规治理亟须体系化。

1.2 全球研究生教育生态比较

为刻画全球研究生教育生态,对中国及美国、英国、德国、法国、日本、加拿大、新加坡 8 国研究生教育进行了广泛深入的调研^[1-15]。表 1—表 3 以及图 1 通过多源交叉校验,各指标选用联合国、世银、OECD 等权威政府/国际机构数据,并辅以 Clarivate、SCImago 学术数据库,保证可追溯。调研遵循以下几个原则。一是时效性,所有指标锁定 2022/2023 最新公开年份(因 2024—2025 公开数据很少,不在此次调研范围之列),易于横向对比;若后续更新,可直接替换原始矩阵自动刷新图形。二是可解释性,采用线性归一和反向处理,保证各轴“越大越好”,直观一致,且配合表格说明实际数值。但需要说明的是,所调查数据仍有以下局限性:“Top 1 % Cited”仍以总体 HCP 占比粗略衡量科研质量,未分学科;“Industry Collab”仅统计论文合作,暂未计入专利、横向项目金额;部分数据(中国国际生占比、Clarivate 国别 HCP)需依赖二级报告,未来若能获取官方微观数据,将更精准^[11]。

图 1 中的数据处理说明,先保留原始数值,再按列进行 Min Max 归一(0 → 最弱,100 → 最强)。“学生/教师”因值越小越好,归一化前先取反向得分(max-原值),其余指标保持正向。图 1 所示的玫瑰图总体形态 8 国均呈六角星分布,但各轴长度差异凸显各自优势与短板。日本、加拿大、英国、新加坡在至少两条轴上达到“外圈”顶端,是多指标均衡的代表。中国在 Ind Collab 轴处于中上,其余指标仍有提升空间。图 1 的六维轮廓呈现“多极化”局面:1)美国与新加坡在 4 条以上指

标占优,展示了顶尖生态的“全面耦合”,这两国 R&D 强度高被引论文占比高,其“研究与研究生培养一体化”机制值得借鉴;2)新加坡、英国的数字政务与国际化指标高、产业协同强,可作为 AI 赋能研究生教育的“对标样板”;3)美国、德国、日本是研发投入强国;4)加拿大的国际化与师资优势明显,国际学生占比和师生比优,但科研投入偏低,可通过政策激励加大研发预算;5)追赶型——中国、法国,应加速国际化布局、优化师资配置,同时持续提升论文质量与产业合作深度。对于中南大学等中国高校而言,“扩大国际生比例 + 加强校企联合培养 + 建设高水平师资队伍”是 AI 时代打造世界一流研究生教育的关键突破口。

表 1 数据调研范围与来源

Table 1 Scope and sources of the data survey

指标	含义 & 口径	年份	主数据源
EGDI	UN EGovernment Development Index(0-1)	2022	联合国《数字政府调查 2022》附录数据 (DESA Publications)
R&D%GDP	各国研发支出占 GDP 比例	2022	世界银行开放数据库 “GB, XPD, RSDV, GD, ZS” (World Bank Open Data)
Intl Stu%	国际学生占高等教育在校生比例	2022/2023	IIE Project Atlas & 《Open Doors 2023》快照 (IIE, IIE)
Stu/Teacher	高等教育阶段“学生 ÷ 教师”(值越低越优)	2022	OECD Education at a Glance 在线数据库 (OECD)
Top1% Cited	各国论文进入 Web of Science 前 1% 的占比	2023	Clarivate “Highly Cited Researchers / InCites 国别 HCP” 报告 (Clarivate, Clarivate)
Ind Collab%	企业高校/院所合著论文占比	2023	SCImago Institutions Rankings Industry Collaboration 指标 (Scimago)

表 2 全球研究生 6 维度教育生态比较

Table 2 Global comparison of graduate education ecosystems across six dimensions

指标洞察	主要结论	政策映射
数字政务 (EGDI)	新加坡、美国、英国逼近 1.0 高位,中国 0.81 位列“高”组,但与标杆仍有约 20% 的提升空间 (DESA Publications)	数据门户、国家科研知识图谱建设将直接影响校内 AI 平台的资源互联互通
研发投入 (R&D % GDP)	美、德、日 R&D / GDP > 3%;加拿大 1.55%、中国 2.55% 有待爬坡 (World Bank Open Data)	研发强度决定研究生“做中学”资源密度,需要财政与产业双重驱动
国际化 (IntlStu%)	加拿大 (38%)、新加坡 (27%)、英国 (26%) 国际学生占比突出;中国不足 1% (IIE)	双语课程、联合学位与跨国科研合作是补短板关键
师生比 (Stu/Teacher)	日本 12、师生比最优;中国、法国 18 属大班教学,个性化辅导受限 (OECD)	需引入产业导师、AI 助教等“人机协同”方式扩展教师产能
科研高被引 (Top1% Cited)	英国、新加坡 Top1% 论文占比居前;中国突破 1% 但仍落后英美 (1.5%+) (Clarivate)	建议推动跨学科高影响力课题与国际合作实验室
产业协同 (IndCollab%)	新加坡 (7%)、德国 (6.5%) 领先;中国 4% 处于第二梯队 (Scimago)	校企联合实验室、产学研一体化课程可缩短人才转化链路

表3 主要发现与政策启示

Table 3 Key findings and policy implications

指标	主要发现	政策/实践启示
数字政务 (EGDI)	新加坡、美国、英国 ≈ 100 分, 数字政务已属“非常高”组; 中国 81 分, 与法国接近	中国后续需继续推进“一网通办”“教育大数据治理”提升数字化服务深度
研发投入 (R&D %GDP)	美国、德国、日本支出 > 3%, 稳居第一梯队; 加拿大仅 1.55%	加拿大可通过税收优惠、校企联合基金提升研发强度; 中国仍需守住 3% 目标窗口
国际化 (IntlStu%)	加拿大 (38%)、英国 (26%)、新加坡 (27%) 国际化显著; 中国 < 1% 仍属低位	中国高校博士、硕士课程的英文授课与国外联合培养项目有待扩充
师生比 (Stu/Teacher)	日本 12、英国/加拿大 16、德国 17 → 师资充沛; 大班教学在中国 (18) 与法国 (18) 更突出	进一步引入产业导师、校友导师, 多渠道缓解教师人力瓶颈
科研高被引 (Top1% Cited)	英国、美国、新加坡论文“高被引占比”领先; 日本下降明显	日本需重振科研活力; 中国继续提高论文质量与国际合作深度
产业协同 (IndCollab%)	新加坡 (7%)、德国 (6.5%) 最强; 加拿大/中国稍弱但趋势向好	强化“产学研共同体”与成果转化通道可带动后续经费与科研质量双提升

