

千方百计确保人民温暖度冬

本刊编辑部

冬季是用电负荷高峰期，电力迎峰度冬是一场攻坚战。一方面，随着气温不断下降，很多地方迎来寒潮，用空调、电暖器、空气源热泵等取暖成为很多家庭必不可少的御寒方式。除了居民取暖耗电量大，工业生产耗能也会因车间保暖、机器维护等较平时有所增长。另一方面，在低温、凝冻等恶劣环境和供电负荷急剧增大的双重压力下，电网设备极易发生故障，这对电力安全稳定供应工作提出了更高要求。

据国家能源局 2023 年第四季度新闻发布会透露，下半年以来，国家能源局多次综合研判迎峰度冬电力供需形势，会同地方、电力企业等有关方面谋划部署电力保供工作，迎峰度冬电力保供总体有保障，局部面临一定压力。下半年以来，电力需求同比增长加快，9 月全社会用电量同比增长 9.9%，预计迎峰度冬期间全国最高负荷较去年同期可能增加 1.4 亿 kW，出现较大幅度增长。预计迎峰度冬期间全国电力供应总体有保障，但是西北、华东、西南、南方区域的部分省份电力保供压力较大。

国家电网有限公司 2023 年第四季度工作会议部署要求，全力以赴抓好迎峰度冬电力保供，紧盯目标任务，全力攻坚克难，推进迎峰度冬重点工程建设投产，提升电网资源配置能力。迎峰度冬期间，保障电网平稳运行和民生用电尤为重要。国家电网有限公司扛牢电力保供首要责任，早部署、早安排、早行动，全力备战迎峰度冬电力保供，强化安全管控，筑牢“三道防线”，加快推进迎峰度冬重点工程建设，精心开展电网检修作业，抓好各项措施落地，全力保障人民群众温暖过冬。

11 月初，受强冷空气影响，我国东北地区出现今年入冬以来首轮强降雪天气，部分地区冻雨与降雪叠加，给供电带来影响。国家电网有限公司迅速行动，公司有关单位提前启动恶劣天气预警响应，加强对输变配电设备的监控和特巡，受灾后组织员工迅速开展应急抢修，全面做好雨雪冰冻防范及应对工作，保障电网安全运行和电力可靠供应。面对暴雪冻雨，国网吉林电力组织开展雨雪冰冻灾害应急响应，提前完成人工观冰监测点 200 余套在线监测装置部署，完成覆冰区及易舞区 1.1 万基杆塔螺栓紧固工作，排查梳理 1.7 万套防舞措施运行情况，消除移位、脱落等缺陷 427 处。全力以赴打通供电、供暖、供水“民生链条”，千方百计保障民生用电。

面对今冬首场大雪，国网蒙东电力第一时间合理安排电网运行方式，落实灾害预防、电网防范雨雪冰冻灾害、防舞动和防低温工作措施要求，加强线路冰情监测，对部分覆冰舞动线路及时做好融冰、除冰工作；强化民生供电，关注城市小区、自然村等重点部位供电情况，强化对交通、通信、供水、供气、供热等基础设施及民生重要用户供电保障，做到应急预案“一户一策”，尽最大努力保障民生供电。

在我国南方地区，由于没有集中式供暖，空调、电暖器等成为人们冬季必不可少的御寒选择，迎峰度冬也成为南方地区的一场冬季攻坚战。南方电网所供应的广东、广西、云南、贵州、海南等省（自治区），在冬季用电的高峰时段逐年有所差别，具体时间与寒潮过程有较大关系，寒潮会造成取暖负荷的大幅增加。为做好因客户用电需求急剧上升而出现部分配变过负荷运行的应对工作，南方电网公司提前谋划、全面部署，补漏洞，消缺陷，除隐患，持续开展过负荷台区排查、线路特巡特维等工作，不断加大隐患排查及整治力度，保障线路可靠运行；有效应对冬季负荷激增情况，全力备战迎峰度冬，确保群众稳定用电。

农村电气化

NONGCUN DIANQIHUA

2023年第12期 总第439期 1979年创刊

2023年12月10日出版 月刊

刊名题字 李 鹏
主管 中国科学技术协会
主办 中国电机工程学会
中国标准连续出版物号 ISSN 1003-0867
CN 11-2181/TM
CODEN代码 NODIEE
编辑出版 北京国宇出版有限公司
地址 北京市大兴区地盛北街2号院17号楼
邮编 100176
网址 <http://www.chinarein.com>
微信公众号 re_magazine
总经理兼总编 陈士军
主编 盛万兴 耿立宏
副主编 袁 航 010-63231586
责任编辑 刘艳玲 010-63231649
张峰亮 010-63231647
投稿平台 <http://ncdh.cbpt.cnki.net>
邮箱 ncdqh@csre.org.cn
QQ交流群 35863746
印刷 北京盛通印刷股份有限公司
发行 北京国宇出版有限公司
邵文艳 010-63231592
张 节 010-63231638
秘 莹 010-63231636
刘翔羽 010-63231639
订阅邮箱 guoyu@csre.org.cn
内网邮箱 ndzwh@bj.sgcc.com.cn
订阅小程序 国宇出版
系统电话 926531638/649/586/647
广告 张朝勤 010-63231640
每期定价 16.00元
全年定价 192.00元

目次

电网建设

- 1 配网大档距裸导线风偏技术探讨 刘婷婷, 刘红松
5 0.4 kV 地理构件简易拔拆装置设计说明及应用分析 黄学淮

运行维护

- 8 CHB 直流侧免供电在配电网接地故障电流柔性调控分配中的方法研究 周 荃
13 防汛隐患杆塔应急抢修方法探讨 赵 蔚, 王海涛, 段赛飞

安全生产

- 17 35 kV 变压器绕组匝间短路故障分析及处理措施探讨
刘 钊, 田小龙, 刘小球
20 关于变压器铁芯和夹件多点接地的讨论
李 飞, 焦方军, 姜晓东, 房 悦, 杨 光
25 基于设备供电能力的 220 kV 变电站失电风险分析 李浩闪
28 一起 220 kV 某变电站 1 号主变启动损坏事件分析
周 刚, 张知宇, 王法顺
32 一起 10 kV 母线失压事件的分析及整改建议
张杰雄, 杨泳星, 张坚俊
36 10 kV 线路带角差不停电合环调电研究 雷巧红

智能电网

- 38 电动汽车充换电桩负荷互动式控制系统的研究与应用
李贞阳, 田利坤, 索明贵, 王家冕
41 变电站区域型远程智能巡检系统的设计与应用 黄建阳, 陈 硕

信息系统

- 47 摄像机云台预置位偏移检测与自动校正方法
张俊康, 戴熠晨, 王晓蓉, 许志坤, 王辉煌
50 基于灰色理论的关口计量二次回路状态评价研究
廖 涛, 杨 雷, 赵玉富, 彭小平, 王 平, 李培军

QC 小组

- 55 降低灯杆电阻不合格率 李 铁
60 表箱剩余电流动作保护器转换底座的研制 倪素奎
64 缩短管母线安装时间 齐泽力

清洁能源

- 67 335 kW_p 农光互补项目设计与建设 苏 渊, 秦江伟, 刘建国



中国科学技术协会优秀期刊
中国期刊方阵双效期刊
全国百家期刊阅览室指定赠刊

器具设备

- 72 螺栓连接预制龙门架的设计与应用
李海峰, 张子伟, 李晨阳, 倪浩然, 隗永燕
- 77 一种通用固定式安全带悬挂装置研制
秦炜聪, 庾 琴, 罗 喆, 李 澎, 王延夫, 龙亦文,
徐 蕾, 付凯朋, 秦家军
- 81 500 kV 线路串联电抗器研究与应用
李 峰, 谢国栋, 刘成国, 张 冬, 王 瑞, 刘博宇
- 84 智能无线互感器极性测试仪的研究与应用
董召强, 郭永翔, 魏 斌, 赵玉婷, 石家乐

经验点滴

- 87 浅谈变压器免维护呼吸器
李林华, 薛 冰, 霍 天, 陈宇翔, 方文军
- 89 500 kV 高压断路器打压频繁问题分析
刁兴逸, 徐成西, 南 洋, 夏博雅, 刘育武
- 91 城镇供配电网中电缆防火技术探讨 刘 昊, 李福生, 梁子俊
- 93 换流阀冷却系统自动模式信号退出导致换流阀闭锁问题处理
冯 鑫, 袁立敏, 霍 天, 文 欢, 张竞言, 段 歌
- 95 农村家庭触电保护系统的研讨 郭行干
- 99 一起 110 kV 变电站 10 kV 母线电压异常故障分析
陈鹏宇, 王 晶, 周 旭
- 101 国家电网小型基建限上项目工程质量探讨
刘 超, 孟美尊, 安 非, 夏圆圆, 尤朋飞

资 讯

- 前插页 千方百计确保人民温暖度冬 本刊编辑部
- 12 福建泉州公司: 助力产业园区绿色减碳发展
- 63 青海省全力推动绿色低碳循环经济发展
- 66 福建厦门公司: 开展工单驱动故障立体巡检
- 71 天津滨海公司: “满格电”助力津潍高铁高效施工
- 86 山西临汾公司: 投运山西省首批智慧配电站房
- 90 四川南充公司: 水电气联办跑出服务“加速度”
- 98 山东淄博公司: 办好居民充电桩报装“一件事”
- 封 2 滑县公司: 精心维护 为迎峰度冬上足“保险”
牟平公司: 展开拉网式巡视 确保可靠供电
- 封 3 建湖公司: 开展消防宣传 筑牢安全防线
宁晋公司: “绿色通道”服务孤寡老人

广 告

- 封面 宝胜科技创新股份有限公司
- 103 《农村电气化》《农电管理》订阅单
- 封底 北京华商三优新能源科技有限公司

总目次

- 104 2023 年总目次

编辑委员会

名誉主任委员

郑宝森

主任委员

路书军

副主任委员

孙吉昌	张莲瑛	林铭山	吴云喜
陈小良	周建方	张薛鸿	陈 坚
盛万兴			

委员 (按姓氏笔画 排序)

丁孝华	马钊(英国)	王立地	王自军
元 伟	戈立军	孔繁钢	艾 闯
冯 晋	宁 昕	伊有福	刘 东
刘 伟	刘建华	汤克艰	杜松怀
李 民	李 斌	李江涛	李建锦
李瑞生	李震宇	邱明泉	何 锐
汪发明	沈 广	张恩源	陈俊章
陈振宇	范 伟	欧阳亚平	岳红权
岳梦华	周开保	赵振宇	夏 越
顾联军	黄震宇	黄 燕	常俊祥
蔡丽华	蔡冠中	谭跃凯	缪学文
潘立志	潘继雄	薄 博	

声 明

本刊发表文章不收取任何费用, 一切收费行为均非本刊所为; 本刊已许可农村电气化网、中国知网、万方、维普、超星等及其系列数据库产品以数字化方式汇编、发行、网络传播本刊全文; 国宇出版公司向作者支付的稿酬已包含上述著作权使用费; 作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我公司上述声明; 未经同意, 本刊辑录之文章和插图, 不得转载或再编辑成书出版。

CONTENTS

◆Power Grid◆

- 1 Discussion on Wind Deflection Technology for Large Span Bare Conductors in Distribution Networks/LIU Tingting, LIU Hongsong
- 5 Design Description and Application Analysis of the Simple Drawing and Dismantling Device of 0.4 kV Buried Components/HUANG Xuehuai

◆Operation & Maintenance◆

- 8 Research on the Method of CHB DC Side Free Power Supply in Flexible Control and Distribution of Ground Fault Current in Distribution Networks/ZHOU Quan
- 13 Research on Laser Removal of Foreign Bodies in Transmission Lines/ZHAO Wei, WANG Haitao, DUAN Saifei

◆Safety◆

- 17 Diagnosis and Analysis of a 35 kV Transformer High-voltage Winding Inter-turn Short-circuit Defect/LIU Zhao, TIAN Xiaolong, LIU Xiaoyan
- 20 Discussion on Multipoint Grounding of Transformer Core and Clamp/LI Fei, JIAO Fangjun, JIANG Xiaodong, FANG Yue, YANG Guang
- 25 Risk Analysis of Power Loss in 220 kV Substations based on Equipment Power Supply Capacity/LI Haoshan
- 28 A Remote Closing Failure Analysis of 220 kV Line Switch in a Certain Substation/ZHOU Gang, ZHANG Zhiyu, WANG Fashun
- 32 Analysis and Rectification Suggestions of a 10 kV Bus Voltage Loss Event/ZHANG Jiexiong, YANG Yongxing, ZHANG Jianjun
- 36 Research on Power Adjustment of 10 kV Transmission Line with Angle Difference without Power Cut and Loop Connection/LEI Qiaohong

◆Smart Grid◆

- 38 Research and Application of Interactive Load Control System for Electric Vehicle Charging and Exchange Piles/LI Zhenyang, TIAN Likun, SUO Minggui, WANG Jiamian
- 41 Design and Application of Remote Intelligent Inspection System for Substation Area/HUANG Jianyang, CHEN Shuo

◆Information System◆

- 47 Deviation Detection and Automatic Correction Method for PTZ Camera Preset Position/ZHANG Junkang, DAI Yichen, WANG Xiaorong, XU Zhikun, WANG Huihuang
- 50 Research on the State Evaluation of the Secondary Circuit of Gateway Measurement Based on the Gray Theory of Metabolism/LIAO Tao, YANG Lei, Zhao Yufu, Peng Xiaoping, Wang Ping, Li Peijun

◆QC Group◆

- 55 Reduce the Lamp Pole Resistance Unqualified Rate/LI Tie
- 60 Development the Conversion Base of the Residual Current Operated Protective Device of the Electricity Meter Box/NI Sukui
- 64 Shorten the Installation Time of Pipe Busbar/QI Zeli

◆Clean Energy◆

- 67 Design and Construction of the 335 kWp Agricultural-Photovoltaic Complementary Project/SU Yuan, QIN Jiangwei, LIU Jianguo

◆Equipment◆

- 72 Design and Application of Bolted Prefabricated Gantry Frame/LI Haifeng, ZHANG Ziwei, LI Chenyang, NI Haoran, WEI Yongyan
- 77 Development of a Universal Fixed Safety Belt Suspension Device/QIN Weicong, Tuo Chen, LUO Zhe, LI Peng, WANG Yanfu, LONG Yiwen, XU Qiang, FU Kaipeng, QIN Jiajun
- 81 Research and Application of Series Reactors for 500 kV Transmission Lines/LI Feng, XIE Guodong, LIU Chengguo, ZHANG Dong, WANG Rui, LIU Boyu
- 84 Research and Application of Intelligent Wireless Transformer Polarity Tester/DONG Zhaoqiang, GUO Yongxiang, WEI Bin, ZHAO Yuting, SHI Jiale

◆Experiences◆

- 87 Talk About Transformer Maintenance-free Breathing Apparatus/LI Linhua, XUE Bing, HUO Tian, CHEN Yuxiang, FANG Wenjun
- 89 Analysis of Frequent Suppression of 500 kV Circuit Breakers/DIAO Xingyi, XU Chengxi, NAN Yang, XIA Boya, LIU Yuwu
- 91 Research on Cable Fire Protection Technology in Urban Power Supply and Distribution Network/LIU Hao, LI Fusheng, LIANG Zijun
- 93 The Automatic Mode Signal of the Cooling System of the Converter Valve Has Exited, Causing the Converter Valve to Lock/FENG Xin, YUAN Limin, HUO Tian, WEN Huan, ZHANG Jingyan, DUAN Ge
- 95 Discussion on the Protection System for Electric Shock in Rural Households/GUO Xinggan
- 99 Analysis of an Abnormal 10 kV Bus Voltage Accident in a 110 kV Substation/CHEN Pengyu, WANG Jing, ZHOU Xu
- 101 Discussion and Countermeasures on the Engineering Quality Problems of State Grid's Small-scale Infrastructure Projects with Limited Scope/LIU Chao, MENG Meizun, AN Fei, XIA Yuanyuan, YOU Pengfei

配网大档距裸导线风偏技术探讨

刘婷婷¹, 刘红松^{2*}

(1. 国网安徽宿州供电公司, 安徽 宿州 234000; 2. 国网安徽宿州市城郊供电公司, 安徽 宿州 234000)

摘要: 文章对安徽省内典型风带、配网裸导线大档距现状、架空线路风偏故障原因做了简要分析, 对大档距裸导线风偏故障的防范治理措施, 从绝缘化、缩档距、增相距、强运维共4个方面, 阐述了具体可行的技术方案, 共同探讨。

关键词: 裸导线; 大档距; 风偏故障; 绝缘化; 相间距离; 间隔棒

中图分类号: TM727

Discussion on Wind Deflection Technology for Large Span Bare Conductors in Distribution Networks

LIU Tingting¹, LIU Hongsong^{2*}

(1. State Grid Anhui Suzhou Power Supply Company, Anhui Suzhou 234000, China; 2. State Grid Anhui Suzhou Suburban Power Supply Company, Anhui Suzhou 234000, China)

Abstract: This paper briefly analyzes the typical wind belt in Anhui province, the current situation of the distribution network bare wire large gap, and the causes of the overhead line wind deviation fault. The prevention and treatment measures of the large gap bare wire wind deviation fault are discussed from four aspects: insulation, reducing gap, increasing gap, and strong operation and maintenance.

Keywords: bare wire; large spacing; wind deviation fault; insulation; interphase distance; spacer bar

近年来, 因架空配电网网架薄弱、运行环境相对较差、通过复杂地形、恶劣气候条件日益增多等因素凸显, 给架空配电网的安全稳定运行带来了较大的影响。本文对配网风偏故障原因进行分析, 制定了相应的治理措施。

1 大档距裸导线风偏现状

1.1 安徽典型风带现状

安徽典型风带按区域分布统计, 风害故障主要分布在安徽典型风带, 包括马鞍山—巢湖风带、淮北—宿州风带、定远风带、淮南—合肥风带、宁国—广德风带; 另有其他风带分布, 地区分布性较为明显。

1.2 大档距裸导线现状

经统计排查, 全省 16 个地市均存在大档距裸导线, 其中六安、安庆、阜阳、宿州等区域分布居多。目前仍存在大量 25、35 mm² 的裸导线, 占全量裸导线的 25.48%, 此部分导线已不满足配网运行现状,

收稿日期: 2023-09-12

须工程改造彻底解决问题。

50 mm² 及以上裸导线占全量的 74.52%, 此部分导线虽不须工程改造, 可继续运行, 但仍存在线路裸露、档距大、相间距离小、线路通道环境差、线路弧垂不平衡等运行问题, 须开展技术治理和运维措施, 防范大风天气下线路故障。

1.3 风偏典型故障原因分析

案例 1: 2021 年 6 月 3 日, 35 kV 某变电站 10 kV 某线路因支线#2、#3 杆相间放电, 相间发生瞬时短路故障, 分段开展跳闸 1 次, 重合闸成功。此支线为 LGJ-35 mm² 裸导线, 受大风天气影响 (风速 29 m/s, 11 级大风), 相间放电痕迹明显。

原因分析: 因导线裸露无绝缘性, 线路三相弧垂偏差较大, 导线应力不平衡, 风偏下一旦碰触或临近即故障停电。

案例 2: 2021 年 7 月 26 日, 35 kV 某变电站 10 kV 某线路支线#5、#6 杆中相与边相线路缠绕, 故障跳闸, 重合闸未成功。此支线为 LGJ-35 mm² 裸导线, 档距 108 m, 弧垂较大, 受大风天气影响

(风速 27 m/s, 10 级大风), 发生线路缠绕。

原因分析: 档距较大的线路, 弧垂普遍较大, 受风力影响, 线路摆动幅度大, 产生相间短路故障。

案例 3: 35 kV 某变电站 10 kV 某线路采取双三角形排列, 横担长度 0.8 m, #21、#22 杆中间相间距离 13 cm, 发生相间距离过近、相间放电痕迹明显故障。

原因分析: 相间距离较小的线路安全距离不足, 同时故障时相间线路因电场力相互靠近, 安全距离进一步减少, 发生放电、绞线。

通过对历史架空配电线路风偏故障的分析可以发现, 故障原因有以下几点: 导线裸露, 无绝缘性能, 临近时易放电; 档距过大, 受风力影响线路摆动幅度大; 相间距小, 线路风偏导致相间距离不足^[1-2]。

2 大档距裸导线防风偏治理措施

大档距裸导线防风偏治理措施如图 1 所示。

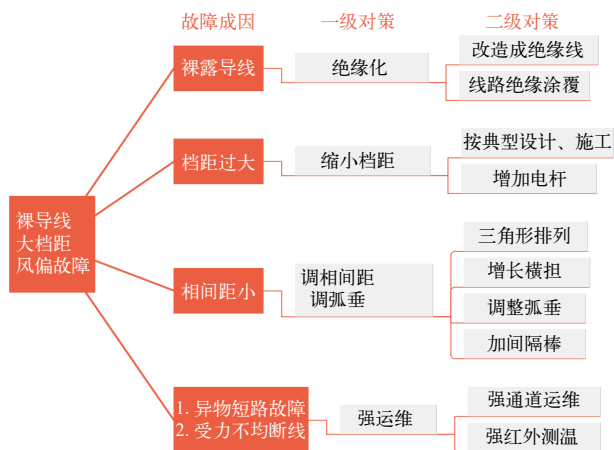


图1 裸导线大档距风偏故障原因及整改措施图

2.1 裸导线绝缘化

2.1.1 绝缘化改造 (适用于治理 25、35 mm² 裸导线)

配网线路绝缘化改造工程措施是彻底解决大档距裸导线防风偏治理重要措施。通过建立大档距裸导线基础台账, 做好项目储备, 利用基建、大修技改、成本等项目开展绝缘化改造, 解决风偏短路引起的线路故障。

新建线路, 应避免风口、迎风坡等易出现大风

灾害的地带; 易受灾害侵袭的线路应提高设计标准, 增加耐张段、缩短档距等措施。

跨越高速公路、铁路等长档距特殊地段的线路, 应设置独立耐张段, 采用角钢塔或钢管塔, 增加相间距离、固定更加牢固。

针对区域内风力、风向等合理选择线路走向, 尽量减少风向与导线夹角。10 kV 架空线路宜采用钢筋混凝土电杆, 特殊地段可采用高强度电杆、角钢塔或钢管塔^[3-4]。

2.1.2 绝缘化涂覆 (适用于治理 50 mm² 及以上裸导线)

随着近年来电网技术不断发展, 对于架空线路的绝缘处理, 还有另一种方法即绝缘涂覆。这种方法实际上是在裸导线上均匀的涂上一层绝缘涂料, 使裸导线变成绝缘导线。绝缘层厚度建议采用普通绝缘厚度 3.4 mm。

2.2 缩短裸导线档距

2.2.1 差异化设计改造 (适用于治理 25、35 mm² 裸导线)

在架空配电线路设计之初, 应充分对当地气候条件进行深入研究并剖析, 并根据实际气候合理提高局部风偏设计标准, 在设计风速、设计裕度、杆塔塔头尺寸以及施工安装工艺等多个方面进行技术强化, 适当减小档距, 配置防风拉线, 增加分段数量。

但在风偏设计中裕度增加太多时, 会导致设备建设成本增加, 因此须要设计者对其安全、效能和成本等因素综合考虑, 达到架空配电线路设计最优化处理。

根据 Q/GDW 10738—2020《配电网规划设计技术导则》, 强风区中压架空线路应采用差异化设计, 提高抗风设防水平。中压主干网架空线路宜采用单回架设, 保证线路之间的安全距离。为做好大档距防风偏治理, 建议在大风区域档距控制在 30~55 m 之间选择。

2.2.2 增设电杆 (适用于治理 50 mm² 及以上裸导线)

针对档距大于 80 m 以上裸导线采取增设电杆方式, 缩短档距, 平均档距控制在 40~50 m, 减少三相裸导线摆动, 降低风偏短路故障率^[5]。

2.3 增加相间距离

2.3.1 优选排列方式

根据国家电网公司系统各地配电线路的设计、安装和运行经验，杆头布置型式采用水平、垂直、三角共 3 种基本型式，并考虑单回线、双回同杆、三回同杆、四回同杆的布置。为防范风偏故障建议采用以下型式。

例 1：单回线路一般采用三角和水平排列 2 种杆头布置型式，建议在风力较大区域采取单回三角形排列，增加相间距离，减少风偏短路风险，如图 2 所示。

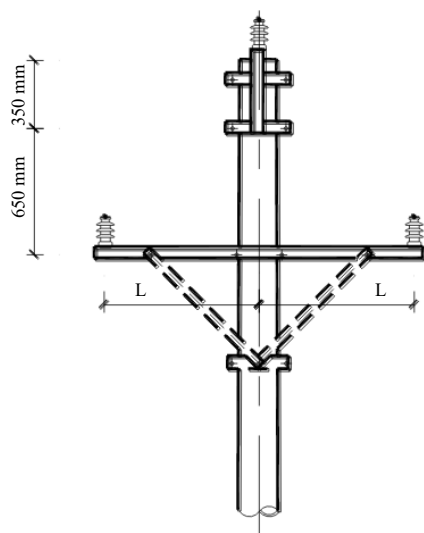


图2 单回三角形排列

例 2：同杆架设双回线路一般采用双水平、双三角、双垂直排列 3 种杆头布置型式。建议在风力较大区域采取双垂直排列方式，增加相间距离，减少风偏短路风险，如图 3 所示。

例 3：同杆架设三回线路，建议在风力较大区域采用上双三角下单水平、上双垂直下单水平排列 2 种杆头布置型式，如图 4、图 5 所示。

2.3.2 增加横担长度方式

横担的尺寸决定着线间距离，本着安全、经济、美观，方便加工、施工和运行的原则，在风口、迎风坡等易出现大风灾害的地带，通过选取较长横担增加相间距离，降低风偏短路影响，建议选取 2 m 以上横担。

2.3.3 采取双支柱绝子固定

在风口、迎风坡等易出现大风灾害的地带，建

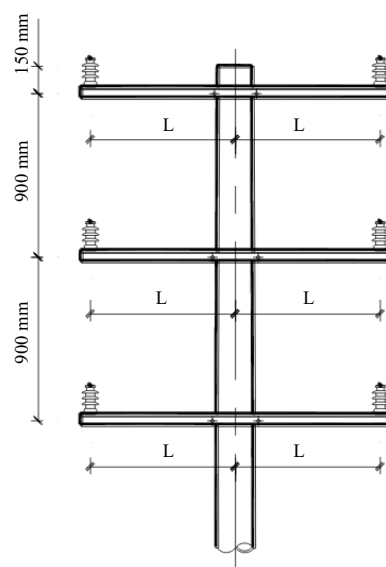


图3 双回垂直排列

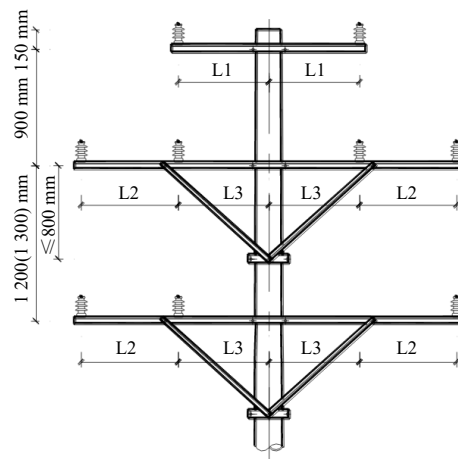


图4 上双三角下单水平排列

议采取双支柱绝缘子导线固定，不易发生或者可以大幅减少导线脱落引起的线路接地故障，导线脱落后相间距离缩短，在较强风力下易发生短路故障。

2.3.4 调整弧垂（适用于治理 50 mm² 及以上裸导线）

日常运维中，通过计划检修将弧垂较大线路，通过弧垂调整等方式增加相间距，减少线路风偏幅度，减少风偏短路风险。

2.3.5 增设绝缘间隔棒（适用于治理 50 mm² 及以上裸导线）

在架空配电线路中处于风口以及风道等微气象区的杆塔，因承受风力比较集中，也易导致风偏故

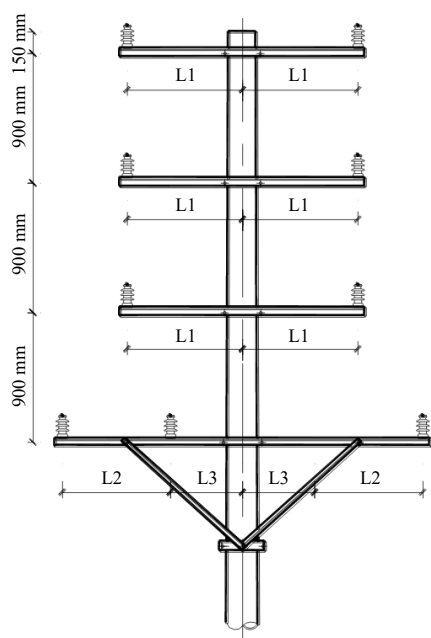


图5 上双垂直下单水平排列

障，可通过增设一种绝缘间隔棒方式稳定相间距离，减少风偏故障发生。

通过研制一种配网绝缘间隔棒，综合考虑间隔棒的绝缘耐压等级、线路承载力等因素，对绝缘间隔棒选型制作，安装至线路中间固定相间距离，减少风力作用下线路摆动，如图6、图7所示。

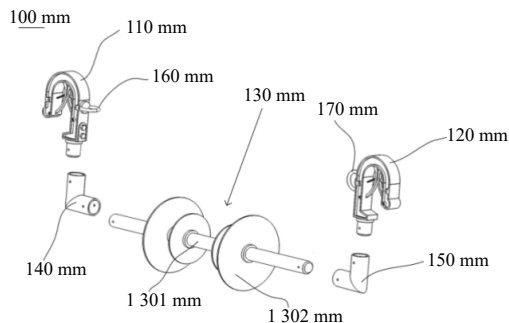


图6 绝缘间隔棒整体分解图



图7 实物图

安装后，跟踪不同大风天气下的停运情况，未发生因线路风偏造成的相间短路故障。

2.4 强化设备运维

2.4.1 开展通道清理

配电线路通道范围树木、房屋等距离较近时，在大风等天气时，线路摆动易与树木、房屋等产生放电而引起线路故障，因此确保通道内无与线路较近物体，是保障线路安全运行重要保障之一。

2.4.2 开展红外测温

由于线路金具受力不均匀、线路舞动、摆动等因素极易产生线路金具受损或者接触不实，引起金具发热、接触不良、断线、金具断裂等故障，利用红外测温等方式开展特殊巡视，及时发现并处理隐患点，避免因巡视不到位产生断线、短路故障。

2.4.3 开展无人机巡视

在大档距裸导线线路运维过程中，杆顶、跨越地段等人力难以实现巡视的位置开展无人机巡视，实现线路无死角巡视，提升线路运维巡视质量。

3 结束语

综上所述，为提高配电网供电可靠性，减少大档距裸导线风偏故障率，在前期工程设计阶段、工程建设阶段、配网设备运维阶段均可采取不同的治理措施，对大档距裸导线线路绝缘化处理、缩小线路档距、增加相间距离、强化设备运维等，有效提升配网线路运行可靠性。

参考文献

- [1] 郭亮,廖志军,李升健,等. 配网线路风偏跳闸故障的判定及风偏点的查找[J]. 江西电力, 2017, 41(8): 5.
- [2] 宋宏图. 架空输电线路三角支撑防风偏装置研究探讨[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(12): 140-141.
- [3] 中国电力科学研究院有限公司, 国网经济技术研究院有限公司, 国网上海市电力公司, 等. 国家电网公司配电网规划设计技术导则: Q/GDW 10738-2020[S]. 2020.
- [4] 国网安徽省电力有限公司经济技术研究院, 芜湖明远电力工程咨询设计有限公司, 国网安徽合肥供电公司, 等. 安徽省配电网规划设计技术细则: Q/GDW12-001-2022[S]. 2022.
- [5] 顾乡, 贲树俊, 谌猛, 等. 国家电网公司配电网工程典型设计 10 kV 架空线路分册 (2016 版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.

(责任编辑:张峰亮)

0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置设计说明及应用分析

黄学淮

(广东电网有限责任公司江门供电局, 广东 新会 529000)

摘要: 电力施工作业中采用地埋构件比较普遍, 构件类型多样, 且数量较多。若遇到迁改作业, 需要及时对地埋构件进行拆除。为保证拆除效果, 须引入专门的拆除装置。文章提出的0.4 kV地埋构件简易拆除拔拆装置就是针对低压配电运维迁改作业而设计的, 其应用既能减少拔拆作业人力投入, 又能提高拔拆作业安全性, 值得在配电运维、地埋构件拔拆作业中大力推广。文章对0.4 kV地埋构件简易拔拆装置做设计方面的说明, 并就其应用做相应的探讨。

关键词: 0.4 kV地埋构件; 拆除作业; 辅助装置

中图分类号: TM727

Design Description and Application Analysis of the Simple Drawing and Dismantling Device of 0.4 kV Buried Components

HUANG Xuehuai

(Guangdong Power Grid Co., Ltd. Jiangmen Power Supply Bureau, Guangdong Xinhui 529000, China)

Abstract: Buried components are common in power construction operations, with a variety of types and quantities. If encountering relocation operations, it is necessary to dismantle the buried components in a timely manner. To ensure the effectiveness of demolition, it is necessary to introduce specialized demolition devices. The simple dismantling and removal device for 0.4 kV buried components proposed in this article is designed for low-voltage distribution operation, maintenance, and relocation operations. Its application can not only reduce manpower investment in the demolition industry, but also improve the safety of demolition operations. It is worth vigorously promoting in power distribution operation and maintenance, as well as underground component demolition operations. This article also explains the design of a simple dismantling device for 0.4 kV buried components and explores its application accordingly.

Keywords: 0.4 kV buried components; demolition operations; auxiliary devices

近几年电力行业快速发展, 迁改项目增多。迁改对象既有架空线路、水泥电杆, 也有拉线、拉盘等, 一些埋藏在地下的基建构件是电力迁改作业的重点关注对象。地埋构件的有效拔拆也是比较棘手的问题。如果拔拆不及时、不规范, 很可能引发经济损失, 造成安全事故。因此, 研究一种适用于0.4 kV地埋构件简易拔拆作业情形的辅助装置十分必要。

1 0.4 kV 地埋构件

低压配电运维中0.4 kV地埋构件比较常见。将构件埋于地下有助于线路安全运行, 其深度一般在

收稿日期: 2023-08-15

1.5 m, 不会出现倒杆、断线等事故^[1]; 有助于构件管理工作的开展, 有助于提高供电服务质量, 减少电力部件人为破坏风险, 更不会出现占用耕地的问题, 有效节省成本, 保证供电服务品质。但是地埋构件的拔插难度大, 十分具有挑战性。

2 0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置设计背景

在电力改革的时代, 经济快速发展的浪潮下, 迁改项目多, 压力大。其中低压配电运维中迁改作业十分频繁, 迁改对象较多, 包括但不局限于架空线路、水泥电杆、拉线、拉盘等迁改, 地埋的基建构件如果没有进行恰当的处理, 容易对乡镇的交通及居民安全造成一定威胁, 比如水田里的杆头如没

有及时拔拆,更会损伤农田作业机具,对农户造成经济损失;半埋地下的角桩则须要用大锤长时间敲击松化沙石泥土才能顺利从地下拔起。

实际的拔拆作业中,运维人员普遍使用绳索对地埋构件进行固定,使用粗木桩作为受力支撑点,通过三四名工作人员使用纯人力抬起粗木桩将地埋构件从地下拔起,这种方法不仅耗时耗力,效率低下,存在人身安全风险,同时也对场地的面积和人员数量有着苛刻的要求^[2]。在这样的背景下,进行技术的革新,找到一种适用于 0.4 kV 地埋构件简易拔拆场景的辅助装置十分必要且迫切。

3 0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置设计亮点

根据上述分析,0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置主要在 3 个方面做了创新设计。加装扒杆底座,通过人员站立在其上方施加重力,创造一个稳固受力支撑点,底座与扒杆连接处有松紧抱箍构件,可通过拧紧螺丝来实现对扒杆的固定作用。增加绝缘防滑垫,加大底座对地面的摩擦力,以及加大扒杆与底座间的摩擦系数。扒杆及底座上附有定制的提手,方便作业人员手持设备到达作业现场。扒杆可和现有的紧线器具有高度兼容性,配合方便,操作简单。

0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置一方面通过扒杆和紧线器的配合,减少对水泥杆头、拉盘、地极、角桩的拔拆时间^[3],提高拔拆作业的效率;减少同时作业的所需人员数量,提高了地埋构件拔拆作业的安全性,为安全检修提供保障。另一方面利用大面积的底座以及人体自身的重力,通过简单的踩踏动作来稳定扒杆,形成更可靠牢固的受力支撑点,为紧线器提供更加可靠牢固的支撑点,使地埋构件的拔拆作业更加高效、安全。

4 0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置应用说明

4.1 装置环境要求

0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置对环境温度和环境湿度有一定要求。要求环境温度在 $-10\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内。要求环境湿度 $\leq 95\%$ 。0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置主要由扒杆、扒杆底座、松紧抱箍构件 3 个部分构成,0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置主要构成如图 1 所示,3 个部分各司其职又相互配

合,保证 0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置的正常规范使用。

4.2 装置使用要求

0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置的使用也有具体的要求^[4]。使用时只须将扒杆和底座组合固定,一名工作人员站立在底座上使用自身重力令该装置成为一个可靠的受力支撑点,将紧线器与扒杆上的圆孔连接,另一端与地埋构件连接,另一名工作人员可通过收紧紧线器来对 0.4 kV 水泥杆头、拉盘、地极、角桩等构件进行更加轻松地拔拆作业。

4.3 使用案例说明

南方电网广东省江门市供电局为了完成辖区内地埋构件拔拆任务,派出 2 名工作人员,对迁改区域内 0.4 kV 低压线路进行迁改作业。使用 0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置,将扒杆和底座携带至作业现场,在需拔拆的地埋构件装置旁放置好底座,由作业人员将扒杆插入底座的连接限位孔中,再通过旋紧螺栓的方式紧固松紧抱箍构件,从而完成装置的组装。一名工作人员站立在装置底座上,使用自身重力令该装置底座成为一个可靠的受力支撑点,再将紧线器穿过扒杆上的圆孔,伸缩端挂钩与地埋构件上捆绑的钢丝绳紧密连接,工作人员通过转动收紧另一端的滑轮摇柄来给予地埋构件拉力,另一名作业人员用手扶住扒杆确保其稳定性,通过此过程可以对 0.4 kV 地埋构件进行更加轻松的进行拔拆作业。

4.4 拔拆装置使用保障

地埋构件的拆除是一项高风险、高技术含量的工作。除了规范使用 0.4 kV 地埋构件简易拔拆装置外,还须要完善其他保障举措。主要包括环境评估、方案评估、场地保护、现场标识、人员安排、紧急应对。

在拆除过程中,须要加强现场保护,制定安全管理方案,避免发生危险。为减少拆除后产生的危害,不仅须要遵守相关规定和法律法规,还须要对其进行正确处理和处置^[5]。

在拆卸旧构件之前,要对构件质量进行准确评估,确认地埋构件是否损坏,在拆卸过程中采取相应的措施。在拆卸旧地埋构件之前,必须制定一份完备的拆卸计划,并制定相应的安全措施。

场地保护的最基本措施是搭建专业的作业围栏,

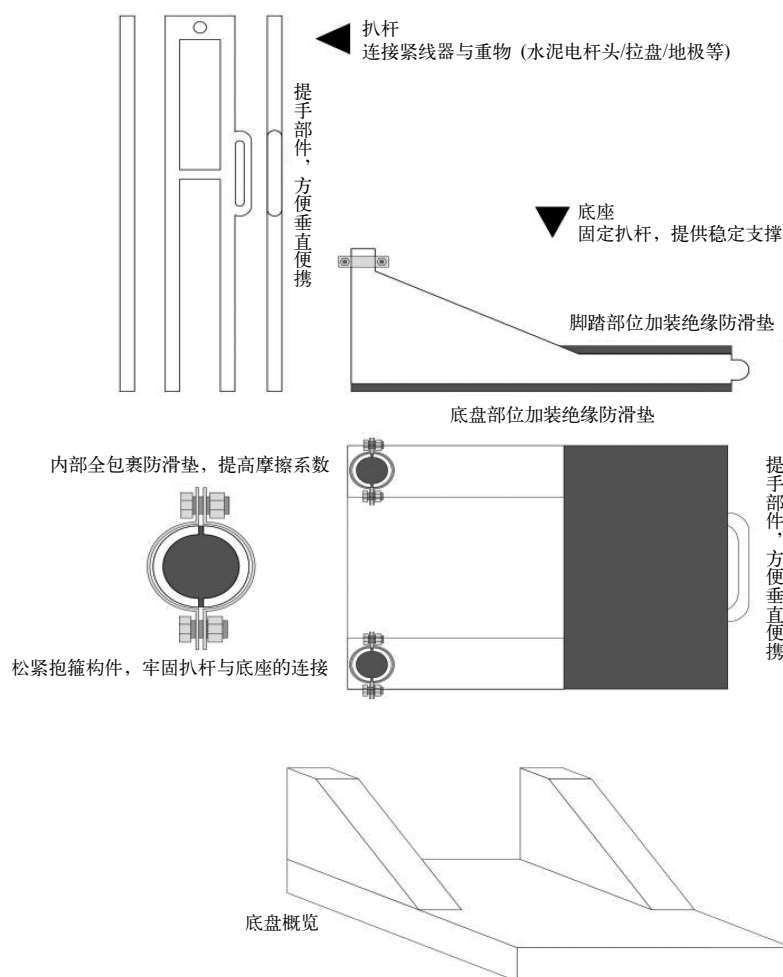


图1 0.4 kV 地理构件简易拔拆装置主要构成

以防止工作区域外的人员和车辆进入, 同时也可以减少其他外界因素对拆除工作的影响。

现场标识方面: 在拆除过程中须要建立现场标识, 以提醒现场工作人员避免危险。现场标识包括警告标识、禁止标识、引导标识等。

人员安排方面: 要求拆除过程中必须要根据现场工作的具体情况设置人员的位置和任务, 精确划分人员区域, 从而降低事故的发生概率。

紧急应对方面: 要求拆除过程中必须建立紧急救援计划, 当发生事故或突发事件时, 须要对现场人员进行疏散和救援。

5 结束语

本文主要围绕 0.4 kV 地理构件简易拔拆装置的设计及应用进行论述, 明确了 0.4 kV 地理构件简易拔拆装置设计背景、设计要点、技术创新点、使用

要求等。全面肯定了 0.4 kV 地理构件简易拔拆装置在低压配电运维迁改中的应用意义, 接下来将通过试点验证后, 大力推广 0.4 kV 地理构件简易拔拆装置, 扩大其应用范围, 提升其使用效益。

参考文献

- [1] 胡逸. 地理管地源热泵系统在西安某商业项目中的应用[J]. 建筑施工, 2022, 44(5): 1074-1077.
- [2] 彭进. 一种过路地理管新型管道定向穿管施工技术[J]. 中国建筑装饰装修, 2022(4): 44-45.
- [3] 成锐. 煤矿机电设备安装拆除工艺优化研究[J]. 当代化工研究, 2021(15): 155-156.
- [4] 郭小六. 综采工作面设备快速拆除工艺应用[J]. 机械管理开发, 2020, 35(4): 144-146.
- [5] 何钱金. 沉管隧道钢管桩混凝土墙微差控制爆破拆除施工技术[J]. 中国水运(下半月), 2019, 19(4): 191-193.

作者简介

黄学准(1978—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 低压配网。
(责任编辑: 张峰亮)

CHB 直流侧免供电在配电网接地故障 电流柔性调控分配中的方法研究

周 荃

(国网江苏省电力有限公司丹阳市供电分公司, 江苏 丹阳 212300)

摘要: 针对传统电力配电网的接地故障电流控制问题, 提出基于两相直挂式设备的配电网接地故障电流柔性调控。这一方法的主要特点包括简化设备结构、免供电、电压电流垂直原则、软并网和充电控制原则。通过Matlab 仿真验证了这一方法的可行性, 为改善电力系统的稳定性和可靠性提供了新思路。

关键词: CHB 直流侧免供电; 单相接地故障; 消弧; 配电网

中图分类号: TM734

Research on the Method of CHB DC Side Free Power Supply in Flexible Control and Distribution of Ground Fault Current in Distribution Networks

ZHOU Quan

(Danyang Power Supply Branch of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Jiangsu Danyang 212300, China)

Abstract: In response to the problem of ground fault current control in traditional power distribution networks, a flexible control method for ground fault current in distribution networks based on two-phase direct mounted equipment is proposed. The main features of this method include simplified equipment structure, power free, vertical principle of voltage and current, soft grid connection, and charging control principles. The feasibility of this method was verified through Matlab simulation. This provides new ideas for improving the stability and reliability of the power system.

Keywords: CHB DC side power free; single phase ground fault; arc suppression; distribution network

配电网中, 大部分故障为单相接地, 其引发的电弧威胁着配电网的稳定运行以及周边人员的生命和财产安全。为提高供电可靠性, 故障电流调控技术被广泛运用, 其中基于无源和有源消弧装置的技术被视为降低弧光接地故障潜在风险的有效途径。传统的无源调控装置通常利用消弧线圈来补偿对地电容电流, 然而却存在调节困难和响应滞后等问题。与此相对, 基于柔性装置的有源调控技术由于设备易控制、响应迅速和能够实现故障电流全补偿等优点, 受到国内外学者的关注^[1]。然而, 现有的柔性调控装置存在元件数量多且耐压要求高的问题, 且直流侧电容供电困难, 安装受限等限制因素。针对这些挑战, 本文提出了一种基于 CHB 变流器的两相柔性调控装置, 通过特定的结构设计和控制策略, 有效解决了直流侧电容供电问题, 同时简化了装置结构, 提高了其适用性和可操作性。

收稿日期: 2023-08-31; 修回日期: 2023-10-18

1 电网接地故障电流与 CHB 直流侧电压控制分析

本文使用了一个简化模型(如图 1 所示), 涉及到配电网和直流侧免供电的两相柔性调控装置。直流侧免供电的两相柔性调控装置具有 2 个 CHB 桥

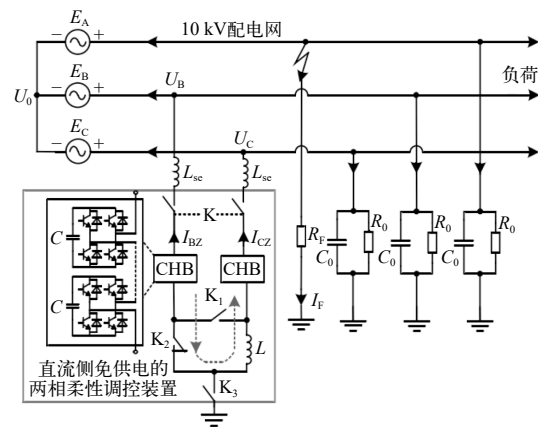


图1 配电网及两相装置的简化模型

臂，一端连接到配电网两相线，另一端则短接到桥臂的中点，并通过分压电感连接到地。假设该装置连接到配电网的 B 相和 C 相线，并且假设配电网的三相对地参数是对称的， I_{BZ} 、 I_{CZ} 为 2 个 CHB 桥臂向配电网注入的接地故障调控电流， E_A 、 E_B 、 E_C 为配电网的三相电源电压， L 为限流（分压）电感， L_{SE} 为连接电感， K 为装置并网开关， K_1 、 K_2 、 K_3 为限流电感旁路、限流、接地等开关， R_f 为故障电阻，当配电网发生单相接地故障时，存在等效零序通路^[2]。这个模型用于描述系统的运行和电流流动，有助于分析和控制电力系统中的接地故障，如图 2 所示为系统简化模型。

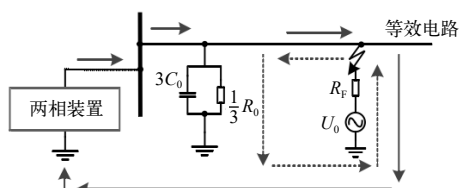


图2 系统简化模型

1.1 装置软并网与 CHB 直流侧电容充电方法

在装置直接并网时，存在一些不利的现象，如电压急剧上升和电流激增，这可能会导致开关元件的损坏并危及供电安全；因此，采取软并网措施对于保护装置和确保系统安全是必要的。具体来说，在直流侧免供电的两相柔性调控装置并网时，开关 K_1 和 K_3 被断开，而 K_2 被闭合，这使得 2 个并网的 H 桥子模块串联在一起。在这种情况下，各 H 桥子模块都被锁定，绝缘栅双极晶体管（IGBT）主要和单向导通的电力二极管具有相似的作用，并且充电的回路也转移成为了不可控整流电路。

CHB（H 桥型逆变器）的直流侧电容充电过程可以分为 2 个阶段：自然充电阶段和控制充电阶段。在将免供电的两相柔性调控装置（CHB）并网到直流侧时，首先锁定 CHB 的 IGBT，使其进入自然充电阶段。在这一阶段，CHB 的直流侧电容会自动进行充电。这个过程导致单相 CHB 的直流侧电压逐渐增加，直至达到配电网线电压峰值的 0.5 倍。当直流侧电压达到这个阈值时，充电过程会停止，同时充电电流会下降至电流峰值的 0.25 倍水平。这个转变标志着自然充电阶段的结束。在这个阶段中，CHB 的直流侧电容被逐步充电，从而使得装置准备好进入下一个工作阶段。这种自然充电的过程是为了确保 CHB 能够平稳地融入系统运行，同时避免在

电网并网过程中产生突然的电压或电流冲击。这个阶段的目的确保 CHB 与电网平稳连接，并准备好进入正常工作状态。然而，在这个阶段，CHB 的直流侧电压仍然不足以支撑可靠的接地故障调控；因此须解除 IGBT 锁定及进行调制，确保充电回路的充电电流，从而提升 CHB 的直流侧电容电压至目标值，此为控制充电阶段。在控制充电阶段，采用了“电压电流同相位”的原则来有效提高 CHB 直流电容的充电效率。

1.2 接地故障调控总电流计算

在考虑配电网 A 相发生单相接地故障的情况下，假设配电网的三相对地参数近似对称。在这种情况下，两相柔性调控装置（CHB）的直流侧电容已经充电完成，并且直流侧电压保持稳定。这意味着尽管电网出现了故障，但因为假设电网的对地参数近似对称，CHB 的直流侧电压并不会受到明显的影响，这样的电压稳定性保证了 CHB 的正常运行。虽然 A 相故障导致电网不对称，但由于假设电网的对地参数近似对称，其他两相不会受到显著影响。在这种情况下，CHB 的直流侧电压保持恒定，不会受到接地故障的干扰，这保证了 CHB 的正常运行。此时，开关 K 、 K_3 、 K_1 闭合，而 K_2 断开，直流侧免供电的两相柔性调控装置开始对单相接地故障电流进行调控。

若直流侧免供电的两相柔性调控装置向配电网注入接地故障调控总电流为 $i_{Z,REF}$ ，根据基尔霍夫电流定律可知：

$$I_f = I_{Z,REF} - \left[U_A \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right) + U_B \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right) + U_C \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right) \right] \quad (1)$$

式中： U_A 、 U_B 、 U_C 为配电网三相线路的相电压， V ； U_0 为中性点的零序电压； I_f 为故障电流， A ； R_0 、 C_0 为单相等效对地电阻和对地电容。

如果直流侧免供电的两相柔性调控装置对单相接地故障电流的有功和无功量进行全补偿，这意味着装置会提供与接地故障电流相等但相反方向的有功和无功电流，以抵消故障电流的影响，从而保持系统的功率平衡。这种全补偿的操作有助于维持系统的电压稳定性和防止电压崩溃，确保电力系统的正常运行。这种补偿操作通常通过调整装置的控制策略和参数来实现，以确保对故障电流进行完全的

抵消, 则 $I_f = 0$, $U_0 = -E_A$, 则有:

$$I_{Z,REF} = U_A \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right) + U_B \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right) + U_C \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right) = 3U_0 \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right) - 3E_A \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right). \quad (2)$$

综上, 接地故障调控总电流的参考值 $i_{Z,REF}$:

$$i_{Z,REF} = 3 \left(\frac{u_0}{R_0} + C_0 \frac{du_0}{dt} \right) = -3 \left(\frac{e_A}{R_0} + C_0 \frac{de_A}{dt} \right). \quad (3)$$

式中: e_A 为故障相 (A 相) 电源电压瞬时值, V; u_0 为零序电压瞬时值; t 为电压电流调控时间, s。

1.3 接地故障调控总电流在两相 CHB 间的分配方法

根据功率计算式可以得知, 当电流与电压的相位差为 90° 时, 元件不会产生有功损耗。因此, 为了实现故障电流的全补偿调控, 每个相位的柔性调控装置需要将电流超前或滞后 90° 与相应的输出电压, 而且 2 个相位的柔性调控装置注入到配电网的总电流应为 $i_{Z,REF}$ 。这是保持柔性调控装置的直流电压恒定的前提。

下面来分析 $i_{Z,REF}$ 在 B 相和 C 相柔性调控装置之间的分配方法, 以及计算 B 相和 C 相柔性调控装置的参考电流值 $i_{ZB,REF}$ 和 $i_{ZC,REF}$ 。

通过将 2 个相位的共用端连接到地相, 使用分压电感作为装置的一部分, 实现了电路的扩展。这种配置可以有效地分离电路中的不同相位, 并在电路中引入分压电感, 以降低电流和电压的幅度, 从而实现更好的电路性能和稳定性, 这样在进行故障全补偿调控时, 可以得到 $U = U_0$, 其中 U 是分压电感对地的电压。根据这个假设, 可以得到以下公式:

$$\begin{cases} U_{BH} = U'_B - U_L = E_B, \\ U_{CH} = U'_C - U_L = E_C. \end{cases} \quad (4)$$

式中: U_{BH} 、 U_{CH} 为两并网 CHB 的输出电压, V; U_L 为线电压, V。

为使装置的直流侧电压保持恒定, 若称以 $i_{Z,REF}$ 、 $i_{ZB,REF}$ 、 $i_{ZC,REF}$ 为边构成的蓝底图形为“调控三角形”, 则内角关系为:

$$\begin{cases} \theta_1 = \pi - \theta_{BH} + \theta_{CH}, \\ \theta_2 = \theta_Z - \theta_{CH} - \frac{\pi}{2}, \\ \theta_3 = \theta_{BH} + \frac{\pi}{2} - \theta_Z. \end{cases} \quad (5)$$

式中: θ_{BH} 为 U_{BH} 的相位; θ_{CH} 为 U_{CH} 的相位; θ_Z 为 $I_{Z,REF}$ 的相位。

综上, 配电网任意相发生单相接地故障时, 有:

$$\begin{cases} I_{ZB,REF} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} I_{Z,REF} \angle \theta_3, \\ I_{ZC,REF} = \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_1} I_{Z,REF} \angle -\theta_2. \end{cases} \quad (6)$$

1.4 接地故障调控与 CHB 直流侧电压平衡协同控制

为了在故障调控阶段可以有效地保持调控装置电压恒定, 必须保证 CHB 注入电流与该相 CHB 输出的电压之间存在 90° 的相位差。同时注入总电流接近参考电流 $i_{Z,REF}$ 。在采取电压电流垂直控制过程中会产生开关的损耗, 此时可能会引起 CHB 直流侧电压降低, 由此则要增加直流电压的扰动补偿电流以保持电压的稳定。

具体而言, 须要计算 B 相 CHB 的理论参考电流 $i_{ZB,REF}$, 以 B 相为基准。然后, 通过调整直流侧的电流设定值 (i_{zdc}), 可以及时平衡故障调控电流计算偏差以及由于开关损耗等因素引起的 CHB 直流侧电压扰动。这种操作的主要优势在于, 在增加 i_{zdc} 之后, 仍然可以确保两相 CHB 输出的总电流以 $i_{Z,REF}$ 为参考, 不会对整体的调控效果产生不利影响。这意味着即使存在电压扰动或其他因素, 系统仍然能够维持稳定的电流输出, 从而提高了电力系统的可靠性和性能。这种调整操作对于电力系统的正常运行至关重要, 因为它有助于应对故障情况和其他电路问题, 确保电力传输的稳定性和可控性。通过及时调整 i_{zdc} , 可以有效地减小系统中的不稳定性, 确保电流输出在预定值附近波动, 提高了系统的响应能力和鲁棒性, 这对于电力系统的可维护性和可管理性非常重要。

2 控制器设计

研究控制对象是接地故障调控电流和 CHB 的直流侧电压, 控制结构如图 3 所示。

为了有效控制直流侧免供电两相柔性调控装置, 选择合适的参数和开关至关重要: ΣU_{Bdci} 为 B 相 CHB 直流侧的实际电压值, ΣU_{Cdci} 为 C 相 CHB 直流侧的实际电压值, $U_{ac,REF}$ 为单个 H 桥子模块直流侧电压参考值。在充电时, 将开关 SB 和 SC 置于端子 1, 根据“电压电流同相位”原则计算 B 相和 C 相的充电电流。充电结束后, 将开关 SB 和 SC 置于

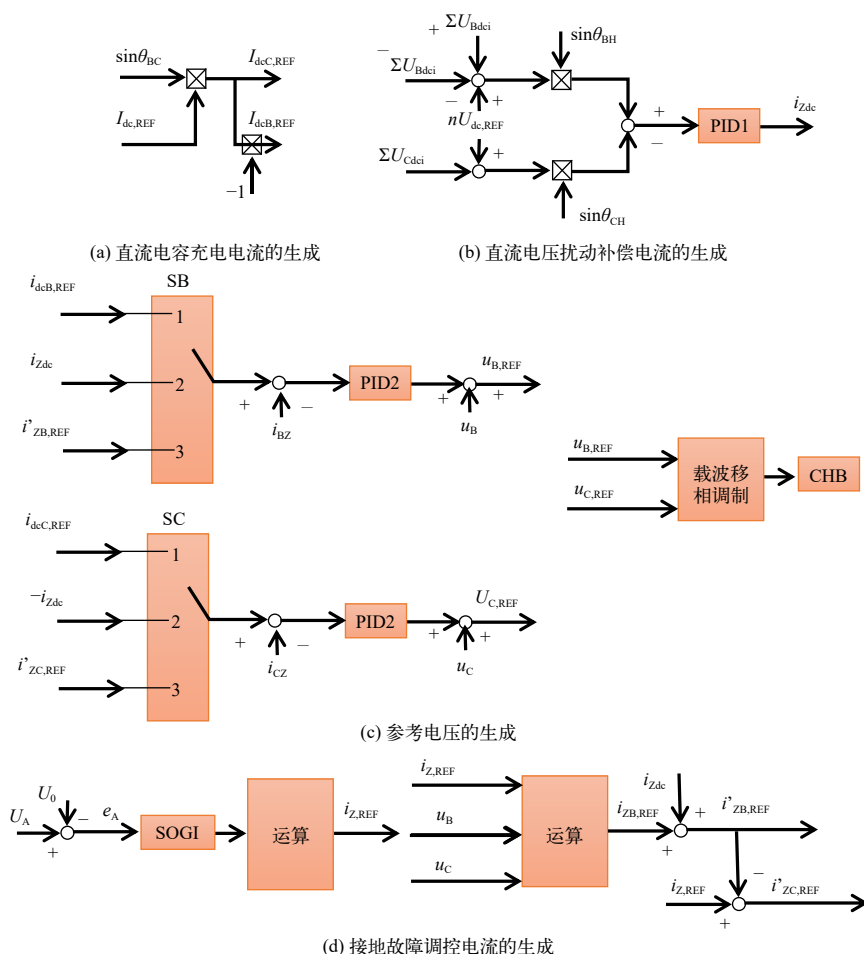


图3 控制结构图

端子2，通过比例积分微分控制器，维持CHB直流侧电压的稳定。当配电网发生单相接地故障后，将开关SB和SC置于端子3。首先，使用二阶广义积分器锁相环（SOGI-PLL）锁定故障相电压 e_A 。然后，计算参考电流信号，用于控制CHB向配电网注入接地故障调控电流。这确保了在不同的工作模式下，参考电流可以正确地控制CHB的操作，以实现接地故障调控和电压稳定的协同控制。

3 验证分析

3.1 仿真验证

为验证方法可行性和有效性，建立仿真模型，以此模拟故障，线路参数如表1所示。

为验证研究方法的有效性，进行仿真实验。实验考虑了不同的并网方式和时刻，以及在单相接地故障情况下的控制效果。此次提出的方法在不同的并网情况下均能有效控制直流侧电容的充电过程，

表1 线路参数

线路	相序	电容/ ($\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$)	电阻/ ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)	电感/ ($\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}$)
架空线路	零序	0.0062	0.170	3.560
	正序	0.1150	0.320	1.017
电缆线路	零序	0.2800	2.700	1.019
	正序	0.3390	0.270	0.255

确保其达到所需的水平。同时，通过协同控制策略，装置能够迅速响应接地故障，进行有功和无功电流的全补偿，并保持CHB直流侧电压的稳定性。调控的效果如表2所示。

综上验证，本研究可以实现以下关键功能。

软并网：装置能够平稳地与供电系统并网，避免了电压突升和电流激增，降低了装置损坏和供电安全风险^[3]。

CHB直流侧电容充电：通过控制电流的方式，

表2 调控效果对比

故障相	R_f/Ω	I_F^{RMS}/A	直流侧免供电两相柔性调控装置的并网相线和残流 I_R^{RMS}/A		
			B和C	A和B	A和C
A	10	30.800	0.432 3	0.221 5	0.229 1
	100	26.420	0.375 6	0.182 2	0.201 3
	1 000	5.492	0.086 5	0.051 1	0.045 7
	5 000	1.135	0.031 2	0.029 9	0.020 1
	电弧接地	30.530	0.421 0	0.045 6	0.320 5
B	10	30.600	0.280 5	0.257 9	0.451 9
	100	27.020	0.222 9	0.190 4	0.405 0
	1 000	5.692	0.050 8	0.049 4	0.075 1
	5 000	1.095	0.012 6	0.019 3	0.011 0
	电弧接地	31.190	0.039 3	0.282 5	0.499 3
C	10	30.720	0.236 6	0.459 7	0.281 1
	100	27.000	0.185 6	0.374 2	0.224 5
	1 000	5.779	0.063 1	0.074 9	0.059 1
	5 000	1.190	0.024 6	0.030 1	0.026 7
	电弧接地	31.110	0.327 0	0.404 2	0.020 0

有效地将 CHB 直流侧电容充电至所需水平, 确保了装置的正常运行。

接地故障调控: 装置能够迅速响应单相接地故障, 并进行有功和无功电流的全补偿, 保持系统的稳定性。

CHB 直流侧电压平衡协同控制: 采用协同控制策略, 确保 CHB 直流侧电压在操作中保持恒定, 提高了系统的稳定性。

此外, 本文还验证了该装置具备低耐压要求和适应多种故障工况的优势。这些成果将有助于提高电力系统的可靠性和稳定性, 减少故障损失, 并推动电力系统向更可持续的方向发展。

4 结束语

本次研究分析了柔性消弧装置, 解决了供电、拓扑和安装难题, 柔性消弧装置设计, 采用两相 CHB 桥臂和分压电感, 装置能够使电流与输出电压垂直, 无须额外直流供电, 实现对配电网单相接地故障电流的全补偿^[4]。采用软并网和“电压电流同相位”原则, 实现了长期稳定的电流调控, 提高了

供电系统的稳定性。此办法可以改善供电系统的性能, 提高可靠性, 降低维护成本, 以及促进电力系统的可持续性^[5]。

参考文献

- [1] 刘健, 张志华, 张小庆. 配电网故障处理若干问题探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45 (20): 1-6.
- [2] 吴斌, 陈纲, 金云奎, 等. 一种新型的消弧线圈自动跟踪补偿装置[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46 (19): 151-157.
- [3] 周兴达, 陆帅, 陈杨明, 等. 基于 SVG 两相电流注入的配电网单相接地故障消弧方法[J]. 电力系统自动化, 2019, 43 (10): 142-149.
- [4] 刘文霞, 王荣杰, 刘鑫, 等. 柔性配电系统故障区间鲁棒优化恢复[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40 (12): 3897-3906.
- [5] 杜少通, 谭兴国, 周娟. 减小电容容值的 H 桥级联型 STATCOM 电容取值分析与直流电压控制[J]. 电网技术, 2019, 43 (1): 275-284.

