

# 思维发展导向的进阶式学习设计与研究

——以  $p$ - $V$  关系的探究及应用为例

李 俊

(上海市宝山区海滨中学, 上海 200940)

**摘 要** 针对知识传授与科学思维培养脱节的现实问题, 本研究在学习进阶理论基础上创新性提出“一体两翼”型理论架构, 并建立了“学情诊断—路径搭建—问题驱动—评价反馈”四环节进阶式学习设计。通过  $p$ - $V$  关系探究的 DIS 实验误差修正与非常规体积测量双案例实证, 显化思维发展路径。

**关键词** 思维发展; 学习进阶; 进阶式学习; 一体两翼

DOI: 10.27024/j.wlygc.2025.09.07.01

## ADVANCED LEARNING DESIGN AND RESEARCH GUIDED BY THINKING DEVELOPMENT: TAKING THE EXPLORATION AND APPLICATION OF $P$ - $V$ RELATIONSHIP AS AN EXAMPLE

LI Jun

(Baoshan District Haibin Middle School, Shanghai 200940)

**Abstract** In response to the reality that knowledge transmission and scientific thinking cultivation are disconnected, this study innovatively proposes a “one body with two wings” theoretical framework based on the theory of learning progressions and establishes a four-step progressive learning design of “diagnosing learning situation-building learning paths-driving with questions-and providing evaluation feedback”. Through two empirical cases of error correction in DIS experiments on  $p$ - $V$  relationship exploration and unconventional volume measurement, the development path of thinking is made explicit.

**Key words** thinking development; learning progression; progressive learning; one body with two wings

普通高中物理课程标准明确提出了培育物理学核心素养的要求。课程标准是教学、考试、评价的基本依据, 教师贯彻落实新课标的途径就是立足“新课程和新教材”打造“新课堂”, 培育学生的核心素养: 物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任。

科学思维作为物理学学科核心素养的关键要

素, 包括“模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新”四个维度, 每一维度分为五级水平, 其中“学业质量水平 2 是高中毕业生应达到的合格要求, 是学业水平合格性考试的命题依据; 学业质量水平 4 是用于高等院校招生录取的学业水平等级性考试的命题依据”<sup>[1]</sup>, 以模型建构为例, 见图 1。

素养维度水平的划分基于认知发展规律由简

收稿日期: 2025-09-07; 修回日期: 2025-12-16; 出版日期: 2026-03-30

通信作者: 李俊, lijunphy@126.com。

引文格式: 李俊. 思维发展导向的进阶式学习设计与研究——以  $p$ - $V$  关系的探究及应用为例[J]. 物理与工程, 2026, 36(2): 240-248.

Cite this article: LI J. Advanced learning design and research guided by thinking development: Taking the exploration and application of  $p$ - $V$  relationship as an example[J]. Physics and Engineering, 2026, 36(2): 240-248. (in Chinese)

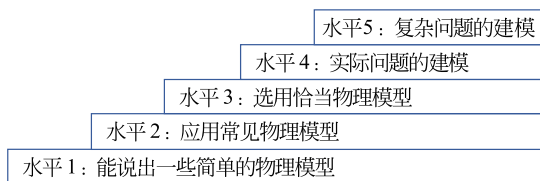


图1 模型建构的水平层级

单、具体、形象、直观逐级向复杂、抽象、理性、深入发展。只有具备上一级水平的学习体验或学科经验才能满足思维的深入发展。实际教学中教师面临着这样的困惑:课堂教学内容已经做到知识全覆盖,大多数学生反馈讲得清晰,听得明白,但是在纸笔测试评价时却发现学生并不会答题。究其原因,学生不会答题并不是难在知识上,而是学生解题素养的欠缺,教学中没有采取形成科学思维的路径。这与教师课堂教学设计过度关注知识层面而忽略了科学思维的发展有关。如何培养学生的科学思维,以及实现学习的进阶发展,使学生面临新情境、综合性、应用性、探究性的问题时具有解决能力,是教师在教学设计时首先要考虑的问题。

## 1 核心概念

围绕科学思维的发展,聚焦“学习进阶”的理论内涵与“进阶式学习”的模型设计与实践应用。

学习进阶: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有针对性的教学改进方案<sup>[2]</sup>。本研究以郭玉英教授“经验、映射、关联、系统、整合”五级进阶理论为基础,基于学情和素养目标,从学生的进阶起点经历真实的思维活动,在实现进阶目标的同时实现科学思维的水平进阶。

