

医院总配电防雷改造后送电跳闸故障成因探析

冯有成, 周文峰*, 高耀文

青海省气象服务中心, 青海 西宁 810001

DOI:10.61369/ETQM.2026070003

摘 要 : 本文以西宁市某三级甲等医院完成总配电防雷升级工程后, 初次合闸供电即刻发生保护跳闸故障作为研究案例。结合西宁区域年均雷暴日区间 41.7 ~ 55 d、土体电阻率偏高、季节性冻土广泛分布等高原特有地质气象条件, 同时兼顾医疗机构 ICU、手术室、高压氧舱等生命保障类负荷不间断供电硬性要求, 通过现场实地勘测、电气参数实地检测、全流程施工工序复盘等手段, 系统梳理本次合闸跳闸事故的多重诱发要素。研究证实, 防雷装置接线工艺失准、电涌保护器 (SPD) 规格选型与配电系统不匹配、等电位连接施工不符合规范标准、整体接地网实测电阻超出规范限值、配电保护装置定值整定存在偏差是引发故障的五大核心诱因。针对以上问题制定配套整改处置方案, 同时建立适配高海拔医疗建筑配电防雷改造的全过程施工管控细则, 可为国内同类型高原医院供配电升级项目故障排查、标准化施工提供实操参考依据, 保障医疗机构整体供电网络持续稳定运行。

关 键 词 : 西宁三甲医院; 主供配电系统; 防雷改造工程; 合闸跳闸故障; 故障诱因分析; 高海拔配电安全管控

Analysis of Tripping Failure Causes of Main Power Distribution System After Lightning Protection Retrofit in Medical Buildings

Feng Youcheng, Zhou Wenfeng*, Gao Yaowen

Qinghai Meteorological Service Center, Xining, Qinghai 810001

Abstract : Taking the instant protective tripping failure triggered by the first power closing operation after lightning protection upgrading of main power distribution equipment in a Grade A tertiary hospital located in Xining as the research object, this paper carries out comprehensive analysis of accident inducements. Combined with unique plateau environmental characteristics of Xining, including annual thunderstorm days ranging from 41.7 to 55 days, high soil resistivity and widespread seasonal frozen soil, as well as the mandatory uninterrupted power supply standard for life-support loads such as intensive care units, operating rooms and hyperbaric oxygen chambers inside medical facilities, field investigation, on-site electrical parameter measurement and construction procedure review are adopted to sort out multiple factors leading to closing tripping failure. Five primary fault triggers are identified, namely nonstandard wiring of lightning protection components, mismatched specification of surge protective devices (SPDs), substandard equipotential bonding construction, grounding resistance exceeding specified threshold and improper setting of distribution protection parameters. Corresponding rectification measures and full-process construction management specifications suitable for lightning protection renovation of power distribution systems in high-altitude medical buildings are put forward. The research outcomes can offer practical technical references for fault diagnosis and standardized construction of similar power upgrading []projects in plateau hospitals, so as to guarantee continuous and reliable operation of medical power supply systems.

Keywords : Grade A tertiary hospital in Xining; main power distribution system; lightning protection renovation project; closing tripping failure; fault inducement analysis; safety control of high-altitude power distribution

引言

西宁市坐落于青藏高原东北部地带, 属于雷电灾害高风险高原区域, 本地雷电具备冲击电流幅值大、正极对地闪电占比突出、空间

作者简介:

冯有成 (1971.11-), 男, 汉族, 陕西省宝鸡市人, 本科, 工程师, 研究方向: 气象服务;

高耀文 (1992.08-), 女, 汉族, 山西省朔州市人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 气象服务。

