

# 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

祝 钱，沈承昱，方华基

**摘要：**当前，初中科学规律教学存在随意性和经验化困局。学生对科学规律的学习包括形成和深化两个阶段，可分为实验探究和理论演绎两种模式。整体来看，实验探究法产生的认知负荷显著地低于理论演绎法，但对尖端学生来说，实验探究法和理论演绎法所产生的认知负荷不存在显著性差异。在初中科学规律教学中，应坚持实验探究法的主体地位，正视理论演绎法的弱势境况，强化理论演绎法等高阶思维方法在尖端学生培养中的应用。

**关键词：**科学规律学习；实验探究；理论演绎；认知负荷

科学规律是自然现象在一定条件下发生、发展、变化的必然趋势和本质联系在人类头脑中的映射，是科学事实经观察、实验后和科学思维相结合的产物。定理、定律、原理等是其主要表现形态。不可否认，作为科学体系重要基石和关键要素的科学规律，在科学学习中同样具有不容忽视的价值。一方面，科学规律为学生学习科学提供了最为核心的内容支撑；另一方面，科学规律也为学生科学思维的形成和发展提供了重要的工具支持。但在现实教学中，一些教师未能对科学规律的建构过程和方法形成清晰的认识，直接导致规律教学陷入随意性和经验化的窘境。本研究从科学规律的形成机制和建构方法入手，围绕“阿基米德原理”的学习，对初中阶段两种常见的规律学习形态进行阐述，并就其在学生学习过程中所产生的认知负荷进行探讨。

### 一、科学规律形成和深化的认知过程

科学规律在学生认知系统中从生发到内化，主要经历了形成和深化两个阶段。其中，科学规律的形成阶段主要涉及形象和形式两种思维类型的参与，二者相辅相成、彼此联系，共同推动了科学规律的形成和发展。具体来看，形象思维活动所使用的原料，最初来源于一般感知活动，即学生首先通过具体的观察、实验、操作等科学实践从科学现象中获取一手原始材料。然后，学生通过感觉、知觉、表象等一系列形象思维活动对上述材料进行具象化的思维加工，使其在自身认知系统中再现为科学现象。可以这样认为，形象思维活动是后续形式思维活动的基础，是科学规律形成过程中的重要一环。接着，学生通过比较、分析、综合、归纳等形式思维活动对认知系

**基金项目：**2024年度浙江省杭州市教育科学规划综合课题“从学科本位到学科融合：初中科学学科实践体系的建构和实施”（Z012）；2022年度浙江省教师教育规划课题“知识生产视域下中学名师教学主张生成路径研究”（ZD2022002）。

**作者简介：**祝钱，浙江省杭州市丁荷（丁信）中学科学教师，教育博士（杭州 310044）；沈承昱，浙江省杭州市丁荷中学科学教师（杭州 310044）；方华基，杭州师范大学经亨颐教育学院副教授，哲学博士（杭州 311121）。

统中的科学现象进行转换加工,使其形成图式转换结构。最后,在图式转换结构的基础上,认知系统进一步将科学现象的具象状态转变为以图形、文字、数学符号等为主要呈现形式的外部表征形态,这也标志着科学规律的最终形成。<sup>[1]</sup>

科学规律的深化阶段则主要涉及意义理解和迁移应用两个过程。意义理解是指学生对科学规律中的变量要素、使用条件等有充分的理解和把握。如在浮力的学习中,学生不仅要阿基米德原理中的  $\rho_{液}$ 、 $V_{排}$  等变量要素的物理意义形成清

晰的理解,还要对阿基米德原理的使用范围即它适用于静止流体中物体所受流体合力这一条件形成准确的认知。迁移应用则是学生将科学规律应用于问题解决的过程。与规律的形成和意义的理解相比,规律的迁移应用更倾向于外周建构的过程,即学生将认知系统中的规律图式结构投射到外部的问题解决之中。<sup>[2]</sup>这一过程主要包含如何运用规律的认识层以及如何利用规律解决问题的实践层两个层面。总体而言,科学规律形成和深化的认知过程如图1所示。

