

基于科学与工程实践的跨学科探究式学习

——科技馆 STEM 教育相关重要概念的探讨

朱幼文^①

【摘要】 目前国内对于 STEM 教育和科技馆教育的理解有一些误区,使某些科技馆 STEM 教育项目“有其形而无其神”。通过文献研究、教育学分析和案例分析,本文提出:STEM 教育的基本特征是“基于科学与工程实践的跨学科探究式学习”;科技馆展示教育的基本特征是“通过模拟再现的科技实践,为观众营造探究式学习的情境,从而使观众获得直接经验”;实践、探究式学习、直接经验是二者的共同要素。本文由此提出:基于科技馆展品开展 STEM 教育具有天然优势,不仅可使二者互补相长;而且通过“形神兼备”的 STEM 教育,可使科技馆展示教育本应具有的功能得以充分实现,并成为提升展示教育效果的突破口。

【关键词】 科技馆; STEM 教育; 概念; 基本特征; 开发思路

Interdisciplinary Inquiry Learning Based on Science and Engineering Practice ——Discussion about Key Concepts Relevant to STEM Education in Science Centers

Zhu Youwen

Abstract: There still exists some misunderstandings of STEM and science education in domestic science centers, which leading a lack of deep intension in their STEM projects. Based on document research, pedagogical analysis and case analysis, it is proposed in this paper that: the basic feature of STEM education is “interdisciplinary inquiry learning based on science and engineering practice”; the basic feature of education through exhibits in science centers is “to create the scenarios of inquiry learning through technological practice represented in simulation, so that audiences can obtain the direct experience”; practice, inquiry learning and direct experience are common elements for both. Therefore, it is proposed that: it shall be full of unique advantages in developing STEM education based on exhibits in science centers, which their respective advantages can be complementary to each other; education in science centers can be fully realized when the STEM education is in unity of form and spirit, and it will be a breakthrough for improving the quality of education.

Keywords: science centers, STEM education, concept, essential feature, development idea

^① 朱幼文:中国科学技术馆研究员;研究方向:科技博物馆展览设计、教育活动;通讯地址:北京市朝阳区北辰东路5号;邮编:100012;Email: zhuyouwen2020@sina.com。

一、问题的提出

STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 教育的概念于 20 世纪 80 年代末诞生于美国大学校园, 21 世纪初成为美国国家教育战略, 其代表性标志是 2009 年美国奥巴马宣布启动的“教育创新”运动 (“EDUCATION TO INNOVATE” CAMPAIGN) 和美国 2013 年发布的《新一代科学教育标准》(以下简称《新一代标准》)。^[1]

据《中国知网》检索, 国内教育界关注和研究 STEM 教育始于 2008 年, 关于科技馆 STEM 教育的论文则首见于 2013 年。近年来, 不仅在各地科技馆中可见到众多 STEM 教育活动项目, 仅投稿于中国自然科学博物馆协会 2016 年年会的 STEM 教育论文就有 20 余篇。

但细读众多 STEM 教育案例和论文, 笔者却产生了一些困惑: STEM 教育与传统科技教育项目相比有何重要特征? 它难道只是不同学科内容的集合吗? 国内对于 STEM 教育基本概念的理解是否存在误区?

人在解决现实工作和生活中面对的各种问题时, 不仅需要某一学科或方面的科技知识和技能, 还需要能够综合运用多学科或方面的科技知识和技能, 更需要具备科学方法、科学思想、科学精神 (或称科学的认识论、方法论和科学的价值观)。在创新型人才成为一个企业甚至一个国家核心竞争力的今天, 上述综合素质与能力就显得更为重要。而传统教育中以教材为核心、分学科、灌输式、脱离科技实践的教学内容和方法, 并不能满足上述需要。

美国 2013 年公布的《新一代标准》首次将 STEM 教育正式纳入国家教育标准, 2011 年完成的《K-12 科学教育框架》(以下简称《K-12 框架》) 则是该标准前期研究的成果文件。引人注目的是, 上述文件中均强调了三个要素: “实践” “跨学科概念” “学科核心概念”。美国学者 Hubert Dyasi 和 Derek Bel 把“实践” “跨学科概念” “学科核心概念” 称为 STEM 教育的 3 个维度, 指出“在每一个学科中, 这些维度都紧密联系在一起, 每一个维度的缺失都将影响整个学科。也就是说, 为了让学习活动能够真实, 3 个维度的内容都必须清楚明白地体现在活动设计中”, 并以下图示意 3 个维度与 STEM 教育的关系。^[2]

