

应用型本科课程融合教学探索——以《工程力学》与《传感器与检测技术》为例

姜锐红, 杨 杰, 王 聪, 卢双丽

上海电机学院智能制造与机器人学院, 上海

收稿日期: 2026年7月23日; 录用日期: 2026年8月28日; 发布日期: 2026年9月4日

摘 要

立足应用型本科培养目标, 针对《工程力学》与《传感器与检测技术》分学期开设的课程安排, 依托普通力学实验室现有条件, 以电阻应变式传感器为纽带, 设计薄壁圆筒弯扭组合变形主应力与内力素测定、动态扭矩测量两个融合教学案例。将“理论预测 - 实验验证 - 反思修正”的认知闭环逻辑贯穿两个案例, 以递进方式组织教学, 使学生实现从“学会验证”到“学会设计”的能力提升, 并提炼可向力学课程各模块及多类传感器辐射的教学设计逻辑。实践表明, 该模式在认知深化、能力建构、思维进阶方面成效良好, 学生成绩与综合应用能力同步提高, 为应用型本科在有限资源条件下推进跨课程教学改革提供了有效路径。

关键词

应用型本科, 《工程力学》, 《传感器与检测技术》, 融合教学, 认知闭环

Integrated Teaching of “*Engineering Mechanics*” and “*Sensor and Detection Technology*” in Applied Undergraduate Institutions

Ruihong Jiang, Jie Yang, Cong Wang, Shuangli Lu

School of Intelligent Manufacturing and Robotics, Shanghai Dianji University, Shanghai

Received: July 23, 2026; accepted: August 28, 2026; published: September 4, 2026

Abstract

Based on the objectives of applied undergraduate education, this study addresses the constraint

文章引用: 姜锐红, 杨杰, 王聪, 卢双丽. 应用型本科课程融合教学探索——以《工程力学》与《传感器与检测技术》为例[J]. 职业教育发展, 2026, 15(9): 90-97. DOI: 10.12677/ve.2026.159369

that “*Engineering Mechanics*” and “*Sensor and Detection Technology*” are taught in separate semesters. Using standard equipment from a general mechanics laboratory, we designed two integrated teaching cases with resistive strain sensors as the connecting element—one on principal stress and internal force measurement in a thin-walled cylinder under combined bending and torsion, the other on dynamic torque measurement. Both cases follow the same cognitive loop: theoretical prediction, experimental verification, reflection, and revision. The two cases are arranged progressively, guiding students from verifying established procedures toward designing their own experimental strategies. Beyond these specific cases, we also derived a teaching logic that can be adapted to other mechanics topics and extended to other types of sensors. Early implementation shows positive results: students demonstrate deeper conceptual understanding, stronger practical competence, and more reflective thinking. Their academic performance and problem-solving ability both show clear improvement. For applied undergraduate institutions, this model provides a practical way to bridge separate courses without requiring major additional resources.

Keywords

Applied Undergraduate Education, “*Engineering Mechanics*”, “*Sensor and Detection Technology*”, Integrated Teaching, Cognitive Loop

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

应用型本科院校承担着面向生产一线培养高素质工程人才的重要使命。其教育注重学生实践能力与技术应用能力的培养，毕业生在知识结构上应具有“专业基础较扎实、专业口径较宽、应用性较强”的特点[1]。然而，当前应用型本科毕业生仍普遍存在专业技能不扎实、实践应用能力欠缺等问题[2]。传统各课程独立教学的模式，使应用型本科院校学生难以主动建立课程之间的关联，导致其在面对真实工程问题时无法将所学知识融会贯通。具体到教学实践中，各课程“自成体系、缺乏沟通，导致学生知识结构碎片化，难以形成解决复杂工程问题的综合能力”[3]。

