



国际理科教育中科学探究理念的发展路径

王晶莹

首都师范大学物理系

北京 100048

电邮: wangjingying8018@126.com

收稿日期: 二零一零年十一月廿八日

(于二零一一年五月廿三日再修定)

内容

- [摘要](#)
 - [引言](#)
 - [标准之前的科学探究](#)
 - [基于标准的科学探究](#)
 - [标准之后的科学探究](#)
 - [结论](#)
 - [参考文献](#)
-

摘要

科学探究一直是国际科学教育领域的热点问题,本文以国际科学教育的纲领性档案,即美国《国家科学教育标准》为界,分析科学探究内涵的发展路径,并对科学探究内涵的变迁展开反思。

关键词: 科学探究; 科学教育; 科学素养

本文系教育部基础教育课程教材发展中心承担的科技部“创新方法工作专项”专项“中小学科学探究学习与创新人才培养实验研究”(2009IM010300)子课题“基础理论研究”的阶段性成果。



引言

科学探究一直是国际科学教育领域的热点问题，从杜威 1909 年首次提出科学应该作为思维方式和认知的态度，将科学知识、过程和方法纳入学校课程以来，至今已有一个世纪，从最初的杜威、施瓦布、加涅以及后来的一大批学者，直到纲领性档的颁布，科学史、科学哲学和科学社会学的深入研究也产生了巨大的影响，人们对科学本质的认识不断深化，对科学探究也赋予不同的意义，它不仅仅是课程与教学的方式问题，更不是价值中立或价值无涉的，不同历史时期科学教育改革所倡导的科学探究具有不同的价值取向。^[1] 本文主要以国际科学教育的纲领性档——美国《国家科学教育标准》为界，探析科学探究理念的发展路径，反思其意义的演进，以期对科学探究的实践研究提供借鉴。

标准之前的科学探究

科学探究在学校科学课程中兴起近一百年，在 1900 年之前，多数学者将科学视为知识的总体，学生经由直接的教学来学习这些知识。对于这种观点的批判起于 1909 年，当时杜威在给美国科学促进学会的信中指出，科学教学太过于强调知识的累积，却对科学作为思考的途径及心智的态度等方面的教育欠缺。纵观美国近一个世纪的科学探究的研究过程，杜威、施瓦布、布鲁纳、萨奇曼、卢瑟福……以及之后的 2061 计划和科学教育标准都凝聚了数代学者对科学探究的探索。毕比 (Bybee) 在总结科学探究的发展史时谈到，科学探究涉及到课程内容、教学策略、学生活动等多个方面；在基础科学教育领域，科学探究不论作为一种教与学的方式，还是教学目标与内容，都有不同的理论基础和价值取向。

(一) 杜威的科学探究目标

杜威(Dewey)最早提出了在学校科学教育中要用探究方法，并将探究纳入到 K-12 科学课程，作为他教育哲学的核心。他认为科学教育不仅仅是让学生学习大量的知识，更重要的是要学习科学研究的过程或方法，最好的方法就是从做中学。他指出科学教育的目标应该发展学生的思维和推理、学习科学和认识科学的过程。^[2] 他提出反省性思维过程的“疑难——问题——假设——推断——验证”五个阶段，不仅科学方法是工具，概念、理论也具有工具性，他推崇近代科学的方法，并不是停留在操作层面，而是认为科学体现了一种新的精神与态度、瓦解旧的信念、树立新的信念；杜威强调的是近代科学在实验方法上对传统思维方式反叛的思维质量，近代科学发展的核心动力是依靠怀疑、探究、假设的精神，他将怀疑和假设作为科学方法的核心。



