基于建模的全新教学方式及其重要意义与作用

——对美国《教育传播与技术研究手册》(第四版)的学习与思考之四

何克抗

(北京师范大学 "未来教育"高精尖创新中心,北京 100875)

[编者按] 本文首先分析了"技术增强的、基于建模的教学"(TMBI)的主要特点,在此基础上着重从 TMBI 如何促进科学探索、TMBI 如何促进基于建模的思维、TMBI 如何促进协作式学习和支架式 TMBI 的设计与应用等,论述了 TMBI 方式在教学中的重要意义与作用。

[关键词] 技术增强的、基于建模的教学(TMBI);定性思维;定量思维;计算思维;系统思维

[中图分类号] G642 [文献标识码] A [文章编号] 1007-2179(2017)03-0009-09

一、引 言

《教育传播与技术研究手册(第四版)》第五部分("具体领域的策略与模型"篇)的第 41 章论述了"科学教育中技术增强的、基于建模的教学"(任友群等,2015)。该章主要围绕"技术增强的、基于建模的全新教学方式"的意义与作用进行了较深入的探讨。

学术界普遍认为,科学教育中"技术增强的、基于建模的教学"(Technology-enhanced, Modeling-based Instruction,简称 TMBI)是一种创新的教学方式,它鼓励学生通过创造模型,使用、分享和评估模型,来表征和解释科学现象及相关过程。不少学者研究并实施了技术增强的、基于建模的教学方式(即 TMBI 方式)。结果证实:这种教学方式确实能有效地提高学生的概念理解、批判性思维和科学探究能力(Hart,2008; Hestenes,1987; Khan, 2007; Lehrer, & Schauble, 2006; Passmore, & Stewart,2002; Schwarz et al., 2009; Sell et al.,2006; White, 1993; Windschitl et al.,2008)。一般认为,技术增强的、基于建模的教学方式具有以下特点:

1) 能够使学生积极参与学习,这是因为学生自主创建、测试并修改所建模型的过程,和科学家创建和测试科学模型的过程很相似。

2) 采用了多种表征方式和替代模型,其中包括物理模型(实体模型)、计算机可视化、图形、数学公式、人类角色扮演等,可以满足不同学习风格学习者的需要。

3) 能够促进同伴学习社群(即学习共同体)的形成。由于同学们可以一起创建模型,也可以与同伴交流各自创建的模型,和共同评估备选模型,从而有利于同学们更深入地理解复杂现象和抽象概念。

信息与通信技术的快速发展,不仅极大地扩展了科学教育中用于建模的媒体的种类,而且显著地改变了基于建模教学的传统学习环境。当前已经开发了多种面向 K-12 科学教育的技术增强的、基于建

[收稿日期] 2016-10-03 [修回日期] 2017-04-18 [DOI 编码] 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2017.03.002

[作者简介] 何克抗,北京师范大学教育技术学院教授,东北师范大学荣誉教授(终身教授),北京师范大学现代教育技术研究所所长,2001 年 6 月至 2006 年 5 月任教育部高等学校教育技术学专业教学指导委员会主任;先后还担任过全国教师教育信息化专家委员会主任、中国教育技术协会学术委员会主任、全球华人计算机教育应用学会(GCCCE)第一副主席和国际著名刊物计算机辅助学习(Journal of Computer Assisted Learning)编委等学术职务。

模的教学环境(即 TMBI 环境),这类教学环境使学生能够大范围地围绕科学现象建模——尤其是那些在日常生活中太小而难以看见的、太抽象而难以表征的、太复杂而难以理解的或者太危险而难以在现实中探究的现象都可以建模。与此同时,这类环境也提供各种合作方式,使学生可以在班级内或者在班级之间共同建模(Gobert, & Pallant, 2004),其中不少技术增强的、基于建模的教学环境还可以提供即时反馈和自动的支架辅助,使学生的自主学习和自主探究得到强有力的支持——学生不仅可以管理自己的学习步调,还可以及时获得个性化的教学指导(Hannafin, & Land, 1997)。

在了解技术增强的、基于建模的教学方式特点的基础上,下文将从"促进科学探索""促进基于建模的思维""促进协作学习"和"设计支架式的技术增强的、基于建模的教学"等四个方面,论述这一方式在教学中的重大意义与作用。

二、TMBI 如何促进科学探索

为了促进学生在理科教学领域的探究性学习,布兰斯佛德(Bransford et al., 2000; White, 1993)等学者开发了具有内置功能并可作为理科教学材料的计算机模型,以便于学生能利用该模型探究正在学习的科学现象。这些内置功能可用于提供差异化教学,有利于学生进行自主探究——这正是理科教学改革追求的一个重要目标。