进阶式学习:以“探究性学习”与“进阶驱动设计”双向架构思维发展路径,在实践中总结提炼出了“学情诊断—路径搭建—问题驱动—评价反馈”四环节进阶式学习模型。

## 2 学习进阶与科学思维发展的整合架构

### 2.1 理论依据

德瑞弗确定了学习进阶的基本形态:进阶起点、进阶目标和中间节点<sup>[3]</sup>是认知发展研究的重要理论框架。郭玉英教授团队把科学概念的学习

划分为5个发展层级:<sup>[4]</sup>经验,即学生具有尚未关联的零散事实;映射,即学生建立事实与术语之间关系;关联,即学生建立术语与多个事实关系;系统,即学生从系统角度协调变量关系;整合,即学生有学科观念与跨学科概念。随着学习进阶的深入研究,科学思维的发展已从科学概念的进阶研究向刻画思维进阶层级转变。佐汉(Zohar, A)和多利(Dori, Y)指出,探究性学习活动指向的高阶思维包括研究问题、制订实验计划、控制变量、推论、树立和辩护论点、识别隐藏的假设、确定可靠的信息来源等过程。物理学是一门实验科学,科学思维的形成离不开探究性的学习,尤其是将思维提升嵌入实验探究中,能够有效促进学生科学思维的发展<sup>[5]</sup>。邓治国指出科学思维的五级水平与学习进阶发展具有对应关系<sup>[6]</sup>。

文献研究表明:学习进阶理论为教育教学提供了“认知层级发展和科学思维培养”的研究范式。基于高中物理学科的鲜明特色:知识抽象与逻辑性深化、实验探究的科学性与系统性增强、知识模块体系化兼具综合性、与现实科技联系更加紧密,本研究致力于学习的真实发生,通过“探究性的学习活动与进阶性的驱动设计”双翼架构促进学生科学思维的层级跃迁。

### 2.2 一体两翼型架构

#### 2.2.1 基于教学实践与研究,确立了“一体两翼”型理论架构

“一体”:即学生是认知发展的主体,充分调动学生的自主能动性,在真实的学习活动中实现思维水平提升。“两翼”:即探究性活动设计与进阶驱动设计。“探究性活动设计”主要解决“如何教、如何学”的问题,是显性的知识体系建构活动;“进阶驱动设计”旨在以驱动任务引领概念或规律的自主建构,在经历“初步观念—发展观念—形成新观念—运用新观念”中实现科学思维的发展,见图2。

该模型架构体现了“教—学—评”一体化原则,跳出碎片化、满堂灌、刷题战术,以素养发展为导向实施评价,为双新课堂教学改革提供可操作的实践路径。

#### 2.2.2 基于一体两翼型理论架构的进阶式学习四环节

(1) 学情诊断:通过学习需要分析、学生特征分析、学习内容分析,确定进阶学习的起点和目标。

(2) 路径搭建:以探究性学习活动“情境—提出问题—方案设计—信息获取—佐证分析—生成

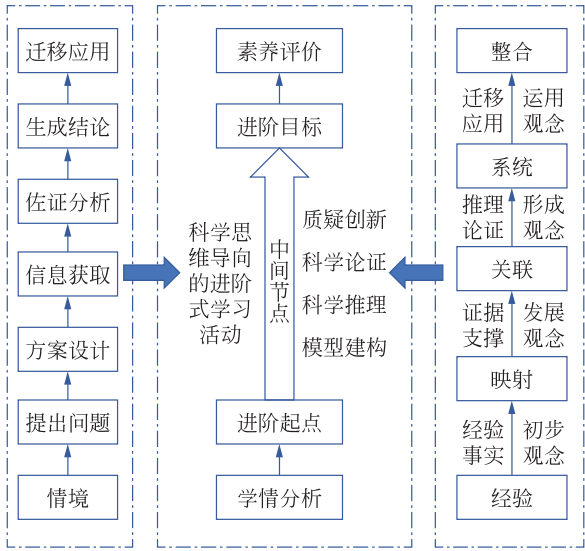


图2 一体两翼型理论架构

结论—迁移应用”搭建思维发展的进阶路径。

(3) 问题驱动:以学习进阶理论作为学生认知与思维发展的支撑,设置进阶性问题驱动,促进学习起点向中间节点的发展,并最终实现进阶目标。

(4) 评价反馈:根据课程标准学业水平量表和高中物理学科教学要点与单元实施指导意见,设置单元评价任务,检测目标达成度,借助评价反馈数据优化学习设计。

2.3 创新之处

2.3.1 理论创新

(1) 以学习进阶整合科学思维水平的发展,见表1。

(2) 确立了“一体两翼”型进阶式理论架构,通过“探究性学习与进阶驱动”双向促进学生的思维发展。

在探究性学习的“情境与问题驱动”环节,基于“经验”:学生从已有认知循序渐进地进行学习活动;在“方案设计”的学习环节,基于“映射”:学生从已有物理观念经过分析推理初步形成新问题的解决路径;在“信息获取、佐证分析”的学习环节,基于“关联”:学生从获取的佐证中获取指向新认知的多事实支撑;在“论证推理、获得结论”的学习环节,基于“系统”:学生从数据验证或逻辑论证的基础上获得结论;在“迁移应用”的学习环节,基于“整合”:面向创新型学生思维的深度发展,能解决复杂问题。以学生真实的学习体验代替教师对知识传授的过度关注,破解了“知识传授与科学思维培养脱节”的现实问题。

