

理论视点

面向 STEM 教育的 PMP 教学模式构建

亓英丽* 毕华林

(山东师范大学化学化工与材料科学学院 山东济南 250014)

摘要 STEM教育强调科学、技术、工程和数学各学科的交叉融合。从各学科特点及学科之间内在联系出发探讨了原型引入、模型建构、产品设计与制作的内涵与作用,在此基础上确定了“原型(Prototype)-模型(Model)-产品(Product)”(PMP)一体化的STEM教学模式,结合“制作氢能小车”进行了实践阐释。从原型到模型再到产品的STEM教学,可将学生置身于真实的学习情境中,实现现实生活、科学知识、技术设计、工程制造等内容的有机整合与交融。

关键词 STEM教育 原型教学 模型建构 设计制作

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.2022060093

1 PMP 教学模式提出的背景

为满足科技发展和国际竞争对人才培养的需求,进入21世纪后世界各国竞相着力发展STEM(科学、技术、工程、数学)教育。近年来我国也在倡导实施STEM教育,例如中国教育科学研究院于2017年发布了《中国STEM教育白皮书》,标志着我国的STEM教育进入开展实施的新阶段^[1]。STEM强调多学科交叉整合,跨学科融合是STEM教育的典型特征^[2]。为此,项目和问题作为推进学生STEM学习的载体,促使STEM教育在教学实施方面强调项目学习、问题解决、探究、设计等教学模式^[3-5]。Mustafa等人对STEM教育研究进行了元分析,结果发现在众多STEM教学中项目教学占有一定的主导地位,是开展数量最多的一种教学模式^[6]。Blumenfeld等指出项目教学重在围绕项目进行问题的提出和界定、资料的收集,通过小组合作最终创造出具体成果作品^[7]。所以在项目教学中教师一般比较关注学生需要参与和实施的具体项目活动以及产品的制作。但Thomas所总结概括的项目教学的一个主要特征就是要考虑项目活动与所需要掌握的学科核心概念与原理之间的关系,并且强调项目教学中项目的真实性而非学术性^[8]。因此,如何将项目活动与学科概念原理、学生现实生活联系起来,促进其有机融合是STEM教学中需要关注的一个问题。

根据STEM各个学科的特点及其内在联系构建的“原型(Prototype)-模型(Model)-产品(Product)”(PMP)教学模式,主要适用于产品

制作类的项目教学。在基于PMP的STEM教学中,来自现实世界的原型能够激发学生的学习兴趣,启发学生进一步理解概念原理,形成合理的科学模型或数学模型。在真实任务的驱动下,学生又依据模型去解决问题,设计制作产品。学生在将制作好的产品向教师和同学展示的过程中,通过解释和反思会深化对概念原理的认识,同时体会到科学、技术、工程、数学与社会的联系,增强对STEM教育的认同感和学习成就感。

2 PMP 教学模式的内涵

2.1 原型引入:为STEM教学搭建学习支架

人类生存的世界纷繁复杂、变幻万千,自然界中有无限多样的事物和现象,而这些事物和现象就是人类开展各种认识活动、探索活动、实践活动的基础。科学的首要任务在于认识世界。自然科学的形成是以自然界的客观存在为基础的,自然界中的具体事物或现象就是原型,或者说自然界为自然科学体系提供了现实的原型^[9]。数学也与人类对客观世界的认识与探索密切相关,数学认识活动及其认识结果也与现实原型之间存在着映射和反映的关系^[10]。在技术工程领域中,从鲁班受边缘为齿形的草叶的启发而发明锯子,到人们运用现代科技通过模仿萤火虫而发明荧光灯、通过模仿海豚而制造出潜艇,现实世界中的原型为技术工程发展提供了依据和基础。原型对科学发明创造的产生具有显著的启发效应^[11]。自然界是客观存在的,科学、技术、工程、数学的发展则是人们认识、探索、改造客观世界而取得的成果。除了自然现象原型之

* 通信联系人, E-mail: qiyi@sdnu.edu.cn

外, 社会生产生活中的原型也会为人类的认识提供启发借鉴。例如, 内燃机汽化器的发明源于香水喷洒器, 火车刹车空气闸的发明则源于开凿隧道过程中利用压缩空气驱动凿岩机。在人类探索发现的过程中, 自然世界和人类社会作为客体为人们提供了无数的认识原型。科学、技术、工程、数学与现实原型之间存在着紧密的依存关系。因此在 STEM 教育中也应该正视和反映这种关系, 重视原型的价值与作用。

