

工学背景下大学物理课程的改革探索：基于PBL与数智化协同的“物理 - 建模 - 仿真”实践

梁慧仁¹, 卢双燕², 黄伊琳², 师维涛², 方黎阳², 李起健^{3*}

¹广西民族师范学院教务处, 广西 崇左

²南宁学院交通运输学院, 广西高校交通运输应用先进技术与材料工程研究中心, 广西 南宁

³南宁学院交通运输学院, 广西 南宁

收稿日期: 2026年7月11日; 录用日期: 2026年8月14日; 发布日期: 2026年8月21日

摘要

在国家大力推进教育数字化与新工科建设的宏观背景下, 针对传统大学物理教学理论抽象、工程实践脱节及数字化程度不足的痛点, 本文借鉴国际工程教育主流模式, 构建了基于项目式学习(PBL)的“物理理论 - 三维建模 - 数值仿真”协同教学模式。该模式将大学物理核心概念与工程软件(如CATIA、ANSYS)有机融合, 以典型工程问题为实践载体重构教学流程。通过引入数智化教学手段, 达到优化教学内容与评价体系的目的。该模式的构建旨在响应国家战略与全球工程教育趋势, 以有效提升学生的工程建模能力与复杂问题解决能力为核心目的, 为大学物理课程数智化改革提供可借鉴的理论路径。

关键词

大学物理, 项目式学习(PBL), 数智化教学, ANSYS仿真, 教学改革

An Exploration into the Reform of College Physics Course in the Engineering Context: A “Physics-Modeling-Simulation” Practice Based on the Synergy of Problem-Based Learning (PBL) and Digital Intelligence

Hui ren Liang¹, Shuangyan Lu², Yilin Huang², Weitao Shi², Liyang Fang², Qijian Li^{3*}

¹Academic Affairs Office, Guangxi Minzu Normal University, Chongzuo Guangxi

*通讯作者。

文章引用: 梁慧仁, 卢双燕, 黄伊琳, 师维涛, 方黎阳, 李起健. 工学背景下大学物理课程的改革探索: 基于 PBL 与数智化协同的“物理-建模-仿真”实践[J]. 教育进展, 2026, 16(8): 1030-1037. DOI: 10.12677/ae.2026.1681723

²Engineering Research Center of Advanced Technologies and Materials Applied in Transportation, University of Guangxi, College of Traffic and Transportation, Nanning University, Nanning Guangxi

³College of Traffic and Transportation, Nanning University, Nanning Guangxi

Received: July 11, 2026; accepted: August 14, 2026; published: August 21, 2026

Abstract

Against the macro-background of the nation's vigorous promotion of educational digitalization and Emerging Engineering Education construction, and targeting the pain points of traditional college physics teaching—such as abstract theory, disconnection from engineering practice, and insufficient digitalization—this paper draws on mainstream international engineering education models to construct a collaborative teaching mode of “Physics Theory-3D Modeling-Numerical Simulation” based on Project-Based Learning (PBL). This mode organically integrates core concepts of college physics with engineering software (e.g., CATIA and ANSYS) and reconstructs the teaching process by taking typical engineering problems as practical carriers. By introducing digital-intelligence teaching methods, the mode aims to optimize teaching content and the evaluation system. The construction of this mode is intended to respond to national strategies and global engineering education trends, with the core purpose of effectively enhancing students' engineering modeling abilities and complex problem-solving skills, thereby providing a referable theoretical pathway for the digital-intelligence reform of college physics courses.

Keywords

College Physics, Project-Based Learning (PBL), Digital-Intelligence Teaching, ANSYS Simulation, Teaching Reform

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

新一轮科技革命和产业变革正深度重塑工程人才的能力图谱，驱动全球高等工程教育从“知识传授”向“能力培养”的系统性转型。这一转型要求基础课程，尤其是大学物理这样的工科基石课程，必须突破传统学科边界，走向理论与实践的深度“整合、优化与重组”。

