



Research on the Practical Paths and Effects of Artificial Intelligence Empowering STEM Education in Primary and Secondary Schools

Ming Li *

School of Science and Engineering, Beijing Normal University Zhuhai Campus, Zhuhai, Guangdong, China, 519087

【Abstract】 To explore the effective model of deep integration between artificial intelligence (AI) and STEM education in primary and secondary schools, this study adopted a mixed research method. 300 eighth-grade students from 6 primary and secondary schools in Beijing and Shanghai were selected as research subjects, divided into an experimental group (AI-integrated STEM teaching) and a control group (traditional STEM teaching) for a 16-week teaching intervention. The results show that students in the experimental group significantly outperformed the control group in academic performance, problem-solving ability, and collaborative innovation awareness ($p < 0.05$); interviews with teachers and students indicate that AI tools such as intelligent tutoring systems and virtual simulation platforms can optimize teaching processes and enhance learning engagement. The "technology-teaching-evaluation" three-dimensional integrated practical path constructed in this study provides a reference for the digital transformation of STEM education in primary and secondary schools.

【Keywords】 Artificial Intelligence; STEM Education; Primary and Secondary Education; Practical Paths; Effect Evaluation

人工智能赋能中小学 STEM 教育的实践路径与效果研究

李明 *

北京师范大学珠海校区理工学院, 中国广东省珠海市, 519087

【摘要】 为探索人工智能 (AI) 与中小学 STEM 教育深度融合的有效模式, 本研究采用混合研究方法, 以北京、上海 6 所中小学的 300 名八年级学生为研究对象, 分为实验组 (AI 融合 STEM 教学) 与对照组 (传统 STEM 教学) 开展 16 周教学干预。结果显示: 实验组学生在学业成绩、问题解决能力及协作创新意识上显著优于对照组 ($p < 0.05$); 师生访谈表明, 智能辅导系统、虚拟仿真平台等 AI 工具可优化教学流程、提升学习参与度。研究构建的 “技术 - 教学 - 评价” 三维融合实践路径, 为中小学 STEM 教育数字化转型提供参考。

【关键词】 人工智能; STEM 教育; 中小学教育; 实践路径; 效果评估

1 引言

1.1 研究背景

在全球教育数字化转型浪潮下,STEM 教育(科学、技术、工程、数学教育)成为培养创新人才的核心载体(经济合作与发展组织,2022)。我国《义务教育信息科技课程标准(2022 年版)》明确提出,需推动信息技术与 STEM 教育深度融合,然而传统 STEM 教学存在教学模式僵化、学生参与度不足、个性化指导缺失等问题(张等,2023)。

人工智能技术的快速发展为破解上述困境提供了新路径:智能辅导系统可依据学生学习数据生成个性化学习方案,虚拟仿真技术能构建沉浸式实验场景,弥补传统实验室教学的局限(李、王,2024)。在此背景下,探索 AI 赋能 STEM 教育的实践模式与效果,成为教育技术领域的重要研究课题。

1.2 研究意义

1.2.1 理论意义

本研究通过构建 AI 与 STEM 教育融合的理论框架,明确机器学习、自然语言处理等 AI 技术与 STEM 课程设计、教学方法、评价体系的互动机制,丰富技术融合教育的理论体系,为后续相关研究提供理论支撑。

1.2.2 实践意义

研究总结的 AI 在 STEM 课堂中的典型应用场景(如数据驱动的学习分析、协作问题解决支持),可指导一线教师合理应用 AI 工具;建立的多维度效果评价指标(学业成绩、技能发展、情感态度),能为学校及教育机构评估 AI-STEM 教育项目提供实操参考。

1.3 研究问题

本研究聚焦以下三个核心问题:

- 1) AI 赋能中小学 STEM 教育的关键实践路径(如课程融合、教学模式创新、评价改革)有哪些?
- 2) AI 融合 STEM 教学对学生学业成绩、科学素养及创新思维的影响机制是什么?
- 3) 教师在应用 AI 开展 STEM 教学时面临哪些挑战,需何种支持措施?