STEM 课程中的概念、原理、公式、方法、规则、流程等都是科学家、数学家、工程师等经过深入思考后概括提炼出来的, 具有高度的逻辑性和抽象性, 有的还具有一定的复杂性。如果直接将 STEM 课程内容以纯知识的形式呈现、传授给学生, 势必造成一定的学习困难和挑战。一旦缺少学生熟悉的“生活性知识”, 学习内容就会被孤立和“抽象化”, 导致学生学习缺乏主动性, 影响学习效果^[12]。就 STEM 课程知识性质而言, 它们与现实世界中的原型本身具有不可分割的联系, STEM 知识形成的基础是现实原型, 人类通过对原型的观察、分析、抽象、实验、概括等认识活动实现对客观世界的探索。因此, STEM 教学中向学生提供和展现真实的生活原型, 就相当于为学生搭建了理解抽象知识的情境性学习支架, 通过真实有关联的事实帮助学生理解掌握所学内容^[13]。教师为学生的 STEM 学习选取与学习内容相匹配、与学生自身生活经验联系密切的现实生活原型, 就能够在学生与抽象的 STEM 课程内容之间建立支架和桥梁, 有效缩减认知负荷并能增强学生的学习兴趣。

2.2 模型建构: 增进深层次知识理解

在 STEM 各学科领域中, 模型具有举足轻重的地位和作用。从科学的认识和实践来看, 实在世界的原型为人们提供了认识和实践的对象与基点, 由于一般很难直接和全面地把握现实对象, 科学家们往往会根据原型构建模型, 进而再对模型进行理论推理、演绎和完善^[14]。由于原型自身构成复杂、不可观测等特点, 为了克服这些制约与限制, 科学家通过建构模型滤掉一些次要因素和琐碎信息达到理想化状态, 从而突出本质内容, 完成对原型的简约和抽象表征。利用建构模型的方式开展研究是一种有效的研究方法, 模型是科学家进行思考和研究的重要工具, 也是科学思维的结晶。在数学上, 数学建模指的是利用数学方法和工具来认识在现实世界中所遇到的问题, 借用函数、方程、公式、算法

等来对现象进行数学描述^[15]。通过数学建模也可以达到简化抽象、更好地描述现实原型的目的。可以说, 通过逻辑分析、概括综合而建构一个模型, 以达到对研究对象的结构、功能、联系进行简洁而合理地表征, 这是普遍适用于 STEM 各学科发展与运行的一种认识工具和方法。人们所熟悉的原子模型、光的波动模型、数学函数模型、DNA 分子模型等等都是非常经典的模型实例, 而这些模型都是科学家或数学家运用模型方法建构出来的。

在 STEM 学科领域中, 科学家和数学家按照物质世界可能的样子来建模, 工程师通过建构模型来测试其设计, 他们思考并建立模型来映射和解释客观世界是如何运作和变化的, 各种概念、理论、思想、设计大都要借助模型得以构造和转化。因此, 在 STEM 教育中模型是必不可少的一个要素。例如, 教师可以用数学模型来解释气体的行为, 用分子模型来解释物质的性质。模型超越了具体的客观事实、抽象的数学方程和复杂的产品, 丰富生动的各种物质模型、符号模型、数学模型、思想模型等, 是学生深化对科学概念理论理解的重要工具。除了学习和掌握静态的既有模型以外, 对学生进行模型建构思维方法的教育, 培养学生的模型思维意识, 也是 STEM 教育的重要任务。教师要创造条件鼓励和倡导学生亲自参与模型建构活动, 没有模型参与的教学活动是不可能有效展现 STEM 真实图景的。

