

科学建模教学的典型模式及其应用

祝 钱，方华基

摘要：科学建模教学是当前科学教育研究领域的热点之一。科学模型的形成主要有“自下而上”和“自上而下”两条路径。“自下而上”的路径主要经历感知、识别比较、抽象、归纳或类比、表征五个阶段，“自上而下”的路径则主要经历界定、选择调取、演绎、验证、表征五个阶段。围绕上述路径，可以采用归纳建模法和类比建模法促进概念模型的形成，采用演绎建模法促进规律模型的形成。

关键词：科学模型；科学建模；归纳建模；类比建模；演绎建模

近年来，科学建模教学已经成为科学教育研究领域的热点之一，世界上绝大多数国家都将培养学生的建模能力作为科学类课程的核心目标。^[1-2]《义务教育物理课程标准（2022年版）》更是将“模型建构”列为重要的科学思维之一^[3]，并对其提出了明确的教学要求。但是，不少一线教师对于科学模型的形成路径、科学建模中的认知参与机制未能形成清晰的认识，难以准确把握科学建模教学的典型模式，在实践中尚存不少疑虑和困惑。^[4]本研究通过对科学模型形成路径的分析，揭示科学建模过程涉及的关键认知环节，并在此基础上建构典型的建模教学模式，以期为一线建模教学提供理论参考和实践启示。

一、科学模型的形成路径

我们身处的世界被分割成纷繁复杂的表象世界和隐秘于表象世界背后并支配其运行的规律世界（即“本质”）。科学模型正是人类为了对现象背后的本质加以认识、理解和把握，所建立起来的一种简化的、概括性的，兼具描述、解释和

预测功能的表征。概念、规律、策略、观念等是科学模型的主要表现形式。^[5]科学模型的形成究竟需要经历怎样的过程呢？从科学知识建构的视角来看，科学模型的形成主要分为“自下而上”和“自上而下”两条路径。^[6]其中，“自下而上”的建模是指从一般经验和现象出发，经由抽象、类比、概括、归纳等思维加工，最终建立科学模型的过程；“自上而下”的建模则主要是指从已有的成熟科学理论出发，经由比较、分析、演绎、修正等思维加工，形成新科学模型的过程。

上述两条建模路径主要在以下三个方面有所不同。一是从科学建模的起点对象来看，“自下而上”的建模起点是学生身边的现象和其已有经验，而“自上而下”的建模起点则是已有的成熟科学理论。二是从科学建模的外显过程来看，“自下而上”的建模是由具象化的现象向抽象化的模型转变的过程，即“生活现象—科学模型”；“自上而下”的建模则主要是在既有成熟理论的基础上不断对其修正迭代以形成新科学理论的过程，即“既有科学模型—新科学模型”。三

基金项目：浙江省2025年教研课题“指向初中生科学建模能力发展的教学模式研究”（G2025025）。

作者简介：祝钱，浙江省杭州市丁荷中学、丁信中学校长（杭州 310021）；方华基，杭州师范大学经亨颐教育学院副教授（杭州 311121）。

是从科学建模的内隐认知来看，“自下而上”的建模本质是从现象中经识别、比较、抽象、凝练，概括形成科学模型的过程，归纳推理、类比推理是其主要表现形式；“自上而下”的建模则是在既有成熟理论的基础上，经选择、调取、匹配、推导，形成新科学模型的过程，演绎推理是其主要表现形式。

上述两条建模路径并无优劣之分，亦无轻重之别。在实际的模型建构过程中，学生不仅需要从具体的问题情境、认知基础以及研究目标出发，灵活地选用这两条建模路径，还应通过对两条建模路径的交织运用，促进自身建模能力的形成、发展与深化。

二、科学建模中的认知参与

当前，科学建模主要有四类不同的研究取向：要素取向、行为取向、认知取向和建构取向。^[7] 本研究聚焦科学建模中的认知参与。科学建模常常与多种认知形式相伴随，如指向信息收集的感知觉，指向逻辑推理的归纳、类比和演绎以及指向模型外化的表征等。可以这样认为，科学模型的建构实质上就是一个多种认知相互协作、互为促进的动态过程。这一过程推动了科学模型的建构与形成。具体来看，前述的“自下而上”和“自上而下”两条科学建模路径主要涉及图1所示的关键认知阶段。

