文章编号:1006—9860(2018)09—0024—07

基于TPACK的STEM教育优化研究 *

林晓凡，胡钦太，梁中梅

(华南师范大学 教育信息技术学院，广东 广州 510631)

摘要：十八大、十九大确立我国全面部署的战略首位是创新驱动，创新是引领发展的第一动力。STEM教育作为近几年国际培养科技创新人才、技术教育跨学科多领域整合新兴研究领域和实践范式，受到各级教育领域的广泛关注和积极实践。国内对STEM课程的设计研究还处于起步阶段，存在教师开展STEM缺乏统一的课程标准、过分重视技术效果和师资力量不够等问题。因此，该文从TPACK视角阐述如何优化STEM教育课程与实践活动，构建了基于TPACK的STEM教育优化设计模式：建立开放共享的跨学科融合优质STEM课程体系及资源，基于设计型学习促进师生参与STEM实践，基于“真实问题解决—项目探究设计”为中心的教法持续优化，基于TPACK要素引进次序优化STEM设计路径。

关键词：STEM；TPACK；教学设计；优化设计

中图分类号：G434 **文献标识码：**A

一、问题提出与研究背景

STEM课程是以科学、技术、工程和数学(Science Technology Engineering Mathematics，简称STEM)为核心的课程，并在2010 年再次修订成为美国正式的教育政策。该政策强调了STEM领域的教育统整，对培养美国未来的经济领域竞争所必备的人才储备的重要性 (Kahn & Ginther，2015)[1]。十八大、十九大确立我国全面部署创新驱动发展战略，创新是引领发展的第一动力。创新驱动的本质是创新人才驱动，而人才靠教育培养。因此，从培养高精尖、科技创新型人才的根本目的出发，STEM教育作为近几年国际科学与技术教育跨学科多领域整合新兴研究领域和实践范式，受到各级教育领域的广泛关注和积极实践。

不少研究表明，教师在技术整合学科教学的理论与实践层面均面临较大的挑战与困难(Tsai & Chai，2012)[2]。整合技术的学科教学知识(Technological Pedagogical Content Knowledge，简称TPACK)理论框架在教学实践应用中取得良好的效果(Chai et al.，2013)[3],为教师发展特定的知识与技能，以支持教师开展有效融合ICT的学科教学活动。同样的，TPACK为STEM教育的有效实践提供了一个可操作的理论与设计框架，尤其是在技术融合学科知识、教学法和优化教学设计层面，如果教师能够具有这方面的知识，在STEM教学实践中的困难将会减少。因此，本研究建构了基于TPACK的STEM教育优化设计模式，阐述了基于TPACK的STEM教育实现路径，以推动STEM教育与技术、学科教学的深度融合，为STEM教育实践提供了一种操作模式。

二、国内外研究现状述评

国内外同类研究主要是集中教学应用与改革领域，如STEM 教育理念与跨学科内容整合研究(余胜泉和胡翔，2015[4]；赵慧臣等，2017[5]; Guzey et al.，2016[6]; Waratuke & Kling，2016[7])；STEM课堂教育教学改革(蔡慧英和顾小清，2016[8]；Carr et al.，2012[9]; Schmidt & Fulton，2016[10])；提升学生核心素养与创新能力(赵慧臣，陆晓婷和马悦，2017[11]；Root-Bernstein，2015[12])；STEM教育政策研究(祝智庭和雷云鹤，2018[13]；Connors-Kellgren et al.，2016[14])等等。

国内对STEM课程的设计研究处于起步阶段，由于忽视标准的制定和教学设计模式的创新，

* 本文系广东省哲学社会科学规划项目“面向粤港澳大湾区的创新人才核心素养提升模式研究”(项目编号：GD17XJY18)阶段性成果。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

