

DOI: 10.16382/j.cnki.1000-5560.2017.04.003

# 中小学 STEAM 教育体系的建构与实践<sup>\*</sup>

胡卫平<sup>1,2</sup> 首新<sup>1</sup> 陈勇刚<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室,西安 710062;

2. 中国基础教育质量监测协同创新中心,北京 100875)

**摘要:**STEAM 教育已成为当前国际教育研究与改革普遍关注的热点问题,其有效实施是一个系统的工程,需要通过制定 STEAM 教育政策,加强 STEAM 学科课程渗透,实施 STEAM 有效课堂教学,促进 STEAM 教师专业发展,开设 STEAM 活动课程,开展 STEAM 教育科学评价,从而构建具有中国特色的 STEAM 教育体系。

**关键词:**STEAM 教育;教育体系;实践;核心素养

STEM(科学、技术、工程和数学)教育理念的提出已有 30 余年时间,其最初的目的是提升大学本科生的 STEM 整合性能力,为科技行业输送综合性人才。20 世纪末,STEM 教育将关注重点转移至中小学。由于 STEM 教育倡导问题解决驱动的跨学科整合学习,其很快被中小学接纳,成为许多国家基础教育改革政策的主导,同时也逐渐成为研究热点。21 世纪初,艺术(Art)在发展学生创造性和批判性思维、21 世纪技能方面的作用也受到重视,它主要是指社会研究(social studies)、语言(language)、形体(physical)、音乐(musical)、美学(fine)和表演(performing)等(Yakman, 2010),STEM + Art 发展了 STEM 教育理念,形成了“以数学为基础,通过工程和艺术理解科学和技术”的跨学科的、整合的 STEAM 教育。STEM 教育的内涵还在不断发展完善,在强调合作交流的 21 世纪,读写能力(Reading and Writing ability)被赋予了新的内涵,具有创新素质的 STEAM 人才还应该学会如何与人交流、沟通和合作,能够清晰地表达自己的观点,撰写规范的行业报告等等,这就是 21 世纪的读写能力。融合读写能力的 STEAM 教育形成了 STREAM 教育,本质上是对 STEAM 教育活动中合作问题解决的重视。2015 年,奥巴马签署《STEM 教育法(2015)》,将计算机科学也纳入 STEM 教育,进一步拓展了 STEM 教育的内涵,这也标志着 STEM 教育在美国的全面发展。

近年来,随着制造技术、信息技术、计算机技术等现代技术在教育中的创新性运用,我国很多中小学也开展了机器人、3D 打印、创客等一系列 STEAM 活动,取得了一定的效果,但由于缺少政策支持、学科渗透、教学创新、教师发展、整合活动、有效评价等方面的系统建构和有效实施,学生科学素养和 STEAM 整合性能力的发展都受到很大的限制。基于国际 STEAM 教育的经验,以及我们多年的研究实践,为有效提高 STEAM 教育的效果,需要从政策、课程、教学、师资、活动、评价等方面着手,构建具有中国特色的 STEAM 教育体系。

## 一、制定 STEAM 教育政策体系

制定全面的 STEAM 教育政策是 STEAM 教育持续健康发展的前提。20 世纪末,各国对科技创新的

<sup>\*</sup> 基金项目:国家社科基金“十二五”规划 2012 年度教育学重点课题(AHA120008);陕西省重点科技创新团队项目(2014KTC-18);中央高校基本科研业务费专项资助(2016CBY017);北京师范大学中国基础教育质量监测协同创新中心自主课题。

迫切需求同 STE(A)M 人才匮乏之间的矛盾日益显著,纷纷将矛头指向 STE(A)M 教育,认为 K-12、高等教育阶段的 STE(A)M 教育没有培养出适应科技创新需要的创新型人才。加之 PISA、TIMSS 等项目测评结果的影响,以及 STEM 教育理念本身的发展,各国纷纷根据具体国情制定了发展 STEAM 教育的政策。纵观各国不同时期制定的 STE(A)M 教育政策,主要包括了目标规划、财政支持、标准发布、利益相关方协调等方面内容,下面主要以美国 STEAM 教育为例加以说明。

STEAM 教育目标规划是 STEAM 教育政策的基本内容。早在 1996 年,美国国家科学基金会(NSF)就发布了《塑造未来:透视科学、数学、工程和本科学的本科教育》这一政策报告,提出了未来的“行动指南”:一是建议将关注的重点转移至 K-12 阶段,二是加强 K-12 阶段 STEM 师资力量的培养。21 世纪初,STEAM 运动席卷美国,在“科学和技术改变 20 世纪经济,艺术和设计改变 21 世纪经济”这一口号的鼓舞下,艺术和设计融入到了 STEM 教育。STEAM 运动的目的是发展创新精神、促进经济发展、提高职业人员的创新素质,这与 STEM 教育理念本质上是一致的。2011 年,美国国家科学院研究委员会发表了《成功的 K-12 阶段 STEM 教育:确认科学、技术、工程和数学的有效途径》的报告,又确立了提高学生对 STEM 兴趣、扩张 STEM 人才(如女性、少数民族裔)、全面提升公民 STEM 素养等目标。2013 年,美国联邦政府又颁布了《五年 STEM 教育战略计划(2013)》,提出了 5 个战略目标和 2 个协调目标,探讨如何培养 STEM 人才,增强国家综合竞争力。由此可见,STEAM 教育政策的目标规划功能是非常明显的,即为 STEAM 教育总体发展战略服务,确立近期和远期规划目标。

