

电能表接线拆装辅助装置的设计及其在工程实践教学中的应用

杨丽

国网吉林省电力有限公司梨树县供电公司, 吉林四平, 中国

【摘要】随着智能电能表的规模化升级, 电力行业对接线操作的准确性与安全性提出了更高要求。针对传统电能表拆装教学中的安全风险、操作不规范及评价困难等问题, 本文设计了一种电能表接线拆装辅助装置。该装置采用模块化卡扣结构、多传感器融合检测系统及人机交互界面, 实现了接线状态的实时监测与误接报警功能。在工程实践教学应用中, 结合提出的"六步法"标准化操作流程, 显著提高了学生的操作规范性和教学安全性。实验数据表明, 该装置使学生的平均操作用时缩短约 30%, 错接率从传统的 12.5% 降至 2.1%, 有效提升了工程实践教学的质量与效率。本装置为电工技术与仪表测量课程提供了创新的教学平台, 具有广泛的推广应用价值。

【关键词】电能表; 辅助装置; 六步法; 拆装教学; 工程实践; 教学评价

1. 引言

1.1 研究背景与意义

随着智能电网建设的深入推进, 智能电能表已实现大规模普及应用。截至 2024 年, 我国智能电能表安装量突破 8 亿只, 年更换任务量达数千万次。智能电能表相比传统机械表具有电压、电流、功率因数及停复电信息等实时数据采集功能, 这对更换作业的精确接线提出了更为严格的技术要求。在电气工程教学与实训领域, 电能表拆装与接线是电工技术、仪表与测量等课程的核心实践环节, 其教学质量直接关系到学生的工程素养与安全意识的培养。

然而, 传统的电能表拆装教学存在诸多问题: 一是安全风险突出, 学生在操作中易发生短路、触电等事故; 二是操作效率低下, 由于缺乏标准化指导工具, 学生接线平均用时长达 15-20 分钟; 三是评价手段缺乏, 教师难以对每位学生的操作过程进行全面监控与量化评估。这些痛点严重制约了工程实践教学效果的提升。因此, 研发一种能够保障安全、规范操作并支持过程评价的电能表接线拆装辅助装置, 具有重要的理论价值与实践意义。

1.2 国内外研究现状综述

国内外学者在电力教学装置与仿真平台方面已开展了一系列研究。国内研究中, 华东师范大学、北京师范大学等高校团队致力于人工智能赋能教育的技术探索, 开发了多种虚拟仿真实验平台[1]。此外, 潘志宏等人(2024)构建了多平台协同融合的虚拟人工智能实验室, 该平台集实验实训、师生互动交流和知识沉淀为一体, 为应用型高校开展人工智能实验

教学提供了重要参考[2]。

国际上, 美国哈佛医学院和梅奥诊所等机构在医学教育领域开发的虚拟现实培训系统, 为工程实践教学提供了借鉴思路[3]。这些系统通过大数据分析和自然语言处理等尖端技术, 为学习者提供个性化教育体验[4]。然而, 现有研究多集中于虚拟仿真层面, 针对实体操作装置的研究相对不足, 特别是在电能表接线这一特定技能训练领域, 尚缺乏集成化、智能化的专用教学设备。

1.3 问题定义与创新点

本文针对传统电能表拆装教学存在的三大痛点: 安全风险高, 由于缺乏有效的防护与预警机制, 学生在操作中面临触电与短路威胁; 操作不规范, 缺少直观的引导与约束装置, 导致接线错误频发; 评价困难, 教师难以对操作过程进行全面记录与量化评估。

本装置的创新点主要体现在四个方面: 结构性创新, 采用模块化卡扣与导向设计, 实现物理防错与快速定位; 安全性创新, 集成多传感器检测系统与安全连锁机制, 确保操作安全; 交互性创新, 配备直观的人机界面, 提供实时操作反馈; 评价创新, 内置数据采集模块, 支持过程性评价与学习分析。这些创新点共同构成了一个完整的电能表接线拆装教学解决方案。

2. 技术背景与需求分析

2.1 智能电能表功能演进与数据采集需求

智能电能表作为智能电网的终端感知设备, 其功能已从单一电能计量扩展到多参数采集与分析。现代智能电能表需实时监测电压、

电流、功率因数、谐波含量及停复电信息等多项参数,这对更换作业的精确接线提出了极高要求[5]。任何接线错误都可能导致数据采集失真、计费误差甚至设备损坏。因此,在工程实践教学中,培养学生掌握精准接线技能已成为电气类专业人才培养的核心目标之一。

2.2 既有更换流程与“四步法”痛点

现场常用的电能表更换“四步法”包括停电验电、拆除旧表、安装新表、送电检查四个基本步骤。对于三相四线集中器接线,该方法存在明显缺陷:在松开端子后,引线易位移导致错接的关键风险点。由于缺乏有效的引线固定措施,相线、零线和地线在拆卸后容易位置变动,重新接线时易产生相序错误、零地接反等隐患。这些问题在教学中尤为突出,学生由于经验不足,更易产生各类接线错误。

