

不同物理学史教学模式 对学生高阶思维能力影响的实证研究

宗国庆, 陆 韵, 管文彬

摘要: 作为科学思维的重要维度, 高阶思维能力的培育已成为物理教学改革的关键议题。根据物理学史融入方式的不同, 可建构传统识记、历史概述和历史精讲三种物理学史教学模式。实验发现, 不同的教学模式对学生高阶思维能力的影响不同: 传统识记模式会在一定程度上限制学生高阶思维能力的发展, 难度适中的历史概述模式对学生高阶思维能力的发展最为有效, 难度较大的历史精讲模式易引发学生的两极分化。建议在物理学史教学中采用“认知负荷适配—分层教学实施—评价体系重构”的协同机制, 以更好地发展学生的高阶思维能力。

关键词: 高阶思维能力; 物理学史教学; 科学思维

有研究表明, 我国基础教育中约50%的课堂未能有效制订思维培养目标, 教学任务设计普遍存在挑战性不足、逻辑性欠缺等问题, 师生互动仍以低阶问答为主, 学生批判性思维与创新能力的培养率不足三分之一。^[1]

在信息时代, 长期偏重记忆与理解等低阶思维能力培养的传统高中物理教学模式逐渐显现双重危机: 其可替代性随着智能技术的发展日益凸显, 其局限性则体现为在标准化测评中暴露出来的“高分低能”现象。这在物理学科中尤为突出。尽管《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》要求教学关注科学思维与创新意识, 但现实教学中仍普遍存在三大困境: 教学目标偏重知识复现而弱化思维培养, 教学内容囿于公式推导而忽视科学方法论渗透, 教学评价过度

关注解题技巧而缺乏对复杂问题解决能力的考查。通过再现物理学家的思辨历程, 物理学史教学能为学生搭建从低阶认知向高阶思维跃迁的“脚手架”, 不仅回应了课程教学改革对批判性思维、复杂问题解决能力的要求, 还成为破解“思维培养悬浮化”难题的关键路径。

物理学史记录了对物理学习而言最为重要的“探索”内容, 包含物理学真理的动态发展与更迭, 囊括科学大师的创造性思维活动与极具启发性的方法论, 蕴含丰富的物理理论思辨与实践研究思维, 它们是培养学生高阶思维能力不可或缺的宝贵资源。本研究针对不同物理学史教学模式对学生高阶思维能力的影响开展实证研究, 以探索更为有效的高阶思维能力培育模式。

基金项目: 2023年度江苏省教育科学规划战略性与政策性重大招标课题“科技强国背景下中小学科学教育的体系建构与实施路径研究”(2023JYZD08); 2024年江苏省学位与研究生教育教学改革课题“‘国优计划’研究生跨学科素养培育策略研究”(JGKT24_C023)。

作者简介: 宗国庆, 南京信息工程大学教师教育学院讲师, 教育学博士(南京 210044); 陆韵, 江苏省苏州高新区实验初级中学教师(苏州 215011); 管文彬, 南京信息工程大学教师教育学院硕士研究生(南京 210044)。

一、理论溯源：高阶思维能力的概念解构

高阶思维能力的学理框架植根于教育目标分类学。1956年，布卢姆（Bloom）提出认知领域的层级模型，将学习目标划分为知识、理解、应用、分析、综合、评价六大层级，其中后三者被视为高阶思维的雏形。2001年，安德森（Anderson）等学者对该框架进行了修订，将认知过程维度重构为记忆、理解、应用、分析、评价、创造，并强调后三者构成了高阶思维的核心能力集。^[2]这一分类揭示了高阶思维的本质特征：以知识重组与认知重构为内核，强调对复杂问题的非线性求解与创新性输出。雷斯尼克（Resnick）进一步指出，高阶思维具有不规则性、解决方案多样性及自我调节性等特征，其认知过程需突破既定规则，在不确定性与多标准冲突中实现动态平衡。^[3]钟志贤是国内较早对高阶思维能力开展研究的学者，他将高阶思维能力定义为发生在较