财政支持计划是 STEAM 教育政策的重要组成部分。在 21 世纪第一个 10 年,STEAM 教育在各国财政引导下稳健发展。如美国国会一致通过了《国家竞争力法(2007)》,批准从 2008 年到 2010 年间为联邦层次的 STEAM 研究和教育计划投资 43 亿美元;2010 年又修订成为《美国竞争再授权法》,在第 5 章专门论述“STEM 支持计划”。《联邦 STEM 教育五年战略规划(2013)》计划追加 1.15 亿美元用于新教师、名师团队培养,国家科学基金会也拟定用 4.48 亿美元经费吸引大学生涉足 STEAM 领域。2015 年,奥巴马政府拨款 29 亿美元建设 STEAM 教育体系,包括教师的培养、招聘和培训、学区建设、本科教育质量提升、教育研究等。美国 STEAM 教育财政预算在稳步增长,加大财政支持并发展优质的 STEAM 教育,不仅意味着 STEAM 人力资源的增长,还意味着 STEAM 优质人才的扩张。

标准是 STEAM 教育政策的具体化,起着建立参照点和确立评估指标的作用。各项 STEAM 教育标准的制定,必然会导致两种教育变革倾向:一是对教师而言,标准能对教学过程、评价方式产生深远影响,这也是 20 世纪末 STEM 教育变革的重要原因;二是对学生而言,随着学习过程更加多元化,教育的品质、类型和形式由于标准的规范更有利于创新人才的培育。美国 STEAM 教育政策体现了上述两种变革倾向,《K-12 年级 STEM 整合教育:现状、前景和研究议程(2014)》指出,标准是影响 K-12 年级实施 STEAM 教育的重要因素之一,《创新美国:制定一个科学、技术、工程和数学的议程》纲领则从更广泛的课程、内容标准、评价、教师等方面进行了详细论述。

协调多个利益相关者的作用是保障 STEAM 教育政策施行的重要举措。美国有影响力的教育、政策和企业团体已发表了多篇报告,建议扩大和改进 STEAM 教育,如卡内基公司发布的《机会方程:公民素养和全球经济导向的数学和科学教育》建议(Griffiths, 2009),无论是否从事 STEAM 相关领域工作,公民需具备一定程度的 STEAM 素养。《K-12 年级 STEM 整合教育:现状、前景和研究议程(2014)》也提出了多个利益方跟进 STEAM 教育的两条建议:一是开发和建立教育研究者、项目设计者、实践者,以及专业组织共通的话语体系,以便交流、描述各项工作;二是 STEAM 整合教育方案的设计者、负责实施人员、干预组织等应该明确的将其工作归入一种教育改进的迭代模型,以便更新和评价。在“协调为主,自主发展”这一功能观的指导下,STEAM 教育政策的重点开始从“利益分配”向“利益共赢”转变,其目的是创造一种开放的、积极的合作环境,发挥各利益相关者的最大功用推进 STEAM 教育。

针对我国 STEAM 教育政策薄弱的现状,需制定全面的 STEAM 教育政策促进 STEAM 教育健康发展的前提条件。第一,依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》、《国家教育事业

发展 5 年规划》等纲领性文件整体制定 STEAM 教育中长期发展目标; 第二, 加大 STEAM 学科建设和研究的资金投入, 如在国家自然科学基金中设立 STEAM 教育研究项目, 鼓励相关研究者投入其中; 第三, 制定并发布 STEAM 教育各项标准, 包括 STEAM 教师准入资格、课程标准、培训大纲、考核细则等; 第四, 制定激励措施, 协调各方力量共推 STEAM 教育。STEAM 教育并非只是政府和教育系统之事, 政府应制定“共赢”的激励政策, 协调公司、社会团体、第三方教育组织、基金会等社会力量投入 STEAM 教育, 共建 STEAM 教育生态自给体系。

## 二、加强 STEAM 学科课程渗透

目前大多数国家和地区的 STEAM 课程方案是以学科课程为主, 这些国家和地区都尝试将 STEAM 融入到基于学段、学科、主题的课程内容中, 从而实现学科内综合、学科间辐射、跨学科整合的 STEAM 学习路径。STEAM 课程主要是基于已有的学科主题发展而来, 存在于现有课程之中, 我们并非要针对 STEAM 而重新设计全新的跨学科整合课程, 而是要明晰现有学科课程内容与 STEAM 之间的关联和逻辑, 从学科整合、学段进阶、主题联系指向 STEAM 能力, 从而实现基于现有课程体系发展 STEAM 课程的夙愿。我们认为, 学科课程中融入 STEAM 是目前最适切的整合方式, 这种形式有助于发展学科核心概念, 培养核心素养。21 世纪以来, 随着学习理论和学习科学研究的不断深入, 核心概念和学习进阶的研究得到重视, 基于核心概念和学习进阶, 实现科学、技术、工程和艺术等的整合, 是 STEAM 教育蓬勃发展的驱动力。

