

# 新工程教育：STEM 课程的视角

时 慧 李 锋

(华东师范大学 教育学部, 上海 200062)

**[摘要]** 工程教育进入中小学,在创意设计、动手实践等方面丰富了学校课程的内涵与价值,为整合科学、数学和技术等的 STEM 教育有效实施提供了连接点。本研究通过文献分析,沿着国际工程教育范式转变——经验范式、技术范式、科学范式和实践范式,从历史发展的视角梳理中小学新工程教育的概念及内涵;从学生发展、社会需求和工程创新维度,分析中小学新工程教育的必要性;通过比较科学探究和工程设计过程的异同,提出中小学新工程教育基于“科—工整合”的 STEM 课程模式,并以案例的方式进行解释与说明。

**[关键词]** 新工程教育;STEM 课程;科学探究;工程设计;科—工整合

**[中图分类号]** G434 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1007-2179(2019)03-0036-08

## 一、新工程教育:背景与价值

近十年来,随着大数据、云计算、人工智能等新兴领域的兴起,我国高等工程教育不断取得新突破。2017年,教育部启动实施“新工科”建设,加快发展新兴工科专业,改造升级传统工科专业,开启了新时代高等工程教育改革的新路径。然而,具体到基础教育领域,工程教育还未受到重视,相关学术研究和课程实践相对欠缺,还存在内容缺乏学科整合、工程实践活动较少的问题(许茵等,2007)。有学者从创造力维度对 K-12 工程教育现状的研究表明,我国中小学生的创造兴趣、对工程师职业的向往度、动手及设计能力呈持续降低的态势(刘华等,2014)。提高学生的工程素养成为我国基础教育面临的挑战。

事实上,每个人都生活在“工程世界”,信息技术加快了“工程产物”的发展,理解这些习以为常的工程产物,有助于认识事物的运行特征及发展趋势。

然而,日常生活与学习中,对于钳、剪、刀、锉等这些司空见惯的“人造物”,学生却很少知道它们的操作要点与功能部件。此外,在信息时代,工程已超越了传统的学科隔离,发展到由物联网、自动化体系、机器人体系、智慧城市、可持续材料与能源体系、生化诊疗、大数据等组成的新工程体系(肖凤翔,2018)。面向未来的发展需要,工程教育应在学校课程中渗入新时代的工程项目和工程主题,使学生接触最新的工程科学知识 with 工程技术实践(如智能桥梁设计、数字化地震预防、现代水利工程等),增强学生对工程职业的好奇心和兴趣,为未来职业生涯提供灵感和储备知识。

起源于美国的 STEM 教育因其跨学科性、体验性、情境性、协作性、设计性和技术增强性逐渐被各国重视(余胜泉等,2015)。美国国家工程研究院在《K-12 工程教育》(Engineering in K-12 Education)的研究报告中明确将工程确定为“综合 STEM 教育的

**[收稿日期]** 2019-04-11 **[修回日期]** 2019-04-27 **[DOI 编码]** 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2019.03.004

**[基金项目]** 国家自然科学基金研究项目“计算机科学教育发展战略研究”(L1724045)。

**[作者简介]** 时慧,华东师范大学教育学部教育信息技术学系研究生,研究方向:中小学信息技术教育(lilianshay@foxmail.com);李锋,副教授,华东师范大学开放教育学院,研究方向:信息技术课程与教学、教育信息化(fli@srcc.ecnu.edu.cn)。

催化剂”,指出“STEM教育中的工程学是解决当前STEM教育缺乏整合的方式”(Katehi,2009)。STEM中的“工程(E)”作为连通科学、数学和技术学科知识的“桥梁”,在具体工程情境中,帮助学生运用科学、数学和技术工具,设计和优化项目解决方案,完成工程作品,以此提高学生的综合应用与创新能力。面对世界“新科技革命”和“新工业革命”竞争现状,以STEM方式探索中小学新工程教育成为一种新的尝试。

## 二、理解新工程教育:历史发展过程

工程教育由来已久,尤其是随着第一次工业革命的推广,较之以往发展更快,并逐步成为一项有组织、有计划学校教育内容。从国际比较研究看,工程教育主要经历了经验范式、技术范式、科学范式、实践范式等阶段(肖凤翔等,2018;Buchanan,2008;Masi,1995)(见图1)。这些范式转换对不同历史阶段的工程教育产生了一定影响。