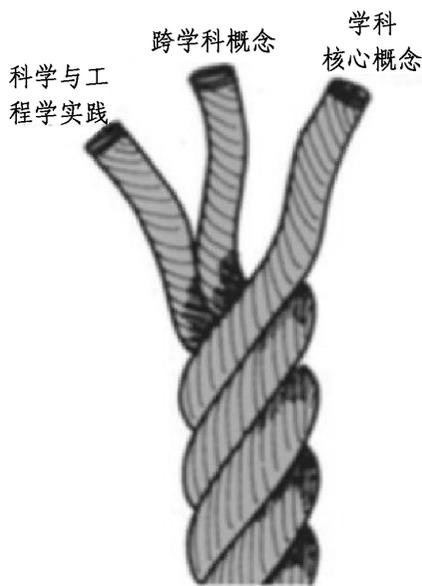


图 1 STEM 教育的三个维度

目前国内 STEM 教育论文和案例往往只关注科学、技术、工程、数学知识与技能的

“跨学科”集合或整合,却忽视了上述三个要素/维度,不完整、不准确,致使许多 STEM 教育项目“有其形而无其神”。本文将重点讨论“实践”和“跨学科概念”两要素的基本概念和意义。

二、关于 STEM 教育的再认识

(一) 关于“实践”(Practices)

在讨论 STEM 教育中的“实践”时,有两组密切相关且需要厘清的概念:一是“实践”与“探究式学习”的关系,二是“实践”与“动手做”的关系,这是当前常被误解的概念。

1996年美国的第一个《国家科学教育标准》(以下简称《1996年标准》)曾明确提出其核心理念是“以探究为核心的科学教育”,而《新一代标准》中没有明确地提出其核心理念是什么,且似乎未像《1996年标准》那样强调“探究”。国内有论文指出:美国用“实践”取代了“探究式学习”,是因为“科学探究”容易给人造成一种偏重于动脑的科学活动。以“科学实践”替代“科学探究”,强调实践能力的培养,目前可以起到纠偏的作用,尤其对于那些只讲授科学知识不重视科学实践和实验活动的教师来说,则显得更为重要和迫切。^[3]

笔者以为:上述分析确有一定道理,但如果由此做出“探究式学习”已被“实践”所取代、已经过时了的判断,那对于“探究”和“实践”的理解就未免过于简单、过于肤浅了。

首先,“探究式学习”不仅适用于自然科

学的探索,也适用于技术发明和工程设计;

其次,正如上海师范大学副教授鲍贤清与笔者交流时所指出的:“探究式学习”是科学学习和 STEM 教育的一个重要特征和教学方式。

上述误解和将“实践”等同于“动手做”,是由于对“做中学”和“探究式学习”的理解误区造成的。有许多人认为:让学生动手了就是“做中学”,给学生提出问题了就是“探究式学习”^[3]。

其实,早有国内学者对“做中学”做了深刻解读:“做中学”的核心实际上是“间接经验”的“直接经验化”,^[4]即将书本上的“间接经验”转化为学生通过“做”的过程中获得的“直接经验”。对此,笔者深以为然,并认为“做”的过程其实就是“实践”的过程,而通过“实践”获得“直接经验”的过程其实就是“探究式学习”的过程。在“做中学”“探究式学习”和《新一代标准》、STEM 教育中,虽然突出强调的重点各不相同,但其中“实践”“探究”“直接经验”缺一不可:“实践”是条件,“探究式学习”是方法,同时二者也是过程,它们互为依托;而“直接经验”则是结果。真正的“做中学”“探究式学习”和 STEM 教育,都应通过基于“实践”的“探究式学习”获得“直接经验”。由此可见,STEM 教育项目中的“实践”并非简单地“动手做”,如果不是以探究为目的的“实践”,那么这种“实践”作为当代改革教育重要举措的意义就大打折扣了,也没有提出的必要了。

