

# 美国 STEAM 教育的框架、特点及启示<sup>\*</sup>

魏晓东 于冰 于海波

(教育部人文社会科学重点研究基地东北师范大学中国农村教育发展研究院,吉林 长春 130024)

**摘要:**近年来,美国在推进基础教育改革的过程中,不断提高对 STEAM 教育的重视程度,甚至将其视为一种国家战略。通过 STEAM 教育,可以培养学生以学科整合的方式认识世界,运用跨学科的思维解决现实问题,提升他们的逻辑思维能力和问题解决能力,使其成为具有 STEAM 素养的高质量人才。STEAM 教育在世界范围内迅速展开,必将推动基础教育的重大变革。梳理 STEAM 教育的产生背景,分析 STEAM 教育的框架,总结 STEAM 教育的特点可以为我国基础教育改革带来有益启示。

**关键词:**STEAM 教育;项目学习;基础教育

创新是一个国家和民族永葆生机的不竭动力。目前,一种培养创新型人才的教育新范式——STEAM 教育,逐渐走进人们的视野,即将成为知识经济时代的一种全球性教育战略。新媒体联盟《地平线报告》(2015 基础教育版)认为未来 1 至 2 年,STEAM 教育将成为世界基础教育发展的新趋势。STEAM 是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、艺术(Arts)和数学(Mathematics)的简称,它是由美国政府提出的 STEM 教育战略衍生而来,最初只有科学、技术、工程和数学四门,后来加入艺术,成为包容性更强的跨学科综合教育。STEAM 教育旨在打破学科领域的界限,倡导基于项目的学习方式,强调体验性和实践性,是一种新的教育理念和学习方法。STEAM 教育发源于美国,自 20 世纪 90 年代以后,逐渐风靡韩国、英国等国家和地区。

## 一、STEAM 教育的产生背景

早在 1986 年,美国国家科学委员会(National Science Board,简称 NSB)就发布了报告《本科的科学、数学和工程教育》(Undergraduate Science, Mathematics and Engineering Education),这被视为提倡 STEM 教育的开端(NSB,1986)。

2005 年 10 月,由美国国家科学院(National Academy of Science,简称 NAS)、国家工程院(National Academy of Engineering,简称 NAE)、医学科学院(Institute of Medicine,简称 IOM)和国家研究委员会(National Research Center,简称 NRC)联合向美国国会呈上报告《驾驭风暴:美国动员起来为更加辉煌的未来》(Rising Above the Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future)。该报告是针对美国 21 世纪科技教育发展的战略性报告,提出了促进 STEM 教育的相关建议:一是,到 2010 年,初、高中数学及科学课程的数量要达到现在的四倍;二是,每年招聘 1 万名新的数学和科学教师;三是,提高 25 万名数学和科学在职教师的教学技能;四是,增加 STEM 领域学士学位授予数量,并对研究生阶段和职业生涯早期阶段的 STEM 领域研究给予支持。报告中强调学生需掌握有效沟

<sup>\*</sup> 基金项目:教育部人文社科重点研究基地重大项目 2016 年度课题“农村学校办学形态与品质提升”(16JJD880015)。

通、非常规问题解决、自我管理和系统思维等技能。为实现这一目标,STEM 课程以小组活动、实验调查等形式来促使学生将科学、技术、工程和数学知识进行整合,并进一步获取现代经济社会所需技能,使他们成为能够为个人健康、能源效率、环境质量、资源利用和国家安全做出决策的合格公民。事实上,在经济、政治和文化观念领域,公民需要理解和解决的各种问题,从个人问题到全球问题,都与 STEM 学科中的知识有显著的联系(Bybee R W.,2010)。

