

STEM教育的困境及出路

□杨开城 窦玲玉 李波 公平

摘要: STEM教育的宗旨是整合创新, 这对STEM课程的设计、开发和实施都提出了很高的要求。然而我国STEM教育领域却存在课程体系不明、课程目标不清晰、缺乏细致的探究学习设计、专业教师储备不足、未形成健康生态等问题。STEM教育遭遇的困境实际上是经验主义的前现代教育不适应现代社会发展要求的表现。STEM教育不是教学法意义上的教育革新, 而是全新的教育实践。STEM教育需要与以往不同的教育实践生态。因此只有升级为现代教育, STEM教育才能摆脱上述困境。这就需要我们努力发展新教育学, 并在新教育学理论指导下组建新的专业团队, 构建健康的STEM共同体和企业联盟, 开发新的STEM课程并提供STEM教师专业发展服务, 培养STEM专业教师以基于一致性的新方式实施课程, 允许教师以教育众筹的方式参与STEM课程升级, 最终实现STEM整合创新的教育旨趣。

关键词: STEM教育; STEM课程; STEM共同体; 教育困境; 新教育学

中图分类号: G434 文献标识码: A 文章编号: 1009-5195(2020)02-0020-09 doi:10.3969/j.issn.1009-5195.2020.02.003

作者简介: 杨开城, 博士, 教授, 博士生导师, 北京师范大学教育学部(北京 100875); 窦玲玉, 硕士研究生, 北京师范大学教育学部(北京 100875); 李波, 博士研究生, 北京师范大学教育学部(北京 100875); 公平, 硕士, 培识(北京)技术有限公司(北京 100081)。

一、STEM教育与STEM课程

STEM自1986年诞生至今, 以其跨学科整合的独特优势倍受各国关注(梁小帆等, 2017; 李春密等, 2017), 已在全世界范围内引起高度重视, 美、英、德、澳、日、芬等发达国家皆从国家教育战略的高度看待STEM教育改革(杜文彬, 2018; 祝智庭等, 2018), 投入了大量的人力、物力和财力。但目前我国STEM领域却良莠不齐, 更多的是“雷声大、雨点儿小”。

STEM教育还没有成为一个理论性概念, 因为它在观念上未成熟、在实践上未定型。但我们可以将体现STEM理念、能够整合S.T.E.M.知识的教育实践称为STEM教育。STEM是Science、Technology、Engineering和Mathematics四个单词首字母的缩写, 其最基本的涵义是科学、技术、工程、数学四门学科的整合(Kennedy et al., 2014), 有学者甚至将它看作是“元学科”(赵呈领等, 2018)。当然STEM的涵义绝不仅限于整合, 整合可以衍生出很多其他意义。比如, 祝智庭认为STEM在实践层面上表现为“能力为本”“整合为要”“项目引领”“继

承创新”和“多方合力”等5个特征(祝智庭等, 2018)。我们认为STEM整合的内容包含了技术和工程, 其整合的目的自然不仅仅限于“看世界”, 更在于“做东西”, 而且是通过“做东西”去解决某种问题。所以STEM的宗旨在于整合创新, 将看似分立的四门学科知识整合起来产生创见或者进行创造。STEM整合并不是简单地将S.T.E.M.四类知识拼接于课堂教学之中。相对于诸如“学科的(Disciplinary)、多学科的(Multidisciplinary)、交叉学科的(Interdisciplinary)和跨学科的(Transdisciplinary)”(黄瑄等, 2018)整合水平而言, 我们更应关注它们之间可能形成的某种真实的内在关联, 也就是说S.T.E.M.整体结构。由于不同学科的知识体系间存在着客观的界线, 最多只是在边界处存在关联(比如特定的科学效应同时也是技术效应件), 因此我们无法实现这些学科在知识逻辑层面上的整合, STEM只能通过将这些学科知识运用于做事来实现整合。所以, STEM课程必然将整合聚焦于制作, 关注科学、技术、工程和数学四门学科如何在制作中发挥知识的功能。泛泛地讲, 科学知识负责理解与解释现实世界中的事实或现象; 数学

中包含着大量具有实践意义的数形规律,是在科学技术领域中进行定量思考和长程推理的基础;技术作为人为规定的物质、能量和信息的变换方式(杨开城等,2007),在实践操作中用来达到特定的技术功能;工程是通过系统方法实现对一组技术操作的再组织,以实现特定的工程目标。所以在STEM的“做东西”过程中,工程负责流程控制、技术负责生成特定的功能、科学和数学负责解释。如此一来,学生不仅能规范地做事儿,还能够知其然、知其所以然。

STEM整合的结果可以是科学再发现,也可以是技术再发明。为避免课堂教学中过度简化的发现过程造成学生对科学的误解,STEM最好聚焦于技术再发明。同时,S.T.E.M.中,只有技术和工程领域与制作存在着直接的密切联系,其中以技术领域最为丰富,所以实现STEM课程的学科整合,以技术作为中心学科是最容易入手的。以技术作为整合的核心,才最易抓住STEM的宗旨——整合创新。

