

学以致用谋发展 以学促干建新功

本刊编辑部

在全党深入开展学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育，是党中央为全面贯彻党的二十大精神、动员全党同志为完成党的中心任务而团结奋斗所作的重大部署，是2023年党的建设的重大任务。

国家电网有限公司党组按照党中央有关要求，制定公司党组实施意见，召开动员大会，成立领导小组和巡回指导组，推动主题教育有力有序开展、不断走深走实。主题教育采取集体研学、集中自学、个人自学等方式展开。公司党组书记、董事长辛保安强调，要站在坚定拥护“两个确立”、坚决做到“两个维护”的政治高度，提高理论素养、坚定理想信念、升华觉悟境界、增强能力本领，在以学铸魂、以学增智、以学正风、以学促干上取得实实在在的成效。

一是在“学思想”上下功夫。全面学习领会习近平新时代中国特色社会主义思想，把握好这一思想的世界观和方法论，坚持好、运用好贯穿其中的立场观点方法，不断增进对党的创新理论的政治认同、思想认同、理论认同、情感认同，真正把马克思主义看家本领学到手。

二是在“强党性”上下功夫。不断提高政治判断力、政治领悟力、政治执行力，自觉用习近平新时代中国特色社会主义思想改造主观世界，弘扬伟大建党精神，牢记“三个务必”，保持共产党人的政治本色。

三是在“重实践”上下功夫。坚持学思用贯通、知信行统一，领导干部要扑下身子、下沉一线，团结带领广大干部职工投身公司“一体四翼”高质量发展实践，以国家电网新担当新作为为中国式现代化赋能作贡献。

四是在“建新功”上下功夫。坚持目标导向和问题导向相统一，把开展主题教育同贯彻落实党中央各项决策部署结合起来、同推动中心工作结合起来，将学习成果转化为强大动力，奋力开创公司改革发展新局面。

在南方电网公司召开的学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育动员会议上，公司董事长、党组书记孟振平强调，要牢牢把握主题教育的总要求，自觉以党的创新理论统领和指引公司各项工作，切实强化组织领导和统筹谋划，推动主题教育取得成效。

一是立足“三个突出”谋全局。要突出国企特色、能源行业特点、公司基本职责，推动主题教育更加生动鲜活、更加富有成效。

二是做到“五个结合”见成效。要把主题教育与学习宣传贯彻党的二十大精神紧密结合起来，与把全面从严治党引向深入紧密结合起来，与二十届中央对公司党组的巡视紧密结合起来，与打造堪当世界一流企业建设重任的党员干部队伍紧密结合起来，与加快战略规划实施、推动高质量发展紧密结合起来，更加努力地將南方电网的事情办好做扎实，推动中心工作取得更大成效。

三是强化“五个带头”作示范。各级领导干部要以更高标准、更严要求、更实措施，带头领学带学促学，带头领题调查研究，带头当好“施工队长”，带头检视整改问题，带头联系群众，为全网作示范、立标杆。

四是把握“三个关系”抓统筹。把握好主题教育中整体进度与分批进行的关系，把握好不分阶段与突出重点工作的关系，把握好落实公司党组部署安排与兼顾属地党委有关要求的关系，以系统观念抓实抓好主题教育各项工作。

当前，主题教育正在不断深入推进，习近平新时代中国特色社会主义思想引领着广大干部职工在工作中自觉运用党的创新理论研究新情况、解决新问题，实现学以致用谋发展、以学促干建新功。

农村电气化

NONGCUN DIANQIHUA

2023年第6期 总第433期 1979年创刊

2023年6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 926523085/86/90/91/92
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 “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

运行维护

- 7 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 邴, 杨 云, 姚伟瑾

安全生产

- 10 主变差动保护动作故障分析 李领南, 张士磊
13 台湾省“303”大停电对继电保护的思考
方愉冬, 陈伟华, 吴 坚, 叶仁杰

智能电网

- 18 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
23 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
28 基于无线公网的信号盲区电能数据采集的应用
李小江, 赵 贇, 王毅博

信息系统

- 32 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
37 基于三维仿真场景的巡检记录汇总分析平台 白雪峰

QC小组

- 41 新型易装配电线路电杆防撞标示牌 谭文喜, 彭正良, 曹智平
43 语音告警防触电警示牌 李春发, 卢伟雄
46 缩短计量异常处理时间 霍振星, 王敏鑫, 栗晓华, 王 娜
51 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



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

清洁能源

- 55 配电网分布式光伏接入台区及容量的测算方法 王小虎
- 60 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

器具设备

- 65 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
- 71 架空配电线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
- 74 一种新型防水端子的研制 何鸿威

经验点滴

- 77 错接线工况下电能表计量逻辑的分析 褚兴旺
- 81 智能直流集中驱动路灯改造示范项目应用分析 叶旭梁, 刘 平
- 84 沿海输电线路抗风能力评估探讨 徐 晖
- 86 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
- 90 试论变电检修现场危险点与安全控制对策 唐 刚

资 讯

- 前插页 学以致用谋发展 以学促干建新功 本刊编辑部
- 36 浙江送变电公司: 应用焊接机器人提升施工质效
- 40 河南开封公司: 145 kV 无氟环保气体开断断路器试运行
- 54 安徽滁州公司: 柔直互联系统落户红色景区
- 76 湖南岳阳公司: 推进乡村充电网络建设

广 告

- 封面 北京华商三优新能源科技有限公司
- 封 2 北京数字绿土科技股份有限公司
- 封 3 北京易艾斯德科技有限公司
- 封底 北京易艾斯德科技有限公司
- 拉页 1 北京易艾斯德科技有限公司
- 拉页 2 北京数字绿土科技股份有限公司

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 Typical Method for Special Improvement of Distribution Network of Xinwan Power Supply Station under Double Bridge Economy/
TONG Jincong, ZHAO Jizong, ZHANG Neng

◆Operation & Maintenance◆

- 7 Study on Optimization Scheme of Cooling Mode of Transformer Strong Oil Circulating Water Cooling System in Underground Substation/
LI Yan, YANG Yun, YAO Weijin

◆Safety◆

- 10 Analysis of Differential Protection Action of Main Transformer/LI Lingnan, ZHANG Shilei
13 Reflections on Relay Protection During "303" Power Outage in Taiwan, Province/FANG Yudong, CHEN Weihua, WU Jian, YE Renjie

◆Smart Grid◆

- 18 Research on Multi-dimensional Verification Technology of Intelligent Substation SCD/
LUO Zhenhua, CHENG Jiafu, LIAO Huiqin, SUN Difei, TANG Ye, XU Zhongnan
23 Research on Fault Self Healing Scheme for Overhead Transmission Lines in Distribution Networks Based on 5G Communication Technology/
HUANG Zhenhua, WANG Shaochun, YU Jian, ZHAO Yinming, CHEN Yan
28 Research on Application of Electric Energy Data Collection Based on Wireless Public Network in Signal Blind Zone/
LI Xiaojiang, ZHAO Yun, WANG Yibo

◆Information System◆

- 32 Research on Bay Mapping Technology of Secondary System in High Reliability Substation/
HE Ruixiang, WANG Shuyue, SONG Mengjie, SHI Hailin, WU Guowei, LU Lin
37 Development of Inspection Record Summary and Analysis Platform Based on 3D Simulation Scenarios/BAI Xuefeng