### (一) 制定融入 STEAM 的学科课程标准

目前, 国际上的 STEAM 课程标准主要以学科为主, 在学科课程标准中集成 STEAM 跨学科理念。美国新颁布的《州共同核心数学标准》(CCSSM)、《下一代科学教育标准》(NGSS) 都旨在帮助学生建立 STEAM 学科间的联系, 尤其是 NGSS 更凸显了技术、工程在整个 K-12 科学教育中的地位, 将其和传统科学内容进行了有力的整合, 为 STEAM 与学科整合提供了范式。

我国最新颁布的“小学科学课程标准”首次纳入“技术与工程”内容, 将其列为与物质科学、生命科学、地球与宇宙科学并列的四大课程内容之一。STEAM 教育的核心是工程设计, 因此, 新课标突出“技术与工程”本质上是体现 STEAM 教育理念。原有课标也规定了一些 STEAM 跨学科内容, 主要表现为一些制作活动, 且建议以了解为主。新标准将其上升至工程设计、探究活动的高度, 注重通过“动手做”、“做中学”、“学中思”培养学生的解决问题能力。可以说, 这是对以往科学课程中的制作活动的根本性变革, 以往的制作活动设计成分少、工程意味淡、技术趣味小, 而 STEAM 理念下的工程设计、技术应用活动则更能从统整的视角将知识的掌握、方法与工具的使用以及创造性设计过程进行有机统一。

### (二) 围绕核心概念整合 STEAM 内容

基于核心概念, 整合学科知识, 实现对重要原理的深入探索, 发展学生对知识的深度理解, 促进学生参与工程实践, 并提升学生的科学素养, 已经成为国际 STEAM 学科教育研究者的共识, 这也是 STEAM 教育研究和课程整合的发展方向。

核心概念是一种教师希望学生理解并能迁移运用的概念性知识, 这些知识在生活中运用广泛, 经得起时间的检验, 能帮助学生解释日常生活现象。核心概念分为两类: 科学概念( big ideas of science), 如物质的原子、分子说, 能量的转化等; 关于科学的概念( big ideas about science), 如解释、理论和模型, 技术开发和产品, 科学对伦理、社会、经济等的影响等。

STEAM 教育不仅重视“科学概念”, 而且重视“关于科学的概念”的学习, 期望学生在设计模型、利用技术、探索工程原理中理解相关概念, 并进行问题解决, 达成知识和能力协调的、螺旋式的发展。随着课程研究的不断深入, 研究者也在不断赋予核心概念新的内涵, 并开展对各领域中核心概念的研究和分析, 如物质结构和性质的核心概念( Cooper, 2013)、天文学的核心概念( Lelliott, 2010)、地震工程概念( Cavlazoglu, 2017) 等。

### (三) 基于学习进阶确定 STEAM 内容的年级分布

学习进阶是对学生连贯且逐渐深入的思维方式的描述。学习进阶与核心概念密不可分,就 STEAM 学科而言,学习进阶实质上是对核心概念理解的逐级深入和持续发展,通过整合某一主题的概念体系,可以围绕少数概念进行深入的进阶学习,发展学生对核心概念、内容结构、知识演变路径的理解。因此,学习进阶可以系统地帮助学生理解核心概念的内涵,最终为学生比较全面、系统而深入地理解核心概念打下扎实的基础。21 世纪以来,学习进阶成为研究热点,基于研究成果,一些国家的 STEAM 学科课程标准已体现了学习进阶的思想。如英国《国家科学课程标准(2014)》划分了四个关键阶段,对五个主题在不同学段的学习内容、深度、广度进行了系统论述。美国《下一代科学教育标准(2013)》同样吸收了学习进阶的研究成果,为学科核心概念、跨学科概念、科学实践、STSE 和科学本质构建了各自的进阶矩阵,为工程设计构建了进阶关系图。

目前研究者们正在拓展学习进阶的研究范畴,如科学探究、科学思维、科学能力和科学态度等核心素养进阶的研究。结合我国 STEAM 学科整合与课程改革趋势,建议成立包括物理、化学、生物、工程等领域专家组成的 STEAM 学科课程专家委员会,统一课程理念、教学理念、学科核心概念、跨学科核心概念和工程实践,在此基础上,再研制各个学科的课程标准,以实现循序渐进培养学生核心素养的目标。

### (四) 构建体现 STEAM 能力的科学学科核心素养

最近发布的《中国学生发展核心素养》报告,是“立德树人”基本要求的具体化,是建构学科核心素养的主要依据。STEAM 教育只有以培养核心素养为目标才能适应国家教育需求。本质上讲,STEAM 能力和核心素养是统一的、相互促进的,STEAM 能力是一种跨学科整合性的能力,旨在提高学生科学素养,而学生发展核心素养也指向培养全面发展的人,二者的教育目的是一致的。

