论国际化学教育研究热点:模型与建模*

史 凡 王 磊

摘要 基于对2007年以来有关模型与建模的1920篇文献进行的热点可视化分析,并追踪其中的关键文献,总结概括近十年来国际科学教育及化学教育研究在模型与建模领域的热点及现状,通过对研究现状及研究不足的分析,为我国化学教育在模型及建模领域的研究提供相关建议与启示。

关键词 模型; 建模; 国际化学教育; 科学教育; 研究热点

作者简介 史 凡/北京师范大学化学学院博士研究生 (北京 100875)
王 磊/北京师范大学化学学院、北京师范大学未来教育高精尖创新中心教授 (北京 100875)

一、问题的提出

模型与建模的研究由来已久,其外显的思想沟通和表达作用以及强大的解释和预测功能,使其受到科学研究者的广泛重视。而模型和建模对于科学研究的重要性在很大程度上决定了其在科学教育中的重要地位。因此,模型和建模的意义不仅限于对科学研究的作用,科学教师和学生也可以通过科学模型和建模来提升他们对于复杂现象和问题的理解和解决能力。基于有关的研究成果,许多国家的课程纲领性文件中都已经开始在科学教育标准层面将模型和建模纳入到学业要求中,认为其是科学教育核心素养的重要构成部分。[1][2]

有关模型的定义,科学教育领域尚未有统一的说法。目前较为普遍认同的表述是: 科学模型是对于一个复杂系统的简化和抽象表示,目的是用来解释或者预测某些科学现象; 而建模即产生科学模型的过程,是一个动态的历程,通常包括构建、应用、评估和修正等四个方面。

为了更全面地了解国际科学及化学教育研究在“模型与建模”领域的研究

* 本文系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)的阶段性成果。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

热点，本文首先选取了被 SSCI 收录的 5 本科学教育研究期刊（《International Journal of Science Education》、《Science Education》、《Journal of Science Education and Technology》、《Research in Science Education》、《Journal of Research in Science Teaching》）和 2 本化学教育研究期刊（《Journal of Chemical Education》、《Chemistry Education Research and Practice》）。在 WOS 平台，以“模型（model）”或“建模（modeling）”为主题，共检索出从 2007 年到 2017 年（截至 2017 年 10 月）这十年期间，将上述 7 本期刊中与模型与建模研究相关的 1920 篇文献作为研究样本，进行热点可视化处理。选取共词频次排在前 10 位的关键词作为热点关键词，同时剔除“model”，“chemistry”，“science”，“education”等虽然频次很高，但是与研究目的不符的关键词，呈现其具体的共现频次关系，如图 1 所示。图中括号里面的数字代表各关键词的共词频次，节点越大，表明该词作为关键词出现的频率越高；线条上的数字代表各关键词两两之间的共现频次，线条越粗，表示这两个关键词在同一篇文章中出现的次数越多。[3]