◆QC Group◆

- 41 New Type of Easily Installed Anti-collision Signs for Distribution Line Poles/TAN Wenxi, PENG Zhengliang, CAO Zhiping
43 Research on One Kind of Voice Warning Signs for Preventing Electric Shock/LI Chunfa, LU Weixiong
46 Shorten the Processing Time of Measurement Anomalies/HUO Zhenxing, WANG Minxin, LI Xiaohua, WANG Na
51 Improve the one-time Success Rate of Real Stone Paint Construction on the Exterior Walls of Substation Buildings/
HAN Xiaofeng, CUI Yachao, ZHANG Deng

◆Clean Energy◆

- 55 Measurement Method of Distributed Photovoltaic Access Station Area and Capacity in Distribution Network/WANG Xiaohu
60 Research on Multi-layer Intelligent Prevention and Control of Safety Risks in Electric Vehicle Charging and Switching and System Application
Technology/DOU Sheng, LIU Guopeng

◆Equipment◆

- 65 Line Fault Location Device Based on 5G Communication and Zero-voltage Start/LI Ying Chun, WU Na Lei, WANG Lei Ke, MA Chao, CHEN Li Xin,
MA Chao
71 Research and Application of Intelligent Monitoring Device for Opening and Closing Position of Isolation Switch of Overhead Distribution Line/
BAI Yunchang, LI Jianjun, AO Xudong
74 Development of a New Type of Waterproof Terminal/HE Hongwei

◆Experiences◆

- 77 Analysis of Metering Logic in Wrong Connection Condition/CHU Xingwang
81 Application Analysis of Intelligent DC Centralized Drive Street Lamp Renovation Demonstration Project/YE Xuliang, LIU Ping
84 Discussion on Wind Resistance Assessment of Coastal Transmission Lines/XU Hui
86 Analysis and Discussion on the Impact of Low Voltage Distributed Photovoltaics on Marketing Line Loss Management/
ZHOU Bo, HAO Shengwu, XU Changle, FANG He
90 Discussion on Dangerous Points and Safety Control Paths at Substation Maintenance Sites/TANG Gang

“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

(国网浙江省电力有限公司宁波供电公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 宁波供电公司杭湾供电分公司新湾供电所依托杭湾配电网工程建设临时党支部这个党建引领平台, 对新湾供电所管辖的配电网进行专项提升, 通过专项查勘、统一梳理、集中办公等为期15天的突击, 从滨海新城区域、十一塘以北区域、工业区大用户区域3个方面进行网架优化, 制定一区域一策的专项方案, 形成了一系列典型思路。

关键词: 供电可靠性; 党建引领; 配电网; 专项提升

中图分类号: TM727

Typical Method for Special Improvement of Distribution Network of Xinwan Power Supply Station under Double Bridge Economy

TONG Jincong, ZHAO Jizong, ZHANG Neng

(State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Ningbo Power Supply Company, Zhejiang Ningbo 315000, China)

Abstract: Xinwan Power Supply Station relies on the temporary party branch of Hangzhou Bay Power Distribution Network Construction Project as a leading platform for party construction to specifically improve the power distribution network. Through fifteen days of effort such as special survey, unified sorting, and centralized office work, it conducts grid optimization from three aspects: the Binhai New City area, the area north of the eleven pond, and the large user area of the industrial zone, and formulates a special plan for one area, one policy. A series of typical ideas have been formed.

Keywords: power supply reliability; party guidance; distribution network; special improvement

新湾供电所管辖区域宁波市杭州湾新区, 在杭州湾跨海大桥带动下高速发展, 如今世界上最长的通苏嘉甬跨海铁路的开工将带来经济的再次腾飞。新湾供电所始终坚持“电等发展”的原则, 主动服务稳经济发展大局, 坚决扛起共同富裕电力先行使命担当, 积极探索适合自身电网特色的配电网专项提升典型思路, 形成了一系列典型经验, 确保辖区内配电网可靠运行、企业和老百姓可靠用电, 服务好双桥经济发展。

1 新湾电网现状

1.1 区域类型与用户规模

区域类型: 核心城区+滨海新城集中开发区。新湾供电所为典型城区供电所。

用户规模: 中压用户1959户, 其中专变1316户, 台区643户, 配变总容量249.57万kV·A; 低压用

收稿日期: 2023-01-01

户80151户。横向对比, 区域类型和等效用户规模与宁波江北甬江供电所、鄞州江东供电所和鄞城供电所水平相当。

1.2 线路规模

新湾供电所管辖10kV线路246回(架空线路0回、电缆线路202回、混合线路44回)。区域由13个110kV变电所供电(白鹭变电站23回、滨海变电站16回、崔陈变电站20回、富强变电站15回、港湾变电站9回、海星变电站20回、虹桥变电站13回、盘琪变电站24回、闻涛变电站21回、新舟变电站25回、越瓷变电站34回、战胜变电站14回、鳌头变电站12回)。线路总长度1376.459km, 其中架空部分166.29km, 电缆部分1210.17km, 电缆化率87.92%。

1.3 自动化水平

配电自动化有效覆盖率80.15%, FA投运34个环。

1.4 网架指标

线路 $N-1$ 通过率 100%，大用户的公线专用模式负荷上来后将会大大降低这个数值，站间联络率 100%。线路负载率平均值 6.11%。其中，4 回线路最大负载率低于 20%。整体负载率水平不高。如图 1 所示，2022 年新湾供电所负载率为 75% 以上线路最大负载率及最大电流情况，2022 年出现线路负载率 75% 以上共 16 条。

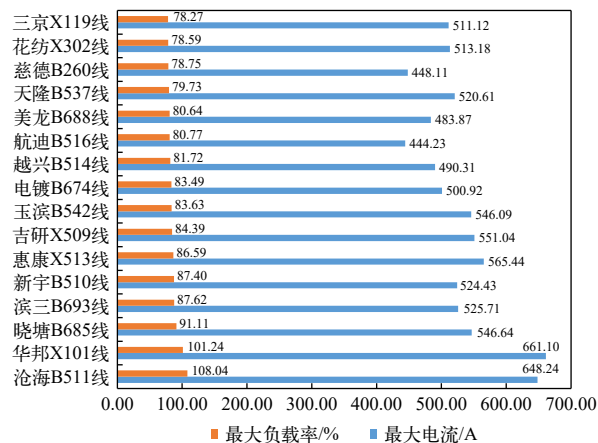


图 1 2022 年新湾所负载率为 75% 以上线路清单

1.5 运行指标

供电可靠性指标：2021 年，新湾所全年总停电 504.42 h·户，其中故障 504.42 h·户，供电可靠率 99.9964%，供电所排名第 5；2022 年，截至 12 月 20 日，全年停电 1973.21 h·户，其中故障停电 1973.21 h·户，供电可靠率 99.99%，供电所排名第 48。指标严重下滑，体现辖区内配电网确实存在较多薄弱环节。

截至 2022 年 12 月 20 日，新湾所累计停电 20 h·户以上的线路共 14 回、合计 35 次。最高为芳华 X806 线，10 次有效故障，停电 369 h·户。具体故障次数及总故障时户数情况如图 2 所示。