从教育发展战略角度看,STEM不宜仅被看作是教学策略,而应该看作是一种特定功能的课程,因为它已经涉及与以往课程不同的知识内容和学习方式。从这个角度看,STEM“是什么”并不那么关键,关键是我们能实现何种STEM课程。STEM的宗旨是整合创新,这不但意味着要求学生“创中学”,还意味着课程必须包含协作、探索、问题解决等重要成分。在整个过程中,不但要有知识的运用,还要体现科学精神(价值观)——基于事实、精确判断、勇于质疑、理性证伪、平等沟通、创新、协作,等等。这对STEM课程的设计提出了非常高的要求。

二、STEM教育的困境

将S.T.E.M.知识整合于教学过程,它是个难题,对STEM课程开发和实施都提出了很高的要求。目前虽然人们对STEM热情不减,但STEM领域早已问题重重。

1.STEM课程目标不清晰致使目标-手段一致性不明

已经有学者发现,我国融入3D打印的STEM教育项目存在着教学目标不明确、课程目标与内容之间缺乏连贯性和系统性、教学过程随意等问题(首新等,2017)。STEM课程或教学目标不清晰的问题不仅限于3D打印的范围。我们发现很多STEM

课程都存在课程目标不清晰的问题。课程目标不清晰,课程的目标-手段一致性也不可能清晰。目标-手段一致性是衡量课程质量的重要指标。

STEM的宗旨是整合创新。但宗旨和目标是两回事。诸如“整合创新”“培养动手能力”“培养合作能力”“提高科学素养”“培养创新能力”等表述并不适合被看作是某个STEM课程具体的课程目标,这些高大上的说辞缺乏足够具体的内容(比如,STEM培养的并不是泛泛的动手能力,而是以具体知识应用为背景和内容的动手能力)。把它们作为STEM课程的具体目标,是无法为课程开发者提供指引的,自然也就无法确保目标-手段的一致性。相对而言,教学目标可以很清晰,但我们又不能用具体的教学目标替代课程目标。比如,“认识温室效应、雾霾产生的原因”、“了解水中常见的污染物”和“学会使用实验室仪器、药品对水样品进行检测分析”等(蒋晓颖,2018)都属于教学目标。阅读教学目标并不能告诉我们相应的课程目标到底是什么。课程目标针对课程,课程常常表现为多次教学,课程目标是对多次教学总体指向性的表达,要说清楚多次教学所针对的能力和价值观是什么。

由于课程目标不清晰,课程所包含的多次教学极有可能各行其是,教师在根据教学实情对课程进行改编时也会失去方向。在多种因素的作用下,在实施这样的STEM课程时,教师们极容易追求一种“令学习者满意、令旁观者惊异”的单纯“好看”的糊涂境界。好看热闹的STEM课堂,或许让人眼前一亮,但这样的STEM课堂常常是“动手不动脑”“有操作无思维”,远离了整合创新的STEM宗旨。

2.STEM课程缺乏细致的探究学习设计

很多STEM课堂教学都包含自主探究学习的环节。但我们发现很多STEM课程的自主探究学习都缺乏有针对性的细节设计。在现有的粗线条的设计中,常常是教师布置完探究任务后就放任不管了。在探究学习期间,学生被要求用阅读、观察、采访、摘抄等方式完成“探究学习”。在这样的探究学习中,学生是否真地去探究了、能否在这个过程中确定并解决特定的疑惑,完全取决于他们自己的意识、感受、能力和习惯。实际情况往往是,这种“探究学习”仅限于信息的收集,偶尔包含自发的信息处理。甚至,如果时间有限,为了控制教学进度,教师会有意无意地代替学生完成“探究”。这

完全违背了设置自主探究活动的初衷。

STEM所需要的自主探究学习是项目或问题驱动的, 最理想的结果是完成某种创见或创造, 因此一定要设置认知困难让学生克服。即使某些学生因克服不了认知困难而没有完成创见或创造, 这个过程也不宜被替代, 这样的学生可以通过分享他人成就而获益。由于存在认知困难需要克服, 这样的探究学习常常采用小组学习的方式进行, 以便通过群体动力提高学生参与学习的持久力。但小组学习的过程可控性较差, 这就需要对小组探究学习的过程进行精心设计, 包括任务描述、信息环境的设置、角色分工和规则制定, 最重要的是小组探索过程中的支架设计。支架主要用于帮助学生全面理解任务中所包含的知识, 理解完成任务的有效方式, 架起新旧知识之间的桥梁, 构建认知图式 (Van Merriënboer et al., 2002)。可以说, 如果没有明确、丰富的支架设计, 我们设置的自主探究学习便是失败的。