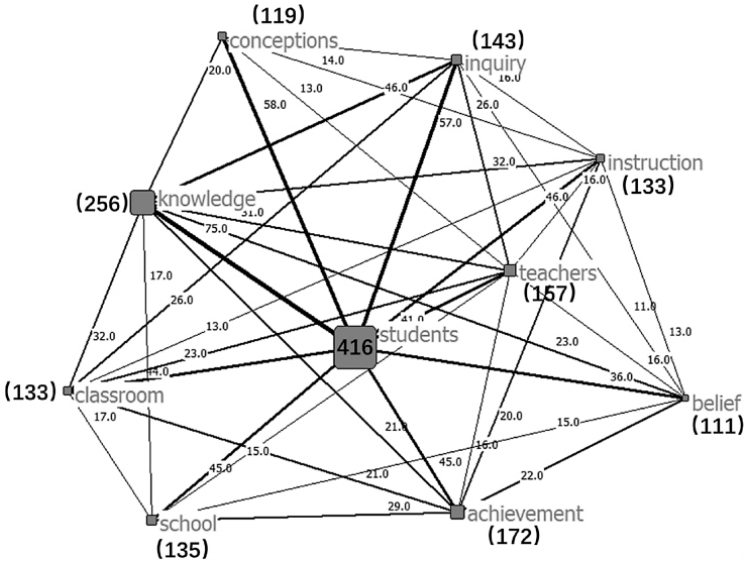

图 1　国际科学及化学教育研究中与模型与建模有关的热点共词分析图谱

由图中各关键词之间的共词频次关系可以看出，有关模型和建模的研究，在研究主体上，包括学生和教师两个视角，其中以学生视角的关注度最高；在研究问题上，主要关注与模型和建模有关的概念及知识研究（conceptions & knowledge）、与模型和建模有关的能力表现研究（achievement），以及与模型和建模有关的课堂教学研究（classroom & instruction）三个方面；此外，研究者还比较关注与模型与建模有关的成就信念（belief）以及和探究（inquiry）等其他科学实践活动的关系，等等。那么，基于学生和教师视角的研究分别都在关注什么？有关的研究方法和现状如何？存在哪些不足？对于我国的化学建模教学研究又有哪些重要启示？这些都有必要结合其中关键文献的具体内容来对相

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

关的研究进行深入追踪。

二、模型与建模的现状分析

(一) 基于学生视角的研究——普遍关注模型及建模知识本身和学习者对于模型及建模的理解结果

在有关模型与建模的研究热点中,词频排名前三的热点词分别是学生(students)、知识(knowledge)和成就表现(achievement)。且以学生和知识之间的共现关系最为突出。可见在有关模型与建模的研究中,普遍更关注与模型与建模有关的知识及元知识、实践活动和能力表现。而所有的这些研究的目的都是为了进行与模型和建模有关的学习和教学(modeling-based Learning,简称 MBL; modeling-based teaching,简称 MBT)。相关的研究涵盖了目前阶段研究者们从科学教育的视角[4][5]、哲学或认知的视角[6]以及能力的视角[7][8][9]对于模型的思考。下面就上述三个视角的模型与建模研究进行简要阐述。

1. 科学教育视角下的模型与建模(models and modeling in science education)

科学教育视角下的模型与建模研究强调建模教学应该成为学校课程的一个部分,提倡将模型作为具体内容知识来进行学习和表征,并将建模能力的培养纳入其国家的科学教育标准和学业要求当中(例如: 美国 NGSS、德国 KMK 等)。持该视角的研究者关注模型对于科学研究和科学教育的重要作用,致力于探索在课程中进行有效建模教学实践的方法和策略,探索类比推理、论证、探究等科学实践活动在建模教学中的作用,以及探索可视化手段在建模教学中的角色和使用条件等。由于聚焦科学教育的培养目标,这一类研究也关注建模教学对于学科核心概念和科学本质理解的作用。在此基础上,进行有关如何让学生掌握建模所需的知识和技能的课程设计、教师培养和建模辅助软件开发等研究,来促进模型和建模从“内容传递”到“科学教学”的实质性转变。

2. 认知视角下的模型与建模(model-being OR epistemology-based view of models and modeling)

认知视角下的模型与建模,其主要目的是为了解决人们有关“模型是什么”这一本体论的问题。基于该视角来思考模型本质的研究者们认为“只有当人们开始思考在何种情况下某一事物可以被视作是一个模型的时候,该事物被视作是一个模型的身份才可以被大家所接受和理解”。因此,他们摒弃了从本体论上对模型进行定义的方式,转而从人们对于模型的认知方式的角度来分析模型的本质,认为模型的本体和模型的表征客体是不同的,因而,某一事物能否被视作一个模型是由它“所表征的对象是什么”(model of something)以及“为什么要进行表征”(model for something)两个方面的共同作用决定的。对于“模型所表征的是什么”的视角,强调的是模型建构的过程,因为个体在这一阶段还没有获得所表征对象的最终模型,因此只能在其建模的过程中对模型进行初步的选择和使用;而对于“为什么要进行表征”的视角,强调的是模型应

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

用的功能,即模型所表征的对象是可以获得并且可以进行解释和预测等一系列应用的。

3. 能力视角下的模型与建模(competence-based view of models and modeling)

