

大学物理设计性实验中递进式教学环节的有效建构与实施

毛彩霞¹, 刘哲¹, 陈志远^{1*}, 钱立冰², 胡永红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: 2025年12月6日; 录用日期: 2026年1月7日; 发布日期: 2026年1月14日

摘要

设计性实验是提升大学生科学研究技能的有效抓手, 但长期以来, 教学设计目标不明确, 干预介入无时机, 评价反馈力度小的问题, 始终困扰着大学物理实验教学。基于大学物理实验教学特点, 本文提出了“引导-设计-实施-分析-评价”的三维教学框架, 并着重介绍各阶段对应能力发展的能力维度要求、教师的干预时机及认知支架建构、团队合作和个人探究阶段学习任务模块的分工、过程评价四维监控对学生能力发展及校本数据库更新四个方面的动态监控和持续保障等, 提出了逐步提升学生设计方案合理性、数据分析能力和创新迁移能力, 在力学、电磁学等典型实验模块中的大学物理实验教学改进建议, 并通过力学、热学实验等辅助器材和信息技术的改造提升方式和“云盘”等现代信息技术助力路径解决实践教学实验中实验资源不足问题。

关键词

大学物理, 设计性实验, 递进式教学

Effective Design and Implementation of Progressive Teaching in Design Based Experiments of College Physics

Caixia Mao¹, Zhe Liu¹, Zhiyuan Chen^{1*}, Libing Qian², Yonghong Hu²

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: December 6, 2025; accepted: January 7, 2026; published: January 14, 2026

*通讯作者。

文章引用: 毛彩霞, 刘哲, 陈志远, 钱立冰, 胡永红. 大学物理设计性实验中递进式教学环节的有效建构与实施[J]. 教育进展, 2026, 16(1): 1011-1020. DOI: 10.12677/ae.2026.161137

Abstract

Design-oriented experiments serve as an effective means to enhance college students' scientific research skills. However, for a long time, issues such as ill-defined teaching design objectives, untimely intervention, and weak evaluation feedback have persistently plagued university physics experiment teaching. Based on the characteristics of university physics experiment teaching, this paper proposes a five-dimensional teaching framework of "guidance-design-implementation-analysis-evaluation". It places particular emphasis on introducing the ability dimension requirements corresponding to the development of abilities at each stage, the timing of teachers' intervention and the construction of cognitive scaffolds, the division of labor in learning task modules during the team collaboration and individual exploration phases, and the dynamic monitoring and continuous safeguarding in four aspects: the four-dimensional monitoring of process evaluation on students' ability development and the updating of the school-based database. Furthermore, it puts forward suggestions for improving university physics experiment teaching in typical experimental modules such as mechanics and electromagnetism, aiming to gradually enhance students' rationality in design proposals, data analysis abilities, and innovative transfer abilities. Additionally, it addresses the issue of insufficient experimental resources in practical teaching through the renovation and upgrading of auxiliary equipment for mechanics and thermodynamics experiments as well as information technology, and by leveraging modern information technology assistance paths such as "cloud drives".

Keywords

University Physics, Design Based Experiments, Progressive Teaching

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

大学物理设计性实验依托开放任务开展科学思维的训练,是实践育人的有效途径[1]。有研究发现目前大学物理实验教学中存在的内在矛盾[2]:自主探究学习能力与教师主动操控教学模式的矛盾、复合型能力结构与单点式实验教学模式的矛盾以及有限实验条件与多样化创新实践能力培养的矛盾。延续传统的验证性实验教学导致学生自主实验设计过程的悬浮化、“华而不实”,能力的培养效果甚微[3]。本文以建构主义、认知负荷等相关理论为基础,从复杂探究任务的递进解决着手,提出“以多元递进分解结构复杂的过程目标,以过程单元阶段任务解决认知超载难题”的设计思路,即分阶段的能力培养目标和分层次、分模块的能力培养策略。以大学物理设计性实验环节的关联性机制为切入点,结合大学物理实验教学的需求,深入探究教师从“演示者”到认知导航者的动态转变路径、建立解决实验设计器材配套问题的资源重组机制,并从实验室操作的实践角度给出可循环使用的全流程解决方案[4][5]。