《工程力学》与《传感器与检测技术》是机械类、机电类专业的核心课程。《工程力学》研究物体受力与变形的规律，是工程分析和设计的基础[4]；传感器与检测技术是研究各种物理量、化学量、生物量的测量方法与测量装置的一门技术科学，其核心任务在于获取被测对象的状态与变化信息[5]。两门课程在知识体系上存在深刻的内在联系，力学理论为检测技术提供被测量、测量方法的理论依据及预期值，检测技术为力学理论提供实验反馈与修正依据[4][5]。然而在现行培养方案中，两门课程通常分属不同学期开设，由不同教师讲授，教学各自为政，缺乏有机联系。工程力学侧重理论推导与习题计算，学生往往仅将其视为独立课程学习，难以自觉地将力学思维迁移到后续专业课程中，也很少思考其工程应用背景与实验验证方法[6]；传感器课程侧重工作原理与测量电路的学习，学生往往不理解测量方案为何如此设计。这样的教学现状导致理论教学与工程实践脱节，实验教学各自独立、缺乏综合性，两门课程的知识未能围绕同一工程问题进行有效整合。

课程整合理论认为，课程整合不仅是组织课程内容的方法，更是一种课程设计的理论[7]。围绕一个具有统摄力的组织中心将相关课程的知识、学习与发展联系起来，是培育学生综合能力的重要路径。

鉴于上述问题，将两门课程进行融合教学具有现实必要性。从人才培养目标视角看，应用型本科需

要的人才既要“知”也要“会用”，既要“会算”也要“会测”。融合教学通过将力学理论与检测技术相结合，实现从“知识记忆”到“能力建构”的跃升[8]。从科学研究的基本规律视角看，力学理论的发展本身就是一个“实践-理论-验证-修正”的螺旋上升过程[9]。从教育学的视角看，体验式学习理论同样支持这一融合逻辑。Kolb的体验式学习理论强调学习是一个“具体体验-反思观察-抽象概念化-主动实验”的循环过程[10]。已有研究表明，将体验式学习理论应用于工程教育，能有效提升学生的参与度和概念理解深度[11]。本研究设计的两个融合教学案例，正是让学生亲历“理论预测-实验验证-反思修正”的认知闭环，其内在逻辑与体验式学习循环高度一致。

力学理论来源于对工程现象的观察与抽象，其正确性和适用范围必须通过实验加以验证，而验证的前提是具备获取实验数据的能力——这正是检测技术所解决的问题。“力学实验不仅是验证理论的手段，更是培养学生工程意识和创新能力的重要环节”[12]。将两门课程割裂教学，等于切断了这一完整的认知闭环。融合教学的本质，正是让学生在多次递进的力学分析与电测实验的完整过程中，以逐级提升的认知起点反复亲历认知闭环，从而建立“理论预测-实验验证-反思修正”的思维方式[12][13]。

实现这一融合逻辑，需要具体的课程整合载体。在力学量测量领域，电阻应变式传感器是连接力学理论与检测技术的典型载体，其工作原理(应变效应)直接建立在材料力学的基本定律——胡克定律之上，其贴片方向、组桥方式的设计均以力学理论为依据。本研究将两门课程围绕“电阻应变式传感器”这一组织中心进行整合，使学生在同一认知框架下完成从理论分析到实验验证的完整学习过程。

本文立足应用型本科培养目标，依托普通力学实验室常规设备，设计融合教学方案并验证其实施成效，为同类院校推进跨课程教学改革提供参考。

2. 融合教学案例设计

在两门课程的知识体系中，有多类传感器与力学量测量相关。其中，电阻应变式传感器是连接两门课程最为广泛的纽带。从力学课程看，材料力学各主要模块(轴向拉压、弯曲、扭转、组合变形)均涉及应力、应变的测量需求，而电阻应变片恰好是这些测量中最基本、最通用的检测元件；从传感器课程看，电阻应变式传感器的工作原理直接建立在材料力学的基本定律——胡克定律之上。基于其广泛的纽带作用，本研究以电阻应变式传感器为核心，设计了薄壁圆筒弯扭组合变形主应力与内力素测定(案例一)和动态扭矩测量(案例二)两个融合教学案例。

