

生成式人工智能驱动 STEM 教育的研究进展与前沿趋势——基于 CiteSpace 的文献计量分析

Research Landscape and Evolution of Generative AI in STEM Education: A CiteSpace-Based Bibliometric Analysis

黄思思, 邓奕, 张梅*, 钟启芳, 付道明
(广东第二师范学院 教师教育学院)
*793254226@qq.com

【摘要】 随着生成式人工智能在教育领域的应用讨论增多, 因其与 STEM 教育高度契合, 相关研究正快速扩展。本文采用文献计量法, 以 Web of Science 为主要数据库, 借助 CiteSpace 分析, 梳理该交叉领域的研究主题、脉络及特征。研究发现: 该领域研究呈爆发式增长, 热点集中于技术应用模式、学科情境化实践及教学效果评估三大主题; 其演进脉络清晰呈现出从“技术引入”到“学科融合”, 再向“伦理反思”深化的三阶段路径。本研究梳理了领域知识结构, 识别了当前核心议题与发展瓶颈, 可为后续理论探索与教育实践中理性整合生成式人工智能提供参考框架。

【关键词】 生成式人工智能; STEM 教育; CiteSpace; 文献计量分析

Abstract: With the growing discussion on generative AI applications in education and its strong alignment with STEM education, relevant research is booming. This study adopts bibliometrics, with Web of Science as the main database and CiteSpace for analysis, to sort out the research themes, context and characteristics of this interdisciplinary field. The findings show an explosive growth of research in this area, with hotspots focusing on technical application models, subject-specific contextualized practices and teaching effectiveness evaluation. Its evolution follows a three-stage path: technology introduction, subject integration and ethical reflection. This study clarifies the field's knowledge structure, identifies core issues and development bottlenecks, and provides a reference framework for the rational integration of generative AI in subsequent theoretical research and educational practice.

Keywords: Generative artificial intelligence, STEM education, CiteSpace, Bibliometric analysis

1. 引言

STEM 教育作为整合科学、技术、工程等跨学科领域, 历来是技术应用与实践创新的重要阵地, 并迅速成为学界关注的前沿议题。而近年来, 生成式人工智能 (后简称 GenAI) 的突破性发展, 为教育领域带来了全新的技术条件。研究表明, GenAI 与 STEM 教育中的主动学习策略深度结合, 有效促进学生问题解决能力、批判性思维与计算思维等高阶思维的发展 (Otto et al., 2025)。这从实证层面印证了二者融合的显著潜力与教育价值。然而, 该领域整体仍处于初步探索阶段, 为系统把握该交叉领域研究进展与知识结构, 本研究运用文献计量法开展可视化分析, 聚焦研究阶段、核心主题、热点演进及现存局限等问题, 以期描绘研究图景、识别演进趋势, 为后续 GenAI 与 STEM 教育融合的理论研究和教育实践提供学理依据。

2. 数据来源与处理

本研究采用 CiteSpace (6.4.R1 版本) 作为核心分析工具(Chen, 2006), 数据来源于 Web of Science 的 SSCI 库。研究于 2026 年 1 月 20 日完成文献检索, 未设定起始年份限制, 通过系统构建的主题检索式全面获取该交叉领域的研究文献, 检索式(见附录 1)综合了“GenAI”(如 Generative AI, ChatGPT, LLM)与“STEM 教育”及其核心学科的相关主题词。检索式中主题词的选取参考了该领域高被引文献的关键词设定及教育部对 STEM 教育核心学科的界定, 明确研究的文献纳入与排除标准(见附录 2), 经多轮筛选最终得到 2023—2025 年的有效文献 116 篇, 筛选由两名研究者独立完成, 分歧通过第三方协商解决。

3. 数据分析与讨论

3.1. 研究概貌分析 从年度发文量来看, 2023-2025 年相关文献从 5 篇增至 21 篇, 2025 年达 86 篇, 领域呈爆发式增长, 与 GenAI 技术在 STEM 教育中的落地探索进程高度同步。