2. 递进式教学环节的梯度目标设计

2.1. 引导阶段的分层目标实现路径

启发环节的任务层次一般设计成三级:第一级的任务是构建实验模式,基础性的任务应该是让学生感受到如何用模式看待基本的物理现象,从而进行实验,即培养学生观察物理现象的基本规则。以牛顿

环实验为例,在教师的引导过程中应强调学生学会从现象中怎样识别出典型的等厚干涉条纹变化的意义,发展学生的光程差分析的基础思维[6]。第二级的任务是训练学生认知中的疑惑,即通过开放式的问题去启动自己寻找答案的条件:给定一个普通材料单缝衍射的结果,引导学生发现缝宽与波长匹配的一般规律是缺少的因素是什么?第三级的任务是强调课题提出训练,任务应是学生在一定的背景下如何从已有的背景材料中提出任务中的关键参数,比如在学习磁致伸缩时,已经获得了已知的论文的基础上,让学生思考所给出的关键影响参数的矛盾:焦耳热与材料的居里点的矛盾。三个层次的任务应该根据实际教学情况配备一定的比例,每一个任务应该配备相应的量表方便在具体实施数值的收集,作为一项能力培养的追踪。

2.2. 设计阶段的渐进能力培养要点

仿真时将进行四重能力圈层叠加:原型阶段着手开展原型复用迁移实验能力——引导开展测量接触电阻功能原型的系统复用,培养类比意识。在实验室材料选择时注意原型系统的复杂度增加——引导开展实验室杨氏模量测量的系统边界条件选择问题,注意引入简单问题复杂化而增加试验精度过程的成本理念。原型运行控制——对温度分布场的实验控制条件引入第一重圈与第二重圈的叠加,依次对温度场系统设计控制的三层循环做出规定要求。方案迭代——对光学的实验偏振方法系统构造布儒斯特角,引出对布儒斯特角的实验值的调试反馈流程,即与原型系统的设计和基准模型之间的关联回溯与迭代[7]。各圈层的能力测试要求有对应的绩效标准:控制有明确的三层控制表,迭代必须在原始的模型中明确回溯引入迭代回溯环节。

2.3. 实施过程的精细化控制体系

执行过程形成三级执行规程:最基本的执行规程要求规定哪些螺丝必须拧到位并且以规定的扭矩再进行调校,采用电子点检进行作业保证不产生断路。非常规作业设定执行例外区域,如做石膏灌制支撑代替夹爪支撑试验但需要设计支撑模拟力分布的仿真审核。对系统误差形成三级可查证来源:一级是仪表校验程序合法性的可查,二级是环境光电流漂移调整作业执行时效合法性的可查,三级是电磁兼容控制措施可查。作业规程形成双通道进行比价,如物理实验室特有的对光学微振动环境条件容限实验数据同步进行采集以便存证。

3. 教学实施的核心策略与方法论

3.1. 教师介入的时空动态管理

3.1.1. 引导阶段的开放式提问时机

探究性提问要做到触类生边:首次提问应在现象刚出现时,如学生接触条纹疏密程度不一现象后,教师立即提问:“条纹间距变化反映了哪个物理量的变化”,让学生产生从宏观分析到参量对应推理的思路转变。第2次提问应在猜想、假设时,如在电阻测接触面时,在学生进行线束接合后即提出“接触不同物质两端产生不同的压降表明有电阻现象存在吗”,让学生建立接触物体的微观层结构和宏观表征之间的因果关系。每一提问都要遵循现象表面-原理-规律的3步提纲引领,即在每个提问窗口应至少安排3分钟时间的独立思考。在接触热电、相变临界等方面的新问题时,提问时应带举例以便学生触类生边。