两个案例遵循统一的逻辑框架——“力学理论-理论预期值-检测方案-实验验证-偏差溯源”——其核心是一个完整的认知闭环：理论预测-实验验证-反思修正。

2.1. 两个案例的共性设计框架

融合教学采取分阶段推进策略。力学课阶段：教师简要介绍“这些理论可以通过电测法进行实验验证”，指出验证需要借助电阻应变片，并布置探究性问题驱动学生带着问题意识学习。传感器课阶段：学生系统学习应变片原理和桥路组桥方法后，回头解决力学课阶段提出的验证问题。综合性实验阶段：学生独立完成从理论计算到实验验证的全过程，形成完整的认知闭环。

在这一框架下，力学理论与传感器技术形成明确的互补关系：力学理论为检测技术提供三个层面的支撑——规定“被测量”的物理含义、提供测量方法的理论依据、给出“预期值”作为判断基准；检测技术则为力学理论提供实验反馈与修正依据。

2.2. 电阻应变式传感器融合教学示例

两个案例均以电阻应变式传感器为核心检测元件，但在具体实验载体和教学定位上形成递进：案例

一以薄壁圆筒弯扭组合变形为实验载体，侧重静态测量，其核心任务是让学生在首次经历认知闭环中掌握“如何验证”的基本方法；案例二以动态扭矩测量为实验载体，将测量从静态拓展至动态，其核心任务是使学生在更高认知起点上再次经历认知闭环，掌握在更复杂测量条件下完成验证的方法。两案例均按“课前理论计算-课内电测实验-课后对比分析”的基本流程实施，案例二在此基础上增加动态标定环节。这一递进关系如图1所示。

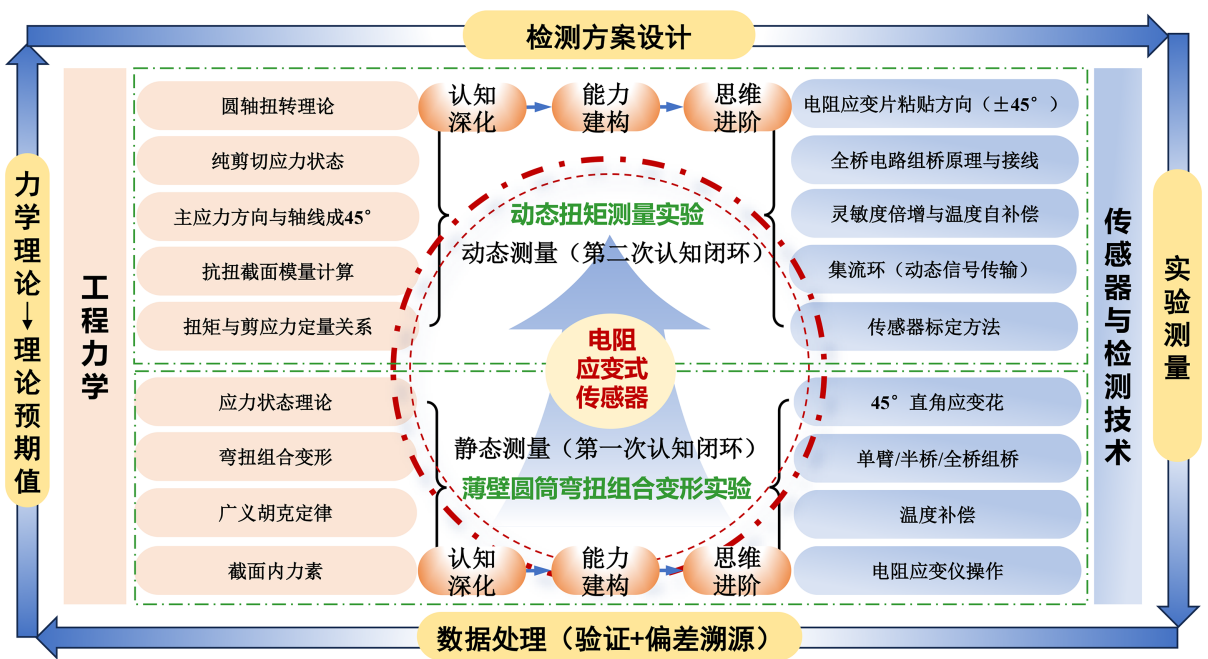


Figure 1. Progressive relationship between the two integrated teaching cases
图1. 两个融合教学案例的递进关系