作者简介

周荃 (1995—), 女, 硕士, 助理工程师, 从事配电工程项目勘察、电气工程及其自动化方面工作。

(责任编辑: 刘艳玲)

资讯

福建泉州公司: 助力产业园区绿色减碳发展

2023 年 11 月 17 日, 福建省泉州市数字福建(安溪) 产业园 1.5 MW 光伏项目验收并网, 预计年发电量 110 万 kW·h, 年均减排二氧化碳 1 097 t, 有效提高产业园清洁能源利用率, 进一步降低进驻园区企业的用电成本, 助力绿色低碳园区建设。

2023 年以来, 国网泉州供电公司以泉州市工业(产业) 园区标准化建设专项行动为契机, 推出服务产业园区绿色、循环、低碳发展“一揽子”措施, 结合园区及产业特点开展调研走访, 围绕光伏项目建设、充电基础设施建设、能效提升等方面制订“一园一策”绿色改造方案, 定期分析各个工业园区能耗情况、新能源利用率等数据, 助力园区减碳提效。

截至目前, 国网泉州供电公司累计走访 34 个产业园区, 落地光伏项目 7 个, 在毗邻交通要道的产业园区建设充电站 4 座, 指导 22 家企业节能改造, 为园区绿色低碳转型赋能增效。

信息来源: 国网福建省电力有限公司

防汛隐患杆塔应急抢修方法探讨

赵蔚*, 王海涛, 段赛飞

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 丰台 100073)

摘要: 输电线路是电力系统中重要的组成部分, 输电线路会受到野外环境因素的影响存在防汛隐患杆塔, 比如河流附近、低洼积水、山体滑坡等。这些隐患可能会导致输电线路跳闸、停电、倒塔等事故发生, 造成重大经济损失和社会影响。为了防止这些事故的发生, 对不同类型的防汛隐患杆塔应急抢修方法进行探讨, 重点介绍了北京地区防汛隐患杆塔的分类、应对方法以及抢修方案。

关键词: 防汛隐患; 输电线路; 应急抢修; 抢修方案

中图分类号: TM754

Research on Laser Removal of Foreign Bodies in Transmission Lines

ZHAO Wei*, WANG Haitao, DUAN Saifei

(State Grid Beijing Maintenance Company, Beijing Fengtai 100073, China)

Abstract: Transmission line is one of the important components of the power system, which transmits electric energy and supplies the electricity demand of the whole society. However, the transmission line will be affected by the field environmental factors, there are flood control hazards, such as near the river, low-lying water, landslides and so on. These hidden dangers may lead to transmission line tripping, power outage, tower collapse and other accidents, causing great losses to the society. In order to prevent the occurrence of these accidents, this paper discusses different types of emergency repair methods of the flood control hidden danger pole and tower. This paper mainly introduces the classification, coping method and emergency repair plan of the flood control tower in Beijing area.

Keywords: flood control hazards; transmission lines; emergency repair; emergency repair plan

近年来, 随着安全生产水平要求的提高, 输电线路防汛隐患逐渐成为重点防范对象。为确保涉汛人员零伤亡、涉汛设备零故障, 力争涉汛零险情, 电力公司不断加强对防汛隐患的治理, 优化应急抢修方案。

防汛隐患杆塔多位于河流附近、低洼积水、山体滑坡等地段。针对防汛隐患杆塔应采取研判防汛形势、推进防汛隐患治理、制定应急抢修方案、汛前物资检查等方法积极应对。本文主要针对北京地区防汛隐患杆塔的实际状况提出应对措施^[1]。

不同类型的防汛隐患杆塔可依据实际情况制定应急抢修“一路一案”, 根据线路走向、地理位置、周边线路等信息制定最快、最好的抢修方案。

1 北京地区防汛隐患杆塔分类及现状

1.1 防汛隐患杆塔分类

经过对北京地区防汛隐患杆塔的实际勘察, 防

收稿日期: 2023-08-10

汛隐患杆塔主要分为3类, 即涉河类、低洼积水类和山区地质灾害类。

1.2 防汛隐患杆塔现状

据统计, 北京地区防汛隐患杆塔约为125基, 其中涉河类49基, 包含灌注桩(含联梁类)基础36基, 阶梯式基础及灰杆底盘基础13基; 低洼积水类62基; 山区地质灾害类14基, 包含人工掏挖灌注桩基础10基, 阶梯式基础4基。存在倒塔风险的7基, 如表1所示。存在倒塔风险的杆塔是防汛隐患的重点关注对象, 须提前制定应急抢修“一路一案”。

表1 防汛隐患杆塔分类表

类别	基数	灌注桩基础/基	阶梯式及灰杆底盘类基础/基	存在倒塔风险/基
涉河类	49	36	13	7
低洼积水类	62	0	62	0
山区地质灾害类	14	10	4	0

2 防汛隐患杆塔应对措施

2.1 涉河类杆塔

针对灌注桩（含联梁类）基础查阅了相关设计规范。根据设计规范，相关涉河类杆塔在设计阶段即考虑了塔型、荷载、工程地质、水文、地震时土层液化深度等因素，相较于普通杆塔具有一定的抗洪能力。其次灌注桩基础属于深埋类基础，相比较阶梯式及灰杆基础，有着更好的防洪、防震能力，因此，应重点关注阶梯式及灰杆底盘类基础。

针对阶梯式及灰杆底盘类基础的13基杆塔进行逐基勘察及风险研判，对其中可通过组立全绝缘抢修塔或借助其他线路路径达到应急抢修效果的7基制定“一路一案”，剩余6基杆塔无倒塔风险，可采取通过永久更改路径、建设护坡等方式提升防汛能力。

2.2 低洼积水类杆塔

低洼积水类杆塔中坑深超过3 m以上的杆塔7基，经过现场勘察及防汛排查照片分析，铁塔无洪水或河水冲刷风险，但有雨水浸泡风险，因此目前无倒塔风险，建议通过清土、基坑四周做挡土墙、汛期排水、杆塔底部涂刷防水材料等方式提升防汛能力，如图1所示。



图1 低洼积水类杆塔示意图

2.3 山区地质灾害类杆塔

山区地质灾害类杆塔14基均在山区，包含人工掏挖灌注桩基础10基，阶梯式基础4基。从现场情况看，地势较为平坦，发生山洪、泥石流等对杆塔冲击较大的地质灾害可能性较小，不具备全绝缘抢修塔组立条件，建议通过建设护坡等方式提升防汛能力，如图2所示。



图2 地质灾害类杆塔示意图

3 应急抢修方法

下面以实际情况为例主要探讨2种倒塔断线情况下的应急抢修方案。

3.1 抢修背景

110 kV防汛一、二线10#为涉河类防汛隐患杆塔，位于某郊野公园内一低洼处，补水前距离河道400 m，补水后铁塔基础被河水浸没，存在倒塔风险。

3.2 基本情况

110 kV防汛一、二线10#为直线塔，呼称高48 m，采用阶梯式混凝土基础。110 kV防汛二线9—12#与110 kV防汛一线并行，水平距离50 m。110 kV防汛二线9—10#上跨10 kV线路，如图3所示。

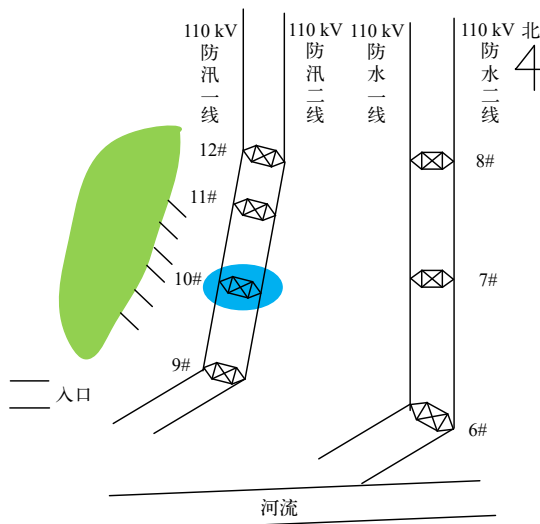


图3 110 kV防汛一、二线10#平面示意图

耐张段参数如表2所示。

4 绝缘塔组立方案

110 kV防汛一、二线10#塔西侧50 m有树林区，

表2 110 kV 防汛一、二线 9—12#耐张段参数

段落	档距/m	导、地线型号	备注
9—10	389	导线: LGJ-400/35 地线: JLB-70/40	9#、12#为耐张塔, 10#、11#为直线塔
10—11	325		
11—12	292		

可作为绝缘塔组立场地,根据防汛一、二线 9—12#塔形、档距及导线对地距离建议组立 4 基抢修塔,2 基直线,2 基耐张,每基塔组立需 30 人,共计 120 人,解决前期问题后可在 5 天内完成绝缘塔组立,如图 4 所示。

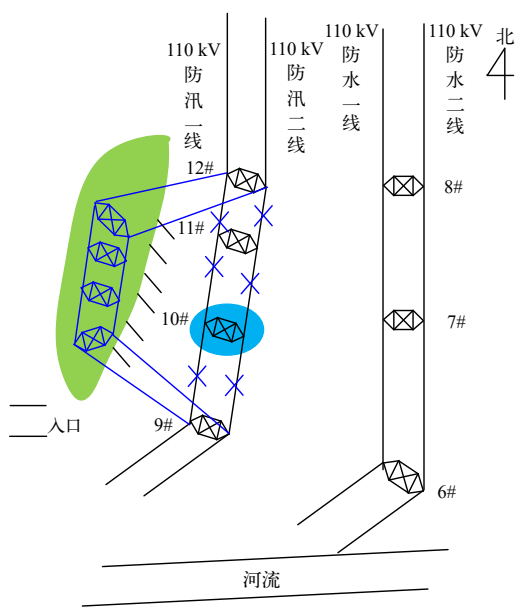


图4 绝缘塔组立示意图

4.1 前期准备工作

准备 4 基 QQT 系列全绝缘抢修塔,其中 38.5 m 耐张塔 2 基,38.5 m 直线塔 2 基。

全绝缘抢修塔因组立过程中四周须使用多根拉线进行固定,每基塔需要满足约 47 m² 见方打拉线场地需求,展放导线时须清理线路走廊下方的场地。

公园进场道路有土堆封路,须要协调大型机械进场问题。

110 kV 防汛二线 9—10#上跨 10 kV 线路,组立抢修塔过程中须搭设跨越架。

4.2 抢修塔组立步骤

确定基坑、拉线坑位置:按照平行于防汛一、

二线 9—12#的方向,在树林区每隔 200 m 确定中心庄位置,根据中心庄位置确定基坑及拉线坑位置,并清理抢修塔场地及线路走廊下方树木。同时在 9# 大号侧、12#小号侧打反面拉线,断开防汛一、二线 9—12#导地线。

组立抢修塔:使用吊车组塔方式,大型机械进场须清理入口处土堆。

展放导地线连接:连接防汛一、二线 9#—抢修塔—防汛一、二线 12#导地线,连接两端引流线。

恢复送电。

4.3 现场作业人员配置及分工

绝缘塔组立主要分为 3 个阶段,具体工作及分工如表 3 所示。

表3 现场作业人员配置及分工

阶段	项目	人数	说明
第一阶段 (准备工作)	现场勘察,确定组立绝缘塔位置,分坑	3人	总指挥、工作负责人、技术人员
第二阶段 (组装准备)	挖拉线坑,下拉线底盘	16人	事故抢险组立抢修塔需挖16个拉线坑
	运输绝缘塔	14人	工作之间相互协调,人员相互配合,根据工作负责人安排随时机动
	组装、布置工具及材料		
第三阶段 (杆塔组立)	锚桩点设置	每基塔 30人	第一、第二阶段人员,根据工作负责人安排随时机动
	起立绝缘塔		
	做永久拉线		
	清理现场,恢复送电		

4.4 材料及工器具准备

主要准备相应型号的导线、地线、拉线盘、拉线棍、上下楔形线夹等材料,以及抢修塔、经纬仪、杉篙、抱杆、铁锹、木桩、机动绞磨、紧线器、地锚等工器具。

4.5 主要风险点

主要存在高空坠落、高空落物、机械伤害、感应电伤人等风险点。涉及杆塔组立、跨越架搭设、导地线展放的过程。

5 导线搭接方案

将 110 kV 防汛二线 9#与 110 kV 防汛一线 6#,

防汛二线 12#与防水一线 8#之间搭接线路，可使防汛二线和防水一线正常供电，示意图如图 5 所示。

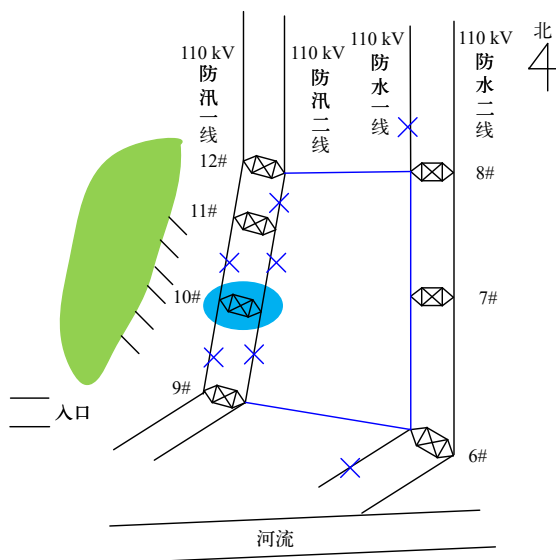


图5 导线搭接示意图

5.1 导线搭接步骤

在防汛二线 9#大号侧、12#小号侧打反面拉线。断开防汛一、二线 9—11#、防汛二线 11—12#导线。

停防水一线，断开防水一线 6#、8#引流线。

连接防汛二线 9#—防水一线 6#、防汛二线 12#—防水一线 8#导线，并搭接两端引流线。

恢复送电。

5.2 现场作业人员配置及分工

导线搭接主要分为 3 个阶段，具体工作及分工如表 4 所示。

5.3 材料及工器具准备

主要准备相应型号的导线、地线、绝缘子、导线耐张压接管、U 型环、直角挂板、调节板等材料以及钢丝绳、手扳葫芦、机动绞磨、紧线器、剥线器、压接机等工器具。

5.4 主要风险点

主要存在高空坠落、高空落物、机械伤害、感应电伤人等风险点，主要集中在展放导线的过程中。

6 对比分析

绝缘塔组立法较为通用，使用人数多，时间较

表4 现场作业人员配置及分工

阶段	项目	人数	说明
第一阶段 (准备工作)	现场勘察，确定抢修方案	3人	总指挥、工作负责人、技术人员
第二阶段 (拆除导线)	制作反面拉线	20人	需挖2个拉线坑，每基塔10人
	拆除导线	20人	每基塔10人，塔上3人，地面7人
第三阶段 (搭接导线)	断引流	每基塔 10人	第一、第二阶段人员，根据工作负责人安排关键岗位定人定岗，非关键岗位随时机动
	放紧导线		
	搭接引流线		
	清理现场，恢复送电		

长，但受地形限制，且目前抢修塔多于 220 kV 及以下线路抢修。组立过程中还须考虑平整场地、清理线路下方走廊、协调大型机械进场等前期问题，需要准备的工器具及材料较多，组立过程中涉及的风险较高。

导线搭接法相对简单，使用人数少，时间较短，需要准备的工器具及材料较少，抢修过程中涉及的风险较少。仅适用于故障线路周边有可用于搭接的双回线路，可快速恢复送电，但搭接完成后 2 条线路改为单电源供电，增大了电网风险^[2]。

综上所述，在发生突发情况时应结合现场条件合理选择抢修方法。

7 结束语

本文综合分析了北京地区防汛隐患杆塔的现状及应对措施，提供了 2 种倒塔断线时的应急抢修方法，在遇到类似情况下可根据实际情况选用更好的方案，具有一定的参考性。

参考文献

- [1] 雷水平, 胡午洋, 输电线路设备防汛分析与研究[J]. 电源技术应用, 2016 (10): 56-57.
- [2] 饶卫申, 滕海军, 白晓昆, 等. 架空输电线路杆塔防汛问题分析[J]. 机电技术, 2017, 39 (1): 49-50.

作者简介

赵蔚 (1992—), 男, 助理工程师, 主要从事输电线路检修工作。

(责任编辑: 刘艳玲)

35 kV 变压器绕组匝间短路故障分析及处理措施探讨

刘 钊*, 田小龙, 刘小琰

(国网河北省电力有限公司保定供电分公司, 河北 保定 071000)

摘要: 介绍了一起由高压侧绕组变形引起的35 kV 变压器绕组匝间短路缺陷。变压器差动动作跳闸后, 工作人员首先对变压器油中溶解气体进行了分析, 得出设备存在缺陷的初步结论。随后进行了一系列停电诊断性试验, 进一步对缺陷进行定性分析, 得到可能存在绕组变形及匝间短路的结论。为了验证该结论, 将变压器返厂进行吊罩解体检查, 发现 A 相绕组变形并存在匝间放电现象, 最后提出了检修建议和意见。

关键词: 变压器; 绕组变形; 匝间短路

中图分类号: TM727

Diagnosis and Analysis of a 35 kV Transformer High-voltage Winding Inter-turn Short-circuit Defect

LIU Zhao*, TIAN Xiaolong, LIU Xiaoyan

(Baoding Power Supply Company of State Grid Corporation of China, Hebei Baoding 071000, China)

Abstract: The article introduces an inter-turn short-circuit defect in a 35 kV transformer winding caused by the high-voltage side winding deformation. After the differential protection of the transformer tripped, the staff conducted Dissolved Gas-in-oil Analysis (DGA) and concluded that the equipment had defects. Then, a series of power outage diagnostic tests were conducted to further qualitatively analyze, and conclusions were drawn that there may be winding deformation and interturn short circuits. In order to verify this conclusion, the transformer was returned to the factory for disassembly inspection, and it was finally found that the A-phase winding was deformed and there was inter-turn discharge. Finally, maintenance suggestions and opinions were proposed.

Keywords: transformer; winding deformation; inter-turn short-circuit

绕组变形是最常见的变压器故障之一, 通常由内、外部原因共同引起。绕组变形故障的内因主要指变压器抗短路能力不足, 由产品设计、工艺水平、材料质量等决定。而外因主要是遭受短路电流冲击以及运输、安装过程中的物理碰撞^[1-3]。因此, 为了防止主变发生因绕组变形引发的短路故障, 应从内、外因共同着手。目前变压器绕组变形的现场检测方法主要有 3 种: 频响法、低电压短路阻抗法和电容量分解法。

1 缺陷概述

2021 年 6 月 24 日, 35 kV 某变电站 35 kV 2 号主变差动保护动作, 相关专业人员立即组织开展抢修工作。工作人员到站后首先对故障主变本体取油样, 进行油中溶解气体分析, 随后对 2 号主变进行

收稿日期: 2023-08-31

了全面检查性试验, 故障设备主要铭牌参数如表 1 所示。当天天气小雨转阴, 相对湿度 65%, 温度 23 ℃。

表1 故障变压器铭牌主要信息

铭牌信息	参数
型号	SZ11-10000/35
联结组别	YNd11
出厂日期	2011-03
出厂编号	201103436
额定容量/(MV·A)	10

2 油中溶解气体数据分析

试验人员对从变电站内取回的故障设备本体油样进行油中溶解气体分析, 发现油化数据异常, 具体如下如表 2 所示。

表2 故障变压器本体油中溶解气体数据

μL/L

取样日期	甲烷 CH ₄	乙烯 C ₂ H ₄	乙烷 C ₂ H ₆	乙炔 C ₂ H ₂	总烃 Σ(C ₁ +C ₂)	氢气 H ₂	一氧化碳 CO	二氧化碳 CO ₂	试验性质
2020-10-20	140.22	150.38	120.87	0.00	411.47	25.77	599.84	2 467.98	例行
2021-04-07	136.07	156.96	170.84	0.00	463.81	24.32	561.41	2 670.83	例行
2021-06-24	140.49	154.65	182.55	73.58	551.27	89.68	670.16	3 021.61	诊断

由表2可见,乙炔含量从4月7日的0 μL/L激增至6月24日跳闸后的73.58 μL/L,超过标准中规定的注意值5 μL/L。总烃含量551.27 μL/L也超出规程规定150 μL/L注意值,说明该设备存在缺陷^[4]。与4月7日数据相比,总烃相对产气速率约为7.54%/月,接近10%/月的注意值^[5],说明该缺陷发展较迅速。进一步计算三比值编码得到“120”,对应“电弧放电兼过热缺陷”,可能引起的原因有线圈匝间、层间放电;相间闪络;分接引线间油隙闪络,选择开关拉弧;引线对箱壳或其他接地体放电。

3 检查性试验结果及分析

为了验证油中溶解气体分析结果,以及进一步分析缺陷,工作人员在现场开展停电检查性试验,包括绕组各分接直流电阻测试、低电压短路阻抗测试、绕组绝缘电阻测试、绕组介质损耗及电容量测试、铁芯绝缘电阻试验及有载分接开关试验。

3.1 绕组各分接直流电阻测试

试验人员首先对该主变进行了绕组全分接直流电阻试验,该主变额定分接为4分接,运行分接为4分接,具体测试数据如表3、表4所示。

表3 故障变压器高压绕组全分接直流电阻试验数据

分接位置	A-O/ mΩ	75 °C 阻值/ mΩ	B-O/ mΩ	75 °C 阻值/ mΩ	C-O/ mΩ	75 °C 阻值/ mΩ	不平 衡率/%
1	344.40	413.81	365.50	439.17	368.70	443.01	6.76
2	335.70	403.36	356.00	427.75	355.70	427.39	5.73
3	328.00	394.11	348.10	418.26	364.20	437.60	10.44
4	319.10	383.41	339.40	407.81	348.80	419.10	8.85
5	311.30	374.04	331.20	397.95	342.70	411.77	9.56
6	302.80	363.83	322.80	387.86	324.30	389.66	6.79
7	294.20	353.50	314.60	378.01	315.40	378.97	6.88

表4 故障变压器低压绕组直流电阻试验数据

a-b/ mΩ	75 °C 阻值/ mΩ	b-c/ mΩ	75 °C 阻值/ mΩ	c-a/ mΩ	75 °C 阻值/ mΩ	不平 衡率/%
49.21	59.13	49.01	58.89	48.42	49.21	1.62

由表3可以看出高压各绕组不平衡率在5.73%~10.44%之间,远超规程规定2%的警示值^[6],且无明显变化规律。A相直流电阻各分接较B、C两相明显偏低,B、C两相各分接直阻测试值相近,怀疑A相存在匝间或层间短路。如表4所示低压侧绕组直流电阻测试值满足规程要求。

3.2 低电压短路阻抗试验

为了检查该主变绕组变形情况,试验人员随后对该主变进行了低电压短路阻抗试验,具体数据如表5所示。

表5 故障变压器低电压短路阻抗试验数据

测试部位	电压/V	初值/Ω	实测值 /Ω	短路阻抗初值差/%	三相阻抗电压互差/%
最大分接	AB 37.625	—	7.20	—	14.16
	BC 37.625	—	8.14		
	CA 37.625	—	7.13		
额定分接	AB 35.000	7.18	6.77	-2.83	11.02
	BC 35.000	7.18	7.45		
	CA 35.000	7.18	6.71		
最小分接	AB 32.375	—	6.65	—	8.20
	BC 32.375	—	7.12		
	CA 32.375	—	6.58		

由表5中数据可知,在额定分接处三相短路阻抗初值差为-2.83%,超过规程要求±2.00%的规定。在最大、额定及最小分接处三相阻抗电压最大互差分别为14.16%、11.02%及8.20%,均超过规程2.50%的规定^[6]。简言之,低电压短路阻抗试验数据

横、纵比均超过规程规定的注意值，说明绕组已经存在一定程度的变形。

3.3 高低压绕组绝缘电阻测试

为检查该主变绝缘情况，同时为排除引线对箱壳或其他接地体放电的情况，试验人员对该主变进行了高低压绕组绝缘电阻试验，具体数据如表 6 所示。

表6 故障变压器绕组绝缘电阻测试数据

测试项目	高压绕组对低压及地	低压绕组对高压及地
R15/MΩ	759	657
R60/MΩ	1 130	1 230
R600/MΩ	—	—
吸收比	1.48	1.87
极化指数	—	—

由表 6 所示，绝缘电阻各项指标均满足规程要求^[5]。绝缘电阻数据无异常说明该主变绝缘良好，不存在油中溶解气体分析所怀疑的“相间闪络”以及“引线对箱壳或其他接地体放电”的情况。

3.4 高低压绕组介质损耗及电容量测试

试验人员随后对该主变进行了高低压绕组介质损耗及电容量试验，具体数据如表 7 所示。

表7 故障变压器介质损耗及电容量测试数据

测试部位	高压对低压及地	低压对高压及地	高、低压对地
介损 tgδ	0.010 72	0.010 37	0.006 93
电容量/pF	6 166	6 166	7 139
电容量初值/pF	—	—	—
电容量历史变化率/%	—	—	—

由表 7 可见，介质损耗满足规程不大于 0.015（注意值）的要求^[6]，说明该主变无整体受潮、老化等绝缘缺陷。但是由于电容量没有历史数据无法进行判断，也无法通过电容量的改变判断各绕组的变形情况。

铁芯绝缘电阻试验及有载分接开关试验均未见异常，可以排除油中溶解气体分析所怀疑的分接开关及所属部件故障引起的缺陷。综合上述停电检查性试验项目结论，可以初步判断这是由绕组变形引

起的绕组匝间或层间短路缺陷。

4 解体检查情况

为了验证油化试验和停电检查性试验结果，工作人员将该台变压器退运并运回厂家进行吊罩及解体检查。

吊罩后检查，发现器身整体较清洁，无明显污损。如图 1 所示 A 相高压绕组底部存在明显移位、变形，且底部绕组外裹绝缘层有烧灼痕迹，并发现多处金属已经裸露，周围绝缘存在不同程度的过热痕迹。B、C 相高低压绕组未见异常。解体结果表明 A 相高压侧绕组确实存在由绕组变形引起的过热及匝、层间短路放电情况，与前期分析相吻合^[7]。



图1 故障变压器解体检查高压侧 A 相绕组情况

5 缺陷原因分析

综合油中溶解气体分析、停电检查性试验以及吊罩解体检查结果分析可知，这是一起由于变压器抗短路能力不足引起的绕组变形移位，匝间绝缘破损发生过热最终导致放电的典型缺陷。该变压器服役的 10 年中遭受过多次短路电流冲击，由于绕组变形具有累积性和不可逆性，虽然这些冲击单次对变压器绕组损害并不大，但效果累积起来就造成了不可逆转的严重后果^[7]。变压器高压侧 A 相绕组由于短路电流冲击产生的电动力而发生变形、偏移，匝间相互挤压，造成绝缘层逐步破损，进而导致接触电阻增大，流过负载电流时发热，进一步导致绝缘劣化，绝缘层出现过热发黑的情况。匝间绝缘耐不

（下转第 31 页）

关于变压器铁芯和夹件多点接地的讨论

李飞^{1*}, 焦方军², 姜晓东¹, 房悦¹, 杨光¹

(1. 国网山东淄博供电公司, 山东 淄博 255000; 2. 国网山东省电力公司, 山东 济南 250013)

摘要: 在运行状态下, 油中溶解气体组分、铁芯和夹件接地电流是判断变压器运行状态的有效方法。为了准确判断油中溶解气体组分、铁芯和夹件接地电流数据异常时变压器的内部状态, 以及停电后更精准地定位异常位置和消除异常点, 文章详细分析了铁芯和夹件在两点接地和一点接地²种运行方式下出现多点接地异常、油中溶解气体组分异常的各种可能性, 并提出了对应的判断和解决异常的方法, 最后, 基于某 110 kV 异常变压器进行了试验验证, 表明所作分析对判断、消除多点接地问题具有切实意义, 具有较高的应用价值和推广价值。

关键词: 变压器; 铁芯和夹件; 多点接地; 电容量

中图分类号: TM561

Discussion on Multipoint Grounding of Transformer Core and Clamp

LI Fei^{1*}, JIAO Fangjun², JIANG Xiaodong¹, FANG Yue¹, YANG Guang¹

(1. State Grid Shandong Zibo Power Supply Company, Shangdong Zibo 255000, China; 2. State Grid Shandong Electric Power Company, Shangdong Jinan 250013, China)

Abstract: Under operating conditions, dissolved gas components in oil, grounding current of iron cores and clamps are effective methods to determine the operating status of transformers. In order to accurately determine the internal state of transformers when the dissolved gas components in oil and the grounding current data of iron cores and clamps are abnormal, as well as to more accurately locate and eliminate abnormal points after power outage, this article analyzes in detail the various possibilities of multiple grounding abnormalities and dissolved gas components in oil under two operation modes of two point grounding and one point grounding for iron cores and clamps, and proposes corresponding methods for judging and resolving abnormalities. Finally, experimental verification was conducted on a 110 kV abnormal transformer, indicating that the analysis has practical significance in determining and eliminating multi-point grounding problems, and has high application and promotion value.

Keywords: transformer; iron core and clamps; multi point grounding; capacitance

0 引言

变压器在电网系统中起着承上启下的作用, 实现了电压等级的多级转换, 为终端用户“用上电、用好电、不停电”奠定了能量转换基础^[1-8]。变压器内部主要由夹件、铁芯、绝缘油和绕组构成, 铁芯为电磁场转换提供路径, 夹件为铁芯和绕组的稳定提供支撑, 绝缘油优化了内部散热和导体的绝缘。

基金项目: 国网山东省电力公司科技项目“变压器铁芯接地电流广域状态感知预警技术研究与应用”(2023A-151)。

收稿日期: 2023-09-25

变压器运行过程中, 铁芯硅钢片之间绝缘层的劣化、绝缘油中杂质的含量、绝缘件材质的优劣等因素, 都可能造成铁芯、夹件多点接地形成环流^[9-15], 加速绝缘油和固体绝缘的老化或劣化, 油中溶解气体乙炔等烃类组分急剧上升, 接地电流增大, 严重影响变压器的安全稳定运行。

本文对变压器铁芯和夹件多点接地进行了讨论, 详细分析了铁芯、夹件两点分别接地和铁芯、夹件一点接地情况下环流形成的原因和解决方法, 并进行了现场案例试验验证, 在运检现场判断设备运行情况具有推广价值。

1 铁芯、夹件两点分别接地

近些年投产的变压器，铁芯和夹件分别引出两点接地居多，更方便运维人员开展接地电流监测。

1.1 铁芯接地电流幅值超过规程要求

当主变铁芯接地电流幅值超过规程要求，夹件接地电流幅值满足规程要求时，如图 1 所示，在铁芯内部形成异常接地点，与正常接地点形成环流。

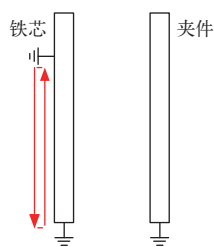


图1 铁芯内部接地

1.2 夹件接地电流幅值超过规程要求

当主变夹件接地电流幅值超过规程要求，铁芯接地电流幅值满足规程要求时，如图 2 所示，在夹件内部形成异常接地点，与正常接地点形成环流。

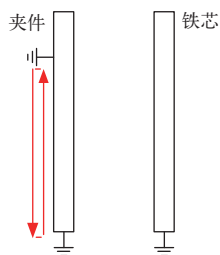


图2 夹件内部接地

1.3 铁芯和夹件接地电流幅值超过规程要求

当主变铁芯和夹件接地电流幅值均超过规程要求，如图 3 所示，在铁芯和夹件内部分别形成异常接地点，与正常接地点形成环流。

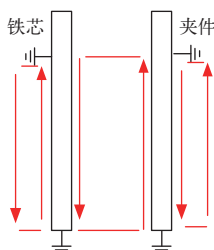


图3 铁芯和夹件内部接地

1.4 铁芯、夹件接地电流幅值相等、方向相反并超过规程要求

用电流钳分别测量铁芯和夹件接地电流，幅值相等并超过规程要求，用电流钳对铁芯和夹件一起测量，向量和幅值为零，说明铁芯和夹件流过的电流幅值相等、方向相反并超过规程要求，如图 4 所示，在铁芯和夹件之间形成异常连接点，与正常接地点形成环流。

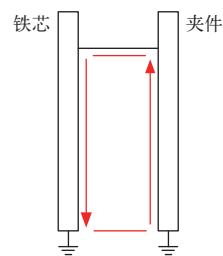


图4 铁芯和夹件内部短接

1.5 铁芯、夹件接地电流有数值符合规程要求

油中溶解气体组分异常，用电流钳分别测量铁芯和夹件接地电流，幅值均未超过规程要求，此时不能判定铁芯和夹件未发生多点接地异常，如图 5 所示，在铁芯或夹件内部本身形成两点及以上接地，考虑到变压器内部磁场复杂，仅仅在内部接地点之间形成环流，未体现在铁芯和夹件的外部接地点处。

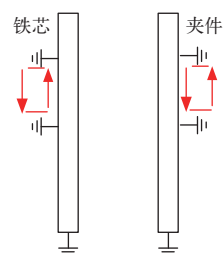


图5 铁芯和夹件内部多点接地

1.6 铁芯、夹件接地电流无数值

油中溶解气体组分异常，用电流钳分别测量铁芯和夹件接地电流，幅值不仅未超过规程要求而且非常小甚至几乎为零，此时不能判定铁芯或夹件未发生异常，如图 6 所示，铁芯或夹件内部接地点处发生断线或虚接，局部放电造成油中溶解气体发生变化。

对于上述分析 1.1、1.2、1.3、1.4、1.5 采用直流电容器放电冲击法，可以有效地解决，同时辅

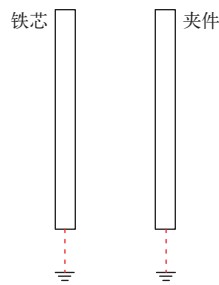


图6 铁芯或夹件接地线断线或虚接

绝缘电阻测试验证保证铁芯和夹件无多点接地异常；对于上述分析 1.6，铁芯或夹件接地电流虽然未超过规程要求，但是幅值较小，更须引起关注，可以采用介损测试仪测量电容量的方法进行验证。

2 铁芯、夹件一点接地

对于某些型号、老旧变压器，存在较多铁芯和夹件通过同一小套管引出接地的情况，对运维人员开展接地电流监测造成些许困难，不方便一线人员及时发现铁芯或夹件接地电流运行异常。

2.1 接地电流（铁芯）幅值超过规程要求

当主变接地电流幅值超过规程要求时，如图 7 所示，只在铁芯内部形成异常接地点，与正常接地点形成环流。

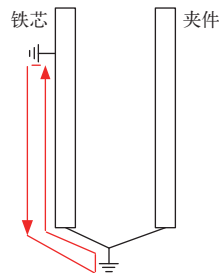


图7 铁芯内部接地

2.2 接地电流（夹件）幅值超过规程要求

当主变接地电流幅值超过规程要求时，如图 8

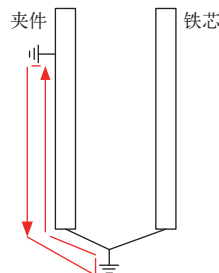


图8 夹件内部接地

所示，只在夹件内部形成异常接地点，与正常接地点形成环流。

2.3 接地电流幅值超过规程要求

当主变接地电流幅值超过规程要求时，如图 9 所示，铁芯和夹件内部分别形成异常接地点，与正常接地点形成环流。

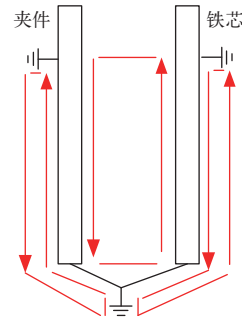


图9 铁芯和夹件内部接地

2.4 接地电流幅值符合规程要求

油中溶解气体组分异常，但主变接地电流幅值符合规程要求，如图 10 所示，铁芯和夹件内部形成 2 个及以上接地点，考虑到变压器内部磁场复杂，仅仅在内部接地点之间形成环流，未体现在铁芯和夹件的外部单一接地点处。

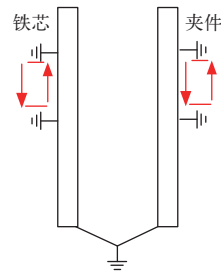


图10 铁芯或夹件内部多点接地

2.5 接地电流幅值超过规程要求

当主变接地电流幅值超过规程要求时，如图 11 所示，铁芯和夹件内部形成异常连接，与正常接地点

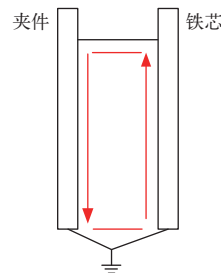


图11 铁芯和夹件内部短接

点形成环流。

2.6 接地电流电流无数值

油中溶解气体组分异常，用电流钳测量接地电流，幅值不仅未超过规程要求而且非常小甚至几乎为零，此时不能判定铁芯或夹件未发生异常，如图 12 所示，内部接地点处发生断线或虚接，局部放电造成油中溶解气体发生变化。

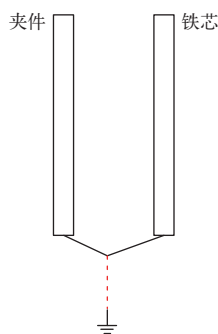


图 12 铁芯和夹件内部断线或虚接

对于上述分析 2.1、2.2、2.3、2.4 采用直流电容器放电冲击法，可以有效地解决，同时辅以绝缘电阻测试保证铁芯和夹件无多点接地异常；对于上述分析 2.5，无有效方法解决，同时无法判断是否出现此种问题；对于上述分析 2.6，铁芯或夹件接地电流虽然未超过规程要求，但是幅值较小，更须引起关注，可以采用介损测试仪测量电容量的方法进行验证。

3 铁芯、夹件接地断线或虚接判断法

对于某些型号、老旧变压器，存在较多铁芯和夹件通过同一小套管引出接地的情况，对运维人员开展接地电流监测造成些许困难，不方便一线人员及时发现铁芯或夹件接地电流运行异常。

3.1 铁芯、夹件两点分别接地

对于铁芯和夹件两点分别接地的情况：拆开铁芯（夹件）接地，将介损测试仪高压线加到铁芯（夹件）接地小套管顶端，如图 13、图 14 所示，对比夹件（铁芯）接地和不接地 2 种情况下的电容量，如果电容量数值相差较小，说明夹件（铁芯）内部接地线断开，如果电容量数值数值相差较大，说明夹件（铁芯）内部接地线未断开。

3.2 铁芯、夹件一点接地

对于铁芯和夹件一点接地的情况：中、低压绕

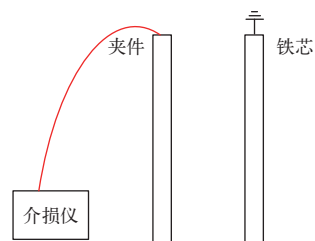


图 13 铁芯接地和断开情况下

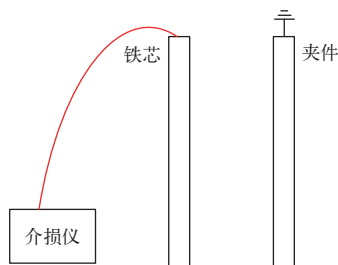


图 14 夹件接地和断开情况下

组分别三相短路接地，高压侧绕组三相短路后，将介损测试仪高压线加到高压侧绕组处，如图 15 所示，对比夹件和铁芯小套管接地和不接地 2 种情况下的电容量，如果电容量数值相差较小，说明内部接地线断开，如果电容量数值数值相差较大，说明内部接地线未断开。

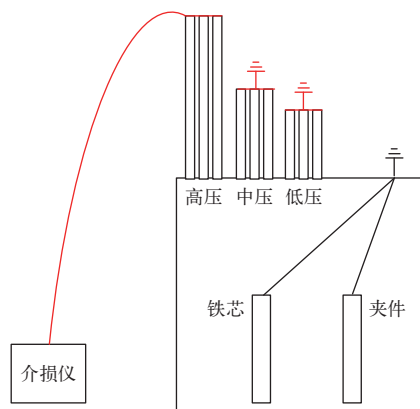


图 15 铁芯和夹件接地和断开情况下

4 现场验证

某 110 kV 变压器突然出现油中溶解气体组分异常，如表 1 所示，该主变铁芯和夹件共同引出一一点接地，运检人员对接地扁铁进行电流监测，接地电流为 2.1 mA，满足规程要求，但是考虑到油中溶解气体组分的突然反常并急剧上升，决定非计划停电检修。

表1 停电前油中溶解气体组分 $\mu\text{L/L}$

氢气	一氧化碳	二氧化碳	甲烷	乙烯	乙烷	乙炔	总烃
101	710	2 637	86.67	109.80	15.52	6.92	218.91
98	667	2 724	85.19	114.84	17.15	7.21	224.39
102	683	2 959	90.00	127.61	19.11	7.62	244.34

变压器停电后，试验班进行了诊断性试验，包括空载、直流电阻、变比、整体介损、电容量和绝缘电阻等，均未发现异常，在进行铁芯和夹件接地小套管绝缘电阻测试时，发现拆除接地线后，绝缘电阻仍为零，怀疑铁芯或夹件处有两点及以上接地并形成环流。试验人员应用直流电容器放电冲击，现场听到变压器底部出现“啪”的放电声（直流电压加到 5 kV），经过多次冲击后，绝缘电阻达到 10 000 M Ω 以上，符合规程要求，经过滤油并检测合格，如表 2 所示，随即投运。

表2 送电前油中溶解气体组分 $\mu\text{L/L}$

氢气	一氧化碳	二氧化碳	甲烷	乙烯	乙烷	乙炔	总烃
2	15	191	3.06	6.84	1.51	0.35	11.75

变压器投运后，油中溶解气体组分如表 3 所示，烃类组分特别是乙炔组分急剧上升，怀疑铁芯和夹件之间存在稳定的短接。后续主变返厂大修后，解体发现铁芯和夹件之间确实存在一稳定的铁质物质，经询问为检修人员主变安装时掉入所致。

表3 送电后油中溶解气体组分 $\mu\text{L/L}$

氢气	一氧化碳	二氧化碳	甲烷	乙烯	乙烷	乙炔	总烃
26	37	342	27.79	40.31	5.10	6.52	79.72
32	33	342	34.45	47.44	5.02	6.76	93.68
40	39	520	40.26	56.62	5.90	8.21	110.98
42	43	402	44.28	62.11	6.28	8.82	121.49
43	46	426	45.85	64.55	6.58	9.11	126.09
41	45	396	44.18	61.99	6.29	8.66	121.12

5 结束语

为了准确判断铁芯、夹件运行状态，给停电检修提供辅助性策略，本文详细讨论了铁芯、夹件多

点接地形成环流的各种可能，并提出了具体的解决办法。

由于变压器铁芯、夹件设计形式不同，绝缘油质量参差不齐，变电站选址土质存在优劣，引发铁芯和夹件出现环流异常，对变压器绝缘油和固体绝缘造成不同程度的损伤，轻微者导致油中溶解气体组分异常，严重者导致变压器跳闸故障，本文详细讨论了各种环流形成的方式，方便运检人员及时分析变压器环流状态、解决变压器环流问题，具有现实推广意义。

参考文献

- [1] 谢荣斌, 马文磊, 薛静. 变电站变压器铁芯多点接地故障分析与处理[J]. 南方电网技术, 2018 (1): 85-87.
- [2] 蔡彬, 王晶. 主变铁芯多点接地引起色谱异常问题的分析处理[J]. 电工技术, 2013 (4): 113-114.
- [3] 温万驱. 变电站 110 kV 主变铁芯多点接地探讨[J]. 山东工业技术, 2014: 203-204.
- [4] 陈静. 110 kV 变电站变压器铁芯接地的分析与处理[J]. 科技致富向导, 2011 (1): 50-51.
- [5] 王庆斌, 邱爱忠. 变压器铁芯多点接地故障的诊断及其处理方法[J]. 广东输电与变电技术, 2012 (02): 60-65.
- [6] 陈卫中, 李清波, 刘沛. 大型变压器铁芯接地在线监测技术的研究[J]. 广东输电与变电技术, 2016, 36 (3): 30-31.
- [7] 汪一雄, 方毅平, 董卓. 变压器铁芯夹件多点接地故障分析处理[J]. 湖南电力, 2016, 6 (4): 69-72.
- [8] 王梦云. 110 kV 及以上变压器事故与缺陷统计分析[J]. 供用电, 2007, 24 (1): 1-5.
- [9] 张志仁. 变压器铁芯接地故障的分析判断与处理[J]. 变压器, 1999, 36 (5): 37-39.
- [10] 耿江海, 王平. 变压器铁芯一点接地工作电流计算[J]. 变压器, 2013, 50 (4): 33-35.
- [11] 张志奎, 刘强, 许岩峰. 一起 220 kV 变压器夹件接地故障及处理[J]. 变压器, 2013, 50 (10): B1-B2.
- [12] 李海宁, 王佐亮. 一起 330 kV 大型变压器铁芯故障的检查与处理[J]. 变压器, 2010, 47 (2): 54-55.
- [13] 徐润光. 一起 500 kV 主变铁芯夹件接地故障的分析及现场处理[J]. 变压器, 2005, 42 (3): 43-44.
- [14] 武永伟. 110 kV 变压器铁芯多点接地故障处理[J]. 农村电气化, 2011 (5): 34-35.
- [15] 左文启, 顾渊博, 叶洪波. 变压器铁芯多点接地问题的研究及实例分析[J]. 变压器, 2010, 47 (2): 49-53.

作者简介

李飞 (1988—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为电力设备故障诊断。

(责任编辑:张峰亮)

基于设备供电能力的 220 kV 变电站失电风险分析

李浩闪

(国网河北省电力有限公司行唐县供电分公司, 河北 行唐 050600)

摘要: 220 kV 变电站作为县域内主要电源点, 失电后的负荷转供通道及能力是影响县域内供电可靠性的重要因素。文章针对 220 kV 失电后最大程度转供负荷为目标, 对负荷转供通道进行研究, 以负荷转供过程中输电线路输送容量、变电站供电能力为约束, 分析负荷转供情况, 选取典型区域进行分析, 具有一定的示范作用。

关键词: 220 kV 变电站; 失电; 负荷转供; 输送容量; 供电能力

中图分类号: TM727

Risk Analysis of Power Loss in 220 kV Substations based on Equipment Power Supply Capacity

LI Haoshan

(Xingtang County Power Supply Branch of State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Hebei Xingtang 050600, China)

Abstract: As the main power supply point within the county, the load transfer channel and capacity of the 220 kV substation after power loss are important factors affecting the reliability of power supply. This article focuses on the maximum degree of load transfer after 220 kV power loss, and studies the load transfer channel. Constrained by the transmission capacity of the transmission line and the power supply capacity of the substation during the load transfer process, it analyzes the load transfer situation and selects typical areas for analysis, which has a certain demonstration effect.