其中芳华 X806 线，已经通过割接和运行方式

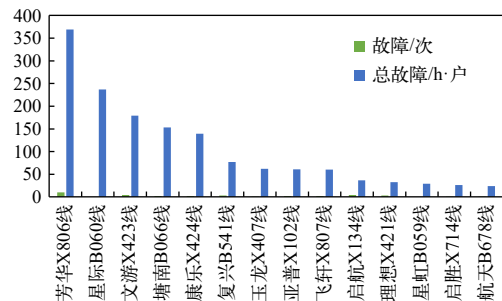


图 2 2022 年新湾供电所供电可靠性情况

调整将供电半径和用户数量控制在 12 个，将会通过加装分段开关，继续控制到 9 个。并且 3 部分的架空智能开关全覆盖，三遥智能开关覆盖架空分支首端、两个联络。

1.6 对标分析

与其他体量相当的兄弟单位对比，具体情况如表 1 所示，由表中数据可以得到以下结论：新湾电网的宏观网架水平在宁波城区供电所当中并不差，但确实存在新海新城架空线路等诸多局部薄弱环节，薄弱环节导致了整体可靠性薄弱。提高供电可靠性，要加强自动化建设，优化架空线路运行方式和环境，另外新湾供电所仍须在运维质量提升上向先进兄弟单位多多学习。

表 1 2022 年供电所可靠率指标情况

供电所	排名	等效用户	可靠率/%
江北甬江	4	1 992.54	99.997 9
鄞州江东	1	4 993.31	99.998 5
鄞州鄞城	5	4 177.45	99.997 8
杭湾新湾	48	1 973.21	99.991 6

2 负面清单梳理

根据典型负面清单为导向，地毯式梳理新湾全量 246 回线路，初步梳理出负面清单 2 大类、8 小类、15 条次问题，如表 2 负面清单所示。

3 一区域一策初步方案

针对辖区现存负面清单，新湾所通过分层分级的改造思路，制定一区域一策改造方案。逐个进行改造升级，提升辖区电网可靠性。

3.1 滨海新城问题—全入地项目储备

鉴于目前辖区滨海新城初具规模，其区域内建设空地不再新增，房产、商业体和基础建设已经处于收尾，用于建设的临时变销户业务办理逐渐增多，全入地方案可以储备，全自动电缆方案是建成区首选。目前 2023 年滨海新城改造项目共计 7 项，投资金额达 5 947 万元，涉及滨海新城内所有大分支线路，改造完成后将大大提高滨海新城区域供电可靠性能力。

以滨海新城改造项目中“宁波杭湾 2022 年 10 kV 星虹 B059 线、塘南 B066 线负荷分流工程”作为典型案例来说明。2022 年全年塘南 B066 线共

表 2 新湾供电所负面清单

序号	负面分类	负面内容	所属线路	建设改造方案	解决时间
1	网架提升	线路长200余档、用户15个、无联络	玉龙X409线	职涂XA500线分流至新设环网	2023年
2	网架提升	惠康X513线、沁园X512线负荷较重，对侧为庵东线路无法长期接电，未来存在N-1不通过风险	惠康X513线、沁园X512线	考虑富强变电站、战胜变电站新出两回线路T接	2023年
3	网架提升	线路长约300档、用户14个、无联络	沁园X512线	三围XA660线、轩围XE017线线路割接，新增联络点	2023年
4	网架提升	T接环网末端无联络	强盛X301线、八塘B245线	T接环网串入主环或者增加联络	2023年
5	网架提升	睿博园往港湾变电站方向的一回电缆是断头电缆。六融环网箱往东T接约60 000 W负荷，随着该区域高速发展，后续仍将有大量用户报装，急需分流。	官形X809线	港湾变电站新出1回线与断头电缆接上，补全官形X809线、浩初X810线双环网，并将六融环网箱往东T接的负荷割接到官形X809线、浩初X810线上。	2023年
6	老旧隐患	开关站TV、故障指示器、带电显示器、微机保护、二次线路、表计等零件损坏	上湾X305线飞宇环网单元等	更换老化配电设备	2023年
7	老旧隐患	腾涂XA452线等防雷	宝陆X112线	支线防雷改造	2023年
8	老旧隐患	七院支线老旧高故障线路，年故障次数3次以上	佳丽B671线	进行入地改造	2023年
9	老旧隐患	安尔达等环网潮湿严重，部分损坏，影响安全稳定运行	八塘B245线	更换损坏设备，进行防潮改造	2023年
10	老旧隐患	冠亚支线架空线路老旧	惠康X513线	更换老旧架空线路	2023年
11	老旧隐患	盛德B672线电缆运行时间长，存在隐患	盛德B672线	更换老化电缆，重做电缆头	2023年
12	老旧隐患	汽院环网单元老旧严重，存在隐患	幽兰X617线、翠竹X618线	更换隐患配电设备	2023年
13	老旧隐患	随着滨海新城东部区域开发逐渐完善。架空线上仅挂接有部分临时用电和少量路灯变，待基建变拆除后后续报装负荷不再考虑往架空线上接入，架空线的存在造假故障发生的隐患。	星虹B059线、塘南B066线	目前滨海新城区域主网架已经完善，待临时用电销户后，架空线路逐步拆除。早期接入的65个路灯变，泵站等正式变根据实际情况割接至附近站点	2023年
14	老旧隐患	随着滨海新城西部区域开发逐渐完善。架空线上仅挂接有部分临时用电和少量路灯变，待基建变拆除后后续报装负荷不再考虑往架空线上接入，架空线的存在造假故障发生的隐患。	康乐X424线、文游X423线	目前滨海新城区域主网架已经完善，待临时用电销户后，架空线路逐步拆除。早期接入的65个路灯变，泵站等正式变根据实际情况割接至附近站点	2023年
15	老旧隐患	随着滨海新城中部区域开发逐渐完善。架空线上仅挂接有部分临时用电和少量路灯变，待基建变拆除后后续报装负荷不再考虑往架空线上接入，架空线的存在造假故障发生的隐患。	理想X421线、听海X422线	目前滨海新城区域主网架已经完善，待临时用电销户后，架空线路逐步拆除。早期接入的65个路灯变，泵站等正式变根据实际情况割接至附近站点	2023年

计发生故障次数 2 次，造成故障停电 159.942 h·户，位列全年高故障线路第 4 位。其中塘南 B066 线塘海 XA583 线支线，分支用户超过 22 个。为高故障因素重要来源，如图 3 (a) 所示为改造前线路图，图 3 (b) 为改造后线路图，其改造思路为：大分支打散成小分支，目前已经完成；滨海新城建设已经

接近尾声，临时变销户后最终实现入地。

具体方案：杭湾港湾环网单元新出电缆至塘海 XA583 线 53 号杆上杆分流 32 号杆以后负荷；教育支线在港湾变投运后割接至滨海小学环网单元。余线路参照此方案先将正式变割接，电源点优先选用小区公变配电室或环网室拼柜的方式。待架空线上