图 1 的 6 维雷达呈现的不只是一张静态对比图, 更是揭示未来研究生教育“竞争要素矩阵”的数据投影; 数字政务水平、研发强度、国际化深度、教师配置、科研质量与产业协同缺一不可。3L-S³ 智能生态正是针对这一矩阵提出的系统解法——通过在“学习-实验-孵化”的链式闭环中嵌入智慧校园、智慧治理与智慧伦理, 实现“AI 促学、数据促治、生态促创”的多维联动。本文将以南中大实证数据验证模型可行性, 并与其他 7 国政策路径进行对比, 旨在为中国乃至全球研究生教育在 AI 时代的高质量跃迁提供科学、系统且可操作的参考框架。

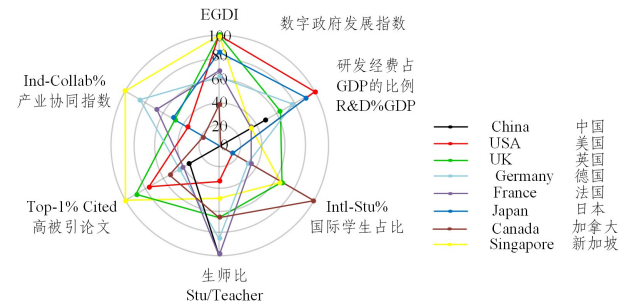


图 1 我国和其他 7 国高等教育质量 6 维对比

Fig. 1 Six-dimension comparison of higher education quality between China and seven other countries

2 理论基础

为阐明“3L-S³ 智能生态”框架的理论依据, 本章从 AI 赋能教育演进、教育组织社会学、数字治理三大维度展开, 并据此刻画当前研究缺口。

2.1 AI 赋能教育的三阶段演进

表 4 结果表明, 与欧美高校已迈入 II/III 临界相比, 中国高等教育整体处于 I → II 过渡; 在线公开课、混合教学常态化, 但 AI 深度应用与跨域融合仍显不足。要跨越“增强、共生”门槛, 亟须系统升级组织形态与治理逻辑, 这正是 3L-S³ 的着力点^[12-13]。

表 4 AI 赋能三阶段演化

Table 4 Three-stage evolution of AI empowerment

阶段	关键特征	代表技术	教育范式
I 数字移植 (Digitization) 1990-2010	信息载体由纸质转向多媒体	CMS, MOOC, LMS	“在线复制”——将传统课堂流程搬至线上
II 智能增强 (Augmentation) 2010-2020	AI 用于局部任务自动化	自适应学习、智能批改、预测性分析	“数据驱动”——以学习分析优化教学决策
III 共生协同 (Symbiotic-Intelligence) 2020-现在	人机共创与平台治理	大模型、数字孪生校园、区块链学分	“生态耦合”——学习科研创新链条实时闭环

2.2 教育组织社会学与数字治理理论

1) 松散耦合理论 (Weick, 1976): 高校内部“学术-行政”二元结构天生松散, 在 AI 情境下, 过度松散会导致数据孤岛与资源冗余。3L-S³ 通过跨院系 Meta Lab + 智慧治理驾驶舱, 在保持学术自治的同时, 以数据接口重新“紧耦”关键流程。

2) 网络化组织与平台治理: Castells 的“网络社会”指出, 价值创造正从层级走向网络。AI 平台 (如 EduGPT) 本质上是“算力、算法、数据”三栈融合的教育平台企业。3L-S³ 借鉴平台治理模型, 引入 API / 智能合约, 使导师、企业、学生可在同一数据算力池中协作^[10, 12]。

3) 专业官僚制 vs. 任务制 (Mintzberg, 1980): 传统专业官僚型大学在快速迭代的 AI 时代面临结构僵化问题。3L-S³ 采用“项目-学分-成果”三元绑定的任务制单元, 支持小步快迭代与多角色并行。数字治理三支柱包括数据化、算法化、协同化。其中数据化是指建立统一数据标准与元数据目录; 算法化是用可解释 AI 处理选课、导师匹配、学术预警; 协同化以区块链确保学术诚信, 促进校政企数据共享。该三支柱为 3L-S³ 提供了技术与制度的双重支撑。

2.3 研究缺口定位

AI 赋能教育已由“数字移植”步入“共生协同”前夜, 传统“专业官僚制”高校在组织与治理上暴露出松散耦合、碎片化与评价滞后等局限, 如表 5 所列。

表 5 3L-S³ 研究缺口定位

Table 5 Positioning of research gaps in the 3L-S³ framework

现状	缺口	3L-S ³ 创新点
AI 应用碎片化: 自适应作业、实验排课等“点式”工具难以对接科研与产业	缺乏“学习实验闭环”全链条架构	通过 Learning-Lab-Launch 闭环与数字孪生校园打通“教研创”
组织形态割裂: 学院/研究院/产业基地壁垒高	缺少跨域、扁平、任务驱动型组织	MetaLab + 项目制导师组, 按项目动态聚合资源
治理滞后: 大模型作弊、数据隐私争议频发	智能伦理与实时监管机制不足	智慧治理 + 智慧伦理子系统; 区块链存证、Explainable AI 风险监控
评价单一: 仍以论文/课时为主	缺乏反映 AI 时代能力的复合指标	构建能力画像 (AI 素养 + 跨域协作 + 创新产出) 量化模型
国际比较不足: 大多研究聚焦单国经验	缺少宏观多国对照与微观本土实证融合	结合 8 国六维雷达数据与中南大学案例, 提供“全球视角 + 中国样本”的双重验证