亦如鲍贤清副教授与笔者交流时所指出

的:美国《新一代标准》和STEM教育中的“实践”有特定所指,系指“8种科学与工程实践”。8种科学与工程实践的提出,是为了通过科学实践发展学生研究自然世界的能力,通过工程实践发展学生解决实际问题的能力。^[5]

美国《1996年标准》《新一代标准》

《K-12框架》均由美国国家研究理事会(NRC)牵头制订,该理事会为指导美国学校实施“探究式学习”,曾在2000年提出了“课堂探究的基本特征”。对比“课堂探究的基本特征”与“8种科学与工程实践”的主要内容,发现二者之间存在着一定对应关系(见图2):

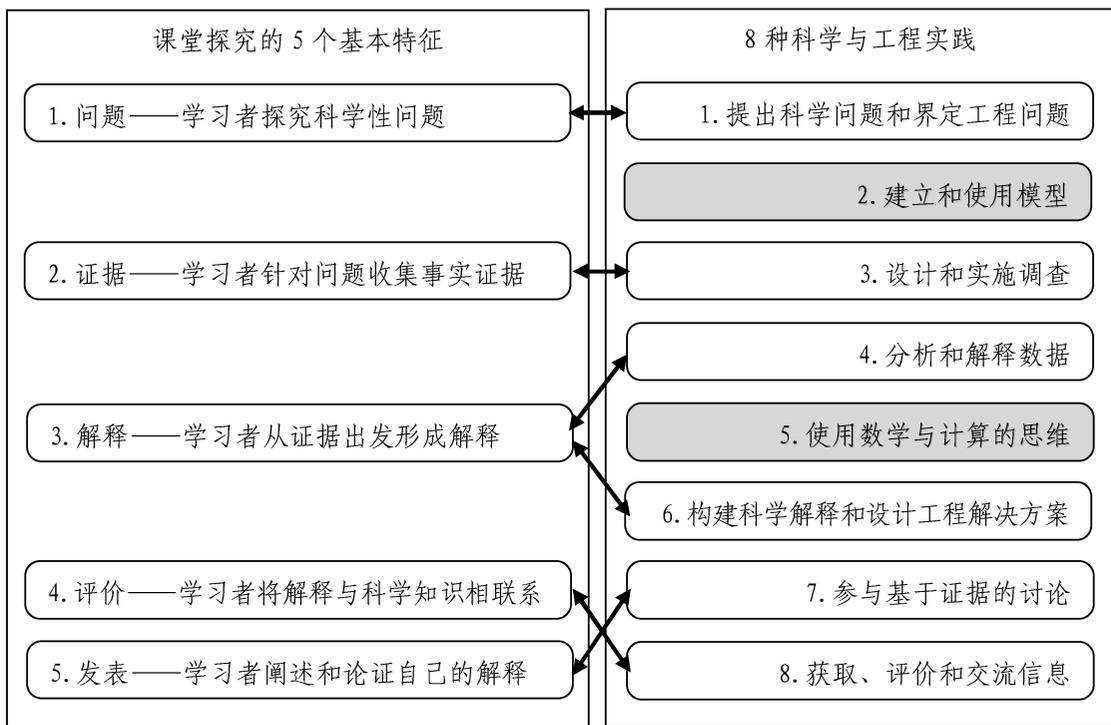


图2 “课堂探究基本特征”^[6]与“8种科学与工程实践”^[5]的对应关系

图2仅是简单地对比了5个“课堂探究基本特征”和“8种科学与工程实践”,并不十分严谨,某些内容并不能一一对应,但依然可以看出二者内容之间确实存在着某种对应关系(考虑到是同一机构的成果,甚至可能有传承关系),后者比前者内容更丰富、更细化。

由此可见,《新一代标准》和STEM教育

并非抛弃了“探究”,而是对《1996年标准》核心理念的补充、完善和深化,不仅突出了“实践”在“探究式学习”中的地位,而且为“探究”提供了实施路径和必要条件,明确了通过什么样的“实践”途径来进行“探究”,这就使“探究”有了明确的内容和坚实的根基,使“实践”和“探究”得以具像化、可操作化了;同时,由“以探究为核心

