

■ 学前教育理论

学前儿童STEM教育:构成要素、理念及本土化

杨柳玉¹, 杨晓萍²

(1. 云南师范大学教育学部, 云南昆明 650500; 2. 西南大学教育学部, 重庆 400715)

摘要: 学前儿童STEM教育是由儿童、环境、教师等构建的科学素养取向、儿童本位取向和实践取向的全方位、立体化整合系统。整合作为学前儿童STEM教育的本质属性在构成要素上呈现为以知识概念融通为核心基础,以情境因应作为外驱力,以儿童的学习思维为内驱力,以学习共同体的交往实践为助推力,在理念上凸显批判性和假设性的知识观,实践性和交往性的学习观,开放性和生成性的教学观以及真实性与虚拟性的情境观。学前儿童STEM教育的本土化应在分析共性教育要素的基础上应扎根历史文化,从价值重塑,本体重构和认知重建三个维度进行转化。

关键词: 学前儿童STEM教育; 整合; 问题情境; 本土化

中图分类号: G612

文献标识码: A

文章编号: 2095-770X(2021)07-0025-07

PDF获取: <http://sxxqsfxy.ijournal.cn/ch/index.asp>

doi: 10.11995/j.issn.2095-770X.2021.07.004

STEM Education for Preschool Children: Components, Internal Concepts and Localization

YANG Liu-yu¹, YANG Xiao-ping²

(1. Department of Education, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China;

2. Department of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: STEM education for preschool children is a comprehensive and three-dimensional integration system of knowledge orientation, children orientation and action orientation constructed by children, environment, knowledge integration and problem situation. As the essential attribute of STEM education for preschool children, integration is presented as the core basis of knowledge concept integration, the external driving force of situational response, the internal driving force of children's learning thinking, and the communication practice of learning community as the thrust force. Its concept highlights the critical and hypothetical knowledge view, the practical and communicative learning view, the open and generative teaching view and the reality and virtual situation view. The localization of STEM education for preschool children should be rooted in history and culture on the basis of analyzing the elements of common education, and transformed from three aspects: value remodeling, noumenon reconstruction and cognitive reconstruction.

Key words: preschool children STEM education; integration; problem situation; localization

一、引言

STEM教育即科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、数学(Mathematics)四门

学科的整合教育,美国自20世纪实施以来极大促进经济、就业、科技创新、劳动者素质的增长,成为世界各国争相引入的教育形式。学前儿童STEM教育作为STEM教育一体化的起点也日益

收稿日期:2021-03-23;修回日期:2021-05-17

基金项目:西南大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(SWU1909573)

作者简介:杨柳玉,女,傣族,云南文山人,云南师范大学教育学部讲师,博士研究生,主要研究方向:学前教育基本原理,幼儿园课程和幼儿科学教育;杨晓萍,女,四川自贡人,西南大学教育学部教授,博士生导师,主要研究方向:学前教育基本原理,幼儿园课程。

受到世界范围内的关注。2016年,美国教育部发布的《STEM 2026:STEM教育创新愿景》将“开展早期STEM教育”作为面向未来STEM教育的八大挑战之一,并成立专门的工作组指导STEM教育在机构和家庭中的实施。2017年工作组发布的《早期STEM教育不容小觑:为所有低龄学习者提供高质量的STEM经验》研究报告成为早期STEM教育实践的蓝本^[1]。同年,美国国家科学基金会(National Science Foundation)资助的美国芝麻街工作室琼·甘兹库尼中心出台《及早开展STEM教育:在儿童早期打下科学、技术、工程和数学教育的基础》的报告^[2]。可见,开展学前儿童STEM教育已成为未来必然趋势。

整合作为学前儿童STEM教育的核心精神,其内涵并非学科知识的简单叠加,而是学科素养之间有效融合,组成一个有机整体,并以真实问题解决为任务驱动,在实践中应用知识、获得知识,培养学生的问题解决能力、复合思维和创新思维的教育形式^[3]。培养21世纪所需的STEM素养是学前儿童STEM教育的目标。因此,简单的知识拼接或是程序化的动手操作都不能称之为真正的STEM教育。本文拟对学前儿童STEM教育整合的构成要素进行分析,以完整呈现其各要素相互作用的内在机理,厘清其蕴含的理念,更清晰的认识和把握学前儿童STEM教育的整合机制,为未来扎根中国本土的学前儿童STEM教育提供思路。