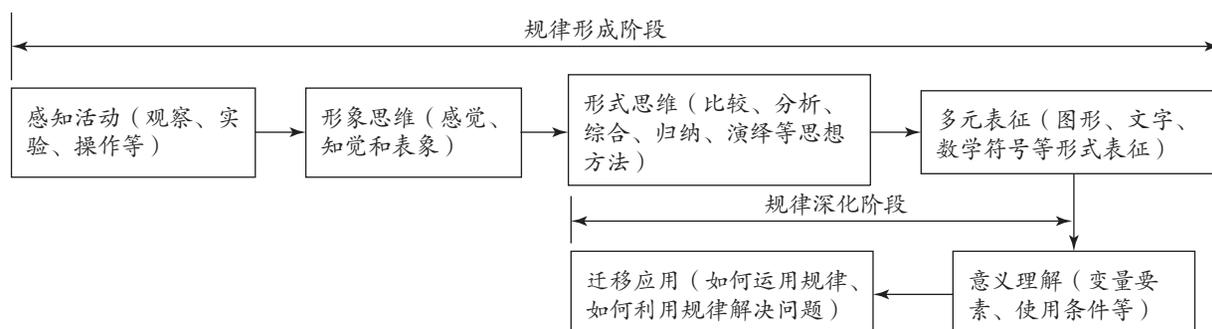


图1 科学规律形成和深化的认知过程

## 二、科学规律学习的两种形态

作为揭示事物现象内在本质必然性的科学规律,其不能被创造,只能被发现。初中阶段科学

规律的发现主要有实验探究和理论演绎两种模式。<sup>[3]</sup>需要指出的是,这两种模式都要求学生经历规律形成和规律深化两个阶段,但在具体环节上略有差异(见表1)。

表1 两种科学规律学习形态的认知过程比较

认知过程	学习形态	
	实验探究	理论演绎
感知活动	一般从学生身边的科学现象出发。学生首先要经历丰富的感知活动来获取一手原始材料,再在认知系统中通过形象思维活动将其具象化以再现科学现象,最后通过比较、分析、综合、归纳等形式思维活动实现对科学规律的最终建构。实验探究经历了科学规律形成的认知全过程	往往从已有的科学理论出发,通过演绎推理等形式思维活动得出相应的科学结论。与实验探究不同,理论演绎跳过了感知活动和形象思维活动阶段,直接进入形式思维活动阶段
形象思维		
形式思维		
多元表征	均要获得科学规律的外在表征形式	
意义理解	均需在科学规律形成的基础上对其意义做进一步的扩充理解	
迁移应用	均需在科学规律迁移应用的过程中实现对其的进一步内化	

接下来,本研究将围绕“阿基米德原理”的学习,对实验探究和理论演绎两种规律学习形态进行阐述。

### (一) 实验探究模式

实验探究作为科学领域的主要研究方法,在科学规律发现过程中起到了至关重要的作用。就

程序来看，实验探究和科学探究的一般过程相似，包含提出问题、建立假设、制订计划、收集证据、处理信息、得出结论、表达交流、反思评价八个环节。从整合的视角来看，实验探究实际上经历了以下四个阶段：一是创设科学情境，形

