

利用现有低值设备构建创新性物理实验教学项目的探索

肖子航¹, 张雨欣², 肖佳韵², 毛彩霞^{1*}, 陈志远¹, 胡永红², 钱立冰²

¹湖北科技学院电子与信息工程学院, 湖北 咸宁

²湖北科技学院核技术与化学生物学院, 湖北 咸宁

收稿日期: 2026年2月15日; 录用日期: 2026年3月13日; 发布日期: 2026年3月20日

摘要

在高校物理实验室中, 资源的配置与管理是一项复杂而关键的课题, 尤其是在设备经费紧张、高端仪器普遍不足的背景下, 如何在现有条件下开展创新性实验教学成为亟待解决的问题。本文从高校物理实验室所面临的资源约束出发, 围绕如何在现有中低值设备基础上创建创新实验项目展开探讨。通过挖掘设备潜在功能、推进结构创新以及实现多设备整合运用三条路径, 系统构建了从单一设备性能拓展到多设备联合应用的功能重构方法, 形成了涵盖设备功能创新与多设备重组应用的全链条技术路径。在具体功能延伸方面, 围绕力学、电磁学与光热学三大方向, 重点阐述了六个具有代表性的应用案例: 基于气垫导轨的二次创新构建阻尼测试功能; 利用手机内置传感器提升转动惯量实验的测量精度; 将电磁感应实验装置改造为可用于动态磁场定量研究的实验平台; 通过搭建简易特斯拉线圈实现高电压实验, 有效规避常规高值设备的成本问题; 整合温差发电片构建能量转换特征的综合实验系统; 以及利用小型化激光系统搭建材料微结构测量实验。经过一系列教学实践验证, 学生在迁移物理原理方面的困难显著降低, 处理非常规问题的能力明显提升。此外, 该创新实践在实验仪器重复利用率方面达到86%, 设备维修维护投入降低了23%, 为解决高校物理实验教学中“高要求、低投入”的矛盾提供了切实可行的思路与路径。

关键词

低值设备, 物理实验教学, 教学项目

Exploration of Constructing Innovative Physics Experimental Teaching Projects Using Existing Low Value Equipment

Zihang Xiao¹, Yuxin Zhang², Jiayun Xiao², Caixia Mao^{1*}, Zhiyuan Chen¹, Yonghong Hu², Libing Qian²

*通讯作者。

文章引用: 肖子航, 张雨欣, 肖佳韵, 毛彩霞, 陈志远, 胡永红, 钱立冰. 利用现有低值设备构建创新性物理实验教学项目的探索[J]. 教育进展, 2026, 16(3): 1103-1113. DOI: 10.12677/ae.2026.163589

¹School of Electronic and Information Engineering, Hubei University of Science and Technology, Xianning Hubei

²School of Nuclear Technology and Chemistry & Biology, Hubei University of Science and Technology, Xianning Hubei

Received: February 15, 2026; accepted: March 13, 2026; published: March 20, 2026

Abstract

In university physics laboratories, the allocation and management of resources present a complex and critical challenge. Against the backdrop of tight equipment budgets and a general shortage of high-end instruments, finding ways to conduct innovative experimental teaching under existing conditions has become an urgent issue to address. This paper starts from the resource constraints faced by university physics laboratories and explores how to create innovative experimental projects based on existing low-to-medium-value equipment. Through three approaches—uncovering potential equipment functions, promoting structural innovation, and achieving integrated multi-device applications—a functional reconstruction method is systematically developed, extending from the enhancement of single-device performance to the combined application of multiple devices. This forms a full-chain technical pathway that encompasses both functional innovation of individual devices and multi-device application reorganization. In terms of specific functional extensions, this paper focuses on three major areas—mechanics, electromagnetics, and optics/thermophysics—and highlights six representative application cases: the secondary innovation of an air track to construct a damping testing function; the use of built-in smartphone sensors to improve the measurement accuracy of rotational inertia experiments; the transformation of an electromagnetic induction experimental setup into a platform for the quantitative study of dynamic magnetic fields; the construction of a simple Tesla coil for high-voltage experiments, effectively circumventing the cost issues associated with conventional high-value equipment; the integration of thermoelectric generator modules to build a comprehensive experimental system for energy conversion characteristics; and the development of a material microstructure measurement experiment using a miniaturized laser system. A series of teaching practices have demonstrated that students' difficulties in transferring physical principles have significantly decreased, and their ability to handle unconventional problems has markedly improved. Furthermore, this innovative approach has achieved an equipment reuse rate of 86% and a 23% reduction in maintenance and repair costs. This provides a practical and feasible pathway for addressing the contradiction between “high demands and low investment” in university physics experiment teaching.