基于对学生发展核心素养报告的系统分析(林崇德,2016)、国际科学教育研究和课程改革的系统综述(韩葵葵,胡卫平,王碧梅,2014),以及我们长期研究和实践的系统总结,提出体现 STEAM 能力的科学学科核心素养主要由“科学观念与应用”、“科学思维与创新”、“科学探究与交流”、“科学态度与责任”四个方面构成(胡卫平,2016a)。科学观念与应用代表知识的内化,是其它核心素养的基础,科学思维与创新、科学探究与交流是关键能力,科学态度和责任是必备品格,四个方面相互依赖、共同发展。在“科学观念与应用”素养中,要强调应用这些观念解决真实情景中的复杂问题,保证科学概念和规律的内化,形成科学学科的思想。在“科学思维与创新”素养中,要关注模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等思维能力的发展。在“科学探究与交流”素养中,要善于启发学生在真实情境中提出问题、分析问题和基于证据地解决问题。在“科学态度与责任”素养中,要引导学生对科学本质以及科学、技术、社会、环境(简称 STSE)关系的认识,树立严谨认真、实事求是、持之以恒、质疑创新的科学精神。

## 三、实施 STEAM 有效课堂教学

研究者普遍认为,STEAM 教学有别于传统教学过程,其倡导的教学过程是探究性教学、基于项目的教学、基于设计的教学、基于证据的教学过程,是学生综合利用 STEAM 知识解决现实问题的过程,是教师教的活动和学生学的活动协同发展过程。分析国内外有关 STEAM 教学过程和模式的论述,概括起来主要有 3 种教学观点:第一,基于项目的 STEAM 教学过程。STEAM 项目是围绕一个具体问题而进行计划、设计、改进、解决问题的过程,要求学生有批判性思维并且要善于分析,强化更高水平的思维技能。第二,基于证据的 STEAM 教学过程。STEAM 各学科主要属于经验分析科学,而不属于理论思辩科学,因此其教学过程也需基于证据。至于如何获取证据,Yakman(2010)提出以“教学过程卡”的形式向学生展示项目活动要素,引导学生选择需要的材料与工具,组织与实施活动程序。第三,CDIO 理念下的 STEAM 教学过程。CDIO 代表构思(Conceive)、设计(Design)、实现(Implement)和操作(Operate),是最新的工程教育理念。CDIO 理念下的 STEAM 教学强调工程设计,一般包括识别问题和制约因素、调查研究、形成概念、分析观点、建立模型、测试和优化、沟通和反思等过程,这一过程与科学教学广泛

使用的 5E 模型本质上是一致的, 学生主要经历参与、探索、解释、迁移(延伸)、评价等五个过程。

我们发现, 三种 STEAM 教学观点有一个共同的特征, 其过程和目标都离不开思维的参与。因此, STEAM 教学的本质是师生的思维活动, STEAM 教学过程要引发学生积极思维。依据我们长达十余年的思维型教学研究, STEAM 有效教学需要遵循动机激发、认知冲突、自主建构、自我监控、反思与迁移等五个基本原理(Hu, 2015)。基于这些原理, 其基本教学操作程序包括:

第一, 创设情境。在情境中产生疑难, 在疑难中产生问题, 激发学生的认知冲突, 引起学生积极思维, 这是创设情境的目的。在 STEAM 教学中, 教师要设计一些能够使学生产生认知冲突的“两难情境”或者看似与现实生活和已有经验相矛盾的情境, 以此激发学生的参与欲望, 启发学生积极思维, 主动完成知识结构的构建。

第二, 提出问题。问题最好是在教师创设的基于生活实际、接近真实案例、紧扣教学内容的情境中由学生自己提出, 以激发积极思维和内在动机。我们归纳了优秀问题标准: 问题的设计有思维性和挑战性、开放性和探索性、准确性和适切性、层次性和条理性。对教师而言, 要留足思考时间, 给予恰当引导; 反馈要具有针对性, 并鼓励自我评价。

第三, 自主探究。已有研究表明, 教师引导下的自主探究能更好地促进学生知识和技能的发展(王碧梅, 韩葵葵, 胡卫平, 2015)。在 STEAM 教学中, 教师一方面要加强与学生心理或行为的情景互动, 基于项目、创新设计、任务探索等过程完成认知(思维)互动、情感互动、行为互动; 一方面还应恰当地列举生活中的典型事例, 唤起学生已有的感性认识, 将自主探究映射至校外活动。

第四, 合作交流。随着探究教学理论的发展, 探究教学和合作学习已经有机结合起来, 形成了合作探究学习。合作交流与自主探究本质上没有明确的时间序列界限, 合作探究学习阶段就是探究中交流、交流中积极思维的过程。有关合作交流的形式, 主要有三种观点(韩葵葵, 胡卫平, 王碧梅, 2014): 一是社会认知学习观, 强调个体、行为和环境之间的相互作用, 而不考虑法规、政治和文化等社会文化因素; 二是社会文化观, 聚焦于合作学习过程中的社会加工, 强调学习是任务、情境和文化的相互作用; 三是将社会认知和社会文化观点结合起来, 理解合作学习(包括认知和社会加工)中知识的增长。在 STEAM 课堂教学中, 教师可根据教学内容接受合适的观点指导学生进行有效的合作交流。