大学物理作为工科专业的核心基础课程，是衔接基础理论与工程实践的桥梁，其教学质量直接关系到学生工程思维与创新能力的培养。然而，当前大学物理教学普遍面临以下三大主要困境：一是验证性内容与工程脱节，学生遵循既定步骤验证已知规律，难以建立物理原理与工程应用的有效关联；二是教学方法僵化与认知高负荷，传统“填鸭式”教学侧重公式推导与纸面计算，导致学生“能记公式却难理解本质，能完成计算却无法建立真实物理图像”[1]；三是数字化程度弱，课程内容与数智化工具融合生硬，缺乏对学生建模与仿真能力的系统培养[2]。

在此背景下，以项目式学习(PBL)为驱动、以数智化工具为赋能手段的教学改革成为摆脱上述困境的理想化选择。在 PBL 教学改革的推进过程中，数字化工具作为配套支撑手段被广泛融入教学体系，涵盖虚拟仿真平台、线上智慧课堂、CAE 仿真软件、可视化教学资源等多种形态，可在课前实现学情诊断、

课中支撑实时互动、课后完成个性化资源推送与学习数据全程追踪,同时辅助学生完成项目建模、数据测算与方案优化。当前,前沿研究着力探索 PBL 与数字化工具的深度融合路径,依托线上平台承载项目全流程、借助仿真技术降低复杂工程问题的探究门槛,但多数实践仍停留在工具的简单叠加层面,一体化教学设计有待进一步深化。张慧慧等以大学物理实验为对象的改革实践具有典型性——其通过 PBL 闭环流程将传统杨氏模量测量升级为工程检测任务,有效激发了学生的学习主动性[3]。整体而言,PBL 教学范式已形成可复制的标准化实施路径,适配物理、力学、水力学等各类工科基础课程,数字化配套应用趋于常态化,二者的深度融合、师资能力配套及校企资源共建仍构成现阶段教学改革的重点方向。本文借鉴 OBE 成果导向理念,列举实际项目论述载体,探索大学物理与 CATIA、ANSYS 等工程软件深度协同的实践路径,以期工科基础课程的数智化改革提供理论参考。本文拟解决的核心问题是:如何在大学物理课程中实现物理原理与工程仿真工具的有效融合,构建可推广的项目化教学模式。

2. 理论基础与模式构建

2.1. 国际工程教育理念的启示

当前,国际高等工程教育已普遍从“理论中心”转向“实践中心”。美国麻省理工学院(MIT)秉持“Mens et Manus”(手脑并用)的校训,强调通过项目驱动在动手实践中让学生对理论充分理解,将形式理论与直觉对齐[4]。在欧美国家,项目式学习(PBL)已被证明是提升学生工程实践能力的有效途径。Chen 等人的综述研究指出,PBL 模式因在培养学生专业知识与可迁移技能方面的显著有效性而在工程教育中被广泛采用[5];Hidayat 等人对 16 项研究的元分析表明,PBL 模式对工科学生高阶思维技能的提升效应达 31.5% [6]。与此同时,国际上普遍将 CAE (计算机辅助工程)软件(如 ANSYS、ABAQUS)的初步应用下沉至基础教学阶段,让学生在基础课程中即接触“手算-机算”的共同协作,这与新工科强调的“跨界、交叉、融合”理念高度契合。

2.2. PBL 与新工科理念的深度契合

在新工科背景下,大学物理已从传统的“辅助理论教学”升级为工程创新能力培养的关键环节。PBL 强调通过真实问题为起点,以“设计-实施-优化”闭环激发创新意识,与新工科“做中学”的实践导向深度契合。该教学方式下,学生能在攻克技术难点中自然形成“发现问题-分析问题-解决问题”的能力链条,这正是国际工程认证标准对“解决复杂工程问题能力”的核心要求[7]。王午登等的研究同样指出,当前物理实验教学体系的核心症结在于其内容设计与实施模式与机械工程前沿应用严重脱节,根源在于传统课程体系缺乏跨学科顶层设计、实践环节与真实产业需求关联薄弱及评价机制重结果轻过程[8]。

2.3. 数智化教学手段的赋能逻辑

数智化(数字化与智能化)已成为赋能高等教育教学的关键路径。通过引入虚拟仿真实验与有限元分析软件,将抽象物理公式转化为可操作、可观察的数字模型,能有效降低学生的外在认知负荷[9]。而在此框架下,生成式 AI 可辅助教师低代码开发动态可视化工具,CAD/CAE 软件则充当学生从“公式记忆”到“工具思维”的认知桥梁,实现由浅入深的知识建构。潘露等以 ADDIE 模型为框架系统设计智慧课堂流程,其“分析-设计-开发-实施-评价”的闭环思路可为本模式的迭代优化提供方法论参考[10]。