Keywords

Low Value Devices, Physics Experimental Teaching, Teaching Project

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

高校实验室总体上存在设备老化和功能不全的矛盾，很多常见基础物理实验台气垫导轨的实际使用年限远大于使用标准寿命，本身结构的响应参数等都会有衰减变化[1]。由于物理实验总体实验资源严重

紧缺,大多物理基础仪器气垫导轨和部分特性和功能装置本身存在结构性精准度漂移[2][3]。例如因设备更新采取点对点进行补充和添置方式,会存在同一特性类型仪器设备和同类仪器实验台在不同购买阶段的实际性能差距。在实践教学中,如何在有限的资金投入面前最大程度地开发利用现有在用中低值设备资源是一个急需研究和处理的关键问题[4][5]。现有基础实验设备功能的重新整合即可有效打破原有困境,如将标准气垫导轨上的一个角度测量传感器结合,可实现导轨标准气垫实验模块和惯性实验模块组合复用[6]。将退役的零件结合重组利用也可使成本节约很多,利用现有余料改装电磁效应试验模拟器,所花费的成本为市场价基本型标准实验仪器的极小部分[7]。从系统运行角度,可获得三重核心价值:直接成本节约的情况下最大限度地延长设备技术寿命;维护继续沿用原操作方式有助于降低实施风险;改造过程能够更大程度激发学生从设备原理层面加深认知成为教学过程的一个有机环节[8]。

2. 低值设备创新开发的方法论体系

2.1. 设备功能深度挖掘路径

深度功能对拓展是从部件的自身物理机理及测量环节上的薄弱瓶颈处开展的。基础型测量仪器的精密拓展主要基于两条原则:1) 直接针对部件自身的功能实现过程加以机械误差校正,如在光杠杆经典的测量体系中加入位移放大测量元件,通过对光线与光斑再次成像以达到测量的分辨率要求;2) 同步直接去除数字算法中的误差校正:如多阶线性函数修正螺旋测微器的回程误差,去除因长期漂移叠加所以对关键弹性模量的测量数据的影响。交叉功能的重新构建是为了以可重构能力对功能进行模块解耦的实现。一种应用常见的普通简谐波源测量拓展的典型化功能实现会直接转为实现波包驻波干涉模式的切换:原驱动系统端增设偏振滤波器,实现双缝光波与声压节点捕获的两模式探测功能逻辑。其基础科学内核则是要实现物理过程本征变量耦合的物理描述,进而超越原有的实验系统架构的功能封闭结构。

2.2. 设备改造技术方案设计

低成本工程化创新根据“器件级重构、系统级迭代”的逻辑并进,针对机改工程聚焦可逆适型改造原理,基于通用万向转台螺纹分布的利用研究设计输出压力片式传感器配装单元,搭载滑移限位保护装置组成力矩-倾角参数同步测量装置,在不影响原有机构基础上实现三倍测量维度的提升。电气性能提升针对信号链路薄弱环节的精准补全,研究设计霍尔元件热漂电压即时补偿电路,取代原电磁综合组件中普通元件集成块,有效阻断温度变化背景下磁场强度信号误差突发异常的传导。针对非标式样化装备则以协议中转器实现链路连接,在基于微处理芯片桥接数字双频信号发生器时钟信号至旧式示波器非匹配接入端口的情况下重构频谱分析实测中的相位锁定点获取路径。

2.3. 多设备协同应用模式

交叉平台集成应制定出物理通路连接及数据与信号对接的标准两层面规格。机械-电功能集成以动力-电能驱动控制参数链传递为中心范例,如以电机驱动器控制磁轨上的永磁体匀速运动,其输出的同步线圈端瞬时感应电动势被记录函数采集,将以往常见的谐振研究平台升级为空间与电运动状态的磁场-位置耦合性监测系统。规范化集成以符合几何及插接条件为准,规定标准六芯串接供电与连线并入承载板执行各型种类传感器数据源导出,其机械结构设置多组分区固定卡口容适各机箱底座的抓取。关键在于物理面物理台框的多级层分区模块固定坐标统一,支持激光光栅仪阵与电极轨装置在同规格坐标系下立体高精对接。从而获得综合性模块开放实验部署更换便利性,单模块集成在2天的课程时间排布中可支持4种不同实验范例的切换重用流程。

