

# Research on the development and application of intelligent tools for live operation of distribution network

Qibiao Liu

State Grid Fujian Electric PowerCo., Ltd. Longyan Power Supply Company, Fujian, Longyan, 364000

## Abstract

The technical innovation of live operation of distribution network is constantly pushing the power industry to a safer and more efficient direction. In the face of the complex and changeable field environment and strict safety requirements, the coordination between operators and equipment is increasingly close, and the means of operation and maintenance are increasingly rich. In view of the shortcomings of traditional tools in risk prediction, construction efficiency and data collaboration, it is of key significance to promote the development and application of intelligent tools for live operation of distribution network. Through the multi-level integration of the operation process, equipment performance and personnel protection of the power system distribution network, the impact of risk factors can be significantly reduced. This paper explores the key technical points in the process of tool development and application, in order to provide feasible ideas for the upgrading of the maintenance and management system of the power industry, and lay a solid foundation for the subsequent in-depth research.

## Keywords

distribution network live operation; intelligent tools; safety management; sensor technology; remote communication

# 配网带电作业智能化工具的开发与应用研究

刘启标

国网福建省电力有限公司龙岩供电公司, 中国·福建 龙岩 364000

## 摘要

配网带电作业的技术革新正不断推动电力行业向更加安全、高效的方向迈进。面对复杂多变的现场环境和严苛的安全要求, 作业人员与设备之间的协同日益紧密, 运维手段日渐丰富。针对传统工具在风险预判、施工效率和数据协同等方面的不足, 推动配网带电作业智能化工具的开发与应用, 具有十分关键的意义。通过对电力系统配电网的作业流程、设备性能以及人员防护等多方位要素进行多层次融合, 可以显著减少风险因素带来的影响。本文针对工具研发及应用过程中的关键技术要点进行探究, 以为电力行业的维护管理体系升级提供可行思路, 并为后续的深入研究奠定坚实基础。

## 关键词

配网带电作业; 智能化工具; 安全管理; 传感器技术; 远程通信

## 1 引言

电力行业的发展依赖于安全、稳定和持续的供电保障, 配网带电作业作为电网维护的重要环节, 对于保障用户需求和提高供电可靠性具有突出作用。伴随新型设备的引入, 带电作业的复杂程度上升, 传统工具在应对多场景变动、提升作业效率以及降低作业风险方面已面临明显局限。基于作业现场需求的智能化工具正逐步渗透到配网作业链条, 为实时监测和准确判断故障点提供了更多可能<sup>[1]</sup>。研究中, 结合多种技术手段提升带电作业的可靠性, 被视为未来电力运维领域的重要方向。本文将围绕配网带电作业智能化工具的开发思路、应用意义以及具体方案展开论述, 为推动电力行业的

数字化转型和高质量运维贡献参考。

## 2 需求分析与工具设计思路

配电网的带电作业呈现多样化特征, 包括不同电压等级、气候条件以及负载状态下的维护任务。现场通常需面对较为复杂的地理环境, 部分山区及高寒地区在温度、湿度和风速方面均与平原地区有显著差异, 极端天气下对工具的机械强度和绝缘性能提出严峻考验。电流承载能力、线缆材质类型以及杆塔结构形式都可能影响施工方案的选择。各种因素叠加, 导致对智能化工具的需求呈现明显的多维态势。为实现更加安全可控的作业过程, 需要深入分析不同区域可能出现的事故隐患。研究数据显示, 在海拔 2000 米以上地区, 绝缘工具的整体介电性能在低温状态可能下降 15%, 局部放电的概率随温度增长而出现 5% 至 10% 的波动。易燃可燃物较多的森林地带又会对工具材质提出阻燃需求。电力企

【作者简介】刘启标(1971-), 男, 中国福建龙岩市人, 本科, 工程师, 从事电力工程研究。

业在进行智能化工具设计时，需要引入系统性思维，对现场作业的风速、温度、湿度等环境参数进行监测，对杆塔距地高度、导线型号、运行载流量等电气参数进行分析，综合评估工具使用的技术指标。