通讯作者: 周文峰 (1972.05-), 男, 汉族, 河南省南阳市, 大专, 工程师, 研究方向: 气象服务。

感应过电压作用显著等典型特征。辖区内三甲医院总配电系统是全院医疗用电的核心枢纽，承载重症监护、外科手术、高压氧治疗等一级生命支持负荷，对供电持续性与运行可靠性存在严苛约束。该医院原有配电系统仅满足第二类防雷工程设计标准，实测整体接地电阻达到 $12\ \Omega$ ，且各级配电回路缺少分级电涌防护装置，难以抵御高原地区强雷电产生的冲击过电压，因此启动总配电系统一类防雷标准升级改造，改造范畴涵盖 SPD 设备整体更换、室外接地网优化扩容、建筑全域等电位联结完善、进线主断路器性能升级等多项内容。整套改造工程竣工完成后实施首次空载合闸送电，进线总断路器瞬时动作跳闸，即便切断后端所有负载空载合闸，跳闸故障现象仍重复出现，直接干扰医院急诊救治与常规诊疗业务有序开展。医疗机构配电系统不允许长时间停电检修，加之高原冻土、高阳地层等特殊环境会改变配电、防雷设备运行工况，导致该类场景跳闸故障机理较平原地区更为复杂。本文依托现场实测数据与电气理论推导，精准定位故障根源并解析失效作用机制，为高原地区医疗建筑配电防雷改造规避同类合闸故障提供理论与实操支撑。

一、项目概况及故障现场表现

（一）改造项目基本情况

本次改造对象为西宁市一所综合性三级甲等医院主配电室，整套供配电设施投入使用已逾 8 年。本次升级工程全部依照一类建筑物防雷设计规范开展，原有二类防雷体系全面提档升级；统一更换一、二级组合型电涌保护器，加装总等电位汇集端子箱；采用深井垂直接地极搭配长效化学降阻材料改造全域接地网络，设计控制接地电阻限值不高于 $4\ \Omega$ ；同步更换电源进线塑壳保护开关，重新布设全套防雷引下线与接地支线。施工工序全部完工后，施工单位未开展空载分阶段试验，直接一次性合闸投运。

（二）典型故障特征

1. 电源进线总开关合闸瞬间即刻脱扣跳闸，现场未听见设备异响，也无短路打火、电弧现象；开关手动复位后多次重复合闸操作，故障复现规律完全相同。
2. 将后端全部医疗用电负荷切断，仅保留配电前端母线空载试送电，保护开关依旧瞬时跳闸，由此能够排除后端负载短路、过载等故障诱因。
3. 现场仪器实测三相进线电压数值均衡，不存在缺相、相线断线等供电异常，可初步判定故障根源集中在本次防雷改造设备与施工环节。

二、故障现场检测及跳闸诱因深度分析

结合高海拔地区配电运行特性与本次防雷改造全施工流程，分别从浪涌防护装置、布线施工工艺、接地网络、保护定值、高原环境影响五大维度逐项检测排查，最终确定引发合闸跳闸的多项核心诱因：

（一）电涌保护器接线工艺错误、型号规格适配性不足（跳闸直接诱因）

1. 线缆极性反向搭接：现场拆解检测可见新装一级 SPD 相线与保护地线接线颠倒，同时接地引出线缆敷设长度达到 1.2m，超出规范 0.5m 的上限要求；接地导体截面积仅 10mm^2 ，达不到规范不小于 16mm^2 的硬性标准。合闸通电瞬间形成相线对地短接回路，瞬时大短路电流直接激活进线开关短路保护功能，是本次合闸跳闸最直接因素。

2. 高原工况设备选型偏差：西宁区域雷电冲击电流峰值相比平原地区高出 30%，规范要求一级防护设备选用 $10/350\ \mu\text{s}$ 波形大通流电涌保护器，而施工单位错配二级 $8/20\ \mu\text{s}$ 波形 SPD，设备自身耐冲击电压裕量不足。合闸瞬时产生的感应过电压击穿 SPD 内部压敏电阻模块，造成防护元件内部短路，进一步加剧开关跳闸问题。

（二）等电位跨接施工不符合规范标准（漏电保护误动作主要因素）

该医院配电系统采用 TN-S 三相五线供电体系，设备保护 PE 线与防雷人工接地体需各自独立布设，仅在总等电位位置实现单点连通。现场施工人员混淆工作接地与防雷接地两类接地体系的边界，直接将配电柜外壳、电力桥架、配电变压器外壳防雷接地导体和 PE 保护线并联搭接，系统内部生成非正常漏电环路，回路漏电流超过开关保护动作阈值，诱发漏电保护无故障误跳闸。