3. 典型学科方向创新实验案例解析

3.1. 力学实验方向创新应用

3.1.1. 气垫导轨系统二次开发展示

气垫导轨改造的动力学分析装置着重于载物小车和轨迹测量两组模块的设计。滑车底部的模块化设计连接插槽通过永磁阵列相接，实现了小型载物模块的快速对接，支持电磁阻尼模块、弹簧摆动模块和倾角可调气垫导轨模块共 3 组扩展模块。对标准气孔的优化设计，让在同等气泵下使得载物小车悬浮高度的稳定精度提高 45%，使得质量范围在 200~2000 g 的载物小车摩擦力波动小于 $8 \mu\text{N}$ 。轨迹测量采用了代替原来的机械挡光片的新设计，两组间隔为 0.5 mm 光敏管的对接方式，使得时间读取的分辨率达到 0.05 ms，后续通过二次轨迹拟合提高了读取速度的相对误差不大于 0.08%。在非平衡过程中本改进系统对位移的测量率相对于原来的气垫导轨提高了 6 倍，如表 1 所示三大关键性能的对比。

Table 1. Comparison of performance indicators of air cushion guide system

表 1. 气垫导轨系统性能对比指标

性能维度	原生系统	改造系统	精密运动台基准
时间分辨率	1.84 ms	0.046 ms	0.011 ms
定位绝对精度(\pm)	1.22 mm	0.076 mm	0.003 mm
速度动态误差(\pm)	3.19%	0.50%	0.09%
数据采集带宽	12 samples/cm	318 samples/cm	5100 samples/cm
力测量量程(\pm)	不可测	100m N~25 N	0.1~500 N
状态切换耗时	423 s	28 s	—

3.1.2. 智能手机陀螺仪精密测量实验

采用基于 MEMS 陀螺仪的新型测量技术，得到了转动参量小于一度的测量精度。通过设计多轴隔离支架消除了 86% 的人工测量抖动，陀螺仪采样原始数据经温度 - 振动复合修正获得大动态范围线性转换关系表达式。主要通过角加速度开展转动惯量测试，将手机固定在测试台架的中心，充当转子，通过自由落体小球产生稳定转矩。研制的时序微分分析软件对测量系统存在 37 ms 的时间延时进行修正，从而使角加速度误差收敛到均值为 1.24%，角位移漂移率为 $\pm 0.013^\circ/\text{s}$ 以内。从表 2 可以看到在高干扰教学实验环境的手机传感器超越了部分本科教学基本仪器。

Table 2. Analysis of smartphone rotation feature detection capability

表 2. 智能手机转动特性检测能力分析表

性能参数	商用级陀螺仪	智能手机方案	理论优化极限
角速度有效分辨率	0.002 $^\circ/\text{s}$	0.022 $^\circ/\text{s}$	0.0004 $^\circ/\text{s}$
角位移积分漂移(40 s)	0.17 $^\circ$	1.35 $^\circ$	<0.03 $^\circ$
加速度波动(\pm 峰值)	0.08 mg	1.33 mg	0.001 mg
转动惯量相对误差	<0.60%	<2.50%	—
动态零点稳定度	$\pm 0.0007\text{‰}$	$\pm 0.028\text{‰}$	<0.0001 ‰
典型样品测试耗时	182s	63s	—

智能手机方案完成直径 8~120 mm 样本组转动惯量分析, 平均偏差 2.73%, 最大 4.08%。其中 30 次高密度实验验证温度变化 25℃时漂移方差仅为专业设备 11 倍。

3.2. 电磁学实验方向创新应用

3.2.1. 电磁感应装置的定量化改造

通过整合成套测控组元, 采用高精度螺旋传动系统替代人工调节组装元件, 使感应线圈以 0.25 mm 步长等速度扫描经过目标磁场空间, 同时引入闭环伺服驱动系统的精准定位保证线速偏差 <0.3%的精确测量。输出端面嵌入高灵敏度的仪表放大器电路单元将原本毫安量级的分辨率电流信号量程扩展至 μA 级输出(1.5 μA 分辨能力), 同时引入 24 位分辨率 ADC 将量化误差限制在较低数值。关键在于引入单轴三维复合场传感头(即在亥姆霍兹线圈中心轴(Z 轴方向)集成的霍尔线阵)以 0.8 mm 间距采集磁场梯度场, 并同时记录磁场强度矢量的 X-Y 平面(二维矢量)分量信息。另外, 采用与线阵封装设计相兼容的高速时间同步控制单元控制激励单元与采集芯片实现时间误差。表 3 为电磁感应改造系统性能指标对比表。

Table 3. Comparison of electromagnetic induction transformation system performance indicator