成科学问题；二是开展实验探究，促进规律生成；三是研讨科学规律，反思意义内涵；四是应用科学规律，解决现实问题。具体来看，实验探究法的一般认知过程如图 2 所示。

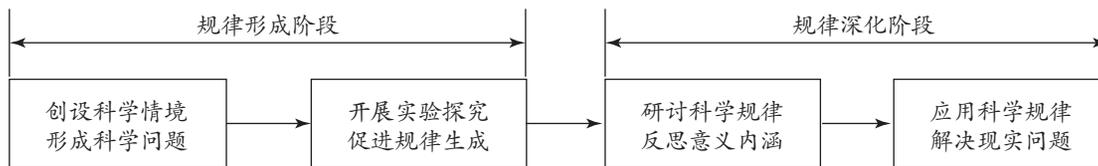


图 2 实验探究法的一般认知过程

不难发现，实验探究模式很好地契合了科学规律形成和深化的认知全过程，符合人类认识科学事物和现象发生、发展、变化的一般认知规

律，故其理应成为科学规律建构的主流模式之一。基于实验探究模式开展的“阿基米德原理”教学设计如表 2 所示。<sup>[4]</sup>

表 2 实验探究模式下的“阿基米德原理”教学设计

实验探究阶段	任务问题	设计意图
创设科学情境 形成科学问题	任务 1: 将一个空矿泉水瓶压入水中，体会在此过程中手有什么感觉 任务 2: 将挂在弹簧测力计上的金属块浸入水中，观察弹簧测力计示数和水面位置的变化 问题 1: 结合上述任务思考，物体受到的浮力到底与哪些因素有关	通过任务 1 和任务 2，让学生在充分体验、感知浮力大小的基础上，引导他们提出影响浮力大小的可能因素，如物体浸入水中的深度、物体排开液体的体积等
开展实验探究 促进规律生成	任务 3: 设计实验，定性研究到底是深度还是排开液体的体积对浮力大小产生了影响 任务 4: 继续探究浮力大小与排开液体的体积到底具有怎样的数量关系	通过任务 3，让学生运用控制变量法，即先控制深度相同，改变排开液体的体积，再控制排开液体的体积相同，改变深度，引导他们形成浮力大小与排开液体体积相关的认知 通过任务 4，让学生经历实验设计、实验实施、数据记录、数据分析的全过程，并最终获得 $F_{浮} = G_{排}$ 的结论
研讨科学规律 反思意义内涵	任务 5: 结合生活实例，辨析 $\rho_{液}$ 、 $V_{排}$ 具有怎样的物理意义，通过互联网等途径认识阿基米德原理的使用条件和适用范围	通过任务 5，让学生对阿基米德原理中的 $\rho_{液}$ 、 $V_{排}$ 等变量的物理意义形成清晰的理解，并对其使用条件和适用范围形成初步认识
应用科学规律 解决现实问题	任务 6: 将体积为 $100\text{ cm}^3$ 的铝块放入水中，求其静止时所受的浮力大小 任务 7: 某金属块在空气中重 $26.46\text{ N}$ ，将其完全浸入水中时，称得其重 $16.66\text{ N}$ 。求： (1) 金属块受到的浮力；(2) 金属块的体积； (3) 金属块的密度	通过任务 6 和任务 7，让学生养成综合应用浮力知识来解决问题的能力，并进一步内化对浮力的理解

