

国际科学教育建模教学研究综述

——基于教师发展视角

史 凡¹, 王 磊²

(1. 北京师范大学 化学学院, 北京 100875;

2. 北京师范大学 未来教育高精尖创新中心, 北京 100875)

[摘 要] 建模是科学探究的一项核心活动, 建模能力的培养是科学教育的核心素养培养目标之一。通过梳理有关科学建模能力评价及培养的多篇国内外文献, 从教师教育研究的视角, 对教师有关模型和建模本质和功能的理解、教师建模知识的内涵及构成、教师建模教学知识的评价以及教师建模的实践研究四个方面对已有研究进行梳理, 可以发现, 国外对于教师模型与建模知识的探查研究较为丰富, 但结果并不乐观; 对于教师建模教学专业发展的理论与培训研究日益丰富, 但对基于教学实践来研究教师建模教学活动及教学策略的关注不足。

[关键词] 科学建模; 教师专业发展; 建模教学

[中图分类号] G421 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-7469(2019)05-0089-15

在我国新颁布的《普通高中课程标准》中, 物理学科和生物学科均将“科学/理性思维”作为核心素养之一提出。“科学思维”是科学教学的核心, 而构建和使用模型是形成科学思维的基本途径。^[1]且两个学科在其“科学/理性思维”素养维度的内涵解读中均提到了构建与应用模型来进行解释和预测的能力要求。而化学学科在其核心素养中, 直接将“模型认知”上升到一级维度上, 作为其学科核心素养之一提出明确的培养要求。可见, 对于模型的理解以及建模能力的培养已经成为新一轮理科课程培养的重要目标之一。与之相应的是, 近十年来, 科学建模在其他许多国家的课程纲领性文件中都有所体现, 被认为是科学教育核心素养的重要组成部分。^[2]

在科学教育研究领域, 对于建模的已有研究, 大都集中在对于学习者(学生)对模型与建模有关的知识、实践活动以及能力表现等学习的最终结果刻画上。而从教师的视角来探查教师对于模型与建模的理解, 聚焦教学过程本身来刻画教师的建模教学研究能力的研究相对较少。本文试图从教师教育研究的视角, 总结目前国际研究中已

[基金项目] 北京市未来教育高精尖创新中心资助项目“中学化学智能分析工具开发与应用研究”(项目编号: BJAICFE2016SR-009)。

[作者简介] 史 凡, 北京师范大学化学学院博士生; 王 磊, 北京师范大学未来教育高精尖创新中心主任、教授、博士生导师。

经逐渐开始强调但仍然研究的相当不充分的教师建模教学能力的评价及发展研究现状,以期为实现基于建模的有效教学实践提供启示与建议。

一、教师对模型与建模的本质和功能的理解

模型对于发展人们对世界本质的科学理解作用重大,同时模型本身也在多种方式上支持着我们的科学教学。教师在学生建模学习的过程中,承担着设计和开发建模活动历程,组织和协调建模活动的实施,提供及时的支持、引导等重要角色。因此,对于科学教师而言,理解模型在科学教育中的本质和功能是非常有必要的。只有教师自己先理解了模型的本质和功能以及建模的历程,才有可能帮助学生有效地参与到与建模有关的学习实践当中。^[3]因此,从教师视角开展的有关模型与建模的研究,很多都集中在教师对于科学学习和教学中模型及建模作用的想法方面。^[4-6]

该领域的许多相关研究结果都表明,尽管我们的教师在课堂教学中使用了许多模型来教授学生科学知识,例如物理学科中的磁感应线、化学学科中的原子结构示意图、生物学科中的DNA双螺旋图谱等,但是却很少有教师能够真正意识到在科学课堂中使用这些模型的价值。教师或者只把模型看作是一种简单的视觉辅助作用,不认为模型可以帮助学生理解科学模型的建构和使用过程;或者能够认识到模型对于复杂或者抽象概念的解释功能,但很少能够认识到模型的预测功能以及作为一种间接进行系统观察的工具的功能。总而言之,教师对于模型本质及功能的理解是相当不充分的,大部分教师并不把建模看作是一个真实的科学探究过程,也不理解模型的一些最重要的功能。^[7]

因此对于教师教育研究者而言,如何提升教师对于科学模型本质及功能的理解,发展教师的模型及建模知识,是提高科学建模教学质量的重要前提。有学者通过对有关模型与建模研究文献的梳理,指出教师应该要从模型的本质、建模的目的、模型的多重性、模型的发展性以及模型在课堂中的作用这五个方面对有关模型与建模的本质及作用建立起清晰的认识框架(详见表1)。研究者可以从上述五个方面入手,对教师有关模型与建模本质和功能的理解进行深入探查和提升。

二、教师建模知识的内涵及构成

教师知识(teacher knowledge)反映了教师对于特定领域知识的理解,影响着教师的教学实践,有益于教学和教师教育的发展。因而对于教师专业发展的研究,往往离不开对于教师知识的内涵和构成的研究。同样,要想指导教师进行有效的建模教学实践,对于教师教育的研究者而言,建立一个清晰的科学建模的教师知识内涵及构成框架是至关重要的。

