

小学科学模型建构教学路径的设计与实施

——以“蛋壳与薄壳结构”为例

文_ 马诗茵 柏毅 邓慧华

(东南大学儿童发展与教育研究所儿童发展与学习科学教育部重点实验室)

摘要：模型建构是小学科学课程中培养科学思维、理解科学本质的关键要素。然而，当前教学常将模型建构简化为制作教具，探究活动也流于形式，思维培养被边缘化。针对这一现实问题，本研究基于概念转变理论与“基于模型的探究”范式，设计了“原型—典型—模型—变型”教学流程，并以“蛋壳与薄壳结构”为教学案例进行说明。

关键词：模型建构教学 小学科学 科学思维

当前，模型建构在科学课程学习中的核心地位已得到广泛认可。有研究者指出，学生对科学概念的理解深度，很大程度上取决于他们能否在头脑中建构并灵活运用模型解释现象^[1]。

随着《义务教育科学课程标准(2022年版)》的颁布，模型建构被明确列为科学思维的组成部分。钟媚、苏咏梅较早系统引介了模型建构式探究的教学理念，指出其有助于学生构建完整的科学认知图式^[2]；史加祥随后基于新课标背景，对小学科学模型建构的教学内涵进行了本土化解读^[3]。但已有研究多集中于宏观策略探讨，缺乏对特定科学概念建模过程的微观考察，从生活原型转化为科学模型的机制研究还比较薄弱^[4]。在教学实践中，教师常将模型建构等同于实物拼搭或教具展示，学生做了实验却未必形成心智模型。因而，如何将宏观的建模理念转化为具体可操作的课堂路径，是当前

小学科学教育需要面对的一个现实问题。

◎ 模型建构教学的理论基础

➤ 基于模型的探究范式

传统的科学教学往往把探究拆成提出问题、作出假设、实验验证、得出结论等几个固定步骤，学生的探究局限于按照流程完成探究步骤。但真正的科学探究，不是机械地走流程，而是围绕模型展开，科学家通过建构模型解释现象，再通过新的证据检验和优化模型，如此循环往复。基于这一认识，有学者提出了“基于模型的探究”，把科学建模分解为4个循序渐进的要素：建构模型、使用模型、评价模型和修订模型^[5]。这意味着模型不是静态的知识结论，而是需要不断打磨的思维工具。教学中，教师不应仅让学生局限于动手操作，更要引导他们亲历从实践到思维模型逐步建构的完整过程。

➤ 概念转变理论

学生带着日常积累的前概念走进课堂，这些前概念有些是正确的，有些与科学事实正好相反。Posner等认为，当学生原有的理解与新经验发生冲突时，如果这种冲突足够强烈，学生就会主动放弃旧的想法，建构新的解释框架^[6]，这个过程被称为“概念转变”。因此，模型建构的起点不是直接告知，而是制造认知不平衡。只有当现有的心智模型无法解释新现象时，学生才会产生建构新模型

的内在动机。

科学建模的能力结构

从学生发展的角度看，科学建模能力包括2个相互关联的维度^[7]。一是元建模知识，即学生对模型是什么、建模的目的、模型如何被评价和修改的理解；二是建模实践能力，即学生实际参与建构、使用、评价和修订模型的操作技能。2个维度相互促进、螺旋上升，元建模知识指导建模实践的方向，建模实践反过来深化学生对模型本身的认识。

小学科学模型建构的教学策略

基于上述理论基础，本文认为小学科学模型建构教学主要包括以下4条教学策略。

认知冲突策略 以认知冲突作为教学起点，推翻学生的直觉预测，迫使学生放弃原有解释框架，主动寻找新的理论框架。

结构化探究策略 实验活动的价值不在于数量多少，而在于它们之间的内在逻辑关联。活动之间通常按“感知现象—量化特征—分离变量”等逻辑递进，也可以采用对比辨析或从局部到整体等不同方式，具体形式依教学内容灵活安排。

