

# 国外 STEM 教育的研究热点与前沿探析

邱德峰<sup>1</sup>, 全晓洁<sup>2</sup>, 李颜希<sup>3</sup>

(西南大学 1. 心理学部; 3. 教育学部, 重庆 400175; 2. 重庆师范大学 教育科学学院, 重庆 401331)

**摘要:**近年来,STEM教育受到了世界各国的广泛关注,其被视为培养21世纪核心能力的关键。研究以WoS核心数据库为数据源,并借助SPSS21.0、Bicomb2.0以及CiteSpace等软件工具对国外历年来STEM教育的研究成果进行文献计量与可视化分析。研究发现,国外STEM教育研究大致经历了由萌芽(2001年至2007年)到发展(2008年至2012年)再到繁荣(2013年后至今)的发展脉络。研究热点领域主要包括:STEM教育参与主体的主观因素和学生学习表现情况的研究;特殊群体在STEM教育中的学习及表现情况的研究;STEM教育整合及STEM教师职业生涯发展情况的研究;STEM教育实践活动情况的研究;STEM教师的培养、专业发展及其他研究。研究前沿主题主要体现在:创新STEM专业学习(学位获得)途径;关注女性、少数民族及残疾人士等群体的STEM教育和学习的平等与公平性;K-12阶段STEM课程整合;高中学生STEM职业生涯发展规划;社会认知职业理论(SCCT)在分析学生对STEM兴趣及专业选择中的效用。未来我国应继续加强对STEM教育的探究,重视对国际研究经验的学习和借鉴,主动把握STEM教育未来的研究方向和发展趋势。

**关键词:**STEM教育;研究热点;研究前沿;可视化分析;CiteSpace;共词分析技术;多维尺度分析

**中图分类号:**G650 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-8129(2020)05-0011-11

## 一、背景分析

21世纪是知识经济的时代。“培养什么样的人”已然成为知识经济背景下世界各国竞相关注的重点。随着全球化进程的加快,如何确保自身的话语权和核心竞争力,主动迎接未来社会的变革与挑战,是世界各国面临的共同难题。美国率先意识到了知识经济时代的危机,试图从培养人的科学、技术、工程和数学(简称STEM)等素养入手,以确保经济的持续增长和科技水平的不断提高,维持其国际领先地位。2006年,在美国的《美国竞争力计划》(*American Competitiveness Initiative*,简称ACI)国文咨询报告中,明确提出要加快STEM教育人才培养,并将STEM教育人才培养视为全球竞争力的关键。2009年,美国国家科学委员会(National Science Board)建言,将STEM教育与国家经济的繁荣和安全直接挂钩,以加大政府在STEM教育方面的投入。2011年,美国政府在《美国创新战略》中再次重申要加强科学、技术、工程和数学(STEM)等素养的培养,鼓励人才创新。2015年,美国《STEM教育法》正式生效,更是标志着美国STEM教育改革政策走向法制化<sup>[1]</sup>。不

**收稿日期:**2019-08-22

**作者简介:**邱德峰,教育学博士,西南大学心理学部博士后工作流动站。

全晓洁,教育学博士,重庆师范大学教育科学学院讲师。

李颜希,西南大学教育学部硕士研究生。

**基金项目:**重庆市社会科学规划项目“‘互联网+’时代学生自主学习的国际经验与本土化实践研究”(2019BS084),项目负责人:邱德峰;重庆市教育科学“十三五”规划2019年度重点项目“建设学习大国的内涵、标准与路径研究:基于学习者身份的视角”(2019-GX-004),项目负责人:邱德峰。

仅如此,英国、德国、芬兰、澳大利亚等国家也纷纷加入了 STEM 教育的行列。例如:英国成立了国家 STEM 研究中心(National STEM Centre),发布了多项关于 STEM 教育的指导文件;德国的《德累斯顿决议》也明确提出要加强数学、信息、自然科学和技术等方面的人才培养,并通过搭建跨部门合作平台,建立“教育链”,全面促进 STEM 教育的实施;芬兰设立了 LUMA 国家中心,旨在为 3 至 19 岁的儿童和青少年量身打造 STEM 教育学习课程,以促进 STEM 教育研究的发展;澳大利亚发布了《STEM 学校教育国家战略(2016—2026 年)》(*National STEM School Education Strategy 2016—2026*),从国家层面确保 STEM 教育的推行和实施。近年来,我国也非常重视 STEM 教育人才的培养,学界纷纷开展了 STEM 教育的研究与讨论。2016 年,教育部出台的《教育信息化“十三五”规划》中更是明确提出“创新教育形式”“探索 STEM 教育”等要求。2017 年,中国教育科学研究院发布《中国 STEM 教育白皮书》,号召社会各界关注并推行 STEM 教育。我国 STEM 教育起步相对较晚,对 STEM 教育的理论研究与实践探索与发达国家仍存在一定差距,我国实践中的 STEM 教育更多是一种“任意行为”,缺乏国家战略高度的顶层设计。同时,STEM 教育在各学段的整体设计、STEM 教育师资队伍建设、STEM 教育标准与评估机制的确立等方面的研究尚显不足。因此,了解国外 STEM 教育研究现状与发展脉络,关注国外 STEM 教育最新研究进展与前沿领域,能为我国当前及未来的 STEM 教育研究提供参考和借鉴。本文旨在通过对国外 STEM 教育研究的可视化分析与探究,试图为我国的 STEM 教育研究提供一些启示。

## 二、数据来源与研究方法

### (一)数据来源

本研究以 Web of Science(简称 WoS)数据库核心合集(core collection)作为数据来源。WoS 核心合集收录了自 1900 年至今的自然科学、社会科学、人文艺术科学等领域的世界一流学术性期刊、书籍和会议记录,并保存有完整的文献结构,以此数据库作为文献数据来源具有较高的可信度和权威性。在检索条件方面,考虑到数据的精准性及全面性的要求,选择“title = stem or science, technology, engineering, mathematic”检索命令,文献“时间跨度”选择“所有年份”,检索时间为“2019 年 1 月 1 日”,进行检索。随后对初步检索的文献进行分类和精炼,选择与教育相关的“education educational research”以及“education scientific disciplines”类别,同时也对所有条目进行人工排查,精炼后共得到 949 条文献记录,将其作为原始基础数据进行可视化分析。