STEM教育实践日益显现出泡沫化与空心化倾向。不少研究者指出STEM教育实践的快速推广也同时存在着不少问题：1.赵兴龙和许林指出，STEM教育空心化严重，比如盲目大量采购3D打印、让学生去学习开源电路板、机器人等，甚至3D打印一度成为STEM教育的代名词[15]。2.余胜泉认为，当前STEM存在过多关注技术效果的问题，对融合基础的学科知识的教育设计缺乏合理的教学设计，这造成了STEM教育变成各种设备和工具的展览，而教育的发展没有依据教育规律等[16],并从问题、学习者、和生活经验的跨学科整合角度提出STEM、STEAM到STEM+的发展取向。3.江丰光等学者认为目前从事STEM教育的教师从来没有系统地学习过STEM教育课程，都是依靠自己的兴趣爱好，边自学边指导学生开展STEM教育[17]。4.Lin等指出，在亚洲华人地区推广STEM教育首先面临实际问题之一就是：“教师不知道如何开展STEM教育”[18]。因为在STEM教学过程中，知识讲授非常灵活，并且没有规定的标准，课程大纲和课程标准也不固定。学生在进行探索学习时，很可能遇到教师都不熟悉的问题，教师也有可能无法直接解答学生的困惑。所以传统的教师角色受到挑战，STEM对教师提出新的要求。

综上，STEM教育亟需教学设计模式的创新，针对以上问题，本研究以TPACK、教学系统设计等理论为指导，构建基于TPACK的STEM教育优化设计模式，阐述如何提供优质高效的STEM教育课程设计与实践活动，有助于指引教师在设计STEM教育教学时，有效地将技术融入到STEM相关学科和教学内容中，最终提升STEM教育水平。

三、基于TPACK的STEM教育优化路径

TPACK 架构主要是延伸 Shulman的教学内容知识(PCK)[19]并加入了科技知识(TK)成为TPACK理论模式。TPACK主要由三种基本部分组成，即技术知识(Technological Knowledge, TK)、教学知识(Pedagogical Knowledge，PK)、学科知识(Content Knowledge，CK)。TPACK 研究者认为除了以上三者，教师还需要发展技术内容知识(Technological Content Knowledge, TCK)、技术教学知识(Technological Pedagogical Knowledge, TPK)、教学内容知识(Pedagogical Content Knowledge，TCK)和TPACK (Koehler & Mishra，2009)[20]。同时，强调了唯有技术、教学、内容知识间的有效融合，才能将信息技术融入教育的效益发挥到极致，这七种成分的操作性定义如右表所示。

TPACK–STEM教育的七种成分的定义表

TPACK 成分	定义	例子
TK	关于技术(包括硬件与软件)的知识	使用3D扫描、数控建模、3D打印；视频制作与网络分享等
PK–STEM Education	关于STEM教育、学生学习、教学理论、教学理论策略、教学评价等知识	做中学、基于项目的学习、基于设计的学习、协作学习、探究性学习、任务驱动、基于问题的学习、情境教学等
CK–STEM Education	关于学科内容的知识	科学、技术、工程、数学+艺术、社会、人文等学科
PCK–STEM Education	关于使用相应的教学策略来教授STEM教育相关学科内容的知识(不涵盖TK)	开办各种贴近日常生活场景的STEM项目实践；分层教学或分阶段教学策略；塑造一些典型的STEM，项目案例，来发挥榜样的拉动效应；设计各种基于真实问题解决的探究性学习活动；协作学习策略；系统的动机设计与激发程序等
TPK–STEM Education	关于使用相应的技术来支持STEM教育教学策略/方法的知识(不涵盖CK)	应用“二维码”寻求帮助的策略；为学习者提供定制化硬件支持的装备；打造虚实融合的个人——集体交互学习空间等
TCK–STEM Education	关于使用相应的技术来呈现STEM相关学科内容的知识 (不涵盖PK)	线下实体空间、线上虚拟空间互动交融；学生间的远程交流、在线专家咨询等
TPACK–STEM Education	关于使用各种技术来开展STEM教育相关学科内容教学	STS教学法；面向主题的课程设计；基于创造的学习等

为了提升STEM教育教学质量，教师需要特定的PCK支持STEM教育(PCK–STEM)，可将其定义为用于实现STEM教育所需具备的教学知识。同样的，STEM教育中涉及多元化的信息技术和工程技术(TK)，TPACK作为一种重视技术在学科教学整合的理论框架，可以作为STEM教育融入日常学科教育教学的一种具体实现方式。因此，教师设计STEM教学活动的素养也可看作是一种TPACK。本研究界定的“TPACK–STEM教育”是教师需要根据学生的特征与需求、现有的STEM硬件设置与技术环境、学校文化与体制、STEM相关学科的内容等实际因素来调整或完善其自身的整合技术的学科教学法知识，以达到最优化的STEM教学效果。