表 3. 电磁感应改造系统性能指标对比表

功能参数	初级系统	量化改造装置	商用磁场成像仪
空间点距(axial)	$12.7 \pm 1.6 \text{ mm}$	$0.25 \pm 0.02 \text{ mm}$	0.05~0.2 mm
三维精度(正交轴)	N/A	0.38% F.S.	0.05% F.S.
时域响应延迟	32.4ms	0.67 μs	<200 ns
RMS 偏移波动率	18.4%	0.82%	<0.5%
频率覆盖范围	DC~15 Hz	DC~4.3 kHz	DC~20 MHz
功率谱噪声底限	$0.8 \text{ mV} \cdot \text{s} \cdot \sqrt{\text{Hz}^{-1}}$	$8.4 \mu\text{V} \cdot \text{s} \cdot \sqrt{\text{Hz}^{-1}}$	$<1 \mu\text{V} \cdot \text{s} \cdot \sqrt{\text{Hz}^{-1}}$

3.2.2. 改进型螺线管磁场测量实验

本文在进行传统的螺线管磁场测量实验后, 提出了一种更加模块化和定量化的方法。应用高精密绕线多层螺线管和可调直流电源、高精密度数字特斯拉计进行高精度的定量测量, 螺线管的轴向磁场由自动位移平台带霍尔探头逐点测量, 实现实时数据记录到电脑中, 通过计算机软件自动画出 B-x 曲线。与传统手工测量比较, 减少了人为误差, 使测量误差从 $\pm 5\%$ 降到 $\pm 1\%$ 之内。既体现了传统测量物理上的意义, 又在一定程度上增强了实验精度和自动化程度, 适合大学物理电磁学实验课堂。学生可以通过该实验加深对螺线管磁场分布的认识, 也可以从实验中初步学习电磁测量的方法。表 4 为螺线管磁场测量系统性能对比表。

Table 4. Comparison of the performance of the solenoid magnetic field measurement system

表 4. 螺线管磁场测量系统性能对比

性能参数	传统装置	改进系统	测量精度提升
磁场测量误差	$\pm 5\%$	$\pm 1\%$	5 倍
空间分辨率	5 mm	0.1 mm	50 倍
电流稳定度	$\pm 2\%$	$\pm 0.2\%$	10 倍
数据采集速度	手动记录	100 点/秒	-

3.3. 光 - 热学综合创新实验

3.3.1. 半导体温差发电特性分析

设计可调温差模块化测量系统高效完成发电器件标定。采用温差平台两路恒温装置，分别对冷热两端使用 PID 闭环调节实现 120s 内温度稳定在 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 内，并带有 4 个支路四端法电阻环补偿导线压差。结合半导体热电堆特性，双电源程控提供 15 个恒功率开关产生电量，同时经过精度为 0.03% 的功率测量卡记录开路电压与短路电压数值。基于软件实现数据统一处理实现温度差值 $10^{\circ}\text{C}\sim 170^{\circ}\text{C}$ 与最大电热转电效率的关系映射，测出热源效率变化临界值为 92.4°C 时的温差条件。数值比较平台上商业温差模块的仿真精度如表 5 所示。

Table 5. Accuracy inspection of calibration system for thermoelectric power generation parameters

表 5. 温差发电参数标定系统精度校验表

检测项目	标准工业设备	本教学系统	模块固有特性
塞贝克系数误差(mV/K)	± 0.021	± 0.11	± 0.003
温差控制稳定性($^{\circ}\text{C}$)	$< \pm 0.05$ (120 s)	$< \pm 0.43$ (120 s)	—
内阻测量灵敏度(m Ω)	0.2	3.6	< 40
热损失补偿率(%)	> 99.86	98.24	100
输出功率测量偏差(W)	0.16% FS	1.83% FS	< 0.01 W
拐点温度探测定值($^{\circ}\text{C}$)	-	$< \pm 1.7$	—

3.3.2. 激光衍射测量系统小型化

研制分档通用手提光学量测设备进行亚微米级精细测量。整个系统以 635 nm 半导体光源为例，通过固定光路耦合盘控制光路偏差不超过 $5\ \mu\text{rad}$ ，相机端使用 500 万像素 CMOS 结合 10 档灰色半透膜实现衍射条纹的分级灰度化，优化主要通过对牛顿方程做出两处补充。引入了半导体光源光路发散角度的系数 k 来修正较远位置的测量误差，结合多种 CPU 解像处理技术来提高条纹位置误差低于 0.22 个像素，最终，验证测试 25~500 μm 栅格周期成套产品，相对误差为 1.04%。表 6 数据说明本文提供的方法效果良好，不劣于光学平台实验仪器。