二、学前儿童STEM教育的构成要素

(一)知识概念融通:整合的核心基础

学前儿童STEM教育的整合以四门学科的知识整合为基础,且不同的学科知识承担不同的角色和作用。科学知识是在生活世界中经儿童观察、想象、判断、推理、实验的“抽象表达”,技术是包括设计、制造和使用工具的活动过程,工程设计既是迭代的又是系统的思维活动,数学是寻找基于基础结构的模式和关系。四门学科知识间的内在联系构成知识融通,在此基础上建立起联通四门学科知识之间的大概念(big idea)或核心概念,也称为集成的教育单元,而将众多学科理解连接成连贯整体的关键思想^[4]。横向上以概念、原理、理论和关系的形式内容概念融通,纵向

上以观察、实验、制定假设等获取和有效使用内容知识的相关过程的策略概念融通,可以纵横交错编制成STEM学科呈现给儿童的世界模型。

大概念或核心概念就是在各个学科内部或者学科之间最基本的最具有普遍解释意义的内容的组织,是科学领域最基本的组织者^[5],是基于碎片化常识之上的知识脉络和概念联结。科学家彭加莱认为:犹如堆积在一起的石块并不是房子一样,事实性知识的堆积也不能称之为科学,科学概念是有组织、有结构的科学知识和模型^[6]。美国最新发布的科学教育框架中就制定了包含13个核心概念以及40个次一级的概念主题,形成以大概概念为网络的K-12纵向和横向科学目标^[7],其中“从分子到生物体:结构和过程”的内容在幼儿园阶段的目标表达为“所有的动物需要食物去生存和成长。他们从植物或者其他动物中获得食物。植物需要水和阳光去生存和成长”。在K-5年級的跨学科概念标准跨学科概念上涵盖“规模,系统和系统模型,能量和物质:流动、循环以及保存,结构和功能,稳定性和变化”等9个核心概念^[8]。大概念或核心概念构成STEM学科整合的骨架,统摄四门学科的内在联系,具有迁移和应用的价值,是整合的中间层(如图1)。

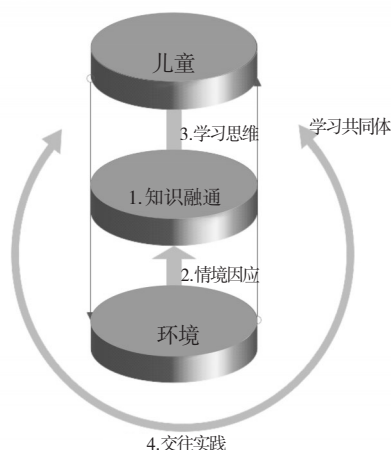


图1 学前儿童STEM教育的构成要素图谱

(二)情境因应:整合的外驱动力

情境因应是学前儿童STEM教育整合的外驱动力,是连接儿童与外界环境的中间桥梁(如图1)。一方面,真实情境因应STEM整合的知识概念。科学定理、定律、概念是简洁的,单向度的,而真实情境是复杂的,多维度的,当把单向度的

知识应用于多维度的情境中,静态的知识转变为动态的连接^[9]。知识就是它已经被使用了足够长的时间并且有效地在环境中有了意义^[10]。学前儿童STEM教育强调通过生活世界中的真实问题情境搭建与STEM知识概念的意义联结。

另一方面,真实情境因应儿童的创造力、批判性、问题解决能力等STEM素养。一个有素养的人,就是当他或她置身于特定情境的时候,有满足情境之需要的“恰当性、充分性或态度”^[11]。美国国家研究委员会委员,同时也是国际学生测评项目(PISA)中科学测评负责人拜比认为,STEM素养不是四门学科素养的拼接,而是蕴含在四个科学领域构建的整体系统中的认知力、理解力、责任感等,是关乎个人处境、社会乃至全球问题的能力^{[12]6-7}。学前儿童STEM素养是儿童在所处的生活脉络情境中相互作用形成的。生活情境的各种社会场域和复杂需求激发儿童能动者的心智运作和情感体验,使得儿童作为问题解决者的负责任的行动能在此过程中得以呈现。