这方面的典型案例之一,是美国科罗拉多大学博尔德分校(University of Colorado, Boulder)开发的 PhET 交互式仿真程序[①]。该程序是开源、独立的,通常用 Java 或 Flash 编写。现在 PhET 已有多种语言版本,并在世界范围使用,能帮助学生自主创建可视化且可测试的科学知识模型,以便于进行探究性学习(Perkins et al., 2006; Wieman et al., 2008)。与此同时,该程序还可用于开展不同类型的交互活动或学习任务。它最初只涉及物理学,现在已扩展到数学、化学、地球科学以及生物学等(Wieman, et al., 2010)。阿丹姆司等学者(Adams et al., 2009)专门研究了不同层次水平的指导下,学生如何参与 PhET 仿真环境的交互活动。他们与 100 多名学生进行了 250 多次伴随"出声思考"的访谈。学生被要求在四种不同水平的指导下,说出他们探究和创建计算机模型时的思维过程。这四种不同水平的指导包括:无指导、只提驱动性问题、浅层次引导、深层次引导。阿丹姆司等学者发现,学生在 PhET 仿真环境下进行的探究活动,高度依赖于该仿真程序所创设的情境。如果该仿真程序创设的情境复杂,学生无法理解就很难参与进去;如果创设的情境太简单,学生不感兴趣,就可能只参加很短的一段时间;只有创设的情境有一定难度且能激发学生的动机与兴趣,学生才会坚持探究。当仿真程序设计比较精准,对学生有较强的吸引力,且提供的指导又切合学生特点时,学生会表现出最佳的参与状态。

波多勒夫斯基(Podolefsky et al., 2010)等人观察采谈访了大学生是如何在最低限度的指导下与 PhET 仿真环境进行交互的,他们记录了学生在仿真环境下如何进行科学探究的案例。该仿真环境是"波的干扰",仿真程序允许学生在水、声、光三种情景下控制和观察波的干扰;学生可以选择不同的情景(填选项卡)、展示不同的对象、使用不同的测量工具、操控不同的变量。该项研究验证了学生是如何利用计算机模拟程序一步步创建关于"波的干扰"的科学模型的。由于 PhET 仿真程序的灵活性,学生可以选择不同的探究路径,就像科学家探索自然现象那样。同时,仿真程序的内置功能与实时反馈能引导学生进行自主探究,使他们的学习过程更有成效。此外,学生在高阶思维方面也很有收获——在与波的仿真程序进行交互的过程中,学生将建立起真实世界与科学表征以及其他表征之间的内在联系,从而有利于学生形成归纳、总结和类比推理等能力,这正是通过建模发展学生能力的关键所在(Lehrer, & Schauble, 2006)。

利用 TMBI 促进科学探究的另一个典型案例是"River City 课程"。这是哈佛大学教育研究生院开设的,该课程开发了一个多用户虚拟环境"MUVE"[②],宗旨是增强中学生的学习动机和促进他们的科学探究学习(Nelson, Ketelhut, et al., 2005)。River City 课程以探究为核心、时长 17 个小时。在该课程中学生先形成科学假设,然后通过虚拟实验检验假设——是什么引起虚拟城市中居民疾病爆发的?该虚拟城市是一个关于人与自然系统的计算机模型,涉及生态学、健康学、生物学、化学和地球科学等多方面的知识。在该课程实施过程中,每

2-4 名学生组成学习小组开展研究,并且与数字产品、隐性线索、计算机代理以及彼此的化身进行交互。

研究结果表明: River City 课程确实提高了学生的学习动机,增长了学科内容知识(Ketelhut et al.,2006)和探究技能(Ketelhut et al.,2006)。学者克特勒胡特(Ketelhut,2007)等人还专门调查了学生的探究行为是否在参与该课程时形成的学生的自我效能感和科学探究行为之间有关系,以及使用哪种类型的工具能对学生的学习产生影响。克特勒胡特的调查说明,学生通过参与 River City 课程开展科学探究,其探究行为的次数,会随时间的推移而增多;自我效能感高的学生比自我效能感低的学生参与了更多的科学探究;而且使用课程中相关工具进行探究的学生与未使用这些工具的控制组学生相比,具有更强的探究意识和更高的探究质量(Ketelhut et al.,2006)。

三、TMBI 如何促进基于建模的思维

TMBI 环境可以促进基于建模的思维习惯的形成。基于建模的思维有三个特征:一是关注定性思维与定量思维;二是重视计算思维;三是强调系统思维。下面我们就看看 TMBI 如何促进这几种思维的发展。

