

科学实践视角下的“证据”与“模型”^{*}

顾 晔¹, 陈廷俊²

(1. 南京大学教育研究院, 210093; 2. 江苏省南京市金陵中学, 210005)

摘 要:《下一代科学教育标准》将“科学实践”作为科学教学改革的核心词,并提出了包括“参与证据论证”和“开发和使用模型”在内的 8 个科学实践活动。《普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》提出了包括“证据推理与模型认知”在内的五个学科核心素养,《义务教育化学课程标准(2022 年版)》也将核心素养的内涵纳入课程目标。通过三版标准中关于“证据”与“模型”内容内涵和进阶水平的比较研究,分析在现有初、高中化学课程标准的框架下进行“证据”与“模型”素养学习进阶教学的必要性,在此基础上引入三种科学论证模型和一种基于科学本质的提问方式。

关键词:高中化学;科学实践;学科核心素养;证据;模型

2011 年,美国国家研究理事会(NRC)在《K-12 年级科学教育框架》中提出基础教育阶段科学课程的三个基本维度,包括科学与工程实践、学科核心概念和跨学科概念^[1],要求围绕跨学科概念或学科核心概念组织实践来促进学生理解科学本质,提升学生科学素养^[2]。2013 年,《下一代科学教育标准》(Next Generation Science Standards,以下简称“NGSS”)将“科学与工程实践”(本文侧重其中的“科学实践”)作为科学教学改革的核心词。这标志着科学教学重心由“探究”转向

“实践”,对于改进科学课程教学、发展学生科学素养具有极为重要的意义。

我国教育部 2022 年颁布的义务教育各学科课程标准将核心素养纳入课程目标。其中,《义务教育化学课程标准(2022 年版)》(以下简称“义教课标”)提出了包括化学观念、科学思维、科学探究与实践和科学态度与责任

^{*} 本文系江苏省教育科学“十四五”规划 2021 年度课题“高中化学认知模型建构的实践研究”(编号:D/2021/02/540)的阶段性研究成果。

在内的核心素养^[3]。此前,《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》(以下简称“高中课标”)提出了高中化学学科核心素养^[4]。其中的“证据推理与模型认知”等核心素养对学生理解科学本质有重大意义,与义教课标中的科学思维、NGSS中的科学实践有较大重合。本文拟对三版标准中“证据”与“模型”素养的内涵和学习进阶进行比较研究,并在此基础上提出相应的教学策略。

一、三版标准中的“证据”与“模型”

(一) NGSS中的“证据”与“模型”

NGSS提出的科学实践包括以下8种实践活动:(1)提出问题与界定问题;(2)开发与使用模型;(3)策划与实施科学调查;(4)分析和解释数据;(5)运用数学与计算思维;(6)建构解释与设计解决方案;(7)参与证据论证;(8)获取、评价和表征信息。^[5]以上活动不是孤立存在的,彼此相互关联和覆盖,且需要和学科核心概念相结合,即在科学实践活动的情境下去学习学科核心概念。NGSS在“附录F”中根据不同年级学生的发展水平,将科学实践划分为不同的进阶层次。^[6]对应“证据”与“模型”,本文主要侧重对“参与证据论证”和“开发和使用模型”进行分析。

NGSS中的“参与证据论证”是对模型和解释本身及其创建的过程进行评估和证明。在科学实践中,基于证据的推理和论证对确定自然现象的解释(科学解释)至关重要(在工程中,推理和论证用来确定最佳解决方案。本文对此不予讨论)。在面对自然现象的解释(科学)和真实问题的解决过程(工程)中,不同群体(共同体)达成共识之前一般都要经历争辩,学生也需要像科学家那样进行基于证据的论证(甚至辩论),用证据去捍卫自己的观点,最终达成共识。“开发和使用模型”是指建构、采用、评估和修改现象的表征,以

