Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 1181-1187
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112490

Hans汉斯

认知负荷理论视角下大学物理教学的优化策略

魏　利

上海理工大学基础学部物理学院，上海

收稿日期：2026年10月9日；录用日期：2026年11月9日；发布日期：2026年11月17日

摘　要

《大学物理》概念抽象、表征转换和数学推演较多，使学生在学习中产生过高认知负荷。本文基于认知负荷理论，分析课程中内在负荷、外在负荷及图式建构加工的主要来源，提出分步组织内容、整合图文信息、运用样例、开展变式练习和实施课堂诊断等策略。教学优化并非降低学习要求，而是减少无效的信息干扰，使学生将认知资源更多投入概念理解、模型建构与知识迁移。

关键词

认知负荷理论，大学物理，教学设计，多重表征，学习支架

Optimization Strategies for University Physics Teaching from the Perspective of Cognitive Load Theory

Li Wei

School of Physics, Faculty of Basic Sciences, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: October 9, 2026; accepted: November 9, 2026; published: November 17, 2026

Abstract

University physics combines abstract concepts, multiple representations, and mathematical reasoning, which can overload students when information and tasks are poorly organized. Drawing on cognitive load theory, this paper identifies sources of intrinsic and extraneous load and proposes segmented content delivery, integrated visual and verbal information, worked examples with fading guidance, varied practice, and brief classroom diagnostics. The aim is not to reduce disciplinary rigor but to remove irrelevant processing and direct students' cognitive resources toward conceptual understanding, model construction, and transfer.

文章引用: 魏利. 认知负荷理论视角下大学物理教学的优化策略[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 1181-1187.
DOI: 10.12677/ae.2026.16112490

Keywords

Cognitive Load Theory, University Physics, Instructional Design, Multiple Representations, Learning Scaffolding

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

《大学物理》是高校理工科专业的重要基础课程，承担着帮助学生理解物质运动基本规律、培养定量分析能力和发展科学思维的任务。与知识点相对独立的记忆型学科不同，该课程包含力学、电磁学、振动与波、热学、光学和近代物理等内容，往往要求学生在自然语言、图像、公式、实验现象与工程之间做思维转换。要求学生不仅要理解概念的适用条件，还要耦合多个变量、建立物理模型并完成数学推演。对于基础知识不足的学生而言，任何一个环节的储备缺失都可能使学习任务超出个人能力范畴[1]。

课堂教学中，学生“学不懂”未必是因为物理知识的难度过高，教学材料与课堂组织方式同样会影响学生的学习效果[2]。已有认知负荷理论研究表明，学习任务的复杂程度与信息要素之间的交互关系会直接影响学习者的认知资源分配，合理的教学设计则能够减少与学习目标无关的信息加工[3] [4]。在多媒体和多重表征学习环境中，图文信息的组织方式、信息提示也会影响学生的学习过程。近年来，相关研究进一步将认知负荷理论应用于物理概念学习和问题解决过程，发现认知负荷与学生的物理理解、问题解决表现存在密切联系[5] [6]。在大学物理教学中，该问题也尤为突出，大学物理课程不仅涉及大量抽象概念，而且要求学生在物理概念、数学公式、实验现象和实际情境之间进行思维转换，并在此基础上完成物理模型建立和数学推演。因此，物理学习中的困难既可能来自知识本身的复杂性，也可能来源于信息呈现和任务组织方式不合理所造成的额外认知负荷。由此，大学物理教学优化不是简单的压缩内容或降低课程要求，而是在在保证学科严谨性的基础上，改进教学信息的呈现方式和课程任务组织方式，使教学过程更适应学生的认知规律。

认知负荷理论可以有效解释学习过程中信息加工受限以及知识建构困难的问题。大学物理学习具有概念抽象、模型转换复杂以及数学推理难度较高等特点，其教学过程中的认知负荷调控仍需要结合具体学科特征进行分析。因此，本文从大学物理教学实际出发，分析大学物理教学过程中认知负荷产生的主要来源，并从教学内容组织、信息呈现方式、学习支架等方面提出优化策略，为大学物理教学设计提供理论参考。

2. 认知负荷理论概述

2.1. 认知结构与教学设计的基本命题

根据认知负荷理论，工作记忆能同时处理的信息非常有限，并且长时记忆可通过图式储存并提取结构化的知识。学生在学习过程中对新的内容进行学习的时候，在有限的认知资源下，会涉及题目的条件以及概念之间的关系和解题过程，如果信息量过大或者关系太过复杂就可能会出现无法理解、概念混乱或者是生搬硬套公式的现象[7]。同时，零散的知识在经验中会被整合成一个图式，之后就会作为一个“组块”来使用，从而进行更高级别的推理与迁移[8]。所以，教学不应一次性将太多的东西呈现给学生，而是应当让学生构建起稳定的认知结构。