从作者合作共现图谱(图 1 左图)来看, 领域已形成若干高产学者为核心的合作子群, 部分团队合作关系稳定, 同时呈现跨机构、跨地域学术连结特征, 如 van Jaarsveld 等学者 (2025) 整合荷兰、澳大利亚等多国研究力量, Klassen 等学者 (2025) 的团队涵盖英国、中国香港等地学者, 反映该议题的全球协作性与开放性。从机构合作情况(图 1 右图)来看, 高等院校是绝对研究主体, 部分高校发文集中, 在国际合作网络中处于枢纽位置。表明领域研究推动力主要来自高校, 且已初步形成跨国界、跨校际的开放性研究生态。

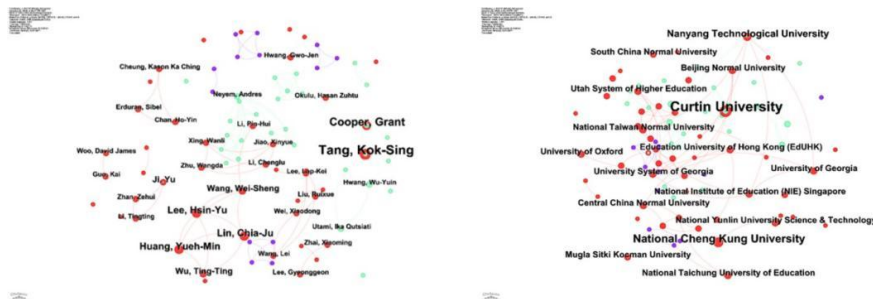


图 1 作者合作共现图谱(左)和机构合作共现图谱(右)

3.2. 研究热点与知识结构分析 关键词聚类分析识别出领域核心研究方向, 如图 2 左图所示, 主要包括“GenAI”“科学教育”“课堂教学”“技术教育”与“数字技术应用”等。各聚类虽侧重点不同, 但均围绕 GenAI 教育应用展开, 勾勒出有机融合的知识领域雏形。

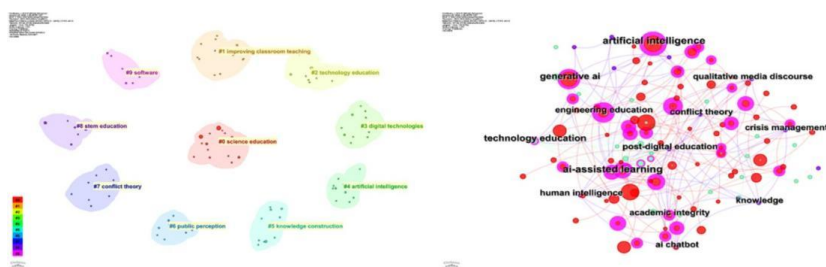


图 2 关键词聚类分析图(左)和关键词共现网络图谱(右)

关键词共现网络分析(见图 2 右图)显示, “artificial intelligence”“generative AI”“technology education”“AI-assisted learning”为高频核心节点, 研究焦点集中于 GenAI 在 STEM 教学中的应用模式及其对学习过程的支持作用, 相关结论兼具共识与争议, 需批判性解读。例如, Otto 等(2025)归纳的 GenAI 与 STEM 主动学习的五种交互方式获得多数研究印证, 成为领域共识; 而 Alsaiari 等(2025)探究 AI 生成反馈中情感元素对学生的影响, 属于教学评价层面的探索, 但其样本为高校工程专业学生, 结论在中小学 STEM 教育中的适用性仍有待验证。Fock 与 Siller(2025)指出当前研究存在的伦理不足(如忽视 AI 伦理教学、算法偏见等), 虽完善了领

