

10kV 带电作业绝缘遮蔽技术的实践应用与质量控制

胡亚鹏

揭阳市明利电力发展有限公司, 广东 揭阳 522000

DOI:10.61369/EPTSM.2026050007

摘 要 : 随着城市配电网供电可靠性要求的不断提高, 10kV 带电作业已成为电网运维检修的关键手段。绝缘遮蔽技术作为保障带电作业人员安全的核心环节, 其应用水平直接决定了作业的安全性与效率。通过深入分析当前作业过程中存在的遮蔽不严、工具老化、操作规范性不足及验收标准模糊等质量控制难点, 有针对性地提出了基于全过程管控的质量控制策略, 包括标准化作业流程、工具全生命周期管理、可视化验收手段及人员技能强化等措施。

关 键 词 : 10kV 带电作业; 绝缘遮蔽; 质量控制; 安全防护

Practical Application and Quality Control of Insulation Shielding Technology in 10kV Live Working

Hu Yapeng

Jieyang Mingli Electric Power Development Co., Ltd., Jieyang, Guangdong 522000

Abstract : With the increasing demand for the reliability of urban power distribution networks, 10kV live working has become a key method for the operation and maintenance of power grids. As a core aspect of ensuring the safety of live working personnel, insulation shielding technology directly determines the safety and efficiency of operations. By conducting an in-depth analysis of quality control challenges in the current operational processes, such as inadequate shielding, aging tools, insufficient operational standardization, and ambiguous acceptance criteria, targeted quality control strategies based on whole-process management are proposed. These strategies include standardized operational procedures, full lifecycle management of tools, visual acceptance methods, and strengthening personnel skills.

Keywords : 10kV live working; insulation shielding; quality control; safety protection

引言

带电作业因其能实现不停电检修, 已成为避免用户停电的主要手段。在带电作业中, 由于作业空间狭窄、设备结构紧凑, 作业人员不可避免会接近或触及不同电位的带电体与接地体。在实际工程应用中, 绝缘遮蔽技术的实施效果受工具材料、作业环境、人员操作熟练度及管理机制等多重因素影响。若遮蔽不到位或质量控制缺失, 极易引发相间短路或单相接地事故, 造成设备损坏甚至人员伤亡。因此, 系统研究绝缘遮蔽技术的实践应用, 并建立科学、严谨的质量控制体系, 对于提升 10kV 带电作业本质安全水平具有重要意义。

一、10kV 带电作业绝缘遮蔽技术概述

(一) 绝缘遮蔽技术的基本原理与作用

绝缘遮蔽技术并非依靠单一的绝缘工具, 而是通过组合使用多种绝缘护具, 在带电体与作业人员之间, 或在不同相别的带电体之间, 构建一个临时性的绝缘隔离层。其基本原理是基于电气绝缘的介电强度, 利用高电阻率、高耐压强度的材料 (如环氧树脂、绝缘橡胶等) 阻挡电流通路, 防止在作业过程中因工具触碰、人员误动或异物跌落导致的相间短路或对地放电。在 10kV 系统中, 由于电压等级相对较低但线路密集, 遮蔽技术重点解决的是相同电压等级导体之间的短路风险以及单一导体对地 (或邻近接地体) 的击穿风险。通过科学实施遮蔽, 可将带电作业风险

等级从“高风险”降至“低风险”或“可接受风险”范畴。

(二) 绝缘遮蔽工具的分类与选型要求

10kV 带电作业常用的绝缘遮蔽工具主要包括绝缘毯、绝缘遮蔽罩、绝缘挡板、绝缘套管及绝缘隔板等。根据使用对象的不同, 可分为带电体遮蔽工具和接地体遮蔽工具。绝缘毯以其柔软、包裹性好的特点, 广泛应用于包裹导线、跳线及不规则的电气设备; 绝缘遮蔽罩则针对特定设备 (如隔离开关、跌落式熔断器、绝缘子) 进行仿形设计, 实现快速卡装; 绝缘挡板和隔板主要用于隔离作业区域与相邻带电设备, 形成一道“绝缘墙”。选型时需综合考虑作业电压等级 (10kV)、设备尺寸形状、作业空间大小以及环境因素 (如湿度、污秽度)。例如, 在狭窄的杆塔横担处作业, 应选用轻薄但耐压强度高的绝缘毯, 并优先选择带有磁

