

# 科学哲学与理科教学的对话： 科学探究与概念转变

李艳梅,郑长龙,王秀红

(东北师范大学 化学学院,吉林 长春 130024)

**[摘要]** 19世纪以来,理科教育界出现了一些致力于促进科学哲学与理科教学之间对话的研究,其中科学探究教学和概念转变教学是科学哲学指导理科教学研究的两个比较深入的领域。科学哲学对于科学探究教学中探究教学程序设计、探究技能的选择与指导、科学本质的认识;对于概念转变教学的概念转变类型、概念转变条件和概念生态的确定都发挥了重要的指导作用。

**[关键词]** 科学哲学;科学探究;概念转变

**[中图分类号]** G42

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1001-6201(2009)04-0095-06

20世纪以来,HPS(History and Philosophy of Science)教育成为国际理科教育的重要课题。HPS教育的关注点主要是把科学史、科学哲学的有关内容纳入理科课程中,以提高理科教育的质量。但正如达西尔(R. A. Duschl)所说“理科教学要探寻学生在建构和重建科学知识过程中的个人认识论问题,这是将HPS应用于理科教学的重要原因”,“致力于将HPS应用于理科教学的研究者们要做的是,应对HPS应用于教学实践的细节性问题展开更深入的研究。”<sup>[1][443]</sup>

从理科教育史来看,致力于运用科学哲学思想指导理科教学实践的研究较少。但随着现代科学哲学的发展,自20世纪以来,理科教育界出现了一些融合了科学哲学思想的理科教学研究,其中,尤为引人注目的两个领域是科学探究教学和概念转变教学。这表明:理科教学与科学哲学展开了积极的对话和交流,人们对科学哲学在指导理科教学实践方面的价值给予了更多的关注。

## 一、探究教学:科学哲学与理科教学基于探究活动属性的对话

如马修斯(M. R. Matthews)所说,对于提倡科学教育中的HPS教育的人来说,关于科学探究的讨论为他们的研究提供了一个重要的领域,在这个领域中HPS能够为相关的具有广泛实践意义的理科教育问题的解决提供理论支撑<sup>[2][25]</sup>。由于知识经验、认知水平等的差异,学生的科学探究与科学家的科学探究在具体的表现形式上必然存在着一定差异,但两者在本质上是相同的,都属于科学探究的范畴,所以学生的探究活动必然表现出科学探究所固有的属性,具有科学探究的基本特征。基于此,大量有关科学探究教学理论与实践策略的探讨都是在科学哲学理论框架下完成的。

**[收稿日期]** 2009-03-20

**[基金项目]** 教育部人文社会科学项目(08JA880013);吉林省社会科学基金项目(2008BJYX05);东北师范大学哲学社会科学校内青年基金项目资助(07QN012)

**[作者简介]** 李艳梅(1977-),女,吉林长春人,东北师范大学教育科学学院博士研究生;郑长龙(1964-),男,吉林长春人,东北师范大学化学学院教授,博士生导师;王秀红(1964-),女,吉林长春人,东北师范大学化学学院教授。

## (一) 科学的一般过程与探究教学程序设计

对科学探究的基本程序进行认识,是组织与设计探究活动的前提。而探究的基本过程问题,是科学认识论的重要研究课题。人们对科学基本过程的认识经历了一个历史演进的过程。从培根(F. Bacon)到卡尔纳普(R. Carnap)的实证主义者认为,科学认识的基本程序是通过观察、实验与测量,获得经验事实的知识,再从经验事实中,通过归纳与假说,上升到定律的知识,从定律的发现中逐渐形成理论。所以,他们认为,基本的认识程序应该是:事实——定律——理论。而证伪主义否认观察事实对于引出假说和定律的作用,主张科学认识的程序是:问题——试探性假说——批判与检验——新问题。但大多数科学家主张的路线是介于归纳主义与证伪主义之间的。为了解决问题,科学工作者通常都要提出假说,然后从假说中做出某种演绎推理,即“观察的预言”;再通过观察与实验,对这个推理进行检验,看它是否正确,进而对假说进行综合的评价,决定是否接受这个假说。这种方法论程序叫做假说——演绎模式。而以库恩(T. S. Kuhn)的范式理论为代表的历史主义科学哲学理论,突出了发现主体在发现过程中的创造性作用,认为“发现是发现者根据特定社会背景下的前提性知识(旧范式),通过自由的心理活动和独特的实践,提出新问题,寻求新方法,形成新概念,建构新理论(新范式)的过程”<sup>[31]</sup>。事实上,程序可能是多样的,离开了具体的调查研究背景,科学探索就难以叙述清楚。没有一个简单的、一成不变的步骤可供科学家们遵循。然而,科学具有某些特性,这种特性使科学作为一种探求模式具有显著的特征。

