

基于内容分析法的STEM教育研究综述

周欣雨, 童 瑶, 兰希馨

华南师范大学教育信息技术学院, 广东 广州
Email: 1044359015@qq.com

收稿日期: 2021年5月29日; 录用日期: 2021年6月24日; 发布日期: 2021年6月30日

摘 要

近年来, STEM教育已是这个时代影响最深远的教育理念之一, 为梳理和分析我国STEM教育的研究现状并对未来的发展趋势进行展望, 本研究基于内容分析法, 筛选国内高质量期刊中关于STEM教育的文献进行分析, 从载文情况、研究热点和研究内容三方面进行探讨, 以期对国内STEM教育现状和发展形成理论分析。

关键词

STEM教育, 内容分析, 研究综述

A Review of STEM Education Research Based on the Content Analysis Approach

Xinyu Zhou, Yao Tong, Xixin Lan

School of Information Technology in Education, South China Normal University, Guangzhou Guangdong
Email: 1044359015@qq.com

Received: May 29th, 2021; accepted: Jun. 24th, 2021; published: Jun. 30th, 2021

Abstract

In recent years, STEM education has been one of the most far-reaching educational concepts of this era. In order to sort out and analyze the current situation of research on STEM education in China and to make an outlook on the future development trend, this study, based on content analysis, screens the literature on STEM education in high-quality domestic journals for analysis, and discusses three aspects, namely, the situation of articles contained, research hotspots and research contents, with a view to providing a theoretical analysis of the current situation and development of STEM education in China. The present situation and development of STEM education in China

are theoretically analyzed.

Keywords

STEM Education, Content Analysis, Research Review

Copyright © 2021 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

STEM 是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)和数学(Mathematics)四门学科的简称,强调多学科的交叉融合。STEM 教育并不是科学、技术、工程和数学教育的简单叠加,而是要将四门学科内组合形成有机整体,以更好地培养学生们的的设计能力、合作能力、问题解决能力和实践创新能力[1]。STEM 教育源于美国,20 世纪 90 年代,美国国家科学基金会首次使用 STEM 描述涉及一至多门 STEM 学科的事件、政策、项目或实践[2]。近年来,我国越来越关注 STEM 教育,STEM 教育也成为教育技术学领域的一大研究热点。2016 年,国家教育部首次提出了“探索 STEM 教育等新教育模式”[3]。2017 年教育部印发的《义务教学小学科学课程标准》中,把 STEM 教育列为新课标标准的重要内容之一[4]。为了梳理和分析我国 STEM 教育的研究现状并对未来的发展趋势进行展望,本研究基于内容分析法,筛选国内高质量期刊中关于 STEM 教育的文献进行分析,以期对国内 STEM 教育现状和发展形成理论分析。

2. 文献综述

2.1. STEM 发展形成理论

1986 年,美国科学基金会(National Science Foundation,以下简称 NSF)发布《本科科学、数学和工程教育》报告,首次提出要集成科学、数学、工程和技术教育(SMET) [5]。M Sanders 首先提出 STEM 教育一词,除了定义了 STEM 概念外,他还融入了 STEM 教育素养。自 20 世纪 90 年代以来,美国的 NSF 就开始使用 STEM “科学、数学、工程和技术”四门学科英语单词的首字母组合 STEM 来表示四个科目的整合教育[6]。此后二十年间,美国历届政府先后通过颁布《美国竞争力计划》《培养和激励:为美国的未来实施 K-12 年级 STEM 教育》等法令以及拨款资助等形式呼吁培养 STEM 人才、增加弱势群体接受 STEM 教育的机会、培养优秀的 STEM 教师及在中小学实施 STEM 教育,从而在全社会形成了一股推广 STEM 教育的热潮。国外对于 STEM 教育理论的研究主要是 STEM 教育概念的界定和 STEM 素养的探讨,目前为止,还没有达到一个统一的意见。美国国家科学基金会对 STEM 定义做了说明:STEM 不仅包含数学、自然科学、工程和计算机科学共同的策略,而且包括社会、行为科学。美国弗吉尼亚科技大学的学者乔吉特·亚克曼(Georgette Yakman)及其团队在 STEM 教育的基础上加入了“ARTS”元素,首次提出 STEAM 教育。大部分国外学者从四门学科素养(科学素养、技术素养、工程素养、数学素养)构成的角度来探析 STEM 教育的培养取向。部分学者开始用布鲁姆教育目标分类的角度来研究 STEM 素养,此外对 STEM 能力或技能的研究也比较多[7]。

