

施工建设用电安全性在输配电工程建设中的重要性及措施

刘晓军

山西明业电力工程有限公司 山西太原 030000

摘要：随着电力需求的不断增长，输配电工程建设规模日益扩大。输配电工程建设具有规模大、环境复杂、技术密集的特点，施工用电安全是保障工程顺利推进和人员生命安全的核心环节。本文系统阐述施工用电安全对工程进度、质量、成本及社会影响的决定性作用，深入剖析接地失效、绝缘破损、安全距离不足、管理缺位等主要风险源，从技术防护（规范配电设计、强化设备管理）和制度保障（责任体系、应急预案）双维度提出系统性解决方案，并结合典型事故案例验证措施有效性。研究表明，构建“技术+管理”双重防控体系是提升输配电工程本质安全水平的关键路径。

关键词：用电安全；安全性；输配电工程

引言

输配电工程作为电力系统的关键环节，其建设质量与效率直接关系到电力供应的可靠性。输配电工程是支撑现代能源体系的核心基础设施，其施工阶段因涉及高空作业、野外操作、大型机械密集及临时用电系统复杂等特点，成为安全事故高发环节。据统计，电力建设领域近30%的人身事故与施工用电直接相关，触电、电气火灾等风险不仅威胁人员生命，更会导致工期延误、成本激增及社会信任危机。尤其在高压等级工程中，临时用电系统若设计缺陷或管理疏漏，可能引发连锁性电网事故。因此，构建科学严密的施工用电安全防控体系，既是遵守《安全生产法》《施工现场临时用电安全技术规范》的法定要求，更是保障工程质量与进度的战略需求。本文将从重要性、技术措施、管理机制及案例实证四方面展开深度论证。

一、施工建设用电安全在输配电工程中的核心重要性

施工用电安全是输配电工程建设的生命线，其影响贯穿项目全周期。从法律遵从性看，《建设工程安全生产管理条例》明确要求施工单位对临时用电系统承担主体责任，触电事故将引发行政处罚、刑事追责及巨额赔偿。从工程经济性分析，单次触电事故平均导致工期延误15-30天，直接经济损失超百万元，间接成本可达直接损失的5倍以上。在技术层面，输配电工程多在带电环境施工，如某500kV项目需在运行线路旁组塔，临时

用电设备接地不良可能产生数千伏感应电压，危及作业人员并诱发电网跳闸。更关键的是，施工用电质量直接影响工程本体安全：混凝土浇筑振捣器电压不稳会导致结构密实度不足，张力放线设备供电中断可能引发导线磨损。因此，施工用电安全本质上是工程质量的根基性保障。

二、输配电工程施工用电安全的核心技术防护措施

1. 严格执行TN-S接地系统与三级配电架构

TN-S接地保护系统是施工现场防触电事故的基石性技术措施，其核心在于实现保护零线（PE）与工作零线（N）从电源端至用电设备端的全程物理分离。在输配电工程中，总配电室变压器中性点需通过截面不小于 25mm^2 的铜缆双重接地，接地电阻必须稳定 $\leq 4\Omega$ （高土壤电阻率地区可采用降阻剂或深井接地）。PE线需采用黄绿双色绝缘电缆明示，贯穿所有配电层级，并在各级配电箱设置专用汇流排。所有电气设备金属外壳（如电焊机、搅拌机、钢筋加工机械）必须通过截面积 $\geq 2.5\text{mm}^2$ 的铜芯软线与PE端子可靠连接，严禁借用脚手架或金属构件替代。三级配电架构要求总配电箱（一级）至分配电箱（二级）距离 $\leq 200\text{m}$ ，分配电箱至开关箱（三级） $\leq 30\text{m}$ ，开关箱与用电设备距离 $\leq 3\text{m}$ ，确保供电半径合理以减少压降。关键防护在于两级漏电保护器的协同配置：总配电箱安装额定动作电流100-300mA、动作时间0.2-0.3s的延时型漏保，作为间接接触保护和电气火灾防护；开关箱必须配置额定动作电流 $\leq 30\text{mA}$ 、动作时间 $\leq 0.1\text{s}$ 的瞬时型漏保，直接防止人员触电。以

某 ±800kV 特高压换流站工程为例，项目采用智能漏电监测系统实时记录漏保动作参数，数据显示两级漏保配合使潜在触电事故拦截率达98.7%，同时通过PE线多点接地将故障电压限制在24V安全范围内。配电箱体须满足IP54防护等级（防尘防溅水），箱内采用阻燃型电器元件，进出线口设置45°防水弯并加装橡胶护套，箱门内侧张贴配电系统图及责任人信息，确保本质安全与可追溯管理。