基于能力视角的模型与建模研究强调模型与建模知识的应用,其目的在于增进人们将模型看作是科学教育的一种研究工具的理解,而不仅仅是将模型作为具体知识学习和表征的对象。大部分研究者都一致认为建模能力包含三个要素:有关模型的知识、有关建模的知识以及建模活动中的技能,并致力于构建和刻画有关建模能力的组成和表现水平。目前比较广泛被接受和采用的框架是克劳福德(Crawford)等人提出的建模规模矩阵框架(the Matrix of Modelling Dimensions),施尔瓦兹(Schwarz)等人提出的建模学习进阶框架(the Learning Progression for Scientific Modeling),以及贾蒂斯(Justi)等人提出并修订的建模模型框架(the Model of Modelling)。总的来说,这些有关建模能力组成和表现水平的研究都包含以下五个主要的方面:对于模型本质的理解(模型是对某一研究对象中各变量及其变量关系的简化表征)、模型的功能(模型是一种思维工具,可以用来对某一现象进行交流、解释或预测)、模型的发展性(模型可以根据新的发现而改变)、模型的多重性(对于同一观念,可以有多种不同的表征方式)、以及模型的局限性(模型不可能包含全部的过程或现象)。

(二)基于教师视角的研究——聚焦教师建模教学的知识和方式

在上述基于模型与建模的研究热点共词图谱中,教师(teachers)出现的频率(157)远低于学生(students)出现的频率(456)。可见在现阶段有关模型与建模的研究中,研究者们更倾向于关注学生的模型与建模学习情况,对于教师的关注度相对比较薄弱。已有的基于教师视角的模型与建模研究,主要是围绕教师有关模型和建模的知识以及建模教学的方式和策略研究。

1. 教师有关模型和建模的知识

教师作为建模学习活动的设计、实施、支持和引导者,对于学生的建模学习起着至关重要的中介作用[10]。因而对于关注科学教师的研究者而言,将模型介绍给科学教师并且最终给予他们一个有关模型与建模的清晰的框架是非常重要的。[11]美国莱特州立大学的凯尼恩(Kenyon)和密歇根州立大学的戴维斯(Davis)等人基于舒尔曼的教师专业知识框架,结合施尔瓦兹等人的建模学习进阶,提出了教师模型及建模知识框架[12](见图2)。认为教师有关模型与建模的知识包括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)以及教师的建模教学知识(Pedagogical Content Knowledge (PCK) for Scientific Modeling)三个方面。

其中教师的模型和建模知识,主要强调教师要了解模型的本质、模型的功能以及建模的主要步骤;教师自身的模型建构情况主要关注的是教师自身对于建构、使用、评价和修正模型等建模历程的理解和应用水平。许多有关教师对于学生建模学习的作用的研究[13][14][15][16][17][18]都表明,教师在学生建模学

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

习中所起的引导和支持作用的有效程度取决于教师对模型和建模在科学学习中的角色的理解,即教师本身的元建模知识(Metamodeling Knowledge,简称MMK) 水平。而相关的探查研究结果也表明,大部分科学教师并没有把建模看作是一个真实的科学探究过程,他们不认为模型可以帮助学生理解科学概念的本质,也不理解模型的一些最重要的功能(如预测功能、作为一种间接进行系统观察的工具的功能等) 。这在很大程度上制约了教师建模教学的有效开展。

教师的建模教学知识则主要关注教师指导学生进行建模活动以及有关元建模知识发展的教学策略知识、对于学生模型和建模知识以及建模水平的掌握情况,以及建模教学的目标和基本原则等三个部分。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。[19]

在此基础上凯尼恩的研究团队还以生物学科的有关知识为载体,对职前科学教师进行了较为系统的教师建模教学课程设计及培训工作,取得了一定的效果。[20]

