

PBL 教学模式在大学物理实验中的应用 ——以扭摆法测物体的转动惯量实验为例

卞永佳, 刘燕月, 彭雪玲, 黄海涛

重庆工程学院, 重庆 400056

DOI: 10.61369/ETR.2026100001

摘 要 : 本文针对当前大学物理实验教学中普遍存在的“重操作、轻思考、弱应用”问题,以“扭摆法测物体的转动惯量”实验为例,探索将基于问题的学习(PBL)教学模式系统融入实验课程改革之中。研究围绕工程实际问题驱动,构建了“问题设计—过程实施—评价反馈”三位一体的PBL教学框架,并设计“基础认知—深入探究—拓展应用”递进式问题链,实现从知识验证向能力生成的案例转变。通过课前工程情境导入、课中协作探究与课后建模拓展的有机衔接,有效激发了学生的学习内驱力,强化了其物理建模、实验设计、数据分析和工程应用能力。教学实践表明,PBL模式能显著提升学生的综合实验素养与解决复杂工程问题的能力,为大学物理实验教学改革提供了可操作、可迁移的实施路径,对培养具有创新意识与实践能力的理工科人才具有积极意义。

关键词 : 大学物理实验; PBL 教学模式; 扭摆法测物体的转动惯量

Application of the PBL Teaching Model in University Physics Experiments ——A Case Study of the Experiment on Measuring the Moment of Inertia of an Object by the Torsion Pendulum Method

Bian Yongjia, Liu Yanyue, Peng Xueling, Huang Haitao

Chongqing Institute of Engineering, Chongqing 400056

Abstract : Aiming at the prevalent problems of "overemphasizing operation, neglecting thinking and weakening application" in the current teaching of university physics experiments, this paper takes the experiment on Measuring the Moment of Inertia of an Object by the Torsion Pendulum Method as a case study to explore the systematic integration of the Problem-Based Learning (PBL) teaching model into the reform of experimental courses. Driven by practical engineering problems, the research constructs a tripartite PBL teaching framework of "problem design – process implementation – evaluation and feedback", and designs a progressive problem chain of "basic cognition – in-depth exploration – extended application", thus realizing the transformation of experimental cases from knowledge verification to competency cultivation. Through the organic connection of engineering scenario introduction before class, collaborative inquiry in class and modeling extension after class, students' intrinsic learning motivation is effectively stimulated, and their abilities in physical modeling, experimental design, data analysis and engineering application are strengthened. Teaching practice shows that the PBL model can significantly improve students' comprehensive experimental literacy and their ability to solve complex engineering problems. It provides an operable and transferable implementation path for the reform of university physics experiment teaching, and is of positive significance for cultivating science and engineering talents with innovative awareness and practical abilities.

Keywords : university physics experiments; PBL teaching model; measuring the moment of inertia of an object by the torsion pendulum method

引言

《大学物理实验(一)》是高等学校一门独立的必修通识教育课程,是理工科专业学生接受系统科学实验训练的重要基础。该课程不仅致力于传授基础物理知识与实验技能,更是培养学生分析与解决问题能力、理论联系实际意识、严谨求实科学态度以及团队协作精神的关键平台。然而,在当前的教学实践中,大学物理实验课程仍普遍存在“重操作、轻思考、弱应用”的困境^[1]。学生往往被动跟随

实验步骤，“只动手、不动脑”，难以将实验操作与深层理论理解有机结合，导致知识内化不足，无法有效将实验技能转化为解决实际工程与科学问题的能力，更难以回应现实生活中的复杂疑问。

为突破上述教学瓶颈，推动实验教学从“知识传递”向“能力生成”转变，本文将基于问题的学习（Problem-Based Learning, PBL）教学模式系统融入大学物理实验教学。PBL 强调以真实、有意义的“问题”为起点，驱动学生主动探索、协作探究，在解决问题过程中建构知识、发展高阶思维与实践能力^[1]。

本文将“扭摆法测量物体的转动惯量”这一经典实验为载体，具体阐述 PBL 模式的创新设计与实施路径。教学流程以“问题”为主线贯穿始终：课前，围绕飞行器稳定性等实际工程背景提出问题，引导学生进行针对性预习与初步思考；课中，聚焦质量均匀分布的标准模型开展基础实验，通过问题链驱动学生自主探究实验原理、方法与数据分析；课后，进一步拓展至“质量不均匀分布物体转动惯量的测定”这一更贴近工程实际的研究性问题，引导学生综合利用所学，完成从数据采集、误差分析到结果讨论的完整探究过程。通过“基础实验—拓展研究”的阶梯式问题设计，培养学生解决复杂实际问题的综合能力，促进理论知识向实践智慧的有效转化。