3. 核心教学实践:汽车连杆的“物理-建模-仿真”三级协同

国内近期已有部分高校开展了数智化与项目化融合的类似探索,并取得典型成效。例如,安徽信息工程学院以企业真实的“滤清器结构分析与优化”为项目,在工程力学教学中引入 ANSYS 仿真,实现

了手算与电算的互补验证；北京工业大学则在结构力学中强化 SAP2000 等有限元软件的实践应用，实施“手算为先，软件验证”的闭环式项目教学[11]。这些先行实践验证了数智化工具在力学教学中的适配性，也为本模式在汽车连杆这一更贴近机械类专业的场景下推广提供了现实参照。在此经验基础上，本模式将大学物理与汽车工程实践深度融合，按照物理推导、几何建模与数值验证的三级递进逻辑组织教学。

3.1. 物理层面：大学物理核心概念的工程化提取

项目启动阶段，基于 PBL 的“问题引入”环节，教师以汽车发动机连杆的受力失效为真实工程背景，引导学生运用大学物理的静力学平衡与材料力学知识建立物理模型。学生需推导轴向压力 $F = P_{\max} \cdot A_{\text{piston}}$ 并通过胡克定律计算理论正应力。这一过程强调从“实际结构”到“计算简图”的抽象思维训练。例如：教师向学生给出已知数据，连杆材料为 35CrMo 调质钢(屈服强度 835 MPa，弹性模量 206 GPa，泊松比 0.286，密度 $7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)，大头端固定约束，小头端承受 2000 N 偏轴集中载荷。载荷作用点至危险截面的力臂长度 $L = 150 \text{ mm}$ ，危险截面抗弯截面系数 $W = 1376 \text{ mm}^3$ 。学生需将实际结构抽象为力学模型，计算弯矩 $M = F \times L = 2000 \text{ N} \times 0.15 \text{ m} = 300 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，再由弯曲正应力公式 $\sigma = M/W$ 得出理论应力约为 218.0 MPa。这一过程强调从“实际结构”到“计算简图”的抽象思维训练，学生需理解平截面假定等理论简化前提，为后续对比分析奠定基础。

3.2. 建模层面：CATIA 三维建模与物理约束映射

在方案设计与项目实施阶段，学生利用 CATIA 软件构建连杆三维实体模型，如图 1。此环节要求学生将物理参数(如弹性模量 206 GPa、泊松比 0.286、密度 $7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)转化为软件参数设置，完成从“抽象公式”到“实体几何”的认知跃迁。学生通过团队协作解决几何约束、尺寸标注等技术难点，培养工程规范意识与团队协作能力。马惠宁在力学竞赛驱动的教学改革中亦强调，将实际工程问题抽象为力学模型的建模训练，是连接理论知识与工程实践的关键桥梁，对于培养学生解决复杂工程问题的能力至关重要[12]。



Figure 1. The three-dimensional schematic diagram of an automobile engine connecting rod
图 1. 汽车发动机连杆三维示意图

3.3. 仿真模拟层面：ANSYS 数值验证与物理理论迭代

核心教学环节在于对比理论解与仿真云图，如图 2。在本例中，手算值 218.0 MPa 与仿真值 207.86 MPa 偏差约 4.9%，处于工程分析可接受的误差范围内。学生会发现，理论公式基于平截面假定给出的是截面名义应力，而 ANSYS 结果在过渡圆角处呈现明显的应力集中——这正是“理想模型”与“工程实际”边界的典型体现。教师即可借此引出圣维南原理与应力集中系数，引导学生反思物理模型简化前提

的适用条件，实现对物理概念的深度理解，激发学生的探究欲望。同时，学生可利用虚拟仿真平台任意改变载荷、尺寸等参数，实时观察应力分布变化，将“被动验证”转为“主动探究”。魏斌等关于大学物理课堂演示实验的研究亦表明，可视化呈现与交互操作是深化物理概念理解的关键路径[13]。胡文军等在“土力学”课程的信息化改革中同样验证了这一点，其通过构建虚实融合实验平台，让学生自主调节土体参数并观察不同工况下的变形与破坏机制，有效提升了学生对理论公式的理解深度[14]。