(二) 施瓦布的探究式科学教学

施瓦布(Schwab)主张教师和课本都应该以探究为主,以探究的形式来教。他认为当今的科学家不再把科学作为静止的真理,而是看作探究的原理、对新证据概念修正的结构,他将探究分为稳定的(stable enquiry)探究和动态的(fluid enquiry)探究,他们的目的和方法都不同。稳定的探究用以解释当前科学知识不断增长的空白,动态的探究是概念结果的引发带来的科学革命。稳定的探究是将教化式的教育作为知识的整体教授给学生,主要是指在一定的科学原理指导下,利用常规的研究方法,发现并积累关于某个问题或现象的科学知识的过程;用于指导探究实践的科学原理本身在这一探究过程中被认为是正确的。动态的探究与稳定的探究不同,它没有现成的科学原理或方法作为探究实践的依据和效仿的对象。它常出现在稳定探究遇到问题的时候,即当稳定的探究利用现有理论或方法不能解决实际问题。动态探究的根本理念是发展一种与传统认识和做法不同的新概念和方法,甚至是理论体系。施瓦布提出“探究的探究”即是教师给学生提供关于研究的材料,学生参与到问题、资料、技术、解释、科学家得出结论等方面的讨论中,进行多种解释、实验、关于假设的争论、事实的运用等。施瓦布还解释了课堂中的探究和叙述探究(Narrative of Enquiry),前者可以看作一种教学方式,还可以看作是课程内容的教学;而叙述探究意味着可以将作为课程内容的探究扩大化,作为教学的探究缩小化,它需要开放性思维,发展结论的准确性和探究的可行性,叙述探究后来发展成个人经验的研究方法。

(三) 布鲁纳、萨奇曼和卢瑟福的贡献

布鲁纳(Bruner)吸取了德国格式塔和瑞士皮亚杰发展心理学的观点,在批判继承杜威教育思想的基础上,逐渐形成了发现学习的模式和理论。布鲁纳在归纳推理和问题解决方面的著作,提供了发现学习的基础,他最有影响力的作品《教育的过程》(The Process of Education),强调教师应该鼓励学生利用探究科学的活动来发展直观(intuitive)和分析(analytic)的技巧。学生在学习情境中必须经过自己主动的探索来获得知识的答案,他们应该按照自己的方式去学习。萨奇曼(Suchman)主要从事培养探究能力的小学理科课程研究,他设计了旨在培养学生探究能力、让学生学会探究的“探究训练模式”,并提出了展示问题情境、建立假设与收集数据、获得解释和反思探究过程的四个基本阶段的主张。他认为知识是探究的结果,应该从过程与结果两个维度评价学生的科学探究能力,注重学生知识获得的过程以及知识的生成性。他倡导探究教学应该为学生有效地探究做准备,使学生熟悉和掌握科学探究的内在逻辑,亲历探究过程,自主地建构知识,培养科学精神与科学素养。卢瑟福(Rutherford)认为探究既是一种科学内容,也是一种科学观念。他主张所有的科学教师都应该了解科学史和科学哲学,具备较高的科学史和科学哲学素养,能胜任作为探究的科学教学。在他看来,科学过程与科学内容的对立、二分是人为造成的,科学在本质上并非如此。结论与产生结论的过程密不可分,学生不可能脱离一方面而认识另一方面。^[3]在卢瑟福看来,科学探究的含义是双重的,一方面探究是科学内容,作为科学事业的探究;另一方面探究是教学技巧,用来学习科学的一



种方法。他认为作为学习方法的探究与作为科学本质的探究是有区别的, 只有在确定所要达到的状况和探究程度的情境下, 探究作为内容和操作的前提才能被理解。不按照探究过程所进行的探究方法也同样可以学到科学探究, 只有在仔细分析实验内容对已知探究的适用性后, 才能培养学生关于探究某方面或者某些要素的体验。

(四) 加涅的科学探究技能和层级

心理学家加涅(Gagne)提出的科学过程方法课程, 是用来培养学生的科学过程技能, 理念来自于加涅的学习层次(hierarchy of learning levels)。在 20 世纪 60 年代初期, 加涅的观点发展成低年级学习的基本科学过程技能(如测量、推理、预测)和中高年级以上学习的统整的科学过程(如 形成假设、控制变量、解释数据);^[4]他认为尽管科学家的探究过程各异, 但探究活动存在一些相同的关键特征或要素, 如观察、分类、描述、操作定义、假设、控制变量、实验、解释数据、形成结论等, 如果学生掌握了这些过程技能, 就能逐渐掌握复杂技能, 直至从事复杂的科学探究。加涅按照八类学习的复杂性程度, 提出了学习的层次理论。基本论点是: 学习任何一种新的知识技能, 都是以已经习得的、从属于它们的知识技能为基础。他把学习理论研究的结果运用于教学实践, 提出从低级到高级八类学习, 依次为信号学习、刺激反应学习、动作链索、言语联想、辨别学习、概念学习、规则学习和问题解决。后四种学习在学校教育中最为重要, 具体到探究教学中, 与基本过程技能和综合过程技能密切相关。

