

中国理工科 STEM 教育发展探究*

董宏建 白 敏



(北京理工大学 远程教育学院, 北京 100081)

摘要:随着信息时代的到来, STEM (Science, Technology, Engineering, Maths) 教育成为了技术创新的理论基础和实践手段。但就现阶段而言, 我国理工科 STEM 教育存在诸多问题。鉴于此, 文章指出 STEM 教育具有跨学科性、实践性和情境性等特点, 分析了 STEM 教育的国内外发展现状, 提出了适合中国理工科 STEM 教育的发展取向: 设计基于认知学习理论的“项目等级学习塔”; 借鉴相关课程融合模式和广域课程融合模式, 逐渐完善理工科 STEM 教育融合课程体系; 加强技术在 STEM 教育中的作用。

关键词:理工科教育; STEM; 融合课程; PBL

【中图分类号】G40-057 【文献标识码】A 【论文编号】1009—8097 (2016) 07—0012—06 【DOI】10.3969/j.issn.1009-8097.2016.07.002

所谓 STEM, 是 Science (科学)、Technology (技术)、Engineering (工程)、Maths (数学) 四个单词的缩写。STEM 教育是一种跨学科的学习方法, 它将学术概念与现实世界的经验教训结合起来, 使学生综合运用科学、技术、工程和数学知识, 建立起学校、社区以及全球企业之间的联系, 从而有利于学习者发展 STEM 素养并有能力在新经济中保持强大的竞争力^[1]。

一 STEM 教育的特点

STEM 教育是一种新的教学理念, 它不是简单地将科学、技术、工程、数学这四大学科的内容进行排列组合或重新叠加, 而是突破这四大学科之间的壁垒, 通过跨学科的方式来综合运用这四大学科的相关知识, 以使学习者通过实践解决真实情境中存在的问题, 从而达到培养创新能力与实践能力的目的。因此, STEM 教育具有跨学科性、实践性和情境性等特点。

1 跨学科性

STEM 教育的跨学科性主要体现在两个方面: 一是在课程设计上可以运用相关课程融合模式和广域课程融合模式, 从横向或纵向维度来增强科学、技术、工程、数学之间的学科联系; 二是可以通过基于项目的学习 (Project-based Learning, PBL), 建立起实际生活与科学、技术、工程、数学之间的联系, 并通过实践来体现 STEM 的跨学科教育理念。

2 实践性

STEM 教育强调以学习者为中心, 重视对学习者的动手、动脑等实践能力的培养。此外, STEM 教育的实践性还体现在具体的课程实施中, 一方面有效的课程组织和精良的硬件设施促进了关注点从知识向实践的转变, 如一些学校已经开始将微观装配实验室 (Fab Lab) 整合到具体的课程中; 另一方面课程强调以活动为基础、基于问题解决的学习、同时获得实践的课堂体验^[2]。

3 情境性

STEM 教育的情境性主要体现在学习者将抽象的书本知识与现实生活情境相结合, 通过与真实情境中的问题进行互动, 实现知识的迁移。学习者通过对情境性问题的解决, 得以体验真实的生活, 与此同时获得社会性的成长。

二 STEM 教育国内外研究综述

1 国外 STEM 教育研究现状

1957年,苏联人造卫星上天,使美国陷入极大的恐慌之中,并由此深切意识到科技的重要性。1958年,美国成立了国家航空和宇宙航行局(NASA)。通过太空计划的快速增长和成功,美国获得工程学位的人数迅速居于世界之首。随后,美国相继出台了各种研究报告、法案和议案,来推动科学、技术、工程、数学等学科教育的发展。到20世纪90年代,美国国家科学基金会第一次使用STEM概念,来描述涉及一至多门STEM学科的事件、政策、项目或实践^[3]。STEM教育强调科学、技术、工程和数学等四大学科的综合应用,因此实现了从分科到跨学科的飞跃。与此同时,为了更好地实现STEM教育的跨学科整合,美国联邦政府建立并支持了众多的STEM项目,以提高学生的学习能力、满足知识经济快速发展的需求。