2.2. STEM 教育研究方向

通过对文献的研究总结得出目前 STEM 教育研究方向主要包括基础研究、现状研究、应用研究和专

业发展研究四个方面。

STEM 教育的基础研究主要包括 STEM 教育的概念界定、研究方法和策略以及理论基础。我国学者大都持整合性的观点,强调将科学、技术、工程和数学四门课程有机地整合在一起,形成一个整体,促进学生 STEM 素养的提高。如钟柏昌认为 STEM 教育中的工程教育可以成为联系各学科知识、建立整体的平台[8];而李雁冰则认为要突出每一门学科间的差异性和特殊性[9]。尽管存在争议,但 STEM 教育的概念界定在一定程度上推动了 STEM 教育的本土化。

在 STEM 教育的现状研究领域,由于 STEM 教育起源于美国,所以对美国和其他国家的 STEM 教育发展现状和教育政策的研究有助于为我国 STEM 教育提出建议。如李函颖研究了美国 STEM 教育现阶段的困境和改善的措施[10];蔡苏介绍了美国 STEM 教育中社会组织的类型、支持形式以及政府对 STEM 教育发展的影响[11]。

STEM 教育的应用研究主要包括 STEM 教育模式研究和 STEM 教育课程设计与实践研究。在教育模式的探索上,国内学者偏向于将 STEM 课程与其他教学方法结合,如机器人[12]和信息技术课程[13]等。另外,我国关于 STEM 课程的研究主要涉及美国课程开发的案例分析、国内外中小学 STEM 课程设计与实践和模式构建等理论研究。对课程案例的设计和實踐研究有助于我国 STEM 教育深入课堂,落到实处。

在 STEM 教育的专业发展研究中,主要包括 STEM 教师教学能力和素质培养研究和学生能力培养的研究。许多研究在已有研究和课程实例基础上,对培养师生能力提出了启示和建议。如钟柏昌通过研究美国 STEM 教育变革中的变革方程,对我国 STEM 教育的开展提出了启示意义[1]。

在此基础上,本研究企图梳理和分析我国 STEM 教育的研究现状并对未来的发展趋势进行展望,采用内容分析法,筛选国内高质量期刊中关于 STEM 教育的文献进行分析,以期对国内 STEM 教育现状和发展形成理论分析。

3. 研究过程

3.1. 数据来源

本研究所用的数据来源于中国知网(CNKI)期刊数据库,以“STEM 教育”为搜索主题词,获取 2020 年 12 月 12 日前发表的文献共 2995 篇。限定在“中国电化教育”、“电化教育研究”和“开放教育研究”三本核心期刊上进行文献检索,截至 2020 年 12 月 12 日,共获取到 88 篇文章。为使数据具有可信度,两个编码员独立对检索到的论文进行筛选及编码,剔除会议通知、述评性短文以及与研究主题相差甚远的文章,汇总分析结果,并讨论具有争议性的文章,最终确定 77 篇文章作为本研究的样本来源。

3.2. 研究方法

本研究采用内容分析法,内容分析法是一种对于传播内容进行客观、系统、定量描述的研究方法[14]。本文将所获取的样本数据分成载文情况、研究热点、研究内容三个维度,参照中国知网(CNKI)的可视化数据分析并使用 Microsoft Excel2016 研究分析工具,对国内 STEM 教育现状和发展进行分析并展望未来的发展趋势。

4. 研究结果与分析

4.1. 载文情况

4.1.1. 研究历程分析

由图 1 中的数据可得,我国有关 STEM 教育的核心文献始于 2013 年,之后逐年上升,直至 2018 年有所下降,在 2019 年又恢复至正常水平。2015 年,教育部在《关于“十三五”期间全面深入推进教育