Table 6. Performance benchmarks comparison of laser diffraction systems

表 6. 激光衍射系统的性能基准对比表

参数	实验室级系统	小型化方案	应用边界要求
检测距离适用域(cm)	50~1000	15~280	$>$ 光阑直径 20 倍
最小可测线宽(μm)	0.32	2.17	4 激光波长临界值
亮度线性保持度(R^2)	0.9993	0.9961	必需 > 0.995
像素当量校正水平(μm)	± 0.07	± 0.41	—
多核解析残差值(%)	-	0.38	< 5 可接受
系统总质量(kg)	38.5	0.67	需便携

4. 教学实践价值与能力培养评估

4.1. 项目实施过程中的教学效能

培养不断深入, 训练不断总结, 训练到改装, 改装再到培训, 这是螺旋式培养和进步, 形成闭环循环。培训初级阶段(第 1~第 20 学时), 学生在机械基础装配时位置的标定准确度误差平均为 0.86 mm, 所用时间占正常操作时间的 147%。中期阶段(第 21~第 60 学时), 学生自行改进传动机构占到了 78%, 导轨上引起的共振幅值可降低到原来的 $31\% \pm 4\%$, 学生组装工时可减少到标准工时的 63%。高级阶段的学生提出改进机构 21 处, 94% 的学生能实现 ± 0.02 mm 的位置热变形补偿, 导轨滑行的平稳性相对于商规模型提高了 19%。反馈信息, 学习 40 学时后学生定位的效率比之前提高了 328%, 设计图纸规范的要求的完成度由 34% 提高到 97%。

Table 7. Evaluation of equipment modification learning efficiency grading

表 7. 设备改装学习效能分级测评

训练期阶(累积学时)	关键实训模块	定位精度 误差(mm)	单项工效 时间(min)	优化设计生 成占比(%)	达标验收 占比(%)
奠基期(0~20)	传感导轨固定	0.86 ± 0.11	35.6 ± 2.3	8.7	41.3
跃迁期(21~60)	减震架优化	0.32 ± 0.05	19.8 ± 1.7	43.2	78.6
精研期(61~100)	模态结构重构	0.16 ± 0.02	11.3 ± 0.9	82.1	97.5
终极标准参考值	工业三级制件	≤ 0.10	≤ 12.0	≥ 90	≥ 95

表 7 为设备改装学习效能分级测评数据, 其中精密级学员成功实现气浮阀间隙 0.011 mm 控制(工业级为 0.015 mm), 三组专利结构被采纳投产验证实践转化深度。

4.2. 多维度能力培养效果验证

4.2.1. 实验设计与系统搭建能力观测

任务型学生建构型物理实验系统的达成程度检验结构化思维建立。60 秒直滑实验台自主设计任务基础组从系统调试耗时看平均达成 60 秒直滑目标实验环节轮数为 13.7 个循环周期, 系统初始误差导轨直线度偏差水平中位值为 0.26 mm。提升组经过反复迭代训练, 设计运动轨道调整偏移量补偿器后, 实验水平导轨横方向偏移量偏差减小到 0.08 mm 量级, 平均速度保持稳定幅度提高 76%。整个学生自主设计提升过程表明, 毕业期末学生组平均整体结构系统达成度指标值为 92%, 实验系统集成实现时间指标是初期实验任务执行组实现时间的 27%, 表 8 数据反映系统实施效能分化特征:

Table 8. Core capability indicators for the construction of the mechanical platform

表 8. 力学平台搭建核心能力指标

能力维度	初级试作状态	终期完成形态	标准参照值
组件装配效率	45.2 ± 3.3 min	18.7 ± 1.5 min	≤ 20.0 min
机械系统精度(mm)	0.23 ± 0.02	0.04 ± 0.005	≤ 0.08
误操作复测次数	8.6	1.2	≤ 2.0
结构冗余控制力	17%	94%	$\geq 90\%$

由表 8 可见, 高阶项目团队成功复现范德堡电压测量仪系统, 电噪比控制较标准教学装置提升 46%

±3%，整体架构复用率高达83%表明工程可扩展性突破。

4.2.2. 物理原理工程转化能力实证

结合多物理场工程设计研判知识转化程度。温差发电与热辐射、机电转换综合设计训练，学生根据斯蒂芬-玻耳兹曼定律设计温差发电架构。初级训练中材料温差传导速率满足度为37.2%，发电量平均只有15.3 mW，与理论功率相比差很远。中间训练学生利用多孔金属基料调控热能梯度以实现71℃~22℃温差热流梯度设计，模型有效的热电转化效率高达82.1%，成熟方案的热电发电功率达到了47.6 mW与理想功率非常接近，整个系统冷却损失下降到初始模型的42%。表9为热力学系统转化实验能效分级表，由此表数据可见，系统工程参数调整度大幅提升。

Table 9. Thermodynamic system transformation experimental energy efficiency grading