(一)定性思维与定量思维

著名的物理教育先驱赫斯腾司(Hestenes,1987)在谈到物理建模时,特别强调数学建模的重要性。数学模型指数学方式的表征,包括数字、符号、图形和其他形式的现实表征;而定量思维则是形成数学模型的核心与关键。与此同时,不少学者也强调定性思维的重要性,因为定性理解可以为定量推理奠定坚实基础(Bredeweg & Forbus,2003; Forbus,1984)。由此可见,我们应当同时关注青少年定性思维与定量思维的培养。为此,人们开发了一批致力于发展青少年定性建模与定量建模能力的计算机程序,以便促进广大青少年定性思维与定量思维能力的形成与发展。

Model-It[③]是用于帮助学生进行定性建模的样本程序,由密歇根大学交互计算中心开发。Model-It 用来帮助初中或高中学生构建和测试表征科学现象的定性模型(Stratford et al.,1998)。Model-It 内置了计划、构建和测试三种模式,以便搭建支架帮助学生形成定性思维建模。

在计划模式中,学生创建对象并定义相关变量;

在构建模式中,学生以口头或图形方式设定变量关系(在此过程中学生只用定性关系,例如变量 A 增加,变量 B 减小);

在测试模式中,学生可能会通过修改变量的值,观察模型是如何工作的。在此过程中,变量只是在几个层级之间变化。

斯特拉佛德等人(Straford et al.,1998))发现,学生运用 Model-It 建模程序,可以开展四种类型活动:

1)分析,即把正在被研究的系统分成若干部分;

2)关系推理,即探讨系统组成部分之间的关系;

3)整合,即将相关内容加以整合,以确保模型可以表示完整的事物形象;

4)测试和调试,即对模型进行测试与调试,探讨各种可能性,根据外部表现确定问题,寻找解决方法。

专家与学生利用 Model-It 程序建模的不同之处在于,专家开始时先有明确的关注点,该关注点是某一对象(或某种因素),然后再按照计划、构建和测试的内置序列依次实施;在最终形成模型之前,专家往往会花较长时间进行计划,并思考全部相关因素以及各因素之间的关系。

为了促进学生定量思维的发展,人们也开发了基于 TMBI 的程序及相关研究。学者茜斯(Sins et al.,2009)等人曾进行过一项有关学生"在认识论层面对模型和建模理解"的调查,希望了解学生对模型本质、模型用途、建模过程和对模型如何评价的认识,以及这些认识背后学生的认知过程(这里的认知过程有深浅之分)。该研究情境有 26 名学生,每两人为一组完成基于计算的力学建模任务——构建滑冰者的运动模型。学生使用 Powerism 简版构造器软件程序,这是一个免费的、基于系统动力学的建模工具,有库存、利率、辅助物、常量和连接器等五个模型建构板块。其中,库存代表可以增加或减少的量;利率决定现有库存数量的变化速度。从定性的角度看,学生可以添加、删除和移动这些元素。从

定量的角度看,学生可以控制利率和这些元素的数量(例如,可用数值表示溜冰者的速率,还可以添加公式)。具有指定数量和利率的 Powerism 程序,可以自动运行,并生成相应的微分方程计算运行结果(计算结果可用图形或表格显示)。

茜斯等人的研究证明:学生在认识论层面的理解和他们的认知过程之间呈正相关。他们还发现大多数学生实际上经历了一个浅层的认知过程,例如,尚未提及背景物理知识就去量化一个模型,理解水平较低的学生往往只关注模型的视觉方面。

事实上,在定性和定量建模的统一体中,定性建模和定量建模之间没有明显界限,而且更强的建模能力的形成,有赖于这二者的结合,定性建模可以帮助学生将主要建模元素可视化,从而为精确的定量描述打下基础。定量建模则使学生能够在量上控制变量以及变量之间的关系,引导学生较好地理解和掌握数学公式。目前许多基于 TMBI 的建模程序能帮助青少年在理科学习中培育定性建模和定量建模能力(White,1993; Komis et al.,2007)。

(二)计算思维

学者武英(Wing,2006)把计算思维定义为:计算机科学家思考世界(理解人类)、解决问题和设计系统的方法。他指出,将计算思维等同于计算机编程是狭隘的,相反,计算思维的典型特征包括不同的抽象层次、根本性的以人为本的问题解决、融合数学与工程思想和在日常生活中运用计算概念等。