一、传统大学物理实验教学存在的问题

当前，大学物理实验教学普遍存在以教师为中心、流程固化、学用脱节的突出问题，难以适应新时代创新型人才培养的需求。具体表现为教学全过程的“三重缺失”：

课前：学生预习大多演变为对实验原理与目的机械抄录，因无法接触实物仪器，难以形成对实验装置与过程的具象认知。预习环节缺乏真实问题或工程背景的引导，学生既无探究兴趣，亦无思考抓手，常常应付完成报告^[5]。

课中：由于预习实效不足，教师需花费大量时间复述基础原理与操作步骤，挤压了学生自主探索的空间。学生在此过程中主要扮演“操作员”角色，严格遵循教师演示的步骤按部就班完成测量。尽管此举可能获得看似准确的数据，但学生主动设计、观察质疑、试错调试的机会极少。

课后：实验结束后学生套用固定公式，对误差来源的分析浅尝辄止，对实验现象的物理本质、方案可能的改进方向、以及与实际工程问题的联系缺乏深入反思。学习过程在数据提交后即告终止，未能实现从“完成实验”到“内化能力”的关键跃迁。

二、PBL 教学模式构建

为破解当前大学物理实验教学中的困境，推动课程从“知识验证”向“能力生成”转型，本文构建并实施以问题为导向的 PBL（Problem-Based Learning）教学模式。该模式以综合性真实问题为起点，贯穿实验教学全过程，旨在引导学生经历“发现问题—分析问题—解决问题—拓展迁移”的完整探究链路，最终实现“学以致用、用以促思、思以启创”的深度融合。PBL 教学模式构建框架图如图 1 所示。

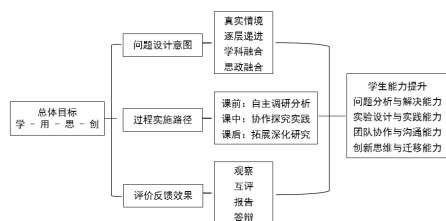


图 1 PBL 教学模式构建框架图

（一）问题设计意图

问题的设计是 PBL 教学模式的逻辑起点与驱动核心。本模式强调以“真实、复杂、开放”的问题情境取代传统实验中封闭、孤立的操作任务，旨在激发学生的探究动机，促进知识的整合与应用的迁移。问题设计遵循“贴近实际、逐层递进、学科融合”的原则，不仅关注物理概念与实验技能的训练，更注重引导学生理解物理规律在工程实践与科技前沿中的实际意义，并在问题分析中自然融入科学精神、协作意识与责任伦理等课程思政元素，实现价值塑造与知识传授、能力培养的有机统一^[3]。

（二）过程实施路径

PBL 教学模式的实施以学生为中心，重构“课前一课中—课后”全流程的教学组织形态。课前，学生围绕问题开展自主调研与初步分析，形成实验方案雏形；课中，在教师引导下以小组协作形式展开探究实践，经历方案论证、数据采集、问题调试与结果讨论等环节，突出思维参与和动手实践的结合；课后，延伸至实验报告的深度撰写、拓展问题的自主探究或小型项目研究，推动学习成果的固化与转化。教师在整个过程中扮演引导者、协调者与支持者的角色，通过关键节点的启发、资源提供与策略反馈，助力学生完成从被动执行到主动建构的学习转变。

（三）评价反馈效果

评价方式上，融合课堂观察、小组互评、实验报告审阅、口头答辩等多种形式，形成“贯穿全程、动态反馈、以评促学”的机制。通过分数收集与分析教学反馈数据，既可客观评估教学模式的有效性，也能为教学改进提供实证依据，实现教学模式的持续优化与学生能力的阶梯式提升^[2]。

三、PBL 教学模式案例：以扭摆法测物体的转动惯量实验为例

为将 PBL 教学模式具体应用于大学物理实验教学，本章以“扭摆法测物体的转动惯量”这一经典实验为例，系统阐述 PBL 模式下以工程问题为驱动、以实验探究为主线、以能力提升为目标的教学设计与实施过程。本案例通过建立“基础认知—深入探究—拓展应用”三阶段递进式问题链，引导学生从物理概念理解

走向工程问题解决，实现知识内化、能力发展与价值体认的有机统一。

(一) PBL 教学模式实施流程

本案例教学实施遵循“问题导入—协作探究—拓展迁移—反思评价”的闭环路径，如图2所示。教学以航天器姿态稳定性仿真中的转动惯量参数需求为起点，激发学生探究动机；学生以小组形式，在教师搭建的问题支架引导下，分阶段完成从规则物体转动惯量测定到非规则质量分布影响研究的递进式实验探究；最后通过数据分析、模型构建与工程关联讨论，实现知识迁移与能力提升，并在多元评价中完成学习反思与持续改进。

