

人智协同赋能大规模因材施教的生态构建与路径创新

兰国帅¹ 蒋顷烁¹ 郑明扬¹ 肖琪¹ 宋帆¹ 张一春²

(1. 河南大学 教育学部, 河南开封 475004; 2. 南京师范大学 教育科学学院, 江苏南京 210097)

【摘要】 人工智能正推动教育系统性转型,其核心在于破解规模化供给与个性化需求之间的矛盾。本研究立足从“工具应用”走向“生态重塑”的范式转型背景,聚焦“人智协同”如何通过结构性变革驱动“大规模因材施教”从理想迈向实践。文章梳理了人智协同教育从“智能工具”到“协同伙伴”的演进脉络,指出现有研究正从效能验证转向范式构建;建构了整合“角色定位—交互模式—数据驱动—伦理协同”的四维理论框架,阐释了“教师主导—人工智能赋能—学生中心”三元主体协同的内在机理;提出了“教师—人工智能—学生”三元协同教学系统的实践路径,并通过对比分析国内外典型实践案例,提出文化适应性、技术普惠性与育人本真性等启示。人智协同教育的本质是构建以人的全面发展为中心、以教师专业智慧为主导、以人工智能为增强伙伴的智能教育新生态,能为实现教育规模与个性、公平与质量的双重跃升提供理论和实践参考。

【关键词】 人智协同;因材施教;教育范式转型;混合智能;智能教育生态;教师人工智能素养;三元协同教学系统

【中图分类号】 G434

【文献标识码】 A

【文章编号】 1007-2179(2026)02-0055-11

一、问题提出

“大规模因材施教”从理想范式迈向普遍实践仍存在较多研究缺口。一是系统整合度不足。多数研究关注单一技术或孤立场景,尚未系统整合教师、人工智能、学生、课程、环境等多要素并形成重塑教育生态的宏观理论框架(Wang et al.,

2023)。二是对长期影响的关注不足。现有实证研究多聚焦短期认知效果,对人工智能如何长期影响学生的元认知、社会情感和自主性关注不足;伦理风险多作为事后反思,而非协同设计的前置核心原则(Fan et al., 2024)。三是亟待探索本土化协同创新路径。当前理论模型与实践案例多源自西方语境,如何基于中国大规模班级教学现实、文化特质

【收稿日期】2026-01-22

【修回日期】2026-01-25

【DOI编码】10.13966/j.cnki.kfjyyj.2026.02.006

【基金项目】 2025年度全国教育科学规划项目国家一般项目“人智协同赋能大规模因材施教的有效模式与推进策略研究”(BCA250070)。

【作者简介】 兰国帅,博士,副教授,博士生导师,河南大学教育学部,研究方向:智能技术教育应用、教育数字化转型、教育人工智能、技术赋能的教师数字化能力建设与专业发展等(cqdxlgs@163.com);蒋顷烁,硕士研究生,河南大学教育学部,研究方向:智能技术教育应用;郑明扬,硕士研究生,河南大学教育学部,研究方向:智能技术教育应用;肖琪,硕士研究生,河南大学教育学部,研究方向:智能技术教育应用;宋帆,硕士研究生,河南大学教育学部,研究方向:智能技术教育应用;张一春,博士,教授,博士生导师,南京师范大学教育科学学院,研究方向:智能技术教育应用。

【引用信息】 兰国帅,蒋顷烁,郑明扬,肖琪,宋帆,张一春(2026).人智协同赋能大规模因材施教的生态构建与路径创新[J].开放教育研究,32(2):55-65.

和政策体系, 建构具有本土适应性与可操作性的协同路径, 是我国教育发展面临的重大现实课题(祝智庭等, 2023a)。本研究旨在探讨如何超越分散的“工具应用”, 通过系统性的“生态构建”范式, 推动“大规模因材施教”从理想走向实践。

二、理论框架构建

破解大规模因材施教的难题, 关键在于构建能够系统阐释人智协同内在机理的分析框架。为此, 本研究从生态系统的整体观出发, 超越单一的“工具—效能”研究范式, 提出由“角色定位、交互模式、数据驱动、伦理协同”四维度构成的整合性理论模型(见图1)。该框架旨在将人智协同视为动态、进化的教育关系网络, 为后续的路径设计与案例解析提供依据。

(一) 角色定位: 从功能分配到关系重构

人智协同的核心在于角色与关系的再定义。本研究构建了“教师主导—学生中心—人工智能赋能”的三元主体协同网络。

1) 教师的角色演进: 从“知识权威”到“协同设计师”与“育人督导者”。教师的专业价值不再局限于知识传授, 而是升至更高阶的职责: 一是学习过程的设计师, 即负责确立育人目标、规划混合学习路径, 创设能激发学生高阶思维的真实任务情境; 二是人智协同的督导者, 即具备人工智能素养, 能够审慎选择、整合与评估人工智能工具, 引导学生与人工智能互动中发展批判性思维与元认知能力; 三是情感价值与伦理的守护者, 即为学生

提供机器难以替代的情感支持、社会互动与价值引领, 干预算法决策可能存在的偏见。

2) 学生的角色深化: 从“被动接受者”到“主动建构者”与“协同调节者”。在人智协同环境中, 学生被赋予更大自主权: 一是自我导向的学习主体, 即在与个性化学习路径和资源的互动中, 明确目标、监控进程并调节策略; 二是人智协作的积极参与者, 即与人工智能进行深度对话、共同解决问题, 而非仅将其视为答案生成器。研究表明, 与人工智能进行迭代式、高互动性的协作, 能比线性使用带来更好的学习成效(Nguyen et al., 2024); 三是自身数据的共同管理者, 即理解学习分析的意义, 并参与对个人学习模型的塑造与反馈。