高认知水平上的认知能力，并将其进一步外延为创新思维能力、批判性思维能力、决策能力和问题解决能力。^[4]本研究采用钟志贤的定义。

二、研究架构：教学模式的设计与实施

本研究采用准实验设计范式，以某校高一年级13个班级的725名学生为研究对象，其中包含3个培优班和10个普通班。针对人教版高中物理必修教材“牛顿第一定律”一节，构建了传统识记、历史概述和历史精讲三类差异化的物理学史教学模式，授课时长均为1课时。为保证接受各模式教学的学生基础水平相当，通过分层抽样与等组匹配确保实验效度：将高一（9）（10）（15）班（培优班）分布于不同组别以消除基础水平差异，对10个普通班依据前期物理学业表现进行均衡分配，最终形成传统识记组、历史概述组和历史精讲组，学生人数分别为340人、165人、220人。具体分组情况如表1所示。

表1 班级分组情况

组别	班级	学生人数
传统识记组	高一（4）（6）（7）（11）（14）（15）班	340
历史概述组	高一（2）（3）（9）班	165
历史精讲组	高一（1）（8）（10）（13）班	220

对于传统识记组，采用“讲授—练习”二元结构教学。在知识传授阶段，教师基于教材体系梳理亚里士多德、伽利略、牛顿等科学家的核心观点，强调惯性定律的数学表述与应用场景；在能力强化阶段，教师通过变式习题（如斜面运动分析、惯性现象解释）训练学生的知识复现与应用能力，形成“概念记忆—公式套用—问题解答”的线性认知路径。此模式符合布卢姆认知目标分类中低阶思维的培养逻辑，但缺乏对学生科学本质观与批判性思维的深度引导。

历史概述组则注重在知识传递中融入科学史实，构建“历史脉络—认知冲突—思维进阶”的三阶模型：首先，梳理从亚里士多德“自然运动说”到牛顿惯性定律的认知演变，呈现科学共同体在概念更迭中的思辨过程；其次，通过模拟和重现实验引导学生质疑前科学观念，让他们沉浸于物理学史情境中，体验“观察—假设—证伪”

的科学方法论；最后，设计开放性任务，促进知识应用向批判性评价跃迁。此模式呼应雷斯尼克的“非常规问题解决”理论，通过史料驱动诱发学生的元认知调节。

历史精讲组则是在历史概述组的基础上采用深化科学推理的显性化教学，对物理学家的探究历程提出更高的认知要求，不仅是对推理过程进行浅层了解，还要进一步讲解笛卡儿和牛顿对牛顿第一定律的数学表述，完善知识探索过程的整个逻辑链。此模式深度融合安德森修订的教育目标分类中的分析、评价、创造维度，形成物理高阶思维培养的闭环。

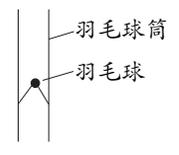
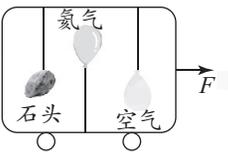
本研究采用即时性测评方法，在课堂教学完成后立即实施诊断性评估。纸笔测试工具共设9题，总分45分，由基础性试题（占比60%）与高阶思维试题（占比40%）两个模块组成。其中，高阶思维试题聚焦决策能力维度，以“牛顿

第一定律”核心知识为内容载体。测试工具涵盖分析、评价维度，旨在达成双重评价目标：其一，通过基础性试题完成对概念识记与简单应用等低阶思维的筛查；其二，依托高阶思维试题检验学生在结构化知识情境中进行逻辑链建构、决策优化的能力。由此，整套工具通过梯度化命题实现对思维层级的精准诊断：基础性试题侧重概念识记与简单应用，高阶思维试题则要求受试者基于原始问题情境，完成从原理调用、逻辑推演到策略生成的思维闭环。

考虑到标准化纸笔测评往往存在结构性局限，即程式化框架难以捕捉高阶思维在真实情境中的本质属性，本研究还构建了项目化实践评价体系，实现对批判性思维、创造性思维与问题解决能力的深度评估。由于实践测试相对复杂，本

研究选取高一（2）（6）（13）班（各组内学生基础水平相当的普通班各一个）作为测试对象，并将每班学生随机分为10个小组。实践测试共设计三类问题情境，分别为羽毛球问题、小车问题和大楼问题（见表2）。这些问题情境模拟了真实世界中的复杂问题，要求学生综合运用物理知识、逻辑推理和创新思维，通过小组合作提出解决方案并进行实验验证。实践测试的评价维度涵盖问题分析的深度、解决方案的创新性、实验设计的科学性及团队协作的有效性等方面，其核心目标在于将学生置于动态、复杂的任务系统中，评估他们能否突破程式化思维范式，展现雷斯尼克提出的不规则性、解决方案多样性及自我调节性等高阶思维特征。评价时，将学生的表现分为优秀、良好、待改进三个水平。