2.3 产品制作: 促进跨学科整合

科学的本质是探索和发现, 通过科学研究活动对自然现象进行认识和解释, 形成一系列的知识理论体系, 其目的和作用认识世界。科学自身不能生产制造人类所需要的产品, 数学也不能, 尤其是随着现代社会的高速发展, 单纯的技术也不能达到这一目的, 只有把科学、技术、数学以及工程有机地结合在一起, 人类才能生产出满足社会需求的产品。科学家研究科学理论, 解释运行机制, 工程师则应用科学理论来创建产品, 通过利用和改造自然来为人类服务。STEM 在美国的最初兴起动力就是为了制造产品, 通过制造高科技产品满足社会生产生活需要^[16]。因此, 以跨学科为导向的 STEM 教育非常重视技术尤其是工程的开展。技术和工程不同于科学与数学, 它们不是对自然系统的探明和调查, 不是以理论产出为目的, 它们是运用科学知识和原理来设计和生产有价值的工具和技术, 其结果是实实在在的解决方案与产品。我国的理科教育

教学历来重视知识教学,强调基础理论和知识的掌握,重理论轻实践,对学生动手操作能力、实际问题能力的培养还存在着众多不足。因此,STEM教育重视跨学科实践的产品制作活动,不仅能够提供跨学科知识整合的学习,也能为我国青少年实践能力、问题解决能力的培养提供契机^[17]。

现实世界中的真实原型是学生STEM学习的支点,通过建构模型,学生在原型的基础上发展了对概念原理的深刻理解。但是原型和模型的教学举措仅仅满足了科学、数学的教学需要,在STEM教育中,还应该进一步寻求向技术和工程的延伸。而设计制作活动则恰恰能承接之前的原型-模型教学活动,通过设计制作能进一步发展学生应用科学与数学原理解决实际问题的能力。受教学时间、材料获取、学生水平等方面的限制,STEM中的设

计制作更倾向于引导学生制作简易的产品原型。产品制作是以工程设计为导向的课程教学的一个基本环节,通过设计制作活动,学生能综合运用多学科知识解决实际的工程技术问题,从而培养他们的动手实践能力和科技创新能力。

3 PMP 教学模式的构建

根据上述分析,基于“原型(Prototype)-模型(Model)-产品(Product)”(PMP)一体化的STEM教学模式可以凸显STEM各学科的特点,体现STEM的教育理念,增强学生的认知和体验。该教学模式由3个阶段、9个环节组成,如图1所示。原型引入阶段包括精选原型、原型呈现、原型启发等3个环节;模型建构阶段包括分析要素、建立联系、形成模型等3个环节;产品制作包括明确任务、构思设计、产品测试等3个环节。

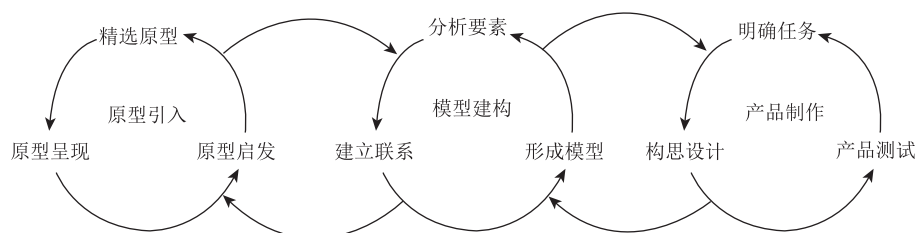


Fig. 1 PMP teaching model for STEM education

图1 基于PMP的STEM教学模式

在原型引入阶段,首先教师要围绕课程内容精选原型,以原型为支架的STEM教学要确保原型的生活性、典型性。教师要根据STEM课程特点,联系学生的实际生活经验去精选学生熟悉的生活原型,这样才能拉近STEM课程与学生的距离。同时还要考虑所选择的原型具有典型的特征属性,能够代表一类事物或现象,从而帮助学生通过对原型的学习,达到由此及彼、触类旁通的目的。为了更好地发挥原型的教学功效,还要考虑原型呈现所涉及的教学情境、形式与时机等。原型应该与良好的教学情境相关联,在真实的情境中借助图片、实物、视频、文字等方式将原型呈现在学生面前。此外,教师还要精心设计问题,向学生提出与原型基本特征相对应的有关问题,这样就能激活有利于学生思考的关键信息,启发学生的模型思维。

例如,将所构建的“原型-模型-产品”教学模式应用于“制作氢能小车”的STEM教学中。“制作氢能小车”面向高一或高二的学生,所涉及的科学知识包括:能量转化、氧化还原反应、电解质、金属的活动性以及电学知识等。日常生活中学生对于氢能汽车接触比较少,但是对于玩具汽车都比

