

【学科视点】

科学建模的功能、能力结构模型及其启示

苑冬娜

【摘要】科学模型是人类认知和科学探究的重心,建模能力是很多国家科学教育的重要培养目标,科学建模对学生发展具有重要作用。基于科学建模能力结构模型,提出培养学生科学建模能力的四点建议:理解建模本质、学习建模工具、回归真实探究、形成建模策略,以提升学生的建模能力。

【关键词】科学建模;中学物理教育;建模能力;科学探究

人类认识世界的过程就是建模的过程。科学建模是人类认识客观世界的重要手段,推动了科学的发展和技术的创新,它是科学家解释自然现象、验证科学思想、建构科学理论的重要科学方法和基本科学实践。随着科学技术的不断进步和人类面临问题的日益复杂化,国家的竞争转化为人才的竞争,国家需要具有科学能力的人才。科学建模能力是一项重要的科学能力,国际科学课程改革中都非常关注科学建模,多国的科学课程都将学生科学建模能力的培养作为重要目标任务。美国在2012年颁布了《新一代科学教育标准》,其中的“科学与工程实践”维度重点提到“开发和使用模型”。澳大利亚2013年颁布的高中物理课程标准也对构建和修正物理中的模型和原理提出要求。我国最新一轮课程改革提出培养学生的核心素养,2017版高中物理课程标准和2022版义务教育物理课程标准都将模型建构作为物理学科核心素养在科学思维维度的基本要素。培养学生科学建模能力是物理学科教育功能的重要体现。科学建模能力体现了主体意识对客体现象复杂加工过程中的个性化心理品质,以及主体行为对客体现象进行操作表征的能力^[1]。这种能力是科学探究的外在表现,通过科学建模,学生可以更好地理解自然现象,掌握科学方法,培养解决问题的能力,并将科学知识应用于实际生活。

一、科学建模的重要功能

(一) 建模是形成科学思维的基本途径

模型建构过程中要综合运用多种科学思维方法。从抽象过程到理想化过程、再到概括过程、再到形象化表征过程,不仅用到个体抽象思维、理想化思

维、重组思维和形象化思维,还经常运用想象、类比、宏观与微观相结合等具体的思维方式和创新思维。模型建构不仅是认识客观世界的重要工具,还是一种重要的科学思维方法,在现代科学思维中具有重要的价值^[2]。哈雷就曾表示把模型作为思维工具可以说是科学哲学中的哥白尼革命。模型是凝聚了科学智慧的结晶,是一种具有解释、预测等功能的科学思维方法^[3]。科学思维是物理学科核心素养的关键,是科学能力的核心,而建模则是形成科学思维的基本途径。

(二) 模型构成科学知识的核心内容,建模是发展和应用核心知识的系统活动

海斯特斯(Hestenes)认为,科学的本质在于利用模型语言(尤其是数学)来描述物理规律,而不断提升模型的解释能力则是科学探索的核心和追求^[4]。吉尔伯特(Gilbert)更进一步认为,科学研究的过程就是模型建构的过程,学习科学也就是学习如何进行建模。科学建模的过程遵循科学认知的一般规律和原则,它是对真实世界认知的一种方式,贯穿知识的生成、传播、接受和发展的全过程,结果是建构知识并将其付诸应用。科学建模对科学研究和科学学习至关重要,它构成了科学研究和科学学习的重要内容,将现实世界转化为科学理论,用科学理论来认识客观世界。1996年,Halloun将模型建构和建模教学划分为5个阶段,如下页图1所示,他强调这些阶段并非按顺序进行,而是相互交织、重叠的。模型建构是一个复杂的系统工程。

(三) 建模可以发展学生的探究能力

建构科学模型解释自然现象是最根本的探究活

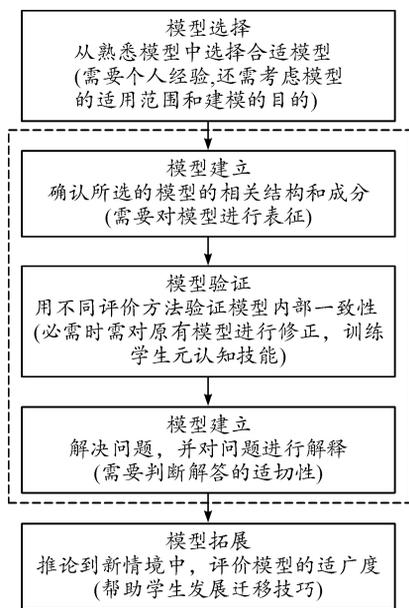


图1 Halloun的建模教学过程

动,在科学探究、知识建构和问题解决过程中发挥着关键作用^[5]。模型和建模活动构成科学探究的重要工具,重视模型工具性的教学有利于培养学生的迁移创新能力。科学建模是科学探究的核心,科学建模能力就是一种外显的科学探究能力,与科学家的科学探究能力本质上是一致的^[1]。培养学生的建模能力可以发展学生的科学探究能力。