信息化工作的指导意见(征求意见稿)》中首次提出要“探索 STEM 教育等新教育模式”,引发了研究 STEM 教育的热潮,相关文章数开始较往年有较大增长。纵览研究初期的核心文献发现,我国最初以美国 STEM 教育的发展历程作为研究对象,到目前有越来越多研究者参与探讨 STEM 教育本土化的理念与方法。其中,理论层面的研究占据多数,这也从侧面反映了我国 STEM 教育当时仍处于初级阶段。从图中可以看出,2017 年的增长幅度最为显著。2016 年 10 月北京师范大学成功承办了第四届 STEM 国际教育大会,来自世界各地的众多学者与会并分享了他们在 STEM 教育领域的学习研究与创新实践成果。研究认为,此次大会对上述研究数量的加速增长起到了一定催化剂作用。2018 年结束了五年的增长态势,研究数量少于 2017 年,但仍高于 2016 年。分析认为,STEM 教育研究整体呈发展趋势,但由于 2016 年的 STEM 国际教育大会促发了 2017 年的研究的大幅增长,导致 2018 年的研究数量略有下降。由图看出,2019 年的研究数量的继续增长也验证了此种分析[15]。

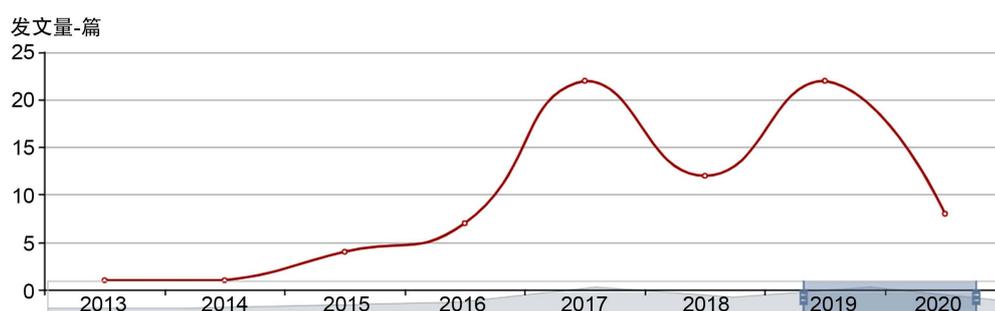


Figure 1. Overall trend analysis chart

图 1. 总体趋势分析图

4.1.2. 研究力量分析

由图 2 的统计结果可知,有关 STEM 教育发文数量最多的是北京师范大学(10 篇),其次是华东师范大学和东北师范大学,各 9 篇。从数据结果来看,目前我国 STEM 教育研究的领军力量来自各高校,且以北京师范大学为代表的各师范院校投入研究相对较多。中小学和职业院校对 STEM 教育的相关研究较少,可能与中小学更注重实践探索,职业院校更注重技能实操有关。

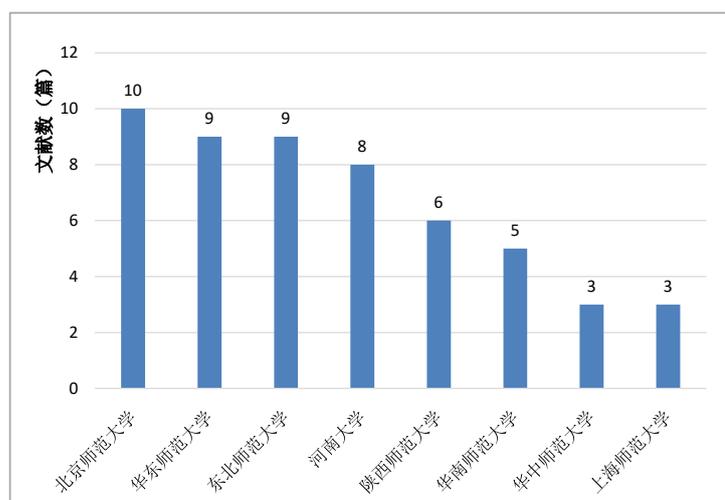


Figure 2. STEM education research paper author agency

图 2. STEM 教育研究论文作者机构

由图 3 可知,合作次数达 2 次以上的网络数目较少,且作者分布较为离散,并无明显合作团体,主要在学校单位内进行合作,说明 STEM 教育发展至今还没有形成一个连通密集的合作网络[16]。