(三)学习思维:整合的内部驱动

脑科学、认知科学和学习科学的发展将学习引入超越符号形式的深层次学习,需要儿童基于已有的学习经验,调动横向和纵向的经验联结,在不断试误、想象、操作的过程中构建与自身情感和文化相关丰富关系,促进儿童的深层学习。大概念或核心概念的作用在于以不同学科视角审视某一主题或问题时,能使思维超出学科局限,促使思维达到整合水平,促进深层次的理解,同时顾及知识迁移^{[13]173}。学前儿童STEM教育的目标之一就是使学习变得联系起来,集中,有意义,并与儿童相关。

STEM项目问题解决为儿童的思维发展预留空间。思维的发生是基于仍在进行的、尚未完成的事情,也就是说,思维发生在问题解决的过程中。在此时,事物的发展是不确定和存疑的,能强烈的激发儿童思维的空间^{[14]123}。在此情境下,儿童的深层学习思维在认知上先辨别情境因应的学科领域,自然地与整合STEM领域相对接,借助以往经验支撑解决问题,形成整合的概念认知和思维方式。工程设计由于能从方法上提供适应问题解决的操作流程和方案往往被作为STEM教育的线索,在四个领域中起到穿针引线的作

用,成为儿童应用知识和构建更深层次理解的核心要素,运用具体的工程设计实例范例来讲解特定的科学概念知识,可以改善儿童的概念认知。

(四)交往实践:整合的助推力量

交往实践是人与人之间互为共在主体通过中介客体而进行的相互联系、相互影响和相互作用的活动。从过程上看,体现的是主体间相互交流和理解的过程。哈贝马斯也认为,交往的“目的”是“达至了解”,而这个目的是进一步蕴涵着一个没有任何制约的“理想沟通情境”^{[15]59}。作为交往实践的主体,教师和儿童的关系应该是马丁·布伯的“我一你”关系,他不可被视为一系列性质、追求和阻碍的单纯组合,而应把人格当作一个整体,由此来肯定他^{[16]114}。

学前儿童STEM教育以单一或复合项目形式展开,教师和儿童围绕真实问题解决形成交往共同体,以经验共享和合作交流推动实践操作,以项目进程中遇到的新实践问题推进交流共享。项目式活动的生成性为主体的交往实践营造良好的“理想沟通情境”,教师由指导者的角色“退场”为尊重儿童个性差异的平等交往对象,儿童在与同伴交往中认识比较自己和他人的观点,发展自己独立的评判能力,二者的交往具有意义自主性。知识概念的获得过程被转化为问题解决,合作参与乃至设计创造的整合过程。

总之,学前儿童STEM教育是由儿童、教师、环境等交织而成的知识融通、情境因应、学习思维和交往实践四个构成界面形成的立体整合系统(如图1)。在纵向上,儿童与环境之间通过学习思维与情境因应的作用达成知识融通;在横向上,通过教师适时适当地介入指导,形成开放学习的良好氛围,以形成师幼间相互促进的学习共同体,是科学问题情境、儿童、生活和教师的四重合一。以儿童学习为出发点和落脚点,以实践操作作为具体开展形式,以STEM素养为目标达成,是一种素养取向、儿童本位取向和实践取向的教学范式。

三、学前儿童STEM教育的理念

为更好地理解学前儿童STEM教育的内涵理念,可以从学科属性上进行分析。学前儿童STEM教育属于广义科学领域的范畴,是对传统

科学教育的知识观、学习观、教学观和情境观的扬弃,蕴含丰富的教育理念。

(一)知识观:批判性与假设性

学前儿童STEM教育的学科知识归属于科学知识的范畴。逻辑实证主义的哲学观认为科学知识具有客观性、实证性、普遍性、抽象性,强调科学知识的理性维度和逻辑确证。“没有任何东西是不确定的”,“世界上最大的物体和最轻的原子的运动都可根据一个公式而得到说明”^[17]¹⁹⁷。而只有可以经验地证实的命题才是有意义的,科学知识是知识的不断累积和叠加,是一种静态的直线式的知识增长方式,被信奉为不可质疑的有用真理。与此相反,批判理性主义认为任何科学理论都是试探性的假说,是由尝试性的、假设的、猜测的理论所组成,这是科学的基本原则。科学依靠人的创造性精神和批判理性,通过不断地创造假说和排除错误而持续增长^[18]²⁵,突出个体情感、文化等在科学知识形成过程中的重要性。科学知识是可猜测性的,是可以批判的。