3) 人工智能的角色定位: 从“静态工具”转向“动态赋能伙伴”。人工智能应根据任务情境和教学目标灵活适配角色, 主要体现为三类赋能者: 一是作为“个性化导师”(如智能辅导系统), 即通过领域模型与学生模型, 提供自适应的内容推送、即时反馈与针对性练习, 承担大量程序性、重复性的教学辅助工作(Crompton et al., 2023); 二是作为“创造性协作者”(如生成式人工智能), 即在写作、编程、艺术创作等过程中, 充当头脑风暴伙伴、草稿生成器或细节优化助手, 拓展学生创造性思维的边界(Lee, 2022); 三是作为“分析性洞察伙伴”, 即通过多模态学习分析, 为师生提供难以察觉的学习状态(如参与度、情绪变化、认知负荷模式)可视化报告, 支持数据驱动的教学决策与自我调节(Dickler et al., 2021)。

(二) 交互模式: 从线性辅助到深度协同

人智交互的深度直接影响协同效能。本研究将交互模式理解为从浅层到深层的连续谱系, 涵盖“辅助—对话—协作—共融”四个层次。

1) 辅助式交互。人工智能作为被动工具, 响应用户的指令并完成特定任务(如语法检查、习题批改)。交互是单向、事务性的。

2) 对话式交互。人工智能作为主动对话者, 通过自然语言与用户开展交流, 以启发思考、澄清概念或提供情感激励, 如在论文写作中利用 ChatGPT 帮助学生发展论点(Lin et al., 2020)。

3) 协作式交互。人与人工智能围绕共同任务, 分工合作与动态调适。例如, 在复杂问题解决中,

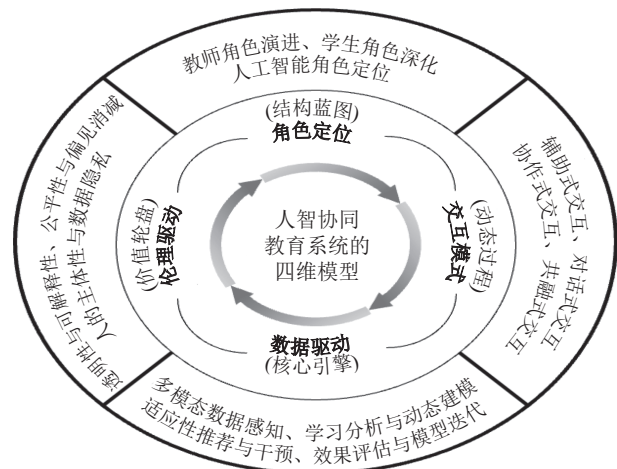


图1 人智协同教育系统四维模型

人工智能负责数据处理与模式发现, 人类负责策略制定与价值判断(Cohn et al., 2025)。混合式人智协同学习调控模型(hybrid human-AI shared regulation in learning, HASRL)即属此类, 人工智能作为代理促进小组的社会性调节(Järvelä et al., 2023)。

4) 共融式交互(前瞻性层次)。人智边界进一步模糊, 形成高度默契的“认知耦合”。人工智能能深度理解教师教学习惯与学生发展目标, 提供前瞻性、情境化建议, 近乎成为教学团队的“延伸心智”。当前研究正朝此方向发展。有效的协同教学应根据教学目标灵活选择并组合不同层次的交互模式, 推动学生从接受支持走向参与协作, 最终实现能力的内化与迁移。

(三) 数据驱动: 闭环赋能与个性化学习生态的构建

数据是驱动人智协同系统实现“因材施教”的“燃料”与“导航仪”。本研究强调构建“感知—分析—决策—干预—优化”的闭环数据赋能体系。

1) 多模态数据感知。综合利用日志数据、文本、语音、表情、眼动、生理信号等多源数据, 刻画学习者的认知、情感、行为与社交状态, 超越仅依赖成绩的单一评价(Zheng et al., 2024)。

2) 学习分析与动态建模。运用教育数据挖掘与学习分析技术, 实时构建并更新“学生知识模型”“认知状态模型”和“情感投入模型”, 精准诊断学生学习困难、预测学业风险(Haridas et al., 2020)。

3) 适应性推荐与干预。基于动态模型, 系统自动推荐最优的学习路径、资源与活动序列(如推荐知识薄弱点微课、适合认知风格的练习), 在关键时刻触发教师或系统干预(如提示、鼓励、脚手架支持)。

4) 效果评估与模型迭代。系统基于学生需求进行个性化推荐与干预, 并通过整合自适应机制持续优化教学支持策略, 形成“数据驱动改进”的良性循环(Butterfuss et al., 2022)。

这一闭环体系使得大规模场景下的“一人一案”成为可能, 并将教师的经验判断与数据的客观洞察相结合, 提升个性化支持水平。

(四) 伦理协同: 可信、公平且以人为中心的价值锚定

技术赋能必须与价值引领同步。伦理协同是实现二者同步的关键, 也是人智协同教育可持续发

展的“压舱石”, 本维度聚焦三大核心原则:

1) 透明性与可解释性。人工智能的决策逻辑(如推荐理由、评分依据)应对教师和学生保持一定程度的透明与可解释性(Weber et al., 2024), 这有助于建立信任, 让教师行使最终的专业裁决权, 纠正可能的算法偏差。

2) 公平性与偏见消减。必须警惕并主动检测、消除训练数据及算法模型中可能存在的性别、地域、社会经济地位等偏见, 确保技术红利惠及所有学生; 关注数字鸿沟, 确保无障碍访问。

3) 人的主体性与数据隐私。始终将促进人的发展(自主性、能动性、创造性)作为最高目标; 警惕技术可能导致的元认知懒惰或技能退化; 建立严格的数据伦理规范, 确保学生的数据所有权、知情同意权与隐私安全, 数据使用应限于教育改进的目的。

角色定位是系统的“结构蓝图”, 决定了协同的基本关系; 交互模式是系统的“动态过程”, 体现了协同的深度与质量; 数据驱动是系统的“核心引擎”, 为精准赋能提供依据; 伦理协同是系统的“价值罗盘”, 确保发展的正确方向。四者相互依存、彼此制衡, 共同构成稳健、高效且负责任的人智协同教育系统理论模型, 为后续的实践路径探索提供清晰的分析框架。