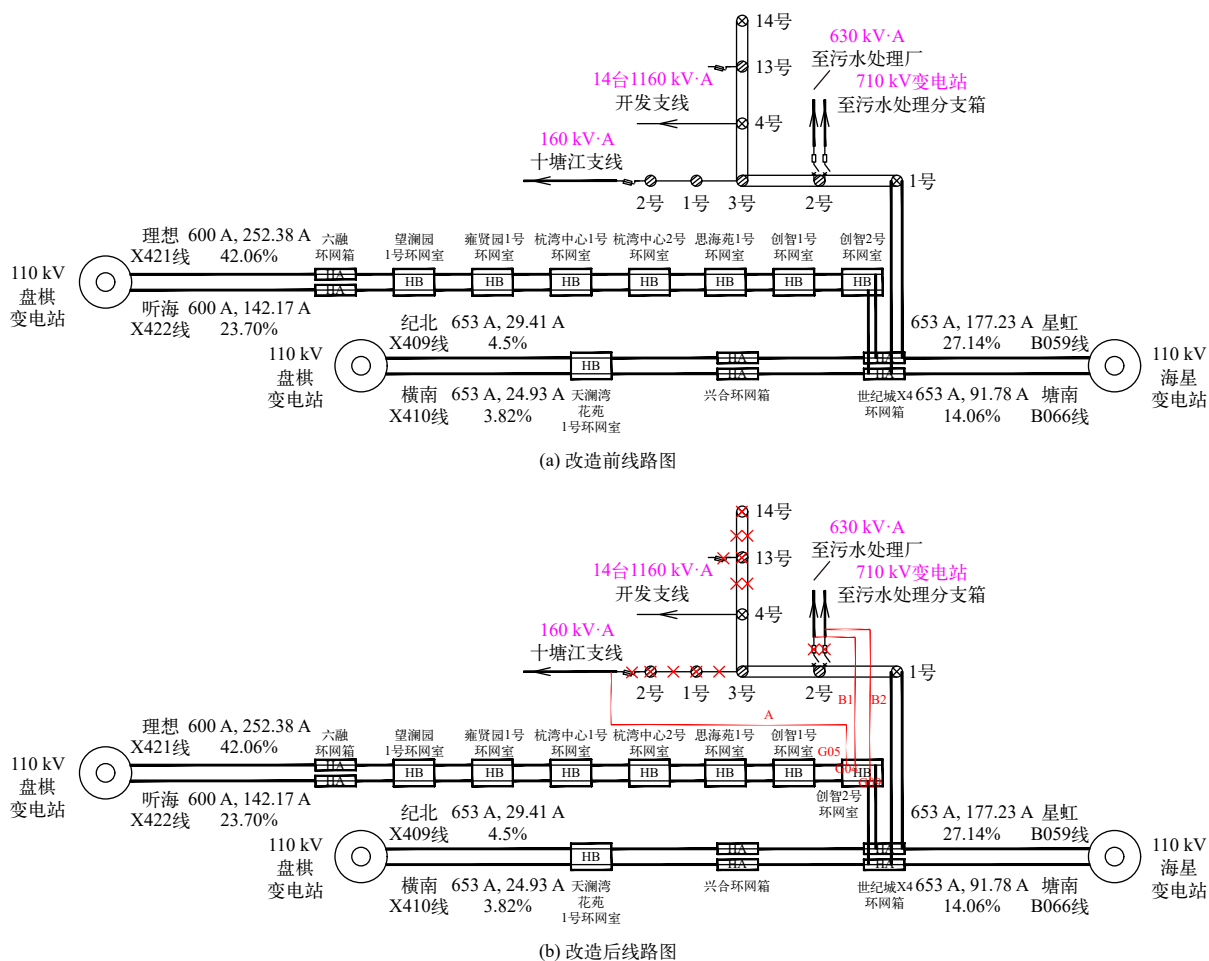


图3 改造前后线路对比图

临变销户后，将架空线全部拆除。分支加装智能开关，提高线路转供能力。

3.2 十一塘以北问题—环网提前布局

十一塘以北区域目前还属于开发建设空地，越来越多的基建项目已经布局入场，开工在即。且目前该区域内并无电缆线路，如果规划不当将会成为第二个滨海新城架空现状。因此此片区域提前规划供电模式对于提升新湾所配网可靠性具有十分重要的意义。以目标网架为基础，提前布局电缆线路与环网数，增加供电电源点，有条件的正式变直接由环网供电，架空线路优先从环网取电，避免后期出现架空线路交错复杂的不可靠的供电网架。真正做到“电等发展”。

目前2023年十一塘以北片区改造项目共计3项，投资金额达448375万元，提前进行网架结构规划，合理布设电缆线路与环网数量，为前湾新区机场建设与落成提供电力保障。

3.3 工业区大用户问题—大用户T接，主环实现全自动FA

工业区大用户问题的改造和供电模式：考虑公线专用的大用户按T接处理，保持与主环的联络，主环实现全自动FA。

3.3.1 接入容量：5000~8000 kV·A

接入原则：采用2条公用线路接入，单计量点容量不超过5000 kV·A。

环网站建设要求：在地块红线内建设1座环网站，环网站门朝红线外开。环网站设2段母线带联络。网架结构采用标准双环，工字型接线。

专变接入要求：采用单母线分段，高压不联络，内部设置1个受电点。高可靠性费收取按照用户实际需求，如高、低压均不联络则不收取高可靠性费。

接入示意图如图4所示。

3.3.2 接入容量为8000~10000 kV·A

(1) 原则上采用1条公线专用接入

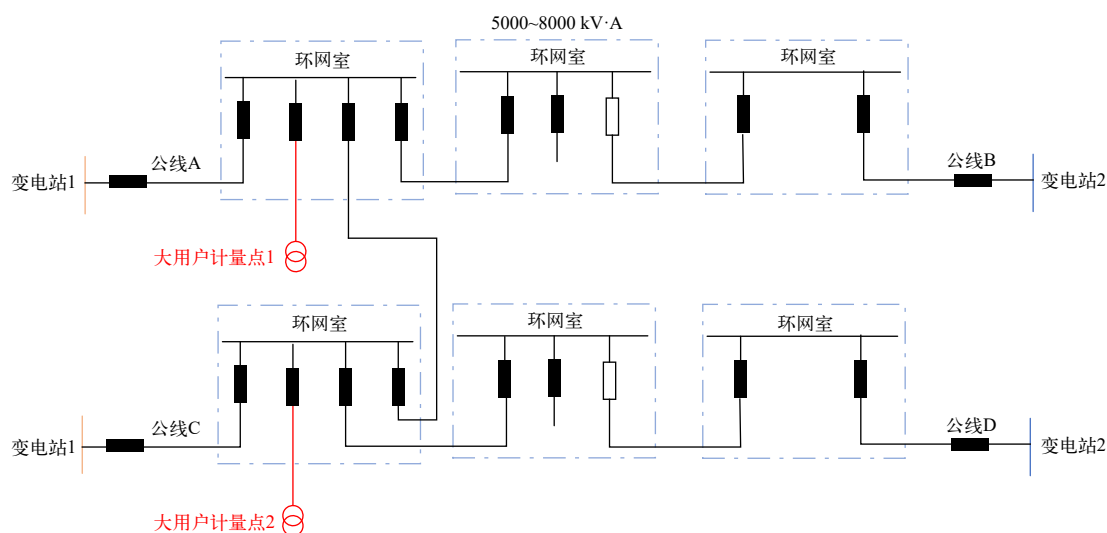


图4 容量为5000~8000 kV·A供电接入方式

接入原则：在用户红线内建设1座环网站，采用1回公线专用的方式接入。

环网站建设要求：在地块红线内建设1座环网站，环网站门朝红线外开。前期环网站允许只建设I段母线，预留II段土建位置及环网站至红线外排管。与就近公用线路联络。根据公线专用长期负载情况，远期按照标准双环预留土建。