我国的幼儿园科学教育脱胎于传统的常识教育,以“事实性”知识为目标和内容,过于强调科学知识的客观性和规律性,注重科学知识的接纳和识记,忽视科学本质和科学精神的理解。而学前儿童STEM教育延续科学教育中认可的“概念为本”的思路,将核心概念和跨学科概念与科学过程方法、科学态度情感与价值观有机地结合并融入STEM学习过程。儿童直面的是由STEM概念构成的真实问题情境,事实性知识成为隐藏于儿童科学兴趣和科学探究的过程,是基于儿童推理检验,想象力和创造力的科学副产品,知识不再是客观接纳的公理,而是儿童大胆猜想和合理批判中生成的观念联结。

(二)学习观:实践性与交往性

“学习的本质是经验在深度或广度上的持续变化,即个体在原有经验的基础上通过自主建构或社会建构形成新经验的过程。”^[19]脑科学和认知心理学研究认为儿童的科学学习应该超越事实性知识达至科学理解的深度认知和学习。学前儿童STEM教育是一个综合的集成系统,其优势在于通过学科之间的整合达到系统学习的最优化,有借力使力的味道,但是学科的整合也正是最复杂的地方。工程设计提供了一个机会,可

以在STEM学科之间找到交集并建立连接,这被认为是主体集成的关键^[20]。因此,学前儿童STEM教育往往采用工程设计为线索,学习过程突出实践操作。

学前儿童STEM教育以项目驱动的形式让儿童在实践中交往合作,形成科学实践共同体。在此过程中促成有意义的实践交往。康德曾指出:人有联合他人的倾向,因为他在和人交往状态中有一种比个人更丰富的感觉,感到更能发展自己的自然禀赋^[21]¹⁸。学前儿童STEM教育超越简单的动手操作,基于儿童实践过程中的主体追问,在科学学习中建构思维经验^[22]。交往的目的源于问题驱动中的精神需要,是教师与儿童之间或是儿童与儿童之间为了同一个目的而相互沟通、共同合作、彼此支持达成的行动上的一致,是遭遇对共同的问题情境下,不同个体经思维碰撞、语言表达、动手操作中达成的在心灵层面的视界融合(Fusing of Horizons)。科学实践和意义交往相互推进,满足儿童STEM学习发展需求的同时获得高质量的学习体验。

(三)教学观:开放性与生成性

探究是学前儿童科学教育的重要方法。科学属性决定其内在的探究实质,需要教师预留足够的“探究空间”却又能有效地支持儿童学习。学前儿童STEM教学最大特点是不确定性,教师在没有预设教学路径的前提下让幼儿“遭遇”STEM课程,不是让幼儿为“做”而“做”,是在“做”的过程中,让幼儿与STEM课程偶然“相遇”,使幼儿持续探究的内驱力和学习力在实践中转化为创造力和灵活性^[23]。儿童的“无知和不知道被用作学习和提高科学和工程研究与开发的灵感”^[24],看似“杂乱无章”的开放性教学情境激发儿童求知欲望和创新思维等精神能量的最大释放,在与教师和同伴的倾听和对话中儿童自主探究、独立判断和自由想象的活跃强度与效度增强,赋予教学灵活性和多元性的品格。而开放性的背后是教师基于儿童STEM素养和认知科学发展“预设”的可信背景和生成空间。

学前儿童STEM教育的各学科不仅仅作为STEM教学过程的目标和元素,更重要的是在教学过程中产生教与学的意义。美国当代教育心理学家威特罗克提出的“生成学习”认为“生成

是对新信息建构意义的过程,但并不是说建构就是生成,一个生成活动必然导致一种新的或者较好的关系产生”^[25]。教师正是建构新型关系的关键支持者,是如威廉姆·多尔界定的“平等中的首席”,在学前儿童STEM教学中,教师不是被抛弃的旁观者,而是出于重要作用的关键角色,从外在的情境创设转向与儿童的情境共存。教师是内在于情景的领导者,而不是外在的专制者^{[26]4}。对素养的目标达成和活动的真实参与有清晰认识的教学才能生成更好的教学关系。论证和解决问题并非学前儿童STEM教育的目标,生成新的问题并尝试解决才是STEM教育的诉求。