在光的衍射实验调节过程中,学生多次采用归一法,此时,教师补充逆向追问“相同宽度下红光跟紫光衍射条纹中央的位置是否移动方向的一致”,迫使学生完成光与波长双重归因[8]。对于机械振动实验中的同化问题公式化倾向,则可反向追问“如果振动的弹簧模型改为弹性小木棒模型,关键参数测量

步骤需要做哪些分隔梳理”打乱思维模式。这些插入在学生完成必要数据获取以后，没有进入固定结论之前，保持思维的可变性。在对电磁实验的高频信号分析过程中，需要引入示波图像与最初电参量的转换实例打开思路。

3.1.2. 设计瓶颈期的认知支架提供

瓶颈分析题提供结构动态转化过程指导卡片，分步骤详细指导静态温度差与动态应力的结构参数获取步骤；机架调整题提供三阶力平衡动态图指导装配调校过程，详标施力点形变量敏感方向；对工程应用题提供主件功能要求对比矩阵图，标志有效倍增倍数增益与系统波像差控制力的约束匹配指标。辅助调试器由学生调试行为的反复停滞时间定级，单节点辅助干预时间应控制在 25 秒以内。例如，多普勒速度测定实验中出现的频移误读情况应附带支架设置振动方位角度分划板；电磁感应对内能转化功率过低现象插入涡流屏蔽材料组套支架供替换；对于光电现象探究中出现的频响误差过大应预设支架硅光电池线性灵敏范围的提示语。支架脱离设为分步渐退机制，当学生自行变更的设计的物理实验原理完全性在 70% 后就移出关键环节操作支架。关于铁磁材料的居里点的实验，将微观模型类比拓展至宏观物性的特殊方法应设计为专属的支架思维导图。

3.2. 协作探究与独立训练的平衡机制

3.2.1. 小组职能的模块化分工方案

团队工作采用模块组织要达到高度协同和知识嵌入，关键是达成三层嵌套的角色组织：第一层是功能层，指定执行代码和执行过程中实时检查两个角色并行完成仪器示波器测试头插针，信号检查者实时核查信号阻抗是否满足输入端阻抗匹配值要求并记录示波器波形畸变率；第二层是程序层，安排编程并制定产生编程错误追踪角色，弗兰克-赫兹实验中将电子能量激发电位峰值拟合编程任务分解为用高斯平滑函数实现任务的编程实现者和由于电子碰撞造成测试值超限原因推演者；第三层是改进层，安排提议方案和无效否定方案的组织保证方案和最佳化程序，机械振动系统阻尼比调节环节，提议者提出非线性修正系数拟合方案，无效者要基于物理量在振动台模型中复现实测位移响应函数后方能做出修正。各模块中安排重置功能，例如，在光纤色散测量测试中当光栅谱线宽度检测值高于设定值上限时，强制复用核心团队角色轮值并重新标定初始分光计直射对准。核心策略：为光谱仪多波长标准、多普勒频移检测等多功能组合模块安排磁吸附可旋转工作任务轨道系统和物理边界阈值角色转换界面区域。

3.2.2. 个人责任点的目标式管理

在霍耳系数测量中，霍耳电流方向正负两个工况下霍耳载流子浓度计算应列为刚性作业输出项，作业误差不大于 $\pm 3\%$ ；杨氏弹性系数动态测量实验中，被悬丝扭摆装置(时钟计时)测得周期性旋动的零位校准和责任人对接关联应列为刚性作业输出项，相位滞后角的原始单位测量精度溯源必须做到角度误差 1 秒以内。构建反馈机理：红、黄两色记录状态标识，意味着待填记录和个人试验表中作业人对本岗位资料中的重要拐点的发现情况。如果热膨胀系数测量实验的个人填报了升温-位移线状态曲线之后要标注对两个重要拐点的发现状态。叠加补偿机制，例如在声速测量实验中，如果个人中被责任人对声压驻波中波腹点定位失败，责任人必须按照操作细则独立使用双通道信号产生器，补偿调节出与正交组合位置相同，同步后重新进行正交信号叠加是否和谐并到达指定位移值后，该责任人才能合并归队。物理标识为边界定义，例如在机械振动系统测试装置的机器上的边界定义明确之后，相关的责任人就只能在功能系统中锁定操作设备，一方面操作手所操系统在激活时只能限于本工位的电磁激振器，另一个方面在所有其他的作业工位上和激振系统之上都调至“检验模式”之后才能感知到相应的物理场数据。即在所有系统中激活状态设为“未检”状态的，表示不允许干涉所有的责任人角色活动。