第五, 总结反思。总结反思本质上是思维的自我监控, 是教师教学能力和学生学习能力的核心, 是对合作探究学习过程和结果的自我意识表达。在此阶段, 教师要引导学生对知识和方法、技术与过程、思维方式等进行总结和反思, 使学生加深对知识、技能、方法、过程的理解, 提炼而形成自己的认知策略。

第六, 应用迁移。在 STEAM 教学末期, 教师应注重两方面应用迁移: 一是将知识和方法运用到真实情境和其它领域, 解决实际问题; 二是将学习过程中形成的行为规范和价值观以不同形式迁移到日常生活中, 形成良好的伙伴关系。良好的应用迁移应是与所学内容相关的, 能够激发学生积极思维, 能引导学生联系实际而自主解决问题。

#### 四、促进 STEAM 教师专业发展

STEAM 教师是 STEAM 教育的实践者, 是 STEAM 教育有效实施和发展的重要保障。目前, 世界各国都面临着 STEAM 教师短缺问题, 如美国企业与高等教育论坛(BHEF)报告显示, 截止到 2015 年, 美国中学数学和科学教师的缺口累计达到 28000 多名; 澳大利亚教育联合会(AEU)调查显示, 合格的数学、科学教师严重缺乏, 超过一半学校的数学、科学教师未经过师资训练; BBC 也报道, 由于大学没有培养足够的职前教师, 英国的数学、科学教师短缺问题或已出现。因此, 培养 STEAM 教师已成为各国 STEAM 教育必不可少的成分。我国 STEAM 教师同样严重短缺, 最近我们采用分层抽样法对我国东中西部 7 省小学 STEAM 教师的调查显示, 农村小学 STEAM 教师的缺口比例为 37.3%, 城市小学为 14.5%, 可见, 全国 STEAM 师资力量普遍薄弱。80.5% 的 STEAM 教师没有经历系统的理科学习, 40.63%

在过去一年中没有参加过教研活动,52.7%没有参加过教师培训(2010年以来),反映出教师PCK知识和科学素质的缺失。大多数STEAM教师任教科学、综合实践、艺术等学科的教龄在5年以下,显示STEAM教师流动性较大,缺乏稳定。另外还发现教师在课程资源、教学实施、课程开发、培养学生学习习惯、专业发展等方面存在显著的城乡差异。

制定STEAM教师发展政策是弥补STEAM教师短缺、专业素质不高的有效措施,教育政策能为职前教师开发培养计划、职后教师制定培训项目提供坚实的保障。STEAM教师培养和培训项目主要是探析项目促进STEAM教师的功效及意义,旨在解决目前STEAM教师质量不高、流动性大、专业不对口、教师准入标准不一、缺乏专业发展机会等现实困境,并为STEAM教师发展提供可行性路径。

针对我国现行STEAM教师职前培养、职后培训中诸如缺乏系统规划、理论和实践脱节、缺少基于能力的实训等问题,我们构建了STEAM教师专业能力结构模型,搭建了培养基本能力、教学能力、教育能力、教研与发展能力、教学改革与创新能力等五大教师专业能力实训平台,探索出了“理论指导、案例分析、情境模拟、自主反思、行为反馈”的系统实训模式和“网络学习、自主反思、教师指导、能力测评”的混合式实训模式。对试点学校的研究表明(胡卫平,2016b,第141-143页),职前STEAM教师一般经过6个专题的实训,会达到初级专业水平;职后STEAM教师系统实训3年,可以达到高级专业水平。两种实训模式已被教育部在“国培计划”中推广。

针对教学过程本身,在满足科学性(教学内容正确、教学方法科学)、适切性(教学难度和教学方法等适合学生特点)、思维性(学生能够围绕教学目标积极思维)和自主性(学生自主参与、合作互动,具有内在动机和兴趣)的基础上,结合思维型教学理论(Hu,2015),制定了旨在促进学生创新素质发展的课堂评价体系。该评价体系包括教学目标和内容、教学过程与方法、教师基本素质等3个一级指标,11个二级指标,45个具体标准(胡卫平,2016b,第141-143页)。我们运用该课堂评价体系对实验学校STEAM学科教师的课堂教学过程进行了长期跟踪评价,有效促进了教师专业素质的提高。

## 五、开设STEAM系统活动课程

目前国际上的STEAM活动课程主要是以项目的形式围绕问题解决而展开。基于项目(PBL)的STEAM活动是将分散的学科领域融合进应对具有挑战性问题和难题的活动,项目中的问题驱使学生去面对并力争理解学科的核心概念和原则。

