

AI+科学教育的应用场景：成效与未来

黄 晓^{1*} 斯楚慧² 黄晨晗²

(1. 浙江师范大学 堪萨斯大学联合教育学院, 金华, 321004;

2. 浙江师范大学 教育学院, 金华, 321004)

摘 要：人工智能（AI）技术的快速发展深刻重塑科学教育体系。本文基于对国内外文献的梳理，总结出 AI 应用科学教育在教学内容生成、学习路径推荐、实验教学支持与教学评价增效四大核心应用场景中的体现。生成式 AI 与多模态技术的结合，拓展了科学知识的表征方式，有助于科学知识的完整理解；智能学习分析与算法模型的自适应功能，支持科学学习路径的个性化定制与动态调整，促进学生认知进阶与科学素养提升；基于虚拟仿真、增强现实和智能评价的科学实验教学，强化了学生在科学实验中的交互体验与思维建构；智能评价、行为识别、智能教学决策则显著提升了教学管理的效率。当前人工智能应用于科学教育仍面临实践适配性不足、深层次思维关注不够、数据伦理等挑战，需要强调 AI+科学教育的范式转变、构建科学教育人机协同场域、关注 AI+科学教育的人文理性。

关键词：人工智能；科学教育；教学内容生成；学习路径推荐；实验教学支持；教学评价增效

人工智能技术的迅速发展正深刻重构教育生态。以 ChatGPT 为代表的生成式人工智能突破了传统人机交互边界^①，推动教育从“工具辅助”向“智能协同”跃迁。在此趋势下，科学教育作为培养创新人才的实践路径，亟须借助 AI 实现探究实践与科学思维系统培养^②，破解科学教育实验资源有限、个性化教学不足等结构性矛盾。

国际上关于 AI 教育应用的研究各有侧重：欧美国家聚焦技术突破（如神经符号系统在认知诊

* 黄晓, huangxiao@zjnu.cn。

① UNESCO. Guidance for generative AI in education and research [M] //Scientific and Cultural Organization, 2023.

② 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准（2022 年版）[M]. 北京, 2022.

断中的创新)、伦理框架构建(如 OECD《数字教育展望 2023》^①),强调开放数据与个体权利保护;中国则关注政策落实与实践运行,围绕“师生 AI 素养提升”“教育资源均衡”等命题展开。中西方研究的技术逻辑与文化背景差异,显示出 AI 应用于科学教育的国际研究成果与中国教育系统的适配性不足。以发展中国家的社会发展水平而言,如何在大班教学、教育资源不均衡等现实制约中,发挥 AI 的结构优化与教育公平促进功能,更具现实意义与全球参照价值。实现上述转型,必须深入理解关于 AI 应用于教育的研究理路。因此,本文通过文献回顾,从人工智能应用于科学教育领域的核心议题中提炼分析框架,据此一探 AI 推动科学教育发展的成效与前景。

为全面识别该领域的研究热点与趋势,采用系统性文献搜集与主题分类方法,以“artificial intelligence”“science education”“STEM”“machine learning”“physics education”以及 AI 应用、科学教育等为关键词,用 AND 和 OR 逻辑多组检索,从 Web of Science、Scopus、中国知网(CNKI)三大数据库中检索到 2015 年至 2025 年 4 月的相关文献 2000 余篇,多轮筛查后剔除了与科学教育无关、与人工智能无关或仅涉及技术的文献。最终保留核心文献 60 篇,涵盖 SCI/SSCI 来源、CSSCI 来源及部分高被引核心期刊的论文。进一步对核心文献的基本信息分类,分析文献关键词频度,识别到四类人工智能在科学教育中的主要应用场景:一是以“内容生成(content generation)”“知识表征(knowledge representation)”等研究主题为中心的教学内容生成,二是聚焦“适切性学习(adaptive learning)”“个性化路径(personalized path)”的学习路径推荐,三是与“模拟(simulation)”“虚拟现实(virtual reality)”技术密切相关的科学实验教学,四是围绕“评价(assessment)”“教师支持(teacher support)”“教育管理(education management)”的教学管理优化。

一、AI 辅助科学教学资源生成:科学知识的多模态全景式理解

教学内容生成的研究在国际上起步较早,且多聚焦于 AI 模型能力与教师实用性的互动机制。Chan 等^②探讨了大语言模型在自动生成 STEM 学科的试题与答案方面的应用潜力,并尝试通过标准提示、思维链提示、带编码语言的思维链提示等可供 STEM 教师借鉴的提示方法提高生成内容的合理性;Nasution^③的研究表明,AI 在科学试题设计中更善于把控认知负荷与语言规范性,有利于减少科学试题开发的人力成本,但需要设置更完备的信效度、难度和区分度评估环节来保障试题质量。Cooper 与 Tang^④从文化资本理论的视角分析 AI 生成的科学图像,发现图像中隐含的文化偏见与科学性错误,表明科学教师在通过 AI 快速生成科学学习资源时,应注意分析内容的科学性,增加训练数据集的多样性。总体来看,研究显示出人工智能在试题开发、图像拟合等科学教学资源生成方面的巨大潜力,生成速度快、内容范围广,有利于提高教学准备效率,但生成内容也必须经过科学教师的专业性审查,相关研究逐步从任务级的 AI 工具使用向内容级的资源生成

① OECD. OECD 数字教育展望 2023: 迈向有效的数字教育生态系统 [M]. OECD Publishing, 2023.