3. STEM课程体系不明

STEM教育不是教学法意义上的教育革新, 而是全新的教育实践, STEM课程试图贯穿从小学到高中各个年级。这明显需要一套STEM课程体系。但就目前而言, 我们还缺乏这样的课程体系。大量的STEM课程都是零起点, 处于自由的“野蛮生长”状态。单个的STEM课程最多只是适应了特定学段学生的能力水平和兴趣点, 孤立地看似很合理, 但连续几个学期的STEM课程组合在一起就变得混乱不堪了。这些课程之间没有知识逻辑上的先后继关系, 而且因为零起点的缘故会形成大量的交叉重复。以美国某博物馆开发的系列课程为例, 该系列课程包含小学低、高学段共20个课程模块, 每个模块可以看作是一门课程。这个系列课程模块中, 每个模块都引入一个故事, 通过故事中的角色介绍相关的科学、技术和工程知识, 在课程的制作环节通过工程五步法引导学生创制特定的技术产品。单就一个模块来说, 我们认为这种设计是合理的, 但将20个模块组合在一起进行分析时, 我们发现模块之间存在着大量关于工程五步、工程师、技术、设计等概念以及各种材料的属性和功能知识的交叉重复, 并且任何模块的学习并没有构成对后续学习的支持。

开发设计出一整套STEM课程体系不但周期长而且也对当下的课程实践能力提出了极高的要求。因为STEM课程体系不是孤立的, 整个STEM课程

体系不但要确保自身体系结构的合理性, 还要正确处理与相应学段其他学科课程之间的关系。这不但要求事先完成对其他课程及已有STEM课程的分析 and 筛选, 还要同时推进其他学科课程的微调, 这是一个耗时长、难度大、需多方协同的教育工程。STEM课程不成体系, 我们便无法在STEM整合创新的道路上层层递进, 只能长期停留在浅尝辄止的状态。

4. STEM教学缺少专业教师

我们知道, 教师的教学方式、教授质量会在很大程度上影响学生的学习效果 (Johnson, 2019), 教师个人性格与能力高低也会影响学生对STEM课程的兴趣 (Christensen et al., 2015)。但现有很多STEM课程缺乏足够的细节设计, 只提供了特定主题和教学思路的指导, 这便要求STEM教师需有能力透彻理解STEM宗旨并有足够经验将粗线条的教学思路转化为合理的、能体现STEM理念的教学行为, 这个难度非常大。再加上很多STEM教师多数是科学课或者综合实践课或者通用技术课教师出身, 这使得教师以往的教学经验难以达到STEM课程的教学要求。因此我们会发现, 很多教师并不会上STEM课, 我们缺少足够的STEM教师。正常情况下, 我们可以依赖师资培训来培养所需要的STEM教师。可是我们发现, 我们也没有针对STEM课程的专业培训 (杨彦军等, 2019), 这主要是因为这类粗线条的STEM课程难以开展有针对性的、规模化的教师培训, 这也直接导致了中小学基础教育课程中的STEM不能得到广泛推广 (黄桦, 2018)。

STEM课程不是学科中心课程, STEM教学也不是那种讲授知识外加应试训练的教学, STEM教师培训更不是更新理念、习得新教学法的过程。STEM教育要求STEM教师必须成为专业教师, 但传统的教师培训无法解决这个问题。比如, 澳大利亚的“加强数学与科学教师培训”项目 (徐田子等, 2018), 美国联盟机构“100Kin10” (100Kin10, 2019) 以及“项目引路”计划 (宋怡等, 2017) 都关注STEM理念、学科内容以及教学法或教学设计的培训, 但这类培训很难解决STEM师资的问题。因为它是一个STEM教师如何成长为专业教师的问题, 并不是理念更新、知识普及、教学法传授的问题。

5. STEM领域未形成健康生态

STEM教育几乎涉及教育核心过程的全部环节, 绝不是教学法更新或者出版STEM教材的

问题。因此STEM教育需要与以往不同的教育实践生态。但目前多数STEM教育创新都是小规模自发尝试, 把它看作是小打小闹的“科研项目”或者特定的竞赛项目。很多学校的管理层仍处于观望的状态, 再加上“愿意购买硬件、不愿意购买软件和服务”观念的影响, STEM领域难以形成它所需要的针对STEM课程和师资培训服务的健康市场。在这种条件下, 多数STEM课程开发商不得不选择生产初期投入成本特别低的低端产品, 对STEM课程开发不敢冒险做深入探索。所有这些因素使得STEM领域一直在低水平上徘徊, 难以形成良好的STEM课程开发、实施、升级的运转机制。总的来说, STEM领域生态不良。

三、STEM教育的出路

STEM教育遭遇的困境实际上是经验主义的前现代教育不适应现代社会发展要求的表现, 因此也只有升级为现代教育, STEM教育才能摆脱上述困境。可以说, STEM并不是普通的教育改革, 而是一种教育现代升级的机会和入口。只有教育核心过程实现了技术化, 教育才能实现现代化。这个核心过程包括课程开发、教学设计和教育系统分析。旧教育学(Pedagogy)只是行动规范及其辩护词, 它不是教育学理论(杨开城, 2014), 无法为实现教育核心过程技术化提供理论支持。我们需要发展具有实质理论功能的教育学理论, 我们称之为新教育学(Educology)。有了新教育学, 我们便可以说, 为了摆脱STEM教育的困境, 我们需要在新教育学理论指导下组建新的专业团队, 由这些专业团队开发新的STEM课程, 培养STEM专业教师以新的课程实践方式实施课程, 在新的教育生态下参与STEM课程的升级改造。总而言之, 我们需要用新理论、新团队、新产品、新方式、新生态来摆脱困境。