域知识结构,但仅揭示问题表象,未提出具体解决策略,实践指导性较弱。上述“技术—应用—影响”的层次结构,标志着该领域正从工具性应用向系统性反思逐步深化。

3.3. 研究脉络与热点演进分析 时间线图谱(图3)分析显示,GenAI与STEM教育融合的研究热点呈现显著阶段性演进特征。早期研究聚焦人工智能及数字技术在STEM教育中的应用可能性,以宏观技术赋能模式、初步用例及理论框架探讨为主,多为理论研究与小范围试点,缺乏大样本实证验证,结论实证性与严谨性不足;中期随着GenAI技术形态丰富,研究转向技术与STEM学科的深度适配,逐渐从“能否用”向“如何用好”转变,如Kang等(2025)探讨元宇宙在高等教育中的应用、Lin等(2025)开发陶艺教育专用AI图像生成工具,实证性显著提升,但研究集中于工程、科学教育,数学及跨学科项目研究不足,未能充分体现STEM的跨学科本质;近期在延续应用导向的同时,显著加强对技术后果的多维度反思,如Fock与Siller(2025)批判既有研究“重技术轻人”、忽视非认知能力与AI伦理教育,Alsaiani等(2025)实证评估AI生成反馈的情感维度,但其结论与初中STEM教育研究存在矛盾,反映出研究情境与学习者差异等调节变量未被充分关注,这些都标志着该领域正从工具理性走向价值理性,学术讨论向教育本质回归。

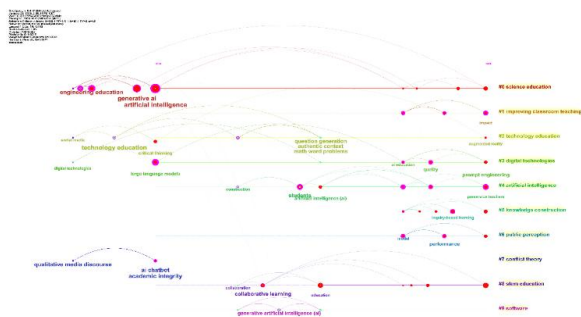


图3 时间线图

现有研究结论存在的差异表明,GenAI虽能通过即时反馈、个性化提示提升学生学习效率与问题解决能力,但过度依赖会削弱学生独立思考能力,在学习经验不足的群体中该现象更为明显。这种差异与研究情境、学习任务复杂度、学生自主学习能力等因素相关,未来研究需进一步识别关键调节变量,精准解释GenAI在STEM教育中的影响机制。

3.4. 研究前沿探测 基于突现词强度排名表(见附录3),识别出三大研究前沿:

3.4.1. 核心技术教育应用的深化探索 大语言模型、生成式人工智能等关键词突现强度高,表明GenAI核心技术在教学中的功能机制、应用模式与效能验证为研究前沿。

3.4.2. 真实情境与任务驱动的应用设计 “task analysis”与“authentic context”等关键词的突现,标志着前沿研究从技术可行性验证转向与复杂真实教学场景的深度结合,研究强调以具体教学任务为切入点,考察技术在自然教育情境中的适配性与有效性,如van Jaarsveld等(2025)研究智能聊天助手对大学生自主学习的影响、Alsaiani等(2025)聚焦作业修改环节验证AI生成反馈的教育价值。

3.4.3. 学科深化与效果评估的关注提升 前沿探索显示向特定学科深化与教学效果精细化评估的趋势。一方面,研究向数学教育、工程教育等具体STEM学科深化;另一方面,研究超越技术描述,日益关注技术对学生高阶思维、学习成效的综合评估。基于关键词共被引分析,梳理出领域高频关键词及其中心性特征,具体统计结果见附录4。

4.研究脉络与热点凝练

4.1. 研究脉络总结 综合文献计量与内容分析结果,GenAI在STEM教育中的研究脉络清晰:早期论证技术应用的宏观可能性与引入模式(Otto et al., 2025),随后转向具体学科的应用方式与交互设计探索(Kang et al., 2025),近期将议题拓展至教学伦理、学术规范及长效影响评