专变接入要求：采用单母线接线，内部设置1个受电点。

生产运行指标考核调整建议：该接入方式不满足线路N-1和标准网架结构，接入前需向省、市公司报备。

接入示意图如图5所示。

(2) 特殊情况下采用2条公用线路接入

接入原则：110 kV变电站10 kV间隔资源紧张情况下采用2条公用线路接入，单计量点容量不超过5000 kV·A。

环网站建设要求：在地块红线内建设1座环网站，环网站门朝红线外开。环网站设2段母线带联

络。标准双环，工字型接线。

专变接入要求：采用单母线分段，高压不联络，内部设置1个受电点。高可靠性费收取按照用户实际需求，如高、低压均不联络则不收取高可靠性费。

接入示意图如图6所示。

目前新湾供电所针对工业区大用户接入问题，形成改造及供电方案15个，改造金额达7422.38万元。如图6为改造前线路运行图，由于智能产业二期将要由 $4 \times 630 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 增容成 $4 \times 1600 \text{ kV}\cdot\text{A}$ ，而所在线路装机容量分别为28000 kV·A与20000 kV·A。对于线路N-1造成极大的困难，无法实现全自动FA，供电可靠性较低。因此将智能产业园二期以公线专用供电的形式，其他负荷形成标准双环实现全自动FA，通过T接方式与智能产业园二期联络，提高主环可靠性。其改造前后线路图如图7所示。

3.4 自动化改造方案按照2023年配电自动化全覆盖目标制定专项方案

根据2023年配电自动化全覆盖目标专项方案要

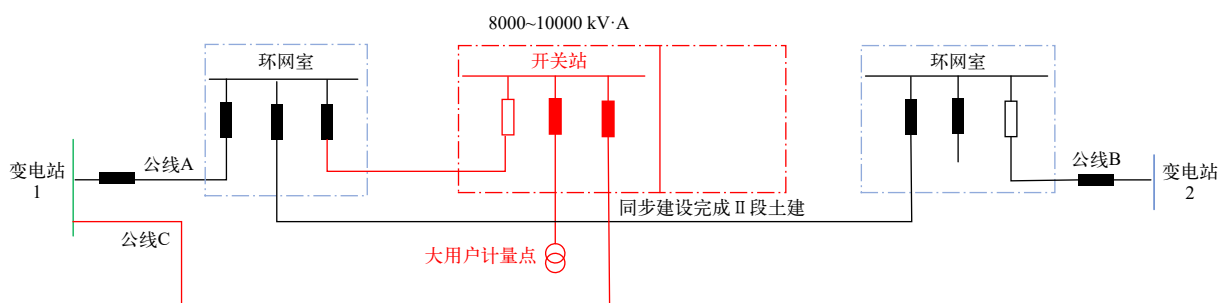


图5 采用1条公线专用接入

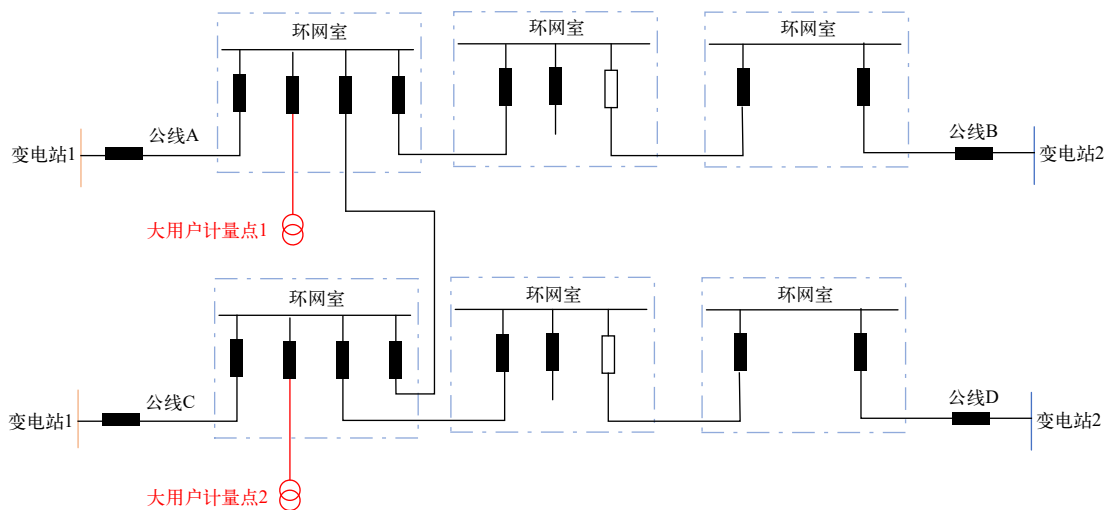


图6 特殊情况下采用2条公用线路接入

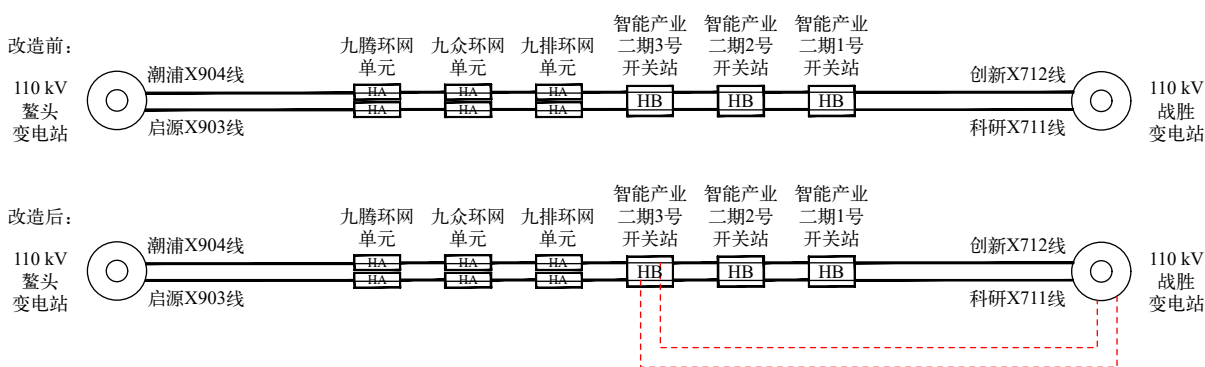


图7 改造前后线路图

求共计4个改造项目，预计新装DTU137台，敷设控制电缆长度83.7 km，光缆长度248.3 km，台区只能融合终端376台，室内环境监控设备137套，OLT（汇聚用）18套，PON口板12板，DTU基础45座，光缆交接箱9座，项目总投资金额2963万元。目前辖区架空线路方面已经实现三遥智能开关全覆盖，目标是2023年全年实现自动化覆盖率100%；新投设备线路严格按照一二次同步，从源头上进行把关。

4 后续工作计划

根据本次专项提升活动全面梳理了新湾所现有电网架构存在问题，以分层分级的改造思路，制定了一区域一策略的改造方案。力争切实高效推进方案落地，保障方案有效执行。在后续工作计划中将从以下几个方面持续推进执行：继续加快项目深化，达到可研评审深度，年底完成第三批项目评审。严肃负面清单滚动更新制度，加强完善监督与考评。

加快配电自动化覆盖率提升和实用化水平提升。加强智能化运维能力提升（无人机、红外、接地故障测试仪等成熟的经过实践检验的设备使用技能及人员梯队培养）。提升不停电作业数量和质量，压减因工程实施带来的停电矛盾。总结完善本次专项提升活动经验，针对新湾所制定专项电网提升方案。

5 结束语

总而言之，新湾供电所探索适合辖区内配电网建设改造提升思路，形成了宝贵的典型经验，将不遗余力助力“双桥”经济下的前湾地区飞速发展，以经济发展、电力先行为准则，努力提高配电网可靠供电能力，保障企业和百姓可靠用电。