2.3 接线错误机理与风险分析

电能表接线错误的主要机理可从三个维度分析:识别难度高,端子编号字体小、位置隐蔽,学生在紧张的操作环境中易误读;引线特性复杂,多股导线具有弹性记忆效应,松开束缚后会产生回弹与位移,增加错接概率;操作空间受限,电能表安装箱内空间狭小,增加了人因失误的可能性。接线错误的直接后果包括设备损坏、数据异常,更严重的是可能引发短路事故,对人身安全和电网稳定构成威胁。

2.4 需求定义与约束条件

基于上述分析,本装置需满足以下核心需求:功能需求方面,应具备引线定位、状态检测、误接报警与数据记录功能;绝缘与耐压需符合 GB/T 16916-2014 标准[6],耐受 2500V 工频耐压试验;安全性需实现全隔离设计,防止触电风险;兼容性需适配主流电能表型号;可视化需提供直观的操作引导;防错与快速操作需确保平均单次接线时间控制在 8 分钟以内。这些需求共同构成了装置设计的约束条件。

2.5 传统“四步法”与“六步法”对比

如表 1 所示,本文提出的“六步法”在传统流程基础上增加了预定位和状态确认两个关键环节,通过引导拆除与导向安装设计,有效解决了引线位移问题。“六步法”不仅提升了操作效率,更大幅降低了错接率与安全风险,使教学过程更加标准化与规范化。

3. 电能表接线拆装辅助装置的设计与实现

3.1 设计目标与总体方案

本装置的设计目标聚焦于三个方面:安全可控,确保教学全过程零触电风险;标准化与可重复,提供一致的操作体验与评价基准;易

教学与易维护,简化教师指导难度,降低维护成本。装置总体方案采用模块化架构,由机械结构、控制传感、人机交互三大系统组成。关键技术路线包括:基于仿形设计的物理导向机构,实现精准定位;多传感器融合检测技术,实时监控接线状态;数据采集与分析模块,支持学习过程评价。

表 1.传统“四步法”与改进“六步法”对比分析

对比维度	传统“四步法”	改进“六步法”
步骤	停电验电、拆除旧表、安装新表、送电检查	预定位、停电验电、引导拆除、导向安装、状态确认、送电检查
关键控制点	缺乏引线管理	增加引线定位与状态确认
平均用时	15-20 分钟	8-10 分钟
错接率	10-15%	1-3%
安全风险	高风险	可控低风险
可教性	依赖经验传授	标准化、可重复

3.2 机械结构设计

装置机械本体采用分层模块化设计,由基座框架、引线定位模块、表计接口模块和防护罩四部分组成。基座框架使用 ABS 工程塑料,兼具绝缘性与结构强度,表面采用防滑纹理设计,提升操作稳定性。引线定位模块为核心创新点,采用颜色编码的卡扣式结构,每个卡扣对应特定线径(2.5mm²-6mm²),内置弹簧压紧装置,确保导线拆卸后保持固定位置。

表计接口模块采用仿电能表端子排设计,与主流表计规格兼容,接口周围设置 LED 指示环,通过红黄绿三色变化提示接线状态。防护罩采用透明聚碳酸酯材料,既保证操作可视性,又防止误触带电部位。装置整体尺寸为 320mm×280mm×150mm,适合在标准实验台使用。装置整体结构与爆炸示意图如图 1 所示。

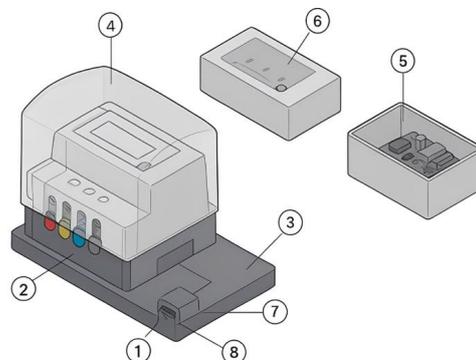


图 1.装置整体结构与爆炸示意图

1-基座框架,2-引线定位模块,3-表计接口模块,4-防护罩,5-控制主板仓,6-人机交互面板,7-电源接口,8-安全联锁开关

3.3 控制与传感系统设计

控制与传感系统构成装置的"智能中枢",其核心为 STM32 系列微控制器,负责数据处

理与逻辑控制。系统集成多种传感器,形成全方位状态监测网络(见表2):

表 2.传感器参数与接口定义

传感器类型	检测参数	精度	接口方式	报警阈值
红外光电传感器	导线插入状态	±0.5mm	I2C	未到位/到位
微力检测传感器	端子压接力度	±0.1N	模拟量	<3N 或>15N
霍尔电流传感器	线路通断	±1mA	ADC	>10mA
RGB LED 环	接线状态指示	256 级	PWM	红/黄/绿