三、“教师—人工智能—学生”三元协同教学系统

构建稳健、高效且可持续的“教师—人工智能—学生”三元协同教学系统, 需要技术工具、教学活动、主体能力与制度环境的协同演进。其核心在于, 通过系统化设计, 促使教师的专业智慧、学生的主动性与人工智能的计算智能深度融合, 形成指向学生全面发展的“增强型”教育合力。

(一) 深度整合: 基于学科特质的智能辅导系统与生成式协同环境

人智协同的基石是技术与教育的深度耦合。教育实践者应根据学科的知识结构、能力目标与教学逻辑, 设计与整合两类核心技术支持环境, 使其从“可用工具”进化为“懂教学的赋能伙伴”。

1. 面向结构化知识领域的智能辅导系统: 实现规模化精准“导学”与“辅练”

在数学、科学、语言基础技能等具有明确知识

图谱与技能序列的领域, 智能辅导系统的价值在于承担可程序化的诊断、练习与反馈工作, 实现“大规模”下的“个性化”支持。其实施路径需聚焦三个关键环节:

1) 构建“教学知识—认知状态”双维动态模型。系统内置基于学科核心素养与课程标准的细粒度领域模型, 将知识点与认知技能(如理解、应用、分析)进行关联编码; 通过前置性诊断、嵌入式测验与过程性行为数据(如响应时间、尝试次数、求助模式), 持续构建并更新学生的动态认知状态模型。研究表明, 精细化的学生模型是智能辅导系统实现有效适应的前提(Erunit et al., 2020)。例如, 在分数运算教学中, 智能辅导系统不仅能判断答案对错, 更能诊断出错误原因, 如概念理解偏差(如不理解分数的意义)或程序性错误(如通分步骤遗忘), 从而提供更具针对性的反馈(Mavrikis et al., 2022)。

2) 设计“解释性反馈”与“适应性脚手架”。智能辅导系统的反馈应超越简单的“对错”判断, 提供基于认知理论的解释性指导。例如, 系统能采用“负面规则建模”方法指出错误类型并生成解释(Sychev et al., 2021)。同时, 反馈应具有“脚手架”特性, 即能根据学生困境提供恰当提示——从一般性鼓励到步骤引导, 促进学生自我纠正与知识建构(Butterfuss et al., 2022)。

3) 推动智能辅导系统与课堂教学流程的“双向融合”。智能辅导系统应是深度融入“课前—课中—课后”的一体化教学闭环。课前, 智能辅导系统的预习诊断数据帮助教师精准定位教学起点; 课中, 教师基于智能辅导系统提供的学情仪表盘, 针对共性难点重点讲解, 并组织学生对个性化问题进行探究; 课后, 智能辅导系统为学生提供量身定制的巩固与拓展练习(Del Olmo-Muñoz et al., 2023)。这种融合模式将教师的集体教学智慧与智能辅导系统的个体化支持能力有机结合, 实现“大班教学”与“个别辅导”的辩证统一。

2. 面向非结构化与创造性领域的生成式人工智能: 作为“思维协作者”与“创作伙伴”

在写作、艺术设计、跨学科项目式学习、开放性问题解决等强调批判性思维、创造性与复杂沟通的领域, 生成式人工智能的核心功能是拓展认知边界、激发创意并支持迭代创作。关键在于设计

引导深度投入的交互框架。

1) 设计“过程导向”与“思维外化”的协作任务。教学设计重点应从“利用人工智能产出结果”转向“在与人工智能互动中发展思维”。例如, 在学术写作中, 教师可要求学生先自行撰写写作提纲, 再让生成式人工智能生成反方观点或寻找逻辑漏洞, 以此训练批判性辩驳能力; 在艺术创作中, 教师可引导学生将人工智能生成的草图作为灵感来源, 分析其美学元素。任务设计应强制要求多轮对话、迭代修改与记录决策过程。

2) 建立明确的“角色契约”与“伦理使用规范”。在任务开始前, 师生需明确人工智能的角色(如“资料调研员”“初稿生成器”“逻辑审查员”“风格实验员”等)及使用准则(如严禁直接将人工智能生成的文本作为自己的作品, 必须标注人工智能协助部分并说明修改过程)。这不仅是学术诚信教育, 更是培养学生与智能体建立负责任协作关系的过程。

3) 开展“协作过程”与“元认知反思”评价。学习评价应大幅增加“人智互动过程”的权重。教师可通过分析学生与人工智能的对话日志、作品迭代轨迹, 评估其提问质量、对人工智能建议的批判性采纳与整合能力。学生撰写“协作反思日志”, 阐明采纳或拒绝人工智能建议的原因, 以提升其元认知与自我调节能力。

(二) 模式创新: 设计梯度化的深度协同混合式教学

多样化教学有助于激活技术环境的效能。教师可依据“交互模式连续体”理论, 设计引导学生从“使用工具”走向“协同建构”的典型教学模式, 形成可迁移的实践工具箱。

1) 人工智能辅助的差异化练习与即时反馈(辅助式交互), 适用于学习基础知识与技能自动化阶段。教师利用智能辅导系统或自适应练习平台, 分层、分类布置练习任务。系统提供即时个性化反馈, 并自动生成班级与个人学情报告。教师变为学习进度监控者与难点干预者, 将精力集中于设计高阶学习挑战。

2) 人智对话式概念探究与认知冲突解决(对话式交互), 适用于学习概念理解与探讨复杂议题。教师设计引导问题, 学生与聊天机器人或生成式人

工智能进行对话式探究。人工智能通过提问、提供反例或补充背景信息等, 帮助学生暴露并解决认知冲突, 深化概念理解。例如, 学生与模拟历史人物的人工智能对话, 培养多视角思维能力。