(五) 美国的科学探究综合项目

20 世纪 70 年代后期和 80 年代早期, 美国科学基金会(NSF)资助了一个综合性的全美调查项目, 评价和研究科学教育在美国的地位。其中一个主要部分是由韦尔奇、克劳夫、艾肯海和罗宾逊(Welch, Klopfer, Aikenhead & Robinson)负责调查探究在科学教学中的实践情况。^[5]他们的研究表明, 在科学家群体中, 探究一词以多种方式使用, 包括一般意义上作为内容的探究和作为教学技术的探究, 但是这些术语的概念并不清楚。尽管教师强调探究的正面价值, 但是他们觉得更有责任教授科学事实、与考试有关的知识基础和结构以及学科规范。在调查的教师当中, 大多数人将探究作为一种教学技术, 而不以探究的方式教授科学或引入知识内容, 他们不是利用探究的经验。教师对此给出了很多原因, 有管理课堂的问题、满足州政府的要求、获得教学仪器和设备的困难、担心学生损坏仪器、质疑探究是否真的有效等。研究报告指出, 在改革实践中, 大部分教师都是表面赞同而不是付诸于实践, 教师支持探究教学的最大障碍是他们的意识。教师对课堂中探究意义的认识存在混淆, 对于学科的关注以及学生进行下一阶段学习程度的担忧, 对教授科学事实的追求以及遵从大学教授的模式, 都是阻碍改革进行的负面因素。毕比等人认为虽然遇到了困难, 但是探究教学方式可以推及中学的其他学科, 他们号召将科学作为探究的方式进行教学, 注重科学课堂的实践。他们认为在课堂中进行探究的三个重要因素是: ①教师必须明确地认识什么是科学探究; ②教师必须充分认识生物学本身的结构; ③教师必须熟练掌握探究教学技术的技能。他们的主张明确区



分了两个方面，即探究作为内容被教师和学生认识，探究作为技术来帮助学生学习科学。

(六) 2061 计划中的科学探究

2061 计划是美国科学促进协会(AAAS)为改革 K-12 科学教育而进行的一项长期计划，它对科学教育目标的定位，表达了这样一种理念，即通过对中小學生进行科学教育，使科学素养成为未来美国公民的一种内在质量。卢瑟福首先发起了 2061 计划，他曾提出将科学本质和科学史作为思维方式的培养途径。^[6]2061 计划包括《面向全体美国人的科学》、《科学素养的设计》、《科学教育改革的蓝本》、《科学素养的基准》、《科学素养的导航图》、《科学素养的资源》等一系列出版物，它们是一套完整的科学教育改革工具。

基于标准的科学探究

当我们看到或者听到科学探究时，大都会想到它是科学教育中一种特殊的教与学方式，这仅是它的一个重要应用，美国科学教育标准所阐述的科学探究不仅包含从事探究的能力，还包含对探究本身的认识以及探究何以导致科学发现的认识，旨在让学生懂得人类是如何获得已有知识，以及怎样的证据能够支持我们的认识。

(一) 科学教育标准的阐述

1996 年美国全国科学研究协会公布了《国家科学教育标准》，这是有史以来政府支持制定的第一个全国性科学教育标准，它的突出特征是对探究的认识。“探究”用于学生层面的时候，它的使用就有两种不同的方式：其一，它表示学生需要发展的设计和实施科学实验研究的能力以及应该获得的对科学探究本质的认识；其二，它表示一种能使学生通过调查研究掌握科学概念的教与学的策略。这样，标准就将科学知识 with 科学方法以及科学本质的学习联系起来，也将科学与课堂中的探究联系起来，阐述了师生怎样通过探究来学会“做科学”，从而学习科学知识、了解科学本质。^[7]标准认为，科学探究的内容包含从事探究的能力，对探究的认识以及探究何以导致科学发现的认识。探究的认识与科学知识的关係包括两个方面：①探究的能力以及对探究的认识不可能凭空产生和发展，探究与科学问题紧密相联，学生需要运用他们已经掌握的知识进行探究，并且在探究过程中增长知识；②无论是科学家还是学生，他们的探究活动都是与科学知识融为一体的，他们通过对自然界的观察与研究，建立起新的认识，从而深化自身的科学知识。在参与探究时，学生需要描述物体和事件，提出问题，做出解释，根据现有的科学知识对做出的解释加以检验，并能把自己的看法和意思传达给他人；学生会提出自己的假设，运用判断思维和逻辑思维，考虑各种可能的解释；学生这样做可以把科学与推理和思维的技能结合起来，从而能动地获得对科学的认识。