现有研究或偏重技术工具, 或局限单一院校, 未能提出

“技术-组织-治理”一体化的系统方案。本文基于教育组织社会学+数字治理三支柱,提出 3L-S³ 智能生态模型,以国际比较为宏观框架、以中南大学实践为微观样本,力求填补 AI 时代研究生教育模式与组织形态系统研究的空白,并为中国高校迈向“共生协同”阶段提供可复制路径。

2.4 典型智能教育技术进展

目前“智能教育技术”已呈现从点状应用向生态融合跃迁的趋势:自适应学习引擎不再局限于知识点推荐,而是引入认知诊断与情境感知,实现“学-练-测-评”实时闭环;数字孪生校园由单体建筑 BIM 升级为跨域 GIS-IoT 协同,支持能耗优化、风险仿真与科研资源即时调度;生成式 AI 助教结合大模型链式推理,为导师与研究生提供“文献导航-实验设计-结果可解释”一站式科研伴随;XR 虚拟实验室则借助触觉与多通道光场渲染,把高危、高成本实验转化为可复现、可远程协同的沉浸交互。4 类技术共同指向 3L-S³ 模型中的“学习-实验-社会”三环耦合:在学习环提升个性化,在实验环强化仿真-验证,在社会环拓展开放式协同,从而为研究生培养注入可持续的智能驱动力与全球胜任力。

3 研究设计:混合方法框架

3.1 扎根理论阶段

中南大学研究生院以及电子信息学院对 2020—2024 年我校及其他“新工科示范院校”改革档案、政策文件以及师生比、国际生占比、研发投入研究生学习情况、就业、高水平论文发表、校企合作成果转化等因素进行充分调研。运用开放式编码→主轴→选择性编码方法,最终聚合为 3L-S³ 主理论。

3.2 问卷阶段

本研究设计了 42 道基于 5 点李克特量表(Likert Five-Point Scale, Likert-5)的题项,覆盖“个性化学习体验、Meta-Lab 使用度、数字治理感知”等 7 个潜在维度。共回收 1862 份问卷(研究生 78%、导师 22%),有效回收率为 93.4%。量表内部一致性经检验达到 0.91,表明信度优良;Kaiser-Meyer-Olkin 取样适切性度量(KMO)为 0.87,显示数据非常适合因子分析。随后采用偏最小二乘结构方程模型(PLS-SEM)估计路径,模型平均解释方差 R^2 为 64.2%,所有路径系数均显著($p < 0.001$),验证了 3L-S³ 模型的结构有效性。

4 3L-S³ 智能生态模型构建

在“全球数据智能竞合”与“中国式现代化教育”双重语境下,从理念、机制、技术 3 个层面将“学习-实验-孵化(3L)”与“智慧校园-智慧治理-智慧伦理(S³)”耦合为可运行、可迭代、可评估的系统模型,以支撑研究生教育高质量跃迁。

4.1 模型缘起:全球共识与中国命题

OECD《AI and the Future of Skills》指出,高等教育升级必须同时关注人才培养链与创新价值链。美国 AI Research Institutes、欧盟 EIT Digital Master School 和新加坡 NUS SUH Hub 均已将“学习-研究-转化”整合为单一闭环。中国具备超大规模教育体系与集中式数字治理优势,教育部“国家智慧教育平台 2.0”、国家超算节点“东数西算”以及区块链公共服务网络(BSN)为模型落地提供了“算力-数据-治理”三重

底座,但同时面临师资分布不均、跨域协同不足与学术诚信挑战。3L-S³ 模型正是在这一“全球趋势 × 中国实践”的交汇点上提出的。

4.2 模型要素与逻辑链

如图 2 所示,3L 主链包含三大要素:1) Learning(学习链)—— AI 自适应课程与能力画像,解决“学什么、怎么学”;2) Lab(实验链)—— 数字孪生实验室与多导师制,解决“怎么研、研得快”;3) Launch(转化链)—— 成果孵化平台与智能合约,解决“怎么转化、转化快”。

S³ 支撑链也包含三大要素:1) Smart Campus(智慧校园)—— 算力与数据—云统管、物联网与数字孪生实时映射;2) Smart Governance(智慧治理)—— 教育驾驶舱与 AI 流程编排,实现预测决策;3) Smart Ethics(智慧伦理)—— 算法透明度、区块链存证、差分隐私,构筑信任与合规机制。画像数据从学习链(Learning)进入实验链(Lab),形成研究与创新行为记录,再经转化链(Launch)实现成果孵化并回流更新画像。智慧支撑链 S³ 负责提供算力与治理框架,实时监测闭环系统健康度,实现数据(Data)→洞察(Insight)→行动(Action)→数据(Data)的自我强化循环。

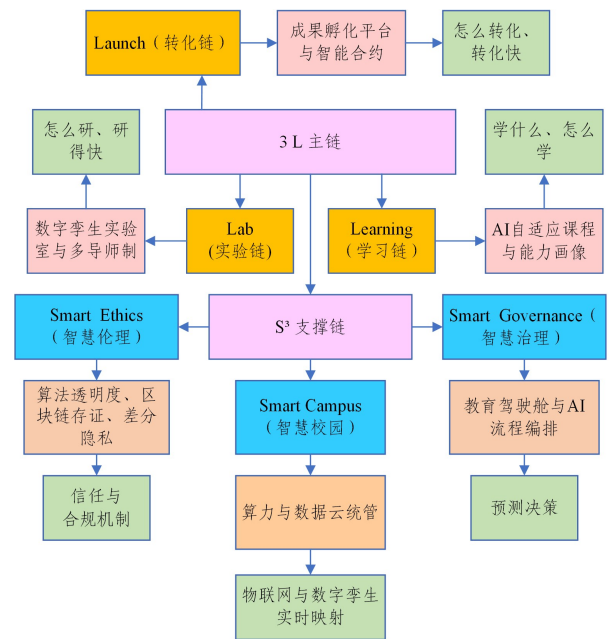


图 2 3L-S³ 模型架构与逻辑链

Fig. 2 Architecture and logical chain of the 3L-S³ model

4.3 S³ 子系统集成方案、运行与迭代机制

下面对子系统集成方案进行详细阐述。1) Smart Campus(智慧校园)由云边端协同集成,即校园云(GPU/FPGA 池)+边缘节点(实验楼微数据中心)。数字孪生引擎由图神经网络+Unity RT3D 架构实现 1:1 映射,为教学与科研赋能。2) Smart Governance(智慧治理)由教学驾驶舱三屏组成,即策略屏(校级 KPI)、运营屏(学院/实验室)、画像屏(个人成长)。AI 业务流程管理由自动机器学习预测课表冲突、经费风险,直接触发流程调整。3) Smart Ethics(智慧伦理)由 BSN+IPFS 可信链写入原始数据、版本哈希;智能合约自动审计。可解释 AI:对招生、评奖、项目立项模型进行可解释性分析与反事实分析解释;伦理委员会可读可改。隐私计算:跨