2007 年 8 月 9 日,美国国会又一致通过了《国家竞争力法》,全称《创造机遇,显著提升美国科技教育领域优势地位》(America Creating Opportunities to Meaningfully Promote Excellence in Technology, Education, and Science,简称 America Competes)。该法案强调创新需要雄厚的研发投入和对 STEM 教育计划的切实执行,批准在 2008 年到 2010 年期间为联邦层次的 STEM 研究和教育计划投资 433 亿美元,包括用于学生和教师的奖学金、津贴计划资金以及中小企业的研发资金。该法案还要求把美国国家科学基金增加到 220 亿美元,除自然科学和工程的研究资金外,重点用于奖学金支持计划、幼儿园到 12 年级(K-12)阶段的 STEM 师资培训和大学层面的 STEM 研究计划。2007 年 10 月 30 日,美国国家科学委员会再次发布报告《国家行动计划:应对美国科学、技术、工程和数学教育系统的紧急需要》(A National Action Plan for Addressing the Critical Needs of the U. S. Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education System)(NSB,2007)。该报告提出希望将 STEM 教育从本科延伸到中小学教育阶段。

2009 年,美国时任总统奥巴马提出了教育创新运动,强调美国将优先发展 STEM,决心把美国科学和数学教育的排名从中间位置提高到世界前列。此后,美国联邦投入了大量资金,用以支持幼儿园到 12 年级(K-12)阶段和高等教育阶段的 STEM 教育研究。美国各州也纷纷采取了促进 STEM 教育发展的有效措施,包括创建全州 STEM 教育网络、成立区域 STEM 中心、创办 STEM 高中、启动幼儿园到 8 年级(K-8)阶段学生计划项目、加强教师专业发展,类似情况还出现在许多其他的发达国家。

2009 年,卡耐基金会报告《机会平等》(Opportunity Equation)建议重点采取以下四方面的措施来解决 STEM 人才危机:为全美学生提供更高水平的数学和科学学习内容;建立更少、更清晰的数学和科学学科的公共标准,使其与评估标准一致性更高;通过更好的学校和管理系统的支持,提高教师教学和专业学习水平;设计新的学校和相关系统,保证学生的数学和科学学习更有效。

在加强对 STEM 教育重视的同时,社会上对增加人文艺术教育的呼声越来越强烈,人文艺术不仅能够增加 STEM 的趣味性,更重要的是有益于培养全面发展的未来社会合格公民。2010 年美国维吉尼亚科技大学学者格雷特·亚克门(Georgette Yakman)第一次提出将 A(艺术)纳入到 STEM 中,A 广义上包括了美术、音乐、社会、语言等人文艺术学科。

整合的 STEAM 教育不仅可以促进学生的认知发展,还可以促进他们的情感和精神境界的提升,增强他们的批判思维和问题解决能力,培养他们的创造力。在美国,STEAM 教育已经被认为是幼儿园到 12 年级(K-12)阶段的一个重要的国家教育改革战略,STEAM 教育为各学科的整合提供了有力支持和帮助。

## 二、STEAM 教育的框架分析

STEAM 教育是在 STEM 的基础上加入 A(艺术)。艺术与 STEM 的各个领域紧密相关,艺术的广泛性使得 STEM 中各领域的形态都发生了变化。数学和艺术有着从古埃及的黄金比例到现代分形艺术的悠久历史关系。艺术家和科学家相似的地方更多。工程和艺术有许多直接的联系,如建筑工程和工业设计领域。艺术和技术之间的联系也正变得越来越重要。例如,美国苹果公司在痴迷艺术设计的史蒂夫·乔布斯(Steve Jobs)指导下,创造出引人注目的苹果产品(Chung, C. C. J,2014)。

### (一)STEAM 教育的基本框架

美国维吉尼亚科技大学学者格雷特·亚克门(Georgette Yakman)在 2010 年提出了 STEAM 学科整合的教育框架(见图 1),将多个学科连接起来,以跨学科的方式指导教学,形成了一个金字塔的形状,

