

一种低压架空线缆绝缘恢复智能装置

符栋梁 尹亚统 陈作开 文宏武

(广东电网有限责任公司湛江供电局)

摘要：由于各种原因，低压架空线缆的绝缘受到损坏，不仅会影响供电的可靠性，导致停电事故，给居民生活和企业生产带来不便和损失，而且会引发安全隐患，如触电、火灾。目前架空低压线缆使用热缩管、绝缘胶带恢复绝缘，需要耗费大量的时间和人力，绝缘恢复效果难以保证。针对这些问题，本文研究一种低压架空线缆绝缘恢复智能装置，提高恢复效率，优化恢复质量，保障低压电力的可靠性和安全性。

关键词：低压架空线缆；绝缘恢复；智能装置

0 引言

目前，一方面，随着城市化进程的加速和基础设施建设的不断推进，低压架空线缆面临着复杂的外部环境。施工活动、自然环境、动物等都可能导致低压架空线缆的绝缘破损。例如，强风暴雨等恶劣天气，可能使低压架空线缆遭受树枝划伤或异物撞击，损坏绝缘层。另一方面，低压架空线缆在长期运行过程中，也会由于老化、腐蚀、暴晒等因素逐渐降低绝缘性能。例如，一些老旧小区的低压架空线缆服役时间较长，绝缘材料可能出现老化、开裂等问题，增加了低压架空线缆故障的风险。当前低压架空线缆恢复绝缘，主要有热缩管和绝缘胶带两种方法。使用热缩管恢复绝缘的步骤：测量线缆直径、选择合适的热缩管、剪切热缩管、加热热缩管。使用绝缘胶带恢复绝缘的步骤：黄蜡带从左侧的绝缘层开始包缠两根带宽，保持一定的倾斜角，进入无绝缘层的接头部分，黑胶布接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向再包缠一

层黑胶布，每圈需要压叠带宽的 1/2。两种方法，需要耗费大量的时间和人力，操作步骤繁琐，工艺复杂，绝缘恢复质量难以保证^[1-3]。

为了解决这些问题，提高低压架空线缆绝缘恢复效率，优化绝缘恢复质量，保障低压线缆的可靠性、稳定性和安全性，本文研制一种低压架空线缆绝缘恢复智能装置，操作简便，适应不同规格的架空线缆，快速定位破损线缆位置，然后进行精准恢复，无需复杂的设备和专业人员即可完成恢复工作，显著缩短低压线缆的维修时间，确保低压线缆在最短时间内恢复绝缘^[4]。

1 整体设计

低压架空线缆绝缘恢复智能装置由自动检测模块、热熔模块、注塑模块、塑料颗粒进料机构、预夹机构、夹紧机构、冷却模块、电缆模具（多规格）、恢复控制模块、无线遥控器、绝缘材料组成，集自动检测、精确定位和高效恢复于一体。智能装置

项目基金：广东电网有限责任公司湛江供电局职工创新项目（项目名称：一种低压线路绝缘恢复智能装置；项目编号：030800KZ24070093）。

采用高分辨率图像采集与处理技术，实现对架空线缆表面绝缘破损的自动采集；研究热熔注塑成型技术和快速冷却固化技术，确保绝缘材料能够高效、均匀地填充模具并快速固化，形成坚固的绝缘层；开发智能控制系统，实现对整个恢复过程的自动控制，包括预夹、夹紧机构的精确操作和绝缘材料进料机构的稳定供料；研制高强度、高粘接强度、高扯断伸长率及良好阻燃性的绝缘材料，以满足不同环境下的绝缘恢复需求。

首先，研制一种具有高强度、高粘接强度、高扯断伸长率以及良好阻燃性的新型绝缘材料。这种材料将能够适应不同环境下的恢复需求，无论是高温、低温、潮湿还是其他极端条件，都能保持其优异的物理和化学性能，从而确保电缆绝缘恢复装置的广泛适用性和长期稳定性。

其次，深入研究和应用高分辨率图像采集与处理技术，实现对电缆表面绝缘破损情况的自动识别和采

集。通过这一技术，装置能够迅速而准确地捕捉到电缆绝缘层的微小损伤，为后续的恢复工作提供精确的数据支持。

再次，探索热熔注塑成型技术和快速冷却固化技术的应用，确保所选用的绝缘材料能够高效且均匀地填充到模具中，并在短时间内快速固化，形成一层坚固且可靠的绝缘保护层，从而恢复电缆的绝缘性能。

最后，开发一套智能控制系统，能够实现对整个恢复过程的自动化控制。这包括对预夹和夹紧机构的精确操作，确保电缆在恢复过程中保持稳定，以及绝缘材料进料机构的稳定供料，以保证恢复过程的连续性和高效性。