Keywords: 220 kV substations; power loss; load transfer; transmission capacity; power supply capacity

现代经济的发展对电力系统可靠性提出更高的要求, 220 kV 变电站作为县域输电网络的重要环节, 分析其失电时的电网可靠性具有重要意义。

文献 [1] 介绍了大电网可靠性分析的原理, 对系统状态分析中包含的网络拓扑分析、断线潮流计算、最大负荷削减量的计算等步骤的实现方法进行了分析。文献 [2] 围绕考虑架空线路动态容量及输电网络结构优化对大电网可靠性水平的影响, 开展大电网可靠性研究。文献 [3] 主要分析电网各分区间的可靠性计算指标的合成方法, 得到了大电网可靠性评估指标, 可有效评估大电网薄弱点。文献 [4-5] 主要集中在分析大电网可靠性因素, 并利用交叉熵、高斯混合模型、降维解集模型等算法进行分析。大电网系统规模大、随机性强、建模困难, 计算复杂度高^[5], 是个多约束、非线性、高维复杂的系统。本文主要研究如何从系统角度分析电网结构、电网供电能力, 简单有效分析大电网失电下电网负荷转供通道、电网的运行可靠性, 作为指导

收稿日期: 2023-09-25

220 kV 变电站建设的建议。

1 220 kV 变电站失电分析

220 kV 变电站作为县域主要电源点, 县域内一般存在 1~3 座 220 kV 变电站, 失电后, 所带负荷能否转供, 须考虑需转供负荷、负荷转供通道所经输电线路的供电能力、接受负荷变电站的供电能力, 分析过程中须考虑负荷转供通道, 即网络结构的变化。本文考虑最大程度转供负荷为目标, 以输电线路供电能力、接受负荷变电站供电能力为约束条件, 分析 220 kV 电网失电情况下可靠性。

2 典型区域 220 kV 失电分析

2.1 电网现状描述

某县域内有 220 kV 变电站一座 A 站, 电压等级为 220/110/35 kV, 区域内 110 kV 变电站 5 座, 35 kV 变电站 10 座, 分析 220 kV 变电站失电后县域内负荷转供情况及失负荷情况。

首先分析正常情况下县域内各变电站电源情况，5 座 110 kV 变电站均来自 220 kV A 变电站，2 座 35 kV 变电站来自 220 kV A 站，其余来自 110 kV 变电站。县域内与外部联络通道主要有 2 条，向北的通道 1，向南的通道 2，如图 1 所示。

2.2 输送通道分析

该县与区域外 110 (35) kV 联络通道共 4 条，线路通道最大传输容量 312.78 MW。一是 220 kV E 站西送通道，可通过 220 kV E 站 110 kV 1 线（目前为备供线路）接带北部区域负荷；二是 220 kV F 站南送通道，可通过 220 kV F 站 110 kV 2 线、110 kV 3 线、35 kV 1 线接带南部区域负荷，如表 1 所示。

2.3 转供能力校验

220 kV A 站全站失电后，通过一次转供，将北部和南部负荷分别转接至区域外 220 kV E 站、F 站供电。其中，220 kV E 站接带该县北部负荷，由 110 kV 1 线供电；220 kV F 站接带该县南部负荷，由 110 kV 2 线、35 kV 1 线、110 kV 3 线供电。但 110 kV B3 站由 220 kV A 站双辐射供电无法实现一次转供，须进行二次负荷转接。

综合考虑通道传输容量、上级变电站容量裕度等制约因素，对该县 220 kV A 站全站失电后电网一二次转供能力进行校验。

2.3.1 一次转供能力校验

(1) 转供方案

220 kV E 站接带该县北部负荷，由 110 kV 1 线供电；220 kV F 站接带该县南部负荷，由 110 kV 2 线、110 kV 3 线、35 kV 1 线供电。

35 kV C1 站由 110 kV B2 站或 B4 站供电，考虑到 B2 站已重载，2023 年 B4 站进行 3 号主变扩建及 2 号主变增容，由 110 kV B4 站供电。

(2) 通道传输容量校验

110 kV 1 线转供能力校验：110 kV 1 线传输容量 113.80 MW，现状为备供线路，叠加 110 kV B2 站和 110 kV B1 站后，最大负荷 77.9 MW，最大负载率 68.45%，线路仍有裕度，满足转供要求。

110 kV 2 线转供能力校验：110 kV 2 线线路传输容量为 86 MW，叠加 110 kV B4 站、35 kV C1 站后，最大负荷 82.49 MW，最大负载率 95.9%，线路重载，满足转供要求。

110 kV 3 线转供能力校验：110 kV 3 线线路额定传输容量为 86 MW，为 110 kV B5 站备供线路，最大负荷为 45.16 MW，最大负载率为 52.51%，线路裕度较大，满足转供要求。

35 kV 1 线转供能力校验：35 kV 1 线线路传输容量为 26.98 MW，叠加 35 kV C3 站和 35 kV C2 站

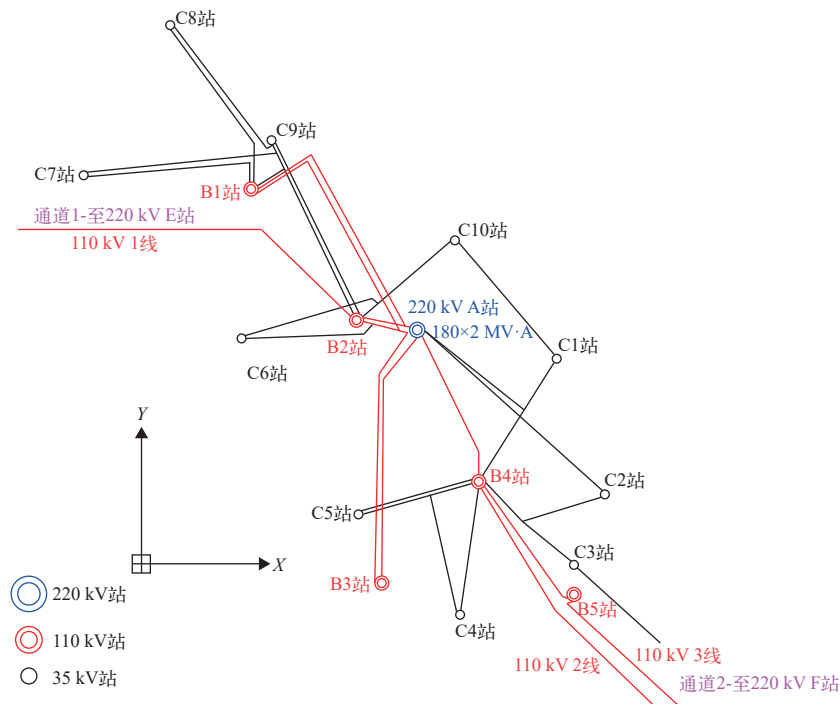


图1 县域 35 kV 及以上电网结构

表1 县域与外部联络线路最大传输容量 MW

序号	线路名称	最大传输容量
1	110 kV 1线	113.80
2	110 kV 2线	86.00
3	110 kV 3线	86.00
4	35 kV 1线	26.98
合计	—	312.78

后,最大负荷 26.86 MW,最大负载率 99.56%,线路接近满载,满足转供要求。

(3) 上级电源容量裕度校验

220 kV E 站容量裕度校验:220 kV E 站现有主变 2 台、容量 360 MV·A,最大负荷为 261.55 MW,叠加 110 kV B2 站和 110 kV B1 站负荷后,最大负荷达到 296.75 MW,最大负载率 84.17%,变电站重载,满足转供要求。

220 kV F 站容量裕度校验:220 kV F 站现有主变 2 台、容量 240 MV·A,最大负荷 174 MW,叠加 110 kV B4 站、B5 站、35 kV C2 站、C1 站负荷后,最大负荷达到 311.83 MW,不考虑 220 kV F 站调整运行方式情况下,最大负载率将达到 129.92%,变电站过载,不满足转供要求,负荷缺口 71.83 MW。

(4) 一次转供校验结论

在一次转供情况下,线路输送通道容量可以满足转供要求,但上级电源 220 kV F 站容量裕度不足,无法接带一次转供全部负荷,存在负荷缺口 71.83 MW。110 kV B3 站无法转供。

2.3.2 二次转供能力校验

(1) 转供方案

110 kV B3 站通过二次转供方式,由 110 kV 1 线通过 B2 站、220 kV A 站 110 kV 母线接带;220 kV F 站通过运行方式调整,将部分负荷转供至其他 220 kV 变电站,进一步释放接带能力。

(2) 线路传输容量校核

叠加 110 kV B1 站、110 kV B2 站、110 kV B3 站负荷,3 座变电站最高负荷为 95.22 MW,小于 110 kV 秋谭 II 线传输容量,线路最大负载率 83.67%,线路重载,满足转供要求。

(3) 220 kV E 站容量裕度校核

将 E 站负荷曲线与 B1、B2、B3 变电站叠加后,220 kV E 站最高负荷为 307.11 MW,最大负载率将

达到 85.33%,变电站仍为重载,满足转供要求。

因此,通过 110 kV 1 线转带 B1 站、B2 站、B3 站负荷,线路通道传输容量和上级变电站容量均满足要求,110 kV B3 站可通过二次转供方式恢复供电。

2.4 220 kV 变电站失电后负荷转供结论及建议

以最大程度转供负荷为目标,以线路及变电站供电能力为约束条件,分析该县 220 kV A 站全站失电后,负荷无法全部一次转供,一次转供下损失负荷 18.95 MW (B3 站负荷)且存在负荷缺口 71.83 MW, B3 站可通过二次转供将负荷转出。

针对一次转供下的负荷缺口,建议在县域南部新增 220 kV 变电站 1 座,解决周边网架薄弱问题,强化与 220 kV A 变电站间的联络通道,提高故障情况下负荷的转移能力。若 220 kV A 站全站失电,可将站内全部负荷改接至新建 220 kV 变电站及 220 kV E 站,此时,一次转供下可全部转出,大大提高区域供电可靠性。

3 结束语

本文以最大程度转供负荷为目标,以负荷转供通道所经输电线路的供电能力、接受负荷变电站的供电能力为约束条件,综合考虑 220 kV 变电站失电后网络结构变电、负荷转供通道,进行了 220 kV 变电站失电后供电能力分析。选取典型县为参考,分析了 220 kV 失电后一次负荷转供、二次负荷转供情况,并对 220 kV 电网建设提出有效建议。

参考文献

- [1] 陈凡,卫志农,黄正,等.大电网可靠性评估状态分析实现方法的比较[J].电力系统及其自动化学报,2016,28(11):82-87.
- [2] 肖若嵩.计及架空线路动态容量及输电网络结构优化的大电网可靠性评估[D].重庆大学.
- [3] 宋晓凯,王文豪,林烽,等.基于供电分区的配电网可靠性分析方法:CN201611054650.X[P].CN10650559A.
- [4] 邝俊威.基于降维解集模型和交叉熵的大电网可靠性评估[D].重庆大学,2020.
- [5] 王洁.基于高斯混合模型和交叉熵的大电网可靠性评估研究[D].重庆大学,2015.

作者简介

李浩闪(1988—),女,硕士研究生,主要从事电力规划、负荷分析方面工作。

(责任编辑:张峰亮)

一起 220 kV 某变电站 1 号主变启动损坏事件分析

周刚¹, 张知宇^{2*}, 王法顺³

(1. 国网浙江省电力有限公司嘉兴供电公司, 浙江 嘉兴 314000; 2. 国网浙江省电力有限公司海盐供电公司, 浙江 海盐 314300; 3. 国网浙江省电力有限公司嘉善县供电公司, 浙江 嘉善 314100)

摘要: 详细分析了一起某 220 kV 变电站 1 号主变启动损耗事件, 详细说明了主变启动故障的过程与故障的排查方法, 并结合电气原理全方位地分析了可能出现故障的原因, 根据排查情况确定最终故障原因。最后分析了导致故障的潜在原因, 并给出了下一步工作的安排。

关键词: 变电站; 主变; 启动故障

中图分类号: TM727

A Remote Closing Failure Analysis of 220 kV Line Switch in a Certain Substation

ZHOU Gang¹, ZHANG Zhiyu^{2*}, WANG Fashun³

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Jiaying Power Supply Company, Zhejiang Jiaying 314000, China; 2. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Haiyan County Power Supply Company, Zhejiang Haiyan 314300, China; 3. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Jiashan County Power Supply Company, Zhejiang Jiashan 314100, China)

Abstract: This paper analyzes in detail a start-up loss event of No.1 main transformer in a 220 kV substation, explains in detail the process of main transformer start-up failure and the troubleshooting method, and comprehensively analyzes the possible causes of failure in combination with electrical principles. Circumstances determine the ultimate cause of failure. Finally, this paper analyzes the potential causes of the failure, and gives the arrangement of the next work.

Keywords: substation; line switch; remote control

变压器在电力系统中承担着调节电压水平、传输电能的作用, 一旦变压器出现故障, 将造成无法估量的损失; 为此, 变压器若出现故障, 必须第一时间排查故障原因并进行相关抢修措施。本文基于一起真实变压器故障案例, 提出了一套变压器启动故障的排查方法, 并给出了进一步措施方案。通过主动预警智能评估、处置预案智能完善、处置实施智能辅助, 构建多元辅助智能处置模式, 实现故障隐患高效处置, 安全状态实时监测, 全面提升处置作业质效和安全防护^[1-3]。

1 故障经过

2021 年 11 月 01 日 14:28:43, 220 kV 某变电站 1 号主变在启动操作 220 kV 母线冲击主变过程中, 主变第二套差动保护动作、重瓦斯保护动作, 220 kV 开关跳闸, 故障相别 B 相。主变第一套差动保护启动但未出口, 主变跳闸后 2 s 轻瓦斯保护告警。现场检查主变本体瓦斯继电器内有气体, 呼吸器大量

收稿日期: 2022-09-21

出气, 主变本体各项试验结果异常, 初步判断主变内部故障。故障变电站主接线图如图 1 所示。

2 故障原因排查

运维人员进行全面故障排查, 分别调查了设备的信息、故障前的工作情况, 同时进一步进行变压器参数测试。

2.1 设备信息

220 kV 某变电站 1 号主变型号为 SFSZ11-240000/220, 出厂时间 2021 年 7 月, 出厂序号 S210341101, 投产前各项试验均合格。

2.2 故障前当日工作情况

故障前, 220 kV 某变电站 220 kV 采用双母线接线方式, 2U31 线、2U93 线、4Q85 线接正母运行, 2 号主变 220 kV、2U32 线、2U94 线、4Q86 线接副母运行, 待用 2MA I 正、副母隔离开关均拉开, 220 kV 母联开关运行, 220 kV 正、副母线及母线压变均在运行; 1 号主变 220 kV 及 110 kV 中性点接地, 2 号主变 220 kV 及 110 kV 中性点接地, 1 号主

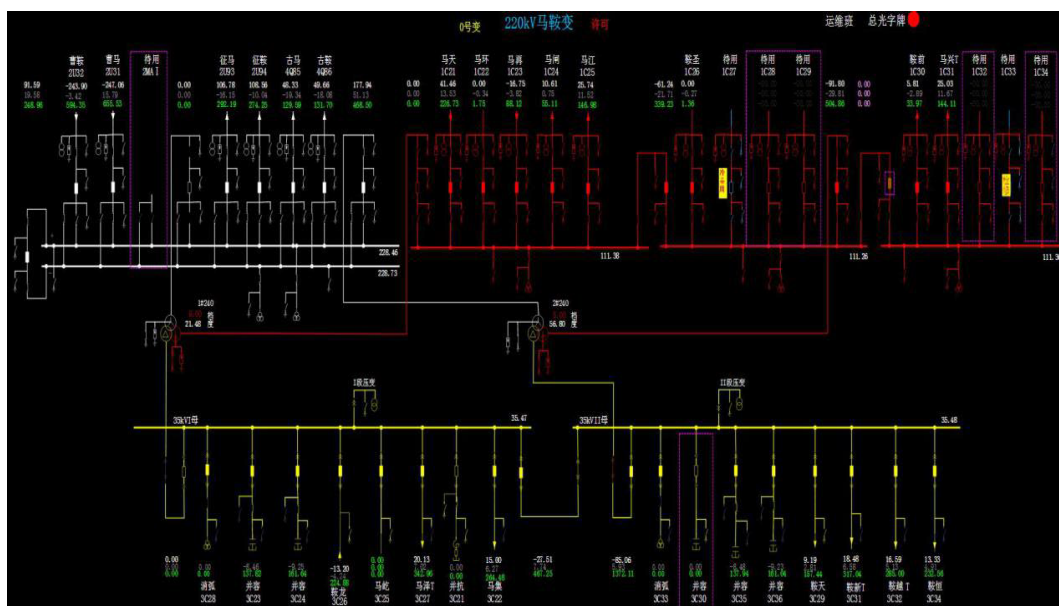


图1 某220 kV变电站主接线图

变有载分接开关位于9挡位，2号主变有载分接开关位于5挡位。

110 kV 接线采用单母双分段方式，其中Ⅱ、Ⅲ段母线采用硬连接，110 kV I、Ⅱ、Ⅲ段母线并列运行，110 kV 1号母分开关运行，110 kV 2号母分Ⅱ段母线隔离开关、110 kV 2号母分Ⅲ段母线隔离开关合上状态，2号主变110 kV、1C21、1C22、1C23、1C24、1C25、1C26、1C30、1C31线运行，待用1C27线冷备用、待用1C33线检修。

35 kV 接线采用单母分段方式，35 kV I、Ⅱ段母线并列运行，35 kV 母分开关运行，3C22、3C25、3C26、3C27、3C29、3C31、3C32、3C34线运行，3C21线热备用，3C30线冷备用，3C23、3C24、3C35、3C36线运行，3C28、3C33运行。

2.3 故障现场排查

2.3.1 主变本体

变压器跳闸瞬间，本体呼吸器有大量气体喷出，带出呼吸器油杯绝缘油；本体瓦斯继电器观察窗充满气体，如图2所示，其他部件无异常。

2.3.2 保护动作情况

2021年11月01日14:28:42:703，1号主变第一套保护启动，1号主变第二套保护纵差保护出口动作；

- 14:28:42:904，1号主变非电量速动油压动作；
- 14:28:42:919，1号主变220 kV开关分位；

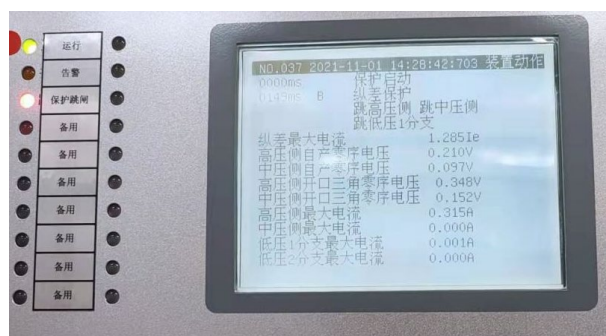


图2 1号主变第一套保护动作情况

- 14:28:42:926，1号主变非电量总跳闸；
- 14:28:43:100，1号主变本体重瓦斯跳闸；
- 14:28:45:301，1号主变本体轻瓦斯告警。

图2与图3分别是故障变压器1号主变第一套保护动作与第二套保护动作的动作情况。故障期间，220 kV 母线电压基本不变，但有较大差流（纵差最大电流 $1.285I_e$ ，大于定值 $0.5I_e$ ），结合录波图判断，此时高压侧电流为励磁涌流和部分故障电流的叠加，存在较大谐波分量，三相二次谐波含量分别为53.6%、7.9%、31.5%。1号主变第一套保护采用二次谐波制动，满足闭锁条件，因此该套保护未出口；第二套保护采用波形对称制动，基于波形比较原理，可防止主变启动过程中，发生故障时因二次谐波较大导致的误闭锁，本次故障正确动作，图3为后台SOE主变跳闸信号。

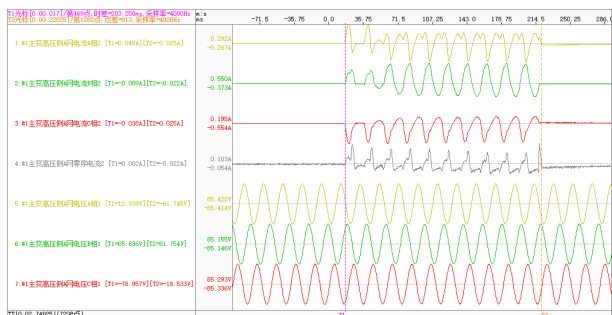


图3 后台 SOE 主变跳闸信号

3 主变试验情况

对 1 号主变开展诊断性试验检查。结果显示油色谱、直流电阻、短路阻抗、绕组频率响应、绝缘电阻、变比试验等试验数据明显异常。

油色谱试验：主变故障后 30 min 内油样色谱数据无异常；2 h 后取油样，上部油样乙炔含量 2.4 $\mu\text{L/L}$ ，中下部油样色谱无异常；4 h 后取油样，上部油样乙炔含量达到 97.6 $\mu\text{L/L}$ ，中部油样乙炔含量为 3.2 $\mu\text{L/L}$ ，下部油样乙炔含量为 2.7 $\mu\text{L/L}$ ，严重超标。

瓦斯继电器气体色谱：乙炔含量大于 1 797 $\mu\text{L/L}$ 、一氧化碳含量大于 60 891 $\mu\text{L/L}$ ，均严重超标。

绝缘电阻：低压绕组、铁芯、夹件绝缘电阻数据不稳定。低压绕组对地绝缘在 2 000~20 000 $\text{M}\Omega$ 间摆动，铁芯、夹件对地绝缘均在 200~1 000 $\text{M}\Omega$ 摆动。

直流电阻：低压绕组 ab、bc、ca 相直流电阻分别为 5、15、15 $\text{m}\Omega$ 。

短路阻抗：额定档位下，高对低短路阻抗与铭牌值相差 3.85%，中对低短路阻抗与铭牌值相差 5.9%。

绕组频率响应：中、低压 B 相绕组频响曲线与 A、C 相相比，存在明显偏移现象。

变比：高对中 BC 相偏差 479%，CA 相数据无法测量；高对低 BC 相偏差 66.9%；中对低 BC 相无法测量，CA 相偏差 89%。

4 故障原因分析与策略

综合各项试验检查数据，分析认为故障原因：某变 1 号主变在启动冲击过程中，内部发生放电性故障，导致差动保护动作。进一步通过变电站数字

化技术，依托大数据、云平台、数据分析和可视化等新兴技术，以电网监测、保电概况和抢修态势等管理为核心，通过对保电站所、用户点、线路等信息进行三维建模，进一步剖析故障根本原因。因第一次短接时，合闸失败，基本可判断异常可能由中间继电器引起（如果短接遥控成功则可判断为智能终端遥控板开出的 HJ 可能异常），因此判断合闸中间重动继电器存在卡涩，由于检修人员在检查过程中曾经有过敲击，且开关电源进行拉合后恢复正常，断路器后续分合均正常。

为了防止此类故障再次发生，班组技术人员共同商讨制定了如下策略：

系统通过大数据平台整合多项系统业务数据，实现专项保电功能相关数据资源整合、更新与共享，打造专项保电任务提供保供电指挥平台。通过加强多模块应用场景的开发，实现多图层全景化展示、数据实时动态展示和故障告警、抢修信息定位，提升保电人员应急指挥能力。

保证重要用户的保供电任务，同时加强防范用户本身用电设备的故障问题。当用户的某个用电设备出现短路故障时，即使配电网无故障，也会导致用户断电，造成损失。

对配电室进行实时监控，如出现故障可以及时发现故障支路，将支路切断后可以迅速恢复其他支路的供电，而后排查故障。将配电房多维状态感知率提升到 100%，通过智能分析和自动精准控制，大幅降低人工巡检和人工干预次数，为“无人配电房”的实现提供了可能。

利用保护冗余信息实时差异比对及预警技术生成预警报告，避免单套设备隐性故障引起的保护不正确动作现象，实现对保护设备隐性故障预警^[4-5]。

5 进一步工作安排

立即开展 220 kV 某变电站 1 号主变抢修工作，已落实更换备用主变，按照 7 天时限开展抢修工作，计划于 11 月 8 日前完成主变更换并复役。

组织故障主变进行返厂解体检查，进一步明确故障原因和后续整改治理措施。

加强 220 kV 某变电站 2 号主变运维巡视和状态管控，落实各项防全停措施，严防 2 号主变故障。2 号主变原计划于 11 月 4 日开展抗短路能力不足改

造更换（新主变为三变科技同批次同型号产品），在明确本次故障原因及处置措施前，2号主变更换工作暂时推迟。

下阶段安排策略如下：

以年度计划为基础，运检部明确全年变电站综合检修现场踏勘、检修平衡会计划时间。各相关专业按照时间表提前做好项目图纸、物资等前期准备工作。

结合变电站综合检修开展的大修、技改等项目相关图纸资料在变电站综合检修平衡会前15天提供。

220 kV 变电站综合检修方案在变电站综合检修平衡会后10天内提交。220 kV 变电站综合检修方案在实施前2个月完成综合检修方案内审。110 kV 变电站综合检修方案在实施前1个月完成综合检修方案内审。

结合变电站综合检修开展的大修、技改、技反措、隐患治理等项目，根据专业要求编制施工子方案，原则上需要更换装置、设备的项目要求编制施工子方案。由专业负责施工子方案的审批，及现场验收工作。

（上接第19页）

住匝间压差，最终导致匝间短路放电，变压器差动保护动作，同时产生特征气体，并且在直流电阻测试时显出高压侧A相绕组在各分接均低于B、C相的现象^[8]。

6 检修策略及建议

加强35 kV电压等级主变压器入厂质检，尤其关注抗短路能力测试。

变压器受近区短路冲击后，无论是否跳闸，均应进行油色谱测试。如需停电诊断，做好电容量、频响、低电压阻抗、直阻、变比、绝缘电阻等项目准备，检查项目参照同厂家同型号运行情况、短路电流大小及持续时间等。对于35 kV抗短路能力不足的变压器，应采用频响法和低电压短路阻抗法、电容量分解法（高压对低压及地、低压对高压及地、高压及低压对地）对绕组进行变形测试。

对变压器低压侧抗短路能力不足的变压器套管出线导体的绝缘化进行检查，结合停电机机会进行完善。

在无专线供电条件的情况下，采用电缆双环网结构，为重要用户构建坚强的配电网架，实现供电可靠性。

参考文献

- [1] 曹荣辉. 变压器内部故障分析及预防措施研究[J]. 电气传动自动化, 2021, 43(3): 63-65.
- [2] 李志清. 电力变压器常见内部故障原因分析及处理措施[J]. 工程建设与设计, 2020(12): 63-64.
- [3] JAHANGIRI P, ALIPRANTIS D C, et al. Distributed Volt/VAr control by PV inverters[J]. IEEE Trans. Power Syst., 2013, 28(3): 3429-3439.
- [4] 孙冰莹, 杨水丽, 刘宗歧, 等. 国内外兆瓦级储能调频示范应用现状分析与启示[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(11): 8-16.
- [5] 魏承志, 陈晶, 涂春鸣, 等. 基于储能装置与静止无功发生器协同控制策略的微网电压波动抑制方法[J]. 电网技术, 2012, 36(11): 18-24.

作者简介

周刚（1966—），男，本科，高级工程师，高级技师，主要从事电网运检方面的研究。

张知宇（1995—），男，工学硕士，助理工程师，主要从事电力系统不确定性研究、储能设备优化配置等。

王法顺（1994—），男，工学硕士，助理工程师，主要从事变电运检方面的研究。

（责任编辑：张峰亮）

参考文献

- [1] 于洋, 耿宁, 陈勇强, 等. 一起220 kV变压器绕组变形缺陷的诊断分析与解体验证[J]. 高压电器, 2016, 52(8): 172-176, 183.
- [2] 王楠, 马小光, 王伟, 等. 一起220 kV变压器绕组变形缺陷分析与处理[J]. 电气应用, 2015, 34(1): 92-95, 99.
- [3] 穆永保. 一起220 kV变压器绕组变形缺陷的诊断与原因分析[J]. 变压器, 2014, 51(11): 62-65.
- [4] 变压器油中溶解气体和判断导则: DL/T 722—2014[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [5] 电力设备预防性试验规程: DL/T 596—2021[S]. 北京: 中国电力出版社, 2021.
- [6] 输变电设备状态检修试验规程: Q/GDW 1168—013[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [7] 刘胜军, 冯正军, 刘钊, 等. 一起220 kV变压器绕组变形缺陷的诊断及分析[J]. 农村电气化, 2023(5): 17-20.
- [8] 袁超, 刘涛, 张劲松, 等. 一起220 kV变压器绕组变形故障诊断与解体分析[J]. 变压器, 2018, 55(9): 79-80.

作者简介

刘钊（1987—），男，高级工程师，主要从事变电站一次设备的状态诊断工作。

（责任编辑：张峰亮）

一起 10 kV 母线失压事件的分析及整改建议

张杰雄*, 杨泳星, 张坚俊

(广东电网有限责任公司潮州供电局, 广东 潮州 521000)

摘要: 某110 kV变电站两回10 kV线路发生相继接地短路故障, 由于零序电流互感器回路故障, 线路保护拒动造成越级跳闸, 引起10 kV母线失压。在故障未切除情况下, 值班人员多次试送电, 导致系统连续遭受故障电流、电压冲击, 造成事故扩大。通过补充检验和对保护动作信息及录波文件进行分析, 找到了事故具体原因, 并为避免类似事故提出了一些整改意见。

关键词: 母线失压; 越级跳闸; 零序电流互感器

中图分类号: TM727

Analysis and Rectification Suggestions of a 10 kV Bus Voltage Loss Event

ZHANG Jiexiong*, YANG Yongxing, ZHANG Jianjun

(Chaozhou Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangdong Chaozhou 521000, China)

Abstract: Two 10 kV lines in a 110 kV substation have successively ground short circuit fault. Due to the fault of zero-sequence current transformer circuit, the line protection refused to operate, resulting in over-grade tripping, resulting in the loss of voltage of 10 kV bus. Under the condition that the fault is not removed, the dispatcher tried to power on several times, resulting in the system continuously suffering from fault current and voltage impact, resulting in the expansion of the accident. Through supplementary inspection and analysis of protection action information and oscillograph files, the specific cause of the accident was found, and some rectification suggestions were put forward to avoid similar accidents.

Keywords: bus voltage failure; override trip; zero-sequence current transformer

随着城镇化建设的进行, 配电网电缆线路日渐增多。由于消弧线圈接地系统可能出现电弧重燃、铁磁谐振过电压等问题, 配电网大部分进行了小电阻接地系统改造。改造后, 10 kV 线路单相接地故障由线路零序过流保护进行切除, 接地变保护作为后备保护^[1-2]。本文分析了一起 10 kV 线路零序 TA 二次回路故障导致接地变保护动作, 引发母线失压以及处理过程中多次向故障点试送电, 使事故影响扩大的案例。为 10 kV 线路跳闸快速处理提供分析思路及处理方法, 并为避免类似事故提出了一些整改意见。

1 故障简况

某日凌晨 00:45, 110 kV 变电站 10 kV 城区甲线保护装置过流 I 段动作。随后, 10 kV #2 接地变 52J 开关保护装置动作, 跳开 10 kV 分段 500 开关、#2 主变变低 502 开关、#2 接地变 52J 开关, 闭锁 10 kV 备自投, 10 kV II 母线失压, 变电站主接线如

收稿日期: 2023-02-17; 修回日期: 2023-06-27

图 1 所示, 保护设备定值参数如表 1 所示。

00:47, 值班人员遥控合 10 kV 分段 500 开关。
00:47:23, 10 kV #1 接地变 51J 开关保护装置高压零

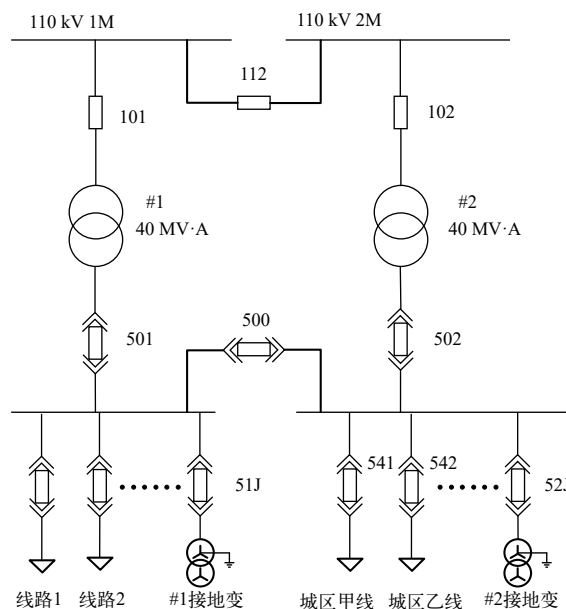


图1 某变电站主接线图

表1 保护设备定值参数

保护装置	保护类型	保护定值/A	保护时间/s	作用对象
城区甲线保护	过流保护	2 000	0.3	跳541开关
城区乙线保护	过流保护	2 000	0.3	跳542开关
#1接地变保护	速断保护	416	0.0	
	过流保护	70	3.3	
	零序过流I时限	60	1.5	跳500开关
	零序过流II、III时限	60	3.0	跳501、51J开关闭锁备自投
#2接地变保护	速断保护	416	0.0	
	过流保护	72	3.3	
	零序过流I时限	60	1.5	跳500开关
	零序过流II、III时限	60	3.0	跳502、52J开关闭锁备自投

序过流 I 时限动作，跳开 10 kV 分段 500 开关，闭锁 10 kV 备自投，恢复供电失败。

随后，值班人员在故障未完全切除的情况下，进行 2 次试送。使系统反复遭受故障电流和故障电压的冲击，使事故影响扩大，共影响 7 回线路的供电。

2 原因分析

故障前运行方式：#1 变高 101 开关、#1 变低 501 开关、#2 变高 102 开关在合位、#2 变低 502 开关在合位；高分段 112 开关、低分段 500 开关在分位。

通过现场检查，确认机构无损坏、开关能正确动作，排除一次设备缺陷而引起本次故障。随后，通过调取故障录波信息和二次设备现场检查，确认接地变零序过流保护定值与时限与线路零序过流时限配合正确，与定值单一致，主要保护报文如表 2 所示；同时，发现零序 TA 本体处二次回路断开。综合故障录波信息分析后确定，事件分为 3 个阶段。

故障发展：如图 2 所示，110 kV 变电站 10 kV 城区乙线发生 C 相接地故障，C 相电压下降，零序

表2 主要保护报文

装置	动作情况	时间
城区乙线保护	保护启动	00:45:35.840
#2接地变保护	保护启动	00:45:35.844
城区甲线保护	保护启动	00:45:36.851
#2接地变保护	保护返回	00:45:36.883
城区甲线保护	过流I段	00:45:37.165
#2接地变保护	零序过流I时限	00:45:38.704
#2接地变保护	零序过流II、III时限	00:45:40.204
#1接地变保护	零序过流I时限	00:47:23.194
城区乙线保护	过流I段	01:17:19.913
#2接地变保护	零序过流I时限	02:23:49.607
#2接地变保护	零序过流II、III时限	02:23:51.107

电压和零序电流升高，零序电压与 C 相反相，零序电流与 C 相同相。由于 10 kV 城区乙线零序 TA 回路接触不良，零序电流采样值为零，保护启动后未能正确动作。1 s 后，10 kV 城区甲线发生 AB 两相接地故障，经过约 1 周期后，发展为三相短路故障。母线 A、B 相电压下降，相电流升高，零序电压和零序电流下降，#2 接地变保护装置返回。10 kV 城区甲线保护动作切除故障后，#2 接地变零序电压和零序电流再次升高，保护装置启动并跳开#2 主变变低 502 开关，造成越级跳闸，如图 3 所示。

试送电：00:47，值班人员在 II 母线存在异常信号（00:45:35，城区乙线存在保护启动信号）情况下，合上 10 kV 分段 500 开关，由 10 kV I 母线向 10 kV II 母线上所有线路供电。10 kV#1 接地变保护装置高压零序过流 I 时限动作，跳开 10 kV 分段 500 开关，10 kV II 母线恢复供电失败。

多次冲击故障点：01:17，值班人员切除 10 kV II 母线所有线路后，恢复由#2 主变变低 502 开关供电，遥控合 10 kV 城区乙线 542 开关。9 691 ms，10 kV 城区乙线保护装置过流 I 段动作，跳开城区乙线 542 开关。02:23，在现场故障的未完全切除的情况下，值班人员再次送电。3 038 ms，#2 接地变保护装置高压零序过流 2 时限、高压零序过流 3 时限动作，跳开 10 kV 分段 500 开关、#2 主变变低 502 开关、#2 接地变 52J 开关，闭锁 10 kV 备自

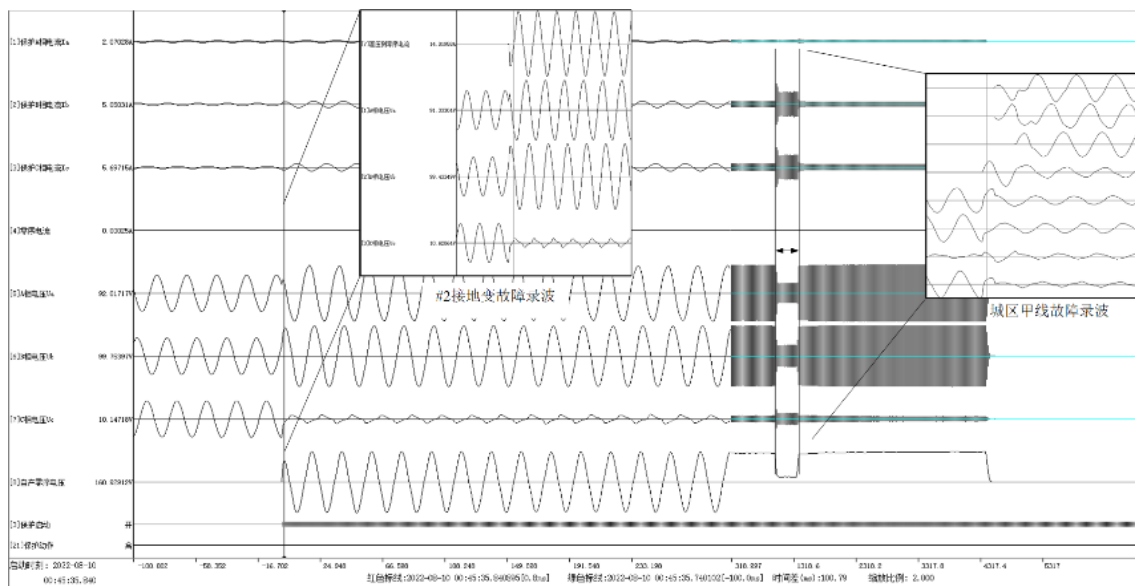


图2 00:45:35 10 kV 城区乙线保护动作录波

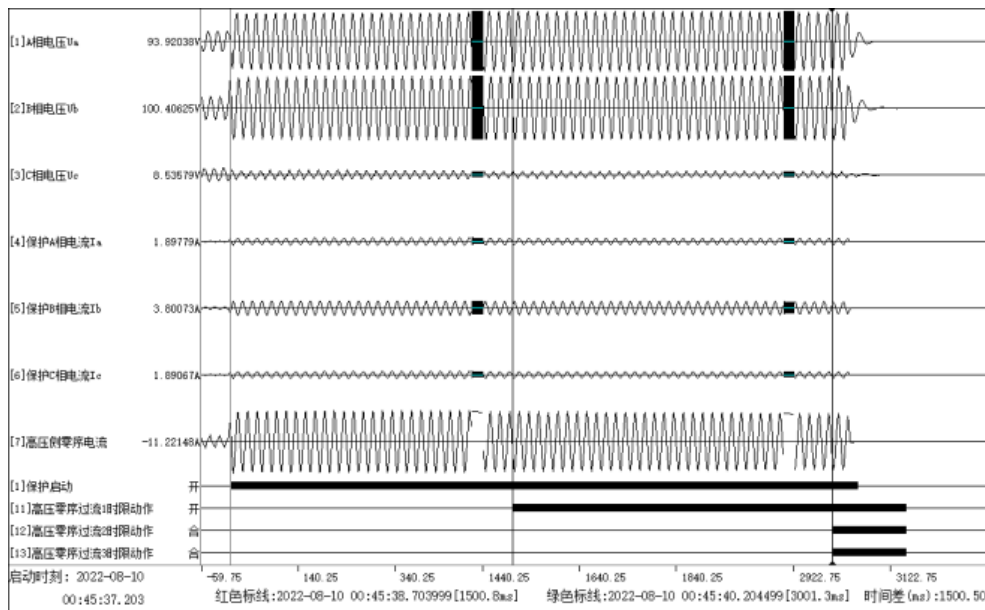


图3 00:45:37 #2 接地变保护动作录波

投，10 kV II 母线失压，系统再次遭受故障电流和故障电压的冲击，再次冲击故障点，如图 4、图 5 所示。

3 暴露问题

在运变电站 10 kV 零序保护从接地选线方式改造为独立零序电流互感器方式后，未及时完成出线的零序电流互感器的加装和检查。

当值人员下令送电前未对报文进行充分研判，对现场设备情况不够了解。

4 防范措施

在运变电站 10 kV 零序保护改造为零序电流互感器方式后，须尽快配合定检完成出线的零序电流互感器的加装和检查。今后在新保护装置投入运行时，应进行必要的装置检测，厂家出具入网检验报告，确保设备不“带病”投运。

线路保护启动伴随接地变压器保护动作后当值人员通常要考虑：10 kV 线路故障后保护无法正常动作引发接地变故障跳闸；多回 10 kV 线路相继故

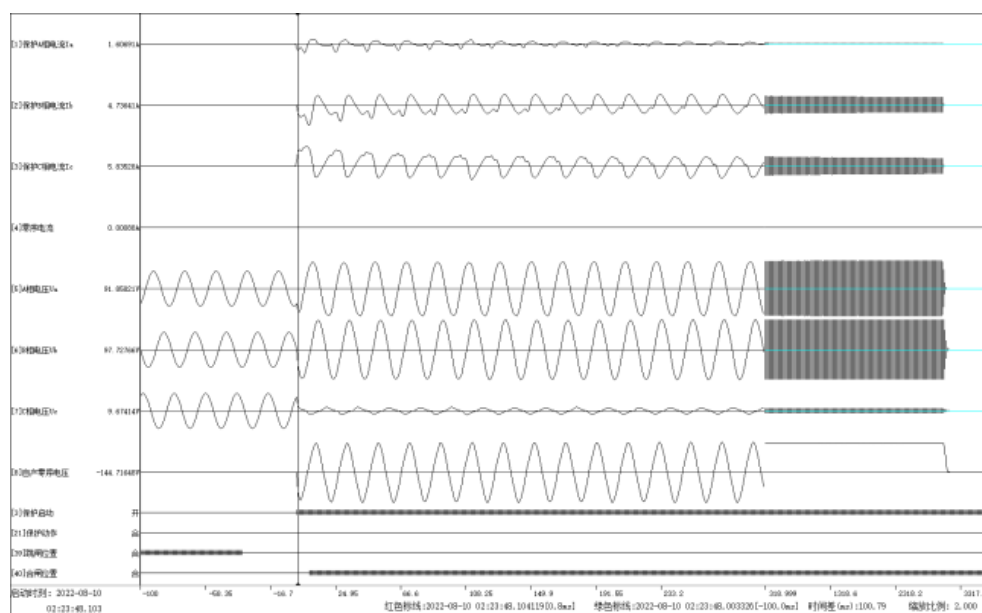


图4 02:23:48 10 kV 城区乙线保护录波

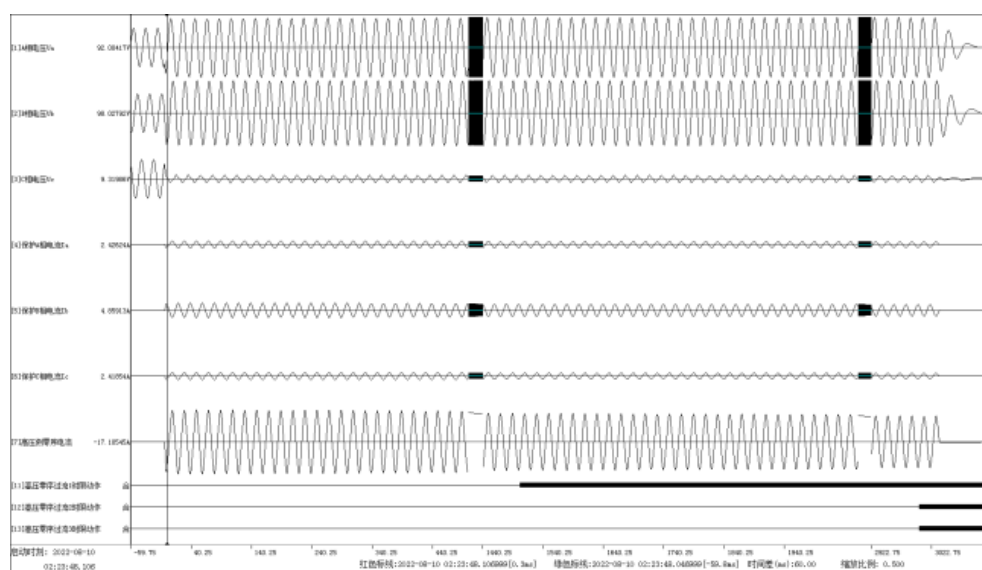


图5 02:23:48 #2 接地变保护动作录波

障，达到接地变动作时限。此时，可能存在一回或者多回故障线路未被切除，调控人员应认真研判系统报文，根据现场设备情况尝试恢复供电。

如果条件允许，可采取拉开全部的出线开关，采用备用电源为母线试送电，减少对运行中的供电线路的影响，同时要确保试送电开关以及继电保护的完好。

参考文献

[1] 康馨. 10 kV 母线失压事故处理及原因分析[J]. 电子制作,

2014 (20): 228-229.

[2] 高占海, 雷定森, 吴志威. 一起 10 kV 母线失压的原因分析及整改建议[J]. 冶金动力, 2021 (5): 8-11.

作者简介

张杰雄 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 新能源发电技术、继电保护技术。

杨泳星 (1993—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 继电保护检修。

张坚俊 (1983—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 继电保护检修。

(责任编辑: 张峰亮)

10 kV 线路带角差不停电合环调电研究

雷巧红

(国网山东昌乐县供电公司, 山东 昌乐 262400)

摘要: 10 kV 线路存在 30° 相角差, 如直接合环, 将在两线之间形成较大合环电流, 造成上级电源跳闸, 引发大范围停电。以往一直采用停电倒负荷再送电的模式, 严重影响供电可靠性。现通过准确计算合环电流, 合理整定开关保护定值, 各级保护相互配合, 利用保护跳闸成功实现不停电合环调电。降低用户停电感知, 提升“获得电力”满意度。

关键词: 10 kV 线路; 角差; 合环; 不停电

中图分类号: TM726

Research on Power Adjustment of 10 kV Transmission Line with Angle Difference without Power Cut and Loop Connection

LEI Qiaohong

(State Grid Shandong Changle County Power Supply Company, Shandong Changle 262400, China)

Abstract: There is a 30° phase difference in the 10 kV line. If the loop is directly closed, a large loop current will be formed between the two wires. Causing a tripping of the superior power supply, leading to a widespread power outage. In the past, the mode of power outage, load reversal, and power transmission has been adopted. Serious impact on power supply reliability. Now, by accurately calculating the closing current. Reasonably set the switch protection settings. All levels of protection cooperate with each other. Successfully achieved non power outage, loop closing, and power regulation through protection tripping. Reduce user perception of power outages and improve satisfaction with 'obtaining electricity'.

Keywords: 10 kV line; angular difference; loop closure; no power outage

1 合环调电技术方案

1.1 总体思路

利用保护跳闸实现不停电合环调电。调整解环开关保护定值(可整定在临时定值区, 专门用于解、合环操作), 待合环开关合闸后, 利用电压差(主要由 30°相角差造成, 约 3 kV)形成的合环电流启动解环开关保护跳闸, 从而实现不停电合环调电。其中解环开关保护定值的整定是关键, 应躲过线路最大负荷电流, 对合环电流有灵敏度, 且能与上级设备保护定值配合。

1.2 整定方法

解环开关保护动作电流及动作时间的整定。一方面解环开关动作电流定值将统一整定为环路最小限流值(综合考虑环路中相关开关、导线、TA 等限流值), 确保可靠躲过负荷电流。另一方面解环开关保护动作时间的选择, 应确保解环开关第一时间动作, 时间越短越好, 一般设置为 0~0.1 s。

收稿日期: 2023-05-24

合环开关保护动作电流及动作时间的整定。投入合环开关保护, 合环开关动作电流定值的整定与解环点定值一致, 时间延时 0.2 s, 作为解环开关拒动等情况造成解环不成功时的备用。

与环路各级保护定值配合。为确保合环电流下其余开关保护不动作, 原则上应通过保护整定或方式潮流等方法计算出环路电流, 对合环路径相关保护定值配合情况进行详细校核, 确保合环电流下仅解环的开关保护动作, 其余开关保护均不动作。

2 动作说明

执行合环后, 合环电流大于环路最小限流值时, 则解环开关保护瞬时动作, 开关分闸, 合环调电成功; 若解环开关未正确分闸(如开关拒动等原因), 则合环开关经短延时分闸, 合环调电不成功(负荷未损失)。

执行合环后, 合环电流小于环路最小限流值时, 解环开关保护不动作, 但环路中无过流元件, 手动或遥控拉开解环开关, 完成合环调电。

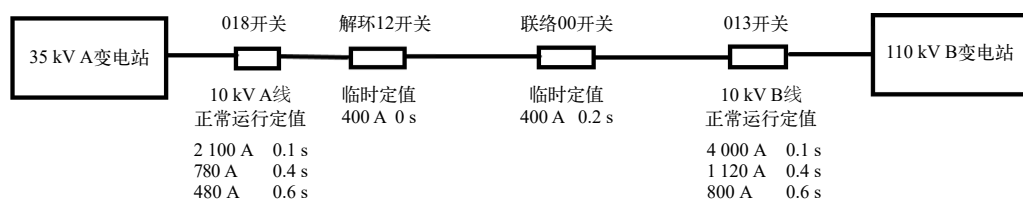


图1 定值配合情况

3 算例

3.1 选取线路

35 kV A 变电站 10 kV A 线，110 kV B 变电站 10 kV B 线。2 条 10 kV 线路存在 30° 相角差。因 35 kV A 变电站、110 kV B 变电站的主电源分别来自 220 kV 主变的 35 kV 侧（三角形接线）及 110 kV 侧（星型接线），存在 30° 相角差。

3.2 合环调电任务

以 10 kV 联络开关“酸尧 00”作为合环开关，10 kV A 线分段 12 开关作为解环开关。临时调整 10 kV A 线 12 开关及 10 kV “酸尧 00”开关保护定值，通过 10 kV “酸尧 00”开关合环，利用合环电流使 10 kV A 线 12 开关跳闸，实现不停电合环调电。

3.3 定值设置

环路内的线路参数如表 1 所示。

表1 线路参数表

变电站A	10 kV线路A	线路A参数及长度/km
35 kV A变电站	A线	YJV22-3×300/0.215
		JKLGYJ-150/2.65
		JKLGYJ-240/2.05
变电站B	10 kV线路B	线路B参数及长度/km
110 kV B变电站	B线	YJV-400/1.21
		JKLGYJ-150/2.15
		JKLGYJ-240/1.45
		JKLGYJ-150/0.65

环路中 10 kV A 线、B 线站内开关均配置三段过流保护，分段及联络开关配置两段过流保护。临时调整环路中相关开关的保护定值：解环开关 10 kV A 线 12 开关临时定值 400 A/0 s，重合闸退出；合环开关 10 kV 联络开关“酸尧 00”临时定值 400 A/0.2 s，重合闸退出。

通过保护整定计算得出最大合环电流为 733 A。经过对合环路径相关保护定值校核，10 kV A 线 11 开关、B 线 11 开关、B 线 12 开关均躲不过合环电流，保护功能退出，确保合环调电时其他保护不会

动作，保护配合情况如图 1 所示。

4 合环调电过程

在环路内开关保护定值均已调整完毕，相关开关位置核对正确后，配网调控人员在配网自动化系统中遥控合上 10 kV 联络开关“酸尧 00”，10 kV A 线 12 开关速断保护动作分闸（动作值幅值 1 048 A，换算为有效值 741 A）。环路中其他开关保护均未动作，合环成功。

实际环路电流 741 A，计算值 733 A，偏差幅度较小。由于环路电流受系统方式、线路参数的影响，实际值与计算值出现偏差，故障录波情况如图 2 所示。

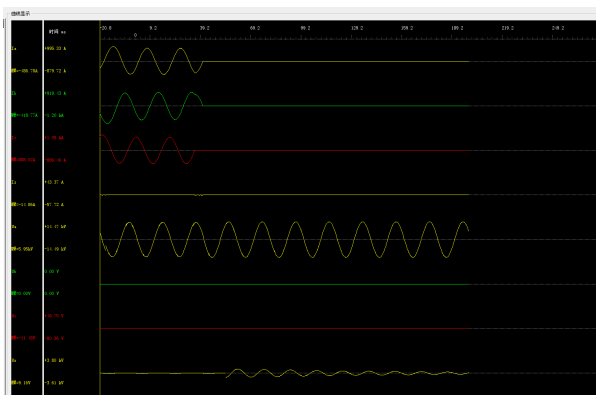


图2 10 kV A 线 12 开关故障录波图

5 结束语

利用保护跳闸实现了 10 kV 线路带角差合环调电零停电，此次试验的成功，有效避免了辖区用户短时停电问题，保障了用户生产生活稳定可靠用电，真正实现了客户“零感知”，为地方经济发展提供稳定电力保障。合环调电过程中，深度结合配网定值“一键下装”、一二次融合开关故障录波等新技术，积极推进 10 kV 线路角差合环调电工作。

作者简介

雷巧红（1982—）女，硕士，高级工程师，从事继电保护技术及管理工作。

（责任编辑：张峰亮）

电动汽车充换电桩负荷互动式控制系统的 研究与应用

李贞阳*, 田利坤, 索明贵, 王家冕

(国网山东省电力公司日照供电公司, 山东 日照 276800)

摘要: 针对电动汽车无序充电造成的电网安全和经济运行问题, 研制一种新型电动汽车充换电桩负荷互动式控制系统及其应用方法, 实现对电动汽车充电桩运行状态数据、电量数据等信息的实时采集; 结合台区配变负荷预测、台区电动汽车充电需求、台区配变功率限制3个主要因素, 制定台区内电动汽车充电管理控制策略。通过有序充电控制, 引导用户合理用能, 将电动汽车充电负荷合理引导到非电网负荷高峰时段充电, 降低用户的充电成本, 有效提高电网接入充电设施的能力。

关键词: 电动汽车充换电桩; 负荷互动式; 控制系统

中图分类号: U469

Research and Application of Interactive Load Control System for Electric Vehicle Charging and Exchange Piles

LI Zhenyang*, TIAN Likun, SUO Minggui, WANG Jiamian

(State Grid Shandong Electric Power Company Rizhao Power Supply Company, Shandong Rizhao 276800, China)

Abstract: In response to the safety and economic operation issues of the power grid caused by disorderly charging of electric vehicles, this paper develops a new type of interactive control system for the load of electric vehicle charging and swapping piles and its application method, which achieves real-time collection of information such as operating status data and electricity data of electric vehicle charging piles. Combined with the load prediction of substation distribution transformers, the charging demand of substation electric vehicles, and the power limit of substation distribution transformers are the three main factors, Develop a charging management and control strategy for electric vehicles within the station area. By orderly charging control, guiding users to use energy reasonably, guiding the charging load of electric vehicles to non grid peak hours for charging, reducing users' charging costs, and effectively improving the ability of the grid to connect to charging facilities.