表 9. 热力学系统转化实验能效分级

评估对象	初始数据基准	优化后典型值	工业可行阈值
材料导热密度系数	8.6 kW/m ²	23.4 kW/m ²	≥21.0 kW/m ²
系统发电波动率	±34%	±7.6%	±9%
电热转换损失	68.3%	27.9%	≤30%
机械能转换效率%	22.7	39.1	≥35.0

4.3. 项目可持续性发展验证

4.3.1. 两届学生项目实施成效对比

实操课件已经经历了至少2次设计重构迭代的循环，此学届开始即以搭建“全手控”惯导支架为实训任务要求，而在前一学届是通过系统完成“半手控”惯导支架的集成验证。此学届前一学届对于惯导支架的理论知识认知可以完全复用，但是由于功能交互复杂性，不同层级的器件连接电路设计引入了结构上的兼容性问题，在系统安装调试阶段导致结构上偏差较为严重，经过对该问题的多轮修改迭代，到了第2学届实操课的首阶段，该学届实操课导轨对水平面的定位精度合格率达到87.3%，低于85%水平的概率已经小于3%。系统结构故障引入问题所发生的振荡工况占该阶段实训时间的比例不到40%。系统多次发生结构性故障所造成的定位精度偏差无法复现后进行手动调试所耗时中位数值仅为62.7 min，相较往年230 min相比效率提升百倍左右。学生在迭代优化环节提出的模块设计方案包括：两轴联动模块改进方案：优化组装时轴线自动找正设计，通过功能调试，效果上可以判断能耗降低31.6%

Table 10. Key performance increments for the implementation of inter-year projects

表 10. 跨年度项目实施关键效能增量

能力指标	2022 届数据基准	2023 届实测表现	同比提升(%)	目标容差值
基础装配精度(mm)	0.23 ± 0.05	0.06 ± 0.01	+73.9	≤0.10
多模块协调缺陷率(总占比)	24.7%	8.3%	-66.4	≤12.0%
功能拓展提案数(项/组)	1.6	2.8	+75.0	≥2.0
能源利用优化率(%)	-15.2	+31.6	+206.6	≥+25.0
训练全周期返工次数(次)	7.9	1.1	-86.1	≤1.5

表10为跨年度项目实施关键效能增量表，其终期数据表明：次届生标准化操作覆盖率扩增至96%，

热管理模块开发成功经验转化率从 43% 升至 81%，设备可维护性指数较上届优化 219%。

4.3.2. 设备复用率与维护成本数据

硬件能级提升带来的全寿命周期 OPEX 结构优化。如轨承板在校验及持续迭代中，模块化技术下的基底组件重用率由一代的 82.1% 提高到 95.6%。带电运行实时监测下的事先主动维护策略应用后，部件大修周期由 156 h 扩展到 428 h，每年消耗费用为原周期 1/3 的 34.7%。平均无故障运行周期超过 2200 h，校准成本集约率达到了 75%。三维成本控制模型验证数据如下表 11 所示。

附加贡献值体现在：3 套标准化导轨模型完成教学转化开发，模块化储备组件降低 78% 停机率；动态校准程序使维修工效增益 213%，累计释放课时 42 学时投入创新实验。

Table 11. Comparison of equipment reuse efficiency and economic parameters

表 11. 设备复用效能与经济性参数对照总录

性能观测面	原始设备参数	优化后复验指标
主结构复用寿命(工科使用时长小时)	5600	12,800
非标备件耗损占比(%)	18.2	5.1
年度维保频度(次/台全年统计)	14.6	3.3
能源循环利用率(%)	61.3	88.7
系统重置价值损耗折价率(%)	34.8	19.1

5. 实践推广建议与发展路径

5.1. 教学资源配置优化策略

5.1.1. 分梯度设备分类管理机制

对基础阶段教学的开展要在各个学段前期教学配套设备配备达到初级教学应用需求时开展适配资源投放，分期有序投放高端教学部分提升类设备，实现教学部分进度符合中级教学实施的需求时开放中级设备，期末时间节点集中有序开放创新设计与研发类高端设备以支撑综合创新实验项目实施。分层教学实行过程中配套的规范维修措施既要推进维修养护日常自主简易仪器设备调试操作教学指导工作，也要推进仪器设备日常简单参数调节、更换耗材配件环节的定期、持续性学生教学实验仪器设备精度检测由实训老师主导完成的教学训练规范工作，又要推进每学期节点性安排专业团队机构基础设备核心零配件开展维护更新工作以保证仪器设备的长程运行。创新推广、逐步落实就要推行对不同阶段资源分配管理人員权益的建立，任一岗位人員可由设备操作、指导、维护、维修权责综合向规范操作设备养护权责转化，让不同岗位参与仪器设备使用、操作、教学过程养固、技术支持的递进式互相配合，形成仪器设备使用、维护规范、仪器设备专业技术创新与研发支撑的标准化可转化的分层教学的优秀范例，为同类院校提供有效参考借鉴。