较熟悉。玩具汽车的动力来源大都是电池,电池为玩具车提供动力,让小车能跑起来。在电池中,学生了解最多的电池就是干电池。因此教师可以选择将生活中比较常见的干电池作为原型,用图片、实物展示的形式向学生呈现各种干电池,介绍电池的作用,从而激发学生探索电池奥秘的好奇心。并且教师还应该向学生展示干电池的结构简图以及相关的构成材料,从而最大程度地发挥原型的作用。在此基础上向学生提出问题,启发学生思考并大胆猜想:电池是由什么构成的,电池中的电能是如何产生的,其工作原理是什么,如何设计电池。这些问题能够激发学生深入思考有关电池的科学知识,为后续模型建构开启学生的思维。

在模型建构阶段,围绕着已经提供的现实原型,教师要引导学生积极分析原型内在要素的构成,确定和原型有关的问题系统中所含有的相关构成要素。然后进一步去分析这些要素之间所存在的关系,明确它们之间的本质关联。最后学生能够用图表、概念结构图、数学关系式,甚至通过电脑模拟来建构模型,借用模型来解释自己的认识,表达自己的理解。模型作为连接STEM学科知识、具

体问题、生活经验和真实世界的桥梁,发挥着重要的思维贯穿作用。通过建构模型,可以帮助学生理解现象背后的内在原理,达到对所学知识的深入理解,并能发展学生的建模思维和能力。

围绕着电池的学习,根据上一阶段所提出的问题,教师可以聚焦于具体的实验,向学生演示铜锌硫酸铜原电池实验。根据实验现象引导学生分析原电池的构成部件有哪些,进一步去思考形成原电池的必要条件是什么。通过思考,交流研讨电极、电解质、氧化还原反应、闭合回路对于电流产生的作用,从而分析得出原电池的构成要素。确定构成要素之后,向学生提出问题:这些构成要素是如何使原电池中产生电流的。引导学生从原电池的宏观表现、微观机理等方面综合加以分析,最后概括得出原电池的工作原理。为了进一步整体认识原电池,教师引导学生从原电池的装置维度与原理维度 2 个维度相结合,从电极材料、电子导体、离子导体、电极反应物、过程、电极产物等具体要素出发构成原电池“装置-原理”这一认识模型。

在产品制作阶段,产品的构思设计与之前对科学知识的学习一脉相承,是运用所学知识去解决实际问题,通过设计制作使得科学知识得到创造性的应用。产品制作过程中,学生要善于运用所学的科学知识进行产品的结构设计,能结合工程设计制作的程序步骤和技术完成产品雏形,还要学会分析、预测、测试并改善结果。产品设计制作要让学生面对社会情境中的真实问题,以寻找问题的解决方法为任务。具有一定挑战性的任务要求学生能够拥有一定的知识储备,能够利用已有知识对问题进行分析;要求学生具有一定的创造力,能够构思出满足任务需求的设计。构思设计环节是学生综合运用已经学到的知识解决问题的过程,既能起到检验学生是否对所学科学原理有较好理解的作用,更能促进学生知识的活学活用、灵活迁移。当学生完成构思设计并形成设计方案之后,还需要将自己的想法转化成具有一定功能的产品,能够满足解决问题的需要。在制作环节,学生需要寻找合适的材料和工具,按照设计方案将材料进行组装。组装完成后还要进行测试,根据测试结果对产品进行不断的调整,最终得到最大程度优化的产品。

对于“制作氢能小车”,首先要明确学习任务,由于以石油为代表的化石能源属于不可再生资源且易导致大气污染,故新能源汽车电池的开发与应用正得到广泛的关注。教师可以结合 2022 年北京冬

