

基于CiteSpace的国内外STEM教育研究比较分析

樊 祺¹, 陆海华^{2*}

¹南通大学教师教育学院, 江苏 南通

²南通大学数学与统计学院, 江苏 南通

收稿日期: 2024年5月10日; 录用日期: 2024年6月23日; 发布日期: 2024年6月30日

摘 要

随着21世纪社会对高素质人才培养的新要求, STEM教育迅速兴起和发展。以CNKI和Web of Science中收录的STEM教育相关的核心期刊为数据来源, 基于文献计量学理论, 利用CiteSpace软件对发文量、作者与机构、关键词进行分析, 探索其研究热点、研究主题和发展趋势。研究发现, 第一, 发文量呈现先增长后波动的趋势, 研究在不断深化和拓宽; 第二, 各研究作者和机构之间合作度不高; 第三, 研究热点、主题与国家政策联系密切, 但国内外研究侧重点不尽相同; 第四, 国内外未来将从“计算思维”“设计思维”等思维的养成进行探索。

关键词

STEM教育, CiteSpace, 计量研究, 比较分析

Comparative Analysis of STEM Education Research at Home and Abroad Based on CiteSpace

Qi Fan¹, Haihua Lu^{2*}

¹School of Teacher Education, Nantong University, Nantong Jiangsu

²School of Mathematics and Statistics, Nantong University, Nantong Jiangsu

Received: May 10th, 2024; accepted: Jun. 23rd, 2024; published: Jun. 30th, 2024

Abstract

With the new requirements of the 21st century society for the cultivation of high-quality talents,

*通讯作者。

STEM education rises and develops rapidly. With the core journals related to STEM education included in CNKI and Web of Science as data sources, based on the theory of bibliometrics, CiteSpace software was used to analyze the number of publications, authors, institutions and keywords, and explore their research hotspots, research topics and development trends. The findings are as follows: First, the number of published papers shows a trend of first growth and then fluctuation, and the research is constantly deepening and broadening; Second, the degree of cooperation between the authors and institutions is not high; Third, the research hotspots and themes are closely related to national policies, but the research emphases at home and abroad are not the same; Fourth, the future at home and abroad will explore the cultivation of thinking such as “computational thinking” and “design thinking”.

Keywords

STEM Education, CiteSpace, Metrological Research, Comparative Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当下, 全球工业 4.0 和智能制造如火如荼, 大量机械化工作都将被智能机器人取代, 现代社会亟需具有科学探究能力、创新思维、批判意识的人才。STEM 教育是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、数学(Mathematics)四个学科的有机融合, 倡导学生运用跨学科创新能力解决现实生活中的问题, 是当今世界探索 21 世纪人才培养的重要教育理念之一[1]。目前缺乏系统的评估来研究 STEM 教育的发展历程。对此, 梳理国内外 STEM 教育文献并进行计量研究, 将研究热点和趋势进行比较分析, 对 STEM 教育本土化具有重要启发意义。

2. 数据来源与研究设计

本文数据来源于 Web of Science (WOS)核心合集以及 CNKI (知网)核心数据库。数据采集时间为 2024 年 4 月 1 日。中文文献数据来源于 CNKI 学术期刊数据库, 检索主题为“STEM 教育或 STEAM 教育”, 开始时间不限, 来源类别为“北大核心、CSCD、CSSCI”, 检索得到 916 篇文献, 剔除征稿启事、会议通知等不相关文献后得到 844 篇文献的研究样本, 并以 Refworks 格式进行导出, 其中最早的相关文献出现在 2009 年。WOS 选择核心合集中的 SSCI, 检索开始时间不限, 检索策略采用主题检索, 主题 = (STEM education or STEAM education not cell), 语言 = (English), 文献类型为论文(Article), 研究领域为教育(Education Educational Research), 剔除早期访问(Early Access)、会议论文(Proceeding Paper)、书籍章节(Book Chapters)、已撤销出版物(Retracted Publication), 经检索后获得 3066 篇文献, 其中最早发表的文献出现在 1992 年。

本文主要采用由陈超美教授及其团队研发的 CiteSpace6.2.2 对 STEM 教育相关文献进行计量研究, 主要运用了软件中作者和机构分析、关键词共现分析、聚类分析、突现检测等功能。主要设置参数如下: 节点类型选择 institution and author 或 keyword, 时间切片选择 1 年, 网络剪裁方式选择 Pruning the Merged Network。CNKI 数据库文献运行后得到 440 个节点, 848 条连线, WOS 数据库文献运行后得到 733 个节点, 5590 条连线。具体实施框架见图 1。

