

新工科背景下大学物理工程约束思维教学改革

聂 琴, 杨俊梅, 杨 姝

沈阳航空航天大学理学院, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2026年6月20日; 录用日期: 2026年7月17日; 发布日期: 2026年7月24日

摘 要

新工科建设与工程教育认证背景下, 传统大学物理教学存在知识碎片化、专业衔接浅层化、工程思维培育缺失等问题, 难以支撑工科创新人才培养需求。现有物理课程衔接改革多聚焦教学形式优化与表层案例植入, 忽视物理规律对工程设计的底层约束价值, 存在思维培育缺位、理论体系薄弱等短板。本文结合多工科专业教学实践, 提出以工程约束思维为核心的课程衔接改革模式, 界定工程约束思维的核心内涵, 将大学物理知识重构为运动与结构、能量与效率、场与相互作用、微观结构与尺度四大约束模块, 构建“物理公理-约束红线-量化表征-工程问题-研究方向”五层教学逻辑。教学中依托权威量化数据界定工程物理极限, 明确合规优化路径, 有机融入双碳战略、绿色发展等思政元素。通过两届教学实践表明, 该模式可有效打通基础课程与专业课程的思维壁垒, 显著提升学生工程问题分析能力与专业适配能力, 优化课程衔接成效与课堂育人质量, 为新工科背景下大学物理深度教学改革提供可复制的实践范式。

关键词

大学物理, 新工科, 课程衔接, 工程约束, 教学改革, 物理思维

Reform of University Physics Teaching for Cultivating Engineering Constraint Thinking under the Emerging Engineering Education Context

Qin Nie, Junmei Yang, Shu Yang

College of Science, Shenyang Aerospace University, Shenyang Liaoning

Received: June 20, 2026; accepted: July 17, 2026; published: July 24, 2026

Abstract

Under the background of emerging engineering construction and engineering education certification,

文章引用: 聂琴, 杨俊梅, 杨姝. 新工科背景下大学物理工程约束思维教学改革[J]. 教育进展, 2026, 16(7): 1510-1516.
DOI: 10.12677/ae.2026.1671526

traditional college physics teaching has problems such as fragmented knowledge, shallow connection with professional courses, and lack of engineering thinking cultivation, which cannot meet the training needs of innovative engineering talents. Most existing college physics curriculum connection reforms focus on teaching form optimization and superficial case application, ignoring the underlying constraint value of physical laws for engineering design, resulting in insufficient thinking cultivation and weak theoretical systems. Combined with the teaching practice of multiple engineering majors, this paper proposes a curriculum connection reform model centered on engineering constraint thinking and defines its core connotation. The college physics knowledge system is reconstructed into four major constraint modules: motion and structure, energy and efficiency, field and interaction, as well as microstructure and scale. A five-layer teaching logic of “physical axiom, constraint red line, quantitative characterization, engineering problem, research direction” is constructed. In teaching, authoritative quantitative data are used to define engineering physical limits and clarify compliant optimization paths, with ideological and political elements such as the dual-carbon strategy and green development integrated organically. Two rounds of teaching practice verify that this model can effectively break the thinking barrier between basic courses and professional courses, significantly improve students’ engineering problem analysis ability and professional adaptation, and improve the quality of curriculum connection and classroom education, providing a replicable practical paradigm for the in-depth teaching reform of college physics under the background of emerging engineering.

Keywords

College Physics, Emerging Engineering, Curriculum Connection, Engineering Constraint, Teaching Reform, Physical Thinking

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

新工科建设以培养高素质、创新型、应用型工程人才为核心目标，工程教育认证明确要求工科人才需具备认知工程极限、遵循客观规律、开展系统优化的核心能力，这对工科基础课程的思维培育功能提出了更高标准[1]。大学物理作为工科专业首个核心自然科学基础课程，不仅承担力学、热学、电磁学等基础理论知识的传授任务，更肩负塑造学生科学认知范式、搭建基础学科与工程专业桥梁、培育底层工程思维的核心育人使命，是新工科人才思维体系构建的基石课程[2]。