基于科学哲学对科学探究模式基本特征的阐释,对于教学中科学探究的一般过程,研究者们提出了各自的观点。例如:

- 布里奇、拜比和鲍威尔等人(T. Bridge, R. W. Bybee & Powel)认为,科学探究的基本程序包括:形成问题、建立假设、设计研究方案、检验假设、表达或交流结果等。

- 《美国国家科学教育标准》提出,科学探究的过程主要包括:观察;提出问题;查阅书籍和其他信息资源来寻找已有知识;利用各种工具搜集、分析并解释数据;做出答案、解释或预言;交流结果。

- 美国国家研究理事会认为,科学探究包括形成科学研究问题、收集数据、建立假设、检验假设和交流结果。

- 《英国国家科学课程》将科学探究过程划分为:制订计划、获取并表达证据、思考证据和评价等四个步骤。

从这些划分中可以看到,不同的科学观反映在科学探究教学上表现出了对探究基本要素和程序的不同认识。有的观点倾向于科学认识的归纳模式,强调通过观察获得证据以及对证据的解释和评价;有的观点则侧重于假设的建立和检验,走的是假说——演绎模式的路径。这种对科学探究程序认识上的不同,必然会导致教师在科学探究活动设计上的差异。

## (二) 科学探究方法与探究技能的选择与指导

科学探究离不开科学方法,通过科学探究使学生掌握科学过程和方法是探究教学的重要目标。然而,要实现这样的目标,首先必须解决进行科学探究需要哪些方法和过程技能的问题,而这些问题正是科学方法论能够给予回答的。科学哲学对这一探究教学问题的渗透和影响,主要表现在为学生呈现的探究方法的选择和阐释上。例如:

- 美国科学促进会(AAAS)于1962-1972年间组织编写的《科学——过程的方法》(Science-A Process Approach, S-APA),是一部以培养学生的探究技能为目的的教材,该教材以经验主义科学哲学为指导提出了科学探究应采用的13种方法。这13种方法被分为基本方法和综合方法。基本方法包括:观察、使用空间或时间关系、分类、认识并使用数量关系、测量、交流、预测和推理;综合方法包括:给概念下定义、形成假设、解释资料、控制变量和实验。教材对各种方法进行了详细的介绍,并尝试通过活动来促进学生对科学探究方法的掌握。但其对科学方法的阐释,由于沿袭了经验主义的观点,因而忽略了模型、解释和检验等一些重要的过程和方法<sup>[1]450</sup>。

- 1963年,在美国生物学家、理科教育家施瓦布(J. J. Schwab)主持的《生物课程学习》(Biological Science Curriculum Study, BSCS)中学课程方案中,强调了解释模型的建构和重建,提倡为学生呈现一些科学结论产生和检验的背景和途径,呈现数据的获得方式,以及根据数据进行解释并经过检验,最终形成科学知识的过程。课程中突出强调了确定和界定问题、建立假设、设计实验、收集和分析数据等5

方面探究技能的发展。

·1991年,加拿大理科教育家埃肯海德(G. Aikenhead)主持编写的高中科学教科书《科学和技术中的逻辑推理》(Logical Reasoning in Science and Technology),提供了大量的现代科学哲学理论,用来阐释如何获得知识和对一些科学讨论进行评价。