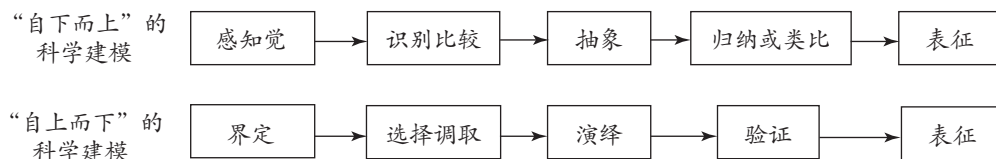


图1 两条建模路径涉及的关键认知阶段

(一) “自下而上”建模中的认知参与

“自下而上”的建模路径主要经历以下五个认知阶段。(1) 感知觉。学生通过具体的观察、实验等技能和思维操作，从生活现象或物理实验中获取一手原始素材。(2) 识别比较。学生对于事物间的相似性质、结构或特征等作出识别和比较。(3) 抽象。学生根据研究的需要，提取隐藏在现象背后的关键要素和变量，同时舍弃次要要素和变量。(4) 归纳或类比。学生利用归纳或类比的思维手段来建构科学模型，这是模型形成的关键阶段。(5) 表征。学生选用合适的图、文、表或公式等形式对模型进行外显表达。值得注意的是，在整个科学模型形成的过程中，若缺失了感知觉的参与，模型将脱离现实原型；若缺失了识别比较、抽象、归纳或类比等思维加工，模型将流于形式；若缺失了表征阶段的形象再造，模型将沦为虚无。所以，我们既需要直观感知与形象建构，也离不开逻辑推理与本质提炼，更无法摆脱对科学模型的精要表达和生动呈现。各认知形式在彼此协同、相互作用的过程中，共同推动了科学模型从现象观察到理论提炼再到生动呈现的完整建构。

(二) “自上而下”建模中的认知参与

与“自下而上”的建模有所不同，“自上而下”的建模始于既有的成熟科学理论，因此，其主要经历以下五个认知阶段。(1) 界定。学生对待研究问题的目标和范围加以明确，对需要解决的实际问题加以确定。(2) 选择调取。学生根据所要研究的问题，选择、调取既有的成熟科学理论和方法。(3) 演绎。学生在既有成熟理论的基础上，经演绎推理形成新科学模型，这是模型形成的关键阶段。(4) 验证。学生通过图示分析、实验等具体形象操作，来验证和修正初构新模型。(5) 表征。学生选用合适的图、文、表或公式等形式对模型进行外显表达。在上述“自上而下”的建模过程中，界定、选择调取、演绎等为后续的验证提供了理论指引，而验证又反过来帮助学生发现模型的潜在问题和不足，促进了学生对于模型的深化理解，最后的多元化表征则进一步使模型变得更加生动。

三、科学建模的典型教学模式

科学模型作为一种辅助学生进行科学推理的认知工具，能够将思考过程具象化。让学生参与

建模过程，有助于他们理解复杂的科学现象。^[8]科学模型主要可以分为实体模型和理论模型两大类。前者是指能被人类感官直接感知，且在结构与功能上同原型具有高度相似性的模型，如地球仪模型、内燃机模型、电动机模型等。后者则是指人们通过想象对原型的特征性质加以理解，形成一种观念上的把握，其可以被思考但无法被直接感知，常用于对科学事实的描述和解释，如阿基米德原理、欧姆定律、质量守恒定律等。^[9]概念模型和规律模型是理论模型最为重要的两种表现形式。在中学阶段，它们的建构方法是多种多样的，教师应根据实际情况，选择适宜的方法带领学生建构科学模型。由于篇幅所限，本研究聚

焦利用归纳法、类比法来建构概念模型，利用演绎法来建构规律模型。下文以既有研究^[10]为参照，以前述“自下而上”和“自上而下”两条建模路径为依据，阐述归纳、类比、演绎在模型建构中的具体应用。