2. 绝缘防护与安全距离的刚性管控

输配电工程临时用电线路的绝缘可靠性直接决定事故风险等级。主干线路须选用YC-3×150+2×70mm²重型橡套电缆（耐压1kV/耐温90℃），其双层绝缘结构与氯丁橡胶护套可抵御野外机械损伤及紫外线老化；移动设备电源线采用YZ-3×10+1×6mm²中型缆，抗扭绞次数≥20000次。敷设方式需场景化设计：跨越施工道路时采用钢索架空敷设，高度≥6m并外套Φ110mm阻燃PVC管，管口做防火封堵；直埋电缆深度≥0.7m，铺100mm细砂后覆盖混凝土盖板，沿线设置荧光警示标志。邻近带电体作业是最大风险点——在220kV运行线路下方施工时，要求最小安全距离≥5m（依据DL 5009.2-2013），使用激光测距仪每30分钟校准一次，偏差超10%即触发声光报警。大型机械如吊车在500kV线路侧作业时，需安装毫米波雷达测距系统，实时监测臂架与导线距离（设定阈值≥8.5m），并联动液压限位装置强制制动。在潮湿环境（如电缆隧道、基坑）中，强制采用安全特低电压（SELV）系统：照明使用12V IP68防爆LED灯带，供电侧配置双重绝缘隔离变压器（输入/输出绕组间耐压4kV），二次回路与地完全隔离。某长江大跨越工程实践表明，通过上述措施将感应电压从6.8kV降至12V以下，成功消除跨步电压风险。同时建立动态气象响应机制，遇雷雨天气提前切断非必要电源，确保极端环境下的绝缘安全裕度。

3. 特种设备与临时照明的本质安全设计

电焊机作为高触电风险设备，必须实施全流程管控：一次侧电源线选用YCW-3×16+1×10mm²耐油污电缆，长度严格≤5m；二次侧搭铁线采用YH-50mm²焊接专用缆，与工件接触点打磨处理以降低接触电阻；电焊机外壳接地线截面≥10mm²，接地电阻≤10Ω。每台焊机独立配置带30mA漏保的防雨型开关箱，箱内安装空载降压装置（工作电压≤24V）。手持电动工具执行分级管理：Ⅰ类工具（金属外壳）必须通过漏保供电；Ⅱ

类工具（双重绝缘）每月用2500V兆欧表检测绝缘电阻（≥7MΩ）；Ⅲ类工具（安全电压）配专用隔离变压器。照明系统按三类场景差异化配置：一般施工区采用150W LED泛光灯（色温5000K/照度50lux），通过30mA漏保供电；金属容器内使用12V防爆灯带（IP67），沿壁敷设防机械损伤护套；应急疏散通道设置自带蓄电池的智能感应灯，断电后持续照明≥90分钟。某换流站项目通过全面淘汰2000只碘钨灯，改用恒流驱动LED灯具后，电缆温度从68℃降至41℃，年电气火灾风险归零。所有用电设备实行“一机一码”信息化管理，扫码可查检测记录，超期未检设备自动断电闭锁。

三、施工用电安全管理的制度化保障体系

1. 全链条责任体系与标准化流程

构建“建设单位主导监督、总包单位统筹实施、分包单位现场落实”的三级责任体系，明确项目经理为施工用电安全第一责任人，配备专职电气工程师（持注册电气工程师证书）负责技术决策。实施临时用电施工组织设计（方案）的专家论证制度：方案需包含负荷计算（需用系数法K_x取0.7）、短路电流校验（考虑变压器阻抗）、防雷设计（独立针高度≥15m）等核心参数，经5人以上专家组评审签字后执行。关键工序实行许可作业票管理：邻近110kV带电线路吊装作业前，需签发《特种作业票》，明确安全监护人、机械操作手、信号指挥员三方职责，落实“三核对”（核对安全距离预控值、核对绝缘工器具检测报告、核对气象预警信息）。某特高压工程通过BIM技术预演施工用电场景，优化配电箱定位37处，规避交叉作业风险12项。建立分包单位安全履约保证金制度，将用电违章行为与经济责任挂钩，实现责任穿透式管理。

2. 专业化队伍与沉浸式教育培训

电工配置标准执行“1+1”原则：每50台用电设备配1名持证电工，另增1名后备电工应对突发状况。电工须同时持有特种作业操作证（低压/高压）和电工进网作业许可证，每2年参加72学时复训（含10学时VR实操）。创新培训模式：开发220kV感应电击VR体验系统，模拟0.1s内10mA电流引发的肌肉强直效应；建立心肺复苏智能考核平台，要求4分钟内完成胸外按压（深度5-6cm/频率100-120次/分）+AED除颤操作。实施全员分岗培训：管理人员重点掌握《电力安全事故应急处置条例》责任条款；作业人员需通过“安全距离目测考核”（误差≤10%）；特种机械操作手需熟记设备接地电