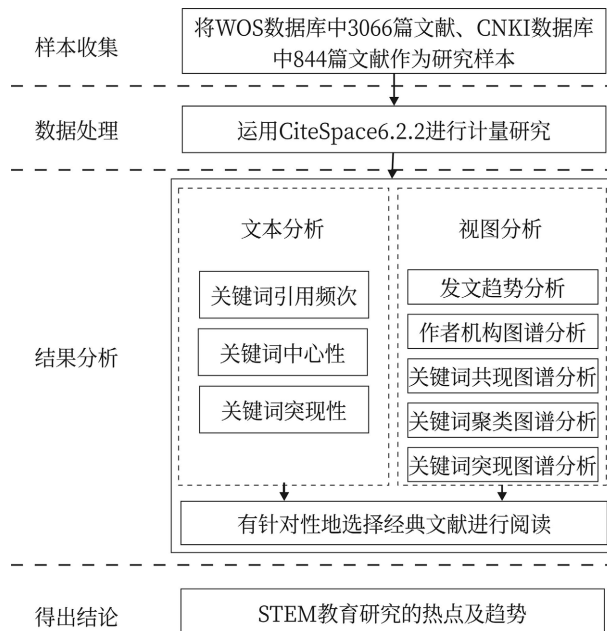


Figure 1. Implementation framework for STEM education metrological research

图 1. STEM 教育计量研究的实施框架

3. 国内外 STEM 教育的计量研究

3.1. 发文趋势分析

论文发文趋势可以反映出某个学科或研究领域在一段时间内的发展速度和水平[2]。通过对 1992 年到 2024 年国内外 STEM 教育研究发文量(SSCI、北大核心、CSSCI、CSCD 收录)的统计,可以整体把握国内外 STEM 教育研究所处的发展阶段。

图 2 显示,国内最早的 STEM 教育研究文献是 2008 年陈超解读美国“国家综合策略”,指出该策略旨在改善学生的 STEM 教育,达到维持美国竞争力的目的,暂未对 STEM 教育的进行概念化建设[3]。2008~2013 年,我国 STEM 教育研究进入借鉴学习阶段,每年论文发表数量不超过 5 篇,研究内容是梳理与解读国外 STEM 教育相关政策和脉络。2014~2019 年,进入内化融合阶段,论文数量大幅增长,研究内容以创客教育、科学教育、课程涉及为核心。2020~2024 年为波动瓶颈阶段。2020 年发文量突然减少,侧面说明核心期刊对 STEM 教育相关论文需求已临近饱和状态,预示着理论研究逐渐成熟。经统计,同时间段在其他级别期刊发表的论文有 1503 篇,表明该研究还是我国学术界的热点。

32 年来,国外 STEM 教育研究大致经历了三个阶段:1992~2008 年为初创阶段,2001 年,美国国家自然科学基金会(NSF)和拉莫雷(Judith Ramaley)首次使用首字母缩写词“STEM”来指代科学、技术、工程和数学课程[4],STEM 教育得到初步发展。2009~2021 年为探索阶段,发文量呈现指数增长趋势,联邦立法者的密切关注发挥了指导性作用。一方面是在学校建立 STEM 学习的理念,例如,2009 年,美国国家研究会(NCR)指出推进 K-12 科学教育可以帮助国家提高科学素养水平,并激励更多的学生从事科学和工程领域的职业[5];2013 年 5 月,美国政府颁布了《联邦政府 STEM 教育五年战略规划》,再次强调了 STEM 能力对美国年轻一代的重要性[6]。另一方面是加强 STEM 教育项目投资,例如联邦政府每年在 STEM 教育项目上的投资在 30 亿美元左右[7]。2022 年后进入成熟阶段,论文的发量出现小幅度的下滑趋势。

由图 4 及图谱数据知, 1992~2024 年国外研究力量间相对独立。但相比国内机构, Purdue Univ (68 篇)、Arizona State Univ (50 篇)、Univ Wisconsin (45 篇)、Michigan State Univ (40 篇)、Texas A&M Univ (40 篇)研究成果显著, 研究时间早、范围大, 有着较为权威的地位。就作者而言, 国外高产核心作者(10 篇及以上)有 10 位, 例如 Guzey, S. Selcen、So, Winnie Wing Mui、Dori, Yehudit Judy 等人。国外有关 STEM 教育的文献来源各式各类机构, 且研究内容涉及教育公平研究、学生学业研究等内容。这表明国外 STEM 教育研究重视学生学习情况和学生受教育的平等性。