近几年来,美国相关STEM教育的文献研究比较具体,多从实际问题出发,大致分为四个方面:①对STEM教学模式的研究。当前美国主要采用PBL模式,通过为学生创造任务与实践环境提高STEM教学水平,学生通过这种实践项目不仅仅对STEM学科知识产生兴趣,更重要的是学会运用STEM技能解决生活中的实际问题^[4]。②对STEM教育课程的研究。近几年,国外相关STEM教育课程的研究逐渐增多,研究趋势是逐渐增加STEM综合课程,以使学习者能够更好地运用科学、技术、工程、数学等学科知识解决真实情境中存在的问题^{[5][6]}。③对STEM教育中教师专业发展的研究。在影响学习者学习的众多因素中,教师的相关特征被认为是最重要的因素之一,而相关学者也证实了STEM教师对STEM教育的态度、增强STEM教师职前培训等在STEM教育中发挥了至关重要的作用^{[7][8]}。④对STEM教育中学习者成长特征的研究。如Kier等^[9]指出,学习者对STEM的学习兴趣越高,其学习效果越显著;Izzo等^[10]认为,通过多样的知识呈现和表达可提高特殊群体对STEM知识的可接受程度;Wilson等^[11]认为,学生的归属感越强,他们对STEM学习的参与度就会越高;Tuijl等^[12]则认为,年轻人的学习选择和职业决策源于童年。

2 国内 STEM 教育研究现状

通过解读中国STEM教育的相关文献,可以发现:中国对STEM教育的研究大多比较宏观,而缺少实证研究。本研究将国内有关STEM教育的研究大体分为四个方面:

①对STEM教育政策的解读。如冯羽^[13]认为政府应为STEM教育提供更多的资源,鼓励新一代学生开展实践与创新。②对STEM课程设计和学科整合的研究。STEM教育的研究文献提出了很多实用的理念,但具体的实践研究成果并不丰富,大多强调从活动或者项目的角度来加强各学科之间的融合^[14]。③对STEM教师的研究。我国对STEM教师的研究还停留在概念和讨论阶段,缺少深层次的研究成果。多数学者认为首先要扭转STEM教师的定式教学思维^[15],然后掌握必要的STEM学科知识^[16],并学会引导学生进行科学实践或科学探究^[17];④对STEM学习兴趣的研究。学生对STEM学科的兴趣是影响STEM学习的重要因素。唐思晴^[18]通过调查问卷研究,指出学习者对STEM学习产生兴趣的时间段大多集中在中小学,而影响学习者对STEM学习兴趣的因素主要包括教师、家长、书本、课程和实践活动等。

基于上述有关国内外STEM教育发展现状的分析,本研究力求取长补短,一方面吸收国外有关STEM教育的文献研究成果,另一方面致力于推动国内理工科STEM教育的本土化,逐渐明确国内理工科STEM教育的发展趋势,并提出相应的发展策略。

三 中国理工科 STEM 教育的发展取向

1 基于STEM的“项目等级塔”设计

在STEM教育中，PBL是一种常用的教学模式，它主要围绕项目进行跨学科的综合运用，涉及学生的设计能力、调查能力、分析能力、决策能力等，旨在让学生有机会在相对长的时间内开展相对自主的工作，并最终做出现实的产品或演示。在这一过程中，学生需运用科学、技术、工程和数学等知识，以实现STEM教育的有效融合。由于每个项目不尽相同，因此为了让学习者更好地进行PBL，本研究受“戴尔经验之塔”理论的启发，结合社会认知理论，设计了基于STEM的“项目等级塔”，以逐步增强学生综合运用科学、技术、工程和数学等知识的能力。