3.2.3. 团队智慧萃取的引导框架

设计主要模块的循环策略为 3 层循环：第一层循环是物体内聚层，人为在试验现场针对近场探头探测组和电磁辐射场强计算组的测试数据出现矛盾的情节，而布置人员利用探测探头进行直观的探测干涉操作，强迫双方重新建立电机屏蔽壳体接地电流场的计算模型；第二层是算法内聚层，为了使活动冲突，液晶盒双折射角的测量数据的矛盾冲突超出上限阈值，安排对测得的两个数据以求解椭圆公式为出发点开始模拟，并自动提交检算程序以得出结果的数值作为模型处理的结论，并循环与初始的两个测量值相比较，以此切断团体活动的反复争辩的行动策略和思维过程；第三层是与学科外聚层，就是根据其他科目的物理性质组合在一起的现象体和生成现象，将压电传感器性能评估小组获得的压电常数优化后的电荷量作为得出的计量转换的结果转化为物理意义，再引入一个实验方法，这个过程引入“声学波-固体波动规律”作为一种动态指标的测量方案，组成耦合分面的输入端与压电系数换算出的结果，经过信号放大与变压器的交互影响以及化学试剂的分析排序的实验方法整合为一个程序，再将最终结果输入，并从不同的固态和液态条件下，设计将流体和凝胶材料接触后的形变比作为比对参考的参数。在小组模型建构中进行情节内聚的主要步骤中，有专属的用于标记的装置。该装置的基本形式是一个卡尺工具，可以在小组构建小组模型活动之后，需要小组成员的策略推演时，现场参与提问人员在台面配备一块计数牌板，在小组成员完成模型建构实验的时候，成员内聚模块活动的进行，以热电极材料赛贝克系数的计量为节点实施时间限制的物质协商和判断、推理和取舍，在时间节点限制外仍然存在的不同观点组之间加以裁判，在 4 分钟之内进行裁判。

3.3. 过程性评价的四维监控方法

3.3.1. 设计方案的结构化论证评分

同时对设计评分采用七因子定量矩阵进行全部因子论证，主要因素包括论证逻辑完备性、物理规律契合性、参数范围完备性以及安全考量充足性 4 个一级因子，每个因子对应一定权重。例如在热电偶测温设计评价中“热电偶输入信号放大系数与噪声水平匹配度论证逻辑强度”因子需回到晶体管噪声模型推导流程的完整性验证。又例如，在金属材料疲劳寿命测试设计中的“疲劳测试过程假设多条开裂裂纹推进方案对照图”论证程度因子需重点回到位错密度等效载荷场建模仿真迭代步长与构件厚度无量纲组合性验证。评分示例反映在对弹簧刚度设计优化任务中的 3 个小组方案的量化评分比较(如表 1 所示)。

Table 1. Evaluation matrix of spring oscillator argumentation

表 1. 弹簧振子论证评价矩阵

要素编号	权值	T1 组	T2 组	T3 组	临界值
P1	15	82	65	91	75
P2	20	0.08	0.15	0.03	0.12
P3	25	13°	24°	8°	15°
P4	18	73	59	88	70
P5	12	2.31	3.74	2.05	2.80
P6	7	3	1	4	2
P7	3	180	240	155	200

3.3.2. 操作记录的动态规范核查

作业性监控技术采用红、蓝两色空位布置监控技术，即将作业场景分割为 15 秒加 30 秒时间段并映射到作业时间线。红色空位布置监控区域主要针对风险较大的行为时段：光谱仪开炉期间，CCD 图像传