Keywords: electric vehicle charging and swapping pile; Load interactive; control system

0 引言

在“双碳”战略驱动下, 2022年, 全国电动汽车保有量达1310万辆, 占汽车总量的4.10%, 且呈高速增长态势。受峰谷分时电价影响, 绝大多数电动汽车车主选择在夜间集中充电, 造成夜间配电变压器过载和三相不平衡, 影响电网安全运行^[1]。

针对电动汽车集中充电对配网安全和经济运行造成的影响, 许多学者对电动汽车充电策略进行了研究, 但尚未解决以下问题: (1) 缺少实现充电桩智能开关和变压器出线开关一体化控制功能的设备;

收稿日期: 2023-10-20

(2) 缺少电动汽车车主和电网运行的实时响应和高效互动的便携工具; (3) 缺乏满足电动汽车车主和电网运行利益的电价策略; (4) 缺少电网运行和电动车主的协同优化决策平台^[2-3]。针对目前研究存在的问题, 本文提出基于智能配变终端的充电负荷控制技术方案, 实现了运行工况的就地分析, 解决充电桩精准控制问题。研发基于客户终端App的网车互动软件, 实现了网车信息的双向透明, 解决车主和电网诉求无法实时共享的问题。提出适应网车2级优化的电价策略, 实现了用户对电网运行诉求的快速响应, 解决负荷侧响应积极性差的问题。建立基于负荷互动系统主站的网车协同优化决策平台,

实现控制策略的云端优化，解决网车利益协同的问题。发掘客户侧需求响应潜力，解决电动汽车无序充电造成的电网安全和经济运行问题。

1 电动汽车充换电桩负荷互动式控制系统的运行流程

国网山东日照供电公司群创项目资金支持的电动汽车充换电桩负荷互动式控制系统，主要由智能配变终端、负荷互动系统主站、客户终端及电价策略构成，整体运行流程如图 1 所示。负荷互动系统主站用于上层决策，系统的充电桩终端通过采集变压器低压总电流，结合变压器容量判断其当前运行状态并上传至互动系统主站。互动系统主站正常接受变压器运行状态和用户选择的电价策略、用车计划等，当有重过载风险或在用电高峰期时，互动系统主站下发给对应客户终端的紧急电价策略，用户根据策略和自己的用车计划选择是否执行，下发具体控制方案给充电桩控制开关，充电桩控制开关执行相应策略，分合闸相应充电桩，实现电动汽车用户的分时充电。变压器运行工况发生相应改变，工况数据被采集，再次执行上述过程。负荷互动系统主站同充电桩终端（供电服务指挥系统）经过安全隔离后开展信息交互，以确保信息安全。

本研究实现配电变压器负载率和三相负载不平衡率的采集和计算，计算误差小于 5%；采集三相

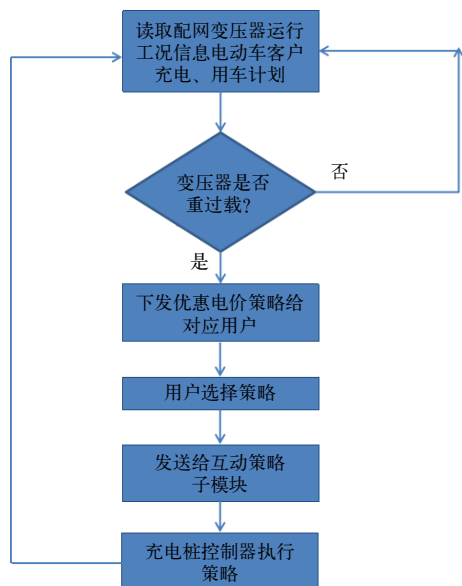


图1 电动汽车充换电桩负荷互动式控制系统运行流程图

电流值（TA 二次电流 0~5 A）；开发单相和三相充电桩错峰充电控制算法，保证变压器的负载率不超过 80%，并且三相负载不平衡率小于 15%；一旦超标，就一台一台的分闸充电的开关；开发电动汽车每晚充电量需求互动技术，给出受控充电桩客户电费优惠策略（以上级批复为准），保证客户停车充电期间的充电费用最低；在 App 或小程序中输入第二天几点开车、最小充电时间等信息；开发电动汽车充电开关的分合闸控制技术，实现电动分合闸。如图 2 所示。

2 电动汽车充换电桩负荷互动式控制系统的构成

2.1 智能融合终端

选取已在变压器广泛安装的智能融合终端作为充电桩终端，并以广泛使用的供电服务指挥系统作为充电桩终端系统，避免设备购买和系统建设费用。充电桩终端集配电变压器电流采集、就地化分析决策、主站通信及第一开关控制充电桩终端接收，并执行负荷互动系统主站命令和策略，用于对充电桩开关和配电变压器低压总开关进行精准停送电操作，如图 3 所示。通过有序充电控制，实现对充电桩智能开关的远程控制，协助用户远程调控，将电动汽车充电负荷合理地引导到电网非负荷高峰时段充电，降低用户的充电成本，引导用户合理用能，有效提高电网对充电设施的承载能力。

2.2 客户终端

客户终端安装网车互动软件，用户在 App 上填写个人基本信息、车辆基本信息等进行注册，在 App 上查看当前变压器可同时充电车数量、在充电车数量，掌握变压器负载率。使用 App 的二维码扫描功能，扫描充电桩上的二维码信息，获取充电桩终端的信息并上传主站，绑定此次充电的车辆。编制电动汽车计划充电时间、计划用车时间，选择适合自己的电价策略，在选择策略时可以参考历史用电电费。在变压器负载超过 90% 时，App 接受主站紧急电价策略并提示充电用户做出选择。在出现强制停电或故障停电时，也会给客户提示当前状态。

2.3 电价策略

电价策略有 4 种模式：（1）正常电价策略。充电电价为常数 a ，即客户选择此模式时，可在任何

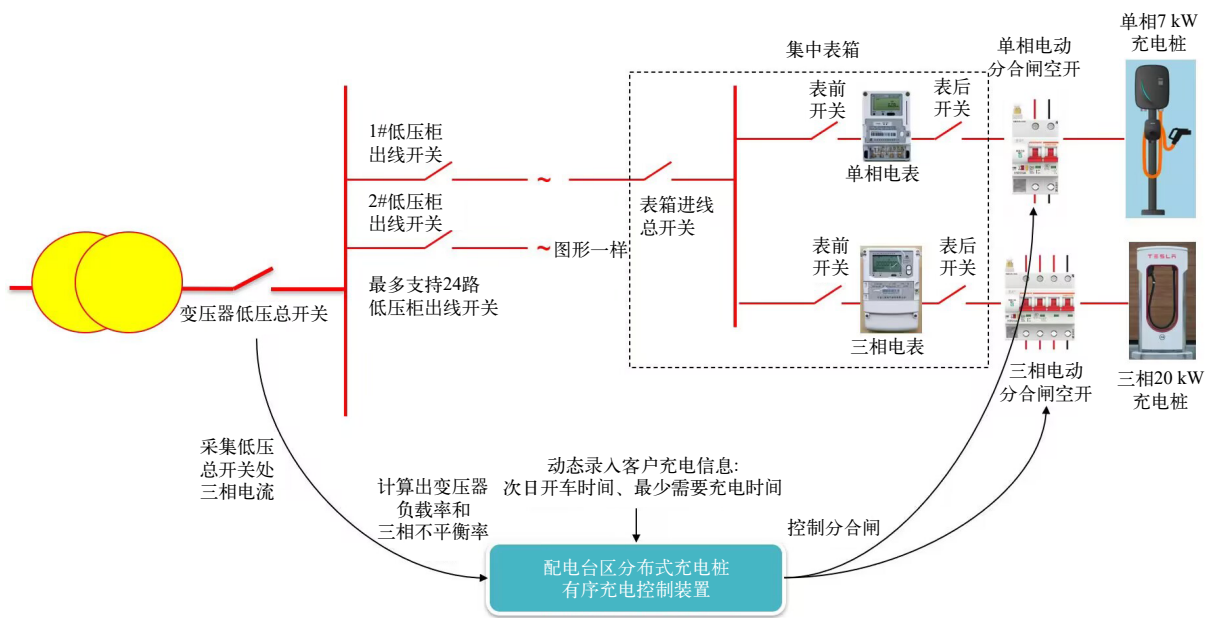


图2 控制系统拓扑图

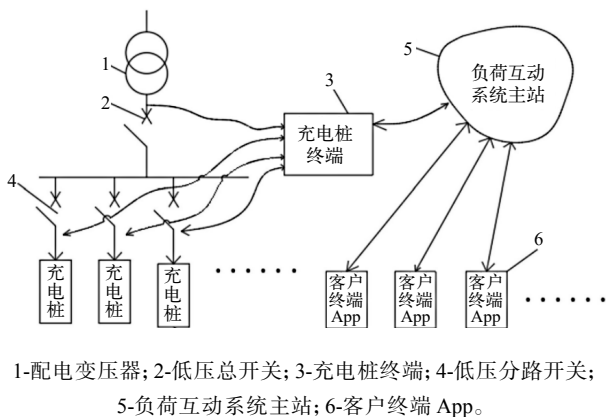


图3 电动汽车充换电桩负荷互动式控制结构图

时间段充电；（2）波动电价策略。充电电价随变压器负荷变化而变化，电价 $b = mx + n$ ， x 为变压器负荷， m 、 n 均为电价常数，可根据供电企业策略而改变；（3）托管电价策略。客户选择此充电方式即认为在满足计划用车充满电的前提下，完全接受供电公司负荷调度，自动将充电时间安排在低用电量时间段或低谷时间段，并享有更低的电价；（4）紧急电价策略。选择非托管电价策略的客户，在充电变压器负载高于 90% 时，会启动该电价策略，互动系统主站通过 App 推送给用户，给出更加低廉的充电电价和准确的充电时段。引导用户更改充电计划，激励客户主动调整。此策略从用户的角度思考，通过调整或改变其使用和购买电能的方式，可以获得经济上的回报与好处，平衡电力供求关系。

3 应用效果

依托论文成果，以国网日照供电公司已有的 PMS2.0 电网设备数据和图模为基础，以智能融合终端为核心，以各级分布式智能单元 LTU 为支撑，通过物联网技术、传感器技术集成配电台区电气设备，研制出配电台区充电桩有序充电控制和优化接入系统，并于 2023 年 1—9 月在公司 2 144 个充电桩 259 个充电桩台区开展应用，系统界面如图 4 所示。



图4 负荷互动系统主站电动汽车充换电桩状态信息

应用以来，通过 App 客户与配网互动 851 次，累计指导客户接受主站优惠政策并做出选择 595 次，客户主动响应电网侧需求 805 次，有效降低了客户用能成本，客户平均充电电价为正常电价的 22.5%，发掘了客户侧需求响应潜力。应用以来，配变重载

(下转第 54 页)

变电站区域型远程智能巡检系统的设计与应用

黄建阳*, 陈 硕

(国网浙江省电力有限公司杭州市余杭区供电公司, 浙江 杭州 311100)

摘要: 随着电力系统不断扩大和变电站数量逐渐增多, 传统的人工巡检变电站面临着更为复杂和烦琐的挑战。为了提高巡检效率和现场作业安全性, 文章设计和实现了一套区域型变电站智能远程巡检系统, 本系统将一座集控站所辖变电站划分为一个或多个区域, 每个区域配置一套远程智能巡检系统, 统筹网络通道资源和所需智能分析算法等因素, 并利用机器人、无人机、监控摄像头和声纹监测装置等联合自动巡检技术, 对区域内变电站实现远程巡检和故障检测, 减少了人工巡检的工作量和作业安全风险, 同时提高巡检的覆盖面、实时性和准确性。区域型远程智能巡检系统在变电站的实际应用结果表明, 该系统具备良好的稳定性和可扩展性, 为变电站的运维管理带来了显著的益处。

关键词: 变电站; 巡检; 智能分析; 远程监测

中图分类号: TM76

Design and Application of Remote Intelligent Inspection System for Substation Area

HUANG Jianyang*, CHEN Shuo

(State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Hangzhou Yuhang district power supply company,
Zhejiang Hangzhou 311100, China)

Abstract: With the continuous expansion of the power system and the increasing number of substations, traditional manual substation inspections face more complex and cumbersome challenges. In order to improve inspection efficiency and on-site operation safety, the article designs and implements an intelligent remote inspection system for regional substations. This system divides the substation under the jurisdiction of a centralized control station into one or more areas. Each area is equipped with a remote intelligent inspection system. Coordinate factors such as network channel resources and required intelligent analysis and computing power. Utilize joint automatic inspection technologies such as robots, drones, surveillance cameras, and voiceprint monitoring devices to remotely inspect and detect faults in substations within the area. Significantly reduces the workload of manual inspections and operational safety risks. At the same time, it has improved the coverage, real-time performance, and accuracy of inspection. The practical application results of the regional remote intelligent inspection system in substations indicate that the system has good stability and scalability. It has brought significant benefits to the operation and maintenance management of substations.

Keywords: substation; patrol inspection; intelligent analysis; remote monitoring

0 引言

随着电力系统的快速发展和变电站数量的不断增加, 变电站的巡检和维护工作量越来越大。然而在传统的人工巡检中, 巡检人员耗费大量时间和精力, 逐个区域巡检所辖变电站。这种方式存在着低效率的问题, 无法满足日益增长的巡检需求。此外, 变电站通常存在着一定的安全风险, 如高温、高压环境或有限性的空间可能对巡检人员存在着潜在的危险。综上, 传统的人工巡检方式往往劳动强度

收稿日期: 2023-10-09

大、工作效率低、检测质量分散、管理成本高且存在较高的安全风险等明显不足^[1]; 因此, 寻求一种替代方案以提高巡检效率和降低安全风险变得尤为重要。

通过设计一套变电站辅助控制系统^[2], 机器人巡视代替人工巡视^[3], 实现变电站远程巡检, 提高巡检效率和降低安全风险。

本文旨利用先进的技术手段, 如机器人、无人机、监控摄像头和声纹监测装置等联合自动巡检技术, 设计出一套远程巡检系统, 对区域变电站实现远程巡检和实时监测。机器人或无人机搭载高清摄

像头和声纹监测装置，能够对变电站进行全方位的巡检和数据采集。监控摄像头和声纹监测装置实时传输区域变电站的信号到区域巡检主机，区域巡检主机负责下放控制、巡检任务等指令，并接收上送的巡检数据、采集文件等，同时调用智能分析主机对采集的数据进行智能分析，形成巡检结果和巡检报告，使运维人员能够实时监测变电站的运行情况。

1 系统组成和功能

区域型智能远程巡检系统是基于机器人、无人机技术、监控摄像头和声纹监测装置等联合自动巡检技术，实现所辖区域各个变电站设备情况实时巡检，在变电站布局了1000多个巡视点，并通过在变电站部署边缘巡视主机，融合视频监控、动力环境监测、机器人巡检、智能门禁等数据，实现全方位智能巡视及监控，具备监视并获取仪表数据、数据识别、红外测温、智能巡检、人员安全帽识别、缺陷识别、视频显示、报警等功能，实现主辅设备与巡视系统的联动功能。

1.1 系统组成

区域巡检系统由区域巡检主机、智能分析主机、摄像头、机器人、无人机等组成，系统构架如图1所示。

按照变电站端是否部署边缘节点分为边缘节点型和直接接入型2种接入方式，具备数据采集、自动巡检、智能分析、实时监视、智能联动等功能，可实现多个变电站的远程智能巡检。

1.2 系统功能

区域巡检主机。区域巡检主机具备多个变电站的摄像机、声纹监测装置等巡检设备及边缘节点的接入能力，同时具备巡检任务下放、任务管理、巡检数据采集与接收、巡检监控、调用智能分析主机进行智能分析、报告生成以及基础配置管理等功能。

智能分析主机。智能分析主机具备设备状态分析、设备缺陷分析、人员行为分析、系统安全分析等功能，支持从区域巡检主机获取待分析图像或音频文件进行分析。

边缘节点。边缘节点是实现所在变电站摄像头、无人机、机器人、声纹监测装置等巡检设备接入的

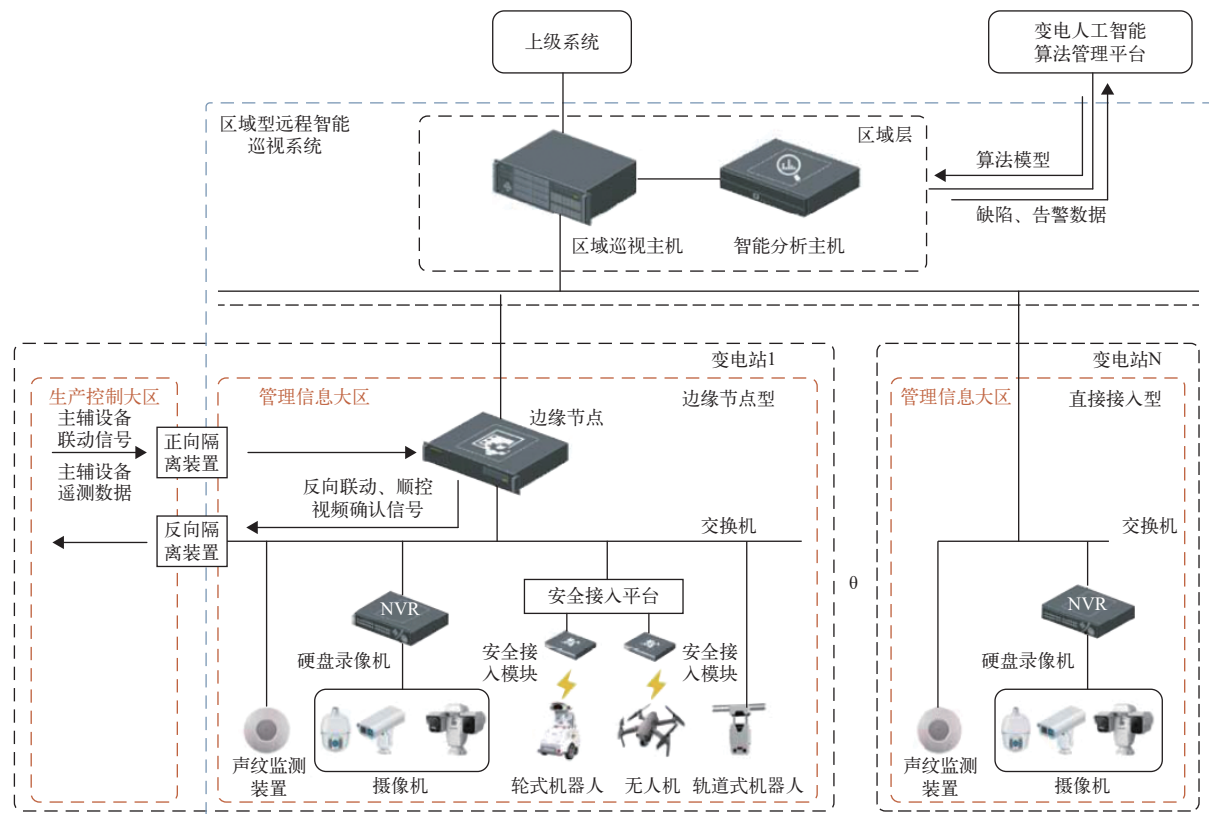


图1 区域巡检系统构架图

装置，能够接收区域巡检主机下发的模型和控制命令等，并负责调度对应的巡检设备，完成数据采集及上送；同时还具备静默监视图片筛选、智能联动以及巡检设备状态上送等功能。当变电站存在以下需求时应配置边缘节点：

变电站内主辅设备监控系统有智能联动或一键顺控视屏双确认需求时，应配置边缘节点实现与主辅设备监控系统的数据交互；

变电站与区域巡检主机网络断链时，有巡检任务不间断需求，应配置边缘节点实现巡检任务自主执行；

变电站有无人机、机器人、s级静默监视摄像头等巡检设备时，应配置边缘节点进行接入和管理。

高清视频。高清视频由硬盘录像机、高清摄像头、红外热像摄像机等组成，具备站内设备、环境、人员的实时监视、红外数据采集及录像存储和回放等功能。摄像机可采用有线和无线2种接入方式，其中无线摄像机应满足入网控制、访问授权与认证、审计、保密、禁用端口、网络攻击防御、安全漏洞等信息安全要求。高清视频在区域巡检系统的调度下，按照既定策略采集图像、温湿度等数据并上传。

机器人巡检系统。机器人巡检系统具备巡检模型的建立、巡检任务调度及控制、巡检数据采集及上送、系统设备管理及监视、环境数据采集与上送等功能。变电站用机器人主要分为轮式机器人和轨道式机器人2种类型，其中轮式机器人主要用于设备红外测温、表计识别、巡检点位补强、应急监视；轨道式机器人主要用于室内屏柜或高压开关柜等设备日常巡检。

无人机巡检系统。无人机巡检系统主要用于站内高空构筑物、设备等可见光巡检、红外测温等，可按照指定的预设航线执行巡检任务，完成数据采集并上送，同时具备飞行状态、任务进度等数据实时交互及无人机的存放管理、电能管理、机巢内环境管控等功能，其中系统软件可采用集中式部署或站端分布式部署。

2 系统运行机制

2.1 视频调阅

区域巡检主机向站端视频采集设备下发调阅指令，获取视频数据，对摄像机进行云镜控制前，查

询摄像机所在任务执行状态，限制调阅者对处于执行任务中摄像机的云镜控制功能，当任务结束后，被调阅摄像机恢复云镜控制功能，如图2所示。

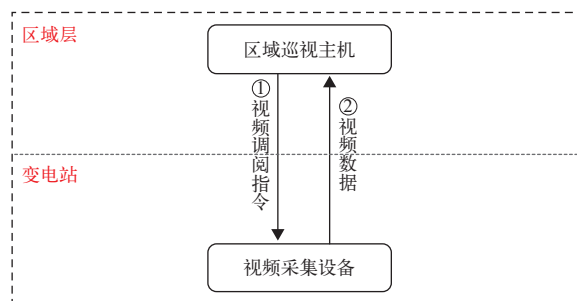


图2 视频调阅流程图

2.2 例行巡视

边缘节点型的巡视流程：区域巡视主机下发已编辑完成的巡视任务，边缘节点根据任务执行策略调度站内巡视设备，开展联合巡视作业，将巡视数据、采集文件等上送至区域巡视主机，区域巡视主机调用智能分析主机对巡视数据进行智能分析，生成巡视报告，流程如图3所示。

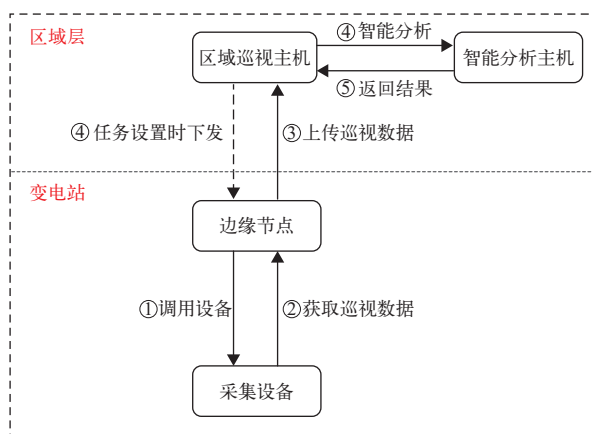


图3 边缘节点型例行巡视流程图

直接接入型的巡视流程：区域巡视主机制定任务策略，直接调度站内巡视设备开展联合巡视作业，并将巡视数据、采集文件等上送到区域巡视主机，区域巡视主机调用智能分析主机对巡视数据进行智能分析，生成巡视报告。流程如图4所示。

2.3 静默监视

边缘节点型：在站端边缘节点和巡视设备均未执行各种任务时，边缘节点接收摄像机执行静默监视所采集的图片，完成图片筛选，并将筛选后的图

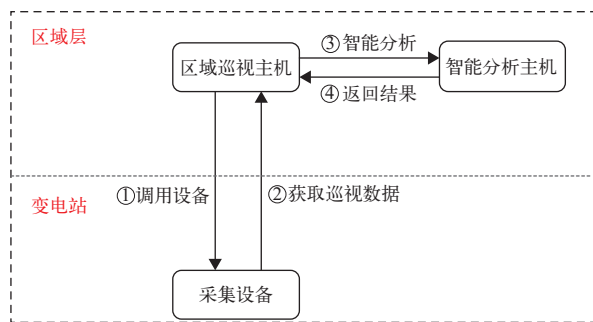


图4 直接接入型例行巡视流程图

片上传至区域巡视主机，区域巡视主机调用智能分析主机实现对图片的进一步智能分析，生成告警信息。流程如图5所示。

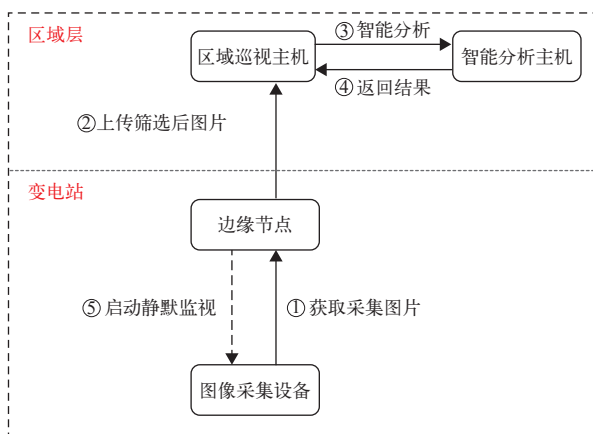


图5 边缘节点型静默监视运行流程图

直接接入型：在区域巡视主机和直接控制的巡视设备均未执行各种任务时，区域巡视主机直接控制变电站内视频设备采集图片，区域巡视主机调用智能分析主机将采集的图片进行智能分析，生成告警信息。流程如图6所示。

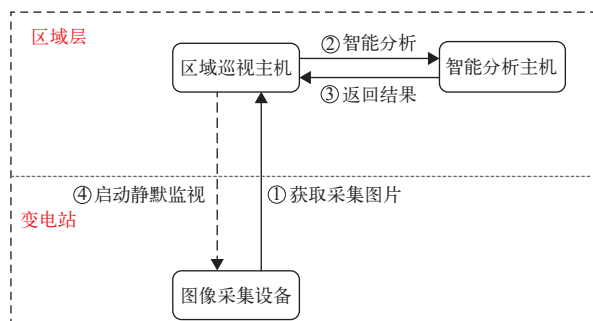


图6 直接接入型静默监视流程图

2.4 智能联动

主辅设备监控系统经由正向隔离装置发送联动

信号至边缘节点，边缘节点收到联动信号后转发至区域巡视主机并开始执行联动任务；区域巡视主机根据需求通过图像采集设备获取视频数据。流程如图7所示。

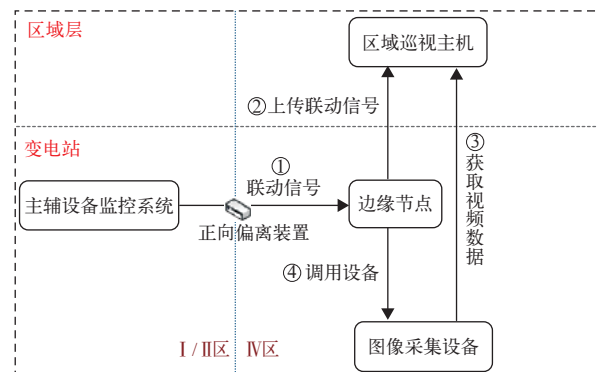


图7 边缘节点型智能联动流程图

2.5 一键顺控视频确认

一键顺控视频确认判据应与远程智能巡视系统复用，区域巡视系统中边缘节点通过正向隔离装置接收主辅设备监控系统发送的顺控操作联动信号，并转发至区域巡视主机，区域巡视主机和边缘节点收到联动信号后按需通过图像采集设备获取视频数据进行界面展示；边缘节点根据任务执行策略调用巡视设备完成图像数据采集并将图像数据立即上送至区域巡视主机，区域巡视主机调用智能分析主机完成图像分析并生成顺控确认反馈文件，并将文件送至边缘节点；主辅设备监控系统经反向隔离装置获取顺控确认反馈文件。流程如图8所示。

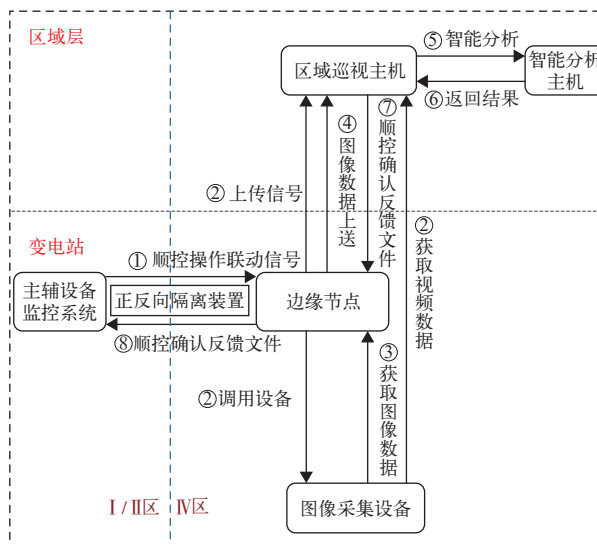


图8 一键顺控视频双确认流程图

3 远程智能巡检系统在变电站中的应用

浙江 220 kV 某变电站建设并应用远程智能巡检系统，远程智能巡视系统由 1 台巡检机器人、108 台高清视频设备、油色谱在线监测、振动监测、铁芯接地电流在线监测、SF₆ 压力在线监测、微气象等组成。巡检内容全面覆盖主变等大型充油设备及 GIS、主变低压侧无功等设备外观类巡视项目，通过远程智能巡视，实现数据采集、自动巡视、智能识别、异常分析、实时监控、智能联动等功能，辅助运检人员开展日常巡视工作，提升变电站设备监控及巡视质量，通过远程巡视和自动巡检，实现全站设备例行巡视由机器完成。

3.1 例行巡视应用

远程智能巡视系统主要具备例行巡视、特殊巡视及固定点巡视 3 大功能。例行巡视方面，每日对主变进行 1 次例行巡视，自动生成巡检报告，运维人员对巡检报告中异常数据进行核查，确认完毕后完成自动巡视任务。特殊巡视方面，具备巡视任务定制及临时启动功能，运维人员提前编制特殊巡视任务，针对突发异常情况，可在后台临时建立特巡任务、确定巡视周期并启动下发巡视任务，对异常设备进行高频次特殊巡视。固定点巡检方面，在远程智能巡视系统建立完整巡视点位，运维人员可快速定位相应设备，查看实时画面，确认设备状态。

远程智能巡视系统投运以来，根据巡视需要共编制全站开关位置巡视、开关油压抄录、瓦斯继电器巡视、套管油位抄录、主变油温表/油位表抄录等多项巡视任务。根据国家电网公司远程智能巡视替代大型充油设备例行巡视工作要求，及时调整了巡视任务，在原任务的基础上增加了主变例行巡视任务。

目前该变电站已实现“视频+机器人”对设备外观巡视全覆盖，主变区域覆盖全部人工例行巡视点位，替代率为 100%，并将油色谱、铁芯夹件、

主变振动等在线监测数据实时同步接入辅控系统，及时有效地发现设备内部异常缺陷。

同步建立“机器+人工”核查机制，由机器开展实时图像采集信息与历史数据比对分析，由人工定时开展渗漏油等巡视项目人工核查，进一步补齐系统短板。实用化运行期间，共计开展远程巡视任务 149 项，发现设备缺陷 2 项，如表 1 所示。

3.2 站端缺陷图像识别算法应用

远程智能巡视系统从 2022 年 10 月启动，至 2023 年 9 月期间的运行中，结合现场巡视业务情况，开展针对性巡视任务验证对比。经验证，油污（漏油）识别率/准确率为 76%/70%，设备工况识别率/准确率为 85%/80%；盖板破损或缺失、箱门闭合异常、绝缘子破损等 4 类识别率/准确率良好，均高于 84%；其余浓烟、表计、状态指示等识别 5 类识别率/准确率较高，均达到 90% 以上。

3.3 远程智能巡视系统可靠性

系统运行期间，摄像机录像完整率达 96.80%，平均在线时长 1854.95 h，累计离线 19 次，连续正常运行最高天数 78 天，累计自检正常 85 天，累计正常巡视天数 85 天，任务漏检率 5.84%，任务执行闭环率 91.54%，告警准确率 93.81%；机器人平均在线时长 1815.7 h，累计离线 21 次，连续正常运行最高天数 62 天，累计自检正常 82 天，累计正常巡视天数 84 天，任务漏检率 7.11%，任务执行闭环率 85.14%，告警准确率 90.32%，如表 2 所示。

3.4 巡视报告示例

远程智能巡视系统生成的巡视报告详细巡视记录了各个设备位置指示、信号灯指示、仪表示数、设备外观以及设备运行环境综合分析，展示异常点位汇总记录，再展示待人工确认点位汇总（经过审核的最终版巡视报告不包含此项），最后展示正常点位汇总。巡视报告示例分报头信息和数据信息，如表 3、表 4 所示。

综上，变电站远程智能巡视系统满足业务需求，

表1 任务执行情况

序号	任务名称	远程智能巡视系统结果	人工巡视结果	结果验证
1	20230511试运行例行巡视	2号主变110 kV母线闸刀气室SF ₆ 压力表超限	2号主变110 kV母线闸刀气室SF ₆ 压力值稍低于正常值0.50	一致
2	20230527试运行例行巡视	220 kV线路压变A相气室SF ₆ 压力表超限	220 kV线路压变A相气室SF ₆ 压力值稍低于正常值0.50	一致

表2 系统可靠性情况

可靠性指标	摄像机	机器人
平均在线时长/h	1 854.95	1 815.7
累计离线次数	19	21
连续正常运行天数	78	62
累计正常巡视天数	85	84
任务漏检率/%	5.84	7.11
告警准确率/%	93.81	90.32

表3 巡视报告报头信息

变电站	某220 kV变电站 (GIS)
巡视任务	室内外场地例行巡视
巡视日期	2023-09-08
环境信息	气温: 5 ℃; 气压: 101 kPa; 风速: 2 m/s
审核人	张某
审核时间	2023-09-09 10:24:42
巡视开始时间	2023-09-08 16:43:10
巡视结束时间	2023-09-08 17:54:42
巡视统计	总点位2 195个, 已检点位2 195个, 未检点位0个, 正常点位2 194个, 异常点位: 1个, 待人工确认点位143个 (经过审核的最终版巡视报告不包含此项统计)
巡视结论	1号主变呼吸器硅胶变色超过1/2, 注意定期观察

表4 巡视报告数据信息

区域	设备	点位	来源	巡视结果	状态
主变区域	1号主变本体	呼吸器外观	摄像机	呼吸器硅胶变色	异常
220 kV场地	1号主变220 kV侧A相避雷器	A相避雷器泄漏电流	摄像机	0.11 mA	正常
220 kV场地	220 kV母联开关	220 kV母联开关气室读数	机器人	0.64 MPa	正常

通过利用机器联合替代人工巡视, 极大地提高了设备巡视效率, 提升了运维工作质量, 强化了对变电设备的管控力。在全面巡视方面, 运维人员仅需完成现场开箱、小室开柜检查等巡视工作, 大大减轻巡视工作量; 例行巡视方面, 表计检查和抄录工作全部由机器替代; 应急巡视方面, 通过制定机器专项巡视策略, 派发应急巡视任务, 显著降低了主变

等设备的异常检查和人工巡视的风险, 保障运维人员人身安全。

通过对实际变电站的应用实验, 验证了该区域型智能远程巡检系统的可行性和有效性。结果显示, 该系统能够准确地识别出变电站的异常情况, 并及时向集控站发送警报。与传统的人工巡检相比, 系统显著缩短了巡检的时间, 提高了效率, 同时降低了人工巡检的风险。

4 结论

区域型远程智能巡视系统, 在传统变电站装上了监控视频, 能够将设备位置指示、信号灯指示、仪表示数、设备外观以及设备运行环境综合分析给出判断, 将同期同类型的设备数据进行横向对比, 形成设备报告, 并由运维人员进行远程分析研判, 科学高效定位设备隐患缺陷及其发展趋势, 做到及时发现、快速处置、精准管控。通过远程智能巡视系统, 可以分析9类设备状态, 识别17类设备缺陷、4类人员违章行为, 可对积水、烟火、小动物等3类环境问题实时报警, 智能巡视系统还可对站内巡视机器人远程下达巡视任务, 自动完成巡视任务, 生成巡视报告, 替代25项人工例行巡视项目, 大大提升设备巡检质效。

通过对实际变电站的应用实验, 验证了该区域型智能远程巡检系统的可行性和有效性。实验结果充分证明, 该系统具备出色的性能和功能, 能够准确地识别出变电站的异常情况, 并迅速向集控中心发送警报信息, 与传统的人工巡检相比, 该系统带来了显著的改进。

参考文献

- [1] 沈祥, 祝项英, 金乃正. 无人值班变电站远方监控系统的设计和应用[J]. 电力系统及其自动化, 2004, 28(2): 89-90.
- [2] 蔡海伟, 李冠强, 李杰, 等. 变电站辅控平台及工业视频改造的研究[J]. 农村电气化, 2009(6): 48-50.
- [3] 彭明法, 王洪俭, 陈刚, 等. 无人值班变电站远程智能辅助监控系统的应用[J]. 电气技术, 2016(3): 97-101.

作者简介

黄建阳(1990—), 男, 硕士, 工程师, 主要工作方向: 电网自动化运维。

(责任编辑: 袁航)

摄像机云台预置位偏移检测与自动校正方法

张俊康*, 戴熠晨, 王晓蓉, 许志坤, 王辉煌

(国网福建省电力有限公司泉州供电公司, 福建 泉州 362000)

摘要: 远方遥控、顺控操作通过变电站辅助监控系统实现操作对象的监视, 基于视频联动技术调取变电站现场视频图像画面, 作为操作结果视频判据确认。变电站使用的是白光云台摄像机, 普遍存在预置位偏移情况。为保证对遥控操作对象状态监视识别的精准度和实时性, 文章提出图像智能纠偏系统实现对图像偏移的自动检测和校正。经过现场应用, 能够实现摄像头预置位偏移的精确检测, 快速计算偏移量, 并根据偏移结果自动实现摄像头位置校正。

关键词: 摄像机云台; 预置位; 偏移检测; 校正

中图分类号: TM734

Deviation Detection and Automatic Correction Method for PTZ Camera Preset Position

ZHANG Junkang*, DAI Yichen, WANG Xiaorong, XU Zhikun, WANG Huihuang

(State Grid Fujian Electric Power Company Quanzhou Power Supply Company, Fujian Quanzhou 362000, China)

Abstract: Remote control and sequence control are achieved through the substation monitoring system to monitor the operation objects, and system utilizes video linkage technology to retrieve real-time video images from the substation, which serves as operational results for confirmation. The substation employs white light PTZ cameras, which commonly suffer from preset position deviation. In order to ensure the accuracy and real-time performance of monitoring and identifying the status of remote control operating objects, this paper proposes an image intelligent correction system to automatically detect and correct image deviations. Through field application, the system accurately detects preset position deviations, rapidly calculates the deviation amount, and automatically adjusts the camera position based on the deviation result.

Keywords: PTZ cameras; preset position; deviation detection; correction

在视频监控系统中为了快速准确地定位到目标点, 需要对云台摄像系统采取预置位定位的方法。预先将云台摄像机对准目标位置, 并将此位置设置为预置位。监控人员在须定位到此目标位置时, 只须要向云台控制系统发送定位到预置位的命令, 就可以快速定位到目标位置, 准确地找到目标。目前, 调度远方操作已经实现断路器、隔离开关、接地刀闸等电动设备变位自动联动弹出摄像机预置位的功能^[1]。

1 现状分析

影响摄像机云台预置位精度的因素主要包括电机质量、滑环性能及电路的控制^[2]。云台所带负载转动惯性大, 决定了云台驱动电机扭力要大, 驱动

收稿日期: 2023-10-18

电机的机械齿轮的间距及结构件的精度造成预置位精度有误差, 并且长时间调用预置位会使误差累积, 造成预置位完全偏移原来设置的位置。针对 AIS 隔离开关远方遥控操作、顺控“全景+三相”的视频判据要求, 如图 1 所示, 如远方无法判断操作后位置, 则须变电站运维人员现场确认或终止远方操作



图1 “全景+三相”的视频判据要求

改就地操作，因此对摄像机预置位准确度提出了更高的要求，它影响到远方倒闸操作的正确性、安全性和成功率。数量庞大的视频设备的运维工作都是完全靠人工检测来处理的。

现有检测目标图像和标准图像的位置偏移方法，通常是将2幅图像的整帧图像进行对比或叠加处理。2幅图像进行叠加处理，直接获取图像分界的位置；现有研究利用绘制的标尺样条线探测，从而获取目标图像的偏移位置，这种方法是利用线匹配，匹配精度低，检测的位置偏移量精度低。现有方法通过将2幅图像的整帧图像对比，进行块匹配或通过快速傅里叶变换求出其相位相关函数得到偏移量。这种方法的匹配几乎对每个像素点都进行处理或变换，计算量大，降低处理速度。

2 总体思路

本文涉及一种预置位图像智能偏移检测及校正方法，总体思路的流程如图2。

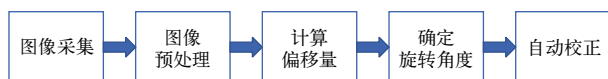


图2 图像智能偏移检测及校正方法总体思路

图像采集：采集变电站摄像头拍摄设备预置位图像作为标准图像，拍摄当前设备位置（不同于预置位）作为待检测图像。

图像预处理：对标准图像和待检测图像进行形态学变换处理，获取无文字信息的二值图像。

获取偏移量：从二值图像中提取标准图像和待检测图像特征点，并计算其特征向量并进行归一化处理。特征向量进行匹配，获取图像变换矩阵，根据图像变换矩阵获取待检测图像相较于标准图像在 x 和 y 方向的偏移量。

确定旋转角度：根据偏移量与旋转角度之间的关系曲线，确定摄像机当前旋转角度。

自动校正：对摄像头进行多次移动操作，以有效校正摄像头，保证其始终位于预设位置，以此实现预置位偏移检测和自动校正。

2.1 预置位偏移检测研究

采集设备预置位拍摄的标准图像和当前摄像头拍摄的待检测图像，对图像进行预处理，其主要步骤：对图像进行高斯滤波操作以去除噪声的影响；

获取图像的尺寸，若图像尺寸过大，则对图像进行下采样操作，以提高图像检测效率。

对预处理后的图像进行边缘检测，并进行高级形态学闭运算操作，去除图像上固有的文字信息，获取去除文字信息的二值图像。此处的固有文字信息一般是摄像头的设备信息，且同一摄像头的文字信息相同，若不去除该文字信息，则会对后面的图像特征匹配造成影响。利用有利于跟踪 (good feature to track) 的特征提取方法 (简称 GFTT 特征) 对二值图像进行分析，提取图像特征点，计算其特征向量并进行归一化处理。

将标准图像和待检测图像特征向量进行匹配，获取匹配点集合。采用 RANSAC 算法剔除错误匹配点，获取新的匹配点集合。根据新的匹配点集合之间的关系，计算待检测图像到标准图像间的单应性变换矩阵并进行变换，使得标准图像和目标图像处于同一坐标系下，正确计算出待检测图像上匹配点的坐标。根据匹配点坐标计算待检测图像相较于标准图像在 x 方向和 y 方向的平均偏移量和相机旋转角度。

整体预置位偏移检测方法流程图如图3所示。

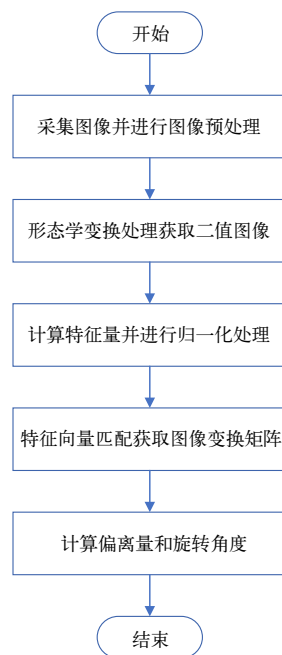


图3 预置位偏移检测方法流程图

2.2 预置位自动纠偏研究

摄像头根据偏移量和旋转角度对摄像头进行旋

转操作。为了避免首次偏移量和旋转角度计算错误,采取多次旋转,并重新计算偏移量和转交角度。以有效校正摄像头,保证其始终位于预设位置,以此实现预置位偏移检测和校正。自动纠偏方法流程如图4所示,具体执行如下。

根据偏移检测方法获取待检测图像首次旋转角度,执行首次校正旋转偏移角度的80%。旋转后重新获取摄像头拍摄的图像,记为新的待检测图像。利用偏移检测方法重新计算新的待检测图像与标准图像的偏移角度,若偏移角度小于旋转前的偏移角度,则旋转剩下的角度以实现摄像头预置位校正;若偏移角度大于旋转前的偏移角度,则说明第一次校正出错,则根据第二次计算结果再次校正摄像头,实现摄像头预置位校正。此处对摄像头进行多次移动操作目的是为了防止校正过程中出现检测错误现象,多次移动能够有效保证摄像头恢复到预设位置。

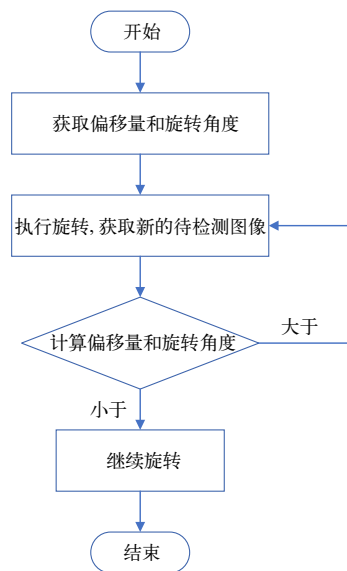


图4 自动纠偏方法流程图

3 应用情况分析

2019年起本方法成功应用于泉州地区辅助综合监控系统,形成图像智能纠偏功能模块,经过测试、试应用及功能改进,目前已广泛投入使用。实际应用情况表明,图像智能纠偏系统能够对隔离开关图像监控场景偏移进行快速、精确的自动检测和校正,软件界面直观友好,功能运行稳定可靠,运行日志如图5所示。

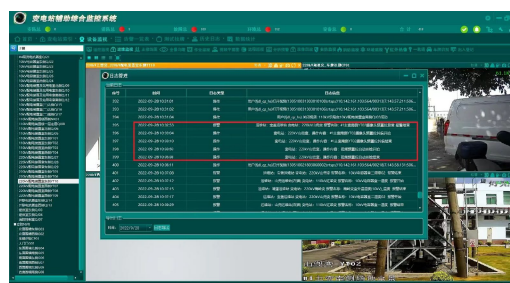


图5 图像智能纠偏功能模块应用

该系统具备摄像机设备参数设置、通道设置、图像实时采集、实时监控、预置位设定、预置位偏移检测、预置位纠偏等功能,偏移检测精度为2个像素,准确率大于95%;预置位纠偏精度为3~5个像素,校正后图像偏离小于2%,该系统的应用,避免了因视频监控系统隔离开关图像偏移导致调控远方操作被迫中断、等待现场对操作结果进行确认的问题,显著缩短调控远方操作结果确认等待时间和线路恢复供电时间。

4 结束语

本成果实现对调控远方操作结果的准确、可靠确认,保障了调控远方操作的安全性。避免了烦琐的视频辅助监控设备人工检测及调整维护作业,实现对调控远方操作结果的及时确认,实现自动检测和调整,有效提高远方倒闸操作的工作效率,节省大量人力资源,具有重要的实际应用价值。

参考文献

- [1] 王翰森. 图像识别在智能变电站一键顺控操作中的应用研究[D]. 安徽理工大学, 2019.
- [2] 陈飞凌, 徐庆, 姚狄等. 智能球型摄像机预置位精度研究[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(2): 460-467.

作者简介

张俊康(1977—),男,本科,高级工程师,工作方向:变电运维技术。

戴熠晨(1991—),男,研究生,工程师,工作方向:变电运维技术。

王晓蓉(1976—),女,本科,高级工程师,工作方向:变电工程设计。

许志坤(1992—),男,研究生,工程师,工作方向:变电运维技术。

王辉煌(1994—),男,研究生,助理工程师,工作方向:变电运维技术。

(责任编辑:耿立宏)

基于灰色理论的关口计量二次回路状态评价研究

廖涛*, 杨雷, 赵玉富, 彭小平, 王平, 李培军

(国网河南省电力公司营销服务中心, 河南 郑州 450051)

摘要: “双碳”目标提出以来, 新能源电厂数量快速攀升, 为解决关口计量二次回路数量剧增、现场检验任务繁重、时间间隔较长、中间状态无法动态掌握等问题, 基于主客观综合评价方法及层次分析法, 提出基于改进灰色预测方法, 对二次回路进行状态评价并预测其变化趋势, 发现计量二次回路故障, 并据此制定状态检修策略。借助实例数据对搭建的灰色模型进行检验, 结果表明基于灰色理论趋势预测方法正确可行, 为关口计量点的状态评估和健康度预测提供理论依据和实践指导。

关键词: 灰色理论; 综合赋值法; 二次回路; 趋势预测

中图分类号: TM93

Research on the State Evaluation of the Secondary Circuit of Gateway Measurement Based on the Gray Theory of Metabolism

LIAO Tao*, YANG Lei, Zhao Yufu, Peng Xiaoping, Wang Ping, Li Peijun

(Marketing Service Center of State Grid Henan Electric Power Company, Henan Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to solve the problems of the sharp increase in the number of secondary circuits of metering at the gate, the heavy on-site inspection tasks, the long time interval, and the inability to dynamically grasp the intermediate state, based on the subjective and objective comprehensive evaluation method and analytic hierarchy process, the state evaluation of the secondary circuit and the prediction trend of the secondary circuit were proposed, and the fault of the secondary circuit was found, and the state maintenance strategy was formulated accordingly. The results show that the trend prediction method based on the gray theory is correct and feasible, which provides a theoretical basis and guidance for the state assessment and health prediction of the gateway measurement points.

Keywords: grey theory; comprehensive assignment method; secondary circuit; trend forecasting

计量二次回路是关口计量装置的重要组成部分, 其误差超差将直接导致计量失准, 对发电企业或供电公司造成电量损失。目前计量二次回路仍采用周期校验的方式, 中间过程无有效监控措施。且近年光伏电站和风电场数量成倍增加, 其地理位置较为偏僻分散, 使得现场校验工作更为繁重。加之电力市场化交易对计量准确度的实时要求, 保持关口计量二次回路的健康显得尤为重要。因此, 须对其进行状态评价和预测以制定合理的检修策略。

文献 [1-3] 虽然对电能表或计量装置进行了综合状态评价, 但大部分仅针对电能表, 未对关口计量二次回路开展状态评价或仅采用主观评价法, 且未进行健康度趋势预测, 无法根据健康度预测结果制定合理检修策略。为此, 基于多期历史数据, 对计

收稿日期: 2023-10-30; 修回日期: 2023-11-16

量二次回路进行状态评价, 根据评价结果, 采用灰色理论对健康度进行合理预测, 根据预测结果制定检修策略。为验证健康度趋势预测的合理性, 分别采用主客观综合评价法和层次分析法进行状态评价, 基于状态评价结果, 进行灰色预测。

1 状态评价模型及量化方法

对影响关口计量二次回路的各因素分类分析, 包括现场压降误差、运行时间、回路长度、配置情况、在线压降误差。

1.1 现场压降误差

现场实测压降误差是计量二次回路状态最直接的反映。最近 2 次现场检验数据参考意义较大, 将实测压降误差量化处理。

$$S_1 = \min\left(\frac{|l_1| - |x_{11}|}{|l_1|}, 0.5\right) + \min\left(\frac{|l_1| - |x_{12}|}{|l_1|}, 0.5\right)。 \quad (1)$$

式中： $|l_1|$ 为误差上限； x_{11} 、 x_{12} 为近 2 次现场检测误差数据； $S_1 \geq 0$ 。

1.2 运行时间

计量二次回路的状态与其运行时间密切相关。运行时间过长容易出现线路老化，接口松动，中间转接处或接口处氧化，导致接触电阻增加，从而导致回路压降异常。

$$S_2 = \begin{cases} 1, & t_2 < 1 \\ 1 - 0.08t_2, & 1 \leq t_2 \leq 5 \\ 1 - 0.1(t_2 - 5) - 0.4, & t_2 > 5 \end{cases}。 \quad (2)$$

式中： t_2 为运行时间； $S_2 \geq 0$ 。

1.3 导线长度量化

回路长度对压降误差有直接和间接影响，同等条件下，回路越长，回路上的压降越大。

$$S_3 = \begin{cases} 100 - 0.20l_3, & l_3 \leq 200 \\ 60 - 0.25(l_3 - 200), & l_3 > 200 \end{cases}。 \quad (3)$$

式中： l_3 为导线长度； $S_3 \geq 0$ 。

1.4 二次回路基本配置量化

选定影响最大的 3 个因素，导线截面积 x_4 、中间接头数 y_4 和开关类型 z_4 。

$$S_4 = a^{\sqrt{x_4}} \times b^{\sqrt{y_4}} \times c^{\sqrt{z_4}}, \quad (4)$$

$$x_4 = \begin{cases} 0, & \text{截面积为 } 4 \text{ mm}^2 \text{ 及以上} \\ 1, & \text{截面积为 } 2.5 \text{ mm}^2 \end{cases}$$

$$z_4 = \begin{cases} 0, & \text{开关为空开} \\ 1, & \text{开关为螺旋保险} \end{cases}。$$

式中： a 、 b 、 c 为 0.8、0.95 和 0.85。

1.5 二次回路在线压降误差量化

二次回路在线压降误差可依据国网河南电力公司安装的远程校验装置误差数据获取，设其为 x_5 。

$$S_5 = \frac{\min\left(\frac{|l_5| - |x_5|}{|l_5|}, 0.5\right)}{0.5}。 \quad (5)$$

式中： l_5 为误差限值。

1.6 状态量归一化处理

对各分项状态量归一化及量化处理，将最终评价价值统一转换到 0~100 的标准值。

1.7 状态评价模型

根据 1.1~1.6 的分析，构建二次回路总体状态

评价模型：

$$L = W_1S_1 + W_2S_2 + W_3S_3 + W_4S_4 + W_5S_5。 \quad (6)$$

式中： W_i 为分项权重， $\sum_{i=1}^5 W_i = 1$ 。

2 状态评价方法

2.1 主客观评价法

主客观评价法综合序关系方法和熵权法^[4]，权重值既包含行业内权威专家的意见，也综合了客观历史数据中隐藏的规律，评价结果可信度更高。

2.1.1 序关系法

序关系方法中，采用权威专家对各指标权重进行重要程度对比，通过两两对比，得到序关系序列表，进而求得专家评定的权重值，主要流程如下。

(1) 各指标两两对比

权威专家对各指标两两对比分析，根据重要程度可得序关系序列：

$$\alpha_1^* > \alpha_2^* > \alpha_3^* > \dots > \alpha_n^*。$$

令 $\alpha_{k-1}^*/\alpha_k^* = r_k$ ， $(k = n, n-1, n-2, \dots, 3, 2)$ 。

r_k 值根据重要程度对比，可取值为 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8。其中：数值 1.8 表示权重 α_{k-1}^* 比 α_k^* 极端重要。

(2) α_k^* 的计算

上步中 $\alpha_{k-1}^* > \alpha_k^*$ 表示 α_{k-1}^* 的重要性不小于 α_k^* 。令 $r_1 = 1$ ，进一步计算可得权重值：

$$r_i = \alpha_{k-1}^*/\alpha_k^* \quad k = 2, 3, \dots, 5, \quad (7)$$

$$\begin{cases} \alpha_5^* = \left(1 + \sum_{k=2}^5 \prod_{i=k}^5 r_i\right)^{-1} \\ \alpha_{k-1}^* = r_i \alpha_k^* \quad k = 2, 3, \dots, 5. \end{cases} \quad (8)$$

2.1.2 熵权法

通过对历史数据分析，从历史数据中提取特征量，特征量中包含数据本身的内在规律，客观性强。其主要流程如下。

(1) 原始数据处理

根据参与计算的原始历史数值可建立矩阵 $X = \{x_{ij}\}$ ，将其标准化处理后得到 $Y = \{y_{ij}\}$ ，具体计算如下：

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)}。 \quad (9)$$

式中： x_{ij} 、 y_{ij} 分别为矩阵 X 和 Y 的第 i 行第 j 列元素； X_j 为矩阵第 j 列的各元素。

(2) 根据公式求取信息熵

$$E_j = -(\ln(n))^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (10)$$

式中： E_j 为信息熵； p_{ij} 为指标比重，且有 $p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^n y_{ij}$ 。

(3) 求取权重

$$\varepsilon_i = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

式中： n 为指标个数。

2.1.3 主客观分析结合

权威专家主观评价的序关系法与以数据自身特点和内在逻辑关系为基础的熵权法相结合，形成互补，得到最终权重值。

最终权重值 W_i 计算如下：

$$W_i = \frac{\varepsilon_i \alpha_j^*}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \alpha_j^*}, \quad (i = j) \quad (12)$$

式中： α_j^* 、 ε_i 分别为序关系和熵权法求解的权重值。

2.2 层次分析法

层次分析法可将无法定量分析的各权重指标，通过对各影响因素的重要性比对，建立定量关系，使各因素对目标的影响明确化、清晰化。其主要流程如下。

2.2.1 构造判定矩阵并进行一致性判定

根据各因素间的重要程度关系，构造目标矩阵 A 。并对 A 进行一致性判定。判定公式如下：

$$C_R = \frac{C_I}{R_I}, \text{ 且 } C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (13)$$

式中： λ_{\max} 为判定矩阵的最大特征值； R_I 与判定矩阵大小 n 有关，其值可以通过查询获得，如表 1 所示。若 $C_R < 0.1$ 可认为判定是合理的。

表1 层次分析法一致性要求

n	1	2	3	4	5	6	7	8
R_I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

2.2.2 求取权重值

矩阵 A 不一定是一致矩阵，当满足 $C_R < 0.1$ 时，说明其一致性在合理范围内。此时无法直接求取最大特征值，可采用等效方法求取，具体如下：

$$W = \bar{w}_i / \sum_{j=1}^n \bar{w}_j \quad (14)$$

设矩阵 $A(m \times n) = \{a_{ij}\}$ ，则有 $\bar{w}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}$ 。

对 W 进行标准化后，即可求得权重向量。

3 基于灰色理论的计量二次回路健康度预测

计量二次回路的状态评价结果可用来制定其检修策略，将周期校验模式有依据地、科学地向问题导向校验模式转变，提出一种基于灰色 GM(1,1) 模型的二次回路健康度趋势预测方法^[5]。

以近期按月获取的数据为例，假定通过近期动态数据进行状态评价得到 N 个状态评价值，基于此即可进行 GM(1, 1) 灰色预测。将此 N 个值用 $h^{(0)}(n), n = 1, \dots, N$ 表示。并将相邻数值累加后得到新的数值记为：

$$h^{(1)}(n) = \sum_{i=1}^n h^{(0)}(i), \quad n = 1, \dots, N \quad (15)$$

可构造 GM(1, 1) 方程如下：

$$x^{(0)}(n) + az^{(1)}(n) = b。$$

式中： $z^{(1)}(n)$ 为在 $h^{(1)}(n)$ 基础上利用相邻数据生成的数值。其计算公式如下：

$$z^{(1)}(n) = 0.5h^{(1)}(n) + 0.5h^{(1)}(n-1)。$$

根据采用历史数据求得的 N 个健康度值，可求取 GM(1, 1) 中的发展系数 a 和灰色作用量 b ，一般采用最小二乘法进行计算。假设：

$$y = [h^{(0)}(2), h^{(0)}(3), \dots, h^{(0)}(N)] \quad (16)$$

$$B = \left[\begin{matrix} -z^{(1)}(2) & \dots & -z^{(1)}(N) \end{matrix} \right]^T 1_N \quad (17)$$

式中： 1_N 为 N 个数值为 1 的向量。由此可以计算出 GM(1, 1) 中的 a 、 b 2 个参数，计算方法如下：

$$Y = Bu \quad (18)$$

$$\hat{u} = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (19)$$

将 GM(1, 1) 转化为微分形式，可得：

$$\frac{dh^{(1)}(n)}{dt} + ah^{(1)}(t) = b \quad (20)$$

求解可得：

$$h^{(1)}(t) = \left(h^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-a(t-1)} + \frac{b}{a} \quad (21)$$

根据求得的解，进一步计算累加数列为：

$$\hat{h}^{(1)}(n+1) = \left(h^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-an} + \frac{b}{a} \quad (22)$$

式中： $n \geq 0$ ； $h^{(0)}(1)$ 为采用主客观赋值法或层次分析法得到的状态评价。由前面采用最小二乘法计算得到的 a 、 b 代入上式后可得累加数列的预测值。进而可计算出根据历史数据代入得到的预测值。计算公式如下：

$$\hat{h}^{(0)}(n+1) = \hat{h}^{(1)}(n+1) - \hat{h}^{(1)}(n), \quad n \geq 1$$

可设定预测数，根据多组预测值，判断计量二次回路的健康度走势，进而制定对应检修策略。

将 $h^{(0)}(x+1)$ 加入预测参数组，去掉 $h^{(0)}(1)$ 。由此可建立新的新陈代谢GM(1, 1)模型。改进模型如下所示：

$$H^{(0)} = (h^{(0)}(2), \dots, h^{(0)}(n), h^{(0)}(n+1)) \quad (23)$$

4 河南电网工程应用实例

为验证改进灰色理论预测的准确性，选取河南某市35条关口计量二次回路为研究对象。收集每条回路的基本参数、配置、历史现场检测情况，并提取全时在线监测系统中二次回路相关状态参数。选取2022年6月到2023年6月各关口计量二次回路的数据。首先从现场压降误差、运行时间、回路长度、配置情况、在线压降误差等几个方面对数据进行标准化、归一化处理，代入公式(1)~(5)求得指标项具体值，然后采用2种方法分别进行状态评价及灰色预测，后续现场校验中发现该市35条线路中，实际有3条线路误差偏高。

4.1 主客观评价法及预测结果

首先采用序关系分析法，采用公式(6)~(8)对已归一化处理的标准数据进行评价。建立信息熵矩阵，并将数据代入公式(9)~(12)得到主客观评价结果的权重值。将35组数据，每组通过2022年6月至2023年6月得到的状态评价分别作为灰色预测的输入参数，代入公式(15)~(23)进行预测，得到预测结果如表2所示。

4.2 层次分析法及预测结果

同样地，利用已有历史数据和监测值，通过层

表2 基于主客观评价预测结果

回路数	预测值较低回路数	实际误差偏高数
35	4	3

次分析法进行状态评价，代入公式(13)~(14)得到历史状态价值后，将其作为输入变量得到最新预测值。其结果如表3所示。

表3 基于层次分析法预测结果

回路数	预测值较低数	误差偏高数
35	4	3

根据预测结果，进行检修策略调整，如图1所示。

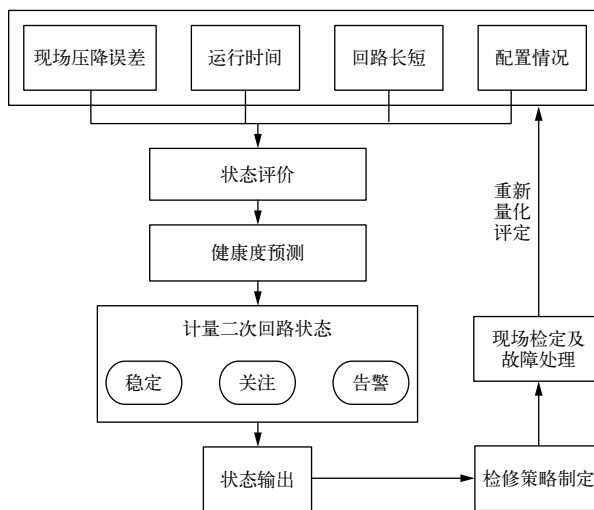


图1 健康度评价及检修策略流程图

4.3 综合分析

基于主客观综合法和层次分析法评价结果进行的健康度预测结果基本一致。因为本身综合评价结果的变化趋势是一致的，只是2种评价结果的侧重点虽各有不同，但基础数据是一致的，数据的变化趋势一致，因此预测结果相似。

从表2和表3中可知，2种状态评价结果的健康度评价的预警值设定不一致。这说明，一方面2种方法在数值上是存在差异的，但通过调整警戒值，其结果相符。其次，预警值的设置可以动态微调，以满足对异常回路的筛选要求。

警戒异常的回路线数与实际误差偏高数不完全一致。为了防止漏判异常回路，需将预警值适当设

置偏高。误差偏高数不是一开始就知道的，需要根据预测结果，进一步筛选，进而制定现场检测计划，根据现场检验计划确定该回路是否压降偏高或超差。

2种状态评价得到的灰色预测结果一致，且与计量回路的实际情况基本相符。验证了本文提出的将改进灰色理论应用到计量二次回路健康度预测的合理性。

5 结束语

“双碳”背景下，关口计量点数量成倍增长，二次计量回路也随之增加，为应对现场工作量数倍增长及电力市场化交易对计量装置误差高稳定性的新要求，本文提出采用主客观评价法和层次分析法进行状态评价，并根据评价结果进行改进新陈代新GM(1, 1)预测的方法。根据预测结果值，可灵活调整二次计量回路现场检验策略。采用河南某市35条关口计量二次回路数据进行预测分析，预测结果与实际相符，证明改进GM(1, 1)方法可根据历史参数获得的状态评价值，准确预测其变化趋势。同时，预警值的设置需要积累一定的经验，后期将开展全省范围内计量二次回路状态评价及健康度趋势预测，通过不断地积累经验，模型将更准确合理。

(上接第40页)

预警732台次，其中，通过启动紧急电价策略遥控充电桩开关断开720次，充电桩终端控制低压母联开关关合、配变并列12次。配变轻载预警255次，其中通过托管电价策略遥控充电桩开关关合240次，充电桩终端通过控制出线开关和母联开关集中负荷15次，动作正确率100%。全量充电桩配电变压器负载率全部运行于20%~70%的合理区间，有效保障了配变的安全和经济运行。

4 结束语

本文研制了一种新型电动汽车充换电桩负荷互动式控制系统及其应用方法，该系统站在客户和电网企业双赢的角度，动态调整优化充电桩充放电行为。该系统不额外购买其余设备，而是整合现有智能融合终端、供电服务指挥系统等现有资源，避免

参考文献

- [1] 汪世平, 邹志杨, 陈洪涛, 等. 基于变异系数法和K-means的电能表状态评价方法[J]. 山东电力技术, 2022, 49(3): 29-35.
- [2] 陈盛. 基于大数据分析的电能计量装置状态评价研究[D]. 浙江大学, 2020.
- [3] 卢健豪, 聂一雄, 温盛科, 等. 基于层次分析法的电能计量装置运行状态评价方法[J]. 电测与仪表, 2017, 54(14): 81-86.
- [4] 刘洋恺, 孙伟卿, 刘唯. 基于AHP和TOPSIS-模糊综合评价的多场景储能选型方法[J/OL]. 储能科学与技术: 1-12[2023-10-30].
- [5] 王传真, 吕锦涛, 刘海增, 等. 基于新陈代谢算法优化的GM(1, N)动态网络灰分拟合研究[J/OL]. 煤炭学报: 1-11[2023-10-30].