3) 人智分工协作解决复杂现实问题(协作式交互), 适用于跨学科项目式学习。例如, 在环保社区设计项目中, 人工智能生成环境影响分析报告与规划方案可视化图表; 学生负责提出核心价值理念(如公平性、文化遗产), 开展社区需求调研, 评估不同方案的社会人文影响并形成最终决策。此类活动可直接培养学生利用“混合智能”协作解决真实世界问题的能力(Cohn et al., 2025)。

4) 基于多模态分析的社会化共享调节支持(迈向共融式交互), 适用于小组协作学习场景。人工智能代理通过分析多模态交互数据(如语音的情感倾向、协同知识图谱)为教师提供小组协作状态仪表盘, 也能以非侵入性方式为小组成员提供反馈, 如“讨论聚焦方案 A, 是否需要考虑方案 B 的长期成本?”“某成员发言次数显著下降, 是否需要调整角色分工?”这种干预旨在促进小组的社会性共享调节能力, 提升学生的元协作技能(Edwards et al., 2024)。

(三) 能力发展: 实施贯穿职前职后的教师人工智能素养培育与嵌入式学生数字公民教育

三元协同系统的稳定与高效运行, 根本上取决于教师与学生作为人类主体的能力, 需要建立体系化、持续性的专业发展与教育干预机制。

1) 构建教师人工智能素养的“意识—能力—创新”培养体系。教师的人工智能素养应包含基础应用层、整合设计层和伦理领导与创新层。基础应用层指掌握主流教育人工智能工具操作与数据解读能力; 整合设计层指依据教学目标, 批判性选择并设计融入人工智能的混合式教学活动; 伦理领导与创新层指引领校本化实践, 评估技术伦理影响, 并参与改进协同系统。路径包括: 将“教育人工智能导论”与“人智协同教学设计”模块纳入师范生必修课程; 开展基于“设计研究”方法的在职教师工作坊, 聚焦真实教学难题; 组建跨学科“人智协同教学研究共同体”, 通过课例研讨、同行观摩等推动教师发展实践性知识。

2) 开展数字公民教育和将“与人工智能共学”

嵌入学科教学。学生能力培养不能脱离具体学习。学科教学应渗透以下内容: 一是有效协作策略, 包括如何向人工智能提出清晰、具体的指令(基础提示工程), 如何交叉验证人工智能生成信息的准确性; 二是训练批判性思维, 如共同分析人工智能解决复杂物理问题可能出现的建模错误或假设偏差(Wang et al., 2024); 三是数据伦理与隐私保护意识, 即让学生理解个人数据的价值与风险, 知晓自己的数据权利。借助这些“嵌入式”教育途径, 帮助学生成为负责任、有能力的数字时代学习者与协作者。

(四) 机制保障: 构建“宏观引领—中观赋能—微观创新”的多层级治理框架

构建超越课堂与学校边界的、多维度联动的系统性保障体系, 可为大规模、可持续的人智协同教育实践提供持续的动力与稳固的支撑。

国家与区域需从“政策引导”转向“能力供给”与“底座支撑”: 一是集约化供给智能算力与数据服务, 即改变各校“单打独斗”建设机房的低效模式, 由区域统筹建设“教育数据中台”与“人工智能能力开放平台”, 包括向学校集约化提供脱敏数据接口、算法模型与高性能算力支持, 降低人智协同教学的技术门槛与运维成本; 加快研制涵盖技术互操作性、教学适用性、数据伦理和可访问性的教育人工智能产品与服务标准体系, 为采购、评估与监管提供科学依据(教育部, 2018)。二是建立产品准入与监管的“白名单”机制, 即构建教育数字化公共服务体系, 动态升级国家智慧教育平台(教育部, 2022a), 建立教育人工智能产品的动态准入、监测与退出机制, 并由专业机构对进校产品的算法合规性、教学适配度进行定期“体检”, 确保技术服务的稳定性与安全性, 为学校应用提供可信赖的外部环境。

学校应从“项目试点”转向“常态化制度运行”: 一是将协同教学纳入教学管理常规, 即赋予“教学创新与学习技术中心”实质性的管理权限, 制定《人智协同教学工作规程》, 明确教师在协同环境下的备课、授课与辅导标准, 将原本属于“额外探索”的人智协同教学, 确立为学校的常规教学流程。二是建立跨部门资源统筹调配机制, 即打破科层壁垒, 建立以“教学需求”为导向的资源响应机制, 在课表编排、教室使用、设备维护及经费预

算上, 优先保障人智协同教学的需求, 确保技术融入教学畅通展开。

评价与激励应从“质量监测”转向“核心利益挂钩”: 一是重构教师绩效与职称评价体系, 将教师在人智协同教学中的创新投入、数据素养提升及生成的优质数字资源, 列入绩效考核指标, 职称评聘增列“教育技术创新”类或权重, 通过制度性的认可与奖励, 让使用技术的教师在职业发展中切实受益。二是确立增值评价的制度合法性, 即学校评价体系确立基于人智协同数据的“过程性评价”与“增值性评价”, 使其与传统终结性考试成绩有同等效力。这不仅能保障学生在新型学习模式下的权益, 也能为教师探索素养导向的教学提供制度保障。

四、案例分析与启示

前述理论框架与实践路径勾勒了人智协同的理想形态, 但其可行性与适应性需置于教育实践中检验。下文通过国内外典型实践案例的对比分析, 验证与具象化四维理论模型在真实场景中的表现; 审视与反思实践路径在不同文化制度环境下的适用性与挑战; 形成具有普遍指导意义的协同原则与发展启示。

(一) 中国实践: 从“智慧课堂”试点到“平台+生态”的系统推进

我国的人智协同教育实践具有明显的“政府引导、技术集成、规模试点”特征, 正从工具化应用走向系统化生态构建。

1) “智慧课堂”模式: 技术嵌入与教学流程再造。国内许多地区开展的“智慧课堂”项目, 常配备交互式平板、智能终端和本地化教学软件, 核心在于将人工智能技术(如智能测评、资源推荐、学情分析)嵌入“课前一课中一课后”流程, 试图实现基于数据的精准教学。这类实践初步体现了“数据驱动”, 但协同深度多停留在“辅助式交互”, 人工智能主要扮演效率工具, 教师的角色转型与教学设计创新仍面临挑战。