② Chan T W, Liu C H, Wen Y H, et al. Automatic item generation in various STEM subjects using large language model prompting [J]. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2025, (8): 100344.

③ Nasution N E A. Using artificial intelligence to create biology multiple choice questions for higher education [J]. Agricultural and Environmental Education, 2023, (1): em002.

④ Cooper G, Tang K S. Pixels and Pedagogy: Examining Science Education Imagery by Generative Artificial Intelligence [J]. Journal of Science Education and Technology, 2024, (2): 556.

机制设计深化。

国内关于教学资源生成的研究注重实现教学标准的精准匹配与内容实施效率的提升,更多关注教师作为规范调控者与平台整合者的角色。张璐^①提出“支架式+AIGC”的教学设计模型,即教师先搭建结构框架,再借助星火认知大模型与三维数字人辅助完成内容创设与演绎,体现了“生成+调控”的人机协同机制。该模式在小学科学探究课堂中表现出良好的师生互动性与学习投入效果,显著提升了小学生科学探究的参与度。周荣庭等^②基于行动者网络理论,将生成式AI定义为具有“教育参与性”的技术行动者,认为它在课程内容演化过程中不仅是工具,还具备一定主动性,促使教材由“静态文本”向“动态场景”迁移。黄建等^③系统分析了AI对教学设计六要素的影响,指出结合AI开发的教学内容在一定程度上能够增强学生的学习能力和认知能力,提高教学效率和学习效率。

多模态技术采集符号系统的特征向量并对齐语义的能力、大语言模型的语义推理功能,有助于学生构建对微观(如原子、能量)到宏观(如化学反应现象)表征的科学知识的完整理解。探讨AI如何应用于科学教学资源开发,既要从理论层面了解技术能够支持实现的内容生成类型,又要从实践层面考虑科学教师如何运用AI生成课堂讲授、实验探究、项目实践等不同环节需要的内容,并保障生成资源与国际科学共识、我国科学课程标准的一致性:

(1) 生成式AI使科学知识表征情境化。常用的资源生成技术大多依托大语言模型,这些模型具备教学文本、测试题目、课程摘要等内容的快速生成能力,在初步备课、辅助创意、教学脚本撰写中得到了广泛应用。例如,Sora具备的叙事性表达与画面模拟能力,使教学资源从静态图文升级为立体场景^④,模拟真实、复杂的情境,为学生提供沉浸式学习体验,增强知识应用能力。从文本到动态画面的一种跨模态生成方式,进一步重构了教育内容的表达路径。此外,研究指出,应根据教学内容复杂程度和教学目标选择不同类型的生成工具,明晰智能赛博格技术、智能创作技术、智能它异技术与智能背景技术在教育实践中的定位^⑤,根据教学需求灵活整合策略介导、符号介导、社会介导与神经介导的智能代理(intelligent agent)作用,使技术意向性与人的意向性保持一致。

(2) 教师不仅是技术用户,更是教学内容的共同开发者。从教师与人工智能在教学资源生成中的分工合作关系来看,教师专业性充分体现在对学习者的认知图式水平、重难点内容的识别,对AI生成资料的解释,以及对条件化知识的补充。Blonder等分析了科学教师与ChatGPT围绕科学课程开展展开的对话,探究生成式AI在评估教师的学科教学知识(PCK)方面的应用^⑥,并发现

① 张璐,陈璐璐,张乐. 支架式教学策略支持AIGC生成课程资源的实践探索:以“解剖水葫芦”校本课程为例[J]. 中小学科学教育, 2024, (3): 58.

② 周荣庭,黄悦然,吴尚儒. 生成式人工智能重塑科学教育模式:基于行动者网络理论的馆校合作研究[J]. 现代远程教育, 2024, (1): 21.

③ Huang J, Zhang W, Li F. Connotation analysis and paradigm shift of teaching design under artificial intelligence technology [J]. E-education Research, 2021, (7): 38.

④ 张路正,方雨菲,陈巧妹. 生成式AI赋能教育:未来图景、现实审思与善治方略——以ChatGPT和Sora为视角展开[J]. 郑州师范教育, 2025, (2): 45.

⑤ 高意博,黄甫全,刘大军. 新课标下AI赋能义务教育课程高质量发展[J]. 湖南师范大学教育科学学报, 2022, (5): 80.

⑥ Blonder R, Feldman-Maggor Y, Rap S. Are they ready to teach? Generative AI as a means uncover pre-service science teachers' PCK and enhance their preparation program [J]. Journal of Science Education and Technology, 2024, (12): 1.

教师会在 AI 生成的内容基础上反思教学设计,有利于 PCK 的发展。Exintaris 等^①进一步指出,引入元认知支架促进对 AI 生成内容的批判和反思,不仅不会消解教师的教学主导地位,还能够激发学生的深层次认知。在与人工智能的协作中,科学教师的角色被重新定位,尤其聚焦于对教学资源的科学解释力与对课堂的系统组织力^②。

生成式人工智能在一定程度上重塑了教学资源开发的流程与教学中的角色配置。从工具维度看, AI 生成内容不仅限于文本,还包括图像、视频等多模态的学习资源,科学表征从静态走向动态、从线性走向沉浸;从教师角色看, AI 的参与更精细化地解构了科学教学设计的环节,而无论作为技术的使用者或竞争者,教师都有必要从教学设计的“下游”向“上游”以至全程参与者转型。同时, AI 生成的教学资源也存在诸多实践问题,例如开放性内容与教学目标的偏差,导致内容虽可用却难以付诸教学实施;科学教师对 AI 生成系统的认知有限,尤其是在提示语设计、生成监测、课堂调控等环节上尚缺乏系统培训与经验迁移;内容合法性与价值中立性问题依旧存在,特别是生物伦理、社会科学等议题, AI 生成的内容有认知误导的风险。