当前国内众多学者围绕大学物理与专业课程衔接改革开展了大量研究。现有研究多集中于混合式教学模式优化、专业案例融入、课程内容删减适配等表层改革，有效改善了传统物理教学枯燥、理论脱离实际的问题，但仍存在明显研究短板，普遍存在重教学形式、轻思维培育，重知识应用、轻约束挖掘的问题，教改同质化、育人浅层化现象突出。多数研究仅实现物理知识的工程场景套用，未挖掘物理规律对工程设计的刚性约束价值，难以培育学生底层工程逻辑[3]。

结合长期一线教学调研发现，当前高校大学物理教学的课程衔接断层问题依然突出。学生普遍将物理课程定义为应试学科，忽视物理规律的工程约束价值，知识迁移与工程分析能力薄弱；传统教学模式存在量化支撑不足、案例融入浅层、课程定位模糊等多重问题，部分教学越位拓展专业内容、部分教学缺位脱离工程实际，难以适配工科专业人才培养需求。基于此，本文摒弃物理浅层赋能工程的传统思路，确立“物理约束工程、工程适配物理”的深度衔接逻辑，构建以工程约束思维为核心的模块化教学体系，为新工科背景下工科基础课程深度教改提供新的实践路径。

2. 大学物理与工科专业课衔接的现实困境

2.1. 知识思维割裂，迁移体系缺失

传统物理教学严格按照教材章节线性推进，教学重心偏向公式推导、计算技巧训练与题型归纳，缺乏对物理规律内在统一性、工程约束价值的系统提炼。学生习得碎片化的定理与公式，形成固化的“解题式”学习思维，未建立系统化的工程分析逻辑，仅能应对应试习题，无法结合物理原理分析工程振动失效、能耗超标、精度不足、材料失效等实际工程问题。在后续专业课学习中，学生只能机械记忆专业结论与设计规范，底层知识溯源、问题分析与思维迁移能力极为薄弱，造成基础课程与专业课程的知识割裂[4]。

2.2. 衔接模式浅层，工程认知片面

现有课程衔接模式多为浅层案例点缀，仅简单关联物理现象与工程设备，未揭示物理规律对应的工程极限阈值、不可逆损耗机制、系统优化逻辑，无法构建“物理机理-工程痛点-优化路径”的完整思维链条。长期浅层化教学导致学生普遍缺乏极限思维、约束思维与量级优化思维，不理解工程设计安全边界、性能上限的物理根源，片面将工程创新等同于技术叠加，难以适配新工科创新型工程人才培养要求。

2.3. 教学支撑薄弱，课程定位偏差

传统课堂教学以定性理论描述为主，缺少国标、行业实测数据、权威报告的量化支撑，对各类工程问题无具体阈值、损耗比例、优化增益等数值佐证，课堂教学科学性、说服力不足[5]。同时大学物理教学长期存在越位与缺位的双重定位问题，部分教师过度拓展专业工艺、设备设计等专业课内容，部分教师固守纯理论教学、完全脱离工程场景，课程边界模糊、育人定位混乱，无法发挥基础课程的专业支撑作用。

3. 核心概念界定与课程衔接体系构建

3.1. 工程约束思维核心内涵

本文所提出的工程约束思维，是适配工科人才培养的底层科学思维，区别于常规工程应用思维与创新思维，是以大学物理基本规律为核心、以工程极限边界为导向的系统化思维体系，核心包含四大维度：极限思维、量级思维、不可逆损耗思维、合规优化思维。该思维核心是引导学生明确工程设计不可突破物理红线，能够通过量级对比判断工程问题价值，认知各类工程损耗的必然性，并在自然规律范围内开展合规创新，是连接基础物理理论与专业工程实践的核心纽带。该思维体系精准对标工程教育认证中“解决复杂工程问题、遵循工程客观规律、开展合理工程优化”的核心能力指标，可有效弥补传统物理教学工程思维培育的短板，契合新工科高阶人才培养定位[6]。

3.2. 课程整体构建思路

结合各工科专业共性培养需求，基于工程约束思维内涵，针对性破解前文提出的知识割裂、衔接浅层、支撑薄弱三大教学痛点，重构碎片化的大学物理知识体系。本文打破传统教材章节桎梏，摒弃零散知识点教学模式，整合形成四大逻辑闭环的工程约束教学模块，统一采用“物理公理-约束红线-量化表征-工程问题-研究方向”的五层递进教学逻辑，在保障物理学科严谨性的基础上，精准匹配工科专业培养需求，从根源上解决基础课与专业课脱节、思维培育浅层化的行业共性问题，实现基础课程与专业课程的深度精准衔接。