由协和联盟(Concord Consortium)开发的分子工作台软件(Molecular Workbench)就是能通过计算机建模发展学生计算思维的一种有效软件工具④。它基于 Java 的建模环境,为理科的教与学提供可视化、交互式计算实验与建模(Xie,2010)。该分子工作台软件关注跨学科(例如,跨越物理、化学、生物等学科)的一系列主题的分子和原子间的相互作用,其算法依赖于分子动力学和量子动力学的模拟方法(Xie et al.,2011)。学生利用该工作台可以创建模型来模拟、实验、预测真实世界中的事件。

茜伊(Xie et al.,2011)等人的实验研究表明:一般学生和物理、化学专业的学生利用分子工作台能创造新的计算模型,深入探讨化学现象及其原理(如离子结合、净化和燃料电池等)。

帕帕叶夫日皮多等学者(Papaevripidou et al.,2007)利用面向对象的建模工具 Stagecast Creator(SC),让学生不必使用编程语言,而是通过图形化编程工具制定规则,以控制角色的某些行为(如拖动一个角色到新的位置)。学生也可以通过定义变量来制定用于确定或控制操作的规则(如学生可以用数字表示"某角色单位运动所消耗的能量")。研究结果表明:利用上述工具学习一个单元后,学生的建模技能明显提高(例如,学生的关注点从开始时只对现象作陈述性描述,转向创造出"能显示现象的组成部分以及各部分之间相互关系"的复杂模型。此外,有计算建模经验的学生,能更全面地描述日常交互,从对给定的模型、指定的标准、对模型的欣赏,到利用工具软件反复、持续地对模型进行修正和细化。

(三)系统思维

为了能理解复杂的科学现象,青少年需要培养系统思维(Kauffman,1995; Wilensky & Resnick,1999)。系统思维的特征是:

1)能感知由若干个元素相互作用而形成的系统;

2)能理解系统内因某个元素的变化而导致其他元素乃至整个系统的改变;

3)懂得单个元素的相对简单行为,能通过某种机制进行组合,然后可用来解释综合层面的复杂系统。

不少基于 TMBI 的建模程序(如 Model-It 和 Powerism)都有助于学生系统思维的培养。要注意的是,培养系统思维涉及系统动力学建模的更具包容性的要求。下面将介绍基于 TMBI 并侧重于系统思维培养的典型软件工具 NetLogo,它是一种基于代理的建模工具,能模拟复杂和分散的系统(Wilensky & Rand,2009)。在 NetLogo 平台上,某个体可以被编码,以便独立运行,但要遵循一定的规则。例如,为了表征一群鸟,每个代表一只鸟的"代理",需遵循一套独立的规则,包括代理之间如何相互作用的描述(如当两只小鸟接近到一定距离时,彼此要设法远离对方以避免相撞)。可见,NetLogo 不仅能揭示不同层次的感知系统(如微观系统和宏观系统),也能揭示不同层次系统之间的内在联系(例如,个体代理的相互作用将导致产生集体行为)。

勒维和威廉斯基(Levy & Wilensky,2009a;

Levy & Wilensky，2009b）专门对如何利用 NetLogo 平台促进学生系统思维的发展进行了研究。相关的情境是一门利用 NetLogo 语言编程的“连接化学课程”——主要讲述化学中的气体定律和分子运动理论。该课程旨在帮助学生在亚微观、象征性、经验和宏观四种层次的系统访问之间建立联系，从而使学生获得概念性的、数学和物理学三方面知识。

勒维和威廉斯基的研究结果表明：通过这样的建模环境，从亚微观的水平开始，探讨单个质点的运动，然后在此基础上，学生不仅可以形成比较科学的化学世界系统观，而且学习了这样的课程后，他们对气体定律和分子运动的本质也有了更深入的理解，把亚微观和宏观世界联系起来的能力有了较大的提升。他们还发现：当评价被嵌入建模过程中，而不是在后测的问卷中时，学生将获得更大的成功。学生对模型本质的认识也将更深刻（例如，能认识到多个模型可以用来表示某个相同的现象）。

四、TMBI 如何促进协作式学习

按照建构主义理论，科学知识通过社会性建构形成，即学生需要通过协作交流和参与社会交往活动建构和深化对科学现象与科学概念的认识与理解。这表明，协作是基于建模的教学方式的关键。

在 TMBI 环境中，学生经常通过不同形式的协作共享资源或加强建模实践。下文是利用 TMBI 环境有效促进协作式学习的几种典型案例。

（一）SMALLLab 支持的协作学习

SMALLLab 是一个用于高中生探究“地质演化”的混合式现实环境（Birch field & Megowan-Romanowicz，2009）。在 SMALLLab 系统的支持下，学生通过与环境以及与特别开发的发光球之类的手持设备的交互，可以彼此面对面进行协作。为了使这种协作更有成效，全班学生被分成若干小组，每个小组承担不同的角色。按照课程内容的要求，小组的建模活动是合作共建“千层饼”地壳。实验结果表明，与控制组相比，实验组学生之间的互动增加了33%。此外，受干预的实验组学生在“地球科学内容”的测试中，也比控制组学生的成绩好，这种测试还透露出一个重要信息：实验组学生比控制组学生多得到的分数，主要来自开放性题目（而不是多项选择题）。这表明，通过这种协作学习，学生的知识面和思维能力能得到较好和较大的扩展。