表1 学习进阶整合科学思维水平发展

| 学习进阶<br>层级 | 科学思维水平 <sup>[7]</sup>                                                                                             |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 经验         | 水平 1:能说出简单的物理模型;能对常见的物理现象进行简单分析;能区别观点和证据;知道质疑创新的重要性                                                               |
| 映射         | 水平 2:能在熟悉的问题情境中应用常见的物理模型;能对比较简单的物理现象进行分析和推理,获得结论;能使用简单和直接的证据表达自己的观点;具有质疑和创新意识                                     |
| 关联         | 水平 3:能在熟悉的问题情境中根据需要选用恰当的模型解决简单的物理问题;能对常见的物理现象进行分析和推理,获得结论并做出解释;能恰当使用证据表达自己的观点;能对已有的观点质疑,从不同的角度思考物理问题              |
| 系统         | 水平 4:能将实际问题中的对象和过程转换成物理模型;能对综合性物理问题进行分析 and 推理,获得结论并做出解释;能恰当使用证据证明物理结论;能对已有结论有依据地质疑,采用不同方式分析解决物理问题                |
| 整合         | 水平 5:能将较复杂的实际问题中的对象和过程转换成物理模型;能在新的情境中对综合性物理问题进行分析 and 推理,获得正确结论并做出解释;能考虑证据的可靠性,合理使用证据;能从多个视角审视检验结论,解决物理问题具有一定的新颖性 |

2.3.2 实践创新

查阅大量已有  $p$ - $V$  关系探究教学的期刊论文,成果指向:(1)学生通过科学探究获得“等温变化”规律,并对探究成果进行应用;(2)基于数据分析的  $p$ - $V$  关系探究;(3)传统实验与 DIS 实验的对比。

本设计相较于以往成果的创新之处。

(1) 不止于误差:如果将  $p-\frac{1}{V}$  关系探究的图像不过原点归结为实验误差,学生的思维发展就会止步于此。引导学生对 DIS 实验生成的图像比对,发现纵轴截距的特点,并进行溯源分析,通过学生的猜想、验证以及数据修正获得结论。

(2) 不止于结论:在“等温变化”规律基础上,基于数据修正实现  $p-\frac{1}{V}$  到  $V_{\text{测}}-\frac{1}{p_{\text{真}}}$  坐标与图像转换,进而实现对易溶于水不规则固体体积的测量,学生实验并获取数据生成新技能。

### 3 四环节进阶式学习设计的案例研究： $p$ - $V$ 关系的探究及应用

以学情诊断、路径搭建、问题驱动与评价反馈对  $p$ - $V$  关系探究及应用展开案例研究。

#### 3.1 学情诊断确立进阶学习的起点与目标

##### 3.1.1 学习需要分析

新课标指出探究气体等温变化规律与科学思维培养高度相关,并针对科学思维的各要素提出了明确要求,具体内容见表 2。

表 2 气体等温变化中的科学思维

|      |      |                              |
|------|------|------------------------------|
| 科学思维 | 模型建构 | 通过分析一定质量气体的等温变化,建构等温变化气体模型。  |
|      | 科学推理 | 能对真实的等温变化现象提出合理解释,能基于证据进行推理。 |
|      | 科学论证 | 能基于证据进行论证。                   |
|      | 质疑创新 | 能对已有的观点提出质疑,从不同视角思考物理问题。     |

##### 3.1.2 学习内容分析

沪科版选择性必修 3《气体的等温变化》要求学生利用 DIS 对气体的压强和体积的关系进行探究,借助压强传感器对实验数据采集,利用计算机进行数据运算处理并对  $p$ - $V$ 、 $p$ - $\frac{1}{V}$  进行图像拟合,根据图像所表征的物理规律总结出  $p$  与  $\frac{1}{V}$  成正比, $p$  与  $V$  成反比。

##### 3.1.3 学生特征分析

学生已经具备利用控制变量法来研究多变量物理问题的能力,对生活中气体温度、压强和体积的关系有零散的经验事实。对封闭气体受到压缩时

压强增大定性认识。但是理想气体的模型建构、科学推理与论证的能力欠缺;对于定量分析、数据处理、图像转化、分析问题能力以及利用探究结论进行创新应用,解决实际问题能力需要培养提升。

##### 3.1.4 进阶的起点与目标

学生已有的生活经验或体验初步具备了封闭气体压强与体积的定性结论,总体处于“经验”层级。经历实验探究,能利用获得的数据推理论证得出等温变化的  $p$ - $V$  关系,并在实际情境中应用结论解决问题,进阶目标为“系统”层级。

#### 3.2 探究性学习路径与问题驱动设计双向架构学生思维发展

##### 3.2.1 情境与问题驱动

“经验-映射”层级进阶与思维发展。具体设计见表 3。

基于一体两翼型进阶式理论架构,在情境创设与提出问题环节上:设置驱动问题 1、2,学生能举出生活中的零散经验示例,池底产生的水泡在上升中的压强、体积的变化,打气筒打气时压强与体积的变化,会定性地描述压强与体积的关系,说出压强体积定性关系的简单物理模型:气体压强随体积的减小而增大。尽管这种基于经验的物理模型表述存在不严谨、不规范,但却是学习进阶不可或缺的基础。学生对提出的问题“压强和体积之间的定量关系”进行大胆推测:二者有可能存在反比例关系。在该阶段的进阶学习过程中:能对生活经验中的现象进行简单分析具有初步的科学推理能力;能区分来自生活经验的证据和要建构  $p$ - $V$  关系结论的科学论证能力。