2) 国家智慧教育平台与区域“AI+教育”示范区: 生态化探索。教育部推出的“国家中小学智慧教育平台”汇聚了大量优质资源, 以适应课程教学改革和信息技术发展(教育部, 2022b), 同时引入智

能答疑、学习分析等服务, 旨在构建支撑个性化学习的公共服务基础设施。北京、上海、长三角等地设立的“人工智能+教育”示范区, 尝试进行更深层的制度创新与技术整合。例如, 推动“城市教育大脑”建设, 整合区域学业质量数据、教学资源数据与学生成长数据, 尝试为区域教育治理和学校个性化支持提供宏观洞察(余胜泉等, 2021)。这些实践体现了从“教室单元”走向“区域生态”的系统思维, 但在“教师—人工智能—学生”三元深度协同及如何利用生成式人工智能促进创造性学习仍有巨大探索空间。

3) 本土化智能辅导系统的研发与应用。针对我国大规模班级教学和中高考的现实需求, 国内研究机构与企业开发了数学、英语等智能辅导系统。数学智能辅导系统能针对典型难题进行逐步推理与讲解。这类实践的优势在于高度的文化适应性, 但如何超越“应试辅导”, 与学校课堂教学有机融合并促进高阶思维发展, 是亟待解决的问题。

(二) 国际实践: 从“智能导师”研究到“混合智能”的系统设计

欧美等国的人智协同教育实践起步较早, 其研究与实践注重基础理论与探索特定的协同模式。

1) 美国注重基于实证研究的智能辅导系统与生成式人工智能的教育应用。美国开发了Cognitive Tutor、AutoTutor等具有国际影响力的系统, 并通过随机对照实验验证其有效性(Wijekumar et al., 2012; VanLehn, 2011)。相关研究不仅聚焦认知层面, 而且关注智能辅导系统对学生学业情绪的影响, 即探索元认知调节与学习动机等非认知因素的发展机制(Lehman et al., 2012)。生成式人工智能兴起后, 斯坦福大学等的研究揭示了ChatGPT在解决复杂科学问题上的局限性, 强调人类监督与引导的必要性(Wang et al., 2024)。写作伙伴(Writing Pal)等系统展示了如何将自动写作评价与策略性教学反馈相结合, 展示人智写作技能的深度协作(Butterfuss et al., 2022)。

2) 欧洲注重“混合智能”框架下的协同学习研究。最具特色的是探索社会性、协作性学习情境的人智协同。研究者关注如何将探索性学习环境与结构化智能辅导系统相结合, 提升学生对数学概念的理解和程序性技能(Mavrikis et al., 2022)。

芬兰、英国等国的学者将人工智能视为促进小组协作与元认知调节的智能代理, 而不仅仅是个人导师(Edwards et al., 2024)。这类研究将协同的视角从“个体—机器”扩展到“群体—机器”。

3) 亚太地区强调技术整合与教师专业发展并重。韩国、新加坡等国高度重视提升教师人工智能素养。韩国系统培训教师如何在人工智能辅助下设计个性化学习方案, 增强学生—人工智能协作对学生学习任务表现的积极影响, 切实提升个性化教学的成效(Asim et al., 2024)。新加坡的智能辅导系统注重学习者的体验与情感投入(Mavrikis et al., 2022)。这些实践表明, 成功的协同不仅需要先进技术, 更需要与之匹配的教师能力发展与教学设计文化。

(三) 启示: 文化适应、技术普惠与教育公平的协同

1) 协同模式需深植文化语境与教育传统, 推动“本土化创新”。西方教育多基于小班制、项目式学习传统, 智能辅导系统鼓励探索与试错; 中国教育具有大班额、重视知识体系掌握与集体效能的特点(祝智庭等, 2023a)。因此, 简单移植国外模式易“水土不服”。中国的教育协同创新应走“融合创生”之路: 借鉴国际前沿的混合智能、社会共享调节等理念, 立足中国课堂教学现实, 发展能有效支持大班教学的差异化指导, 形成将系统化知识传授与创新能力的培养有机结合的本土化模式, 如探索“集体讲授+AI个性化巩固”“小组项目+AI协作支架”等混合教学法。

2) 技术发展需跨越“数字鸿沟”, 致力于“包容性设计”。国内外实践表明, 技术可及性与应用深度不均会加剧教育不公平。欧美重视算法公平性与数字包容性(Wang et al., 2023)。我国城乡、校际差距较大, 未来的人智协同系统设计必须秉持“普惠”原则: 一是技术普惠, 即推动形成轻量化、低成本的解决方案, 以服务薄弱学校; 二是设计普惠, 即系统能适应不同基础设施条件(如离线/在线模式), 关注特殊需求学生的可访问性(Dutt et al., 2022; Baker et al., 2021)。相关政策应鼓励开发开放、互操作的教育类人工智能工具, 避免形成技术垄断与新的壁垒。

3) 生态构建需超越“技术中心主义”, 锚定

“人的全面发展”。无论是我国的平台建设, 还是欧美的混合智能教学, 成功的关键都在于是否形成以“育人”为中心的良性生态。这包括: 将人智协同的目标锚定在促进学生批判性思维、创造力、协作能力与社会情感能力的全面发展上(Fan et al., 2024), 警惕“唯分数”的智能强化; 坚持“教师主导”路径, 增强教师整合智能技术的专业知识与自信方面的核心作用(Shin, 2022), 赋能教师成为人智协同的首席设计师; 建立包含伦理审查、数据安全、算法审计在内的多主体治理框架, 确保技术发展始终服务于教育公共利益。