3.3. 四大工程约束模块核心内容

一是运动与结构约束模块。以牛顿力学、刚体转动、受迫振动与共振规律为核心，明确工程结构动态稳定性的物理极限。结合量化数据：涡激振动可使大型桥梁振幅放大 50~100 倍，航空发动机叶片共振应力骤增 30 倍以上，人体过载耐受极限为 8 g。教学聚焦物理约束机理，不涉及专业结构设计计算，明确优化构件刚度、增设阻尼、调频避振等合规优化路径，保障工程结构安全稳定。

二是能量与效率约束模块。基于热力学定律与熵增原理，确立能量品质贬值、热机效率存在上限的核心约束。依托行业权威数据：燃煤发电废热损耗占比达 55%，民用汽油发动机热效率仅 23%~28%，发电效率每提升 1% 可年节约标煤 3500 万吨、减排 CO₂ 千万吨级体量。教学引导学生打破效率无限提升的认知误区，树立能级匹配、梯级用能、抑制熵增的绿色工程理念，贴合双碳育人导向。

三是场与相互作用约束模块。围绕电磁感应、热传导规律，明确电磁场损耗、热量传递的工程固有约束。工业电机涡流损耗占总损耗 30%~40%，是设备发热、能效偏低的核心诱因，10 m 范围内微弱电磁信号可使精密仪器测量误差放大百倍。通过硅钢叠片结构、电磁屏蔽、多层隔热等优化手段，可大幅降低设备损耗、提升运行精度，为电气、测控、节能工程提供理论支撑。

四是微观结构与尺度约束模块。基于光学衍射、微观材料特性，界定精密制造与材料应用的物理天花板。可见光 200 nm 衍射极限、高温工况下金属材料强度 20%~30% 的衰减特性，直接约束精密检测、高温装备设计。依托短波长光学、微观结构调控等技术思路，可为高端制造、新材料研发提供底层物理支撑[7]。

4. 教学改革实施路径

4.1. 重构教学逻辑，明晰课程边界

彻底摒弃传统浅层案例教学的模式，以工程约束思维为主线重构案例教学内容。严格界定物理课程育人边界，课堂聚焦物理规律、工程约束红线、损耗机理与合规优化方向，不涉足专业设备设计、工艺流程、行业规范等专业课内容，真正实现“衔接不越位、支撑不缺位”的精准育人定位，解决传统教学定位模糊、内容脱节的问题。

4.2. 依托量化教学，强化思维培育

针对传统教学量化支撑薄弱、说服力不足的痛点，为每一项物理约束规律配套国标、行业白皮书、官方统计报告及知网权威文献量化数据，以精准数值替代单一的定性描述。通过数据对比、量级反差直观呈现工程物理极限与优化增益，让学生清晰感知物理规律对工程安全、设备能效、精密制造的决定性作用，强化学生极限思维、量级思维与合规优化思维，全面提升课堂教学科学性与实效性。

4.3. 融合教研思政，完善育人体系

构建“数据 + 思政 + 专业”三维课堂，将双碳战略、绿色发展、科技自立自强等思政元素自然融入工程约束教学，摆脱灌输式思政教育，实现知识传授与价值塑造同步推进[8]。同时建立跨专业联合教研机制，联动工科专业骨干教师梳理行业痛点，动态更新前沿工程案例与量化数据，破除教学内容固化滞后问题，形成持续优化的闭环育人体系。

5. 典型教学案例

5.1. 热电厂熵增与能量品质约束分析

5.1.1. 案例教学背景与原理引入

本文选取工科通用的热电厂供暖系统作为典型教学案例，针对性解决传统教学量化支撑不足、理论

脱离工程的问题。课堂以热力学第二定律与熵增原理为核心,阐明孤立系统能量不可逆贬值、熵恒增的底层物理规律,通过水位类比法通俗解读能量品质差异:高温高压蒸汽具备高阶做功价值,属于高品质能源;低温热能做功潜能微弱,属于低品质能源,为后续工程思辨与量化分析奠定理论基础。