的科学教育”进化为“基于科学与工程实践的探究式学习”，是对以往片面理解“探究”的“纠偏”。正因为如此，Hubert Dyasi 和 Derek Bel 把 STEM 教育称为“基于探究的科学、工程和技术教育”。^[2]

STEM 教育提倡基于项目或基于问题的学习，设计完成工程项目和探索解决科学问题，其实都是一种“探究”的“实践”，要通过“实践”的过程设计完成项目和探索解决问题，并从中获得知识和技能（“直接经验”）。从某种程度上说，这种基于科学与工程实践的学习，与“做中学”和“探究式学习”的教育理念高度吻合，与由教师直接或变相向学生传授知识与技能的“间接经验”的灌输式教学和“伪探究”有着本质的不同。

因此笔者认为：如果没有“实践”，“探究”就缺乏根基；如果没有“探究”，“实践”就丧失了意义；如果没有“基于实践的探究式学习”，STEM 教育就缺失了“灵魂”。

（二）“跨学科概念”（Crosscutting Concepts）

《新一代标准》和《K-12 框架》提出了“跨学科概念”（Crosscutting Concepts），国内有的论文将其译作“交叉概念”。Hubert Dyasi 和 Derek Bel 对其解释是：“有一些概念在所有 STEM 各学科中都会出现，甚至出现在其他的学科中，这就是跨学科概念……不论是科学家、工程师、技术专家，还是数学家，这些跨学科概念在看待世界上各种现象时可作为有力且全面的框架。因为它们超越了不同 STEM 学科之间的边际，它们也被称为统一的概念。”^[2]

从《K-12 框架》所列的“跨学科概念”内容看（参见表 1），它含有某些适用于各个学科甚至社会生活、个人发展的科学的认识论、方法论和价值观（即科学方法、科学思想和科学精神）的内容，并且它们是通过“实践”过程所获得的（也是“直接经验”）。从这个意义上说，“跨学科概念”比“交叉概念”更贴近“Crosscutting Concepts”的原义。

由此可见，STEM 教育中的“跨学科”，不仅仅是“跨学科”的知识与技能，还包括“跨学科概念”。而且，在以提高科学素质为目标的科学教育中，掌握“跨学科概念”比掌握知识与技能更为重要。同时，它也体现了当代科学教育三层次教学目标“知识与技能”“过程与方法”“情感态度价值观”中后两个更加上位层次的目标，而这是以传授知识与技能为主要目标的传统科学教育最为欠缺的。2017 年 2 月 11 日，美国科学教师协会召开虚拟会议，专题讨论《新一代标准》《K-12 框架》和 STEM 教育中“实践”“跨学科概念”“学科核心概念”与三层次教学目标的关系。^[18]由此可见，STEM 教育是实现三层次教学目标的有效途径。

（三）关于 STEM 教育的基本特征

为了完整、准确地理解 STEM 教育的基本特征，笔者将其归纳为“基于科学与工程实践的跨学科探究式学习”。目前一些 STEM 教育项目之所以“有其形而无其神”，恰恰是由于缺失了“基于科学与工程实践的跨学科探究式学习”中的某些甚至大部分重要元素。

表1 “跨学科概念”及其价值^[7]

跨学科概念	价 值
模式	形态和事件的可观察模式有助于对科学知识的组织和分类,有助于发现事物之间的联系和影响因素。
原因和结果 (机制和解释)	每个事件都有其原因。科学的主要任务就是探寻和解释事件的因果关系及其机制。这些机制在给定条件下可以被检验,可用于预测和解释新情境下的事件。
尺度、比例 和数量	认识到不同的大小、时间和能量尺度与观察到的现象之间有何关系,认识到尺度、比例或者数量怎样影响系统的结构或性能。
系统和系统模型	界定正在研究的系统,详述它的边界,构建系统的清晰模型,可以为理解、检验科学和工程领域中的观点提供工具。
能量和物质 (流动、循环和守恒)	追踪能量和物质如何流入、流出系统,以及它们在系统内如何流动,有助于理解系统的可能性和局限性。
结构和功能	物体或者生物体的形状和结构决定了它的许多特性和功能。
稳定和变化	对于自然系统和人造系统来说,系统的稳定条件、系统进化或变化的决定因素是研究的关键点。