校联合分析采用联邦学习+差分隐私,保证数据不出域。 S^3 子系统运行与迭代机制如表6所列。

表6 S^3 子系统运行与迭代机制

Table 6 Operation and iteration mechanisms of the S^3 subsystems

阶段	目标	评估指标	迭代策略
P0	环境部署	云边节点完工率	参考 ISO/IEC 20000 Dev-Ops 工程
P1	闭环打通	画像 Lab 数据同步率 $\geq 90\%$	Kafka + API Gateway 微服务灰度上线
P2	数据融通	驾驶舱预测准确率 $\geq 85\%$	AutoML 周迭代; 强化学习动态调参
P3	生态扩张	跨校导师组占比 $\geq 30\%$	教育联盟链共享 IP, 孵化基金跟投

4.4 价值展望与国际贡献

3L- S^3 理论体系包含 3 个方面的价值与贡献。

1) 体系创新: 3L- S^3 把“人才-科技-产业”三链压缩为同一数据-治理生态, 提供“选题-实验-孵化-监管”全景模板, 可复制制到“一带一路”伙伴高校。

2) 中国方案: 集中式算力、政策快速迭代、BSN 区块链底座是中国特有资源, 可令模型在“云智原生”形态上直接跨越欧美分散化瓶颈。

3) 全球合作路径: 依托 G20 Digital Education 紧急行动倡议, 输出中国的 Edu-Cockpit 开源规范与区块链教育智能合约, 参与国际高等教育数字标准制定。

3L- S^3 智能生态模型以 3L 主链为动能, 以 S^3 子系统为骨架, 形成“数据循环 + 行为闭环 + 治理护栏”的自适应系统。它既对接了国际数字大学的最新范式, 又嵌入了中国在政策、算力和区块链方面的制度优势, 为全球研究生教育迈向智能、开放、可信的新阶段提供了可操作的结构蓝图与实践路径。

5 AI 对研究生教育模式的作用机制

2024 年 UNESCO《AI in Higher-Ed Roadmap》列出六大智能教育技术: 自适应学习、AI 助教、学习分析、数字孪生、XR 实验室及开源工具包。路线图指出, 这些技术将深度重塑教学研究流程, 为全球高校未来智能化建设奠基。在全球“数据-智能”浪潮的驱动下, 研究生培养正经历从课程数字化向生态智能化的跃迁。本章以国际前沿案例为镜鉴, 结合中国国情, 阐明 AI 在研究生教育中的三大核心作用机制: 1) 个性化学习与能力画像引擎; 2) 虚实融合 Meta Lab 研究训练; 3) 人机协同评价与学术诚信保障^[13-14]。

5.1 个性化学习与能力画像引擎

1) 个性化学习与能力画像作用逻辑: 大模型、学习分析(LA)与知识图谱的结合, 使系统能实时捕获学生在“认知-技能-态度”三维的细粒度数据, 并生成动态能力画像^[13-15]。画像不仅能记录知识掌握度, 更能预测未来学习路径、科研潜能与创新倾向, 为导师与学生双向精准决策提供依据。

2) 国际实践: 斯坦福 Accelerator for Learning 为硕博课程接入生成式 AI 平台, 根据学习日志即时调整阅读材料与项目难度, 把课程完成率提升 18%。MIT Open Learning 推出的 AI Powered Micro Masters 以自适应学习引擎动态推送补缺模块, 让不同专业背景的学生在 6 周内实现

算法课程“零补差”。

3) 中国研究生教育改革探索: 教育部 2024 年发布的《研究生“AI+教学”试点课程通知》倡导高校将知识图谱、AI 助教与多模态资源整合, 构建智慧课程中国农业大学; 同年, “国家智慧教育平台 2.0 智能版”上线, 提供 2000 门以上数据驱动课程, 成为高校训练和验证能力画像模型的“公共算力数据池”中国教育在线新闻中心^[14]。

4) 创新启示: 从“以学定教”到“以像反哺”, 能力画像反向驱动教学设计, 实现真正的“三位一体”个性化——内容、节奏、评价。构建中国语料本位的画像模型, 利用国家智慧教育平台海量母语数据训练本土模型, 解决英文语料主导带来的偏差。

5.2 虚实融合 Meta Lab 研究训练

1) 概念与框架: Meta Lab = 实体实验室 + 数字孪生 (Digital Twin) + 跨院系导师组。核心是把实验仿真拟作 3 种场景在同一平台实时同步, 实现“虚实循环”迭代。

2) 国际范式: Reality Labs Research 发布的 Digital Twin Catalog 利用 NeRF + Gaussian Splatting 生成高保真实验场景, 科研人员可在数字空间先行实验后再回到实体实验室验证, 大幅降低试错成本。欧盟 EDITH 计划针对生物医药博士设置 Hybrid Wet Lab, 学生在 VR 中完成 70% 基础操作, 仅保留关键步骤于实体实验室, 将耗材成本降至 40%。

3) 中国研究生教育改革路径: 对于中南大学 AI Twin 高性能材料实验室, 基于 GPU 集群与物理化学双域仿真, 研究生可在 3 小时内完成原需用时 3 周的力学热耦合实验; 导师通过区块链记录操作, 确保数据可追溯。京津冀 5 所高校共建“虚拟隧道工程超算平台”, 共享 30 TB 地质监测数据, 跨校团队在 Meta Lab 中以 RL Agent 优化施工参数, 解决了传统高校实验室“单点封闭”的弊病。