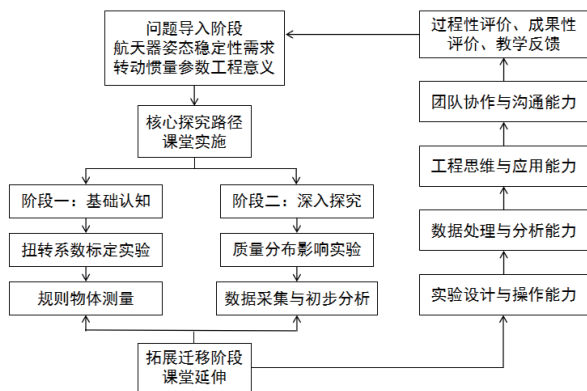


图2 PBL 教学模式实施流程图

(二) 搭建问题支架

1. 课程目标与学情分析

“扭摆法测转动惯量”作为大学物理实验课程的重要组成部分，不仅旨在使学生掌握扭摆振动原理与扭摆仪操作方法，更着重培养其运用实验手段解决实际工程问题的综合能力。学生通常已具备基础力学知识，但对转动惯量的物理内涵及其在复杂系统（如航天器、高速转子等）中的角色认知仍较为模糊，尤其在面对非理想质量分布或实际工程场景时，常难以将理论公式与实验方法有效关联。因此，本设计强调以真实工程问题为锚点，通过结构化问题链引导学生由浅入深展开探究，搭建从“物理原理”到“工程应用”的认知桥梁^[4]。

2. 实验问题设计

转动惯量作为描述刚体转动惯性的重要物理量，在机械、车辆、航天等多个工程领域中具有关键作用。例如，在航空航天领域，飞行器的姿态控制、稳定性分析与机动性能评估，均离不开精确的转动惯量参数。为强化实验的工程背景与探究深度，本案例围绕“质量分布对转动惯量的影响及其在飞行器稳定性中的应用”这一主题，设计以下递进式问题链：

(1) 基础层问题：如何使用扭摆法准确测量质量均匀分布物体（如金属细杆）的转动惯量？扭转常量如何标定？

(2) 探究层问题：若物体质量分布不均匀（如带有可移动滑块的细杆），其转动惯量随质量分布如何变化？能否通过实验建立质量分布与转动惯量之间的数学模型？

(3) 拓展层问题：转动惯量在飞行器、卫星等复杂系统的姿态稳定性中扮演何种角色？如何通过实验数据与理论模拟，为工

程中的稳定性优化提供参考？

(三) 依托问题探究

1. 实验原理

使物体在水平面内转过一角度 θ 后，在弹簧的恢复力矩作用下，物体就开始绕垂直轴做往返扭转运动。根据胡克定律，弹簧受扭转而产生的恢复力矩 M 与所转过的角度 θ 成正比，即：

$$M = -K\theta \tag{1}$$

式中， K 为弹簧的扭转常量。依据转动定律

$$M = I\beta \tag{2}$$

其中， I 为物体绕转轴的转动惯量， β 为角加速度。忽略轴承的摩擦阻力矩，由式 (1)、式 (2) 得：

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{K}{I}\theta = 0$$

设 $\omega^2 = \frac{K}{I}$ ，则

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0 \tag{3}$$

上述方程表示扭摆运动具有角简谐振动的特性，角加速度与角位移成正比，且方向相反，此方程的解为

$$\theta = A\cos(\omega t + \varphi) \tag{4}$$

式中 A 为谐振动的角振幅， φ 为初相位角， $\dot{\theta}$ 为角速度。此谐振动的周期为：

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}} \tag{5}$$

所以待测刚体的转动惯量为：

$$I = \frac{K}{4\pi^2} T^2 \tag{6}$$

2. 实验实施与过程组织

(1) 课前：问题导入与方案预研

学生以小组为单位，围绕“航天器姿态仿真中转动惯量的地面实验获取方法”展开预研。议题背景：作为“神舟”系列火箭姿态控制系统的仿真设计师，您需要为航天器在轨运行的稳定性建模。航天器在太空中的旋转运动仿真，直接关系到其姿态控制的精度与机动能力。其中，转动惯量作为核心物理参数，决定了航天器在控制系统指令下的动态响应特性，也影响其结构与燃料配置策略。各小组需结合扭摆法原理，初步提出适用于航天器部件转动惯量测量的实验思路，并通过线上仿真初步验证方案的可行性，为课堂实验做好理论与技术准备。

