

从“探究”到“实践”：探究式教学法的内涵、本质与发展

叶兆宁^①

【摘要】本文通过解读探究的内涵与过程、探究式科学教育的本质特征、实践与探究的关系，深入分析探究式教学在近半个世纪的演变历程，以及发展出的各种教学模式。说明在演变的过程中，探究式教学的实质并没有发生改变，也不受教育场域的影响。多层次的探究法、5E/6E 学习环模式、基于模型的探究、论证式探究、项目化学习等多种教学模式各有侧重、各有优势，但都遵循以学生为中心的原则，关注学习的过程，适用于任何深度和广度的学习过程。无论是正式还是非正式教育环境中，教师理解探究与实践的本质更有助于提升教育质量和水平。

【关键词】探究；实践；探究式教学；教学模式

20 世纪的科学教育从精英教育转向大众教育，由传统的传授式转向探究式，开始强调通过科学教育尤其是 K-12 年级的科学教育促进学生科学素养（scientific literacy）的全面发展，它打破了传统教育的固有思想和模式，开始依循科学本身的特征和儿童认知发展的规律开展科学教育。20 世纪以来，科学教育的重要性不言而喻，由于其担负着奠定公民科学素质基础的重要任务，这在很大程度上决定了社会成员的思维方式和生活方式，直接影响着民族、国家和世界的未来^[1]。

21 世纪的科学技术深刻地改变着社会、经济、文化等各个领域，社会对人才的需求发生了巨大的变化，对教育更是提出了更高的要求。

近半个世纪以来，科学教育的发展更趋综合与多元，从“探究”到“实践”、从“探究式科学教育（IBSE）”到“STEM 教育”，从“科学素养”到“核心素养”。同时，非正式教育中的科学教育作用越来越凸显，形成正式教育与非正式教育共同作用于学生发展的趋势。在非正式教育领域中，广泛使用探究式教与学的无疑是科技博物馆，但目前博物馆科学教育与 STEM 教育活动设计与实施中，仍存在对“探究”的理解模糊不清、混淆“实践”与“探究”、表面上“实践”却无实质性“探究”、有“跨学科内容”却无“跨科学概念”等问题。针对此，本文将从探究式教学的内涵和发展的角度，尝试解读科学教育近一个世纪以来的推陈出新、发

^① 叶兆宁：东南大学生物科学与医学工程学院副教授；研究方向：科学教育；通讯地址：江苏省南京市玄武区东南大学四牌楼 2 号；邮编：211189；Email: yezhaoning@seu.edu.cn。

引用格式：叶兆宁. 从“探究”到“实践”：探究式教学法的内涵、本质与发展[J]. 自然科学博物馆研究, 2022(3): 5-16. [Ye Zhaoning. From Inquiry to Practice: The Connotation, Essence and Development of Inquiry-based Teaching Method[J]. Journal of Natural Science Museum Research, 2022(3): 5-16.]. DOI: 10.19628/j.cnki.jnsmr.2022.03.001

展与演变的历程,以促进科技博物馆从业者厘清“探究”的实质,更深入地理解探究式教学在非正式环境中实施的策略与方法。

一、探究 (Inquiry) 与探究式科学教育 (Inquiry-based Science Education)

美国的科学教育改革一直被全球关注,皮亚杰、杜威等著名学者在科学教育发展史上起到了关键的作用。1909年,杜威在美国科学促进协会的报告中对直接传授科学知识的教育观点进行了批判,指出科学不仅是需要学习的一堆知识,而且也是一种学习的过程和方法^[2]。在这之后,将探究作为一种科学教学方式的观点被广泛接受。从20世纪下半叶开始,为了适应社会和经济领域发生的变化,科学教育(尤其是面向儿童的科学教育)变得十分重要,从而掀起了儿童科学教育改革的浪潮。

1996年,美国第一部《国家科学教育标准》出台,其中明确了“探究”在科学教育中的重要位置,指出科学探究既是科学家用以研究自然界、并基于此种研究获得证据提出种种解释的途径,也是学生用以获取知识、领悟科学思想观念、领悟科学家们研究自然所用的方法而进行的各种活动^[3]。该标准奠定了“探究”在科学教育中的重要位置,其对“探究”的界定^[3]是到目前为止认可度颇高的观点:

探究是多层面的活动,包括观察;提出问题;通过浏览书籍和其他信息资源发现什么是已经知道的结论,制定调查研究计划;根据实验验证对已有的结论做出评价;用工具收集、分析、解释数据;提出解答,解释和预测;以及交流结果。探究要求确定假设,进行批判的和逻辑的思考,并且考虑其他可以替代的解释。

该定义明确指出科学探究是一种重要的实践活动,不仅要“探”,更要“研”,它符合儿童的本能和认识模式,同时也是人类探索自然最朴实

的方法。英国科学教育专家温·哈伦认为:探究可以运用在多个领域,如历史、地理、艺术、科学、数学、技能和工程中。当发生提出问题、收集证据并进行可能的解释的时候,探究也就发生了。而科学探究的不同之处在于:它通过与自然世界的直接互动、以及通过生成和收集数据作为支持解释现象和事件的证据,导致了产生对自然世界和人造世界的知识和理解^[4]。

哈伦教授同时也指出:通过探究来学习科学是一个复杂的过程,在这个过程中,知识、理解、收集和使用证据的技能相互作用、联系在一起。也正因为探究的复杂性使其成为相当大的挑战,在全球范围内推广探究式科学教育也不是一件易事^[4]。