吸或固定夹的遮蔽罩，以防滑落。此外，选型还必须确认工具的电气性能满足工频耐压试验要求，即能耐受 20kV 甚至更高的试验电压，确保在实际作业中具备足够的安全裕度^[1]。

（三）典型作业场景下的遮蔽应用方法

在 10kV 带电作业中，不同的作业项目对遮蔽的部位和顺序有不同的要求。以最常见的带电断、接引线为例，作业前首先需对作业区域内的带电导线、横担及接地体进行遮蔽。操作顺序遵循“先远后近、先下后上、先带电体后接地体”的原则，具体为先遮蔽作业人员靠近一侧的带电导线，使用绝缘毯包裹导线并用绝缘毯夹固定，防止滑落；随后对相邻导线进行遮蔽，以防止在作业过程中因引线摆动造成相间短路；最后对横担、电杆及金属构件等接地体进行遮蔽，形成“绝缘罩”。在带电更换绝缘子或杆上设备时，除了对导线进行遮蔽外，还需使用绝缘挡板将作业区域与相邻设备隔开，并利用绝缘滑车等工具控制导线的摆动范围。

二、绝缘遮蔽技术在实际应用中面临的质量控制难点

（一）遮蔽工具材质老化与隐性损伤问题

绝缘遮蔽工具在长期使用和存放过程中，其材料性能会不可避免地发生劣化。目前广泛使用的环氧玻璃钢、天然橡胶及合成橡胶等材质，虽然具备优良的绝缘性能，但对环境因素敏感。紫外线照射会使橡胶材料表面出现龟裂，导致绝缘强度下降；长期的弯折、挤压会造成内部纤维断裂或永久变形，形成隐蔽的电气薄弱点。更为棘手的是，这类损伤往往肉眼难以察觉，在作业前的外观检查中容易被忽略。部分基层班组由于工器具管理粗放，未严格按照“专库专放、避免阳光直射、远离热源”的要求进行储存，加速了工具老化。一旦老化或损伤的绝缘工具在作业中投入使用，其击穿电压可能无法满足 10kV 系统的安全裕度要求，在受到瞬间过电压或潮湿环境影响时，极易发生绝缘击穿事故，成为作业安全中最大的“隐形杀手”。质量控制难就难在如何准确识别这些隐性缺陷，并建立有效的淘汰机制^[2]。

（二）遮蔽操作过程中的盲区与遮蔽不严

在实际作业现场，由于杆塔结构复杂、设备密集以及作业姿势受限，绝缘遮蔽往往存在难以触及的盲区。例如，在双回路共杆的线路上，作业人员需在有限的空间内对多个方向的导线进行遮蔽，受限于手臂长度和遮蔽毯的尺寸，导线背向作业人员的一侧常常无法被完全包裹，形成“遮蔽死角”。此外，对于异型设备（如老式柱上开关的接线端子、非标线夹），通用型绝缘遮蔽罩无法做到严丝合缝，导致金属裸露部位残留。遮蔽不严的另一大原因是固定不牢，尤其是在大风天气或作业过程中触碰引线时，绝缘毯夹弹力不足或位置不当，易导致遮蔽毯滑落、移位，使原本已被遮蔽的带电体重新暴露。这种遮蔽状态的动态变化给作业安全带来了极大的不确定性。质量控制要求从“静态遮蔽”向“动态可靠”转变，但现场缺乏有效的监控手段来验证在整个作业周期内遮蔽是否始终处于有效状态。