表2 实践测试题目

问题情境	题目内容
羽毛球问题	 <p>如图所示，要将卡在球筒中的羽毛球取出，你有什么方案</p>
小车问题	 <p>小车内分别用细绳悬挂一块石头、一个充满氦气的气球和一个充满空气的气球。现让小车向右运动，请推理这三个物体分别如何运动，并通过实验验证自己的猜想</p>
大楼问题	摩天大楼如何防风抗震

纸笔测试和实践测试在一定程度上形成了互补：前者锚定学科知识体系内的思维深度，通过结构化试题聚焦高阶思维的分析、评价维度，检验学生对物理逻辑链的拆解与重构能力；后者则拓展了真实情境中的思维广度，依托生活化任务模拟复杂问题，考查学生在资源约束、团队协作中调用知识解决实际问题的创造能力。二者共同构建起对高阶思维能力结构性认知与情境化应用的立体评估框架。这样的框架呼应了安德森认知过程维度中“记忆—创造”的完整逻辑链条，为高阶思维能力的多维度评估提供了参考。

三、结果分析：学生高阶思维能力的差异显影

本研究采用量化分析方法，对学生高阶思维能力的测试结果进行整理，纸笔测试中高阶思维试题的答题情况如下页表3所示（基础性试题因不涉及高阶思维，只作为研究参考，不计入高阶思维能力统计），实践测试结果如下页表4所示。结果表明，不同教学模式学生高阶思维能力发展水平存在显著差异，历史概述组在批判性思维、创造性思维及问题解决能力维度均表现出较高的得分率，与传统识记组形成鲜明对比。

表3 纸笔测试中高阶思维试题答题情况

组别	班级类别	班级	得分率/%	平均得分率/%	
传统识记组	普通班	高一(4)班	68.69	74.12	75.24
		高一(6)班	81.69		
		高一(7)班	69.25		
		高一(11)班	74.52		
	高一(14)班	76.46			
	培优班	高一(15)班	80.84	80.84	
历史概述组	普通班	高一(2)班	84.85	84.88	85.63
		高一(3)班	84.91		
	培优班	高一(9)班	87.12	87.12	
历史精讲组	普通班	高一(1)班	67.06	72.32	75.87
		高一(8)班	77.16		
		高一(13)班	72.74		
	培优班	高一(10)班	86.51	86.51	

表4 实践测试结果

组别	问题情境	优秀小组数	良好小组数	待改进小组数
传统识记组	羽毛球问题	8	2	0
	小车问题	3	4	3
	大楼问题	1	4	5
历史概述组	羽毛球问题	9	1	0
	小车问题	9	1	0
	大楼问题	2	6	2
历史精讲组	羽毛球问题	9	1	0
	小车问题	7	2	1
	大楼问题	3	5	2

(一) 实验组别效能对比: 认知负荷理论的实践验证

数据表明, 历史概述组的整体得分率显著高于历史精讲组和传统识记组, 尤其是在普通班样本中, 该组别较其他两组呈现显著的增益(平均得分率分别相差12.56%和10.76%)。这一结果印证了认知负荷理论中关于教学材料难度与学习者基础能力相匹配的核心观点——适度简化的物理学史内容更有利于促进中等水平学生的知识建构与迁移。也就是说, 难度适中的物理学史教学对学生高阶思维能力的发展具有积极影响, 并且对基础水平一般的学生帮助更大。

与简化的物理学史教学相比, 若是对物理学史的教学过于深入、难度过大, 以至于超出了学

生的认知水平, 就会出现明显的两极分化现象。数据显示, 历史精讲组培优班得分率比传统识记组高5.67%, 普通班得分率却产生了1.80%的负向差异。这一结果揭示了深度学习、精细讲解策略的适用性存在群体异质性, 高认知负荷的精细物理学史教学对物理知识储备充足的培优班学生能产生显著的正向迁移, 但对基础薄弱者则可能引发认知超载, 导致他们的认知效果下降。由此可见, 物理学史教学应当符合学生的基础能力, 对于自身能力足够强的学生, 精细化的物理学史教学模式可能会让他们“甘之如饴”, 但是对于自身基础能力不强的学生, 深度的理解推理过程可能会占据他们大部分的时间与精力, 反而导致本末倒置, 适得其反。

(二) 反常现象解析：成绩优异者的“高阶思维困境”