图1 工程教育发展转变与历程

### (一)“幼年期”的转变:经验范式到技术范式

在工程教育最初阶段,用于数据采集、设计绘图和生产制造的工具还不多,用到的数理科学知识亦有限,工程教育领域培养的主要是机电土化等工程领域的“普通工作者”(general practitioners)(孔寒冰,2014)。当时工业生产强调的主要是经验,工程师也主要依赖专业工程手册,工程教育内容以应用手册和公式为主,这个时期的工程师被称为“手册型工程师”(manual engineer)(John,2006)。以麻省理工学院工程教育为代表,从1861年到20世纪30年代,该学院秉持有用的知识教育观,强调工程教育应以培养能够参与经济建设的工程技术人才为目的,工程教育开始从经验范式向技术范式转变,此时工程实践形式主要为手工艺技术,工程教育模式以学徒制为主,旨在培养从事工程专业领域技术性工作的“专业型工程师”(professional engineer),满足农业时代末和工业时代初期简单的工业生产需要(李茂国等,2017)。

### (二)“少年期”的转变:技术范式到科学范式

二战后,工程教育开始向强调基础科学知识的科学范式转变。1955年,美国工程教育协会发布了对工科课程影响深远的《格林特报告》(Grinter Report)。该报告指出,为培养能以想象力和胜任力应对全新困难局面的人才,工程教育应设置科学导向的工科课程(Grinter,1955)。1972-1974年,苏联修订了高等学校工程教育的教学计划和教学大纲,目的在于强化对大学生基础科学和普通科学人才的培养,改善对科技革命新成就的学习(韩琳,2007)。科学范式的工程教育强调工程理论学习,但后期也把工程教育带入新的困境,基础科学和工程科学被强调到极致,导致课程设置中动手实践的成分减少。

### (三)“青年期”的转变:科学范式到实践范式

从20世纪80年代后期开始,科学范式所带来的工程教育重理论轻实践、重分析轻综合、重技术轻人文的模式受到质疑,国际工程界、学术界开始调查与反思。20世纪末,工程教育研究明确提出确立“大工程观”,并发出回归工程实践的动议。1980年,英国工程专业调查委员会发表的报告《工程:我们的未来》(Engineering—Our Future)提出80条建议,高度关注工程应用与工程实践,呼吁工程教育必须直面国家利益和现代工业的新需求(Payne & Fslaet,1980)。1994年,美国麻省理工学院校长维斯特(Vest)指出,工程教育必须回归工程实践的根本,即并非回到工程技术范式,而是在新的时代背景下强调工程的整体性、综合性和跨学科性的实践本质(孔寒冰,2014)。此外,构思、设计、实现和运作(Conceive, Design, Implement, Operate,简称CDIO)的工程教育理念被提出,在世界工程教育领域和工程人才培养方面意义深远,工程教育进入实践范式。

### (四)新时代的工程教育

进入21世纪,随着大数据、人工智能、虚拟现实等新技术的兴起,移动学习、慕课学习、智慧学习等新学习形式不断涌现,世界范围的工程教育正加速推进新一轮科技和产业变革。2017年,美国麻省理工学院启动新一轮工程教育改革,提出“新工程教育转型”(New Engineering Education Transformation,简称NEET)计划,强调工程教育以学生为中心,注重培养学生的工程思维、科学思维及人本思维,旨在培养能够引领未来产业界和社会发展的领导型工程

人才(上海理工大学规划发展处,2018)。德国在制造业中引入网络实体系统及物联网技术,推出“工业4.0”战略,提升整体制造业的智能化水平。法国提出“新工业法国”战略,通过工程教育重塑工业实力,重回全球工业第一梯队(林健,2018)。

综上,国际工程教育发展呈现以下趋势:一是在数字化、网络化和智能化的信息时代,工程教育内容面向未来的新技术与新工程体系,呈现高度整合性、复杂性、连通性和智能化;二是工程教育重心以学生发展为中心,侧重于工程实践中培养和发展学生的工程思维及利用工程思维解决问题的能力;三是工程教育模式打破学科隔离局面,以跨学科、项目式、创新型为特色,实现跨学科培养工程创新人才。