人工智能工具在提升教学资源生成效率、增强内容个性化与情境适应性方面具有显著潜力,但仍然需要提高生成内容的教学适配性,比如,首先由教师规划教学目标、设计指令,由 AI 工具初步生成教学内容,教师再基于学情与课程标准调整提示语,平台进一步执行课标与伦理审查,形成教学可用版本。人工智能正在深刻参与知识生产方式的转型,优化科学教学资源的开发效率与知识面广度,但其本质仍为辅助工具而非教学决策的主导方^③。教师专业判断与制度规范的介入,是保障教学资源科学性、适应性与价值合理性的关键。

二、AI 定制科学学习路径:引导科学学习进阶与科学素养提升

科学知识体系包含从基础概念到复杂原理、从观察实验到理论建模的多个层次,不同科学学习者的知识基础、认知能力与学习风格迥异,科学学习进阶应基于个性化的科学学习路径。智能学习分析技术的突破性进展使得个性化学习得以实现。人工智能通过数据驱动,密集感知学生的学习行为、认知特征与兴趣偏好,从而为不同学生量身定制学习路径,实现因材施教。从数据驱动的学习路径生成、学习路径的动态调整与反馈机制、科学素养导向的学习路径构建等三个方面探讨 AI 如何应用于定制个性化的科学学习路径。

(一) 数据驱动的个性化学习路径生成

个性化学习路径的生成依赖于 AI 对多模态数据的采集与分析。在科学教育中,学生的学习行为数据(如实验操作记录、建模过程数据、课堂互动数据等)是构建路径的重要依据。Abbes 等^④的研究证实,生成式 AI 能够通过分析学生的认知风格与兴趣偏好,生成个性化的学习内容,

① Exintaris B, Karunaratne N, Yuriev E. Metacognition and Critical Thinking: Using ChatGPT-Generated Responses as Prompts for Critique in a Problem-Solving Workshop (SMARTCHEMPer) [J]. Journal of Chemical Education, 2023, (7): 2972.

② Huang J, Zhang W, Li F. Connotation analysis and paradigm shift of teaching design under artificial intelligence technology [J]. E-education Research, 2021, (7): 38.

③ 杨洁. 从 ChatGPT 到 Sora:生成式人工智能对知识生产的影响 [J]. 科技管理研究, 2025, (3): 177.

④ Abbes F, Bennani S, Maalel A. Generative AI and Gamification for Personalized Learning: Literature Review and Future Challenges [J]. SN Computer Science, 2024, (8): 1154.

提高学生的学习动机。Akhmadieva 等进一步指出, AI 能够增强学习动机、促进科学概念理解, 通过个性化和适应性学习路径, 显著提高学生在复杂科学任务中的表现^①。例如, Pesovski 等开发的“Adaptive STEM Learning System”^②通过分析学生的认知风格与兴趣偏好, 将科学课程内容转化为不同风格的学习资源, 显著提升了低成就学生的学习成效。Clark 与 Tafini 在化学教育中引入 AI 对话, 结合眼动追踪与语音交互技术, 分析学生的行为数据(如停留时间、错误率)与情感数据(如语音语调), 实时推送个性化提示^③, 帮助学生修正认知误区。

(二) 学习路径的动态调整与反馈机制

科学学习路径的动态调整与实时反馈, 旨在适应学生认知发展的阶段性特征。Ariely 等^④研究以生物学中的“因果—机械解释”为例, 开发基于自然语言处理技术的自动化表现性评价系统, 动态捕捉学生在回答问题时产生的科学解释, 结合人工细粒度标注评分与基于算法的无监督聚类, 识别不同学生的科学解释模式并生成针对性反馈。Mavroudi 等^⑤的研究验证了机器学习在科学开放式问题评分中的有效性, 实时诊断学生的知识短板, 有助于构建学习者画像, 追踪学生的科学素养在不同情境下的稳定性, 生成教师可操作的学情报告, 并通过算法模型的自适应功能推荐相应水平的学习资源。

动态调整的核心在于反馈机制的设计, 人工智能对学生科学学习行为的实时监测和聚类、推理, 构成了学习路径动态调整与学情反馈的循证基础。Lee 等的研究表明, 人工智能语音助手在科学合作学习中能够与人类学习者共同参与知识构建, 帮助优化学习路径, 促进小组内知识共享与互补^⑥。Li 等通过深度学习人工智能分析学生在科学建模任务中的表现, 识别学生对电荷分布和静电平衡的理解程度^⑦, 证实了人工智能对复杂任务表现的自动评估能力, 可据此提供对症的教学指导。

(三) 科学素养导向的学习路径定制

科学学习路径的设计以发展科学素养为导向。人工智能可为学生提供丰富的科学学习资源和生动的交互体验, 从而加深对科学概念的理解、推动科学探究^⑧。在设计学习路径时, 还需要关

① Akhmadieva R S, Udina N N, Kosheleva Y P, et al. Artificial Intelligence in Science Education: A Bibliometric Review [J]. Contemporary Educational Technology, 2023, (4): 1.