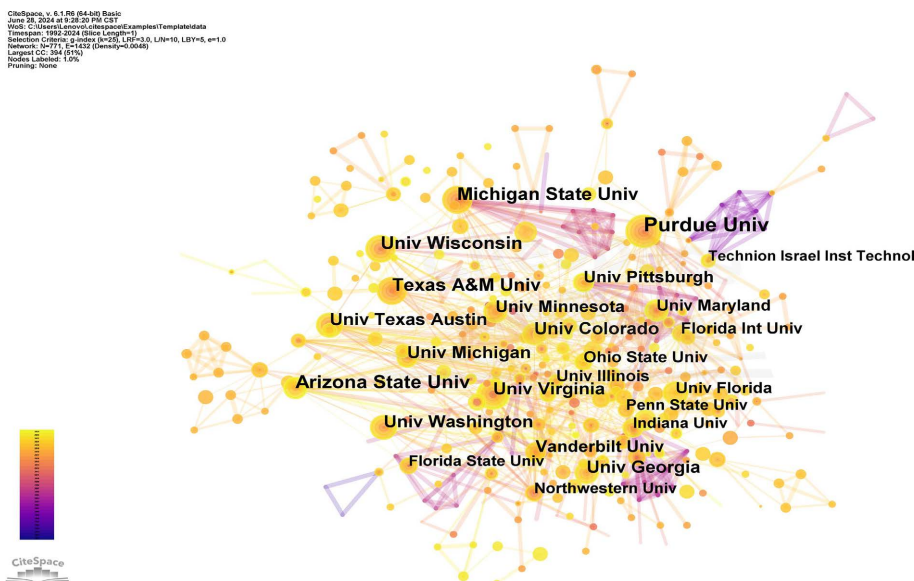


Figure 4. Foreign STEM education research institutions and author distribution
图 4. 国外 STEM 教育研究机构及作者分布

3.3. 国内外 STEM 教育研究热点分析

关键词是论文核心内容的精炼, 共现图谱可以清晰呈现该研究领域的热点主题[9]。为保证热点分析的客观性, 克服检索词在关键词共现中产生的高频次和高中心性问题, 本文将与检索词重合的关键词看作核心热点不展开分析。

观察图 5 发现, 我国 STEM 教育研究的热点是“美国”“创客教育”“STEM 课程”“科学教育”“核心素养”, “美国”的频次排在首位, 可见我国对 STEM 教育的研究大部分还在汲取美国优秀经验的阶段。“科学教育”“创客教育”“核心素养”的中心性依次减少但都不少于 0.08, 可见我国对 STEM 教育的研究虽仍在对比和学习美国, 但也形成了立足科学学科、核心素养和创客教育的重要研究框架。

观察图 6 发现, 国外 STEM 教育研究的热点是“Science”“Student”“Higher education”“Mathematics”“Achievement”“Science education”等, 表明外国对 STEM 教育的应用程度较中国更为广泛。但关键词“science education”及“higher education”并未出现在同一篇文章中, 表明两者各为研究重点, 但没有形成相互影响的完整体系, 即高等教育和科学教育尚未融合。

3.4. 国内外 STEM 教育研究主题

关键词聚类分析有助于更好地了解一个研究领域的研究热点结构和内容。为更好地认识国内外 STEM 教育研究主题的异同, 深化关键词共现关系, 基于 LLR 算法对 STEM 教育研究的关键词进行聚类并生成相关报告(表 1 和表 2)。其中, LLR 值越大的标签对聚类越具有代表性。

CiteSpace v. 5.1.R6 (64-bit) Basic
May 7, 2024 at 8:10:25 PM CST
C:\Users\Lenovo\OneDrive\Examples\Template\data
Timespan: 2009-2024 (Slice Length=1)
Selection Criteria: g modularity (q=1.0), LRF=1.0
Network: N=440, E=640 (Density=0.0058)
Largest CC: 147 (79%)
Nodes Labeled: 1.0%
Pruning: None

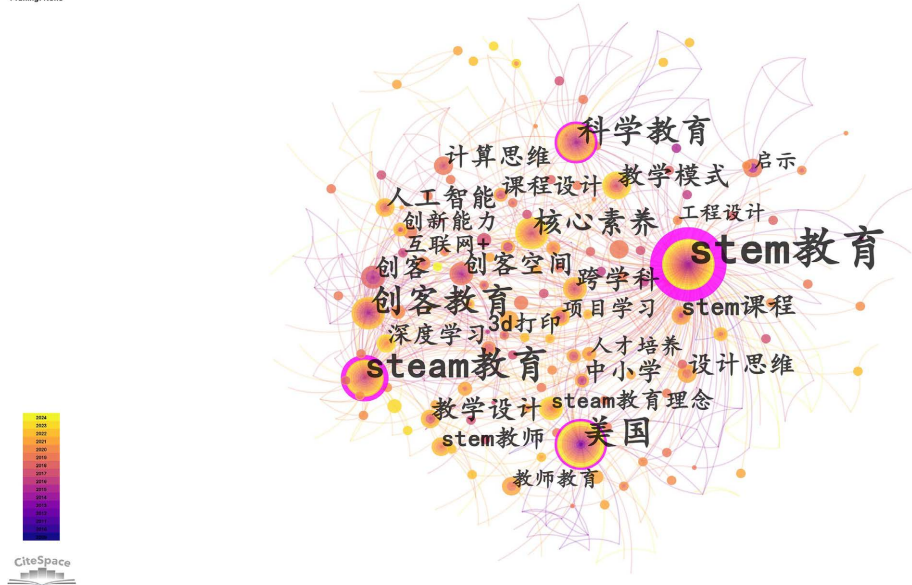


Figure 5. Domestic keyword co-occurrence map
图 5. 国内关键词共现图谱

CiteSpace v. 5.1.R6 (64-bit) Basic
April 21, 2024 at 9:58:04 PM CST
W:\S_C\Users\Lenovo\OneDrive\Examples\Template\data
Timespan: 1962-2024 (Slice Length=1)
Selection Criteria: g modularity (q=1.0), LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, w=1.0
Network: N=735, E=5011 (Density=0.0206)
Largest CC: 162 (22%)
Nodes Labeled: 1.0%
Pruning: None