三、科技馆教育的特征

科技馆的英文 science and technology museum 原意指科学技术博物馆(简称“科技博物馆”),然而在我国却特指那些相当于国际上被称为“科学技术中心”(science and technology center,简称“科学中心”)或以科学中心展示教育方式为主的科技博物馆。^[9]因此,笔者采用“博物馆教育→科技馆教育”的路径,分析科技馆教育的基本特征。

(一) 博物馆教育特征分析

博物馆的主要功能及其排序,已由传统

博物馆的“收藏、研究、展陈”转变为当代博物馆的“教育(含展陈)、研究、收藏”。展品和藏品,是博物馆最大、最有特色和其它任何教育机构所不具备的教育资源。因此,基于展览展品的教育(包括展览展品本身及基于展览展品的教育活动),是博物馆教育功能的最主要载体。

如果以学校这一最为典型的教育机构作为参照,从教学信息的载体、学习方式、获取知识的属性、教学活动形式四个维度进行对比,我们就会发现博物馆教育呈现以下特征(见图3):

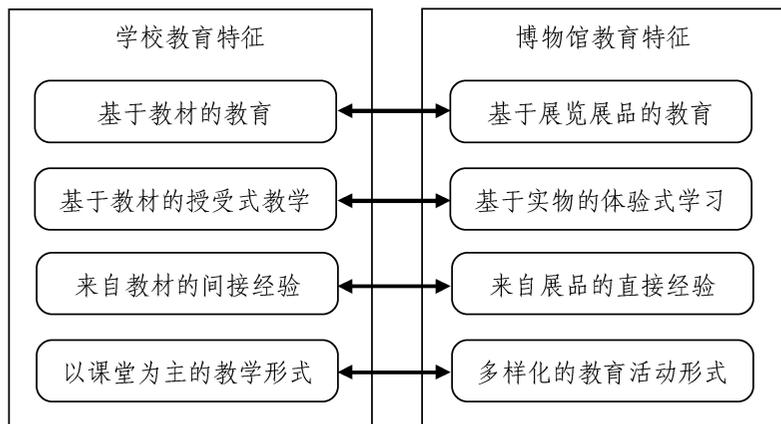


图3 学校教育 vs 博物馆教育特征的对比

由此,笔者将博物馆教育的基本特征归纳为:“通过基于展品的多样化教育活动,引导观众进行体验式学习,从而获得直接经验”。

上述特征是其它任何教育机构和传播媒体(包括新媒体)都难以具备、难以取代的。正是由于上述特征,才使博物馆在教育传播形式日益丰富、竞争日益激烈的当代社会,不仅没有被淘汰,其教育功能反而日益受到重视并得以发展。遗憾的是,目前部分博物馆未能认清自己的教育优势,反而模仿学校教育,丢掉了特征、“迷失了自我”。所以说,上述博物馆教育特征,既是博物馆的优势所在,也是开发展览和教育活动应坚守的基本诉求。

(二) 科技馆教育特征分析

科技馆教育在具有上述博物馆教育基本特征的同时,还具备自己独有的特征。

以往国内业界对于科技馆展示教育基本特征的理解是科学性、知识性、趣味性和参

与性、互动性、体验性,但仅此并不能将它与其它科普形式、甚至不能与游乐园中的游艺机相区别,而且可能误导科技馆展品及教育活动的研发。为此,从2006年起,中国科技馆研究员王恒等人从教育学、传播学、博物馆学等角度研究了国际上科技馆展品的起源与发展过程、科技馆先驱们研发展品的动机、展品及教育的特点,于2013年提出:科技馆教育的基本特征是“通过模拟再现的科技实践,为观众营造探究式学习的情境,从而使其获得直接经验”。^[10]

2016年《自然科学博物馆研究》杂志中多篇关于探究式学习、体验式学习的论文从不同角度提出:要把科技馆基于展品的学习变成类似于科学家科学实验、科学考察的过程,即变为科学探究的实践过程,使观众通过体验获得认知(即“直接经验”)。^[11,12]

科技馆展品承载的科技信息如表2所示。

表2 科技馆展品的科技内涵信息^[13]

第一层信息	展品本身的科学原理、科学知识
第二层信息	科学家经历了什么样的过程、采用了什么样的方法、在何种环境和社会关系下发现该科学原理的
第三层信息	该科学发现给当时的科技、经济、文化、社会带来什么样的影响