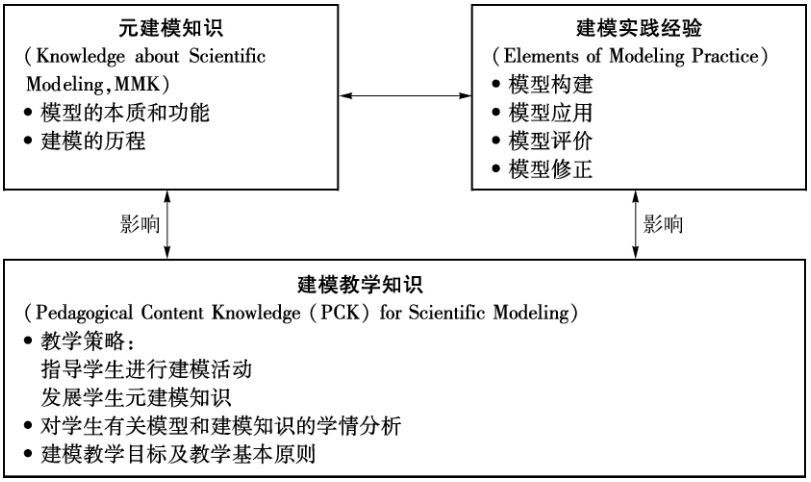

图 2　教师模型与建模知识框架(Kenyon et al., 2011)

2. 教师建模教学的方式及策略

有关教师建模教学方式的研究,主要有两个研究视角: 一个是从建模教学开展的过程和模式,对建模教学的方式研究; 另一个是从建模教学的活动设计和教学策略,对建模教学提出的实施建议。

一方面,为了开展有关模型和建模的教学,许多研究者提出了多种建模教学的框架,其中最普遍提及的三种建模教学框架包括: (1) 建模教学

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(Modeling Instruction,简称 MI) [21],通常围绕模型的构建和模型的调度两类建模活动展开,要求让学生利用“白板”活动来对模型中各变量关系进行描述、展示和分析,强调对于课堂建模过程的外显表征。(2) 基于模型的探究(Model-based Inquiry,简称 MBI) [22][23],即围绕模型建构来进行的探究教学,强调教师在设计和开展探究活动的过程中,要基于“构建、应用、评价和修正”的建模历程来制定具体的实验探究方案。例如,教师可以让学生依据自己构建的初始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实验现象。(3) 基于模型的教学(Modeling-based Teaching,简称 MBT) [24][25],强调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,认为建模教学的过程实际上是师生之间互动的过程,通过这种互动对初始模型不断进行迭代的修正和完善,直至达到教师预期的课程目标模型。

另一方面,为了帮助教师理解和提升他们的教学实践活动以便更好的开展建模教学,Oh 等人在有关模型本质和模型在科学课堂中的作用的研究综述基础上,提出了教学转化(pedagogical transformation) 的概念,指的是将科学观念简化和重构以被学生更好的接受和理解的教学原则,而且在这个过程中,不能改变科学观念的本质特征。这一原则可以从课程内容和学习方式两个水平上实现。也就是说,对于科学模型和建模的教学转化,不仅仅需要模型知识本体方面的教学,即强调有关模型的知识内容的教授; 还包含模型思维和模型建构方面的教学,即鼓励学生设计模型来解释现象和创造模型。同时研究者还针对建模教学提出了五个有效建模活动策略: (1) 探索性建模(exploratory modeling) ,通过改变参数和观察这些参数改变带来的影响来发现别人建构的模型的本质,从而加深对于已有模型的理解; (2) 表达性建模(expressive modeling) ,通过让学习者自由的选择方式来表达自己的观念或者进行交流讨论来表达某一领域的科学观念; (3) 探究性建模(inquiry modeling) ,通过模拟科学家的行为来构建模型以对实验结果进行解释和预测; (4) 评价性建模(evaluative modeling) ,通过让学生比较同一现象和问题中的多种模型,评价他们的优点和局限性,选择最合适的模型来进行现象解释或问题解决; (5) 循环性建模(cyclic modeling) ,即让学生参与到构建、评价和改进模型的过程中来完成相当长的一个科学项目。[26][27][28][29]

此外,有研究者通过对 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发现: 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。而且,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。教师有关模型和建模知识的提升是其建模教学能力初始发展阶段

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的关键影响因素,高水平的课堂提问则是教师建模教学能力过渡发展阶段的关键,而教师对于科学本质的认识水平则决定了教师的建模教学能力能否从过渡阶段发展到成熟阶段。启示研究者可以对不同发展阶段的教师进行不同方面的关注,以更好地提升教师的建模教学能力。[30]