二、科学建模能力结构模型

科学建模能力结构是培养学生建模能力、促进建模能力发展,以及开展学生学业质量评价的导向和基础。构建科学建模能力结构模型有助于对物理建模能力本质的深入认识。

不同的学者提出了不同的科学建模能力结构模型,其中被认为比较合理的是由美国密歇根州立大学的施瓦尔兹(Schwarz)提出的。他将科学建模能力结构分为建模实践能力和元知识两个方面,元知识又分为元认知知识和元建模知识。他发现科学建模与知识本质及科学探究能力之间存在着密切的关联,因此特别强调对模型本质的理解^[6]。

Fortus构建的科学建模能力结构也非常具有指导性和操作性。他的研究着重于反思建模知识的价值,因此建立的结构较为专注于元建模知识。他认为科学建模能力结构包括产生模型的能力和改变模型的能力两个方面。其中,产生模型的能力涉及文字与特征、特性与共性及模型的听众三个方面;而改变模型的能力则包括模型的细化和模型的应用两个方面^[6]。

我国台湾学者邱美虹团队从本体论、认识论、方法论三个维度建构了科学建模能力结构,如图2所示。在他们看来,在建模过程中主要进行以下四项认知活动:①确认情境中每个现象的系统组成。这个活动涉及对现实世界中的各种现象进行分析和理解,将复杂的情境分解成可管理的部分,以便进行模型化和解决问题。②确认建模的目的和预期结果的有效性。在建模之前,必须明确模型的目标以及预期的结果。这个活动包括对问题的深入理解,明确建模的目的,并确定所期望的结果是否能解决问题或提供有用见解。③选择理论评论模型。在建立模型时,需要选择适当的理论框架来解释现象,并将其转化为可操作的模型。这个活动需要对不同的理论进行评估和比较,以确定哪一个能最好地解释观察到的现象。④处理与分析模型。一旦建立了模型,就要对其进行分析和处理,以验证其有效性并从中获取有用的信息。这个活动涉及模型的运行、数据的收集和分析,以及对模型结果的解释和评估。邱美虹团队的研究从不同的认知维度出发,构建了科学建模能力的结构,强调在建模过程中的关键认知活动,为科学建模能力的培养提供了理论指导^[1]。

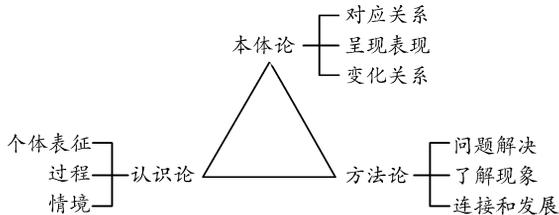


图2 邱美虹等建构的三维能力模型

袁媛^[3]运用扎根理论研究方法建构了物理建模能力要素框架(如图3)。她认为物理建模能力由3个能力类别和其下的11个要素指标构成,形成多层次、多维度的智能结构系统。这3个能力类别之间的内在关系是:“非认知因素”是物理建模能力发展的原动力和惯性,“基础能力因素”是个体参与科学实践活动的基础能力,“专项能力因素”是指向物理建模活动的特殊能力。

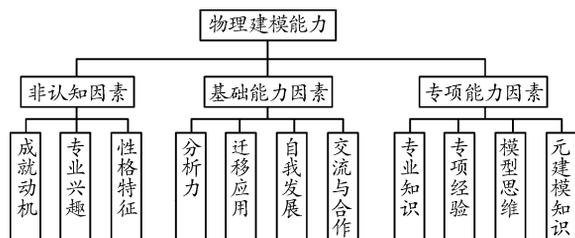


图3 物理建模能力构成要素框架

三、对中学物理教育中培养学生科学建模能力的建议

(一) 理解建模本质

正确理解和认知模型与建模的本质、目的、效用等,是形成建模意识和观念的基础,才能建构有层次、有水平、高质量的模型,促进学生物理建模能力的生成和发展^[3]。学生理解了建模的本质和功能及建模的历程,才能有效参与和建模有关的学习实践。