认知负荷也并非越低越好。理解物理概念、比较规律条件和反思解题过程，都需要一定的认知投入。教学设计应减少与学习目标无关的消耗，如重复阅读、频繁查找信息和无意义的表达转换，使学生将注意力集中于概念联系和规律理解。认知负荷理论可为材料组织、教学策略和学习评价提供参考，但需结合具体课堂情境及学生差异加以运用[9]。

2.2. 三类负荷及其关系

认知负荷通常包括内在负荷、外在负荷和促进图式建构的相关加工。内在负荷与任务难度、知识间的联系以及学生先备知识有关；外在负荷主要由图文分离、信息重复和步骤不清等不合理设计引起；相关加工则指向知识整合、图式形成和自动化[3]。近年的研究更倾向于将相关加工理解为学习者投入图式建构的认知资源，而非与前两类负荷完全独立的成分[10]。

因此，大学物理教学应该保留一定的学科难度的同时，通过拆分讲解、整合信息、逐渐撤除支架来控制内在负荷、降低外在负荷以及通过变式练习、反思来进行知识的迁移。具体的策略还要根据学生的基础差异进行变化，不能够给有经验的同学很多提示而导致其成为冗余[11]。

3. 大学物理学习中的认知负荷来源

3.1. 内在负荷：概念抽象、数学要求与知识系统的交互

大学物理中不少研究对象难以直接观察，如场、势、相位、熵等，学生需要借助模型、图像和数学表达理解其含义。物理知识也具有较强的关联性。以动力学问题为例，学生通常需要同时判断研究对象、分析受力、选择参考系和坐标系，并结合初始条件、守恒关系及数学工具展开推导。信息之间的联系越复杂，初学者需要处理的内容就越多，内在负荷也随之增加。若学生尚未形成基本图式便直接处理综合题，往往会把注意力集中于公式选择，而忽略物理过程和模型条件。

数学是学好物理的利器，也是理解障碍点。简谐振动有位移、速度、加速度、相位、能量之间的关系；还有图像、函数以及实际情境间的相互转化。如果这些方面如三角函数、微分关系或者图像读取的基础薄弱，则会积累越来越多的理解障碍。阻尼振动等等也会因为微分方程的知识缺乏而导致学习障碍[5]。由此可知，内在负荷既取决于知识本身的难易度，又取决于学生的数学基础。

3.2. 外在负荷：信息冗余与例题割裂

外在负荷主要由不合理的教学呈现方式引起[12]。有些课件将定义、推导、动画、拓展材料和装饰图片同时放入一个页面，学生需要不断寻找和整合信息；教师若逐字朗读屏幕内容，也容易造成重复加工[6]。多媒体教学并非信息越丰富越好，而应使图示、公式、文字和讲解相互配合，减少无关信息对注意力的干扰[13]。

例题教学中，题干、图示、公式和解题步骤若分散呈现，学生会把精力耗费在翻找信息上；若教师只展示结果，学生则难以理解模型选择和公式推理过程。对初学者，可以先学习完整样例，再完成保留部分步骤的例题，最后独立解决问题，更有利于降低思维的无效搜索[8] [9]。实验课上，“操作－记录－数据处理－理论解释”相互间分离的现象，使得学生在实验过程中可能只是为了走完流程而忙碌，并未关注到所发生的现象背后蕴含着怎样的物理规律；因此，在对学生的实验指导中应将操作过程的要求、需要注意的观测点、需要做出的关键性判断以及可能出现的问题的原因分析等同时给出，让学生能够在实验的过程中思考并将其与理论相结合。

3.3. 促进图式建构的加工：深层理解、整合与迁移

对于大学物理课程来说，在减负的同时也应当让学生将认知资源分配到对概念的理解以及图式的建

立上。学生应该对比不同模型的适应范围，描述变量的物理解释，在不同的场景下找出共同的问题。例如，让学生给出“为何此处能够应用能量守恒”的理由，相较于单纯的代入公式更有助于学生建立起原理与条件间的关联。

不过，知识深层加工应建立在信息呈现清晰的基础上，如果课件或实验材料本身已造成较大干扰，再盲目增加讨论和开放探究环节，只能让学生感到任务繁杂和困惑。不同教学组织方式对不同基础学生的影响不尽相同，教师应根据教学目标和学生的实际情况，来安排授课、习题、讨论与探究活动[5]。

