

伸缩型低压绝缘导线非接触验电器的设计与应用研究

冯泽贤 王战兵 李珍珍 赖杨明

广东立胜电力技术有限公司 广东佛山 528000

摘 要：本文介绍了一种伸缩型低压绝缘导线非接触验电器，旨在解决传统接触式验电方法存在的安全风险高、环境适应性差等问题。该装置基于电场感应原理，集成非接触式电压检测、导线断点定位功能，并采用可伸缩绝缘杆结构，实现对低压绝缘导线带电状态、电压等级及完整性的安全高效检测。装置具备双重声光报警、灵敏度可调、便携轻量化等特点，适用于高空、狭小空间等复杂作业环境，能显著提升低压电力作业安全性与效率，具有较高的推广应用价值。

关键词：非接触验电器；低压绝缘导线；电场感应；断点检测；伸缩结构

1 引言

在低压电力作业领域，准确判断导线带电状态、电压等级及其完整性是保障作业安全及提升工作效率的核心要素。传统检测方法依赖作业人员直接接触导线使用验电器，此举不仅加剧了作业风险（使操作人员暴露于 $\geq 36\text{V}$ 的危险电压中），还可能扰动电力系统的稳定运行[1-3]。面对高空架设（2-3m 塔架）、狭小空间（如纵深 0.5-3m 的配电柜）等复杂线路环境，传统方法实施困难（需攀爬接近导线或受空间限制），且定位误差可达 15-20cm，对操作人员的专业技能提出较高要求。

绝缘导线作为电力传输的关键组件，其完整性对电力系统的稳定与安全具有决定性影响[4,5]。绝缘导线一旦断线，不仅将中断电力供应，还可能诱发短路、火灾等重大安全事故。因此，快速且准确地检测绝缘导线断线故障，对于确保电力系统安全稳定运行至关重要。

鉴于此，本文设计了一种伸缩型低压绝缘导线非接触验电器，通过非接触式电场感应技术、智能算法及可调节伸缩结构的有机结合，实现安全高效的低压导线检测。该装置既能避免直接接触带来的风险，又能适应多样化作业环境，为低压电力运维提供创新解决方案。

2 技术原理与结构设计

2.1 核心技术原理

2.1.1 非接触式电场感应技术

基于非接触式电场感应原理，利用高灵敏度感应元件（如金属天线）在不直接接触导线的情况下，感应导线周围的电场强度。结合信号处理算法，将感应到的电场信号（工

频电场，50Hz/60Hz）转换为电压读数，实现低压导线电压的准确测量和显示。这种非接触方式避免了操作人员直接接触高压导线，大大降低了作业风险。

2.1.2 断点检测技术

利用近电感应电路感应导线的电场分布，通过算法分析电场变化（如电场强度在断点前后的突变）确定导线的断点位置。研究不同断点情况下的电场特征，结合蜂鸣器及 LED 灯双重报警，实时提示断点位置，提高断点检测的准确性和可靠性。

2.1.3 伸缩调节原理

如图 1 所示，设计便于高处或远处测量的伸缩结构，通过多节可伸缩套管实现长度调节，确保作业人员能够在保持安全距离的同时，轻松触及目标导线。研究伸缩结构的材料选择、传动方式和锁定机制，提高结构的稳定性和耐用性。

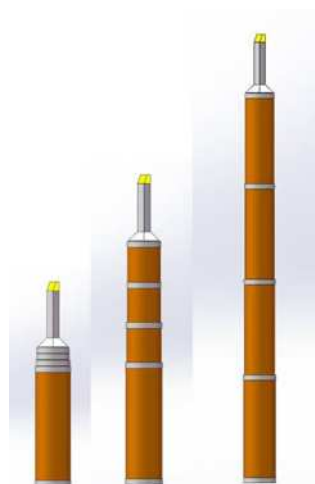


图 1 验电器便携式伸缩结构设计原理

2.2 整体结构设计

装置由四大模块组成,具体描述如下:

2.2.1 伸缩杆结构

采用 ABS 绝缘材料制成,包含多节可伸缩套管,最大伸展长度 0.25~1 米,收缩后长度 0.25 米,轻量化设计且具备锁定机构,确保稳定性和便携性。手柄处采用防滑设计,符合人机工程学要求,便于作业人员握持操作。

2.2.2 非接触式检测模块

(1) 感应电极: 高灵敏度金属天线,检测导线周围交变电场;