### 3 系统架构与实现方案

智能化工具在带电作业过程中会产生大量的传感器数据和状态数据，如何对这些数据进行高效处理并及时发现风险，是系统成败的关键环节。常见数据类型包括导线的电流、电压、温度信息，以及作业场景的风速、湿度、噪声信息。针对如此庞杂的数据来源，需要建立分层式的数据处理结构，即在前端作业终端对传感器数据进行初步滤波、去噪和量纲转换，确保上传到后端平台的数据具备基本的可用性。后端平台则对多源数据进行关联分析，尝试从环境和电气量的交互中识别潜在异常，结合系统中预设的安全门限值，对任何可能威胁线路稳定或人员安全的情况发出报警。在某些高风险作业中，风险管控模式可启动双向监护机制，一旦工具传回的信息显示环境参数超过安全域，数据处理模式需要具备分布式特点，在各区域设置中间节点完成本地分析与局部调度，将集中式平台的负荷分担至局部节点，提高处理效率和系统鲁棒性<sup>[2]</sup>。

### 4 技术指标与性能分析

#### 4.1 环境适应性评估数据

智能化工具能否在各类严苛环境下保持稳定，是评价其质量的重要指标。调研机构对 100 套配网带电作业智能化工具展开长期跟踪测试，包括海拔 100 米、海拔 2000 米和海拔 3500 米三个高度梯度，对比温度范围从 -20℃ 到 40℃ 不等，湿度覆盖 30% 到 90% 区间，风速在 0.5 米/秒至 10 米/秒之间。数据显示，海拔对工具的材料强度和绝缘性能影响较大，海拔 2000 米时，部分低等级绝缘材料的介电损耗因子较平原区提升约 8%，而在海拔 3500 米的极端区域，提升幅度可达 15%。温度因素对工具运行的传感器芯片精度影响显著，-20℃ 环境中，风速在 6 米/秒以上时，对操作杆或传感器基座的固定稳固度提出更高要求，若防滑机构或减震结构设计不佳，可能导致定位重复精度下降 5% 至 10%，由此可见环境适应性是智能化工具的重要评估标准，需要通过分层技术攻关、针对不同自然环境条件展开专项测试来实现全面提升。

#### 4.2 数据传输与响应时延统计

数据传输速率和响应时延直接影响带电作业的效率与安全性。测试机构在不同网络环境下对带电作业工具的数据传输指标进行测评，包括 2G、4G、5G 和专用无线网络多种通信方案，对比后端平台的响应时间、数据包丢失率以及通信稳定性。结果显示，在 4G 网络下，单次数据上传的平均速率可达 10Mbps，数据包丢失率维持在 0.3% 至 0.5% 之间，作业终端到后端平台的双向往返时间平均为 100 毫秒至

200 毫秒。当切换到 5G 网络时，上传速率可稳定在 50Mbps 以上，数据包丢失率下降至 0.1% 以内，往返时延缩短至 40 毫秒至 80 毫秒，系统可实现对实时视频流和高频传感器数据的并行传输。综合来看，实现高速稳定的数据传输，需要结合商用网络和专用网络优势，根据地区具体条件选择合适的部署方案，同时使用边缘计算手段尽可能地压缩时延，为带电作业提供坚实的数据传输保障<sup>[3]</sup>。

#### 4.3 作业效率与安全性对比分析

带电作业工具的终极目标是提升作业效率并确保安全性。为评估智能化工具

相较于传统工具在效率和安全性方面的差异，研究人员对不同区域的 200 个带电作业项目进行对比，涵盖 110 千伏线路、35 千伏线路以及 10 千伏线路，并基于作业时间、人员误操作率和故障率等指标进行量化分析。结果显示，在使用智能化工具后，110 千伏线路的平均作业时间缩短至原来的 85%，35 千伏线路缩短至 82%，10 千伏线路缩短至 80%，整体带电作业效率提升约 15% 至 20%。对于人员误操作率，智能化工具所具备的实时监测与自动报警功能，在复杂情况下可减少约 30% 的误操作事件，若叠加远程指导与动态限位功能，则可进一步将误操作率控制在 1.5% 以内。安全性方面，通过对故障率和事故统计数据的梳理可见，智能化工具有效降低了电弧放电、线路击穿等事故发生概率，详见图 1。