另外,科学哲学在指导具体探究技能掌握策略的研究上也发挥着不可替代的作用。对探究中问题类型的界定、问题水平的判断;对学生提出假设的经验和理论基础的分析和对探究教学中模型的建立、检验和修正的探讨等等,自然要与科学方法论的内容相联系,以方法论理论为基础。如斯蒂芬(N. Stephen)和威尔逊(V. Willson)关于理科教学中观察本质的争论;卢斯、齐尔(R. S. Russ & R. E. Scherr)利用语言分析认识学生科学探究中的推理机制的研究;马克(W. Mark)对科学探究教学中模型的建立、检验和修正的探讨等,都是在科学哲学理论基础上的研究和讨论。

### (三)科学的基本属性与科学探究中的科学本质呈现

探究教学的根本目的是要让学生通过亲历科学研究的一般过程,学会科学的思维方式,认识科学的本质和价值。科学本质是人们反观科学,对科学的过程和特征所建立的基本观念,是关于科学是什么、科学怎样运转、科学家作为一个社会群体怎样工作、社会怎样既引导科学事业又对科学事业做出反应等问题的理解<sup>[414]</sup>。科学史、科学哲学、科学社会学和科学心理学是建立科学本质认识的基础,其中科学哲学和科学史对于认识科学的本质具有更重要的影响<sup>[4149]</sup>。

早在20世纪60年代,施瓦布就基于科学哲学思想对科学探究中的科学本质教育的内容进行了探讨,认为通过科学探究“应使学生对科学探究的过程和本质特征形成正确认识,使学生认识科学理论的开放性和实证性;科学家的主观意志、想象力和创新精神对科学的影响;社会和文化背景对科学进步的推动或制约作用;观察能力与推理过程对科学的重要意义;理论、假设和定律之间的关系。”<sup>[51]</sup>

探究是科学的重要属性,是反映科学本质的重要方面,从这一意义上说,科学探究的本质也是科学本质不可或缺的重要组成部分。因此,探究教学既是对学生进行科学本质教育的重要途径和载体,同时,也可以增进学生对科学探究的理解,进而达到形成正确、合理的科学本质观的目的。为此,施瓦布又进一步提出了学生应理解的科学探究本质的四个方面,即:

- 科学家利用多种方法进行探究;
- 为了检验个人观点是否合理,科学家需要收集大量证据;
- 科学家在现有知识的基础上运用逻辑思维对问题进行解释;
- 当科学家针对某个问题进行探究时,可能会发现更多值得探究的新问题。

这四个基本方面基本涵盖了反映科学探究本质的核心要素:问题、证据、解释和检验等。

随着科学哲学的发展和HPS教育研究的深入,人们对于科学本质观教育内容的认识也在不断深入。林德曼(N. G. Lederman, 2002)等人在科学哲学理论指导下,结合前人研究成果,对通过探究教学学生应发展的科学本质观内容提出了新的观点:

- 科学知识是试探性的、经验性的和依赖于理论指导的;
- 科学知识在一定意义上是人类的推理、想象和创造力的产物;
- 科学知识是与社会和文化紧密相关的;
- 观察与推理是有区别的;
- 没有唯一而万能的科学研究方法;
- 科学理论和定律的功能不同但又相互关联。

这一观点在目前的理科教育领域获得了普遍的认可。

## 二、概念转变教学:科学哲学与理科教学源于知识增长模式的交流

20世纪50年代以前,科学哲学研究强调的是如何检验和证明科学知识。但从20世纪50年代开始,以库恩为代表的科学哲学家们便开始运用历史学和社会学以及认知科学方面的研究来指导有关科学知识发展和科学概念重建的研究,强调科学哲学不仅应对科学知识的结构,还应对科学知识的生成过

程给予解释。这样,科学知识的生成及演化问题就成为了科学哲学的一个重要的研究领域。基于库恩和拉卡托斯对科学发展模式的论述,波斯纳等人(Posner, et al.)提出了学生的概念转变模型(conceptual change model, CCM),强调“学习过程中的概念转变与科学知识发展具有类似的模式”<sup>[6]</sup>。该理论中渗透着大量的科学哲学家的工作,其对学生概念转变的类型、条件和学生概念生态的探讨更是直接根源于科学哲学对科学进步和发展模式的论述。