在方案设计环节上:设置驱动问题 3,主要采用小组活动形式的学习,组内同学基于各自不同的经验,广泛交流论证,组间汇报交流生成结论:气体压强大小与温度、体积以及气体的质量有关。

表 3 基于情境与问题的“经验-映射”进阶

| 探究学习设计 | 进阶性驱动                                            | 科学思维         | 层级进阶说明                               |
|--------|--------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| 情境     | 1. 生活中能证明气体的压强与体积存在一定关系的经验与事实有哪些?                | 水平 1<br>模型建构 | 从具备压强与体积关系的零散“经验”事实向气体等温变化术语的“映射”进阶。 |
| 提出问题   | 2. 气体压强与体积之间是否存在定量关系?                            | 科学推理         |                                      |
| 方案设计   | 3. 气体压强还可能与哪些因素有关? 通过什么物理方法可以研究二者关系? DIS 实验如何设计? | 水平 2<br>模型建构 |                                      |
|        |                                                  | 科学推理<br>科学论证 |                                      |

在多变量问题中学生具备了控制变量法研究问题的能力。教师引导:如何保证温度这一影响压强的物理量不变呢?学生已有经验:基于功能关系的学习,多次快速压缩密闭容器内的气体会使硝化棉自燃;多次压缩打气筒对车胎打气,压缩气体部位的气筒壁温度明显高于其他位置。学生小组论证:快速压缩气体对气体做功,气体内能会相应增大,温度随之升高;如果推动活塞压缩气体的过程缓慢进行,让热量通过气筒壁传递出去,就可以有效避免压缩气体温度的变化。在教师的引导下学生主动建构了“等温变化”的物理模型:一定质量气体、温度不变时压强随体积变化的过程为等温变化。对于实验方案的设计教师通过可行性、科学性的引导,对各组形成的设计进行讨论和论证,发展了学生推理、论证、质疑与创新的科学思维,实现了从“经验”向“映射”层级的学习进阶。

### 3.2.2 信息获取与佐证分析

“映射到关联”层级进阶与思维发展。具体设计见表4。

表4 基于信息获取与佐证分析的“映射-关联”进阶

| 探究学习设计 | 进阶性驱动                                         | 科学思维                | 进阶层级说明                             |
|--------|-----------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 数据获取   | 4. 如何进行重复性的验证获取压强与体积关系的多事实支撑? 漏气、连接管脱落等问题的处理? | 水平2<br>科学论证         | 从理解等温变化“映射”层级向压强与体积变化的多事实关系“关联”进阶。 |
| 数据分析   | 5. 能否根据数据信息进行有效运算验证猜想,并拟合图像?                  | 水平3<br>科学推理<br>科学论证 |                                    |
| 误差分析   | 6. 测量数据的误差溯源? 数据修正后的图像特点?                     | 质疑创新                |                                    |

信息的获取与分析是得出物理规律的前提,学生经历学习活动:在驱动问题4引导和小组实验活动中发现,因连接管的漏气、连接管脱落再次连接后继续进行实验、以及用手握住封闭气体的针筒都不能实现可靠数据的多事实支撑。经学生分析论证在注射器针筒内涂抹润滑油可以有效防止漏气,实验过程中避免用手握住针筒,以及实验中连接管脱落后重新实验等科学有效的改进措施和规范的操作,保证了获取数据的可靠性。数据分析阶段学生基于驱动问题5,结合数学反比例关系的经验,对 $p$ 、 $V$ 数据进行乘积运算,进而从拟合的 $p$ - $V$ 图像向 $p$ - $\frac{1}{V}$ 图像进阶(数据采集与图像处理:朗威压强传感器 LW-T822、20mL 注射器、计算机)。在此设计下学生实现了从“等温变化”的术语向压强与体积的多事实、重复性的验证,进而建立变量关系的学习进阶。