1994年,国际科学联盟(ICSU)建立了推动儿童科学教育改革的专门委员会——科学能力建设委员会,在两位诺贝尔奖获得者美国的勒德曼博士(Leon Lederman)和法国夏帕克博士(George Charpak)的支持下在全世界推动儿童科学教育改革。该组织于2000年在北京召开国际小学科学与数学教育研讨会,并发表北京宣言,号召科学家和教育界联合起来,在国际范围内共同推动探究式科学教育的改革^[5]。

国际科学院联盟组织科学教育项目组(IAP-SEP)^①也是推广探究式科学教育的国际组织,项目组汇集了多国科学教育专家,自2003年起对全球不同国家开展探究式科学教育项目提供帮助。2006年6月,项目组在巴黎举行会议,并发布了探究式科学教育项目的国际评估报告,报告中对探究式科学教育进行了如下界定^[6]:

探究式科学教育(IBSE)不是一种单纯的教学法,而是一种有着主要特征并可以以多种方式实施的教学法。IBSE与传统科学教育有些相同之处,但在很多方面又是不同的:IBSE不仅仅动手操作,更主要因素是让学生参与到识别相关证据、进行判断性推理和逻辑性推理并思考如何解释中去。

① 国际科学院联盟组织科学教育项目网址: <https://www.interacademies.org/education/ibse>。

IBSE 的主要区别性特征是:

- 学生通过对已收集到的证据进行思考和逻辑推理来生成概念,使自己能够理解周围世界的科学方面。这可能需要让学生亲自处理物体和资料以及观察事件,也可能需要学生运用从包括专家在内的一系列信息源中收集到的二手证据。
- 教师引导学生通过自身的活动和推理培养探究技能和发展对科学概念的理解。这需要教师推行分组作业、讨论、对话和辩论,以及为直接调查和试验提供材料。

在后续的文献中,IAP-SEP 的专家给出了探究式学习的过程(见图1)^[7]。指出:探究始

于问题,基于已有的想法和经验对问题的思考,可以引出多个可能的解释或假设,也就是预测。如果其中有可以被接受的解释,就需要对它们进行检测。其目的是为了检验是否有实证支持该预测。实证从哪里来?这就需要通过做探究计划和实施调查研究活动来收集,它包括收集和解释新的数据,系统地观察或是向二手资源咨询,并将实证和初识想法相关联,从而得到探究的结果,再经过交流和思考形成新的认识。其中需要进行测试的预测可以不止一种,每次的检测也未必能成功,所以需要重复地进行预测、计划和解释等一系列的工作。直至所得到的数据引出的结论能支持所做的解释为止。

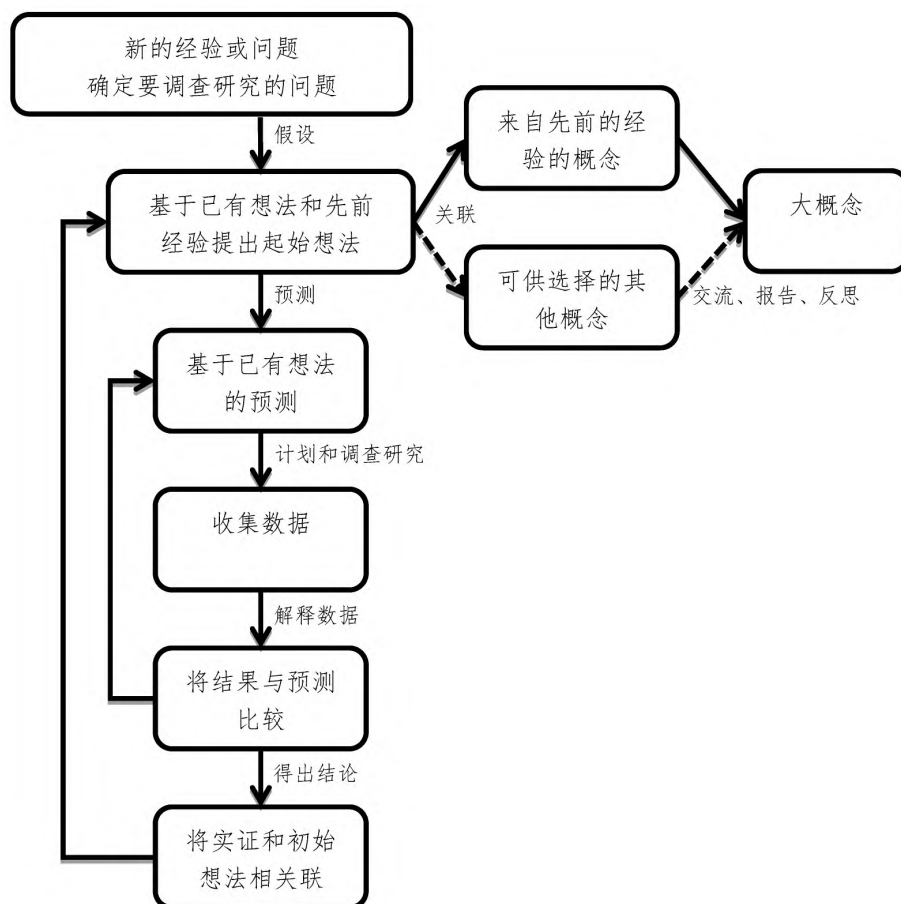


图1 探究式学习的框图^[7]

图1类似流程图,但在每个箭头旁标有说明,表示从一个方框进入到下一个方框时需要进行的 活动。探究的结果取决于这些活动是如何实施的。科学实践的过程与科学思维的发展在图中被纠缠

在一起。在此框图下,具体探究的路径和走向与探究者所采用的逻辑思考、实验方法、以及反思改进能力有着紧密的联系,这使得探究的过程并不是线性的固定过程。因而,探究的价值不只是