(二) 标准中科学探究的两条主线

标准中的科学探究主要包括作为课程内容的探究和作为教学方式的探究。作为课程内容的探究是将探究视作教学的目标, 强调科学即探究; 科学不是知识的堆积, 而是一种认识世界的方式, 这种认识方式的具体内涵体现在“作为探究的科学”内容标准之中, 包括探究能力和对探究的认识两个方面。作为教学方式的探究要求 K-12 科学教师认识探究是学生必须发展的一系列认知能力, 科学家从事科学研究所使用的方法, 有助于学生学习科学探究、发展探究能力、理解科学概念的多种教学策略。尽管教学标准明确指出, 探究并非科学教师所要采取的唯一策略, 但各种策略在标准中的地位并不相同, 探究显然是教学标准的核心。

标准之后的科学探究

教育学者对科学探究的认识主要是通过对科学探究过程的描述和探讨来体现的, 他们认为, 掌握科学并不仅仅是了解科学概念和知识, 学生需要发展探究能力, 学会科学的思维方法, 能够在试图解决问题之前细致地描述问题, 判定哪些信息可以用来分析问题, 以及决定描述和分析问题的步骤。通过科学探究, 学生能够获得新的资料, 以改变他们原来的看法, 或者加深他们对重要科学原理的理解, 发展推理、观察以及逻辑分析等方面的重要能力。标准之后的科学探究更强调“识别科学问题”、“科学地解释现象”和“使用科学证据”三个基本维度, 并以科学胜任力为核心。

(一) 与科学本质相关的科学探究

标准之后基础科学教育领域对科学探究的焦点转为探究教学如何整合“认识探究”与“做探究”两个方面。因此, 在涉及“认识探究”的时候, 研究者强调科学探究的本质, 将其看作与科学本质相关的科学认识论的组成部分; 于是, “科学探究”用来指科学知识发展过程的特征, 涉及到发展、接受和使用科学知识的若干惯例; 它是人们认识科学本质和科学素养的中介, 是作为知识建构和确认的方法 (Duschl, 1990)。在讨论探究教学的时候, 研究者将科学探究与教学相联系, 看作是“做探究”的过程, 即课堂中的探究活动 (Flick & Lederman, 2004)。

(二) 科学发展过程的知识论

莱德曼(Lederman, 2007)指出, 科学探究是科学家寻求问题解决的系统取向, 他通过长期的实证研究和教学实践总结了与美国科学教育标准相一致的科学探究的内涵, 他认为科学探究应该包括以下八个方面的分析框架: ①科学研究都是从问题开始的, 但并不都是检验假设的; ②在科学研究中没有单一的模式和步骤, 科学研究的方法具有多样性; ③探究过程以问题的提出为指导; ④科学家即使采用同样的步骤也不一定能得到相同的答案; ⑤探究过程影响到研究的结果; ⑥研究的结论必须与资料的收集过程相一致; ⑦科学资料与科学事实是不同的; ⑧解释来自于对资料的收集和研究者的已有认识。



尽管科学探究与科学过程有很大的联系，但是科学探究并不仅仅是过程技能的发展，它还包括观察、推断、分类、猜测、测量、质疑、解释和资料分析等。^[10] 科学探究包括传统的科学过程，但是也包括这些过程同科学知识、科学理性和批判思维的融合而发展和生成的科学知识。