“项目等级塔”将项目分为三个等级，其中第一等级位于塔的最底层，这一层的项目设计属于单科项目设计，即只需运用STEM四科中的某一学科进行设计。学习者在进行项目设计时，一般是从第一等级开始，然后逐渐上升到运用STEM四科中两科及两科以上多科项目设计的、位于中间层的第二等级，最后上升到进行跨科项目设计的、位于最顶层的第三等级。第三等级的跨科项目设计不仅需要具备扎实的单科知识，而且需要对STEM教育各科知识进行综合应用，故难度最大。在进行每一等级的项目设计时，都应遵循相应的项目等级标准，如表1所示。

表1 项目等级标准及异同

项目（PBL）	第一等级	第二等级	第三等级
持续时间	两周	一学期	一年以上
项目人数	个人	小组协作（3~5人）	小组协作（根据需要）
涉及学科知识	单科	多科（两科或两科以上）	跨科
教师作用	提供项目资料，给予指导和反馈	提供项目资料，给予指导和反馈	合作伙伴
融合模式	相关课程融合模式	广域课程融合模式	广域课程融合模式
项目类型	给定项目	给定项目	自主设计/给定项目

在进行第一、第二等级的项目设计时，由于只是对STEM单科知识的应用，因此项目的设计相对简单；学习者通过单科或多科STEM项目的设计，主要获得学术方面的能力，如对STEM的学习兴趣、研究兴趣、学科知识/概念的理解能力等。在这两个阶段，教师的主导作用相对突出，控制着项目的时间、发展动向和知识点的应用等；而学生则处于“半”主体地位，主动性并没有得到凸显。

第三等级的项目设计是对STEM各科知识的综合应用，故相对来说比较复杂。完成这个阶段的项目设计后，学习者的21世纪能力将会通过以下三个方面得到成长：①完成项目的成就感会增强学习者的自信心；②此阶段的项目设计需要与同伴、与教师共同协作，故在设计过程中学习者的协作能力、沟通能力和批判性思维能力都将得到锻炼并得以提升；③由于此阶段的项目与真实生活情境更为贴近，因此学习者的生活和职业技能都会增强。在这个阶段，学习者的“全”主体地位得以彰显；教师则退居幕后，成为学习者的合作伙伴，起辅导作用。

从第一等级到第二等级再到第三等级，学习者的项目设计经历了一个先“易”后“难”的过程，对学习者相关能力的要求也越来越高。与此同时，教师与学习者的角色、学习者能力的获得都在不断发生变化，如图1所示。

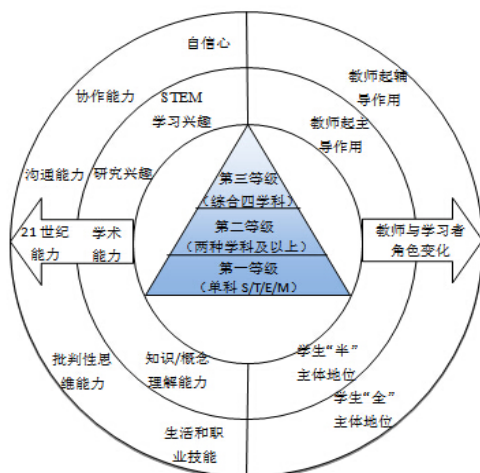


图1 基于STEM的项目等级塔

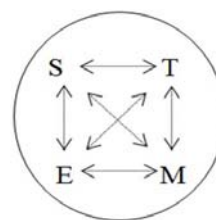


图2 STEM教育相关课程融合模式

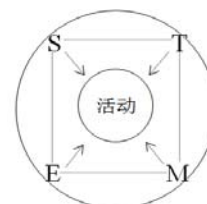


图3 STEM教育广域课程融合模式

2 理工科STEM教育融合课程体系

STEM教育的跨科理念在教育课程改革中风靡已久，但取得的教育效果并不显著。究其原因，在于STEM教育的课程设计缺少具体方法和实施步骤。因此，基于社会认知理论，如何将科学、技术、工程和数学等四大学科进行有效的融合，便成为了STEM教育课程改革的关键问题。为解决这个问题，本研究借鉴美国马里兰州州立大学Herschbach^[19]提出的两种课程模式——**相关课程融合模式和广域课程融合模式**，同时结合我国理工科STEM教育的课程现状，在进行STEM课程设计时注重将科学、技术、工程和数学等四大学科知识按问题逻辑或项目逻辑进行跨学科重组，逐渐完善理工科STEM教育融合课程体系。