五、研究结论与未来展望

(一) 人智协同是实现“大规模因材施教”的可行路径

本研究超越“工具应用”的传统范式, 构建了人智协同赋能大规模因材施教的理论框架与实践路径。

首先, 人智协同教育的本质是生态重塑。本研究建构了“角色定位—交互模式—数据驱动—伦理协同”四维理论模型, 推动人智协同从零散探索走向系统设计。该模型突破了既有研究“单一技术验证”或“孤立场景应用”的局限, 构建了“教师主导—人工智能赋能—学生中心”的三元协同关系, 明确了从辅助、对话、协作到共融的交互连续体, 揭示了“感知—分析—决策—干预—优化”的数据闭环赋能机理, 并将伦理协同从“事后反思”前置为系统设计的核心维度。这一框架不仅是对人智协同教育内在机理的系统解码, 更标志着该领域研究从“效能验证”正式迈入“范式建构”的新阶段。

其次, “教师—人工智能—学生”三元协同教学系统的四重实践路径, 为大规模因材施教从教育理想转化为实践提供了行动方案。本研究将宏观生态构想转化为技术整合、教学模式、主体能力、治理保障四位一体的实施路径: 技术层面提出基于学科特质的智能辅导系统与生成式人工智能的差异化整合策略; 教学法层面设计了梯度化的深度协同混合教学模式; 能力层面构建了贯穿职前职后的教师人工智能素养培育与嵌入式学生数字公民教育体系; 制度层面形成了“宏观引领—中观赋能—

微观创新”的多层级治理框架。这一路径回应了“如何协同”的实践难题。

最后,本研究通过国内外对比提炼出“文化适应性、技术普惠性、价值人本性”三大核心原则,为中国特色的智能教育生态建设提供指引。研究发现,国际经验长于深度协同机制探索,中国优势在于大规模推进与系统集成。中国语境下的人智协同模式必须深植中国大班教学现实与集体效能文化,发展“集体讲授+AI个性化巩固”“小组项目+AI协作支架”等本土化混合教学法;技术发展必须坚持包容性设计,以轻量化、低成本方案跨越数字鸿沟;生态构建必须锚定人的全面发展,警惕“元认知懒惰”与算法偏见,确保教师始终是教学系统的首席设计者与伦理守护者。

(二)情感计算、跨学科协作与长期影响评估

人智协同教育研究方兴未艾,未来应深化探索,以推动新生态的成熟与完善。

1)情感计算与社交性人工智能的深度融合。当前系统对学习的情感状态(如困惑、挫败感、心流体验)的精准识别与适应性反馈仍处于初级阶段(Zheng et al., 2024)。未来研究需探索多模态情感计算技术与教育场景的深度结合,开发能理解并响应学生情感与社会性需求的“共情型”人工智能伙伴,以支持全人发展(Lin et al., 2012)。

2)跨学科、跨场景的协同模式创新。未来研究需探索人智协同在STEAM教育、跨学科项目式学习、社会实践等复杂、开放场景中的应用模式(Cohn et al., 2025)。设计支持复杂问题解决与人工智能进行动态分工、共同调节的框架与环境,是其中的重要课题(Edwards et al., 2024)。

3)评估长期教育影响与伦理风险,包括:开展纵向研究,系统考查长期使用人智协同系统对学生元认知能力、自主学习习惯、创造性思维、社会情感技能乃至职业认同的深层影响;建立对算法公平性、数据隐私、人智依赖关系等潜在伦理风险的常态化监测与评估机制(Wang et al., 2023)。

4)构建本土化理论体系与实践路径,包括:立足中国国情,探索将中华优秀教育思想(如“因材施教”“教学相长”)与智能技术融合的创新路径,发展具有中国特色、能够有效解决中国教育实际问题的“人智协同”理论与模式。

(三)政策建议:构建“国家—学校—企业—家庭”协同推进机制

人智协同教育的规模化与可持续发展,本质上是一项复杂的系统性工程。其成功落地与效能发挥,有赖于构建由政府宏观引领、学校实践创新、企业技术赋能、家庭协同参与的多层级、多主体协同推进机制。

1. 国家与区域层面:强化战略引领,夯实基础设施与标准体系

政府应扮演“顶层设计者”与“公共产品提供者”的双重角色,为人智协同教育的健康发展廓清航道、筑牢基石。

1)制定前瞻性专项规划与伦理准则:在“人工智能+教育”国家战略框架下,出台更细化的专项实施规划,明确阶段性目标、重点任务与责任分工;研制并发布国家层面的《教育人工智能应用伦理指南》《教育数据安全与隐私保护规范》,为技术研发、应用与数据治理划定清晰的伦理红线与法律边界,防范算法偏见、数据滥用及“元认知懒惰”等风险(Fan et al., 2024);关注技术普惠,设立专项基金支持农村地区、偏远县域及薄弱学校的基础设施建设与教师人工智能素养专项培训。

2)构建开放互操作的技术标准与资源体系:为避免形成新的“数据孤岛”与技术壁垒,加快建立教育人工智能产品与服务的互操作性标准、教学适用性评估框架及学习数据分析模型标准(祝智庭等, 2023b);坚持将顶层设计谋划与应用实践创新相结合,把智慧教育平台打造成推动教育数字化转型的重要引擎(雷朝滋, 2022);鼓励并资助科研机构、高校联合开发高质量、可动态更新的学科知识图谱与开放性自适应学习资源库,并以开源或低成本方式向全社会特别是广大教师开放,降低个性化教学创新的技术门槛与资源成本。

3)深化教育评价改革,牵引育人模式转型:评价“指挥棒”的方向直接决定实践探索的深度。本研究建议:在中高考改革中,积极探索融入基于人智协同学习过程的增值性评价、体现跨学科问题解决能力的项目式作品评价等;认可并鼓励培养学生批判性思维、协作能力与创新素养的教学实践,为学校与教师探索深度人智协同教学模式提供激励与保障。