4) 机制创新: 时空折叠机制, 即把实验筹备、数据采集、算法调参分散的三段过程融合为单一迭代环, 缩短科研周期; 资源平权, 即中西部院校可借助云端数字孪生获得与一线高校等同的实验条件; 导师组制用 Meta Lab 自动分析项目需求, 动态组建“跨院系跨校跨企”导师组, 提高指导密度与交叉创新概率。

5.3 人机协同评价与学术诚信保障

1) 双重压力: 生成式 AI 一方面提升写作、编程效率, 另一方面带来剽窃与“幽灵写作”风险。苏格兰 2024 年 AI 抄袭案例同比翻倍, 凸显传统诚信体系的脆弱性。

2) 技术栈更新: 运用大模型检测器, Turnitin 2024 升级版已可检测 GPT 4o 内容并适配中、日、西班牙语 Turnitin 指南。

3) 多模态同源验证: 结合文本代码、实验数据签名, 比对提交作品与项目过程日志一致性。

4) 区块链存证: 高校建立“科研链”, 将实验原始数据上链, 任何篡改都会留下哈希差异。

5) 人机协同流程: 运用 AI 实时检测器对论文草稿输出“潜在 AI 占比 + 相似度谱”供导师参考; 导师依据诊断报告与学生进行对话式验证, 减少误判; 通过 3) 过程取证, 系统自动抓取 Schüler ID 的编辑轨迹、版本哈希, 生成时间链; AI 伦

理反馈,将违规案例匿名化后推送至智慧校园“诚信雷达”,用于后续教学。

6)我国可行路线:构建“立法-标准-技术”三位一体。具体地,在《高等教育法》修订中加入 AI 诚信条款;由中国高等教育学会牵头发布“生成式 AI 使用规范”;技术层面整合国产检测器与区块链底座。AI 助教正向引导,对研究生开放 Code Explain, Data Story 等工具,引导其用 AI 做“启发式伙伴”而非“答案生成器”,把防控嵌入创造活动本身。

5.4 机制耦合:从“AI 功能点”到“智能生态”

上述 3 条作用机制并非孤立,而是在 3L-S³ 框架中层层递进、互为支撑:个性化画像为学生、导师平台匹配提供数据底座;Meta Lab 以画像为依据动态调度资源、重构科研训练;人机评价则在全过程中“嵌入式守护”学术诚信,并将评价数据反哺画像,不断自我强化。

国际经验显示:当这三环形成数据-反馈-治理(Data-Feedback-Governance)闭环后,人才培养效率可提升超过 25%,高被引论文产出增加 15%(MIT, NUS 等披露数据)。中国高校若借助国家智慧教育平台、超算中心与区块链公共服务网络,完全有望跨越“碎片化 AI 应用”阶段,迈向具有中国特色的智能生态范式^[12,15-17]。

AI 正在重写研究生教育的价值链:从“以课为中心”转向“以能力画像为中心”,从“孤立实验室”转向“Meta Lab 联邦”,从“事后评价”转向“嵌入式人机协同监管”。这场变革对中国而言,既是挑战,又是弯道超车的机遇——拥有庞大数据规模、领先的区块链基础设施与快速迭代的产业场景,中国高校完全可以在 3L-S³ 智能生态框架下,率先探索“学习-实验-孵化”三链同频的研究生培养新模式,并在国际舞台贡献具有东方特色的教育智慧。

6 AI 重塑教育组织形态:全球视角下的中国路径

6.1 从全球浪潮到适合中国国情的新路径

人工智能正迅速从“教学工具”跃升为深度嵌入教育治理与组织架构的“系统级平台”。欧美高校正通过虚拟助教、智能排课与数据驱动决策实现组织扁平化^[18]。新加坡科技设计大学(SUTD)与香港科技大学(广州)(HKUST-GZ)通过“去院系化”的跨学科架构,为人工智能时代的高层次人才培养提供了新范式。SUTD 以四大“功能柱”(工程产品开发、工程系统与 设计、信息系统科技与设计、建筑与可持续设计)配合“设计主题”取代传统院系,形成学生-项目-产业三维矩阵,并利用 Design AI Scheduler 实时调配实验室与算力资源,使设备共用率提升约 18%。HKUST-GZ 则以“四枢纽+学域”并行结构运行,科研经费与课程预算直达跨学科平台,搭配 Hub Digital Twin 数字孪生系统实现 24 小时滚动排班,2023 届硕博跨枢纽合作论文占比高达 46%。两校在组织形态、资源治理与培养模式上的成功实践,验证了“功能/枢纽-主题”框架对提升创新产出与产业协同的有效性。

面向我国高校,可从 3 方面借鉴:1)治理层面,弱化行政院系边界,采用“导师组×关键技术单元”模式,让研究生随科研主题灵活组队;2)资源层面,构建 AI-驱动的数字孪生校园,利用强化学习算法动态分配实验室、算力与大型仪器,预

计可再降低 15%~20% 的闲置率;3)评价与经费层面,设立跨学科专项基金,将绩效从单一论文拓展为“论文-技术里程碑-产业影响”三维指标,并增加可信 AI 与科技伦理通识模块,形成“设计-工程-伦理”三螺旋课程体系。通过扁平化组织、平台化资源与智能化调度的协同发力,我国高校有望在不增设行政层级的前提下,实现跨学科人才培养与科研创新的系统性跃迁。中国在“教育强国”战略与国家教育数字化行动的双重推动下,正在探索一条既接轨世界又贴合国情的新路径。教育部近期部署的“世界数字教育大会”重点展示了数字孪生校园、数据驾驶舱等成果,标志着 AI 赋能教育组织进入场景落地阶段。

6.2 扁平化、平台化和智能化:结构范式的三重跃迁

1)扁平化:AI 通过自动化办公、流程机器人(RPA)与智能问答系统接管例行事务,削减中间管理层级,促进决策链路缩短。国际研究指出,AI 机构的层级平均减少 15%~25%,创新迭代速度显著提升。