奥会的“网红”:氢能源汽车,引入学习任务即制作驱动小车的氢氧燃料电池。接下来进行小组划分,小组成员合作制作氢能小车所使用的氢氧燃料电池。教师可以向学生提供玩具汽车组件、导线、塑料瓶、橡皮管、注射器、热熔胶枪、开关、电压表、石墨棒、铜片、铁片、秒表、米尺、NaOH、 H_2SO_4 、 Na_2SO_4 等。在这个过程中,电极的选择、电解装置、储氢设备的设计与制作等都是重点考虑的技术、工程内容,而电池容量的计算、小车功效等则需要学生运用数学知识。教师引导学生根据原电池模型确定氢氧燃料电池的构成要素,然后从电极材料、电解液的选择、电池性能、经济成本、环保等因素综合加以考量,分小组确定设计方案。根据构思好的设计方案,各小组制作电极、配制溶液,并组装得到电池。将组装好的电池再安装到玩具汽车上,进行电池性能的测试。根据测试结果发现问题,并寻找解决办法进行调试。最后每个小组把制作调试完成的电池产品向全班同学展示,描述设计与制作的过程和体验。

STEM 教育对于我国的理工科教学具有重要的启示^[18-19],尤其是为我国的基础教育理科课程改革提供了创新思路。STEM 教育强调多个学科的交叉融合,基于“原型-模型-产品”的 STEM 教学模式从科学、技术、工程和数学的学科特点出发,通过原型引入、模型构建、产品设计与制作等一系列教学活动,能够将学生置身于真实的学习情境中,实现了现实生活、科学知识、技术设计、工程制造等内容的有机融合。

参 考 文 献

- [1] 中国教育科学研究院. 中国 STEM 教育白皮书(精华版)[EB/OL]. (2017-06-20). <http://www.ict.edu.cn/uploadfile/2018/0507/20180507033914363.pdf>
- [2] 余胜泉,胡翔. 开放教育研究, 2015, 21(4): 13-21
- [3] 董泽华,卓泽林. 中国电化教育, 2019, 40(8): 76-81, 90
- [4] 王磊,胡久华,魏锐,等. 化学教育(中英文), 2022, 43(16): 24-29
- [5] 樊雅琴,黄若琳,崔迎,等. 现代教育技术, 2019, 29(1): 114-119
- [6] Mustafa N, Ismail Z, Tasir Z, et al. Advanced Science Letters, 2016(12): 4225-4229
- [7] Blumenfeld P C, Soloway E, Marx R W, et al. Educational Psychologist, 1991(26): 369-398
- [8] Thomas J W. A review of research on project-based learning. San Rafael, CA: The Autodesk Foundation, 2000: 3-4
- [9] 李训贵,陈永亨. 自然科学发展概要. 北京: 高等教育出版

- 社, 2006: 4
- [10] 张荣华. 华东交通大学学报, 1992, 9 (2): 146—149
- [11] 朱丹, 罗俊龙, 朱海雪, 等. 西南大学学报: 社会科学版, 2011, 37 (5): 144—149
- [12] 钟启泉. 上海教育科研, 2007, 27 (4): 4—8
- [13] 张瑾. 现代教育技术, 2017, 27 (10): 100—105
- [14] 杨玉琴, 倪娟. 化学教育 (中英文), 2019, 40 (23): 23—29
- [15] 路卫华. 科学技术哲学研究, 2019, 36 (4): 65—69
- [16] 李雁冰. 全球教育展望, 2014, 43 (11): 3—8
- [17] 胡久华, 张恺琦. 化学教育 (中英文), 2022, 43 (15): 13—18
- [18] 胡源龙, 李佳, 汪灵娇. 化学教育 (中英文), 2021, 42 (5): 49
- [19] 耿毅, 薛勇军, 王伟群. 化学教育 (中英文), 2021, 42 (7): 27—32

Construction of PMP Teaching Mode for STEM Education

QI Ying-Li* BI Hua-Lin

(College of Chemistry, Chemical Engineering and Materials Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract STEM education emphasizes the integration of science, technology, engineering and mathematics. The article discusses the teaching path of STEM education from the characteristics of the disciplines and the internal connections between disciplines. Based on analyzing the connotation and function of prototype introduction, model construction, product design and production, the article constructs the STEM teaching model of “Prototype-Model-Product” (PMP). The article designs a case with “the manufacture of hydrogen car” as an example. By a series of teaching activities from prototypes to models to product prototypes, students could have the chance of being put in a real learning situation which would help to integrate the real life, scientific knowledge, technical design, engineering and manufacture.

Keywords STEM education; prototype teaching; model construction; design and manufacture