从TPACK理论框架来看，当前STEM教育实践中过分推崇的3D打印、电路板等，属于TK的内涵，只是七个成分之一。为了避免STEM教育的过度强调技术导向，促进STEM教育的科学和持续发展，TPACK理论框架在肯定技术重要性的同时，从本质上注重STEM教育实践的过程思维、工程思维、探究思维的培养等，实现对探索性、研究性、参与性学习，设计型学习、案例教学、问题为中心等教学方法在STEM教育训练和学习过程的综合应用。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(一)基于TK的优化路径：从一般化技术到STEM特定学科内容的技术或软件

不少学者总结了STEM教育实践的相关技术，如智能机器人设计制作、3D打印技术应用和Scratch与机器人融合，所涉及的硬件资源包括智慧教室、各种机器人、3D打印机、3D扫描仪、组合工具、工作台、展示台、竞技场地(王同聚，2016)[21]。而信息技术为STEM教育提供了便捷的搭建环境，表现为四个方面：硬件(计算机、数字传感、移动设备等)，软件(资源搜索、开源软件、CAD平台等)，集成器件(开源硬件平台等)和加工机具(CNC机床、3D打印等)(祝智庭，孙妍妍,2015)[22]。综合国内外研究，目前STEM教育所谈的技术以一般化的技术为主，如基于网络的学习平台、开源软硬件平台和触控互动电子白板等。而专门适用于STEM特定学科内容的技术或软件相对较少。根据表1的定义，后者其实更接近于TCK的范畴。但是，不管对于STEM教师，还是支持STEM教育的厂商来说，未来应更重视STEM特定学科内容的技术或软件。因为在具体STEM项目和问题开展过程中，师生均需要和学科内容相关的技术支持，如STEM涉及工程、数学和科学中常需要情境模拟(如GeoGebra和Applets)、空间构图(如几何构图平板)。

(二)基于CK的优化角度：从学科体系到真实问题导向的跨学科知识

当前教学采取的学科体系依然占据主流位置，然而，在科技创新与真实问题情境中，开展STEM教育必备的知识是跨学科整合的CK,这与当前教育的认识和实践有着较大的差距。因此，如果不对STEM教育改革、关键性跨学科内容和教育范式转型带来的意义与艰巨性做出深入思考和细致工作，那么，STEM教育将很快遇到发展瓶颈。已有研究者提出将STEM作为建构于真实问题的单独发展的学科综合体，美国维尼亚地区高中(Vineyard High School)的五名学生全部不具有制作卡丁车的经验，他们也不会使用相关的制作工具。这个课题有两个指导教师，学生们通过利用课后时间，使用电池、木板、焊接板、电锯、电线等工具独立拼装，最终完成了电动卡丁车的制作[23]。这些实践中，迫切需要教师和研究者基于真实问题来重构和整合STEM的学科知识结构。因此，以真实问题为导向，而不是学科内容导向进行STEM课程的标准制定、内容设计、开发与实施，决定了STEM教育与学科教育相互融合、彼此渗透的深度和广度。这些需要跨学科的STEM学术研究社群、一线教师和课程开发人员协同努力。