三、已有研究的不足

(一) 缺少对学生建模学习认知过程的关注和探查

回顾研究中与学生模型及建模学习有关的研究,大概可以将学生的建模学习总结为以下三个层次:(1) 学习特定的模型;(2) 学习重用和重构模型;(3) 学习在新情境下建构和应用模型。[31] 由于模型在不同的方法和过程中承担的角色不同,其潜在的学习过程也有可能会有所不同。然而尽管有关模型与建模学习的研究很多,但是大部分都是关注学习者有关模型与建模学习的最终结果,很少关注对于学生在基于模型与建模学习中的认知过程探查。[32] 造成这种结果的原因,很可能与现有的研究中对于模型内涵和本质的定义以及解构的局限性有关。已有的关于模型定义的研究众多,虽然说法并不统一,但大部分研究中对于模型的定义都比较强调"模型是对于特定目标的一种表征"以及"模型是连接理论与现象的桥梁"[33][34][35],其实质是从"模型功能"的视角上来对模型进行定义,而并没有真正回答"模型是什么,其构成是怎样的",即缺少从"模型构成"的视角来对模型的内涵和本质进行定义的研究与探索。同样的,有关建模的研究也大都直接从模型的选择或者初建开始,强调其过程性和迭代性,但并没有真正从源头上回答"模型是什么"的问题。

为了解决这一问题,以 Kokkonen 为代表的学者提出可以借鉴认知科学中有关概念学习的一些最新研究成果,来刻画学生在建模学习背后的认识过程。[36] Kokkonen 的研究认为,建模学习的一个重要目标是加强学生的概念理解以及促进学生概念的转变。[37] 而概念的理解和转变需要学习复杂的模型及其与概念和其他模型的关系。人们可以把模型看作是对于现象的表征,它表征了现象的构成要素和这些要素之间的关系,而这些嵌入在模型中的关系信息对于理解概念和学习如何使用这些概念至关重要。同时,关系知识又是我们许多较高认知能力的基础,因为它在分类、类比、解释、概念学习和推理以及问题解决等方面都起着非常重要的作用。[38] 由此,有学者提出对于模型和建模的学习,需要掌握嵌入在模型中的复杂关系模式,而且模型本身也可以看作是对于关系类别的一种表征方式。也就是说,模型和关系类别一样,是基于学习者对研究对象中的变量和变量关系来进行定义的。因此,在科学教育中,学习如何理解以及如何在新情境中应用和迁移这些复杂关系知识,对于建模能力的培养是非常重要的。

这种将模型看作是关系类别的观点,将科学教育领域的模型与建模研究与心理学领域有关关系类别的认知科学研究相关联,为研究建模学习背后的

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

认识过程提供了新的视角和可能路径。另一方面，也还需要更多的研究来关注不同的关系类别和层次水平是如何影响和促进学生的建模学习和概念理解的，以及不同的模型表征在学习复杂的关系知识中的作用。

（二）对教师关注度低，有关建模教学实践的教师活动和教学策略研究不足

已有的研究中，基于学生视角的研究数量远超过基于教师视角的研究数量。同时从图谱中还可以看出，教师（teachers）与教学（instruction）之间的连接线较细，说明这两个词在同一篇文章中出现的次数并不多（共现频次 = 16）。可见，在已有的研究中，对于教师有关模型和建模的研究关注度较低，并且缺少对于教师如何在教学中有效进行建模教学实践的研究关注度。“教育大计，教师为本”，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。因此，有关模型与建模的研究，还应当提升对于教师建模教学研究的关注度。

有关教师对于科学学习和教学中模型及建模作用的理解探查的相关研究结果都表明教师对于模型及建模本质和功能的理解情况并不理想。因此，提升教师的元建模知识是发展其建模教学能力的重要基础，已有的很多有关教师建模教学专业发展的研究也都将其作为突破点。但是仅有元建模知识的提升是不够的，正如凯尼恩（Kenyon）团队的研究结果所指出的，尽管通过建模教学培训课程，可以使教师的元建模知识和建模教学策略知识得到显著提升，但是在将对于模型的深度理解转化成教学设计的能力上，尤其是在模型的应用、模型的修正以及元建模知识三个方面的教学设计转化上，对教师仍然存在非常大的挑战。而课堂教学设计的能力与教学实施的能力又是密不可分的[39]，从建模教学的设计到建模教学的成功实践，又对教师的教学行为和教学活动策略提出了更高的要求。然而在有关教师建模教学的已有研究中，有关成功进行基于建模学习教学实践的教师活动和教学策略研究仍然是相当匮乏的。尤其是聚焦于教学过程本身和基于建模学习的教学实施过程中去刻画教师的教学活动和教学策略的研究就更加凤毛麟角。因此有关建模学习的教学论问题，仍然有待进一步的探索。