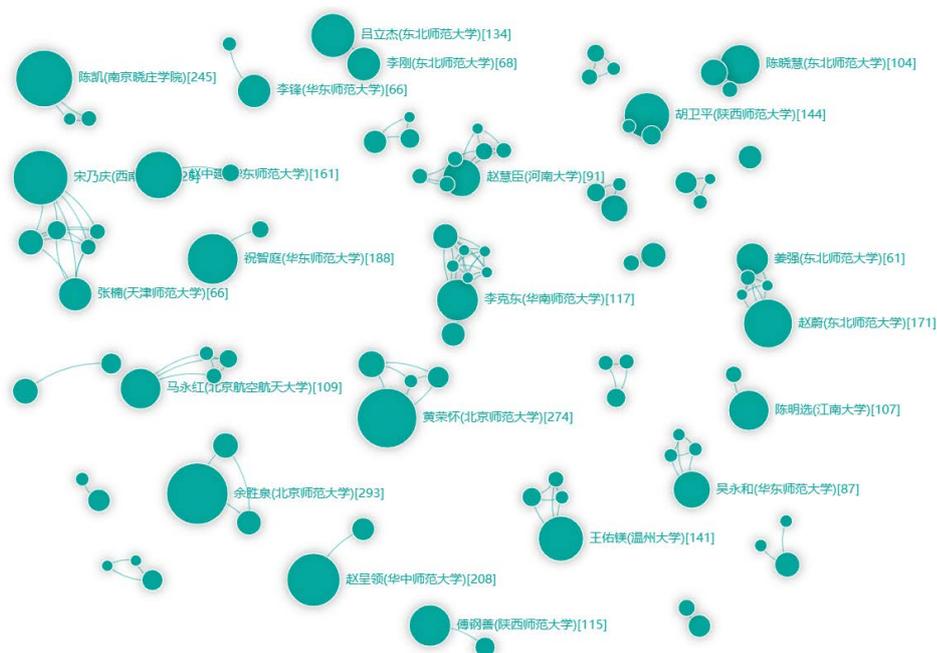


Figure 3. Author collaboration network

图 3. 作者合作网络

4.2. 研究热点

一般而言,期刊的关键词由文献的主题内容提炼而成,构成了文献的整条研究主线,对关键词进行词频分析能间接反映出当前 STEM 教育的研究热点。本研究通过对关键词进行词频统计来研究目前国内 STEM 教育的研究热点,通过对有效样本来源的关键词进行梳理和关键词词频统计,并将指代含义相同的词语进行归类合并,如 STEM 教育和 STEM 教学、小学和中小学教育,得到频次排名前七的关键词,如图 4 所示。