(三)基于PK的优化路径：从教师主导到以设计导向的STEM创新教学法

李小涛等人通过对比分析发现STEAM 课程因其具有与创客共通的创新、灵活、开放和项目导向等特点[24]，能让学生在利用前沿技术“玩创新”和自主探究的过程中提升创造能力和跨学科综合素养。杨现民和李冀红形象直接地将创客教育和STEAM教育作为创新教育不可或缺的两翼[25]。Adams等指出跨学科学习方式也能突显出STEM知识在学习者生活中的有用性和相关性，从而刺激他们对STEM学习的兴趣(Adams et al., 2014)[26]。可见，大部分学者认同STEM教育强调课程的融合性，注重学生创新能力的培养。而从教学法角度出发，为了支撑STEM创新教学，须将探究教学中“教师主导—学生按部就班探究”的教学方式，转变为设计导向的STEM教学法。设计导向学习运用在STEM教学法上，在过去许多的实征研究也指出，当学生透过亲自动手操作的学习经验和设计成品的活动，由设计的过程来建构科学知识，并促使学生使用适当的设计经验进行问题解决(Alimisis & Moro，2016)[27]。同时这一转变需要STEM依据学习者的认知风格对教学资源设计、资源重组、生成性资源整合共享，才能更好支持学习者以设计导向STEM学习过程。即STEM教学设计团队要正确认识学习者不同的认知风格和学习习惯，同一知识点要设计出不同认知风格下的不同呈现方式。在此基础上，根据不同认知风格和呈现方式制定各种教学策略，考察各种STEM教学策略与不同认知风格的适应程度。进而使各类资源呈现形式与学习者认知风格都能自成体系，又支持灵活重组，学习者可以获取符合自己认知风格的个性化教学服务[28]。

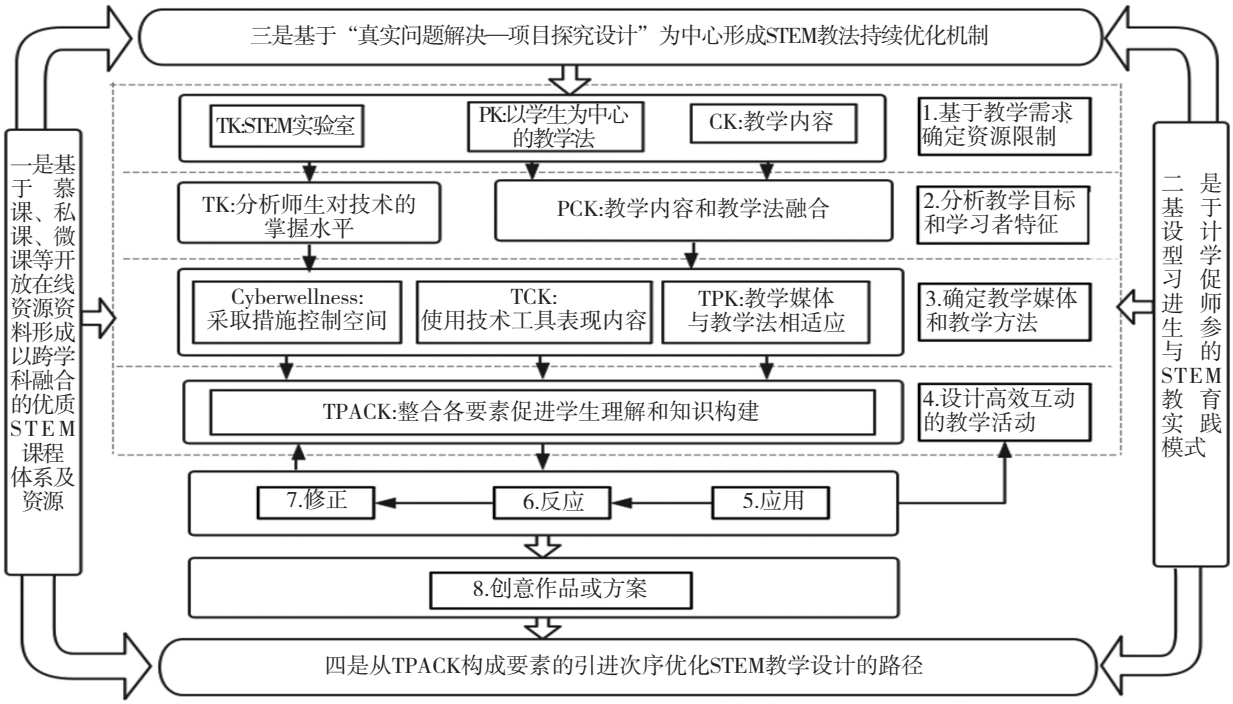
四、基于TPACK的STEM教育优化模式

STEM教育是一项系统工程，需要从STEM环境、STEM课程、STEM文化、STEM开源社区、STEM教师队伍、STEM教育组织、STEM教育计划等多个方面协同推进。基于以上三条优化路径，本研究构建了基于TPACK的STEM教育优化设计模式(如下页图所示)。