利用计算机拟合 $p$ - $V$ 、 $p$ - $\frac{1}{V}$ 图像如图3所示。

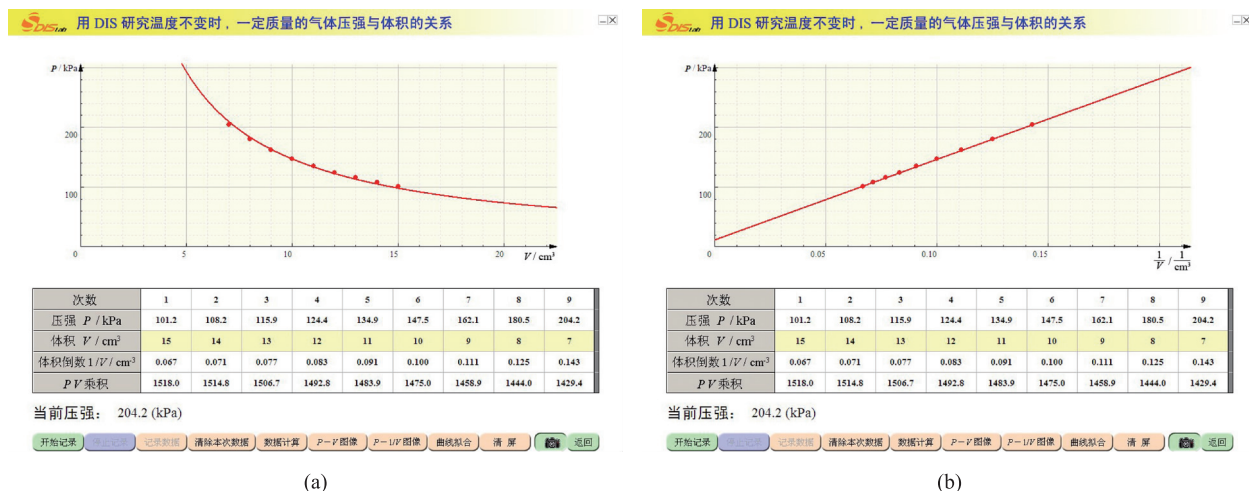


图3  $p$ - $V$ 、 $p$ - $\frac{1}{V}$ 图像

(a)  $p$ - $V$ ; (b)  $p$ - $\frac{1}{V}$

在 22℃ 环境下,注射器初始刻度 15mL,  $p-\frac{1}{V}$  图像为一条近似过原点的倾斜直线。

对比各组实验结果,学生发现图像都没有过坐标原点,且各组图像纵轴截距均大于零。知网已有研究成果对此现象的教学设计会止于给出“实验误差”的结论,而不加验证。本设计对气体发生等温变化时压强与体积成反比的信度提出质疑,并将图像不过原点的原因作为学习进阶的驱动。基于问题 6 的交流分析,有小组认为连接压强传感器和数据采集器之间软管内的体积导致测量数据偏小。

如何设计实验验证猜想? 小组讨论后决定: 对实验数据进行准确的测量和修正。并着手对连接部位体积进行测量: 利用游标卡尺对连接管的长度和直径测量,计算出该部分气体的体积为 1mL。将实验数据进行修正,在原体积数据的基础上增加 1mL,重新拟合图像,如图 4 所示。

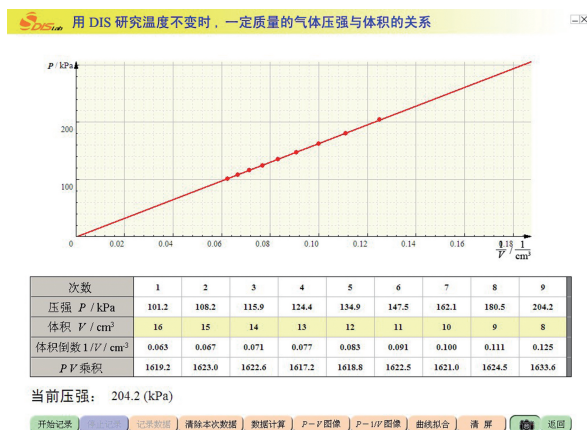


图 4 数据修正后的  $p-\frac{1}{V}$  图像

数据修正后  $p-\frac{1}{V}$  图像均为过原点的倾斜直线,为揭示  $p-V$  的关系提供了“多事实支撑”。在

经历探究性的学习活动后实现了映射向关联的层级进阶,并发展了“科学推理”“科学论证”与“质疑创新”的科学思维。

### 3.2.3 生成结论与反思交流: “关联到系统”层级进阶与思维发展

在科学的设计和规范的操作下获取了可靠的数据,对因测量仪器引起的数据偏差进行补偿后推演得出气体等温变化的规律: 一定质量的气体在温度不变时,压强与体积成反比。学生已经具有分子运动理论的事实基础,引导学生对实验结论进行分子运动论的科学解释: 温度不变,分子的平均动能不变,体积减小,分子越密集,单位时间内撞击器壁单位面积上的分子数越多,气体的压强越大。实现了压强与体积的关联证据向多变量规律建构的系统进阶,发展了“科学推理”“科学论证”的科学思维,进阶设计见表 5。

学习的真正价值不是知识的储备与堆砌,而是在新情境下的迁移运用及创新<sup>[8]</sup>。为了进一步发展学生的高阶思维,设置挑战性任务: 数据修正补偿带来的启示? 在数据补偿的启示中能否实现易溶于水,不规则固体体积的测量?