2 电子设计

低压架空线缆绝缘恢复智能装置通过集成升降、加热、合模、注塑、冷却和开模模块，实现了架空线缆的高效恢复。智能装置电子方案如图 1 所示。

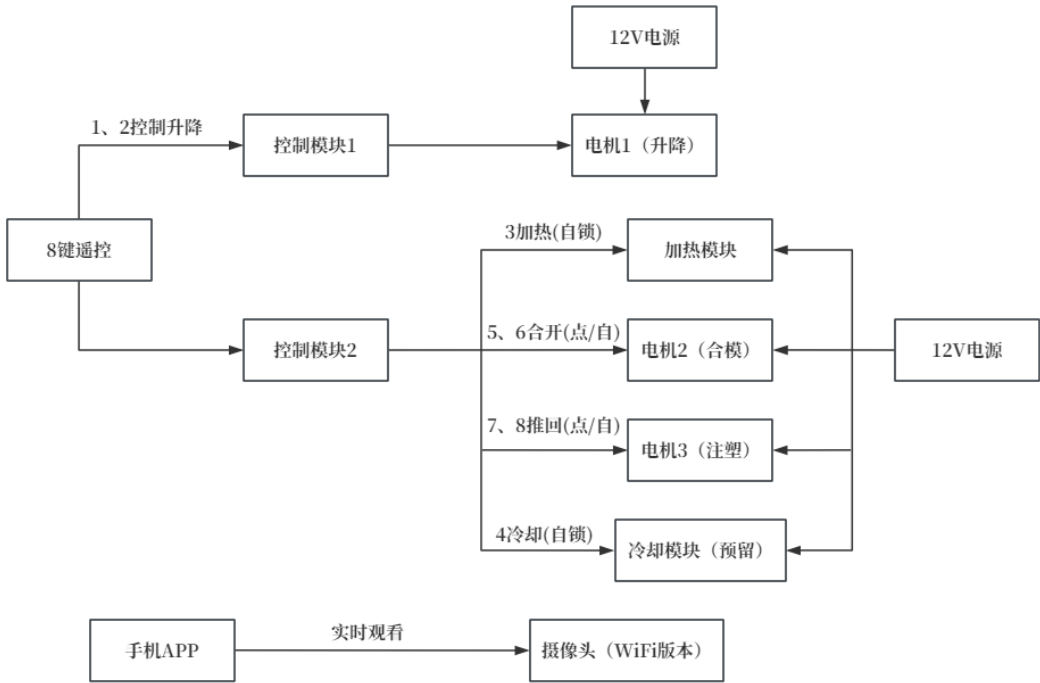


图 1 智能装置电子方案

首先，操作人员通过遥控按键 1 启动装置升降电机，将恢复装置缓慢升高至损坏线缆位置。上升过程中，按下按键 3 提前开启加热模块，对恢复材料进行预热。待装置到达指定位置后，操作人员按下按键 5 启动合模电机，将恢复装置的模具紧密合在损坏的线缆周围，形成密闭的恢复空间。此时，装置的指示灯会亮起，提示预热已完成，可以进入注塑阶段。操作人员接着按下按键 7 启动注塑电机，将已经预热的恢复材料精确注入线缆的损坏部位，以确保材料填充完全。注塑完成后，再次按下按键 3 停止加热模块，以节约能量并为下一步冷却准备。随后，按下按键 4 启动冷却模块，通过冷却装置快速降低恢复区域温度，使材料迅速固化，确保恢复效果。冷却过程结束后，操作人员再次按下按键 4 关闭冷却模块，然后按下按键 6 启动开模电机，使模具松开并恢复到初始位置，方便后续操作。最后，操作人员按下按键 2 启动升降电机，将恢复装置缓慢降回原位，完成整个恢复操作。智能装置整个工作过程可通过手机 APP 实时监控，随时查看线缆恢复状态，确保流程的稳定和安全。

智能装置通过 433 遥控模块实现了对恢复装置各个操作步骤的远程控制，包括升降、加热、合模、注塑、冷却、开模功能。用户可通过 433 遥控模块按键轻松控制智能装置运行，无需靠近恢复区域，提高了操作安全性，降低了操作复杂度。433 遥控模块由发射端和接收端组成。发射端通过遥控器发送信号，接收端接收到信号后，控制恢复装置的各个模块执行相应的操作。其工作原理基于简单的调制解调技术，将指令转化为无线电波进行传输，接收端接收到无线电波后解码并做出相应的动作。433 遥控模块在传输过程中受干扰较小，特别是在有障碍物或者较为复杂的环境中表现更加稳定，具有信号稳定、穿透力强、传输距离远等特点，非常适合户外、高空作业和复杂环境下的无线控制。

