



科学建模学习进阶：从理论走向实践

姚楠

(华东师范大学教师教育学院 上海 200062)

(收稿日期:2019-09-09)

摘要:在科学教育领域,学习进阶研究是近年来的热点议题,有关科学建模能力的学习进阶逐渐涌现和发展,本文将基于文献分析,从进阶变量的选取、进阶层级的构建、进阶模型的应用3个方面,探讨国内外科学建模学习进阶研究现状,以期对我国科学建模教学实践以及学习进阶研究提供一定的启示和参考。

关键词:学习进阶 科学建模 物理教学 核心素养

1 引言

2004年,史密斯等人向美国国家研究理事会(National Research Council,简称NRC)提交了有关物质和原子分子理论的学习进阶研究报告^[1],自此,学习进阶(Learning Progression)进入了科学教育领域。NRC将学习进阶定义为“对学生在一个时间跨度内学习和探究某一主题时,依次进阶、逐级深化的思维方式的描述”^[2]。学习进阶以学生对核心概念的理解和关键能力的培养为研究对象,描述学生的认知发展历程并提供针对性教学方案^[3]。学习进阶已成为学习、评价、课程等领域的研究热点,将学习进阶应用于物理教学中,有助于教学目标的设计和教学策略的选择^[4]。

近年来,国内外有关学生科学建模能力的学习进阶研究逐渐涌现和发展,并在进阶变量的选取、进阶层级的构建、进阶模型的应用上逐步深入。本文将从以上3方面对国内外科学建模学习进阶研究进行分析与讨论,以期为物理课程中的建模教学实践以及更深入的进阶研究提供参考。

2 进阶变量:从“关键能力”到“能力+概念”

科学建模学习进阶研究之初,文献^[5]通过中小学生学习建模能力的纸笔测验、反思性访谈及课堂建模活动,以“科学建模能力”为进阶变量,从“科学模型作为预测和解释的工具”和“随着理解的提高而改进模型”两个维度构建了科学建模的学习进阶。

在应用模型进行预测和解释时,学生的建模能力进阶依次表现为:

(1)能构建和应用描述单一现象的模型,将模型视为一种表征现象的方式;

(2)能构建并应用与实际情况一致的模型来说明和解释现象,将模型视为表达他们对现象理解的手段;

(3)能构建多重模型从多方面对现象作出解释,将模型视为可以支持他们思考和认识各类现象的工具;

(4)能够自发构建和应用模型,并通过不同的模型来理解现象,生成新问题。

在模型改进方面,学生从用正确或错误来绝对性评价模型,到能够根据权威信息进行模型改进,进而发展为考虑模型与经验证据的拟合度来比较和改进模型,最终形成科学建模的发展性视角,能够自发地考虑模型的改进,增强模型解释力。

此后,文献^[6]提出,虽然建模能力是科学实践的核心,但应与被建模的对象(科学概念/规律)相互渗透,进而构建了生物进化论主题概念理解和建模能力的整合进阶。以“生态系统”核心概念的学习进阶为例,学生从只能叙述性地用人类类比思考其他生物与物理环境的关系,发展为通过绘图或使用图鉴将生物体和环境相关联,进而利用地图等模型划分区域,考虑各区域生物的存活和繁殖情况,最终能运用电子工具建模,思考生物体和物理环境间的相互作用,预测生态系统稳定性。

在我国科学教育领域,物理学科率先开展了建模能力与核心概念整合的学习进阶研究.文献[7]以“浮力”概念的教学为例,探讨了如何基于科学方法教育突破思维障碍实现某一具体概念的“学习进阶”.该研究结合科学建模过程进行概念学习的进阶设计,将“浮力”概念进阶与科学建模进阶整合(表1),通过“实验—理论—模型—生活”的认知过程,内化学生模型构建、科学推理的思维方式,实现学生对“浮力”从经验概念到科学概念的转变,从心智模型外显到科学模型构建的能力进阶.

表1 “浮力”概念及建模能力整合进阶

层级	“浮力”概念	科学建模
5	物体的浮沉由物体受到的重力与受到的浮力的合力决定	整合模型
4	浮力的大小等于物体排开液体受到的重力大小	科学模型
3	浮力由液体密度和物体排开的液体的体积决定	定性模型
2	浮力是液体或气体对物体的压力的合力	映射模型
1	浮力是液体或气体对浸在其中的物体向上的力	感知模型

表2 物理建模学习进阶

进阶水平	定义	举例:匀速圆周运动圆锥摆模型
科学模型拓展	将新建的模型用以解决实际问题,在问题情境中巩固、强化和拓展模型	能够熟练运用圆锥摆模型处理生活中的等效圆锥摆问题,如火车转弯问题
科学模型优化	模型的交流、验证、规范、修正,根据建模目的和模型适用范围等,对模型进行优化	总结圆锥摆模型的特征,分析任意两个物理量之间的关系
科学模型初建	经过有效取舍,从经验中挑选合适模型并整合,构建新模型	分析小球受力情况,得出合力表达式;根据几何关系,找到轨道半径与摆线长之间的关系;导出圆锥摆的线速度、角速度等与摆线偏角和线长的关系
心智模型外显	根据已有知识经验,使用所提供的材料和工具探究当前情景,建构对该情景的理解并表达	通过对圆锥摆模型基本情景的认识,采取适当方式展示对小球运动特点、受力特点、装置几何关系的理解
进阶起点	构建该模型必需的已有知识和关键能力	匀速圆周运动的运动特点和受力规律