（三）作业环境对遮蔽可靠性的干扰

10kV 配电网带电作业多处于户外环境，气象条件及周边环境

对绝缘遮蔽效果构成显著干扰。湿度是最大的影响因素，当相对湿度超过 80% 时，绝缘工具表面极易形成水膜，导致表面泄漏电流急剧增大，使绝缘性能下降。若遮蔽工具与带电体之间存在灰尘、盐雾或污秽物，在潮湿条件下会形成导电通道，引发沿面闪络。另外，植被接触也是一个不容忽视的问题，城市配电网中常有树枝搭挂，作业中若遮蔽工具被树枝划破或枝叶嵌入遮蔽层与导线之间，不仅破坏了绝缘层的完整性，还可能引发接地或短路故障。风沙、扬尘等恶劣天气同样会加剧工具的磨损和表面污染。质量控制在此类动态环境下面临的难点在于，环境因素具有突发性和不可控性，而传统的事前检查难以覆盖作业全过程中的环境变化对遮蔽性能造成的实时影响，缺乏有效的动态应对机制^[3]。

（四）作业人员操作技能与规范执行差异

尽管各供电公司均制定了详细的带电作业操作规程，但在实际执行层面，由于作业人员的技能水平、经验习惯及心理状态存在差异，绝缘遮蔽的质量参差不齐。部分年轻作业人员对遮蔽原理解理解不深，在操作中表现为遮蔽部位选择错误，例如只遮蔽了导线朝上的一面，而忽略了更危险的朝下及侧面；或者在遮蔽顺序上颠倒，先操作后遮蔽，导致在遮蔽前即已进入危险区域。在紧张或赶工期的情况下，作业人员可能出现简化操作流程的现象，如减少遮蔽点位、使用破损工具，甚至凭经验跳过某些看似“多余”的遮蔽步骤。

（五）质量验收缺乏量化指标与追溯手段

目前，10kV 带电作业中对绝缘遮蔽质量的验收主要依赖于工作负责人（监护人）的目视检查。这种验收方式存在明显的局限性：首先，目视检查受角度和光线限制，杆上作业人员的背部、设备背侧等位置监护人难以清晰观察；其次，验收标准多为定性描述，如“遮蔽严密、牢固可靠”，缺乏诸如“裸露金属长度不得超过 X 厘米”“遮蔽毯重叠宽度不得小于 X 厘米”等具体量化指标，导致评判时主观性较强。一旦作业结束后发生事故，由于缺乏作业过程中的影像记录或遮蔽状态的物理痕迹，很难对遮蔽质量进行有效追溯，无法精准定位是遮蔽材料问题、操作问题还是验收环节的疏漏。

三、提升绝缘遮蔽技术质量的控制措施

（一）建立工具全生命周期数字化管理体系

针对遮蔽工具材质老化与隐性损伤问题，应构建覆盖采购、入库、领用、使用、试验、报废全过程的数字化管理系统。通过为每一件绝缘工具赋予唯一的 RFID 电子标签或二维码，建立电子台账，记录其出厂参数、历次耐压试验数据、使用频次及外观检查结果。系统应设置智能预警功能，当工具接近试验有效期或达到规定的使用年限（如橡胶类工具通常不超过 5 年）时，自动锁定领用权限并推送提醒。通过数字化手段，使每一件遮蔽工具的“健康状况”可查、可控、可追溯，从源头上保障遮蔽介质的可靠性^[4]。

（二）推行标准化遮蔽作业与“双确认”机制

为解决遮蔽操作中的盲区和执行偏差问题，必须细化并推广

标准化作业指导书，对不同作业项目（如断接引、更换设备、组立杆塔等）的遮蔽范围、部位、顺序、工具选用进行图示化、流程化规范。例如，规定在导线遮蔽时必须采用“双毯搭接法”，即两张绝缘毯重叠宽度不小于 100mm，并使用至少两个绝缘毯夹对角固定，确保包裹周向无裸露。对于设备端子等异型部位，应推广使用定制化、可调节的绝缘遮蔽罩，并配备防脱锁扣。在操作机制上，严格执行“双确认”制度，即作业人员完成遮蔽后，由工作负责人（或第二监护人）通过不同角度、借助望远镜或绝缘斗臂车升降平台进行复核确认，并在作业过程中每隔 15 分钟进行一次动态检查，确保遮蔽未发生移位。