基于舒尔曼(Shulman)等对于教师知识的构成及内涵的相关定义,有学者将有关

表1 有关模型本质及其在科学课堂中作用的总结

主题	总结
模型的内涵	•模型是对于特定目标的一种表征
	•模型是连接理论与现象的桥梁
模型的功能	•模型可以用来对现象进行描述、解释和预测,或者用来进行客观观点的交流
	•模型的功能是通过用非语言的符号,运用类比或者心理的和外部的模拟等方式来实现的
模型的多重性	•对于同一个学习目标,可以借由多种模型来实现,因为科学家们对于认识对象的特征及工作原理会有不同的观点,而且有多种可用的符号资源来构建模型
	•每一个模型都是有局限性的,因为模型仅能表征认识对象的某一个特定方面,因此需要多个模型来呈现对于认识对象全方位的解释
模型的发展性	•模型需要经过理论和实践的检验,并且模型可能会随着科学知识的发展而发生改变
模型在课堂中的作用	•在科学课堂中,教师可以利用模型来阐释事物的工作原理以及解释一些复杂的科学知识
	•学生应该要有参与到丰富的建模活动当中的机会,这些建模活动包括对于模型的探查、表达、构建、应用以及修正

资料来源:Phil Seok Oh, Sung Jin Oh. What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview[J]. International Journal of Science Education, 2011, 33(8): 1109-1130.

模型及建模的内容知识(Content Knowledge)、课程知识(Curricular Knowledge)和建模教学知识(Pedagogical Content Knowledge)进行了界定。^[8-9]

(一)建模的内容知识

建模的内容知识指的是教师对于所教授的科学模型以及一般的模型与建模的理解。其中,对于所教授的科学模型本体的理解,与一般的教师知识构成中的学科本体性知识(SMK)内涵基本一致。一般的模型与建模知识,又称元建模知识(Metamodeling Knowledge,简称MMK),指的是教师对于有关什么是科学模型和建模、为什么模型和建模在科学中有很重要的作用以及如何进行科学建模的理解。有关这部分的研究在文中第一部分也已经进行了较为详细的阐述。

针对具体的科学模型知识的内容,教师应当在教学中赋予其具体的模型与建模知识内涵。包括有关该具体科学模型是什么、包含哪些要素及要素关系、可以用来表征什么、其发展性和局限性是什么等有关模型的知识,以及在建构该模型的过程中应该遵循哪些步骤和在建构的过程中需要依赖的因素等有关建模历程的知识两个方面。事实上,由于教师自身模型与建模知识的理解水平并不理想,即便是对于学科内容知识储备丰富的熟手教师,在将具体的学科核心知识本体和相应的模型与建模一般知识进行有效的融合上,依然存在非常大的挑战。

(二)建模的课程知识

建模的课程知识包括一般的模型观念以及所教授的特定科学或历史模型应该在何时、用何种方式以及为什么要引入到课堂中的知识。也就是表征教师建立以及改变现有课堂教学主题中已经存在的课程模型的能力。因此,有关建模的课程知识主要包含两个方面,一方面是有关课程模型的知识,指的是教师对于将这些课程模型引入到科学教学中的必要性,以及他们作为科学模型的简化表征的性质的认识。有关这方面的研究,多体现在对模型的分类研究中。有依据模型的不同表征进行的分类研究,^[10]也有依据模型的不同功能进行的分类研究,^[11]还有依据模型自身的演进过程进行的分类研究等。^[12]且多以示例的形式呈现各种类别的代表性模型,缺乏学科的系统性。而聚焦教师的视角来探查教师对于具体课程模型的必要性以及特征性的认识的研究就更加凤毛麟角了。另一方面是有关在科学教学中引入建模活动的知识,指的是在科学教学中引入建模活动的必要性和主要目的。在科学教育中,许多研究者都强调,较之仅仅利用模型来表征具体的内容知识,将模型和建模活动作为一种科学探究工具更加有利于培养学生的迁移创新能力。^[13-14]而根据王磊有关学科能力素养构成的观点,这种对于知识经验的迁移创新能力正是学生学科素养的具体表现。^[15]因此,该领域的许多研究都聚焦在建模学习中不同阶段的研究以及对于建模过程中不同建模活动的研究两个领域上。但这类研究大都又与学习者的认知过程相割裂,因而很难从教学上帮助教师充分认识到在不同的建模学习阶段以及不同的建模活动中学生的模型认知能力是如何建立、发展和支撑的,从而合理设计对应的教学策略及方法。

(三)建模的教学知识

建模的教学知识指的是教师建立好的教学模型的能力,包括可以促进学生参与到建模实践中的教学策略知识(如建构、应用、评价和修正模型),可以促进学生元建模知识发展的教学策略知识,以及教师对于学生模型和建模知识理解水平的学情分析和对于建模教学的目标和基本原则的分析等。具体表现在以下五个方面:(1)教师或者学生使用教学模型的主要目的和意义;(2)教师在教学中所使用和呈现的教学模型的本质以及在形成该模型的过程中或者呈现不同的模型时所需要考虑的问题;(3)教师在科学教学中使用数学模型的方式;(4)教师在课堂上实施建模活动时所承担的角色和已有的建模活动经验,以及学生在进行建模活动时的课堂对话及讨论特点;(5)教师对于学生有关模型和建模的已有知识的分析和探查。