测试结果中的一个反常现象尤其值得关注。在历史概述组与历史精讲组中，有些平时物理成绩位居前列的优秀学生的实践测试得分意外地低于平时成绩并不突出的学生。这一发现与布兰斯福德（Bransford）的适应性专业知识理论形成呼应。^[5]这说明公式记忆与解题技巧的强化训练虽能提升程序性知识的熟练度，却可能导致概念理解的碎片化，易在面对非良构问题时陷入思维定式。由此推断，传统物理教育中所强调的记忆公式与技巧训练的确培养出了一批成绩优异的“聪明”学生，但他们可能难以在复杂多变的真实情境中有效地应对和处理问题。

(三) 传统教学模式的思维固化效应：功能固着理论的现实映射

在实践测试中，传统识记组的表现略微逊色于其他两组，表现出典型的思维固化特征。在羽毛球问题中，传统识记组中有20%的小组止步于单一解决方案，没有进行发散性思考；在小车问题中，有33%的小组受限于表面特征而未能触及核心物理原理和问题本质，他们被固有印象禁锢了思维，没有根据已知条件对问题进行仔细分析；在大楼问题中，仅有50%的小组能突破“增加质量”的直觉反应，形成基于能量耗散的系统解决方案，另外50%的小组只能想到增加大楼自身质量，未从耗材、可行性等方面进行思考，无法得出增设阻尼器的方案。这些数据印证了邓克尔（Duncker）的功能固着理论，揭示了传统训练模式对发散性思维和批判性思维的抑制作用^[6]，反映了“刷题”教学使学生思维固化与僵化的严重后果。

(四) 物理学史教学效果的动态关联：对深层矛盾的揭示

基于以上实证研究结果，对物理学史教学模式与学生高阶思维能力发展的动态关联进行解构发现，不同教学模式对学生认知发展的影响呈现显著的差异化特征，集中表现在传统教学模式的局限性、物理学史融入的认知负荷平衡问题以及评价体系与能力发展的结构性矛盾三个方面。

首先，传统教学模式在一定程度上限制了学生高阶思维能力的发展。传统教学模式虽然在提

升学生考试表现方面具有显著效果，但其采用的以知识灌输和密集练习为主的教育方法，限制了学生高阶思维能力的发展。传统识记组在实践测试中解决具体问题时表现出来的思维停滞、困于固有印象等现象，表明传统的“刷题”教学可能会限制学生的创新思维和批判性思维。

其次，将难度过大的物理学史内容融入教学会导致学生高阶思维能力发展的不平衡。合理融入物理学史的教学模式不仅能帮助学生应对传统的标准化测评，还能促进学生高阶思维能力的发展，且对水平一般的学生的提升效果更加显著。当物理学史教学内容过于深入、超出学生的认知负荷时，则可能导致学业表现的两极分化，即认知能力较强的学生显著受益，认知能力较弱的学生因过度消耗认知资源而表现不佳。

最后，部分学生的高阶思维能力表现与平时成绩存在较大反差。在历史概述组和历史精讲组中，部分学业成绩优异的学生在实践测试中的表现显著落后于学业成绩中等的学生。这一现象表明，传统评价体系中过度强调公式记忆与解题技巧的训练模式，虽然能够培养出在标准化测评中表现优异的“聪明”学生，但他们的高阶思维能力并未得到同步发展，导致其难以有效应对复杂的开放性问题。

上述分析揭示了教学模式、认知负荷与能力发展之间的深层影响机制。传统教学模式凭借密集训练虽能快速提升标准化测评成绩，却以牺牲高阶思维能力发展为代价，导致学生陷入思维定式。物理学史融入教学的效益高度依赖教学难度的适配性，适度的物理学史教学可激活中等学生的知识迁移潜能，但过度深化的内容会因认知超载而引发学业表现的两极分化。尤其值得警惕的是，传统评价体系与能力发展的结构性矛盾在高阶思维测试中彻底暴露：部分解题娴熟的“优秀”学生因长期依赖程序性训练，在开放性问题的表现反而不佳。这些发现共同警示我们，物理教育改革需突破单一维度的策略优化，转而构建“认知负荷适配—分层教学实施—评价体系重构”的协同机制，在知识传授与思维发展的动态平衡中，真正实现从“发展应试能力”到“培育科学素养”的范式转型。