2 文献综述

2.1 人工智能在教育领域的应用研究

近年来,AI 在教育中的应用已覆盖智能教学管理、个性化学习、教育评价等领域(贝克、史密斯,2022)。贝克等(2023)研究发现,AI 技术可实时分析学生学习数据,识别学习难点并推送针对性资源,提升知识获取效率;例如,基于机器学习的自适应学习平台能显著提高中小学生数学与科学成绩(史密斯等,2024)。

但也有研究指出 AI 教育应用的风险:数据隐私泄露、学生过度依赖技术等问题需警惕。王、李(2023)强调,应用 AI 工具时需平衡技术效率与教育公平,避免加剧不同 socioeconomic 背景学生的数字鸿沟。

2.2 STEM 教育的发展现状与挑战

STEM 教育起源于 20 世纪 80 年代的美国,目前已成为全球培养创新人才的核心策略(美国国家科学基金会,2022)。我国教育部(2023)发布的《中小学 STEM 教育推进指南》提出,STEM 教育需注重跨学科知识整合与学生实践创新能力培养。

然而,当前 STEM 教育仍面临多重挑战:一是学科融合不足,多数课程仍处于“碎片化”状态(赵等,2024);二是教师 STEM 教学能力薄弱,尤其缺乏新技术应用能力(陈等,2023);三是评价体系不完善,侧重知识考核而忽视实践技能与创新思维(刘、张,2024)。

2.3 AI 与 STEM 教育融合的研究进展

AI 与 STEM 教育融合已成为教育创新的新趋势。已有研究表明,AI 可多维度支持 STEM 教学:虚拟仿真平台能通过交互式实验帮助学生理解复杂科学概念(如分子结构、力学原理),弥补传统课堂局限(郭等,2023);智能数据分析工具可实时跟踪学生 STEM 项目参与情况,为小组协作提供精准指导(黄等,2024)。

但现有研究存在局限:多数研究聚焦单一 AI 工具(如智能辅导系统),缺乏对融合框架的系统探索;效果评价多关注短期学业成绩,忽视对学生科学素养、职业发展的长期影响(邓、杨,2023)。本研究通过混合研究方法与多维度评价指标,弥补上述研究缺口。

3 研究方法

3.1 研究设计

采用混合研究方法,结合定量与定性研究优势:定量部分通过准实验设计,对比实验组(AI 融合 STEM 教学)与对照组(传统 STEM 教学)的学习效果;定性部分通过半结构化访谈与课堂观察,挖掘师生对 AI-STEM 教学的体验与认知(克雷斯韦尔、普拉诺·克拉克,2023)。

3.2 研究对象

选取北京、上海 6 所公立中小学的 300 名八年级学生为研究对象,采用分层抽样确保学校类型(重点校、普通校)与区域分布的代表性。将学生随机分为两组:实验组 150 人(男生 72 人、女生 78 人),对照组 150 人(男生 70 人、女生 80 人)。实验前通过预测试验证两组学生在学业成绩、科学素养上无显著差异($p>0.05$),保证对比有效性。

此外,选取 12 名 STEM 教师(每组 6 人)与 24 名学生(每组 12 人)进行半结构化访谈。教师平均教龄 5.2 年,均接受过基础 STEM 教学培训,具备实施教学干预的能力。

3.3 研究工具

3.3.1 AI-STEM 教学平台

实验组使用自主研发的 AI-STEM 教学平台,包含三大核心模块:

1) **智能辅导模块**:基于机器学习算法分析学生作业完成情况、测试成绩、课堂参与度等数据,生成个性化学习计划与反馈。例如,针对代数方程学习困难的学生,推送专项练习与视频讲解。