这些有关教师建模的教学知识的研究,明确了教师建模教学能力发展的培养目标,同时也为教师建模教学能力的培养提供了可行的路径。与教师知识各维度的构成要素之间紧密相关一样,有关教师模型与建模知识的各维度也是密不可分的。而且正如施瓦兹(Schwarz)教授等人所言,尽管教师的元建模知识是一个独立的维度,但实际上在教学中很难与其他的建模历程区分开来。而现有的研究,或者聚焦于对元建模知识的分析和探查,或者聚焦于对建模历程和活动的刻画,鲜有将两者整合进行探查和发展的研究。因此,在教师建模教学的实践过程中,如何对其元建模知识和建

模教学知识进行全方位的评价和发展,以保证建模教学实施的有效性,是促进教师建模教学专业发展的研究需要进一步思考的。

三、教师建模教学的评价

(一)教师教学设计的评价

有关教师建模教学的评价研究,以对教师有关建模内容知识的探查研究为主,多采用结构化或半结构化访谈或者调查问卷的形式进行。而对于教师建模教学知识的评价研究,目前的研究文献中很少涉及。其中较为系统的是美国莱特州立大学凯尼恩(Kenyon)带领的研究团队所进行的研究。他们在舒尔曼(Shulman)的教师专业知识框架和施瓦兹的建模实践活动框架^[16]基础上,聚焦教师自身的模型和建模知识(Knowledge about Scientific Modeling)、教师自身的模型建构情况(Elements of Modeling Practice)以及教师建模教学知识(Pedagogical Content Knowledge for Scientific Modeling)三个方面,构建了教师模型与建模知识框架(详见图1),并基于该框架开发了调查教师建模教学设计水平的测量量表。

该量表从建模的四个历程(模型建构、模型应用、模型评价、模型修正)以及一般的元建模知识这五个维度来对教师教学设计中所体现的建模教学策略进行编码。以模型应用活动为例,教师对于模型功能的理解程度不同,决定了教师在教学设计中对于模型应用环节的教学活动设计取向也有所不同,因而可以按照教师在其教学设计中模型应用环节的活动类型(说明、交流、解释、预测)的不同,来对教师该环节的教学

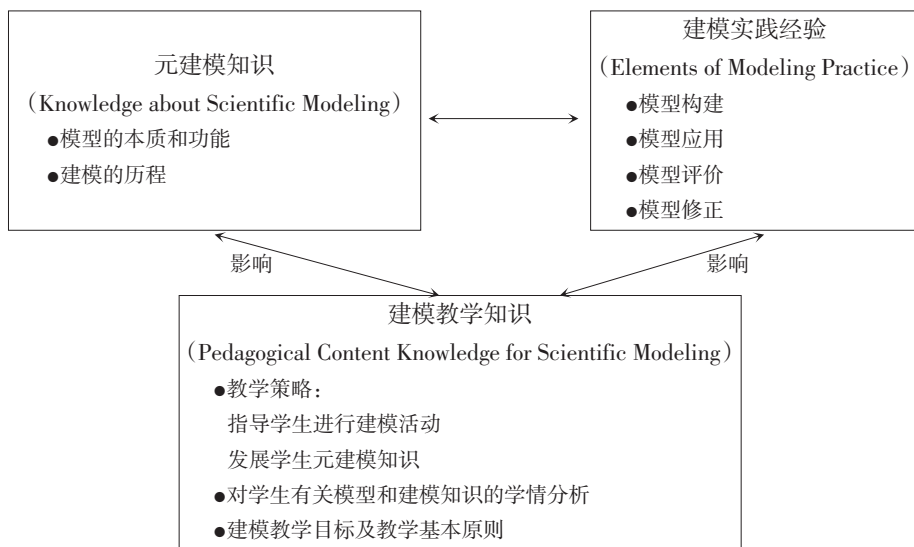


图1 教师模型与建模知识框架

资料来源:Kenyon L., Davis E. A., Hug B., Design Approaches to Support Preservice Teachers in Scientific Modeling[J]. Journal of Science Teacher Education, 2011, 22(1): 1-21.

设计进行评分(详见表2)。最终以教师在建模历程中各个要素以及元建模知识维度上出现的教学策略要素的数量作为其建模教学设计的最终成绩(详见表3)。基于此量表,既可以对教师的建模教学设计水平进行评价,又可以为提高教师建模教学设计水平提供更具有针对性的指导和改进建议。但是该量表只能对教师的建模教学设计进行评价,而没办法真正监控教师在建模教学的具体实施中的教学行为和策略。

这种按照建模历程来对教师的教学设计进行评价的研究,同时将元建模知识与建模教学策略相结合来对教学策略进行不同水平和不同频次的赋分,对建模教学活动的评价具有一定的启示意义,而且打通了教师的元建模知识和教师的教学设计转化之间的桥梁,启示研究者可以基于教师的建模教学策略来对其元建模知识进行评