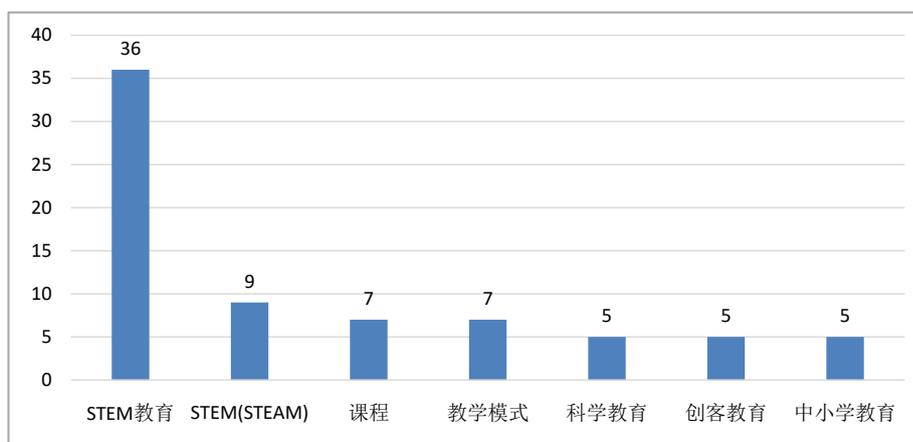


Figure 4. Keywords word frequency analysis

图 4. 关键词词频分析

从图中可以看出,出现频率最高的且显著高于其他关键词的关键词为STEM教育,除此之外,STEM和STEAM占据第二的位置。接下来出现的关键词为课程和教学模式,STEM教育提倡的课程理念是指由单一学科逐渐向多学科融合发展,即跨学科式的多学科课程整合,这较大地区别于传统的分科课堂教学。学科融合相对课程整合更进一步,不仅强调内在学科思想和思维层面的相互融合,还强调外在活动的完整体验和系统建模,真正形成一个全面理解世界不同侧面的棱镜,以及推动创新能力发展的合理场域[17]。对学校层面来说,课程范式的革新使得课程实施具有了非同一般的特殊性。因此,近年来国内不断涌现出学者从研究国外STEM课程的发展历程和教学成果,逐渐转向国内基础教育阶段中STEM课程的本土化实施,助力STEM课程本土化,寻求将STEM真正融入我国课程教学的方法,从而改变传统教学模式。

此外,出现频率较高的关键词还有科学教育、创客教育和中小学教育。由此可以看出,STEM教育中更受关注的层次是科学教育,同时STEM教育和创客教育联系颇为密切,在中小学教育中实践较多。中小学阶段正是学生逐渐形成长期思维方式和问题解决模式的时期,也是个人发展的关键期,更是培养创新创造能力的最佳时期。但由于我国“应试”教育的影响,传统教学难以达到工程和技术的要求,因此我国正致力于将STEM教育融入进中小学课程中,培养中小学学生的创新思维 and 实践能力。同时,通过这些关键词的词频高低来看,目前我国STEM教育的应用领域主要集中于中小学,研究的热点包括STEM课程整合、学科融合研究以及与创客教育相关的研究等,这预示着国内STEM教育的研究正在从初步的理论探索向实践探索不断发展,且STEM教育与创客教育的融合研究和STEAM教育也是未来STEM教育研究的方向之一。

4.3. 研究内容

在对STEM教育的研究热点进行分析后,为了更好地明确研究内容,本研究对有效的77篇文献内容进行分析总结,在设计类目时参考了STEM教育的相关综述,并结合STEM领域研究内容进行划分,制定了如表1所示的一级类目和二级类目,并统计了相应的篇数。

从表1可以看出,目前STEM教育的研究热点比较集中在应用研究,不仅有一定数量对STEM教育模式研究,同时也有对具体课程的设计及实证研究;其次是对STEM教育的理论研究,主要是对STEM教育的概念、方法等理论基础进行研究分析;对STEM教育现状和相关专业发展上的研究较少。接下来将从一级类目所分的四个研究方面进行详细剖析:

Table 1. Literature category design and result analysis

表 1. 文献类目设计及结果分析

一级类目	二级类目	篇数
基础研究	STEM教育的概念、方法、策略、理论基础	19
	STEM教育的作用、意义	3
现状研究	国外STEM教育的发展现状	11
	国内STEM教育的发展现状	1
应用研究	STEM教育模式研究	17
	STEM教育课程设计与实践研究	15
	STEM教师教学能力和素质培养	4
专业发展研究	STEM学生的能力培养	2
	其他	5

4.3.1. STEM 教育的基础研究

通过收集的期刊文献来看,我国对 STEM 教育的基础研究主要分为两个层次:

其一是 STEM 教育的概念、方法、策略和理论基础。发现目前对于 STEM 教育的本质存在着不同的意见。有学者认为 STEM 教育的本质在于跨学科整合,即不仅仅是几门学科的简单叠加,强调要将不同学科知识组合形成有机整体,而跨学科学习要求学生学习不同科学知识,面向问题开展合作与交流,并形成跨学科的创新方案[18]。但也有部分学者认为 STEM 教育实则为一项教育国策,以培养学生的 STEM 素养为基本目标,由构成 STEM 的学科可知,STEM 素养包含了科学素养、技术素养、工程素养和数学素养,同时又不是这四种素养的简单组合,包含了运用这四门学科的相关能力、把学习到的零碎知识与机械过程转变成探究真实世界相互联系的不同侧面的综合能力,通过培养学生的综合能力,以提高国家竞争力[2]。一种从学生角度出发,另一种则提升到国家战略层面,这也体现出基础研究中 STEM 教育的多重作用和意义。STEM 跨学科学习活动有助于提升学生的科学精神和创新实践等能力,并且通过培养学生的综合能力,从而有助于提高国家竞争力。

此外,在 STEM 教育策略方法层面,已有学者提出 STEM 教育学习活动 5EX 设计模型[19],同时也有学者整合现有资源提出 STEM 教育的优化研究,如结合图示化支架[20]、TRACK 模型[21]。此外,也有学者进行思维测评等方面的评价研究[22]。由此可见,STEM 教育策略方法从教学设计至教学活动以及教学评价均有涉及,但相较其他领域的教学而言,整体的研究内容还不够丰富。

4.3.2. STEM 教育的现状研究

由统计结果可知,虽然锁定的目标期刊均为国内核心期刊,但绝大部分文献均是对国外 STEM 教育的现状研究,包括了大量对国外 STEM 相关政策和战略的解读,对优秀课程案例进行分析,鉴其教育框架和趋势,从而对 STEM 本土化教育获得启示。其中研究美国 STEM 教育的更是占绝大多数,这可能与美国的 STEM 教育发展蓬勃有关。STEM 教育起源于美国,至今发展已逾 30 年,在这期间更是得到了美国的高度重视。美国发布了近 20 项与 STEM 教育相关的政府报告及政策,从教育集成的纲领到立法形式的保障。近年来,美联邦政府专项拨款不断增加,为 STEM 教育提供有力保障,并且动态跟踪相关项目进展。在推进 STEM 教育的过程中,美国充分利用企业、非营利机构等组织与政府部门共同建立了一个高效的跨部门合作的新模式[11]。

结合国内现状研究的文献来看,我国的 STEM 教育与美国相比,研究起步晚、文献数量少、介绍解读多、实践少、缺乏系统化,且很大程度上依赖于国外各项政策与解决问题的方法[23]。STEM 教育作为创新人才培养和提高国际竞争力的关键举措,我国目前关于 STEM 教育的研究仍需加强。较为熟知的教育主体有国家、学校和家庭,往往忽略了社会层面,但 STEM 教育的进一步开展离不开国家、社会、学校、家庭等多元主体的支持。并且美国等其他国家的案例虽然可供我国参考,但也应考虑中国的具体国情,教育观念等因素,将 STEM 教育本土化,从而在我国得到很好的宣传推广,加强学生的综合能力,提高我国竞争力。

4.3.3. STEM 教育的应用研究

从统计结果来看,我国的 STEM 教育研究已经初步进展到了应用层面,大体可以分为 STEM 教育模式研究以及 STEM 教育课程设计与实践研究。众多学者从 STEM 教育跨学科融合这一核心理念出发,结合教学设计,探索适合我国本土化的 STEM 教学模式。傅骞、刘鹏飞将 STEM 教育分成验证型、探究型、制造型和创造型四种不同的应用模式,但其只考虑了学习者的最终学习成果,对学习者的学习过程未加分析[24]。此外,融合创客教育、人工智能、教育游戏和线上实验室等现代教育技术的 STEM 教学模式纷纷涌现,促进培养学生的 STEM 素养,提高学习者实践能力和创造力[25] [26]。