(1) 基于STEM的相关课程融合模式

相关课程融合模式是指把STEM中的科学、技术、工程和数学等四大学科分别看作是单独的学科，在学习过程中独立运用以实现学科连接，但各科教学内容的安排也注重彼此间的联系，其四大学科之间的关系如图2所示。如针对“石墨烯电池”这一主题，学习者在科学学科中，学习其各种特性（如石墨烯是目前世界上最薄、最坚硬的纳米材料等）；在技术学科中，学习如何运用科学技术来革新现有的电池产业（如加上本身二维晶体的结构优势制造成电池，它的充电速度将是普通电池的1000倍）；在工程学科中，学习如何利用工业设计技术、机械工程技术等来制造石墨烯电池；在数学学科中，则学习在实际场景中计算石墨烯电池的尺寸、电池容量、充放电速度等。也就是说，相关课程融合模式是针对同一个主题，将其分割科学、技术、工程和数学等四个不同的模块单独进行学习、讨论。

(2) 基于STEM的广域课程融合模式

广域课程融合模式不再强调单独学科的学习，而是针对活动把STEM作为一项综合技能，学习者需综合利用科学、技术、工程和数学等知识来解决问题，其四大学科之间的关系如图3所示。如针对“外骨骼机器人的制作”这一活动，在科学层面需要采用具有不同物理、化学性质的材料，在技术层面需要掌握查阅外文文献、使用工控机、单片机等技能，在工程层面需要采用不同的机械加工方法、设计不同的机械结构，在数学层面则需要计算外骨骼机器人的大小尺寸、

校核强度等——只有综合运用四大学科的知识，才能保障活动更好地进行。

3 加强技术在STEM教育中的应用

技术在教育中尤其是在科学、技术、工程和数学的教育中扮演着重要的角色，而这种角色主要通过两种方式来实现^[20]：①与科学、工程和数学整合在一起。也就是说，技术本身作为一种学科领域而存在。在此方式中，技术通过嵌入到科学、工程和数学活动中来发挥重要作用。学习者可以利用技术以创造性和挑战性的方式去解决问题，以使人类的生活更高效、更丰富。②将技术作为一种工具或推力去丰富STEM教育。换言之，技术支持教与学的过程，而这种以教育为目的所使用的技术，可称为“教育技术”。在教学中使用的数字资源和社交媒体（如维基、博客、论坛等）以及课堂上使用的电脑、投影仪和放映机等，都属此列。

基于上述技术在STEM教育中的角色定位，我们应当深刻意识到它的重要性。因此，有必要进一步加强技术在STEM教育中的应用，从而促进STEM教育的快速发展。

四 总结与展望

STEM教育虽然在我国理工科教育中实施的时间较短、存在一些问题，但STEM教育的跨学科性、实践性和情境性等特点，使得STEM教育在全球化、多元化的今天终将发挥其强大的优势。本研究分析了国内外STEM教育的现状，设计了基于STEM的“项目等级塔”，通过三个等级先“易”后“难”的过程，实现了教师与学习者角色的转变，并提升了学习者各方面的能力。并且，还借鉴了相关课程融合模式和广域课程融合模式，逐渐完善了理工科STEM教育融合课程体系，试图解答STEM教育中科学、技术、工程和数学等四大学科有效融合的问题。最后，还强调要加强技术在STEM教育中的应用，以期能够更好地推动我国理工科STEM教育的快速发展。