表2 教师在教学设计中体现的建模历程及元建模知识教学策略编码框架

建模历程	编码	元建模知识	建模教学策略
模型建构	1	模型是可以构建的	学生进行一般的模型建构
	1+		学生构建最初的模型
	1+		学生构建一个连续模型
	1		学生重新构建模型(重新构建他们的模型,但并不是基于明确评价的修正)
	1	可以构建模型来进行对于某一正确观念的复制	学生依据教师明确的指导来构建模型
	1		学生在对于现象进行明确的权威的教学指导后构建模型
	2	可以构建模型来进行反思性观察或者预测	学生在数据收集、现象观察或者预测后构建模型
模型应用	1	模型是可以应用的	学生进行一般的模型应用
	1	模型可以用来说明某一现象	学生用模型来说明某一现象或过程
	2-	模型可以用来交流某一观点	学生与他人分享他们的模型(讨论)
	2	模型可以用来解释某一现象	学生用模型来解释某一现象的过程
	3	模型可以用来进行预测和预测的检验	学生用模型来进行预测和预测的检验
模型评价	2	模型是可以评价的	学生评价他们的模型(有明确的评价要求时)
	2		学生建立评价的标准
	2+	评价模型以适应证据	学生评价模型与“证据”的一致性,这些证据通常都是为了验证模型而提供的证据
	2+	评价模型以与权威证据一致	学生评价模型与权威证据的一致性
	2+	评价模型以提升它们的沟通能力	学生评价模型沟通的清晰度
	3	评价模型以与观察现象、实验数据或者预测一致	学生评价模型与观察现象、实验数据或者预测的一致性

续表2 教师在教学设计中体现的建模历程及元建模知识教学策略编码框架

建模历程	编码	元建模知识	建模教学策略
模型修正	2	模型是可以修正的	学生对模型进行一般性的修正
	2		学生通过构建一系列的模型来对模型进行修正
	2	模型可以基于评价来进行修正	学生在对模型进行评价后进行修正
	2+	模型可以基于证据来进行修正	学生通过提高模型与证据(非特定的证据)的一致性来修正模型
	2+	模型可以基于与权威证据的一致性来进行修正	学生通过提高模型与权威证据的一致性来修正模型
	3	模型可以基于与观察现象、实验数据或者预测的一致性来进行修正	学生通过提高模型与观察现象、实验数据或者预测的一致性来修正模型
一般元建模知识	全部等价	模型是对于某一系统或现象的简化表征	学生考虑他们的模型是如何对某一系统或者现象进行表征的
		对于同一观念可以有多种模型来表征	学生考虑对于同一观念可以有多少种不同的模型来表征
		模型的局限性	学生考虑到模型的局限性
		模型是一种生成性的工具	学生明确意识到模型是用来在课堂上生成知识的
		模型是一种交流的工具	学生明确意识到模型是用来在课堂上进行表达和交流的
		模型是可以改变的	学生明确考虑了模型是如何改变的

价,而不再是仅仅依靠元建模知识调查量表和访谈的评价研究。较之仅仅关注教师元建模知识本身的理解水平及其对教师建模教学的影响的探查和培训研究来说,更加深入到教师的建模教学实践层面。但是研究还只停留在对于教师教学设计能力的评价上面,对于教师在将具体的教学设计转化为教学实践的过程中,即教师的教学实施水平上并没有进行干预,而教师的课堂教学实践才是影响学生建模学习的决定性因素。

(二)教师建模教学表现的评价

有关特定能力素养培养取向的教师教学能力及表现研究,以指向探究性教学的研究居多,而指向建模教学的教师课堂教学质量的研究并不多见。为了对教师基于模型的探究教学表现进行评价,汤普森(Thompson)等人基于对新手教师连续几年的教学实践进行跟踪调查后提出了教师基于模型的探究教学表现进阶框架(Performance Progression for Model Based Inquiry,简称PPMBI)。^[17]该框架从教师对核心概念与模型之间关系的认识,对学生观点的关注和利用程度,模型与探究活动之间的关系,学生基于证据的解释活动开展情况四个维度来进行水平划分,每个维度依据活动

表3 教师建模教学设计水平评价标准

建模要素		元建模知识	
1	没有任何要素或者只有水平1的要素	1	只有一个元建模知识策略
2	至少有一个1+或者2-水平的要素	2	有两个元建模知识策略
3	至少有一个水平2的要素	3	有三个及以上的元建模知识策略
4	至少有一个2+或者3水平的要素		
5	至少有两个水平2的要素		
6	至少有一个水平2的要素和一个2+或者3水平的要素		
7	至少有两个2+或者3水平的要素		
总分=建模要素的分数+元建模知识的分数			

资料来源: Cotterman M. E.. The Development of Preservice Elementary Teachers' Pedagogical Content Knowledge for Scientific Modeling[D]. Ohio: Wright State University, 2009.