案例一：薄壁圆筒弯扭组合变形主应力与内力素测定。本案例将应力状态理论的教学从“纸面计算”延伸至“实验验证”。核心融合点包括三个环节：(1) 理论计算环节：学生根据所加载荷及力臂尺寸，计算横截面上弯矩和扭矩两个内力素的理论值，并运用应力状态理论计算出主应力的方向和大小，得到各被测量的“理论预期值”；(2) 方案设计环节：基于理论分析结论确定45°应变花的粘贴位置，并设计组桥方案，利用电桥加减特性将弯矩和扭矩的应变分量分别提取出来；(3) 验证分析环节：根据实测应变，分别计算内力素实测值和主应力实测值，与理论预期值逐级对比，偏差从理论模型假设、实验操作、仪器系统三个层面进行溯源分析。

案例二：动态扭矩测量。核心融合点包括三个层次：(1) 理论决定方案——纯剪切应力状态下主应力方向与轴线成45°的结论决定应变片沿±45°方向粘贴；(2) 力学结论决定组桥——+45°方向受拉应变，-45°方向受压应变，相邻桥臂应变符号相反，采用全桥连接后输出电压为单臂的4倍，同时实现温度自补偿；(3) 标定验证理论——逐级施加已知扭矩，记录输出电压，绘制“扭矩-电压”标定曲线，完成“理论预期值-实验标定值-对比验证-修正”的认知闭环。本案例在电测方案中引入集流环实现旋转轴上应变信号的引出，使学生在实验室环境中接触到工程化的测量方案。

2.3. 融合模式的辐射

两个案例的设计意图不止于解决两个特定实验的融合教学问题，更在于提炼一种可迁移的教学设计

模式。其核心是“力学理论 - 检测方案 - 实验验证”的融合逻辑，可向材料力学各模块及多类传感器教学辐射。

向材料力学知识模块辐射。凡是能够同时进行理论计算与实验测量的力学知识点，都可以采用“理论预期值 - 实验验证 - 偏差溯源”的教学闭环。弹性模量与泊松比测定实验可在标准拉伸试件上同时粘贴轴向和横向应变片，实测应变后由胡克定律计算弹性模量、由横纵应变比值确定泊松比，并与理论值进行对比验证；纯弯曲正应力实验可在梁的纯弯曲段同一截面内，沿高度方向粘贴多枚应变片，将实测应变换算为应力后，与理论计算值逐点对比，验证弯曲正应力公式；压杆稳定临界载荷测定实验可在压杆跨中安装位移传感器，绘制“载荷 - 位移”曲线，将曲线拐点对应的载荷确定为临界载荷实测值，与理论计算值对比，验证欧拉公式。

向其他类型传感器辐射。上述融合逻辑同样适用于其他力学量传感器的教学。**表 1** 列出了各类传感器与力学教学的融合要点。

各传感器类型的融合教学逻辑均可按照“力学理论 - 被测量与预期值 - 检测方案设计 - 实验验证与偏差分析”的框架组织教学。两个案例的核心价值在于一个可迁移的教学理念：找准力学理论与传感器技术的交叉点，以“认知闭环”为主线设计教学，使力学理论获得验证手段，使传感器技术获得物理根基。

Table 1. Integration and extension of various types of sensors with mechanics teaching
表 1. 各类传感器与力学教学的融合辐射

传感器类型	力学理论依据	融合教学要点
压电式	牛顿第二定律；质量 - 弹簧 - 阻尼系统振动理论	加速度计频率响应特性设计；简支梁振动模态分析与实验验证
电容式	材料力学弯曲变形；机械振动位移分析	极距与灵敏度权衡；非接触测量在振动位移监测中的应用
电感式(电涡流)	转子动力学；轴心轨迹理论	旋转机械轴心轨迹测量；临界转速与不平衡响应验证
霍尔式	运动学(转速、角位移、线位移)	转速测量中传感器响应频率与量程匹配
光电式(编码器/DIC)	胡克定律；弯曲变形(全场位移)	光栅引伸计高精度应变测量；DIC 全场位移与应变验证