当前,与中小学教育相关的 STEM 教育课程设计与实践研究较多,主要强调跨学科整合和在具体学科教学中的创新应用,旨在培养学生的 STEM 素养和学科专业素养,做出了开展基于 STEM 教育的教学活动设计的有效尝试[27]。因此总体来看,目前尚未出现统一的教学框架和真正具体且可操作的教学模式。从现有文献可推测,学段、学科和技术载体均为 STEM 教育模式的限制性因素,有许多研究仅针对中小学生学习开展实验,或者更加确切地指向小学生,因此无法将教学模式推广应用至其他学段。其次,不同学科的特性不同,要求学生掌握的核心素养不同,在跨学科融合视角下总结的 STEM 教学模式也会有所差异。此外,技术载体也是 STEM 教学模式推广的一大限制性因素,结合 STEM 教育跨学科融合的特性,许多课程都会涉及实践操作环节。因此部分应用研究有明确地要求载体的支持,例如开展 3D 打印课程则需要相应的 3D 打印设备[28],或者虚拟现实技术设备[29]等,往往这些设备需要一定的财力支持,而不同学校的财政预算不一致,故而在技术载体的限制下,STEM 教育模式的应用也有一定限制。

4.3.4. STEM 教育的专业发展研究

教师是保证 STEM 教育效果的关键角色,然而,世界范围内具有跨学科综合教学能力的卓越 STEM 教师极其稀缺,这成为了影响 STEM 教育发展的最紧迫问题。据统计分析,我国的 STEM 教育研究对象已拓展至 STEM 教师,高巍等人借鉴美国 UTeach 项目在卓越 STEM 教师培养的课程体系,对我国 STEM 教师培养从课程体系设置到课程保障系统多方面提出针对性建议[30]。此外,我国 STEM 教育研究也对学生能力培养进行初步分析,但目前在此研究层面仅有两篇文献,分别对 STEM 研究生的培养提出建议和基于 STEAM 教育视角下为教育技术学人才提供可行的理论与实践路径。STEM 教育除了关注 K-12 阶段外,也应注重 STEM 相关专业本科生及研究生的培养,如何利用 STEM 教育,仍可以探索更多可能[31]。

因此,在 STEM 卓越教师稀缺的背景下,相关教育研究者应认真思考如何提升现有 STEM 教师的专业能力,完善 STEM 教师教育课程体系。促使 STEM 教师在理论基础支撑的条件下,能够在实战课堂中得以运用,从而提高 STEM 教育基础能力,推动我国 STEM 教育事业的发展。与此同时,我国也需不断推广 STEM 教育,为学生能力的培养提供新的方式,建立相关能力测评标准,检测学生 STEM 相关能力的获取情况。

4.4. 研究总结与展望

总体来看,国内对 STEM 教育的研究起步较晚,研究深度较浅。早期以探索美国 STEM 研究的方法为主,本土化理论和实践不足,整体处于探索与初级应用阶段。研究的主要力量是以师范院校为主的各大高校研究者,研究的主要内容最初主要集中于对国外 STEM 教育政策与案例的解读和总结,逐渐发展到目前对 STEM 教育基本理论、跨学科教学模式、专业发展研究以及与创客教育和 STEAM 教育的融合创新,加强了如何结合具体国情来开展本土化的研究与思考。进一步开展 STEM 教育研究,需要鼓励中小学教师参与或协同高校研究者进行相关理论和实践研究,促进 STEM 教育于中小学课程中落地。其次,注重 STEM 教育教学模式设计和教学评估设计,是实施 STEM 教育的重要举措。同时,教师需要加强对 STEM 教育理念的理解并提高学科知识素养,建立高质量的中小学 STEM 教育师资队伍。

参考文献

- [1] 钟柏昌,张丽芳.美国 STEM 教育变革中“变革方程”的作用及其启示[J].中国电化教育,2014(4):18-24+86.
- [2] 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.
- [3] 中华人民共和国教育部.教育部关于印发《教育信息化“十三五”规划》的通知[EB/OL].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201606/t20160622_269367.html,2020-12-16.
- [4] 中华人民共和国教育部.义务教育小学科学课程标准[M].北京:人民教育出版社,2017.