(2) 信号处理电路: 对天线感应信号进行处理(如放大、滤波、整流等),将微弱信号转换为可测量的电信号;

(3) 灵敏度切换: 通过滑动开关切换高、低两档灵敏度,适应不同电压等级和检测距离的需求。

2.2.3 断点检测模块

断点检测流程如图 2 所示,通过算法分析电场强度分布变化,结合蜂鸣器及 LED 灯双重报警,实时提示断点位置。感应的电压经过信号放大、滤波、峰值检波处理后输出为直流量,使用单片机的 ADC 对其进行采样,采样数据经平滑滤波处理后与设定阈值比较,触发相应报警。

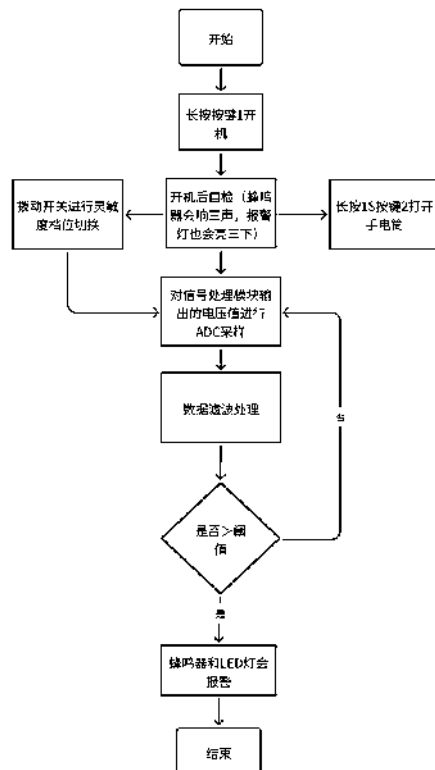


图2 断点检测流程图

2.2.4 辅助功能模块

(1) 电源系统: 3.7V 锂电池供电,配备 TP4056 充电电路,支持低电量 LED 提示; 升压电路 (TLV61046ADBVT 芯片) 将电压升至 5V, 确保系统稳定运行;

(2) 报警装置: 由无源蜂鸣器和高亮 LED 灯组成, 根据不同电压等级或断点情况输出不同频率的声音和灯光信号;

(3) 辅助功能: 白色 LED 照明灯, 长按按键开启, 适用于光线不足环境; 自检功能: 开机时蜂鸣器响三声、报警 LED 闪烁三次, 确认设备状态正常。

3 结论

本文设计的伸缩型低压绝缘导线非接触验电器, 通过适应性伸缩结构、非接触式电场感应技术和智能算法的有机结合, 实现了对低压绝缘导线带电状态、电压等级及断点位置的安全高效检测。该装置具有通用性强、检测精准、报警及时、环境适应性好等特点, 能有效解决传统运维方式的不足。其低成本、易操作的优势使其具备大规模推广应用的潜力, 对于提高低压电力系统作业安全性、推动智能运维建设具有重要意义。未来将进一步优化算法和拓展功能, 提升装置的智能化水平 and 应用范围。

参考文献:

- [1] 苏华, 金立我, 黄俊杰, 等. 一种 220V/10kV 非接触式验电装置的设计与实现 [J]. 电子测试, 2022, 36(09): 20-22+12. DOI: 10.16520/j.cnki.1000-8519.2022.09.035.
- [2] 吴兆彬, 张少辉, 孙亚军, 等. 基于仿真模型的多电压等级非接触式验电器设计研究 [J]. 科技创新与生产力, 2024, 45(08): 105-107+110.
- [3] 王宁, 宋佳敏, 闫振宏, 等. 多电压等级非接触式验电器设计 [J]. 电机与控制学报, 2023, 27(02): 89-97+111. DOI: 10.15938/j.emc.2023.02.010.
- [4] 胡爽, 景盼盼, 徐欣然, 等. 一种基于场强分布的新型非接触式高压验电器的研究 [J]. 机电信息, 2018, (18): 84-85+87. DOI: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2018.18.040.
- [5] 夏博涵, 段雄英, 朱国柱, 等. 高压非接触式交流验电器研究与设计 [J]. 高压电器, 2024, 60(12): 122-131. DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2024.12.014.

作者简介: 冯泽贤 (1990-12), 男, 汉, 广东佛山人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 电力工程。