5.1.2. 工程问题量化思辨分析

结合行业精准量化数据开展思辨教学,对比分析传统民用小型锅炉供暖的弊端:热电厂蒸汽做功温度可达 $500^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$,而民用采暖仅需 $40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 低温热能。小型锅炉直接低温供暖模式,超 70% 高品质能量被浪费,系统综合能量利用率不足 25%,能级错配引发的熵增损耗占总能耗损耗的 60% 以上。通过量化数据纠正学生“耗煤量少即为节能”的片面认知,明确工程节能评价核心为能量利用品质与综合能效,直观印证物理约束的工程指导价值。

5.1.3. 基于物理约束的优化路径

依托熵增约束机理与行业量化标准,制定精准可落地的工程优化方案,配套明确增益效果:推行热电联产、能量梯级利用,可将电厂综合能源利用率从 45% 提升至 80% 以上;拓展余热制冷、跨季节储热场景,可减少非供暖季余热浪费 40% 以上;淘汰小型低效锅炉、接入集中供热管网,可降低区域供暖能耗 15%~20%。通过量化案例教学,让学生深刻认知熵增损耗的必然性与工程优化的可行性,夯实绿色工程育人理念。

5.2. 车辆/轨道交通涡流缓速制动——电磁感应与涡流约束

5.2.1. 案例教学背景与原理引入

本文选取商用车、轨道交通涡流缓速制动作为机械车辆类典型教学案例,针对性解决传统电磁感应教学仅局限于单根导线切割磁感线演示、理论与大型机械工程脱节的问题。课堂以电磁感应、楞次定律、涡流效应与电流热效应为核心,阐明导体与磁场发生相对运动时机械能向热能转化的底层物理规律,采用逆风行走类比法解读涡流阻碍作用:旋转金属盘切割磁感线产生环形涡流,涡流衍生反向磁场如同迎面气流,持续阻碍盘面转动,为后续工程思辨与量化分析奠定理论基础。

课堂整合课内核心知识点:导体与磁场相对运动产生感应电动势,大块金属内形成闭合环形涡流;楞次定律指出涡流磁场始终阻碍相对运动,涡流流经导体电阻会将动能转化为热量耗散。高速旋转的金属制动转子切割永磁体磁场,盘内生成大量涡流,依靠磁场相互拖拽实现无摩擦减速。

制动效果受四项基础物理条件约束:磁场磁感应强度越强、制动盘导电厚度越大、导体电阻率越低、转子转速越高,生成的涡流制动力越强。

5.2.2. 工程问题量化思辨分析

结合车辆行业实测数据纠正学生片面认知:多数学生认为扩大摩擦刹车片尺寸即可无限提升制动性能。常规涡流缓速器磁场 0.4 T、制动盘厚度 6 mm, 30 km/h 下坡低速工况涡流微弱,仅能承担 20% 减速需求;若制动盘缩减至 3 mm,涡流流通截面不足,制动损耗直接下降 60%,缓速功能基本失效。

山区长下坡仅依靠机械摩擦制动,刹车片温度易突破 300°C ,出现热衰减失灵;但常规涡流装置低速出力不足,无法独立完成全程减速。通过量化对比明确:涡流制动力由电磁感应底层规律决定,磁场、导体结构、车速属于硬性物理约束,不能套用摩擦制动的设计思路。

5.2.3. 基于电磁感应约束的优化路径

依托楞次定律与涡流生成机理,结合车辆行业量化标准制定分层优化方案,配套对应性能增益:装配多组钕铁硼永磁阵列,磁场提升至 0.8 T,制动力翻倍,长下坡制动热衰退降低 70%;转子盘加厚至 10

mm 并复合低阻铝合金, 30 km/h 低速减速能力提升 45%; 设置分档可控永磁结构, 匹配不同转速调节磁场投入量, 整车制动能耗下降 18%; 盘面增设风冷散热鳍片, 抑制高温抬升材料电阻率, 连续制动工况下制动力衰减幅度降低 30%。