中介模型策略 科学模型兼有抽象性与形象性。小学生面对力这类看不见摸不着的抽象概念，仅靠语言解释往往不够，一个可动手操作的简化模型，比长篇讲解更能帮助学生搭建思维支架。一个好的中介模型，既要简洁明了、直指核心，又要贴近具体学情、与学生的已有经验相衔接。

迁移应用策略 一个模型是否可靠，最终要看它能不能解释新现象、预测新结果。教学需要引导学生将已建构的模型迁移到跨领域的真实情境中，让学生意识到科学模型是一种具有普遍解释力的思维工具，加深他们对模型本身的认识。

“蛋壳与薄壳结构”教学设计

教学内容分析

本节课主要对应科学课程标准中的“技术、工程与社会”与“工程设计与物化”2个核心概念，并指向“能使用或建构模型，解释有关的科学现象和过

程”的学段目标。本节课还涉及“结构与功能”这一跨学科概念，通过探究蛋壳的曲面形状与其抗压功能之间的内在关联，帮助学生初步建立“结构决定功能”的认识框架。

本节课选自苏教版小学《科学》5年级下册“仿生”单元。该单元围绕仿生学主题编排，其第1课“生物的启示”为学生建立仿生学概念，本课“蛋壳与拱形建筑”深入探究蛋壳结构的力学原理，为后续仿生设计实践提供支撑。本课教材内容分3个部分：先观察蛋壳外形特征，再通过握鸡蛋、承重、破壳对比3个实验探究其力学特性，最后将原理迁移到拱桥和薄壳结构建筑上。

学情分析

5年级学生正处于从具体形象思维向抽象逻辑思维过渡的关键期。他们虽已能够完成控制变量的实验操作，但若缺少直观的实物支撑，便难以自主将形状改变与看不见的力的分散建立认知联系。从学生认知发展看，本单元是学生在整个小学阶段对工程和机械设计的再一次深入体验，意在加强学生对工程领域的认知和应用能力。

教学目标

科学观念 知道蛋壳等薄壳结构利用拱形曲面分散压力，理解结构与功能相适应。

科学思维 能在实验基础上抽象出拱形能分散压力的初步模型，并能利用模型解释拱桥、穹顶建筑的原理。

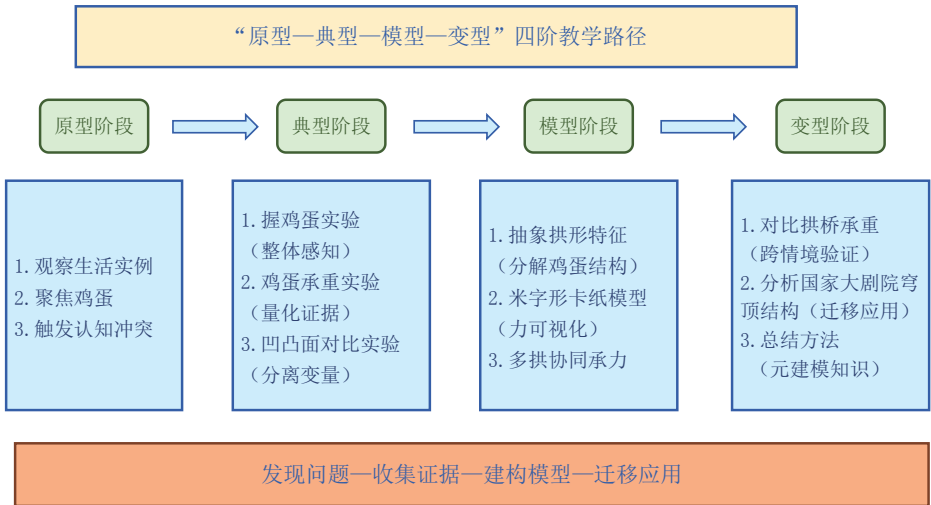


图1 模型建构教学的四型路径

探究实践 能独立或合作完成握鸡蛋、承重、凹凸面对比3个实验，收集并记录证据；能利用“米字形卡纸模型”模拟力的分散过程。

态度责任 感受科学模型在解释自然现象和解决工程问题中的价值，初步养成基于证据进行解释和修正模型的习惯。

二 教学环节

模型建构教学需引导学生从具体生活经验出发，经历认知冲突、实证探究、抽象建模与迁移检验4个环节。为此，本文设计了“原型—典型—模型—变型”四阶教学路径（见图1）。该路径依次以原型触发前概念与事实的矛盾，以典型提供递进的实证证据，以模型将不可见的机制可视化，以变型检验模型的解释力与普适性，从而帮助学生逐步建构科学模型，实现从感性经验到科学思维的跨越。