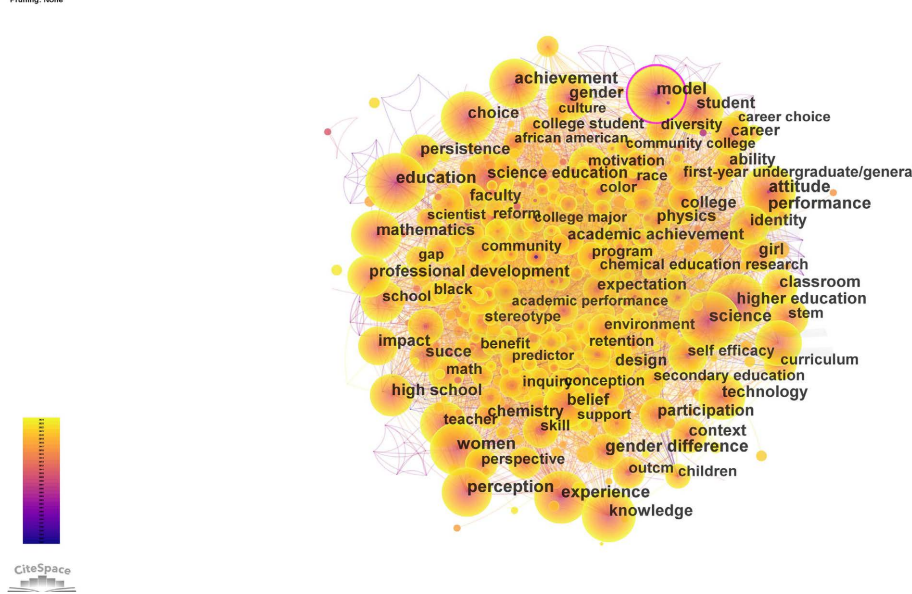


Figure 6. Foreign keyword co-occurrence map
图 6. 国外关键词共现图谱

3.4.1. 国内 STEM 教育研究主题

从模块值看, $Q = 0.5946 > 0.3$, 表明结构显著; 从轮廓值看, $S = 0.8987 > 0.7$, 表明聚类结果可信度高。STEM 教育、STEAM 教育、创客教育、美国、STEM 教师、核心素养、科学教育、教学模式、人工智能、课程设计构成了国内 STEM 教育研究的整体框架。

聚类结果可以为研究者提供一个初步的研究视角和方向。但聚类标签是自动抽取、选择具体化的名词短语, 过于具体化, 导致自动抽取的标注不易被理解也不够全面。因此, 结合人工整理和评估, 从而明确研究的领域是必要的。仔细研读聚类内的关键词及其关系, 将我国 STEM 教育研究的热点主题可归纳为概念化建设研究、学科整合研究、教学实践研究、思维养成研究等四个领域。

第一, STEM 概念化建设研究。作为 21 世纪新出现的教育名词, 对“STEM 教育到底是什么”的追问成为 STEM 教育研究热点并不意外[10]。聚类#0 STEM 教育、#1 STEAM 教育、#教学模式所包含的“STEM 教育”“STEAM 教育”“教学创新”“STEM 素养”等关键词很好的佐证了这一观点。STEM 教育的提法源于美国等发达国家, 我国 STEM 教育有必要借鉴他国优秀经验并根据我国国情开展本土化研究[9]。通过文献梳理, 可总结出 STEM 教育概念化建设大致遵循了从分科走向整合的发展路径。范文翔等人指出 STEM 教育是在真实情境下多主体参与的跨学科探究教育, 是做中学、依托工具与资源、基于项目或问题的教育[11], 具有跨学科性、趣味性、情境性等特征。

第二, 学科整合研究。#2 创客教育、#5 核心素养、#6 科学教育、#人工智能所包含的“创客”“跨学科整合”“创新型人才”“创造力”等关键词关注的是如何通过学科整合发掘 STEM 教育里各学科的价值作用, 实现学生跨学科学习的目的。STEM 教育包括科学、数学、技术、工程、艺术、物理、化学等多个学科, 而且对科学学科的侧重表现得较为明显, 涉及到许多分支学科, 从中小学的科学课程延伸到研究生的微生物课程[12]。科学教育除了让学生掌握科学知识外, 更高的目标是让学生学会用科学的思维和态度去思考。