作者简介

廖涛(1988—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 技师, 一级注册计量师, 河南省电机工程学会电测专委会委员, 长期从事电力营销服务、电能计量检测技术、新能源、储能等研究。

杨雷(1979—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事电力营销及电能计量技术等相关研究。

赵玉富(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事互感器现场校验及电能计量检测技术相关研究。

彭小平(1976—), 女, 本科, 高级工程师, 从事电力系统安全及电能计量相关研究。

王平(1989—), 男, 本科, 工程师, 从事电能计量及供电服务研究。

李培军(1980—), 男, 本科, 高级工程师, 从事电能计量及电力系统保护研究。

(责任编辑: 耿立宏)

额外投资。指导客户选取最优充电策略, 提高了电动汽车车主参与充电负荷响应的积极性, 且达到配变安全经济运行控制的目标, 降低了客户的充电成本。

参考文献

- [1] 郭栋, 李娇娇, 郑春燕, 等. 电动汽车应急充电设施布局规划方法[J/OL]. 电力系统自动化: 1-15[2023-08-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20230614.1850.004.html>.
- [2] 张艳娟. 电动汽车充电负荷预测及有序充电控制策略研究[J]. 电工技术, 2023(2): 14-16, 20.
- [3] 张铭. 电动汽车动态无线充电系统设计及充电控制策略研究[D]. 东南大学, 2021.

作者简介

李贞阳(1997—), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事电力营销工作。

(责任编辑: 袁航)

降低灯杆电阻不合格率

李 铁

(北京市城市照明管理中心, 北京 丰台 100078)

摘要: 随着城市道路发展, 路灯杆运行多年后, 逐渐老龄化, 但尚未达到更换年限, 已无法满足新标准下的路灯正常运行模式。为了降低路灯杆接地电阻值, 采用传统降阻值方式下, 耗费时间、物料、人力。借鉴移动设备接地电阻的临时接地方式, 采用一种新的接地组合方式降低灯杆接地电阻, 安装便捷, 此方式无须办理掘路手续。

关键词: 降阻方法; 接地组合; 安装便捷

中图分类号: TU391

Reduce the Lamp Pole Resistance Unqualified Rate

LI Tie

(Beijing city lighting management center, Beijing Fengtai 100078, China)

Abstract: With the development of urban roads, street lamp poles are aging after many years of operation, and have not reached the replacement period. Under the old standard, the normal operation mode of street lamps under the new standard can no longer be met. In order to reduce the grounding resistance of street lamp poles, it is time-consuming, material-consuming and manpower-consuming to adopt the traditional resistance reduction method. Based on the temporary grounding method of mobile equipment grounding resistance, a new grounding combination method is adopted to reduce the grounding resistance of light poles, which is convenient to install. This method does not need to go through the road excavation procedures.

Keywords: resistance reduction method; grounding combination; convenient installation

1 背景

路灯杆及法兰盘在户外道路运行, 受日晒雨淋、土壤环境等因素的影响, 电阻值逐年升高, 极易造成灯杆带电产生安全隐患。随着 2020 年《城市照明设施运维规程》的出台, 电阻达标值的要求由原来的 10 Ω 以下调整为 4 Ω 以下。因此降低灯杆电阻值以提高安全质量适应新的运维标准就显得尤为重要。

为确保路灯正常运行, 每年对北京市五环内所辖 250 000 余基灯杆按所在区划抽样检查, 样本率为 10%, 即 25 000 基灯杆。小组成员结合 2017—2020 年专项成果资料抽检结果, 如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 2017—2019 年, 灯杆电阻不合格有 300 余基, 阻值平缓增长。2020 年“标准”发生变化, 电阻不合格量上升至 2 475 基, 激增了近 2 000 余基, 不能适应新标准要求。因此本小组决定将“降低灯杆电阻不合格率”作为小组的活动课题。

收稿日期: 2023-03-21; 修回日期: 2023-10-20

表1 2017—2020年北京市五环内灯杆电阻不合格统计表

基

区域	2017年	2018年	2019年	2020年
A区	23	17	21	225
B区	46	62	48	378
C区	65	78	72	485
D区	33	38	49	284
E区	78	65	35	452
F区	85	105	85	651
合计	330	365	310	2 475

2 现状调查

小组成员采用分层整理的方法, 首先通过阻值分组掌握问题的严重程度, 其次进行外部环境、阻值在线路中位置, 找出导致阻值升高的症结所在, 再次选取适合的降阻方法。

2.1 现状调查一

小组采用分层整理分析的方法，将2020年不合格阻值分成2组，第1组是阻值在10Ω及以上，即原标准下不合格电阻；第2组是4~10Ω，即新修正标准下新增不合格电阻，如表2所示。

表2 2020年灯杆不合格电阻值分布区域 基

区域	10 Ω及以上	4~10 Ω	合计
A区	28	197	225
B区	22	356	378
C区	115	370	485
D区	48	236	284
E区	37	415	452
F区	42	609	651
合计	292	2 183	2 475

根据阻值分组可知，10Ω及以上为292基，与以往年度基本持平。4~10Ω为2 183基，为新增不合格量。

结论：新标准化后，主要集中在新增阻值，占88.2%。

2.2 现状调查二

根据调查一中结论，对新增不合格量的地处环境调查，如表3所示。

表3 2020年新增量电阻不合格灯杆所处环境分布 基

区域	柏油路面	步道方砖	园林绿地	合计
A区	9	110	78	197
B区	23	296	37	356
C区	32	257	81	370
D区	29	111	96	236
E区	12	358	45	415
F区	28	513	68	609
合计	133	1 645	405	2 183
占比/%	6.09	75.36	18.55	100

此外，小组实地调查路灯灯杆在步道上时，发现不合格灯杆附近多有存在杂石、废弃物堆积等问题，致使灯杆表面出现氧化、锈蚀现象。

结论：电阻不合格灯杆与所处位置有较大关系，位置在步道方砖占比为75.36%，其次是园林绿地，占比18.55%。再次是柏油路面，占比6.09%。

2.3 现状调查三

小组从上述B区中随机抽取1组路灯在步道样本，实地测量其所带灯杆的阻值。如：南二环辅路一台变压器所带负荷为例，如表4所示。

表4 一台变压器所带负荷灯杆实测阻值

距离电源远近 (以电源所在 处为零点 数值越大越远)	杆号	阻值		
		4 Ω 以下	4~10 Ω	10 Ω及以上
14	T40239	0.5		
13	T40238	1.6		
12	T40237	1.5		
11	T40236		4.5	
10	T40235	1.7		
9	T40234	2.5		
8	T40233	1.6		
7	T40232	1.8		
6	T40231	2.6		
5	T40230	1.4		
4	T40229	1.5		
3	T40228	2.2		
2	T40227	0.8		
1	T40226	0.7		
0 (电源位置)	T40225	0.8		
0	T40224	0.9		
1	T40223		5.8	
2	T40222		6.2	
3	T40221	3.2		
4	T40220	2.5		
5	T40219	2.2		
6	T40218	2.2		
7	T40217	1.5		
8	T40216	0.8		

结论：由表 4 可知，位于供电电源首、末端灯杆电阻较低，为 $4\ \Omega$ 以下，造成电阻变大主要集中在线路中。

新增 $4\sim 10\ \Omega$ 的电阻常采用增设地线钎子的方式； $10\ \Omega$ 以上的电阻采用增设地线钎子为主，重敷杆与地网的连接网方式为辅；对于不具备以上 2 种方式且须要掘路、挖坑的特殊道路，造价较高。

综上现状调查情况，新标准发生变化后， $4\sim 10\ \Omega$ 的灯杆在杂物堆积的步道中，占比为 75.36%，是症结所在。

3 设定目标

3.1 目标值确定依据

通过上述对问题症结的分析和对路灯现状的实地考察，根据 2017—2019 年正常增长比的均值为 1.34%，2020 年电阻新标准发生变化后，增长量百分比激增至 9.90%，整体阻值不合格率提高了 8.56 个百分点。

通过现状调查末端因素点，逆向逐级推出占比 8%^[1-2]，如果将新增量降低至往年增长水平，总阻值电阻不合格率须降至 1.5%。

3.2 确定目标值

小组考虑到实际操作过程中，还可能会出现不可抗力因素等，将总阻值目标设定为：降低灯杆电阻值不合格率至 1.5%。

4 原因分析

首先，针对新标准下判定为不合格的电阻值域，即处于 $4\sim 10\ \Omega$ 区间的 2 183 基灯杆的大症结，小组成员从人、机、料、法、环 5 个方面进行剖析，并完成多次头脑风暴，根据分析，可以得出新增电阻不合格量大的 7 条末端因素以及验证内容，如表 5 所示。

综上分析，小组分析出 8 条末端因素，将每条一一确认。

5 确认要因

5.1 要因确认一：施工人员培训不到位

根据规定，一般施工人员应满足配电专业知识和安全资质，企业每年末对特种焊工作业人员进行理论和实操培训并予以考核，合格分数为 80 分。

表5 因素分解表

序号	主要因素	原因归类	验证方法
1	施工人员培训不到位	人力因素	实地调查分析：检查当年培训记录，检查是否具备安监局特种作业技能
2	外力施工破坏	人为因素	实地调查分析：2020年发生的外力破坏事件
3	施工人员未将材料分类摆放	人为因素	实地调查分析：检查库房存放材料及保护措施
4	施工人员未按工艺标准施工	人为因素	实地调查分析：地线网焊接长度
5	阻值激增量大	质量标准规范	根据质量标准变化，分析阻值激增原因
6	焊接发电机电流不稳定	机器因素	实际分析：根据发电机设备，分析机器运行时，输出的电流稳定状态
7	设计灯杆在步道方砖中	环境因素（不可抗力）	原因分析：按设计标准，根据现场情况，设计灯杆位置
8	行人乱堆积杂物	人为因素	实地调查分析：通过实地走访小区、胡同、主干道等，查看是否存在杂物

小组成员抽检了施工方焊工特种作业证的有效期，均属于合格。

在焊接标准方面，我中心严格遵守《城市照明设计与施工》的规定，施工前派专人到现场讲解焊接标准，并定量检验现场焊接质量，最终进行质量验收，合格后投运。

结论：判定属非要因。

5.2 要因确认二：外力施工破坏

小组成员抽查了各运维巡修片区人员巡视记录，样本量为 544 条道路，发现外力破坏 2 处。

结论：通过调查，外力施工破坏对破坏路段影响很大，但是发生概率低，判定属非要因。

5.3 要因确认三：施工人员未将材料分类摆放

小组走访各运维片区单位仓库实地调查，查看镀锌圆钢存放情况。只有 1 家运维单位的镀锌圆钢与其他安全工器具混装存放，屋内有反潮现象，镀锌圆钢和帆布存在水滴现象。分析：（1）由于存储不当，造成镀锌圆钢氧化；（2）圆钢本身存在质量不良；（3）与其他材料运输过程中混装，造成锌皮脱落。

结论：在干燥、通风的库房内用帆布包裹保护，

并且在使用前进行防腐处理，可确保正常运用。判定为非要因。

5.4 要因确认四：施工人员未按工艺标准施工

按照施工标准^[3-4]，灯杆与法兰盘单面焊接长度达到 120 mm 为合格，在实际施工过程中，具体数值会存在偏差，尤其是使用寿命 10 年以上的老旧灯杆，易存在焊接长度不够、未做防腐处理的问题，致使法兰盘地网开焊、断裂。

结论：通过调查可知，焊接长度与电阻阻值无相关性，小组讨论判定属于非要因。

5.5 要因确认五：阻值激增量

根据 2020 版《城市照明设施运维规程》第六章第 2 节 4 条规定，铁杆连接接地网后接地电阻不应大于 4 Ω。采用 TT 系统接地保护，未采用 PE 线连接成网的灯杆，其独立接地电阻不应大于 4 Ω。新标准致使阻值在 4~10 Ω 之间的灯杆转变为不合格电阻，导致降阻量增加，激增量明显。

结论：小组判定属于要因。

5.6 要因确认六：焊接发电机电流不稳定

现场焊接过程中，因发电机输出电流不稳，启动电流大，输出电压增大。刚开始焊接时，出现气泡、虚焊、多锡等现象。

结论：经过讨论，地网与法兰盘焊接完毕后，应重新找平加固补焊，焊接长度达到标准值，可避免出现以上现象，判定为非要因。

5.7 要因确认七：设计灯杆在步道方砖中

小组前往设计部门得知，路灯杆杆位按照《道路照明施工手册》标准定位，同时结合现场勘察，确定灯杆位置。在施工过程中，根据地下管线复杂程度，部分灯杆重新定位，所以灯杆位置要根据实际路况定位。即使发生单基灯杆移位到绿地或板油路面，其他路灯杆还是安装在步道方砖中。

虽是要因，但小组没能力解决关于设计相关的难题，为不可抗力因素。

5.8 要因确认八：行人乱堆积杂物

小组通过实地检查小区、胡同、主干、次干道路等，发现整条路只有 1~3 基灯杆旁有少量堆积现象，并告知巡修人员后，次日将杂物处理。所以小组判定属于非要因。

综上所述，小组确定 1 条要因，即：“阻值不合格激增量”。

6 制定对策

根据要因确认结果，小组通过改进路灯杆现有接地方式及补救措施，制定了对策表，如表 6 所示。

表6 对策表

要因	对策	目标	措施	地点
阻值不合格激增量	采用临时接地线和保护接地线配合使用，降低灯杆电阻	将电阻值降到 4 Ω 以下	量取井内地线网与灯杆内接零螺丝距离；量取井中心深水坑与井内地网距离	方庄路
			使用 16 mm ² 多股铜线；两端压接 16 mm ² 接线端子	库房材料班
			寻购增加与井内地线网的连接并勾线夹	成寿寺路五金市场
			按照临时接地体埋深要求，将地线钎子截成 600 mm，顶端焊接连接空板	机械修理车间
			现场组装、并遥测各项数据	红坊路

7 对策实施

7.1 量取尺寸

小组成员到方庄路量取尺寸。井内地线网与灯杆内接零螺丝距离断面图约为 750 mm；井中心渗水坑与井内地网距离约为 400 mm。

7.2 制作完整压接线

根据首末端选用多股铜线 16 mm² 作为保护接地线。依据尺寸，制作连接线。

7.3 获取并勾卡子

小组成员到五金市场购得并勾卡子。

7.4 制作地线钎子

小组将 1.8 m 长地线钎子截断成 600 mm 长的地线钎子，顶端焊接连接空板，如图 1 所示。

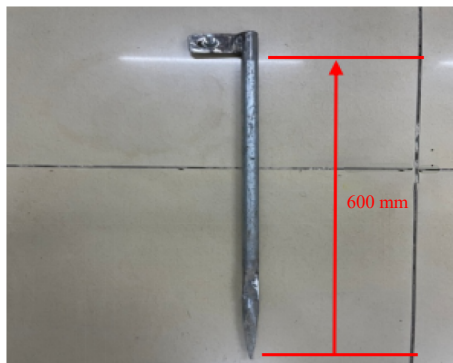


图1 制作地线钎子

7.5 安装并测试数据

小组前往试验现场红坊路，对不合格的灯杆安装接地组合，并摇测各项数据。

在运维人员未恢复焊接前，小组进行加装接地组合，测得前后对比数据，如表 7 所示。

表7 实测红坊路安装后阻值

实测区域	安装前阻值/ Ω	安装后阻值/ Ω
园林绿地	56.5	1.15
步道方砖	6.7	1.79

根据灯杆电阻不合格，检查了地线网断裂和未断裂 2 种情况。

8 效果检查

小组组织施工人员对存在地阻值高的道路线路中灯杆处安装 10 个接地组合，并进行效果检查。如表 8 所示。

表8 安装明细表

序号	安装位置	灯杆号	摇测电阻值/ Ω (当月)	摇测电阻值/ Ω (次月)
1	红坊路	T20044	1.05	1.05
2	羊坊店路	T20005	0.85	0.86
3	虎坊路	B20008	1.52	1.42
4	南水关胡同	T10011	0.14	0.14
5	德胜门内大街	T10009	0.27	0.27
6	东花市大街	T20002	0.25	0.26
7	西花市大街	T10004	0.11	0.05
8	苍南小区	B10008	1.19	1.19
9	苍南小区	B10004	1.21	1.21
10	苍南小区	B20019	1.15	1.15
平均阻值			0.77	0.76

从表 8 中得出，统计阻值均为合格值，并检查无丢失现象。通过此方法，起到临时降阻作用。在不合格灯杆按平分配置增加接地组合，可降低灯杆和整条线路的接地电阻。

根据地阻遥测计划安排，小组再次抽取 2021 年五环内电阻遥测不合格记录资料，样本率为 10%，

即 25 000 基灯杆，如表 9 所示。

通过计算：安装前、后步道方砖中灯杆电阻不合格率由 8% 降低至 0.13%。2021 年电阻不合格率比 2020 年下降了 0.98 百分点，课题目标完成。

表9 2021 年度北京市五环内灯杆电阻不合格统计表

区域	园林绿地	板油路面	步道方砖	总量
A区	4	8	3	15
B区	4	11	2	17
C区	1	20	6	27
D区	7	5	8	20
E区	8	21	6	35
F区	8	1	6	15
合计	32	66	31	129
不合格率/%	0.13	0.26	0.13	0.52

9 结束语

在完成课题目标后，为使临时降阻的接地组合能够更好地应用，小组制定了巩固措施。

为了临时降阻接地组合的安装规范化，制定《安装规范及安全作业指导书》，由上级管理部门批准。

配备专业的安装工器具，如专业安装工具箱等，使施工质量和效率进一步提升。

将临时降阻接地组合融入日常运维生产工作中。

将旧线路拆下的临时降阻接地组合回收再利用，运用到新建工程，并做好防盗措施。

参考文献

- [1] 孙怡璞. 城市照明工程施工手册[M]. 北京, 中国电力出版社, 2007.
- [2] 袁增义. 道路照明工程施工与验收规范: 京灯处[2001] 6号[S]. 北京: 北京市路灯管理处, 2001.
- [3] 朱伟. 全面质量管理 (第四版) [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2018年.
- [4] 朱民. 配电网运维规程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.

作者简介

李铁 (1988—), 男, 本科, 工程师, 从事城市道路照明运维安全生产工作。

(责任编辑: 刘艳玲)

表箱剩余电流动作保护器转换底座的研制

倪素奎

(国网河南省电力公司卫辉市供电公司, 河南 卫辉 453100)

摘要: 根据规程、规范要求, 在电表箱处通常安装有剩余电流动作保护器, 当线路发生漏电故障时能够快速切断电源, 保障人身和设备安全, 每月须对剩余电流动作保护器进行检查和试跳测试, 一旦发现损坏应立即进行更换。然而剩余电流动作保护器型号多, 安装方式不同, 无法直接替代, 须要对安装现场进行改造, 步骤多、耗时长, 给一线工作造成巨大的压力。因此研制一种适用于表箱剩余电流动作保护器的转换底座, 不须要对安装现场进行改造, 通过使用转换底座可直接实现剩余电流动作保护器互相代替, 大大降低安装耗时, 缓解一线工作压力, 提高工作效率, 提升供电服务质量。

关键词: 剩余电流动作保护器; 转换底座; 相互替代; 降低安装耗时; 操作方便 **中图分类号:** TM934

Development the Conversion Base of the Residual Current Operated Protective Device of the Electricity Meter Box

NI Sukui

(State Grid Henan Electric Power Company Weihui Power Supply Co., Ltd., Henan Weihui 453100, China)

Abstract: According to the regulations and specifications, there is usually a residual current action protector installed in the meter box, which can quickly cut off the power supply when the leakage fault occurs in the line to ensure the safety of the person and equipment. It is necessary to check and test the residual current action protector every month. Once the damage is found, it should be replaced immediately. However, there are many models of residual current action protectors and different installation methods, which cannot be directly replaced, and it is necessary to transform the installation site, which has many steps and takes a long time, causing huge pressure on the front-line work. Therefore, a conversion base suitable for the residual current action protector of the watch box is developed, and the installation site does not need to be reformed. By using the conversion base, the residual current action protector can be directly replaced by each other, which greatly reduces the installation time, alleviates the working pressure of the first line, improves the work efficiency and improves the service quality of the power supply.

Keywords: residual current action protector; conversion base; replace each other; reduce installation time; easy to operate

随着人们对电力安全的不断重视, 表箱中安装了大量的剩余电流动作保护器。剩余电流动作保护器(residual current operated protective device, 简称为RCD), 又称漏电保护器, 简称保护器。在发生人身触电或者漏电、火灾等事故时, 流经剩余电流动作保护器的电流达到设定值时, 能够快速自动断开电路, 保护人身和设备的安全。由于剩余电流动作保护器型号多、安装方式不同, 导致新型固定方式的剩余电流动作保护器无法直接替代旧式剩余电流动作保护器, 须要对安装现场进行改造, 步骤多、耗时长, 给一线工作造成巨大的压力, 研制新工具、

收稿日期: 2023-10-10

改进新方法迫在眉睫。

1 选择课题

近30年来, 随着电子技术的发展, 高灵敏度、快速动作型剩余电流保护装置获得了极大的发展。目前市场上, 剩余电流保护装置生产厂家众多, 产品型号不一。小组成员对卫辉供电公司在运的剩余电流动作保护器进行了统计分析, 主要是DZ47型21833台, 占比53%。DZ15型22744台, 占比38%。其他型号5430台, 占比9%。

DZ15型剩余电流动作保护器由于体积大, 占用表箱内部空间多, 现在使用的多为体积小巧的

DZ47 型。根据应用场景不同，每种型号的剩余电流动作保护器又分为单相型、三相三线型、三相四线型。DZ47 型剩余电流动作保护器固定方式为导轨安装，DZ15 型为螺丝安装，其结构示意图如图 1、图 2 所示。



图1 DZ15 型螺丝固定示意图

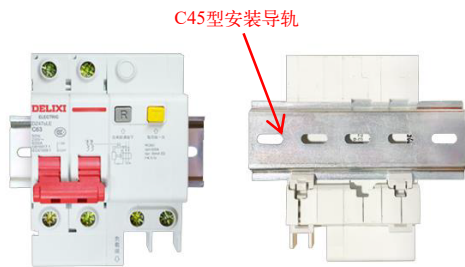


图2 DZ47 型导轨安装示意图

剩余电流动作保护器损坏后须及时进行抢修更换，由于 DZ15 型剩余电流动作保护器型号老旧、采购困难，备品备件无法满足要求。DZ15 型剩余电流动作保护器同种型号间更换平均用时 8.7 min，用 DZ47 型剩余电流动作保护器替代安装平均用时 18.7 min。替代安装平均用时比同型号间更换平均用时长 10 min，是同型号间更换平均用时的 2.1 倍。

经过数据分析，DZ47 型剩余电流动作保护器替代 DZ15 型总用时平均总用时 18 min，安装固定导轨平均用时为 13 min，占比 72%，安装固定导轨用时占比大，为影响更换效率的关键因素。受制于现场作业条件，如工具运用情况、表箱材质、人员技能水平等。根据以上分析，亟须研制一种新的装置，减少 DZ47 型剩余电流动作保护器替代 DZ15 型的安装步骤，降低安装耗时，提高抢修效率。

2 设定目标及目标可行性论证

研制一种适用于表箱剩余电流动作保护器的转

换底座，能够实现 DZ47 型剩余电流动作保护器替换 DZ15 型所需固定导轨的快速安装。将量化目标值定为：安装导轨的时间由原来的 13 min 降低至 2 min。

通过对电源转换插头和汽车牌照转换架借鉴技术的分析，与表箱剩余电流动作保护器转换底座满足需求要实现的功能对比，借鉴物理结构、安装方式、通用性、不破坏设备本体、简化流程等技术特点可以应用到转换底座研制中，满足功能需求。通过模拟试验结果，安装底座（含导轨）平均用时为 1 min 51 s，考虑模拟盘和实际表箱的差异，保留一定裕度，将安装底座（含导轨）的目标时间设定为 2 min 是可行的。

3 提出方案并确定最佳方案

3.1 提出方案

在课题目标确定后，小组根据课题需求和借鉴技术原理，明确了研制表箱剩余电流动作保护器转换底座的设计要求和设计思路。明确表箱剩余电流动作保护器转换底座结构分为 3 部分：连接表箱结构、本体结构和固定保护器结构。

3.2 分解方案的选择

表箱结构的主要作用是连接表箱，根据细化方案分析，连接表箱结构可采用独立结构和融合结构 2 种方案。独立的连接表箱结构为独立部分；融合的连接表箱结构是与本体结构合二为一，本体结构能够同时连接表箱和固定保护器结构。经过分析最终采用结构简单、安装牢靠的融合结构。

本体结构的主要作用是连接表箱和 DZ47 型剩余电流动作保护器的安装导轨，由宽度调节结构、分段连接结构、平整限位结构 3 部分组成，同时还涉及本体材料选择。为了满足通用性的功能需求，表箱剩余电流动作保护器转换底座要通过宽度调节选择对应的 DZ47 型剩余电流动作保护器单相、三相三线、三相四线 3 种模式，不同模式下转换底座尺寸应能满足 DZ47 型保护器安装尺寸要求。根据以上功能需求分析，宽度调节结构可采用两段调节和三分段调节 2 种方案，经过分析采用结构简单、调整方式灵活的三分段调节方案。分段连接结构可采用榫卯式和转轴式 2 种方案，经过分析最终采用了结构简单、强度高的六合页转轴式方案。平整限位结构可采用加装限位块和两端折弯 90° 2 种方案，

经过分析最终采用结构简单、制作便捷的两端折弯 90°方案。表箱剩余电流动作保护器转换底座材料常用的金属材料有 Q235 碳素钢, 201 不锈钢, 304 不锈钢, 经过分析最终采用强度更高的 304 不锈钢材质。

固定保护器结构包括导轨选择和导轨固定结构 2 部分, 导轨长度与底座宽度保持一致, 其中导轨选择有厂标导轨和国标导轨 2 种; 导轨固定方式有螺丝固定和铆钉固定 2 种。经过对比分析表箱剩余电流动作保护器安装转换底座导轨采用材质强度高的国标导轨, 导轨固定方式采用尾部铆接扁平, 开合角度大的铆钉固定方案。

4 制定对策并实施

小组对最优化方案进行分析讨论, 根据 5W1H 原则, 制定了对策表, 确定了对策、措施、具体实施人及实施时间等。

4.1 对策一：制作三分段宽度调节结构

根据对策目标的要求, 对照现有剩余电流动作保护器安装尺寸和外形尺寸, 转换底座三分段调节方式, 单相模式时, 外尺寸为 66 mm × 225 mm, 三相模式时, 外尺寸确定为 113 mm × 225 mm。板材厚度选择强度适中、经济性好的 1.0 mm 厚 304 不锈钢。根据最佳方案, 采用 AutoCAD 软件绘制了底座三分段调节 CAD 图纸。根据图纸尺寸用铁皮裁制了三块对应的板子, 来模拟底座三分段调节。根据检查设计的底座 3 分段调节方式, 尺寸满足转换底座宽度调节范围 66~113 mm, 对策一目标实现。

4.2 对策二：制作转轴式分段连接结构

小组成员用 SolidWorks 绘图软件, 绘制了转换底座一体型转轴合页 3D 图并委托加工厂进行了制作。经过测试转换底座转轴式分段连接结构, 开合角度范围折叠时 ≤ 0°, 展开时 ≥ 180°, 对策二目标实现。

4.3 对策三：制作 90°平整限位结构

小组成员用 SolidWorks 绘图软件, 绘制了折弯限位 3D 图, 并委托加工厂, 利用数控折弯机, 将底座钢板两端折弯 90°, 折弯长度 7.5 mm。考虑到两端折弯后, 存在导线划伤的风险, 小组成员经过讨论在折弯处增加了绝缘橡胶条, 起到保护作用。经过测试转换底座采用两端折弯 90°平整限位结构

后, 底座展开最大角度为 180°, 底座平整, 对策三目标实现。

4.4 对策四：铆钉固定安装导轨

小组成员采购了型号为 TH35-7.5 的 C45 国标安装导轨, 根据安装导轨安装孔的尺寸, 小组成员采购了型号为 M4 × 4 mm 型铆钉。小组成员在检修库房对导轨进行了切割, 并通过铆钉进行固定。小组成员对测量的切割尺寸进行了数据正态性检验, 正态分布 P 值为 0.793 (大于 0.05), 数据服从正态分布, 对切割尺寸进行了过程能力指数分析, 结果为 $CPK = 1.63$, 过程能力充分, 切割尺寸整体误差可控, 能力充分, 满足设计要求。经过检测转换底座铆钉铆接安装导轨, 导轨切割误差 ≤ 1 mm, 铆钉安装无松动, 对策四目标实现。

4.5 对策五：整体测试实验

小组成员将制作好的转换底座送至河南电力科学研究院电工材料检测与评估实验室进行测试, 屈服强度、拉伸强度、耐腐蚀性等均满足标准要求。小组成员对表箱剩余电流动作保护器装换底座在模拟盘上进行了 50 次测试, 经过对数据进行分析, 绘制直方图可以得到, 所有安装时间在 1.6 min 到 1.95 min 之间; 在安装时间区间图中可以得到, 安装时间分布在平均值的 95% 置信区间内, 替换 DZ15 单相型时转换底座的时间集中分布在 1.72~1.77 min。更换 DZ15 三相型时转换底座的时间集中分布在 1.87~1.95 min, 数据分析结果显示安装时间均在 2 min 内, 根据 2 型号不同呈双峰分布, 安装结果经检测全部合格。转换底座实现 DZ47 替代 DZ15 型剩余电流动作保护器, 转换底座安装时间为 1.83 min, 小于 2 min, 且同时适配单相、三相三线、三相四线型剩余电流动作保护器, 如图 3、图 4 所示, 对策五目标实现。

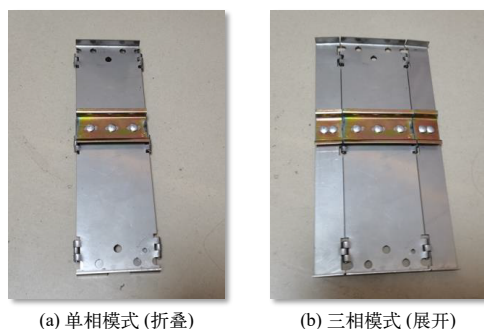


图3 剩余电流动作保护器安装底座折叠展开示意图

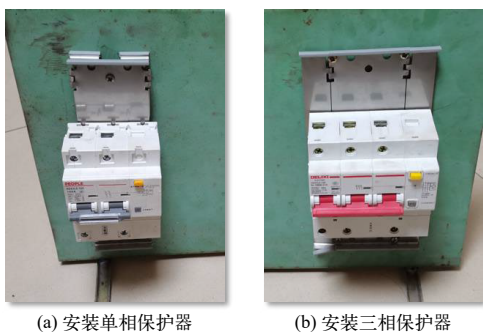


图4 剩余电流动作保护器安装底座安装模式示意图

5 效果检查

经卫辉市供电公司主管生产和安全的副总经理批准，在公司范围内进行小批量应用。小组成员在对使用转换底座的 30 个工作现场进行了跟踪观察，安装固定导轨的平均用时由 13 min 下降到平均 1 min 50 s，实现了预期目标。表箱剩余电流动作保护器转换底座应用后，DZ47 型剩余电流动作保护器代替 DZ15 型的安装过程中，更换步骤由 7 个减少到为 5 个，操作流程缩短，更换时间大幅降低。使用新研制的表箱剩余电流动作保护器转换底座后，在用 DZ47 型剩余电流动作保护器代替 DZ15 型的过程中，平均用时 6.9 min，其中安装固定底座平均用时 1.9 min，同比减少 11.1 min，占比 27%，同比降低 45 百分点。

6 结束语

本文研制的表箱剩余电流动作保护器转换底座，实现了 DZ47 型剩余电流动作保护器替代 DZ15 型的快速安装，通过使用表箱剩余电流动作保护器转换底座使备品储备由原来的 6 种减少到现在的 3 种，即可满足抢修需求，减少 50% 的库存。替代安装流程的规范性、安全性、效率同步提升，并产生了可观的经济效益和良好的社会效益。一方面可减少重新领取备件造成往返情况的发生，从而提升抢修效率，提高客户满意度，提升优质服务水平；另一方面少表箱剩余电流动作保护器损坏后，因无对应备件而造成表箱剩余电流保护缺失，从而减少越级跳闸等大面积停电事故发生，提高供电可靠性。

成果完成后，经检验取得了显著的效果。小组成员将整个活动过程中的资料进行归档，并编制了表箱剩余电流动作保护器转换底座使用说明书，为

确保现场应用的标准化作业，小组成员又编制了表箱剩余电流动作保护器转换底座作业指导书，并将表箱剩余电流动作保护器转换底座的相关技术文件纳入了标准文件，同时申请发明专利 1 项，实用新型专利 1 项。

作者简介

倪素奎（1987—），男，工程师，技师，从事配网方面工作。
（责任编辑：刘艳玲）

资讯

青海省全力推动绿色低碳循环经济发展

2023 年 11 月 13 日，记者从青海省发展和改革委员会获悉，全省循环经济已由以往的工业领域逐步拓展至农业、服务业及社会各个层面，基本建立了农畜产品种养殖、精深加工、废物综合利用的循环型农牧业体系，能源梯级利用、水资源循环利用、废物交换利用、土地集约利用的循环型工业体系，服务主体绿色化、服务过程清洁化、服务业与其他产业融合发展的循环型服务业体系。

经过加速建设，全面完成国务院批复的柴达木循环经济试验区阶段性建设目标任务，打造了以盐湖资源综合利用为核心、多产业融合发展的循环经济园区样板。如期完成青海省国家循环经济发展先行区 8 年创建任务，形成盐湖化工、油气化工、金属冶金、新能源、新材料等多产业纵向延伸、横向融合的循环经济产业体系，西宁、海东、海西 3 大园区成为循环经济发展的主要载体。全省 15 个省级以上园区中 6 个园区通过国家循环化改造示范试点终期验收，河湟新区零碳产业园启动建设，为强化循环经济发展奠定坚实基础。

目前，全省大中型商场、超市、书店等场所及餐饮打包外卖服务等基本不再使用禁限塑料制品，农膜回收率达到 90%，邮政快递网点全面禁止使用塑料包装，电商快件不再二次包装比例达到 98.33%，使用符合标准的包装材料比例达 98.6%，可循环中转袋流转使用基本实现省内全覆盖。废弃汽车年度专项整治工作已显成效，2023 年上半年，全省共摸排废弃汽车 1416 辆，处置 1012 辆。

信息来源：《青海日报》

缩短管母线安装时间

齐泽力

(国网冀北北京送变电有限公司, 北京 房山 102401)

摘要: 在变电站施工建设当中, 管母线安装是很重要的一个环节, 通常采用吊车和人工协同操作的方式来完成管母线的安装, 耗费了很多人力物力, 不方便且影响工作效率和工程进度。为了缩短管母线的安装时间, 设计了一种管母线吊具, 使用此吊具, 能够加快施工进度, 节省施工成本, 提高经济效益。

关键词: 管母线; 管母线吊具; 缩短时间

中图分类号: TM645.1

Shorten the Installation Time of Pipe Busbar

QI Zeli

(State Grid Jibei Beijing Power Transmission and Transformation Co., Ltd., Beijing Fangshan 102401, China)

Abstract: In the construction of substations, the installation of pipe busbars is a very important step. Usually, the installation of pipe busbars is completed through the cooperation of cranes and manual operations, which consumes a lot of manpower and material resources, is inconvenient, and affects work efficiency and project progress. In order to shorten the installation time of the tubular busbar, a tubular busbar hanger has been designed. Using this hanger can accelerate the construction progress, save construction costs, and improve economic benefits.

Keywords: pipe busbar; tubular busbar hanger; reduce hours

在日常的工作中经常会会在变电站内用吊车安装管母线。以往需要用大量的时间和较高的成本来进行管母线的安装, 为了保证工程进度, 节省工程成本, 必须缩短管母线的安装时间。于是, QC 小组选择了“缩短管母线安装时间”的现场型选题。

1 现状调查及目标设定

2022 年 7 月, 某变电站 3 个班组新安装一组管母线所需时间如表 1 所示。

表1 管母线安装时间表

试验班组	A组	B组	C组	合计	平均值
时间/h	3.0	2.5	3.5	9.0	3.0

安装管母线所需的时间较长, 人工成本较高, 所以必须缩短管母线安装时间, 降低施工成本, 加快施工进度。

深入调查现状后, 小组提出了本次活动的目标: 安装一组管母线的的时间由 3 h 减少到 1.5 h。小组成员有现场安装管母线经验丰富的人员, 有长期从事机械化操作改进的人员, 能够根据现场实际情况,

收稿日期: 2023-10-18

进行有效的现场改进活动, 设计一种管母线安装的专用吊具。

2 现有安装方法耗时长长的原因分析

找出造成管母线安装耗时较长的各种末端因素, 小组进行了进一步的调查分析, 得出因果分析图如图 1 所示。

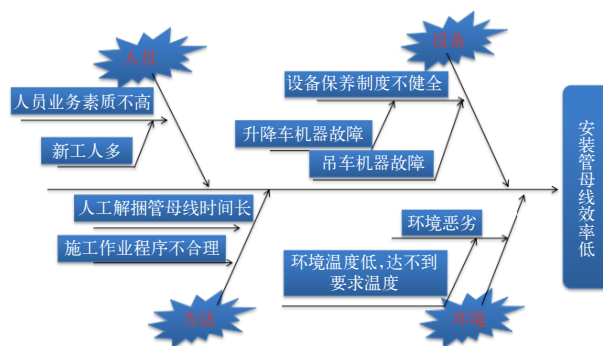


图1 管母线安装时间较长的因果分析图

为了找出主因, 小组对 6 个末端因素进行逐条确认, 如表 2 所示。经过对 6 条因素逐条调查分析, 确定主要原因是: 人工解捆管母线时间长。

表2 要因分析确认

序号	末端因素	验证方法	确认情况	是否要因
1	新工人多	现场调查分析	现场进行管母线安装的是有10年以上管母线施工经验的员工，并且接受过专业的操作培训，能够在各种情况下正确地安装管母线	非要因
2	吊车机器故障	现场调查分析	吊车已做好日常维护保养，每3个月进行一次一级保养，每年进行一次二级保养，未发生故障 ^[1]	非要因
3	升降车机器故障	现场调查分析	升降机已做好日常维护保养，每3个月进行一次一级保养，每年进行一次二级保养，未发生故障	非要因
4	工作程序不合理	现场调查分析	施工作业前已对施工人员进行技术交底，严格执行工作票制度，并制定专业人员统一指挥信号	非要因
5	人工解捆管母线时间长	现场统计调查分析	吊车和升降车就位后，由施工人员将管母线捆绑牢固，起吊将管母线放置母线横梁上，再由施工人员乘升降车上去将管母线解捆，造成人工解捆管母线耗时较长 ^[2]	要因
6	环境温度低，达不到要求温度	现场调查统计	寒冷环境下施工时，温度低，但通过加热可以达到机器工作要求的温度	非要因

3 制定解决方案及对策实施

3.1 制定目标及解决方案

针对人工解捆管母线时间长的问题，将管母线

的安装方式由之前的人工解捆管母线改为用管母线吊具来实现管母线的抓取和放置，以实现缩短管母线的安装时间，降低人工成本，加快施工进度，提高施工效率的目标。管母线吊具设计示意图如图2所示。

3.2 对策实施步骤

用吊车吊装管母线时，应设专人指挥，使其缓缓起吊。

吊装前应检查架构、横梁、瓷瓶、固定螺栓，确保架构横梁牢固、支柱瓶已固定再吊装管母线。

将母线搬运至吊装位置进行附件组装，搬运时不得使母线弯曲，要同时起放。

将吊装点测量精确后，保证在平稳状态下起吊，两端用溜绳调整方向，用新设计的管母线吊具机械爪抓取管母线进行起吊和放置，放置时，拉动管母线吊具一侧的绳索即可实现，简单方便。

吊装时两端应同时起吊，同时就位悬挂，每个支柱绝缘子上留1人做接应，将管母线倒至横梁内侧母线绝缘子上，依次安装，并进行调节。

管母线吊具实物图和新方法安装管母线示意图如图3所示。

4 效果检查

通过以上的组织实施，QC小组对变电站采用新方法安装管母线的班组进行了数据记录，得到如表3所示数据。

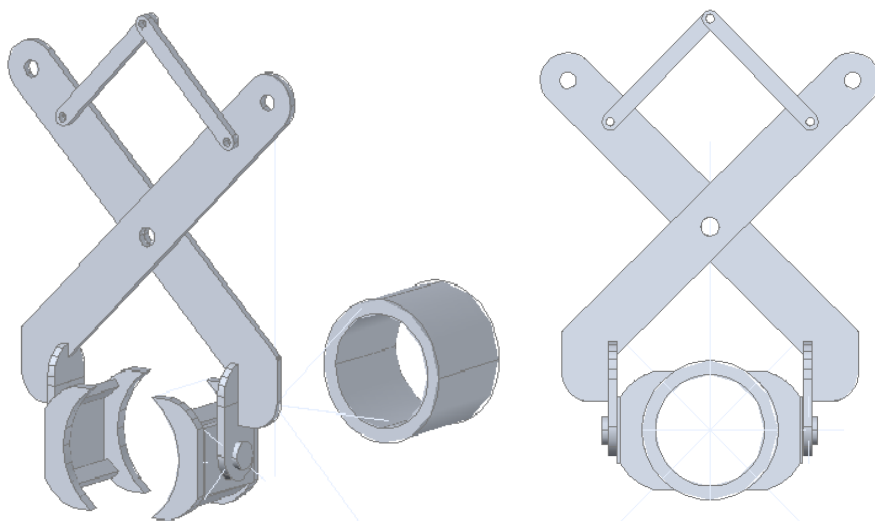


图2 管母线吊具设计示意图



图3 管母线吊具实物图和新方法安装管母线示意图

表3 管母线安装时间对照表

试验班组	时间/h
A组	3.0
采用新方法后A组	1.4

从表3可以看出通过小组技术改进，2022年9月30日，QC小组用新方法在变电站安装一组管母线所需的时间有了明显的缩短，安装一组3相500kV管母线的安装时间由原来的3h减少到1.4h，达到了设定的缩短管母线安装时间的目标，保证了变电站工程建设的施工进度。

5 结束语

根据变电站施工现场安装管母线实际工作需要，小组成员发明设计了一种管母线吊具，此吊具不仅满足了现场各类管母线吊装的施工需要，而且操作方便，易于携带，实用性强，在缩短管母线安装时间的同时，施工人员也有一定的缩减，既节省了成本，又提高了施工效率，并使施工现场更加整洁美观。

参考文献

- [1] 中国电力企业联合会. 电气装置安装工程—母线装置施工及验收规范: GB 50149—2010[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [2] 吴宝华. 针对电力工程安装相关安全技术措施分析[J]. 科技创新与应用, 2017(12): 191.

作者简介

齐泽力(1989—)，男，研究生，工程师，所从事的工作方向：变电施工，电力系统通信。

(责任编辑:刘艳玲)

资讯

福建厦门公司：开展工单驱动故障立体巡检

2023年11月9日上午，在福建厦门智能生产管控中心内，系统模拟推送220kV主变压器跳闸信号后，该变电站内无人机、机器人和高清视频迅速联动，开展工单驱动下的故障立体巡检。

工单驱动故障立体巡检模式是国网厦门供电公司智能生产管控中心拓展数字化智能化应用手段，深化工单驱动业务的一项技术创新。该功能涉及信号事件化、主辅系统交互、I/IV区穿透、智能联合巡检、事件化工单驱动等技术难点。

通过工单驱动故障跳闸情况下的立体巡检，可快速定位查找故障点，提高事故处置效率。同时，“无人机+机器人+高清视频”的联合巡检，可对类似龙门架、瓦斯继电器等人员在地面难以观察清晰的设备部件进行更加全面、细致的检查，有效减少人员现场作业量，提高检查准确度。

2023年国网厦门供电公司已在3个变电站内启动全场景工单驱动，运维人员现场检查作业量大幅减少，事故跳闸处置效率明显提升。

信息来源：国网福建省电力有限公司

335 kWp 农光互补项目设计与建设

苏 渊^{1*}, 秦江伟¹, 刘建国²

(1. 重庆电力高等专科学校, 重庆 九龙坡 400053; 2. 重庆电专能创勘察设计有限公司, 重庆 九龙坡 400053)

摘要: 分析了335 kWp 农光互补项目的总体设计, 简述了项目的经济效益、社会效益和生态效益, 总结了项目建设过程中遇到的若干问题, 为后续其他农光互补项目的建设提供了实践经验。

关键词: 农光互补; 光伏系统设计; 光伏项目效益

中图分类号: 764

Design and Construction of the 335 kWp Agricultural-Photovoltaic Complementary Project

SU Yuan^{1*}, QIN Jiangwei¹, LIU Jianguo²

(1. Chongqing Electric Power College, Chongqing Jiulongpo 400053, China; 2. Nengchuang Survey & Design Co., Ltd. of CQEPC, Chongqing Jiulongpo 400053, China)

Abstract: Analyze the overall design of the 335 kWp Agricultural-Photovoltaic Complementary Project. Briefly describe the Economic, social, and ecological benefits of the project. Summarize several issues encountered during the project construction process. Provide practical experience for other agricultural-photovoltaic complementary projects.