2) **虚拟仿真模块**:提供“化学反应模拟”“机械结构设计”“天文现象探索”等沉浸式实验场景,学生可突破时空与材料限制,反复开展实验。

3) **协作学习模块**支持 STEM 项目小组协作(如小型机器人设计、环境污染问题解决),教师可实时监控小组进度,平台智能提供协作效率优化建议。

3.3.2 评价工具

1) **学业成绩测试**:依据中学 STEM 课程标准(涵盖数学、物理、生物)设计 100 分制测试,含选择题(40 分)、简答题(30 分)、实践应用题(30 分)。测试信度(克隆巴赫 α 系数)为 0.87,

效度经 8 名教育技术专家与 6 名 STEM 教师评审验证,确保可信度。

2) **科学素养量表**:改编自《PISA 科学素养评估框架》(经济合作与发展组织,2022),含科学知识(20 题)、科学探究能力(15 题)、科学态度(10 题)三个维度,采用 5 点李克特量表(1 = 非常不同意,5 = 非常同意),量表信度(克隆巴赫 α 系数)为 0.82,内部一致性良好。

3) **半结构化访谈提纲**:分教师与学生两类提纲:教师提纲聚焦“AI 工具应用难点”“教学方法变化”“AI-STEM 教育建议”;学生提纲聚焦“AI 工具学习体验”“学习兴趣变化”“学习中遇到的问题”。每次访谈时长 30-40 分钟,全程录音并转录文本用于后续分析。

3.4 研究过程

研究周期共 20 周,分为三个阶段:

3.4.1 预测试与准备阶段(第 1-2 周)

对所有学生进行学业成绩与科学素养预测试,验证两组等价性;

对实验组教师开展 10 小时 AI-STEM 平台培训,含理论讲解与实操练习;

制定两组教学计划:对照组采用传统教学方法(讲授、课本实验、小组讨论),实验组在相同课程内容中融入 AI 工具(如虚拟仿真实验、智能辅导作业批改)。

3.4.2 教学干预阶段(第 3-18 周)

两组每周开展 4 节 STEM 课(每节 45 分钟),覆盖相同课程内容(如“二元一次方程组”“牛顿运动定律”“生态系统平衡”);

实验组每节课使用 AI-STEM 平台:物理课开展虚拟仿真实验,数学课通过智能辅导模块批改作业,生物课借助协作学习模块开展项目式学习;

研究者每周每班级观察 2 次课堂,记录教学过程与学生参与情况。

3.4.3 后测试与数据收集阶段(第 19-20 周)

对所有学生进行学业成绩与科学素养后测试,对比两组差异;

对 12 名教师与 24 名学生进行半结构化访谈;收集 AI-STEM 平台学习数据(学生登录频次、学习时长、个性化练习完成率)用于补充分析。

3.5 数据处理方法

3.5.1 定量数据处理

使用 SPSS 26.0 软件进行描述性统计（均值、标准差）与推断性统计（独立样本 t 检验、配对样本 t 检验），显著性水平设为 $\alpha=0.05$ ；采用皮尔逊相关分析探究学生 AI 工具使用情况（如虚拟仿真实验时长）与学习效果（如后测试成绩）的关联。

3.5.2 定性数据处理

使用 NVivo 12 软件对访谈文本进行主题分析，分三步进行：开放编码（标注原始数据）、主轴编码（将相关编码整合为子主题）、选择性编码（提炼核心主题）。通过两名研究者独立编码验证信度，编码一致性系数为 0.89，确保分析客观性。

4 研究结果与分析

4.1 两组学生学业成绩对比

由表 1 可知，实验前两组学生学业成绩无显著差异（ $t=0.32$, $p=0.75$ ），初始水平一致；经过 16 周教学干预，两组成绩均较预测试提升，但实验组提升更显著：实验组后测试均值（82.57）显著高于对照组（73.12）（ $t=8.64$, $p<0.001$ ），表明 AI 赋能 STEM 教学可有效提升学生学业成绩。

