

城市配电网带电作业的安全风险管控与标准化流程设计

郝乐王楷

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 城市配电网是城市能源供应核心,传统停电检修模式负面影响大。带电作业实现“不停电检修”,提升了供电可靠性,保障城市功能连续性,还推动电力行业技术升级。然而,带电作业面临作业环境、设备与技术、人为因素、管理等多维度安全风险。通过加强环境管控、提升设备技术、优化人员配置、完善管理制度,并设计标准化作业流程,可系统降低安全风险,助力城市能源高质量发展。

关键词: 城市配电网;带电作业;安全风险管控;标准化流程

1 城市配电网带电作业的重要性

城市配电网作为城市能源供应的核心脉络,其稳定运行直接关乎社会经济的正常运转与居民生活的质量。在传统模式下,配电网的检修、维护与改造往往需通过停电作业完成,这不仅会造成大面积、长时间的电力中断,引发交通信号瘫痪、商业活动停滞、工业生产受损等一系列连锁反应,还会因停电导致的经济损失与社会影响难以估量。据统计,一次大规模的城市停电事故可能造成数亿元的直接经济损失,并伴随难以量化的社会秩序紊乱与民生困扰。在此背景下,城市配电网带电作业应运而生,其核心价值在于通过技术手段实现“不停电检修”,即在设备带电状态下完成缺陷处理、设备更换、线路改造等任务。这一模式的应用,显著提升了供电可靠性,将停电时间从“小时级”压缩至“分钟级”甚至“零感知”,有效保障了城市功能的连续性^[1]。例如,在交通枢纽、医院、数据中心等关键负荷区域,带电作业可避免因停电引发的交通瘫痪、医疗设备停运、数据丢失等严重后果,为城市安全运行提供坚实支撑。从经济层面看,带电作业减少停电损失,降低用户因停电产生的补偿成本,同时通过延长设备使用寿命、减少频繁启停对设备的损耗,间接提升电网运行的经济性。另外,带电作业的推广还推动电力行业技术升级,促进绝缘斗臂车、机器人作业、智能监测等新技术的研发与应用,为电网智能化转型奠定了基础。因此,城市配电网带电作业不仅是保障供电可靠性的关键手段,更是推动城市能源高质量发展、提升社会治理能力的重要引擎。

2 城市配电网带电作业安全风险分析

2.1 作业环境风险

城市配电网带电作业环境复杂多变,其风险首先体现在空间限制与气象条件上。城市街道狭窄、建筑物密集,导致作业空间受限,绝缘斗臂车等设备难以灵活

展开,增加操作难度与触电风险。例如,在老旧城区,线路架设高度低、间距小,作业人员需在狭小空间内完成高空作业,稍有不慎即可能触碰带电体或接地体。城市环境中存在大量电磁干扰源,如通信基站、高压线路等,可能对作业设备的绝缘性能产生负面影响,增加安全隐患。气象条件是另一重要风险因素,雨、雪、雾、大风等恶劣天气会降低空气绝缘强度,导致绝缘工具表面泄漏电流增大,甚至引发闪络事故。例如,在湿度超过80%的环境下,绝缘杆的绝缘电阻可能下降50%以上,显著增加触电风险。同时,高温天气可能导致作业人员中暑,降低操作精准度;低温则可能使绝缘材料脆化,增加设备损坏概率。因此,气象条件的不可控性对带电作业安全构成持续威胁。

2.2 设备与技术风险

设备性能与技术水平直接影响带电作业的安全性。当前,部分配电网设备存在老化、设计缺陷等问题,如绝缘子老化导致绝缘性能下降,开关设备密封不良引发内部受潮,均可能成为事故隐患。带电作业专用工具的质量参差不齐,部分工具未通过严格检测,存在绝缘层破损、机械强度不足等问题,在高压环境下易发生击穿或断裂,直接威胁作业人员生命安全。技术风险还体现在作业方法的适用性上,城市配电网电压等级多样(如10kV、20kV、35kV),线路结构复杂(如电缆线路、架空线路、混合线路),不同场景需采用差异化作业技术。若技术选择不当,如在高海拔地区未调整安全距离,或在电缆线路中未使用专用屏蔽工具,均可能引发安全事故。新技术(如机器人作业、无人机巡检)的应用虽提升了效率,但其可靠性、稳定性仍需进一步验证,盲目推广可能带来新风险。