此后,随着科学建模学习进阶在科学课程中的进一步应用和发展,文献[10]基于学习进阶理论,建立了一个动态循环的科学建模教学进阶模型(图1).学生面对一个物理现象或问题,首先通过猜想、类比、概括等初步构建心智模型,这与表2中“心智模型外显”层级一致;而后,对模型进行表征、描述和分析,并尝试应用模型解决问题,在此过程中,对

3 进阶层级:从“逐级递进”到“循环完善”

物理建模教学有助于学生发现问题、提出问题,能帮助学生强化物理知识应用意识及创新意识,提升分析和解决问题的能力,培养独立思考和团队合作精神^[8].在探索如何将学习进阶理论应用于物理学科建模教学的过程中,科学建模的进阶层级也发生了演变.

文献[7]在“浮力”概念和建模能力整合进阶(表1)中,构建了逐级递进的感知—映射—定性—科学—整合的5层级科学建模学习进阶模型,在与科学概念教学相融合的过程中,展现出此进阶模型应用于科学教学实践的可能,但是并未对各层级作出更加具体的描述和解释.

文献[9]探讨了基于物理建模的学习进阶的可行性,构建了物理建模学习进阶框架,并结合匀速圆周运动的圆锥摆模型加以解释(表2).与文献[5]的科学建模学习进阶不同,该进阶模型更加关注学生逐步构建科学模型的过程,并与学科特征相结合,更加适用于学科教学和课堂实践.

模型进行评估和修正,即表2中“科学模型初建和优化”;最后,判断修正后的模型是否能够与问题情境相吻合,以确定是否进一步优化模型抑或再次循环建模.由此可见,该研究拓展了模型建构的循环修订过程,实现了科学建模能力进阶层级从“逐级递进”到“循环完善”的演变.

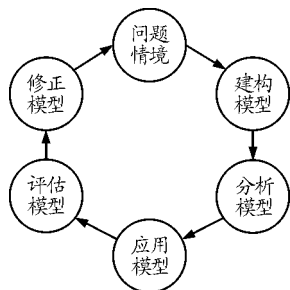


图1 动态循环的科学建模教学进阶模型

4 进阶应用:从“教学设计”到“课堂实践”

随着进阶研究的不断深入,科学建模学习进阶逐渐从理论走向了实践。

文献[11]通过对物理新课程标准的分析,发现在课程结构、学业质量及教学评价中均体现着进阶思想.进阶思想有助于帮助教师了解学生、开发教学模式、设计教学评价标准,教师在教学中应重视进阶理论的影响,将进阶运用于教学。

文献[9]在构建物理建模学习进阶框架的基础上,针对每一个进阶层级提出了基于学习进阶开展建模教学的指导策略(表3),为将学习进阶理论成功应用于课堂教学实践中提供了可能。

表3 物理建模学习进阶指导策略

进阶水平	教学策略
科学模型优化	模型验证,模型分析,模型拓展
科学模型初建	(不同模型间)对比,(与公认规范结论)比较,整合,解释,验证,规范,表述
心智模型外显	运用恰当语言描绘心智模型,使用合适工具(图表等)表达模型意义,组织展示心智模型思维过程
进阶起点	基础测评,知识强化和铺垫,方法、工具选取及准备

此外,文献[12]基于科学建模学习进阶对“带电粒子在电场中的运动”一节进行了教学设计,从进阶目标确立、进阶起点预设和诊断、进阶层级划分和核心活动3方面详细阐述了教学内容和设计思路,对科学建模学习进阶指导下的课堂实践提供了更加详细的参考。

此后,文献[13]将物理建模学习进阶的指导策略(表3)应用于课堂实践,围绕“牛顿运动定律”主题进行教学设计,展开课堂教学,并进行了教学效果的测量.通过与传统教学方法的对比,发现基于物理建模的学习进阶教学比传统教学具有更好的教学效

果,能更加科学、高效地促进学生对物理概念的掌握,落实核心素养。

文献[14]围绕静电平衡核心概念开展探究性教学,在教学过程设计中,让学生多次经历物理模型的建立、完善、检验、应用过程,借助实验探究引入和完善物理模型.通过教学实践发现,将实验探究过程与模型构建的进阶过程相融合,能够有效实现对学生核心素养的培养。

文献[10]也将科学建模循环进阶模型(图1)引入“超重和失重”概念的课堂教学,针对进阶模型的每一个层级逐级展开科学建模的教学实践.研究发现,在科学建模学习进阶框架下组织物理课堂教学,能够有效优化学生的学习路径,对学生建立物理概念、应用物理规律以及解决实际问题有重要的意义,并且,能够以学生的思维发展为中心,帮助学生发展模型构建、问题解决和实验探究等关键能力。