通过整套量化案例推演, 使学生掌握涡流制动受磁场、导体、运动速度多重物理条件限制, 明晰电磁辅助制动的工程应用价值, 塑造机械专业安全高效的工程设计思维。

6. 教学实践成效与反思

6.1. 教学改革实践成效

本次教学改革覆盖工科专业近 600 名学生, 经过两届完整教学实践, 通过学情观测、问卷调查、专业教师回访多维验证, 改革落地成效显著。一是学生课程认知彻底转变, 摆脱应试学习思维, 清晰认知物理的工程底层约束价值, 课堂参与度、自主探究积极性大幅提升; 二是课程衔接壁垒有效破除, 学生专业原理溯源能力显著增强, 专业课程适应周期明显缩短, 基础与专业知识体系形成有效联动; 三是育人体系标准化可推广, 构建的模块化、量化式教学范式, 解决了传统教学零散化、浅层化问题, 同时实现思政自然融入, 达成知识、思维、价值三位一体育人目标。

6.2. 现存主要短板与不足

结合两轮教学实践复盘, 本次改革仍存在三处短板。其一, 教学适配精准度不足, 统一化教学模式难以完全匹配不同工科专业的工程约束侧重点, 分专业定制化内容缺失; 其二, 教学资源更新滞后, 前沿行业量化数据、新兴工程技术案例迭代不及时, 内容创新性有待提升; 其三, 考核体系不完善, 现有考核仍侧重公式计算与知识记忆, 针对工程约束思维、工程问题思辨分析的过程性考核占比偏低。

6.3. 后续优化改进方向

针对现存短板制定闭环优化方案: 细分化专业模块化教学内容, 精准匹配各专业核心工程痛点, 提升教学适配度; 深化校企教研合作, 实时更新行业前沿量化数据与工程案例, 丰富教学资源; 重构多元化考核体系, 增设工程场景思辨、物理约束分析等题型, 增加过程性考核权重, 实现知识掌握、思维能力、工程素养的全方位考核, 持续优化教改育人成效。

7. 结语

新工科建设背景下, 大学物理的核心育人价值不再是碎片化知识传授与应试能力培养, 而是为工科学子构建解读工程、认知极限、指导创新的底层科学思维体系。本文构建的以四大约束模块为核心的教学改革模式, 突破了传统物理教学浅层应用的衔接局限, 建立了“物理规律约束工程、工程优化适配物理”的深度育人逻辑, 明确了基础课程教学边界, 有效解决了课程衔接断层、思维割裂、定位模糊等行业共性问题。

该教学模式落地性强、操作简单、可推广性高, 能够精准适配新工科与工程教育认证人才培养要求。后续将持续细化教学模块、更新前沿教学资源、完善考核评价体系, 不断强化大学物理的基础育人与专业支撑能力, 为高校工科基础课程教学改革提供可复制、可推广的实践范式。

基金项目

基于专业差异化的大学物理应用案例教学改革 JG261406D1; AI 赋能大学物理课程评价体系的智能化改革 JG261406D1; “人机协同探究、价值引领创作、数据驱动激励”——大学物理的智慧教学模式实

践研究 JG261402E2。

参考文献

- [1] 胡强, 李明, 曹国华, 等. 基于新工科背景的大学物理教学改革研究[J]. 创新创业理论与实践, 2025, 8(16): 45-47.
- [2] 郭宇轩. 基于应用型人才培养模式视角下的大学物理教学改革研究[J]. 山西青年, 2026(7): 160-162.
- [3] 郑丽, 刘玉洁, 石瑛. 新工科背景下应用型高校物理教学改革实践[J]. 物理通报, 2023(10): 8-11.
- [4] 龚程. 应用型人才培养视域下大学物理教学改革路径探讨[J]. 教师博览, 2026(6): 8-10.
- [5] 汪礼胜, 马争争, 廖红, 等. 数智赋能视域下“大物理”三阶育人体系的构建与实践[J]. 物理与工程, 2026, 36(3): 149-155.
- [6] 孙同明. 培养学生工程思维能力, 探析大学物理课程教学策略[J]. 河南机电高等专科学校学报, 2006(6): 102-103.
- [7] 刘作业, 丁晶洁, 王集锦. 中国科技前沿元素在大学普通物理教学中的渗透[J]. 物理与工程, 2021, 31(3): 73-77+84.
- [8] 王琳. 大学物理《电磁学与光学》中工程教育的融入研究[J]. 高教学刊, 2017(17): 98-100.