Keywords: agricultural-photovoltaic complementary; photovoltaic system design; benefits of photovoltaic projects

农光互补是近年来在农业领域探索出来的一种产业融合发展模式, 该模式将光伏与农业相结合, 有利于资源整合、产业互补、有效增加土地单位产出, 实现清洁能源与绿色农业共同发展的良好愿景^[1]。

335 kWp 农光互补项目位于我国西南低山丘陵区, 项目所在地海拔高程为 570 m, 占地约 4 000 m², 采用“板上发电, 板下种植”的农光互补模式进行设计^[2-3]。项目分 2 期建设, 一期装机 126.36 kWp, 二期装机 208.8 kWp。项目由村集体经济组织负责建设和管理。

项目所在地属亚热带湿润季风气候, 气候温和, 年平均气温 16.8 °C, 历年极端最高气温 42.1 °C, 历年极端最低气温 -4.4 °C; 全年日照时数 1 092.7 h, 年辐射值为 3 780 MJ/m², 属于我国太阳能资源一般区。

1 项目总体设计

1.1 光伏组件选型

目前, 光伏电站所选太阳能电池按其所用硅料结晶状态, 主要有单晶硅和多晶硅 2 种, 随着单晶

收稿日期: 2023-07-18

硅生产制造工艺的持续改进以及高效电池技术的大规模推广应用, 单晶硅电池与多晶硅电池相比, 制造成本已相差不大, 但在转换效率上, 单晶硅电池更有优势, 当前市场占有率已达 95% 以上, 单晶硅太阳能电池已成为光伏电站装机首选。

太阳能电池按其衬底类型, 可分为 P 型电池片和 N 型电池片 2 类。P 型电池片是在 P 型半导体衬底上扩散磷从而形成 N+/P 型结构, 其扩散工艺简单, 成本较低, 但其最高转换效率具有瓶颈。N 型电池片则是在 N 型半导体衬底上注入硼从而形成 P+/N 型结构, 其具有寿命长、工作温度低、弱光响应好及无光致衰减等特性, 电池转换效率可以做得更高。根据一些现场实验对比, N 型组件单瓦发电量比 P 型组件高出 5% 以上, 体现出 N 型组件的良好性能。随着制造工艺进步, N 型组件的制造成本也逐步降低。目前, N 型组件与 P 型组件的市场售价已相差无几。伴随着 N 型组件于 2023 年的大规模量产, 今后, N 型组件将成为光伏行业的主流。

光伏组件按其电池片发电方式及结构, 又分为单面单玻、双面单玻和双面双玻等 3 种。单面单玻是指电池片只有正面吸光和发电, 组件正面为钢化

玻璃防护, 组件背板采用不透光的有机材料。双面单玻是指电池片正、反两面均可吸光和发电, 组件正面为钢化玻璃防护, 组件背板采用透明有机材料。双面双玻是指电池片正、反两面均可吸光和发电, 组件正面和背面均采用半钢化玻璃。从发电效益比较, 当然选择双面组件。在一些须要透光的场景, 如农业大棚、公共建筑等, 也须要选择双面组件。

本项目光伏组件均采用单晶 P 型、单面单玻组件, 之所以没有选择 N 型和双面组件, 主要是项目建设时囿于资金问题及受市场主导产品影响。今后该项目如改建或扩建, 作为农光互补项目, 应当选择双面组件, 从而加强透光性, 更有利于光伏板下农作物的生长。

项目一期和二期所选光伏组件主要参数如表 1 所示。

表1 光伏组件主要电气及机械参数

参数名称	项目一期组件参数	项目二期组件参数
组件最大功率/W	540	580
最大功率点工作电压/V	41.2	39
最大功率点工作电流/A	13.12	14.86
开路电压/V	49.3	46.3
短路电流/A	13.92	15.94
组件效率/%	20.9	21.5
电池片类型	单晶	单晶
电池片数量	一组144片 (6 × 24)	一组132片 (6 × 22)
组件尺寸(长 × 宽 × 高)/mm	2 278 × 1 134 × 35	2 384 × 1 134 × 35
组件质量/kg	27.8	29.1
封装材料	EVA/POE	EVA/POE
背板	白色	白色

1.2 光伏组串设计

按照 GB 50797—2012《光伏发电站设计规范要求》中的规定, 光伏组件串的串联数应按式(1)和式(2)进行计算:

$$N \leq \frac{V_{dcmax}}{V_{oc}[1+(t-25)K_V]} \quad (1)$$

$$\frac{V_{mpptmin}}{V_{pm}[1+(t-25)K'_V]} \leq N \leq \frac{V_{mpptmax}}{V_{pm}[1+(t-25)K'_V]} \quad (2)$$

式中: N 为光伏组件的串联数 (N 取整); K_V 为光伏组件的开路电压温度系数; K'_V 为光伏组件的工作电压温度系数; t 为光伏组件工作条件下的极限低温, $^{\circ}\text{C}$; t' 为光伏组件工作条件下的极限高温, $^{\circ}\text{C}$; V_{dcmax} 为逆变器允许的最大直流输入电压, V ; $V_{mpptmax}$ 为逆变器 MPPT 电压最大值, V ; $V_{mpptmin}$ 为逆变器 MPPT 电压最小值, V ; V_{oc} 为光伏组件的开路电压, V ; V_{pm} 为光伏组件的工作电压, V 。

将项目一期和二期的光伏组件相关参数代入式(1)和式(2)进行验算, 得出结果如表 2 所示。

表2 光伏串组件串联数验算结果

	项目一期串联数	项目二期串联数
按逆变器最大直流输入电压选择	$N \leq 20$	$N \leq 22$
按逆变器MPPT电压选择	$16 \leq N \leq 18$	$17 \leq N \leq 19$

根据光伏串组件串联数验算结果, 且考虑项目一期、二期在组串布置上保持对称和一致性, 最终确定本项目每个光伏组串由 18 块光伏组件串联构成, 18 块光伏组件分上下两排竖向布置, 每排 9 块。项目一期设计有 13 个组串, 项目二期设计有 20 个组串。

1.3 逆变器选型

逆变器是将光伏组件产生的直流电转换为交流电的器件, 光伏电站并网逆变器主要有集中式和组串式 2 种。集中式逆变器是将多路并行光伏组串的直流电经过汇流后接入逆变器, 由逆变器集中将直流电转换为交流电。集中式逆变器具有功率密度大、电能质量高和成本低等优点, 但同时具有 MPPT 跟踪精度不够的缺点, 导致遇到多云或单个组串故障时降低光伏电站转换效率。而组串式逆变器是将多组光伏组串进行单独的最大功率峰值跟踪, 再经过逆变后并入交流电网, 组串式逆变器具有发电量大、组件配置灵活、便于安装、运营维护方便等优点。应用组串式逆变器时, 当一块组件被阴影阻挡或发生故障时, 只会影响对应少数几个组串的发电量, 可以将损坏降至最低, 效率更高。

由于组串式逆变器配置灵活的特点, 在近几年

已公布的国内央企逆变器集采项目中，组串式逆变器招标比例屡创新高，2023年1月至今，占比已达80%以上。

本项目选用组串式逆变器，一共3台，其中，一期1台，二期2台，逆变器容量均为125 kW。该型逆变器有10路MPPT，每路MPPT可接入2个组串。一期的逆变器接入13个光伏组串，二期的2台逆变器分别接入10个光伏组串。逆变器具备组串检测、输入反接保护、绝缘阻抗检测、输出短路保护、浪涌保护等保护功能。

该型逆变器采用远程监控，通过企业自行开发的App监控软件可以实时跟踪电站运行情况，主要功能包括显示实时发电功率和发电量、直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、告警信息等，还有参数设置功能。

监控软件还可记录电站的日发电量、月发电量、年发电量、累计发电量、收益数据、节能减排数据、环境数据以及每日发电功率曲线图等信息。

1.4 倾角设计

根据专业软件，计算不同安装倾角倾斜面的太阳辐射量，再结合现场踏勘，综合考虑经济、施工、安全、美观等因素，组件布置采用倾角 15° ，板面朝正南方向布置。

1.5 支架及阵列设计

光伏支架从选用材料上可分为钢材型和铝材型支架，钢材型支架通常使用Q235B钢材，表面热浸镀锌 $55\sim 80\ \mu\text{m}$ ，铝材型支架主要使用6063T6铝合金，表面采用阳极氧化 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ 。铝合金型材质量轻、外表美观、防腐性能极佳，一般用于对承重有要求的屋顶电站或强腐蚀环境，如彩钢板屋顶、化工厂电站等。钢材强度高，承受荷载时挠度变形小，一般用于普通地面电站。

根据本项目所处地理环境、后期维护及投资成本考虑，组件支架采用双立柱带斜撑固定式支架，立柱主龙骨采用热浸镀锌支架，镀层厚度 $65\ \mu\text{m}$ 。光伏支架基础采用混凝土钻孔灌注圆柱桩，桩直径300 mm，桩身根据地形调整，须保证光伏支架稳定、牢固。

每组光伏阵列采用双列布置，前后各4个桩基，一共8个桩基。为保证光伏板下村民耕作空间，光伏阵列行间距为7.4 m，光伏组件最低沿到地面距离

大于2 m。

1.6 电缆选型

根据GB 50217—2018《电力工程电缆设计规程》有关条款规定，本项目电缆选型如下：

光伏组件至组串式逆变器的直流电缆采用太阳能专用电缆（单芯），沿组件背面钢构架檩条槽敷设，电缆在站内通过穿管保护直埋敷设方式引至逆变器，直流电缆型号为PVI-F- $1\times 4\ \text{mm}^2$ 。

逆变器至光伏并网柜间的交流电缆采用阻燃交联聚乙烯绝缘电力电缆，采用电缆保护管的敷设方式，电缆型号为ZR-YJV-0.6/1 kV- $3\times 95\ \text{mm}^2+1\times 50\ \text{mm}^2$ 。并网柜至架空线的交流电缆采用2种型号，一期型号为ZR-YJV-0.6/1 kV- $3\times 95\ \text{mm}^2+1\times 50\ \text{mm}^2$ ，二期型号为ZR-YJV-0.6/1 kV- $3\times 150\ \text{mm}^2+1\times 50\ \text{mm}^2$ ，均采用穿管保护直埋敷设方式。

1.7 防雷设计

本项目光伏阵列为地面光伏阵列。光伏阵列区域做水平接地网，每个阵列两端的光伏支架立柱与水平接地网用热镀锌扁钢（ 50×5 ）与水平接地网可靠连接。场地内根据光伏阵列布置情况，埋设20根垂直接地极，垂直接地极采用热镀锌等边角钢（ $50\ \text{mm}\times 50\ \text{mm}\times 5\ \text{mm}$ ），长度均为2.5 m，水平接地网与垂直接地极保证可靠连接。

工程竣工验收时，一期接地电阻测量值为 $2.7\ \Omega$ ，二期接地电阻测量值为 $1.9\ \Omega$ ，均小于 $4\ \Omega$ ，符合光伏电站设计规范要求。

并网逆变器设备本身配置防雷保护模块，可防止雷电过电压和操作过电压。

交流侧的防雷主要是在并网柜里装设浪涌保护器。

1.8 光伏系统并网方案

本项目采用“自发自用、余电上网”的并网接入模式。

项目一期13个光伏组串接入1台125 kW组串式逆变器，项目二期20个光伏组串分2组（每组10个组串）各接入1台125 kW组串式逆变器。逆变器输出的400 V交流电经电缆接入并网柜，在并网柜内通过光伏专用断路器与市电并网后，再通过电缆接入附近架空线上，然后通过架空线引至附近柱上变压器，经升压后将光伏所发电量送入电网，并网方式如图1所示。

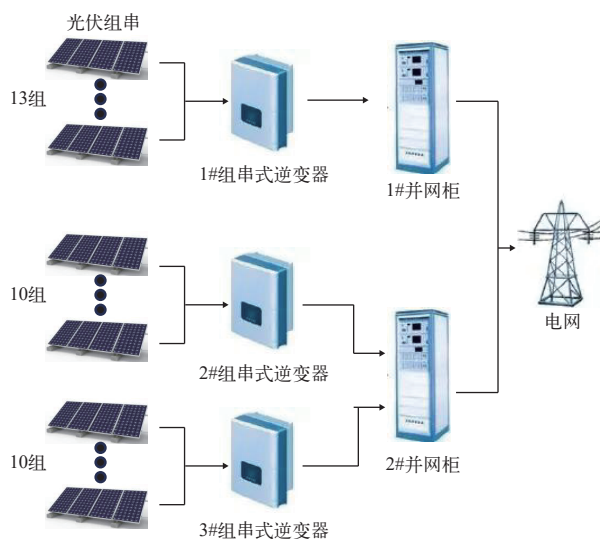


图1 光伏系统并网方式示意图

2 项目效益

2.1 经济效益

本项目经济效益包含光伏发电收益和板下黄精种植收益。

项目光伏发电量按 GB 50797—2012《光伏发电站设计规范》中规定的公式进行计算, 具体计算见式(3):

$$E_P = H_A \frac{P_{AZ}}{E_s} K \quad (3)$$

式中: H_A 为水平面太阳能总辐照量, $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$; E_P 为上网发电量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; E_s 为标准条件下的辐照度, 常数 = $1 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$; P_{AZ} 为组件安装容量, kWp ; K 为综合效率系数。综合效率系数 K 包括: 光伏组件类型修正系数、光伏方阵的倾角、方位角修正系数、光伏发电系统可用率、光照利用率、逆变器效率、集电线路损耗、升压变压器损耗、光伏组件表面污染修正系数、光伏组件转换效率修正系数。

经查阅相关资料, 项目所在地 2022 年水平面太阳能总辐照量为 $1311 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$, 组件安装容量为 335.16 kWp , 综合效率系数取值范围为 $0.75 \sim 0.85$, 本项目取 0.8 , 代入式(3)中, 计算得出本项目光伏年发电量约为 $35 \text{ 万 kW}\cdot\text{h}$ 。项目所在地光伏上网电价为 $0.3964 \text{ 元}/\text{kW}\cdot\text{h}$, 村集体经济组织每年可获取电费收益 13.8 万元 。

除发电收益之外, 板下种植的黄精如管护较好, 扣除购买种苗、人工成本、土地租金和肥料支出等

费用外, 平均每年还可获得种植收益约 6 万元 。

2.2 社会效益

在项目建设过程中, 引进项目所在地周边部分脱贫人口参与建设, 帮助他们增加收入。负责管护项目的村集体经济组织还制定利益联结机制, 按每年发电收入的 30% 向监测户、脱贫户及低保户分红, 从而增加重点帮扶对象的转移性收入, 有效巩固脱贫攻坚成果。在项目投运后, 还为脱贫户提供了多个长期公益岗位, 主要负责光伏组件定期冲洗、设备日常巡检、黄精日常管护等工作, 帮助脱贫户在家门口务工增收。

2.3 生态效益

每年可节约标准煤 100 t , 减少二氧化碳排放量 270 t , 减少二氧化硫排放量 33.8 kg , 减少氮氧化物排放量 51 kg , 具有良好的生态环保效应, 将助推村集体经济走上生态优先、绿色低碳的高质量发展道路。

3 项目建设中遇到的问题

3.1 逆变器交流输出电压过高

项目一期建成投运时, 随着光伏输出功率增大, 逆变器交流输出电压也逐渐升高, 超出安全运行电压限值。经分析, 是由于逆变器距离并网台区变压器太远 (500 m 左右), 线路阻抗压降过大所致。后在项目所在地附近增设一台并网台区变压器, 实现就近并网, 解决了逆变器交流输出电压过高问题。这也提醒我们在农村地区建设分布式光伏项目时, 要特别注意逆变器与台区变压器的距离, 如距离较远, 受线路阻抗影响, 逆变器输出交流电压就会被动抬高, 逆变器与台区变压器之间的沿线用户就不能保证用电安全。

3.2 光伏组件底部积灰

项目一期于 2022 年 7 月建成投运, 至 2023 年 3 月项目二期开工前, 实际运行中发现, 由于组件边缘铝边框的阻挡作用, 在组件淋雨或冲洗后, 少量积灰会在组件下部铝边框附近积聚, 时间长了, 容易形成积灰带, 遮蔽组件底部电池片的部分区域, 引发热斑效应, 影响组件的安全运行。项目一期上、下两排组件在安装时, 两排之间的间隙只保留了 20 mm , 导致上排组件底部区域的积灰不容易被清理掉。为此, 项目二期在建设时, 上、下两排组件

的安装间隙增大到 100 mm，留出足够的空隙，从而在人工清洁光伏组件时，可以将上排组件底部区域的积灰清除掉。

3.3 光伏组件连接器固定

由于项目所在地位于高台地区，会遭遇风力较大的情形，电缆连接器如果没有固定，就会随风摆动，时间久了，电缆连接器接头可能会出现松动或接触不良的问题。为此，现场技术人员指导施工人员利用组件边缘的安装孔对连接器进行固定，并且采用套管保护的方式，顺带加强了电缆连接器防浸水的功能。组件连接器固定方式如图 2 所示。



图2 光伏组件连接器现场固定方式

4 结束语

本项目将光伏发电与农业生产相结合，完全契合了当下生态文明建设理念，是现代农业发展的一种新模式，既符合国家绿色低碳产业发展战略，又能有效促进产业融合发展。

农光互补项目具有一地两用、立体开发、复合收益、循环发展等特色，可以实现土地立体化增值利用，并且具有良好的经济效益、社会效益和生态效益，在发展绿色新能源的同时，助力推进乡村振兴。

参考文献

- [1] 陈健, 王玲俊. 农光互补的研究综述及展望[J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (5): 1-9.
- [2] 张勇, 房广善, 王小龙, 等. 广东省光伏农业的发展现状研究[J]. 现代农业装备, 2023, 44 (1): 8-13.
- [3] 陈杰, 雷书彦, 陶芬, 等. 光伏农业研究与发展路径[J]. 中南农业科技, 2022, 43 (6): 189-192.

作者简介

苏渊 (1974—), 男, 副教授, 主要研究方向: 高电压技术、新能源发电等。

(责任编辑: 张峰亮)

资讯

天津滨海公司：“满格电”助力津潍高铁高效施工

2023年11月6日，国网天津滨海供电公司党员柔性团队队员顺利完成津潍高铁隧道盾构施工电源送电工作。

前期，国网天津滨海供电公司结合学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育“察实情、出实招”专项行动，由分管负责人带队到中铁十四局津潍高铁项目建设现场开展调研，深入了解项目用电需求。据了解，正式盾构前，需要调试盾构机，优化施工场地电源布局，需要把盾构施工电源送上电。

了解相关情况 after，国网天津滨海供电公司立即组织发展、建设、营销等专业党员成立跨专业党员柔性团队，主动对接项目用电需求，快速完成现场勘察、现场收资工作，多次研讨优化供电方案。据测算，盾构机及辅助施工设备同步运行的额定容量在初期阶段高峰时可达 7500 kV·A。综合考虑未来负荷增长，该公司从附近一座变电站投资新建 2 条 10 kV 电缆专线为其供电，供电容量超过 1 万 kV·A。

“这 2 条电缆线路需穿越盐田、高速公路、散货物流基地、交通主干道路等，经过区域地下供热、燃气等管线密布，地形十分复杂，需要协调解决的问题很多。”柔性团队队员吉建军说。国网天津滨海供电公司党员领衔联合攻坚，协同推进各项外协事宜，积极与盐田、供热、燃气等相关方多轮沟通，优化电缆路径，动态调整施工方案；加强施工质量管控，全力以赴确保盾构机能够按期施工；密切关注高铁标段施工节点进度，及时组织开展多专业联合验收。最终，该公司提前 20 多天完成电缆线路建设和送电工作，为津潍高铁盾构施工提供了安全可靠的电力保障。

信息来源：国网天津市电力公司

螺栓连接预制龙门架的设计与应用

李海峰, 张子伟*, 李晨阳, 倪浩然, 隗永燕

(国网北京市电力公司建设咨询公司, 北京 西城 100176)

摘要: 针对龙门架安拆存在安全风险、质量问题等现状, 提出通过螺栓连接的原理设计一种螺栓连接预制龙门架。螺栓连接预制龙门架安拆灵活方便、迅速, 不用提前做烦琐的施工准备, 不用电气焊减少废气排放, 安拆过程无动火作业, 降低现场防火、触电等安全风险; 拆除后不损伤型材, 可按原设计位置重新安装, 周转使用费用低; 可解决龙门架运输需要加长车辆的问题, 可通过螺栓连接将行走导梁分成2根, 使用普通车辆即可运输。利用PKPM软件建立模型并完成结构计算, 各项指标满足规范要求, 目前已在工程现场应用。

关键词: 龙门架; 预制; 螺栓连接

中图分类号: TP241.2

Design and Application of Bolted Prefabricated Gantry Frame

LI Haifeng, ZHANG Ziwei*, LI Chenyang, NI Haoran, WEI Yongyan

(State Grid Beijing Electric Power Company Construction Consulting Company, Beijing Xicheng 100176, China)

Abstract: In response to the current situation of safety risks and quality issues in the installation and disassembly of gantry frames, a bolt connected prefabricated gantry frame is proposed based on the principle of bolt connection. The installation and disassembly of prefabricated gantry frames connected by bolts are flexible, convenient, and fast. No need to make tedious construction preparations in advance, no need to perform electrical welding, and reduce exhaust emissions. There is no hot work during the installation and disassembly process. Reduce safety risks such as fire prevention and electric shock on site. After removal, the profile will not be damaged and can be reinstalled according to the original design position. Low turnover and usage costs. It can solve the problem of requiring longer vehicles for gantry transportation. The walking guide beam can be divided into two parts through bolt connection, and can be transported using ordinary vehicles. Establish a model using PKPM software and complete structural calculations. All indicators meet the standard requirements. Currently, it has been applied on site in two projects.

Keywords: gantry frame; prefabrication; bolted connection

电力浅埋暗挖隧道截面尺寸较小, 无法使用大型龙门吊等设备, 出土及物料进出一般采用型钢组装龙门架。现有龙门架立柱、主梁、横撑、剪刀撑等采用焊接或焊接与螺栓相结合的方式安装。安装过程中, 焊接接头容易产生较大的焊接变形和焊接残余应力差, 从而影响接头的承载能力、加工精度和尺寸稳定差, 同时在焊缝与配件的交界处(热影响区)产生应力集中, 对接头的疲劳断裂有较大影响。焊接接头中容易产生焊接缺陷(裂纹、气孔、夹渣、未熔合、未焊透)等。这些缺陷的存在会降低焊接接头强度、引起应力集中、损坏焊缝致密性。拆卸过程中, 需要切割架体型钢, 造成钢材截短。架体周转利用率较低、在安拆过程中须进行动火作

收稿日期: 2023-09-27

业, 存在火灾、电击伤害等风险。

针对上述缺陷和不足, 试制一种全螺栓连接的龙门架。架体通过地脚螺栓与基础固定, 各结构件及附件通过普通螺栓或高强螺栓进行连接, 解决现有龙门架安拆过程中因动火造成的一系列安全、质量问题。同时, 螺栓连接具备安拆方便、连接可靠、周转效率高、实用性较强等优点。

1 总体结构设计

针对上述现有技术的缺陷和不足, 通过螺栓连接的原理设计一种螺栓连接预制龙门架。设计依照规范、规程如下: GB 50017—2017《钢结构设计标准》、GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》、GB 50011—2010《建筑抗震设计规范(2016年版)》。

1.1 选材

立柱为 I32a 工字钢，横梁为 I32a 工字钢，导梁为 I36a 工字钢。

1.2 确定龙门架尺寸

根据电力隧道施工条件及施工经验，总长跨度 14 m，横向跨度 7 m，高度 7 m 的龙门架可满足大多数使用场景。

1.3 确定龙门架结构

龙门架共设 6 根 I32a 工字钢立柱，龙门架立柱固定在钢筋砼支墩，以支撑龙门架的自重及吊运重物时所发生的一切荷载。支墩为现浇 C30 砼，尺寸为 1.0 m × 1.0 m × 1.0 m，在基础支墩上预埋地脚螺栓，以便龙门架工字钢立柱与基础支墩牢固连接。

电动葫芦导梁（行走大梁）1 根，根据工程量大小可设为双轨（行走大梁），为 I36a 工字钢，导向梁与立柱上横梁牢固连接，横梁为 3 根 I32a 工字钢，立柱之间用 I32a 槽钢做成剪刀撑和横撑，用以保证龙门架框架的整体稳定性。

如图 1 所示，龙门架屋面及侧面封板使用彩钢板进行全封闭处理，首先在地面上使用螺栓将檩条之间连接好，随后使用吊车吊运至龙门架预留位置，采用曲臂车配合人工使用自攻螺丝将彩钢板固定在檩条上。檩条为 40 mm × 60 mm × 3 mm 矩形管，龙门架立柱上预制钢板檩托，檩条与檩托之间采用 M12 螺栓^[1]。

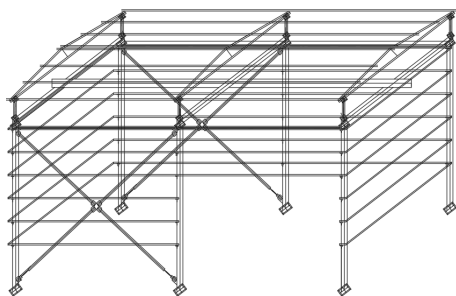


图1 立体剖面图

1.4 建模计算

使用 PKPM 软件建立模型并完成结构计算。

2 主体结构计算

2.1 结构模型概况

根据螺栓连接预制龙门架的设计结构信息，确定主体结构模型的总体信息如表 1~5 所示。

表1 总信息

设计结构	参数
构件自重/kg	4 064
混凝土密度/(kg · m ⁻³)	2 500
钢材密度/(kg · m ⁻³)	7 850
构件总数	16
节点总数	19
截面种类	2
材料种类	1

表2 设计信息

设计信息项目	参数
结构重要性系数	1.0
净截面系数	0.9
是否考虑构件自重	是
自重放大倍数	1.3

表3 风荷载信息

风荷载信息项目	参数
地面粗糙度类别	C
基本风压标准值 w_0 /(kN · m ⁻²)	0.45
风压高度变化修正系数 η	1
风振系数 β_z	1

表4 地震信息

抗震信息项目	参数
地震计算信息	计算水平和竖向地震
竖向地震计算方法	振型分解反应谱法
竖向地震作用系数底线值	0.1
设防烈度	8度 (0.2 g)
场地类别	II类
设计地震分组	第一组
抗震等级	二级
结构阻尼比	0.03
地震作用重力荷载代表值	恒荷载 (1) ; 活荷载 (0.5)

2.2 单工况内力、位移云图分析

根据实际应用情况，设定工况 5 个：恒载荷、

表5 节点坐标表

节点号	ID	X	Y	Z
1	1	0.000	0.000	0.000
2	2	0.000	0.000	7.000
3	13	0.000	3.000	7.000
4	4	0.000	6.000	0.000
5	3	0.000	6.000	7.000
6	16	3.750	3.000	7.000
7	7	7.500	0.000	0.000
8	5	7.500	0.000	7.000
9	15	7.500	3.000	7.000
10	6	7.500	6.000	0.000
11	8	7.500	6.000	7.000
12	18	11.250	3.000	7.000
13	11	15.000	0.000	0.000
14	10	15.000	0.000	7.000
15	14	15.000	3.000	7.000
16	12	15.000	6.000	0.000
17	9	15.000	6.000	7.000

活载荷、X向地震、Y向地震和竖向地震作用，运用PKPM软件建立螺栓连接预制龙门架模型，并进行内力云图、位移云图计算，如图2~图9所示，计算结果均满足设计规范、规程要求^[2]。

2.3 多工况组合内力云图分析

恒载荷、活载荷、X向地震、Y向地震和竖向



图2 恒荷载（含自重）工况轴力图（kN）



图3 活荷载工况轴力图（kN）

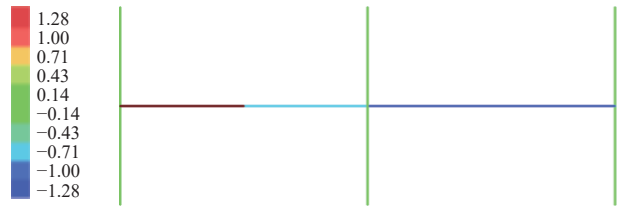


图4 X向地震工况轴力图（kN）



图5 Y向地震工况轴力图（kN）

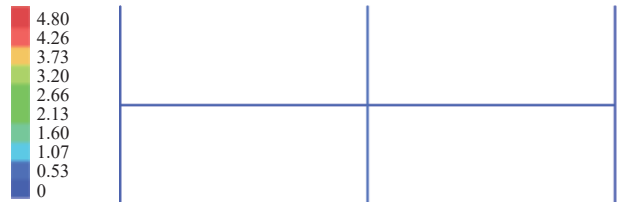


图6 竖向地震工况轴力图（kN）



图7 恒荷载（含自重）工况位移云图（mm）

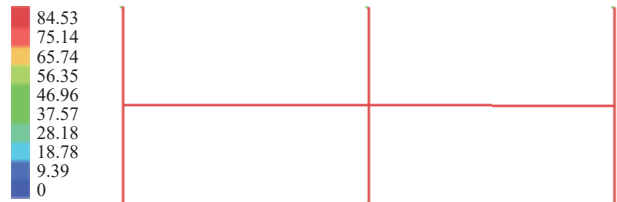


图8 X向地震工况位移云图（mm）



图9 Y向地震工况位移云图（mm）

地震作用5个工况，模拟现场施工应用场景，各工况乘以系数后两两或三个间相互组合，形成46种组

合模拟应用场景，再分别进行组合内力云图计算，结果表明模型的内力分布情况符合规范要求^[3-5]。其中，极限情况出现在组合 9、组合 10、组合 31、组合 32，仍能满足规范要求，各内力云图如图 10~图 14 所示。

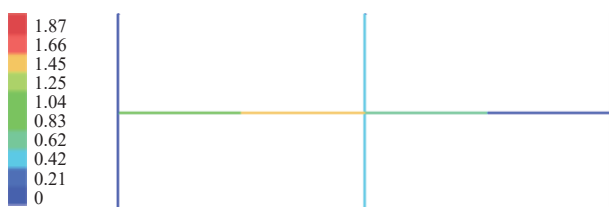


图10 竖向地震工况位移云图 (mm)



图11 组合 9: $1.2 \times$ 重力荷载代表值效应 $+1.3 \times$ X向地震 $+0.5 \times$ 竖向地震轴力云图 (kN)



图12 组合 10: $1.2 \times$ 重力荷载代表值效应 $+1.3 \times$ X向地震 $-0.5 \times$ 竖向地震轴力云图 (kN)



图13 组合 31: $1 \times$ 重力荷载代表值效应 $+1.3 \times$ X向地震 $+0.5 \times$ 竖向地震轴力云图 (kN)



图14 组合 32: $1 \times$ 重力荷载代表值效应 $+1.3 \times$ X向地震 $-0.5 \times$ 竖向地震轴力云图 (kN)

3 龙门架的应用

目前，姜庄湖 220 kV 输变电工程（沟道）项目 3#竖井龙门架已安装完成并投入使用，现总结了安装流程，具体内容如下。

3.1 龙门架安装整体流程

施工准备→龙门架部件安装→连接电葫芦检修平台及附属设施→安装挡土支撑及挡土钢板→龙门架试运行。

3.2 龙门架部件安装顺序

安装施工顺序为：地面组装立柱和横梁→按照顺序吊装立柱和横梁组合件→吊装导轨梁→吊装剪刀撑、连系梁。

在地面将立柱与横梁采用 M22 螺栓连接为组件，须严格控制横梁与立柱轴线垂直并居中。吊装组件至基础位置时，将其立柱底端连接钢板与基础预埋地脚螺栓连接。龙门架立柱安装过程中，如垂直度偏差不大，可通过底部增加垫块来调整，否则须将组件放平后对立柱底端进行加工处理。

吊装中间立柱，方法同两端立柱。严格控制立柱垂直度。

门框柱安装完毕后，安装导轨梁。在导轨梁顶部与横梁接触位置预制连接板，连接板与横梁采用 M22 螺栓连接。由于导轨梁跨度大，须使用两根（或多根）I36a 工字钢对接而成，连接处两侧对扣 20 mm 厚连接板，使用螺栓连接牢固。安装行走梁时，在安装行走梁先提前把电葫芦安装到比较长的一根。导轨梁吊装过程须平稳，期间信号工与吊车司机须使用对讲机随时沟通，协调一致。吊装前在导轨梁上事先进行捆绑缆风绳，用以牵引导轨梁吊运方向。

龙门架立柱上部纵向设置水平撑，水平撑采用 120 mm × 120 mm × 5 mm 方钢，剪刀撑及门框斜撑采用 12a 槽钢。水平撑、剪刀撑及门框斜撑与立柱接触位置预制连接板，连接板与立柱采用 M22 螺栓连接。

在龙门架一端设电葫芦检修平台，检修平台外侧设 1.2 m 安全护栏。龙门架出土一侧设置土仓，土仓骨架采用 I20a 工字钢预制而成。土仓立柱水平间距 2.3 m，高度 3.5 m，锚入地下深度 1 m。在距地高度 0.8 m、2.1 m 处设 2 道横杆，横杆与立柱螺栓连接。横杆内侧满铺 10mm 厚钢板。

在龙门架立柱外侧水平预制钢板檩托，钢板檩托与檩条之间采用 M12 螺栓进行连接。在地面上使用螺栓将檩条之间连接好，随后使用吊车吊运至龙门架预留位置，采用曲臂车配合人工使用自攻螺丝将彩钢板固定在檩条上，屋顶需加工成人字屋面。彩钢板封闭密实，板面之间搭接设置。待以上工作完成后，最后做龙门架调试检测工作。

3.3 验收内容

- (1) 金属结构有无开焊和明显变形；
- (2) 架体各节点连接螺栓是否紧固；
- (3) 架体的安装精度是否符合要求；
- (4) 安全防护装置是否符合要求；
- (5) 电气设备及操作系统的可靠性；
- (6) 信号及通信装置的使用效果是否良好清晰；
- (7) 钢丝绳、滑轮组的固接情况；
- (8) 提升机与输电线路的安全距离及防护情况；
- (9) 其他规定的检验项目；
- (10) 空载运行实验；
- (11) 额定载荷实验；
- (12) 超载 25% 实验。

4 主要优点

4.1 制造成本低

螺栓连接预制龙门架的构成件型号简单、统一，制造厂便于统一制造模具，大幅度降低龙门架构成件制作成本，并且便于制造过程中的质量监督，间接提升螺栓连接预制龙门架的成品质量。

4.2 运输方便

改进后通过螺栓连接结构，将行走梁部位分成两根并用螺栓连接，每段最长 8 m。运输时，选择普通 6.8 m 货车运输即可，可以减少运输过程中的成本。

4.3 安、拆简单，不损伤型材

传统龙门架安、拆须要使用电气焊，作业前须进行烦琐的施工准备，作业过程中会产生废气影响环境，并且增加了现场火灾、触电等安全风险。此外，在拆除过程中，往往会损伤型材，对后续使用产生影响，降低龙门架型材周转使用次数。

螺栓连接结构的龙门架可以解决上述问题。螺栓连接结构的作业前准备工作简单，操作人工只需要扳手和安全带即可。安拆过程无动火作业，绿色环保，安全可靠。拆除后不损伤龙门架的型材，可

按原设计位置重新安装，周转使用费用低。螺栓连接结构的龙门架安拆灵活方便、迅速，整体安、拆作业时间比传统龙门架短，施工速度快，节省人力成本，大幅度缩短工期。

4.4 使用过程安全可靠

传统龙门架的上下爬梯通过钢筋焊在龙门架立柱上，改进后的螺栓连接预制龙门架选择专业爬梯，再通过螺栓连接方式将专业爬梯与龙门架立柱连接。改进后的连接方式保证作业过程中的安全距离，使脚可以完全踩到爬梯上，避免传统龙门架爬梯踏板窄往往只能脚尖着落在踏板上，保证人脚不踏空，提高上下爬梯作业人员的安全系数。

螺栓连接预制龙门架对电力线路做了专门的穿线管，且穿线管设计位置统一。电力线路穿线管设计合理，满足电力安全操作规程规定，解决电力安全操作规程规定的施工现场临时用电电缆线现场布设要求。穿线管的设计避免了作业过程中电力线路暴露在作业环境中，降低了线缆破损引发的触电风险。

减少各类风险的同时，螺栓连接结构保证龙门架结构更稳定。

5 结束语

目前螺栓连接龙门架已经在电力工程实施，有效解决了现有龙门架运输困难、安装复杂问题，提高了作业效率，降低了现场作业风险，安装灵活方便，安装进度快。

后期通过采集现场使用过程的不足、不合理之处信息，持续改进完善。

参考文献

- [1] 濮良贵，陈定国，吴立言. 机械设计[M]. 2013. 北京：高等教育出版社，2013.
- [2] 徐格宁，杜蜀，李聚轩，等. 龙门吊机门架结构的有限元分析[J]. 起重运输机械，1997(1)：8-11.
- [3] 胡清志，王玉清，牛志立，等. 基于液压提升装置和龙门架的调相机吊装方法[J]. 中国电力企业管理，2020(10)：88-89.
- [4] 郑楚文. 谈箱梁出坑龙门架的设计及施工[J]. 科技创新导报，2009(5)：79.
- [5] 敬谦. 移动式龙门架的结构设计与分析[J]. 陇东学院学报，2016(1)：91-94.

作者简介

李海峰(1980—)，男，高级工程师，主要研究方向为电力系统安全管理、电力工程建设管理。

(责任编辑：刘艳玲)

一种通用固定式安全带悬挂装置研制

秦炜聪*, 度 琴, 罗 喆, 李 澎, 王延夫, 龙亦文, 徐 嵩, 付凯朋, 秦家军

(国网湖南湘潭供电公司, 湖南 湘潭 411100)

摘要: 近年来, 随着电网的快速发展, 对变电站设备进行检修时产生的问题日益显现, 在检修过程中, 由于各个变电站因设计施工或设备型号等原因, 变压器与线路CVT检修一直困扰着检修人员。由于基座的尺寸各有不同, 传统的安全带悬挂装置并不能完全适用, 以致于部分设备检修时不仅给现场作业人员带来极大的安全隐患, 也降低了检修工作效率。基于上述情况, 针对变压器套管与线路 CVT 的通用安装结构, 设计了一种质量小、安装简单、造价便宜且结构牢固的通用固定式安全带悬挂装置。

关键词: 变压器; 线路 CVT; 安全带; 安全带悬挂装置

中图分类号: TM507

Development of a Universal Fixed Safety Belt Suspension Device

QIN Weicong*, TUO Chen, LUO Zhe, LI Peng, WANG Yanfu, LONG Yiwen, XU Qiang, FU Kaipeng, QIN Jiajun
(State Grid Xiangtan Power Supply Company, Hunan Xiangtan 411100, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of the power grid, the problems arising from the maintenance of substation equipment have become increasingly apparent. During the maintenance process, transformer and line CVT maintenance has been a problem for maintenance personnel due to design, construction, or equipment model reasons. Because the size of the base is different, the traditional safety belt suspension device is not fully applicable. As a result, during some equipment maintenance, it is not possible to install a seat belt suspension device and do not wear a seat belt. The safety belt is tied to the pillar insulator, and risky operations may occur from time to time; The second is that the safety belt suspension device needs to be fixed by adding multiple cushion blocks at the limit screw bolts. The device is bulky, takes a long time to install, and is unstable to install. Not only does it bring great safety hazards to on-site operators, but it also reduces the efficiency of maintenance work. Based on the above situation, a universal fixed safety belt suspension device with lightweight, simple installation, low cost, and sturdy structure has been designed for the universal installation structure of transformer bushing and line CVT.

Keywords: transformer; line CVT; seat belts; seat belt suspension device

1 研究背景

据调查研究, 检修人员进行变电站内变压器套管、线路 CVT 等坐落在高处的设备检修工作时, 作业人员安全带只能绑扎固定在检修设备的绝缘子上。但是根据 Q/GDW 1799.1—2013《国家电网公司电力安全工作规程》第 18.1.8 条规定: “安全带的挂钩或绳子应挂在结实牢固的构件上, 或专为挂安全带用的钢丝绳上, 并应采用高挂低用的方式。禁止挂在移动或不牢固的物件上(如变压器套管绝缘子、

基金项目: 湖南省电力有限公司 2023 年度群创项目, 项目编号: 5216C022000N (国网湖南省电力有限公司科技项目资助)。

收稿日期: 2023-08-23

CVT 绝缘子、母线支柱绝缘子、避雷器支柱绝缘子等)”。因此, 将安全带直接绑扎在变压器套管、CVT、避雷器等设备支柱绝缘子上是违反安规规定的, 且存在一定的安全风险^[1-3]。

近年来, 针对变压器套管、线路 CVT 的通用安装结构, 设计了一种高处作业安全带悬挂装置, 检修人员作业时将其固定在变压器套管、线路 CVT 等设备的基座上, 即可作为安全带的固定点。但在实际使用过程中, 由于各个变电站因设计施工或设备型号等原因, 其设备基座的尺寸各有不同, 常用的一体式安全带悬挂装置(如图 1 所示)与分体式安全带悬挂装置(如图 2 所示)并不能完全适用, 以致于部分设备检修时: 一是无法安装安全带悬挂装

置，不系安全带、安全带系在支柱绝缘子等冒险作业的情况时有发生；二是安全带悬挂装置较笨重、安装时间长、安装不稳定，不仅给现场作业人员带来极大的安全隐患，也降低了检修工作效率。如何快速、稳固地安装安全带悬挂装置，是亟待解决的难题^[4-6]。

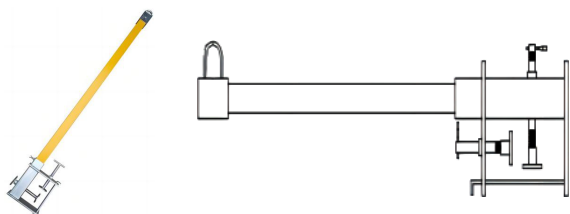


图1 一体式安全带悬挂装置

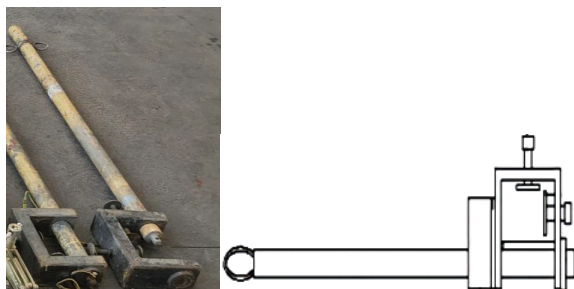


图2 分体式安全带悬挂装置

因此，本文基于变压器套管以及线路 CVT 设备型号尺寸，通过分析现状、寻找原因后，对各方面原因进行深入分析，决定研制“一种通用固定式安全带悬挂装置”，该装置具有安装方便、重量轻、结构稳等优点，能够极大地提高安装效率、保障作业人员安全。

2 研究思路

在此课题背景下，2022 年 12 月，结合 110 kV 瓦子坪变电站停电检修现场，针对变压器套管、线路 CVT 等不同类型设备检修工作，分别统计安装传统柱式安全带悬挂装置所需时长，结果如表 1 所示。

由此可见，传统的安全带悬挂装置存在装置笨重、部件模块较多、安装过程烦琐且安装不可靠等一系列缺点。

本文目的在于克服现有技术的不足之处，研制一种通用固定式安全带悬挂装置，装置全长

表1 对比实验所用时长统计

装置类型	设备类型	变压器	CVT
一体式安全带悬挂装置	是否须要加装垫块	否	是
	安装安全带悬挂装置时长/min	8	15
分体式安全带悬挂装置	是否须要加装垫块	否	否
	安装安全带悬挂装置时长/min	10	10

1 400 mm，挂杆设计为圆形，顶端装有安全带挂环，底端设计有登高杆与插销，插销能够插入底座，使得底座和挂杆之间能够固定连接，底座表面专设一个与线路 CVT 及变压器套管升高座法兰螺栓匹配的固定销，使安全带悬挂装置底座直接通过设备法兰螺栓固定在升高座上。

本文研究的装置具备登高杆方便检修；插销不须要对挂杆进行紧固；通过螺栓固定安全带挂架，底座安全可靠的特点。该装置研究具有以下 2 个难点：安全带悬挂装置应适用于不同型号的变压器套管与线路 CVT；安全带悬挂装置应安装可靠，防止出现松动现象，距离瓷瓶需有一定距离避免碰撞造成瓷瓶损坏等情况^[7-8]。

3 确定方案

3.1 结构及固定方式

该安全带悬挂装置针对于变压器套管及线路 CVT 此类设备，此类设备由于基座较高，传统的安全带挂架固定空间有限，故决定将安全带悬挂装置的固定点设置在设备基座上。通过对基座结构的研究决定将安全带悬挂装置设为底座以及可拆卸连接在底座上的挂杆^[9-10]。底座包括搭载在设备基座顶面的基板以及设于基板下方的卡勾，卡勾上设有能与设备基座底面抵接的紧固件。挂杆的底端与底座连接，挂杆的顶端设有挂环，基板的顶面中心对称布置有挡板，挂杆位于挡板的中间，挡板对挂杆的左右及前后限位，如图 3 所示。

3.2 材料选择

安全带挂杆的材料既要承重能力强，又要整体轻巧、易搬运，经过对比筛选找到 3 种材料，如表 2 所示。

由表 2 的对比分析可知，FR4 型环氧树脂管能



图3 通用固定式安全带悬挂装置

表2 安全带挂杆材料选用方案对比

选择依据		承重能力强，轻巧易搬运，成本适当		
材料型号		价格 (元/m)	材料密度 (g/cm ³)	抗拉、抗压、 抗弯强度设计值
玻璃钢	FRP-1	20	2.10	205
低合金高强度结构钢	Q345	60	7.71	295
碳纤维环氧树脂管	FR4	10	1.69	428

满足承重要求，并且其材料密度相对较低且强度合格，具有非常高的性价比。底座部分材质采用抗腐蚀、耐氧化的低碳热轧钢材材质强度均符合 ISO 认证要求^[1]。

4 具体实施方式

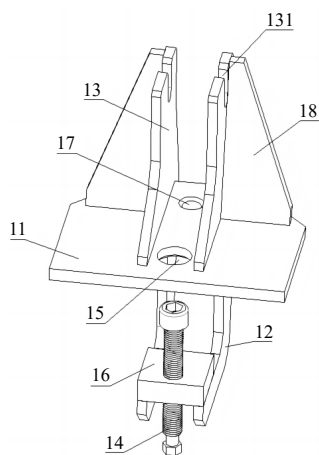
4.1 资料收集

根据传统柱式及拆分式可调节型安全带悬挂装置，以变电站内常见的变压器套管及线路 CVT 检修现场为参考模拟，设计一种可调节型安全带悬挂装置，装置全长约 1 400 mm，挂杆顶端装有安全带挂环，尺寸为 1 200 mm × 50 mm × 50 mm。

4.2 制作装置底座

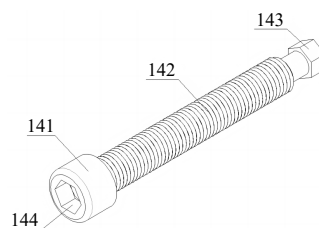
制作一个表面有挂杆插销孔，且专设有与线路 CVT 及变压器套管升高座的法兰螺栓匹配的固定销的底座，如图 4 所示。

紧固件如图 5 所示。



11-基板; 12-卡勾; 13-挡板; 14-紧固件; 15-通孔; 16-安装块; 17-插销孔; 18-加强板; 131-凹槽。

图4 装置底座



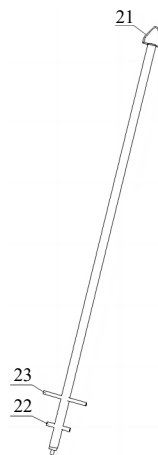
141-法兰头; 142-螺纹段; 143-手柄; 144-凹腔。

图5 底座紧固件

4.3 制作安全带挂杆

挂杆内部采用玻璃钢，外部采用高强度绝缘良好的碳纤维环氧树脂。玻璃钢具有重量轻、强度高的优点，因此能有效降低悬挂装置的质量，在高空安装的过程中更省力。

如图 6 所示，挂杆的顶端设有安全带挂环 21。



21-挂环; 22-限位杆; 23-登高杆。

图6 安全带挂杆

挂杆的底端与基板 11 连接，基板 11 上设有插销孔 17，挂杆的底端设有与插销孔 17 匹配的插销，在使用时，挂杆的插销插入至插销孔 17 中。

在挂杆的左右两侧设有登高杆 23。由于变压器以及线路 CVT 等设备太高，检修不方便，因此在挂杆上设计登高杆 23，方便检修人员对设备高处进行检修。在作业时，检修人员能够踩在登高杆 23 上对高处进行检修。

对安全带挂杆进行拉力试验检验安全带挂杆是否能满足承受作业人员高处跌落的质量要求，经现场试验证明，碳纤维环氧树脂方管的拉力试验合格，符合现场使用要求。

5 应用价值

可调节型挂钩式安全带悬挂装置现已在国网湖南湘潭供电公司响水坝、光华、麦子石、西湖等变电站进行现场使用，通过实践检修证明，该装置可有效保障人员作业安全，提高现场作业效率，减轻作业人员劳动强度，大大提升公司优质服务水平。该装置与其他安全带悬挂装置的效益对比如表 3 所示。

表3 通用固定式安全带悬挂装置效益对比表

	类型	一体式	分体式	挂钩式	通用固定式
使用情况	平均安装时长/min	10.0	12	5.0	1.0
	成本/千元	3.5	3	2.5	2.0
	质量/kg	10.0	5	7.0	4.5

通过表 3 可知，相比于其他传统的安全带悬挂装置，可调节型安全带悬挂装置可实现单人高效、安全的安装使用。其中，安装时长缩短至 1 min，相较于平均安装时长最短的一体式安全带悬挂装置，缩短装置安装时长 80% 以上，对设备进行检修时安全带悬挂装置安装时间控制在 2 min 以内。

安全方面：通用固定式安全带悬挂装置安装十分紧固，受力非常均匀，结构稳定、安全可靠。借助此工具，对设备进行检修的高处作业人员安全带将不再“无处可挂”，能够有效保障现场作业人员的人身安全，减少人员作业风险。同时，传统柱式

安全带挂架质量约为 12 kg，而通用固定式安全带悬挂装置质量仅为 4.5 kg，且可进行拆分，在高处安装过程中更省力，使用更方便。

6 结束语

本研究成果，有效地提升了在变压器套管、线路 CVT 等设备上进行检修作业时安装安全带悬挂装置的效率，减轻了作业人员劳动强度，保障了作业人员检修安全。根据现场经验得知，该装置在现场使用时挂环无法转动方向、装置安装位置固定导致作业人员移动范围较小等问题比较突出。后续将考虑安全带挂环是否可以制成万向型、装置是否可以拓宽便于作业人员高处移动等方面进行改进。

参考文献

- [1] 张宏伟, 宋燕. 35 kV 构架式设备安全带专用挂架的研制[J]. 电力安全技术, 2019, 21 (2): 36-41.
- [2] 张宏伟, 宋燕. 构架式设备安全带防护挂架的研制[J]. 电力与能源, 2018, 3 (5): 629-634, 636.
- [3] 刘斌. 110 kV 及以下设备检修安全带挂架[J]. 农村电气化, 2018 (5): 70-72.
- [4] 刘斌. 新型便携式检修安全带挂架的研究与应用[J]. 电力安全技术, 2018, 20 (4): 69-71.
- [5] 肖阳, 王资东. 大型变压器安全带悬挂装置的设计[J]. 大众用电, 2015, 30 (6): 35-36.
- [6] 周贵发, 邓昭辉, 赵健, 等. GW4-110 型隔离开关检修安全带挂架的研制[J]. 贵州电力技术, 2014, 17 (8): 17-18.
- [7] 周成. 变电站构架钢梁安全带悬挂装置的设想[J]. 湖北电力, 2008 (3): 14.
- [8] 劳锦富. 高压开关柜带电显示器检测工具的研制与应用[J]. 电气开关, 2021, 59 (6): 75-79.
- [9] 李文翰, 周宇琛, 陈阳, 等. 临边高空作业安全悬挂装置[C]//《施工技术(中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2022 年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(上册), 2022: 2.
- [10] 侯铁榜, 肖丽, 张建利, 等. 钢架施工安全带悬挂装置[J]. 设备管理与维修, 2013 (3): 62-63.
- [11] 徐华. 110 kV 隔离开关登高作业问题分析与解决[C]//云南电网公司, 云南省电机工程学会. 2011 年云南电力技术论坛论文集(入选部分), 2011: 10.

作者简介

秦炜聪(1997—), 男, 本科, 助理工程师, 从事变电一次检修工作。

(责任编辑: 刘艳玲)

500 kV 线路串联电抗器研究与应用

李峰*, 谢国栋, 刘成国, 张冬, 王瑞, 刘博宇

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 丰台 100073)

摘要: 由于500 kV 枢纽站数量增多, 短路电流水平也随之提高, 线路加装限流电抗器是限制短路电流的一种有效措施。以500 kV 线路串联电抗器工程为例, 分别研究了串联电抗器间隔的构成、编号规则、状态定义、倒闸操作的原则以及串联电抗器运维措施, 为今后线路加装串联电抗器装置提供借鉴。

关键词: 串联电抗器; 瞬态恢复过电压; 短路电流; 倒闸操作

中图分类号: TM47

Research and Application of Series Reactors for 500 kV Transmission Lines

LI Feng*, XIE Guodong, LIU Chengguo, ZHANG Dong, WANG Rui, LIU Boyu

(State Grid Beijing Electric Power Maintenance Company, Beijing Fengtai 100073, China)

Abstract: Due to the increase in the number of 500 kV hub substations, the degree of short-circuit current has also increased. Installing series reactors on the line is an effective measure to limit short-circuit current. In this paper, the composition, numbering rules, state definition, principles of switching operation, and operation and maintenance measures of series reactor intervals are analyzed, based on the 500 kV line series reactor project. The reference for the application of series reactors in transmission lines are provided.

Keywords: series reactor; transient recovery voltage; short-circuit current; switching operation

随着经济的增长, 电力系统快速发展, 电网间的联系日趋紧密, 短路电流水平逐步提高, 已经接近甚至超过断路器遮断容量。短路电流过大已经成为制约电网安全稳定运行的重要因素。电力系统限制短路电流的措施有: 增加断路器遮断容量、采用高阻抗变压器、提高电压等级分区供电以及采用串联电抗器等方式^[1-2]。在线路上加装串联电抗器是一种工程实施可行性高、技术成熟、操作简单且经济成本相对较低的措施^[3-4]。

本文结合双回500 kV 输电线路串联电抗器工程, 研究500 kV 线路串联电抗器原理及其倒闸操作规定, 并提出针对串联电抗器的相关运行维护措施, 为后续串联电抗器可靠稳定运行, 提供相关指导。

1 串联电抗器间隔构成

加装串联电抗器装置的500 kV 输电线路输电距离仅27 km, 为限制短路电流, 在该输电线路的一端加装串联电抗器, 串联电抗器安装于某500 kV 变电站站内。串联电抗器间隔示意图如图1所示。

由图1可知, 串联电抗器间隔包括50N1CK-6、50N1CK-67、50N1CK-617、50N1CK-2、50N1CK-27、

收稿日期: 2023-08-09

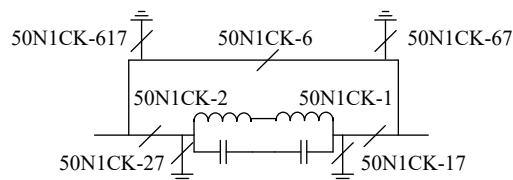


图1 串联电抗器间隔示意图

50N1CK-17、50N1CK-1、串联电抗器装置以及耦合电容器。串联电抗器间隔所包含隔离开关和接地刀闸的分合状态分别对应不同的串联电抗器状态, 具体状态定义将在下节阐述。500 kV 限流电抗器按结构划分为干式空芯电抗器、干式铁芯电抗器和油浸铁芯电抗器^[5]。由于铁芯式电抗器会出现磁饱和现象, 造成电抗值变小; 而空芯电抗器的电抗值为恒定值, 其限制短路电流的能力相较铁芯式更加稳定。限流电抗器按冷却介质划分为干式限流电抗器和油浸式限流电抗器。油浸式限流电抗器具有抗震性能好、抗污秽能力强等优点, 但是成本更高、电感值会波动, 此外油浸式电抗器需要外加冷却装置, 噪声大, 增加维护成本。综合多方面因素考虑, 本工程选用某公司生产的干式空芯限流电抗器, 其参数如表1所示。

表1 干式空芯限流电抗器参数

参数类型	参数值
额定电流/A	4 000
额定频率/Hz	50
额定阻抗/ Ω	14
系统最高工作电压/kV	550
冷却方式	空气自冷
相数	1
绝缘耐热等级	F

当线路发生短路时, 断路器分闸断开短路电流, 断路器动静触头分开后, 触头间产生电弧, 电弧电流过零瞬间, 电弧熄灭, 此时触头上产生瞬态恢复过电压 (transient recovery voltage, TRV)。如果瞬态恢复过电压过大, 将会造成绝缘介质击穿, 导致电流持续流过断路器, 对设备产生危害。为了限制线路两侧断路器在切断短路电流时的瞬态恢复过电压, 每相串联电抗器两端均并联一组耦合电容器, 本工程选用某公司生产的 TRV 电容器, 其参数如表 2 所示。

表2 TRV 电容器参数

参数类型	参数值
额定电压/kV	56
额定频率/Hz	50
额定电容/ μF	0.12
设备最高电压/kV	550
温度范围	-40~55 $^{\circ}\text{C}$

2 串联电抗器间隔编号规则及状态定义

2.1 串联电抗器间隔编号规则

该变电站 500 kV 侧采用二分之三接线方式。为方便日后倒闸操作, 须对串联电抗器间隔内设备进行编号。以一线 5031/5032 为例, 串联电抗器编号采用边开关与串联电抗器首字母相结合的方式命名, 即 5031CK; 串联电抗器两侧刀闸编号按照开关侧刀闸为-1, 线路侧刀闸为-2, 即 5031CK-1

与 5031CK-2; 串联电抗器接地刀闸编号开关侧为-17, 线路侧为-27, 即 5031CK-17 与 5031CK-27; 旁路刀闸编号为: 边开关与“-6”相结合, 即 5031CK-6; 旁路刀闸开关侧接地刀闸编号为-67, 即 5031CK-67; 线路侧接地刀闸编号为-617, 即 5031CK-617。

2.2 串联电抗器间隔状态定义

串联电抗器装置的状态定义如表 3 所示。以一线为例, 串联电抗器为 5031CK, 串联电抗器旁路刀闸为 5031CK-6, 串联电抗器刀闸为 5031CK-1、5031CK-2, 串联电抗器接地刀闸为 5031CK-17、5031CK-27。

表3 一线串联电抗器状态

串联电抗器状态 (5031CK)	旁路刀闸 (5031CK-6)	串联电抗器刀闸 (5031CK-1、5031CK-2)	串联电抗器接地刀闸 (5031CK-17、5031CK-27)
运行	断开	合入	断开
冷备用	合入	断开	断开
检修	/	断开	合入

其中-67、-617 刀闸为线路接地刀闸, 须根据检修范围要求下达逐项操作令, 不包含在串联电抗器综合操作令中。而串联电抗器在检修状态下, 旁路刀闸的分合取决于线路状态, 若线路须要转为冷备用或者检修, 旁路刀闸断开; 线路须要转运行状态, 则旁路刀闸合上。

3 串联电抗器间隔倒闸操作规定及运行维护措施

3.1 倒闸操作规定

以一线 5031/5032 为例, 串联电抗器闭锁如表 4 所示, 其中远方操作均具备“五防”联锁, 未特殊标注部分均具备电气联锁。串联电抗器两侧刀闸及旁路刀闸的拉合操作, 必须在串联电抗器所在线路停电的情况下进行; 串联电抗器两侧接地刀闸的拉合操作, 必须在串联电抗器两侧刀闸在分位状态下才可进行。当线路带电时, 不允许旁路刀闸和串联电抗器刀闸同时处于合闸的状态, 由于带电时, 旁路刀闸和串联电抗器刀闸之间未设置电气联锁, 因此将该项操作纳入现场运行专用规程, 并在微机

表4 一线串联电抗器闭锁表

操作目的	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5
5031 (5032) 分、合	5031CK-6分或5031CK-1、5031CK-2分				
5031CK-67分、合	5032-1分	5031-2分	带电显示器指示无电	5031CK-6分	5031CK-1分
5031CK-1分、合	5031分	5032分	5031CK-27分	5031CK-67分	5031CK-17分
5031CK-2分、合	5031分	5032分	5031CK-17分	5031CK-27分	5031CK-617分
5031CK-17分、合	5031CK-2分	5031CK-1分			
5031CK-27分、合	5031CK-2分	5031CK-1分			
5031CK-6分、合	5031分	5032分	5031CK-67分	5031CK-617分	
5031CK-617分、合	5031CK-6分	5031CK-2分			

“五防”上实现该项操作原则。串联电抗器如有特殊运行要求，应提前向调度书面报告。

3.2 维护措施

带串联电抗器运行的线路，在线路跳闸后，现场必须对串联电抗器外观进行检查，确认无异常后，方可带串联电抗器试送线路。此外，在安排串联电抗器检修工作时，现场运维单位除在停电设备中明确串联电抗器状态要求外，还必须同时明确线路状态要求（异常或故障处置时应由现场运行人员电话确认），否则均视为线路在退出串联电抗器后不恢复运行。由于该站汇控柜不具备操作串联电抗器刀闸、旁路刀闸及其相应的接地刀闸，且就地操作时操作机构在该刀闸正下方，因此正常操作时应在远方监控机操作，每项操作之后应立即到现场检查操作质量。此外，串联电抗器旁路刀闸线路侧无带电显示器，不具备直接验电条件时，应采取间接验电的方式，查看剩余电流表无电流值，并询问调度线路是否带电。

在串联电抗器运行过程中，须按照变电站巡视周期开展串联电抗器间隔巡视与测温工作。巡视过程中，应检查串联电抗器外观是否完整，表面是否清洁，无异常突起、无异物搭挂、无爬电痕迹、无油漆脱落等，散热处无异物堵塞通风道，金属部位无锈蚀、无变形裂纹，设备运行时声音正常。测温时，重点检查设备本体与接头部位，当发现串联电抗器本身温度超过 120℃ 或者不同串联电抗器之间温差较大等情况时，及时上报处理。日常须采用远程监控系统，实时监控串联电抗器设备是否存在异常现象，确保串联电抗器安全稳定运行。

4 结束语

本文结合双回 500 kV 输电线路串联电抗器工程，分别介绍了串联电抗器间隔的构成及其作用、编号规则、运行状态以及倒闸操作的原则。并对串联电抗器的运行维护工作提出相应建议，随着串联电抗器的投运，须要结合实际情况，采取更有针对性的运维措施，提高串联电抗器运行的可靠性，并为今后其他线路串联电抗器的应用提供参考。

参考文献

- [1] 殷可，高凯. 应用串联电抗器限制 500 kV 短路电流分析[J]. 华东电力, 2004, 32 (9): 7-10.
- [2] 李金忠，李芳，韩晶，等. 500 kV 母线串联电抗器对瞬态恢复过电压的影响及限制措施[J]. 高压电器, 2014, 50 (10): 63-69.
- [3] 余磊，杨春连，鲜万良. 500 kV 线路加装串联电抗器对线路保护的影响[J]. 水利电力, 2020 (12): 191-192.
- [4] 贾磊，蔡汉生，胡上茂，等. 500 kV 串联电抗器对线路断路器开断能力的影响研究[J]. 南方电网技术, 2014, 8 (6): 7-11.
- [5] 宋洋. 500 kV 线路串联电抗器的应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.