4. 基于认知负荷理论的物理教学优化策略

基于认知负荷理论的大学物理教学优化框架如下表 1。

Table 1. Framework for optimizing university physics instruction based on Cognitive Load Theory
表 1. 基于认知负荷理论的大学物理教学优化框架

调控目标	典型问题	典型教学环节	可操作策略	课堂证据
降低内在负荷	概念、图像和公式同时出现，学生基础不足	新概念、新规律教学	分段讲解；先定性后定量；使用先行组织者和类比	学生能说明各步骤的物理对象、关系和适用条件
减少外在负荷	PPT 信息过多；图文分离；例题和实验步骤不清	习题课、实验课	精简课件；整合图文；例题条件与步骤同步呈现；明确操作要点	学生较少反复查找信息，提问更关注物理关系
促进图式建构	学生停留在套公式，知识迁移困难	习题课、复习课	设置问题链；开展变式练习；使用概念图；引导自我解释	学生能比较不同模型的适用条件，并解决变式问题
实施闭环调节	学生基础不同，对同一任务的理解存在差异	全教学过程	进行简短诊断；布置分层任务；及时反馈并调整提示	教师可根据课堂反馈调整讲解节奏和练习难度

4.1. 降低内在负荷：分步呈现、先行组织者与类比

大学物理的概念、图像及公式是密切相关的，课程比较紧凑，在初学阶段同时引入较多概念易造成理解上的混乱，故可按照知识点之间的相关程度，把较为复杂的概念设置成“分解－联系－整合”的讲授流程。例如进行受力分析，首先让学生明确研究对象和相互作用，然后画出受力分析图、建立坐标系，最后建立牛顿运动定律分量方程并求解运动规律。每一步完成后可以插入一些小判断或者小追问，让学生确定一些基本的关系，然后再回到整个题目来综合使用这些关系。这样做并非降低知识要求，而是避免学生在尚未掌握基本关系时直面复杂问题。

课堂开始前还可设置简要的先行组织者，说明本节内容与已有知识、后续学习之间的联系。例如，在机械能守恒定律教学中，可先回顾“功与能”的关系，再引出保守力、势能以及守恒条件。概念路径图不需呈现完整结论，其作用是为后续学习提供基本理论框架，使学生知道“学什么、为什么学、与什么知识相关”，从而减少无目的的信息搜索。

类比和多重表征也有助于降低理解门槛，但必须注意适用范围。比如在 PPT 中，可借助地形图说明势能面的高低及变化趋势，同时提醒学生二者并不完全等同；讲解简谐振动时，可先以运动图像为主，再联系文字描述和函数表达式。与其同时堆叠多种知识点，不如引导学生建立不同表征之间的对应关系。

4.2. 减少外在负荷：简化课件、整合信息源与优化例题

外在负荷主要来自不合理的信息呈现方式。课件制作应围绕一个核心问题展开，保留必要的图示、公式和关键词，避免加入与教学目标无关的图片、动画和大段文字。图中符号、方向或物理量的解释应

尽量放在图示附近，减少学生在不同页面之间反复查找。若课件已给出完整文字，教师不宜照本宣科，而应重点说明图像变化、公式含义及判断依据，使口头讲解与视觉材料形成互补[14]。

在习题课上，要让学生看到整个解题过程，并非仅仅给出答案，可以重点通过样例和渐进式练习降低学生无效的问题搜索。对于新题型，教师可先展示完整样例，并明确说明“为什么选择这一研究对象”“为什么采用这一物理规律”；随后将部分关键步骤留给学生完成，最后再逐渐过渡到独立解决。以上过程教师可以按照“分析情景→选取模型→列出关系式→计算求解→检查答案”的顺序进行。针对基础较差的同学，第一步可以给出带有“关键步骤标识”的全部解题过程，然后再给出部分步骤空白的题目，最后让其独立完成。对于实操中的样例来说，应该强调解题根据以及原因，比如“为什么选取这个研究对象”“为什么可以用这个定律”，而不是仅仅堆砌计算过程。已有研究表明，合理的样例设计有助于引导大学物理初学者深刻理解解题思路[15]。随着学生知识点的积累，应逐渐减少提示，并增加变式任务，防止过多支架造成冗余[16]。同样，在实验教学中，同样需要重视信息的整合，操作步骤、实验观察、物理规律和常见操作错误应关联讲授。也可课前通过短视频展示关键操作，课堂上把更多时间集中在现象观察、误差讨论和理论解释上。