◆ 环节1. 聚焦原型，触发认知冲突

原型的选择直接决定了模型建构的起点。本环节教师先展示龟壳、贝壳、核桃壳、穹顶建筑等实物与图片，引导学生发现这些物体具有“外表呈曲面，内部空心”的共性，建立宽泛的原型集合。随后聚焦鸡蛋壳这一核心原型，让学生观察其外形和厚度。针对多数学生持有的蛋壳“薄而脆弱”的前概念，教师抛出问题：“母鸡孵化时坐在鸡蛋上，鸡蛋为什么不会被压破？”引导学生直面个人直觉经验与客观事实之间的冲突。教师在此处并未急于给出科学解释，而是利用这一真实的困境制造认知不平衡，促使学生意识到原有解释框架的局限，从而激发其建构新模型的内在动机。

◆ 环节2. 探究典型，建构证据基础

为帮助学生从感性疑虑走向理性探究，本环节设计了3个递进的实验（见表1），帮助学生收集关于蛋壳结构与功能的实证证据。

首先通过“握鸡蛋实验”，让学生在真实体验中颠覆“鸡蛋易碎”的刻板印象；紧接着开展“鸡蛋承重实验”，要求学生在竖直的鸡蛋上逐本叠加教科书，用量化数据将主观感受转变为客观事实；最后通过“凹凸面对比实验”，利用控制变量法对比同一力度戳击下的破壳难易度，引导学生将影响抗压能力的核心机制锁定在“受力曲面方向”上。

这3个实验并非零散的操作活动，而是从引发疑点、确立事实到机制分离的结构化探究策略的体现，学生通过动手操作夯实实证基础，为建模作准备，同时也潜移默化地理解了科学研究的基本方法。

◆ 环节3. 抽象模型，跨越认知关口

本环节旨在引导学生在探究实验的基础上，借助中介模型，完成从具体现象到抽象原理的认知跨越。教学中，教师先提出问题：“蛋壳厚度相同，为什么戳凹面容易、戳凸面难？”引导学生关注结构本身。然后，在鸡蛋表面画一条弧线，让学生识别出“拱形”，并进一步认识到蛋壳可视作无数拱形的组合。然而，力不可见，学生难以直观理解“分散”的含义。为此，教师引入自制的“米字形卡纸模型”（见图2），该模型将蛋壳的复杂曲面简化为4条独立拱形卡纸条的组合，学生放置重物后可观察到4条卡纸条同时弯曲、压力沿拱形向四周传递（见图3）。教师还可让学生对比只用1条卡纸条的情况，学生会发现，单条卡纸条放上重物以后很容易被压垮，但是4条组合在一起，每一条都分担了一部分外力，整体的承重能力显著提升。这个模型揭示了薄壳结构的核心原理，薄壳结构不是靠材料的厚度承受载荷，而是通过曲面的几何形态将外力沿着壳体表面向四周扩散。

从教学功能上看，这个模型的价值在于将不可见的力学过程转化为可见的形变过程。学生不需要理解复杂的应力计算公式，只需要观察卡纸条的弯曲方向和程度，就能直观地明白“分散”的含义。此外，该模型还保留了一定的抽象性，它不是鸡蛋壳的完整复制品，而是经过简化的替代物。这种简化有助于学生将注意力集中在结构与力的关系上，不会被蛋壳的