物理、图像和数学等形式推进人类关于世界如何运作的理解。模型是科学共同体对物理系统和自然现象进行表征、探究和解释的主要手段,也是科学家对研究对象进行预测、控制的基本途径,是自然科学和人类认知研究的重要内容。NGSS在“附录F”中对“模型”进行了科学和工程两方面的阐述,此处的“模型”需要在学生的预测与真实世界的比较中不断完善(逼近自然现象),这样得到的模型还要基于新的证据进行修正。^[7]

(二) 高中课标中的“证据”与“模型”

高中课标中的“证据”与“模型”主要集中在“证据推理与模型认知”学科核心素养中。“证据推理”是指具有证据意识,能基于证据对物质组成、结构及其变化提出可能的假设,通过分析推理加以证实或证伪;建立观点、结论和证据之间的逻辑关系。^[8]“模型认知”是指知道可以通过分析、推理等方法认识研究对象的本质特征、构成要素及其相互关系,建立认知模型,并能运用模型解释化学现象,揭示现象的本质和规律。^[9]此外,高中课标在“课程目标”中要求学生:初步学会收集各种证据,对物质的性质及其变化提出可能的假设;基于证据进行分析推理,证实或证伪假设;能解释证据与结论之间的关系,确定形成科学结论所需要的证据和寻找证据的途径;能认识化学现象与模型之间的联系,能运用多种认知模型来描述和解释物质的结构、性质和变化,预测物质及其变化的可能结果;能依据物质及其变化的信息建构模型,建立解决复杂化学问题的思维框架。^[10]高中课标中无论是核心素养内涵还是课程目标都把“证据”与“模型”进行了密切的关联,这与NGSS科学实践中的“参与证据论证”和“开发和使用模型”联系密切较为一致;但二者在科学实践水平和学业质量进阶水平

的标准方面存在一定差异。高中课标中的“证据”主要用来进行基于(实验)证据的推理,而“模型”更多是借助模型(包括实物模型和认知模型)进行认知,几乎没有涉及利用新的证据去评价甚至修正模型。

(三) 义教课标中的“证据”与“模型”

义教课标中的“证据”与“模型”分别隶属于“科学思维”“科学探究与实践”素养。“科学思维”包括基于实验事实进行证据推理、建构模型并推测物质及其变化的思维能力,在解决与化学相关的真实问题中形成的质疑能力、批判能力和创新意识;“科学探究与实践”包括运用简单的技术与工程方法设计、制作与使用相关模型和作品的能力。^[11]可以看到,义教课标将“证据”与“模型”素养融入科学实践中,但又没有完全实现从“探究”到“实践”的转变。鉴于我国科学教育的现状和课程标准的总体框架,没有进行跨越式的转变也是有一定道理的。

二、三版标准中“证据”与“模型”的进阶水平比较

NGSS以科学与工程实践、学科核心概念和跨学科概念三大维度为基础,从物质科学、生命科学、地球与空间科学和工程技术与科学应用四个学科领域架构了综合科学教育体系,而我国义务教育(7到9年级,个别省份或地区除外)和普通高中阶段,科学学科(包括物理、化学、生物学、地理等)实施分科教学,课程标准也是分科编写的。对于科学实践中的“证据”与“模型”,NGSS更加注重大科学视域下的科学实践共性的活动及水平;我国课程标则更加注重学科视域下的学生学业质量水平。这两种视域下“证据”与“模型”的比较,可以让教师更加宏观地考量学生学业质量水平的横向一致性和纵向贯通性。

NGSS是面向K-12全学段学生编写的

科学教育标准,其科学实践的水平进阶也是从幼儿园到高中全面覆盖的,具体分为4个阶段:K-2年级、3到5年级、6到8年级和9到12年级(美国各州的学制还略有差异,同一个州会有多种学制,例如马萨诸塞州就有“4、4、4”和“5、3、4”两种主要学制),中学包括初中(Middle School,简称MS,5到8或者6到8年级)与高中(High School,简称HS,9到12年级)^[12]。考虑学段的一致性,选取NGSS中6到8年级的科学实践内容与义教课标进行进阶水平比较;选取NGSS中9到12年级的科学实践内容与高中课标进行进阶水平比较。