（二）Mr. Vetro 支持的协作学习

Mr. Vetro 是一个用于支持高中生探究人体生理学的建模软件（Ioannidou et al.，2010）。学生以小组或全班为单位开展协作。每个小组控制一台无线连接的计算机模拟（例如，有的小组负责心脏，有的小组负责大脑），各组收集到的信息数据都送入中心复合模拟（在本案例中指以血液为中心的躯体表征），并通过各组的相互协调维持人体的健康。

在 Mr. Vetro 支持的课程中，学生通过计算机模型能够对人体器官进行可视化观察，可控制影响人体复杂血液系统的生理变量，并通过各组之间的协作、配合维持整个系统的正常运转。实验结果表明：与基于观察和教师访谈的对照组班级相比，Mr. Vetro 支持的课堂更具探究性。就学习效果而言，使用 Mr. Vetro 的班级确实比对照组班级好得多（尤其是涉及科学定义和开放性内容，二者的差异更显著）。研究还发现，课程中使用 Mr. Vetro 建模工具，将对学生如何看待生物学与个人相关性的态度产生积极影响。

（三）WISE 支持的协作学习

基于网络的科学探究环境（Web-based Inquiry Science Environment，缩写 WISE）是专门利用与情境相关的嵌入式支架支持中学理科教学的一种学习环境。它支持引导式探究、过程性评价、同伴协作、教师定制等功能，目的是促进学生对复杂抽象概念的理解和实现学科之间知识的整合（Linn，2000）。与此同时，它也有效地支持学生的协作学习（不仅是同一班级内的面对面协作，还包括跨地区的远程协作）。学者葛伯特和帕兰特（Gobert & Pallant，2004）曾对将 WISE 环境应用于地质学板块构造内容单元的协作学习案例进行专门研究。在该案例中，学生可以观察、操作、构建和评估与板块构造（如地震、火山）有关的计算机模型；该课程单元的实施过程不仅能促进同一班级内各组同学之间的面对面协作，还有助于来自美国东西海岸的不同学校班级之间的远程协作与交流，来自东西海岸的学生可以通过 WISE 平台进行在线讨论、功能分析，并相互评论彼此建构的模型。这样的协作经历还被内置于学生真实建模的过程中。葛伯特和帕兰特通过研究发现，该课程单元的学习结束后，学生们普遍对模

型本质的理解更加深入,对模型本质已有较深刻认识的学生也能得到更大的收获与提高。

(四) ToonTalk 支持的协作学习

ToonTalk 是由辛普松(Simpson et al.,2006)等人开发的、用于计算机编程和玩视频游戏的工具,其作用是帮助学生学习运动学。在 ToonTalk 支持下,学生以两人一组的形式编写程序、构建视频游戏和使用图形,还可以共同合作基于互联网的项目,从而可通过网络协作系统与来自其他国家的学习伙伴进行讨论、交流、协作和分享(学生可以在网络协作系统自由发表学习心得与评论)。

辛普松等人发现,使用 ToonTalk 工具学习后,学生们普遍提高了对位移的理解,对课程其他内容的学习效果也因有充分的协作学习机会而得以增强,在这样的协作学习环境中,学生们既可共同分享模型、又可跨网站向同伴发起挑战,从而促使本地学生进行更加活跃、深入地面对面讨论。

五、支架式 TMBI 的设计与应用

在交互性和动态性、基于计算机建模的学习环境中开展科学探究,需要从认知、操作方面对学生提供支持。这种支持(也称教学支架,简称支架)可以从多方面入手,例如,让学习者关注模型中某个关键方面,减轻学习者的认知负荷,为学习者提供相关资源和背景资料,帮助学习者自我评价或对他人评价以及提供即时反馈等。这些支持(支架)对学习者都是至关重要的。以评价为例,学习者评价(包括自我评价和对他人的评价)能显著增强学习者对该学科的理解,而详细的脚本和激励性问题则可以作为支架提供给学习者。如果没有这样的支架支持,学习者的自我评价和对他人的评价很可能是浅层次、不具针对性、非实质性的。