1. 发展新教育学

STEM领域所面对的问题归根到底是新教育学理论不在场的问题。比如, STEM课程的问题(比如目标不清晰)归根到底是STEM课程开发和教学设计的问题, 即我们没有掌握STEM课程开发和教学设计的技术方法。再比如, 缺少STEM教师的问题归根到底是STEM教师的专业成长问题。我们受旧教育学误导, 误把PCK当作教师专业知识, 误把孤立的教学行为能力看作是教师的专业能力。

与旧教育学生产行动规范及其辩护词不同, 新

教育学生产教育实践所需要的知识, 包括科学知识和技术知识。新教育学由教育技术与教育科学这两大分支构成。教育技术学包括教学设计学、课程开发理论和教育工程学三个分支, 分别提供教学设计技术、课程开发技术以及教育工程管理技术。教学设计技术和课程开发技术可以用来解决前述第1~3个问题, 并辅助第4个问题的解决, 教育工程管理技术可以用来处理第5个问题。只不过, 必先有教学设计技术和课程开发技术才可能创生教育工程技术, 教育工程学目前还不成熟。

以“以学习活动为中心的教学设计理论”(Learning-Activity-Centered Instructional Design, 简称LACID)^①为例: LACID提供的知识建模技术可以将学习内容表达为一张知识建模图, 这张知识建模图可以清晰地表征一次教学的学习内容; LACID提供的二维目标表征方法(用<知识点, 学习水平>的方式), 可以清晰地表达一次教学的学习目标, 其中知识点在知识建模图中可以找到。LACID认为教学设计的基本单位是学习活动, 学习活动由活动任务构成, 而活动任务由师生交互构成。LACID将活动任务区分为意义建构和能力生成两类, 再将意义建构区分为6类, 将能力生成区分4类, 并提供了由知识组块出发选择任务类型的映射表, 方便设计者选择活动任务类型。有了具体的知识组块和任务类型, 设计者再开始设计师生交互, 这样便确保了整个教学方案目标-手段的一致性。最后, LACID提供了12要素学习动力设计模型, 用于提升教学方案的动力水平。LACID还提供了一种称为FC知识图变形法的操作方法, 用于设计问题、项目、主题。LACID提供的扩展的FC知识图可以用于为协作学习或探究学习设计学习支架(杨开城等, 2018)。LACID认为有6个指标——整图知识点总激活量、目标知识点激活度、学生参与度、媒体多元性、信息流类型完整性、目标手段一致性——可以描述教学方案的质量(杨开城等, 2015), 这6个指标可以通过教育系统分析技术推算出来。以“以知识组件为中心的课程开发理论”(Knowledge-Component-Centered Curriculum Development, 简称KCCCD)^②为例: KCCCD在LACID知识建模技术的基础上, 提供了知识建模图剪枝算法, 帮助设计者梳理一门课甚至一个课程体系所包含的知识内容。KCCCD认为课程目标包含能力和价值观两个领域, 并提供了能力建模技术帮助设计

者清晰地表征课程目标；课程目标中的能力都是指特定知识的运用能力；一门课是知识组件的结构化组合，并提供了知识组件的设计方法；知识组件是特定知识的学习方式、评价方式以及所需资源工具的综合体，学习者通过知识组件学习知识而达到特定的能力目标和价值观目标；一个知识组件可以包含多个学习活动，设计者可以选择多个知识组件构建成一门课。KCCCD认为课程的主要功能就是传递知识以及基于已经传递的知识生成特定的能力，不包含知识的课程不能被称为课程。有9个指标可以用来描述课程的质量，包括与目标的一致性、与学习者特征的一致性、教师自由度、学生自由度、学生参与度、结构合理性、目标可行性、目标完整性、与开发需求的一致性。这9个指标可以通过课程开发过程中产生的基础数据推算出来。一门课的结构就是这门课所包含的知识组件之间的关系以及这些知识组件与课程知识建模图之间的映射关系。有了知识建模图、能力建模图和知识组件集合，课程设计者便可以按照同样的思路构建和调整一个课程体系。从时间维度看，课程体系表现为知识和能力的建构、扩展和提升的过程。