(一) 内容呈现

1. NGSS中“证据”与“模型”的相关水平

NGSS中,9到12年级“参与证据论证”的水平,在K-8年级水平的基础上进阶到“使用适当和充分的证据和科学推理来捍卫和批评关于自然的主张和解释,论证当代科学或历史科学事件”;“开发和使用模型”的水平,在K-8年级“经历开发运用和模型的过程”的基础上进阶到“能展示自然世界中系统和组成部分的变量之间的关系”。具体内容详见下页表1^[13]。

2. 高中课标和义教课标学业质量水平中的“证据”与“模型”

不同于NGSS中的科学实践,我国高中课标以化学学科核心素养及其表现水平为主要维度,结合课程内容,对学生学业成就表现进行整体刻画,其中关于“证据”与“模型”的学业质量水平主要存在于“宏观辨识与微观探析”“证据推理与模型认知”和“科学探究与创新意识”等素养的学业质量水平中(详见下页表2^[14])。义教课标中的学业质量水平以初中化学课程对核心素养的目标要求为依据,结合课程内容对学生学业成就的具体表现特征进行整体刻画,其中关于“证

表 1 NGSS 9 到 12 年级科学实践水平

水平	具体内容	
	参与证据论证	开发和使用模型
1	根据目前公认的解释、新证据和伦理问题,比较和评估相互竞争的论点或设计解决方案。	能评估同一过程、机制或系统的两种不同模型的优点和局限性,并选择或修改最切合证据或设计标准的模型。
2	评估当前公认的解释或解决方案背后的主张、证据和(或)推理,以确定论证的优点。	设计一个模型测试来确定它的可靠性。
3	通过推理和证据,挑战观点和结论,对不同的观点进行深思熟虑的回应,并确定解决矛盾所需的额外信息,提供和(或)接受对科学论证的批评。	开发、修改和(或)使用基于证据的模型来说明和(或)预测系统之间或系统组件之间的关系。
4	基于数据和证据构建、使用和(或)提出口头和书面论证或反驳。	开发和(或)使用多种类型的模型来提供机理解释和(或)预测现象,并根据优点和局限性在模型类型之间移动。
5	根据有关自然世界的证据,或反映科学知识和学生生成的证据的设计解决方案的有效性,提出并捍卫主张。	开发一个复杂的模型,允许对提议的过程或系统进行操作和测试。
6	基于科学理念和原则、经验证据和(或)基于相关因素的逻辑论证,评估现实世界问题的竞争性设计解决方案。	开发和(或)使用模型(包括数学和计算)生成数据,以支持解释、预测现象、分析系统和(或)解决问题。

表 2 高中课标中“证据”与“模型”相关的学业质量水平

水平	具体内容	
	证据推理	模型认知
1	—	能运用原子结构模型说明典型金属和非金属元素的性质。
2	能收集和表述实验证据,基于实验事实得出结论。	能从原子结构视角说明元素的性质递变规律。
3	能收集并用数据、图表等多种方式描述实验证据,能基于现象和数据进行分析推理得出合理结论。	能采用模型、符号等多种方式对物质的结构及其变化进行综合表征。
4	能用数据、图表、符号等描述实验证据并据此进行分析推理形成结论。	—

表 3 义教课标中“证据”与“模型”相关的学业质量水平

序号	具体内容	
	证据推理	模型认知
1	—	能根据科学家建立的模型认识原子结构;能通过溶解度和溶解度曲线描述物质的溶解程度。
2	—	从宏观、微观和符号相结合的视角说明物质变化的现象和本质。
3	能对观察、记录的实验现象和数据进行分析、处理,对实验证据进行分析和推理,得出合理的结论。	—

据”与“模型”的具体内容详见表 3^[15]。

(二) 差异分析

1. 学科边界的差异

NGSS 在学科边界上做了突破,注重自然、生活中的实际,根据有关自然世界的证据或反映科学知识和学生生成的证据,设计解决方案,提出并捍卫主张。我国高中课标和义教课标中的学业质量水平更注重从学科视角提出对应的要求,“证据推理”侧重化学实验探究视野下“收集并用数据、图表等多种方式描述实验证据,能基于现象和数据进行分析推理得出合理结论”。我国高中课标和义教课标中的“模型认知”侧重能用原子结构等模型对物质性质进行说明和表征;而 NGSS 在相同年段更加侧重设计、开发模型甚至用来解决问题,在模型的内涵上和模型应用水平上尚有差距。