② Pesovski I, Santos R, Henriques R, et al. Generative AI for Customizable Learning Experiences [J]. Sustainability, 2024, (7): 3034.

③ Clark T M, Tafini N. Exploring the AI-human interface for personalized learning in a chemical context [J]. Journal of Chemical Education, 2024, (11): 4916.

④ Ariely M, Nazaretsky T, Alexandron G. Causal-mechanical explanations in biology: applying automated assessment for personalized learning in the science classroom [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2024, (8): 1858.

⑤ Maestrales S, Zhai X, Touitou I, et al. Using machine learning to score multi-dimensional assessments of chemistry and physics [J]. Journal of Science Education and Technology, 2021, (2): 239.

⑥ Lee G G, Mun S, Shin M K, et al. Collaborative Learning with Artificial Intelligence Speakers: Pre-service Elementary Science Teachers' Responses to the Prototype [J]. Journal of Science Education and Technology, 2024, (4): 567.

⑦ Li T, Haudek K, Krajcik J. Utilizing Deep Learning AI to Analyze Scientific Models: Overcoming Challenges [J]. Journal of Science Education and Technology, 2025, (3): 456.

⑧ Dai Y. Negotiation of epistemological understandings and teaching practices between primary teachers and scientists about artificial intelligence in professional development [J]. Research in Science Education, 2023, (3): 577.

注学生科学素养的全面发展,包括科学知识、科学思维、科学态度与责任、科学观念和探究实践等各个方面^①。陈娟娟与陈凯亮^②开发了适配不同学段的“AI+科学建模”学习路径,小学阶段侧重模型概念可视化,初中注重建模结构识别,高中强化模型预测与调节能力,学生科学素养达标率显著提高,表明经过分层设计的“AI+”科学学习方案能够有效支持学生科学素养的进阶发展。模拟实验、虚拟建模等AI应用还有望支持学生在探究过程中自主发现问题、提出假设并验证结论,通过这种基于探究的科学学习,增强批判性思维与问题解决能力。与此同时,也要避免过度依赖技术,发挥学生在探究过程中的自主性与创造性,培养其自主探究能力和创新精神。

尽管基于AI的学习路径推荐技术不断进步,应用于教育实践时仍浮现了一些问题。正如欧盟《通用数据保护条例》(GDPR)等法规反复强调的学生数据主权与透明性,人工智能推荐理由应是可解释、可质疑的。在中国的教育环境下,学生数据收集受到AI技术规范与教育伦理的双重约束,“数据不充分”或“仅供局部使用”使得训练数据集无法实现完全的“个性化”。此外,个性化的学习路径与学校科学课程体系未必兼容,在教师主导着教学内容的统一开发、教学环节设计、学习评价的情形下,学生缺少试验个性化学习方案的场景,科学教师在此类AI应用情境中的角色定位“尴尬”,由于不少研究者提出在人工智能反馈中增加元认知提示,促进学生的自我监控与反思,并有望实现更深层次的迁移式学习与自驱式学习^③,当人工智能能够进一步代理教师的“启发”责任,教师的教学主导地位将被削弱。

AI应用于科学学习路径的研究应进一步优化个性化科学学习路径生成的算法模型,提升对多模态数据的分析能力和学习路径效果测算能力;提升反馈机制的精准性,为学生提供更具针对性的反馈信息;确保路径构建始终以科学素养为导向,将科学思维、探究实践等核心素养融入学习路径的各个环节;关注人工智能技术在不同教育阶段和学科领域的应用差异,探索适合不同情境的学习路径推荐策略;加强教师与人工智能的协同合作,提升教师对人工智能技术的信任度和应用能力。

三、AI支持科学实验教学:探究实践的交互体验与过程反馈

实验教学作为科学教育的关键环节,在培养学生的科学探究能力、实验操作技能及综合科学素养方面具有不可替代的作用。受限于设备、安全、师资等因素,实验教学在实际开展过程中普遍存在“重演示、轻操作”“重结果、轻过程”的问题。以教师演示和讲授为主的方式开展实验教学,也无法全面地捕捉到不同学生的认知变化,遗留下诸多知识盲区。虚拟现实、增强现实、智能交互系统与学习行为分析等AI工具的引入,使实验教学在保障安全的前提下提供更多沉浸式、交互式体验,并对学生实验行为实施全过程追踪式评价。当前,整合人工智能技术的科学实验教学主要沿三条技术路径展开:一是虚拟仿真实验(Virtual Labs),通过构建高度还原的虚拟实验环境,提高实验教学的可及性与灵活性;二是增强现实引导(AR Guidance),在与虚拟情境的

① 范冬萍. 科学核心素养导向下人工智能对科学教育的赋能与挑战 [J]. 科学传播与科学教育, 2023, (4): 24.

② 陈娟娟, 陈凯亮. 计算机支持的科学建模学习: 多学段科学教育中科学和计算思维协同发展路径 [J]. 电化教育研究, 2022, (7): 85.

③ Yin J, Zhu Y, Goh T T, et al. Using Educational Chatbots with Metacognitive Feedback to Improve Science Learning [J]. Applied Sciences, 2024, (20): 9345.