(一)基于慕课、私播课、微课等开放在线资源资料形成以跨学科融合的优质STEM课程体系及资源

STEM课程不是一门课程，而是由低阶到高阶的一系列课程组合，又如小学、中学和大学，不同学段的STEM教育承载不同的教育功能，需要将STEM贯穿于整个教育体系，形成跨越各种学段，

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



基于TPACK的STEM教育优化设计模式图

以及社会教育领域的STEM教育系统。因此，必须结合国家与经济社会对人才的战略需求与创新人才的成长规律，建立多元化拔尖创新人才培养目标系统，并基于慕课、微课、私播课(SPOC)等开放在线课程形成以跨学科融合为特色的优质STEM课程体系及资源，创建高水平课程、专业和人才培养基地与多类型的教育改革建设专项，为各学科拔尖学生的培养提供高水平的条件支撑。进而，在教育课程与专业教学改革建设方面，有必要建设国家级、省级精品资源共享课、精品视频公开课，建设专业综合改革试点项目、人才培养模式创新实验区。同时，目前国内的基于开源社区的STEM教育空间建设仍远落后于国外。开源社区不仅仅是开源软硬件、经验创意的开放，更多的是体现了一种创新理念的开放。重视开源社区在构建优质STEM资源的作用，才能使STEM教育资源得到更大程度的共享、应用和开放，以及资源从参与STEM实践者的迭代生成与汇聚教育自愿。因此，真正地实现STEM教育，基于开源社区的合作社群的构建是关键，也是基础，有利于形成一种分享、设计、合作的文化氛围和文化规范。

(二)基于设计型学习促进师生参与的STEM教育实践模式

基于设计的学习(Design-Based Learning)，强调教师基于设计思维的项目促进学生进行有意义学习[29]，激发学生自主学习，当学生透过亲自动手操作的学习经验，对科学知识的理解与学习有很大的帮助，有助于提升学习动机。基于设计的学习既是一种对学生有用的教学工具，又是促进教师改进教学实践的设计方法论，具有聚焦问题学习、基于案例的推理、实践过程迭代推进等特点。Anderson和Shattuck (2012)以“水的净化系统设计” 项目为例，指出基于STEAM设计型学习具有例如理解、观察、观点萃取、想法形成，原型设计和测试等环节[30],并发现了融合科学、技术、工程和数学等知识的基于设计的学习对学生学习科学有积极作用研究，其中，那些承担项目任务设计的粒度更小和操作性更强的学生能够取得更积极的学习效果。相比传统学习，学习除了要运用已有的多学科知识和技能，还需激活多种形式的认知技能，如批判性和创造性思维、解决问题的能力、管理社会关系的能力(需要小组协作的项目)。因此，在基于设计型学习的STEM教育实践模式中，教师的项目建模、情境设计、学习环境的创设和脚手架的提供对学生是至关重要的，这些有利于激发和引导学生制定和实施有效方案，有效应用知识和技能，学习项目所需新知，不断迭代，改进已有产品，直至设计出实物或模型。

(三)基于“真实问题解决—项目探究设计”为中心形成STEM教法持续优化机制

如何将知识与能力有效迁移应用并解决实际问题，才是STEM教育的根本目的。因此，STEM教育的教学法应当以STEM实践过程可能面临的一系列真实问题与情境为线索，依据问题解决与项目探究