四、策略创新：物理学史教学的有效路径

前述实证研究清晰地揭示了融入物理学史的教学效果高度依赖难度适配与教学聚焦。这些结果有效印证了认知负荷理论的核心观点：教学材料的复杂性必须与学习者的知识基础相匹配。过低的认知负荷会导致浅层加工（如传统识记模式），过高的认知负荷则引发超载和效率下降，只有适度的认知挑战才能最有效地促进知识建构与思维迁移。^[7-8]因此，必须紧密围绕这些实证发现和理论支撑，针对物理学史教学提出更务实、易操作的建议，使物理学史融入的效益最大化，有效规避两极分化和思维抑制问题。针对“牛顿第一定律”这一具体内容，物理学史教学设计应关注以下三个方面。

（一）教学内容：精选核心史料，聚焦认知冲突，严格控制深度

优化物理学史教学的首要任务是精选教学内容，以控制内在认知负荷。物理学史的引入不应成为额外的知识负担，其核心定位必须明确：服务于学生对惯性概念本质的深入理解，并使他们体会科学家突破“力是维持物体运动原因”这一前概念的关键思辨过程。基于此，教学内容应高度聚焦牛顿第一定律形成史上最具转折意义也最适合高中生学习的环节——伽利略的理想斜面实验及其引发的认知冲突。具体而言，重点呈现亚里士多德关于物体在地面上运动最终会停止的观点及其解释（外力耗尽或受到介质阻力），伽利略是如何通过观察斜面实验（小球上升高度接近原高度）产生质疑，并运用理想化的思想实验（设想无摩擦情况）推断出物体具有保持运动状态这一特性（惯性的雏形）的。此处教学的核心在于让学生理解伽利略如何突破感官限制进行逻辑推理，避免过度讲解技术细节或精确的数学推导过程。^[9]对于笛卡儿，只需简述其明确了“匀速直线运动”也是惯性状态，从而弥补了伽利略的不足，无须展开其哲学背景或复杂的数学表述（避免无关认知负荷）。牛顿将前人的成果清晰地表述为惯性定律，教学中应强调这是在前人基础上的提炼。最关键的是依据学生认知水平严格控制深度：淡化笛卡儿坐标变换或牛顿的原始几何证明等复杂数学表述，这些内容远超高中生理解

惯性概念的必要范围，极易引发认知超载（来自历史精讲模式的教训）；同时，对于理解核心冲突并不必要的历史细节（如具体年份、所用器材），也应略去或简述，避免分散学生注意力（降低外在认知负荷），确保教学重心高效地落在科学思维方法的体会上。

（二）教学方法：创设冲突情境，问题链驱动思考，实施分层教学

在教学方法上，应着力激活学生的思维参与并适配不同学生的基础。首先，可通过设计活动或演示实验（如滑板车松手后自己滑行、紧急刹车时人向前倾），让学生亲身体验利用亚里士多德观点解释现象时遇到的困境，创设认知冲突情境，引发学生的主动质疑（激发相关认知负荷）。其次，构建基于核心史料的问题链驱动课堂思考（亚里士多德的观点存在什么问题？伽利略观察到了什么？他由此质疑了什么？推断出物体具有什么性质？笛卡儿补充了什么？牛顿是如何总结的？），引导学生一步步跟随科学家的思维历程，将复杂的历史思辨分解为可理解的步骤。最后，根据实证研究中揭示的学生基础差异，在课堂内实施分层教学，确保不同水平的学生都能在“最近发展区”内有效参与核心思维活动，避免历史精讲模式导致的两极分化。基础层任务（面向全体）聚焦核心理解的巩固（如复述伽利略的质疑过程、解释定律含义），活动可包括根据图示描述推理过程。进阶层任务（面向多数学生）适度提升挑战性（如分析理想实验的逻辑、用惯性概念解释现象），活动可设计为对比观点差异、解释生活实例（如小车启动/刹车时，小车上的木块为何倾倒），对应着本研究中效果最佳的历史概述模式。挑战层任务（面向学有余力的培优生）重在思维拓展而非内容加深（如讨论认识转变的漫长性、理想实验的价值），关键原则是避免引入过于复杂的历史细节或数学证明（防止认知超载），确保始终围绕核心概念和科学思维深化讨论，激发培优生的认知潜力。^[10-13]