共有五层(Yakman, G.,2010)。

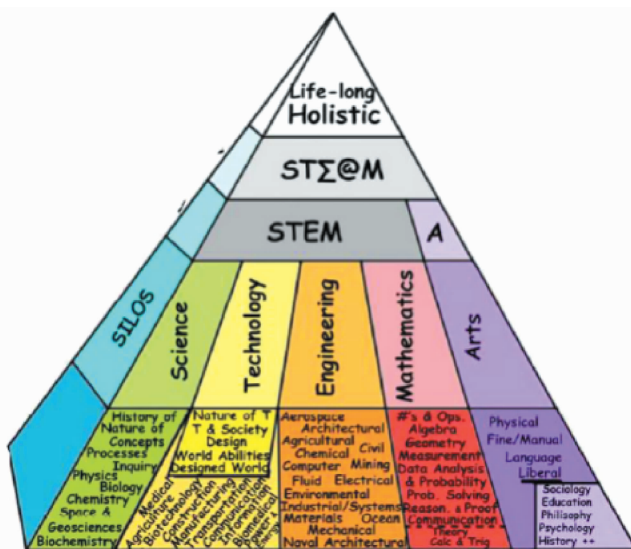


图1 STEAM教育框架 来源:<http://www.steamedu.com>

在这个框架中,金字塔的最顶层是通识水平,这一水平代表的是最终的教育目标。通识教育是全面素质的教育,它的宗旨是使学生在广泛的领域中能够掌握必要的知识,能够与他人在比较高的层次上交流。通识教育和全人教育密切相关,也正因为这样,金字塔顶层和终身教育相互联系。金字塔的第二层为综合水平,这一水平主要是将科学、技术、工程、艺术和数学融合成跨学科的STE@M教育(艺术与STEM相互作用,决定了其发展方向,因此STEAM表示成了 $ST\Sigma@M$ ),鼓励学生通过跨学科的方式去发现和解决问题,主要采取的是主题式教学。金字塔的第三层是多学科水平,这一水平是将艺术渗透到科学、技术、工程和数学四个学科中。将艺术渗透到STEM教育中,这样的模式使得学生接受的STEM教育有了情感的融入和美的追求。金字塔的第四层是具体学科水平,这一水平主要探讨了科学、技术、工程、艺术和数学学科相互之间的联系。金字塔的第五层是具体课程水平,这一水平主要是科学、技术、工程、艺术和数学等学科的相关课程(赵慧臣,陆晓婷,2016)。例如,工程学科包括了电气工程、化学工程、机械工程、工业工程、海洋工程、环境工程、流体工程和土木工程等。

STEAM教育框架将富有创造性的学习过程作为教育核心,以学科整合的方式将科学、技术、工程、数学和艺术五门学科联系起来,强调了知识与现实世界的相互联系,鼓励学生自己动手去探索。STEAM教育倡导的是一种新型教育理念,尝试为教育者提供新的教学模式,为教育教学实践提供指导。

## (二)STEAM教育的五个学科构成一个有机整体

STEAM教育打破了数学、科学、技术、工程和艺术五个学科领域之间的壁垒,将它们进行跨学科整合,将这五个学科的知识融合成一个有机的整体,以整合的教学方式解决真实的问题,培养学生的跨学科思维和创造力。STEAM教育的五个学科之间并不是相互独立的,也不是简单地进行叠加,而是形成一个相互联系、融会贯通的整体,每个学科在STEAM中都具有举足轻重的作用。

1. 数学是STEAM各领域的基础。数学是研究数量、图形、结构和空间形式的科学。数学是社会建构的基本元素,是其他领域研究的“必需品”。数学不仅是一门基础学科,也是一门有着多种变化途径的理论分支,还是自然科学的一个组成部分。对于各类学习者而言,掌握数学领域内有关理论及其应用很有必要。因此,数学是STEAM各领域的基础(Yakman, G., & Lee, H.,2012)。2. 科学是STEAM的重要组成元素。科学提出关于自然的问题,并以基于实证的、解释的方式给出答案。STEAM教育中的科学教育以培养学生的科学素养为主要目标。随着当代社会的迅速发展,每一个未来的合格公民都