找出对某个特定问题的答案,还可以达到两个目的:一是通过探索与思考的过程,促进探究者对概念的理解,并帮助其构建自身的概念认知体系;另一个是促进学习能力、深度思考、以及科学态度的发展。在这个过程中,探究者的思考、行动与反思对探究过程的质量和学习效果起到非常重要的作用。

二、实践 (Practice) 与 STEM 教育

当很多人还在研究和实施探究的同时,变化已然发生。随着脑科学、认知科学、发展心理学等在技术和研究方法上的进步,科学家们得以探索人类学习的机制和本质,并将其运用于教育领域。在这些科学研究成果的支持下,发展出新兴的科技教育范式——STEM 教育。

2011 年美国《K-12 年级科学教育框架:实践、跨学科概念与核心概念》(简称《框架》)出台,它是随后发布于 2013 年的美国《新一代科学教育标准》(简称《标准》)的指导性文件。其中旗帜鲜明地使用“科学与工程实践”“跨学科概念”和“学科核心概念”作为科学教育的三个维度,并将 STEM 教育融入科学教育,实现了科学教育观念的又一次转型。

在此之前的十多年期间,“探究”一词在科学教育领域有着举足轻重的地位,是开展科学教育的主要方法。而在《框架》中用“实践”替代长期以来的“探究”和“技能”等说法,引起了广泛的关注。这不仅是一次学术词汇的改变,也代表着更深的意义。《框架》指出“实践”包含两个含义:一是科学家研究和建立关于世界的模型和理论时使用的科学实践,另一个是工程师设计和建立系统时使用的一组关键的工程实践^[8]。可以说,“实践”一词的启用与工程教育的融入有着密切的关系。至少,“实践”中既包括了以探究为主的科学实践,也包括了以设计和建造为主的工程实践,且“实践”一词并不空洞,《框架》和《标准》中用八个在科学和工程方面具有一致性的实践行为来表示,

即:(1) 提出问题和定义问题;(2) 开发和使用模型;(3) 计划和开展研究;(4) 分析和解读数据;(5) 使用数学和计算思维;(6) 建构解释和设计解决方案;(7) 参与基于证据的论证;(8) 获取、评价和交流信息^[8,9]。

相较于科学探究,工程设计具有反复性和系统性,且包括若干个不可或缺的典型步骤:识别问题、明确要求和限制;通过研究和商讨提出一系列解决方案和设计方法;通过建立和测试数学模型检验课程的方案;分析方案对既定要求与限制的满足程度;改进现有方案等^[8]。对于科学研究而言,不管是否可以应用与实践,形成一种解释本身就意味着成功;而对工程来说,成功则是根据满足人类需求的程度来衡量的。

《框架》和《标准》中用“科学与工程实践”来结合这两个过程,意味着科学教育中更加关注在真实实践过程中的思考与方法运用,更加关注如何提升学生将具体科学知识和技能整合在一起开展面对真实问题的科学研究和工程创新。可以说,《框架》和《标准》并非用“实践”替代了“探究”,而是把“探究”还原为真实的科技探究实践,是基于科学与工程实践的真正的探究式学习。脱离了“实践”的“探究”,是空对空的“伪探究”,是缺乏根基的“探究”;脱离了“探究”的“实践”,是没有目的的、缺少教育意义的“实践”。如果没有“基于实践的探究式学习”,STEM 教育就缺失了“灵魂”^[10]。

此外,在《框架》和《标准》中还使用“预期表现”来整合实践、跨学科概念和学科概念三个维度。使其最大限度地削弱了将科学实践简化为一套单一程序、以及过于强调实验研究,而忽略了建模、批判和交流等实践的误区。基于科学与工程实践的科学教育,是理解和运用“学科核心概念”与“跨学科概念”的最好途径。正因为如此,“科学与工程实践”与“学科核心概念”“跨学科概念”共同构成了科学教育的“三个维度”;也因为如此,STEM 教育成

为了实现“三个维度”科学教育目标的重要平台,“基于探究的实践”或“基于实践的探究”是 STEM 教育的核心要素之一。

从“探究”到“实践”的转变很快被大众认可和接受,这与 STEM 教育的发展不无关系。STEM 一词提出于 20 世纪 80 年代,出现在西方高等教育领域。本世纪初逐渐进入 K-12 年级教育的各个层面。在《框架》发布之前,STEM 教育已经得到了一定程度的发展。与学科教育所不同,STEM 教育更注重整合与问题解决,强调在现实问题解决的过程中开展能力培养与知识建构,同时还强调对学生创造力的提升,与当前知识经济社会对人才基本素质的要求相适应^[11]。

与 STEM 教育相对应,STEM 素养的概念也得以发展。美国科学教育专家 Bybee 于 2013 年指出 STEM 素养包括概念理解、过程性技能,以及解决与 STEM 相关的个人、社会乃至全球问题的能力。作为各国政府间讨论关于教育、科学和文化问题的国际组织,联合国教科文组织也十分关注 STEM 教育,并于 2019 年发布报告《探索 21 世纪的 STEM 素养》,足见全球对 STEM 教育的重视程度。报告中对 STEM 素养的定义是:为实现个体的、集体的和全球性的发展期望,能够调动和有道德地使用知识与技能、态度与价值观以及技术来有效参与的发展性能力。并提出 STEM 素养包括知识、技能、态度和价值观三个要素^[12](见表 1)。

表 1 联合国教科文组织定义的 STEM 素养

STEM 素养的要素	要素界定	具体内容
STEM 知识	包括每个 STEM 学科各自的认识论知识、程序性知识和技术性知识	1. 各学科领域的大概念 2. 贯穿 STEM 学科的大概念 3. 和 STEM 职业相关的技术性知识
STEM 技能	STEM 技能是指实施 STEM 任务需要的技能	1. 认知性技能 2. 操作性技能和技术性技能 3. 合作和交流技能
STEM 态度和价值观	不是可以单独培养的要素,需要深植于一系列的 STEM 实践活动中慢慢涵养的	好奇心、正直、客观性、开放、坚持等 12 个方面