任务的复杂程度划分了3~4个水平层级。^[19]该框架基于真实的学科教学实践,不再仅仅关注教师本身的元建模知识情况,而更多关注教师对于具体教学内容以及探究活动设计与学生模型认知素养发展之间的内在联系;也不再仅仅关注教师教学设计的水平,而更多关注教师在建模教学实践过程中的课堂对话以及学生活动开展情况,更加指向真实的课堂教学。

此后,南卡罗莱纳大学(University of South Carolina)的克里斯多夫(Christopher)在其博士论文中,通过对15名理科教师在参与基于建模教学的教师专业发展培训项目中的表现来探查教师对科学本质的理解,利用提问策略来进行建模教学,以及对于模型和建模知识的理解三个方面的能力对于教师实施建模教学的影响。其中对于教师建模教学的实施水平评价利用的就是汤普森等人提出的PPMBI框架。结果表明,当教师在进行建模教学时,对于模型和建模本身的认识是影响其建模教学能力发展的基本因素,有效的课堂提问则决定了教师建模教学实践的熟练程度,而教师对于科学本质的理解程度则决定了教师在教学中能否让学生充分理解科学模型和建模是科学研究的产物和科学研究的过程。在此基础上,克里斯多夫建立了教师建模教学的表现进阶(详见表4)。^[21]而且,研究者认为这三个方面在教师建模教学能力发展的不同阶段所起到的作用是不同的,其中教师对于模型和建模知识的发展是从预建模教学水平发展到自然建模教学水平的关键因素;课堂提问的水平是教师从自然建模教学水平发展到过渡建模教学水平的关键因素;教师对于科学本质的认识水平则是决定教师能否从过渡建模教学水平发展到熟练建模教学水平的关键因素。

该表现进阶在一定程度上揭示了教师建模教学能力发展的阶段,而且关注到了教师有关模型和建模的认识、课堂提问的有效性和对于科学本质的认识三个维度对于教师建模教学能力的影响,较之以往的研究中仅仅关注其中某一维度的研究更加系统。而且其深入建模教学课堂中的案例研究也为教师建模教学能力的发展提供了可能的培训路径。但是,在克里斯多夫的研究中,教师有关模型和建模的认识,课堂

表4 教师建模教学表现进阶各水平描述

进阶水平	进阶水平特征描述
预建模教学水平 (Pre-Modeling Level)	在课堂上很少或根本不使用科学模型;很少或根本不讨论模型及其在科学中的作用;有效课堂对话的使用有限;与科学本质的关联不明确或者很有限
自然建模教学水平 (Emergent Modeling Level)	明确的讨论科学模型在科学中的作用和目的;学生参与到建模中;有效课堂对话的使用有限;与科学本质的关联不明确或者很有限
过渡建模教学水平 (Transitional Modeling Level)	在课堂上明确的讨论、发展和评价科学模型的解释功能;课堂讨论集中在学生的观念上,并且通过有效的提问来促进学生观念的发展;与科学本质的关联不明确或者很有限
熟练建模教学水平 (Adept Modeling Level)	在课堂上明确讨论、发展和评价科学模型的解释功能;课堂讨论集中在学生的观念上,并且通过有效的提问来促进学生观念的发展;与科学本质有明确的关联

资料来源:Christopher Bogiages. The development of a performance progression for science teachers' implementation of model-based teaching[D]. Columbia: University of South Carolina, 2014.

提问的有效性以及对于科学本质的认识这三个维度对其建模教学能力的影响是相互独立的,作者利用不同的量表分别研究三个维度对于教师建模教学能力的影响,进而再以三名教师的案例研究来定性描述三个维度是如何影响教师整体建模教学能力表现的,并没有直接从定量上对三个维度之间的影响关系进行深入展开,且对于15名教师样本的定量研究也限制了研究结果的可信度。而且,在对于教师建模教学实践的观察中,作者只关注教师的课堂提问有效性这一个维度,而忽略了其他的课堂教学表现维度(如教师的讲解、学生的活动、教学素材、课堂氛围等),这种课堂观察无疑也是非常片面的。

四、教师建模教学的实践

(一)建模教学的方式

教师在进行有关建模的教学时,由于其自身对于模型与建模的理解程度不同,建模对象的不同以及建模活动目的的不同,其建模教学的方式和取向也必然有所不同。

有学者从构成模型中的有关变量和变量关系的使用程度的角度,把上述四类建模方式从建模目的、变量和变量关系的改变程度以及建模数据的来源等几个方面进行了对比分析(详见表5)。且认为这四类建模方式的开放度和难度是依序增大的,因而其对于建模学习者(学生)和建模组织者(教师)的挑战性也是越来越大的。^[18-19]我国台湾地区的邱美虹教授团队从教学目标、适用对象、建模历程以及适用的教学内容(化学学科)四个维度比较了表达性建模和探究性建模两种教学方式,认为这两种建模教学方式是由建模活动中所强调的模型功能的取向不同决定的,而模型功能的取向则主要是由具体的教学内容决定的。^[20]但是,即便是面对同样的教学内容和教学目

的,由于教师自身建模教学能力水平的差异,其最终呈现的建模教学实施方式也应当会有所差异。因而对于特定建模方式的选择,既与具体的教学内容或教学目的所强调的模型功能有关,也与教师对于模型与建模的理解水平和建模教学的设计与实施水平有关。因而这四种建模形式,既可以看作是不同的建模规模,也可以看作是四种不同的建模教学水平。这对于教师建模教学能力水平的划分具有重要的指导意义。