第三, 教学实践研究。STEM 教育发展的前期主要进行理论的概念化构建, 后期开始进行教学实践的研究, 涉及到课程、教师、教学模式等方面。#4 STEM 教师、#5 核心素养、#7 教学模式、#9 课程设计所包含的“教师专业发展”“STEM 课程”“STEM 态度”“实施策略”等关键词关注的 STEM 课程的设计与开发、STEM 教师培养与发展、教学模式的改革与创新。关于 STEM 课程, 国内学者提出了整合设计思路。在理论领域, 余胜泉教授分析了学科知识整合取向、生活经验整合取向、学习者中心整合取向三种跨学科整合的取向[13]。周东岱等人设计了 STEAM 教育理念下小学课程体系重构过程, 并进行了案例应用研究[14]。董宏建等人完善理工科 STEM 教育融合课程体系[15]。实践领域也以社团课程、劳技课程为主。关于 STEM 教师, 聚焦于提高教师专业素养, 如孟祥云等提出从师生双视角构建“双链循环”的培养模式[16]。关于教学模式, 大多以建构主义理论为理念, 如余胜泉提出了跨学科整合的项目设计模式[13]。

第四, 思维养成研究。#5 核心素养、#8 人工智能所包含的“计算思维”“设计思维”等关键词聚焦学生思维的养成。国内学者聚焦于思维的测评研究, 如杨翊等人也基于布鲁姆教育目标认知理论, 全面分析大学生高阶思维能力的概念、构成、评价框架等, 构建了高阶思维测评框架[17]; 首新等人通过数学建模确立面向 STEM 学习的高层次思维测评模型[18]。但思维养成是一个长期、系统的过程, 需要开发设计优质连贯系统的 STEM 课程[12]。

从时间维度看, STEM 教育研究的聚类主要集中在 2016~2020 年间一方面, STEM 教育被纳入国家发展政策, 如国家政策文件鼓励 STEM 教育、科学教育政策大力支持 STEM 教育、教育信息化政策指明 STEM 发展的必然[19]。另一方面, 各地正在积极探索 STEM 教育的推进方式。如创建上海 STEM 运中心、中国 STEM 教育协作联盟等 STEM 教育机构, 构建高中与高校协作的 STEM 主题实验室。

3.4.2. 国外 STEM 教育研究主题

由 $Q = 0.3343 > 0.3$, $S = 0.6726 > 0.5$, 意味着聚类较合理。professional development、higher education、STEM education、augmented reality、teacher education、first-year undergraduate/general、instructional change、education-medical-undergraduate-methods、attitude、student 构成了国外 STEM 教育研究的整体框架。

Table 1. Domestic keyword clustering report
表 1. 国内关键词聚类报告

聚类标签	S 值	平均值	标签(LLR 值)
#0 STEM 教育	0.955	2018	STEM 教育(63.14); STEAM 教育(30.7); 教学创新(9.15); STEM (7.69); 核心素养(6.91)
#1 STEAM 教育	0.803	2020	STEAM 教育(58.38); STEAM 课程(18.48); STEM 教育(15.65); 地理核心素养(14.76); 课堂教学(14.76)
#2 创客教育	0.896	2016	创客教育(51.33); 创客(31.34); 创客空间(26.85); 3d 打印(18.57); 互联网+ (13.9)
#3 美国	0.939	2016	美国(64.61); 中小学(11.69); 创新(11.08); 特征(5.53); 本科(5.53)
#4 STEM 教师	0.912	2018	STEM 教师(25.08); 教学设计(25.08); 教师专业发展(15.51); 教师教育 (15.51); STEAM 教育理念(10.9)
#5 核心素养	0.818	2019	核心素养(35.14); STEM 课程(26.8); 跨学科整合(20.45); 设计思维(20.37); 比较研究(10.18)
#6 科学教育	0.902	2016	科学教育(44.45); 启示(11.87); 创新型人才(5.92); 测评方法(5.92); 下一代科学教育标准(5.92)
#7 教学模式	0.875	2019	教学模式(27.93); 跨学科(22.28); STEM 素养(16.67); 学前 STEM 教育 (11.08); STEM 态度(11.08)
#8 人工智能	0.867	2018	人工智能(30.19); 创造力(11.8); 计算思维(11.24); 教育信息化(8.09); 元分析(8.09)
#9 课程设计	0.957	2019	课程设计(22.66); 实施策略(15.03); 智能体(7.47); 中华优秀传统文化(7.47); 中小学教育(7.47)

仔细研读聚类内的关键词及其关系, 将国外 STEM 教育研究热点归纳为概念化建设研究、教育公平研究、学生学业成就研究、教学实践研究四个方面。

第一, STEM 概念化建设研究。聚类#2 STEM education 中“STEM education”“science education”等关键词呈现出这一研究。STEM 教育一经出现, 必然要对其进行深入理解和明确定义。通过阅读文献, 可知 STEM 教育大多进行操作化定义, 经历了缺乏综合方法的传统课程整合[4]、用于解决问题的学科整合[20]、杜威“做中学”思想的延续[21]三个层次, 未来应着重研究每门学科的本质价值和 STEM 教育的作用[10]。