### (二)研究方法

本研究结合文献计量分析方法与共词分析方法,对国外历年来 STEM 教育研究的文献进行整理、分析。文献计量分析方法主要是一种量化研究方法。本研究通过对所采集的数据进行基本的描述统计分析,其中包括整体发文量、国家、研究机构及作者发文情况等,可以反映国外 STEM 教育研究的整体概貌。共词分析法是一种兼具定量和定性特征的分析方法。本研究通过对关键词的共词分析,能够了解国外 STEM 教育的研究热点。此外,本研究还采用 CiteSpace 可视化软件对数据进行文献共被引分析,以揭示目前国外 STEM 教育研究的知识基础与前沿主题,试图为我国未来的 STEM 教育研究提供一些参考和启示。

## 三、结果分析

### (一)国外 STEM 教育整体发文量情况

某个学科或主题整体发文量的时间分布能够在一定程度上反映该学科领域的发展速度和演变脉络,因此,对研究主题的整体发文特征进行分析是把握该主题研究现状的基础。图 1 对国外历年来 STEM 教育研究整体发文量情况进行了统计描述。从图 1 可以看出,国外 STEM 教育研究大致经历了 3 个阶段:2001 年至 2007 年的萌芽期,2008 年至 2012 年的发展期,2013 年至今的繁荣期。

在第 1 阶段的萌芽期,STEM 教育研究刚刚兴起,累计发文 15 篇,研究成果数量有限。尽管美国在 1986 年就发布了《本科的科学、数学和工程教育》报告,然而,根据 WoS 核心数据库统计显示,真正对 STEM 教育进行研究的文献始于 21 世纪以后。2002 年,美国科罗拉多大学波尔得分校的伊莱恩·西摩(Elaine Seymour)教授在《科学教育》(*Science education*)期刊上发表了一篇题为《美国本科科学、数学、工程和科技教育变革过程的跟踪》的文章。文中对美国大学 STEM 教育相关专业学生注册率的流失、美国大学生在科学发现上的表现不足、美国大学数学和科学教育质量不理想等问题进行了分析,提出了美国教育逐步向 STEM 教育转移的观点,即从“为了少数人的科学”向“为了大众的科学”的转变(the shift from “Science-for-the-Few” to “Science-for-All”)、从强调教学向强调学习和关注课堂评估的转变。文中还总结了美国 STEM 教育的理论变革和行动策略<sup>[2]</sup>。在第 2 阶段的发展期,STEM 教育研究成果有了一定的提升,数量从 2008 年的 5 篇上升至 2012 年的 32 篇,整个时期发文总数为 108 篇,约是第 1 阶段发文量的 7 倍。与此同时,研究主题也开始呈现多元化趋势。例如:对美国大学生选择 STEM 教育专业动机的研究;高中 STEM 职业兴趣的稳定性和波动性研究;少数族裔学生在 STEM 教育中学术成就表现研究;STEM 教育中的性别差异研究等。在第 3 阶段的繁荣期,STEM 教育研究成果呈现出迅猛增长的趋势,STEM 教育引起了越来越多人的兴趣和关注。据 WoS 核心数据库统计,此阶段发文总量多达 826 篇,约是第 1 阶段的 55 倍、第 2 阶段的 8 倍。结合当时的国际背景来看,以美国为代表的发达国家纷纷从国家战略、经济发展、国际竞争力等多重因素进行考量,出台和制定了多项促进 STEM 教育发展的政策和保障措施。例如:美国的《联邦 STEM 教育:5 年战略规划》《STEM 教育法》《STEM 2026:STEM 教育创新愿景》;英国的《创新经济与未来就业》《创新教育议程:下届政府如何及为何支持英国文化和创新性学习》;澳大利亚的《国家利益中的科学、技术、工程和数学:战略取向》《国家 STEM 学校教育策略(2016—2026 年)》等。这些政策和措施都极大地推动了 STEM 教育的进一步发展和深化。

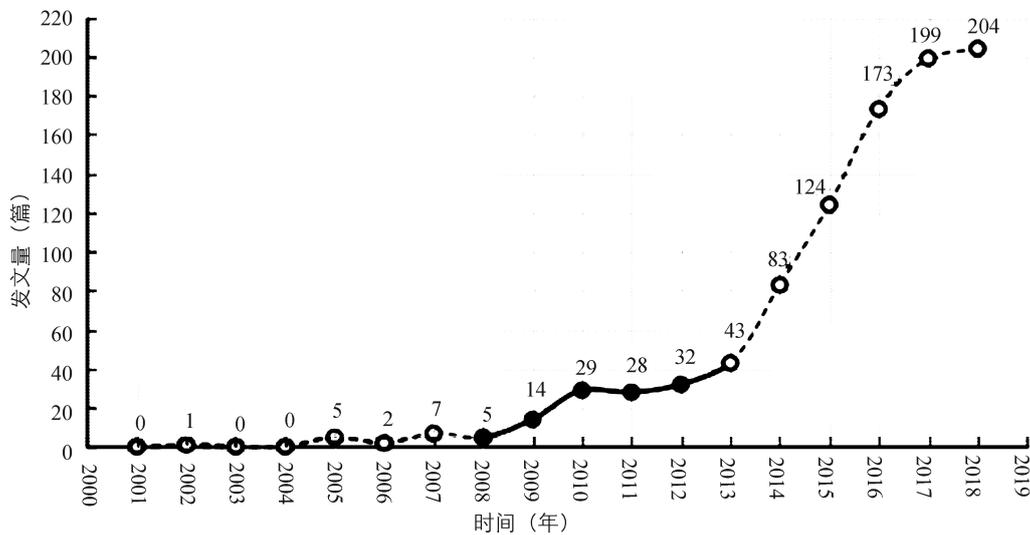


图 1 国外 STEM 教育研究发文量趋势统计

## (二)国外 STEM 教育发文国家、机构及作者情况

对 STEM 教育发文的有关国家、研究机构及作者等情况进行统计分析,能有助于我们从宏观、中观和微观 3 个层面进一步了解当前国际上对 STEM 教育的研究状况。表 1 分别就发文量排名前 5 的国家、研究机构和作者进行了统计。从表 1 中的数据可以看出,美国是当前世界范围内研究 STEM 教育最主要的国家,其累计发文量达 662 篇,占发文量总数的 69.75%,其次是澳大利亚、英国、加拿大和土耳其,分别发文 45 篇、37 篇、28 篇和 23 篇,占发文量总数的 4.74%、3.89%、2.95% 和 2.42%。美国是科技创新大国,作为 STEM 教育的发源地,美国各阶层都给予了 STEM 教育相