图2 米字形卡纸模型



图3 米字形卡纸模型受力情况示例

表 1 探究鸡蛋特性系列实验

实验名称	实验目标	核心操作	证据收集
握鸡蛋实验	感受蛋壳在均匀压力下的抗压程度	学生单手握压生鸡蛋，观察是否破裂	多数学生发现鸡蛋难以握碎，与日常“薄而易碎”的经验不符
鸡蛋承重实验	测量蛋壳在竖直方向的承重能力	在竖立的鸡蛋上逐本添加教科书，记录鸡蛋破裂前所承受的书本数量	单枚鸡蛋平均可承受 46 本教科书的重量，超出学生预期
凹凸面对比实验	比较蛋壳凸面与凹面在集中受力时的差异	用铅笔分别戳击蛋壳的凸面和凹面，观察戳穿的难易程度	凸面不易被戳穿，铅笔易滑落，凹面容易被戳穿，说明受力效果与曲面方向有关

其他特点，比如材质、颜色、厚度等干扰，这正是科学模型舍弃次要因素、突出核心机制基本功能的体现。

◆ 环节 4. 迁移变型，检验模型解释力

模型的价值，很大程度上取决于它的可迁移性，即能否解释新现象、预测新结果。为促进概念理解脱离鸡蛋这一初始载体，本环节首先组织学生开展平桥与拱桥承重对比实验，在新场景中验证拱形分散压力的原理。随后，进一步展示跨度超 200 米、重达 6475 吨，且内部无支撑柱的国家大剧院图片，引导学生运用新建立的薄壳结构模型分析该建筑的力学奥秘。这种跳出对单一原型依赖的“变型”应用，既是对学生建模成效的深度检验，也是促使学生的科学概念真正内化为具有普遍解释力的思想工具的关键步骤。

◆ 总结路径，让思维可视化

课堂尾声，教师通过板书梳理“从现象中寻找矛盾（原型）、系统收集证据（典型）、抽象核心机制（模型）、到新情境中检验（变型）”的认知全过程，并向学生指出，这一循环往复的探究路径正是真实世界中科学家的工作范式。科学家面对未知的自然现象时，不是凭空想象理论，而是通过系统的观察和实验收集证据，并在证据的基础上进行抽象和推理，建构出能够解释现象的模型。接下来，科学家会用这个模型预测新的现象、解释更多的观察结果，当模型与事实不符时，就进行修正甚至重建。模型的建构、检验、修正、再检验这个循环反复的过程，正是科学得以发展的基本路径。

该环节的设计超越单一科学概念的建构，直接指向元建模知识的培育，旨在帮助学生深

刻体会科学不是一套静态不变的结论，而是一种需要基于证据不断迭代、逼近真相的思考方式。

◎ 结语

模型建构教学走进小学科学课堂，它的价值不只是让学生记住某个知识点，更在于让他们亲身经历模型建构的过程，了解知识生产的路径。本课从鸡蛋这个最普通的原型出发，沿着“原型—典型—模型—变型”这条路径，让学生在认知冲突、实验求证、抽象提炼和迁移应用的完整链条中，真正生成了一个属于自己的科学模型。模型建构教学的有效实施，对教师的课堂观察与应变能力提出了新的要求。教师需根据学生的具体情况，适当进行追问、等待与引导，灵活调整学生的建模过程。

参考文献

[1] Halloun I. Modeling theory in science education[M]. Dordrecht: Springer, 2006.

[2] 钟媚, 苏咏梅. 模型建构式探究: 科学教学改革的新路向[J]. 外国教育研究, 2012, 39(10): 42-49.

[3] 史加祥. 新课标背景下小学科学模型建构的教学理解与实践[J]. 中小学课堂教学研究, 2022(7): 1-5.

[4] 黄楠虹. 小学科学教育中促进学生科学建模能力发展的教学策略研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2023.

[5] 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, 46(6): 632-654.

[6] Posner G J, Strike K A, Hewson P W, et al. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change[J]. Science Education, 1982, 66(2): 211-227.

[7] 史加祥. 双维视角下小学科学模型建构教学的探索与实践[J]. 教学与管理, 2024(20): 42-46.