具身互动中提高学生感知、决策和行动的能力；三是智能评估反馈（Intelligent Feedback），建立学生实验过程数据的档案袋，推动实验探究活动的反馈从结果导向向过程导向、思维导向转变。

（一）虚拟仿真：拓展科学实验的测算与推理边界

智能算法和虚拟现实技术提供沉浸式的实验体验，实时监测学生操作，提供精准的反馈和个性化的学习路径。AI 的引入使得虚拟仿真实验能够突破传统实验的限制，支持复杂实验的模拟与参数调整，同时通过数据分析优化教学效果。更重要的是，AI 的智能评估功能能够全面记录学生的学习过程，帮助教师更好地理解学生的学习需求。

Yannier 等设计的混合现实 AI 实验室（Mixed Reality AI Lab）^① 内嵌引导发现、探索建构以及混合型的主动学习任务，并通过计算机视觉算法实时检测学生的实验操作，将行为数据赋予虚拟物体，提供直观、即时的操作反馈，聚焦于关键步骤和变量，帮助学生建立现象与科学原理之间的牢固关联。Thees 等^②的研究表明，增强现实优化了实验数据的呈现方式，从而降低大学物理实验室课程中学生的外部认知负荷，非常适用于复杂实验步骤的可视化演绎。虚拟仿真实验对人力物力资源的依赖更小，所受到的时间空间限制更少，应充分发挥这一优势，将诸如蛋白质结构解析、基因序列编辑等在实际条件下成本较高，但又极具前沿性和专业性的科学实验引入科学课堂，鼓励学生在虚拟环境中基于实验参数开展科学探究^③。史加祥指出，当前小学科学教育中 AI 虚拟实验已有所普及，在身临其境的体验中，学生认知发展和教学目标达成度远超常规课堂采用的图片和视频教学^④。

（二）增强现实：创建可具身交互的虚拟探究场景

AR 通过将虚拟信息叠加到现实场景中，为学生提供直观的学习引导。人工智能算法模型的发展使 AR 技术不仅具备简单展示的功能，更有望实现智能交互，同时适配于单一任务和多项复杂任务协同。AI 驱动的增强现实技术能够深入挖掘学生的学习习惯、认知模式和情感状态，帮助教师更全面地了解学生的学习过程，从而优化教学策略。

Chuang 等^⑤整合聊天机器人（Chatbot）与增强现实技术，形成“虚拟教师+实境展示”的初中生物教学协同模式，显著提升了学生的学习动机和学习效果。Nawaz 和 Sattar^⑥开发的 Geo-AI 平台通过 AI 算法模型自动解析土壤侵蚀等复杂地理数据，支持地理现象预测与建模，结合增强现实技术模拟地层演变实现科学现象的动态可视化，增强学生的沉浸感，从而将抽象概念转化为三

① Yannier N, Hudson S E, Koedinger K R. Active learning is about more than hands-on: A mixed-reality AI system to support STEM education [J]. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2020, (1): 74.

② Thees M, Kapp S, Strzys M P, Beil F, Lukowicz P, Kuhn J. Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses [J]. Computers in Human Behavior, 2020, (7): 106316.

③ 潘杰, 中山皓博. 人工智能及其在生命科学中的应用与展望 [J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2024, (2): 707.

④ 史加祥. 人工智能时代背景下小学科学教育的变革与坚守 [J]. 教育研究与实验, 2024, (2): 45.

⑤ Chuang C H, Lo J H, Wu Y K. Integrating chatbot and augmented reality technology into biology learning during COVID-19 [J]. Electronics, 2023, (1): 222.

⑥ Nawaz M, Sattar F. Utilizing Geo-AI and AR for teaching interdisciplinary courses in Earth science [J]. 2024 IEEE Global Engineering Education Conference, 2024, (5): 1.

维交互的学习情境，为开发基于案例的跨学科合作探究活动提供技术支持。Bönsch 等^①提出了一种整合虚拟工程（Virtual Engineering）技术的工程教育框架，AI 驱动的数字孪生实时计算科学变量数据，通过 VR 设备产生投影，并依托扩展现实技术开发远程协作实验场景，供学生合作完成科学观察和科学探究，解决工程教育中理论与实践脱节、协作不足的问题。增强现实技术将虚拟信息叠加于真实环境，优化教学场景，促进学生对抽象概念的理解，在 STEM 教育中展现出巨大潜力^②，但也存在高成本、设备依赖和教学内容不适配等问题。

（三）智能评估：辅助实验教学中的学习过程分析

智能化评估反馈对学生作业、考试及其他科学学习表现的自动化分析，与人工评价互补。基于机器学习、自然语言处理与多模态分析等 AI 技术手段，教师能够实现对科学学习过程的实时追踪和深度解析，获得比以测验为主的教学评价更全面、精准的学习画像，通过对文本、图像、语音等多模态数据的聚类 and 推理，挖掘学习者隐性的认知方式、操作习惯与思维模式，预测学习问题。

Wilson 等^③基于文本分类的机器学习模型构建了自动化评分系统，用于评估初中生的科学论证能力，尽管在处理高难度任务时存在一定偏差，但借助多组建模技术显著提升了评分的准确性。Zhai 等^④尝试将机器学习应用于科学建模任务的自动评分，在学习任务设计和评价中兼顾不同学生表达方式与认知路径的多样性。Yin 和 Zhu 等^⑤开发的教育聊天机器人引入元认知反馈机制，根据学生的学习表现动态调整问题设置与提示方式，实验结果显示，接受元认知反馈的学生在知识保持、知识迁移、自我效能感等方面的表现显著优于对照组，验证了智能评价反馈工具在促进深层次学习中的潜力。叶枫等^⑥提出的“AI 玩偶”方案，借助云端语音识别与情境感知技术，将人工智能塑造为低年级儿童的实验指导者，在早期科学教育与特殊教育中互动引导效果良好。