当程度的重视和关注,这从美国密集出台和发布了与 STEM 教育相关的政策文件和咨询报告便可窥见一斑。美国在 STEM 教育中的巨大投入,以及在实际中的大量探索,不仅确保了美国 STEM 教育不断取得成就,也进一步巩固了美国在全球核心竞争力方面的优势。从研究机构看,美国德克萨斯 A&M 大学(简称 TAMU)占有重要的地位,其在 STEM 教育研究中的贡献最大,累计发文量 30 篇,占全球范围内 STEM 教育研究发文总数的 3.16%。TAMU 是世界著名的公立研究型大学,是北美顶尖大学联盟美国大学协会(AAU)的成员之一,同时也是一所传统的工科强校,强大的学科背景和工科优势也为该校的 STEM 教育提供了良好的研究基础。此外,爱荷华州立大学(发文量 16 篇)、普渡大学(发文量 16 篇)、密歇根州立大学(发文量 15 篇)、威斯康星大学(发文量 15 篇)、明尼苏达大学(发文量 11 篇)、昆士兰大学技术学院(发文量 11 篇)、乔治梅森大学(发文量 10 篇)等机构的发文量均比较靠前,在该研究领域也颇具影响力。从作者发文情况看,德克萨斯 A&M 大学的罗伯特·卡普拉罗(Robert M.Capraro)发文量最多,共累计发文 10 篇,其中有对在职教师基于 STEM 教育项目的实施与理解的研究<sup>[3]</sup>,有对实施 STEM 教育对创新时代教师教育的意义分析<sup>[4]</sup>,等等。此外,玛利·卡普拉罗(Mary Margaret Capraro)、林·英格里斯(English)、查尔斯·亨德森(Henderson)、莎伦·林奇(Lynch)、茜恩(Shin)等人在该研究领域也有较多的发文量,发文数均在 6 篇及以上。

综上,从各项情况的统计可以看出,美国在 STEM 教育中扮演了关键性的角色并取得了突出的成就,而这一现象也凸显了 STEM 教育在美国国家战略中的地位。

表 1 发文量居前 5 位的国家、研究机构和作者等情况的统计

国家	发文量(篇)	研究机构	发文量(篇)	作者	发文量(篇)
美国	662	德克萨斯 A&M 大学	30	CAPRARO R M	10
澳大利亚	45	爱荷华州立大学	16	CAPRARO M M	9
		普渡大学	16		
英国	37	密歇根州立大学	15	ENGLISH L D	8
		威斯康星大学	15		
		明尼苏达大学	11		
加拿大	28	昆士兰大学技术学院	11	HENDERSON C	7
土耳其	23	乔治梅森大学	10	SHIN R C	6

### (三)国外 STEM 教育研究热点的可视化分析

研究热点是指在一定时间内出现某一研究领域的大量文章成为被集中关注的主题<sup>[5]</sup>。学术研究领域较长时间内大量关键词的集合,可以揭示该研究领域的总体特征与研究内容之间的内在联系,也可以反映学术研究发展的脉络与发展方向<sup>[6]</sup>。词频分析正是基于关键词的这种特殊价值,通过对其在某一文献中出现的频次来判断领域研究热点和发展动向<sup>[7]</sup>。本研究对国外历年来 STEM 教育研究中的关键词进行了统计,并对出现频次大于或等于 5 次的关键词进行了摘录统计,统计结果见表 2 所示。

表 2 国外 STEM 教育研究高频关键词(≥5)统计

关键词	频次	百分比%	关键词	频次	百分比%	关键词	频次	百分比%
STEM	212	7.10	平等	12	0.40	高中	7	0.23
STEM 教育	97	3.25	教师教育	12	0.40	大二学生	7	0.23
性别	36	1.20	工程设计	11	0.37	态度	7	0.23
科学	31	1.04	动机	11	0.37	调查/发现学习	6	0.20
高等教育	27	0.90	维持	10	0.33	基础教育	6	0.20
专业发展	22	0.74	STEM 学校	10	0.33	ICT	6	0.20
种族	21	0.70	参与	10	0.33	合作学习	5	0.17

关键词	频次	百分比%	关键词	频次	百分比%	关键词	频次	百分比%
工程	21	0.70	问题导向的学习	9	0.30	公众理解	5	0.17
STEM 整合	20	0.67	课程	9	0.30	大学生探究	5	0.17
教育	20	0.67	身份	9	0.30	STEM 学习	5	0.17
科技	20	0.67	指导	8	0.27	职员	5	0.17
科学教育	20	0.67	自我效能	8	0.27	STEM 生涯	5	0.17
K-12	15	0.50	初中	8	0.27	在线学习	5	0.17
基于项目的学习	15	0.50	女性	8	0.27	高中化学	5	0.17
工程教育	14	0.47	持续	7	0.23	PISA	5	0.17
数学	13	0.44	大一学生	7	0.23			
多样性	13	0.44	实习培训	7	0.23			

由表 2 中的数据可以看出,除 STEM 及 STEM 教育外,其他如性别、高等教育、专业发展、种族、STEM 整合、教育、科学、科技、K-12、基于项目的学习、工程、多样性、平等、教师教育、科学教育、工程设计、动机、维持、STEM 学校、参与、课程、身份、指导、自我效能、初中、女性等关键词均具有较高的出现频次。这些关键词能够初步反映历年来国外学者研究 STEM 教育的兴趣点及研究方向等情况。为了深入地挖掘这些关键词之间的内在关联以及潜藏的价值信息,还需采用共词分析技术(co-word analysis),对一组词两两统计它们在同一篇文献中出现的次数,再通过聚类分析,揭示出这些词之间的亲疏关系以及这些词所代表的学科或主题的内在结构与演化过程<sup>[8]</sup>。对高频关键词进行共现关系分析,可以进一步明确研究领域的热点<sup>[9]</sup>。本文采用书目共现分析系统 Bicomb2.0 来实现对国外 STEM 教育研究高频关键词的共现分析及提取,最后生成 50×50 的高频关键词共词矩阵。共词矩阵示例见表 3 所示。