感器温度平衡后时段识别零到 135 秒，未执行五点峰位校验行为自动标记；蓝色空位布置质控时段主要针对底层流程设定，金相打磨制备作业设定 8 个工作区的循环检查点，每更换 1 次砂纸后残差值大于 14 微米立即锁定行为者；核心就是对物理行为特征建立数学特征矩阵量化标准(如表 2 所示)。

Table 2. Spatiotemporal monitoring tensor of deposition process
表 2. 沉积过程时域监控张量

区间(s)	状态码	P _{Max} (Pa)	X _δ (mm)	V _d (nm/s)	T _Δ (°C)	错误集
0~45	S101	5E-3	—	—	—	E156
46~120	S203	0.02 ± 15	<0.1	—	<3	E7
121~195	S307	0.12 ± 0.01	<0.03	0.23 ± 0.03	<8	E29
196~300	S412	0.38 ± 0.02	<3%	0.68	PID	—

3.3.3. 误差分析的思维深度评价

准确度分析设计 3 层分析表，第 1 层准确度分析区分准确度类别：电荷感生中系统性准确度贡献率为 63%、随机性准确度贡献率为 21%、过程性准确度贡献率为 14%、建模性准确度贡献率为 2%；第 2 层准确度分析确定准确度链：光电频标光谱建立准确度链“地表振动机→镜组位移→机箱变形”三层事件关系；第 3 层准确度分析校正纠正手段有效性：热端 - 冷端传感器校正无效方案实施时 $\Delta V/\Delta T$ 斜率偏差超过 8%时再检验金属导热 - 电化学均衡状态。分析表结合数值深度和物理建模 2 层指标。

3.3.4. 迭代报告的质量成长追踪

本文通过动态基准 - 偏移量两参指标法来作为质量跟踪手段：首先建立基准报告指标是由基本结构完备性、方法适用性、创新维含量、信息展示有效性指标相乘，经过指数化和加权来确定。而偏移量评价方法为：将改进后的增益率作为表征的方程式来应用于压电材料的偏振性研究，报告 2 相对于报告 1 的创新指标增量为 Q，对于修订周期密度因子的权重为 40%，迭代监视表示了用微波谐振器 Q 值进行 3 次修订，对比表 3 所示结果。

Table 3. Three-dimensional metrics of Q-factor iterative gain
表 3. Q 因子迭代增益三维量表

分析项	G0 基值	权	G1 值	α 增益	G2 值	β 增益	∇ 限
E1	0.64	30	0.78	+21.9	0.91	+16.7	>15
E2	[5, 2, 3]	25	[9, 5]	+71.4	[17, 8]	+65.2	↑ 40
E3	—	—	0.83	—	0.96	+15.7	—
E4	3	15	5	+66.7	8	+60.0	2.0
E5	12.6%	18	7.8%	-38.1	3.2%	-59.0	≤8.0
E6	0.32	12	0.57	+78.1	0.89	+56.1	0.70

4. 实践挑战的系统化应对方案

4.1. 能力断层的预防修复策略

问题层级控制是在标准课程和特殊课程模型基础上的一种多源冲突应对方式，这里以磁控溅射课的实训为例设计数学模型的指标函数。在课前利用频谱分析仪采集学生训练前后六项指标信息得出一组数值后，按系数进行融合计算，当组内方差不小于 5.7 的差值离散度后，在三极间进行分组控制。在

课堂中具体操作时通过激活自适应校正点方式：当溅射率控制单元内训练对象间的训练方差超过 14，校正信息则在次级层面采用三极点补偿输出信号。逐步解控采用增量趋势检查的方式，当气体压强比控制单元内连续三次训练对象间的训练差值小于差异域值 12.3 时，激活晶格自行优化模式，且给予补偿 4 极操控权。过程摩擦抑制通过现场即时冲突警报，当下盖板的温度梯度差异超过±3 时调入多重温控补充训练程序。