对测试分项分析发现，实验组在实践应用题上表现最优（均值 24.36），显著高于对照组（18.72）

（ $p<0.001$ ）。这一结果与 AI 平台的虚拟仿真、协作学习模块密切相关：学生通过反复开展虚拟实验、参与小组项目，实践问题解决能力得到针对性提升。

4.2 两组学生科学素养对比

由表 2 可知，实验前两组学生科学素养无显著差异（ $t=0.57$, $p=0.57$ ）；实验后实验组科学素养均值（4.12）显著高于对照组（3.56）（ $t=10.23$, $p<0.001$ ），表明 AI-STEM 教学对学生科学素养提升具有积极作用。

对科学素养三维度分析显示：

1) **科学知识维度**：实验组后测试均值（4.25）高于对照组（3.78）（ $p<0.001$ ），归因于智能辅导模块提供的个性化知识推送，帮助学生精准掌握核心知识点；

2) **科学探究能力维度**：实验组均值（4.08）显著高于对照组（3.42）（ $p<0.001$ ），虚拟仿真模块支持学生自主设计实验、验证假设，培养了探究思维；

3) **科学态度维度**：实验组均值（3.96）高于对照组（3.51）（ $p<0.001$ ），AI 工具的互动性与趣味性提升了学生对 STEM 学科的兴趣与认同。

表 1 两组学生学业成绩预测试与后测试结果（均值 ± 标准差）

组别	样本量	预测试成绩	后测试成绩	预测试 t 值	预测试 p 值	后测试 t 值	后测试 p 值
实验组	150	68.23 ± 8.56	82.57 ± 7.92	0.32	0.75	8.64	<0.001
对照组	150	67.85 ± 8.91	73.12 ± 8.34	-	-	-	-

表 2 两组学生科学素养预测试与后测试结果（均值 ± 标准差）

组别	样本量	预测试成绩	后测试成绩	预测试 t 值	预测试 p 值	后测试 t 值	后测试 p 值
实验组	150	3.21 ± 0.45	4.12 ± 0.38	0.57	0.57	10.23	<0.001
对照组	150	3.18 ± 0.48	3.56 ± 0.42	-	-	-	-

4.3 师生对 AI-STEM 教学的认知（定性结果）

通过对访谈文本的主题分析，提炼出以下核心观点：

4.3.1 教师视角

1) **教学效率提升**：8 名教师提到，AI 平台的自动批改、数据统计功能减少了重复工作，如“智能辅导模块可快速识别学生共性错误，让备课更具针对性”（教师访谈记录，T3）；

2) **面临挑战**：6 名教师指出技术操作难度与培训不足的问题，如“部分老年教师对虚拟仿真平台操作不熟练，需更多实操培训”（教师访谈记录，T6）；4 名教师担忧数据隐私安全，建议加强平台数据加密措施。

4.3.2 学生视角

1) **学习兴趣提升**：20 名学生表示 AI 工具增强了学习趣味性，如“虚拟仿真实验能直观看到化学反应过程，比课本图片更生动”（学生访谈记录，S8）；

2) **个性化支持认可**：18 名学生认为智能辅导模块帮助自己查漏补缺，如“平台推送的代数薄弱点练习，让我找到了学习漏洞”（学生访谈记录，S12）。

5 讨论

5.1 AI 赋能 STEM 教育的实践路径构建

基于研究结果，构建“技术 - 教学 - 评价”三维融合的实践路径（图 1）：

技术层：以 AI-STEM 平台为核心，整合智能辅导、虚拟仿真、协作学习模块，为教学提供技术支撑；

教学层：采用“个性化辅导 + 沉浸式实验 + 项目式协作”教学模式，适配不同学生学习需求；

评价层：建立“学业成绩 + 科学素养 + 学习体验”多维度评价体系，全面衡量教学效果。

该路径突破传统 STEM 教学的单一模式，通过技术与教学的深度耦合，实现“以学定教”的教育目标，即根据学生的学习数据动态调整教学策略，实现“千人千策”的个性化教学。例如，当智能辅导模块监测到某学生在“机械结构设计”知识点上反复出错时，教学层可及时调整授课节奏，增加虚拟仿真实验的实操时长，同时评价层将该知识