#### (五) 中小学新工程教育的概念及内涵

伴随着工程教育改革的开展以及 STEM 教育理念的提出,越来越多的国家认识到中小学工程教育的重要性,纷纷采取相关措施加以落实。例如,美国通过教育实施工程拓展计划,目标是提高学生对工程学的兴趣和增加攻读工程学位的学生人数(Jeffers et al., 2004)。英国皇家工程院实施工程教育计划(Engineering Education Scheme),吸引有才华、富有积极性和创造力的年轻人进入工业界(Ritchie, 2003)。与此同时,一些国家在基础教育课程标准中渗入“工程”概念。2009年,美国国家工程学会发布的 K-12 工程教育报告(Engineering in K-12 Education)指出,中小学工程教育标准的三大原则——强调工程设计、发展 STM(科学、技术和数学)知识与技能、培养工程思维习惯(Katehi et al., 2009)。2015年,澳大利亚发布的课程标准要求,技术教育开设两门课程——设计技术和数字技术,其中对工程的定义是:对科学和数学概念的理解与实际应用,使用设计过程开发和维护满足人类需求并有助于社会发展的解决方案(Australian Government, 2012)。

综上,中小学新工程教育应是为适应以数字化生产为标志的第四次工业革命,在基础教育阶段着重培育学生的工程意识和思维、工程设计和实践能力,注重对学生创意设计、动手操作、创新实践以及对工程职业兴趣的培养与训练。其核心特征表现为:工程设计、决策制定、物化实现和思维培养。

#### 1. 工程设计

美国纽约州在制订学校工程教育标准时将工程

设计描述为“涉及建模和优化的迭代过程,这个过程用于在给定约束条件下为问题解决开发最优化的技术解决方案”(Strobel et al., 2011)。工程设计过程是工程的核心,工程设计为科学、数学和技术教育的综合实施提供了有意义的、开放的问题情境,鼓励学生根据实际需要开发和选择解决方案,允许学生按实施状况重新设计和优化方案。

#### 2. 决策制定

信息时代工程决策是复杂思维操作过程,是信息搜集与加工、做出判断、得出结论的过程。绝大多数工程情境都要求工程师在考虑问题需求、资源总量等因素限制基础上,从诸多问题解决方案中选择最优方案,以便解决问题。工程哲学学者凯恩将工程描述为“在不确定情况下,工程师利用可用资源引起最佳变化的问题解决策略”(Koen, 1985)。中小学新工程教育应倡导学生在分析和界定问题的基础上,学会运用决策思维和系统性思维,充分利用科学概念、数学方法和技术工具引起“最佳变化”。

#### 3. 物化实现

中小学工程教育,不仅要注重学生对相关工程知识的掌握,也要给予充分的“动手操作”机会,提高他们的创新实践能力。我国新一轮普通高中课程标准修订中,“物化能力”作为高中通用技术课程的五大学科核心素养之一,指将设计意图和方案转化为人工物或对已有人工物进行改进与优化的能力(陈向阳, 2018)。工程教育同样强调学生在学习过程中产生有形的结果,且学生需要考虑时间、成本、材料等条件限制,充分运用多学科知识和工具进行物化实现。学生物化实现的结果可以是产品模型,也可以是产品的外观设计或系统概念图,亦或是合理的问题解决方案。

#### 4. 思维培养

问题解决能力是信息时代学生需要掌握的关键技能。中小学新工程教育的目标不是将每个学生都培养成工程师,而是让他们在工程学习过程中逐步发展符合这个时代需要的工程思维,并运用这种思维方式解决问题。新工程教育以学生发展为中心,促进学生工程思维的养成,鼓励学生在日常生活和学习中遇到未知、较复杂的工程问题时,能运用工程思维、选择合适的技术工具解决问题。

### 三、新工程教育:“科—工整合”STEM课程

经济合作与发展组织科学专家组主席罗杰·拜比(Rodger Bybee)曾指出:“自第二次世界大战结束以来,K-12课程一直在增加,学校课程就像一个过度填充的筒仓,教育界不断向其提供越来越多的信息。”(Strobel et al., 2011)事实上,中小学开展新工程教育不一定要在学校开设新课程,更不是“在过度填充的筒仓”中挤占空间,而是通过合理方式将工程教育整合到学校课程的衔接“缝隙”中,为不同课程融合提供工程学习情境和契机,从而扩展现有课程的不同层面,使学科内容更丰富。从课程组织看,工程实践本身融合了科学、技术、工程和数学等知识,是一门典型的STEM课程,跨学科整合是开展新工程教育的可行方式(李锋,2018)。

(一)新工程教育理念:科学探究与工程设计整合

作为科学和工程实践的核心,科学探究与工程设计在传统课堂实践中被独立使用,表一展示了科学探究与工程设计两个领域实践中的差异(National Research Council, 2012)。同时,作为问题解决策略,科学探究与工程设计也存在共性,通常都需要经历“分析问题—提出方案—验证与优化—交流反思”的循环过程。受STEM跨学科融合教育理念的推动,“科学探究与工程设计相互整合”成为工程教育