人工智能应用于科学实验教学已取得初步成效，但在实际教学场景中仍浮现出不少适配问题，诸如技术嵌入形式僵化、评价维度相对单一，以及教师角色弱化，AI 技术的应用仅在于表层数据的采集和实验过程的可视化，缺乏对学生科学思维路径与问题解决策略的深度建模，难以全面呈现学生在实验过程中的认知冲突、推理方式与合作表现。AI 赋能科学实验教学应构建教师与 AI 相互支撑的实验教学生态，开发融合虚实情境的实验平台，发挥科学教师在规划教学目标、解释评价反馈与调整教学策略方面的专业性，实现技术与教育逻辑的深度协同。

① Bönsch J, Greif L, Hauck S, et al. Virtual Engineering: Hands-on Integration of Product Lifecycle Management, Computer-Aided Design, eXtended Reality, and Artificial Intelligence in Engineering Education [J]. Chemie Ingenieur Technik, 2024, (11): 1460.

② Al-Azawi R, Albadi A, Moghaddas R, Westlake J. Exploring the potential of using augmented reality and virtual reality for STEM education [J]. Communications in Computer and Information Science, 2019, (5): 36.

③ Wilson C D, Haudek K C, Osborne J F, et al. Using automated analysis to assess middle school students' competence with scientific argumentation [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2023, (1): 38.

④ Zhai X, He P, Krajcik J. Applying machine learning to automatically assess scientific models [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2022, (10): 1765.

⑤ Yin J, Zhu Y, Goh T T, et al. Using Educational Chatbots with Metacognitive Feedback to Improve Science Learning [J]. Applied Sciences, 2024, (20): 9345.

⑥ 叶枫，胡程，黄倩，等。基于云服务的 AI 玩偶的研究及在教育教学中的应用 [J]. 计算机工程与科学，2018，(S1): 72.

四、AI 驱动科学教学评价：从数据分析到智能决策

相较于教学内容生成、学习路径推荐等直接作用于教学的教育活动，AI 赋能教学评价应用路径亟待明晰。教师往往用事后评价、总结性评价取代教学过程中的形成性评价、诊断性评价，AI 赋能教学评价应用主要聚焦于三类场景，即自动化评价、行为识别与决策辅助。

（一）智能评价：提高科学学习诊断的精度与效度

教学评价是衡量教育质量、监测学生学习进展的关键环节，AI 不仅能智能化处理大量数据，提供客观、精准的评价结果，还能通过深度学习和预测模型，识别科学教育的隐性影响因子，帮助制定个性化教学策略。

科学论证能力自动评分系统从证据使用、推理逻辑与语言结构等多个核心维度评估学生的科学论证表现，评估结果与教师观点高度一致，Ariely 等^①将生物学解释分解为 9 项核心要素，训练后的评分模型准确率高，表明人工智能算法模型能够通过自然语言处理、机器学习等技术，准确捕获学生文本中因果关联、证据引用、反驳结构等论证要素，快速识别完整解释、因果连接缺失、因果链要素缺失、非解释性回答等典型的科学解释模式，可有效模拟专家评估，从而将教师主导的教学评价转化为评价标准稳定、评价过程可复现的学情诊断。Nguyen 发现，与生成式人工智能对话事实上充当了学习者显性化自身的内部思考过程、思维逻辑的支架，从而引发自我调节学习^②。Tang^③基于生成式人工智能在语言与读写能力评估方面的技术优势，总结出交互式阅读与写作、对话式学习、跨语言教学、多模态表征构建等几类人工智能在科学教育中的应用路径。

（二）行为识别：解析学习特征以支持过程性教学干预

课堂行为是学生学习投入的外在表现，也是衡量教学质量的重要指标。早期的课堂行为数据多依赖于研究人员的现场听课或教学视频的人工记录与编码，受到人工智能赋能的行为研究正从人工标注向智能分析、从单一维度向多维度交叉互证转变，从海量行为数据中挖掘学习习惯、认知模式和情感状态等学习者特征。

人工智能技术支持的科学学习使真实性学习能够在相对可控的条件下规模化开展，并自动记录和解析学生在解决问题过程中的行为数据，对学习状态实时干预、分层反馈，支持“以学生为中心”的教学组织重构。例如，对科学论证等复杂认知过程的人工评价往往耗时且主观性强，研究者通过机器学习和认知诊断模型识别学生科学论证的不同认知模式、技能掌握模式，区分了同样总分的学生在认知、技能方面的个体差异，据此设计教学干预手段。在多语言课堂中，人工智能可识别学生在不同语言间切换的行为模式，助力教师理解学生语言需求和科学理解水平，从而

① Ariely M, Nazaretsky T, Alexandron G. Causal-mechanical explanations in biology: applying automated assessment for personalized learning in the science classroom [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2024, (8): 1858.

② Nguyen H, Nguyen A. Reflective Practices and Self-Regulated Learning in Designing with Generative Artificial Intelligence: An Ordered Network Analysis [J]. Journal of Science Education and Technology, 2024, (12): 1.

③ Tang K S. Informing research on generative artificial intelligence from a language and literacy perspective: A meta-synthesis of studies in science education [J]. Science Education, 2024, (5): 1329.