(一) 归纳建模法

概念模型通常反映了某类事物的结构、性质和特点。对于概念模型的建构，教师需要列举多个事实材料并引导学生对其进行识别、比较、抽象、概括、归纳，得出其本质结构和特征。例如，光线模型、力模型、杠杆模型等都是在对大量经验事实的抽象、归纳的基础上建构而成的。该模式具体如图2所示。

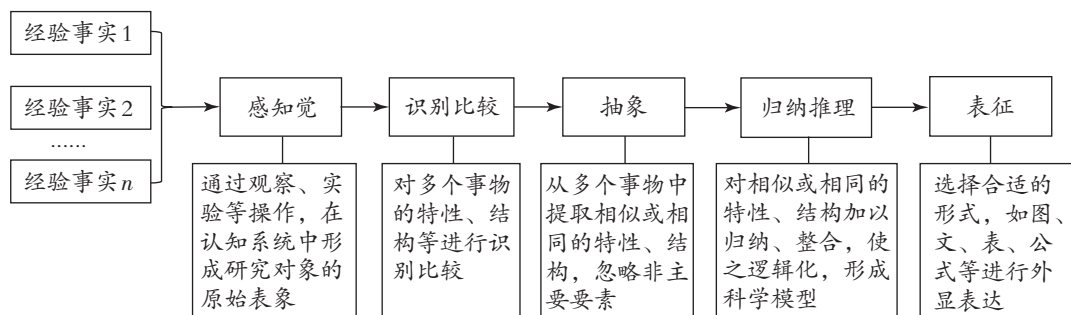


图2 归纳建模

下面以“光线”教学为例，阐述归纳建模法的具体应用。首先，教师创设分组任务1——“寻找一束光”，要求学生分组研讨实验方案，并利用所给实验器材（激光笔、烧杯、玻璃砖、清水、牛奶、蚊香、火柴）以小组合作的形式共同制造一束“清晰可见”的光。其次，在实验寻光的基础上，创设任务2——“描述一束光”，让学生结合刚才的实验现象，合作思考应从哪些方面来对光进行描述（如路径、方向、颜色、亮度等）。接着，创设任务3——“刻画一束光”，要求学生以任务2为基础，在白板上绘制光线模型。最后，设计反思总结任务4，让学生对自己刻画的“光线”进行评价反思，引导他们从几何光学视角对模型进行修正，并对图像和语言这两种表征光线模型的方法进行优劣比较。

上述建模教学遵循归纳建模的一般认知路径。首先，通过任务1“寻找一束光”创设情境，让学生在捕捉光的具身体验中，形成对光的

初步认识，并为后续光线模型的建构提供感知觉原料。其次，通过任务2“描述一束光”，让学生在建构完整光线模型的过程中，促进自身抽象思维、理想化和整合能力的发展。最后，任务3和任务4让学生刻画和修正一束光，并反思不同表征方法，一方面可使学生在自主建构和修正光线模型的过程中体会到科学模型不断发展变化的动态性和复杂性，另一方面能让学生进一步理解模型表征方法的多样性，领会选择合适表征方法对于模型建构和表达的重要价值。

(二) 类比建模法

类比建模法也是一种用于建构概念模型的常见方法。它是通过两个研究对象在某个属性上的相似，将其中一个对象具有的其他属性推广至另外一个对象上的思维过程。例如，电压和水压、电流和水流、原子核式结构和太阳系等的比较，都是类比思想在教学中的体现。该模式具体如下页图3所示。