2.3 人为因素风险

人为因素是带电作业安全风险的核心来源。作业人

员技能水平不足、安全意识淡薄、操作不规范等问题普遍存在。例如,部分人员未接受系统培训,对带电作业原理、安全规程理解不深,在作业中忽视“停电-验电-接地”等基本流程,或未正确使用绝缘防护用具,导致触电事故。疲劳作业、情绪波动等心理因素也可能降低操作精准度,增加失误概率^[2]。据统计,超过60%的带电作业事故与人为操作失误直接相关。团队协同不足也是重要风险点,带电作业需多人配合完成,若沟通不畅、职责不清,可能导致操作脱节或重复作业,延长带电时间,增加风险暴露。例如,在绝缘斗臂车作业中,若地面监护人员与斗内人员未保持实时沟通,可能因信息滞后引发误操作。

2.4 管理风险

管理缺陷是带电作业安全的系统性风险。部分电力企业安全管理制度不健全,如未制定详细的作业指导书、未建立风险评估机制、未落实安全责任制等,导致作业过程缺乏规范约束。例如,某供电局因未对带电作业项目进行风险分级管控,导致高风险作业未采取额外防护措施,最终引发触电事故。安全培训与应急管理不足也是管理风险的重要表现。部分企业培训内容脱离实际,缺乏实操演练,导致作业人员“纸上谈兵”;应急预案不完善,未定期组织演练,使得事故发生时响应迟缓、处置不当,扩大事故影响。例如,某城市在带电作业中发生工具脱落事故,因应急预案未明确高空坠物处置流程,导致救援延误,造成二次伤害。

3 城市配电网带电作业安全风险管控策略

3.1 加强作业环境管理

针对作业环境风险,需从空间优化与气象监测两方面入手。一方面,通过城市规划与电网改造,优化线路布局,扩大线路间距,为带电作业预留充足空间。例如,在新建城区采用“上改下”模式,将架空线路改为电缆线路,减少高空作业需求;在老旧城区实施线路改造,提升设备架设高度,降低空间限制。另一方面,建立气象预警系统,实时监测雨、雪、风、温湿度等参数,当气象条件不满足作业要求时,自动终止作业并撤离人员。同时为作业人员配备防雨、防寒、防风等个人防护装备,提升环境适应性。

3.2 提升设备与技术水平

设备与技术是保障安全的核心。首先,需定期检测、更新老化设备,对绝缘子、开关设备等关键部件实施状态监测,及时更换存在隐患的设备。其次,严格把控带电作业工具质量,建立工具采购、检测、维护全流程管理体系,确保工具绝缘性能、机械强度符合标准。

例如,采用红外热成像技术检测绝缘工具内部缺陷,利用超声波探伤仪检查金属工具裂纹,提升检测精准度。在技术层面,需根据不同场景选择适配的作业方法。例如,在高海拔地区,按海拔修正安全距离;在电缆线路中,使用屏蔽手套、绝缘遮蔽罩等专用工具;在机器人作业中,通过仿真模拟优化操作路径,降低碰撞风险。推动新技术研发与应用,如研发自适应绝缘斗臂车、智能巡检机器人等,提升作业自动化水平,减少人员暴露于危险环境的时间^[3]。

3.3 优化人员配置与管理

人为因素管控需从技能培训与团队协同两方面发力。在技能培训方面,建立“理论+实操+考核”一体化培训体系,定期组织作业人员参加安全规程、设备操作、应急处置等培训,确保其掌握带电作业核心技能。例如,通过VR模拟系统还原高空作业场景,让学员在虚拟环境中练习绝缘遮蔽、工具传递等操作,提升实操能力。同时,实施持证上岗制度,未通过考核者严禁参与带电作业。在团队协同方面,明确作业人员职责分工,建立“斗内人员-地面监护-远程指挥”三级协同机制,通过无线通信设备保持实时沟通。例如,在复杂作业中,由经验丰富的技术人员担任远程指挥,统筹全局;地面监护人员负责工具传递、安全警示;斗内人员专注操作,形成“分工明确、协同高效”的作业模式。引入心理评估机制,对作业人员进行情绪管理培训,避免疲劳、焦虑等心理因素影响操作安全。

3.4 完善安全管理制度

管理是安全风险的“总闸门”。需从制度建设与应急管理两方面完善管理体系。在制度建设方面,制定《带电作业安全规程》《风险评估与管控指南》等文件,明确作业流程、安全距离、工具使用等标准;建立风险分级管控机制,对高风险作业实施“一票否决”,确保安全措施到位。例如,某供电局将带电作业风险分为四级,对三级以上风险作业要求企业负责人现场督导,强化责任落实。在应急管理方面,编制《带电作业应急预案》,明确事故分类、响应流程、处置措施;定期组织应急演练,模拟触电、工具脱落、设备故障等场景,提升人员应急处置能力。例如,某城市每季度开展一次带电作业应急演练,通过实战检验预案可行性,优化救援流程,确保事故发生时能够快速响应、有效处置。