不仅有别于传统教育,STEM 教育也不同于综合学科中常见的主题教育,而是具有整合、跨学科和问题解决等显著特征。项目化学习(PBL)是实现 STEM 教育跨学科特征的有效教学方法^[13]。通过项目将科学探究与工程设计的实践过程有目的、有系统地链接在 STEM 教育活动中,帮助学生深度思考,促进他们理解解决实际问题的过程和策略、理解科学原理如何被运用于技术与工程设计、更有助于他们理解科学和工程的本质特征。

三、从“探究”到“实践”——探究式教学法的继承与发展

现代意义上的探究式教学源自于 20 世纪中

叶,皮亚杰的发展心理学和杜威的“做中学”,以及布鲁纳的“发现学习”,直到施瓦布正式将其确立为科学教学的方法。发展至 90 年代,在美国的 2061 计划和《国家科学教育标准》(1996)中明确采用探究式教学的方法,探究式教学逐步被认可并成为开展科学教育最有效的手段。在科学教育最近半个多世纪的发展过程中,从探究到实践,虽然用词不同,但其科学教育的内涵和本质实则一脉相承,呈现出教育理念和方法的演变与发展。

(一) 演变之基础

1. “实践”离不开“探究”,都以实证研究为基础

从“探究”到“实践”,最让人困惑的莫过于

于“有了实践就不需要探究”的误区。其实强调实践并不意味着没有探究,而是拓展了探究的内涵,尤其是把工程设计的过程融入学习之中,用实践涵盖科学探究与工程设计的整个过程;也包括了在使用科学与工程思维过程中产生的实践行为,如使用模型、分析数据、论证、获取和评价信息等。

因此,在科学活动中,可以毫无疑问的采用探究式教学法,不同之处在于科学探究已不是单纯的、仅在学科领域内研究科学问题,而是会在与之密切相关的情境中,让科学探究与工程实践同时存在,并遵循以实证研究为基础的基本原则。教师往往需要帮助学生理顺何时需要进行科学探究,而何时需要采用工程过程解决问题。并且更加关注如何引导学生思考,将科学思维、计算思维、设计思维等运用于解决实际问题,同时促进学生参与到识别相关证据、进行判断性推理和逻辑性推理并思考如何进行解释和付诸于实际行动中。这一过程将更有利于学生理解科学原理、技术、工程设计和数学是如何整合在一起用于解决实际问题的。

2. 都属于归纳式教学法,符合儿童的认知发展规律

归纳式教学是与传统的演绎式教学相对应的教学法。演绎式教学法中教师从讲述一般原理开始引入话题,再推导出数学模型,接着举一些实例来说明模型的应用,再通过练习、训练、作业等方式复习和巩固。其过程中学生很少会思考为什么要这样做,为什么用这种模型或方法,以及它还可以解决什么实际问题等;且学生的思维常常是在教师和教科书的牵引下展开,因而也被称为“以教师或教科书为中心的教学”。与之相反,归纳式教学法不是从一般原理开始进行到应用,而是从具体事物出发,如一组有待解释的现象或实验数据、一个需要分析的案例或是一个有待解决的现实问题。学生若想要对数据、现象进行分析,或者想要解决问题,就必须把握事实、弄清楚原理、了解规则、

直至执行计划、评估效果,在解决问题的过程中完成认知的构建与应用。可以说,探究式教育和STEM教育中采用的教学法从根本上都属于归纳式教学法。

归纳式教学法是一个笼统的名称,包括一系列的学习模式,如探究式学习、基于问题的学习、基于项目的学习、基于案例的教学、发现式学习等。它们的另一个共同之处是“以学生为中心”。归纳式教学法中学生是学习的主体,他们将对学习承担更多的责任,并且都在建构主义学习观之下遵循实现有效教育的一些原则,包括^[14]:

- 教育活动应该从学生熟悉的内容与经历出发,以便跟他们已有的知识结构联系起来。
- 新的教学内容应该与学生的“最近发展区”相适应,让学生接触一些批判性概念,螺旋式的、一步一步地改进和加深学生的认知模型。
- 教育活动应该要求学生自主填补知识空白,并延伸到教师提出的新内容之中,即帮助学生不再事事依赖教师,而是有计划地开展自我学习。
- 教育活动应该让学生组成小组参与。

可见,“以学生为中心”的教学法以促进学习的真正发生为视角,更加关注学生学习过程的有效性,也更符合儿童认知发展的规律和需求。

3. “实践”与“探究”的发展都不是孤立的,需要教学过程的促进

“探究”和“实践”既可被看作为对过程的表征,代表学生开展科学研究和工程设计所经历的过程,也可被看作是对在此过程中所涉及的能力和方法的表征。公认的是:其一,这些能力都不是与生俱来的,需要在后天的学习中通过各种途径得以发展;其二,这些能力的发展也不是孤立的,能力、知识、思维、方法等都在探究和实践的过程中自然而然地绑定在一

起,形成一个整体,帮助学生通过探究和实践把知识与能力融汇贯通^[8]。以此为基础,探究式教育和 STEM 教育的教学过程中,必然呈现出过程与方法、技能与能力、概念与思维共同发展的态势。教学内容选择和活动过程的设计,也会从一定程度上促进这种态势的形成,给学生各方面的发展提供空间。