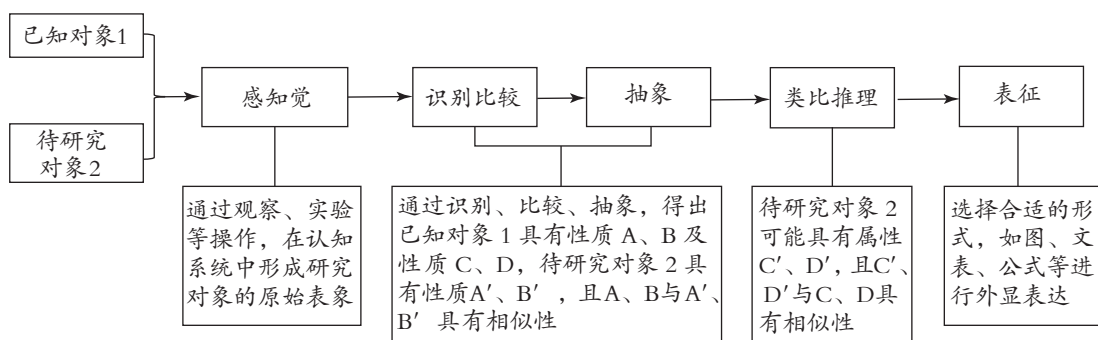


图3 类比建模

下面以“磁场”教学^[11]为例，来阐述类比建模法的具体应用。首先，教师创设任务1——“为什么指南针转动了”，要求学生在观察条形磁体靠近指南针使其发生偏转现象的基础上，认识到磁力的存在。其次，创设任务2，让学生思考“为什么条形磁体和指南针没有接触，也能产生力的作用呢”，促使学生对看似普通的现象加以深思。同时，创设支架任务3，让学生观察手通过细线将磁体提起的现象，帮助他们认识到条形磁体和指南针之间存在着某种无法被直接感知的物质——磁场，进而建构磁场概念。接着，教师进一步追问：“生活中还有哪些不通过接触便能产生力的作用的例子？”让学生通过对生活中熟悉的重力作用场景的感知，结合自由落体等现象，体会到磁体吸引指南针与物体自由下落在力学性质上具有相似性，进而将抽象的磁场形象化，实现对“场”这一概念的深入认知。最后，教师设计如下问题链，指引学生沿着“点—线—面—体—模”的路线，完成对磁场模型的建构。

问题1：可以用何种工具来探究磁场？

问题2：请在条形磁体周边选取五个点，并描绘这五个点上的磁场方向。

问题3：如何解决因指南针体积过大，而不能精准描绘条形磁体周围磁场形态的困难？

问题4：如何用细铁屑刻画条形磁体周围磁场的形态？

问题5：条形磁体周围的磁场是平面的还是立体的？请利用环状磁场分布演示仪进行探究。

问题6：如何用铁屑线形象地表示立体磁场？

问题7：磁感线是否真实存在？其疏密表示

什么？其上的箭头表示什么？磁感线是敞开的还是闭合的？

上述建模教学遵循类比建模的一般认知路径。其中，感知磁力阶段通过“为什么指南针转动了”的问题，让学生从力和运动的视角出发，意识到指南针的转动是受到了力的作用，以便完成对磁力概念的建构，并为后续磁场概念的引入奠定必要的认知基础。在磁场认知阶段，先利用“手提磁体”的实验建构理解性支架，帮助学生认识到在磁体受力被提升的过程中“细线”所发挥的中介作用。随后，创设重力、磁力的比较任务，通过类比方法，使学生的抽象思维得到进一步发展，辅助其理解条形磁体与指南针之间存在着一种类似于“细线”的无形物质——磁场。在刻画磁场阶段，通过问题链的设计，帮助学生在问题解决的过程中建构磁场这一抽象概念的直观认知模型，促进其模型表征能力的提升以及形象思维的发展。

(三) 演绎建模法

科学规律是科学模型的另一种重要表现形式，它是指事物在特定条件下发生、发展和变化的过程中所蕴含的必然趋势和内在联系，及其在人类认知系统中的主观反映。对于规律模型的建构，实验探究法和理论演绎法是两种常见的方法。前者是在对众多实验数据分析和探究的基础上建构科学理论模型，本质上具有“自下而上”的概括和归纳特征。后者则是在既有成熟科学原理、定理、定律和规则的基础上，通过思维推导以建构新的科学理论模型，本质上具有“自上而下”的理论演绎特征。下面主要讨论演绎建模法的应用，其模式如下页图4所示。