4 城市配电网带电作业标准化流程设计

4.1 作业准备阶段

准备阶段是保障安全的基础,需完成现场勘查、方案编制、工具准备、人员培训四项任务。首先,组织技

术人员对作业现场进行详细勘查,记录线路参数、设备状态、周边环境等信息,识别潜在风险点。例如,勘查时需测量线路对地距离、交叉跨越距离,确认作业空间是否满足要求。其次,根据勘查结果编制作业方案,明确作业方法、安全距离、工具清单、人员分工等内容,并经专家审核通过。例如,在10kV线路带电接火作业中,方案需规定使用绝缘斗臂车、绝缘遮蔽罩等工具,安全距离不小于0.7米。工具准备方面,需对绝缘斗臂车、绝缘手套、屏蔽服等工具进行外观检查与性能测试,确保无破损、老化现象;对检测合格的工具进行编号登记,建立工具台账。人员培训需组织作业人员学习作业方案、安全规程,开展实操演练,确保其熟悉流程、掌握技能。例如,在培训中模拟“绝缘遮蔽不到位”等故障场景,让学员练习应急处置,提升风险应对能力。

4.2 作业实施阶段

实施阶段需严格遵循“停电-验电-接地-作业”流程,强化过程管控。首先,由工作负责人召开班前会,明确任务分工、安全注意事项,检查人员精神状态与工具状态。其次,设置安全围栏、警示标志,隔离作业区域,防止无关人员进入。例如,在街道作业时,需在作业点前后50米处设置反光锥筒与警示牌,引导车辆绕行。作业中,斗内人员需穿戴全套绝缘防护用具,使用绝缘工具操作;地面监护人员通过望远镜、摄像头等设备实时监控斗内人员动作,及时提醒安全风险。例如,在更换绝缘子时,地面监护人员需确认斗内人员是否完成相邻相绝缘遮蔽,避免短路事故。同时,采用“两票三制”管理,即工作票、操作票与交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮换制,确保作业规范有序。例如,每完成一项操作,需在工作票上签字确认,防止漏项、错项。

4.3 作业结束与恢复阶段

结束阶段需完成工具清理、现场恢复、总结评估三项任务。首先,斗内人员将工具传递至地面,由专人清

理、检查,对损坏工具进行登记维修;清理作业现场杂物,恢复道路通行。其次,拆除安全围栏、警示标志,检查设备运行状态,确认无异常后撤离。例如,在接火作业完成后,需测量线路电流、电压,确认接火点接触良好^[4]。最后,组织作业人员召开班后会,总结作业经验,分析存在问题,提出改进措施。例如,若作业中发生工具传递失误,需分析是沟通不畅还是工具设计缺陷,针对性优化流程或工具。同时将作业记录归档保存,为后续类似作业提供参考。通过标准化流程设计,实现带电作业“事前预防、事中控制、事后改进”的全闭环管理,持续提升安全水平。城市配电网带电作业是保障供电可靠性、推动电网智能化的关键技术,但其安全风险涉及环境、设备、人员、管理等多维度因素。通过加强环境管控、提升设备技术、优化人员配置、完善管理制度,并设计标准化作业流程,可系统降低安全风险,为城市能源安全供应提供坚实保障。

结束语

城市配电网带电作业意义重大,是保障供电可靠性、推动电网智能化的关键。尽管其面临诸多安全风险挑战,但通过从环境、设备、人员、管理等多方面采取有效管控策略,并设计标准化作业流程,能够实现“事前预防、事中控制、事后改进”的全闭环管理。未来,随着人工智能、物联网等新技术应用,带电作业将更智能、高效,为城市能源安全供应和高质量发展筑牢坚实根基。

参考文献

- [1]荆博博.带电作业在城市配电网自动化系统的设计应用[J].水利电力技术与应用,2025,7(6).
- [2]苑承旭,梁娜.配网自动化对配电带电作业安全的影响[J].大武汉,2023(20):269-271.
- [3]杨浩.论配电带电作业的必要性及安全技术[J].百科论坛电子杂志,2020(23); 3918.
- [4]李峰,魏珂,高晗,等.配电网旁路带电作业应用分析[J].百科论坛电子杂志,2025(3):103-105.