### (一) 科学发展模式与学生概念转变的类型

在概念转变的类型上波斯纳采用了皮亚杰的两个词语:“同化”和“顺应”来表述两种方式的概念转换形式。同化是指学生运用已有概念处理新现象的过程,顺应是指学生替换和重组头脑中的核心概念的过程。其后,泰森(L. M. Tyson)(1997)对概念转变的程度做了更详细的研究,提出了基于概念转变程度的两种类型三种形态,即“增加”(addition)和“重构”(revision);按照强度,重构又分为弱重构(weak revision)和强重构(strong revision)。

·“增加”,指在现存的概念结构中概念的增加或删除,学生个体在学习中获得的大量知识能够充实他们原有的知识,这是最一般的概念转变类型,被认为是知识的同化。

·“弱重构”,是在某一概念或某一概念体系的内部结构中进行重组;

·“强重构”,意味着创造新结构,这种新结构的建构可能是学生个体在放弃原有错误概念或者为了解释说明新信息而发生的,类似于科学史中理论的改变。

这些对学生概念转变类型的认识,借鉴了历史主义科学哲学关于科学发展模式的论述。

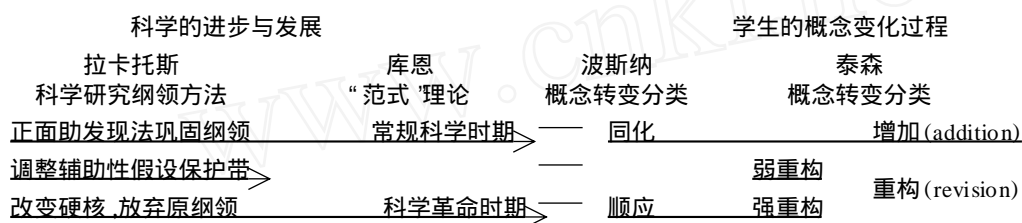


图1 学生概念转变类型的划分与科学发展模式论述的对比

另外,概念变化过程,尤其是强重构过程是革命性的还是演化性的,这是概念转变理论研究争论较大的问题。这一问题的产生,是由于波斯纳最初建立的概念转变理论,是源于库恩关于科学革命的论述。因此,波斯纳认为成功的概念转换过程是一次概念的彻底变革。这样的认识显然过于简单化。而图尔敏(S. Toulmin)提出了关于科学研究中概念变化的与库恩不同的另一种模式——演进模式。纳斯伯姆(Nussbaum)认为,图尔敏的观点恰好反映了他通过记录学生在概念转变过程中的行为所得出的结论:学生的概念变化是一种演变模式,在这一过程中学生在逐渐将新概念的各个因素纳入认知结构的同时,保留了原有概念的一些因素。因此,波斯纳进行了谨慎的修正,提出概念的转变过程是“根本性的但不是突发”的;顺应过程最好被视为不断调整概念,最终使学习者的核心概念发生重组的过程。

### (二) 科学的进步与概念转变的条件

发生在学生头脑中的概念转变的机制是怎样的?这个问题的探讨是以科学哲学关于科学进步及其条件的相关理论为基础的。证伪主义和历史主义科学哲学在有关科学进步的论述中都强调,“应当看到在理论变换的过程中,贯穿着某种‘逻辑’或‘理性’,并且新理论同旧理论相比,能够解释和说明的事例要多得多”<sup>[7]</sup>。

波斯纳等人在描述学生概念转变机制时,提出了概念转变的四个条件:

·对原有概念的不满(dissatisfaction)。学生往往不愿放弃他们原有的概念,除非有充足的理由对它产生疑问。学生对原有概念产生不满主要有两种方式:第一,学生感到自己原有的概念失去了作用,不能解释新的事件或者不能解决当前遇到的问题;第二,学生遇到的新概念与原有的概念产生冲突,新概念无法顺利纳入学生已有的认知结构中。

·新概念的可理解性(intelligibility)。如果新概念不容易理解的话,即使存在明显的问题,原有的概念也只会简单地修复或保持不变。因此,学生需懂得新概念的真正含义。