估等深层维度(Fock & Siller, 2025)。这一从“何以可用”到“何以为界”与“何以可能”的演变，映射了技术创新与教育需求的动态协同，标志着领域从初期探索走向批判性成熟。

4.2. 研究热点凝练 当前研究热点为技术赋能教学的应用模式、学科情境化融合实践、教学效果与伦理规范评估三大相互关联的方向。现有研究仍存在结构性局限，研究对象偏重高等教育，中小学 STEM 课堂系统研究不足；研究周期以短期教学实验为主，缺乏学生长期学习发展与核心素养变化的追踪研究；研究方法中定量实验占比有限，混合研究方法与纵向研究设计应用不足。这些不足影响研究结论的稳定性与推广价值，未来研究需在研究对象、周期以及方法上进一步拓展，推动领域研究系统化、成熟化。

5. 结论与启示

本研究系统梳理了 GenAI 赋能 STEM 教育的研究进展与前沿趋势。研究发现，该领域近三年呈现爆发式增长，GenAI 在 STEM 教育中的角色已从辅助性工具逐步发展为重塑学习支持体系与教学范式的关键使能者，同时其融合研究仍有广阔拓展空间。未来研究应进一步聚焦技术在不同学科与教学环节的精细化应用，面向多样化的学习群体与场景推进精准化、公平性导向的实践探索；加强多学科视角的理论融合，引入教育学、心理学视角深入分析教学效果与学习过程；并加快构建完善的伦理规范与多元评价体系，以应对伦理忽视与评价单一等问题，推动生成式人工智能在 STEM 教育中的健康可持续发展。本研究存在数据来源单一、未量化现有研究质量等局限，后续可拓展数据来源并构建更科学的研究质量评价指标体系。

- 参考文献
- Alsaiani, O., Baghaei, N., Lahza, H., Lodge, J. M., Boden, M., & Khosravi, H. (2025). Emotionally enriched AI-generated feedback: Supporting student well-being without compromising learning. *Computers & Education*, 239, 105363.
- Chen, C. (2006). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3), 359–377.
- Fock, A., & Siller, H.-S. (2025). Generative artificial intelligence in secondary STEM education in the light of human flourishing: A scoping literature review. *International Journal of STEM Education*, 12(1), 67.
- Kang, W., Lee, H.-S., & Hong, J.-H. (2025). AI-assisted design communication in ceramic-crafts education: Investigating image generation tools for concept representation and pedagogical practice. *Computers & Education*, 239, 105419.
- Klassen, R. M., Wang, H., Cutting, J., Thompson-Lee, S., Snell, R., See, B. H., & Saiger, M. J. (2025). *Digital innovations in teacher recruitment: An experimental study*. PsyArXiv.
- Lee, C. (2025). Virtual internships as alternative work-based learning: Examining access, quality, and outcomes for underserved students. *Computers & Education*, 239, 105439.
- Lin, L. H., Pryor, M. R., & Beckmann, N. (2025). Social opportunities, learning practices, and performance in metaverse and virtual world: A comparative scoping review in higher education. *Computers & Education*, 239, 105391.
- Martins Van Jaarsveld, G., Wong, J., Baars, M., Specht, M., & Paas, F. (2025). Enhancing goal attainment in higher education with a scripted conversational agent: Effects of monitoring and reflection support in digital learning. *Computers & Education*, 239, 105441.
- Otto, S., Lavi, R., & Brogaard Bertel, L. (2025). Human-GenAI interaction for active learning in STEM education: State-of-the-art and future directions. *Computers & Education*, 239, 105444.
- Zhang, C., Tsang, Y.-K., & Zhu, J. (2025). Transfer of self-efficacy: ICT self-efficacy and reading self-efficacy mediate the effect of ICT use on reading achievement. *Computers & Education*, 239, 105446.

The appendix is available online at <https://doi.org/10.17632/nycnhs6xm9.1>