第二, 教育公平研究。聚类#9 student 中“inclusive education”“quality”“disability”“deaf”等关键词体现了教育公平研究。美国女性拥有将近一半的就业岗位, 但就业率不足 25%, 许多研究者开始研究女性在 STEM 教育中低代表性的原因, 并提出合理化干预措施, 比如通过增加女性学生与同性专家的合作机会来增强女性的科学身份认同[22]。除此之外, 研究者还关注有色种族与低社会阶层学生的 STEM 学习[23], 提出建立全纳型 STEM 学校等有效措施[24]。

第三, 学生学业成就研究。聚类#1 higher education、#2 STEM education、3 augmented reality、#5first-year undergraduate/general、#8 attitude 中“persistence”“motivation”“student-centered learning”“critical thinking”“achievement”等关键词突现了研究者对学生学业成就研究的重视。通过文献研读发现, 研究集中在对学生 STEM 学习意愿的唤起。如 Kevin Eagan 通过对大一新生进行 4 年的追踪研究, 得出参与科研项目 的学生更有可能继续就读 STEM 专业的研究生课程[25], Hide E 通过混合研究得出实施 STEM 活动对学生的 21 世纪技能(创造力、批判性思维等)、STEM 职业兴趣和动机产生积极影响[26]。

第四, STEM 教学实践。聚类#0 professional development、#4 teacher education、#6 instructional change 中“pre-service teachers”“knowledge”“curriculum”“educational innovations”等关键词突现了 STEM 教学实践方面的变革。经过文献阅读发现, 围绕主题统筹设计学段课程[27]、运用探究式教学手段及评估方式[28]、促进教师专业发展[29]成为三大重点研究主题。

Table 2. Foreign keyword cluster report

表 2. 国外关键词聚类报告

聚类标签	S 值	平均值	标签(LLR 值)
#0 professional development	0.455	2016	professional development (48.26); STEM integration (42.62); STEAM education (28.87); pre-service teachers (25.19); active learning (22.76)
#1 higher education	0.606	2013	higher education (63.66); women (39.13); diversity (36.8); graduate education (33.76); persistence (31.4)
#2 STEM education	0.697	2013	STEM education (63.31); science education (29.28); gender (27.34); gender differences (20.03); motivation (19.37)
#3 augmented reality	0.616	2018	augmented reality (18.93); critical thinking (18.56); physical education (16.45); learning strategies (15.97); virtual reality (13.96)
#4 teacher education	0.742	2008	teacher education (51.66); knowledge (27.15); curriculum (18.61); career and technical education (17.34); educational policy (16.29)
#5 first-year undergraduate/general	0.803	2017	first-year undergraduate/general (100.08); second-year undergraduate (85.84); chemical education research (78.99); collaborative/cooperative learning (75.27); student-centered learning (53.82)
#6 instructional change	0.812	2013	instructional change(15.84); educational innovations (11.62); evidence-based instructional practices (11.62); dissemination (11.62); politics (10.93)
#7 education-medical-undergraduate-methods	0.909	2009	Education-medical-undergraduate-methods (19.19); clinical competence- standards (12.79); risk (12.79); model (9.12); STEM studies (9.05)
#8 attitude	0.944	2003	attitude (18.9); gender (14.71); design-based research (11.92); STEM activities (11.92); achievement (8.92)
#9 student	0.855	2005	student (32.32); inclusive education (26.2); quality (15.71); disability (13.62); deaf (11.36)

3.5. STEM 教育研究演进趋势分析

突现关键词是指在某段时间内出现急剧增长的关键词, 其突现性数值越高, 表明该关键词在该时间段内的出现频率变化率越大。研究前沿反映该领域的最新发展动向, 并预测未来发展趋势。利用 CiteSpace 突现词检测功能探析学科前沿研究动态, 生成关键词突现图谱(图 7 和图 8)。

由图 7 可知, 2009~2013 年, “美国”为研究热点; 2014~2019 年, “创客教育”“创客”“科学教育”成为研究热点; 2020~2023 年, “深度学习”“STEM 教师”“STEM 课程”“STEM 教育理念”成为该领域的研究热点。综上所述, 中国 STEM 教育研究热点呈现以下特征: 第一, 研究内容逐渐聚焦于深度学习, 关注学生思维的养成; 第二, 由 STEM 概念化建设转向 STEM 教学实践研究; 第三, 研究对象由中小学阶段转向大学阶段。