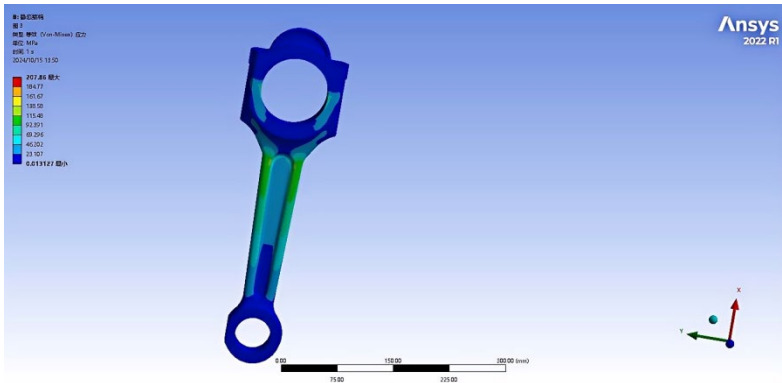


Figure 2. Stress cloud diagram
图 2. 应力云图

3.4. 大数据共享模式下的教学新范式

在上述汽车连杆案例的基础上，可进一步凝练数智化改革内核，提出“校内外共享模型库”的教学概念，并据此形成一套标准化教学流程：学校按学科分类搭建共享模型库，收纳各类可用于教学的工程零部件三维模型及多类学科对应的分析软件测试教学文档；学生从模型库获取文件后，按步骤导入 ANSYS 等仿真平台，在参数表中设置材料属性与载荷条件，修改 1~3 个预设变量即可求解，获取应力云图、变形图或温度场分布；教师同步进行现象讲解，学生核对手动计算与数字仿真结果并完成分析报告。该模式将软件操作的技术门槛封装于后台，课堂时间集中于物理原理讨论与工程思维训练，推动了教学重心从“软件教学”向“分析教学”的转移。在模型库内容持续积累、运行机制逐步完善的前提下，该模式可在条件成熟后拓展为多校乃至跨区域的共建共享机制，为基础物理课程的规模化推广提供一种可能的技术路径。

4. 教学实施策略与评价体系重构

4.1. 教师角色的转型

“物理 - 建模 - 仿真”模式的落地，最终取决于教师能否从知识传授者转型为学习设计师。当前高校教师多成长于高度专业化的学科体系中，知识结构相对单一，面对数智化教学变革时存在能力缺口。新工科建设所要求的跨界融合与数字赋能，本质上是要求教师突破原有学科边界，具备跨域整合的视野与协同教学的能力。而在此之上，更深层的挑战在于教育范式的转换：从“讲清楚公式”转向“设计出让学生自主建构知识的场景”，从控制性课堂走向引导性探究。这一转换要求教师不仅掌握学科知识结构，还需理解技术工具背后的认知逻辑链条。因此，推进大学物理数智化改革，须将教师发展置于与课程改革同等重要的位置，教学转型的可持续性才有保障。庞培培等提出的数字赋能与人文浸润双维教学框架，为教师在这一转型中的角色定位提供了参照[15]。郭松林等在“结构力学”课程中的实践表明，由专题自学、案例分析、课堂答题及单元测试等模块组成的多元过程性考核体系，能够有效实现对学习过

程的动态管理[16]。教师角色的转型为教学实施提供了人力保障，而与之配套的评价体系，则需从根本上摆脱“知识记忆导向”的惯性，转向与“物理-建模-仿真”教学闭环深度绑定的能力评价框架。

4.2. 全过程多元评价体系设计

新式评价体系应不再沿袭“平时作业+期末笔试”的传统框架，而是紧扣“物理推导-三维建模-数值仿真-对比分析”的教学闭环，以“用对比倒逼反思”为核心原则，将学习成果的考量凝练为四个维度。四者并非平权并列，而是按其在能力培养中的实际贡献，形成明确的主次梯度。