2. 学校层面: 创新组织文化, 培育校本化实践共同体

1) 设立跨职能的“教学创新与学习技术中心”: 推动学校组织架构革新, 组建由教学领导、学科骨干、数据分析师、信息技术教师及学生代表参与的常设机构(Phillips et al., 2020), 负责制定校本推进策略、组织开展教师专业发展活动、遴选与评估教育技术产品及管理学习数据并保障其伦理使用, 是驱动全校人智协同教学研究与实践的“引擎”和“智库”。

2) 推行“证据驱动、敏捷迭代”的校本实践模式: 改变“一刀切”的推广方式, 鼓励采用设计性研究方法; 支持教师基于真实教学问题, 开展小规模快速原型设计与实践; 收集过程性数据(如学习分析日志、课堂观察、学生访谈)进行持续的效果评估与模式优化, 形成可复制、可论证的校本优秀案例库, 再逐步辐射推广。

3) 构建“家—校—社—企”协同育人新生态: 学校应主动开放, 与具有教育情怀和前沿技术能力的企业、高校及研究机构建立长期、深度的合作伙伴关系, 共同开展行动研究, 开发解决学校实际问题的解决方案; 将家庭纳入协同体系, 通过“家长开放日”、专题工作坊等沟通机制, 明确人智协同教育的价值、过程与伦理边界, 引导家长成为学生理性、健康使用人工智能工具的“第一导师”, 形成育人合力。

4) 建立常态化监测评估与动态调整机制

为确保协同推进机制的有效性, 本文建议建立贯穿“国家—区域—学校”三级的监测、评估与反馈调节系统; 定期发布国家及区域人智协同教育发展报告, 评估其促进教育公平、提升教学质量、发展学生核心素养等方面的实效, 揭示存在的问题与挑战; 动态调整相关政策、资源配置与推进策略, 形成“规划—实施—监测—评估—改进”的政策闭环, 确保人智协同教育实践沿着科学、理性、以人为本的轨道稳步前行。

[参考文献]

[1] Asim, S., Kim, H., & Aedo, C. (2024). Teachers are leading an AI revolution in Korean classrooms [EB/OL]. (2024-10-30) [2026-02-08]. <https://blogs.worldbank.org/en/education/teachers-are-leading-an-ai-revolution-in-korean-classrooms>.

[2] Baker, D. L., Ma, H., Polanco, P., Conry, J. M., Kamata, A., Al Otaiba, S., Ward, W., & Cole, R. (2021). Development and promise of a vocabulary intelligent tutoring system for Second-Grade Latinx English learners[J]. *Journal of Research on Technology in Education*, 53(2): 223-247.

[3] Butterfuss, R., Roscoe, R., Allen, L. K., McCarthy, K. S., & McNamara, D. S. (2022). Strategy uptake in writing pal: Adaptive feedback and instruction[J]. *Journal of Educational Computing Research*, 60(3): 696-721.

[4] Cohn, C., Snyder, C., Fonteles, J. H., Ashwin, T. S., Montenegro, J., & Biswas, G. (2025). A multimodal approach to support teacher, researcher and AI collaboration in STEM plus C learning environments[J]. *British Journal of Educational Technology*, 56(2): 595-620.

[5] Crompton, H., & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: The state of the field[J]. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1): 1-22.

[6] Del Olmo-Muñoz, J., González-Calero, J. A., Diago, P. D., Arnau, D., & Arevalillo-Herráez, M. (2023). Intelligent tutoring systems for word problem solving in COVID-19 days: could they have been (part of) the solution?[J]. *ZDM-Mathematics Education*, 55(1): 35-48.

[7] Dickler, R., Gobert, J., & Sao Pedro, M. (2021). Using innovative methods to explore the potential of an alerting dashboard for science inquiry[J]. *Journal of Learning Analytics*, 8(2): 105-122.

[8] Dutt, S., Ahuja, N. J., & Kumar, M. (2022). An intelligent tutoring system architecture based on fuzzy neural network (FNN) for special education of learning-disabled learners[J]. *Education and Information Technologies*, 27(2): 2613-2633.

[9] Edwards, J., Nguyen, A., Lämsä, J., Sobocinski, M., Whitehead, R., Dang, B., Roberts, A. S., & Järvelä, S. (2024). Human-AI collaboration: Designing artificial agents to facilitate socially shared regulation among learners[J]. *British Journal of Educational Technology*, 56(2): 712-733.

[10] Erumit, A. K., & Cetin, I. (2020). Design framework of adaptive intelligent tutoring systems[J]. *Education and Information Technologies*, 25(5): 4477-4500.

[11] Fan, Y. Z., Tang, L. Z., Le, H. X., Shen, K. J., Tan, S. F., Zhao, Y. Y., Shen, Y., Li, X. Y., & Gasevic, D. (2024). Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance[J]. *British Journal of Educational Technology*, 56(2): 489-530.

[12] Haridas, M., Gutjahr, G., Raman, R., Ramaraju, R., & Nedun-gadi, P. (2020). Predicting school performance and early risk of failure from an intelligent tutoring system[J]. *Education and Information Technologies*, 25(5): 3995-4013.

[13] Järvelä, S., Nguyen, A., & Hadwin, A. (2023). Human and artificial intelligence collaboration for socially shared regulation in learning[J]. *British Journal of Educational Technology*, 54(5): 1057-1076.