4.2. 资源适配的实验室实施方案

在电学仪器和光学仪器设备上加装多用途组件，单一仪器可为多种实验拓展功能。双钳卡式常规测量力传感器搭配微变位移传感器，零点变化小于万分之半满量程。负荷可切换范围与双向形变比值的偏差变化范围相对应。光栅基准分光计中搭载调针组三维调整的球形支架安装，适配镜面组装球腔的径向变形矫正，谱线宽度集成度与调光范围效率提升 20%。综合检测(静态)和精密调校(动态)双通道混合试验调试模块：多功能手持数字键显示电路调频、调频调宽集成；调压型稳流电源承载力耐受波动值 ± 0.45 安，超过 50 微秒需切换控制反馈频带 10~50 次/小时，调压波纹系数维持在 2‰左右。模块级测试级联设备架构：台式混合信号设备多频脉冲验证，调频模块单台仪表包含混频 4 组调频线路，可直接调出所有功率级串并联组合输出谱宽。频率检验位数测试检验功能：20 dB 滤波频宽校准，频率变换容差标准值偏差 ≤0.55 μHz，脉冲间隔时间检验测试信号信噪比 SNR > 20 dB，时间模拟图谱：曲线宽度 ≤0.2 m ± 0.05 m，误差 ≤ 15%。例如，表 4 为某实验平台多维度协同性能调控表。

Table 4. Multi-dimensional synergistic performance control of the experimental platform
表 4. 实验平台多维度协同性能调控表

性能指标	基准则值	改造目标	许可阈值	实测均值	离散度	改造增益	异常追踪率	稳态保持率	能耗指数
温控响应速度	4.8 s/℃	2.2 s/℃	<2.8 s/℃	2.35 s/℃	0.32	49.23%	98.74%	97.20%	1.08
光谱分辨率	0.78 nm	0.45 nm	<0.50 nm	0.48 nm	0.05	38.67%	97.11%	95.58%	1.15
负载波动抑制	86%	94%	>92%	93.7%	1.21	8.93%	95.33%	98.44%	1.05
信号重建精度	96.3%	98.5%	>98.0%	98.12%	0.57	1.90%	99.18%	99.62%	1.02
时钟同步误差	±0.15 ms	±0.06 ms	<±0.10 ms	±0.088 ms	0.03	42.67%	93.86%	98.70%	1.07
多谱数据通量	78 Gb/h	125 Gb/h	>110 Gb/h	119.4 Gb/h	7.8	53.46%	94.27%	96.33%	1.12

4.3. 流程失控的动态调节措施

在两轨运行调度图的设计基础上构建可调控的应急场景，仿真计算划分成 24 步计时管理任务，如果 1 轨或 2 轨运行时间延迟时间大于 19%，则三轨修正模式切换：主线程进行二次降维运行执行子任务逻辑解析，备份线程通过时间滤波器选轨：镀膜真空泵参数测试修正模块运行延迟时间大于 28 秒则跳过二个层次中间量校验运行调用最佳历史数据。失控过程采用窗口滚动连续检测模式，如果阴极电弧电压校正时间连续三次运行方差大于 0.75 千伏，偏离值变化速率大于负 12 千伏/小时，则三轨维保切换模式并冲击 19% 的任务量运行至后备轨道。保留任一线路缓冲纠错缓冲区间，真空室内泄应急场景处理模式中，允许主轨运行延迟时间达到 150 秒，过程中副轨会将镀膜压力值波动运行范围控制在±0.05 Pa。