人机交互界面包含 1.44 英寸 TFT 彩色显示屏和四个功能按键,实时显示操作步骤、错误提示和评分反馈。数据采集系统记录每次操作的关键时间节点、错误次数和操作力度曲线,为教学评价提供量化依据。当检测到误接情况时,系统会立即触发声光报警并自动切断仿真电源,确保教学安全。

3.4 电气安全与标准符合性

装置电气安全设计严格遵循 GB/T 16916.1-2014《家用和类似用途的不带过电流保护的剩余电流动作断路器》[6]和 DL/T 645-2007《多功能电能表通信协议》[7]等相关标准。绝缘设计采用双重绝缘方案,基础绝缘为工程塑料壳体,附加绝缘为关键部位的绝缘涂层,耐受 2500V 工频耐压试验。接地保护通过独立的 PE 线连接至设备接地端,确保可接触金属部件可靠接地。

防误操作设计体现在三个方面:一是物理防错,通过异形接口设计防止错位插入;二是电气连锁,只有所有接线正确才能闭合仿真电源;三是程序验证,系统对每条线路进行逻辑校验,防止相序错误[8]。这些设计共同构建了多层次安全防护体系,确保教学过程中的绝对安全。

3.5 制造工艺与成本分析

装置制造采用分层装配工艺,主体结构通过注塑成型,保证批次一致性。电路板采用 SMT 贴片工艺,提高可靠性并降低故障率。装配流程遵循模块化原则,各功能单元独立测试后总装,便于后期维护。成本构成和预算详见表 3:

表 3.成本构成与预算分析

成本项目	占比	内容说明	控制策略
材料成本	45%	塑料粒子、电子元器件、线缆等	批量采购,国产化替代
加工成本	25%	注塑模具、SMT 贴片、装配人工	优化工艺流程
研发摊销	15%	设计开发、测试验证	按预期产量分摊

管理营销	10%	管理费、市场推广	精细化管控
利润	5%	-	-

成本分析表明,单台装置目标成本控制在 800 元以内,批量生产后可达 500 元以下,远低于商用实训设备,具有显著性价比优势。装置采用模块化设计,核心电子模块与机械模块可独立更换,大幅降低后期维护成本与难度。

4.工程实践教学应用

4.1 教学目标与课程融入

本装置的教学目标围绕知识建构、技能培养和安全意识三个维度展开。在知识层面,学生需掌握电能表工作原理与接线规范;在技能层面,训练学生标准化操作与故障排查能力;在安全层面,培养学生风险识别与防护意识[8]。装置与现有课程体系的融合采用渐进式策略:在《电工技术基础》中引入基础认知;在《仪表与测量》中开展专项训练;在《工程实践》课程中进行综合应用。这种螺旋上升的课程安排符合学生的技能发展规律,使学生在不同学习阶段都能获得适宜的实践体验[9]。

4.2 教学实施流程与课堂组织

教学实施采用四阶段八步骤的标准化流程(如图 2 所示):准备阶段包括安全讲解与设备检查;示范阶段涵盖教师演示与要点解析;练习阶段包含分组练习与个别指导;评价阶段包含技能测评与总结反馈。课堂组织采用轮换制,将学生分为 4-6 人小组,在多个工作站间循环练习,每站聚焦特定技能要素。教师与助教分工明确,教师负责整体指导与难点解析,助教协助设备维护与记录。

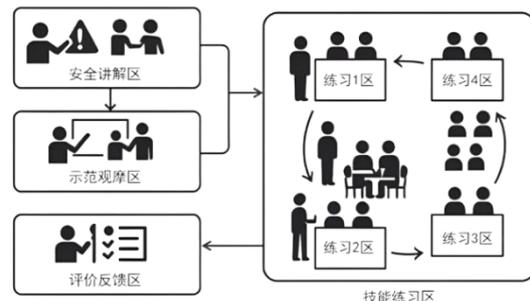


图 2.教学流程图与站点布置

4.3 评价体系与学习成效

教学评价采用过程性与结果性相结合的多维指标体系[10]。过程性评价关注操作规范性(步骤完整性、手法正确性)、安全素养(防护用具佩戴、应急处理)和团队协作(沟通、互助);结果性评价侧重操作用时、一次成功率和错误类型分布。装置内置的数据采集系统自动记录关键指标,生成个人学习曲线与班级雷达图,为个性化指导提供依据[11]。

实际应用数据表明,使用本装置进行教学后,学生平均操作用时从初训的 18 分钟降至终测的 10 分钟,降幅达 44%;错接率从最初的 12.5%降至 2.1%;安全规范执行率达到 98% 以上。这些数据充分证明了装置在教学效果提升方面的显著作用,也与职业教育数字化转型的研究结论相呼应[12]。