作者简介

童金聪（1988—），男，电力工程技术工程师、配电线路高级技师，主要研究方向：配电线路及自动化、智能电网。

（责任编辑：张峰亮）

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¹, 杨 云², 姚伟瑾³

(1. 国网北京市电力公司丰台供电公司, 北京 丰台 100071; 2. 国网北京市电力公司平谷供电公司, 北京 平谷 101200; 3. 国网北京市电力公司物资分公司, 北京 西城 100032)

摘要: 电力系统中变压器是变电站的核心设备, 在北京地区特别是主城区内, 因建设用地紧张, 大部分变电站采用户内地下站形式建设, 变压器的散热问题成为了保证主变平稳可靠运行的关键, 因此研究地下变电站变压器散热问题十分必要。

关键词: 变压器; 地下站; 水冷却系统; 散热

中图分类号: TM416

Study on Optimization Scheme of Cooling Mode of Transformer Strong Oil Circulating Water Cooling System in Underground Substation

LI Yan¹, YANG Yun², YAO Weijin³

(1. State Grid Beijing Electric Power Company Fengtai Power Supply Company, Beijing Fengtai 100071, China; 2. State Grid Beijing Electric Power Company Pinggu Power Supply Company, Beijing Pinggu 101200, China; 3. State Grid Beijing Electric Power Company Materials Branch, Beijing Xicheng 100032, China)

Abstract: The core equipment of the main transformer substation in the power system. In Beijing, especially in the main urban area, most substations are built in the form of indoor underground stations due to the shortage of construction land. The heat dissipation problem of the main transformer has become the key to ensure the stable and reliable operation of the main transformer. Therefore, it is necessary to study the heat dissipation of transformer in underground substation.

Keywords: transformer; underground station; water cooling system; heat dissipation

随着城市的发展, 电力需求持续增长, 需要建设更多市区变电站。而市区土地资源极为宝贵, 环境要求严格, 尤其对于北京、上海等国内经济发达的大型城市核心区域, 变电站站址选择日趋困难^[1]。对环境影响较小, 可以综合利用土地资源的地下变电站形式越来越得到政府、企业的重视。地下变电站内变压器建造在地下, 主变本体及油水热交换器布置于地下厂房内, 水冷却器则布置于地面或建筑物屋顶, 通过这种立体布置的方式, 既节省了占地^[2], 又易于主变通风散热, 同时还减低了通风设备的投资及运行费用^[3-4], 符合全寿命周期理念。

本文首先对地下变电站变压器强油循环水冷却系统所处环境及运行原理进行了介绍; 其次, 从水冷却系统布置方式设计和地上空-水散热器设计参数信息 2 个方面对主变压器冷却系统装置进行分析;

收稿日期: 2022-12-02

最后, 基于地上散热器布置方式对其优化方案的可行性和有效性进行了验证。结果表明, 本文所提的优化方案可有效解决地下变电站主变压器散热问题, 保障主变平稳可靠运行。

1 项目情况介绍

某 220 kV 输变电工程为地下站, 共安装 3 台油浸式有载调压变压器, 变压器上方为物资库房底板, 冷却方式为强迫油循环水冷 (OFWF) 方式。即变压器外加装了一套与冷却油箱相连的系统, 包括油泵、滤油器和水冷却器等。在水冷却器内部通有冷却水, 外部流过热油, 冷却水将油的热量带走, 然后从排水管内排出, 使热油得到冷却。而冷却水则通过水泵至地面, 流经顶部装有冷却风机组的散热片进行降温散热, 再次循环回到水冷却器。该种散热模式最终由水-空气将热量交换至大气, 因此, 地

面水冷却系统效率决定了整个散热系统的散热效率。

该 220 kV 变电站情况较为特殊，散热器在物资库底板下方（如图 1 所示），考虑到物资库底板下方空间可能对散热器散热存在影响，有必要针对此问题展开研究，找到 1 种优化方案使得变压器散热高效可靠运行。

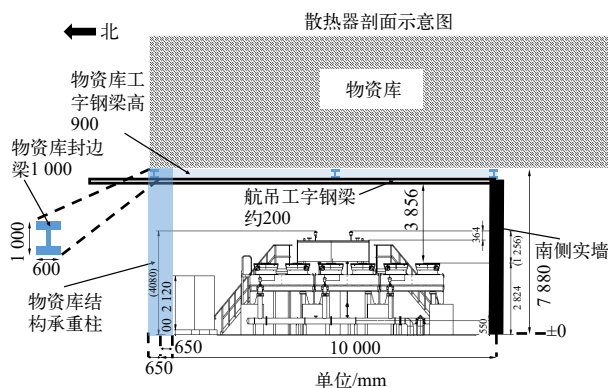


图 1 水冷却系统布置方式图

2 主变压器冷却系统配置

2.1 水冷却系统布置方式设计

单台主变配置散热器 3 组，运行逻辑按照 1 组工作 1 组备用 1 组辅助配置，安装方式为平铺方式，地下采用油水热交换器，地上采用空-水散热器。其布置方式如图 2 所示。

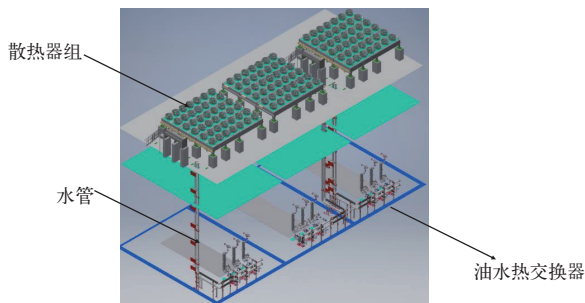


图 2 水冷却系统布置方式剖面图

2.2 地上空-水散热器设计参数信息

基于该变压器 549 kW 的负载损耗与 67 kW 的空载损耗，选用 550 kW、水流量 110 m³/h、进出口水温为 57/52 °C 的冷却器，可以保证变压器的温升在顶油 50 K、绕组平均 64 K、绕组热点 77 K 的范围内，变压器能正常安全的运行，且该水冷系统还有适当的备用（1 用 1 备 1 辅助），能保证变压器

有足够的过负荷能力。因此，每台地上散热器额定设计参数如表 1 所示。

表 1 散热器额定设计参数

水侧设计参数	额定参数	单位
冷却功率	550	kW
冷却介质	闭式循环水	
额定水流量	110	m ³ /h
进水温度	57	°C
出水温度	52	°C
气侧	额定参数	
风机数量	18	只
风机	EBM	
电机极数	12	
空气流量	45	m ³ /s
进气温度	40	°C
出气温度	52.1	°C
散热器芯组风阻	31	Pa
风机静压	36	Pa
单风机噪音(带降噪格栅)	58	dB(A)
单台散热器噪音	55	dB(A) (1 m)