嵌入式学习环境中的支架若要具有有效性,应有相关学习理论的指导,而学习环境的创建也要以相关学习理论为基础,所以二者是完全一致的。这方面比较成功的典型例子是前面提到的基于网络的科学探究环境(WISE 系统),它是专门利用与具体情境相关的嵌入式支架支持引导式探究、过程性评价、同伴协作、教师定制等功能的开源在线学习环境。

基于网络的科学探究环境的目的是帮助学生理解掌握复杂、抽象的科学概念和实现知识的深层次建构与整合(Linn,2006)。基于网络的科学探究环境支持的课程嵌入了大量与具体情境相关的支架,这些支架既支持教师的教,也支持学生的学。仅支持学生的知识整合过程就包括:激发学习动机、发展批判性思维、加入新的想法、区分不同观点、整合并形成新思路或新知识。下面进一步介绍几个用于支持学生科学建模的支架策略。

(一) 含有激励性问题的嵌入式支架

初学者在正确理解和提取科学模型的复杂信息时,往往存在一定的困难,所以在 TMBI 环境中嵌入能帮助学习者关注模型中某个关键方面的支架是很必要的。例如,在 WISE 支持的学习单元"热力学:探测你的环境"中,包含有"微粒模型",该模型展示了微粒水平上两个物体之间是如何进行热传递的(Xie & Tinker,2006)。与此同时,温度图显示物体的温度是如何随着时间的推移而发生变化的。为了引导学生能自主应用该模型和图形学习,在嵌入式支架中应包含激励性问题,这些问题要求学生预测、观察并解释模型所反映的现象及结果。在学生正式开始观察前,激励性问题要求学生预测粒子的速度是如何随温度的变化而变化(从而吸引并集中学生的注意力);在正式观察中,激励性问题要求学生着重观察模型中粒子是如何移动的(以便帮助学生抓住问题的关键);在学生观察了动态分子模型后,激励性问题则要求学生解释模型所显示的结果(以深化学生对知识意义的建构)。研究结果表明,在嵌入式支架中包含了这类激励性问题后,确实能帮助学生对学习内容取得更深刻的认识与理解。

(二) 利用显性支架支持科学建模

为了帮助学生有效地从事科学建模,最好能开展某种批判性活动(作为一种显性支架)支持学生的建模实践。例如,WISE 项目的"热力学分子模型"允许学生对模型进行修改。学生通过改变两个物体的温度、物体的构成材料和物体之间接触的时间,有意或无意地对计算机模型进行实验。为了帮助学生制定如何使用热力学模型进行科学实验的标准,WISE 系统专门设计了一项批判性活动,以鼓励学生用模型批判虚拟的学生实验。批判性活动的纳入是基于支架式视角(也称"显性支架")——学生需要的支持,不仅有结构化学习任务,还包括问题化

和情境化学习任务(Reiser,2004; Shen, 2010)。实验结果表明,开展批判性活动的学生,和没有开展批判性活动的学生相比,能设计出更有效的实验,形成关于科学模型的更全面、深刻的理解。

(三)通过思维可视化帮助学生构建抽象的科学模型

通过思维可视化,嵌入式支架也可以被设计成帮助学生构建基于直观模型和先前经验的抽象解释模型。沈和林恩(Shen & Linn,2011)介绍了他们基于 WISE 的研究。

他们针对高中生开发了关于静电科学的解释模型。沈和林恩仔细描述了学生关于感应现象的解释模型如何随着时间的推移而出现的变化,并使用秘钥控制的知识整合设计原则,目的在于使思维可视化,让科学概念易于理解,从而帮助学生随时提取先验知识,以便于理解当前的计算机模型,并把当前模型与实际经验联系起来。这样,上述内置支架就能帮助学生建构从基础的"基于电荷的解释模型"到"基于粒子的模型"再到"面向能量的模型"。

沈和林恩的研究结果表明,学生学习了基于 WISE 的"静电单元"以后,能够理解和整合不同层次的模型,能更清晰、科学地阐述与静电学相关的日常生活经验及有关现象。

[注释]

① http://phet.colorado.edu/.

② http://muve.gse.harvard.edu/muvees2003.

③ http://hi-ce.org.

④ http:// mw.concord.org/modeler.

[参考文献]

[1] Adams, W. K., Paulson, A., & Wieman, C. E. (2009). What levels of guidance promote engaged exploration with interactive simulations? [C]. PERC Proceedings. Retrieved August 23, 2011, from http://phet.colorado.edu/en/research.

[2] Birch field, D., & Megowan-Romanowicz, C. (2009). Earth science learning in SMALLab: A design experiment for mixed reality [J]. International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 4 (4): 403-421.