需要具有科学素养,能够运用科学知识和科学方法做出基于证据的决策,并为社会的发展做出积极的努力(Ge, X., Ifenthaler, D., & Spector, J. M., 2015)。3. 技术是支持 STEAM 教育的工具。技术是人们适应生存要求、满足自我需要的手段。一方面,技术是帮助学生学习的有效工具;另一方面,教师也运用现代教育技术进行教学活动。例如,移动设备作为技术的一种形式,支持 STEAM 课程的学习和教学,包括创造性知识表征,帮助执行和做出决策,促进个性化。4. 工程是 STEAM 活动中解决实际问题的途径。工程以新产品和新工艺的形式给出满足人类需求和愿望的解决方案。工程不仅是 STEAM 教育的表现形式和实践结果,更是贯穿 STEAM 教学活动始终解决实际问题的有效视角和途径。因此,STEAM 课程中的工程学,能够促使学生发现更先进的解决问题的方法。5. 艺术促进了 STEAM 各领域的发展。这里的艺术包括美术、音乐、社会、语言等人文艺术。STEAM 教育中,融入艺术主要是为了促进 STEM 各个领域的发展。Sousa 和 Pilecki 指出许多科学家、数学家和工程师使用从艺术中借来的“技能”作为科学研究的工具(Sousa, D. A., & Pilecki, T., 2013)。STEAM 课程中增加艺术内容能发展个体未来职业所需的各项能力,为他们应对复杂和多样的变化做准备。

### 三、STEAM 教育的主要特点

STEAM 教育可以使学生在更广阔的视野上了解各种知识和技能是如何与真实世界相互联系的,这对于提高民族整体素质和国家综合实力具有重要的作用。近年来,STEAM 教育越来越受到我国教育界的关注,分析 STEAM 教育的特点可以帮助我们更深入地把握 STEAM 教育的具体内涵和样态。

#### (一) 以项目为中心培养学生解决实际问题的能力

对 21 世纪教育者而言,基于项目的学习(Project - based learning,简称 PBL)已经成为实施教育的有效手段。PBL 教学方法拥有以下特点:1. 学生拥有自主选择权;2. 学习风格具有多样性;3. 以学习目标作为导向;4. 学习具有时间管理属性;5. 学习需要激发学生原有的好奇心。PBL 教学方法使得学生的技能朝向目标设定的方向发展(Rabalais, M. E., 2014)。

STEAM 教育以项目学习为主要学习方式。美国项目引路(Project Lead The Way,简称 PLTW)机构是 STEAM 教育的活动提供者,它主要为 K - 5、初级中学和高级中学的学生提供学习资源和技术。PLTW 共有 24 个跨学科模块,能够吸引学生参与到跨学科活动中,激发学生终身对计算机科学、工程学、生物学和医学等领域进行探究的热情,鼓励学生们自己设计项目,不断地去发现问题,合作解决问题,从而不断构建自己的知识体系,让他们感觉到学习和玩一样轻松,在玩中培养他们问题解决能力和创新能力。通过这种实际体验,使学生找到自己感兴趣的领域,并愿意未来长期从事相关职业(PLTW, 2016)。

#### (二) 以教育信息化手段促进学生的深度学习

STEAM 课程通过教育信息化手段,来促进学生对 STEAM 知识的理解,从而促使其进行深度学习。其中一个典型的教学策略是可视化表征。知识的可视化表征促进了信息的传递、知识的建构和问题的解决。其中的一个例子是为科学和数学设计的互动仿真程序 PhET。这个程序由诺贝尔奖获得者卡尔·威复于 2002 年创立,PhET 互动仿真程序计划由科罗拉多大学的团队专项运营,旨在创建免费的数学和科学互动程序。PhET 是基于拓展性教育的相关研究并且激励学生在直观的、游戏化的环境中进行探索和发现。PhET 将抽象和复杂的科学现象通过可视化方式展现给学生,并且为他们提供与可视物体互动的机会。可视化表征不仅吸引学生的注意力,还帮助他们识别错误概念并促进他们对概念的深入理解(Ge, X., Ifenthaler, D., & Spector, J. M., 2015)。

#### (三) 在从“我”到“我们”的角色转变中实现团队合作

在 STEAM 活动中,学生们通过合作来把控项目的进度,因此,他们的角色需要从我(单独的学生)转换到我们(活动的参与者)。教师和学生一样,在工作人员身份上,他们感受到了从我到我们的角色转变。他们有了合作教学的机会,互相交流观点,执行更高效的教学计划,使用多样化的教学方

法,并且在角色上变成了学习者的帮助者。通过这种组合的任务和工作方式,教师能够更深入和更广泛地了解学生,能够将学习目标和教学目标与多样的学习者相互匹配,能够寻找到学生感兴趣的教學主题(STEAM Education,2016)。