·新概念的合理性(plausibility)。即使新概念是易于理解的,如果它不十分合理的话,学生接受它的时间也不会长久。学生需要看到新概念是合理的,而这需要新概念与学生所接受的其他概念、信念相互一致。学生看到了新概念的合理性,就意味着他相信新概念是真实的。

·新概念的有效性(fruitfulness)。学生个体应看到新概念对自己的价值,它能解决其他途径所难以解决的问题,并且能向个体展示出新的可能和方向,具有启发意义。有效性意味着个体把它看做是解释某问题的更好的途径。

亨森(Hewson)依据概念转变的条件,提出了三种概念的状态(Conceptual status),即可理解的、可相信的和可广泛应用的。学习者对于概念所处的状态愈高,其发生概念转变的可能性也就愈高<sup>[8]</sup>。

应该看到,概念转变条件的描述,一方面考虑了学生的认知特点,以认知理论作为重要的论述基础,同时也兼顾了概念变化的本体特征,借鉴了科学哲学关于科学进步的理性和有效性标准的论述。

波斯纳等人在提出概念转变模型时,认为当学生在学习新概念的时候,若能满足概念转变的条件,新概念的相对状态就会升高,学生自然而然地就愿意接受新的概念,放弃原有的概念。然而,事实上,实践中的应用并不像该理论所预期的那样。这促使研究者再次重新审视学生概念转变的困难,认为影响学生概念学习的因素不单单只需要满足概念转变模式中的四个条件,还应该有更多因素参与概念转变的过程。借鉴库恩的“范式”(Paradigm)概念,他们把影响概念发展的个体的经验背景称为“概念生态”(conceptual ecology),对影响概念转变的背景因素进行了界定,突出强调了认识论信念、形而上学的信念与观点、概念所无法解释的事例以及可以帮助学习者在旧经验间建立联系的类比与比喻在学生概念转变过程中的意义。

### 三、几点思考

#### (一)关于科学探究与概念转变教学的思考

探究教学的主旨是让学生在“做科学”的过程中,理解科学知识,掌握科学技能和方法,认识科学研究的一般过程,深入理解科学的本质和价值。而这些目标的实现必然要建立在在对探究活动属性和特征的正确认识基础上。科学哲学是将探究教学理想转变成理科教学实践的不可或缺的工具和桥梁。其实,教师在进行探究教学设计和实施过程中都要面对诸如,什么是科学探究?探究活动的基本过程是怎样的?通过探究活动要让学生对科学建立起怎样的认识?这样的问题。虽然有些理科教育工作者不是有意识地运用科学哲学指导探究教学实践,但他们所秉持的科学观,必然会潜移默化地影响其对探究教学的认识和对相关问题的解决。如果教师缺乏正确的科学哲学观念的指导,就可能会为学生呈现扭曲的科学图景,使学生对科学过程和价值产生错误的认识。因此,在教学过程中应力图将科学观念对探究教学的这种隐性的影响显性化,主动地用现代科学哲学思想指导科学探究教学,这样才能完成探究教学深层价值的实现。

概念转变教学是基于科学学习与科学研究之间的相似性,由科学哲学研究成果引发的理科教学思考与实践,因此对于概念转变过程和机制的深层理解和相关问题的解决,必然要以科学哲学理论的深刻认识为基础。解决诸如基本信念与概念转变的作用关系等问题,也需要充分借鉴科学哲学的研究成果。但是,学生的科学学习和概念转变与科学家的科学研究和科学的发展过程之间毕竟存在着一定的差异,所以要正确认识概念转变教学理论,切实落实概念转变教学,还应该以教育学和心理学理论为指导,在教学背景下理解概念转变过程。