## (二) 理论演绎模式

科学认识一般是沿着两条路径展开的，一条是基于对众多事实的探究而建构起新的理论，另

一条则是根据现有理论去发现新的事实或新的理论。前者的一种外化形态便是实验探究法，而后者则是基于现有理论进行推理的一种思维方式，

即理论演绎法。可以这样认为，理论演绎法是一种从现有原理、定理、定律、定则等科学理论出发，通过一步步深入推演以获得新的认知的过程。

如前所述，理论演绎法跳过了感知活动和形象思维活动阶段，依据既有知识和相关经验，直接进入形式思维活动阶段，其一般认知过程如图3所示。

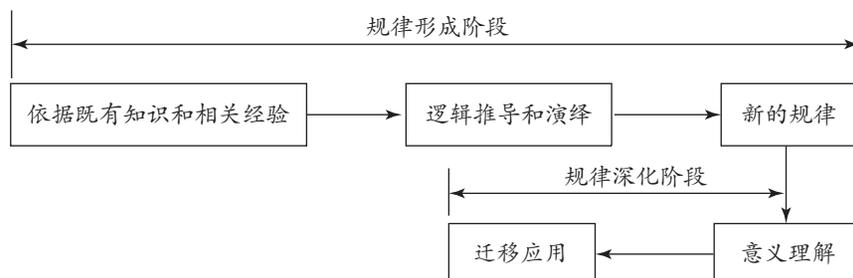


图3 理论演绎法的一般认知过程

显然，理论演绎法同实验探究法类似，也包含规律形成和规律深化两个阶段。展开来看，理论演绎的教学也可被分为以下四个环节：唤醒已有理论，创设演绎起点；开展演绎推理，形成科学规律；研讨科学规律，反思意义内涵；应用科

学规律，解决现实问题。众所周知，基于理论演绎开展“阿基米德原理”教学的理论起点是液体压力、压强等相关知识，该模式下的具体教学设计如表3所示（其中后两个环节的教学设计与表2相同，不再赘述）。

表3 理论演绎模式下的“阿基米德原理”教学设计

理论演绎阶段	任务问题	设计意图
唤醒已有理论 创设演绎起点	任务1: 回忆液体压强表达式, 并根据表达式说一说液体压强的特点 任务2: 想一想, 如果把一个正方体浸入液体中, 它六个面受到的液体压强和液体压力分别是多少	通过任务1和任务2, 唤醒学生对液体压强公式( $p = \rho_{液}gh$ )及液体压强特点的记忆, 进一步引导他们对浸没于液体中的物体所受压强和压力进行分析
开展演绎推理 形成科学规律	任务3: 思考浮力产生的原因, 并结合液体压力、压强的相关知识, 尝试推导浮力计算表达式	通过任务3, 引导学生根据浮力产生原因( $F_{浮} = F_{下} - F_{上}$ ), 结合液体压强和压力的相关知识, 经演绎思维活动推导出阿基米德原理的表达式

### 三、两种学习形态的认知负荷研究

本研究对上述两种方法所产生的认知负荷做了调查。通过随机抽样的方式，选取486名八年级学生（男生240名、女生246名），将上述两种阿基米德原理的建构方法完整地呈现给他们，让他们对这两种知识建构过程进行充分学习（用时20分钟）。随后，选用帕斯（Paas）等人开发的学习任务认知负荷评价量表（见图4）对学生学习的认知负荷进行测量。<sup>[5]</sup>该量表包含被试心理努力程度和任务完成难度两个维度，均采用李克特九级计分制（数值越大，表示心理努力程度和任务完成难度越大）。学生每阅读完一种阿基米德原理的建构方法，就填写相应的测评表，根

据学习时的主观感受从1到9中选择一个最符合的数值，两维度选项的算术平均值即学生的学习认知负荷。本研究共发放问卷486份，回收有效问卷486份。量表两个维度的内部一致性信度系数分别为0.884和0.894，说明信度较高。

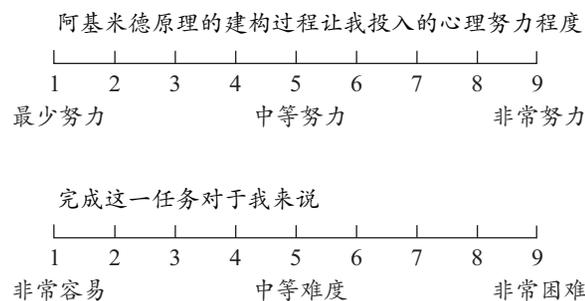


图4 帕斯认知负荷量表

首先,通过计算学生的认知负荷得分均值,对他们在两种规律学习形态下所产生的认知负荷水平加以整体把握。具体来看,实验探究法所产生的认知负荷均分为 5.107,理论演绎法所产生的认知负荷均分为 6.180。进一步对二者做配对样本  $t$  检验,发现  $p=0.000$ ,说明二者存在显著性差异。且从结果来看,通过实验探究学习阿基米德原理给学生带来的认知负荷总体处于中等水平,而理论演绎学习带来的认知负荷则开始向较重区间偏移。