（三）接地网施工质量不合格，整体接地电阻超出设计限值

西宁市本地土体电阻率区间为 $5000\sim 10000\ \Omega\cdot\text{m}$ ，季节性冻土层埋深可达 1~2m，针对该地质条件，改造方案明确接地极埋设深度不得低于 1.2m，整体接地电阻控制在 $4\ \Omega$ 以内。实际施工存在三处明显缺陷：接地极搭接焊缝焊接质量差，多处出现虚焊、漏焊；降阻材料回填不均匀，无法形成连续导电降阻层；接地体实际埋深仅 0.8m，未能避开冻融交替层。现场实测整体接地电阻 $6.8\ \Omega$ ，未达到设计指标，雷电冲击电流无法快速向大地泄放，合闸瞬间产生明显地电位反击效应，设备间形成巨大电位差，触发保护开关脱扣。

（四）断路器保护定值参数设置缺乏合理性（误跳闸重要诱因）

改造更换的总进线断路器，施工人员未结合医疗负荷与高原配电特性整定参数：将漏电动作电流设为 30mA（民用常规标准），而医疗总配电规范要求为 100~300mA，防雷改造后系统杂散电流增大，微小漏电即触发动作；同时短路保护瞬时整定电流偏小，合闸瞬间励磁涌流被判定为短路电流，造成断路器无差别瞬时跳闸。

三、全过程施工质量控制对策

1. 全工序过程质量管控：针对接地极焊接、导体压接、接地

网埋设等关键施工节点，每道工序完成后同步开展绝缘性能、接地电阻检测核验，从施工源头消除隐蔽电气隐患；

2. 分级分步送电试验流程：整体改造工程完工后，优先开展空载合闸测试，再逐级接入各支路医疗负荷分步投运，严禁改造结束直接带全部负载一次性合闸；

3. 适配高原环境周期性专项巡检：每半年完成接地网电阻、SPD 防护元件性能检测，每年雷雨季节结束后开展深度专项排查，及时处置冻融循环、土壤腐蚀引发的防雷设备老化失效问题。

四、结论

本文研究的西宁三甲医院配电防雷升级后合闸跳闸故障，属于施工操作不规范、浪涌防护设备选型偏差、保护装置参数整定不合理与高原特殊地质气象条件叠加诱发的复合型电气故障。其中 SPD 接线颠倒、设备型号与本地雷电工况不匹配是造成瞬时跳

闸的直接诱因；等电位跨接施工违规、整体接地电阻超出设计限值为系统长期存在的核心安全隐患；加之断路器定值设置失误、现场施工工艺粗糙，叠加西宁高寒冻土、雷电冲击强度高、地层电阻率偏大的区域环境条件，最终引发投运即跳闸的故障现象。

针对高原医疗机构配电防雷升级工程，施工与设计阶段需兼顾三项核心约束：医疗生命保障负荷不间断供电硬性要求、高原雷电冲击破坏能力更强、高寒冻融地层带来的接地施工难点。项目全过程必须严格落实一类建筑物防雷设计相关规范标准，强化从材料进场到竣工投运的全流程监督管理，做到防护器件精准选型、线路连接标准化施工、继电保护参数科学整定调试。

本次故障排查、成因分析与整改处置方案，可为西宁市及青海同海拔区域医疗机构、大型公共建筑配电防雷改造项目提供完整工程实例参考。唯有严格执行标准化施工工艺、充分适配高原独特地质雷电环境、落实分级送电检测流程，才能从根本上规避改造后送电跳闸类故障，持续保障医院诊疗供电系统安全稳定运行，筑牢高原医疗机构生命保障负荷供电安全屏障。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50343-2012 建筑物电子信息系统防雷技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 312-2013 医疗建筑电气设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

[4] 张建军. 高寒高原区域配电防雷工程施工关键工艺探析 [J]. 电力工程技术, 2022 (4): 112-117.

[5] 医疗建筑配电系统故障排查与运维安全管控手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2021.

[6] 中国电力企业联合会. GB/T 50064-2014 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.

[7] 刘健, 王毅, 王帅. 医院一级重要负荷配电系统故障诊断及应急处置方案 [J]. 电气工程应用, 2022 (3): 45-49.

[8] 马永福, 张东, 李新春. 青海高海拔区域输配电防雷接地技术优化研究 [J]. 青海电力, 2020, 39 (4): 1-5.

[9] 赵智慧. 配电防雷改造工程中 SPD 安装缺陷与合闸跳闸故障处置措施 [J]. 机电信息, 2021 (15): 56-57.

[10] 陈化钢. 高低压成套配电设备故障诊断与检修技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2018.