4.3. 增加促进图式建构的加工：变式练习、概念图与问题链

在减少无效负荷的基础上，还要引导学生做必要的深度处理；问题链可以按照“现象预判－概念澄清－模型构建－数量分析－结果验证”的方式递进。例如，在讲解电磁感应的内容时，老师先抛出一个问题是“当磁通量变化的时候一定会有感应电动势产生吗？”然后让学生对比几种不同的情况，最后回到公式上做一个定性分析。每道题只强调一个主要的关系，前一道题与后一道题相联系，引导学生一步一步地建立物理思维过程。

变式练习不是简单的增加题量，而应该改变条件或情境，引导学生找出不同问题中的共性。例如，比较直线运动和曲线运动中两个加速度问题中的受力条件的差异，基于对照的方式，使得学生能够深入理解公式的适用范围，而不是机械套用公式。

概念图适合用于课程小结或者复习过程，教师可先给出“力”“运动状态”“功”“能量”“冲量”等核心概念，引导学生用关系词连接，并讨论其中不合理的连接。概念图的重点不在形式，而在于发现学生知识结构中的断点，帮助其将定义、公式和具体情境整合为较稳定的图式。

具体实施过程中，问题链可主要用于课堂讲授和突破习题课的重难点，变式练习可用于新知识学习后的巩固与迁移，概念图更适合用于单元总结和阶段性复习，三者之间形成递进关系：首先采用问题链引导学生理解物理概念，再通过变式练习强化知识迁移，最后借助概念图梳理不同知识的关联性。因此，教学活动可以由单一的“会做一道题”递进为“理解一类问题和相关物理模型的适用条件”。

4.4. 建立负荷诊断与差异化支持的闭环

事实上，不同学生面对同一学习任务时的认知负荷存在差异。教师可通过过程性课程评分反馈、即时测验、作业批阅和学习反思，了解学生的困难主要来自概念理解、数学计算还是信息查找。主观负荷评分应结合课堂表现和学生反馈综合判断，不能将单一分数直接视为学习效果[17]。在此基础上，教师可适时提供差异化指导。针对基础差底子薄的学生，可增加关键步骤提示和标注样例；针对基础较好的学生，则可减少提示，增加反例、变式和解释任务。在此过程中，分层指导应避免固定分组，而应随学生学习情况动态调整。已有研究指出，随着先备知识提高，原先有效的详细指导可能转化为冗余信息。因此，教学支架应逐步撤离，任务难度应动态提升，最终推进学生的独立分析能力和迁移应用能力的培养。

5. 讨论与总结

5.1. 策略综合应用的原则

从认知负荷理论出发改进大学物理教学是一个系统的设计过程。分段、精简 PPT 内容、提供例子支架、设置问题串及变式题不是孤立的方法，而是针对同一个学习目的连贯地进行：在课前准备阶段提供先行组织者唤起先学的知识，在课堂上提供统一的信息来源以及逐步推进的推理过程减少不必要的认知负荷；课后用自说自话、概念图和变式促进图式巩固；实验过程中将做、看和讲联系在一起，并把这些过程都统一在概念和表征上，才有可能使学生的碎片化学习成为可以迁移的知识体系。

此外，负荷调控必须与学科目标相协调。大学物理的价值不只在于得出数值答案，还在于形成建模意识、证据意识和定量推理能力。若为追求“轻松”而删除必要的推导、比较和反思，可能损害深度学习，若为追求“探究”而过早撤除所有支架，又可能让初学者陷入高负荷试错。较为稳妥的路径是在学习早期提供显性结构，随着学生图式增长逐步增加开放性与综合性任务。

基于上述策略，在实际教学实施中，可形成与教学进程相对应的应用路径：课前先行组织者唤起学生已有知识记忆，课堂讲授阶段可以通过分步呈现和信息整合来减少认知负荷，习题课上采用样例和变式练习引导知识迁移，并在各环节通过即时测验和学习反馈进行动态调整。因此，认知负荷理论不仅可作为分析学生学习困难的理论基础，也可以为大学物理教学中信息组织、内容呈现、学习支架和练习安排等提供理论依据。

5.2. 局限与未来方向

本文属于理论与策略性研究，提出的做法仍需在不同专业、不同模块和不同基础学生中通过课堂实验、学习分析和访谈进一步检验。未来研究可关注三个方向：其一，结合概念理解、迁移表现和认知负荷指标，检验不同策略的机制而非只比较总成绩；其二，考察课堂讲授、真实实验和智能辅学工具如何共同影响负荷分配；其三，发展适合大学物理真实课堂、使用成本较低且能区分负荷来源的诊断工具。