进一步看，**表 1** 中各传感器类型对应的力学知识点，大部分属于《工程力学》课程(静力学 + 材料力学)的教学内容范畴。其中，电容式(弯曲变形部分)、光电式(胡克定律部分)对应的知识点属于材料力学核心内容，可作为融合教学向其他传感器类型延伸的拓展方向；压电式中的牛顿第二定律、霍尔式中的运动学属于理论力学范畴，电感式中的转子动力学属于后续《机械振动》《转子动力学》等专业课程内容，这些可作拓展性介绍，亦可为后续课程融合预留接口。

3. 融合教学效果

经过两年的教学实践，上述融合式教学模式在认知深化、能力建构、思维进阶和教学综合效果四个维度上均取得了明显成效。

3.1. 认知深化：在应用中理解理论

在传统分科教学中，学生虽然完成了大量公式推导和习题练习，却很少思考这些理论在工程中如何

应用、如何验证。两个案例分别针对不同的力学情境，使学生先后两次经历从理论到验证的完整过程，对理论的理解深度逐次加深[8]。

力学理论课教学阶段，学生尚未系统学习传感器技术，但教学中强调“理论可通过实验验证”的简要介绍已产生认知效果。学生在了解理论预期值可被实验检验之后，对公式推导的关注点逐渐从记忆公式转向理解各物理量的含义。这种“为验证而学”的心理预期，使理论课的学习从一开始便带有明确的目的性。

进入融合实验阶段，力学公式开始获得实验层面的验证。在薄壁圆筒实验中，学生通过对电测获得的内力素和主应力与理论计算值的对比分析，在实验任务完成过程中开始主动思考。实测值与理论值接近时，公式不再是抽象的符号，而是具有明确物理意义的力学关系；当出现偏差时，学生自然追问“误差来自理论假设、实验方案还是操作环节”——这正是从记忆到理解的升华。

与此同时，两课程的融合教学使传感器原理获得了力学依据。在动态扭矩测量实验中，学生必须理解应变片沿 $\pm 45^\circ$ 方向粘贴的原因，即纯剪切应力状态下主应力方向与轴线成 45° 的力学结论。学生理解了测量方案的力学依据后，便能主动判断传感器的安装方向，而不再依赖机械记忆。

两个实验一静一动，分别在静态受力与旋转动态两种条件下验证同一套力学理论体系，使学生在对比中加深对核心概念的理解。

3.2. 能力建构：理论、设计、操作与分析并重

融合教学通过两个递进式案例，构建了“理论建模－方案设计－实验操作－数据分析”的全链条能力训练体系。

理论建模能力。两个案例分别需要建立不同的力学模型。案例一需建立弯扭组合变形的力学模型，将应力状态理论、组合变形理论和广义胡克定律整合为完整的分析框架，计算主应力的理论值；案例二需建立圆轴扭转的力学模型，运用扭转理论分析剪应力在横截面上的分布规律，由扭矩与剪应力的定量关系推导主应力的方向与大小。

方案设计能力。学生需要自主设计电测方案，包括应变花的选择与粘贴位置、测量电路组桥方式及温度补偿方案，合理利用惠斯通电桥的加减特性消除无用应变分量或提高灵敏度。

实验操作能力。两个案例分别训练了应变花粘贴、应变仪操作、测量电路组桥、集流环连接等技能，完成了从基础操作到综合应用的能力过渡。

数据分析能力。两案例均需学生完成“理论值计算－实测值获取－对比分析”的闭环任务，并从理论模型假设、实验方案和操作、测量仪器三个层面溯源分析偏差原因。

3.3. 思维进阶：认知闭环的递进与迁移

两个实验的知识目标各有侧重——案例一针对弯扭组合变形静态测量，案例二针对圆轴扭转动态测量。知识内容存在部分交叉却不可替代，认知层面则形成隐性递进：学生先后两次经历“理论－验证－修正”的完整过程。