学生已有经验: 利用排水法测量不溶于水的不规则固体体积。然而对于易溶于水或者与水反应的不规则固体,此法显然不可取。在  $p-V$  关系探究过程中的误差分析与数据修正为这一问题揭示了新思路。学生推导:  $V_{\text{测}}$  表示注射器活塞对应刻度示数,  $V_{\text{管}}$  表示连接管对应的体积(已测量: 1mL),  $V_{\text{物}}$  为注射器内被测物体体积,  $V_{\text{真}}$  是注射器活塞封闭气体的真实体积。根据等温变化:  $p_{\text{真}}V_{\text{真}}=C$  ( $C$  为常数,由物质的量和温度共同决定)可知,  $p_{\text{真}}(V_{\text{测}}+V_{\text{管}}-V_{\text{物}})=C$ ,进而得到函数解析式:  $V_{\text{测}}=\frac{C}{p_{\text{真}}}+V_{\text{物}}-V_{\text{管}}$ 。利用气体的等温变化得到变量  $V_{\text{测}}$ 、 $p_{\text{真}}$  的多组数据,数据点绘图得到

表 5 基于结论解释与迁移的“关联-系统”进阶

| 学习活动设计 | 进阶性驱动                                   | 科学思维                 | 进阶层级说明                                                |
|--------|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|
| 生成结论   | 7. 数据图像推演的实验结论?                         | 水平 3<br>科学推理         |                                                       |
| 解释结论   | 8. 实验结论的分子动理论解释?                        |                      |                                                       |
| 迁移创新   | 9. 数据修正补偿的启示? $V-\frac{1}{p}$ 图像的拟合与分析? | 水平 4<br>科学论证<br>质疑创新 | 从 $p$ 、 $V$ 的多事实“关联”证据向变量规律建构的“系统”进阶,并在创新应用中实现“整合”进阶。 |
| 推演转化   | 10. 如何利用图像得到不规则物体的体积?                   |                      |                                                       |

$V_{\text{测}}-\frac{1}{p_{\text{真}}}$ 图像,通过一次函数图像与纵轴交点坐标求得 $V_{\text{物}}-V_{\text{管}}$ 的体积,进而得到 $V_{\text{物}}$ 大小。实验数据记录与图像如图5所示。在经历真实情境的问题解决中实现了“关联”到“系统”的层级进阶,并发展了“模型建构”“推理论证”与“质疑创新”的科学思维。

3.3 以多元评价反馈目标达成度,不断优化进阶梯度

学生思维的进阶发展,每一次都对应相应水平的论证。如果学生的论证层级达不到进阶的水平,这时的教学往往会事倍功半。科学思维不能得到发展的结局是面临新情境、新问题时手足无措。因此,进阶梯度的设计至关重要,要落脚于学生的最近发展区。教学评一体化是发展学生核心素养的教学新模式<sup>[9]</sup>。教学评价不再局限为对成果的评价,教师以评价为依托创新教学设计,并贯穿教学过程,帮助学生突破学习障碍,实现思维顺利进阶。思维进阶的前端分析、思维

进阶的目标、实现思维进阶的探究活动、对学习成果的创新应用等教学环节,都会经历师生评价、生生评价、自我评价的过程,引导学生科学思维的发展。

(1) 过程性评价对进阶梯度的有效性调整:以不规则物体体积的测量为例

学生在经历等温变化的实验探究后得到 $p$ 与 $V$ 之间的反比关系,而对于驱动问题“数据修正补偿的启示”学生感觉进阶梯度过大,问题指向不明确。教师及时监控调节,将问题进一步明确为 $p-\frac{1}{V}$ 转化为 $V-\frac{1}{p}$ 并结合数据修正补偿能获得什么启示?这不仅降低了思维进阶的跨度,同时也进一步验证了连接管测量体积的准确性。为接下来利用 $V-\frac{1}{p}$ 图像测不规则物体体积做好了进阶准备。