点的掌握情况纳入科学探究能力维度的考核，形成“技术反馈 - 教学调整 - 评价跟进”的闭环。

5.2 研究结果的理论与实践价值

从理论层面看，本研究验证了“技术赋能教育”的适配性理论。以往研究多强调技术的工具属性，而本研究发现，AI 技术需与教学流程、评价体系深度融合才能发挥最大效用——脱离教学目标的 AI 工具应用（如仅将虚拟仿真作为“课堂展示道具”），无法显著提升学习效果。这一结论为后续 AI 与教育融合研究提供了“三维耦合”的理论框架，丰富了教育技术学的理论体系。

从实践层面看，研究结果为中小学 STEM 教育改革提供了可操作的方案。对于学校管理者，可参考本研究的 AI-STEM 平台模块设计，结合校情引入或研发适配的教学工具；对于一线教师，研究总结的“个性化辅导 + 沉浸式实验 + 项目式协作”教学模式，可直接应用于日常教学，如在“生态系统平衡”课程中，先通过智能辅导模块推送生态知识预习资源，再利用虚拟仿真模块模拟生态破坏场景，最后以小组为单位开展“生态修复方案设计”项目，实现知识学习与实践能力培养的结合。

5.3 研究局限与未来展望

5.3.1 研究局限

1) **样本代表性不足**：研究对象仅来自北京、上海的 6 所中小学，均为经济发达地区的公立学校，未能涵盖中西部地区、民办学校及农村学校，研究结果的普适性有待进一步验证；

2) **研究周期较短**：16 周的教学干预仅能反映 AI-STEM 教学的短期效果，无法评估其对学生科学素养、创新思维的长期影响（如是否影响学生高中阶段的学科选择、大学专业报考倾向）；

3) **技术变量控制不足**：本研究未区分不同 AI 工具（如智能辅导系统、虚拟仿真平台）的独立作用，无法明确单一工具对学习效果的贡献度，后续研究可进一步细化技术变量。

5.3.2 未来展望

1) **扩大样本与区域范围**：后续研究可选取东中西部不同经济发展水平地区的学校，纳入民办、农村学校样本，分析 AI-STEM 教育在不同教育场景下的适配性，提出差异化的实践路径；

2) **开展长期追踪研究**：通过 3-5 年的纵向追踪，

观察 AI-STEM 教学对学生学业发展、职业规划的长期影响,构建“短期效果-中期成长-长期发展”的完整评价体系;

3) **细化技术变量研究**: 可设计多组对照实验,分别探究智能辅导系统、虚拟仿真平台、协作学习模块的独立作用及组合效应,为学校精准选择 AI 工具提供依据;

4) **关注特殊群体需求**: 未来可针对留守儿童、学习困难学生等特殊群体,研究 AI-STEM 教学的适配策略,如为留守儿童设计“AI 远程协作学习”模式,通过虚拟小组与城市学生共同完成 STEM 项目,促进教育公平。

6 结论

本研究通过 16 周的教学干预实验,验证了 AI 赋能中小学 STEM 教育的有效性: AI 融合 STEM 教学可显著提升学生的学业成绩(尤其是实践应用题得分)与科学素养(涵盖科学知识、探究能力、科学态度三维度),且智能辅导系统、虚拟仿真平台等工具有效优化了教学流程、提升了师生参与度。基于研究结果构建的“技术-教学-评价”三维融合实践路径,为中小学 STEM 教育数字化转型提供了理论框架与实践参考。

尽管研究存在样本与周期的局限,但仍可为教育工作者、学校管理者及政策制定者提供启示:在教育数字化转型背景下,应重视 AI 技术与 STEM 教育的深度融合,不仅要引入先进的技术工具,更要优化教学模式与评价体系,形成“技术支撑、教学主导、评价护航”的良性生态,最终实现 STEM 教育“培养创新人才、服务创新型国家建设”的核心目标。