[14] 教育部(2018). 教育信息化 2.0 行动计划 [EB/OL]. (2018-04-

- 25) [2026-01-21]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s33342/201804/t20180425_334188.html.
- [15] 教育部(2022a). 国家智慧教育平台正式上线运行 [EB/OL]. (2022-03-29) [2026-01-21]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s5147/202203/t20220329_611601.html
- [16] 教育部(2022b). “国家中小学智慧教育平台”建设与应用有关工作情况介绍 [EB/OL]. (2022-03-01) [2026-01-17]. http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2022/54251/sfcl/202203/t20220301_603272.html.
- [17] Lee, Y. K. (2022). How complex systems get engaged in fashion design creation: Using artificial intelligence[J]. *Thinking Skills and Creativity*, 46: 101137(8).
- [18] Lehman, B., D'Mello, S., & Graesser, A.(2012). Confusion and complex learning during interactions with computer learning environments[J]. *The Internet and Higher Education*, 15(3): 184-194.
- [19] 雷朝滋(2022). 抓住数字转型机遇构建智慧教育新生态 [J]. *中国远程教育*, (11): 1-5+74.
- [20] Lin, H. C. K., Wang, C. H., Chao, C. J., & Chien, M. K.(2012). Employing textual and facial emotion recognition to design an affective tutoring system[J]. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11(4): 418-426.
- [21] Lin, M. P. C., & Chang, D.(2020). Enhancing post-secondary writers' writing skills with a chatbot: A mixed-method classroom study[J]. *Educational Technology & Society*, 23(1): 78-92.
- [22] Mavrikis, M., Rummel, N., Wiedmann, M., Loibl, K., & Holmes, W.(2022). Combining exploratory learning with structured practice educational technologies to foster both conceptual and procedural fractions knowledge[J]. *Educational Technology Research and Development*, 70(3): 691-712.
- [23] Nguyen, A., Hong, Y., Dang, B., & Huang, X. S.(2024). Human-AI collaboration patterns in AI-assisted academic writing[J]. *Studies in Higher Education*, 49(5): 847-864.
- [24] Phillips, A., Pane, J. F., Reumann-Moore, R., & Shenbanjo, O.(2020). Implementing an adaptive intelligent tutoring system as an instructional supplement[J]. *ETR& D-Educational Technology Research and Development*, 68(3): 1409-1437.
- [25] Shin, D. J.(2022). Teaching mathematics integrating intelligent tutoring systems: Investigating prospective teachers' concerns and TPACK[J]. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(8): 1659-1676.
- [26] Sychev, O., Penskoy, N., Anikin, A., Denisov, M., & Prokudin, A.(2021). Improving comprehension: Intelligent tutoring system explaining the domain rules when students break them[J]. *Education Sciences*, 11(11): 719.
- [27] VanLehn, K.(2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems[J]. *Educational Psychologist*, 46(4): 197-221.
- [28] Wang, H. H., Tlili, A., Huang, R. H., Cai, ZY., Li, M., Cheng, Z., Yang, D., Li, M. T., Zhu, X. X., & Fei, C.(2023). Examining the applications of intelligent tutoring systems in real educational contexts: A systematic literature review from the social experiment perspective[J]. *Education and Information Technologies*, 28(7): 9113-9148.
- [29] Wang, K. D., Burkholder, E., Wieman, C., Salehi, S., & Haber, N.(2024). Examining the potential and pitfalls of ChatGPT in science and engineering problem-solving[J]. *Frontiers in Education*, (8): 133-486.
- [30] Weber, F., Wambsganss, T., & Söllner, M.(2024). Enhancing legal writing skills: The impact of formative feedback in a hybrid intelligence learning environment[J]. *British Journal of Educational Technology*, 56(2): 650-677.
- [31] Wijekumar, K. K., Meyer, B. J. F., & Lei, P. W.(2012). Large-scale randomized controlled trial with 4th graders using intelligent tutoring of the structure strategy to improve nonfiction reading comprehension[J]. *Educational Technology Research and Development*, 60(6): 987-1013.
- [32] 余胜泉, 陈璠(2021). 智慧教育服务生态体系构建 [J]. *电化教育研究*, 42(6): 5-13+19.
- [33] Zheng, J., Li, S., Wang, T. T., & Lajoie, S. P.(2024). Unveiling emotion dynamics in problem-solving: A comprehensive analysis with an intelligent tutoring system using facial expressions and electrodermal activities[J]. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1): 33.
- [34] 祝智庭, 戴岭, 赵晓伟(2023a). “近未来”人机协同教育发展新思路 [J]. *开放教育研究*, 29(5): 4-13.
- [35] 祝智庭, 戴岭(2023b). 设计智慧驱动下教育数字化转型的目标向度、指导原则和实践路径 [J]. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 41(3): 12-24.

(编辑: 魏志慧)

Human-AI Collaboration Enabling Large-Scale Personalized Education: Ecosystem Building and Pathway Innovation

LAN Guoshuai¹, JIANG Qingshuo¹, ZHENG Mingyang¹, XIAO Qi¹,
SONG Fan¹ & ZHANG Yichun²

(1. Faculty of Education, Henan University, Kaifeng 475004, China; 2. School of Educational Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Artificial Intelligence (AI) is driving a systemic transformation in education, revealing a core tension of a mismatch between standardized mass instructions and individualized learning needs. Grounded in the paradigm shift from "instrumental application" to "ecological reshaping," this study examines how human-AI collaboration drives "large-scale individualized instruction" from an educational ideal to reality through structural reform. First, the research traces the evolution of AI in education from "intelligent tools" to "collaborative partners," and observes that current scholarship is evolving from efficacy validation toward paradigm construction. Second, it develops a four-dimensional theoretical framework integrating "role positioning, interaction modes, data-driven mechanisms, and ethical synergy," to elucidate the internal mechanisms of a tripartite synergy among "teacher leadership, AI empowerment, and student-centeredness" Third, the study proposes a practical path for constructing a "Teacher-AI-Student" tripartite collaborative teaching system. This path includes the deep integration of technology based on disciplinary characteristics, innovation of gradual pedagogical paradigms, subject-capability development with multi-level governance safeguards at the "macro-meso-micro" levels. Through a comparative analysis of typical practices both domestically and internationally, the research distills insights shaped by cultural adaptability, technological inclusivity, and the authentic essence of education. The essence of human-AI collaborative education is to construct a new intelligent educational ecosystem centered on holistic human development, guided by the professional wisdom of teachers, and assisted by AI as a trusted augmentation partner. The study provides a theoretical blueprint and practical trajectory for achieving the dual advancements in both educational scale and individuality, as well as equity and quality in education.

Key words: human-AI collaboration; personalized instruction; paradigm shift in education; hybrid intelligence; intelligent education ecosystem; teachers' AI literacy; tripartite collaborative teaching system