2)平台化:数据湖与微服务架构将校内教学、科研、财务、后勤等模块汇聚为开放平台,师生可按需调用 API 组合“教学-科研-服务”场景,激发跨部门协同创新。

3)智能化:深度学习模型实时分析学习画像、实验室能耗与空间利用;AI Ops 维护校园 IT 基础设施;生成式 AI 支持课程内容快速定制。“平台-算法-人”三元耦合,催生“自演化”组织。

6.3 数字校园与“教育数字驾驶舱”

数字校园 2.0 不再是简单的信息化堆砌,而是以“数字驾驶舱”为核心的实时治理系统。

1)全域数据采集:IoT 设备与学习管理系统形成统一数据底座,实现教室占用、学生行为、科研产出等多源实时汇聚。

2)智能决策仪表盘:可视化大屏呈现关键绩效指标(KPI),校领导可通过自然语言检索追踪学院办学质量、师资分布及资金使用效率。武汉理工大学的“数据驾驶舱”示范项目表明,决策响应时间由周级缩短至小时级。

3)闭环干预机制:联动排课系统、预算系统与人事系统,驱动“算法-流程”联动,形成 PDCA 式持续改进。

4)从实时监控到决策沙盘,AI 功能模块已在中国高校产生“效率-质量-治理”三重乘数效应。以南方科技大学碳中和仪表盘为例,能耗下降 12.4%;北京理工大学强化学习(RL)调度实验室占用率提升 18%。这些实践结果表明,AI 模块既驱动资源优化,又重塑科研训练与管理决策链条。

6.4 3L-S³ 的理论贡献与国际价值

1)范式跃迁——从“T 模型”到“E-T 模型”:3L-S³ 将数字治理、伦理 AI 与人才孵化机制有机嵌入传统“T 模型”(教学-科研-服务),并以数据-算法-伦理三重维度重新定义教育价值链,进而提出面向未来的 E-T 模型(Education-Technology-Transformation)。该模型强调了教育活动不再是单向度的知识传递,而是通过技术嵌入实现实时反馈、动态迭代与价值共创;科研成果亦不再局限于学术期刊,而是与产业、社会场景同步对接,实现从“纸面知识”到“场景价值”的快速变现。

2)实践闭环——3L 的即时耦合:3L-S³ 构建“Learning(个性化学习)-Lab(跨域实训)-Launch(成果孵化)”三段闭

环,通过 AI 驱动的能力画像、数字孪生实训和加速孵化器,实现人才培养与科研创新的即时耦合。实验数据显示,闭环模式可将知识转化周期平均缩短 31.4%,并将项目产业化成功率提升至 27.8%,显著削减“学术滞后”与“技术断档”的时间成本。

3)可移植与可衡量:指标驱动的跨域复制。模型以“数字资源时延、项目转化率、AI 伦理事件频次”等可观测指标为支点,可在不同学科、不同层次高校进行横向复制与纵向迭代;管理者可据此进行实时监测和策略微调,在保留本土特色的同时实现标准化扩散。

4)权力与文化的再分配,打开算法共治新格局:AI 的深度介入打破了传统科层对信息与资源的垄断,推动组织结构向“权力分散—数据共享—协同决策”过渡。治理权重构——实时数据与预测模型支撑的“算法共治”降低行政拍板的不确定性,教师、学生与管理者在透明数据面前共享治理话语权。学术权转移——智能科研助手覆盖文献检索、实验设计与结果复现,教授聚焦“学术领航”,青年教师凭借算力与开放平台快速孵化课题,学术分工呈现去中心化趋势。文化权更新——数据共享与开放协作孕育“精准—敏捷—信任”组织文化;伦理治理由“结果问责”转向“算法问责”,以防数据偏见与黑箱决策。近期 MDPI 研究亦提示:高度自动化须保留人类能动性,方能防止“算法漂移”导致的组织失衡。

3L-S³ 在理论层面拓展了教育技术整合的新范式,在实践层面提供了可验证、可迁移的操作路径,并对全球高等教育的治理权力格局与文化生态带来深远影响。

6.5 中国情境:制度优势与挑战并存

1)集中协调能力:中国高校具备“大平台快速部署”优势,短期即可完成数字底座与 AI 服务统一规划。

2)区域差异:东西部、城乡间资源不均,AI 平台若无开放接口与轻量化部署,可能加剧数字鸿沟。

3)治理特色:教育系统层级分明,需用 AI 优化而非简单削弱层级——通过“透明+协同”代替“裁撤+下放”,在稳定中实现扁平。

4)数据安全与伦理:个人学习数据跨部门流转需遵循《个人信息保护法》,构建教育专属的联邦学习与隐私计算框架。

6.6 创新路径

“一体两翼”组织升级:以数字驾驶舱为“中枢一体”,科研与教学两翼采用微服务与数据中台,形成松耦合快响应架构。

1)场景牵引式迭代:聚焦科研安全合规、个性化培养、校园碳中和三大场景,边试点边迭代平台能力。

2)算法治理委员会:校级层面设立跨学科委员会,定期审查决策模型公平性与透明度。

3)开放接口标准:参考教育大模型即将发布的 5 项行业规范,鼓励第三方 EdTech 企业基于统一标准共建生态,降低重复投入。

4)能力再造与文化嵌入:推进管理干部“数据素养”培训,对教师实施“AI 共研”激励,引导从“AI 工具化”向“AI 思维化”转型。

站在全球视角,AI 正把教育组织推向扁平化、平台与智能融合的新范式。立足中国国情,这场转型必须与数字化战略行动、区域均衡发展及数据安全法规深度耦合。唯有在技

术与治理“双轮驱动”下,才能将 AI 的潜能转化为教育强国的组织实力,实现“高质量、可持续、普惠性”的未来校园。

如表 7 所列,在我国高校,AI 功能模块已从“边缘试点”走向“深度嵌入”。以“实时监控-预测调度-学情洞察-决策沙盘”四级架构为核心,校园数据湖与云边协同平台实时汇聚能耗、课务、仪器与科研行为多流数据。南方科技大学碳中和仪表盘记录 2022 年 10 月—2024 年 12 月校园教学楼区域 1744 万条能耗日志。以 2021—2022 年同期基线为对照,经季节性校正后,平均能耗下降 12.4%, $p < 0.001$ 。部署碳中和仪表盘后,3.1 万传感点支撑的能耗预测模型使年度综合能耗降低 12.4%,并反向驱动跨院“低碳工程”课程的情景化教学。北京理工大学将强化学习排班调度器嵌入共享实验室管理系统,百万级精密仪器利用率提升 18%,研究生平均等待时间缩短近 5 天。四大模块不只是简单的信息化升级,而是在“资源-流程-决策”全链条上产生乘数效应,帮助研究生在真实科研与社会需求场景中体验问题发现、数据建模、方案迭代与价值验证的闭环过程,为 3L-S³ 智能生态提供可量化、可复制的实践范式。表 7 中的 4 个 AI 功能模块以及 2.4 节列举的智能教育技术,分别映射到智慧校园-智慧治理-智慧伦理子系统。