(二) 演变之趋势

1. 由单一学科领域发展为跨学科

以研究科学现象、探索科学原理为目的的科学领域学习活动中,探究式教学法往往聚焦在某一个具体的学科、具体的现象上,通过基于实证的科学探究过程开展探索。这有利于学生形成具体的学科素养,但却缺乏学科间的打通,缺乏学科与解决真实复杂问题之间的联系。

在开展基于 STEM 教育的学习活动时,则立足于某个现实问题或项目,以解决问题、寻求解释和解决方案为目的。现实问题或项目往往具有一定的复杂性,本身就可能涉及到不止一个学科,需要用到多个学科的知识或技能才能达成问题的解决。此时的探究式学习就有可能超越单一学科的局限,通过问题解决的过程自然而然结合多个学科领域。

可见,从单纯的研究科学现象拓展到真实问题解决,学习活动目标的转换,使得教学方法的侧重面也发生着变化。虽然目标的维度具有较高的一致性,但目标的内容、具体要求和复杂程度却随着跨学科特点的加入而发生深化,目标维度之间的关联度也随之提升。可以说,从跨学科角度开展的科学探究教学比单纯研究科学原理要复杂很多、深入很多,更符合 21 世纪对创新人才培养的需求。也就使得“跨学科”成为科学教育演变的必然趋势。

2. 不断发展的教学模式

探究式科学教育的学术用语是 IBSE,即 Inquiry-based Science Education,也被称为基于探究的教学。在教育领域普遍认可了探究式科学教育的基本理念之后,围绕科学探究的基本要

素,从不同的侧面开展研究,近半个世纪以来发展出多种探究式教学的模式和方法。

(1) 研究探究式教学的开放程度——多层次的探究式教学

对探究开放程度的关注出现于探究式教学发展的初期。美国课程学者施瓦布 (Schwab) 在倡导探究式教学时提出以开放的程度进行层次的划分,层次越低,教师介入程度越高,学生开放程度则越低,反之则以学生为学习主体,教师介入程度降低^[15]。以此逐渐形成探究式教学的四个层次:验证性探究、结构性探究、引导性探究和开放性探究^[16]。格尔曼 (Germann) 等学者根据学生提出问题和回答问题的独立程度,将课堂探究分为四种不同水平的类型,从低到高依次为强化型探究、结构性探究、指导型探究和自由型探究^[17]。但无论什么层次的探究,探究过程的基本要素和环节都是一致的,所不同的是教学中各要素和环节的开放程度。

多层次的探究教学尤其有助于教师对探究过程的把控,开放程度越高的探究,对学生和教师的能力要求越高,组织和辅助教学的难度也越大,因此在中小学的校内教育中,大多数情况下使用的仍为结构性探究和引导性探究。而在校外教育中,受到各种条件的影响,验证性探究和开放性探究都在一定程度上存在。当然,不同层次的探究并没有优劣之分,可根据教学的内容、目标、探究过程进行合理的选择。

(2) 研究探究式教学的过程——5E 学习理论/6E 设计型学习模式

学习环是发展于 20 世纪五六十年代的探究式教学模式,其中以美国生物学课程研究组织 (Biological Sciences Curriculum Study, BSCS) 的研究者毕比 (Bybee) 等开发的 5E 学习环模式最具有代表性。依据 5E 学习环理论,探究式教学过程可划分为五个阶段:吸引、探索、解释、深化和评价,其具体内涵见表 2^[18]。

表2 5E学习环各阶段的内涵

阶段	内 涵
吸引 Engagement	教师或课程通过短小的、可激发学生兴趣、并能引出前概念的活动帮助学生参与到新概念建构的过程中。该引入活动能够链接过去的和将来的学习经验、暴露前概念、并能将学生的思维聚焦到当前活动指向的学习目标上。
探索 Exploration	探索的经验为学生提供了一个共同的活动基础，在此基础上，当前的概念（错误概念）、过程和技能被确定，并促进了概念的改变。学习者可以完成实验活动，以帮助他们使用先前的知识产生新的想法、探索问题、设计和实施调查研究。
解释 Explanation	解释阶段将学生的注意力集中在他们参与和探索经验的一个特定方面，并提供机会来展示他们的概念理解、过程技能或行为。在这个阶段，教师直接介绍一个概念、过程或技能。教师的解释或其他资源可以引导学习者更深入地理解，这是这一阶段的关键部分。
深化 Elaboration	教师挑战和扩展学生的概念理解和技能。通过新的经验，学生发展更深和更广泛的理解、更多的信息和适当的技能。学生运用他们对概念和能力的理解进行额外的活动。
评价 Evaluation	评价阶段鼓励学生评估自己的理解 and 能力，并允许教师评价学生在学习成果方面的进展。

5E学习环拓展了科学探索的一般理解，从学习和教学的角度完善探究式教学法的要素，从而形成一个更为完整的教育过程，突显出探究式教学从建构新知到运用新知的教育目的。5E教学法还强调学生的主体地位，其核心是学生的探究活动，并在整个教学活动中注重学生探究技能的形成与发展。

从表2的描述中不难看出，5E教学法尤其关注学生在新旧概念之间的有效衔接和有机建构。在5E教学模式下，学生拥有更多审视自身学习方法和学习效果的机会，通过不断地自我剖析与改进，达到提升自身综合技能的目标。学习环的整个过程，就是错误概念不断更新为正确概念、利用已有概念进行新概念构建的过程，正是在这种不断构建与完善的过程中，学生的学科思维得以扩散、科学概念得以更新，从而实现新旧认知的交替与革新。

近年来STEM教育的兴起促进了工程教育与科学教育的融合，美国国际技术与工程教育学会于2014年在5E学习环理论上提出了6E设计性学习模式（Learning by Design Model），并将其作为落实STEM教育的活动模式。6E模式包括六个阶段，即为吸引、探究、解释、工程、