案例一的知识目标是掌握弯扭组合变形下的理论计算与电测方法，学生在案例一中经历从理论推导、方案设计到误差溯源的全程，自然形成了一套基本的分析习惯。案例二将实验对象由静态受力变为旋转轴动态测量，条件更复杂，不确定性显著增加，但多数学生能运用案例一中形成的分析习惯，针对温度效应、集流环接触噪声等动态系统偏差主动溯源。部分学生的关注点已从“结果对不对”转向“偏差是电桥带来的还是测点贴歪了”。这种追问本身即反映出认知框架的自觉迁移。两个实验知识内容独立互补，在思维训练上形成自然递进。

3.4. 教学综合效果

本研究选取某应用型本科院校机械类专业 2024 级两个自然班作为研究对象。试验班 45 人, 采用融合教学模式; 平行班 43 人, 沿用传统教学模式。两班学生入学成绩及前期相关课程(高等数学、大学物理)平均成绩无显著差异($p > 0.05$), 分组方式为自然班级建制, 未做额外筛选。为控制潜在混淆变量的影响, 两个班级的《工程力学》与《传感器与检测技术》课程均由同一教师团队授课, 学时相同, 使用相同教材和期末试卷, 唯一差异在于是否实施融合教学。

实施融合教学改革的试验班与同届平行班级在相关教学评价分项中的得分率对比如图 2 所示。工程力学期末试题中, 组合变形计算题试验班得分率为 68.6%, 扭转变形计算题试验班得分率为 75.2%, 均显著高于平行班(54.7%和 52.3%)。传感器与检测技术期末试题中, 电阻应变式传感器综合设计题试验班得分率为 70.8%, 而平行班仅为 53.5%。平行班两门课程的实验成绩独立开设, 得分率分别为 75.4%和 76.1%, 试验班以融合形式开设, 得分率为 86.0%。

上述数据显示, 试验班在各相关教学评价分项上的得分率均高于平行班, 其中传感器综合设计题差距最大(17.3 个百分点), 组合变形计算题次之(13.9 个百分点)。试验班实验成绩得分率较平行班两门课程独立开设实验的平均成绩提升约 10 个百分点。

为进一步验证差异的统计学意义, 对两组数据进行了独立样本 t 检验。检验结果显示: 组合变形计算题($t = 2.38, p = 0.019$)、扭转变形计算题($t = 2.01, p = 0.047$)、电阻应变式传感器综合设计题($t = 4.32, p < 0.001$)的差异均具有统计学意义。平行班两门课程独立开设的实验成绩平均得分率为 75.8%, 试验班融合实验成绩为 86.0%, 差异显著($t = 12.82, p < 0.001$)。工程力学两道计算题的 p 值均小于 0.05, 说明融合教学对工程力学课程的学习效果产生了积极影响; 后三项评价项目的 p 值均小于 0.001, 差异更为显著。