(四)情境观:真实性与虚拟性

知识是在具体的情境脉络中被创造出来的,科学知识的学习只有回归真实情境才具有生命力。任务的真实性程度越高,儿童的学习动机也就越高,随之学习效果也会越好。只有较高还原度的真实问题情境才能充分激发儿童探究的兴趣,支撑和推进学前儿童STEM项目的持续。此外,任务情境还应尽可能符合儿童的兴趣并具有重要意义,不仅让儿童对参与STEM项目具有“邀请性”,还应让儿童感受到任务的挑战并自觉地投入到探究实践中。

为突破现实条件的局限,越来越多的虚拟技术被运用到学前儿童STEM教育中。《STEM 2026:STEM教育创新愿景》报告中提出,未来可能颠覆STEM课堂的六类技术,包括在线协作工具、在线混合的教育环境、沉浸式媒体、仿真游戏、智能导师系统和增强与虚拟现实。这些技术能够深化STEM学习,无限扩大物理教室的空间范围^[27]。虚拟的数字资源为学前儿童STEM情境创设提供必要补充,指向还原真实度较高的问题情境,形成STEM教育与外界联结的信息环,当真实世界和前沿动态以数字化渠道涌入时,抽象的科学知识就具备了丰沛的实际意义,形成上通下达的真实情境。但无论是虚拟技术或是真实环境所要指向的都是为儿童提供真实的蕴含挑战的情境,虚拟技术无法取代真实情境。

四、学前儿童STEM教育的本土化

学前儿童STEM教育作为21世纪跨学科人才培养的整合教育形式,有蕴育其产生发展的时代背景和社会土壤。中国是具有丰富科学成果和科学文化的文明古国,学前儿童STEM教育的实施需要在分析共性教育要素的基础上扎根本土的历史文化,从价值重塑、本体重构和认知重建三个方面进行转化。

(一)价值维度:回归科学理性的价值重塑

理性是科学作为学科体系的内在属性。胡塞尔认为理性主义的科学精神是西方文明的根本特征。现在世界各民族的欧洲化实际上就是向理性主义的科学精神靠拢^{[28]19}。然而,19世纪的西方科学危机导致尼采唯意志论等非理性大行其道,这一条道路被著名思想家卢卡奇痛斥为“理性的毁灭”^{[29]763},理性文化之所以衰落的原因,不在理性的本质之中,而仅仅在其外部形式之中,即它对自然主义与客观主义的偏执之中^{[30]174}。科学观念被实证地简化为纯粹事实的科学,只见事实的科学造成只见事实的人^{[31]6}。回归科学理性是要回到精神的超越性本身,克服纯粹的自然主义和客观主义理性。

事实上,从“科学知识”到“科学素养”再到具体的“STEM素养”,美国的科学教育也在不断纠正唯科学主义的狂热,消解工具理性的崇拜,重塑科学理性的价值观。学前儿童STEM教育应引导儿童关注社会性科学议题(social-scientific issue)的争议性情境,让儿童在尝试解决真实的情境问题中关注人类发展的境况,获得终身可持续发展的核心素养,成长为21世纪具有道德责任感的公民。此外,中国虽然不像西方具有理性主义的传统但不代表中国没有科学,恰恰相反,历史上的中国镶嵌大量科学文化遗珠,学前儿童STEM教育需要将STEM素养与孕育科学知识的历史文化相整合,即必须走向人类鲜活的各种各样的认识及文化“实践”活动中,达成科学本质和科学精神的中国认识和理解。学前儿童科学教育的发展需要“回返理性”,但更需要回返中国自身所需的理性之源。

(二)主体维度:尊重儿童学习力的认知重建

学习力的生成是动态发展的过程,包含复杂的自然属性与社会属性。儿童生来就拥有先天的学习机制,是能动的问题解决者,受好奇心的

引导,能够发现疑问和问题^[32],这也意味着儿童需要更大的挑战以满足最近发展区的需求。传统的学前儿童科学教育以直线式的程序化教学引导幼儿达到“知识节点”,倾向于教师预设的形式探究和浅层理解,未真正激发幼儿的探究潜力和科学兴趣。