针对模型建构,我国初中阶段的培养目标是掌握一定量的基本物理模型,会应用基本物理模型解决典型物理问题;高中阶段的目标定位是具有建构模型的意识和能力。在高中模型建构的第一课中,向学生传授建模本质相关知识是非常必要的,包括回顾初中阶段所学过的物理模型,分析这些模型的要素及其关系,以及这些模型可以用来表征什么、其发展性和局限性。通过这样的学习,可以让学生体会和总结建模的本质、目的和效用,使他们认识到建模是培养科学思维的基本途径,是探究科学知识的一种方式,也构成了科学知识的核心。这样的认识可以激发学生对科学的兴趣,同时也为他们今后更深入地理解和应用科学知识奠定基础。通过分析模型的要素和关系,学生可以培养辨别问题、提出假设、设计实验以验证假设的能力。同时,通过让学生意识到模型的发展性和局限性,可以培养他们的批判性思维和创造性思维,激发他们对问题的思考,培养解决问题的能力。

模型不是一种简单的肉眼可见的辅助图形,它不仅对复杂或抽象的概念或现象具有解释功能,还具有预测的功能;它既可以帮助学生理解模型的构建和使用的过程,也是一种进行系统观察和深入分析思考的工具^[7]。建模元认知的理解有助于形成科学本质观,教学中要促进学科核心知识与建模能力素养的融合。

(二) 学习建模工具

个体的心智模型通过外部的图表、图像、图形等符号语言表征生成概念模型。海斯特斯曾指出,强有力的科学思维需要强有力的建模工具,其中表征工具尤为重要。因此,要培养学生的建模能力,必须让其首先掌握一定的表征工具,并理解这些工具的建模功能。建模工具的使用层次直接影响建构模型的质量,因此学习如何使用建模工具是建模教学的关键^[6]。符号语言作为物理建模主要应用的语言,在物理建模中扮演着重要的角色。

生活经验告诉我们,选择合适的工具是非常重要的,因为正确选择工具可以事半功倍,而选择不当则可能事倍功半。在物理学习中,一些常见的工具,包括力的示意图、受力分析图、物理情境图、运动过程图、图形、图表和图像等,在认识物理情境、理解物理概念和分析物理问题中发挥着重要的作用。教学中发现,高一年级物理学优生往往具有画受力分析图、运动情境图的好习惯,高二、高三年级物理学优生对图表、图像理解与应用得较好。教学中教师要教授各种类型符号语言,并引导学生区分和应用它们创建模型,以理解和解决物理问题,同时让学生将模型表达出来,使用表征工具实现对科学知识和思想的表达和分享。

(三) 回归真实探究

物理建模活动有助于构建物理概念和规律,而物理模型的应用则使物理问题得以解决。教学中,面向真实的物理科学至关重要,这需要将结构化的事实性知识和概念性知识还原成原始的真实问题。通过这样的方式,从学生的认知需求出发,让他们在解决真实客观问题的过程中认识和理解物理概念、规律以及现象背后的真理,这不仅能增强学生对物理知识的深度理解,还能培养他们解决问题的能力。在实际问题的解决过程中,进一步深化学生对物理概念和规律的理解,并将其应用于实际生活中。

实践是培养学生核心素养的重要载体,解决真实问题就是最好的实践。自2011年第一个初中物理课程标准颁布以来,“从生活走向物理,从物理走向社会”的课程理念就一直指引着物理课程的实施。2022年颁布的义务教育物理课程标准中指出了“从生活走向物理”理念的内涵,要求物理教学要通过“具体事实”“鲜活案例”等真实、具体的生活、技术问题引导学生进行理性思考;还新增了“跨学科实践”主题,以突出科学建模和科学探究的实践性^[8]。2020年颁布的高中物理课程标准也要求高中物理课程在内容上注重与生产生活、现代社会及科技发展的联系^[9]。这些课程理念意味着让学生在真实任务的驱动下,自主构建物理图景、提炼物理问题、建构物理模型,通过体验科学家探索客观世界的逻辑展开过程,更好地理解科学概念、规律和原理,同时掌握认识客观世界的科学方法,使探究学习真正发生。这不仅深化了学生知识的学习,提升解决问题的能力,以及与生活、社会紧密联系的能力,还培养了学生

(下转第22页)

语水平。

参考文献:

[1] Sampson V, Grooms J, Walker J P. Argument-Driven Inquiry as a Way to Help Students Learn How to Participate in Scientific Argumentation and Craft Written Arguments: An Exploratory Study[J]. Science Education, 2011, 95(2): 217 - 257.