其次,对不同学业水平学生<sup>①</sup>的认知负荷进行分析,探讨两种学习方式带来的认知负荷对他们是否存在差异。具体来看,实验探究法所产生的认知负荷在 A 层、B 层、C 层和 D 层学生中的均分分别为 3.163、4.694、6.124 和 7.713,理论演绎法所产生的认知负荷均分分别为 4.283、5.918、7.288 和 8.365。通过配对样本  $t$  检验发现,四个层次均有  $p=0.000$ ,说明实验探究和理论演绎带来的认知负荷在各水平学生中均存在显著性差异,无论是哪一个水平层次,实验探究学习给学生所带来的认知负荷都显著地小于理论演绎学习。

最后,进一步分析尖端学生<sup>②</sup>的认知负荷。研究发现,对于尖端学生,实验探究法所产生的认知负荷均分为 2.176,理论演绎法所产生的认知负荷均分为 2.324。通过配对样本  $t$  检验发现, $p=0.102$ ,说明实验探究和理论演绎带来的认知负荷在尖端学生中不存在显著性差异。

#### 四、研究启示

(一) 坚持实验探究法在初中科学规律教学中的主体地位

实验探究法所产生的认知负荷显著地低于理论演绎法这一结论,很好地印证了将实验探究法选为初中科学规律建构的重要教学方法是科学合理的。初中阶段的学生正处于从感性认知向理性认知转换的关键时期,他们对于身边的形象化刺激较为敏感,对更具抽象性的概念、观念等的理解则相对薄弱。在科学规律教学中,让学生充分经历实验探究的全过程,一方面可以使他们获得

对众多经验事实进行充分感知的机会,为后续的知识扩展、理论建构提供丰富且具象的认知原料;另一方面可以使他们像科学家一样经历科学探究,以实现在科学观察、数据分析、逻辑推理等方面的发展。

(二) 正视理论演绎法在初中科学规律教学中的弱势境况

本研究揭示了这样一个事实:学生通过理论演绎法获取科学规律给其带来了更大的认知负荷。换言之,在初中科学规律教学中,理论演绎法显然不应是教师的首要选择。当然,这在很大程度上是因为初中阶段的学生抽象逻辑思维发展还不够成熟。但这不能成为教师轻视乃至弃置理论演绎教学的理由。毕竟,理论演绎法在对现有科学规律的澄清、展开和完善的过程中具有决定性意义,同时,对学生逻辑推理和抽象思维的形成与发展也具有重要的工具性价值。因此,教师在日常教学中要重视理论演绎法的运用,并把握适用的教学内容。一般而言,适用于理论演绎教学的科学规律常常具有以下三个特征。一是难以用直观形象的手段来呈现,如机械功率  $P=Fv$ ,便是通过对  $P=W/t$  的逻辑演绎得到的。二是涉及的经验事实离学生生活现实较远,如串并联电路中分压和分流原理的学习,往往是在串并联电路电流和电压特点的基础上,辅之以欧姆定律推导所得的结果。三是其上有成熟的既有科学理论,如阿基米德原理的建构,便可以通过已有的液体压强规律推导而来。

(三) 强化理论演绎法等高阶思维方法在尖端学生培养中的应用

学生的科学学习总是在两个认识水平上展开的。一是在经验水平上,通过实验、观察等感知活动来对科学现象进行考察,以求对其变化状态或过程进行描述。二是在理论水平上,通过各种形式的思维活动深入探讨事物变化的内在机制,以期对其变化状态或过程作出进一步解释。简言之,学生的科学学习总是要对“怎么样”和“为什么”两个问题作出回答。<sup>[6]</sup>显然,对于后一个

(下转第 65 页)

① 根据区域科学期末检测成绩将学生从高到低分为四个层次,其中 A 层 150 人、B 层 134 人、C 层 113 人、D 层 89 人。

② 检测成绩为 150 分及以上(总分 160 分)的学生。