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的流程进行设计。然而，基施纳等也发现基于真实问题的教学对初学者而言，可能会造成认知负载，特别是当缺乏有效的教学策略来引导学习，初学者在面对问题时容易迷失，不知从何下手来解决问题而导致学习成效不佳(Kirschner et al., 2006)[31]。因此，对于学生，问题的分解粒度应形成基于问题–项目探究重构STEM学科知识结构，作为脚手架支持学生开展STEM实践。近二十年来脑神经科学的发展提供了更多的角度来帮助我们了解人的信息编码及知识建构。脑神经认知科学家也发展一些方法来表征知识架构。许多研究已经一再地显示学习者的认知结构与学习者的科学学习方式及学习者如何有意义地使用科学知识有动态的关联。不管研究者采用哪个角度来看待知识结构，我们可以合理地假设学习者的知识是环绕在一个“核心”概念进行组织建构(但不一定是以阶层的形式存在)，此“核心”概念与该领域知识的次等概念进行链接。如果有学生错失了这些重点概念，他们的知识架构将变为松散的信息片段。根据最新的认知研究，缺乏良好知识架构的学生将视所有的信息是同等的重要，并把每一个概念视为同等的独特与显著。因此STEM教法的持续优化，应当围绕问题相关的“核心”概念，在项目探究过程强化学习者的知识结构，不仅强调差异性事件的使用，更进一步着重于运用关键性评判事件或解释及相关的感知与概念来化解学生潜在的迷思概念及科学概念间整个概念架构的冲突。

(四)从TPACK构成要素的引进次序优化STEM教学设计的路径

实证研究表明，绝大多数的研究者主要倾向于探讨Koehler与Mishra(2009)的“通过设计学习”的策略对教师TPACK的改变的影响[32]。总体而言，这些研究要求教师计划与设计整合技术的课程，并报导较正面的研究结果。这些研究的主要区别在于TPACK的不同成分被引进的先后次序。有部分研究主张先让教师接触TPACK框架中的四个衍生成分，即PCK、TCK、TPK和TPACK。譬如，分析国外STEM研究案例发现，在STEM教育实践中，他们多是先让教师讨论TPACK理论框架，进而让他们搜寻一些不太适合用传统方法的教学主题(PCK)，再帮助教师理解如何有效地使用交互性电子白板进行这些主题的教学(TPK)。而另一些研究则提倡先让教师着手TPACK的三个核心成分，即TK、PK和CK。虽然上页图中给出一个TPACK成分的引进次序，但本研究建议TPACK成分的引进次序可结合具体的教学情境(如现有的技术条件、教师对技术的熟悉程度与教师的教学能力等)来决定。不同研究间并不排斥，只是侧重点不同。其中前者较多关注“整体”而后者更多关注 “部分”。在研究实践中，研究者可先了解教师在哪个“部分”比较欠缺，再采用适当的策略来“对症下药”。这样可能比在两种观点孰优孰劣问题上的争论来得更有实际意义。

五、结语

为了推进STEM教学研究改革，2016年10月成立了“粤港澳促进STEM教育联盟”，推动香港、澳门、广州、深圳、佛山、东莞、肇庆等地的优秀学校合作，建立示范基地，开展STEM教育实践。经过近两年的实践，针对所遇到的教学设计缺乏指引、师资力量不够、学生如何指导及何时指导等问题，本研究团队提出基于TPACK视角下优化已有STEM实践存在的问题。首先，搭建“培用研”一体的跨学科开放共享STEM课程体系及资源平台，结合“设计、执行和推广”三个阶段的STEM骨干教师工作坊，提升教师STEM教学设计能力，培育潜在师资力量。其次，“设计阶段”以骨干教师培训和校本实验材料研发的活动设计为主，STEM教学活动与材料的研发落实基于设计型学习、真实问题解决和项目探究设计的教学法持续优化，“执行阶段”教材试验、修正与完成教学模块到合作学校进行STEM课程的实施与完善，“推广阶段”研讨会议或课程实施分享与交流会议，包含课程体验、教案设计和教学试教等部分。最后，鼓励多方参与，在课程推广和经验分享过程激励已经参与的骨干教师持续行动，并吸引更多新的教师加入STEM教育实践，根据实际需求优化调整TPACK七个成分的引进次序，透过体验和观摩进行准备，藉由课程设计和试教获得回馈，最后再透过线上线下结合的跨领域社群研讨，强化TPACK–STEM 的专业发展能力。

STEM具备的跨学科综合与情境性较高特点，因此对于教师优化教学提出更高要求，教师应当依据情境特征和需求设计出有效的STEM课程。本研究从TPACK视角阐述如何提供优质高效的STEM教育课程设计与实践活动，以提升基于STEM教育效果与水平。未来研究可以从 “知识创建”“设计能力”和“实证验证”的角度切入，进一步来诠释与发展教师的TPACK–STEM维度的教学知识和素养。