学前儿童STEM教育对传统科学教育的提示在于帮助教师重新认识儿童,尤其儿童的学习。首先,教师充分尊重儿童的学习力,为儿童提供挑战性的学习支持,引导儿童走出事实性知识为目标的低认知学习模式,促进儿童高级思维和元认知策略的发展。其次,正确科学概念的获得不是一蹴而就的,是从错误概念、“迷思概念”和朴素概念发展起来的。科学学习本来就是不断探索的过程,教师应该包容儿童在STEM活动中的错误尝试和观念,给予儿童犯错误的机会,让儿童亲历科学发现的探究过程,抱有探究的兴趣。第三,注重STEM教学中科学精神与科学知识,科学过程的立体整合。赫胥黎强调“科学精神比科学成果更富有价值……现代科学精神的本质是批判^[33]”。让幼儿沉浸在STEM项目解决的探究实践中,潜移默化地获得科学的认知,进而内化为科学的品质和精神,才是儿童STEM学习的真谛。

(三)学科维度:还原科学本质的本体重构

学前儿童STEM教育隐含着对科学的诠释,科学应成为儿童生命实践的延展和立体表达的形式之一。真正意义的学前儿童STEM教育应回归真实完整的科学过程,达至对科学的真正理解。正如皮尔士所说,科学对我们而言就是一种生活方式。科学除了实施、原理、理论和假说等内容之外,还包罗了观察、实验、沉思、想象、语言以及获得知识的其他手段等活动过程。甚至还涉及包括好奇、客观、诚实和惊异等特殊的态度和感觉^[34]。“真实”的STEM教育是氤氲在丰满的真实情境中的科学知识概念、科学过程方法和科学态度情感的糅合,三者统一于真实的生活世界,而非三者的割裂或单一元素的抽离,科学知识并非是与生活无关的理论研究,而是构成儿童内在生命成长和生命质量提升不可获取的部分。从个体的角度,提高科学理解和问题解决的能力,促进儿童作为人的本质力量的提升从而获得生活幸福成为价值诉求;从社会的角度,使儿

童个体的科学素养衍生成社会和他人的价值责任感,促进社会的可持续发展。

学前儿童STEM教育不是将儿童的科学探究和实践操作压缩为单一琐碎的活动片段,而是以项目形式力图真实地还原实践探究过程。问题情境成为推动项目的线索和动力,赋予整个STEM学习过程游戏性和生命力,实践操作在验证科学假设的过程又反过来推动科学思维产生新的问题,项目在跌进和反复中将具有儿童生命情感兴趣的所思所想蕴含其中。正如萨顿所说:“科学像任何其他人类活动一样充满生机,正由于产生它的特殊活动是最高级的活动之一,它充满最高级和最纯洁的生命力。”^[35]122-123

五、结语

“如果把科学丢给头脑狭窄的专门家,过不了多久科学就会退化成新的经院哲学,失去其生命力和固有的美,变得像死亡一样的虚假和妄谬。”^[36]49学前儿童STEM教育如果剥离孕育其产生的生命实践和科学精神,只教会儿童运用科学获取功利价值的目的和手段,那儿童就会成为只会动手操作的工匠或精于算计的木偶。学前儿童STEM教育本质上是在众多孤立学科中搭建一个以儿童为中心的整合系统,为儿童提供整体认识世界的机会,形成跨学科的、立体的意义整合。重置科学的价值序列是STEM教育本土化的切口,让“具有适当的智力的人,能够在生活中悠闲地关注内在本质上有价值的事”,让儿童借助STEM教育的科学学习真正认识自我和理解世界。

[参考文献]

- [1] Early Childhood STEM Working Group. Early STEM Matters: Providing High-Quality STEM Experiences for All Young Learners[R]. U Chicago STEM Education and Erikson Institute, 2017.
- [2] McClure E R, Guernsey L, Clements D H, et al. STEM starts early: Grounding science, technology, engineering, and math education in early childhood[M]. New York: The Joan Ganz Cooney Center at Sesame Workshop, 2017.
- [3] 蔡慧英,顾小清.设计学习技术支持STEM课堂教学的案例研究[J].电化教育研究,2016,37(3):93-100.
- [4] Charles. Big ideas and understandings as the foundation