表一 传统课堂中科学探究与工程设计的差异

| 科学探究                                 | 工程设计                        |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1. 提出问题与界定问题                         |                             |
| 科学探究始于针对某一现象的问题,如“导致癌症的原因是什么?”       | 工程设计从需要解决的工程问题开始,始于某种需求或愿望。 |
| 2. 建构模型与使用模型                         |                             |
| 科学探究通常建构一系列模型来解释某种自然现象。              | 工程设计使用模型分析、评估和测试可能的问题解决方案。  |
| 3. 计划与实施调研                           |                             |
| 科学家通过控制变量的方式确定自变量与因变量,计划、实施和记录系统的调研。 | 工程师通过调研获取符合标准的参数,收集数据并进行分析。 |
| 4. 分析与解释数据                           |                             |
| 科学家分析调研数据以解释现象。                      | 工程师分析调研数据以改善设计。             |
| 5. 构建理论与解决问题                         |                             |
| 科学探究的目标是构建理论以解释现象。                   | 工程设计的目标是提出方案以满足需求。          |

的发展趋势。2013年,美国《下一代科学教育标准》(The Next Generation Science Standards)将科学探究和工程设计放到同等重要地位,提出将工程设计与科学探究活动整合作为课程实践的基本路径(National Research Council, 2013)。我国也有学者提出科学探究与工程设计整合的STEM模式,总结出科学探究与工程设计整合的“应用延伸、工程框架、设计即探究”的实施思路(唐小为等,2014)。“科—工整合”的STEM课程逐步发展为中小学落实新工程教育的一种路径。

(二)新工程教育设计:“科—工整合”STEM课程

“科—工整合”的STEM课程强调将技术和工程融入科学与数学课程,通过科学探究和工程设计的整合实施,综合培养学生的创新探究能力、动手实践能力、技术素养和数学思维。借鉴已有研究成果(唐小为等,2014; Nelson, 2004; Kolodner et al., 2003),“科—工整合”STEM课程可从教与学方面构建结构模式(见图2)。

“科—工整合”的STEM课程是在工程问题情境下,以工程设计与实施为框架,经历“理解问题—方案设计—产品制作—优化改进”的探究过程,形成科学探究与工程设计并重的整合模式:一方面在工程项目的真实情境中,工程成为科学、数学和技术学科连通的桥梁,推动整合性STEM课程实施;另一方面,学生通过科学探究的方式,感悟科学概念和科学规律,并在已有科学知识的基础上,开发解决方案,测试、挑选和评估方案,使方案最优。学生在此过程中提升问题解决能力,进一步理解科学规律、数学概念及技术工具发挥作用的具体方式,使学习变得更有意义。

教师是课程的指导者和支持者,通过模拟和描述的方法,为学生创设真实的工程情境。例如,在设计电磁铁拾取尽可能多的回形针这一项目时,教师首先通过引导学习的方式,引出问题情境涉及的科学概念,提出科学探究问题,引发学生思考,如什么是电磁、影响电磁铁强度的因素有哪些等;接着,教师引导学生针对问题开展探究和调查,为最终产品的设计提供科学依据;在此基础上,教师指导学生遵循工程设计的流程设计产品原型并制作产品,为学生提供反馈和帮助;最后,教师对学生的作品进行