5 启示

目前,学习进阶研究仍需进一步探索,科学建模的进阶也需要进一步丰富和发展.首先,建模能力和核心概念的整合进阶对学科教学具有重要意义,但我国在这方面的研究尚处于起步阶段;其次,适用于课堂教学的科学建模进阶模型仍需在实践中不断的发展和完善;最后,学习进阶作为一个新兴研究方向,虽然能够搭建起学习研究和课堂教学之间的桥梁,但目前仍需要大量的、长期的教学实践的检验,以满足实际应用的诉求。

参考文献

- Smith C L, Wisner M, et al. Implications of Research on Children's Learning for Assessment: Matter and the Atomic - Molecular Theory[R]. Commissioned Paper Prepared for the National Research Council's Committee on Test Design for K12 Science Achievement, 2004
- National Research Council. Taking Science to School. Washington, D. C. : National Academics Press, 2007
- 郭玉英,姚建欣.基于核心素养学习进阶的科学教学设计改进.课程·教材·教法,2016,36(11):64~70
- 郑曼瑶,张军朋.“学习进阶”的研究及其在物理教学中的应用.物理通报,2014(12):2~6
- 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. Journal of Research in Science Teaching,

2009, 46(6):632 ~ 654

- 6 Lehrer R, Schauble L. Seeding Evolutionary Thinking by Engaging Children in Modeling its Foundations. *Science Education*, 2012, 96(4)
- 7 张羽燕. 基于科学建模的概念学习进阶教学——以浮力教学为例. *北京教育学院学报(自然科学版)*, 2016, 11(4):31 ~ 36
- 8 单文忠, 曾湘咏. 高中物理建模教学探骊. *物理通报*, 2011(1):85 ~ 88
- 9 姜连国, 郭玉英. 基于物理建模的学习进阶及其指导策略. *物理教师*, 2016, 37(8):2 ~ 6
- 10 任虎虎, 张雨妹. 学习进阶理论视阈下科学建模教学的

- 实践与反思——以“超重和失重”教学为例. *物理教师*, 2018, 39(4):21 ~ 23
- 11 熊素平. 物理新课程标准中的进阶思想及其教学启示. *物理通报*, 2019(1):36 ~ 37
- 12 姜连国, 郭玉英. 基于建模的学习进阶指导教学设计——以“带电粒子在电场中的运动”为例. *中学物理教学参考*, 2015, 44(10):2 ~ 5
- 13 房潇磊. 基于物理建模的学习进阶教学研究:[硕士学位论文]. 贵阳:贵州师范大学, 2018
- 14 孙策. 基于学生物理核心素养提升的教学实践——以“静电现象的应用”为例. *物理通报*, 2018(1):69 ~ 73

Learning Progression for Scientific Modeling: from Theory to Practice

Yao Nan

(College of Teacher Education, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract: In the field of scientific education, learning progression is a hot topic in recent years, and the learning progression of scientific modeling is in development. Based on literature analysis, this paper explores the research status of scientific modeling learning progression in the aspects of the selection of progress variables, the construction of component levels, and the application of progress models, in order to provide some reference for the scientific modeling teaching and studying.

Key words: learning progression; scientific modeling; physics education; core accomplishment

(上接第99页)

3 “Phyphox”在物理教学中的优势

(1) 便于获取. 随着智能手机的普及, 利用“Phyphox”软件进行物理教学更加方便, 更加容易激发学生的兴趣.

(2) 数据处理方便. 对于很多不容易测得的数据, 利用计算机等可以很容易地对数据进行分析处理, 大大减少了工作量.

(3) 实验结果准确. “Phyphox”通过手机中的传感器获得实验数据, 相比于传统的靠感觉来判断, 结果更加准确, 体现了物理实验的科学性.

(4) 内容贴近生活. 激发了学生学习物理的兴趣和热情.

(5) 界面美观. 相比于其他软件, “Phyphox”在界面设计上要美观一些.

(6) 应用方便. “Phyphox”把多个传感器合并

到一个软件中, 与其他软件相比较, 有极大的优势和便利.

4 该实验的局限性

“Phyphox”通过手机的传感器测量数据, 功能强大, 可以运用到日常的物理教学之中. 但实验的噪声不可避免, 会对实验结果产生影响. 为克服以上局限性, 采取的措施是: 采用全频放大的扬声器, 尽量选择安静的环境来进行. 虽然不能将噪音去除, 但是可以减少噪音所占比例, 使实验效果更加明显.

参考文献

- 1 陈熙谋. 物理演示实验. 北京: 高等教育出版社, 1984. 95 ~ 99
- 2 漆安慎. 普通物理学教程 力学. 北京: 高等教育出版社, 1999. 326 ~ 330
- 3 哈登喆. 声音的多普勒效应演示装置的设计与制作. *物理通报*, 2018, 37(8):127 ~ 129