2. 前后关联的差异

NGSS 中科学实践的进阶水平无论是“参与证据论证”还是“开发和使用模型”都有 K-12 年段的连续递进的水平进阶。以“开发和使用模型”为例,K-2 年级要求学生能辨别模型和实物,能用模型表示数目、关系、相对大小等;3 到 5 年级要求学生能指出模型的局

限性,能开发或运用模型描述一个科学定律;6 到 8 年级要求学生在之前水平的基础上进一步开发、运用和修饰模型,如能评估模型的局限性,能开发一个简单系统的模型(带有不可预测因素的),能开发或改进一个模型预测不可观察(但可以预测)的现象。

我国高中课标中的学业质量水平与义务教育阶段关于模型认知的要求基本一致,“模型认知”主要考查运用模型描述、解释一些具体的实验现象,采用模型对物质的结构及其变化进行综合表征,在开发模型或者评价模型上几乎没有要求。因为,此前没有相关的标准提出对学生“模型认知”的评价。“参与证据论证”活动的进阶差异也很明显,我国高中课标侧重学生能够基于证据作出推理,“能够收集并用数据、图表等多种方式描述实验证据”,而未涉及“通过推理和证据,挑战观点和结论,对不同的观点进行深思熟虑的回应,并确定解决矛盾所需的额外信息,提供和(或)接受对科学论证的批评”这一 NGSS 中同学段的进阶水平要求;义教课标的学业质量要求与高中课标基本一致,能对观察、记录的实验现象和数据进行分析、处理,对实验证据进行分析和推理,得出合理的结论。

三、培育“证据”与“模型”素养的教学策略

无论 NGSS 还是我国课程标准中“证据推理与模型认知”等学科核心素养的进阶,若要在教学中落地生根,还需为学生开发真实的科学实践的活动情境,让学生在实践活动中有参与科学论证的机会,能基于证据进行交流、辩论。美国《K-12 年级科学教育框架》强调的科学论证是指促进学生参与基于证据的论证活动,支持其对推理和实证证据的理解;NGSS 也指出课堂教学应该围绕科学论证展开。培育“证据”与“模型”素养的教学可以通过科学实践活动实现。对应化学基本概念、化学实验和化学基本原理的教学,本文介绍三种科学论证模型和一种基于科学本质的提问方式。

(一) ADI 科学论证模型

ADI (the Argument-Driven Inquiry) 是一种渗透式论证教学模型。^[16]教师基于该模型组织学生开展论证式实验探究活动,包括八个教学阶段:(1) 明确任务和问题;(2) 设计方案和收集数据;(3) 分析数据和初步展开论证;(4) 论证;(5) 反思性讨论;(6) 写探究报告;(7) 双盲评议;(8) 修改和上交报告。该教学模式突出在实验环境下通过小组合作设计实验方案和实施探究过程,重视对实验数据和结果的分析和论证。在论证和双盲评议等阶段,学生需要基于证据进行推理,利用证据进行观点的反驳。物理、化学、生物学等学科的证据主要建立在严格的实验基础之上,需通过严密的实验设计收集证据为科学主张与假设提供支持。ADI 模型为“能用数据、图表、符号等描述实验证据并据此进行分析推理形成结论;能对实验方案、实验过程和实验结论进行评价,提出进一步探究的设想”的落实,提供了良好的教学框架。

例如,“化学反应速率及其影响因素”作为高中化学课程中的学生必做实验,必修模块和选择性必修模块的要求可以在科学论证的基础上进行进阶式的安排:必修模块更加侧重前五个阶段的教学,学生能通过实验现象得出温度、浓度、催化剂等外界条件是如何影响化学反应速率的;选择性必修模块,学生需要完整经历八个阶段的科学论证,利用自己收集的证据对实验方案提出自己的观点,基于证据对实验方案进行修正直至提出新的实验方案,并与同学进行交流。