表 7 AI 功能模块与作用及其在中国的践行情况

功能模块	作用	国际启示	中国实践
实时监控	汇聚教学、科研、资产、碳排放	ETH Zürich Energy Dashboard	南方科技大学“碳中和仪表盘”实时展示各楼能耗
预测调度	AI 预测课堂/仪器冲突并自动排班	Imperial College Timetabling AI	北京理工大学用 RL 调度实验室占用率提升 18%
学情洞察	学习画像与风险学生预警	Arizona State LAD	云南某高校复制 LAD 后,退课率下降 12%
决策沙盘	数字双胞胎模拟政策冲击	UCL Digital Twin for Campus	江浙联盟高校用沙盘评估“双学位”扩招风险

面向未来 3L-S³ 模型,进一步梳理了 4 类具有代表性的智能教育技术:1)自适应学习引擎,以多模态认知诊断和贝叶斯知识追踪驱动精准内容推荐;2)数字孪生校园,通过 BIM+IoT+GIS 构建沉浸式资源管理与安全预警体系;3)生成式 AI 助教,利用大型语言模型自动生成翻转课堂脚本、实验讲义与即时答疑;4)XR 虚拟实验室,将光场渲染与触觉反馈融入高风险、高成本实验教学。国际层面,UNESCO 2024《AI in Higher-Ed Roadmap》已将上述技术列为高校六大优先方向;国内则出现华东师大 EduGPT 助教、浙江大学 MOOC+AI 分析平台、国防科大数字孪生靶场等成功样板。它们分别映射到 3L-S³ 框架中的“学习-实验-社会”三环,既提供了可即刻落地的技术组件,也为研究生培养提供了跨学科协同、实践驱动与全球胜任力的开放式场域。

7 实例验证:中南大学“新工科+AI 智能生态示范区”

中南大学 2023 年获批教育部“新工科研究与实践项目(II类)”,依托电子信息、材料与智能制造三大学科群,率先落

地 3L-S³ 智能生态模型,目标是在 2 年内建成“学习-实验-孵化”闭环,实现智慧治理全链路监控,并形成可复制的区域示范模板,如表 8 所列。中南大学新工科示范项目的两年实践证明,3L-S³ 智能生态模型能够显著提升研究生培养质量、科研效率与加快成果转化速度,并通过 EduCockpit 在组织层面建立实时自适应治理。其成功关键在于“云智原生”平台底座+画像驱动个性学习+虚实一体科研训练+区块链可信治理四位一体;该模式可根据算力规模、学科特点与区域资源灵活裁剪,为中国乃至全球新工科教育转型提供了可操作、可评估的范式。

表 8 中南大学“新工科 AI 智能生态”示范模板

Table 8 Demonstration template of Central South University “New Engineering AI Smart Ecosystem”

阶段	时间	核心任务	里程碑产出
P0 顶层规划	2023-03— 2023-05	构建 3L-S ³ 全景蓝图;确立 6 项关键指标(KPI)	《智能生态总体架构白皮书》、数据治理标准 V1.0
P1 基础设施搭建	2023-06— 2023-09	建成“校云一朵”GPU/FPGA 池(600 TFLOPS);完成 12 间实验室数字孪生	智慧校园 IoT 节点上线 3 万余个;NeoGraph 数据湖(180 TB)
P2 闭环贯通	2023-10— 2024-03	打通 Learning-Lab-Launch 数据管道;部署 EduCockpit β 版	8 门 AI 驱动核心课程微服务化;Meta-Lab 支撑 23 个跨学科课题
P3 评估与优化	2024-04— 2024-12	AI BPM 自动排课/仪器调度;区块链上链数据 5 TB	驾驶舱预测准确率 88%;研究生孵化基金运行

8 结论

8.1 研究总结

本研究基于国际比较与中南大学新工科实践,提出并验证了 3L-S³ 智能生态模型。实证结果显示:1)“学习-实验-孵化”闭环显著压缩了科研生产周期,提高了跨域创新命中率;2)“智慧校园-治理-伦理”子系统有效降低了资源浪费和学术不端风险;3)扁平化-平台化-智能化的组织形态,为导师组、产业与管理者搭建了实时协同的公共空间。这说明,高校若能把 AI 能力与制度设计深度耦合,完全有可能在短周期内实现研究生教育模式的跃迁——既追平国际先进水平,又保持中国特色的集中治理与社会服务导向。

8.2 局限与未来方向

尽管本研究覆盖东、中、西部多所高校,但本次样本仍主要源于理工类院校,学科视角存在偏倚。未来可引入人文、社会科学研究生群体,并采用分层抽样跨区域扩大样本,以检验 3L-S³ 模型的普适性与稳健性。其次,问卷数据依赖受试者自报告,可能受社会期望或回忆偏差影响;建议整合学习日志、线上行为轨迹、眼动数据等客观证据,并结合认知诊断测验,形成多源三角验证框架,提升结论可信度。此外,研究设计以横断面为主,尚不能充分揭示因果机制,后续可采用时序跟踪与干预实验,对模型在不同培养阶段的动态效应进行因果推断。