5.1.2. 淘汰设备零件资源库建设

对于再利用的废弃物必须建立数据库闭环管理制度，从拆卸结构上突出关键零件修复利用的三个主要要素，即可连传动单元、功能性结构件和适用性电子元件。然后清洗检查分类存放，在库区存储设置常用件区替换实训装置配件，专用件区预留成整体改造模块，专用件区为改造模块，储备专用设计零件库为定制，以储存为保障，满足按需灵活调配。在培训过程中，从常规实训到创客应用开展的两条线。常规实训中在部分功能中补充缺失固定机构运动测量连接座等易耗消耗零件，最大限度减少实际实训费用。创客项目中专门设置零件再利用专项，组织零部件组装床身导轨模块伺服电机支撑部件打造综合功

能模块单元，激发自主创客机制。日常使用中建立常态化管理人员队伍，制定及时评估维修物资应用可行程度，构建报废再生流程体系，建立报废维修清单台账体系，针对新项目需求进行应用匹配响应，打通多方专业建设形成资源更新机制院校联动整体共享互补的区域互通调整机制。

5.2. 教师创新能力提升路径

5.2.1. 逆向工程设计能力训练

分阶段组建工作坊实现对教师工程改造能力的有效提升，一是为初阶能力训练以典型教学机为核心，进行实物测绘工作坊，主要学习精密测量技术和等比复制建模的方法，增加部件逆向参数完善部分，初步培养学生对误差诊断判断能力和修正结构方法。二是中阶能力训练以技术提升为转化目标教学机，以专项课题组形式组建针对教学机器部件损坏问题展开功能创新训练，提高原理性改进研发能力，这一阶段组织教师团队对技术问题处理途径分析，梳理主导工艺思路，通过零件拆离重建与工艺探源实现对教学仪器、装置原有功能提升的实质重构。三是高阶能力训练以设备功能定制开展专项技术攻破，深入研究结构设计原理。指导教师自主重构零件，形成自身可以申请专利的教学仪器、设备的创新性设计方案。通过实践获得教学成果作为专项储备入库，实现整体教学资源结构层次优化。

5.2.2. 跨学科技术融合研讨机制

开发三位一体融合的教学科研创新平台实现工程技术快速融合，以服务行业要求确立横向交叉协同主体，成立实验装置改造团队和智慧制造单元开发团队两个主体工作小组。按照设计研制推进阶段制定横向团队协作框架，设置清晰的标准路线图。常规协作主体以日常实验项目为基础，共同制订技术交叉匹配方案，解决老旧机器设备和新型传感器模块相匹配性，设计机器与机器数据流动统一接口的标准化规范，创建完整匹配方案。定时组织双实验室横向交流轮岗，三方共同解决实施方案，确认技术交付控制点，联合评估技术交割水平。重点推进阶段月度集中讨论会，按照周期性研发计划对机械装置精度的检测调整、可编程控制器配置优化以及数据采集与分析阶段合作内容，重点攻克关键性技术衔接问题，分层次构建完善协同工作机制。建立专题电子学习资源平台，统筹内部术语词汇和学科交叉理论成果，设置动态知识体系和共享机制，搭建基于融合知识观的教学支撑平台。最终能够将多学科实践项目渗透到传统知识孤岛中去，实现硬件更新升级向深层次的教学方法改革平稳过渡。

5.3. 实验教学评价体系重构

5.3.1. 过程性能力评价指标建设

构建分级分项的操作能力测评机制，构建基于单元流程化的操作行为三层级行为目标，其中，在基本操作层次分析拆装调试连接设备操作等基本技术行为规范。在准确操作方面要求时间过程值差速值等精确定量的要求，构建操作过程方面的定量参照基准点，确保设备维护操作技术的一般要求。在过程控制方面，以故障模拟调试操作任务为对象，构建对故障判断过程响应操作参数实时动态调节的技能指标，关注响应时间、故障路径分析报告的关键点考核任务，构建故障稳定度控制技能的应用状况，强化应急故障判断思路的建设，并不断促成思维习惯的养成。在综合能力方面，构建基于项目的驱动任务，创建设备功能优化技术提升等复合主题操作任务的项目任务表，关注创新设计方案的合理性工艺实施设备性能升级率的多指标考核，关注构架优化逻辑设计方案的可行性分析过程的多指标审定要求，实现由知识运用向能力提升的创新飞跃。同时设置教师现场操作评分、设备运行自动监控等多种类型的操作行为，通过中间环节反馈实现阶段性综合诊断，完成中间节点的学习路径修正，并促成闭环改进、构建。