(二) PCRR 科学论证模型

PCRR (Present, Critique, Reflect, Refine) 是一种适合概念学习的科学论证教学模型,包括呈现、批判、反思和提炼四个阶段。^[17]该模型能够帮助教师在课堂上持续创造科学论证的学习氛围,促进学生对科学概念的整合理解,支持基于模型的科学教学,让学生模仿科学家在研究和同行评审中完成工作的程序完成学习。PCRR 模型是一种循环论证教学模型(如图 1 所示)。

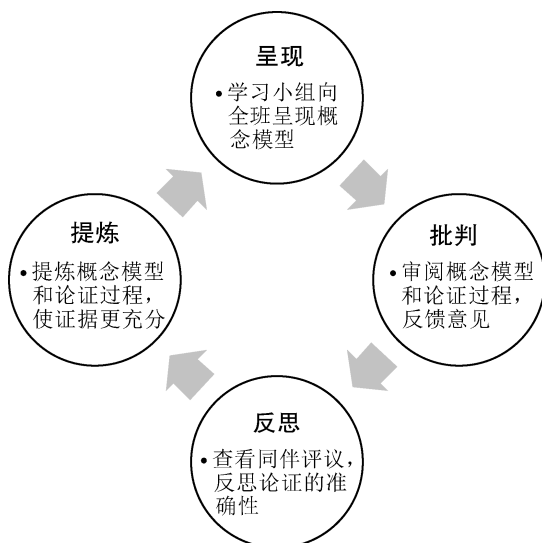


图 1

例如,“氧化还原反应”是高中化学核心

概念之一。首先“呈现”的是初中化学中从“得氧、失氧”角度定义的“氧化反应”和“还原反应”；“批判”阶段，可以引导学生从其他视角分析这些反应，探索能否提出更好的定义；分组讨论后，进行基于“同伴意见”的“反思”；最后的“提炼”阶段，得出氧化还原反应新的概念模型。当学生提炼出“氧化反应和还原反应是同时发生的”，得到最朴实的氧化还原反应概念模型后，进入第二次循环，“呈现”“不是所有的氧化还原反应都有氧元素参加”，再次进行“批判”“反思”和“提炼”，得出从化合价变化视角认识的氧化还原反应。如此往复。

（三）MEL 科学论证模型

MEL (Model Evidence Link), 包含模型、证据和链接 3 个要素，并分别对应筛选模型、收集证据和建立链接 3 个活动。^[18] 该教学模型不但注重基于证据进行推理的能力，更注重通过证据评估模型的有效性，进而促进学生建构科学的模型。这与化学学科核心素养中的“证据推理与模型认知”“科学探究与创新意识”高度契合。高中化学教学中的模型包括实物模型和理论模型两类：实物模型可以帮助学生认识抽象的微观视角和微观粒子之间的连接方式；而理论模型往往是在科学发展史中不断发展和修正的，包括电离理论、配合物理论、价键理论、价层电子对互斥理论等。这些理论都经历了科学家若干年的发展、完善。MEL 科学论证教学模型可以让学生像科学家一样去思考，对经典模型进行基于证据的批判（性思考），再基于新的实验结果等建构新的模型。

例如，电离理论在建立初期（学生认知初期）有两个相互对立的理论模型：模型 A“电解质在水中自发电离”，模型 B“电解质在电流作用下在水中电离”。教师基于科学史素材提供 4 个证据，学生在此基础上进行证据

的关联度判断（强烈支持、支持、反驳等），最终形成正确的理论模型。

（四）基于科学本质的提问策略

为提高学生在科学实践活动中的参与度，主动进行科学论证活动，教师提问的方式也需作出改变，减少结论性的问答，多尝试“是什么”和“怎么做”的提问方式，在教学中向学生提出“科学本质型问题”^[19]。Lisa S. Fanning 等以地理学科的问题情境（科学家不能直接测出多数海底的深度，他们会利用海底的回声到达时间进行估测^[20]）为例，说明如何通过提问让学生理解“科学知识在面临新证据时可以进行修正”和“科学知识基于经验证据”，在提问过程中出现了“*What evidence or proof do scientist ...*（科学家有什么证据来……）”“*How are data explained or interpreted ...*（这些数据怎么解释……）”。这样的提问方式，可以培养学生的证据意识，让学生主动地为自己即将作出的结论寻找具有支撑性的证据，进而提出新的模型或者选择合适模型。在高中化学教学中，教师也可以寻找类似真实的问题情境，改变自己的提问方式，减少知识性的提问。