参考文献：

[1] Kahn S, Ginther D K. Are recent cohorts of women with engineering

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

bachelors less likely to stay in engineering?[J]. Frontiers in Psychology,2015,6(8):1-15.
[2] Tsai, C C, Chai C S. The "Third"-Order Barrier for Technology-Integration Instruction: Implications for Teacher Education[J]. Australasian Journal of Educational Technology,2012,28(6):1057-1060.
[3] Chai C S, Chin C K, Koh J H L, et al. Exploring Singaporean Chinese Language Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge and its Relationship to the Teachers' Pedagogical Beliefs[J]. The Asia-Pacific Education Researcher,2013,22(4):657-666.
[4][16] 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.
[5] 赵慧臣,马悦等.STEM教育质量标准的制定、内容及启示——以美国圣地亚哥郡为例[J].开放教育研究,2017,23(3):50-61.
[6] Guzey S S, Moore T J, Harwell M, et al. STEM Integration in Middle School Life Science: Student Learning and Attitudes[J]. Journal of Science Education & Technology,2016,25(4):550-560.
[7] Waratuke, S., & Kling, T. Interdisciplinary research in a dense summer bridge: The role of a writing intensive chemistry seminar [J]. Journal of Chemical Education,2016,93(8):1391-1396.
[8] 蔡慧英,顾小清.设计学习技术支持STEM课堂教学的案例分析研究[J].电化教育研究,2016,37(3):93-100.
[9] Carr, R. L., Iv, L. D. B., & Strobel, J. Engineering in the k-12 stem standards of the 50 U.S. states: an analysis of presence and extent[J]. Journal of Engineering Education,2012,101(3):539-564.
[10] Schmidt, M., & Fulton, L. Transforming a traditional inquiry-based science unit into a stem unit for elementary pre-service teachers: a view from the trenches[J]. Journal of Science Education & Technology,2016,25(2):302-315.
[11] 赵慧臣,陆晓婷等.基础教育、高等教育、企业以及教育管理部门协同开展STEM教育——美国《印第安纳州科学、技术、工程和数学(STEM)行动计划》的启示[J].电化教育研究,2017,38(4):115-121.
[12] Root-Bernstein, R.Arts and crafts as adjuncts to STEM education to foster creativity in gifted and talented students [J]. Asia Pacific Education Review, 2015, 16(2): 203-212.
[13] 祝智庭,雷云鹤.STEM教育的国策分析与实践模式[J].电化教育研究,2018,39(1):75-85.
[14] Connors-Kellgren, A., Parker, C. E., Blustein, D. L., & Barnett, M. Innovations and challenges in project-based stem education: lessons from itest[J]. Journal of Science Education & Technology, 2016,(25):1-8.
[15] 赵兴龙,许林. STEM教育的五大争议及回应[J].中国电化教育,2016,(10):62-65.
[17] 江丰光,蔡瑞衡.国内外STEM教育评估设计的内容分析[J].中国电化教育,2017,(6):59-66.
[18] Lin T C, Tsai C C, Chai C S, et al. Identifying Science Teachers' Perceptions of Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK)[J]. Journal of Science Education & Technology,2013,22(3):325-336.
[19][32] Koehler M J, Mishra P. What Is Technological Pedagogical Content Knowledge? [J]. Journal of Education, 2009,193(1):60-70.
[20] Shulman L S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching[J]. Educational Researcher,1986,15(2):4-14.
[21] 王同聚.基于"创客空间"的创客教育推进策略与实践——以"智创空间"开展中小学创客教育为例[J].中国电化教育,2016,(6):65-70.
[22] 祝智庭,孙妍妍.创客教育:信息技术使能的创新教育实践场[J].中国电化教育,2015,(1):8-9.
[23] Maker Education Initiatives. Cases for making spaces[DB/OL]. http://makerfaire.com/makers/cases-for-makerspaces,2018-03-28.
[24] 李小涛,高海燕等. "互联网+"背景下的STEAM教育到创客教育之变迁——从基于项目的学习到创新能力的培养[J].远程教育杂志,2016,34(1):28-36.
[25] 杨现民,李冀红.创客教育的价值潜能及其争议[J].现代远程教育研究,2015,(2):23-34.
[26] Adams, A. E., Miller, B. G., Saul, M., & Pegg, J. Supporting elementary pre-service teachers to teach STEM through place-based teaching and learning experiences[J]. Electronic Journal of Science Education,2014,18(5):1-22.
[27] Alimisis, D., & Moro, M. Special issue on educational robotics[J]. Robotics and Autonomous Systems,2016, (77):74-75.
[28] 胡钦太,林晓凡.面向社会教育的 MOOCs 应用模式及优化设计研究[J].电化教育研究,2014,(11):30-36.
[29] 王佑镁,李璐.设计型学习——一种正在兴起的学习范式[J].中国电化教育,2009,(10):12-16.
[30] Anderson T, Shattuck J. Design-based research: A decade of progress in education research? [J]. Educational researcher,2012,41(1):16-25.
[31] Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching[J]. Educational Psychologist,2006,41(2):75-86.