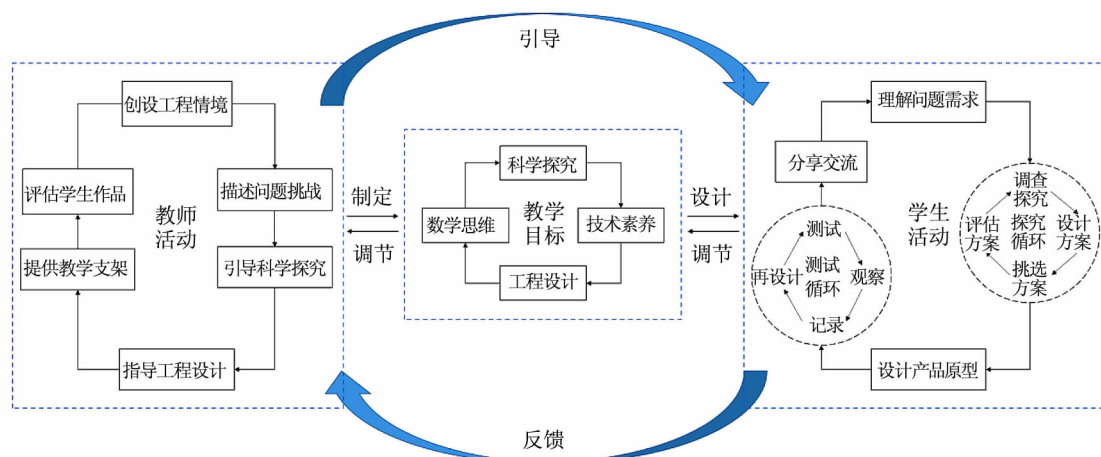


图2 “科—工整合”STEM 课程模式

总结与评价。此外,教师还需要反思教学过程中的不足,以便后续改进。

学生是活动作品的设计者与探究者。学生活动可包括三个迭代循环:外部的工程设计与实施循环、内部的探究循环和测试循环(见图3)。外部循环用于整个工程项目的学习过程,探究循环为方案的设计提供科学依据,测试循环用于优化产品和方案。三个循环之间相互促进,相辅相成,共同帮助学生完成学习活动。

步骤1:学生根据教师的描述和指导,理解问题需求,思考面对的真实挑战。这种挑战应来自真实的工程问题,与学生的生活实际相关,激发他们的学习兴趣。

步骤2:学生组成合作小组,利用教师提供的教学材料进行科学探究,为方案设计寻找科学依据。设计解决方案,通过探究调查挑选方案,以此形成探究循环过程。

步骤3:学生根据挑选的方案,设计产品外观,绘制系统框架图和产品概念图,完成初步的产品制作。例如,学生可利用 Microsoft Visio 等软件绘制产品工作流程图,利用 CAD 完成产品三维模型设计,利用教师提供的教学材料完成产品的动手制作。

步骤4:学生以小组为单位对作品进行测试,观察并记录测试结果,根据测试结果改善设计,优化产品,形成测试循环。

步骤5:展示讨论。学生向同学和教师展示制作好的作品,介绍作品功能及所解决的具体问题,回答同学和教师的疑问,反思作品的科学性、实用性、

价值性。在整个过程中,“问题分析—方案设计—制作与优化—交流反思”形成工程设计与实施的外部循环。

#### 四、“科—工整合”STEM 课程案例<sup>①</sup>

“科—工整合”STEM 课程模式是把科学探究与工程设计加以有效整合,通过工程项目方式发展学生的创新探究能力、动手实践能力、数学思维和技术素养,提高他们综合应用跨学科知识的能力。下面是“科—工整合”STEM 课程案例。

##### (一) 案例背景

“打造锡纸船”是融合工程、技术、科学等学科的 STEM 项目,反映了中学生的学习特征和学习需要。在利用工程领域的思维方式和技术工具进行“造船”的活动中,学生一方面可以结合自身实际生活体验以及打造船只的实验感受,讨论物体的沉浮,领会“密度”的物理概念,探究影响物体沉浮因素;另一方面学生可以通过船只的迭代设计、观察和测试,循环进行“设计-试航-观察-记录”的活动,经历完整的工程设计与实施流程,体验工程思维在解决问题中的作用;最后以建造的船只作品反映学习结果,提高学生动手实践能力。

##### (二) 案例简述

##### 1. 项目主题:打造锡纸船

2. 项目目标:学生运用日常生活中较易获得的材料,设计、打造自己的船只,接触并理解“密度”等物理概念,探究物体沉浮的影响因素,体验工程设计与实施过程。

3. 项目过程:按照项目任务,活动过程包括头脑风暴、问题探究、打造船只、分组展示等环节(见表二)。

表二 项目活动过程

| 活动主题 | 活动内容  |
|------|---|
| 头脑风暴 | 学生在设计单中描述自己要建造的船,问题包括:船只是什么形状的? 船只使用什么材料打造的? 船只可能会承载什么货物? 在时间允许的情况下,学生可将想象的船只画出来。                         |
| 问题探究 | 学生联系生活实际讨论生活中有哪些东西会浮在水面上,哪些东西不会;<br>教师通过与学生分享阿基米德测试金王冠的故事引入“密度”这一科学概念;<br>学生分组将课前准备的物品放入水中,进行检验物体沉浮的探究实验。 |
| 打造船只 | 学生结合前面的讨论与思考,开始打造一艘可以承载重量且不会沉入水中的船只,接下来学生将不断完成对船只的试航、观察、记录、完善设计、再测试、再观察、再记录的循环过程。                         |
| 分组展示 | 学生分组展示打造的船只,并进行答辩;<br>进行教师评价与同伴互评。  |