表 3 国外 STEM 教育研究高频关键词共词矩阵(部分)

关键词	STEM	STEM 教育	性别	科学	高等教育	专业发展	种族	工程	STEM 整合	教育	科技	科学教育	K-12
STEM	212	5	18	12	11	3	6	7	0	13	9	7	5
STEM 教育	5	97	1	2	2	3	0	2	3	0	1	2	2
性别	18	1	36	2	3	0	11	4	0	1	1	2	0
科学	12	2	2	31	0	1	1	8	0	3	15	0	1
高等教育	11	2	3	0	27	1	3	0	0	1	0	1	0
专业发展	3	3	0	1	1	22	0	1	2	0	1	3	0
种族	6	0	11	1	3	0	21	0	0	5	0	1	0
工程	7	2	4	8	0	1	0	21	0	1	9	0	2
STEM 整合	0	3	0	0	0	2	0	0	20	2	0	3	1
教育	13	0	1	3	1	0	5	1	2	20	2	0	3
科技	9	1	1	15	0	1	0	9	0	2	20	0	1
科学教育	7	2	2	0	1	3	1	0	3	0	0	20	0
K-12	5	2	0	1	0	0	0	2	1	3	1	0	15

随后,对共词矩阵进行转化,生成相异矩阵,并进行多维尺度分析(MDS)。多维尺度分析可以通过创建多维空间感知图,并以与图中心点的距离来揭示词与词之间的相似性或差异性,从而更好地发现数据背后所隐藏的内在关联。将转化后的高频关键词相异矩阵导入 SPSS21.0,度量标准选择“Euclidean”距离,标准化选择“Z”分数,运行软件,随之产生数据分析结果及可视化结构图,具体如图 2 所示。需要说明的是,图中各个小点分别代表各个高频关键词所处的位置,其中点与点之间的距离越近,则表明它们之间的联系越紧密,成员之间越具有内在的相似性;反之,距离越远,则关系越疏远,成员之间的联系也越少<sup>[10]</sup>。MDS 分析结果显示, $Stress = 0.18$ , $RSQ = 0.86$ ,即说明拟合效果较好,可以反映国外历年来 STEM 教育研究高频关键词之间的内在结构和联系。

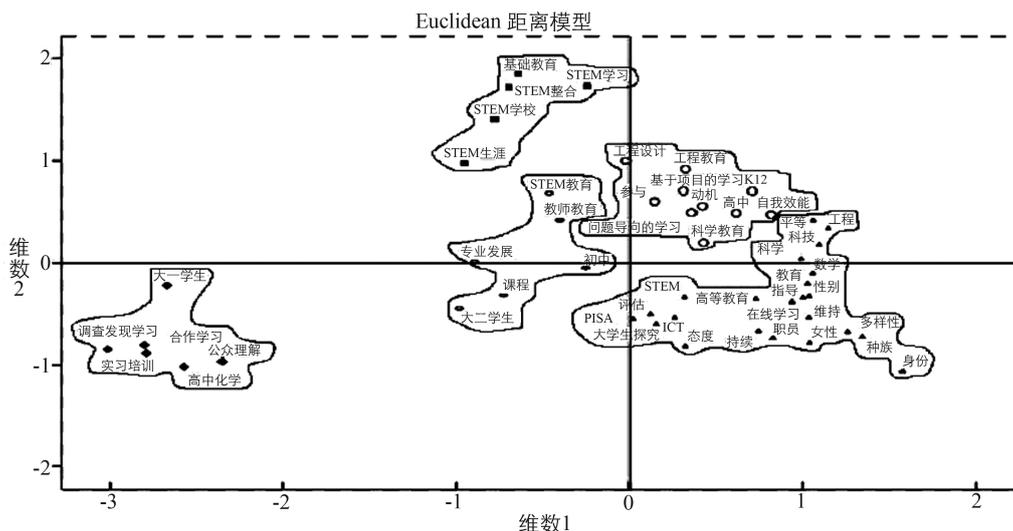


图 2 国外 STEM 教育研究高频关键词 MDS 分析

通过关键词所处的位置,可以将国外 STEM 教育大致划分为 5 个热点研究领域,这 5 个热点研究领域分别对应图中 5 个区域。同时,结合对关键词所属具体文献进行分析,将这 5 个热点研究领域内容归纳为 5 个方面。

一是关于 STEM 教育参与主体的主观因素和学生学习表现情况的研究。该研究领域的关键词主要包括:高中、K-12、参与、动机、自我效能、基于项目的学习、问题导向的学习、工程设计、工程教育、科学教育等。这里的 STEM 参与主体不仅包括学生,也包括教师和学生家长等。例如:K-12 阶段学生家长对科学、技术、工程和数学(STEM)的认识、兴趣、信念和面临挑战的感知等研究<sup>[11]</sup>;高中 STEM 教师对工程教育的信念和期望研究等<sup>[12]</sup>。学生在 STEM 教育项目中的学习表现研究主要有:学生参与 STEM 教育项目情况;学生选择 STEM 教育的动机;学生在 STEM 学习中的表现及自我效能感;学生课后 STEM 教育项目的学习动机和参与度的影响因素<sup>[13]</sup>;激发高中学生 STEM 教育课程学习动机策略等<sup>[14]</sup>。这些都是该领域的重点和热点研究主题。另外,基于项目(project)和问题导向(problem)的 STEM 教育学习形式(PBL),以及学生在此类型学习中的表现也是该领域的研究热点问题。

二是关于特殊群体在 STEM 教育中的学习及表现情况的研究。该研究领域的关键词主要包括:性别、种族、身份、平等、女性、指导、态度、持续、评估、高等教育、ICT、PISA、STEM 等。其主要涉及对高等教育领域不同族裔群体、女性群体选择 STEM 教育的动机以及在 STEM 教育中学习表现的差异性研究。例如:对 STEM 教育的认识、看法和信念;STEM 教育中的平等与公平问题;STEM 教育对女性学术表现、职业发展的影响等。克莱尔·弗拉迪斯(Claire Wladis)等人对种族、民族、性别、学生特质等与 STEM 课程注册率之间的关系进行了探究<sup>[15]</sup>。劳拉·佩尔纳(Laura Perna)等人以美国黑人妇女为个案,阐释了制度、政策及现实生活是如何阻碍非洲裔美国妇女在 STEM 教育中获得成就的,并提出了减少阻碍且富有成效的建议<sup>[16]</sup>。