Top 13 Keywords with the Strongest Citation Bursts

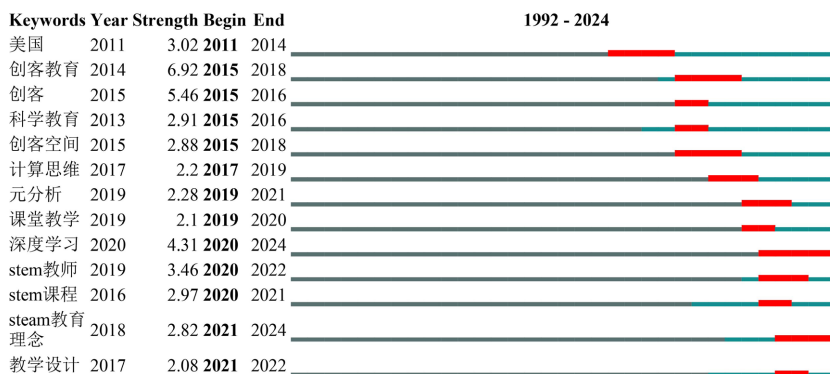


Figure 7. Domestic keyword emergence map

图 7. 国内关键词突现图谱

由图 8 可知, 2009~2021 年, “student” “perception” “scientist” 成为研究热点; 2022~2024 年, “computational thinking” “tool” “online learning” 成为该领域的研究热点。综上所述, 国外 STEM 教育研究热点呈现以下特征: 第一, 不断趋向整合的 STEM 教育概念化建设; 第二, 以提升低代表性群体的科学自我效能为手段, 促进 STEM 教育公平; 第三, 突出价值唤起的 STEM 学生学业成就研究; 第四, 整体推进教学实践变革。

Top 13 Keywords with the Strongest Citation Bursts

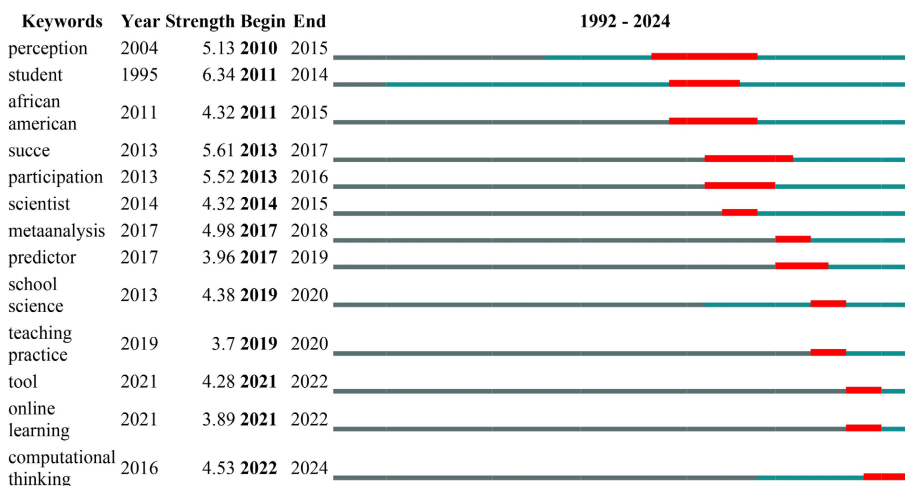


Figure 8. Foreign keyword emergence map

图 8. 国外关键词突现图谱

4. 结论

本文针对国内外 1992~2024 年 STEM 教育研究状况进行了文献计量分析, 研究发现:

第一, 国内 STEM 教育研究大致可以划分为三个阶段: 即 2008~2013 年的借鉴学习阶段; 2014~2019 年的内化融合阶段; 2020~2024 年的波动瓶颈阶段。在此过程中, “创客教育” “科学教育” “核心素养” “STEM 课程” 等成为研究热点。从未来研究趋势看, “深度学习” “STEM 教育理念” 将成为新

的研究热点。国外可划分为：1992~2008 年为初创阶段；2009 到 2021 年为探索阶段；2022 年后进入成熟阶段。在此过程中，“science”“student”“higher education”“mathematics”等成为研究热点。从未来研究趋势看，“computational thinking”将成为新的研究热点。

第二，国内外 STEM 教育的研究群体，多处于“各自为战”的状态。各个研究群体分布较为分散，没有形成明显的中心性较强的研究团队。针对这种情况，高校教育研究应该向多方合作的方向发展，尽量避免研究的“孤岛”状态。

第三，通过对 STEM 教育关键词词频和聚类分析，国内外 STEM 教育研究主题各有侧重。国内聚焦于概念化建设研究、学科整合研究、教学实践研究、思维养成研究等领域；国外聚焦于概念化建设研究、教育公平研究、学生学业成就研究、STEM 教学实践等领域。