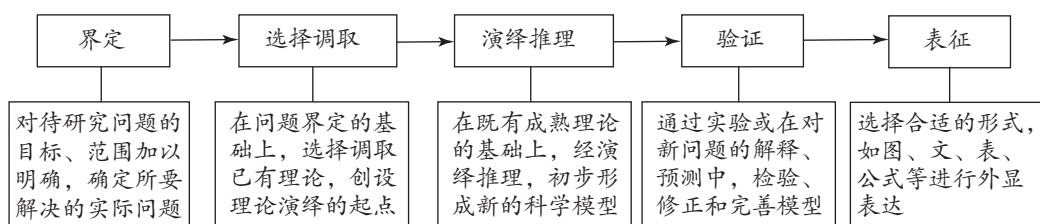


图4 演绎建模

以“阿基米德原理”教学为例。首先，创设任务1，让学生说一说液体压强的特点，写出其数学表达式，并进一步针对浸没于水中且边长为 a 的正方体物块六个面上所受压强和压力的情况作出分析，以此建构理论起点，为后续有关浮力的探讨奠定认知基础。随后，创设任务2，让学生在前期分析的基础上，思考浮力产生的原因，并推导浮力计算公式。最后，创设任务3，要求学生利用所给器材（弹簧测力计、溢水杯、金属块、水等），设计实验以验证所得浮力计算公式的准确性。

上述建模教学遵循演绎建模的一般认知路径。首先，通过任务1唤醒学生认知系统中的理论起点——液体压强，为后续演绎推理的开展奠定基础。随后，通过任务2引导学生从液体压强计算公式出发，进行理论推理，建构形成阿基米德原理，并以此促进自身演绎推理能力的提升和发展。最终，通过任务3增强学生在实验设计与操作方面的能力，并使学生在科学模型的验证与固化过程中进一步深化对科学建模全过程的理解与认识。

总之，科学模型是多种认知形式协同作用的结果，其形成、发展和深化又是一个极其复杂的过程。无数科学史实向我们揭示了这样一个事实：那些透过现象窥探本质的科学发现向来是充满艰辛和挑战的。正因如此，在科学教学中，我们要摒弃将科学模型仅作为知识载体向学生进行单向传授的传统教学模式，更加关注对学生建模兴趣、建模意识以及建模思维等的培养。^[12]这一方面能有效促进学生核心素养的形成和发展，另一方面则为学生在未来生活和工作面对错综复杂现实世界时独立建构理解世界和解决问题的模型框架提供了可能。

参考文献：

[1] 张静, 郭玉英. 从模型进阶到思维发展: 物理建模教学设计与实践 [J]. 课程·教材·教法, 2020 (2): 113-118.

[2] 孟海燕, 王磊. 基于建模能力学习进阶的化学建模教学研究 [J]. 课程·教材·教法, 2025 (5): 138-147.

[3] 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: 5.

[4] 周莹莹, 李维. 我国物理建模教学的问题剖析与对策建议 [J]. 中小学教材教学, 2022 (9): 10-16.

[5] 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: 30-33.

[6] 祝钱, 沈承昱, 方华基. 初中科学规律学习的两种形态及认知负荷研究: 以“阿基米德原理”为例 [J]. 中小学教材教学, 2025 (2): 45-49, 65.

[7] 邢红军, 王玉婷, 李杰. 论科学建模的问题表征理论及其启示 [J]. 课程·教材·教法, 2023 (2): 116.

[8] 范楠楠, 徐真, SADLER T D, 等. 社会性科学议题主题单元课程设计与实践 [J]. 中小学科学教育, 2025 (4): 35.

[9] 桂起权, 张掌然. 人与自然的对话: 观察与实验 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990: 136-137.

[10] 祝钱. 初中科学学习认知模型的内涵、价值和实践: 以化学相关知识为例 [J]. 教学月刊·中学版(教学参考), 2025 (1/2): 9-15.

[11] 祝钱. 以科学方法为中心的初中科学教学: 以“指南针为什么能指方向”一课为例 [J]. 中小学教材教学, 2024 (11): 62-66.

[12] GILBERT J K. Models and modelling: routes to more authentic science education [J]. International journal of science and mathematics education, 2004 (2): 115-130.

(责任编辑: 郭晨跃)