4. 项目资源

该项目资源包括锡箔纸、测试船只的“货物”、装满水的容器等实验材料,以及船只设计单、实验设计报告等教学材料。

5. 项目评价

作品评价:打造的船只、设计单、实验设计报告。

(三) 案例说明

该项目的教学流程如图3所示。教学活动中,教师创设真实的工程情境,即“打造船只,使其在水中航行,并尽可能多地承载货物”,引导学生进一步明确问题及所涉及的科学概念——密度,并为学生提供探究实验材料,包括锡纸、水盆、橡皮、剪刀、记录本等,引导学生分组开展探究调查。在学生开展调查研究和制作船只过程中,教师可适当指导,提供脚手架,记录学生实验、操作过程中的易错点,如船只的选材、形状、载物等。最后,对学生制作的船只从外观和性能等方面进行评价,帮助学生对船只进行优化,反思问题。

学生活动经历三个循环,包括一个外循环和两个内循环。首先,学生在分析和理解问题的基础上,结合自身生活经验,进行头脑风暴,将想象的船只初步画在设计单上。然后,学生在教师的指导下分组完成物体沉浮的探究实验,进一步设计船只,并根据实验结果不断挑选和修改方案,然后利用数学、物理、工程等知识制作一个船只模型(探究循环)。接下来,学生以小组为单位将设计的船只放在水中测试,并且放入“货物”,观察并记录结果,完善设计、

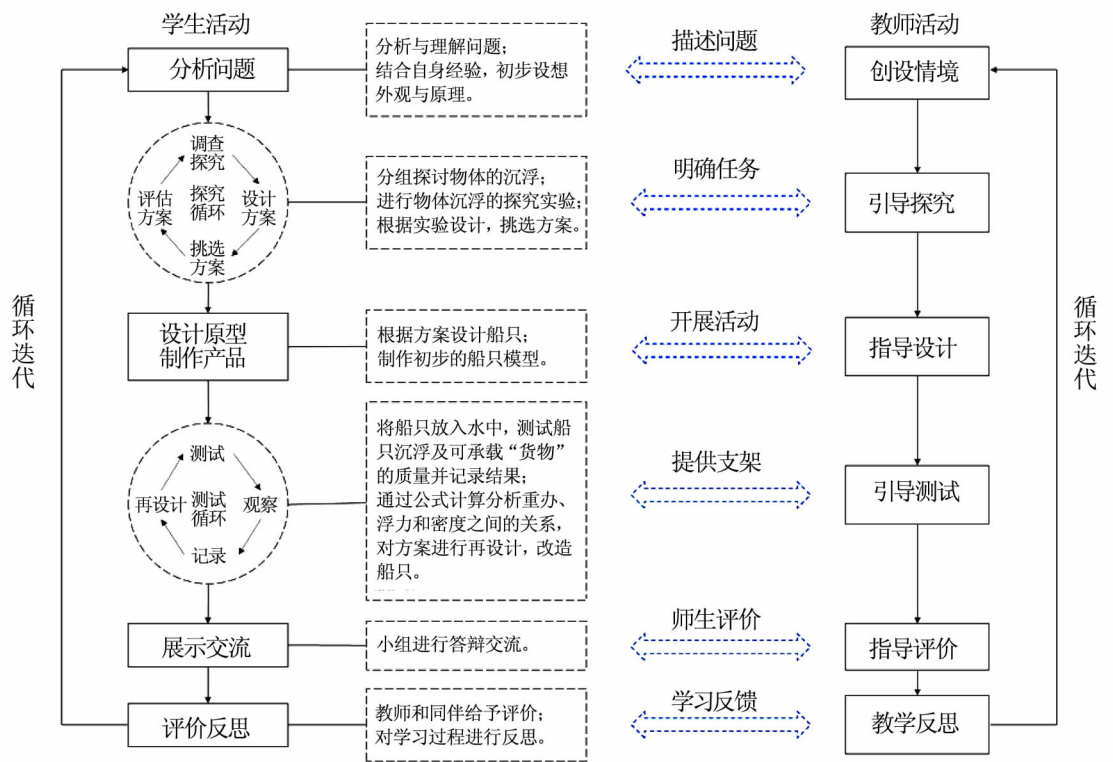


图3 “打造锡纸船”教学流程

再测试、再观察、再记录的测试循环过程。最后,学生向教师与同学展示作品,评估性能,以便加以改进和完善(完成外循环)。STEM项目活动的实施将科学探究和工程设计结合起来,在此过程中,学生感受到工程迭代的重要性与趣味性,应用调查研究为作品设计和制作提供支撑,通过测试优化学习作品,完成可承载货物的实验锡纸船。