作者简介

李峰 (1996—)，男，助理工程师，主要从事变电运维工作。
谢国栋 (1990—)，男，工程师，主要从事变电运维与管理

工作。
刘成国 (1968—)，男，工程师，主要从事变电运维与管理

工作。
张冬 (1993—)，男，工程师，主要从事变电运维工作。
王瑞 (1995—)，男，助理工程师，主要从事变电运维工作。
刘博宇 (1996—)，男，助理工程师，主要从事变电运维与管理

(责任编辑: 刘艳玲)

智能无线互感器极性测试仪的研究与应用

董召强*, 郭永翔, 魏斌, 赵玉婷, 石家乐

(国网甘肃省电力公司天水供电公司, 甘肃 天水 741000)

摘要: 测试互感器极性是继电保护人员必不可少的重要工作程序, 针对目前互感器极性测试的问题, 研制一种新型智能无线互感器极性测试仪, 利用操作杆轻松实现试验导线的连接, 解决了传统引接试验线模式下人力物力耗用多、高空引接试验线危险性高的问题。通过无线遥控, 缩短试验时间, 提高极性测试质量。

关键词: 智能无线; 互感器; 极性测试仪

中图分类号: TM45

Research and Application of Intelligent Wireless Transformer Polarity Tester

DONG Zhaoqiang*, GUO Yongxiang, WEI Bin, ZHAO Yuting, SHI Jiale

(State Grid Gansu Electric Power Company Tianshui Power Supply Company, Gansu Tianshui 741000, China)

Abstract: Testing the polarity of transformer is an essential and important work program for relay protection personnel. In response to the current problem of transformer polarity testing, this paper develops a new intelligent wireless transformer polarity tester, which uses an operating rod to easily connect the test wires, solving the problems of high manpower and material resources consumption and high risk of high-altitude connection of test wires under the traditional test line mode. By using wireless remote control, the testing time is shortened while improving the quality of polarity testing.

Keywords: intelligent wireless; transformer; polarity tester

一般每年都会新增加许多大电力客户及变压器, 其计量柜内电流/电压互感器安装于离地 0.1~1 m, 深度 1.5~0.2 m 处, 工作人员在进行互感器试验时, 须将身体探入计量柜内进行接线, 而柜内计量设备布局较满, 操作起来难度较大, 有时还需要操作两三次才能将线夹连接到互感器。既费时又费力^[1-2]。对现有的工作流程进行逐个排查分析, 发现互感器试验工作中存在安全隐患, 工作小组每年要进行近 2 000 组次互感器试验, 并且工作人员与一次母线设备距离在 0.1 m 以内甚至接触, 存在危险因素^[3]。

因此, 须要研制互感器试验辅助装置, 解决目前变电站和大用户 10 kV 和 35 kV 高压室内不方便试验接线互感器的检定, 从而提高工作效率和人员的安全防护, 而试验最关键的环节在于试验装置与互感器在变电站柜体内人员时常无法有足够距离接线、同时一次接线能否良好接触^[4]。

1 智能无线互感器极性测试仪的原理和框架

智能无线互感器极性测试仪的工作原理如下。

将通断电测试部分在一次侧连接好, 二次侧电

信号接收部分连接好;

在无线接收和发射部分, 接通一键测试按钮, 通断电测试部分接收通断电无线信号, 开关进行通断操作, 二次侧接收部分接收电信号;

同时反馈给无线信号接收和发射部分, 判断互感器极性正负, 并显示正反信号。

智能无线互感器极性测试仪结构框架如图 1 所示。该智能无线互感器极性测试仪通过红外传输信号, 能够实现以下技术指标:

按下一键测试按钮, 能够在 1~3 s 内测试出互感器极性, 并显示在手持终端;

如果极性是负极性, 能够判断出 TV 和 TA 的 A、B、C 相具体哪一相接错, 并在手持终端上面显示;

该互感器极性测试仪 1 s 内发出 5 组测试信号, 4 组反馈信号相同显示测试结果, 否则重新发送测试信号进行测试。

2 智能无线互感器极性测试仪的组成

智能无线互感器极性测试仪由 4 部分组成: 接

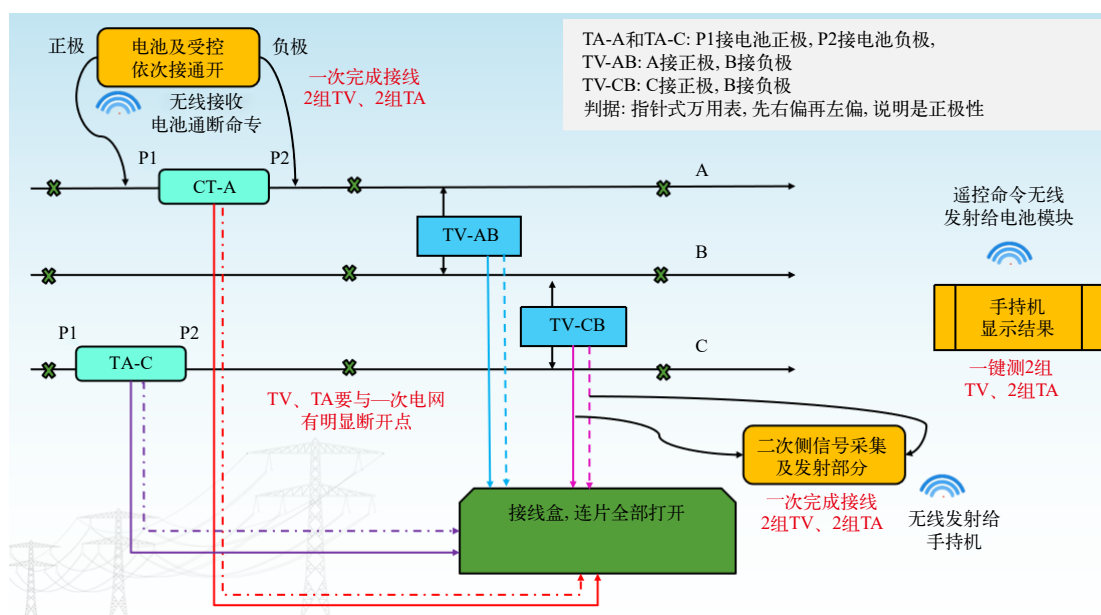


图1 智能无线互感器极性测试仪结构框架

线夹和操作杆、电源及信号检测电路、指示电路、装置外壳。主要部件介绍如下。

2.1 接线夹和操作杆

绘制了接线夹和操作杆的设计图，确定出了接线夹各部分的尺寸，按照设计尺寸，对接线夹个部件进行了加工，并进行组合，制作出完整的接线夹，如图2所示。测试发现，接线夹连接牢固，未发生松脱，操作杆可调节长度为2~3 m，满足地面操作2.5 m的要求。



图2 接线夹和操作杆实物图

2.2 电源及信号检测电路

通过光耦对信号进行识别、判断，并经输出触发单向可控硅进行保持，为单片机系统提供稳定的开入信号。绘制电源及信号检测部分的原理图，并对电路进行了仿真试验，经过试验电路功能可实现。对制作好的50个电路板进行测试，测试结果如表1所示。测试发现，50个电路板均满足要求。

表1 智能无线互感器极性测试仪电源及信号检测电路测试情况

测试项目	参考值/V	实际值/V	满足指标情况/%
工作电源	+5, -5	+4.90, -4.90	100
光电耦合器输出电压	+1.0~4.0	+2.5	100

2.3 指示电路

采用单片机控制指示，指示明显并且功率损耗小，可扩展性强。绘制出单片机及指示部分的原理图，完成了电路板的制作，同样对电路进行了仿真试验，经过试验电路功能可实现。对50只单片机的各输入输出端口电平值开展测试，发光二极管能可靠指示，如表2所示。

表2 智能无线互感器极性测试仪单片机的各输入输出端口电平值

输入端口	电平值/V	输出端口	电平值/V	指标满足率/%
P1.0	+0.2	P0.0	+0.2	100
P1.1	+0.2	P0.1	+0.2	
P1.5	+0.2	P0.5	+0.2	
P1.6	+0.2	P0.6	+0.2	

2.4 装置外壳

外壳与内部电路尺寸吻合、匹配，经过测量电路板和各种元器件尺寸，确定内部容积为230 mm ×

180 mm × 60 mm。因此，根据电路板和各种元器件的组装位置确定选用内部容积为 250 mm × 220 mm × 80 mm 的不锈钢饭盒作为装置外壳，对外壳进行了改装，将接线插孔、复位按钮、指示灯安装于不锈钢饭盒的顶盖处。并将所有的电路板组装在不锈钢饭盒内，如图 3、图 4 所示。

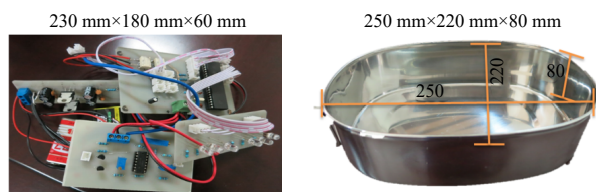


图3 装置外壳



图4 智能无线互感器极性测试仪实际使用图

3 应用效果

为验证装置有效性，以国网甘肃天水供电公司在建 110 kV 天宝变电站为对象，结合验收工作，对装置的使用效果进行检查，在现场使用过程中电路搭接可由接线夹完成，并且电源通断操作可通过遥控开关实现，不须要登高搭接和人员监护，只需两名人员即可完成测试，具有很好的安全性，避免登高触电危险。重新统计了使用新装置的极性测试时间，总平均用时仅为 12 min，提高了极性测试质量。

4 结束语

本文研制一种智能无线互感器极性测试仪，以单片机控制技术为核心，对各部分电路进行设计改装，制作出一种互感器极性测试装置。利用操作杆轻松实现试验导线的连接，解决了传统引接试验线模式下，多节操作杆连接费时费力，试验线杂乱、操作杆外引线易摆动等问题，节约人力物力，确保高空引接试验线的安全性。通过无线遥控，让遥控试验仪代替一组试验人员，原 2 组人员减少为

1 组，极性试验前完成一次侧三相引接试验线，缩短试验时间、又提高极性测试质量。

参考文献

- [1] 许继东, 聂鑫, 修瑞江. 一种基于示波表的电流互感器极性测试方法[J]. 农村电工, 2019, 27 (7): 34-35.
- [2] 许继东, 李晓辉, 宋柏岩, 等. 一种通用极性测试电路的研制[J]. 电力安全技术, 2018, 20 (9): 36-39.
- [3] 李敏. 某型 500 kV 电流互感器变比、极性测试遇到的问题及原因分析[J]. 科技风, 2017 (15): 22-24.
- [4] 赵仁秀. GIS 电流互感器极性测试方法探讨[J]. 科技创新导报, 2012 (11): 78-82.

作者简介

董召强 (1993—), 男, 硕士研究生, 工程师, 长期从事营销管理工作。

(责任编辑: 刘艳玲)

资讯

山西临汾公司：投运山西省首批智慧配电站房

2023 年 11 月 13 日，位于山西省临汾侯马市的新田府邸、智馨苑、银泰花苑智慧配电站房安全运行满 10 天，标志着山西省首批智慧配电站房成功投入运行。

2022 年 10 月，国网临汾供电公司积极规划配电站房建设总体目标，抽调专业技术人员进行系统的学习培训，解决在数据治理深化、新技术赋能等方面的基础数据问题，不断优化运行模式，推动项目落地实施。

智慧配电站房在小区配电室安装站域测控和辅控设备，通过智能巡检系统准确地监控配电室内的设备运行情况，及时预警设备故障，同时还可以远程控制配电站房内的灯光、风机、门锁，根据需要采取相应的措施，做到精细化管控。

目前，侯马市共有 45 个住宅小区，小区配电设施分布点多、面广，传统的管理模式完全依靠人工运维。将小区配电室建成智慧配电站房后，国网临汾供电公司可以 24 h 对配电站房内的电缆温度、变压器运行情况、局部放电等运行状态进行实时监测，对故障情况、故障范围进行实时研判，尤其在突发紧急状况时，该公司调控分中心还能通过远程遥控，快速处理故障点，极大提高了统筹资源调配和抢修指挥决策的精准度。

信息来源：国网山西省电力公司

浅谈变压器免维护呼吸器

李林华*, 薛冰, 霍天, 陈宇翔, 方文军

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 丰台 100073)

摘要: 作为经济性好、利用率高、安全性好的免维护型呼吸器逐渐应用到新建变电站中。文章主要讨论了传统型主变呼吸器以及主变免维护型呼吸器, 分别从原理、结构、功能等进行了详细地介绍。同时结合班组实际, 阐述了免维护型呼吸器的优点与不足。

关键词: 变压器常规型呼吸器; 变压器免维护型呼吸器; 变电站

中图分类号: TM421

Talk About Transformer Maintenance-free Breathing Apparatus

LI Linhua*, XUE Bing, HUO Tian, CHEN Yuxiang, FANG Wenjun

(State grid Beijing electric power company company maintenance branch, Beijing Fengtai 100073, China)

Abstract: As maintenance free respirators with good economy, high utilization rate, and good safety, they are gradually being adopted by more and more new substation main transformers. This article mainly discusses the traditional main transformer respirator and the main transformer maintenance free respirator, which are introduced in detail from the principles, structures, functions, and other aspects. At the same time, combined with the actual situation of the team, the advantages and disadvantages of maintenance free respirators are elaborated.

Keywords: transformer conventional respirator; transformer maintenance free respirator; transformer substation

主变呼吸器是重要的元器件, 它对变压器油的质量及可再生性起着至关重要的作用。目前, 某运维班所辖 17 座变电站共运行 110 kV 主变压器 42 台, 每台变压器运行配套呼吸器 2 套, 共 84 套, 其中常规呼吸器 76 套, 免维护呼吸器 8 套, 日常运行检查工作由某运维班运行人员负责。

1 变压器常规呼吸器

1.1 变压器常规呼吸器的原理

变压器呼吸器呼吸过程如下:

当主变温度升高时, 根据热胀冷缩原理, 变压器油的体积增大, 油枕中油位上升, 将其中的空气排出;

当主变温度降低时, 根据热胀冷缩原理, 变压器油的体积变小, 油枕中油位下降, 空气经变压器呼吸器进入变压器;

当吸入空气时, 空气会依次通过外部油杯、内部小油杯、装有硅胶颗粒的过滤筒, 其中油杯中油的主要作用是滤除空气中的水分和杂质, 硅胶颗粒将进入主变的空气进一步干燥。

1.2 变压器常规呼吸器的部件

变压器常规呼吸器的部件如图 1 所示。

收稿日期: 2023-08-10

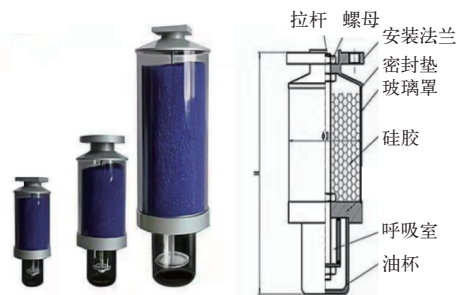


图1 常规呼吸器部件

作为呼吸器干燥剂的硅胶一般有 3 种颜色:

- (1) 白色。正常时显白色, 受潮时显浅黄色, 此种硅胶不可以再生;
- (2) 蓝色。正常时显蓝色, 受潮时显粉红色, 此种硅胶经过干燥处理后, 可以再生;
- (3) 棕色。正常时显棕色, 受潮时显浅绿色, 此种硅胶经过干燥处理后, 可以再生。

目前, 北京市电力公司 3 种颜色的硅胶均有使用, 用量最多的是蓝色, 其受潮时显粉红色^[1], 变为黑色说明硅胶吸油且失效, 不能够再生。当硅胶变色达到其整体的 1/2 时, 应列为一般缺陷, 当硅胶变色达到其整体的 2/3 时, 应列为严重缺陷^[2]。

1.3 更换变压器呼吸器硅胶

更换前准备工作: 办理第二种工作票, 重瓦斯保护由“跳闸”位置改投“信号”位置, 如果是调

压重瓦斯，还应申请退出变压器自动调分头装置，退出调压重瓦斯跳闸保护期间，禁止变压器调分头。

更换作业：拆除呼吸器油杯，拆除呼吸器，更换呼吸器硅胶，更换呼吸器变压器油。

验收：主变呼吸器的表面清洁、无脏污、无破损，油封刻度应满足要求；装置安装紧固，各部件无松动、无位移；呼吸器呼吸通畅，正常呼吸时，油杯中的油应有气泡；装有硅胶颗粒的过滤筒中硅胶量适宜；检查调压瓦斯保护无动作信号，再投入调压重瓦斯跳闸保护；最后申请投入变压器自动调分头装置。

2 变压器免维护呼吸器

2.1 变压器免维护呼吸器的原理

免维护型呼吸器与传统常规呼吸器最大的不同在于其装设有自动加热干燥部件，可自动去除硅胶干燥剂中的水分，使干燥剂长期保持在相对干燥的状态，且免维护型呼吸器的干燥剂可再生。

主变免维护呼吸器有2个核心部件：（1）湿度感应器。将湿度感应器设置适当的阈值，当干燥剂湿度达到设定值后，加热器开始工作，自动加热，去除硅胶干燥剂中的水分；（2）为防止湿度感应器损坏从而影响加热器自动加热功能，免维护型呼吸器还配备了定时器，通过设置适当的参数，可以定期进行加热，去除硅胶干燥剂中的水分。

变压器免维护呼吸器的部件如图2所示。

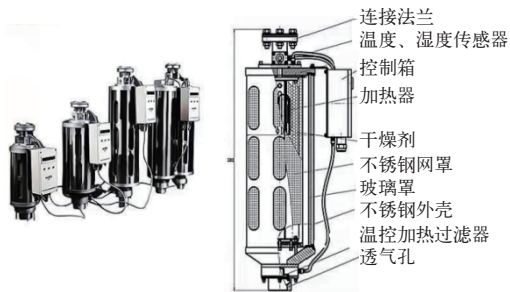


图2 变压器免维护呼吸器的部件

2.2 变压器免维护呼吸器的优势与不足

与传统的常规型主变呼吸器相比，变压器免维护呼吸器有着显著的优点：

经济性好。免维护，硅胶可再生；

减轻人员工作量。国家电网“两个替代”中明确指出设备应实用高效，减轻基层负担；

环境友好。很长一段时间内不用更换硅胶，避

免硅胶在更换、干燥、处理过程中对环境的影响^[1]；

提高电网稳定性。更换硅胶前，须停用重瓦斯保护，更换工作完成后，还须检查保护无动作信号后，才能将重瓦斯保护投入。现场工作中，很容易由于运维人员的疏忽，在有动作信号的情况下，将重瓦斯跳闸压板投入，造成主变开关跳闸。而免维护呼吸器则可以从根本上杜绝此类事故，从而提高电网运行稳定性。

目前主变免维护呼吸器工作状态只能通过其本体上的信号灯显示，若信号灯本身发生故障，则不能准确地反映出呼吸器的真实运行状态。某运维班所辖变电站的8套免维护呼吸器均不具备远程通信功能，不能远程传输信号给后台，无法实现呼吸器状态的实时监测^[3]。

2.3 对于变压器免维护呼吸器的展望

目前，变电运维班组正在大力推行变电运维数字化业务，对于免维护型主变呼吸器，针对变电运维专业发展趋势，有如下展望：

结合状态监测业务。使免维护呼吸器与油色谱装置相结合，不仅实现呼吸器免维护，还能实时监测变压器油以及油中溶解气体状态。

增加与监控后台通信功能。使免维护呼吸器各部分的运行状态能远程传输至后台，避免人工巡视时漏看异常状态以及状态灯异常损坏时不能及时发现缺陷，造成主变轻瓦斯甚至重瓦斯动作，扩大故障范围。

增加与巡视手机端的通信功能。打通一次与二次、设备与移动端之间的屏障，真正做到全流程数字化。

参考文献

- [1] 何春光, 姜龙, 陈先嘉. 主变压器呼吸器更换及运行维护研究[J]. 工业指南, 2018, 4(1): 116.
- [2] 国网北京市电力公司 组编. 变电站现场运行通用规程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2022.
- [3] 尹洪明. 变压器免维护呼吸器在变电站的应用[J]. 中国高新技术企业, 2017, 3(1): 55-56.

作者简介

李林华(1993—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事220kV及以上变电站运维。

霍天(1992—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事220kV及以上变电站运维。

(责任编辑:袁航)

500 kV 高压断路器打压频繁问题分析

刁兴逸*, 徐成西, 南洋, 夏博雅, 刘育武

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 丰台 100071)

摘要: 液压机构因其具备的众多优点被广泛应用于高压断路器中, 断路器频繁打压是液压机构断路器中常见的一种故障。文章针对一起500 kV 断路器频繁打压故障, 分析故障成因并提出相应的解决办法, 同时简要分析其他几种致使断路器频繁打压的可能原因。

关键词: 液压机构; 高压断路器; 打压频繁; 液压油

中图分类号: TM73

Analysis of Frequent Suppression of 500 kV Circuit Breakers

DIAO Xingyi*, XU Chengxi, NAN Yang, XIA Boya, LIU Yuwu

(State grid Beijing maintenance company, Beijing Fengtai 100071, China)

Abstract: Hydraulic mechanism is widely used in high-voltage circuit breakers because of its many advantages. Frequent pressure of circuit breakers is a common fault in hydraulic mechanism circuit breakers. This paper analyzes the influence of temperature on the pressure of a 500 kV circuit breaker, the causes of the failure, and puts forward the corresponding solutions. At the same time, it briefly analyzes several other possible reasons for the frequent pressure of circuit breakers.

Keywords: hydraulic mechanism; high voltage circuit breaker; frequent repression; hydraulic oil

高压断路器采用的液压机构, 因其体积小、输出功率大、传动平稳、动作速度快、可靠性高、维修方便的特点, 近年来被普遍应用于高压断路器中。相比其他种类断路器操作机构, 液压机构的构造较为复杂, 且机构中元件长时间处于高压状态, 故障概率相对较大, 其中断路器油泵频繁打压故障较多。

1 异常设备基本情况

某500 kV站5032断路器为OFPTB-500-63LB型号高压断路器, 2021年8月1日生产, 2022年9月29日投入运行。2022年11月29—30日, 站端监控机频发5032断路器油泵运转频繁报警, 断路器打压频繁^[1-2]。

2 故障原因分析

某500 kV站5032断路器油泵电机启停由压力开关63Q1控制, 随着油压降低, 波纹管收缩, 当油压表压力值低于31.5 MPa时, 压力开关节点闭合, 启动88M继电器, 一对节点上传当地计次信号, 记

收稿日期: 2023-08-15

录动作次数, 一对节点上传后台启动信号, 油泵电机启动, 开始打压; 随着油压增大, 波纹管伸张, 当油压表压力值高于33.5 MPa时, 压力开关节点断开, 油泵电机电源断开, 停止打压。

对5032断路器自11月29日9:00至11月30日9:00油泵计数器的打压次数进行比对, 一日内频繁动作193次, 油泵频繁启停。再对监控机报文发生时间进行比对, 存在多次告警与恢复间隔时间极短的情况。查询10月初监控机报文, 结合油泵实际运转过程, 正常情况下因油压过低引起的油泵运转时间应在10 s左右。因此判断油泵电机短时频繁启停原因是压力开关节点频繁开断。

现场对5032断路器机构箱内部观察发现, 机构箱内部空间较大, 内部温度较低, 与外界环境温度相差不大, 判断箱体保温性不良, 电加热装置对机构箱内温度影响较小, 如图1所示为断路器机构箱内部情况。

结合5032开关油泵运转频繁报警信号出现时间几乎分布于夜晚和清晨, 同时11月29—30日北京迎来寒潮, 温度骤降, 环境温度较低, 判断油泵电机频繁启停原因为机构箱内温度过低导致, 致波纹管

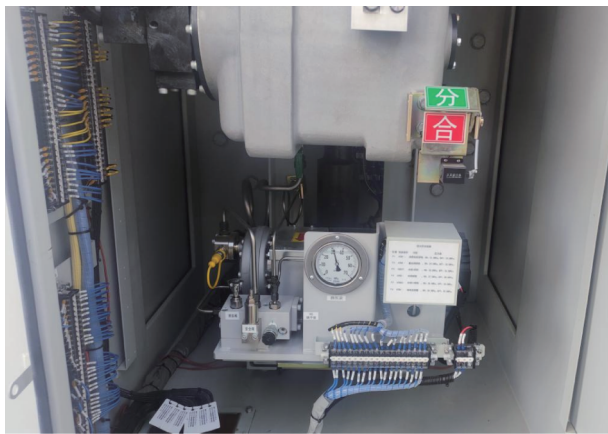


图1 5032 断路器机构箱内部情况

因热胀冷缩产生形变，使压力开关节点频繁通断而引起的油泵电机短时频繁启停。

结合现场及报文分析，建议解决方法是：（1）加强机构箱密封性，提高保温性能；（2）改善具有温控调节功能的电加热装置，保证在低温环境下机构箱内温度正常；（3）可以在波纹管与压力开关装置附近装设小型电加热装置，若（2）实现，此条可不考虑^[3-4]。

后续由工程公司负责更换 5032 断路器机构箱，经过更换后的机构箱密封性良好，故障消除。更换完成后进行机械特性试验，测量结果均保持在厂家要求范围内，设备恢复运行，经多次打压、泄压与分合操作，至今运行稳定。

3 断路器频繁打压故障其他可能原因

3.1 断路器液压系统存在内部泄漏问题

若在对断路器液压机构检修调试过程中未做到解体部件干净存放，致使液压油中出现杂质，则会导致杂质卡在密封圈上，高压腔内压力向低压仓释放，从而因内泄使压力降低引发频繁打压问题。

3.2 液压系统内部积聚气体

在经多年运行或操作比较频繁的断路器上，液压系统的油泵内部会积聚部分气体，导致液压系统的油压为虚压，使油泵不能有效将液压油从低压部分传到高压部分，从而减少油泵打压间隔时间，引起频繁打压。

3.3 信号原因

由于信号干扰或电源干扰等原因，使监控机误报打压频繁信号。

4 结束语

本文以某 500 kV 站 5032 断路器为例，对受温度影响下的断路器频繁打压问题进行了分析，并提出解决建议，同时对其他引起频繁打压的原因进行了概述。在变电站运行过程中，液压机构断路器经常出现打压频繁的故障，因此快速准确判断出故障原因，顺利排除故障，对电力系统安全稳定运行具有重要意义。

参考文献

- [1] 李佳震. 高压开关液压机构浅析[J]. 化学工程与装备, 2017 (244): 184-185.
- [2] 韩一霁, 张惠民, 王山虎. 220 kV 断路器液压操作机构频繁打压故障分析及处理[C]//中国通信学会. 第十八届全国青年通信学术年会论文集(下册). 国防工业出版社(National Defense Industry Press), 2013: 3.
- [3] 洪青云. 断路器液压机构故障原因及诊断处理方法[J]. 电气技术, 2010 (120): 82-83.
- [4] 莫锦儒. 液压机构故障的原因分析和处理[J]. 电力安全技术, 2005 (2): 11.

作者简介

刁兴逸(1999—), 男, 本科, 助理工程师, 主要工作方向: 变电开关一次设备检修。

(责任编辑: 袁航)

资讯

四川南充公司：水电气联办跑出服务“加速度”

2023 年 11 月 7 日，国网四川南充供电公司营销人员来到客户建设现场，为用电增容工程装表接电，同时，水、气接入工作也同步进行，这种“共享受理”模式缩短了业务办理时间，规避了因分别报装而产生的重复投资问题，助力企业降本增效。

从 2 月开始，国网南充供电公司探索构建“一窗联办+共享受理”模式，仅需 5 min，客户就能在联办共享窗口完成水电气报装申请的所有业务办理。

目前国网南充供电公司已为 64 户企业提供联合供应保障方案，企业办件时间平均减少 45% 以上、资料打印成本平均降低 33% 以上。

信息来源：国网四川省电力公司

城镇供配电网中电缆防火技术探讨

刘昊*, 李福生, 梁子俊

(国网北京市电力公司平谷供电公司, 北京 平谷 101200)

摘要: 做好电缆防火技术研究, 有助于城镇供配电网的稳定运行, 促进社会的和谐发展。文章探讨城镇供配电网电缆防火问题, 分析电缆火灾的形成原因, 并阐述几点关于供配电网电缆防火的技术选择。

关键词: 城镇供配电网; 电缆防火; 火灾原因

中图分类号: TM733

Research on Cable Fire Protection Technology in Urban Power Supply and Distribution Network

LIU Hao*, LI Fusheng, LIANG Zijun

(State grid Beijing electric power Company Pinggu power supply company,
Beijing Pinggu 101200, China)

Abstract: Conducting research on cable fire prevention technology is helpful for the stable operation of urban power supply and distribution networks and promoting harmonious social development. The article analyzes the causes of cable fires in urban power supply and distribution networks. Elaborate on several points regarding the selection of fire prevention technology for power supply and distribution network cables. Improve the level of fire prevention.

Keywords: urban power supply and distribution network; cable fire protection; causes of fire

当前, 城镇配电网的电缆敷设方式主要有隧道、排管、电缆沟、直埋等, 使得电缆长期处于潮湿的环境中, 导致电缆出现老化、腐蚀等现象, 进而诱发不同程度火灾情况的出现, 造成严重的经济损失。如何采取有效手段, 切实做好城镇供配电网中的电缆防火工作, 是现代电力从业者值得深度思考的话题, 本文对此进行探讨。

1 电缆火灾的形成原因

敷设电缆时所使用的填充物有较强的易燃性, 如果电缆通道里长期有易燃介质存在, 在电缆温度较高时, 周围介质将会遇热起火。此外, 电缆在运输及敷设过程中, 绝缘层可能遭到破坏, 这会降低电缆性能, 并在运行中可能产生严重的事故^[1]。

如果电缆通道在发生火灾后未及时采取有效的灭火措施, 火势将会快速蔓延, 对电缆绝缘层产生极大的破坏, 引发大面积停电事故。同时会产生大量有害气体, 即通常所说的二次危害, 二次危害不但会加大火灾破坏力, 还会对周围环境带来严重危

收稿日期: 2023-10-20

害, 其危害力要远超普通火源。正因如此, 做好城镇供配电网中电缆防火工作具有重要的现实意义。

2 城镇供配电网中电缆防火技术探讨

2.1 定期开展预防性试验

严格遵循相关规章制度, 安排专人定期对电缆开展预防性试验, 重点查看其实际运行状态。加强试验结果对比分析, 重点关注数据差异, 深入分析试验数据, 根据分析结果判断电缆是否存在隐患, 对电缆运行状况做出客观判断^[2]。此外, 电缆火灾往往由电力系统内部的绝缘出现老化或缺陷而产生, 因此运维人员须做好电缆巡检工作, 提前制定受损线路修复方案。

2.2 消除火灾隐患

及时清理电缆隧道和电缆管沟内的积水、杂物, 确保其处于干燥、整洁、通风的环境中。电缆隧道中的防火门, 要保持敞开状态, 这样做一是通风, 二是有助于火灾抢救与消散。此外, 强化智能井盖的维护, 避免人为将火种、易燃易爆品扔进电缆通道, 从而带来火灾隐患。

2.3 强化电缆头的监督管控

通常电缆头制作的质量会受到施工人员的技术水平、施工条件的影响，随着运行时间的增加，电缆头绝缘性能会越来越“弱”，为避免此类现象发生，在电缆敷设中，应尽量减少电缆头的数量，从而减少故障发生的风险。同时在电缆头的施工过程中，供电企业人员须强化过程管控，严格执行到岗到位制度及验收规范，安排专人监督，及时发现问题并妥善处理。

2.4 利用现代手段助力火灾防范

2.4.1 安装悬挂式自动灭火装置

悬挂式自动灭火装置因其体积小、自动感知、安装便利等特点被广泛应用于电缆通道灭火，目前主要以七氟丙烷和干粉灭火装置为主，其灭火原理是通过阀门的定温玻璃球受热膨胀而破裂，阀门因此打开从而释放灭火剂。目前随着技术的发展，电引发启动灭火装置已应用于生产中，作为火灾报警控制系统中重要的组成部分，当发生火灾时，火灾探测器探测到火情，经火灾报警控制器确认并发出灭火指令，相关电子动作信号接通消防电源至灭火装置上的电子启动器，从而使玻璃球受热破裂，灭火剂通过喷头喷出，达到灭火的效果。

2.4.2 加装防火隔板及防火槽盒

为防止电缆火灾蔓延，通常在每层电缆支架加装防火隔板，在电缆中间头处加装防火槽盒，这样可以较大程度地阻止火灾向电缆支架其他层蔓延，减少起火造成的破坏范围。此外，防火隔板加装方便，造价低，阻燃效果好，广泛应用于电缆通道。2020年12月国网平谷供电公司在220 kV鱼子山变电站10 kV出站隧道加装防火隔板，提升了该隧道的防火能力，如隧道内发生火灾，可有效隔绝热能，降低火灾对隧道结构和附属设施的影响。此外，若隧道内线路发生单相接地故障，可带电查找故障点。

2.4.3 加装防火毯

在电缆密集处、电缆井壁、拐角等位置的中间接头，无法加装防火盒，这时可选择加装防火毯来提高防火的安全性。电缆防火毯可有效阻止火焰蔓延，防止火灾扩散，保护电缆不受火灾影响。在日常使用过程中，还须定期检查防火毯的完好性，如有破损应及时更换，确保防火毯性能不受损。另外

应根据电缆的类型和长度，选择适合的防火毯。

2.5 在电缆沟内设置防火墙

把电缆线路分别引进到控制室以及配电室中，充分运用有机材料，对入口进行封堵处理，或是进行隔离处理，隔离时使用防火胶带包缠处理。可在电缆沟内每60 m设置防火墙，把防火材料涂抹在防火墙两边的电缆表面，防火胶带缠绕至电缆线路的表面，其自黏性比较强，并且长度不低于1.5 m。这样起到一定隔离与保护作用，提高电缆沟及电缆线路的安全系数，促进供配电网的可靠运行。

2.6 强化电缆敷设工艺

为避免电缆起火燃烧，电缆敷设时应尽量避开热源、气源。禁止电缆全线平行敷设在热管道、燃气管道上方或者下方，敷设的电缆之间尽量避免交叉或叠放，如需要交叉敷设，须做好防火措施。直埋敷设时，注意电缆之间留有裕度，禁止在同一电缆沟道中敷设多根电缆。

3 结束语

城镇供配电网是满足城镇居民用电需求的重要环节，在企业生产、社会发展中，其作用十分重要。要保证城镇供配电网的稳定运行，我们需要从安全角度出发，正确认识到电缆火灾带来的影响与危害，根据火灾的形成原因，采取针对性的防范策略。定期开展预防性试验，切实做好火灾隐患、电缆头以及防火墙管控，灵活选取多种灭火技术，提高火灾防范水平。

参考文献

- [1] 田海军，穆赞，王婵琼. 电力管道沟通信光缆的防火防护[J]. 中国新通信，2021，23(4)：11-12.
- [2] 杨秀友. 基于案例分析的电缆防火技术研究——评《电力电缆防火技术与案例分析》[J]. 中国科技论文，2019，14(10)：1164.

作者简介

刘昊(1996—)，男，本科，助理工程师，主要从事电缆及站室维护工作。

李福生(1972—)，男，本科，工程师，主要从事电缆及站室运行管理工作。

梁子俊(1992—)，男，研究生，工程师，主要从事电缆及站室运行维护。

(责任编辑：袁航)

换流阀冷却系统自动模式信号退出导致换流阀闭锁问题处理

冯鑫^{1*}, 袁立敏², 霍天¹, 文欢³, 张竞言¹, 段歌¹

(1. 国网北京市电力公司, 北京 西城 100031; 2. 中国人民解放军战略支援部队航天工程大学士官学校, 北京 昌平 102249; 3. 新疆农业大学计算机与信息工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830056)

摘要: 换流阀冷却系统是直流输电工程中极其重要的辅助设备, 它的安全可靠运行是维持换流阀可靠运行的必要保证。随着换流阀冷却系统在换流站的受重视程度不断加大, 同时因辅助设施导致换流站闭锁的不可容忍性加大, 促使各换流站逐步开展一轮又一轮的闭锁排查。通过对单一元件的闭锁排查, 发现某单一元件会导致换流站单极闭锁, 对该现象进行分析及复现, 对此单一元件造成的隐患进行整改。

关键词: 换流阀冷却系统; 单一元件; 闭锁排查

中图分类号: TM503

The Automatic Mode Signal of the Cooling System of the Converter Valve Has Exited, Causing the Converter Valve to Lock

FENG Xin^{1*}, YUAN Limin², HUO Tian¹, WEN Huan³, ZHANG Jingyan¹, DUAN Ge¹

(1. State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing Xicheng 100031, China; 2. Non-commissioned Officer School of Aerospace Engineering University of the Chinese People's Liberation Army Strategic Support Force, Beijing Changping 102249, China; 3. School of Computer and Information Engineering, Xinjiang Agricultural University, Xinjiang Urumqi 830056, China)

Abstract: Converter valve cooling system is an extremely important auxiliary equipment in the DC power transmission project, and its safe and reliable operation is the necessary guarantee to maintain the reliable operation of the converter valve. With the increasing attention paid to the converter valve cooling system in the converter station, the intolerance of converter station lockouts caused by auxiliary facilities has increased. Promote each converter station to gradually carry out round after round of lock investigation. It is found that a single element can lead to a single pole block in the converter station through the locking investigation of a single element. At the same time, this phenomenon is analyzed and repeated, and finally the hidden danger caused by this single element is rectified and eliminated.

Keywords: converter valve cooling system; single component; lockout investigation

0 引言

随着直流输电技术的快速发展, 换流阀在直流输电系统中的作用愈加重要^[1], 保证换流阀可靠运行是直流输电的关键所在^[2], 换流阀冷却系统是换流阀的一个重要组成部分, 其作用是将阀体上各元器件的功耗发热排放到阀厅外^[3], 保证换流阀运行温度在正常范围内。换流阀冷却系统单一元件闭锁排查中涉及多个传感器, 包括进阀温度传感器、冷却水流量传感器、进阀压力传感器、膨胀罐(缓冲罐)液位传感器。本文论述的是设备进厂开展验收时发现的严重缺陷, 与传统闭锁排查略有不同, 而

收稿日期: 2023-08-23; 修回日期: 2023-11-03

是换流阀冷却系统采用 PLC 控制模式时配置的一个手动自动模式钥匙开关。

在国内换流站开始投入生产到现在, 因辅助设备导致换流站单极停运是很不应该的, 所以从可研阶段到基建阶段, 从竣工验收到投运生产, 各个层级对换流阀冷却系统都加大了管理力度。生产换流阀冷却系统的多个厂家也在同一个换流站内进行互相对比, 去粗取精, 面向运行人员的换流阀冷却系统界面趋于友好, 运行人员可进行的操作也基本类似, 确保不会因换流阀冷却系统厂家出厂的设备差异导致操作出现意外。

目前换流阀冷却系统的大多数设备都为双套配置, 可实现在线进行换流阀冷却系统检修工作, 对

整个换流阀冷却系统正常运转不会产生影响，例如换流阀冷却系统的主用主过滤器堵塞，可通过备用主过滤器和阀门的开闭实现在线清洗，避免了主网临时停运的可能性；更是将那些会导致系统跳闸的元器件增加了冗余，通过前期隐患排查避免后期缺陷产生。

1 结构及原理分析

换流阀冷却系统是为换流阀散热进行服务的，换流阀冷却系统不仅需要换流阀闭锁后才能停运，而且还要在换流阀带电前进行试运行。手动自动模式钥匙开关具有强制停运换流阀冷却系统的功能，是一个处于整个换流阀冷却系统中最高优先级的逻辑判定。换流阀冷却系统通常情况下为自动模式状态，即换流阀冷却系统正常运行状态，保持换流阀冷却系统正常运转，为换流阀散热。手动自动模式钥匙开关切换的中间状态为切除状态，通常为换流阀停运后，换流阀冷却系统大型检修时使用，是检修人员将换流阀冷却系统断电的最安全方式，防止因软件问题导致停机不彻底，引发检修人员人身安全。手动模式为调试状态，通常用于厂内试验、厂内验收、中间验收、竣工验收及移交运行单位前的调试工作期间使用。而自动模式与手动模式切换的过程中必须经过中间切除状态，类似于一刀三掷开关，无法跳跃节点。手动自动模式钥匙有专门防误保管，钥匙只有在停电检修期间才能使用。

当手动自动模式钥匙开关自动模式档位接线松动时，换流阀冷却系统向极控上报“系统跳闸”，经事件原因分析及查找，确认系统跳闸是由于手动自动模式钥匙开关自动模式档位接线松动导致，并对该跳闸事件进行了复现、确认。手动自动模式钥匙开关如图1所示。

该信号线松动导致系统运行过程中自动模式信

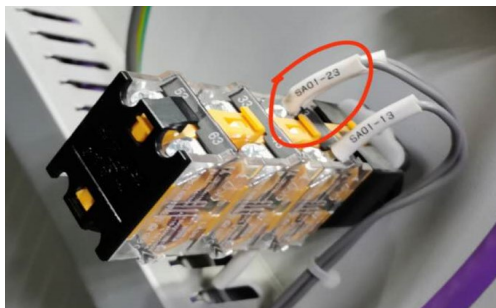


图1 手动自动模式钥匙开关

号丢失，系统逻辑判断为手动自动模式钥匙开关调至切除档位，停运系统并出口跳闸请求信号。

自动模式信号由手动自动模式钥匙开关自动档位触点经继电器扩展为2路开关量信号，分别接入换流阀冷却系统的控制冗余IO系统。触点接线松动导致该继电器线圈失电，触点断开，自动模式信号丢失，系统逻辑判断为手动自动模式钥匙开关调至切除档位，停运系统并出口跳闸请求信号。

2 总结

换流阀冷却系统经过此次误动后，检修人员对本套换流阀冷却系统进行全面地闭锁排查，对换流阀冷却系统的所有接线端子进行了跳闸因素排查，确认该开关是导致系统停运、出口跳闸的元件，其他单一信号断线或信号丢失均不会直接导致出口跳闸。整改具体措施如下。

对本套换流阀冷却系统松动接线进行紧固，后期对本套换流阀冷却系统所有其他接线回路进行紧固，避免同类问题再次出现。同时在每次站内例行工作中对换流阀冷却系统全部二次接线端子进行测温，如有异常，则对接线进行紧固及跟踪测温；此外，每成年检及大修技改工作结束后，要求工作班组对换流阀冷却系统全部二次接线进行紧固。

对自动模式信号进行逻辑防误动处理，在原有程序逻辑中增加以下判断条件：在换流阀解锁信号存在情况下，自动锁定自动模式信号，手动自动模式钥匙开关的档位变动不再复归该信号，防止换流阀解锁情况下发生误动情况。若换流阀解锁情况下再次发生接线松动，导致自动模式信号丢失，将不再停运系统并请求跳闸，而是继续保持运行，待就地停止换流阀冷却系统后，再次对自动模式信号进行逻辑判断。

参考文献

- [1] 杨柏森, 任海莹, 孔德卿, 等. ± 500 kV 柔性直流换流阀冷却系统方案设计[J]. 电气应用, 2021, 40(1): 83-90.
- [2] 魏霖. 适应多端柔直电网极限生存性要求的快速纵联保护研究[D]. 三峡大学, 2020. DOI: 10.27270.
- [3] 付和平, 陈杰, 邱瑞昌, 等. 电力电子变流装置散热器状态智能预测方法[J]. 电工技术学报, 2021, 36(20): 4350-4358.

作者简介

冯鑫(1990—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事换流阀冷却系统研究工作。

(责任编辑:袁航)

农村家庭触电保护系统的研讨

郭行干

(水利部农村电气化研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要: 农村家庭用电安全是我国电气安全的重中之重, 目前我国有2个不同的标准在执行中。第一个是DL/T 736—2021《农村电网剩余电流动作保护器安装运行规程》, 第二个是GB 55024—2022《建筑电气与智能化通用规范》, 本文分析这2个标准的异同和优缺点。

关键词: 农村家庭; 用电安全; 剩余电流动作保护

中图分类号: TM76

Discussion on the Protection System for Electric Shock in Rural Households

GUO Xinggan

(Water Conservancy (electricity) Rural electrification Research Institute, Zhejiang Hangzhou 310012, China)

Abstract: The safety of rural household electricity is the top priority in China's electrical safety. Currently, there are two different standards being implemented in China. The first edition is DL/T 736-2021 "Installation and Operation Regulations for Residual Current Operated Protectors in Rural Power Grids" released by the National Energy Administration in 2021. The second edition is the GB55024-2022 "General Specification for Electrical and Intelligent Building" issued by the Ministry of Housing and Urban Rural Development. This article analyzes the similarities, differences, and advantages and disadvantages of these two standards.

Keywords: rural households; electricity safety; residual current action protection

电气化是现代文明的基础, 这基础的基础就是电气安全, 其中农村家庭电气安全是重中之重。目前我国有2个不同的标准在执行中。第一个是国家能源局发布的DL/T 736—2021《农村电网剩余电流动作保护器安装运行规程》(以下简称D规); 第二个是住建部发布GB 55024—2022《建筑电气与智能化通用规范》(以下简称G标)。这2个标准在基本要求上是有矛盾的, 例如, 现在农村是依据D规, 用户的进线是相线和中性线共有进线2根; 如依G标准, 则是相线、中性线和PE(地线)3根进线。本文分析这2个标准的异同和优缺点, 探讨如何改进是正确的。

1 西方电气安全保护的变迁

当电器内部故障时, 使外壳带电, 人们接触电器外壳就有危险, 这时希望保护系统能起作用。西方是从先TT系统发展出TN系统, 以后有弥补漏洞的措施, 下面分别叙述。

1.1 TT系统

TT系统是最早的保护系统, 由2个部分组成:

收稿日期: 2023-09-12; 修回日期: 2023-09-20

接地部分和保护开关, 如图1所示。这是由电源中性点的T1和被保护电器的T2组成, 其电阻分别为 $4\ \Omega$ 和 $10\ \Omega$ 。

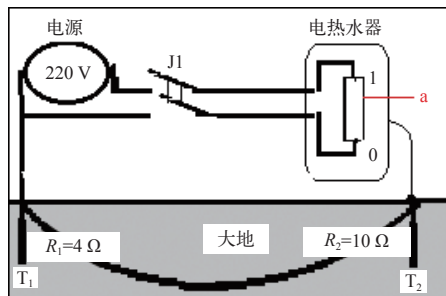


图1 TT系统保护图

保护开关J1。目前农村家庭常用的是16~32 A的断路器, 它的快速跳闸电流48~160 A。

TT保护系统的安全准则是: 电器在发生内部故障时, 当外壳带电压 U_j 大于50 V时, 必须在0.4 s内跳闸, 使触电人的人身安全得到保障。

这里有4个参数是互相关连, 它们的取值分别为: $R_1 = 4\ \Omega$, $R_2 = 10\ \Omega$, $U_j = 50\ \text{V}$, $T_0 = 0.4\ \text{s}$ 。

现在以常见的电热水器为例进行安全核算。假

设电热水器的参数如下：功率 1 000 W，供电电压 $U_0 = 220 \text{ V}$ ，额定电流为 $I_n = 4.54 \text{ A}$ ，则加热管的电阻为 48.4Ω 。

现在进行故障下的核算，被验证的电热水器发生碰壳接地故障。当 $X = 1$ 时，外壳带电压为 220 V，当 $X = 0$ 时，外壳带电压为 0 V。现设 $X = 1$ 时发生碰壳故障，则外壳电压为 220 V，计算得接地短路电流 $I_k = 220 / (10 + 4) = 15.7 \text{ A}$ 。

若 I_k 太小则不能使 J1 满足在 0.4 s 内跳闸的条件。

再以 50 V 准则进行核算。 $I_n = 50 / (4 + 10) = 3.6 \text{ A}$ 。达到 3.6 A 时要求保护开关 0.4 s 内跳闸的要求，此时 J1 的额定电流只能是小于 1.8 A，这么小的开关是不常见、不常用的。

以上分析得出：TT 系统在一般情况下不能满足要求。

1.2 TN 系统

TN 系统是西方在 TT 系统基础上改进的，参见图 2。TN 系统中增加 PE 金属导线，它连接中性点和电热水器的外壳，设为 R_{pe} 电阻为 0.5Ω 。

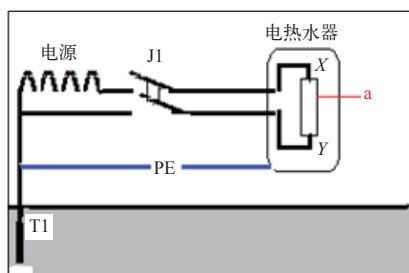


图2 TN 保护示意图

设故障下外壳上的电压 $U_j = 50 \text{ V}$ 时，则短路电流 I_k 为： $I_k = 50 / 0.5 = 100 \text{ A}$ 。此值大于电器的开关的快速跳闸电流 46~80 A，这是满足要求的。

结论：TN 系统比 TT 系统有改进，外壳电压 50 V 以上时能快速跳闸。但在潮湿地方（例如浴室等）仍是不够安全的。这要求 J1 和 PE 线必须完好无损，但这在长期运行中难做到。

在同一户内乃至同一单元的用户是使用同一根 PE 线。一台设备发生接地，因其中的一台 J1 有故障切断不及时，例如，当 $U_j = 30 \text{ V}$ 时， $I_k = 30 / 0.5 = 60 \text{ A}$ ，此值有可能使 J1 不能快速跳闸，则故障电压会扩到本单元其他设备上去。这时用户有“麻电”现象，但一般不会有人身安全问题，如果有人洗澡

则会有生命危险。

1.3 在 TN 系统上增加触电保护器

西方从 20 世纪末至 21 世纪初，开始在家庭中推广触电保护器，并依其物理原理正式命名为剩余电流动作保护器，符号为 RCD。当动作电流 $\leq 30 \text{ mA}$ 时，可实现直接接触保护，因此将动作电流 $\leq 30 \text{ mA}$ 的剩余电流动作保护器也可简称为“触电保护器”。在 TN 系统上加装 RCD，参见图 3。RCD 是由剩余电流互感器、电子控制器及开关 3 部分组成。电器外壳用 PE 线和变压器中性点连接，这样在外壳上若出现 10 V 电压，就会产生接地剩余电流为 $I_k = 10 / 1 = 10 \text{ A}$ 。

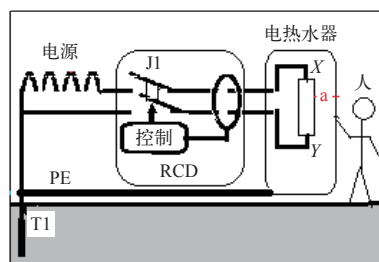


图3 TN + RCD 系统

这比 TN 系统在安全上有重大进步，另外，IEC 标准规定使用 RCD 后必须保留 TN 系统。其原因是 RCD 有一定的损坏率，万一坏了电器就失去了保护，因此必须保留 TN 系统保护。

1.4 西方家庭触电的等地位保护

TN + RCD 系统在实际应用中取得很好的效果，但运行中又发现一个新情况：如果 PE 线断或接触不良，或同单元中某用户 RCD 失效后，则会发生危险，电压会沿 PE 线传播至全楼的其他电器外壳上，这使家家有“麻电”现象。如果此时若有人洗澡，则很容易发生事故。

应对办法之一是在各用户的 RCD 旁边的 PE 线上加装一只保护器。在正常情况下，PE 线上无电流通过，一旦有电流通过，说明有故障，应立即将 PE 线及相线、中性线切断；但传统要求在 PE 线上不准安装开关，以防止断线。

IEC 推荐的另一办法是将用户的 PE 线和本户建筑物的钢筋连接，这样电机外壳、PE 线以及钢筋等三者是等电位。这类似一个钢筋组成的法拉第笼，人在笼内就可以避免触电事故。这在一定程度上减少了事故，但仍有风险。

2 中国特色的触电保护系统

中国农村电气化最初是由农民集资办起步的。限于历史条件，一切因陋就简。采用的 TT 系统，T1 有，T2 实际上没有，因此事故频发。在 20 世纪 70 年代初，这引起了国务院重视，责令水电部履行政府职能，降低了触电事故。水电部先是建立村乡县市省部的多级统计监察系统，后在杭州设立农村电气化研究所，大力推广触电保护器，并且编制 SD 219—1987《漏电保护器农村电网安装运行规程》，规程的基本原则是实行分级触电保护，后改为 DL/T 736—2021《农村电网剩余电流动作保护器安装运行规程》，但原则没有改变。水电部双管齐下，使事故逐年下降。这彰显我国的组织能力，这个过程分如下几个阶段。

2.1 初期总保阶段

当时由于经济条件的限制，只能从总保开始，见图 4，这是在中性点接地中串入电磁铁。当漏电电流大于 30 A 时，电磁铁将总开关断开。这虽是小投入，但减少了很多事故的发生。这个装置的缺点是一旦有故障，全村停电，供电可靠性大大下降。

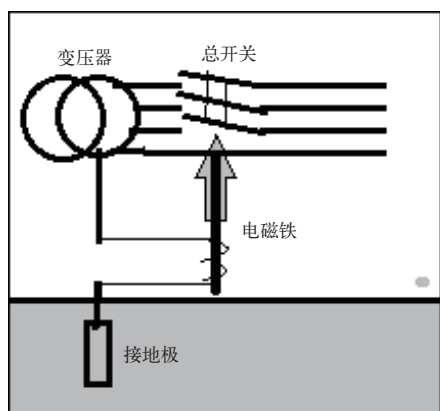


图4 初期总保阶段

中西方在推广 RCD 上是不同的。西方是从末级保护开始发展的，中国是从总保上开始的。

2.2 推广家保阶段

改革开放后，农村富裕起来，消费能力大大提高，安全意识加强，政府也加大投入，开始改进保护系统，如图 5 所示，是采用 RCD 来实现家庭安全保障。目前我国家庭的 RCD 规定动作电流为 30 mA，能满足直接接触的要求。推广后的效果较好，但存在 2 个缺点：

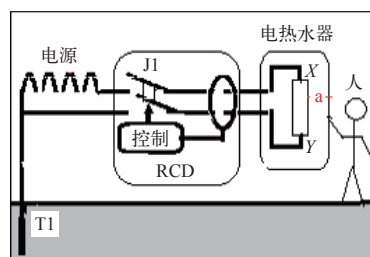


图5 推广阶段示意图

无预防效果。这种保护方式，人体要承受一次电击后，再由 RCD 跳闸后才得救。人们希望有预防性跳闸，即出现故障电器时能自动跳闸，无须人触电后再跳闸。

无后备保护。如果 RCD 损坏失效，则无第二层保护。

2.3 改进方案（加轻接地）

针对图 5 的方式，改进为图 6 的方式。在家庭电器上加装轻接地，数值见表 1。由于有 RCD 的存在，对接地电阻 R_2 要求大大降低，传统接地保护的 $R_2 = 10 \Omega$ 。现在在不同情况下，电器外壳的允许电压为 10~220 V 时，对应接地电阻 R_2 的值，见表 1。

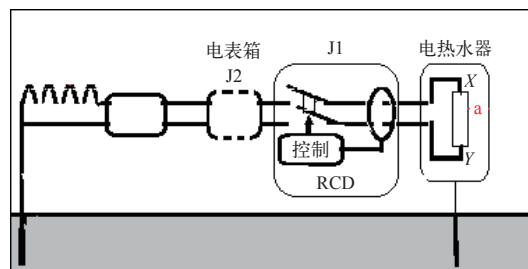


图6 三级保护系统图

表1 接触电压与轻接地电阻

接触电压 U_f/V	轻接地 R_2 值/ Ω	接触电压 U_f/V	轻接地 R_2 值/ Ω
10	333	30	1 000
15	500	50	1 666
20	666	220	7 333

RCD 动作电流为 30 mA 时，接触电压 U_f 和轻接地电阻 R_2 。

按 IEC 标准在普通环境下规定安全电压为 50 V，查表 1 得 1 666 Ω ，这是很容易实现的，用一根铁棒简单插地就能实现；但在潮湿环境下接触电压为 50 V 是不够安全，现在可以大大提高标准，例如在

表2 中西方触电保护系统在家庭用电上的对比表

分类	中国（大陆）	西方（以澳大利亚为例）
进线	每个用户是相线、中性线2根进线	除相线、中性线外又加地（PE）线
安全体系	3级触电保护系统为主，TT轻接地为辅	接地保护系统为主，再加装触电保护器为辅
安全实现	用电人（J1+J2）实现双重保护，户外架空线由J3保护	居民由接地保护+J1实现，户外架空裸线无保护
事故责任	家庭内由用电人负主责任，供电人负次要责任。户外架空线有保护设施	供电人不承担责任。户外架空线是供电方的责任，但缺乏保护措施
保险制度	有待完善	触电事故赔偿由保险公司承担
节能	节能效果大，每条支路漏电不超过0.1 A	漏电损失是个大数字，可达A级，无节能效果
消防	应当有消防功能	有消防功能
维护	易找到故障户，维护方便	难找到故障户，维护难
标准和法律	有国家和行业标准。法律有民法典、电力法和国务院法规。供用电双方互有制约	标准由保险部门制定

RCD为30 mA时，取 R_2 为333 Ω 时，接触电压降为10 V。这样在潮湿环境中，外壳一旦超过10 Ω 就会跳闸，这时人身承受轻微刺激。

轻接地既实现预防性跳闸，又不会扩散故障电压，形成“电楼”现象。

图7是轻接地的计算图。某故障电器外壳带220 V电压。如果经100 Ω 连接到本楼钢筋上，则扩散电压为： $(220/100) \times 4 = 8.8$ V，这是安全的。

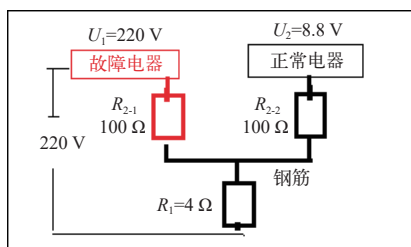


图7 轻接地的计算图

以上分析积累了我国半个世纪的技术创新成果，从用户家中至电源变压器有J1、J2、J3的三级保护器，是一个完整的系统。从图2看出中国人在家庭中受到J1和J2的双重保护，这是能够满足IEC标准要求。国家电网公司曾在河北省成安县对这种三级触电保护系统试点，试点取得成功，并受到农民的欢迎。

3 初步结论

根据前面的论述，把中西方触电保护系统在家庭用电上的对比总结如表2所示。

前面介绍了G标和D规是不同的。D规是我国在政府引导下独立自创的，G标是改革开放后引进西方标准，前者已在农村电网上广泛应用。农村电网是否依G标而改动？这只会多化钱、增事故，农民也不愿意配合。笔者认为行不通的，G标应依国情参考D规和实践进行改进。

现在，《中华人民共和国民法典》开始实施，其中专门有一章是规范供电人和用电人关系的，也有条文专门阐述用电安全要求。本文是抛砖引玉，欢迎大家讨论，共同促进我国农村用电安全在技术上是更成熟，在法律上更站得稳，做得好上加好。

作者简介

郭行干（1939—），男，高级工程师，多部国标、部标、行业标准起草人。主要研究方向：触电保护系统。

（责任编辑：袁航）

资讯

山东淄博公司：办好居民充电桩报装“一件事”

2023年11月13日，家住山东省淄博市临淄区棠悦生活区的崔先生申请的电动汽车充电桩顺利装表送电。

当月12日下午，崔先生给国网淄博供电公司临淄供电中心营业厅打电话，咨询如何办理个人充电桩业务，工作人员指导他用“爱山东”App完成了线上业务申请，供电客户经理第二天就为他办结了个人充电桩业务。办理个人充电桩业务速度快、手续简，得益于棠悦生活区是淄博市开通新能源汽车充电桩报装“绿色通道”首批80个试点小区之一。

为方便市民安装个人充电桩，从2023年11月起，国网淄博供电公司与淄博市行政审批局、大数据局、城市管理局等部门联合启动了新能源汽车充电桩报装“一件事”工作，公布开通新能源汽车充电桩报装“绿色通道”的小区名单，全面优化整合新能源汽车充电桩报装办理流程，全力保障新能源汽车充电需求。

信息来源：国网山东省电力公司

一起 110 kV 变电站 10 kV 母线电压异常故障分析

陈鹏宇*, 王 晶, 周 旭

(国网冀北电力有限公司文安县供电分公司, 河北 廊坊 065800)

摘要: 简述一起 110 kV 变电站 10 kV 母线电压异常故障的排查过程。运维人员先按照常规思路对 10 kV 线路巡视检查、测量分析, 查找故障原因, 几经波折, 最后发现是站内消弧线圈补偿度不当引起的。此次故障排查过程使我们认识到, 对配电线路故障原因分析要拓宽思路, 站内设备与站外出线同时考虑; 提高调度及运维人员对事故的分析判断和解决能力, 有效缩短事故原因查找时间, 提高配网供电可靠性。

关键词: 母线电压异常; 10 kV 线路; 电压不平衡

中图分类号: TM736

Analysis of an Abnormal 10 kV Bus Voltage Accident in a 110 kV Substation

CHEN Pengyu*, WANG Jing, ZHOU Xu

(State grid Jibei Electric power Co., Ltd. Wen'an county power supply branch, Hebei Langfang 065800, China)

Abstract: Briefly describe the troubleshooting process of a 10 kV bus voltage abnormal accident in a 110 kV substation. The operation and maintenance personnel first conducted a routine inspection, measurement and analysis of the 10 kV line to identify the cause of the accident. After several twists and turns, it was finally concluded that the accident was caused by the arc suppression coil inside the station. Through the analysis of the accident investigation process, we have come to realize that the analysis of the causes of distribution line faults needs to broaden our thinking; The equipment inside the station and the outgoing lines outside the station should be considered simultaneously; Improve the ability of dispatch and operation personnel to analyze, judge, and solve accidents. Effectively shorten the time for finding the cause of accidents and improve the reliability of distribution network power supply.