[2] 黄山. IRF 课堂话语结构刍议: 发现、争论与再思考[J]. 全球教育展望, 2018, 47(5): 15 - 24.

[3] 徐映, 俞嘉燕, 任红艳. 化学课堂内学生论证话语的序贯分析[J]. 化学教学, 2021(4): 26 - 31.

[4] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.

[5] 张春丽, 陈颖. 关于高中物理实施“科学论证教学”的调研与思考[J]. 物理教师, 2018, 39(5): 1 - 5.

[6] Erduran S, Guilfoyle L, Park W, et al. Argumentation and Interdisciplinarity: Reflections from the Oxford Argumentation in

(上接第5页)

的创新精神和探究能力, 为他们进入未来的高科技职业生涯做好准备。

(四) 形成建模策略

建模策略是指在问题解决过程中, 通过研究多个同类问题的实例, 总结规律, 形成问题解决模型, 并用其解决实际问题的一种策略。掌握建模策略的情况和灵活应用程度直接影响科学建模能力。知识是能力的载体, 结构化的知识才能提高学生的思维能力。深入理解物理基础知识、掌握物理基本能力, 为学生从低阶思维向高阶思维的飞跃奠定基础, 提供可能性。教学中要让学生经历概念、规律的建构过程, 通过深度学习, 在头脑中形成结构化的知识, 为形成建模策略奠定扎实的知识和能力基础。通过前文我们知道, 模型建构是系统化的活动, 要经历一系列问题描述、分析、抽象、公式化、结果和验证的过程。研究表明, 在模型建构的过程中, 前期的描述阶段至关重要, 描述阶段掌握和灵活应用的程度决定着建模的成败。因此, 建构模型时, 在描述阶段应花费更多的时间, 尤其是解决复杂问题。教学中, 教师要引入一些具体的模型建构案例, 有意识地引导学生总结形成自己的建模策略。鼓励学生通过项目合作, 共同解决复杂的物理问题或建模项目, 在提高沟通和团队合作能力的同时, 反思和完善自己的建模策略, 在不断的实践和反思中使自身的建模能

Religion and Science Project[J]. Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 2019, 1(1): 1 - 10.

[7] 冯秀梅, 夏敏. 青年教师优质课教学行为及发展特征——基于“全国中学物理青年教师教学大赛”同课异构课的分析[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2022(3): 66 - 77, 206.

【作者简介】张元、管彤彤、彭朝阳(通讯作者), 云南师范大学物理与电子信息学院(昆明650500)。

【原文出处】摘自《物理教学探讨》(重庆), 2024.5.7~11

【基金项目】云南师范大学研究生科研创新基金项目“人工智能视域下物理教师课堂教学行为分析”(YJSJJ23 - B80)。

力得到发展。

参考文献:

[1] 翟小铭, 郭玉英. 科学建模能力评述: 内涵、模型及测评[J]. 教育学报, 2015, 11(6): 75 - 82, 106.

[2] 张玉峰, 张芳. 科学模型的建构过程分析[J]. 中学物理, 2023, 41(4): 2 - 7.

[3] 袁媛. 高中生物理建模能力及其培养对策研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2017.

[4] 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, 44(12): 81 - 95.

[5] 张静, 郭玉英. 物理建模教学的理论与实践简介[J]. 大学物理, 2013, 32(2): 25 - 30.

[6] 袁媛, 朱宁波. 国外青少年科学建模能力的理论研究与实践探索[J]. 外国中小学教育, 2016(1): 26 - 32, 25.

[7] 史凡, 王磊. 国际科学教育建模教学研究综述: 基于教师发展视角[J]. 外国教育研究, 2019, 46(5): 89 - 103.

[8] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.

[9] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.

【作者简介】苑冬娜, 人民教育出版社(北京100081)。

【原文出处】《中学物理教学参考》(西安), 2024.5上. 1~4