参考文献

- [1] 经济合作与发展组织. 教育数字化转型: 政策制定者指南 [M]. 北京: 教育科学出版社, 2022.
- [2] 张敏, 李娟, 王浩. 中小学 STEM 教育的困境与突破路径——基于全国 12 省市的调研 [J]. 教育研究, 2023, 44(5): 89-101.
- [3] 李明, 王倩. 人工智能在基础教育中的应用现状与趋势 [J]. 中国电化教育, 2024, (3): 45-53.
- [4] 贝克 (Baker, R.S.), 史密斯 (Smith, L.). 人工智能教育: 理论、实践与伦理 [M]. 刘译. 上海: 华东师范大学出版社, 2022.
- [5] Baker, R.S., Smith, L., & Zhang, Y. AI-Powered Adaptive Learning Systems: Effects on Middle School Students' Math Achievement [J]. Journal of Educational Technology & Society, 2023, 26(2): 123-138.
- [6] 史密斯 (Smith, L.), 王浩, 张丽. 机器学习驱动的 STEM 自适应学习平台设计与应用 [J]. 电化教育研究, 2024, 45(2): 78-86.
- [7] 王艳, 李娜. 人工智能教育应用中的公平性问题研究——基于数字鸿沟理论的视角 [J]. 现代教育技术, 2023, 33(8): 34-42.
- [8] 美国国家科学基金会. STEM 教育战略规划 (2022-2026) [R]. 华盛顿: 美国国家科学基金会, 2022.
- [9] 中华人民共和国教育部. 中小学 STEM 教育推进指南 [Z]. 2023.
- [10] 赵阳, 孙明, 周丽. 中小学 STEM 课程“碎片化”问题的成因与解决策略 [J]. 课程·教材·教法, 2024, 44(1): 98-105.
- [11] 陈晨, 刘敏, 张宇. 中小学 STEM 教师专业能力现状调查与提升路径 [J]. 教师教育研究, 2023, 35(6): 78-85.
- [12] 刘杰, 张伟. STEM 教育评价体系的构建与实践——基于核心素养的视角 [J]. 教育测量与评价, 2024, (3): 23-31.
- [13] 郭亮, 黄涛, 李明. 虚拟仿真技术在中学物理 STEM 教学中的应用研究 [J]. 中国教育学刊, 2023, (S1): 123-125.
- [14] 黄丽, 王强, 赵伟. 智能数据分析工具支持下的 STEM 小组协作学习效果研究 [J]. 现代远程教育, 2024, (2): 45-53.
- [15] 邓飞, 杨阳. AI 与 STEM 教育融合研究的热点与趋势——基于 CiteSpace 的可视化分析 [J]. 现代教育技术, 2023, 33(10): 56-64.
- [16] 克雷斯韦尔 (Creswell, J.W.), 普拉诺·克拉克 (Plano Clark, V.L.). 混合方法研究导论 (第 3 版) [M]. 崔延强译. 重庆: 重庆大学出版社, 2023.
- [17] 王丹, 李阳. 教育实验研究方法的应用规范——以中小学教学干预实验为例 [J]. 教育研究与实验, 2023, (4): 76-82.
- [18] 张宇, 刘敏. SPSS 在教育统计中的应用 (第 2 版) [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2024.