近年来国内STEAM活动课程的开发与实施也成为热点,尤其是借助创客教育,STEAM活动与新技术(如3D打印、智能机器人、开源硬件)融合在一起,成为培养学生创新能力的新途径。学生STEAM整合能力和创新能力的发展是循序渐进的,一方面要经历从“单一知识的学习,到综合性知识的学习,再到跨学科知识的学习”等阶段;另一方面,要经历“从方法训练,到科学探究,再到科学创造”等过程,没有学科知识和思维方法的支撑,仅仅通过STEAM综合活动,是不可能有很好的培养效果。在多年的研究和实践中,我们不仅重视学科课程的渗透和学科教学的创新,而且构建了“学思维——学探究——学创新”三层级STEAM活动课程。

第一,“学思维”活动。基于思维能力的三维立体结构模型(TASM)(Hu, Adey, Jia, Liu, Zhang, Li & Dong, 2011),我们开发了“学思维”活动课程(包括“学思维”网络游戏),旨在培养学生的批判性思维和创造性思维能力。该课程共有8册,每个年级1册,每册有二十四个活动,活动内容涉及STEAM学科及日常生活等领域。学思维活动以发展思维为主线,以STEAM学科为主体,以探究、合作、项目学习为过程。从2003年至今,200多所学校的20多万学生参加了学思维活动课程的实验和推广,跟踪研究结果表明:经过一年半左右的学习,实验组学生的思维能力、创造力、学业成绩、学习策略、学习动机、自我效能等得到明显提高(Hu, Jia, Plucker, Shan, 2016),教师的教学行为也有明显的改善(Hu, Wu, Jia, et al, 2013)。学思维活动课程促进学生创造力发展的神经机制研究表明,经过一年半的训练,学生大脑的功能有显著的改善。

第二,“学探究”活动。“学探究”是“学思维”的发展,旨在培养学生的科学探究能力。以项目形式开展的“学探究”活动主要是同伴之间探究、合作学习过程。这一过程包括学生个体的认知建构过程和同伴间的社会建构过程。认知建构主要是探究过程中建立概念、规律,形成分析问题、解决问题的方法;社会建构是同伴合作互动过程所建立的团结友爱、互帮互助的正向情感。认知建构和社会建构往往交织在探究、合作学习过程中,有效促进项目活动的进行。我们开发了 100 多个科学探究活动,在“学思维”活动基础上,让学生参与这些探究活动,有效提高了学生的科学素养。

第三,“学创新”活动。“学创新”是“学探究”的深化,旨在培养学生的科学创新素质。我们对学生创新素质的培养主要体现在两个方面,一是新技术引领的 STEAM 活动课程,我们团队研发了智能机器人活动课程、虚拟现实教育活动平台,从高中生和大学生们的反馈来看,新技术便于学生感知、体验、探究和互动,促进了创造性思维的发展;二是开发“学创新”活动模式,基于对陕西省部分中学的学校环境、师生创新素质的调查,实施了大学与中学联合培养创造性人才的“春笋计划”,选拔少数具有创造性潜质的中学生参加综合实践活动,进入高校实验室参加课题研究;组建专家组指导学生研究性学习;高校重点实验室面向中学生施行开放日活动,在实验室开展实地研究指导。我们采用观察、访谈、问卷、测验等方式,发现一年期间学生的创造力和创新素质得到显著提高(胡卫平,韩葵葵,2015)。

## 六、设计 STEAM 教育评价方案

国际性的 STEAM 教育质量评价主要以 PISA、TIMSS 等国际测评项目为主,其优势是依托大数据分析能了解整个国家或地区乃至全球学生的 STEAM 能力。但正由于其全球化扩张的趋势,而忽视了各国社会文化背景等差异,我们应该辩证地看待其结果,如 PISA(2012)测试结果显示,上海学生在数学、阅读、科学素养等三个领域的平均成绩全部位居第一,这只能说明上海 STEAM 教育水平,不能简单的认为我国 STEAM 教育处于世界领先水平。另一方面,各国还实施了国家层面的 STEAM 教育评价,如美国 NAEP 学业评价,加拿大 PCAP 成就评价,新西兰 NEMP 监测项目,澳大利亚 NAP 素养评价等等。

我国的科学质量监测框架包括科学理解与应用、科学思维与实践、科学态度与责任三个一级指标(胡卫平,2016a),体现了科学学科的核心素养,重视学生在真实情境中解决 STEAM 问题的能力。监测题目设计与开发是科学教育质量监测的关键工作,包括系统理解素养内涵、创设真实问题情境、具体设计问题等三步。全面理解监测框架是设计测试题的前提和基础,如针对“科学理解与应用”这一指标,命题者要摒弃只重视概念记忆和知识演算的传统,而要将概念、知识等融入到具体情境中,考查学生应用知识的能力。这一指标还包括对科学探究本身的理解、跨学科内容,这些要点都应在具体题目中有所描述和体现。真实问题情境的设计也是衡量题目好坏的重要指标,纵观国际上大型测评项目的试题,问题情境总是来源于生活,且基于现实问题,只有让学生解决真实情境下的问题,才能有效地挖掘学生真实的学业水平。真实问题情境的选取和设计不是一蹴而就的事,是命题者长期教学实践和经验积累的结果。基于对监测框架的理解进行具体设计是一项复杂的、繁琐的工程,命题者需要考虑试题的难度、信效度,内容的广度,以及整个试题群的完整性等。