#### (四)案例评价

在“打造锡纸船”STEM项目活动中,学生经历了制作锡纸船的“问题分析—方案设计—验证并优化—展示交流”工程设计与实施过程,应用到“调查研究—设计与筛选方案—评估方案”探究方法,体验“测试—观察与记录—再设计”优化过程,从中感受到小组合作学习与同伴互助学习的重要性。学生在解决问题的具体情境中,通过调查研究寻找证据,培养严谨的科学方法与态度;在动手操作中,将科学、数学、技术和工程等学科相关知识与技能运用于实践中,测试、优化并最终完成“锡纸船”的制作,将“动脑思考、动手实践与用心交流”融合为一体,通过科学探究与工程设计的融合,提高了创新与实践能力。

### 五、反思与展望

从本质上讲,科学、技术和工程三者是不同类型的创造性活动,要适应国家创新驱动发展战略的新要求,就应认识到科学、技术和工程各自的不可替代性(白春礼,2014),按照学生认知特征将它们融入学校课程。但从目前学校课程设计来看,工程学还未能成为学校的主流教学内容,美国波士顿科学博物馆馆长米奥利斯(Miaoulis,2017)曾指出:“K-12课程基本忽略了95%的人造世界,我们花了95%的时间只教了孩子认识5%的世界”。当今,生活在日趋复杂的信息化、智能化世界中,学生不仅需要掌握一些科学知识,以此认识与理解世界;也需要具备一定的工程设计与实践能力,以此适应与改造世界。将科学探究方法与工程设计思维结合起来,有助于学生更好地理解与改造世界。

本研究提出了基于“科—工整合”的STEM课程模式,并以案例的方式进行阐释与说明。“科—工整合”的STEM课程指向学生科学探究、工程设计、技术素养和数学思维的培养,从科学探究与工程

设计整合层面实现跨学科探究学习与综合应用,希冀通过STEM项目学习的方式改变与发展学校工程教育内容与模式,满足新时代学生发展需要,为学校新工程教育的开展提供借鉴。然而,以经验借鉴和逻辑演绎方式建构的“科—工整合”STEM课程模式,还存在缺乏本土实践与实证检验的局限,后续研究还需要进一步开展课程本土化开发与实践,将其应用于我国中小学校教学,逐步完善该模式,通过实践应用与实证分析检验其有效性,为推进新工程教育的落实提供教学操作层面的参考。

#### [注释]

①该案例参考自[美]826全美.基于课程标准的STEM教学设计[M].林悦等译.北京:中国青年出版社,2018:211.

#### [参考文献]

- [1] Australian Government (2012). The Shape of the Australian Curriculum: Technologies [DB/OL]. [2012-08-26]. [http://www.acara.edu.au/verve/\\_resources/Shape\\_of\\_the\\_Australian\\_Curriculum\\_-\\_Technologies\\_-\\_August\\_2012.pdf](http://www.acara.edu.au/verve/_resources/Shape_of_the_Australian_Curriculum_-_Technologies_-_August_2012.pdf).
- [2] 白春礼(2014). 创新驱动发展战略靠什么支撑?——从科学、技术、工程的概念说起[DB/OL]. [2014-05-15]. [http://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2014-05/15/nw.D110000gmrb\\_20140515\\_1-16.htm](http://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2014-05/15/nw.D110000gmrb_20140515_1-16.htm).
- [3] Buchanan, R. A. (2008). Gentlemen engineers: The making of a profession[J]. *British Engineers*, (26):407-429.
- [4] 陈向阳(2018). 学科核心素养:重构高中通用技术课程新图景[J]. *教育理论与实践*,38(23):6-9.
- [5] Grinter, L. E. (1955). Report on the evaluation of Engineering Education[J], *Journal of Engineering Education*, (1):25-63.
- [6] 韩琳(2007). 俄罗斯高等工程教育历史变革研究[D]. 重庆:重庆大学学位论文.
- [7] Jeffers, A. T., Safferman, A. G., & Safferman, S. I. (2004). Understanding K-12 engineering outreach programs[J]. *Engineering Education and Practice*, 130 (2): 95-108.
- [8] John, H. M. (2006). Thoughts on the Engineer of 2020[DB/OL]. [2006-01-14]. [http://depts.washington.edu/pcls/lke/Engineer%202020%20\(rev\).pdf](http://depts.washington.edu/pcls/lke/Engineer%202020%20(rev).pdf).
- [9] Katehi, L. E., Pearson, G. E., & Feder, M. E. (2009). Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects[M]. Washington, DC: National Academies Press.
- [10] Koen, B. V. (1985). Definition of the engineering method [M]. Washington, DC: American Society for Engineering Education.
- [11] Kolodner, J. L., Paul, J. C., & David, C. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom[J]. *Journal of the Learning Sciences*, 12(4):495-547.