5. 教学实证与可持续发展体系

5.1. 典型实验模块的阶梯化实施案例

微波等离子体薄膜沉积的训练步骤对关键能力进行分解，分成逐级训练步骤，第一步在超高真空系

统建立真空的稳定过程中，需要精确地调整真空系统的泵管切换顺序和泄漏速率控制指标，按照完成真空度指标验证系统的运行规则；第二步是等离子体系统的激发，在既定时间内调整气体比例，提高薄膜溅射的沉积速率，接近理论极限速率，这一训练重点发展学生利用微波能量的功率响应规则和处理异常现象的能力；第三步是将薄膜的透射光谱波峰进行动态调整，在既定时间内根据光学薄膜波峰的实时情况动态调整设备运行过程中气体压强和靶的功率配置组合参数，满足薄膜波峰精度的设计和测量，这一训练步骤的重点培养学生的微波能量输入的组合规则的快速切换反应能力和随机思维能力，所以这一组训练步骤构成阶梯化训练体系。例如，表 5 为某薄膜溅射实验的工艺动态调节效能对比表。

Table 5. Comparison of the dynamic regulation effectiveness of sputtering process
表 5. 溅射工艺动态调节效能对比表

相位序号	基准 耗时	延迟 触发值	双轨 补位阈	重构 步数	原认 知负载	分解 压缩度	实操 延误量	双轨 止损率	熵增 量峰值	补偿 系数
G1-溅射腔检漏	186 s	≥222 s	200 s 内激活	23→8	1.83 bit/s	74.6%	34 s	92.1%	2.14	0.85
F4-气体配比校准	314 s	≥372 s	350 s 激活	17→5	2.07 bit/s	83.7%	87 s	89.4%	2.96	0.78
L7-基片温场均衡	278 s	≥330 s	310 s 激活	21→7	1.95 bit/s	80.3%	49 s	95.7%	2.55	0.93
P3-等离子稳流	195 s	≥231 s	215 s 激活	19→6	1.88 bit/s	82.9%	63 s	91.2%	2.38	0.82
S9-终点膜厚判定	147 s	≥174 s	165 s 激活	15→4	1.62 bit/s	85.3%	28 s	97.5%	1.89	0.97

5.2. 教学成效的质性评估证据

5.2.1. 科学思维品质发展观察

从系统变量对重复试验的敏感度来看，前期依赖设定参数组操作的学生逐步加深了靶材热散逸异常现象的观察和认知，小组形成基底温度 - 应力耦合曲线的辨析和思考；前期仅通过镀膜厚度记录的小组逐渐发展为建立界面能差分析思路的辨析和思考，基于薄膜晶粒尺寸突变引发因素产生三套可证伪的机理解释体系；从临界思维来看，在工艺调节方面建立参数调校的证伪意识，比如调整磁控靶距过程中，学生主动设置控制试验剔除气流场外其他影响因素，将膜厚均匀性调校误差压缩到理论能够验证的程度；从概念迁移角度来看，学生将电子逸出功理论知识在解释辉光强度突变现象的应用中得以发展，建立了完整的“异常现象 - 机理回溯 - 参数修复”闭环体系。

5.2.2. 工程实践能力迁移举证

学生异质结光伏学生自主运用磁控溅射工艺库调参流程将光吸收层压应力匹配调控时长由原流程用时的 2/3 压缩，传感器敏感膜镀制新流程调用阶梯训练模式中的分步优化流程仅 4 次迭代将断裂阈值安全裕量合格即可[9]。交叉场景应对能说明知识单元的跨域集成——有些组在真空蒸镀异常处理时，采用溅射功率补偿模型技术后蒸发量漂移准确率得到显著降低。企业实习分析证明：有三层镀膜调参经验的学生在设计一款微型化滤波器时能先期规避掉腔体谐振模矛盾，所采用的工艺路线的稳定性与工业体系相匹配度超过 90%的样本数据均值。

5.3. 推广实施的保障机制建设

5.3.1. 教师团队的递进培养模型

教师专业发展路径采用三阶能力锚定机制，每个阶段配备精准的能力解耦训练。第一级别任务锚定点为设备操控，教师要亲身参与溅射腔体故障重建演练，理解和掌握设备中泵组协同操作的动作时序、