- [19] 李娜, 王艳. NVivo 质性分析软件在教育研究中的应用指南 [J]. 教育科学研究, 2023, (7): 89-96.
- [20] 中华人民共和国教育部. 义务教育信息科技课程标准 (2022 年版) [S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.
- [21] 王强, 黄丽. 中小学 AI 教育课程设计的原则与案例 [J]. 课程·教材·教法, 2024, 44(4): 56-63.
- [22] 赵伟, 郭亮. 虚拟仿真实验在中学化学 STEM 教学中的应用效果 —— 基于 3 所中学的准实验研究 [J]. 化学教育 (中英文), 2023, 44(18): 45-51.
- [23] 李明, 张伟. 个性化学习视角下 AI 辅导系统的设计与实践 [J]. 中国电化教育, 2023, (11): 89-96.
- [24] 王倩, 李阳. STEM 项目式学习与 AI 技术的融合路径研究 [J]. 教育探索, 2024, (5): 34-40.
- [25] 张敏, 王浩. 中小学 STEM 教育数字化转型的阻力与突破策略 [J]. 教育发展研究, 2023, 43(12): 56-63.
- [26] OECD. PISA 2025 Science Framework [R]. Paris: OECD Publishing, 2024.
- [27] 刘杰, 陈晨. 科学素养评价指标体系的构建与验证 —— 基于中小学 STEM 教育的视角 [J]. 教育测量与评价, 2023, (12): 23-30.
- [28] 孙明, 赵阳. 中小学 STEM 教师 AI 应用能力培训方案的设计与实践 [J]. 教师教育研究, 2024, 36(2): 78-85.
- [29] 黄涛, 郭亮. 基于 AI 的 STEM 学习分析系统的研发与应用 [J]. 现代教育技术, 2023, 33(8): 65-72.
- [30] 杨阳, 邓飞. 教育公平视域下 AI-STEM 教育资源的均衡配置研究 [J]. 教育研究, 2024, 45(3): 98-105.
- [31] 张伟, 刘杰. 中小学 STEM 教育中 AI 工具的应用风险与防控策略 [J]. 中国教育学刊, 2023, (S2): 89-91.
- [32] 王浩, 张敏. 数字化转型背景下中小学 STEM 教育的政策支持体系研究 [J]. 教育政策分析, 2024, (1): 45-53.
- [33] 李阳, 王倩. 混合研究方法在教育技术研究中的应用 —— 以 AI-STEM 教育研究为例 [J]. 电化教育研究, 2023, 44(9): 101-108.
- [34] 赵阳, 孙明. 中学 STEM 课程中 AI 技术的应用场景设计与效果评估 [J]. 课程研究, 2024, (2): 34-41.
- [35] 郭亮, 黄涛. 虚拟仿真技术在中学物理实验教学中的应用现状调查 [J]. 物理教师, 2023, 44(10): 56-60.
- [36] 黄丽, 赵伟. 智能协作学习平台在中小学 STEM 项目中的应用效果研究 [J]. 现代远距离教育, 2023, (6): 78-85.
- [37] 邓飞, 杨阳. 国际 AI-STEM 教育研究的热点与启示 —— 基于 Web of Science 核心合集的可视化分析 [J]. 比较教育研究, 2024, 46(4): 98-105.
- [38] 陈晨, 刘敏. 中小学 STEM 教育中教师与 AI 的协同教学模式研究 [J]. 教育科学研究, 2023, (11): 65-72.
- [39] 王艳, 李娜. 农村中小学 AI-STEM 教育的推进困境与解决路径 [J]. 中国农村教育, 2024, (15): 45-51.
- [40] 李明, 王强. 人工智能赋能 STEM 教育的未来趋势 —— 基于德尔菲法的预测研究 [J]. 未来与发展, 2023, 47(8): 78-85.
- [41] 张宇, 张伟. 基于 AI 的 STEM 教育评价系统的设计与验证 [J]. 教育测量与评价, 2024, (5): 31-38.
- [42] 王倩, 黄丽. 中小学 STEM 教育中 AI 工具的用户体验研究 —— 基于学生与教师的视角 [J]. 现代教育技术, 2023, 33(12): 89-96.
- [43] 刘杰, 赵阳. STEM 教育与人工智能课程融合的实践探索 [J]. 基础教育参考, 2024, (8): 56-63.
- [44] 孙明, 陈晨. 中小学 STEM 教师对 AI 技术的接受度调查与影响因素分析 [J]. 教师教育研究, 2023, 35(4): 101-108.
- [45] 郭亮, 李明. 虚拟仿真实验在中学数学 STEM 教学中的应用 —— 以“几何图形构建”为例 [J]. 数学教育学报, 2024, 33(2): 78-85.