深化和评价^[19]。显然，6E模式整合了科学探究与工程设计，更加重视学生在类似于现实工程项目的真实情境中，主动完成科学探究活动和自主的设计环节，以培养学生的问题解决和创新能力。

（3）侧重模型建构对探究的影响——基于模型的探究

基于模型的探究（Models-based Inquiry, MBI）是由温德希特尔、汤普森和布拉登于2008年提出的一种探究式教学模式，采用将建模教学与探究教学相结合的教学模式，注重让学生在探究活动中通过构建和修正科学模型来理解和预测自然界的科学规律^[20]。MBI教学模式包括明确研究对象、提出问题、生成假设、查找证据以测试模型、建立论证修订模型等环节。温德希特尔指出这五个环节并非要按照顺序进行，在探究过程中五个环节不断循环或延伸。模型是MBI教学模式的关键，首先需要有一个初始模型作为学生探究的基础框架；强调依据证据来对模型即相关事物的发生发展过程进行解释和论证；数据的来源是多样化的，可以来自于观察、实验或模型本身；最终所构建的模型可以对未知事物进行预测和解释。

图2是基于模型的探究学习的过程^[21]。图中显示 MBI 始于一个广泛的学习情境,展现出与学生已有经验相关联的科学现象;学生根据该情境以及自身已有的经验,描述现象并提供一个能够解释现象的模型结构,提出一个具有模型内涵的问题;接着依据模型假设变量之间的关系,不同于简单的预测,学生需要设计进

行比较研究的假设和模型;有了假设之后,通过可控的和非可控的实验,收集相关信息、分析数据,从模型出发与数据进行对比,检验之前的假设;最后对所研究的现象做较为深入的论述,根据实证获得的数据,得出对所研究现象的解释,认识到还可能其他的解释,说明如何根据实证需要修正原先提出的模型。

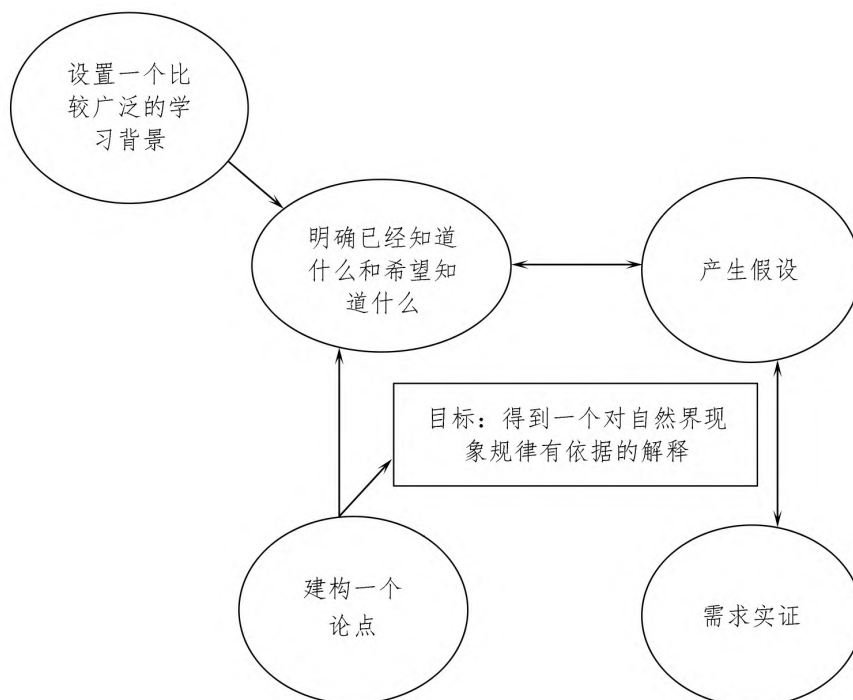


图2 基于模型的探究学习过程

MBI 教学模式将探究与建模活动整合在一起,从而能够发挥其最大的教育价值。其核心思想在于学生像科学家一样,在科学实验探究的过程中,利用收集到的不同数据,创建新的模型或者修改原有的模型来表达对不同科学现象或者过程的理解^[22]。从而在这个过程中,达到对科学知识的深层次认知,掌握科学探究的基本技能。

那么 MBI 适合于什么年级的学生呢?针对这个问题,《框架》中认为建模从最早的年级就可以开始,这时的模型是具体的“图画”和实物比例模型,到了较高的年级,学生的模型逐渐发展为更加抽象的对相关关系的表征。教学中需要鼓励所有年级的学生用模型表示探究过

程中的发现,建构模型对所发生的现象进行解释^[8]。

(4) 关注实证思维的培养——论证式探究 (Argument-driven Inquiry, ADI)

论证是引用证据来说明事理的过程^[23]。在自然科学领域,论证是基于证据说服同行,以证明某一或某些科学观点的过程;在工程技术领域,论证是基于证据,检验解决问题方案是否可行的过程;认知心理学者库恩 (D. Kuhn) 则认为:论证是一个认知过程,在各种不同观点的相互论辩的过程中,产生认知的冲突,促进思维的发展^[24]。且早在 1958 年,就有了著名的图尔敏论证模型,包括主张、数据、理由、支持因素、反驳和限定条件六个成分^[25]。

虽然论证在科学研究中的作用早已为人所知,但直至2010年,才由桑普森等人提出论证式探究的教学模式^[26]。该模型将科学论证环节整合到探究过程中而形成的探究式教学的一种模式,促使学生经历类似科学研究过程中的论证,并以此提升学生的科学思维能力和水平。论证式教学的研究者大多以图尔敏的论证模型为基础,发展出各自对论证式教学的解释。