#### 四、推进 STEAM 教育的实践举措

STEAM 教育理念提出以后,受到美国政府和教育界的欢迎,他们为教师提供了许多与 STEAM 相关的培训资源和项目,美国的一些高等教育机构还研发和实施了 STEAM 课程,并逐渐将其推广到从幼儿园到 12 年级(K-12)阶段学生的教育实践中。下面我们以美国几个典型的 STEAM 项目为代表,来管窥美国推进 STEAM 教育的具体办法和措施。

##### (一) 将结合了艺术的校外科技活动项目引入课堂

美国卡耐基梅隆大学机器人研究所(The Robotics Institute, Carnegie Mellon University)研制了 Arts & Bots,这是一种以工艺为基础的机器人制作程序,它提供的技术服务专注于提高幼儿园到 12 年级(K-12)阶段学生的表达能力和创造能力。机器人项目开始于 2006 年,起初是一个校外科技活动项目,后来调查发现女生参与 STEM 项目的兴趣在七年级和八年级显著下降。为了吸引更多女中学生的参与,研究人员努力将艺术融入到项目中,以增加其趣味性和创造性。Arts & Bots 提供课程和一个工具包,包括工艺材料、灵活的机器人硬件组件和一个定制的软件环境,赋予学生创造有形的交互式机器人模型的条件。研发人员还开发“艺术博物馆”作为教师的教学工具,通过与教师合作,培训他们使用 Arts & Bots 硬件和软件,并使教师通过编写自己的课程成为课程创新者。自 2010 年以来,Arts & Bots 项目已被引入美国宾夕法尼亚州和西弗吉尼亚州的 21 个学区(Hamner, E., & Cross, J.,2013)。

##### (二) 实施整合了艺术与工程的实践课程

为了改变过去以教师为中心的教学模式,以及学习结构和经济社会所需技能之间不匹配的状况,美国乔治亚理工学院(Georgia Institute of Technology)为本科生提供了以实验项目为基础的整合了艺术和工程的课程。该实验项目是由美国国家科学基金会的创意 IT 资助计划资助的一个试点项目。课程在实验室中进行,学生可以从事艺术项目、工程项目或两者之间的工作。课程的主要目标是通过让他们有意识地利用相关的技能,在艺术和工程学中形成他们的创造性见解,从而提高学生的创造能力。该课程的结构是让学生制作一个工件,制作过程包括“构思-设计-构建-提出-分析-展示-制作”等环节,这个过程在学期期间重复三次。第一阶段,是学生通过课堂活动,分小组设计和建构他们所选择的一个工件。第二阶段,是学生将构建出的工件以演示文稿的形式展示给同学和教师,在此期间学生们可以获得教师和同学们的建议与反馈;第三阶段,是学生综合使用艺术和工程实践的试运行阶段,也就是动手制作工件。由于该课程需要学生具备一些经验、一般性知识和专门知识,因此,该课程将会对幼儿园到 12 年级(K-12)阶段学生所接受的正规教育的课程起到引领作用(Fantauzzacoffin, J., Rogers, J. D., & Bolter, J. D.,2012)。

##### (三) 为教师提供丰富的培训资源与项目

美国启动了多项相关的教师培训项目并开发了丰富的教师培训资源。教师频道(the Teaching Channel)有大量在诗句艺术中整合技术应用的视频资源。视频通过应用定格动画和虚拟艺术项目来吸引那些存在学习困难的学生(NMC,2015)。1997 年,美国 UTeach 教师教育项目首创于德克萨斯州大学,旨在为美国培养优质的中学科学、数学和计算机教师。2014 年秋季,美国有五所大学启动了 UTeach 计划,国家奖励每所大学 145 万美元,这五所大学分别是德雷克赛尔大学(Drexel University)、佛罗里达国际大学(Florida International University)、俄克拉荷马州立大学(Oklahoma State University)、阿拉巴马大学伯明翰分校(the University of Alabama at Birmingham)和马里兰大学帕克分校(the University of Maryland at College Park)。这五所大学以本科生教师资格培养为主题,形成了现在的理科教育优秀教师项目,未来将会培养更多的优质理科教师(USNews,2014)。2015 年 12 月,美国教育部发布“2016 国