三是关于 STEM 教育整合及 STEM 教师职业生涯发展情况的研究。该领域的关键词主要包括:STEM 整合、STEM 学习、STEM 学校、基础教育、STEM 教育生涯等。其主要涉及两个方面:一方面是对基础教育阶段 STEM 教育如何在教学、课程、知识、学科等方面进行整合的探究;另一方面是对 STEM 教育与职业认识、职业选择、职业发展的相关性研究。皮尔逊(Pearson)认为教学方法多元整合对激发学生 STEM 教育的学习动机和提高学生学业成就有非常大的帮助。他还对美国 K-12 阶段 STEM 教育整合的研究成果进行了总结,提出了一整套的框架<sup>[17]</sup>。雪伦·马克(Sheron L. Mark)对美国非主流社会青年(non-dominant youth)探索 STEM 教育的方式和心理进行了探究<sup>[18]</sup>。布劳尼克·凯伦(Blotnick Karen)等人对高中生的知识结构、教学效能感、职业兴

趣和追求与 STEM 教育的相关关系进行了探究<sup>[19]</sup>。

四是关于 STEM 教育实践活动情况的研究。该研究领域的关键词主要包括：调查(发现)学习、合作学习、实习培训、公众理解、高中化学、大一学生等。STEM 教育本身具有一定的活动性和实践性，因此，在 STEM 教育过程中多采用整合性的项目和实践活动的形式来培养学生发现问题及解决问题的能力，重视调动学生学习主动性来进行探究和合作。杰西卡·伦洛(Jessica L. Enlow)等人通过设计科学实验活动来提高学生的 STEM 教育参与度，培养学生的探究能力<sup>[20]</sup>。曼迪·列文(Mindy Levine)等人通过组织和设计夏令营活动来提高学生对 STEM 教育的兴趣。梅苏特·杜兰(Mesut Duran)等人探讨了协作探究式学习和课后项目设计学习等策略对农村高中学生 STEM 教育学习体验及支持体系的影响<sup>[21]</sup>。

五是关于 STEM 教育教师的培养及专业发展情况的研究。该研究领域的关键词主要包括：STEM 教育、教师教育、教师发展、课程等。其主要讨论教师对 STEM 教育的认识、教师对 STEM 教育知识的理解和教学运用情况、教师在 STEM 教育实践中的表现、教师在 STEM 教育中的角色、STEM 教育培养和教师专业发展等问题。这些研究旨在通过对教师 STEM 教育的培养和专业发展来提升教师的 STEM 教育素养，最终有效地指导学生的学习。戴恩·贝尔(Dawne Bell)等人认为，基于工作场所的学习和设计能够有效地支持教师的专业发展和 STEM 教育素养的提升<sup>[22]</sup>。纳迪尔森·路易斯(Nadelson Louis)等人研究了基础教育教师对 STEM 教育的感知以及在 STEM 教育中所做的准备与学生学习之间的关系，并通过制定教师职业发展规划来促进教师的专业发展<sup>[23]</sup>。

#### (四) 研究知识基础的可视化分析

文献共被引分析是 CiteSpace 最具亮的功能，同时也是最为重要的功能。通过文献的共被引分析，不仅可以了解某个主题或领域的研究前沿，同时还可以挖掘该领域有重要影响力的经典或关键文献，而这些经典或关键文献是构成该主题知识基础的重要组成部分。图 3 呈现了国外 STEM 教育研究文献共被引分析的知识图谱，其中节点的大小代表了该文献被引次数的多少，节点越大即被引用次数越多，反之，则越少。而节点之间的连线则反映了不同文献之间的关联程度，连线越粗则说明文献之间的联系越紧密，反之，则越松散。图 3 还对具有很高中介中心性(betweenness centrality)的节点进行了专门标注，中介中心性是用来发现和衡量文献重要性的一项指标。在图 3 中，呈紫色圈的节点(出现紫色圈的节点的中介中心性 $\geq 0.1$ )即为重要节点，其代表着某一领域的经典或关键文献。