值得一提的是,《美国新一代科学教育标准》(2013)将“基于证据的论证”作为“科学与工程实践”之一,并在标准中给出了不同阶段该实践的发展进程。我国2020年修订的普通高中课程标准中,在物理、化学、生物等课程的学科核心素养的描述中都关注到论证的作用。且在高中《生物》课标中“形成科学思维的习惯,能够运用已有的生物学知识、证据和逻辑对生物学议题进行思考或展开论证”被确定为课程目标的内容之一。可见,论证式探究教学模式也已被认可为探究式教学的重要模式

之一。

(5) 研究真实情境下的探究——项目化学习 (Project-based Learning)

项目化学习(PBL)源于医学院的教育方法,其核心包括组织和推进活动的真实问题以及所形成的问题解决方案。它符合建构主义与学习科学的理论发展,故而使其在医学、教育、管理、经济等领域获得了广泛的认同和推崇^[27]。随着STEM教育的出现,将科学探究与工程实践统一之后,基于项目的学习被越来越多的运用于科学教育之中。

巴克教育研究所给出了较为公认的PBL的定义:基于项目的学习是一种教学法,可使学生在一段时间内通过研究并应对一个真实的、有吸引力的和复杂的问题、课题或挑战,从而掌握重点知识和技能。该研究所还提出有关高质量PBL的黄金准则,包括七个基本的项目设计要素和七个基于项目的教学实践^[28](见表3)。

表3 高质量PBL的黄金准则

基本的项目设计要素	基于项目的教学实践
1. 解决一个有挑战性的难题 2. 开展持续性的探究 3. 项目要有真实性 4. 学生对项目要有发言权和选择权 5. 学生和教师要在项目中进行反思 6. 评论与修正 7. 公开展示成果	1. 依据情境和学生设计项目、制定实施计划 2. 设计项目时参照教育标准 3. 创设独立、开放、合作的文化氛围 4. 教师和学生共同组织和管理项目的实施过程 5. 教师为学生的学习过程搭建脚手架 6. 教师使用形成性评测和总结性评测评价学生的学习过程与成果 7. 教师参与到学习过程中,并成为学生的导师

我国学者夏雪梅在开展理论与实践研究之后,针对我国实际提出了核心素养视角下的PBL,即学生在一段时间内对与学科或跨学科有关的驱动型问题进行深入持续的探索,在调动所有知识、能力、品质等创造性解决新问题、形成公开成果中,形成对核心知识和学习历程的深刻理解,并能够在新情境中进行迁移^[27]。由此可见,PBL与上述科学探究教学法所不同的在于真实情境的创设和引入。这必然使项目呈现一定的复杂性,学生需要面对这样的复杂性,

进行分析和推理,运用高阶思维,学习解决复杂问题的方法,从而提升其综合素质与能力。

四、结语

以上所分析的多种探究式教学法,各有千秋,各有侧重,且都是在探究式教学发展历程中备受关注和适用范围较广的教学方法。他们体现了“探究”和“实践”作为符合人类认知和心理发展的学习模式,适用于任何深度和广度的学习过程,其本质并非简单的“动手做”,

也非不着边际的“头脑风暴”，而是将学、做、思紧密结合，脚踏实地地对所需要研究和解决的具体问题开展探索与分析，以发展学生的核心知识、技能和高阶思维能力。另一个可见的共同点是都“以学生为中心”，更关注学生学习的过程，而非教师教的过程，学生的能动性对这些教学法的成功都有着至关重要的作用。

值得注意的是，在对上述探究式教学法的过程中，并没有刻意区分正式教育与非正式教育、校内教育与校外教育，这是因为无论是正式的还是非正式的教育，其教育的目的、教学的原理、学习的方式、师生的互动等都是共通的，所不同的是场域、资源、形式、时间等，而这些外部条件并不会构成探究式教育本质属性的改变。在科技博物馆中，各类展品大多可以成为开展探究的对象、工具或产物，且展品中还蕴藏着丰富的科技探究与实践的信息，如“学科核心概念”被发现的过程与方法的信息、科学家和工程师运用或体现“跨学科概念”的信

息等。因此，对于科技博物馆的教育工作者而言，在设计和实施探究活动时，理解探究与实践的本质比生搬硬套其过程更为重要，通过对展品观察、操作、体验、探究的过程，复制、还原出真实的科技探究实践，以帮助学习者通过“基于实物的体验”和“基于实践的探究”加深对“学科核心概念”和“跨学科概念”的理解、加深对探究和科学本质的理解。可以说，科技博物馆所特有的这些教育资源和特征，是开展探究式科学教育的独特优势，也是学校和其它社会教育机构所稀缺的，有效地挖掘其符合探究式教学内涵之处，才能更好地发挥其在科学教育中的价值和作用。

从“探究”到“实践”，再展望未来，或许在新技术层出不穷之后，还会有更多新的探究式教学方法出现，这些方法也会越来越普适，被更多领域所采用，但“以学生为中心开展探索与研究，以促进其全面发展”的内涵和特征相信仍会得以延续和发展。

参考文献

- [1] 韦钰. 神经教育学对探究式科学教育的促进[J]. 北京大学教育评论, 2011, 9(4): 97-117, 186-187.
- [2] 国家研究理事会科学、数学及技术教育中心. 科学探究与国家科学教育标准——教与学的指南[M]. 罗星凯, 译. 北京: 科学普及出版社, 2004: 8.
- [3] 国家研究理事会. 美国国家科学教育标准[M]. 戢守志, 金庆, 梁静敏, 等译. 北京: 科学技术文献出版社, 1999: 30.
- [4] Wynne Harlen. Assessment & Inquiry-Based Science Education: Issues in Policy and Practice[M]. Trieste: lulu.com, 2013: 11.
- [5] 中华人民共和国教育部, 中国科学技术协会. 北京宣言[R]. 北京: ICSU, UNESCO 中国全国委员会, 2000.
- [6] Harlen W., J. Allende (Ed.). Report of the Working Group on International Collaboration in the Evaluation of Inquiry-Based Science Education (IBSE) Programs[R]. Santiago: IAP, 2006.
- [7] 温·哈伦. 以大概念理念进行科学教育[M]. 韦钰, 译. 北京: 科学普及出版社, 2016.
- [8] National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas[M]. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.