3 地上空-水散热器优化设计

3.1 地上散热器布置采用平铺方式

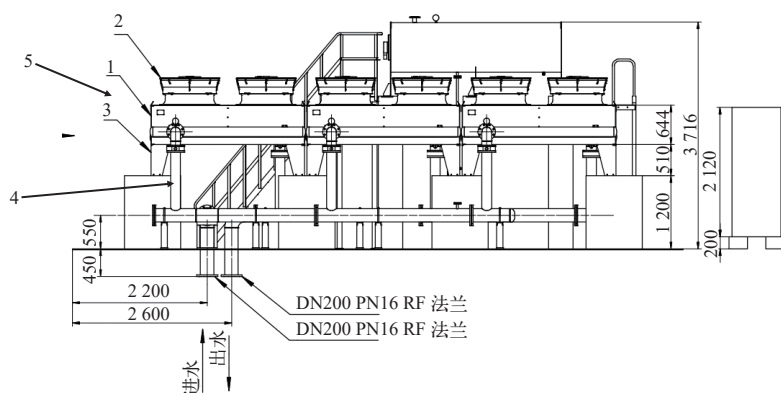
地上散热器的平铺布置及通风特点是：换热芯组（绿色标注）水平布置，通风方向为下进上出，翅片侧进风，风机/电机侧出风（芯组可防堵塞，易清理）。单台变压器散热器平铺面积约为 100 m²。地上散热器的布置方式具体如图 3 所示。

3.2 平铺方式分析

由于散热器位于建筑物 1 层内，且 3 面无墙体，因此在风扇启动运行时，风流存在扰动的情况，导致气压不足，热量不能及时排除。因此，考虑采取对散热器进行进气、出气分隔的方式减少进出气串流，增加气压和空气流动速度，提高散热能力。具体方式如图 4 所示。

3.3 方案优化设计可行性分析

散热器的进气口布置如图 5 所示，冷空气从 3 面进入散热器。因此，本文通过计算进入散热器的



(a)
1-换热器; 2-风扇; 3-支撑件; 4-水管; 5-散热器组。

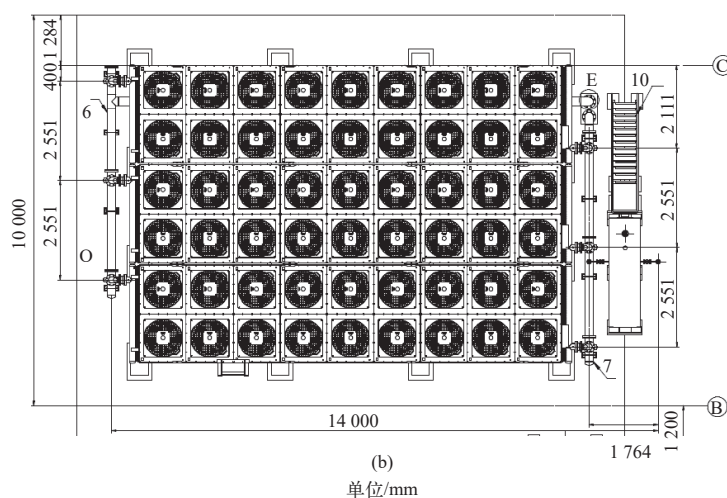


图3 空-水散热器布置方式图

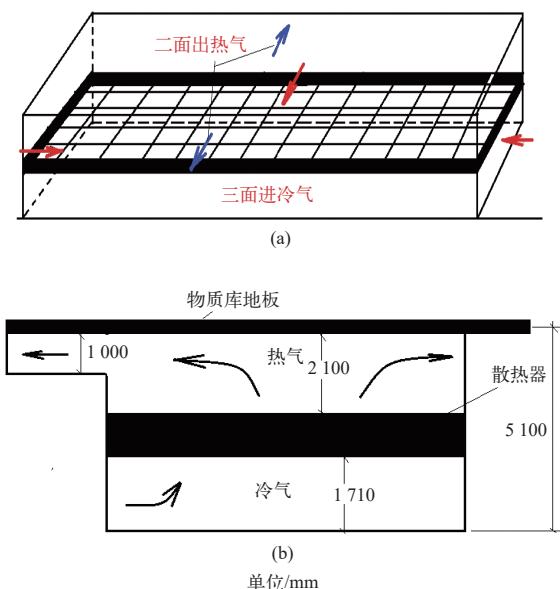


图4 空-水散热器进气、出气分隔图

空气流量来分析进气口的平均速度。散热器的出气口布置如图6所示,通过散热器的热气流,从2个

长边排除空气。因此,本文通过计算排出散热器的空气流量,计算出气平均速度。具体计算过程如下所示。

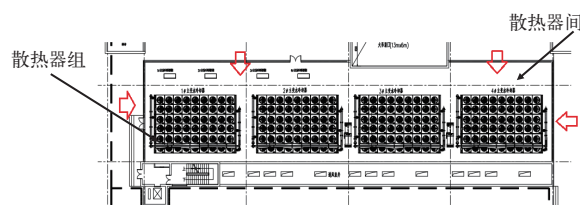


图5 进气(地面冷气)口布置

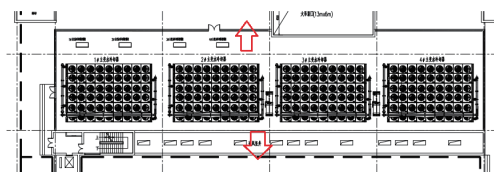


图6 出气口(热气流)布置

(下转第59页)

主变差动保护动作故障分析

李领南, 张士磊

(国网河北省元氏县供电公司, 河北 元氏 051130)

摘要: 主变差动电流保护是根据变压器两侧电流差而动作的保护装置, 是继电保护中的一种, 当变压器发生相间短路故障或者单相匝间短路故障时, 差动电流大于差动保护的动作用电流, 将变压器各侧断路器跳开, 将故障设备从电力系统中切除。以某35 kV变电站主变差动电流越限事故为例, 深入分析了故障原因及改进措施等。

关键词: 继电保护; 差动保护; 断路器; 电力系统

中图分类号: TM773

Analysis of Differential Protection Action of Main Transformer

LI Lingnan, ZHANG Shilei

(State Grid Hebei Yuanshi County Power Supply Company, Hebei Yuanshi 051130, China)

Abstract: Transformer differential current protection is a type of relay protection that operates based on the current difference on both sides of the transformer. When a transformer experiences a phase to phase short circuit fault or a single-phase turn to turn short circuit fault, the differential current is greater than the set current of the differential protection. The protection trips the circuit breakers on each side of the transformer and removes the faulty equipment from the power system. This article takes the differential current exceeding limit accident of a 35 kV substation main transformer as an example to deeply analyze the fault causes and improvement measures.

Keywords: relay protection; differential protection; circuit breaker; power system

差动保护是继电保护中的一种保护, 工作原理简单、保护范围明确、无动作延时, 是变压器的主保护。差动保护是根据基尔霍夫电流定理工作的, 即“电路中流入节点电流的总和等于零”, 差动保护将被保护的变压器当作一个节点, 当变压器正常运行或变压器外故障时, 流入变压器和流出变压器的电流相等, 差动电流等于零。当变压器内部故障时, 流入变压器和流出变压器的电流不同, 差动电流就会大于零。当差动电流大于差动保护装置的给定值时, 差动保护出口动作, 将变压器各侧的断路器断开, 变压器从电网中切除, 从而保护电网安全可靠运行^[1]。差动保护接线示意图如图1所示。主变差动保护主要反映变压器引出线及内部相间故障、高压侧单相接地短路、严重匝间短路及电流互感器故障、保护二次线出线故障等^[2]。