(二)建模教学的模式及策略

为了进行有效的建模教学,在已有的研究中,科学教育研究者们已经开发了多种以科学模型为中心的教学框架,其中最普遍提及的三种建模教学模式为基于模型的探究(Model-based Inquiry,简称MBI)、建模教学(Modeling Instruction,简称MI)、基于

表5 几种不同建模形式的对比

	内涵	建模目的	模型的变量	模型的变量关系	建模数据的来源
探索性建模 (黑箱模拟) (Exploratory Modeling)	通过改变参数(因素)和观察这些参数改变的影响来进行建模,其目的是为了研究某一模型的性质,在这个过程中学习者自己实际上并没有构建任何外部的模型,而仅仅是发现别人构建的模型的本质。	发现某一模型的特征	固定的	固定的	只能从给定的模拟中获得数据
玻璃箱模拟 (Glass Box Simulation)	学习者不可以改变模型的结构和模型中的变量关系,但是他们可以通过检查有关的建模规则(变量关系)和改变有关的规则来估算这些变量的重要程度。例如,在对于森林系统进行建模的过程中,学习者可以观察到树木物种的发展,并且可以对它们进行探讨。	调查某一模型的结构	固定的	模型建构者可以进行改变	从给定的或者变化的模拟中获得
探究性建模 (Inquiry Modeling)	学习者通过模拟科学家的建模行为(构建模型来解释实验结果以及预测新的实验结果)来重新构建一个模型以表征一个有很好定义的认识对象的建模过程。例如,当学习者正在对某一现象进行实验时,学习者建模的目标是为了创建一个可以精准预测实验结果的模型。	重新建构一个模型	包含与目标模型的公共集合	由模型建构者定义	从目标模型和自己已有的模型中获得
表达性建模 (Expressive Modeling)	学习者通过自由的选择方式来表达他们的观念来进行模型的建构,其目的是为了构建模型来表达对于某一领域科学概念的认识情况。在这个过程中模型的基本功能可以看作是一种观察观念表达结果的手段或者进行交流讨论的方式。	表征观念或者概念	由模型建构者定义	由模型建构者定义	仅从自己已有的模型中获得

资料来源:本表由笔者根据相关资料绘制。

模型的教学(Modeling-based Teaching,简称MBT)。

1. 基于模型的探究

基于模型的探究,即围绕模型构建来进行的探究教学,是一般探究教学的一种新的迭代和循环方法。在MBI中,会涉及到模型的构建、使用、评价和修正等过程,目的是为了对观察到的现象或者收集到的数据进行解释。MBI通常会通过给学生展示一个特殊的现象或者参与到一个特定的活动中而开始,学生在探究活动中往往需要构建一个初步的模型,用来表征或者描述正在发生什么以及为什么会发生这种现象。这种初步的模型可以是一个图表,也可以是一个物理模拟,甚至可以是一种口头表达模型。然后,教师和学生使用这些初始的模型来提出一些可以继续探究的问题,通过实验观察和数据收集等对初始模型进行支持或者反驳,进而根据新的发现对其进行细化、修正或者重建,而修正或者重建的模型又可以用来解释或者预测其他类似的现象。当学生完成这样一个探究的循环周期以后,他们就会生成一个基于证据的模型,可以用来描述正在研究的现象,也可以用来支持他们的解释和推论。教师可以使用不同的方法来制定探究过程中的每一个具体步骤,但是基于“构建、应用、评价和修正”的建模历程在整个基于模型的探究教学中是循环往复进行的。

2. 建模教学

建模教学是一种与“通过建模的教学”(teaching through modeling)类似但又不完全相同的教学方法。MI通常是围绕两类建模活动组织起来的:即模型的构建(model development)和模型的调度(model deployment)。其中模型的构建阶段包括:(1)描述阶段,学生在教师的指导下描述现象中可能具有因果关系的基本可测量的变量;(2)规划阶段,学生通过设计和实施实验,对这些现象中的一部分变量或者全部变量进行变量之间关系的构建,利用实验中收集到的数据证据形成一个数学模型,然后学生向其他同学展示和分析他们的实验数据。在模型的调度方面,学生将模型应用到新的情境或问题解决当中,并且通过一项名为“白板”的活动将他们对于新问题的解决方案展示给班上的其他同学。所谓的“白板”活动,即要求学生在白板上以海报的形式绘制出他们的模型所包含的要素及要素关系,以及对研究问题的解决方案等。

3. 基于模型的教学

“基于模型的教学”模式研究通常是与“基于模型的学习”(Model-based learning)研究相关联的。“基于模型的学习”指的是学习者利用他们已有知识整合新的信息和扩充知识的生成性学习过程,在这个过程中模型被不断修正。这一类研究从学习者(学生)的视角出发,普遍关注学习者的先前概念以及概念理解的最终结果,强调建模的循环历程和活动功能,以及师生对话和课堂讨论的重要性,同时也关注相关的建模工具和素材的开发与使用问题。^[21-23]