(2) 课中：协作探究与数据采集

在教师引导下，学生分组开展以下实验内容：

① 仪器调试与 K 值标定：调节底座至水平，安装金属载物盘，测量其空载摆动周期，结合其理论转动惯量反推 K 值。操作中需确保挡光轴与光电门轴线垂直，初始摆角控制在约 90° ，以减小系统误差。

② 均匀质量物体转动惯量测量：依次安装均质圆柱体、球体、金属细杆等，确保其中心与转轴重合，测量摆动周期并计算转动惯量，与理论值进行对比分析与误差讨论。

③ 质量分布影响探究：在细杆上对称安装滑块，逐步改变滑

块距转轴的距离，测量对应周期，计算转动惯量变化，初步总结规律。

④质量非对称分布的深入研究：固定一侧滑块位置 A（即为轴），另一侧滑块 B 所在的轴为，如图 3 所示，系统改变滑块 B 的距离，测量滑块 B 在不同位置的转动惯量并记录。

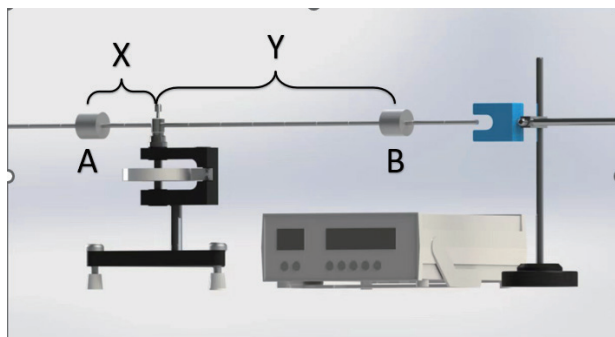


图3 质量非对称分布实验装置图（3D 建模）

（3）课后：数据分析与拓展建模

学生基于课堂实验数据，进一步开展以下工作：

①数学模型构建与验证：利用 MATLAB 对实验数据进行处理，绘制转动惯量随距离变化的关系曲线，通过函数拟合建立数学模型，结合理论公式进行比对与机理分析。图 4 所示为典型数据处理结果示例。

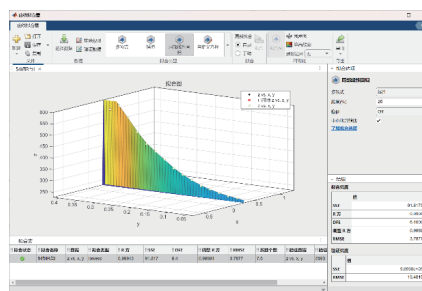


图4 MATLAB 拟合图

②工程关联与仿真拓展：引导学生将所得转动惯量参数应用于简易姿态动力学仿真，分析不同质量分布下系统的动态响应特性，加深对“转动惯量—稳定性—控制性能”关联的理解。

四、结语

本文以“扭摆法测物体的转动惯量”实验为载体，系统构建并实践了面向能力培养的 PBL 教学模式，有效回应了传统实验教学中“学用脱节、思维缺失、价值淡化”等现实问题。通过将航天器姿态稳定性等真实工程问题引入教学，设计层次化、开放性的探究任务，推动学生从被动操作转向主动建构，实现了知识习得、能力发展与价值塑造的深度融合。教学实施表明，PBL 模式能够显著增强学生的实验参与度与探究深度，促进其系统思维、团队协作与工程应用能力的整体提升。

参考文献

- [1] 宋连鹏, 周丽, 孙瑜. 支架式教学 +PBL 教学模式在大学物理实验教学中的应用 [J]. 海军大连舰艇学院学报, 2025(12): 31-36.
- [2] 侯丽丽, 张建东, 王帅, 等. 数字化背景下构建立体化教学评价体系的研究——以“大学物理实验”课程为例 [J]. 科技风, 2025, 38(34): 38-44.
- [3] 刘子源, 倪涌舟, 徐一清, 等. 基于实践导向的实验课程思政设计——以大学物理实验为例 [J]. 科教文汇, 2025(23): 28-32.
- [4] 陈华, 邓磊波, 李永治, 等. 大学物理实验在应用创新型人才培养中的实践与探索 [J]. 课程·教材·教法, 2025(11): 13-18.
- [5] 王春香, 陈丽梅, 陈佰树, 等. 大学物理实验线上线下混合教学模式研究 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2025, 37(10): 73-77.
- [6] 侯仰龙, 沈韩, 陈文多, 等. “新工科”大学物理实验线上线下混合教学的探索与实践 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2025, 64(6): 1-8.