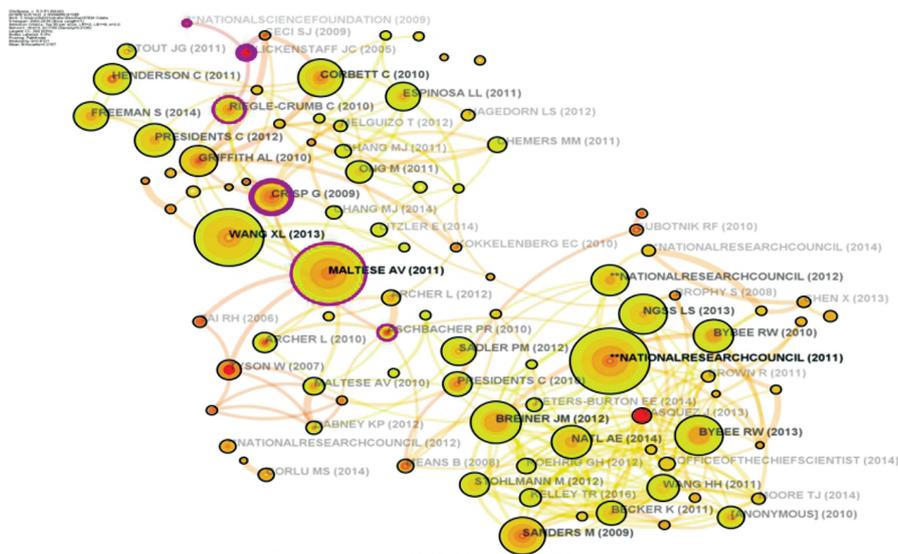


图 3 国外 STEM 教育研究的文献共被引分析

基于对图中呈紫色圈的关键节点以及各节点的中介中心性值大小的分析,可以发现布利肯斯塔夫(Blickenstaff)(0.25)、克里斯普(Crisp)(0.19)、阿斯巴切(Aschbacher)(0.15)、马尔塔奇(Maltese)(0.14)、格里菲思(Griffith)(0.14)、美国国家科学基金会(National Science Foundation,简称NSF)(0.14)、里格尔·克拉姆(Riegle-crumb)(0.13)、塞西(Ceci)(0.12)等人或团体的研究在网络中占有重要的位置,可将他们的研究视为国外STEM教育研究的关键文献。其中,布利肯斯塔夫(Blickenstaff)主要关注了女性的STEM教育问题,在其经典研究文献《女性与科学职业:管道泄露还是性别过滤?》(*Women and science careers: leaky pipeline or gender filter?*)中,梳理了近30年来世界大多数工业化国家女性的STEM教育问题,分析了工业化国家女性STEM教育比例偏低甚至缺失的原因。布利肯斯塔夫认为,女性的STEM教育涉及诸多复杂的因素,除了考虑STEM的学科知识外,还应该将其置于更广阔的社会背景中加以考量。他还认为,教育者应该采取有效的创新措施,帮助女性更加公平和平等地参与到STEM教育当中,这对于STEM教育本身及社会发展均有益处<sup>[24]</sup>。克里斯普(Crisp)等人以参与的西班牙服务机构(Hispanic Serving Institution,简称HSI)项目为研究基础,以西班牙裔大学生为研究对象,试图探究学生对STEM教育的兴趣及获得STEM教育学位的影响因素。研究表明,大学生在注册STEM教育专业以及获得STEM教育学位过程中受到性别、种族、SAT数学分数和第一学期GPA成绩等因素的影响。研究还发现,HSI也可能是学生进入STEM教育领域学习和促进教育平等的重要途径<sup>[25]</sup>。马尔塔奇(Maltese)等人探究了学生的教育经历与获得STEM教育学位之间的关系,认为大多数专注于STEM教育的学生在高中时期就有了这样的倾向,而这主要是与学生对数学和科学日益浓厚的兴趣有关,而非他们的学习成绩。这些结果表明,现行的政策导向——以高水平课程选修和学习成绩作为增强STEM教育学位学生流动性——很可能是错误的<sup>[26]</sup>。另外,美国国家科学基金会(NSF)的研究成果也很重要。NSF多次发布了《科学和工程中的女性、少数民族以及残疾人》(*Women, minorities, and persons with disabilities in science and engineering*)的系列研究报告,该研究报告也是历年来被STEM教育研究领域重点关注的文献。

此外,在STEM教育研究文献共被引分析的基础上,笔者还对研究结果做了进一步的突发性检测,突发性检测的结果能够在一定程度上反映该领域的研究前沿。从节点的突发性值(bursts)以及结合具体的文献分析发现:泰森(Tyson)(*bursts* = 5.46)探讨了高中科学和数学课程学习是如何为未来大学生获得STEM教育学位创造途径的<sup>[27]</sup>;布利肯斯塔夫(Blickenstaff)(*bursts* = 5.22)对女性STEM教育问题及学习现状给予了关注;泰(Tai)(*bursts* = 4.45)对青年学生STEM职业生涯选择与规划进行了分析<sup>[28]</sup>;瓦斯奎兹(Vasquez)(*bursts* = 3.32)对三至八年级学生STEM教育课程学习要点及STEM课程整合问题进行了研究<sup>[29]</sup>;美国国家科学基金会(NSF)(*bursts* = 3.28)对女性、少数族裔、残疾人等弱势群体的STEM教育问题给予关注;苏伯尼克(Subotnik)(*bursts* = 3.05)对专科公立高中(specialized public high school)STEM教育的现状及未来进行了深入的探讨<sup>[30]</sup>;伦特(Lent)(*bursts* = 3.00)对社会认知职业理论(Social Cognitive Career Theory,简称SCCT)对在预测不同性别和种族学生的工程兴趣和专业目标选择中的效用进行了分析<sup>[31]</sup>。以上这些探讨和分析在一定程度上反映了国外STEM教育的研究方向。

#### 四、研究结论及启示

本文以WoS核心合集数据库为数据来源,对国外历年来STEM教育研究的基本现状进行分析和探究。通过对国外STEM教育研究整体发文量的分析发现,国外STEM教育研究大致经历了萌芽期(2001年至2007年)、发展期(2008年至2012年)和繁荣期(2013年至今)3个阶段。在此发展过程中,STEM教育越来越受到人们的关注和认可。一方面,研究队伍不断壮大,研究成果持续猛增;另一方面,研究主题越来越多元化,研究内容也更加具体和深入。这主要体现在:从关注学生

STEM 教育学习动机发展到关注学生 STEM 教育学习机会以及教育平等和公平问题;从关注 STEM 教育分科教学到关注 STEM 教育课程整合问题;从关注 STEM 教育本身到关注学生 STEM 职业发展规划和教师专业发展问题。对发文国家、发文机构和发文作者等情况的统计,可以从宏观、中观和微观层面上展示国外 STEM 教育研究的基本概况。在宏观层面上,美国在 STEM 教育研究中占有绝对的优势和地位,其发文量占国外历年 STEM 教育研究发文总量的 69.75%,其次是澳大利亚、英国、加拿大和土耳其等国。在中观层面上,以美国大学为主要的研究机构,其中发文量排名前 10 的机构美国就占 9 所,澳大利亚为 1 所(昆士兰大学技术学院)。在微观层面上,美国学者罗伯特·卡普拉罗(Robert M. Carparo)、玛利·卡普拉罗(Mary Margaret Capraro)、查尔斯·亨德森(Henderson)、莎伦·林奇(Lynch),澳大利亚学者英格里斯(English)等人都在该领域有较多的论文发表,在 STEM 教育研究中表现活跃。

本研究还采用 Bicom2.0 以及 SPSS21.0 对国外 STEM 教育研究高频关键词进行了关键词共词分析和多维尺度分析,以揭示其研究热点。研究发现,国外 STEM 教育研究热点大致可划分为 5 个领域:STEM 教育参与主体的主观因素和学生学习表现情况研究;特殊群体 STEM 教育学习及表现情况研究;STEM 教育整合及 STEM 教师职业生涯发展情况研究;STEM 教育实践活动情况研究;STEM 教师培养及专业发展情况研究。