- [9] NGSS Lead States. Next Generation Science Standards: For States , By States [M]. Washington , DC: The National Academies Press , 2013.
- [10] 朱幼文. 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 [J]. 自然科学博物馆研究 , 2017(1) : 5-14.
- [11] 叶兆宁 , 杨元魁. 集成式 STEM 教育: 破解综合能力培养难题 [J]. 人民教育 , 2015(17) : 62-66.
- [12] Soo Boon Ng. Exploring STEM Competences for the 21st Century [R]. Geneva: UNESCO International Bureau of Education , 2019.
- [13] 杨元魁 , 叶兆宁. 突破 STEM 教育中科学与工程的链接难题——基于工程问题解决的教學模式 [J]. 人民教育 , 2018(10) : 57-62.
- [14] 迈克尔 J. 普林斯 , 理查德 M. 菲尔德 , 王立人. 归纳式教學法的定义、比较与研究基础(上) [J]. 高等工程教育研究 , 2009(3) : 15-28.
- [15] Schwab J.J. , Brandwein P.F.. The teaching of science as inquiry [M]. Cambridge: Harvard University Press. 1962: 58.
- [16] Banchi H , Bell R. The Many Levels of Inquiry [J]. Science and Children. 2008 , 46(2) : 26-29.
- [17] Germann , P. J. , Haskins , S. , Auls , S.. Analysis of nine high school biology laboratory manuals: Promoting scientific inquiry [J]. Journal of Research in Science Teaching , 1996 , 33(5) : 475-499.
- [18] BYBEE R W. The BSCS E Instructional Model: Personal Reflections and Contemporary Implications [J]. Science and Children , 2014(1) : 10-13
- [19] Burke B.N. The ITEEA 6E Learning By Design TM Model: Maximizing Informed Design and Inquiry in the Integrative STEM Classroom [J]. Technology & Engineering Teacher , 2014: 73(6) : 14-19.
- [20] Windschitl M , Thompson J , Braaten M. Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations [J]. Science Education. 2008 , 92(5) : 941-967.
- [21] 韦钰. 基于模型的探究 [J]. 中国科技教育 , 2012(1) : 72-73.
- [22] Schwarz C V , Gwekwerere Y N. Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching [J]. Science Education , 2010 , 91(1) : 185-186.
- [23] 王星乔 , 米广春. 论证式教学: 科学探究教学的新图景 [J]. 中国教育学刊 , 2010(10) : 50-52.
- [24] Bricker L A , Bell P. Conceptualizations of argumentation from science studies and the learning sciences and their implications for the practices of science education [J]. Science Education , 2008 , 92(3) : 473-498
- [25] Toulmin , S. The uses of argument [M]. Cambridge: Cambridge University Press , 1958.
- [26] Sampson V. , Walker J. , Dial K. et al. Learning to write in undergraduate chemistry: The impact of Argument-Driven Inquiry [R]. Philadelphia: National Association of Research in Science Teaching , 2010.
- [27] 夏雪梅. 项目化学习设计: 学习素养视角下的国际与本土实践 [M]. 北京: 教育科学出版社 , 2018: 2.
- [28] Buck Institute for Education. What is PBL? [EB/OL]. (2020-03-18) [2020-03-18]. <https://www.pblworks.org/what-is-pbl>.

(责任编辑: 刘怡)

From *Inquiry* to *Practice*: The Connotation , Essence and Development of Inquiry-based Teaching Method

Ye Zhaoning

Abstract: By interpreting the connotation and process of inquiry , the essential characteristics of inquiry science education , and the relationship between practice and inquiry , this paper deeply analyzes the evolution of inquiry-based teaching in nearly half a century , as well as various teaching models developed. It shows that in the process of evolution , the essence of inquiry-based teaching has not changed , and it is not affected by any educational field. Multi-level Inquiry Teaching , 5E Learning Loop , 6E Learning by Design Model , Models-Based Inquiry , Argument-Driven Inquiry , Project-Based Learning and other teaching models have their own emphasis and advantages , but they all follow the student-centered principle , pay attention to the learning process , and are suitable for any depth and breadth of learning process. In both formal and informal education environments , teachers' understanding of the essence of inquiry and practice is more conducive to improving the quality and level of education.

Keywords: inquiry , practice , inquiry-based teaching , teaching model

Using Mobile Media Technology to Guide Inquiry-based Learning on Static Exhibits: Taking the Exhibit *Returnable Module of Shenzhou Manned Spacecraft* as an Example

Cui Shengyu Xin Youlong Guo Xin Huang Jian

Abstract: Taking the static display exhibits in science and technology museums as the research object , this paper uses mobile media technology (iBeacon) to develop an information tutoring platform based on Wechat applets. According to the *5E Learning Cycle* , the content of inquiry learning tutoring resources is designed to enable the audience to obtain exhibits' tutoring resources , understand the operation methods , exploration practice , principle interpretation , life application and relevant exhibits recommendation by Wechat auxiliary function *Shake*. This paper also analyzes and discusses about the ideas and specific methods of design and development , in order to help museum staff develop and design science education activities based on static exhibits.

Keywords: science and technology museum , static exhibit , mobile media technology , inquiry learning