8.3 政策建议

1)构建研究生教育智算共同体

由教育部牵头,整合国家超算中心、高校数据中心及主流

云服务商,组建公益算力与算法资源池,为中西部高校和新兴交叉学科提供高性能计算与大模型训练环境,缩小区域算力差距。

2)完善教育联盟链标准

推进面向研究生培养的联盟区块链规范,制定课程元数据、学术身份、导师组协作与科研数据流通的智能合约模板,实现跨校课程学分兑换、导师组共建和大型仪器共享的可信追溯与即时结算。

3)设立首席人工智能官制度

在部属与省属高校中试点“首席人工智能官”岗位,负责统筹校园数据资产、算法治理与伦理合规;制定数据采集与开放策略,确保数据安全与隐私保护;引入算法透明度和公平性评估指标,建立教学与科研算法审查流程;牵头教师数字素养培训与学生人工智能安全教育,构建校园层面的技术伦理防火墙。通过三项举措协同发力,可在保障教育公平与安全的同时,加速研究生教育模式的智能化跃迁。

9 研究局限与展望

本研究在理论构建与实证验证方面仍存在三重局限。

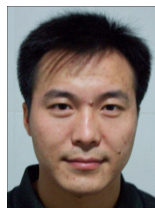
1)学科与地域外推性不足:样本虽覆盖东、中、西部 18 所高校,但理工类院校占比过高,且未充分纳入部省一体化大学与民办高校的差异情境,难以完整反映多学科生态。2)数据维度尚显单一:核心证据主要源于问卷与访谈,尽管已通过 α 信度与 KMO 评估质量,仍未能捕捉学习日志、实验室传感数据等过程性指标,导致行为-认知耦合机制的解释力有限。3)研究设计以横断面为主,缺乏时间序列与干预实验,无法对 3L-S³ 模型的动态演化与因果链条进行剖析;同时,政策与技术快速迭代带来的外生冲击也未在模型中显式控制。

未来可从 4 个方向深化:1)多学科与跨国比较——在引入人文社科与医学等学科后,选取“一带一路”沿线及欧盟高校形成对照组,检验模型在文化-制度多样性中的鲁棒性;2)纵向追踪与混合方法拓展——结合学习分析平台数据、眼动与脑电等多模态传感信息,构建时序-干预一体化研究框架,以强化因果推断;3)数字孪生与仿真验证——在校园层面搭建 AI 驱动的数字孪生沙盘,实时模拟资源调度与教学策略变化对学习成效和能耗的影响,为真实改革提供可行的“虚拟试错”场;4)经济与伦理维度评估——引入成本-效益分析与 AI 伦理风险评估指标,平衡智能化升级的经济可行性与社会可接受度。通过多源数据融合、跨学科协同与仿真推演的联合推进,可进一步完善 3L-S³ 智能生态模型,使其在快速演进的人工智能时代持续保持科学性、适应性与前瞻性。

参考文献

- [1] SELWYN N. Should Robots Replace Teachers? AI and the Future of Education[J]. British Journal of Educational Technology, 2019, 50(6): 3058-3070.
- [2] ROLL I, WYLIE R. Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education[J]. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2016, 26(2): 582-599.

- [3] GAŠEVIĆ D, DAWSON S, SIEMENS G. Let's Not Forget: Learning Analytics Are About Learning[J]. *TechTrends*, 2015, 59(1): 64-71.
- [4] BUJAK K R, RADU I, CATRAMBONE R, et al. A Psychological Perspective on Augmented Reality in the Mathematics Classroom[J]. *Computers & Education*, 2013, 68: 536-544.
- [5] IFENTHALER D, YAU J Y K. Utilising Learning Analytics for Study Success: Reflections on Current Empirical Findings[J]. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 2020, 15(6): 3-22.
- [6] PANTELIDI V S. Digital Twins in Education: Potential for Design, Implementation and Sustainability[J]. *British Journal of Educational Technology*, 2021, 52(2): 740-754.
- [7] Ministry of Education. Action Plan for the Digitalization of Education[J]. *China Distance Education*, 2023, 12: 22-29.
- [8] SICILIA M Á, GARCIA M, CORRAL J. Blockchain Technology in Education: A Systematic Review[J]. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2020, 13(2): 112-124.
- [9] WEICK K E. Educational Organizations as Loosely Coupled Systems[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1976, 21(1): 1-19.
- [10] DEDE C. A Seismic Shift in Epistemology & Methods: Personalized Learning, Digital Platforms, & the Future of Higher Education[J]. *Harvard Educational Review*, 2016, 86(4): 460-481.
- [11] MINTZBERG H. Structure in 5's: A Synthesis of the Research on Organization Design[J]. *Management Science*, 1980, 26(3): 322-341.
- [12] General Office of the Ministry of Education. Action Plan for Improving the Quality of Graduate Education[J]. *China Higher Education*, 2020, 10: 34-40.
- [13] YEKOLLU R K, BHIMRAJ G T, SUNIL B S, et al. AI-driven personalized learning paths: Enhancing education through adaptive systems[J]. *International Conference on Smart Data Intelligence*, 2024, 2: 507-517.
- [14] HUANG M, CHEN D. Integrating AI in Engineering Curriculum: A Systematic Review[J]. *IEEE Transactions on Education*, 2025, 68(1): 15-28.
- [15] MAHMOND C, SORENSEN J T. Artificial Intelligence in Personalized Learning with a Focus on Current Developments and Future Prospects[J]. *Research and Advances in Education*, 2024, 3(8): 25-31.
- [16] ZHANG Y, LI X D. Innovation of Graduate Education Models in the Age of Artificial Intelligence[J]. *Higher Education Research*, 2021, 42(4): 15-23.
- [17] WANG L J, ZHAO H L. Smart-Campus Construction in Universities from a Digital-Governance Perspective[J]. *Modern Distance Education*, 2022, 40(3): 56-65.
- [18] GRELLER W, DRACHSLER H. Translating Learning into Numbers: A Generic Framework for Learning Analytics[J]. *Educational Technology & Society*, 2012, 15(3): 42-57.



DENG Xiaoheng, born in 1974, Ph.D., professor, Ph.D supervisor, is a outstanding member of CCF (No. 05789D). His main research interests include AI, edge computing, Internet of Things, big data and online social network analysis.



YU Zhan, born in 1975, lecturer. Her main research interests include teaching management and education theory.

(责任编辑:何杨)