此外,本研究还基于 CiteSpace 可视化软件对已有研究数据进行了文献共被引分析,旨在展现和挖掘国外 STEM 教育研究前沿和知识基础。研究发现,国外 STEM 教育研究的前沿大致体现在:创新 STEM 专业学习(学位获得)途径;关注女性、少数族裔、残疾人等群体的 STEM 教育和学习的平等与公平;K-12 阶段 STEM 课程整合;高中学生 STEM 职业生发展规画;社会认知职业理论(SCCT)在分析学生对 STEM 教育兴趣及专业选择中的效用。布利肯斯塔夫(Blickenstaff)、克里斯普(Crisp)、阿斯巴切(Aschbacher)、马尔塔奇(Maltese)、格里菲思(Griffith)、美国国家科学基金会(NSF)、里格尔·克拉姆(Riegle-crumb)、塞西(Ceci)等人和机构的研究成果成为了国外 STEM 教育研究的经典或关键文献,同时也是构成国外 STEM 教育研究知识基础的重要组成部分。

对国外 STEM 教育研究进行可视化分析,能够对我国 STEM 教育研究有一定的启示作用,这主要表现在 4 点。

其一,重视对 STEM 教育的顶层设计。以美国为代表的发达国家之所以在 STEM 教育中引领潮流,并始终保持强劲的国际竞争力,这与把 STEM 教育作为国家层面的行动战略密切相关。美国政府连续发布多项关于 STEM 教育的指导性文件,并在资金保障、社会参与、项目设计等方面给予大力支持,培养了大批 STEM 教育方面的人才<sup>[32]</sup>,为美国经济发展作出了重大贡献。国家层面的大力支持和顶层设计是 STEM 教育顺利实施的关键。未来我国 STEM 教育应进一步争取获得国家的更多支持。

其二,重视对 STEM 教育的整合性研究。STEM 教育是跨学科、跨学段的连贯课程群。如何开展学科间的交叉融合、如何解决不同学段的衔接问题是当前 STEM 教育具体实施过程中首先要考虑的。STEM 教育旨在培养学生运用所学知识来解决问题的整体性思维。在我国现有的课程体系中,技术、工程类课程和综合类课程数量还明显不足,各学段之间在课程设置、内容、目标上还处于割裂状态。而在英美德等发达国家,STEM 教育研究相对较为成熟,STEM 教育整合是各国长期研究和关注的热点,未来我国应重视对 STEM 教育的整合性研究。

其三,加强对 STEM 教育师资培养。STEM 教师培养及发展也是国外 STEM 教育的研究热点,美国在奥巴马政府时期就开始重视 STEM 教育教师培养,在 2009 年的“*为创新而教计划*”中,提出要在随后的 5 年内,由 5 个公共和私营部门为 1 万多名未来教师提供培训,同时支持现有 10 万多名 STEM 教育教师的专业发展。同时,在 2011 年新版的《*美国创新战略*》报告中提出,努力在 2020 年前再培养出 10 万名从事 STEM 教育的教师。而我国的 STEM 教育教师非常匮乏,尤其是

在技术与工程教育方面,原有的师范教育中没有相应课程与之对应,而技术工程类教师在基础教育学校中也极为缺乏,未来亟需加强我国 STEM 教育教师的培养。

其四,重视社会力量的参与,开创多渠道共同助力的局面。国外 STEM 教育的成功案例表明,除了要有国家层面的顶层设计外,社会力量的参与也是 STEM 教育得以顺利实施的重要保障。例如:美国的“变革方程”组织(Change the Equation)整合了企业、商界的名流和社区力量,架起了政府、社会与学校之间的桥梁,在推动全美重视 STEM 教育中扮演了重要角色;英国的“STEM 凝聚力计划”也号召社会力量积极参与 STEM 教育项目的研究,联合社会机构协同合作,共同助力 STEM 教育发展。随着我国社会经济的飞速发展,人们对教育的需求及重视程度也有了极大的提高,并形成了良好的社会共识,这可以助力 STEM 教育的发展。因此,应加大宣传力度,鼓励更多的社会力量来支持和参与 STEM 教育,共同推进我国 STEM 教育迈向新的台阶。未来我国应继续加强对 STEM 教育的探究,重视对国际研究经验的参考和借鉴,主动把握 STEM 教育的未来研究方向和发展趋势。