3 机械设计

智能装置机械外壳采用高品质的 SUS304 不锈钢材料，具有抗氧化、耐腐蚀、耐高温、高强度特点，确保装置在长期使用中的稳定性与安全性。装置外壳设计，采用先进的开模技术，确保机械细节精确无误；外壳表面经过精细处理，增加防指纹和易清洁功能，提升装置的实用性和耐用性。装置外形美观大方，符合人体工程学设计，便于操作和维护。装置实物如图 2 所示。

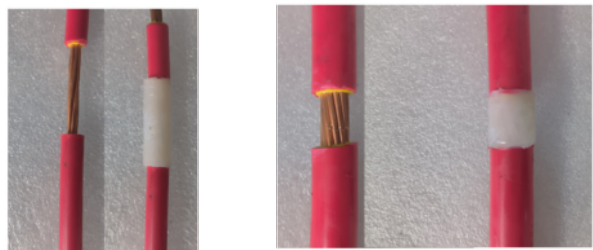


图 2 装置实物

4 实验和测试

铜线缆 10 平方绝缘恢复测试，模具 #1，绝缘恢复材料流动性、粘合性满足要求；压模；冷却 3min，脱模，半完全凝固；冷却 10min，整体光滑，硬度足够，绝缘恢复效果较为满意。10 平方绝缘恢复测试如图 3a 所示。

铜线缆 95 平方绝缘恢复测试，模具 #2，绝缘恢复材料流动性、粘合性满足要求；压模；冷却 5min，脱模，半完全凝固；冷却 12min，整体光滑，硬度可以，绝缘恢复效果较为满意。95 平方绝缘恢复测试如图 3b 所示。



(a) 10 平方绝缘恢复测试 (b) 95 平方绝缘恢复测试

图 3 绝缘恢复测试

5 结束语

低压架空线缆绝缘恢复智能装置采用模块化设计思路，将多个功能模块高度集成，形成一个完整、高效的自动化恢复装置。不仅实现了对电缆绝缘损伤的精准定位和自动升降处理，而且通过先进的电机控制技术，确保了恢复过程中的精确操作。智能装置开发了一款软件，通过手机 APP 实现升降、材料预热、注塑恢复到冷却全流程的实时监控，极大地提升了恢复效率和精度。该智能装置提高了安全性，保障了绝缘恢复质量，具有极其广阔的应用前景^[5-6]。

参考文献

- [1] 陈祺，马忠明，钱宽洪，等. 电缆绝缘缺陷修复技术 [J]. 电工技术，2023 (1)：159-160，165.
- [2] 陈凌峰，叶成彬，吴淑桦，等. 一种输电线路绝缘修复装置 [J]. 微型电脑应用，2022，38 (10)：13-17.
- [3] 高磊，刘旌平，洪宁宁，等. 电缆绝缘和护套用自修复材料研究进展 [J]. 电线电缆，2022 (4)：1-5，21.
- [4] 杨筱燕，张世煌，田金生，等. 低压电缆绝缘老化龟裂修复新方法与应用 [J]. 石油技师，2021(4)：46-49.
- [5] 林木松，李智，郑晓光，等. 绝缘材料绝缘性能自修复评价方法研究 [J]. 广东化工，2021，48(22)：34-36.
- [6] 罗阳帆，周凯，李康乐，等. 基于电缆绝缘寿命扩展技术的现场退运电缆修复效果研究 [J]. 绝缘材料，2021，54 (5)：54-60.

(收稿日期：2024-10-26)

(上接第 60 页)

- [7] 曾祥辰，刘青，王嘉晨，等. 弱电网下并网逆变器恒定带宽及稳定裕度的自适应控制策略 [J]. 电工技术学报，2024，39 (9)：2682-2695.
- [8] 刘鉴钧，齐军，赵爱国，等. 基于无网压传感器控制的单相并网逆变器预同步控制策略 [J]. 内蒙古电力技术，2024，42 (1)：71-78.
- [9] 陈林，徐永海，王天泽，等. 弱电网下计及

背景谐波的多并网逆变器阻抗重塑谐振抑制方法 [J]. 电力系统保护与控制，2024，52 (1)：59-72.

- [10] 杨博，周旭，张玉林，等. 极弱电网下基于电压前馈的并网逆变器输出阻抗重塑 [J]. 新型电力系统，2023，1 (3)：293-302.

(收稿日期：2024-10-15)