提供个性化教学支持,优化互动,增强跨文化理解^①。Zhai^②提出,人工智能可以通过分析学生互动数据、识别行为模式,找出需要额外帮助或指导的学生,判断学生的情绪状态,辅助教师施加教学支持和情感干预。

(三) 教学决策:基于智能化、可解释的教学过程评价

传统教学决策模式多依赖教师的个人经验,而人工智能在加工多模态数据、整合全球优质教育资源等方面表现出色。随着对话式人工智能应用程序的普及,更多教师开始在日常教育管理中实施人机协同的教学决策。

Ahmed^③和Chen等^④致力于用机器学习算法预测学生学业表现,学习者特征选择降低了教育大数据中的信息冗余,基于预测结果设计分层教学内容,为优化教学资源配置提供决策依据,也可支持教师评价、课程评价等教育决策场景。Campbell等^⑤利用自然语言处理技术分析学生关于钟摆实验的书面回答,帮助教师快速识别班级对核心概念的理解差距,调整课程设计。Li等^⑥采用自然语言处理模型自动标注学生科学解释中的科学概念,认知网络分析以概念为节点、以概念间的共现关系为边生成网络模型,分析知识整合高阶和低阶水平学生的概念网络特征,并发现AI对话中的自适应提示能够引导学生逐步修订其科学解释,从描述性解释转向机制性解释、从宏观(如光能)转向微观(如化学能)机制解释。物理、化学等科学学科的语言具有区别于日常语言的特性(如抽象、语境依赖、多模态),定性方法在分析科学教育中生成的对话、解释、概念图等大规模语言数据时面临耗时长、难以量化等局限,Wulff认为^⑦可依托大语言模型等人工智能技术更高效地开展语言分析和提供教学反馈,从而做出更明智的教学决策。

AI应用于教学管理虽能减少重复性工作、实现大数据分析,但也须认识到智能技术无法全权代理学校教育的“人治”。因此,应加强教师在AI辅助的教育决策中的主导作用,保障教师对决策方案的审核与修正;建立“数据使用边界”,设立教育数据伦理审查制度,对采集内容、使用频率与应用范围进行制度化规范,避免算法入侵教育生态;完善AI对教育决策的解释,基于大语言模型生成的评价结果或教学建议必须具备可追溯性与可理解性,提高教师、学生、家长对智能管理系统的信任度;人工智能算法模型应注重整合德育神经科学的研究成果,嵌入立德树人的教学管理逻辑,强化对教学情感、师生关系等非量化变量的感知与回应,使AI应用于教育管理体现价

① 赵炬明. 助力学习:学习环境与教育技术——“以学生为中心”的本科教学改革研究之四[J]. 电化教育研究, 2018, (9): 34.

② Zhai X, Haudek K C, Ma W. Assessing argumentation using machine learning and cognitive diagnostic modeling [J]. Research in Science Education, 2023, (2): 405.

③ Ahmed E. Student Performance Prediction Using Machine Learning Algorithms [J]. Applied Computational Intelligence and Soft Computing, 2024, (4): 4067721.

④ Chen Y W, Sun J D, Wang J H, et al. Machine Learning-Driven Student Performance Prediction for Enhancing Tiered Instruction [J]. arXiv preprint arXiv, 2025, (2): 03143.

⑤ Campbell J, Ansell K, Stelzer T. Evaluating IBM's Watson natural language processing artificial intelligence as a short-answer categorization tool for physics education research [J]. Physical Review Physics Education Research, 2024, (1): 010116.

⑥ Li W, Chang H Y, Bradford A, Gerard L, Linn M C. Combining natural language processing with epistemic network analysis to investigate student knowledge integration within an AI Dialog [J]. Journal of Science Education and Technology, 2024, (12): 1.

⑦ Wulff P. Physics language and language use in physics—What do we know and how AI might enhance language-related research and instruction [J]. European Journal of Physics, 2024, (2): 023001.

值观教育的中国特色。

五、科学教育的再出发：人工智能时代的思考

人工智能在科学教育领域的应用已从技术试验的初级阶段，迈入教育生态深层重构的关键时期。AI+科学教育的研究与实践呈现了科学教学资源生成、科学学习路径推荐、AI支持科学实验教学、AI驱动科学教学评价等，拓展了科学教育的边界，这过程中我们需要对科学教育的本质与价值有进一步的思考，需要强调AI+科学教育的范式转变、构建科学教育人机协同场域、关注AI+科学教育的人文理性。

（一）从技术实现走向关系重构：强调AI+科学教育的范式转变

AI对科学教育的影响已不再停留于AI应用于科学教学的“工具性”层面，而是融入教学资源生成、科学学习支持、课程教学评价、教学组织管理等各环节。表现为AI通过内容生成、多模态表征、动态推送显著扩张了科学课程的体量，AI重塑了学习者与知识的关系，学习者不再是被动接受信息的主体，而是在算法、任务、反馈机制等多维度中持续互动的“认知合作者”。教师教学角色也由此发生深层转型，从知识传授者转变为数据理解者、交互设计者与AI生成内容的审校者。可见，AI+科学教育需要面向开放，理解科学教育在传播科学知识的同时，需要引导学生从探究自然科学世界中理解科学、运用方法、建构意义；理解学校科学教育需要在以任务、项目、小组协作为基本单元的教学活动中，进一步发挥AI的学习路径定制功能；理解科学教育不仅解决科学课堂教学某一环节的教学效率问题，还在多元交互中重构了学习者、教师与学习平台之间的新型关系^①。这种关系的重构，也对课程设计、教师角色和教学文化提出新的要求^②，需要思考人（教师、学生）、技术（AI）、制度（教育相关政策倾向）的内在关系，切实实现从“内容为中心”走向“系统协同为中心”的范式转变。