综上，认知负荷理论为大学物理教学提供了一种可操作的视角：承认物理学习的必要复杂性，识别并削减由教学呈现造成的无效困难，再通过渐进支架和深度加工把学生的认知资源引向图式建构。以学习者先备知识为依据、以核心关系为中心、以支架可撤离为原则的教学设计，有望改善学生对抽象内容的理解体验，并支持其由“会套公式”走向“会解释、会建模、会迁移”。

基金项目

项目得到 2024 年上海市教育委员会“上海高校青年教师培养资助计划”项目(项目编号：10-24-112-005-035)，2024 年“上海高校市级一流本科课程”(项目编号：10-25-113-003-015)资助。

参考文献

[1] Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G. and Paas, F. (2019) Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, **31**, 261-292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

[2] 约翰·斯维勒, 陆琦, 盛群力. 工作记忆和长时记忆与教学设计[J]. 中国电化教育, 2016(7): 43-51.

[3] Sweller, J. (2023) The Development of Cognitive Load Theory: Replication Crises and Incorporation of Other Theories Can Lead to Theory Expansion. *Educational Psychology Review*, **35**, Article No. 95. https://doi.org/10.1007/s10648-023-09817-2

[4] Chen, O., Paas, F. and Sweller, J. (2023) A Cognitive Load Theory Approach to Defining and Measuring Task Complexity through Element Interactivity. *Educational Psychology Review*, **35**, Article No. 63. https://doi.org/10.1007/s10648-023-09782-w

[5] Jeong, S., Rague, J., Litson, K., Feldon, D.F., Lawler, M.J. and Plummer, K. (2025) Effects of Decision-Based Learning

on Student Performance in Introductory Physics: The Mediating Roles of Cognitive Load and Self-Testing. *Education and Information Technologies*, **30**, 4413-4433. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12962-y

[6] Hahn, L. and Klein, P. (2025) The Impact of Multiple Representations on Students' Understanding of Vector Field Concepts: Implementation of Simulations and Sketching Activities into Lecture-Based Recitations in Undergraduate Physics. *Frontiers in Psychology*, **16**, Article ID: 1544764. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1544764

[7] Seufert, T. (2018) The Interplay between Self-Regulation in Learning and Cognitive Load. *Educational Research Review*, **24**, 116-129. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.03.004

[8] 刘娟, 胡雪莲, 王军豪, 刘清堂, 付雅瑄. 数字化学习中认知负荷智能化评估研究进展[J]. 武汉大学学报(理学版), 2025, 71(4): 427-441.

[9] 王国华, 聂胜欣, 薛瑞鑫. 多媒体学习中的认知负荷: 测量方法与技术纵览[J]. 电化教育研究, 2022, 43(4): 19-25.

[10] 高浩, 彭绍东. 矛盾与策略: 数字化学习中基于外在认知负荷的学习分析[J]. 电化教育研究, 2023, 44(1): 100-105, 115.

[11] 张冬梅, 路海东, 祖雅桐. 认知负荷视角下的知识反转效应[J]. 心理科学进展, 2016, 24(4): 501-509.

[12] Schneider, S., Beege, M., Nebel, S. and Rey, G.D. (2018) A Meta-Analysis of How Signaling Affects Learning with Media. *Educational Research Review*, **23**, 1-24. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.11.001

[13] 李轲, 毛婧一, 汪涛, 张学锋. 临界阻尼态的极限求解法创新及教法改革[J]. 大学物理, 2024, 43(12): 1-4+10.

[14] 骆琳, 张棉好, 张国红, 董可雷. 职业教育产教融合型数字化教材开发研究——基于认知负荷的机理分析[J]. 中国职业技术教育, 2024(32): 87-95.

[15] Omarbakiyeva, Y., Hahn, L., Klein, P., Krumphals, I. and Watzka, B. (2025) Relationship between the Cognitive Load and the Learning Success in Applying Force Diagrams: Eye-Tracking Study. *Frontiers in Education*, **10**, Article ID: 1451020. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1451020

[16] Lechner, M., Moser, S., Pander, J., Geist, J. and Lewalter, D. (2024) Learning Scientific Observation with Worked Examples in a Digital Learning Environment. *Frontiers in Education*, **9**, Article ID: 1293516. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1293516

[17] Timothy, V., Fischer, F., Watzka, B., Girwidz, R. and Stadler, M. (2023) Applying Cognitive Load Theory in Teacher Education: An Experimental Validation of the Scale by Leppink *et al*. *Psychological Test Adaptation and Development*, **4**, 246-256. https://doi.org/10.1027/2698-1866/a000052