4.2.1. 结果分析深度

这是整个评价体系中分量最重的一环，权重建议不低于 40%。其逻辑在于，学生能否完成手算和仿真只是手段，能否在两者之间建立起有意义的对比和追问，才是检验“物理概念是否真正内化”的关键证据。以本文汽车连杆案例为例，学生必须定量比较手算应力值与 ANSYS 仿真值，指出应力集中位置，引入圣维南原理或应力集中系数来解释偏差来源，并对平截面假定的适用边界进行反思。评价时，关注的重点不是结论的对错，而是学生是否真正进入了这种“理想模型与工程实际之间存在裂隙”的深层思辨。缺乏这一过程的报告，即便建模再精准、操作再流畅，也不能视为达成课程目标。

4.2.2. 建模与仿真操作准确性

此维度的作用是为“深度分析”提供可靠的数据基础，而非展示软件操作技能。因此，建议评价比重占 25%~35%。评价的“准”不体现在几何细节的精致程度，而体现在一个核心问题上：边界条件、载荷、材料参数是否忠实地映射了手算环节的物理模型。举例而言，固定约束的位置、载荷类型与方向、弹性模量与泊松比的输入，每一项都需与手算中的力学简化保持一致。出现偏差则直接导致后续对比失去根基，故此项评价严格而务实。

4.2.3. 物理概念应用程度

物理概念理解不设为独立评分项，而是作为前两项评价的内在依据，融入全过程进行考察。在手算推导稿中，看学生能否从真实结构中正确抽象出力学模型、合理运用弯曲正应力公式并阐明平截面假定；在仿真设置中，看能否将物理参数转化为软件中的对应输入；在结果分析中，看能否用物理原理而非泛泛之言解释偏差。这样处理既避免了“物理概念”评价滑向传统的公式默写，又确保概念掌握始终是评分背后的核心逻辑。

4.2.4. 团队协作

团队协作的权重控制在 10%左右，定位为“保底线”而非“拉分项”。考查要点有二：一是分工是否实现了实质性的交叉协作，即物理推导、三维建模、仿真分析、报告撰写等环节均有明确负责人且互相参与讨论；二是项目过程记录是否完整。为避免协作分虚高，可采用组内贡献系数对个人得分进行调节，使该项评价回归其本质功能——保障项目顺利推进，而非模糊能力评价的焦点。

上述四个维度的权重配置可根据项目难度与学情动态调整，但“结果分析深度居首、建模仿真操作为基、概念应用贯穿其中、团队协作兜底保障”的主次关系应当保持稳定。

5. 结论

本文针对工科大学物理教学中理论与工程脱节、数智化融入不足等问题，提出了 PBL 与数智化协同的教学模式，并以汽车发动机连杆为例进行了教学实践。该模式通过“教师提供工程数据-学生手算物理模型-CATIA 三维建模-ANSYS 仿真验证”的方式，将弯曲正应力、圣维南原理等抽象概念转化为

可操作、可观察的工程分析任务。连杆实例中,手动计算与数字仿真的对比在验证理论分析有效性的同时,直观展现了理想模型与工程实际之间的边界,有助于深化学生对物理概念的深层理解。

总体而言,该模式将物理推导、数字建模与仿真分析有机串联,其实质是以“手算-建模-仿真-对比”为操作主线的PBL教学框架——教师提供工程参数作为问题起点,将传统“验证公式”的教学目标升级为“解决工程问题”;学生通过物理建模完成理论预估,借助CATIA/ANSYS等工具进行数值验证,在“抽象公式”与“实体模型”的双向映射中,实现从“公式记忆”到“工具思维”的认知跃迁;在偏差分析(如手算218.0 MPa与仿真207.86 MPa的4.9%差异)中,学生需辨析平截面假定与应力集中的适用边界,推动能力培养从“单一计算”走向涵盖建模、仿真、批判性分析在内的梯度素养。其本质是对学生进行目标指向、认知路径、能力维度等维度的转变。这一框架不仅适用于连杆案例,也可迁移至热传导、电磁场等其他物理主题的教学设计,为工科基础课程的PBL改革提供了一种可复用的实践模板。