MBT通常从学生的已有知识出发,来发展学生的真实问题解决能力和对科学本质及过程的理解,最终使学生的科学素养得到显著提升。戈伯特(Gobert)和巴克利(Buckley)认为,任何可以促进个体或者学习者群体建立心智模型而进行的教学策略都是MBT,这些教学策略通常整合了许多的信息资源、学习活动和教学活动。^[24] 克莱

门特(Clement)和瑞亚-拉米雷斯(Rea-Ramirez)将建模教学的过程描述为学生和教师之间的互动过程,这一过程通常从识别学生的初始模型开始,并通过开发中间模型的迭代过程来不断修正和完善,直至达到教师预期的课程目标模型为止。^[25]

五、对我国教师建模教学专业发展研究与实践的启示

学生建模能力的培养离不开成功的建模教学实践,建模教学实践的有效开展离不开教师建模教学能力的发展。

(一)提高教师对模型及建模本质和功能理解水平

建模内容知识包括学科核心知识本体、一般的模型与建模知识两个部分。学科核心知识本体的理解是教师专业发展的基础。而对凸显建模能力培养的教学研究和实践来说,在注重教师对于学科知识本体的理解基础上,还应当关注其一般的模型与建模知识的发展。

有关教师对于科学学习和教学中模型及建模作用的理解的相关研究结果都表明,教师对于模型及建模本质和功能理解情况并不理想。我国刘恩山教授团队对于初中生物教师模型和建模知识的探查研究,^[26]以及王祖浩教授团队对于化学教师模型和建模知识的探查研究,^[27]都证实了这一点。因而对于教师建模教学的专业发展而言,如何在培训和实践中提高教师有关模型和建模的本质及功能的理解,是提高教师建模教学能力的重要前提。

(二)促进学科核心知识与建模能力素养的融合

对于具体的学科教学而言,单纯的知识教学或者泛泛的能力素养培养目标都不能真正起到学生学科核心素养培养和发展的目的。只有将学科核心知识与能力素养的发展目标进行有机融合,明确学科核心知识的建模能力发展功能,才能真正发挥核心知识的功能价值。这就要求教师研究者帮助教师厘清学科核心知识与模型和建模的关系,即哪些知识是构成模型中的变量及变量关系所必需的,哪些知识是进行模型的评价所必需的,模型的应用中可以探查和调用哪些知识,以及模型的修正需要补充哪些知识等。现有的建模教学设计和实施的研究,都强调基于核心知识内容来确立教学内容和教学目的,进而进行模型和建模历程选择,但在如何基于核心知识内容来进行模型和建模历程的选择上,以及具体的核心知识内容与特定的模型认知素养的对应关系上,仍然有待进一步的学科教学研究探索。

同时,已有的建模教学研究也都强调真实问题解决对于建模能力培养的重要性。但是如何处理好真实问题解决线与模型认知素养发展线的关系,以保证其内在逻辑的一致性以及与核心知识教学目标的自洽性,已有的研究中并未给出更多的建议。

(三)对教师建模教学能力的评价及培训研究有待加强

对于教师教学能力的有效诊断可以提升教师培训的针对性和实效性。而教师教学能力的评价离不开教师在特定教学情境下的课堂教学表现和教学行为,包括教学内容、教学活动、教学方法策略以及教学环节等多方面的课堂教学结构要素。国外基

于教师视角的建模教学实践研究,以有关教师建模教学能力培养的课程设计及培训研究为主,且更聚焦于对职前教师的培养,关注职前教师的元建模知识及建模教学设计能力的发展。尽管有相关的学者呼吁有关建模教学的研究,应该更多地聚焦于教学过程本身和在建模教学的实施过程中刻画教师的教学活动及策略的教学论研究问题上,^[28]然而在现有的建模教学研究中,却鲜有关教师建模教学能力的构成及评价的研究以及基于评价而开展有针对性的教师建模教学能力培训研究。不过近几年来,国外的研究者已经开始借鉴探究教学的课堂教学评价工具来探索教师的建模教学的课堂教学表现及行为评价研究,但仍然处于起步阶段。

我国教育部《中小学幼儿园教师培训课程指导标准(义务教育语文、数学、化学学科教学)》的印发,强调基于对教师本学科核心领域内的教育教学能力进行分级诊断和开展有针对性的培训。而建模能力作为高中理科课标中的核心学科素养构成之一,必然也需要相应的建模教学能力评价体系和培训目标。因此,对于教师建模教学能力的评价研究以及基于评价而开展有针对性的教师建模教学能力培训研究,应该引起有关理科教育教学研究者的关注。

综上所述,有关建模教学的研究,尤其是基于教师视角的探查和提升,仍然有许多有待进一步完善的领域。促进教师的建模教学专业发展,让教师进行有效的建模教学实践,是实现学生建模能力培养的必要途径。这需要教师教育研究者们从理论和实践等多方面来对教师的建模教学能力进行评价和发展,探索切实有效的教师建模教学专业发展途径,让教师真正理解模型与建模的本质及作用,真正了解学生的模型与建模能力现状,真正将学科核心知识与建模能力素养以及真实问题的解决相融合,真正获得建模教学实践的成就感和幸福感,为学生的建模能力素养发展做支撑。

[参考文献]