#### 参考文献:

- [1] 李春玲,肖远军. 推进美国 STEM 教育改革的政府行动:缘由、目标与措施[J]. 全球教育展望,2018,47(7):48-56.
- [2] SEYMOUR E. Tracking the processes of change in US undergraduate education in science, mathematics, engineering, and technology[J]. Science Education, 2002, 86(1):79-105.
- [3] HAN S, YALVAC B, CAPRARO R M, et al. In-service teachers' implementation and understanding of STEM project based learning[J]. Eurasia Journal of Mathematics Science & Technology Education, 2015, 11(1):63-76.
- [4] CORLU M S, CAPRARO R M, CAPRARO R M. Introducing STEM education: implications for educating our teachers in the age of innovation[J]. Education and Science, 2014,39(171):74-85.
- [5] 陈时见,刘方林. 我国课程领导研究的主题构成与前沿趋势[J]. 教师教育学报,2018,5(1):1-7.
- [6] 李文兰,杨祖国. 中国情报学期刊论文关键词词频分析[J]. 情报科学,2005(1):68-70.
- [7] 傅柱,王曰芬,陈必坤. 国内外知识流研究热点:基于词频的统计分析[J]. 图书馆学研究,2016(14):2-12.
- [8] 崔雷. 专题文献高频主题词的共词聚类分析[J]. 情报理论与实践,1996(4):50-52.
- [9] 王凡. 科学知识图谱视域中的《图书馆理论与实践》[J]. 图书馆理论与实践,2011(8):23-26.
- [10] 郭文斌,方俊明. 关键词共词分析法:高等教育研究的新方法[J]. 高教探索,2015(9):15-21.
- [11] HERNANDEZ D,RANA S,ALEMDAR M,et al. Latino parents' educational values and STEM beliefs[J]. Journal for Multicultural Education, 2016, 10(3):354-367.
- [12] NATHAN M J, TRAN N A, ATWOOD A K, et al. Beliefs and expectations about engineering preparation exhibited by high school STEM teachers[J]. Journal of Engineering Education, 2010, 99(4):409-426.
- [13] CHITTUM J R, JONES B D, AKALIN S, et al. The effects of an afterschool STEM program on students' motivation and engagement[J]. International Journal of STEM Education, 2017, 4(1):1-16.
- [14] AESCHLIMANN B, HERZOG W, MAKAROVA E, et al. How to foster students' motivation in mathematics and science classes and promote students' STEM career choice. A study in Swiss high schools[J]. International Journal of Educational Research, 2016(79):31-41.
- [15] WLADIS C, HACHEY A C, CONWAY K M, et al. Which STEM majors enroll in online courses, and why should we care? The impact of ethnicity, gender, and non-traditional student characteristics[J]. Computers in Education, 2015,23(2): 285-308.
- [16] PEMA L, LUNDYWAGNER V, DREZNER N D, et al. The contribution of HBCUS to the preparation of African American women for stem careers: a case study[J]. Research in Higher Education, 2009, 50(1):1-23.
- [17] PEARSON G. National academies piece on integrated STEM[J]. The Journal of Educational Research, 2017, 110(3):224-226.
- [18] MARK S L. Erratum to: psychology of working narratives of STEM career exploration for non-dominant youth[J]. Journal of Science Education & Technology, 2016, 25(6):994.
- [19] KAREN B,FRANZODENDAAL T, FRENCH F, et al. A study of the correlation between STEM career knowledge, mathematics self-efficacy, career interests, and career activities on the likelihood of pursuing a STEM career among middle school students[J]. International Journal of STEM Education, 2018, 5(1):1-22.
- [20] ENLOW J L, MARIN D M, WALTER M G, et al. Using polymer semiconductors and a 3-in-1 plastic electronics STEM education kit to engage students in hands-on polymer inquiry activities[J]. Journal of Chemical Education, 2017, 94(11):1714-1720.

- [21] DURAN M , HOFT M, LAWSON D B, et al. Urban high school students' IT/STEM learning: findings from a collaborative inquiry- and design-based afterschool program[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2014, 23(1):116-137.
- [22] BELL D, MORRISONLOVE D, WOUFF D, et al. STEM education in the twenty-first century: learning at work——an exploration of design and technology teacher perceptions and practices[J]. *International Journal of Technology and Design Education*, 2018, 28(3): 721-737.
- [23] LOUIS N,CALLAHAN J,PYKE P,et al. Teacher STEM perception and preparation: inquiry-based STEM professional development for elementary teachers[J]. *The Journal of Educational Research*, 2013, 106(2):157-168.
- [24] BLICKENSTAFF J C. Women and science careers: leaky pipeline or gender filter? [J]. *Gender & Education*, 2005, 17(4):369-386.
- [25] CRISP G, NORA A, TAGGART A. Student characteristics, pre-college, college, and environmental factors as predictors of majoring in and earning a STEM degree: an analysis of students attending a hispanic serving institution[J]. *American Educational Research Journal*, 2009, 46(4):924-942.
- [26] MALTESE A V, TAIR H . Pipeline persistence: examining the association of educational experiences with earned degrees in STEM among U.S. students[J]. *Science Education*, 2011, 95(5):877-907.
- [27] TYSON W, LEE R S, BORMAN K M, et al. Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) pathways: high school science and math coursework and postsecondary degree attainment[J]. *Journal of Education for Students Placed at Risk*, 2007, 12(3):243-270.
- [28] TAI R H. Careerchoice enhanced:planning early for careers in science[J]. *Science*, 2006, 312(5777):1143-1144.
- [29] VASQUEZ J A, COMER M, SNEIDER C. STEM lesson essentials, grades 3-8; integrating science, technology, engineering, and mathematics[EB/OL]. (2018-12-14)[2019-01-12]. <https://www.teachingbooks.net/tb.cgi? tid=37510&a=1>.
- [30] SUBOTNIK R F, TAI R H, RICKOFF R, et al. Specialized public high schools of science, mathematics, and technology and the STEM pipeline: what do we know now and what will we know in 5 years? [J]. *Roeper Review*, 2009, 32(1):7-16.
- [31] LENT R W, BROWN S D, SHEU H B, et al. Social cognitive predictors of academic interests and goals in engineering: utility for women and students at historically black universities[J]. *Journal of Counseling Psychology*, 2005, 52(1):84-92.
- [32] 王素.《2017年中国STEM教育白皮书》解读[J]. *现代教育*,2017(7):4-7.

## Hotspots and Frontiers of the International Research on STEM Education

QIU Defeng<sup>1</sup>, QUAN Xiaojie<sup>2</sup>, LI Yanxi<sup>3</sup>

(1. Faculty of Psychology; 3. Faculty of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China;  
2. School of Education, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** In recent years, STEM education has become a hot topic all around the world, and is regarded as the key to the cultivation of core competence in the 21st century. In order to better grasp the status and progress of STEM education research, and provides useful reference for STEM education in China, this study conducts a visual analysis of STEM education research in countries outside China over the years. Specifically, this study takes the WoS core database as the data source, and explores through the bibliographic co-occurrence analysis system Bibis2.0, SPSS21.0 and CiteSpace visualization software. The study found that foreign STEM education research has roughly experienced a developmental context from the rise (2001—2007) to development (2008—2012) and to deepening (2013—present). Its hotspots mainly include research on the subjective factors of STEM participants and students' learning performance, STEM learning and performance research for special groups, STEM integration and career development, STEM practical activities exploration, STEM teachers' training, development and other research. The research front subject is mainly reflected in the following aspects: innovative STEM professional learning (degree acquisition) approaches; focus on the equality and fairness of STEM education and learning among women, ethnic minorities, people with disabilities and other groups; K-12 stage STEM curriculum integration; STEM career development planning for high school students; the utility of Social Cognitive Occupation Theory (SCCT) on analyzing students' interest in STEM and their major selection. In the future, China should continue to strengthen the exploration of STEM education, attach importance to the study and reference of international research experience, and actively grasp the future research direction and trend of STEM education.

**Key words:** STEM education; research hot spot; research foreword; visual analysis; CiteSpace; co-word analysis; MDS

责任编辑 邱香华