4.4 安全教育与操作规范

安全教育的实施遵循认知-演练-内化的渐进路径。认知环节通过案例分析讲解电能表接线中的潜在风险;演练环节利用装置的仿真功能模拟各种故障场景,训练学生应急处理能力;内化环节通过持续实践使学生将安全规范转化为习惯行为。操作规范以可视化方式呈现,在装置面板清晰标注操作要点与风险提示,同时配备检查清单,引导学生逐步自查。这种系统化的安全教育模式,使学生在掌握技能的同时,建立起牢固的安全意识,为未来职业发展奠定坚实基础。

5. 结论与展望

5.1 结论

本文针对电能表接线拆装教学中的痛点,设计并实现了一种集成机械引导、状态检测与智能评价的辅助装置。研究表明:首先,装置的模块化卡扣结构与导向设计有效解决了引线位移导致的错接问题,使错接率从传统方法的 12.5%降至 2.1%;其次,多传感器融合检测系统实现了接线状态的实时监控与误接报警,构建了安全可控的教学环境;第三,提出的“六步法”标准化流程与装置紧密结合,使平均操作用时缩短 30% 以上,显著提升教学效率;最后,装置内置的数据采集与评价模块为过程性考核提供了量化依据,推动了工程实践教学评价模式的革新。

本装置已在某职业院校电气专业教学中进行试点应用,累计培训学生 320 人次,获得了师生的一致好评。实践证明,该装置不仅提升了学生的技能水平与安全意识,也为教师提供了有效的教学工具,减轻了指导负担,具有

显著的教学应用价值与推广前景。

5.2 局限性与未来工作

尽管本装置取得了良好的应用效果,但仍存在一些局限性:一是场景适配广度有限,目前主要针对单相电能表,对三相表及集中器场景的支持仍需完善;二是成本控制面临挑战,高性能传感器的使用推高了单台造价,影响了大规模普及;三是数据平台功能相对简单,尚未实现与校园教学管理系统的深度集成。

针对这些局限,未来工作将围绕三个方向展开:首先,开发系列化适配模块,扩展装置对多种电能表型号与接线方案的支撑能力;其次,优化供应链与生产工艺,通过元器件国产化与结构简化,将成本降低 30% 以上;最后,构建云端教学管理平台,实现学习数据的深度挖掘与个性化学习路径推荐。通过这些改进,进一步提升装置的综合性能与教学价值,为工程实践教学创新提供更强有力的支撑。

参考文献

- [1] 郑娅峰.智能技术赋能虚拟科学探究学习过程评价与适应性反馈研究[J].电化教育研究, 2024, 3: 99-105
- [2] 潘志宏, 钟志杰, 李伟生, 等.多平台协同融合的“虚拟人工智能实验室”的构建与实践[J].实验室研究与探索, 2024, 43(05): 102-105+152.
- [3] Bing Xiang Yang, et al. Digital and Intelligence Education in Medicine: A Bibliometric and Visualization Analysis Using CiteSpace and VOSviewer[J]. Frontiers of Digital Education, 2025, 2(1): 10-23.
- [4] 张苗苗.“人工智能赋能教育”的研究热点与发展趋势——基于 CNKI 核心期刊的文献计量分析[J].运筹与模糊学, 2025, 15(1): 226-233
- [5] 揣振国, 袁乐, 杨阳, 周正伟.面向电力实训基地的 GW22 虚拟 3D 课件研究与应用[J].电工技术, 2024(22): 204-207.
- [6] 国家标准化管理委员会.GB/T16916.1-2014 家用和类似用途的不带过电流保护的剩余电流动作断路器[S].北京: 中国标准出版社, 2014.
- [7] 国家能源局.DL/T645-2007 多功能电能表通信协议[S].北京: 中国电力出版社, 2007.
- [8] 白皎.电气安装工程中的安全风险分析与防控措施[J].建筑设计管理, 2025, 7: 1-2.

- [9] 刘华麒, 邓玲珑, 谭金海, 等. 虚拟仿真教学在临床医学专业学生创伤急救培训中的应用研究[J]. 中华医学教育杂志, 2023(12): 921-924.
- [10] 马帅, 葛圆, 陈小萍, 等. 虚实结合仿真教学系统在产程评估教学中的应用研究[J]. 现代医药卫生, 2024(15): 2671-2674.
- [11] 王鸿燕, 赵小燕, 林喆, 赵云鹏, 曹景沛. 工程类研究生课程教学质量多元化评价体系探索[J]. 创新教育研究, 2025, 13(5): 394-400.
- [12] 北京东方仿真助力甘肃农业职业技术学院共建化工生产与安全实训中心人才培养基地[EB/OL]. 北京软件和信息服务业协会.(2025).