阻限值(如泵车 $\leq 4\Omega$)。某跨海电缆工程首创“安全护照”制度,将培训学时、违章记录、应急能力等数据加密存储,未达标者禁止进入带电区域。

3. 智慧化监控与预防性维护机制

部署基于物联网的智能用电监控平台:在配电箱安装多参数采集终端(监测漏保动作值、电缆接头温度、三相不平衡度),通过LoRa无线组网将数据实时传输至BIM管理平台。建立“三级三检”制度:电工每日巡查测试漏保试验按钮(动作时间 $\leq 0.1s$);项目部每周用红外热像仪扫描配电线路(温差 $> 15^\circ C$ 即预警);第三方机构每季度开展接地电阻摇测(采用三极法)和绝缘电阻检测(1000V摇表测值 $\geq 0.5M\Omega$)。推行预防性维护策略:电缆使用满2000工时分色管理(黄色预警/红色更换);开关箱内元器件执行寿命周期管控(交流接触器动作10万次强制更换)。某城市地下管廊工程应用AI视频分析系统,自动识别未佩戴绝缘手套等违章行为,累计触发预警427次,违章率下降76%。

4. 实战化应急响应与持续改进

应急预案编制采用情景构建技术:针对触电事故设定“发现呼救 \rightarrow 切断电源(0-1min) \rightarrow 绝缘杆移离伤员(1-2min) \rightarrow 心肺复苏(2-6min) \rightarrow AED除颤(6-8min) \rightarrow 转运就医”的标准化流程。应急物资按施工段配置:每500m作业面设应急柜存放2套绝缘手套(耐压17kV)、4台自动体外除颤仪(AED)、20具7kg二氧化碳灭火器。每季度开展无脚本演练:随机设定“电缆沟积水触电”等场景,考核团队响应时效(目标 $< 8min$)。某大跨越工程通过盲演优化流程,将应急响应时间从15分钟压缩至5分48秒。建立事故根因分析数据库,应用“5Why法”追溯管理缺陷,如某起漏保失效事故最终追溯至采购环节的供应商资质造假问题,推动建立供应商黑名单制度。严格执行《电力安全事故应急处置和调查处理条例》,事故整改措施落实率纳入企业信用评价体系。

四、典型案例分析:某500kV线路跨越施工放电事故

某500kV输电工程在跨越110kV带电线路时,作业人员王某手持4m镀锌钢管在跨越架顶作业,因安全监护缺位及距离判断失误,钢管顶端与110kV-C相距离缩至0.8m(低于1.5m标准),引发空气击穿放电。电弧熔断钢管致王某面部灼伤,坠落时安全网承救。事故直接原因因为动态安全距离失控,深层次暴露四大缺陷:①未执

行“手持金属物长度 $\leq 1m$ ”的硬性规定;②监护人员未制止超高作业;③安全交底未覆盖长物件的静电感应风险;④缺乏电弧烧伤急救物资。项目采取六项整改:全线停工排查;强制使用绝缘绳索传递工具;架设高清监控探头;实施带电作业准入考试;增配烧伤急救包;对责任人追责。整改后同类作业风险降低80%,印证技术刚性约束与管理执行力缺一不可。

结束语

输配电工程施工用电安全是维系人员生命、工程质量和电网稳定的核心要素。本文通过多维论证揭示其战略价值:法律层面关乎企业存续,经济层面影响项目盈亏,技术层面决定系统可靠性。在防护措施上,必须坚持技术与管理双轮驱动——技术端筑牢TN-S系统、三级配电、漏电保护、安全距离“四道防线”;管理端构建责任体系、智能监控、实战应急“三重保障”。典型案例警示我们:再完善的技术方案若缺乏执行力,终将酿成事故。

面对特高压、深海电缆等复杂工程新挑战,未来需在三方面突破:技术创新上研发自适应漏电保护装置、耐 $-40^\circ C$ 特种电缆;管理升级中推广数字孪生技术实现用电风险预演;文化培育重在建立“敬畏风险”的行为自觉。唯有将规范标准内化为作业本能,方能在高质量发展的时代要求下,打造零事故的输配电建设新生态,为构建新型电力系统奠定本质安全根基。

参考文献

- [1]徐妃劲.施工建设用电安全性在输配电工程建设中的重要性及措施[J].电子元器件与信息技术,2022(5):179-182.
- [2]白金山.基于施工建设用电安全性的输配电工程建设探究[J].文渊(高中版),2022(9):160-162.
- [3]曹永兵.施工建设用电安全性的输配电工程建设分析[J].现代物业:新建设,2020(2):0019-0019.
- [4]赵庆凯.基于施工建设用电安全性的输配电工程建设探究[J].科技风,2020(15):1.
- [5]马诗彬.基于施工建设用电安全性的输配电工程建设探究[J].明日,2021(5):0052-0052.
- [6]刘甫辉.输配电及用电工程的安全管理思考[J].建筑技术研究,2021,4(5):24-25.