家教育技术规划”。该规划要求学校中心设计教师培训项目,将技术课程从原有的一节技术课程转变为可使教师深入运用技术的教师职前培训课程。

## 五、STEAM 教育对我国基础教育课程与教学改革的启示

STEAM 教育在风靡世界的同时,也越来越受到我国教育界的关注和重视。2015 年 9 月,教育部发布《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)》,提出学校要探索 STEAM 教育。美国 STEAM 教育的理念具有很强的前瞻性,很多推进措施也具有较强的实践性,对我国基础教育改革具有如下几个方面的启示。

### (一) 加强课程融合,培养学生的创造性思维能力

STEAM 教育的核心理念是跨学科融合。学生参与 STEAM 不是为了具有单一领域的素养,而是综合运用学科知识,创造性地解决问题,成为对全球化社会具有适应能力的终身学习者。将有关联的学科之间进行课程整合,有利于学生理解和应用知识,学会运用高阶思维能力去转换各个学科间的知识,有利于发展学生的探究能力、实践能力、思维能力和整合能力等,从而使学生具有创造性思维能力。具有创造性思维能力的学生学习效率更高,因为他们知道如何跨越话题去思考,从而理解学科间的联系。

### (二) 创新教学方式,发展学生的核心素养

2016 年 9 月,《中国学生发展核心素养》总体框架正式发布。学生发展核心素养,主要指学生应具备的,能够适应终身发展和社会需要的必备品格和关键能力。框架指出,中国学生发展核心素养以培养“全面发展的人”为核心,分为文化基础、自主发展、社会参与三个方面,综合表现为人文底蕴、科学精神、学会学习、健康生活、责任担当、实践创新六大素养。STEAM 教育倡导基于项目学习、体验式学习等新的教学方式,能更有效地发展学生的核心素养,培养学生的学习和创新能力,批判思维和问题解决能力,交流与合作能力等。为了推进我国学生核心素养的发展,应大力创新教育教学方式。

### (三) 以问题为中心,加强知识与实际生活的联系

STEAM 教育把科学、技术、工程、艺术和数学知识整合在一起,以项目和问题驱动学生探究,从而培养学习者的科学、技术、工程、艺术和数学的综合素养。STEAM 教育强调将抽象知识回归生活情景,学生们通过解决一个个趣味性强、具有挑战性的实际问题去学习知识。通过“做中学”,实际体验操作过程,寻找自己感兴趣的内容。在 STEAM 课程中,学生根据自身的能力和兴趣,既可以探究连接电路等简单问题,也可以探究制作机器人、飞机模型等复杂问题,还可以围绕生产生活中的真实问题加以探索 and 解决。

### (四) 开展协作学习,培养学生团队合作意识

协作学习是通过小组或团队的形式组织学生进行学习的一种策略。协作学习的基本要素包括协作小组、成员、辅导教师和协作学习环境。大量研究表明协作学习形式比竞争学习和个别学习两种形式更能提高学习成绩(赵建华,李克东,2000)。STEAM 主要以小组的形式开展学习,例如,以小组为单位制作迷你洗衣机,学生以组内分工协作的方式完成设计、开发、动手操作等任务,学习相关知识并且锻炼动手能力的同时,更重要的是培养了学生团队合作意识。

### (五) 在科技教育中融入艺术,培养全面发展的高素质人才

STEM 教育中加入艺术,丰富了 STEM 教育的内涵。在我国随着科技的飞速发展,科技教育越来越成为教育的重头戏,重理工轻人文成为比较普遍的现象。但是艺术素养的高低直接影响着个人思维方式、想象能力和创造能力。艺术素养的培养无法一蹴而就,它是一个潜移默化的漫长过程,需要从基础教育阶段就开始。在科技教育中融入人文艺术,可以提高学生对美的理解水平,增加对美的体验能力,陶冶情操,启迪心灵,树立正确的价值观和人生观,成为未来全面发展的高素质人才。

对美国 STEAM 教育的全面解读,有助于我们深刻地把握 STEAM 教育的思想理念和实践要求,掌握发达国家教育改革的动态与趋势,跟踪国际基础教育改革发展的前沿与热点,拓展我国教育改革实