参考文献

- [1]Morrell P D, Popejoy K. Scientific inquiry/engineering design[M]. Boston: Sense Publishers, 2014:83-105.
- [2]李扬.STEM 教育视野下的科学课程构建[D].杭州:浙江师范大学,2014:27-28.
- [3]Bybee R W. Advancing STEM education: A 2020 vision.[J]. Technology & Engineering Teacher, 2010,(1):30-35.
- [4]Lou S J, Liu Y H, Ru C S, et al. The senior high school students' learning behavioral model of STEM in PBL[J]. International Journal of Technology & Design Education, 2011,(2):161-183.
- [5]Clark A C, Ernst J V. A model for the integration of science, technology, engineering, and mathematics[J]. Technology Teacher, 2006,(5):368-369.
- [6][19]Herschbach D R. The STEM initiative: Constraints and challenges[J]. Journal of Stem Teacher Education, 2011,(48):96-122.
- [7]Bell D. The reality of STEM education, design and technology teachers' perceptions: A phenomenographic study[J]. International Journal of Technology & Design Education, 2015,(1):1-19.
- [8]Eck R N V, Guy M, Young T, et al. Project NEO: A video game to promote STEM competency for preservice elementary teachers[J]. Technology Knowledge & Learning, 2015,(3):277-297.
- [9]Kier M W, Blanchard M R, Osborne J W, et al. The development of the STEM Career Interest Survey (STEM-CIS)[J]. Research in Science Education, 2014,(3):461-481.

- [10]Izzo M V, Bauer W M. Universal design for learning: Enhancing achievement and employment of STEM students with disabilities[J]. Universal Access in the Information Society, 2015,(1):17-27.
- [11]Wilson D, Jones D, Bocell F, et al. Belonging and academic engagement among undergraduate STEM students: A multi-institutional study[J]. Higher Education, 2015,(7):750-776.
- [12]Tuijl C V, Molen J H W V D. Study choice and career development in STEM fields: An overview and integration of the research[J]. International Journal of Technology & Design Education, 2016,(2):159-183.
- [13]冯羽.探究科学素养的培养途径——基于 STEM 教育[J].科技资讯,2015,(20):214-215.
- [14]吴俊杰.STEM 教育视野下信息技术课程的变革[J].中国信息技术教育,2013,(9):11-14.
- [15]崔立,刘良贵.浅谈美国 STEM 教育的建议及启示[J].中国校外教育,2015,(1):15.
- [16]丁杰,蔡苏,江丰光等.科学、技术、工程与数学教育创新与跨学科研究——第二届 STEM 国际教育大会述评[J].开放教育研究,2013,(2):41-48.
- [17]董蓝蔓.中国的 STEM 教育面临三大瓶颈[N].文汇报,2015-7-17(6).
- [18]唐思晴.云南大学学生理工科(STEM)学习兴趣调查[D].昆明:云南大学,2015:36-40.
- [20]Akgun, Ozcan E. Technology in STEM project-based learning[M]. Boston: Sense Publishers, 2013:65-75.

Exploration into the STEM Education Development of Science and Engineering in China

DONG Hong-jian BAI Min

(College of Distance Education, Beijing Institute of Technology, Beijing, China 100081)

Abstract: With the advent of the information age, STEM (Science, Technology, Engineering, Maths) education has become the theoretical basis and practical means of technological innovation. However, in regard to present stage, the STEM education of science and engineering in China still has many problems. Based on this, the article pointed out that STEM education had the characteristics of interdisciplinary, practice, situationality and analyzed its domestic and international development situation. At the same time, the development orientation of STEM education in Chinese science and engineering that a “project level learning tower” was designed based on cognitive learning theory, the science and engineering STEM education curriculum system was gradually perfected by learning from the integration modes of the relevant course curriculum and WAN curriculum, and the role of technology in STEM education was strengthened.

Keywords: science and engineering education; STEM; integration course; PBL

*基金项目: 本文为教育部人文社会科学研究青年基金项目“网络课程中协作学习环境的新探索——通用协作学习活动库的设计应用”(项目编号: 12YJC880015)的阶段性研究成果。

作者简介: 董宏建, 副教授, 博士, 研究方向为教育信息化和课程设计, 邮箱为 dhj@bit.edu.cn。

收稿日期: 2016 年 3 月 8 日

编辑: 小米