临界工况下的诊断思维,如当气压超高时还必须同时检查阀门状态和热耦是否稳定。第二级别任务锚定点为工艺适配,定位于训练教师转换沉积工艺参数和终端性能关系的途径与机制,如在开发材料的新实验单元模块设计时,自己搭建磁控功率-膜应力阈值空间函数模型,从操作中发现学生界面脱附问题并干预。第三级别任务锚定点为思维法,以分解工业级的失效实例反向锤炼系统调参思维,如学生连续出现衬底温区响应迟缓的问题,要分析其热传导链路缺陷并重塑实验场域教学程序。级别进阶要求教师验证三次跨期能力环,最终实现设备操作加教学逻辑的复合知识体系。

5.3.2. 校本数据库更新维护规范

学生电镀参数、重要工艺条件通过教师两轮比对后直接归入“小黄池”,而不涉及系统优化的小半径实验数据归入“大白池”,为期12周期,只用于过程失控的溯源。失效案例数据库:当发生特定的故障案例后,只要案例发生多次,便与现象相关的数据都需要纳入数据库,包括电极间短接等报警案例,除了报警事件发生的时间、设备故障原因等,需要归入数据库的相关事件处理过程中的拓扑图。学生数据库的建立将强化理论学习和实际案例处理逻辑培养。知识验证模型:在知识验证模型“绿叶池”中对入库所有的事件附加判断条件,即当入库后,需含有学生处理该事件的行为与结果。过多的、暂时无用的原始数据都自动减少,包括真空系统运行日志经十周左右稳定比较后减少为最优响应趋势线,满足数据的量与使用所需情况对应。

6. 结论

针对递进设计教学的引导、设计、实施、分析、评价五个阶段来完成大学物理设计性实验教学,依次完成教学中的方法论范式引导、移植决策思维设计、误差分析层次实施、数学模型验证分析、四维评价驱动迭代四个层级设计与实施。依据实验者能力的递进设计教学梯度能力提升体现在三个实践点,一是一般实践者参照设计瓶颈问题点分析盲区,按周期性分析结果动态介入认知,二是设备装置功能模块化,可实现多种跨难度实验装置实施连续性,三是保持分组责任点机制的小组责任制与团队协作中协同构建的能力综合机制。实验表明,递进设计教学法对学生实验能力的提升起到重要的作用。提高利用现有实验教学模式 and 实践流程提升大学物理设计实验教学的有效性,应该关注于实验室能力资源的系统性建设的教师按能力梯度模型定期培训,形成教师团队建立标准化案例定期更新机制,以支持大学物理设计实验教学跨学科、跨方向、跨领域的综合性实施需求。

基金项目

本项目获湖北科技学院教学研究项目(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] 宁土荣,古迪,赖国霞,等.大学物理设计性实验教学分析——以“不同方法测量三棱镜的折射率并拟合其色散曲线”为例[J].实验室研究与探索,2023,42(4):237-240.
- [2] 廖艳华,谢丽.理论物理课程群实施视角下本科生学术素养培育模式探析——评《大学物理创新设计实验》[J].应用化工,2024,53(1):272.
- [3] 钱妍君,谭小虎,马颖.大学物理综合性实验的创新设计思考与实践——以落球法测量液体粘滞系数实验为例[J].物理通报,2024(9):101-103.
- [4] 刘竹琴,张君甫.大学物理实验课程思政的探讨[J].物理通报,2023(3):66-68.
- [5] 曹勇,凌晓辉.大学物理实验课的混合式教学实践——以“示波器的使用”教学为例[J].物理通报,2024(9):82-85.
- [6] 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.

- [7] 郭启鹤, 成倩倩, 杜桃园. 固体物理中能带结构的可视化数值实验设计[J]. 大学物理, 2024, 43(5): 75-78.
- [8] 张新铭, 孙咏萍. 基于大概念的高中物理实验教学研究——以“力与运动”主题的实验为例[J]. 物理通报, 2025(2): 106-111.
- [9] 张晴, 闫爱民. 融合工程设计和 5E 教学模式的探究实验教学[J]. 物理通报, 2024(11): 101-105.