例如，教师以海边的栈桥钢铁生锈为真实情境，通过提问引导学生追求科学本质：“海边钢铁生锈的速率比淡水附近的快。如果你是这方面的专家，如何对该现象作出合理的解释？能说说你的证据吗？如果同学们的结论有差异，能说说你们反驳的理由吗？”

四、结语

借助“证据”与“模型”两类科学实践活动在三版标准中呈现差异的比较，我们可以反思科学探究（实践）还有哪些没有做到位的，对一些核心概念的理解是否还有偏差。这样无论科学探究还是科学实践，遵从科学活动的一般程序和原则，教师的“教”才能更加突出科学实践的要素，学生的“学”才能更加真

实地体验科学实践的各项活动,学生的学科素养才能有实质性的提高。“科学探究”往“科学实践”的转化,重点不在名称的改变。结合我国目前普通高中理科教学的发展现状,科学探究这件事情还没有完全做到位。如果只是为了追求名词上的统一,其最终的结果无非又是文章、课题选题的一时“热闹”。如不先做好扎根本土课堂的教育科研工作,怎知“科学实践”不会成为下一个“科学探究”呢?^[21]

参考文献:

[1] NRC. A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas[M]. Washington, DC: The National Academies Press, 2012: 12.

[2] 林静. 教作为实践的科学——美国科学教育实践转向的内涵、依据及启示[J]. 教育科学, 2014(1): 79 - 83.

[3][11][15] 中华人民共和国教育部. 义务教育化学课程标准(2022年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022: 5, 6, 37 - 38.

[4][8][9][10][14] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017年版 2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 3, 4, 4, 5 - 6, 65 - 67.

[5] Achieve. NGSS Front Matter [EB/OL]. [2023 - 12 - 07]. http://www.nextgenscience.org/sites/default/files/Final%20Release%20NGSS%20Front%20Matter%20-%206.17.13%20Update_0.pdf.

[6][7][13] Achieve. APPENDIX F—Science and Engineering Practices in NGSS [EB/OL]. [2023 - 12 - 07]. <https://www.nextgenscience.org/sites/default/files/resource/files/Appendix%20F%20%20Science%20and%20Engineering%20Practices%20in%20the%20NGSS%20-%20FINAL%20060513.pdf>.

[12] 罗玛, 王祖浩. 国际科学、技术与工程教育改革的范例——美国马萨诸塞州 STE 标准草案述评[J]. 外国中小学教育, 2017(12): 60 - 66.

[16] 任红艳. 科学教育中论证教学的缺失和回归[J]. 教育研究与实验, 2018(4): 57 - 61.

[17] 弭乐, 郭玉英. 渗透式导向的两种科学论证教学模型述评[J]. 全球教育展望, 2017(6): 60 - 69.

[18] 朱燕, 俞嘉燕, 任红艳. 基于模型—证据链的科学论证教学研究进展[J]. 化学教育(中英文), 2021(9): 88 - 94.

[19] 康琪. 将科学本质教育落实到科学课堂实践中——基于美国新一代科学教育标准中科学本质的启示[J]. 当代教育科学, 2016(24): 52 - 55 + 60.

[20] Lisa S. Fanning, Krista L. Adams Source. Bridging the three dimensions of the NGSS using the nature of science[J]. Science Scope, 2015(2): 66 - 73.

[21] 唐小为, 丁邦平. “科学探究”缘何变身“科学实践”? ——解读美国科学教育框架理念的首位关键词之变[J]. 教育研究, 2012(11): 141 - 145.