新教育学中的教育科学包括教育现象学和教育价值学，它们利用教育系统分析技术分别探索教育系统中事实性信息流和价值性信息流的流动特征和规律。教育系统分析技术既属于新教育学中教育科学的研究方法，又是教育实践中可用的专业分析技术。教育系统分析技术的基础是IIS（Instructional Information Set）图分析法（杨开城，2007；杨开城等，2010）。IIS图分析法（IIS-Map-Based Analysis）将教育系统切分为信息流序列，信息流具有知识属性，这样我们便可以考察教育系统中的信息流是如何围绕着知识的意义建构和能力生成而流动的，以及这些信息流的流动具备何种特征。比如，以IIS图分析法为工具，我们确证了上述教学方案的6个质量指标；以IIS图分析法为基础，我们提出的教学过程机制图可以表征教学系统的中观过程（杨开城等，2017a）。教育科学的结论是关于教育系统特征的，教育系统分析技术提供了一套编码体系可以将教育过程表征为可以反复阅读和反思的数据，这些数据反映了一个教学过程的质量和教师的专业能力。因此，新教育学中的教育科学所提供的研究方法和结论，可以用来解决STEM领域面对的第4个问题。

总之，从整体理论框架和已有的积累上看，新教育学为摆脱STEM面临的困境提供了完整的知识储备。

2. 搭建新团队、开发新课程

目前国内独创的STEM课程多数是中小学教师和高校STEM研究团队开发的。但现有的STEM课程开发多数是经验主义的，成本高、质量不稳定，而且难以规模化、不可持续。为了更清晰地理解目前的STEM课程开发水平，我们将STEM课程进行了粗略地划代。

开发STEM课程的首个困难是生成STEM主题或创意。人们常常在课外活动、综合实践课、通用技术课的经验中寻找主题资源，由此造就了STEM的前身——大手工课。所谓大手工课，主要是指面向大孩子稍显复杂的手工课。在大手工课上，孩子们在教师指导下，按照某种“手工工艺流程”做东西——由于很直观，不需要讲知识，也不需要知识层面上进行辨析和思考就可以做出东西来，有些学生做的东西质量还很好，体现了学生原有的创造性。大手工课有时披着高科技外衣，很是打眼，却不属于STEM。而且大手工课多数不包含知识，自然也不会生成特定的能力，这便为STEM课程的课程目标不清晰埋下了伏笔。

在大手工课的基础上，如果我们嵌入系统工程方法，即整合一点工程知识，那么大手工课便演变为第一代STEM。之所以称之为第一代STEM，是因为它是基于STEM理念打造的（虽然未必体现了STEM理念），又真实整合了工程知识。第一代STEM看似体现了STEM的创中学，但往往“动手不动脑”“有操作无思维”，只不过是流程规范的大手工课而已。这倒不是说，学生在这样的课上没有收获，而是说学生的收获无法事先确定。也就是说，第一代STEM继承了大手工课目标不清晰的特征。

在第一代STEM的基础上，如果在课程中整合科学知识，我们便可得到第二代STEM课程。在STEM课程中，科学的功能是解释，解释为什么要做“那个东西”，以及“那个东西”为什么会起作用（特定功能）。由于科学与技术边界处相连接，即技术效应件同时也体现了科学效应。第二代STEM有可能也整合了技术——学生做的那个东西包含了特定功能的技术部件。但经验主义的课程开发方式使得第二代STEM仍然保持课程目标不清的

特征, 依靠反复的试验排除缺陷(常常是按照DBR(Design-Based Research)的方式磨课), 而且具体设计也无法精细化, 很难确保目标-手段一致性。在实施第二代STEM课程的时候, 如果教师忽略了其中的科学成分, 就会将其降格为第一代STEM或者一代半STEM。也就是说, 第二代STEM课程的功能不稳定。有一点需要说明的是, 在“做东西”过程中讨论算术级别对成本计算之类的话题, 看似整合了数学, 实则不是! 只有将数形规律或者定量推理整合到解决问题的过程之中, 才算是整合了数学。

第二代STEM课程是经验主义的STEM课程开发方式的极限。经验主义开发方式成本高、功能质量不稳定, 知识体系不清晰, 难以规模化、体系化和迭代升级。最重要的是第二代STEM课程并未真正实现STEM整合, 无法将S.T.E.M.知识有机地整合到一个“做东西”的学习过程中, 并强化科学精神的价值观。

我们将真正实现STEM整合的课程称为第三代STEM。要想开发第三代STEM课程及其体系, 必须依赖教学设计技术和课程开发技术, 比如LACID和KCCCD。LACID和KCCCD技术是专业技术, 运用它们进行STEM课程开发是一个繁杂的技术性过程, 它在性质上不是一种研究活动, 而是课程生产活动。因此, 不宜将专业的STEM课程开发工作交给普通一线教师去做。虽然有人认为STEM教师的课程开发能力属于其综合能力的一部分(刘倩, 2019), 教师应参与STEM课程开发, 成为专业的课程设计者(叶兆宁等, 2018), 但这些观点的合理性是以我们缺乏专门且专业的STEM开发团队为前提的。虽然我们并不反对个别STEM教师掌握STEM课程开发的能力, 但把它普遍作为STEM教师的专业能力, 则是不合理的。因为STEM课程绝不是某个创意下的大手工课, STEM课程开发的工作性质以及工作量绝不是一个STEM教师可以独立承担的。即使一线教师们掌握了这些技术也难以规模化地开发STEM课程并形成体系。