(2) 过程性评价促进新认知的迁移应用:以打气筒对篮球打气的建模为例,见表6。

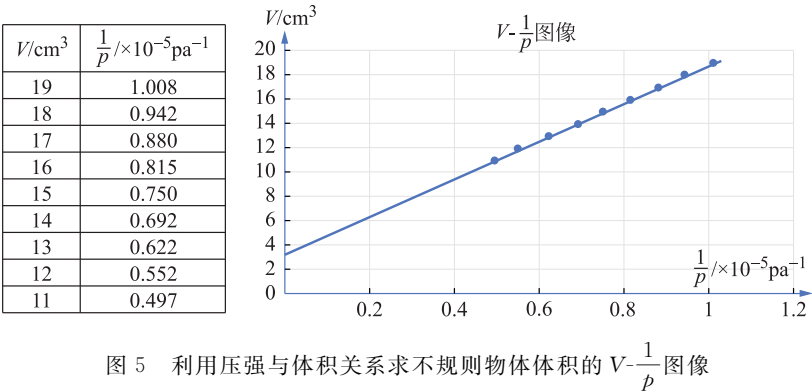


图5 利用压强与体积关系求不规则物体体积的 $V-\frac{1}{p}$ 图像

表6 过程性评价促进学习迁移的教学案例

| 过程性评价任务                                                                                                                         | 求解过程                                                                                                                                                                                                                                     | 评价目的                                                                                       | 思维类型             | 学业标准           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|
| 用打气筒给一个容积是7.8L的标准男子篮球(7号球)充气,每打一次都把体积为220ml、压强与大气压相同的气体打进球内。第一次打气前篮球已经是球形并且里面的压强与大气压强相同,打了20次后篮球内部气体压强是大气压的多少倍?得出此结论需要满足什么前提条件? | 气体等温变化的条件是质量、温度不变,将篮球和打气筒内气体作为研究对象,在打气压缩过程中,若温度变化较小,则可以近似认为等温变化过程。<br>打气前压强: $p_1=p_0$ ,体积: $V_1=V_0+\Delta V$ ;<br>打气后压强: $p_2$ ,体积 $V_2=V_0$ ;<br>由等温变化规律: $p_1V_1=p_2V_2$ 代入数据得: $p_0(7.8+20\times 0.22)=7.8p_2$<br>解得: $p_2=1.56p_0$ | 能在熟悉的问题情境中应用常见的物理模型:将篮球打气的过程视为温度不变,将球内和打入的气体作为研究对象,研究对象视为等温变化<br><br>能对常见的物理现象进行分析和推理,获得结论 | 模型建构<br><br>科学推理 | 水平2<br><br>水平3 |

## 4 四环节进阶式学习设计的必要性及有效性分析

### 4.1 必要性分析

笔者于2023年11月在三所市直属校以物理核心素养的发展现状调查发放电子问卷,共回收1543份调查结果。对其中6个问题的调查结果统计如表7所示。

表7 学生发展物理核心素养调查统计表

| 问卷内容       | 描述选项     | 百分比    |
|------------|----------|--------|
| 对物理学科的兴趣爱好 | 非常喜欢     | 26.57% |
|            | 比较喜欢     | 36.29% |
|            | 一般       | 33.38% |
| 未来职业规划     | 物理相关职业   | 48.60% |
|            | 未考虑职业问题  | 35.26% |
| 最欠缺的物理核心素养 | 科学思维能力   | 50.49% |
| 最喜欢的物理课型   | 实验主导型    | 40.76% |
|            | 讨论互动型    | 28.13% |
| 最喜欢的物理内容   | 物理与生活    | 61.24% |
|            | 物理与科技    | 20.80% |
| 最喜欢的物理作业   | 开放性的探究作业 | 63.90% |

结果显示:学生对物理学科的兴趣较高,但科学思维能力和实验能力需要加强。近一半的学生对物理相关职业有兴趣,且更喜欢与实际生活相关的物理课程和开放性的探究作业。基于调查问卷的结果分析,物理课堂教学迫切需要以“探究性学习与进阶驱动”发展学生科学思维能力。

### 4.2 有效性分析

实验校针对本研究成果“四环节进阶学习”展开对照实验,以学生纸笔测试成绩验证科学思维发展的信度和效度。将学业测评卷按照基础题、中档题和难题划分,用学生的得分情况反映不同思维水平的发展差异,利用安脉综合管理平台软件分析如图6所示。

实验结论:本次研究依托试题得分率雷达图、不同难度得分率对比两大数据维度展开成效验证,数据结果直观显示,采用四环节进阶式学习设计的实验组,物理学业成绩整体水平显著高于采用常规教学模式的对照组。从试题得分率雷达图来看,实验组单题得分率整体偏高,各类知识点题型失分更少,对物理基础考点、重难点题型的掌握更为全面;从不同难度题目得分率对比数据来看,实验组在基础题、中档题、难题三大层级均实现得分率领先,既能夯实基础知识点,又能突破中档题型解题瓶颈,同时在综合题型上也具备更强的解题思维与应用能力。

综上,相较于传统常规教学模式,四环节进阶式学习设计能够贴合学生物理学科认知规律与学习节奏,针对性补齐学习短板、强化知识应用能力,切实有效提升学生物理学业成绩,教学实践效果突出,具备在物理课堂教学中推广应用的现实价值。