#### (二)科学哲学在理科教学中价值的再审视

对于为什么要用科学哲学指导理科教学,相关研究做了一些不同的阐释。如,马修斯(M. R. Matthews)认为科学哲学思想可以帮助教师认识并正确对待学生的学习困难,可以帮助理科教师和课程研制者更清楚地评价当前的理科教育讨论的焦点<sup>[217]</sup>。罗宾逊(J. T. Robinson)强调教师所持的科学观点会影响其教学语言的使用<sup>[1146]</sup>。罗伯特(E. Robert)指出教师在课堂或教学设计过程中会经常遇到像“科学方法的特征是什么?什么是科学解释?价值判断在科学家的工作中扮演什么角色?”这样的问题,而这些问题是科学哲学能够给予解释和解决的<sup>[2183]</sup>。这些论述只是从某个侧面表述了科学哲学在理科

教学中的作用,却没有从本质上揭示将科学哲学引入理科教学指导理论体系的根本原因。通过对两个与科学哲学深入融合的理科教学领域的分析,可以对这一问题建立起更深刻的认识:从科学哲学的功能来看,科学哲学是对科学发展及其本质的反思,因此它是对人类科学知识及科学活动进行理解的基础。理科教育关注的就是以某种方式促进学生对自然科学知识和思想方法的理解和掌握,所以科学哲学自然与理科教育之间存在着广泛的联系。从科学认识活动来看,当我们将科学作为一种创造性的人类活动的时候,科学家与学生之间的类似性就变得非常明显。这种类似性就为将科学哲学引入理科教育理论体系提供了基础。

### (三) 运用科学哲学指导理科教学的研究展望

不论是指导科学探究教学的设计与实施,还是引导学生对概念转变过程的认识,科学哲学,尤其是科学认识论与方法论,都发挥着极为重要的作用。利用科学认识论和方法论研究成果,深入探讨学习过程中观察、实验和解释等过程的意义,是理科教学研究的重要工作。但也应该看到,科学哲学对于理科教学的意义还不仅如此,科学成果的类型、科学理论的结构等本体论内容;科学与技术、社会的关系等科学价值论内容,也同样可以为理科教学知识内容的选择。科学史、科学探究和 STS 内容的引入,以及教学目标、评价策略的选择产生影响并发挥指导作用,从而促进理科教育基本理论研究视域的转变<sup>[9]</sup>。这些内容将是致力于将科学哲学引入理科教学指导理论体系的探索者们的重要研究课题。

### [参考文献]

- [1] Duschl, R. A. Research on the history and philosophy of science. In D. L. Gabel (Ed.), Handbook of research on science teaching and learning[M]. New York: MacMillan, 1994.
- [2] Matthews, M. R. Science teaching: The role of history and philosophy of science[M]. New York: Routledge, 1994.
- [3] 严湘桃, 石义斌, 韦振仕著. 科学发现观的演进[M]. 上虞: 浙江科学技术出版社, 1998: 172.
- [4] Macomas, W. F. The nature of science in science education, rationales and strategies[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [5] Schwab J. J. The teaching of science as enquiry[M]. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1962: 14.
- [6] Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. Accommodation of a Scientific Conception: Towards a theory of Conceptual Change[J]. Science Education, 1982, 66(2): 211.
- [7] 王维著. 科学基础论[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 1996: 300-301.
- [8] 袁维新. 西方科学教学中概念转变学习理论的形成与发展[J]. 比较教育研究, 2003(4): 35.
- [9] 戴军. 后现代哲学思潮对我国教育基本理论研究的影响论要[J]. 东北师大学报: 哲学社会科学版, 2008(4): 164.

## The Dialogue between Philosophy of Science and Science Education : Scientific Inquiry and Conceptual Change Model

LI Yan-mei, ZHENG Chang-long, WANG Xiu-hong

(College of Chemistry, Northeast Normal University Changchun 130024, China)

**Abstract :** Since the 20th century, there emerged some research on science education based on the philosophy of science. The research of scientific inquiry and conceptual change model were the two main topics among those works. Philosophy of science played an important role in the understanding of the process of scientific inquiry, the present of process skills and the cognition of the nature of science in inquiry based teaching. At the same time, philosophical works affected the understand of the forms of conceptual change, the conditions of accommodation and the define of the conceptual ecology profoundly.

**Key words :** philosophy of science; scientific inquiry; conceptual change

[责任编辑:何宏俭]