（二）从“对话”应用走向“黑箱”跨越：构建科学教育人机协同场域

当前AI教育产品开发及应用在内容生成、作业批改、学习推荐等环节表现突出，但很难适配学校教学的实际情况，且不符合教师的教学习惯。以DeepSeek、ChatGPT等大语言模型为代表的AI在教育领域中的逐步应用，使用方法是“对话”，基于“对话”间接探索模型在生成学习资源、代理教学评价方面的功能，其中AI充当了教师和学生的认知镜像，无法通过与生成式人工智能对话，暴露师生深层次的思维变化，形成费曼式的学习迁移并激发更高水平的科学认知。算法模型的训练数据集与运算过程处于“黑箱”之内，无法理解“AI如何理解使用者的思想”这一点限制了学生与科学教师自身专业素养的发挥。AI+科学教育，需要跨越“黑箱”，通过“实验教学”“探究学习”“建模评估”等复杂任务专属AI模块的开发与应用，以实现精准识别与有效干预；通

^① Bewersdorff A, Hartmann C, Hornberger M, et al. Taking the next step with generative artificial intelligence: the transformative role of multimodal large language models in science education [J]. Learning and Individual Differences, 2025, (9): 102601.

^② Antonenko P, Abramowitz B. In-service teachers' (mis) conceptions of artificial intelligence in K-12 science education [J]. Journal of Research on Technology in Education, 2023, (1): 64.

过平台打通数据孤岛，实现从教学设计、过程跟踪到学习反馈的全流程一体化协同，构建科学教育人机协同场域，使教师和学生能够根据科学课程开发、科学学习、评价反馈中涌现的科学实践需求，能动地理解、应用以人为本的人工智能意识、人工智能伦理、人工智能底层技术与应用、人工智能系统设计^①，成为负责任的 AI 应用者。

（三）从效率驱动走向价值回归：关注 AI+科学教育的人文理性

针对人工智能应用于科学教育的伦理和价值问题，例如学生数据的隐私保护、教学过程的算法偏见、教师专业判断的边缘化，推动人工智能与科学教育融合的过程中，必须同步进行科学教育价值的澄清与“AI+科学教育”伦理的构建：第一，设立教育技术的伦理边界。AI 介入教学过程，应坚持“可解释、可调控、可审查”的基本原则，确保技术逻辑与教育目标相契合。学生数据不仅是分析资源，更是学生个体权利的体现，必须明确数据的使用边界与信息透明机制。第二，维护教师的专业裁量权与教育主体地位。AI 生成的教学建议应作为教学决策的顾问而非代理，科学教育的最终落点仍应回归教师的专业判断。第三，强调学生对技术的反思与质疑能力。科学教育的核心在于培养探究精神与批判性思维，教师在使用 AI 工具的同时，应引导学生理解技术背后的逻辑、局限与潜在偏见，真正实现“用 AI 学科学、用科学看 AI”，使技术应用始终服务于学生全面发展和教师专业成长^②。

基金项目

浙江省哲学社会科学规划重点课题（22LLXC03Z）成果之一。

作者简介

黄晓，教授、博导，浙江师范大学堪萨斯大学联合教育学院，研究方向：科学教育、国际教育。

斯楚慧，浙江师范大学教育学院博士生。

黄晨晗，浙江师范大学教育学院研究生。

^① Miao F, Shiohira K. AI competency framework for students [M]. Paris: UNESCO, 2024.

^② Ramnarain U, Ogegbo A A, Penn M, et al. Pre-service science teachers' intention to use generative artificial intelligence in inquiry-based teaching [J]. Journal of Science Education and Technology, 2024, (9): 1.

Achievements and Prospects of AI in Science Education Application Scenarios

HUANG Xiao¹, SI Chuhui², HUANG Chenghan²

- (1. Joint Education Institute of Zhejiang Normal University and the University of Kansas,
Jinhua, 321004;
2. College of Education, Zhejiang Normal University, Jinhua, 321004)

Abstract: The rapid development of Artificial Intelligence (AI) technologies is profoundly reshaping the landscape of science education. Based on a comprehensive review of domestic and international literature, this study identifies four core application domains of AI in science education: teaching content generation, personalized learning path recommendation, experimental instruction support, and enhancement of teaching assessment. The integration of generative AI and multimodal technologies expands the representation of scientific knowledge, contributing to more comprehensive understanding. Intelligent learning analytics and adaptive algorithmic models support the personalized customization and dynamic adjustment of science learning paths, promoting students' cognitive development and scientific literacy. AI-powered virtual simulations, augmented reality, and intelligent assessment enhance students' interactive experience and cognitive construction in experimental learning. Moreover, intelligent evaluation, behavior recognition, and intelligent decision-making significantly improve the efficiency of teaching management. Currently, the application of artificial intelligence in science education still faces challenges such as insufficient practical adaptability, insufficient attention to deep-level thinking, and data ethics. It is necessary to emphasize the paradigm shift of AI+science education, build a human-machine collaborative field for science education, and uphold the humanistic rationality of AI+science education.

Key Words: artificial intelligence; science education, teaching content generation; learning path recommendation; experimental teaching support; teaching evaluation efficiency improvement