- [1] 何美,裴新宁.科学教学中的建模活动:若干概念与研究主题[J].全球教育展望,2009,(2): 82-86.
- [2] 翟小铭,郭玉英.美国科学建模教育研究三十年概述及启示[J].全球教育展望,2015,(12): 81-95.
- [3] Schwarz, C. V., White, B. Y.. Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling[J]. Cognition & Instruction, 2005, 23(2): 165-205.
- [4] Van Driel, J. H., Verloop, N.. Teachers' knowledge of models and modelling in science [J]. International Journal of Science Education, 1999, 21(11): 1141-1153.
- [5] Justi, R. S., Gilbert, J. K.. Modelling, Teachers' Views on the Nature of Modelling, and Implications for the Education of Modellers [J]. International Journal of Science Education, 2002, 24(4): 369-387.
- [6] Crawford, B. A., Cullin, M. J.. Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science [J]. International Journal of Science Education, 2004, 26(11): 1379-1401.
- [7][28] Loucas, T. L., Zacharias, C. Z.. Modeling-based Learning in Science Education: Cognitive,

Metacognitive, Social, Material and Epistemological Contributions[J]. Educational Review, 2012, 64(4): 471-492.

[8] Ros ria Justi, Jan van Driel. The Development of Science Teachers' Knowledge on Models and Modelling: Promoting, Characterizing, and Understanding the Process[J]. International Journal of Science Education, 2005, 27(5): 549-573.

[9] Kenyon, L., Davis, E. A., Hug, B.. Design Approaches to Support Preservice Teachers in Scientific Modeling[J]. Journal of Science Teacher Education, 2011, 22(1): 1-21.

[10] Ornek, F.. Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science[J]. International Journal of Environmental & Science Education, 2008, 3(2): 35-45.

[11] Allan, G. H., David, F. T.. A Typology of School Science Models[J]. International Journal of Science Education, 2000, 22(9): 1011-1026.

[12] Gilbert, J. K.. Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education[J]. International Journal of Science & Mathematics Education, 2004, 2(2): 115-130.

[13] Gilbert, J., Justi, R.. Modelling-based Teaching in Science Education[M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2016: 17-40.

[14] Passmore, C., Gouvea, J. S.. International handbook of research in history, philosophy and science teaching[M]. Netherlands: Springer, 2014: 1171-1202.

[15] 王磊. 学科能力构成及其表现研究——基于学习理解、应用实践与迁移创新导向的多维整合模型[J]. 教育研究, 2016, (9): 83-92.

[16] Schwarz, C. V., et al. Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners[J]. Journal of Research in Science Teaching, 2009, 46(6): 632-654.

[17] Thompson, J., Braaten, M., Windschitl, M.. Learning Progression as Vision Tools for Advancing Novice Teachers' Pedagogical Performance[R]. Paper presented at the LeaPS Conference, 2009.

[18] Mellar, H., et al. Learning with Artificial Worlds[M]. London: The Falmer Press, 1994: 27-32.

[19] Joolingen, W. V.. Roles of Modeling in Inquiry Learning: proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2004 [C]. Finland: Joensuu, 2004: 1096-1097.

[20] 王嘉瑜. 科学模型与建模: 科学建模的教学方式[EB/OL]. [2016-01-07]. <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=14261>.

[21] John Clement. Model based learning as a key research area for science education [J]. International Journal of Science Education, 2000, 22(9): 1041-1053.

[22] Buckley, B. C., Boulter, C. J.. Developing Models in Science Education [M]. Dordrecht: Springer, 2000: 119-135.

[23] Schwarz, B. V., White, B. Y.. Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding, of Scientific Modeling [J]. Cognition & Instruction, 2005, 23(2): 165-205.

[24] Gobert, J. D., Buckley, B. C.. Introduction to model-based teaching and learning in science education [J]. International Journal of Science Education, 2000, 22(9): 891-894.

[25] Clement, J. J., Rea-Ramirez, M. A.. Model Based Learning and Instruction in Science [M]. Berlin: Springer Netherlands, 2008: 11-43.

[26] 赵萍萍. 初中生物学在职教师建模教学专业发展研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2015: 63-89.

[27] Wang, Z., et al. Chemistry Teachers' Knowledge and Application of Models[J]. Journal of Science Education & Technology, 2014, 23(2): 211-226.

A Review on the Research of Scientific Modeling Teaching Based on Teachers' Professional Development

SHI Fan¹, WANG Lei²

(1.College of Chemistry, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2.Sophisticated Innovation Center for the Future of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Modeling is one of the key practices in scientific inquiry, and the development of scientific modeling competence is one of the key goals in scientific education. From the perspective of teachers' professional development, in this study, we reviewed the relevant research about teachers' metamodeling knowledge, pedagogical content knowledge, and modeling teaching implementation. The results shows that the exploratory research on teachers' understanding of the value of models and modeling is abundant, but the results are not optimistic. The theory and training research on teachers' professional development for scientific modeling is becoming more and more abundant; however, research on teacher practices and instructional strategies of modeling-based teaching's successful implementation is quite scarce. Suggestions and enlightenments for the theory and practice research on teachers' professional development for scientific modeling has been proposed.

Key Words: scientific modeling; teachers' professional development; modeling-based teaching

[责任编辑:胡 义]