（三）教学评价：关注思维过程，强化应用解释，设计可控实践

教学评价是“指挥棒”，必须精准对接高阶思维发展的目标。首先，应改进纸笔测试^[14-15]，减少单纯考查记忆的题目；增加能有效考查科学

思维过程理解的题目（如阐述“伽利略如何通过斜面实验推断永恒运动”或“牛顿定律如何解决亚里士多德困境”），这直接对应布卢姆教育目标分类中的分析、评价层级；设置应用惯性概念解释新情境的开放题（类似本研究中的羽毛球、小车问题，但情境更简单、更生活化），评估应用和创造能力。其次，要加强课堂教学的过程性评价，教师在授课过程中应敏锐观察学生能否主动质疑前概念、能否理解理想实验逻辑、能否清晰表达基于史实的推理、能否准确运用惯性概念（而非滑回旧观念），及早识别问题并加以干预。最后，还要引入小型化、可控的实践任务评价，如设计目标明确、操作简便的小组活动（用小车、不同摩擦面模拟伽利略推论），将评价重点放在实验设计的合理性、观察记录的准确性、解释现象时对惯性定律的应用能力及协作的有效性上。这种评价避免了大型复杂项目可能带来的额外认知负荷和管理困难，聚焦核心目标且可操作性强，便于在常规课堂中实施。

综上所述，在物理教学中成功融入物理学史，“适度”是核心原则，其理论基础在于认知负荷的优化管理。这意味着必须精选能直接服务于突破核心概念（惯性）和体现关键科学思维（质疑、理想化、推理）的史料片段（重点是伽利略的理想斜面实验），严格控制内在和外在认知负荷。教学深度必须锚定在大多数学生可理解、可参与的范围内，坚决避免陷入烦琐的历史细节或复杂的数学表述。通过分层教学，确保不同基础的学生都能在可挑战的水平上有效思考核心问题，并通过评价改革（对接高阶思维目标）引导师生共同关注科学思维的过程（分析、评价）和概念的应用（应用、创造），而不仅是知识结论的记忆。唯有如此，物理学史才能真正扮演好“脚手架”的角色，有效点燃学生的思维火花，促进其高阶思维能力的发展，以免成为不必要的认知负担或导致学习分化的根源。

参考文献：

[1] 贾美华, 何光峰, 李晓蕾. “双减”背景下北京市中小学课堂教学问题的诊断与改进: 基于204节课

- 像课的分析 [J]. 教育科学研究, 2024 (1): 68-75.
- [2] 马淑凤, 杨向东. 什么才是高阶思维?: 以“新旧知识关系建立”为核心的高阶思维概念框架 [J]. 华东师范大学学报 (教育科学版), 2022 (11): 58-59.
- [3] RESNICK L B. Education and learning to think [M]. Washington D. C.: The National Academy Press, 1987: 2-7.
- [4] 季明峰. 高阶思维的概念辨识 [J]. 上海教育科研, 2022 (11): 30.
- [5] BRANSFORD J D, BROWN A L, COCKING R R. How people learn: brain, mind, experience, and school [M]. Washington D.C.: The National Academy Press, 2000: 14-15.
- [6] DUNCKER K. On problem-solving [J]. LEES L S, trans. Psychological monographs, 1945 (5): i.
- [7] SWELLER J, VAN MERRIENBOER J J G, PAAS F G W C. Cognitive architecture and instructional design [J]. Educational psychology review, 1998 (3): 251-296.
- [8] PAAS F, RENKL A, SWELLER J. Cognitive load theory and instructional design: recent developments [J]. Educational psychologist, 2003 (1): 1-4.
- [9] 李晶晶. 物理学科领域中学生批判性思维能力培养研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2019: 101-107.
- [10] TOMLINSON C A. The differentiated classroom: responding to the needs of all learners [M]. Alexandria: Association for Supervision and Curriculum Development, 2014: 15-22.
- [11] 胡佳. 信息技术下分层教学再认识 [J]. 中小学教材教学, 2020 (4): 72-75.
- [12] 王全, 母小勇. “科学史—探索”教学模式的“重演”论基础 [J]. 课程·教材·教法, 2008 (7): 62-66.
- [13] 温倩兰. 核心素养视角下物理高阶思维能力现状调查与策略建构 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2019: 23-35.
- [14] 钟志贤. 面向知识时代的教学设计框架 [J]. 电化教育研究, 2004 (10): 18-23.
- [15] 刘志军, 徐彬. 新课标下课程与教学评价方式变革的挑战与应对 [J]. 课程·教材·教法, 2022 (8): 4-10.

(责任编辑: 郭晨跃)