另外,表现性评价也是 STEAM 教育评价不可缺少的组成部分,它可以评价学生的操作、技术运用、技术规范、术语表达、批判性、创新等能力。随着计算机技术的发展,基于计算机的表现性测评成为必然发展趋势,学生可以在人机交互的虚拟环境中完成基于问题解决的测评。

## 七、构建中小学 STEAM 教育体系

《教育大辞典》认为,教育体系是指为达到一定的教育目的,实现一定的教育、教学功能的教育组织形式整体,具体可分为教育目的、教育内容、教育方法、教育活动、教育媒体、教育设施、教育环境、学生、教师、教学管理人员等要素(顾明远,1992)。《教育大百科全书》认为教育体系的基本内容包括:基本背景、教育政策与目标、正规教育体系、行政管理的结构与运行、教育财政、师资、课程开发与教学方法、考

试和升级以及证书体系、教育评价和评估以及教育研究、主要改革、主要问题等(T.胡森,2006)。STEAM教育体系是教育体系的一个子系统,是对21世纪课程理念改革和教学形式变革的积极回应,是教育体系自我发展和完善的新事物、新理念,它涵盖的基本内容应是教育体系内的要素和内容,并对其内涵有新的发展和诠释。由此,STEAM教育体系可理解为:为提高学生核心素养,按照跨学科、学科整合等形式而培养全面发展的人的不同层次、不同类型、不同形态的组织整体。具体而言,中小学STEAM教育体系的基本内容如下图1所示。模型表达的一个基本含义是STEAM教育体系需要教育政策、学科课程、活动课程、教师、有效教学、评价等共同发挥作用。政策是前提,学科课程、活动课程与有效教学是关键,教师发展是保障,科学评价是引领。这六个基本内容在不同条件下相互作用、牵制而形成交互状态,经彼此拉动、牵引、碰撞、扩张而产生既相对闭合又独立开放的合力,促进STEAM教育体系的发展。

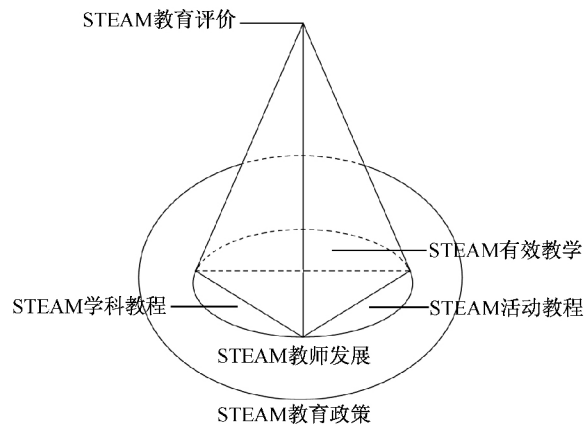


图1 中小学STEAM教育体系模型

STEAM教育政策是STEAM教育持续良好发展的前提,对STEAM教育背景、目的、结构、财政、设施、环境等起基础指导和宏观调控作用,如规划目标、拨发财政、发布标准、协调各利益相关方等。当STEAM教育政策匮乏时,STEAM教育发展将受到严重阻碍。STEAM教师是STEAM教育的保障,教师在其中主要起着实践和推动的作用,其师资力量及专业化水平直接影响政策落实、课程建设、教学过程的好坏。STEAM教师发展要着重从入职培养、教学过程、教学理念、专业素质等方面进行不断规范和完善。STEAM学科课程、活动课程及其有效教学是STEAM教育的关键,STEAM学科课程源于传统的学科内容,它主要寻求学科课程标准中的STEAM内容,围绕学科核心概念、基于学习进阶进行STEAM学科课程建设。STEAM活动课程强调“做中学”和“学中思”,它往往借助新技术(如3D打印、开源硬件等)作为媒介开发课程内容。目前,STEAM学科课程与活动课程有相互融合之势,主要是吸纳各自的优势而促进教与学。STEAM有效教学主要是通过基于项目的、证据的、CDIO工程教育理念的教学过程激发认知冲突、自主建构、自我监控等思维活动,实现迁移运用的高层次思维发展。STEAM教育评价引领STEAM教育的发展,评价方案一方面要监测学生的STEAM学习过程,形成过程性评价方案;另一方面还要监测学生的STEAM学业,评估核心素养水平,形成阶段性评价方案。STEAM评价主要体现诊断、监督、管理功能,它有利于教育决策者了解群体STEAM能力状况,进而基于证据进行教育决策。

STEAM教育体系是动态的、开放的,各要素对该体系都会产生影响,促进或者抑制其健康发展。在STEAM教育推进过程中,要整合政府、研究人员及教师、社会团体等力量,促进STEAM教育体系的可持续发展。政府要在制定规划、出台政策、提供经费、完善制度、培训师资等方面提供支持;研究人员及教师要在STEAM政策研究、课程建设、教学模式探索、评价体系构建等方面发挥科研引领和实践示范作用;社会团体要主导非正式STEAM教育协同发展,提供校外学习和活动的场所、资源等。