STEM课程开发的工作只能交给课程开发商去做。STEM教育也需要STEM课程开发商的参与。如果课程开发商仍然坚持经验主义的课程生产方式, 将危及自己的生存。STEM课程开发本身周期长、工作涉及面广, 经验主义开发方式成本太高、效率太低, 最多只能产生第二代STEM的低端产品。第

三代STEM课程要求细节设计, 因为S.T.E.M.知识的整合只能整合于细节, 科学精神的体现也在于细节设计。要完成细节设计, 只能采用教学设计技术和课程开发技术。所以课程开发商必须组建运用这些技术进行课程开发的专业团队, 学习并掌握课程开发技术和教学设计技术, 并搭建相应的技术平台、制定技术标准, 专门从事STEM课程的设计、开发、维护和升级, 并为他们的客户(采纳他们产品的学校教师)提供STEM教师培训的服务, 这样才能开发出真正的STEM课程——第三代STEM。

3. 实现基于一致性的STEM实践新方式

新教育学认为, 教育实践的质量取决于两方面: 一个是课程的质量(见前文所述的多个指标), 另一个是课程是否能够得到全面彻底地贯彻执行。在课程质量合理的条件下, 新教育学要求课程实施要与课程设计一致。课程实施需要教师先做教学设计产生教学方案再实施教学方案, 因此新教育学要求教师的教学行动要与教学方案相一致。如果在整个课程实施过程中, 所有的教学方案质量都合理, 所有的教学方案与行动的一致性都令人满意, 新教育学则认为教育实践是合理的。如果发现教学效果不佳, 从担责的角度看(不把责任推给学生等其他方面), 新教育学认为, 要么是课程质量有问题, 要么是上述一致性有问题。

课程质量主要由课程开发商负责, 而确保教学方案的设计质量以及教学方案与教学行动的一致性则是教师的责任。这个责任背后是教师的专业能力, 这个能力要求教师既能够设计教学方案又要确保教学方案得到贯彻执行。我们将这个能力称为基于设计的行动力。所谓基于设计的行动力是指教师能够运用教学设计技术设计教学方案并在教学实施时贯彻执行这个方案的能力。它既是确保方案落实的行动力, 又是基于行动经验的教学设计力, 因此也可以称为基于行动的设计力。这种能力不是旧教育学所主张的教学符合PCK的能力, 而是教学符合教学方案的能力, 即确保教学方案与教学行动一致性的能力。

通常情况下, 教师的教学方案的设计能力与教学实施能力是两个分立的能力, 都是一种低水平的职业能力。教师的教学设计常常是粗线条的教学思路规划, 在没有掌握教学设计技术的情况下, 教师设计的教学方案中即使有细节, 往往也是想象的产物, 而且常常目标-手段一致性不清、学生参与度

较低。而教师的教学实施常常并不在乎教学方案, 设计教学方案常常是为了应付检查而不是服务于教学。因此, 要想将这两个能力整合为一种能力, 一方面教师必须掌握教学设计技术, 能够设计目标-手段一致性、学生参与度、教学适应性都很强的包含教学过程细节的详案, 另一方面我们必须利用教育系统分析技术将教学方案和真实的教学活动过程都分解为信息流序列和师生行为序列, 绘制教学过程机制图, 对比二者之间的差异, 找到教学方案与行动的不一致之处, 以此寻找教学方案中不切实际的设计以及不恰当的教学“意外”背后的知识、理念、意识、行为能力和习惯的因素, 促使教师反思, 看到自己专业能力的真相、制定专业成长计划, 从而弥合他的设计力与行动力, 最终生成并提升基于设计的行动力。此外分析教学方案与行动的一致性所产生的数据完全可以用来评估一个教学过程的质量, 同时也可以用来确定提升课程质量的入手点。

STEM教育特别适合上述基于一致性的教育实践方式。一方面, 基于一致性的分析数据可以更客观地评价STEM课程和教学; 另一方面, 提升STEM教师基于设计的行动力是培养STEM教师的根本渠道。STEM课既没有纸笔考试, 又难以仅凭作品分析来体现教学效果, 因为学生做出的东西并不重要, 重要的是做的过程。STEM教师的主要责任并不是让学生做成某个东西, 而是确保“做”的过程体现STEM理念、整合S.T.E.M.知识。这就给STEM教学和STEM教师的评价提出了新要求。其实, 根据教学效果做出各种评价虽然具有一定的合理性, 但却不科学。因为那个效果并非客观证据, 效果的好与坏只能是当事人的主观判断。我们需要基于一致性的理论逻辑来评价STEM教学、考察STEM教师专业能力的生成与提升。