(三) PISA 的科学胜任力和科学探究

PISA(The Program for International Student Assessment)是由经济合作暨发展组织(OECD)所委托的计划，于 20 世纪 90 年代末期对 15 岁学生的数学、科学及阅读进行持续、定期的国际比较研究；目的是评价学生在完成义务教育之后，是否能够掌握未来生活所需的知识与技能。评价主要分为三个领域：阅读素养、数学素养和科学素养，最近的是 2006 年的第三次 PISA 调查，共有 57 国参加。PISA 2006 阐述了与科学相关的三个方面问题，即科学胜任力(Scientific Competencies)、科学知识和态度，并对科学框架的三个方面进行详细说明，特别强调了科学探究、科学解释和态度对科学胜任力养成的重要意义，^[11] 从 PISA 2006 的测量框架中可以看出标准之后科学探究的基本架构。

1、科学胜任力的三个维度

PISA 2006 确定了科学胜任力的三个维度，即识别科学问题、科学地解释现象和使用科学证据。这三个维度详细地解释为：①可以识别能够进行科学探究的议题，确定搜集科学信息的关键词，识别科学探究的主要特征；②在给定的情境中应用科学知识，科学地描述或者解释现象并预测变化，确定合理的描述、解释和预测；③解释科学证据并做出结论进行交流，确定结论背后的猜测、证据和推理，反思科学和技术发展在社会生活中的应用。

2、关于科学的知识 and 态度

PISA 2006 特别强调有关科学的知识对科学胜任力形成的重要性，其中明确提出了科学探究、科学解释的具体方面，并对探究的态度进行了说明。科学探究主要包括六个方面：①来源(比如科学性问题的)；②目的(比如生成证据来帮助回答科学问题以及目前的观点、模型或理论)；③实验(比如不同的问题需要不同的科学探究和设计)；④资料(比如量化[测量]、质性的[观察])；⑤测量(比如设备和过程内在的不确定性、可复制性、变化、准确性和精确性)；⑥结论的特征(比如经验性的、暂定的、检验的、证伪性的和自我修正的)。科学解释包括四个方面的内容：①类型(比如预测、理论、模型和定律)；②形成(比如现存的知识 and 新的证据、创造力和想象力、逻辑)；③规则(比如逻辑的一致性、证据为基础、基于历史和当前的知识)；④结果(比如新知识、新方法、新技术和新探索)。关于探究的态度主要包括四个方面的阐述：①了解不同科学视角和争论的重要性；②支持事实性信息和推理性解释的利用；③表现对得出结论的逻辑和过程需要；④能够对人类行为造成的环境问题做出判断。



表 1 PISA 2006 的科学框架

科学胜任力	知识	态度
识别科学问题 科学地解释现象 使用科学证据	科学知识: 物理系统 生命系统 地球和空间系统 关于科学的知识: 科学探究 科学解释	科学兴趣 支持科学探究 对资源和环境的责任感

(三) PISA 2006 的科学探究

毕比(Bybee)对 PISA 2006 的框架做了详细分析(图 1),^[12] 他认为框架中的知识和态度都是实现科学胜任力的必要基础, 科学知识是以往强调的科学概念, “关于科学的知识”包括科学探究和科学解释, 比过程技能更具体和深刻; “对探究的态度”是对科学议题的反应, 包括对科学探究的兴趣、支持, 责任感; 情境是以往 PISA 科学素养评价的第三维度。