## 参考文献

- 顾明远. (1992). *教育大辞典*. 上海: 上海教育出版社.
- 韩葵葵, 胡卫平, 王碧梅. (2014). 国际科学教学心理的研究进展与趋势. *华东师范大学学报: 教育科学版*, 32(4), 63-70.
- 胡卫平. (2016a). 基于核心素养的科学学业质量测评. *中国考试*, (8) 23-25.
- 胡卫平. (2016b). *中国创造力研究进展报告*. 西安: 陕西师范大学出版社.
- 胡卫平, 韩葵葵. (2015). 青少年科学创造力的理论研究与实践探索. *心理发展与教育*, 31(1), 44-50.
- 林崇德. (2016). *21 世纪学生发展核心素养研究*. 北京: 北京师范大学出版社.
- T. 胡森. (2006). *教育大百科全书*. 重庆: 西南师范大学出版社.
- 王碧梅, 韩葵葵, 胡卫平. (2015). 国外科学教师研究进展与趋势. *外国教育研究*, (5), 69-79.
- Cavlazoglu, B., & Stuessy, C. (2017). Identifying and verifying earthquake engineering concepts to create a knowledge base in STEM education: A modified Delphi study. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(1), 40-52.
- Cooper, M. M., Corley, L. M., & Underwood, S. M. (2013). An investigation of college chemistry students' understanding of structure - property relationships. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6), 699-721.
- Griffiths, P., & Cahill, M. (2009). *The opportunity equation: Transforming mathematics and science education for citizenship and the global economy*. New York: Carnegie Corporation of New York and Institute for Advanced Study, 63.
- Hu, W., Adey, P., Jia, X., Liu, J., Zhang, L., Li, J., & Dong, X. (2011). Effects of a 'Learn to Think' intervention programme on primary school students. *British Journal of Educational Psychology*, 81(4), 531-557.
- Hu, W., Wu, B., Jia, X., Yi, X., Duan, C., Meyer, W., & Kaufman, J. C. (2013). Increasing students' scientific creativity: The "learn to think" intervention program. *The Journal of Creative Behavior*, 47(1), 3-21.
- Hu, W. (2015). Thinking - Based Classroom Teaching Theory and Practice in China. In Wegerit R., Li L. & Kaufman J. *The Routledge International Handbook of Research on Teaching Thinking*. Routledge Publisher, 92-102.
- Hu, W., Jia, X., Plucker, J. A., & Shan, X. (2016). Effects of a critical thinking skills program on the learning motivation of primary school students. *Roeper Review*, 38(2), 70-83.
- Lelliott, A., & Rollnick, M. (2010). Big ideas: A review of astronomy education research 1974 - 2008. *International Journal of Science Education*, 32(13), 1771-1799.
- Yakman, G. (2010). *STEAM Education: An Overview of Creating a Model of Integrative Education*. Derived from: <https://steamedu.com/downloads-and-resources/>

(责任编辑 陈振华)

## Causal Inference in Education Research: Principles and Applications of Related Methods

HUANG Bin FANG Chao WANG Dong

( Faculty of Public Administration/Center for Public Finance Research , Nanjing University of Finance and Economics , Nanjing 210023 , China)

**Abstract:** In the past twenty years , causal inference has developed rapidly and gradually dominated the field of micrometrics. The paper first introduces the context of the emerging causal inference methods. Next , we discuss three preconditions to reach a causal conclusion , point out the major problems with making causal inference in the experimental and non-experimental studies , and analyze the main causes and components of heterogeneous residual that commonly exist in the observation studies. Then , using cases of impact evaluation of small class teaching and new mechanism reform , the paper illustrates the basic principles and analyzes procedures of some quasi-experimental methods , including regression discontinuity , instrumental variable , propensity score method and double difference. Finally , in response to the doubts about the internal validity of quasi-experimental studies , we emphasize the importance of robustness and sensitivity test of the implicit hypothesis that hide behind quasi-experimental methods.

**Keywords:** causal inference; educational research; quasi-experiment; heterogeneous residual; internal validity

## Building the STEAM Education System in Primary and Secondary Schools

HU Weiping<sup>1 2</sup> SHOU Xin<sup>1</sup> CHEN Yonggang<sup>1</sup>

( 1. Key Laboratory of Modern Teaching Technology , Shaanxi Normal University , Xi'an 710062 , China;  
2. National Innovation Center for Assessment of Basic Education Quality , Beijing 100875 , China)

**Abstract:** STEAM education has become a hot issue in today' international education researches and reforms. Effective implementation of STEAM education is a systematic process , which involves developing education policies , strengthening the integration of STEAM courses , implementing effective STEAM classroom teaching , promoting STEAM teacher professional development , offering STEAM activity courses , and carrying out relevant evaluation. Only in this way can we construct a STEAM education system with Chinese characteristics.

**Keywords:** STEAM education; education system; practice; core competencies

## STEAM Education in America: Framework , Characteristic and Implication

WEI Xiaodong YU Bing YU Haibo

( Key Research Institute of Humanities and Social Sciences in Universities of Ministry of Education , China Institute of Rural Education Development in Northeast Normal University , Changchun 130024 , China)