由于STEM课程需要将S.T.E.M.知识和科学精神整合于细节, 因此STEM课程必须提供师生交互过程设计。但这个过程设计不可能完全适用于实际教学的具体情况。STEM教师必须对STEM课程的教学交互进行调整, 甚至增删改某些教学环节, 因此STEM教师必须掌握教学设计技术。只有掌握了教学设计技术, STEM教师才能做到调整设计而不伤害原有STEM课程其他方面的质量, 比如目标-手段一致性, 等等。一旦教师修改了STEM课的教学方案, 那么这个教学方案就可以看作是教师自

己生产的教学方案, 该教师有责任在教学中贯彻执行该教学方案。也就是说, STEM教师必须具备针对STEM课程的基于设计的行动力。

当然, 基于教学方案-行动一致性分析的教师专业成长不但需要新教育学的教育系统分析技术, 而且也需要专门的分析团队, 因此从根本上需要STEM课程开发商具备基于教学方案-行动一致性分析的教师培训服务的能力, 针对自身开发的STEM产品, 提供教师专业成长的专业服务。STEM课程开发商很容易具备这个能力, 因为教育系统分析所需要的基础数据在STEM课程开发过程中已经生成了。

4. 构建STEM领域的新生态

由于STEM课程的独特性, STEM教育不可能沿用“政府制定课程标准、组织专家编撰教材、组织出版社出版教材、学校购置教材并实施教学”的方式。STEM教育不可能先有顶层设计再通过行政体系逐级落实。STEM教育需要更加灵活的实践方式。STEM课程要求创中学, 要做东西。做东西不需要有主题内容上的强制标准, 也不需要全国或区域“一盘棋”。因此, STEM教育的发展必定是自底向上的。从前文可以看出, STEM教育需要课程开发商的参与, 开发各种STEM课程。但一旦STEM课程主题曝光, 便会被迅速仿制, 使得各个STEM课程开发商的产品趋同。因此, 健康的STEM教育需要STEM课程开发商能够淘汰被过度曝光的STEM课程, 迅速更新自己的STEM课程产品。这说明, STEM课程需要快速进化。这种快速进化需要特定的教育生态。如果STEM课程开发商、政府、学校、场馆、教育学研究机构各行其是, 不能形成某种密切的交往关系, 那么企业家的逐利本性、行政组织的保守本性以及研究机构的低市场运作能力, 就会使得STEM领域长期停留在低水平徘徊的状态, 无法快速进化。

我们需要构建由政府部门、科研机构、STEM课程开发商、公共服务机构(科技馆、图书馆、博物馆、展览馆等)和中小学校共同参与的、多方协同的STEM共同体, 特别是STEM课程开发商之间形成的企业联盟。这个共同体内部既有行政体系又有市场网络, 可以定期沟通, 分享STEM实践经验, 升级STEM开发技术, 淘汰过时产品。在STEM共同体中: 教育科研机构负责创生教育学理论以及传播和培训这些理论; 课程开发商通过建立专业的

课程开发团队, 负责生产和改进STEM课程及其体系, 通过校企合作提供STEM教师的专业培训服务; 学校和其他STEM消费组织购买STEM课程及其教师培训服务, 并负责反馈STEM课程产品的缺陷信息、改进意见, 学校教师还可以通过“教育众筹”(杨开城等, 2017b)的方式参与STEM课程的开发、维护和升级; 政府组织感知上述主体的需求, 适时出台各种扶持性政策, 并进行价格监督、数据安全监管。我们目前没有这样的共同体, 也没有STEM企业联盟。STEM共同体和企业联盟的建立, 需要事先针对STEM教育基本框架、产业链的基本构成、不同主体的分工、行政与市场的界线、各种技术标准、数据规范、基础数据的共享等方面建立初步的共识。这不但需要课程开发技术和教学设计技术的知识, 更需要新教育学的教育工程学知识。

四、小结

STEM教育的宗旨是整合创新。目前STEM领域充斥着大量经验主义的第一代STEM和第二代STEM课程, 所需要的STEM教师也储备不足, 还缺乏STEM教育所需要的教育生态, 这使得我们难以实现STEM教育战略。我们只有努力发展新教育学, 并在新教育学理论指引下, 组建专业的课程开发团队, 构建健康的STEM共同体和企业联盟, 实现STEM教育的现代化, STEM教育才能摆脱上述困境。

注释:

① 杨开城(2016).以学习活动为中心的教学设计实训指南[M].北京:电子工业出版社.

② 杨开城(2018).课程开发——一种技术学的视角[M].北京:北京师范大学出版社.

参考文献:

[1]杜文彬(2018).国外STEM教育研究的热点主题与特点探析[J].电化教育研究,(11):120-128.

[2]黄桦(2018).STEM教育深度融入科学课程教学的实践路径[J].现代教育技术,(5):121-126.

[3]黄瑄,周巧晓,杨铭等(2018).基于STEM跨学科视域的科学教材分析——以加拿大英属哥伦比亚省科学教材BC Science为例[J].中国电化教育,(6):68-76.

[4]蒋晓颖(2018).“地球家园”课程实施案例[C]//面向新时代的馆校结合·科学教育——第十届馆校结合科学教育论坛论文集.江苏苏州:科学普及出版社:4.