[3] Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). How people learn: Brain, mind, experience, and school (Expanded edition) [M]. Washington, DC: National Academy Press.

[4] Bredeweg, B., & Forbus, K. (2003). Qualitative modeling in education [J]. AI Magazine, 24 (4): 35-46.

[5] Forbus, K. D. (1984). Qualitative process theory [J]. Artificial Intelligence, 24 (1-3): 85-168.

[6] Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks [J]. Journal of Science Education and Technology, 13 (1): 7-22.

[7] Hannafin, M. J., & Land, S. (1997). The foundations and assumptions of technology-enhanced, student-centered learning environments [J]. Instructional Science, (25): 167-202.

[8] Hart, C. (2008). Models in physics, models for physics learning, and why the distinction may matter in the case of electric circuits [J]. Research in Science Education, 38 (5),: 529-544.

[9] Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction [J]. American Journal of Physics: 55 , 440-454.

[10] Ioannidou, A., Repenning, A., Webb, D., Keyser, D., Luhn, L., & Daetwyler, C. (2010). Mr. Vetro: A collective simulation for teaching health science [J]. International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 5 (2): 141-166.

[11] Kauffman, S. (1995). At home in the universe: the search for the laws of self-organization and complexity [M]. Oxford: Oxford University Press.

[12] Ketelhut, D. J., Dede, C., Clarke, J., & Nelson, B. (2006). A multi-user virtual environment for building higher order inquiry skills in science [C]. Paper presented at the American Educational Research Association, San Francisco, CA.

[13] Ketelhut, D. J., Nelson, B., Dede, C., & Clarke, J. (2006). Inquiry learning in multi-user virtual environments [C]. Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, CA.

[14] Ketelhut, D. J. (2007). The impact of student self-efficacy on scientific inquiry skills: An exploratory investigation in River City, a multiuser virtual environment [J]. Journal of Science Education and Technology, 16 (1): 99-111.

[15] Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry [J]. Science Education, (91): 877-905.

[16] Komis, V., Ergazaki, M., & Zogza, V. (2007). Comparing computersupported dynamic modeling and "paper & pencil" concept mapping technique in students' collaborative activity [J]. Computers in Education, 49 (4): 991-1017.

[17] Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Cultivating model-based reasoning in science education. In R. K. Sawyer (Ed.) [M], The Cambridge handbook of the learning sciences (pp. 371-388). New York, NY: Cambridge University Press.

[18] Levy, S. T., & Wilensky, U. (2009a). Students' learning with the Connected Chemistry (CC1) Curriculum: Navigating the complexities of the particulate world [J]. Journal of Science Education and Technology, 18 (3): 243-254.

[19] Levy, S. T., & Wilensky, U. (2009b). Crossing levels and representations: The Connected Chemistry (CC1) Curriculum [J]. Educational Technology, 18 (3): 224-242.

[20] Linn, M. C. (2000). Designing the knowledge integration environment [J]. International Journal of Science Education, 22 (8): 781-796.

[21] Linn, M. C. (2006). The knowledge integration perspective on learning and instruction. In R. K. Sawyer (Ed.) [M], The Cambridge handbook of the learning sciences (pp. 243-264). New York, NY: Cambridge University Press.

[22] Nelson, B., Ketelhut, D. J., Clarke, J., Bowman, C., & Dede, C. (2005). Design-based research strategies for developing a scientific inquiry curriculum in a multi-user virtual environment [J]. Educational Technology, 45 (1): 21-27.

[23] Papaevripidou, M., Constantinou, C. P., & Zacharia, Z. C. (2007). Modeling complex marine ecosystems: An investigation of two teaching approaches with fifth graders [J]. Journal of Computer Assisted Learning, 23 (2): 145-157.

[24] Passmore, C., & Stewart, J. (2002). A modeling approach to teaching evolutionary biology in high school [J]. Journal of Research in Science Teaching, (39): 185-204.

[25] Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., et al. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics [J]. The Physics Teacher, 44 (1): 18-23.

[26] Podolefsky, N. S., Perkins, K. K., & Adams, W. K. (2010). Factors promoting engaged exploration with computer simulations [J]. Physical Review Special Topics—Physics Education Research, 6, 020117-1-11.

[27] Reiser, B. J. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work [J]. Journal of the Learning Sciences, 13 (3): 273-304.

[28] 任友群,焦建利,刘美凤,汪 琼,顾小清,阎寒冰(2015). 教育传播与技术研究手册(第四版) [M]. Handbook of Research on Educational Communications and Technology (Fourth Edition). 上海: 华东师范大学出版社。

[29] Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., et al. (2009). Developing a learning progression for scienti fi c modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners [J]. Journal of Research in Science Teaching, 46 (6): 632-654.