本文同时提出了“校内外共享模型库”的构想,但该构想在教学价值与实施可行性方面均面临根本性挑战,在当前阶段的实践价值有限。更深层地看,大学物理数智化改革的关键不在于工具的多寡,而在于育人目标的坚守。正如胡海岩所言,AI时代的教育应着力培养“能够在无路可走的地方开辟道路”的精英人才,而非依赖“缆车或直升机”登顶的观光者[17]。这一洞见启示我们:数智化工具的价值在于提供从“公式记忆”跃迁至“工具思维”的认知支架,而非替代学生的独立思考。如何在这一支架的支持下,使学生成长为能够在学科无人区开辟新方向的探索者,才是大学物理教学改革需要持续追问的核心命题。

参考文献

- [1] 武立毅,刘聿白,高如意,等.生成式AI在大学物理教学中的应用研究[J/OL].大学物理:1-8.
<https://www.cnndoi.org/Resolution/Handler?doi=10.16854/j.cnki.1000-0712.250627>,2026-06-23.
- [2] 沈银澜,彭一江,陈盈.新工科背景下结构力学数智化教学改革实践[J].高教学刊,2026,12(14):35-38.
- [3] 张慧慧,夏齐萍,温丹丹,等.新工科背景下基于PBL的大学物理实验教学改革研究[J].阜阳师范大学学报(自然科学版),2026,43(2):96-102.
- [4] MIT News (2017) Adding Hands-On Practice to Science and Engineering Classes.
<https://news.mit.edu/2017/adding-hands-on-practice-to-science-engineering-classes-0130>
- [5] Chen, J., Kolmos, A. and Du, X. (2021) Forms of Implementation and Challenges of PBL in Engineering Education: A Review of Literature. *European Journal of Engineering Education*, **46**, 90-115.
<https://doi.org/10.1080/03043797.2020.1718615>
- [6] Hidayat, H., Anwar, M., Harmanto, D., Dewi, F.K., Orji, C.T. and Isa, M.R.M. (2024) Two Decades of Project-Based Learning in Engineering Education: A 21-Year Meta-Analysis. *TEM Journal*, **13**, 3514-3525.
<https://doi.org/10.18421/tem134-84>
- [7] 沈志丹.深度学习视域下物理大单元教学策略[J].科教论坛,2026(17):42-45.
- [8] 王午登,刘阳.新工科理念下的物理实验教学课程体系构建路径研究[J].机械设计,2026,43(6):200-206.
- [9] 方思源,苗思忠,陈孝钱,等.信息时代校企合作赋能应用型本科工程力学项目化教学研究[J].中国信息界,2026(6):181-183.
- [10] 潘露,史雯雨,王晨丽.基于ADDIE模型的智慧课堂教学模式研究——以《水力学基础》课程为例[J].职业教育,2026,47(2):223-226.
- [11] 陈再现,石军.基于课程思政的结构力学课程教学改革探索[J].高教学刊,2026,12(17):141-144.
- [12] 马惠宁.以力学竞赛为驱动的应用型高校工程力学课程教学改革[J].中国冶金教育,2026(3):47-51.
- [13] 魏斌,郭旭波,顾晨,等.大学物理典型课堂演示实验教学研究[J/OL].物理与工程:1-6.
<https://www.cnndoi.org/Resolution/Handler?doi=10.27024/j.wlygc.2026.02.04.02>,2026-06-23.
- [14] 胡文军,王培森,卢桂灵.新工科背景下“土力学”课程信息化教学改革研究[J].太原城市职业技术学院学报,2026(5):101-103.
- [15] 庞培培,李鲁艳,许文杰.数字赋能与人文浸润下工程力学双维教学研究[J].山西青年,2026(8):27-29.

-
- [16] 郭松林, 赵迁乔, 曾森, 等. 多元过程性考核在“结构力学”课程智慧教学中的实践与探索[J/OL]. 黑龙江教育(理论与实践): 1-4. <https://link.cnki.net/urlid/23.1064.G4.20260627.0844.002>, 2026-06-23.
- [17] 胡海岩. 建设适应 AI 时代的力学课程体系和教材体系——在力学领域“101 计划”成果发布会上的访谈记录[J/OL]. 力学与实践: 1-3. <https://link.cnki.net/urlid/11.2064.o3.20260623.1657.008>, 2026-06-23.