践的国际视野。随着我国基础教育改革进入深水区,各学科间仍存在较大壁垒,如何在基础教育阶段培养学生的探究能力、实践能力、跨学科思维能力和创新能力,依然是摆在我们面前的一个难题,需要我们积极借鉴国际智慧加以分析破解。在教育全球化、多元化发展的今天,美国 STEAM 教育势必会对我国基础教育的变革产生积极的促进作用。在我国未来的基础教育改革实践中,需要以具体的课程教学为载体,开发整合不同学科中内容相关的任务与活动,把 STEAM 教育的理念落到实处;根据不同地区的教育发展情况和外部环境,有针对性地谋划相应的改革和实践模式;还要加大师资培养与培训力度,使更多的教师能够胜任 STEAM 教育的教学。总而言之,提升我国公民的学科综合素养,培养全面发展的高素质创新型人才,是未来我国 STEAM 教育发展的重要方向。

## 参考文献

- 赵慧臣, 陆晓婷. (2016). 开展 STEAM 教育,提高学生创新能力——访美国 STEAM 教育知名学者格雷特·亚克门教授. *开放教育研究*, 22(5), 5-6.
- 赵建华, 李克东. (2000). 协作学习及其协作学习模式. *中国电化教育*, (10), 5-6.
- L. 约翰逊, S. 亚当斯贝克尔, V. 埃斯特拉达, A. 弗里曼, 张铁道, & 白晓晶等. (2015). 新媒体联盟地平线报告(2015 基础教育版). *北京广播电视大学学报*(s1), 1-18.
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education?. *Science*, 329(5995), 996-996.
- Chung, C. C. J. (2014). Integrated STEAM education through global robotics art festival (GRAF). In *Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 2014 IEEE (pp. 1-6). IEEE.
- Fantauzzacoffin, J., Rogers, J. D., & Bolter, J. D. (2012). From STEAM research to education: An integrated art and engineering course at Georgia Tech. In *Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 2012 IEEE 2nd (pp. 1-4). IEEE.
- Ge, X., Ifenthaler, D., & Spector, J. M. (2015). *Emerging Technologies for STEAM Education*. Springer. Berlin, Germany: Springer Press.
- Hamner, E., & Cross, J. (2013). Arts & Bots: Techniques for distributing a STEAM robotics program through K-12 classrooms. In *Proceedings of the Third IEEE Integrated STEMEducation Conference*, Princeton, NJ, USA.
- National Science Board. (1986). Undergraduate graduate Science, Mathematics and Engineering Education. Retrieved from: <http://www.nsf.gov/nsb/publications/1986/nsb0386.pdf>
- National Science Board (US). (2007) A national action plan for addressing the critical needs of the US science, technology, engineering, and mathematics education system. Retrieved from: <http://esdstem.pbworks.com/f/National%20STEM%20Action%20Plan.pdf>
- PLTW Launch Curriculum(2016). Retrieved from: <https://www.pltw.org/our-programs/pltw-launch>
- Rabalais, M. E. (2014). Steam; a national study of the integration of the arts into stem instruction and its impact on student achievement. *Dis-sertations & Theses - Gradworks*, 28, 208-212
- STEM Education Resource Center. (2016). Retrieved from: [http://steamedu.com/about-us/educators/](http://www.pbs.org/teachers/stem/Sousa, D. A., & Pilecki, T. (2013). From STEAM to STEAM: Using brain-compatible strategies to integrate the arts. Corwin Press.</a></p><p>STEAM Education Educators. (2016). Retrieved from: <a href=)
- STEAM Education FAQ. (2016). Retrieved from: <http://steamedu.com/about-us/faqs/>
- USNews(2014). Retrieved from <http://www.usnews.com/news/articles/2014/02/04/5-more-universities-will-create-stem-teacher-training-programs>
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the US as a practical educational framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072-1086.
- Yakman, G. (2010). What is the point of STE@M? - A Brief Overview. Steam; A Framework for Teaching Across the Disciplines. *STEAM Education*, 7, 3-7.

(责任编辑 陈振华)