Keywords: abnormal bus voltage; 10 kV line; voltage imbalance

10 kV 线路是农村配电网最重要的供电设施, 10 kV 线路故障率直接影响配网的供电可靠性。线路故障排查是对人员技术、经验、责任心的全方位考验。配电专责运维经验的提高, 一方面靠理论知识与实践相结合的积累; 另一方面是借鉴典型事故案例分析, 以发现设备运行中的通病或家族性问题。本文就文安县供电分公司一起 110 kV 变电站 10 kV 线路故障处理的过程, 总结故障查线的经验和思路。

1 故障情况说明

文安县供电分公司 2 座 110 kV 变电站, 近几个月来时常发生 10 kV 母线电压异常情况。供电所对母线所带 10 kV 线路进行巡视、消缺, 采取各种措施查找原因, 未能彻底解决。故障情况表现为: 线路工业负荷增加时, 母线时常发生三相电压不平衡情况, 过段时间母线电压又恢复正常。

收稿日期: 2023-08-22, 修回日期: 2023-10-17

2 故障原因排查过程

110 kV 变电站运行单位为市公司, 10 kV 线路运行单位为县公司, 故障原因查找以供电所为主, 以 CX 变电站为例, 故障原因排查过程如下:

2022 年 2 月 26 日 11:43 监控班报 CX 110 kV 变电站 10 kV 5 号母线三相电压不平衡, A、B、C 相电压分别为 10.1、5.5、5.1 kV。11:47 通知供电所故障查线 CX 站 222 龙南线路。14:03 监控班试送 222 开关良好。

2022 年 2 月 27 日 7:10 监控班报 CX 站 10 kV 5 号母线三相电压不平衡 A、B、C 相电压分别为 9.8、5.4、5.2 kV, 下令供电所拉路查找。

2022 年 3 月 3 日 23:38 监控班报 CX 站 10 kV 5 号母线三相电压不平衡 (A 相: 7.65 kV, B 相: 4.0 kV, C 相: 6.8 kV) 令供电所拉路查找。23:40 拉开 CX 站车站线 225 开关, 信号复归。23:42 通知该所专工查线 225 车站线路。3 月 4 日 2:26 供电所

交查线令 225 车站线路查无问题，申请恢复送电。

在此期间，运检部与供电所共同查找故障原因，故障期间 CX 站电网潮流图电压幅值数据 A、B、C 相分别为 8.330 16、7.632 32、2.566 88 kV。

母线电压不平衡、拉路查线、切除负荷电压正常、负荷增长电压又不平衡，反反复复几次。对 5 号母线所带线路涉及的供电所测量线路所带配电变压器绝缘电阻、消除缺陷，先后耗时几天，未能彻底解决母线电压不平衡问题。运检部与供电所决定利用带电作业查找故障原因。

此次故障处理过程中，10 kV 线路 N-1 转带负荷起到了重要作用。运检部与供电所配合，利用带电作业通过线路负荷转带将 225 车站线第一分段开关后负荷切倒至 LZ 35 kV 变电站 213 线，225 车站线一分段开关以下负荷自 4 日开始由 LZ 35 kV 站转带，CX 站 225 线路还有 1 个用户。负荷切倒过去之后，LZ 变电站母线电压平稳运行正常，CX 110 kV 站 5 号母线电压仍不稳定，3 月 6 日对 225 车站线一分段前出站电缆和一段用户电缆做耐压试验，均无问题。后又将 225 车站线 1 号杆电缆接头解开，做好绝缘措施，将 225 车站线全部负荷切倒至 LZ 35 kV 变电站，LZ 35 kV 站母线电压正常，A、B、C 相分别为 6.05、6.18、6.04 kV，运行平稳，负荷切走后 CX 110 kV 站 5 号母线电压有好转。

负荷切到至 LZ 变电站后，LZ 变电站电网潮流图 A、B、C 三相电压幅值分别为 5.772 1、5.772 1、5.736 9 kV。

3 故障原因分析

CX 110 kV 站在轻负荷且负荷性质以生活用电为主的情况下，5 号母线电压正常，随着工业负荷增加，电压开始出现异常。

5 号母线所带负荷减少到一定程度，电压正常。225 车站线负荷在 CX 站时，5 号母线电压异常。将 225 车站线全部负荷切至 LZ 站后，LZ 站母线电压正常。说明 225 线路正常，不存在造成母线电压异常问题的因素，5 号母线电压不平衡，非线路原因造成，应该另有原因^[1]。

10 kV 母线电压异常由多种原因引起，如单线接地故障、短线故障、电压互感器故障、铁磁谐振等，这些原因已全部排除。后向市公司反映该问题，

经市、县公司调控、运维人员共同分析，确定故障原因是消弧线圈补偿度不当。3 月 12 日市公司将 CX 站 5 号母线原消弧线圈退出，根据负荷情况重新整定，安装新的消弧线圈，母线电压恢复正常，确认为消弧线圈问题。随着负荷增加及负荷性质变化，变电站建站时消弧线圈的容量已不能满足当前负荷需求，所以造成母线电压不平衡。

更换 CX 站消弧线圈后，全部负荷切倒回 CX 站，5 号母线电压正常，CX 站电网潮流图 A、B、C 三相电压幅值分别为 5.79、5.77、5.87 kV。

变电站消弧线圈的作用如下：提高电路稳定性；减少电路的电能损失，提高电能效率；防止电能波动，降低谐振干扰，提高电能质量；在系统发生单相接地时补偿系统电容电流，抑制过电压产生。

补偿方式及容量的选择：装在变压器中性点的消弧线圈应采用过补偿方式，防止运行方式改变时，电容电流减少，使消弧线圈处于谐振点运行。在正常情况下，脱谐度一般不大于 10%。电网的电容电流，应包括电气连接的所有架空线路、电缆线路、发电机、变压器、母线和电器的电容电流，并考虑电网 5~10 年的发展^[2]。

4 总结与建议

目前，110 kV 站内设备的运维由市公司负责，站外 10 kV 线路运维由县公司负责。当 10 kV 母线电压不平衡时，一方面考虑线路原因，另外，也要结合考虑站内设备影响，以缩短事故送电时间。该次故障原因排查，虽然耗费精力很大，但是问题最终解决。借鉴这个案例，在故障发生后，故障原因排查过程中要结合变电站内外设备分析故障原因，以缩短故障查线时间，提高供电可靠性。

参考文献

- [1] 中国电力工程顾问集团有限公司，中国能源建设集团规划设计有限公司. 电力工程设计手册 变电站设计[M]. 北京：中国电力出版社，2020.
- [2] 蒙岩. 10 kV 系统电压异常的表现形式分析与判断处理[J]. 中国科技信息，2006 (5) : 148.

作者简介

陈鹏宇 (1995—)，男，本科，助理工程师，主要从事变配电设备运维管理工作。

(责任编辑：袁航)

国家电网小型基建限上项目工程质量探讨

刘超^{1*}, 孟美尊², 安非³, 夏圆圆³, 尤朋飞³

(1. 国网北京市电力公司综合服务中心, 北京 西城 100031; 2. 国网冀北电力有限公司物资分公司, 北京 西城 100075; 3. 北京电力工程有限公司, 北京 丰台 100070)

摘要: 分析了国家电网小型基建限上项目工程质量的现状及存在的问题, 并提出一系列应对策略。研究认为, 工程质量管理水平参差不齐、质量监管不到位、设计与施工技术水平不高等问题是影响工程质量的主要原因。为提高工程质量, 提出了加强质量管理、提升设计与施工技术水平、保障材料设备质量、加强验收与售后服务等方面的对策措施。同时强调培育良好的质量文化, 提高员工的质量意识和素质。

关键词: 国家电网小型基建; 工程质量管理; 质量管理体系

中图分类号: TM763

Discussion and Countermeasures on the Engineering Quality Problems of State Grid's Small-scale Infrastructure Projects with Limited Scope

LIU Chao^{1*}, MENG Meizun², AN Fei³, XIA Yuanyuan³, YOU Pengfei³

(1. State Grid Beijing Electric Power Company Integrated Service Center, Beijing Xicheng 100031, China; 2. State Grid Jibei Electric Power Company Limited Material Branch, Beijing Xicheng 100075, China; 3. Beijing Electric Power Engineering Company, Beijing Fengtai 100070, China)

Abstract: The study on the engineering quality problems and countermeasures of State Grid's small-scale infrastructure projects explores and analyzes the current situation and existing problems of the engineering quality of State Grid's small-scale infrastructure projects, and proposes a series of countermeasures. The study believes that the main factors affecting engineering quality include the uneven quality management level, inadequate quality supervision, and low design and construction technology level. To improve engineering quality, countermeasures are put forward in aspects such as strengthening quality management, enhancing design and construction technology, ensuring material and equipment quality, and strengthening acceptance and after-sales service. Meanwhile, it emphasizes the cultivation of a good quality culture and improves the quality awareness and professionalism of employees.

Keywords: State Grid's small-scale infrastructure; engineering quality management; quality management system

伴随着我国经济的稳步增长和能源需求的持续扩大, 国家电网有限公司在电力基础设施方面的投入也在不断上升; 其中, 电网小型基建项目作为电力基础设施的关键部分, 其工程质量对电网运行的稳定性和安全性具有直接影响。

1 管理现状

质量管理架构。国家电网有限公司已形成相对完善的质量管理架构, 各级电力企业设有专门的质量管理职能部门, 负责组织、指导、监督和检查工程项目质量管理工作的实施。

质量管理体系。国家电网有限公司依据国际标准, 构建了完善的质量管理体系, 同时编制了一系

收稿日期: 2023-11-06

列质量管理规定和管理办法, 对工程质量管理流程进行了系统性规范。

质量管理方法。运用先进的质量管理方法, 如监理旁站、压力观测、沉降观测、同等条件的试送检等, 对工程质量进行实时监控、分析和评估。

员工培训和教育。加大对员工的质量管理培训和教育力度, 提升员工的质量认知和管理技能。

工程质量监管。在工程建设全过程中, 执行严格的质量监管, 对施工单位进行动态评估, 确保工程质量达标。

2 存在的问题

质量管理水平的差异。在国家电网的小型基建限上项目中, 各地的质量管理水平存在显著差别,

部分项目的质量管理仍须进一步强化。

质量监管的不足。在一些工程项目中，质量监管的力度有待加强，某些质量问题未能及时发现和处理。

设计与施工技术待提升。部分项目的设计与施工技术水平尚待提高，并对工程质量产生影响。

材料设备质量的不稳定。部分材料和设备的质量存在波动，对工程质量带来负面影响。

验收与售后服务的缺失。工程验收和售后服务环节存在短板，导致一些工程质量问题无法得到有效解决。

质量信息系统的完善。尽管已采用质量信息系统进行管理，但部分系统的功能和实用性仍须提升，以实现工程质量的全面管控。

3 提升对策

为实现国家电网小型基建限上项目工程质量的提升，提出以下对策建议。

3.1 质量管理优化策略

完善质量管理体系。在现有质量管理体系基础上，进一步优化和完善，确保各项质量管理措施得到有效执行。

提高质量管理能力。加强对质量管理人员的培训和考核，提升其专业素养和能力，促进质量管理水平的提升。

增强质量监管。加大质量监管力度，实施全过程、全方位的质量监督，确保工程质量得到有效保障。

设立质量奖惩机制。构建质量奖惩制度，对质量管理成果显著的单位和个人给予奖励，对存在质量问题的单位和个人进行严肃处理。

3.2 工程设计与施工技术提升策略

引进优秀设计团队。选拔优秀的设计团队承担小型基建项目的设计工作，提升设计质量。

强化设计与施工技术研发。加大新技术、新工艺的研发投入，提高设计与施工技术水平。

推广先进技术应用。加强对先进技术与工艺的推广应用，提高工程质量。

培训施工队伍。加强对施工队伍的培训，提高施工队伍的技术水平和素质。

3.3 材料设备质量保障策略

严格材料设备采购管理。建立严格的材料设备采购管理制度，确保采购的材料和设备符合要求。

加强对供应商的评估。对供应商进行全面评估和考核，优先与优质供应商合作。

实施材料设备进场验收制度。加强对材料设备的进场验收，严禁不合格材料设备投入使用。

3.4 提升验收与售后服务水平

优化验收流程。建立严格的工程验收流程，确保工程质量达标。

提升售后服务。加大工程售后服务的投入，及时处理工程质量问题，提高用户满意度。

设立工程质量追溯制度。实行工程质量追溯制度，便于对质量问题进行定位和处理。

3.5 培育良好质量文化

树立质量首位观念。在企业内部确立质量首位观念，将质量视为企业发展的核心动力。

加强质量宣传与教育。加大质量的宣传和教育工作力度，提高员工的质量意识和素质。

发挥质量标杆示范作用。选树质量标杆项目，发挥示范引领作用，推动整体质量水平的提升。

4 结束语

当前，国家电网小型基建限上项目工程质量整体优良，但部分地区和项目质量问题仍不容忽视。工程质量问题的成因繁多，包括质量管理水平的差异、质量监管的不足、设计与施工技术待提升等。为应对工程质量问题，本文提出了一系列实用的质量提升策略，如优化质量管理、提高设计与施工技术、确保材料设备质量等，同时，营造良好的质量文化对提升小型基建限上项目工程质量具有重要意义。

总之，本文全面探讨了国家电网小型基建限上项目工程质量问题，并给出了相应解决方案，对推动我国电力基础设施质量提升具有重要的理论意义和实践价值。在今后的工作中，须持续关注工程质量问题的发展动态，不断优化和完善质量管理体系，实现工程质量的持续改进。

作者简介

刘超（1990—），男，工程师，主要研究方向为电网小型基建工程全过程管理。

（责任编辑：袁航）



中国电机工程学会 《农村电气化》 《农电管理》 2024 年订阅单

【订单获取】

- 1.农村电气化或农电管理期刊微信公众号；
- 2.农村电气化官网 <http://www.chinarein.com>；
- 3.微信小程序“国宇出版”；
- 4.期刊 2023 年第 10 期至 2024 年第 3 期最后一页。



【联系方式】

- 1.期刊订阅专用邮箱：guoyu@csre.org.cn；
- 2.国家电网公司内网邮箱：ndzwh@bj.sgcc.com.cn。

【订单邮寄地址】

北京市大兴区地盛北街 2 号院 17 号楼 101，发行部，电话 010-63231636/38，邮编：100176。

【合订本订阅】

订阅两刊过刊合订本可扫描右侧微信二维码下单。

订阅数量	农村电气化		全年12期定价	192.00元		两刊共计 册 期刊款总额 元
	()	册	书款合计	()	元	
	农电管理		全年12期定价	144.00元		
	()	册	书款合计	()	元	
收书单位					邮政编码	
收书地址	省 市 县(区)					
收书人	联系电话					
如需发票，请提供贵单位以下各项信息。信息请务必完整，以免发生退票或重开票等情况						
发票类型	<input type="checkbox"/> 增值税专用发票 <input type="checkbox"/> 增值税普通发票				发票收件人	
单位名称				税号		
开户行				账号		
地址				电话		
北京国宇出版有限公司收款账户信息：						
收款户名	北京国宇出版有限公司					
银行汇款	工商银行账号：0200 0414 0920 1503 351					
	开户行：工行北京会城门支行					
注意事项	汇款转账时请务必注明汇款人单位（或姓名）及电话，以免影响后续对账					

《农村电气化》2023 年总目次

◆ 刊首语 >>

习近平在中央农村工作会议上强调锚定建设农业强国目标 切实抓好农业农村工作 本刊编辑部 (1-1)

守正创新 团结奋斗 全力以赴达成目标 本刊编辑部 (2-1)

科技创新支撑新型能源体系构建——2022 年中国电机工程学会年会主旨报告会 本刊编辑部 (3-1)

助力“三农”赋能未来 本刊编辑部 (4-1)

推动农村能源革命 助力实现乡村振兴 本刊编辑部 (5-1)

学以致用谋发展 以学促干建新功 本刊编辑部 (6-1)

国家能源局组织发布《新型电力系统发展蓝皮书》 本刊编辑部 (7-1)

实施农村电网巩固提升工程 助力农业农村现代化 本刊编辑部 (8-1)

建设生态文明 助力绿色发展 拥抱低碳生活 本刊编辑部 (9-1)

大力开发利用清洁能源 助力绿色低碳高质量发展 本刊编辑部 (10-1)

助力共建“一带一路” 书写互利共赢新篇章 本刊编辑部 (11-1)

千方百计确保人民温暖度冬 本刊编辑部 (12-1)

◆ 新型配电网专题 >>

基于供电所数智化巡视的图形台账自动生成系统 毛之俊, 蒋博宇, 徐颖, 汪剑锋, 杨昕 (2-1)

光伏发电在宁夏固原市乡村扶贫中的实践 马小林, 刘玉洁, 张新闻 (2-4)

低碳场景下光储充联合系统经济性分析 易林, 何格, 刘从超, 詹玖远, 唐春华, 杨海龙, 罗泽高 (2-9)

农业循环经济生产场景下供用能模式与低碳运行研究 丁泽琦, 黄泽涛, 董晓颖, 苏娟, 杜松怀 (2-14)

考虑经济性最优的农村配电网储能调压策略 詹琪, 李鹏丽, 孟晓丽, 王金丽, 李蕊 (2-18)

用于分布式光伏消纳的等离子体土壤固氮装置研究 郑琪禹, 赵江, 李俐堂, 鲍庆龙, 朱伟娜, 郑钧文, 王立地 (2-24)

整县屋顶光伏推进背景下的配电网技术研究 吕超然, 吕翔, 张文瑶 (2-29)

基于北斗短报文通信的偏远海岛配网自动化建设新模式 王爱玉, 王金全 (3-1)

县域数智新型电力系统示范建设的路径探索 肖龙海, 张海春, 高倩, 袁国珍, 方鑫勇, 王大健 (3-7)

新型有源配电网“集群调控”的探索与实践 邵兴志 (3-14)

基于电力大数据的城乡融合共同富裕水平评价方法研究与应用 杨世旺, 黄翔, 孙鹏皓, 吴文俊, 方良军 (3-20)

数字化智能配电网台区建构研究 秦雷, 敖刚, 杨捷, 何建平, 董伟, 唐杰, 李冰 (3-27)

台区低压柔性互联技术在新农村配电网的实践应用 何启晨, 阮浩浩, 王劲松 (3-32)

新型低压配网拓扑监测与分析技术研究 林军, 曹俊, 刘强强, 张莲梅 (3-39)

新能源接入电网后的配网区域裕度评估技术研究与应用 钱金跃, 杨玉锐, 施力欣, 闫威, 张宏, 吴佳 (3-46)

考虑负荷可调度特性的农村配电系统光-储-充规划展望 邹铁, 沈庆, 邵宏, 李亚飞 (8-1)

农村风光储综合能源发电系统构建与运营策略研究 陈恭宇, 张席华,

黄冠华, 袁德斌, 刘志鹏, 唐墨力, 廖玲芳, 范江霞 (8-6)

考虑光储冷协调优化运行的商贸城楼宇微电网建设实践 黄德志, 吴卫宁, 徐昕, 吴佳佳, 陈小威, 洪丽俊 (8-10)

以用户为导向的分布式电源调度管理实践 张旭, 李俊鹏, 陈辉梅, 朱承甜, 柴伦浩, 魏小芳 (8-15)

储能技术与柔性直流技术在农村配电网台区相互协同的应用研究 秦雷, 敖刚, 杨捷, 黄杰, 王东, 董伟 (8-19)

风光储一体化的配电网研究 谢立焜 (8-25)

基于分布式光伏网格化负荷预测的弹性调度新模式探索实践 李云飞, 徐冰, 周永汉, 吕勇荡, 孙一迪, 陈仕明 (8-29)

◆ 电网建设 >>

变电站屋顶全自主无人机机场建设研究 李丹乐, 李和丰, 严雪莹, 张辉 (1-5)

220 kV 变电站智能化技术改造方案研究 布赫 (1-9)

基于三维激光扫描技术的变电站精细建模技术研究与应用 叶子玉 (2-35)

铝包钢芯耐热铝合金型线绞线在 500 kV 输电线路中的应用 邓丽文 (3-53)

低压智能配电网设计方案及注意事项 吴锦谦 (3-56)

配电网重构方法对比与技术展望 邓美玲, 黄玉琛, 罗玉娇 (4-1)

祥云县配电网架与配网自动化建设研究与实践 汪永峰 (4-7)

装配式变电站钢结构建筑适用性分析 俞昇森, 李丹乐, 李佳丽, 朱勋 (4-13)

新型屋顶光伏支架基础简化计算设计方法 黄瑞璞 (5-1)

基于模糊综合评价法的电网工程社会效益评估 徐丹, 高超 (5-6)

“双桥”经济下的新湾供电所配电网专项提升典型思路 童金聪, 赵纪宗, 张能 (6-1)

江苏省重点行业用电特征分析 孟丹, 刘进, 黄天科, 何庆儒 (7-1)

小电源富集地区的电压控制策略 高涛, 尚学全, 陈昌昱, 季广虎 (8-35)

山区配电网“水光融合”的绿电集群调控创新与实践 邵兴志, 贾磊, 岑苏琦, 杨光, 邵斌 (9-1)

分布式光伏电站设计中的电气设计技术分析 郭邦发 (9-8)

具备泄风功能临时百叶围挡的设计及其在施工现场应用研究 徐鑫哲, 于浩海, 韩巍, 郭天宇, 彭博 (10-1)

智能变电站线路保护配置与调试接入方法研究 翟星宇, 张俊好, 贺子清 (10-5)

变电站土建施工与电气工程协调管理思考与实践 胡俊竹 (10-8)

架空输电线路工程的质量控制要点与对策分析 王润琪, 张心语, 高超, 于立叁, 蓝骞, 郎野村 (11-1)

特高压输电线路在线监测技术应用 李程 (11-3)

配网大档距裸导线风偏技术探讨 刘婷婷, 刘红松 (12-1)

0.4 kV 地理构件简易拔拆装置设计说明及应用分析 黄学淮 (12-5)

◆ 运行维护 >>

电压互感器试验设备技术改进与分析 魏军华 (1-13)

10 kV 架空避雷线安装架结构仿真分析 秦忠, 蔡伟, 江跃天, 杨万锐, 徐文华, 杨冷杉, 罗睿康, 胡洋 (1-16)

智能变电站断链表验收	钱海宽, 徐宗川 (2-40)	一起 220 kV 开关主变侧接地闸刀气室漏气分析及处理	戚中译, 张 晗, 赵旭州 (2-51)
变压器事故油池容积利用率研究与提升	公 伟, 王 宁 (2-44)	一起 220 kV 某 GIS 设备伸缩节的放电故障	任 洁, 马传慧, 薛东海, 孙 艳, 马 宇, 马振京 (3-60)
配电网覆冰清除方法的研究与应用	徐子涛, 宋翰彪 (2-48)	110 kV 耐热导线耐张线夹内钢芯断裂分析	赵永满 (4-31)
一起 750 kV 变压器出厂试验局放超标现象的分析和处理	马永福, 王生杰, 包正红, 林万德, 李子彬 (4-17)	输电电缆终端漏油缺陷分析与防范	姚舜禹, 姚新凯 (4-35)
10 kV 配电网架空地线防雷应用研究	陈惠敏, 黄培锋, 吴超杭, 黄培新, 庄颖璇, 唐力则 (4-20)	一起 220 kV 变压器绕组变形缺陷的诊断及分析	刘胜军, 冯正军, 刘 钊, 郑献刚, 乔红军, 郭会永 (5-17)
基于映射开关地理位置的配网设备命名方式应用	孙 健, 朱建玉 (4-24)	变电站直流系统绝缘故障分析与防范	王耀升, 殷 军, 罗志远, 李锐锋, 郭 晓, 赵旭阳 (5-21)
变电站全停负荷智能转供策略研究与示范应用	王文林, 张 杰, 万山景, 程 徽, 程 思, 余潇寒, 魏 卫 (4-28)	主变差动保护动作故障分析	李领南, 张士磊 (6-10)
基于振动、场强信息的断路器三相不一致辨识方法	陈 昊, 徐伟伦, 徐晶冉, 徐 鹏, 汤宗尧, 陈予伦 (5-9)	台湾省“303”大停电对继电保护的思考	方榆冬, 陈伟华, 吴 坚, 叶仁杰 (6-13)
输电架空线路防风加固技术策略分析	徐 晖 (5-14)	一起 110 kV 线路发展性故障导致 220 kV 主变保护动作的事故分析	黄 岗, 邓德茂, 彭洪进, 王开波, 王 堃, 金基伟 (7-16)
地下变电站变压器强油循环水冷却系统散热方式优化方案研究	李 鄢, 杨 云, 姚伟瑾 (6-7)	某 220 kV 变电站的 110 kV 正母线母差动作原因分析	张 威, 张知宇, 操晨润, 周 刚 (7-19)
RPA 机器人在电力营销业务应用中的实践	李小江, 赵 赟, 吴念霄 (7-5)	配电网线路异名相跨线故障引起的主变保护动作分析	王 松, 岑荣佳 (8-48)
一种 110 kV 高压电缆故障应急抢修快速恢复技术研究	邱 扬, 温俊强, 李洪才 (7-8)	变电站液压及液压碟簧机构断路器故障分析与建议	闻煜峰, 王耀升, 徐东辉, 闻芷馨, 沈培栋 (9-19)
级差保护配电网自愈应用研究	陈 杰, 蓝海森, 周 旭, 麦耀光 (7-12)	一起 110 kV 金属氧化物避雷器故障带电检测诊断分析	吴 雯, 杨凯迪 (9-24)
AIS 变电站双母接线电气设备布置方式的优化	孙亚辉 (8-39)	HMB 型液弹储能机构故障探析及改进措施	李 锴, 徐成西 (10-27)
一种基于 UHF RFID 无源无线测温技术及其应用	谭志勇, 夏 锐, 王媛媛, 杨海军 (8-43)	开关柜绝缘放电信号缺陷定位典型案例	王思萌, 陈东巍, 李晓阳, 雷劲跃, 刘 辰, 李 震 (11-30)
一种变压器带电添加金属钝化剂的方法	郑振峰, 陈灵峰, 陈伟博, 李萌锋, 王 鹏 (9-12)	500 kV 线路耐张线夹断裂原因分析及治理防范建议	张贵军 (11-34)
中压配电网带电作业发展现状与展望	冯 涛, 侯智博, 申 杰, 赵品贤 (9-14)	两起继电保护误整定导致误跳闸事故分析	张 祥, 李慧勇 (11-39)
电压型分段器闭锁分闸功能的探讨	马鹏熙, 黄建中 (10-12)	35 kV 变压器绕组匝间短路故障分析及处理措施探讨	刘 钊, 田小龙, 刘小琰 (12-17)
基于工业传感器的刀闸位置双确认技术分析及优化	邓志雄 (10-17)	关于变压器铁芯和夹件多点接地的讨论	李 飞, 焦方军, 姜晓东, 房 悦, 杨 光 (12-20)
无人机智能巡视系统在变电站巡检中的应用	吴俊杰 (10-21)	基于设备供电能力的 220 kV 变电站失电风险分析	李浩闪 (12-25)
变电站继电保护二次系统接地技术分析	戚菁菁 (10-24)	一次 220 kV 某变电站 1 号主变启动损坏事件分析	周 刚, 张知宇, 王法顺 (12-28)
一种不停电修复 10 kV 架空裸导线的方法	朱小莹, 徐 勇, 汤春俊, 梁加凯 (11-6)	一起 10 kV 母线失压事件的分析及整改建议	张杰雄, 杨泳星, 张坚俊 (12-32)
基于标准化的高压开关柜电气二次设计	毛志恒, 黄成东, 胡顺健, 李健德, 龙书生 (11-8)	10 kV 线路带角差不停电合环调电研究	雷巧红 (12-36)
高原风电场架空线路冰雪灾害治理研究	文 兴 (11-10)	◆ 智能电网 >>	
高压及超高压电缆户外充油终端受力分析及计算	贾 超, 潘海平, 方 菊, 易亚琳 (11-14)	基于人工智能的变电运检现场安全管控系统的开发与应用	张思远, 朱成亮, 过佳平, 闻飞翔, 周 刚 (1-28)
激光清除输电线路异物的技术分析	王海涛, 赵 蔚, 崔建勇, 段赛飞 (11-18)	基于配电网可开放容量评估与预警研究	徐大勇, 李孟杰 (1-31)
变压器套管安全隐患与防范措施的分析	洪艳君 (11-21)	LoRa 技术在输电线路选线中的应用	吕建强, 洪立玮 (1-34)
66 kV 干式空心电抗器短路故障整体参数试验研究	陈 颂 (11-23)	广西电网智能防误指挥工作的创新与应用	朱敦麟, 宁阳天, 唐 佳, 胡楚叶, 杨加意 (1-37)
几种对出口压板投退状态进行检测的方法	李靖文, 谢煜堃 (11-26)	基于主配网一体化的综合性电网仿真平台设计	王 兰, 张 里, 李红军, 赵 斌, 王婷婷, 黄永禄 (1-40)
CHB 直流侧免供电在配电网接地故障电流柔性调控分配中的方法研究	周 荃 (12-8)	一种考虑分布式发电的主动配电网孤岛故障恢复重构新方法	刘旭鹏, 王欣然, 邱 爽, 程正洋, 李 跃 (2-54)
防汛隐患杆塔应急抢修方法探讨	赵 蔚, 王海涛, 段赛飞 (12-13)	基于人工智能的 10 kV 配网智能感知与故障诊断	邱泽坚, 邵伟涛, 黄琳妮 (3-63)
◆ 安全生产 >>			
一起线路接地引起站用变烧毁的分析	黄建中 (1-21)		
一起高压直流阀冷系统隐患分析与治理	杨 涵, 耿成通, 王荣富, 韩广宇 (1-24)		

基于物联网的变电站加热器状态监测研究
 柳青, 马磊, 朱穆, 孙桐妍, 李静 (3-66)

面向新型电力系统的远方程序化操作+状态移交模式探索与实践
 袁士超, 邬航杰, 张志雄, 王晓, 郝杰 (3-69)

基于全过程管控的配网重要用户调度管理体系研究
 耿晋, 踪凯, 时鹏 (4-39)

菏泽配网备用调度系统的建设
 耿晋, 林朋辉, 张炎萌, 邓影 (5-25)

人工智能技术在电网调度中的应用研究
 宋倩, 蓝俊欢, 罗富贵, 李明珍 (5-28)

基于集成 YOLOv5 算法的输电线路杆塔目标检测
 苏晓, 张明晖, 陈峻宇, 丁争, 许华栋, 白万崧 (5-33)

智能变电站 SCD 多维度校验技术研究
 罗振华, 成佳富, 廖惠琴, 孙迪飞, 汤野, 徐中南 (6-18)

基于 5G 通信技术的配网架空线路故障自愈方案研究
 黄振华, 王少春, 余剑, 赵印明, 陈艳 (6-23)

基于无线公网的信号盲区电能数据采集的应用
 李小江, 赵赞, 王毅博 (6-28)

高速公路可移动集装箱式充电站运营调配模式优化
 钟超, 万君, 许程鹏, 张哲, 陈子轩, 谢宇峰 (7-22)

基于混合仿真模式的典型双环型配电网自愈策略及试验分析
 褚雯雯, 白东壮, 焦涛, 王显力 (7-28)

基于“双中台”服务的营配本质贯通业务模式研究 钟晓剑 (7-33)

电力调控智能故障处置系统
 樊亮, 王泽众, 蔡正梓, 李聪, 田雨晨 (9-27)

电力物联网通信模块规模化升级系统设计与实现
 曹波, 栾治伟, 罗丹, 肖德勇, 王贤辉 (9-33)

柔性直流配电网电流微分保护的制动策略研究
 李珍, 程浩, 马海潮, 常懂懂, 马顺青, 马晓涛 (10-31)

变电站一键顺控改造中的关键技术研究
 闫存恒, 张海宾, 潘振东, 秦彬, 陈琳, 郝国青 (10-37)

一种变电站智能联合巡检系统 吴俊杰 (11-41)

智能电能表的应用与维护探讨 马野 (11-45)

变电站一键顺控改造技术的研究与应用 胡杨 (11-48)

配置馈线自动化的配网故障监控方案研究 晓宇 (11-51)

谈智能电力调度自动化系统 黄泗兴 (11-54)

电动汽车充电桩负荷互动式控制系统的研究与应用
 李贞阳, 田利坤, 索明贵, 王家冕 (12-38)

变电站区域型远程智能巡检系统的设计与应用
 黄建阳, 陈硕 (12-41)

◆ 信息系统 >>

基于能源互联网营销服务系统的全渠道接入服务研究与应用
 苏文军, 王波, 林豪峰, 周漪莲, 汪一帆 (1-43)

高压电缆载波防盗装置系统
 徐子峻, 孙志鸿, 游小华, 徐宏斌, 谢维, 陈朝晖 (2-60)

自然语言处理技术在配网调度业务的应用研究
 邱泽坚, 陈凤超, 张锐 (2-65)

电力通信监控系统在 500 kV 超高压变电站中的应用
 许荣枝, 吴小芳, 许朝枝, 林艺君, 吴增坤, 苏江山 (3-74)

基于二叉树存储结构的变电站倒闸操作票自动生成方法
 刘宏宇, 李佳馨, 杨曼 (4-42)

人工智能视角下电力施工 AR 智能识别系统设计研究
 朱亦振, 姜林波, 龚精业 (5-40)

基于在线用电监测仪的台区线损分段分析
 蔡潇, 李明, 潘义云, 袁秋香, 陆永灿 (5-44)

配电网线损动态检测与处理方案研究 梁挺江 (5-48)

面向电力用户对端控制类业务的无线通信单向时延测量方法研究与验证
 刘志仁, 俞力珉 (5-50)

高可靠变电站二次系统间隔成图技术研究
 何瑞祥, 王树跃, 宋孟洁, 施海林, 武国威, 陆林 (6-32)

基于三维仿真场景的巡检记录汇总分析平台 白雪峰 (6-37)

考虑死区故障的馈线自动化技术研究 张贝贝 (7-38)

用电信息采集系统终端在线率的提升研究
 杨小奕, 刘乃杉, 哲恺斌, 王衍 (7-42)

远程可视可控计量备品备件库的研究与应用
 刘乃杉, 哲恺斌, 王衍, 杨小奕 (8-53)

配电终端智能控制面板的研究与应用 王先伟 (8-56)

基于 PMS 智能运检管控平台的设备电压异常诊断及其应用
 林佳祥 (9-38)

基于混合现实技术的电缆及通道运维辅助系统应用研究
 吴茜, 袁博, 马凌波 (9-41)

程序化操作过程中设备告警信号的智能闭锁设计
 曾远方, 杨阳 (9-45)

基于三维激光扫描技术的电缆线路及通道管理系统
 袁博, 马凌波, 吴茜 (10-41)

电力系统调度操作票智能决策系统 王文嘉 (10-44)

基于精益化管理的配网节能降耗新模式 商学斌 (10-49)

基于深度学习的线损异常诊断系统研究
 张恒超, 沈秋英, 沈杰, 李苏芙, 范彪, 王琨, 蔡嘉辉, 吕自贵 (11-58)

摄像机云台预置位偏移检测与自动校正方法
 张俊康, 戴熠晨, 王晓蓉, 许志坤, 王辉煌 (12-47)

基于灰色理论的关口计量二次回路状态评价研究
 廖涛, 杨雷, 赵玉富, 彭小平, 王平, 李培军 (12-50)

◆ QC 小组 >>

提高低压台区采集线损合格率
 陈福亮, 岳晓辉, 高子淇, 陈有双 (1-50)

一种防风拉阔地锚的研制 陈荣, 温煜, 刘腾宇, 杨建勇, 梁金喜, 冯浩, 何海兵 (1-52)

变电站开关柜通用多功能检修小车的研制
 吕健, 王强, 孙磊, 李垚 (2-68)

减少配网接地后故障隔离复电时间
 耿晋, 候智圆, 王耀, 黄亚磊 (3-77)

研制更换耐张合成绝缘子辅助工具
 王志浩, 赵学周, 朱庆钢, 耿懿诚, 李英涛, 顾泽林, 王文超 (4-46)

缩短低压发电车保电现场准备工作时间
 葛勇华, 张贤明, 张威, 高原 (4-50)

新型变压器试验短路接地装置的研制 王佼 (5-54)

基于程序化的调度智能操作票系统开发
 孔宪佐, 苏普春, 王晓红, 张伟, 王茂泽, 王一鸣 (5-57)

新型易装配电线路电杆防撞标示牌
 谭文喜, 彭正良, 曹智平 (6-41)

语音告警防触电警示牌 李春发, 卢伟雄 (6-43)

缩短计量异常处理时间 霍振星, 王敏鑫, 栗晓华, 王娜 (6-46)

提高变电站建筑外墙真石漆施工一次成优率 ····· 韩晓峰, 崔亚超, 张 灯 (6-51)	基于时序生产模拟的新能源多目标消纳能力评价 ····· 周 刚, 凌汝晨, 李锐锋, 操晨润 (8-68)
绝缘斗臂车内带电作业工器具取放盒的研制 ····· 操晨润, 杨振贤, 陆渊超, 钱若晨, 徐 智 (7-46)	嘉兴港区小微园区多能互补微型能源网络的探索 ····· 姚 娟, 张晓文, 宋 嘉, 董新伟 (9-52)
一种适用于穿林架空线路的驱松鼠器的研制 ····· 周弘毅, 李 想, 高 原, 汪泽州 (7-50)	基于归一化指标的分布式电源接入配电网方案评估 ····· 蔡 蕾, 薛凌峰, 王丙东, 王冬梅 (9-59)
一种用电量柜异常操作报警装置的研制 ····· 李 明, 蔡 潇, 王 维, 潘义云 (7-53)	高海拔地区屋顶分布式光伏承载特性研究 ····· 喇先寿, 段纪鹏, 张 航 (10-59)
提高配电终端在线率 ····· 吕春光, 陈冠望, 孔丹军 (7-57)	电能替代技术在农业碳减排中的应用综述 ····· 吴家福, 苏 娟, 杜松怀, 魏 健, 陈绪城 (10-61)
一种新型应急抢修电力井盖的研究 ····· 邱 扬, 温俊强, 刘鹏飞 (8-59)	基于状态评估的光伏电站 AGC 调节能力计算方法 ····· 郑 建, 赖欢欢, 孙景钉, 谢志云, 陈晓雷, 郑 伟, 陈梦翔 (10-68)
智能物联接地线系统的研制 ····· 任周景, 柳哲宁, 张丽峰, 刘 伟, 刘雯欣, 梅 斌 (8-61)	关于道路照明碳达峰、碳中和路径的探讨 ····· 陈千贤, 赵弘昊 (10-72)
全方位起重吊装周界立体报警系统 ····· 赵国航 (9-49)	农村地区“煤改电”增量负荷计算及户均配变容量配置方法研究 ····· 孙钦斐, 王瀚秋, 李 干, 马 凯, 李香龙 (11-77)
红外精确测温数据管理后台的研制 ····· 张舒怡 (10-52)	高供低计分布式光伏用户功率因数调节电费分析研究 ····· 廖 涛, 张欲晓, 张书仓, 罗辉勇, 曾信义, 张卿瑜 (11-83)
减少新建住宅小区户表核对时间 ····· 吴 迪, 钱金跃, 叶良兵, 俞国良, 王 艳 (10-56)	含高比例分布式电源的自洽型配电单元构建方法研究 ····· 施天成, 杨 欣, 李志伟, 种亚林, 王 蕊, 王 磊 (11-87)
电网主备调备份装置的研制 ····· 程站立, 廖 兵, 代 飞 (11-65)	335 kWp 农光互补项目设计与建设 ····· 苏 渊, 秦江伟, 刘建国 (12-67)
缩短变配电倒闸操作接地线装设时间 ····· 张舒怡 (11-68)	◆ 器具设备 >>>
一种真空度检测装置及抽气系统 ····· 赵国航, 齐泽力 (11-72)	一种电力设施积水触电智能防护装置研究 ····· 操亮亮, 江光先, 方黎明, 叶国新, 张 艳 (1-67)
适用不停电检修的支柱绝缘子固定导线金具研制 ····· 王庆泽, 艾茂民, 张 硕, 王 佳, 卢国波 (11-74)	输电杆塔接地引下线专用螺栓研究 ····· 刘 程, 孔祥美 (1-70)
降低灯杆电阻不合格率 ····· 李 铁 (12-55)	便携式可插拔低压无功精细化补偿应急装置研究 ····· 郑则诚, 陈宇渊, 尚 将, 郭朱颖 (1-73)
表箱剩余电流动作保护器转换底座的研制 ····· 倪素奎 (12-60)	剩余电流动作断路器动作特性自动检测装置设计与应用 ····· 吴宇红, 徐国华, 丁文军, 邓 慰 (1-76)
缩短管母线安装时间 ····· 齐泽力 (12-64)	一种高效快捷的低压直流系统接地安全快速查找装置 ····· 何瑞婷, 杨家凯, 代显忠, 韦 超, 刘晶晶 (1-80)
◆ 清洁能源 >>>	变配电开关柜电动操作按钮就地遥控分合装置研究与应用 ····· 袁季方, 陈苏芳, 王林发, 杨丕濛, 廖志华, 林 榕 (2-81)
基于组串型逆变器的光伏发电系统精细化设计 ····· 谭静波, 王勋志, 张四维 (1-55)	高压接地线收纳小车的研发 ····· 顾红友, 陈伟君 (3-84)
零碳农业园区综合能源服务解决方案 ····· 王建宾, 胡永朋, 周忠堂, 赵 冠, 吕 辉 (1-60)	智能电表箱技术研究与装置设计 ····· 刘 磊, 许晓伟, 周桂珍, 叶 超 (4-70)
计及碳排放的电-冷-热互联综合能源系统优化调度研究 ····· 芦 浩, 姜瑶瑶 (2-71)	架空输电线路带电清除异物刀具的研制与应用 ····· 黄双得, 周自更 (4-73)
一种虚拟电池的无人机长续航照明系统的研究 ····· 郑玉浩, 于学超, 梁 刚, 张 佳, 柳岩妮 (2-76)	基于智能巡检机器人的输电线路运维管理工作研究 ····· 黎文俊 (5-72)
以“碳中和”为目标的微电网集群化协同管理 ····· 陈 蓉, 宁晓斌, 曾子晨, 李 静, 廖正兵, 胡鸿铭 (3-81)	输电线路 DB 型调整板几何结构分析与优化设计方法的研究 ····· 王 昊, 芦凯旋, 李亚亮, 刘浩宇, 宰红斌, 菅瑞琴, 王晋强 (5-75)
适应分布式光伏规模化接入的电化学储能配置模式研究 ····· 王 菁, 陈晓婷, 何元明, 刘 俊, 高 磊, 刘祖源, 欧阳光 (4-54)	变电站门型构架防鸟筒的研制 ····· 刘之然 (5-79)
光伏扶贫背景下考虑收益的 DG 并网优化配置方法 ····· 杨 曼, 刘宏宇, 李仁伟 (4-59)	一种基于 5G 通信和零压启动的线路故障定位装置 ····· 李英春, 吴纳磊, 王雷克, 马 超, 陈立新, 马 超 (6-65)
分布式光伏并网方式及数据采集与控制的方式综述 ····· 田由甲, 戴 彬, 郭 刚, 王 帅, 谭大师 (4-63)	架空配电路隔离开关开合位置智能监视装置研究与应用 ····· 白云长, 李建军, 敖旭东 (6-71)
光伏发电可变端点最优轨迹法的最大功率点跟踪新策略研究 ····· 王映斐 (5-62)	一种新型防水端子的研制 ····· 何鸿威 (6-74)
分布式综合能源系统装机配置研究 ····· 董淑梅, 张爱平, 李 伟, 马兰芳, 刘 静 (5-68)	基于传统电能计量装置安装接线的改进研究 ····· 杨叶奎, 王林波, 赵 阳 (7-69)
配电网分布式光伏接入台区及容量的测算方法 ····· 王小虎 (6-55)	用于垂直双分裂导线弧垂调整的直线滑车研制应用 ····· 黄双得, 周自更 (7-72)
电动汽车充换电安全风险多层级智能防控及系统应用技术研究 ····· 窦 胜, 刘国鹏 (6-60)	接线检测自动识别技术在互感器仿真培训装置中的应用 ····· 邹 静, 徐耘英, 王 涛 (7-74)
分布式光伏规模化接入对配电网的影响诊断分析 ····· 吕超然, 吕 翔, 张文瑶 (7-61)	
国内高空风力发电技术应用现状 ····· 肖利坤 (7-66)	
山东省分时电价对光伏和储能系统的影响 ····· 肖利坤 (8-65)	

一种装设 500 kV 接地线的方法研究 侯育皖, 李艳娇 (8-74)

一种基于提高安全生产水平的放电棒设计 方文田, 李斯琳 (8-77)

熔断器绝缘护罩特点及应用 曲亮, 杨杰 (8-81)

营业厅服务状态实时监测装置研究与应用
..... 哲恺斌, 王衍, 杨小奕, 刘乃杉 (9-66)

干簧管式油位计通用型报警装置的研制
..... 黎浩贤, 叶健忠, 甄成远, 利志军 (9-69)

一种辅助更换变压器瓦斯继电器的波纹管压缩装置的研制
..... 何嘉成, 冯奕钧, 李志涛 (9-73)

浅淡区域自备投装置在博州电网的应用分析 王黎黎 (9-76)

一种可拆卸、伸缩的电动井盖起吊装置研发与设计
..... 符德宇, 邹宇, 陈恒龙, 谢振俊, 郭子培, 蒙翔宇 (10-77)

电能计量装置接线正误检测仪的研究与应用
..... 王衍, 杨小奕, 刘乃杉, 哲恺斌 (10-80)

基于行为预测模型的电力设施警示装置研究
..... 王弘扬, 邵可欣, 宋继伟, 刘永军, 丁鹏举, 张运飞 (10-85)

基于单防区振动光纤的高压电缆防外破监测预警装置研发
..... 冯忠奎, 李阳, 车俊儒, 张哲, 赵彦龙 (11-92)

输电铁塔防误登智能脚钉研究与应用
..... 王磊, 许建清, 金桂如 (11-95)

螺栓连接预制龙门架的设计与应用
..... 李海峰, 张子伟, 李晨阳, 倪浩然 (12-72)

一种通用固定式安全带悬挂装置研制
..... 秦炜聪, 虞琴, 罗喆, 李澎, 王延夫, 龙亦文,
徐嵩, 付凯朋, 秦家军 (12-77)

500 kV 线路串联电抗器研究与应用
..... 李峰, 谢国栋, 刘成国, 张冬, 王瑞, 刘博宇 (12-81)

智能无线互感器极性测试仪的研究与应用
..... 董召强, 郭永翔, 魏斌, 赵玉婷, 石家乐 (12-84)

◆ 经验点滴 >>>

变电站自备投装置运行维护分析 王旻玮, 魏大洋 (1-83)

因电压切换继电器故障导致计量失准的差错电量计算分析
..... 廖涛, 曹晓璐, 高利明, 周默, 罗辉勇, 王国卉 (1-86)

浅析 10 kV 配电电缆运行维护与管理 刘昊, 李福生 (1-89)

500 kV 变电站某线流变接头发热异常分析
..... 邢旭亮, 王京, 周刚, 卢天白 (1-91)

35 kV 变电站继电保护整定计算典型经验 高超 (1-93)

小水电供电分离的技术原则分析
..... 朱泽忠, 彭自友, 梅咏武, 叶锋图 (2-85)

一种 10 kV 负损线路治理方法 李红萍, 张浩 (2-89)

配电网调度运行故障及解决措施 李杰 (3-86)

10 kV 配网不停电作业技术应用研究 苏冰, 晁绵东 (3-88)

浅析电力企业短路故障与短路电流计算
..... 赵艳丽, 宋政隆, 余莉 (4-75)

配电网三相负荷不平衡快速调整技术研究与应用
..... 黎臻, 刘修理, 王勇, 张国志 (4-78)

新形势下常见窃电状态估计与侦查 李万, 钟景贤, 李景村 (4-83)

10 kV 架空线路常见故障分析及预防措施 温郁滨 (4-87)

缩短供电半径提升农村用电水平
..... 吴佳峰, 黄航波, 龚建平, 邹佳君, 康思懿 (4-91)

基于微信小程序的输电线路防外破安全教育平台
..... 林添进, 陈亮, 洪海涛, 程志杰, 邹振平, 陈肇隆 (5-83)

断路器状态量化评价研究
..... 石佳, 丁俊, 苏俊霖, 奚路, 沈岩 (5-85)

电力用户低压采集成功率影响因素研究 向奕同 (5-87)

通过台区线损率变化及时发现和消除低压电网漏电隐患 ··· 汪岳荣 (5-90)

错接线工况下电能表计量逻辑的分析 褚兴旺 (6-77)

智能直集中驱动路灯改造示范项目应用分析 ··· 叶旭梁, 刘平 (6-81)

沿海输电线路抗风能力评估探讨 徐晖 (6-84)

低压分布式光伏对营销线损管理影响探讨
..... 周波, 郝圣伍, 许长乐, 方贺 (6-86)

试论变电检修现场危险点与安全控制对策 唐刚 (6-90)

一起 110 kV 组合电器 SF₆ 气体泄漏处理与分析 尚嘉诚 (7-78)

基于计量自动化系统的电量波动研究分析
..... 陈成, 陈永发, 肖惠敏 (7-80)

架空线路杆塔基础滑坡机理分析及防控技术措施
..... 魏志雄, 杨柳辉, 孙立 (7-82)

变电站直流系统绝缘接地故障检测及处理
..... 王军, 胡松华, 王瑞虎 (7-85)

查处窃电典型案例 李万, 黎海生, 李景村 (7-89)

电能计量采集运维和故障处理 伍星秀 (8-84)

新技术在防治窃电中的应用 李万, 黎海生, 李景村 (8-88)

一起 35 kV 母线电压不平衡故障的处置
..... 杜卫仕, 王瑞虎, 胡松华 (9-80)

智能电表采集电流异常及原因探析 汪岳荣 (9-83)

本地费控电表远程无卡购电研究与应用
..... 罗晨, 苏轼凯, 李阳, 杨思学, 张子伟 (9-85)

一起 110 kV 变压器套管发热缺陷处理及油中微量乙炔分析
..... 江浩, 廖雍琦, 李兴旺 (9-89)

配网三相不平衡综合补偿策略 梁标 (10-89)

变压器及 GIS 设备安装调试技术 董亮 (10-92)

220 kV 变电站扩建工程施工技术要点 高磊 (10-95)

可收线型多功能万用表的研制 张坤慧 (10-97)

利用 SOLIDWORKS 实现电缆布置的三维设计
..... 曾毅, 羊祥云, 谭新兴 (10-99)

110 kV 架空输电线路跨越高速公路的施工工艺 张德强 (10-102)

一起 35 kV SF₆ 断路器气压低频繁告警的故障分析
..... 曹志杰, 胡志京 (10-105)

台区线损治理典型经验 杜颖 (11-98)

变电工程中变压器安装调试的注意事项 麻强磊 (11-100)

220 kV 双母线带旁路接线变电站代路操作比较
..... 王婷, 申俊龙, 王志松 (11-103)

备用电源自投装置在县级电网中的应用 王留长 (11-105)

浅谈变压器免维护呼吸器
..... 李林华, 薛冰, 霍天, 陈宇翔, 方文军 (12-87)

500 kV 高压断路器打压频繁问题分析
..... 刁兴逸, 徐成西, 南洋, 夏博雅, 刘育武 (12-89)

城镇供配电网中电缆防火技术探讨 ··· 刘昊, 李福生, 梁子俊 (12-91)

换流阀冷却系统自动模式信号退出导致换流阀闭锁问题处理
..... 冯鑫, 袁立敏, 霍天, 文欢, 张竟言, 段歌 (12-93)

农村家庭触电保护系统的研讨 郭行干 (12-95)

一起 110 kV 变电站 10 kV 母线电压异常故障分析
..... 陈鹏宇, 王晶, 周旭 (12-99)

国家电网小型基建限上项目工程质量探讨
..... 刘超, 孟美尊, 安非, 夏圆圆, 尤朋飞 (12-101)