（三）与探究活动和论证活动之间的研究关系密切，与推理活动之间的研究匮乏

在基于模型与建模的化学教育研究热词贡献图谱中，探究（inquiry）出现了 143 次，论证（argument/argumentation）出现了 53 次，作为科学实践活动中的三个核心活动要素，有关建模活动与探究活动或论证活动之间关系的研究非常广泛。

对于建模与探究之间关系的研究，常出现在基于模型的探究活动（MBI）研究中，在文中有关建模教学的方式部分也有提及。对于建模与论证之间的关系以及如何通过论证进行建模教学（Modeling and Argumentation，或 Argumentation in Modeling）的研究，许多研究团队也有较为深入系统的探索。这些相关的研究普遍强调在特定背景下研究建模与论证之间关系的重要性以及它们对发展

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

与批判性思维相关的技能的影响。[40] [41]

而有关建模与推理之间的关系，在热词共现图谱中却并没有出现与推理(reasoning)有关的热词(共现频次小于10)。可见在近十年有关模型与建模的科学研究中，鲜有研究者关注模型与建模活动与推理活动之间的相互作用。但是，在有关科学哲学和认知科学的研究中，基于模型的推理(Model-based Reasoning，简称MBR)被认为是推理以及科学研究的本质，而且为在教学中培养学生的科学推理能力提供了可行的路径。[42] 此外，在新颁布的普通高中化学课程标准中，"证据推理与模型认知"是作为五个化学学科核心素养维度之一并行出现的，强调"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"[43]。可见，有关建模与推理之间的相互作用关系以及基于推理的建模等研究问题，仍然有待进一步探索。

四、对我国基于模型及建模的化学教育研究的启示

在"CNKI"中以"建模能力"或"建模教学"为关键词，检索2007—2017年十年间有关模型和建模的研究文献。共检索出期刊文章1 152篇，硕博论文41篇。而其中与化学学科相关的文献仅有21篇，仅占文献总数的1.76%。其中8篇的作者来自于大学中从事教育及化学教育的研究者，另外13篇来自于中学一线教师的教学实践经验反思。从研究的数量上可以看出，目前我国化学教育研究中对于模型以及建模的研究非常匮乏，远低于数学(794篇)和物理(236篇)学科，甚至较生物学科(46篇)也有一定的差距。而在国际化学教育研究的热点共现图谱中，模型与建模的研究是排名第三的热词。可见，我国的化学建模教育研究，无论是在与国际化学教育研究对于模型和建模的关注度上，还是在与国内其他数理学科对于模型和建模的研究关注度上，都还存在较大的差距。

对国际科学与化学教育领域有关模型和建模的研究热点及现状分析，也启示我国的化学建模教育研究需要在以下几个方面予以更多的关注和探索:

首先，在已有的模型和建模研究中，虽然学生视角的研究很多，但是对于学生建模学习的探查往往都是结果性的，缺少对于学生建模学习认知过程的探查。Kokkonen(2017)基于"关系类别"的视角对于模型和建模的诠释为学生建模学习认知过程的研究提供了新的可能路径，启示研究者可以从构成的视角上重新审视"模型是什么"的问题，而不仅仅是从功能和表征的视角上关注"模型可以表征什么"、"都有哪些表征方式"、"模型和表征对象之间的关系是什么"等等，从而为内隐的"心智模型"与外显的"概念模型"(NRC，2012)[44]之间建立可能的探查和发展途径。

其次，已有的模型和建模研究，也大都脱离具体的学科知识内容。这无疑给学生的建模学习和教师的建模教学都带来了很大的困难。诚然，有关模型与建模的本体研究对于人们认识和学习模型与建模非常必要，但并不充分，学