作者简介：

林晓凡：博士，讲师，研究方向为智慧教育、数字化学习应用研究(linxiaofan@m.scnu.edu.cn)。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Optimize Design Research on Promoting Developments of STEM Education Based on TPACK

Lin Xiaofan, Hu Qintai, Liang Zhongmei

(School of Information Technology in Education, South China Normal University, Guangzhou Guangdong 510631)

Abstract: The Eighteenth and Nineteenth National Congresses of the Communist Party of China acted on "Innovation driven strategy" as the first national strategy. Therefore, innovation is the primary driving force for development. STEM education is recently a new research and practice paradigm for the international, interdisciplinary and multidisciplinary of innovative talents in science and technology. STEM education has received extensive attention and active practice of educational institution at various levels. Domestic research on the design of STEM courses is still in its infancy with some problems, for example, lack of unified curriculum standards for STEM, over-emphasis on technical effects and shortage of STEM teachers. Therefore, this study illustrates how to optimize STEM education and practice activities, and constructs a STEM education optimization design model from the perspective of TPACK. This model aims to promote professional developments of STEM education, including "establishing an open, shared, interdisciplinary, high-quality STEM curriculum system and resources, promoting the participation of teachers and students in STEM practice based on design learning to, improving STEM pedagogy continuously based on real problem and project exploration, optimizing the STEM design approaches based on TPACK elements".

Keywords: STEM; TPACK; Instructional Design; Optimal Design

收稿日期：2018年5月13日
责任编辑：宋灵青 李雅瑄

(上接第23页)

[26] 白浩,周青.论创客文化及其对现代课堂教学的影响[J].现代教育技术,2016,(5):12-17.
[28] 冬梅,梁小帆.关联主义学习理论视阈下创客教育研究[J].电化教育研究,2017,(11):26-31.
[29] 刘新阳.利用有效失败的创客学习活动设计——一项探索性研究[J].中国电化教育,2018,(4):82-90.

作者简介：

宿庆：博士，中学二级教师，研究方向为信息技术与教育应用(274153462@qq.com)。

张文兰：教授，博士生导师，研究方向为信息技术与教育应用(wenlan19@163.com)。

Research on the Design of Maker Education System Based on the Creativity Theory of the Complex System

Su Qing, Zhang Wenlan

(School of Education, Shaanxi Normal University, Xi'an Shanxi, 710062)

Abstract: As an educational form centered on cultivating students' creativity, maker education has been developing rapidly in recent years, and has attracted wide attention. In practice, domestic maker education has been explored based on foreign experience. However, because of the short time of exploration and limited cases, the relationship between the elements of maker education cannot be dealt with well which brings the problem that maker education focus more on the using of tools than students' creativity. Based on the theory of complex system creativity, this paper analyzed the characteristic and principle of maker education system's material energy, spiritual energy, diversity and adaptability in order to cultivate and improve students' creativity. Then this paper analyzed and designed the organization of maker education's curriculum resources, equipment, personnel arrangement, activities and evaluation in order to provide a theoretical support for better development of maker education system.

Keywords: Complex System; Creativity; Maker Education

收稿日期：2018年5月13日
责任编辑：宋灵青 李雅瑄

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net