参考文献

- [1] 石倩, 何文涛, 梁晨, 等. 近十年国内外 STEM 课程研究的比较分析[J]. 比较教育学报, 2023(5): 133-146.
- [2] 丁学东. 文献计量学基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992.
- [3] 陈超. 美国的世界一流大学战略与启示[J]. 中国高教研究, 2008(11): 48-50.
- [4] Bybee, R.W. (2010) Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, **70**, 30-35.
- [5] National Research Council (2009) Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects. The National Academies Press, Washington.
- [6] Holdren, J.P., Marrett, C. and Suresh, S. (2013) Federal Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education 5-Year Strategic Plan. National Science and Technology Council, Committee on STEM Education.
- [7] Granovskiy, B. (2018) Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: An Overview. CRS Report R45223, Version 4. Updated. Congressional Research Service.
- [8] 吕奕静, 张蓉. 近十年国内外在线学习研究综述——基于 CiteSpace 的可视化分析[J]. 成人教育, 2023, 43(6): 47-58.
- [9] 曾宁, 张宝辉, 王群利. 近十年国内外 STEM 教育研究的对比分析——基于内容分析法[J]. 现代远程教育, 2018(5): 27-38.
- [10] 杜文彬. 国外 STEM 教育研究的热点主题与特点探析[J]. 电化教育研究, 2018, 39(11): 120-128.
- [11] 范文翔, 张一春. STEAM 教育: 发展、内涵与可能路径[J]. 现代教育技术, 2018, 28(3): 99-105.
- [12] 王卓玉, 谢双雪, 程明. 基于文献计量学的国内外 STEAM 教育研究比较分析[J]. 现代远程教育, 2021(2): 81-88.
- [13] 余胜泉, 胡翔. STEM 教育理念与跨学科整合模式[J]. 开放教育研究, 2015, 21(4): 13-22.
- [14] 周东岱, 樊雅琴, 于颖, 等. 基于 STEAM 教育理念的小学课程体系重构研究[J]. 电化教育研究, 2017, 38(8): 105-110, 128.
- [15] 董宏建, 白敏. 中国理工科 STEM 教育发展探究[J]. 现代教育技术, 2016, 26(7): 12-17.
- [16] 孟祥宏, 王晓莉. 基于深度学习的 STEM 教师教学设计能力培养研究[J]. 黑龙江高教研究, 2023, 41(12): 86-91.
- [17] 杨翊, 赵婷婷. 中国大学生高阶思维能力测试蓝图的构建[J]. 清华大学教育研究, 2018, 39(5): 54-62.
- [18] 首新, 胡卫平, 刘念. 中小学 STEM 学习中高层次思维测评模型构建与应用[J]. 电化教育研究, 2020, 41(8): 82-89.
- [19] 王素. 《2017 年中国 STEM 教育白皮书》解读[J]. 现代教育, 2017(7): 4-7.
- [20] Breiner, J.M., Harkness, S.S., Johnson, C.C. and Koehler, C.M. (2012) What Is STEM? A Discussion about Conceptions of STEM in Education and Partnerships. *School Science and Mathematics*, **112**, 3-11. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- [21] Johnson, C.C. (2013) Conceptualizing Integrated STEM Education. *School Science and Mathematics*, **113**, 367-368. <https://doi.org/10.1111/ssm.12043>
- [22] Stout, J.G., Dasgupta, N., Hunsinger, M. and McManus, M.A. (2011) STEMing the Tide: Using Ingroup Experts to Inoculate Women's Self-Concept in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). *Journal of Personality and Social Psychology*, **100**, 255-270. <https://doi.org/10.1037/a0021385>

- [23] McGee, E.O. (2020) Interrogating Structural Racism in STEM Higher Education. *Educational Researcher*, **49**, 633-644. <https://doi.org/10.3102/0013189x20972718>
- [24] Means, B., Wang, H., Young, V., Peters, V.L. and Lynch, S.J. (2016) STEM-Focused High Schools as a Strategy for Enhancing Readiness for Postsecondary STEM Programs. *Journal of Research in Science Teaching*, **53**, 709-736. <https://doi.org/10.1002/tea.21313>
- [25] Eagan, M.K., Hurtado, S., Chang, M.J., Garcia, G.A., Herrera, F.A. and Garibay, J.C. (2013) Making a Difference in Science Education. *American Educational Research Journal*, **50**, 683-713. <https://doi.org/10.3102/0002831213482038>
- [26] Hiçde, E. and Aktamış, H. (2022) The Effects of STEM Activities on Students' STEM Career Interests, Motivation, Science Process Skills, Science Achievement and Views. *Thinking Skills and Creativity*, **43**, Article 101000. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101000>
- [27] Johnson, C.C., Peters-Burton, E.E., Moores, J., *et al.* (2005) *STEM Road Map: A Framework for Integrated STEM Education*. Routledge, New York.
- [28] Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., *et al.* (2014) Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering, and Mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **111**, 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- [29] Fishman, E.J., Borko, H., Osborne, J., Gomez, F., Rafanelli, S., Reigh, E., *et al.* (2017) A Practice-Based Professional Development Program to Support Scientific Argumentation from Evidence in the Elementary Classroom. *Journal of Science Teacher Education*, **28**, 222-249. <https://doi.org/10.1080/1046560x.2017.1302727>