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生化学建模能力的培养还必然需要建立在具体的化学知识学习之中。因此，对于研究者而言，如何帮助教师厘清具体的核心知识内容与特定的模型认知素养之间的关系仍然有待进一步的学科教学研究探索。

再者，有关教师视角下的建模教学研究还有待进一步加强。从热点图谱上不难看出目前的研究重点还是在学生上，从科学教育的视角来看，学生建模能力的发展是我们建模教学的最终目的，但是为了实现这一目标，我们还应该关注如何帮助教师在课堂中采用有效建模教学实践的方法和策略。已有的教师有关模型与建模知识的研究以及建模教学的方式与策略研究已经在朝这个方向努力，为教师的建模教学水平的提升提供了很多切实有效的参考，但是脱离学科具体知识内容和教学过程本身的教学模式和策略显然是不够的。

最后，为了开展更有效的针对性教师培训，对于教师具体学科核心领域内的教育教学能力分级诊断是不可或缺的[45]。但是在已有的研究中，更多的是对于学生建模能力的评价，不仅关注学生有关模型和建模知识本体方面的理解情况，也开始尝试刻画学生建模实践过程中的能力进阶[46][47]。对于教师有关模型和建模的评价，往往仅关注元建模知识这一个维度，而教学能力涉及到教师从事教学活动和完成教学任务的方方面面[48]，因此对于教师的有关模型和建模的评价研究，也应当拓展到教师课堂上的建模教学实践当中，才能更切实有效地提升教师的建模教学能力。

参考文献:

[1] 赵萍萍，刘恩山.科学教育中模型定义及其分类研究述评[J].教育学报，2015(1)：46－53.

[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] 叶剑强，毕华林.我国科学教育研究热点、现状与启示——基于2370篇硕士博士学位论文的知识图谱分析[J].课程.教材.教法，2017(11)：74－80.

[4][7][33] Gilbert, J. & Justi, R. Modelling-Based Teaching in Science Education[M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.

[5] Passmore, C. & Gouvea, J. S. Models in Science and in Learning Science[A] Matthews, M. International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching[C]. Dordrecht: Springer, 2014: 1171－1202.

[6] Mahr, B. On the Epistemology of Models[A]. Abel, G. & Conant, J. Rethinking Epistemology[C]. Berlin: De Gruyter, 2011: 301－352.

[8] Nicolaou, C. T. & Constantinou, C. P. Assessment of the Modeling Competence: A Systematic Review and Synthesis of Empirical Research[J]. Educational Research Review, 2014(13): 52－73.

[9][34] Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A. 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(6): 632－654.

[10] Halloun, I. A. Mediated Modeling in Science Education[J]. Science & Education, 2007(7－8): 653－697.

[11][29] Oh, P. S. & Oh, S. J. What Teachers of Science Need to Know about Models: An Overview[J]. International Journal of Science Education, 2011(8): 1109－1130.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

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

[13] Danusso, L., Testa, I. & Vicentini, M. Improving Prospective Teachers´Knowledge about Scientific Models and Modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention [J]. International Journal of Science Education, 2010(7): 871-905.

[14] Van Driel, J. H. & Verloop. N. Teachers´Knowledge of Models and Modelling in Science [J]. International Journal of Science Education, 1999(11): 1141-1153.

[15] Justi, R. S. & Gilbert, J. K. Science Teachers´Knowledge about and Attitudes towards the Use of Models and Modelling in Learning Science [J]. International Journal of Science Education, 2002(12): 1273-1292.

[16] 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(4): 369-387.

[17] Crawford, B. A. & Cullin M J. Supporting Prospective Teachers´Conceptions of Modelling in Science [J]. International Journal of Science Education, 2004(11): 1379-1401.

[18] 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(1): 158-186.

[19] Rosária 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(5): 549-573.

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

[21] Jackson, J., Duckerich, L. & Hestenes, D. Modeling Instruction: An Effective Model for Science Education[J]. Science Educator, 2008(17): 10-17.

[22] 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, 2010(5): 941-967.

[23] Campbell, T., Oh, P. S. & Neilson, D. Discursive Modes and Their Pedagogical Functions in Model-Based Inquiry (MBI) Classrooms[J]. International Journal of Science Education, 2012(15): 2393-2419.