- [5] 赵中建. 美国 STEAM 教育政策进展[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2015.
- [6] Sanders, M. (2009) STEM, STEM Education, STEMania. *The Technology Teacher*, **68**, 20-26.
- [7] 杨亚平. 整合性 STEM 教育理念下工程类高职数学教学模式的建构[D]: [博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- [8] 钟柏昌, 张祿. 项目引路(PLTW)机构的产生、发展及其对我国的启示[J]. 教育科学研究, 2015(5): 63-69.
- [9] 李雁冰. “科学、技术、工程与数学”教育运动的本质反思与实践问题——对话加拿大英属哥伦比亚大学 Nashon 教授[J]. 全球教育展望, 2014, 43(11): 3-8.
- [10] 李函颖. 美国 STEM 教育的困境与走向——《美国竞争力与创新力》报告述评[J]. 比较教育研究, 2014, 36(5): 53-58.
- [11] 蔡苏, 王沛文. 美国 STEM 教育中社会组织的作用及对我国的启示[J]. 中国电化教育, 2016(10): 74-78.
- [12] 张屹, 王珏, 张莉, 朱映晖, 周琬琦, 王宇悦. STEM 课程中 DBL 教学培养小学生计算思维的研究[J]. 电化教育研究, 2020, 41(5): 81-88.
- [13] 彭启波. STEM 教育理念下的初中信息技术教学实践分析[J]. 科学咨询, 2019(34): 102.
- [14] 马自坤, 彭丽娟. 基于内容分析法的国内机构知识库研究现状及发展趋势分析[J]. 图书馆论坛, 2013, 33(5): 28-32.
- [15] 江丰光. 连接正式与非正式学习的 STEM 教育——第四届 STEM 国际教育大会述评[J]. 电化教育研究, 2017, 38(2): 53-61.
- [16] 叶海燕. 我国 STEM 教育研究的研究综述[J]. 西北成人教育学院学报, 2019(2): 5-12.
- [17] 詹泽慧, 钟柏昌, 霍丽名, 黄美仪. 面向文化传承的学科融合教育(C-STEAM): 价值定位与分类框架[J]. 中国电化教育, 2020(3): 69-76.
- [18] 赵慧臣, 张娜钰, 马佳雯. STEM 教育跨学科学习共同体: 促进学习方式变革[J]. 开放教育研究, 2020, 26(3): 91-98.
- [19] 李克东, 李颖. STEM 教育跨学科学习活动 5EX 设计模型[J]. 电化教育研究, 2019, 40(4): 5-13.
- [20] 蔡慧英, 董海霞, 王琦. 教师如何有效设计图示化支架支持 STEM 课程教学——基于 30 项实验和准实验研究的元分析[J]. 电化教育研究, 2020, 41(10): 73-81.
- [21] 林晓凡, 胡钦太, 梁中梅. 基于 TPACK 的 STEM 教育优化研究[J]. 中国电化教育, 2018(9): 24-30.
- [22] 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.
- [23] 常咏梅, 张雅雅, 金仙芝. 基于量化视角的 STEM 教育现状研究[J]. 中国电化教育, 2017(6): 114-119.
- [24] 傅骞, 刘鹏飞. 从验证到创造——中小学 STEM 教育应用模式研究[J]. 中国电化教育, 2016(4): 71-78+105.
- [25] 王旭卿. 面向 STEM 教育的创客教育模式研究[J]. 中国电化教育, 2015(8): 36-41.
- [26] 唐焯伟, 郭丽婷, 解月光, 钟绍春. 基于教育人工智能支持下的 STEM 跨学科融合模式研究[J]. 中国电化教育, 2017(8): 46-52.
- [27] 常咏梅, 张雅雅. 基于 STEM 教育理念的教学活动设计与实证研究[J]. 电化教育研究, 2018, 39(10): 97-103.
- [28] 郑贤. 基于 STEAM 的小学《3D 打印》课程设计与教学实践研究[J]. 中国电化教育, 2016(8): 82-86.
- [29] 华子荀. 虚拟现实技术支持的学习者动觉学习机制研究[J]. 中国电化教育, 2019(12): 16-23.
- [30] 高巍, 刘瑞, 范颖佳. 培养卓越 STEM 教师: 美国 UTeach 课程体系及启示[J]. 开放教育研究, 2019, 25(2): 36-43.
- [31] 赵慧臣, 马佳雯, 马悦. 美国 STEM 研究生合作培养的特点与启示[J]. 开放教育研究, 2018, 24(3): 50-58.