科技馆展品多以科学家进行科学研究、科学考察、技术发明的实验装置或对象为原型,操作体验展品不仅再现了科学家通过“探究”获得“直接经验”的“实践”过程,并且其背后隐含着科学家在探究过程中所体现的科学方法、科学思想和科学精神。这些信息,均可通过展示和教育活动传递给观众。因此,科技馆的展品及基于展品的教育活动,不仅为观众提供了通过“实践”和“探究”获得科技知识“直接经验”的条件,同时也为观众了解掌握“跨学科概念”提供了便利。其实,这也是科技馆小实验、小制作等其它教育活动应有的开发思路之一。

四、科技馆教育与STEM教育

通过对比科技馆展示教育和STEM教育的基本特征,我们会发现:

——二者均拥有“实践”“探究式学习”“直接经验”三个关键要素;

——科技馆展示教育虽未强调“跨学科”的知识内容,但也追求“跨学科概念”。

与STEM教育同样,在科技馆展品及基于展品的教育活动中,“实践”“探究”“直接经验”缺一不可;那些以科学家进行科学研究、科学考察、技术发明的实验装置或对

象为原型的科技馆展品,可以为学习者提供其它教育机构所不具备的实践条件和信息载体。因此,基于科技馆展品开展STEM教育,不仅吻合了二者的基本特征,而且具有天然的资源优势。

但是,目前我国部分科技馆只关注了通过展品传播科技知识,忽视了基于实践的探究式学习,忽视让观众获得直接经验,忽视了展品知识背后的科学方法、科学思想和科学精神,致使科技馆展示教育本应具有的功能和效果未能充分实现。同样,部分科技馆STEM教育的论文和案例也存在上述问题,并且未能将STEM教育与科技馆展示教育的基本特征相结合,未能将STEM教育作为充分实现科技馆展示教育应有特点的有效途径。

因此,科技馆通过开展具有“基于科学与工程实践的跨学科探究式学习”特征的STEM教育项目,不仅为STEM教育提供了优势资源和条件,使二者互补相长,而且使科技馆展示教育本应具有的功能得以充分实现,成为提升科技馆展示教育效果的突破口。这样,就明确了STEM教育与科技馆教育之间的关系,并为科技馆STEM教育项目提供了开发思路。

在此,笔者想强调通过STEM教育弥补

科技馆目前未能很好实现的“跨学科概念”教育。

在以往的科学教育中,一说到科学的认识论、方法论和价值观,仿佛除了通过说教灌输间接经验之外别无他法。但在近年来部分优秀 STEM 教育项目中,我们看到了通过基于实践的探究式学习过程使受众亲身体会或感悟“跨学科概念”的成功案例。

根据科技发展历程的无数案例,科学发现的规律或过程可概括为:“现象/问题→判断/假说→验证→发现/结论”(包括通过科学实验或科学考察的验证,即通过“实践”来验证)。在科技发展的过程中,还由此形成了“实证的科学”与“一切科学发现与结论必须来源于对自然的考察与科学实验”这一科学的认识论和方法论(这也是后来马克思主义认识论“实践是检验真理的唯一标准”的来源)。同样,在技术发明、工程设计项目中也有类似的过程,即:“任务/问题→设计→验证→实施方案”。

不论是科学发现、技术发明还是工程设计,“现象/任务/问题→判断/假说/设计→验证→发现/结论/实施方案”的过程,其实都是科学探究的过程;而通过“实践”来发现问题,通过“实践”来验证假说、判断、设计方案是否正确、可行,并将“实践”作为最终的检验标准,本身即反映了科学的认识论、方法论和价值观。

在东南大学叶兆宁教授设计的 STEM 教案“我的小船”^①中,就巧妙地设计了上述

过程:

1. 要求学生通过对图片、视频、模型的观察,发表自己对于船的认识,并倾听其他同学的发表(“问题→判断”);

2. 组织学生到公园、博物馆、江河湖海去看船,再次发表和讨论船的基本特征、用途、造船材料特性等的认识(“验证→再判断”);

3. 引导学生通过上述观察和交流画出一条船,反映他对于船的形状、体积、重量、驱动方式等的认识;