[24] Gobert, J. D. & Buckley, B. C. Introduction to Model-based Teaching and Learning in Science Education [J]. International Journal of Science Education, 2000(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] Bliss, J. From Mental Models to Modelling [M]. London: Falmer Press, 1994: 27-32.

[27] Joolingen, W. V. Roles of Modeling in Inquiry Learning: IEEE 2004: Proceedings of Advanced Learning Technologies, IEEE International Conference on (ICALT) 2004 [C]. Finland: Joensuu, 2004: 1096-1097.

[28] 王嘉瑜.科学模型与建模: 科学建模的教学方式[EB/OL]. http://chemed.chemistry.org.tw/? p=14261,2016-1-7/2018-5-17.

[30] Bogiages, C. The Development of A Performance Progression for Science Teachers´Implementation of Model-based Teaching[D]. Columbia: University of South Carolina, 2014.

[31] Campbell, T., Oh, P. S., Maughn, M. et al. A Review of Modeling Pedagogies: Pedagogical Functions, Discursive Acts, and Technology in Modeling Instruction[J]. Eurasia Journal of Mathematics Science & Technology Education, 2015(1): 159-176.

[32] Loucas, T. L. & Zacharias, C. Z. Modeling-Based Learning in Science Education: Cognitive, Metacognitive, Social, Material and Epistemological Contributions[J]. Educational Review, 2012(4): 471-492.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[35] [44] National Research Council (NRC). A Framework for K - 12 Science Education: Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas[M]. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.
[36] Kokkonen, T. Models as Relational Categories[J]. Science & Education, 2017(2): 1 - 22.
[37] Amin, T. G., Smith, C. L. & Wiser, M. Student Conceptions and Conceptual Change[A] Lederman, N. G. & Abell, S. K. Handbook of Research in Science Education[C]. New York, NY: Routledge, 2014: 57 - 81.
[38] Halford, G. S., Wilson, W. H. & Phillips S. Relational Knowledge: the Foundation of Higher Cognition [J]. Trends in Cognitive Sciences, 2010(11): 497.
[39] 杨开城.对教学设计理论的几点思考[J].教育研究, 2001(5): 62 - 66.
[40] Mendonça, P. C. C. & Justi, R. An Instrument for Analyzing Arguments Produced in Modeling-based Chemistry Lessons[J]. Journal of Research in Science Teaching, 2014(2): 192 - 218.
[41] Passmore, C. M. & Svoboda, J. Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms [J]. International Journal of Science Education, 2012(10): 1535 - 1554.
[42] 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.
[43] 中华人民共和国教育部.普通高中化学课程标准(2017年版) [M].北京: 人民教育出版社,2018.
[45] 中华人民共和国教育部教师工作司.就《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)》答记者问[EB/OL]. http: //www.moe.edu.cn/jyb_xwfb/s271/201801/t20180102_323535.html, 2018 - 1 - 3/2018 - 5 - 17.
[46] Forbes, C. T., Zangori, L. & Schwarz, C. V. Empirical Validation of Integrated Learning Performances for Hydrologic Phenomena: 3rd-Grade Students' Model-Driven Explanation-Construction [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2015(7): 895 - 921.
[47] 翟小铭.高中生物理科学建模素养学习进阶的建构及其在教师专业发展中的应用研究[D].北京: 北京师范大学, 2017.
[48] 罗树华,李洪珍.教师能力学[M].济南: 山东教育出版社,1997: 157 - 313.

Chemistry Education Research on Model and Modeling

SHI Fan & WANG Lei
(College of Chemistry, Beijing Normal University, Beijing, 100875, China;
Sophisticated Innovation Center for the Future of Education,
Beijing Normal University, Beijing, 100875, China)

Abstract: This paper performed a hotspot visualization analysis on 1920 research papers on model and modeling since the year of 2007. According to the results and key literature, we summarized the hotspots and current situation of international science and chemistry education research on model and modeling over the past 10 years. Suggestions and implications for Chinese chemistry education of the research on model and modeling have been delineated.

Keywords: model; modeling; international chemistry education; science education; research hotspots

(责任校对: 钟彩凤)

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net