[30] Sell, K. S., Herbert, B. E., Stuessy, C. L., & Schielack, J. (2006). Supporting student conceptual model development of complex Earth systems through the use of multiple representations and inquiry [J]. Journal of Geoscience Education, 54 (3): 396-407.

[31] Shen, J. (2010). Nurturing students' critical knowledge using technology-enhanced scaffolding strategies in science education: A conceptual framework [J]. Journal of Science Education and Technology, 19 (1): 1-12.

[32] Shen, J., & Linn, M. C. (2011). Connecting scientific explanations and everyday observations: A technology enhanced curriculum on modeling static electricity [J]. International Journal of Science Education, 33 (12): 1597-1623.

[33] Simpson, G., Hoyles, C., & Noss, R. (2006). Exploring the mathematics of motion through construction and collaboration [J]. Journal of Computer Assisted Learning, (22): 114-136.

[34] Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., van Joolingen, W. R., & van HoutWolters, B. H. A. M. (2009). The relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task [J]. International Journal of Science Education, 31 (9): 1205-1229.

[35] Stratford, S. J., Krajcik, J., & Soloway, E. (1998). Secondary students dynamic modeling processes: Analyzing, reasoning about, synthesizing, and testing models of stream ecosystems [J]. Journal of Science Education and Technology, 7 (3): 215-234.

[36] White, B. (1993). ThinkerTools: Causal models, conceptual change, and science education [J]. Cognition and Instruction, 10 (1): 1-100.

[37] Wieman, C., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. Science, (322): 682-683.

[38] Wieman, C., Adams, W. K., Loeblein, P., & Perkins, K. K. (2010). Teaching physics using PhET simulations [J]. The Physics Teacher, 48 (4): 225-227.

[39] Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations [J]. Science Education, 92 (5): 941-967.

[40] Wing, J. M. (2006). Computational thinking [J]. Communications of the ACM, 49 (3): 33-35.

[41] Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems perspective to making sense of the world [J]. Journal of Science Education and Technology, 8 (1): 3-19.

[42] Wilensky, U., & Rand, W. (2009). An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo [M]. Cambridge, MA: MIT Press.

[43] Xie, Q., & Tinker, R. (2006). Molecular dynamics simulations of chemical reactions for use in education [J]. Journal of Chemical Education, 83 (1): 77-83.

[44] Xie, C. (2010). Computational experiments for science and engineering education [EB/OL]. Retrieved August 28, 2011, from mw.concord.org/modeler/articles/computational experiment.pdf

[45] Xie, C., Tinker, R., Tinker, B., Pallant, A., Damelin, D., & Berenfeld, B. (2011). Computational experiments for science education [J]. Science, 332 (6037): 1516-1517.

(编辑:徐辉富)

The New Teaching Method Based on Modeling and Its Significance and Function: A Study of the Handbook of Research on Educational Communications and Technology (Fourth Edition)

HE Kekang

(*The Advanced-science & High-tech Innovation Center for Future Education, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*)

Abstract: *This paper first analyzes the main characteristics of technology-enhanced, modeling-based teaching (TMBI). On this basis, the paper focuses on how TMBI promotes scientific exploration, modeling-based of thinking and collaborative learning, and the design and application of TMBI, as well as the significance and function of TMBI in teaching.*

Key words: *technology-enhanced, modeling-based teaching (TMBI); qualitative thinking; quantitative thinking; computational thinking; systems thinking.*

(上接第 8 页)

Chinese scholars to explore to promote domestic education research and to be in line with international education frontiers. With these intentions, the authors had the privilege to interview professor Chin Chung Tsai, an internationally renowned science education expert.

Chin Chung Tsai, the professor in the Graduate Institute of Digital Learning and Education of Taiwan University of Science and Technology, received his master's degree and doctoral degree in education from Harvard University and Columbia University respectively. Professor Tsai has been the chief editor of Computer and Education since 2009, *which ranks the first in educational technology in SSCI database according to the impact factor. In addition, as an editor board member or reviewer, Professor Tsai serves for nearly* 40 *renowned educational journals, and some well-known international research centers, such as National Science Foundation in United States. He received the classic citation award by Institute for Science Information (ISI). Professor Tsai' s research interests focus on science-education-based constructivism, epistemic belief, and e-learning. This interview addresses on the following issues: how does a domestic scholar qualify for an international academic research? What are the philosophies for running a world-class journal and its enlightenment to domestic educational journals? In addition, Professor Tsai also presented his insights on current issues such as dealing with the relationship between teaching and scientific research.*

Key words: *world-class level; educational research; interdisciplinary; innovation*