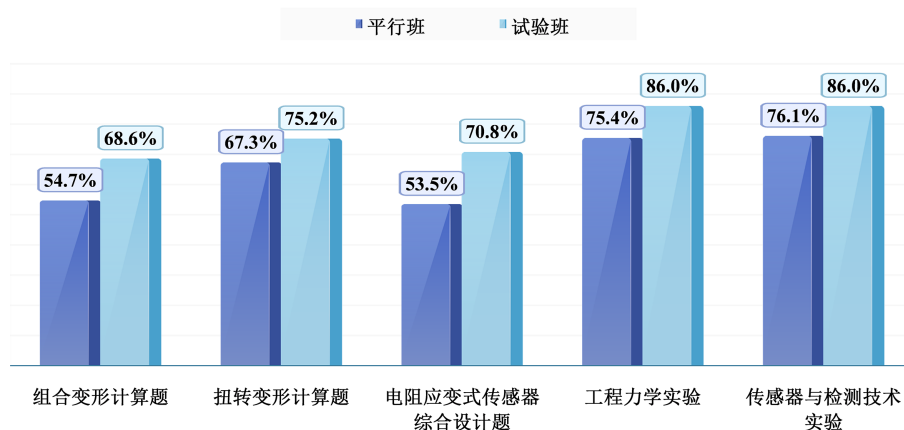


Figure 2. Comparison of score rates of teaching evaluation items

图 2. 各项教学评价成绩得分率对比

调查问卷显示, 82.6%的试验班学生认为“力学课阶段了解理论的可验证性”对其理解公式物理意义有较大帮助; 76.1%的学生表示“因为知道将来要验证, 所以会更注意公式的适用范围和假设条件”。这表明融合教学对学习效果的提升, 源于学习动机和认知方式的转变。

4. 结论

以综合性实验为载体的《工程力学》与《传感器与检测技术》课程融合教学, 使力学公式获得了“可验证性”, 使传感器原理获得了“物理根基”, 有效破解了传统教学中“会算不懂用、会测不知意”的困

境。两个案例螺旋递进,使学生在掌握知识技能的基础上,进一步实现从验证型思维向设计型思维的转变。通过构建“理论建模-方案设计-实验操作-数据分析”的全链条能力训练体系,学生的理论分析、方案设计、实验操作和数据分析能力得到系统提升。学生亲历“理论预测-实验验证-反思修正”的完整认知闭环,在提升学习成绩与知识应用能力的同时,有效促进了科学思维的形成和工程意识的树立。

两个案例的价值更在于提供了一种可迁移的教学设计逻辑——“力学理论-检测方案-实验验证”。这一逻辑可向力学课程各模块及多类力学量传感器辐射推广,使融合教学从“两个案例”走向“全面覆盖”。以综合性实验为载体的融合教学模式,是应用型本科在有限资源条件下推进跨课程教学改革的有效路径。

基金项目

上海电机学院 2025 年数智课程建设项目、上海电机学院 2026 年数智课程建设项目和上海电机学院 2025 年课程思政示范课程建设项目资助。

参考文献

- [1] 周义龙. 应用型本科课程体系构建的原则[J]. 职业技术教育, 2009, 30(8): 28-29.
- [2] 金方婷, 王佳林, 万云仙, 等. 应用型本科高校大学生就业能力培养策略分析[J]. 就业与保障, 2024(2): 169-171.
- [3] 喻发全, 杨克平, 刘根炎. 实然、应然、适然: 工程教育课堂革新研究与实践[J]. 中国大学教学, 2026(Z1): 65-71.
- [4] 单辉祖, 谢传锋. 工程力学(静力学与材料力学) [M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2020.
- [5] 胡向东, 等. 传感器与检测技术[M]. 第 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2021.
- [6] 姚征, 孙先念, 夏冬生, 等. 工程力学课程向专业课程体系融合的教学创新与实践[J]. 力学与实践, 2026, 48(1): 152-160.
- [7] 韩雪. 课程整合的理论基础与模式述评[J]. 比较教育研究, 2002(4): 33-37.
- [8] 翁伟斌. 应用型本科人才培养质量标准: 基本特性和推进策略[J]. 四川师范大学学报(社会科学版), 2018, 45(3): 62-68.
- [9] 魏莎, 亦诚, 宋丽芬, 等. 架起力学与实践的桥梁——“力学与实践”课程建设[J]. 力学与实践, 2022, 44(4): 974-976.
- [10] Kolb, D.A. (1984) *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice-Hall.
- [11] 张执南, 张国洋, 朱佳斌. 基于 Kolb 体验式学习循环的创新设计能力培养[J]. 高等工程教育研究, 2020(1): 74-78+136.
- [12] 冯英先, 徐志洪, 董雪花. 材料力学实验教学改革实践与探讨[J]. 力学与实践, 2002, 24(4): 59-60.
- [13] 邢明录, 赵增辉, 尹延春, 等. 基础力学自主创新设计案例与教学实施[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(2): 102-105.