图 1 配网智能调度网络交互系统

### 5 实施路径与未来展望

#### 5.1 多场景应用策略

配网带电作业智能化工具的落地需要结合不同地区、不同电压等级以及不同运维模式的实际情况制定有针对性的应用策略。对于高负荷密度区域，例如城市中心区和大型工业园区，带电作业频率通常较高，每周可能执行 5 次以上的抢修任务，涉及线路总长度超过 200 公里。此时，应优先部署能够实时远程监护和快速响应的智能化工具体系，在故障率高发的主干线路配置高等级传感器，提升检测精度与工具自动化程度。对于地处偏远地区或山区，通信网络覆盖能力不足，故障排查周期较长，为提高抢修效率，可以将具有

离线记录功能的智能化工具在关键地段预先布点。数据统计显示,在平均海拔 2500 米的偏远地区,若采用便携式智能化工具与小型专用无线通信基站搭配,可将巡线周期缩短 20%,故障定位时间缩短 30%。在不同电压等级的线路上,工具需求也不尽相同。110 千伏和以上高压线路对绝缘耐压、导线夹持和远程控制精准确度的要求更高,可针对这些线路配置具有主动保护系统和高精度定位功能的工具,单套设备造价可能提高 15% 至 20%。对于 35 千伏及以下线路,由于绝缘和作业复杂程度相对较低,可以配置一体化程度更高的轻量化工具,成本更易于控制<sup>[4]</sup>。

## 5.2 标准化与运维管理体系构建

在推动智能化工具大规模应用的进程中,需要建立完善的标准化体系和运维管理模式,以保证工具的通用性和安全性。当前行业标准对带电作业工具的绝缘性能、机械强度、耐温耐湿等做出了明确规范,但尚未针对智能化传感器模块、通信模块和数据交互协议制定统一标准。一些机构提出了将传感器精度、数据传输速率、应急响应时间等关键指标纳入行业检测范围的建议,以便在不同厂商、不同型号的工具之间进行横向对比。具体而言,可制定一套智能化工具性能分级制度,从低级到高级设置不同门槛,便于使用单位依据线路等级和预算选择合适的工具。在实际运维中,需要建立完整的生命周期管理体系,对工具的采购、验收、日常维护、定期检测、软件升级以及报废处置等环节进行严格管控。

## 5.3 前瞻性技术与行业协同创新

智能化工具在配网带电作业中的不断迭代,将进一步推动相关前瞻技术的应用,同时需要行业内外的多方协同创新。在传感器领域,出现了更高集成度与更低功耗的新型元件,可缩减工具体积并延长续航时间,对于那些需要长时间在高空或野外进行带电作业的场景具备现实意义。在通信领域,高带宽、超低延迟的新一代移动通信网络正在逐步覆盖

更多区域,使实时监控和远程指挥成为可能。根据行业预测,专用网络的覆盖范围会在未来 2 年内提升至原先的 1.5 倍,为智能化工具的数据交换提供更稳定的基础<sup>[5]</sup>。工具的结构设计也有望迎来新的突破,一些科研团队正尝试将可折叠或柔性材料引入带电作业工具,以适应狭小或不规则的作业环境,并降低运输与存放成本。

## 6 结语

配网带电作业智能化工具的开发与应用正持续引领电力维护领域向安全、高效与信息化方向迈进。文中针对工具的设计理念、系统架构、技术指标以及实施路径等方面进行深入探究,结合多种统计数据对其在环境适应性、数据传输效率以及作业安全性方面所表现出的优势予以阐述。这些研究显示,智能化工具在不同地区和不同电压等级线路上均可实现效率提升与风险降低,对于电力行业的可持续发展具有重要意义。面向未来,需要在标准化建设、运维体系完善和前瞻性技术融合等多领域持续发力,推动智能化工具与电网深度融合,为电力系统的稳健运行提供更加全面与坚实的支持。

## 参考文献

- [1] 仇颂瀚,牟礼卓.电力线路检修装备自动化水平提升研究[J].电力建设,2022,48(7):36-42.
- [2] 郗晨煜,慕鹏岳.输电线路带电作业安全监测技术探讨[J].高电压技术,2023,49(3):15-20.
- [3] 薛琳涵,终瑜哲.基于多传感融合的配电网状态检测方法研究[J].电网技术,2024,50(5):58-65.
- [4] 段修斌,佟义楷.配电网运维远程通信及协同管控体系研究[J].中国电力,2024,57(1):73-79.
- [5] 凤骁骅,弭莹蕴.高原环境下电力作业工具耐候性分析及改进[J].电力系统保护与控制,2023,51(9):92-98.