4. 提供不同的材料,要求学生判断其是否适合造船(“问题→判断”);

5. 试验上述材料在水中的沉浮,修正上一步的判断,了解不同材料的不同特性,为设计、制作小船打下基础(“验证→再判断”);

6. 让学生自己设计一条小船,包括小船的造型、建造材料等(“任务→设计”);

7. 学生根据自己的设计制作小船。在制作时,学会用工具加工材料;

8. 对自己制作的小船进行测试,并根据测试的情况进行改进(“验证→再设计/实施”);

9. 学生发表自己设计、制作、改进小船的过程和思路,并倾听同伴的发表。

以上教案中,包括了三次“现象/任务/问题→判断/假说/设计→验证→发现/结论/实施方案”过程(分别为1-3、4-6、7-9),不仅使学生们获得了知识和技能的“直接经

^① 选自叶兆宁教授2015年11月为笔者提供的《STEM课程建设与开发交流会》PPT。

验”,还将原本抽象、枯燥的“跨学科概念”巧妙地变成了可以体验和实践的亲身经历。该项目的全过程从头至尾都充分体现了“实践”“探究式学习”“跨学科概念”“直接经验”要素,是一个完整的“基于科学与工程实践的跨学科探究式学习”过程。该教案为科技馆STEM教育项目(包括基于展品的教育活动项目)的开发思路提供了很好的范例。

目前国内一些STEM教育特别是科技馆STEM教育项目,之所以忽视了“实践”“跨学科概念”和“探究式学习”,也许恰如鲍贤清副教授对笔者所说:“大家对STEM这个舶来概念还处于了解和讨论的阶段。正如盲人摸象,比较表层、也最好理解的是进行内容的跨学科整合”。随着探索与认识的逐步深入,相信会真正实现STEM教育的“形神兼备”。虽然本文的探讨聚焦于科技馆领域,但其中某些概念也适用于其它科技类博物馆、文史类博物馆甚至学校。

以上是笔者近来的粗浅思考与认识,可能存在诸多谬误,期待得到业界同行们的批评指正。本文写作过程中,曾与上海师范大学鲍贤清副教授交流,受益良多,在此谨致谢意。

参考文献

[1]叶兆宁,周建中,郝瑞辉等.课内外融合的STEM教育资源开发的探索与实践//第十六届中国科协年会—分16—以科学发展的新视野,努力创新科技教育内容论坛论文集[C].北京:中国科学技术协会,2014.

[2]Hubert Dyasi, Derek Bel.透视科学中的探究及工程与技术中的问题解决——以实践、跨学科概

念、核心概念的视角[J].刘润林译.中国科技教育,2017(1):15-19.

- [3]伍新春.解读科学教育中“探究”的误区[N].中国教育报,2007-06-21(6).
- [4]吴式颖主编.外国教育史教程[M].北京:人民教育出版社,1999:519.
- [5]吴成军,李高峰.重视核心概念,发展实践能力——美国《新一代科学教育标准》的分析及启示[J].中学生物教学,2014(1):7-10.
- [6]罗星凯,李萍昌.探究式学习:含义、特征及核心要素[J].教育研究,2001(12):55.
- [7]National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas[M]. Washington, D. C.:the National Academies Press, 2011. 10, IX, 7, 83, 224-228, 42, 84, 87, 105-202.
- [8][EB/OL]. http://learningcenter.nsta.org/products/online_courses/VC_170211.aspx.
- [9]中国科技馆课题组.全国科技馆发展研究报告[R].中国科协“十二五”事业发展规划重点研究专题,2010.
- [10]中国科技馆展览教育中心课题组.科技馆体系下科技馆教育活动模式理论与实践研究报告[R].中国科技馆课题,2015.
- [11]孙伟强,张力巍.引导观众以科学实验的方式操作体验展品——科技馆展品探究式辅导的探讨[J].自然科学博物馆研究,2016(3):67-72.
- [12]陈闯.“分解-体验-认知”——探究式展品辅导开发思路[J].自然科学博物馆研究,2016(4):45-51.
- [13]中国自然科学博物馆协会科技馆专业委员会课题组.“科技馆活动进校园”基于展品的教育活动项目调研报告[R].中国科协青少年科技中心“科技馆活动进校园”项目调研课题,2015.