[5]李春密,赵芸赫(2017).STEM相关学科课程整合模式

国际比较研究[J].比较教育研究,(5):11-18.

[6]梁小帆,赵冬梅,陈龙(2017).STEM教育国内研究状况及发展趋势综述[J].中国教育信息化,(9):8-11.

[7]刘倩(2019).小学STEM课程的开发与实践[C]//教育理论论丛(第六辑).重庆:重庆市鼎耘文化传播有限公司:1.

[8]首新,胡卫平,刘斌(2017).3D打印融入中小学STEM教育项目的设计与教学——从国外融入3D打印的典型STEM教育项目谈起[J].基础教育,(4):68-80.

[9]宋怡,马宏佳,姚金鑫(2017).美国“项目引路”计划的价值动因、课程样态与行动路径——以威斯康辛州为例[J].远程教育杂志,(6):31-40.

[10]徐田子,夏惠贤(2018).从危机应对到战略规划——澳大利亚STEM教育政策述评[J].外国中小学教育,(6):16-29.

[11]杨开城(2007).教学系统分析技术的初步研究[J].中国电化教育,(8):1-5.

[12]杨开城(2014).教育学的坏理论研究之四:教育学的理论品性[J].现代远程教育研究,(4):29-38.

[13]杨开城,何文涛,张慧慧(2017a).教学过程机制图:一种理解教学的重要中介[J].电化教育研究,(1):15-20,27.

[14]杨开城,李通德,惠治儒等(2017b).在线教育众筹的技术机制与学习神经元[J].现代远程教育研究,(1):51-58.

[15]杨开城,林凡(2010).教学系统的IIS图分析法及其实证研究[J].中国电化教育,(2):31-33.

[16]杨开城,刘晗(2018).DCR视野下问题解决类协作学习设计的一项个案研究[J].电化教育研究,(11):5-12,68.

[17]杨开城,王斌(2007).从技术的本质看教育技术的本质[J].中国电化教育,(9):1-4.

[18]杨开城,张媛媛(2015).基于IIS图分析的教案质量评估指标体系的构建[J].中国电化教育,(1):124-130.

[19]杨彦军,饶菲菲(2019).跨学科整合型STEM课程开发案例研究及启示——以美国火星教育项目STEM课程为例[J].电化教育研究,(2):113-122.

[20]叶兆宁,杨元魁(2018).构建STEM教育的课程观——STEM教师专业发展的必由之路[J].人民教育,(8):63-67.

[21]赵呈领,申静洁,蒋志辉(2018).一种整合创客和STEM的教学模型建构研究[J].电化教育研究,(9):81-87.

[22]祝智庭,雷云鹤(2018).STEM教育的国策分析与实践模式[J].电化教育研究,(1):75-85.

[23]100Kin10(2019).Grand Challenges[EB/OL].[2019-06-11].
<https://grandchallenges.100kin10.org/challenges>.

[24]Christensen, R., Knezek, G., & Tylerwood, T.(2015).A Retrospective Analysis of STEM Career Interest Among Mathematics and Science Academy Student[J].International Journal of Learning, Teaching and Educational Research,(1):45-58.

[25]Johnson, K. M. S.(2019).Implementing Inclusive Practices in an Active Learning STEM Classroom[J].Advances in Physiology Education,(2):207-210.

[26] Kennedy, T. J., & Odell, M. R. L. (2014). Engaging Students in STEM Education[J]. *Science Education International*, (3):246–258.

[27] Van Merriënboer, J. J. G., Clark, R. E., & De Croock, M. B. M. (2002). Blueprints for Complex Learning: The 4C/

ID-Model[J]. *Educational Technology Research and Development*, (2):39–64.

收稿日期 2019-12-20 责任编辑 汪燕

The Dilemma of STEM Education and the Way out of It

YANG Kaicheng, DOU Lingyu, LI Bo, GONG Ping

Abstract: The aim of STEM education is integration and creation, which requires the high level of the design, development and running of STEM curricula. However, STEM education in China has many problems such as the incomplete system of STEM curricula, the vague objective of STEM curricula, the lack of detailed design for inquiry-based learning in STEM curriculum, the lack of professional STEM teachers, and no ecological environment in STEM field. These dilemmas actually result from the disharmony between the empirical pre-modern education of STEM and the developmental requirements of the modern society. STEM education is not an innovational movement in a pedagogical sense, but completely a new educational practice, calling for wholly different educational ecology from the traditional one. So, the dilemmas might be overcome by the upgrading of STEM education to a modern one. In order to meet the end of integration and creation of STEM, we should develop and apply educology, organize new professional teams and construct STEM communities especially STEM enterprises' alliances to develop new STEM curricula and offer service for professional development of STEM teachers, foster professional STEM teachers to serve the education in new ways based on consistencies, and encourage teachers to participate the improvement of STEM curricula through intellectual education crowdfunding.

Keywords: STEM Education; STEM Curriculum; Education Dilemma; Educology; STEM Community