- for elementary and middle school mathematics[J]. Journal of Mathematics Education Leadership, 2005, 7(3):9-24.
- [5] Ausubel D P. Some psychological considerations in the objectives and design of an elementary-school science program[J]. Science Education, 2010, 47(3):278-284.
- [6] 韦钰. 以大概念的理念进行科学教育[J]. 人民教育, 2016(1):41-45.
- [7] DCI Arrangements of the Next Generation Science Standards[EB/OL]. <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards/>.
- [8] National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas [EB/OL]. The National Academies Press; Washington, D.C. <https://www.nap.edu/download/13165>.
- [9] 赵中建, 施久铭. STEM视野中的课程改革[J]. 人民教育, 2014(2):64-67.
- [10] Boy G A. From STEM to STEAM: Toward a Human-Centered Education [C]// European Conference on Cognitive Ergonomics. 2013.
- [11] Trueit D E. Pragmatism, Post-Modernism, and Complexity Theory [J]. The Routledge Taylor & Francis Group, 2013:268.
- [12] Bybee R W. The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities[M]. Virginia: NSTA press, 2013.
- [13] 艾里克森. 概念为本的课程与教学[M]. 兰英, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2003.
- [14] 杜威. 杜威全集(中期著作)第9卷[M]. 俞吾金, 孔慧, 译. 上海: 华东师范大学出版社, 2012.
- [15] 杨善华, 谢立中. 西方社会学理论(下卷)[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [16] 马丁·布伯. 我和你[M]. 杨俊杰, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2002.
- [17] Friedel Weinert. The Scientist as Philosopher: Philosophical Consequences of Great Scientific Discoveries [M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [18] 纪树立. 科学知识进化论[M]. 北京: 三联书店, 1987.
- [19] 崔允漷. 学历案: 学生立场的教案变革[N]. 中国教育报, 2016-06-09(006).
- [20] Frykholm, Glasson. Connecting Science and Mathematics Instruction: Pedagogical Context Knowledge for Teachers [J]. School Science & Mathematics, 2010, 105(3):127-141.
- [21] 韩震. 生成的存在[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1996.
- [22] Kelley T R, Knowles J G. A conceptual framework for integrated STEM education [J]. International Journal of STEM Education, 2016, 3(1):1-11.
- [23] 杨晓萍, 杨柳玉, 杨雄. 幼儿园科学教育融入STEM教育的核心价值与实施路径[J]. 天津师范大学学报(基础教育版), 2018, 19(4):72-77.
- [24] Camins A. Ambiguity, uncertainty, failure: Drives for STEM improvement[N]. The Washington Post. 2018-08-08.
- [25] 马向真. 论威特罗克的生成学习模式[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 1995(2):75-83.
- [26] 宋宁娜. 活动教学论[M]. 南京: 江苏教育出版社, 1996.
- [27] American Institutes for Research. STEM 2026-A vision for innovation in STEM education. [EB/OL] <http://www.air.org/system/files/downloads/report/STEM-2026-Vision-for-Innovation-September-2016.pdf>.
- [28] 埃德蒙德·胡塞尔. 欧洲科学危机与经验现象学[M]. 胡塞尔, 张庆熊, 译. 上海: 上海译文出版社, 1988.
- [29] 卢卡奇. 理性的毁灭[M]. 济南: 山东人民出版社, 1988.
- [30] 埃德蒙德·胡塞尔. 现象学与哲学的危机[M]. 北京: 国际文化出版公司, 1994.
- [31] 胡塞尔. 欧洲科学的危机与超越论的现象学[M]. 上海: 上海译文出版社, 1988.
- [32] 钟启泉. 学习科学: 儿童学习的多元解读[J]. 全球教育展望, 2006, 35(5):21-28.
- [33] Thomas Henry Huxley. Collected Essays (Vol. II) [EB/OL]. <http://aleph0.clarku.edu/hux-ley/CE2/CaOS.html>.
- [34] Schmidt, Victor E, Schmidt V E, et al. Rochcastle: teaching science with Everyday Things [M]. McGrawhill Book company, 1982.
- [35] 萨顿. 科学史和新人文主义[M]. 陈恒六, 等译. 北京: 华夏出版社, 1989.
- [36] 萨顿. 科学的生命[M]. 刘珺珺, 译. 北京: 商务印书馆, 1987.

[责任编辑 任丽平]