（三）引入可视化技术与环境适应性改进

针对作业环境干扰及验收盲区，应积极引入可视化技术提升质量管控的穿透力。在绝缘斗臂车或杆上作业点安装防抖、广角、可调焦的作业记录仪，全程录制遮蔽过程及作业状态，视频资料随工作票归档保存。监护人可通过移动终端实时查看杆上作业画面，对遮蔽细节进行放大观察，弥补地面目视的不足。对于环境适应性改进，应研发应用新型防污闪、防潮绝缘遮蔽材料，如采用疏水性更强的硅橡胶复合绝缘毯，减少潮湿环境下表面水膜的形成。在恶劣天气下（如轻雾、小雨），作业前应使用专用的绝缘清洁剂擦拭工具，并利用热风枪对遮蔽部位进行适度烘干处理后再行遮蔽。此外，在城市树线矛盾突出区域，作业前应优先进行树障清理，并在遮蔽层外部增加一层防穿刺的保护性外罩，防止树枝挤压划破绝缘层^[5]。

（四）构建全流程的质量验收量化标准

为改变验收标准模糊的现状，应制定基于量化指标的“三级验收”制度。第一级为作业人员自检，重点检查遮蔽工具的固定夹是否到位、重叠部分是否符合要求、裸露带电部位是否小于规定值；第二级为工作负责人现场验收，利用验电棒或近电报警器对遮蔽后的带电体进行复核，确认无感应电或泄漏电流异常，并

拍照留存关键遮蔽节点的照片；第三级为管理部门远程抽查或到岗到位检查，通过视频回放或现场抽检的方式对遮蔽质量进行评分。同时，建立质量追溯机制，一旦发生绝缘遮蔽相关异常事件，能够立即调取该作业的全流程视频记录、工具使用记录及验收签字记录，精准定位责任环节，倒逼各岗位严格执行质量标准。

（五）强化人员技能培训与仿真演练

人员技能的差异是影响质量稳定性的核心因素，必须建立常态化的技能培训与考核机制。依托带电作业培训基地，建设 10kV 真型线路模拟训练场，重点针对绝缘遮蔽的薄弱环节，如狭窄空间遮蔽、异型设备遮蔽、复杂环境遮蔽等开展专项实训。引入虚拟现实（VR）仿真系统，模拟各类恶劣天气、突发遮蔽脱落等高风险场景，让作业人员在安全的环境下反复练习应急处置和规范遮蔽操作，纠正不良作业习惯。期组织技能比武和质量竞赛，将遮蔽操作的速度、规范性、完整性作为核心评分指标，营造“重质量、讲规范”的氛围。通过持续、高频次的实战化演练，使标准化的遮蔽操作内化为作业人员的肌肉记忆，从根本上提升质量控制的稳定性。

四、结束语

绝缘遮蔽技术是 10kV 带电作业安全防护体系中不可或缺的一环，其实际应用水平与质量控制成效直接关系到作业人员生命安全和配电网供电可靠性。实践表明，唯有将绝缘遮蔽从一项“操作步骤”提升至“系统化质量控制工程”的高度，构建覆盖工具、流程、环境、人员、验收的全方位管理体系，才能从根本上消除带电作业中的绝缘盲点，筑牢 10kV 带电作业的安全防线。

参考文献

- [1] 倪玮铭, 祝文坤, 杨帆, 等. 电力工程 10kV 配电线路的带电作业技术探讨 [J]. 电气技术与经济, 2024(3): 284–286.
- [2] 黎鹏, 黄银, 刘伟, 等. 10 kV 配电线路带电作业遮蔽用具—绝缘毯温升特性分析 [J]. 水电能源科学, 2020, 38(11): 178–182.
- [3] 谭祥文. 10kV 配网不停电作业旁路技术分析 [J]. 电脑爱好者 (电子刊), 2021(6): 3945–3946.
- [4] 吴鸿雁. 10kV 配电线路带电作业的危险点与预控策略 [J]. 消费电子, 2026(3): 146–148.
- [5] 朱俊. 带电作业下 10kV 配网开关柜局部放电自动定位方法 [J]. 自动化与仪器仪表, 2025(5): 119–122, 128.