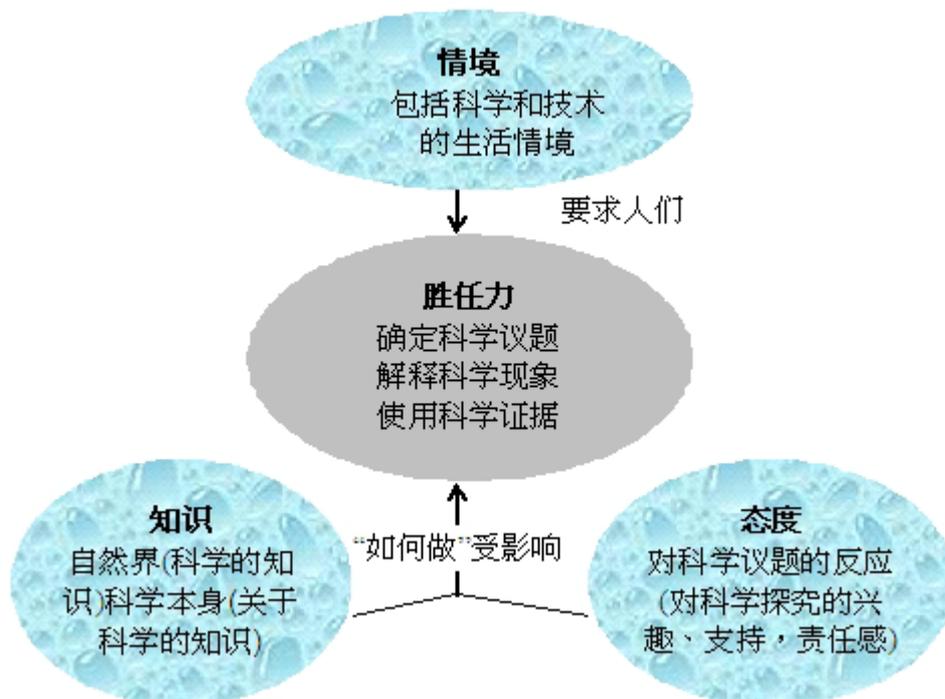


图 1 PISA 2006 的科学胜任框架



结语

综上所述，在国家科学教育标准之前国际科学教育界将科学探究作为实验和科学方法来学习科学知识，后来逐渐将其视为教学方式来发展科学概念；而科学教育标准中的科学探究是作为内容、能力和教学策略的内涵；科学教育标准之后的科学探究是作为一种科学胜任力的意义来理解的。科学探究涉及的范围很广，既指现代科学如何进行的基本原则，与科学本质密切相关的科学知识发展的过程和思维方式，还指教与学的过程。从杜威 1909 年提出科学方法和思维的重要性到现在已经有一个世纪之久，人们对于科学探究的追求在这一百年间从未停止过，从机械、静态的“启蒙理性”到经验本质的“探索与实验”，如今科学的“发现情境”和“辩护情境”的界限逐渐模糊；科学日益具有解释与辩护的性质，它是一种动态变化且情境关联有证据的思想。^[13]美国《国家科学教育标准》强调将科学探究作为教与学的方式、课程内容的双重意义；标准之后的科学探究兼顾“识别科学问题”、“科学地解释现象”和“使用科学证据”三个基本维度，并以科学胜任力为核心。“以科学探究为核心”已经成为国际基础科学教育的共识，各国科学教育改革一直提倡探究式教学，其目的在于通过真实情境的探究过程来生成科学知识和技能，认识科学的本质，从而培养必要的科学素养。科学探究的内涵也在不断演变，由此导致科学教育价值取向的变化，以至整个科学教育的“范式转型”，科学探究既是我国科学教育的追求，也是必然的发展方向。

注：本文系教育部基础教育课程教材发展中心承担的科技部“创新方法工作专项”专项“中小学科学探究学习与创新人才培养实验研究”(2009IM010300)子课题“基础理论研究”的阶段成果。

参考文献

- [1] 丁邦平. 论基础科学课程与教学中“科学探究”的价值取向[J]. 教育科学, 2006(2): 16-19
- [2] Dewey, John. (1910). *How We Think*. Lexington MA: D.C. Heath
- [3] Rutherford, F. J. (1964). The role of inquiry in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 80-84
- [4] Gagne, R. M. (1963). The learning requirements for enquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(2), 144-153
- [5] Welch, W. Klopfer, L. Robinson, J. & Aikenhead, G.S. (1981). Inquiry in school science. In Harms, N. & Yager, R. (Eds.), *What research says to the science teacher*, Washington, D.C.: NSTA
- [6][7] National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press



- [8][12] Bybee, R. W. (2008). Teaching science as inquiry: A 40-year personal perspective. A Presentation for the 40th Anniversary of the Science Teaching Department at the Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel
- [9] 张海和. PISA 研究中科学素养评价的内容[J] 生物学通报, 2005, 40(7): 41-42
- [10] Lederman, N.G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In Abell, S.K. & Lederman, N.G. (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-880). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- [11] OECD. (2006). *Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy*. Paris: OECD
- [13] 李雁冰. 科学探究、科学素养与科学教育[J]. 全球教育展望, 2008, 37(12): 14-18