## 5 反思与展望

随着新一轮教育改革的深入推进,双新课堂教学也在与时俱进地变革:首先,教师要善于发现

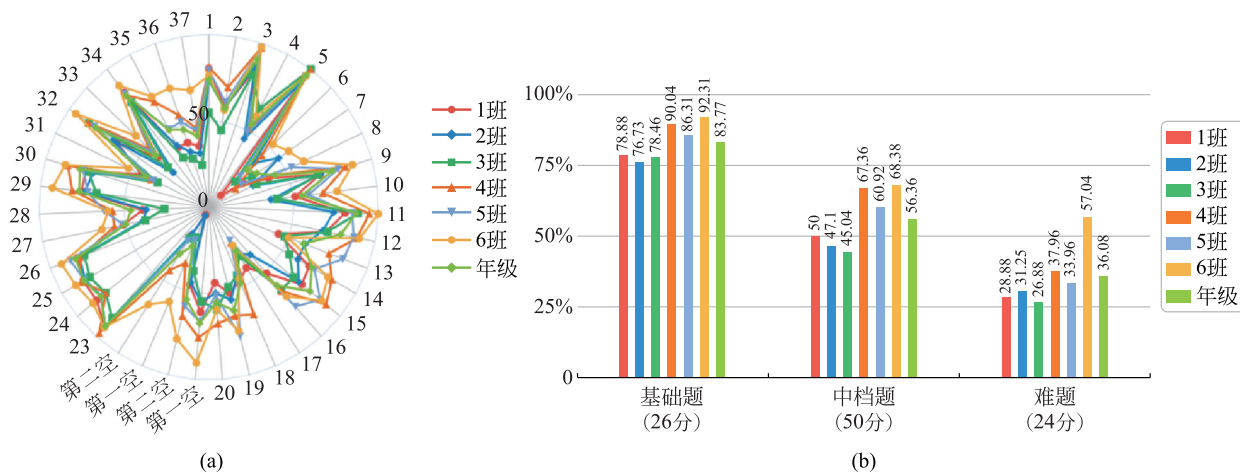


图6 实验班与对照班思维发展差异分析

(a) 试题得分率雷达图; (b) 不同难度得分率对比

并利用生活中的物理情境,让物理教学与实际生活紧密相连。其次,要注重实验教学的探究性设计,将思维提升嵌入创设情境、激发动机、问题驱动、主动探究、交流评价、质疑创新等探究性过程。一体两翼架构下的进阶式学习可进一步拓展至跨学科领域,探索人工智能技术在科学思维发展中的创新应用,完善素养导向的多元评价工具,为基础教育阶段科学思维的进阶培养提供更系统的理论支撑与实践路径。

## 6 结语

一体两翼理论架构下的四环节进阶设计打破了碎片化教学与机械刷题的传统范式,重塑课堂主体关系,教师从台前传授者转变为学习进阶的幕后设计者与思维发展的引导者;学生从台下接受者跃升为探究活动的台上主导者,真正成为思维建构与素养发展的主体。这种从台前到幕后、从台下到台上的角色重构,打破了传统课堂的权力格局,为素养落地发展提供了坚实的机制保障。将评价嵌入思维进阶的全过程,形成“诊断—设计—探究—评价”的闭环体系。同时通过“探究性学习”与“进阶驱动”的双向架构,使知识建构与思维发展形成协同效应。

## 参 考 文 献

- [1] 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,2020:48.  
Ministry of Education of the People's Republic of China. General Senior Secondary School Physics Curriculum Standards (2017 Edition, Revised in 2020)[S]. Beijing: People's Education Press, 2020: 48. (in Chinese)
- [2] 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[J]. 课程·教材·教法,2016,36(11):64-70.  
GUO Y Y, YAO J X. Improvement of science teaching design based on core literacy and learning progression[J]. Curriculum, Teaching Material and Method, 2016, 36(11): 64-70. (in Chinese)
- [3] 姚建欣,郭玉英. 为学生认知发展建模:学习进阶十年研究回顾及展望[J]. 教育学报,2014,10(5):35-42.  
YAO J X, GUO Y Y. Modeling for students' cognitive development: A ten-year review and prospect of learning progression research[J]. Journal of Educational Studies, 2014, 10(5):35-42. (in Chinese)
- [4] 杨清. 课堂深度学习:内涵、过程和策略[J]. 当代教育科学,2018(9):66-71.  
YANG Q. Deep learning in the classroom: Connotation, process and strategies[J]. Contemporary Educational Science, 2018 (9):66-71. (in Chinese)
- [5] 首新,万东升,李健,等. 科学高阶思维学习进阶测评模型的开发研究[J]. 湖南师范大学教育科学学报,2023,22(1):40-50.  
SHOU X, WAN D S, LI J, et al. Research on the development of an assessment model for learning progression of scientific higher-order thinking[J]. Journal of Educational Science of Hunan Normal University, 2023, 22(1):40-50. (in Chinese)
- [6] 邓治国,董友军. 基于科学思维水平进阶的问题情境设计[J]. 物理教师,2023,44(7):21-24,30.  
DENG Z G, DONG Y J. Design of problem scenarios based on the progression of scientific thinking levels[J]. Physics Teacher, 2023, 44(7): 21-24, 30. (in Chinese)
- [7] 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,2020:78-80.  
Ministry of Education of the People's Republic of China. General Senior Secondary School Physics Curriculum Standards (2017 Edition, Revised in 2020)[S]. Beijing: People's Education Press, 2020: 78-80. (in Chinese)
- [8] 江山. 基于物理学科关键能力培养的“启发+探究”式教学:以“磁感应强度”教学为例[J]. 物理教师,2020(7):24-27,30.  
JIANG S. “Heuristic+inquiry” teaching based on the cultivation of key competencies in physics: A case study of “magnetic induction intensity” teaching[J]. Physics Teacher, 2020(7): 24-27, 30. (in Chinese)
- [9] 王春梅. 大单元背景下的高中物理教学评价方式探索[J]. 中学物理教学参考,2022,51(6):45-47.  
WANG C M. Exploration of physics teaching evaluation methods in senior high schools under the background of large-unit teaching[J]. Reference for Middle School Physics Teaching, 2022, 51(6): 45-47. (in Chinese)