- [12]孔寒冰(2014).国际视角的工程教育模式创新研究[M].杭州:浙江大学出版社.
- [13]李锋(2018).中小学计算思维教育:STEM课程的视角[J].中国远程教育,(2):44-49+78-79.
- [14]李茂国,朱正伟(2017).工程教育范式:从回归工程走向融合创新[J].中国高教研究,(6):30-36.
- [15]李晓强(2008).工程教育再造的机理与路径研究[D].杭州:浙江大学学位论文.
- [16]林健,胡德鑫(2018).国际工程教育改革经验的比较与借鉴:基于美、英、德、法四国的范例[J].高等工程教育研究,(2):96-110.
- [17]刘华,张祥志(2014).我国K-12工程教育现状及对策分析:基于创造力维度的思考[J].教育发展研究,33(4):67-71.
- [18]Masi, C. G. (1995). Re-engineering engineering education [J]. IEEE Spectrum, (32):44-47.
- [19]Miaoulis, I. (2017). An interview with Iohannis Miaoulis [J]. The Bridge. (2):34-43.
- [20]National Research Council (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas [M]. Washington, DC: The National Academies Press.
- [21]National Research Council (2013). Next Generation Science Standards: For States, By States [S]. Washington, DC: The National Academies Press.
- [22]Nelson, D. (2004). Design based learning delivers required standards in all subjects, K-12 [J]. Journal of Interdisciplinary Studies, 17(1):1-9.
- [23]Payne, H. W., & Fslaet, H. (1980). Engineering — Our Future: The Engineering Profession; The Finniston Report [J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 52(3):13-15.
- [24]Ritchie, A. (2003). Engineering education scheme [J]. Engineering Science & Education Journal, 11(6):248-250.
- [25]上海理工大学规划发展处(2018). 欧林工学院等高校工程教育对新工科建设背景下工程创新人才培养的启示. [J/OL]. [2018-11-13]. 高教研究与参考(6): [http://ghc.usst.edu.cn/\\_upload/article/files/93/12/81a52a074ff19f0e22ebf27a61ea/7407a9c2-d9e2-4b6e-9e80-d6e56f07332f.pdf](http://ghc.usst.edu.cn/_upload/article/files/93/12/81a52a074ff19f0e22ebf27a61ea/7407a9c2-d9e2-4b6e-9e80-d6e56f07332f.pdf).
- [26]Strobel, J., Carr, R. L., Martinez-Lopez, N. E., & Bravo, J. D. (2011). National survey of states' P-12 engineering standards [DB/OL]. [2011-06-26]. <https://peer.asee.org/18779>.
- [27]唐小为,王唯真(2014).整合STEM发展我国基础科学教育的有效路径分析[J].教育研究,35(9):61-68.
- [28]肖凤翔,覃丽君(2018).麻省理工学院新工程教育改革的形成、内容及内在逻辑[J].高等工程教育研究,(2):45-51.
- [29]许茵,雷庆(2007).中美K-12工程教育及其与高等工程教育衔接的比较研究[J].高等工程教育研究,(5):16-19+31.
- [30]余胜泉,胡翔.STEM教育理念与跨学科整合模式[J].开放教育研究,2015,21(4):13-22.

(编辑:李学书)

## New Engineering Education: A STEM Perspective

SHI Hui & LI Feng

(Faculty of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** *Engineering is an important indicator to measure the level of scientific and technological development of a country and the degree of industrial economic development. Engineering education enters primary and secondary schools which can enrich the content and value of the curriculum in terms of creative design and hands-on practice, and provide the most direct connection point for the effective implementation of STEM education integrating science, mathematics, and technology. This paper analyzes the concept and connotation of new engineering education in primary and secondary schools from the perspective of historical development through literature analysis and the paradigm shift of international engineering education: empirical paradigm, technical paradigm, scientific paradigm, and practical paradigm. From the perspective of student development, social development and engineering education development, this paper analyzes the necessity and significance of the new engineering education in primary and secondary schools. By comparing the similarities and differences between scientific inquiry and engineering design, the STEM curriculum model based on "S-E integration" is proposed and is explained with a case of study.*

**Key words:** *new engineering education; STEM integration; scientific inquiry; engineering design; S-E Integration*