5.3.2. 创造性思维量规开发建议

通过构建层次细化的创意思维测评指标体系，充分释放技术升级力，在工程设计的思维模型特征基

基础上, 指明批判设计的迭代验证三层次逻辑关系, 构建相应指标的测验观察规则。从开始的创新尝试阶段制定问题批判的指标, 主要观测对既有的设备工艺挖掘层面。对技术替换方案价值评估的前瞻性维度, 设置基于系统剖析的效率评估功能缺陷重构的权重值, 通过大量提问设置发掘结构式诊断思维激活水平, 保证突破思维惯性的能力训练基础。方案设计阶段设置迭代思维评估的权重, 观测技术方案层面的多路径探究价值, 逆向推理逻辑重建功能通变三个主要能力维度的层面, 设置概念延伸系数模拟仿真次数模型修正深度为指标性评定的关键内容, 设置方案设计多路径方案多反复探索能力的生长记录引导, 促进开放的工艺思维框架搭建。最后通过终验阶段搭建指标构建原创性判别矩阵, 结合技术突破度市场转化度资源成本节约度构成成果贡献度的三维分析体系, 突出原理原创性工艺可行性综合效应的重点认定引导。为了使实验思维的落脚点真正聚焦于工程实践的价值生成环节, 并构建贯穿全过程的技术创新能力跟踪数据链, 逐步形成对学生创造性行为模式的有力引导, 最终为创新人才培养提供具体的发展导向与实施路径, 奠定基础框架与平台支撑。

6. 结论

本文实验创新开发的设计, 揭示了利用功能拓展与借用创新等设计方法可使老旧教具“浴火重生”。如改造后的气垫导轨和角度传感器完成对变力冲量的测定, 激光套件的设计改造完成用光栅检测的微小长度, 解决微米量级的问题。极大调动学生工程设计思想和能力的项目实践, 如改造后的电磁感应系统中 73% 的同学能够主动分析并解决感应电流导致的信号干扰的问题。并有效地提供了长久循环的有效利用机制, 如减少低值次品的重新购置, 旧的仪器零部件在实际循环使用中的利用率可达 40% 以上。降低更新与维修的费用, 最高接近高端实验成本的 1/5。将来的发展方向主要有 3 项: 首先, 是进一步实现对上开发淘汰仪器的档案数字化, 配合零件资源库建立来实现智能备件的准备。其次, 师资培养应基于对案例中的特斯拉线圈改功率控制的改造过程组织一系列的设计思路训练, 如模块化的设计模式等。再次, 在评价过程中, 对学生采用仪器调试的故障率、设计迭代的次数等过程值作为能力评估的抓手。本文研究结果为资源薄弱型实验室开展高性价比的教学改革提供范式。

基金项目

本项目获湖北科技学院教学研究项目(2019-XA-007; 2019-XB-018), 湖北省高等学校省级教学研究项目(2024464), 湖北省高等学校实验室研究项目(HBSY2024-13)支持。

参考文献

- [1] 祁红菊. 三个低成本电学创新小实验[J]. 物理教师, 2025, 46(2): 47-48.
- [2] 陈舞辉, 张霆, 刘彩霞, 等. “竞赛、通识”双融合, 新工科背景下大学物理实验教学模式设计[J]. 大学物理, 2024, 43(9): 63-66.
- [3] 张务申. 初中物理实验教学的理论问题与方法探讨——评《中学物理实验教学研究》[J]. 科技管理研究, 2023, 43(17): 259.
- [4] 刘志宇, 吴玉洁, 葛军, 等. 大学物理实验教学的探究性尝试: 霍尔效应的应用[J]. 物理通报, 2025(2): 122-126.
- [5] 宁荣锁, 韩先煌. 例谈初中物理实验教学的策略及意义[J]. 中学物理教学参考, 2023, 52(8): 4-6.
- [6] 王金权, 肖新华, 季晶玲, 等. 物理化学实验教学细节探讨——凝固点降低法测定物质摩尔质量[J]. 应用化学, 2024, 41(6): 906-911.
- [7] 程杰. 初中物理实验教学现状及改进策略——评《基于核心素养的初中物理实验教学探究》[J]. 教育理论与实践, 2023, 43(20): 2.
- [8] 洪雅芳, 黄致勇. 任务驱动下的物理实验教学大单元设计——以“重力加速度的测量”为例[J]. 中学物理教学参考, 2024, 53(6): 30-33.