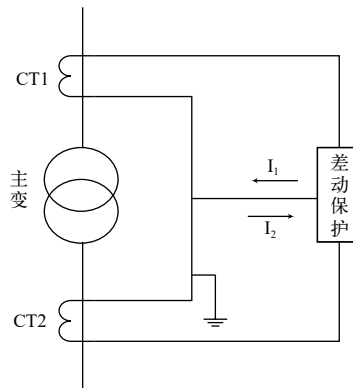


图1 差动保护接线示意图

风力2~3级。

1.2 厂站运行方式

35 kV城西站一次接线图如图2所示。告警前, 35 kV万西线通过1号主变带全站负荷, 311、511开关处于合位, 312、512开关处于分位, 301开关处于分位、501开关处于合位。10 kV I段母线带1号电容器770、屹立线771、人民线772、纺织线773、井元线774; 10 kV II段母线带2号电容器780、文化线781、蟠龙2线783、化工线784。

1 故障前情况

1.1 天气简况

2020年4月24日, 天气晴, 气温6~20℃,

收稿日期: 2022-03-25; 修回日期: 2023-04-12

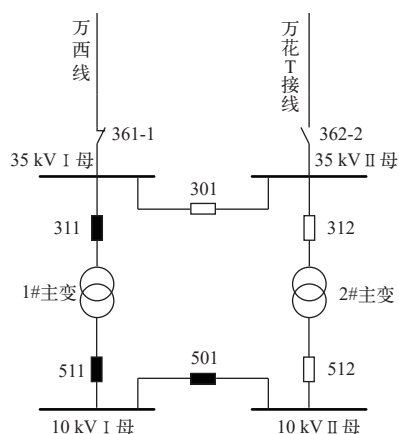


图2 35 kV 城西站一次接线图

2 故障分析及处理

2.1 故障告警情况

故障发生时的告警信号如图3所示。2020年4月24日6:40:11，城西站报1号主变差动保护出口动作，随后报511开关、311开关事故分闸。接到告警后，当值调度员立即通知变电站运维人员及继电保护专责到现场检查设备。

31	2020-04-24 06:40:11 元氏县.城西站/35kV.公用测控/全站事故总 动作
32	2020-04-24 06:40:11 元氏县.城西站/10kV.1号主变511开关 分闸
33	2020-04-24 06:40:11 元氏县.城西站/10kV.1号主变511/511保护出口 动作
34	2020-04-24 06:40:11 元氏县.城西站/35kV.1号主变311/311开关 分闸
35	2020-04-24 06:40:11 元氏县.城西站/35kV.1号主变311/311开关弹簧未储能 动作
36	2020-04-24 06:40:11 元氏县.城西站/35kV.1号主变311/311保护出口 动作
37	2020-04-24 06:40:11 元氏县.城西站/1号主变/1号主变差动保护出口 动作
38	2020-04-24 06:40:11 元氏县.城西站/1号主变/1号主变保护出口 动作
39	2020-04-24 06:40:16 元氏县.城西站/35kV.公用测控/全站事故总 复归
40	2020-04-24 06:40:39 元氏县.城西站/35kV.1号主变311/311保护出口 复归
41	2020-04-24 06:40:42 元氏县.城西站/10kV.1号主变511/511保护出口 复归
42	2020-04-24 06:40:42 元氏县.城西站/1号主变/1号主变差动保护出口 复归
43	2020-04-24 06:40:42 元氏县.城西站/1号主变/1号主变保护出口 复归

图3 城西站告警信号

2.2 现场检查及故障分析

运维人员到达现场后对变压器本体、高压柜、电流互感器检查，未发现异常。对主变油温、油色、油位等检查，未发现异常。

因为差动保护出口有告警信号，于是运维人员到主控室检查，看到1号主变差动保护装置告警灯亮，并现场查看差动保护装置高低压两侧电流，如表1所示。

表1 差动保护装置高低压侧电流

相别	I_{AH}	I_{BH}	I_{CH}	I_{AL}	I_{BL}	I_{CL}
电流值/A	0.231	0.239	0.254	1.503	1.506	1.536
相角/(°)	0	-172.3	-60.61	-147.4	-37.1	92.6

由表1可知，差动保护装置高压侧A、B、C三相电流大小相等，但是A相电流与B相电流方向相反，推断A相与B相之间可能存在串联的情况；差动保护装置低压侧A、B、C三相电流大小相等，方向A相电流超前B相电流110.3°、B相电流超前C相电流129.7°，即低压侧电流正常，推断变压器内部未发生故障。

根据以上分析，可以排除变压器内部故障和低压侧故障^[3-5]，进而推测故障可能发生在高压侧311开关的电流互感器至差动保护装置之间。

第一步，将311开关端子箱进线侧短接，测量电流互感器的回路电流，测量电流如表2所示，电流正常，表明电流互感器回路无故障。

表2 室外电流互感器回路电流

相别	I_A	I_B	I_C
电流值/A	0.34	0.333	0.364
相角/(°)	0	-175.21	-57.36

接下来第二步，将1#主变保护屏后端子排短接，测量电流互感器至差动保护装置前回路电流，发现电流异常，即A相与B相电流方向相反，从第一步至第二步，只多了一个311端子箱，于是推测问题出现在311端子箱上。

最后运维人员打开311开关端子箱，发现A、B 2相中性线接在311端子排的同端口上，同时B相中性线氧化严重，并且不时有打火现象，端子排温度较高。根据以上现象推断，可能因为B相中性线氧化严重，导致与C相连接断开；又因为当初设备安装时，安装人员粗心，误将A、B两相中性线接在同一端口，相当于将A、B两相串联，导致A、B两相电流方向相反。311开关侧电流互感器接线图如图4所示。

从图4可以看到，电流互感器二次侧出线A411、B411、C411分别接至差动保护装置高压侧，N411接至室外端子排和室内1号主变的保护柜。当B相中性线因氧化严重与C相的中性线断开后，如图4中红色叉号所示，此时相当于A相与B相串接，形成一个电流回路，A、B两相电流大小相等、方向相反，C相与地之间形成一个电流回路，故三相电流之间出现如表1所示的电流情况。

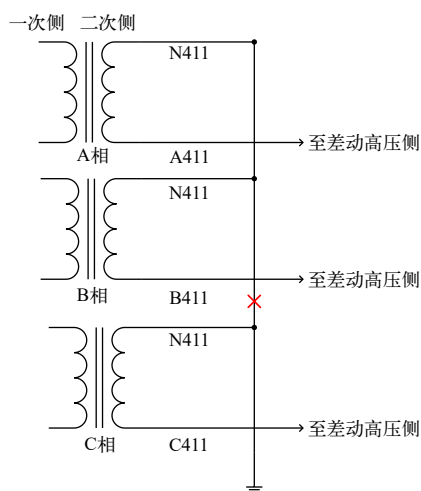


图4 311开关电流互感器接线图

2.3 故障处理

检查出问题后,检修人员将A、B、C三相中性线仔细擦拭,去除氧化层,并正确紧固在端子排端口上,再次查看差动保护装置高低压两侧电流值,如表3所示,高低压侧电流值均正常,差动保护电流回路恢复正常运行。

表3 故障处理后差动保护装置高低压侧电流

相别	I_{AH}	I_{BH}	I_{CH}	I_{AL}	I_{BL}	I_{CL}
电流值/A	0.871	0.852	0.876	1.503	1.506	1.536
相角/(°)	0	120.1	-120	-150.6	-90.33	31.14

3 故障原因分析

从以上故障分析看到,导致本次故障的直接原因有2方面:(1)在设备安装时运维人员因为粗心导致接线错误;(2)运维人员因为巡视不到位,未发现二次线氧化严重。根据直接原因,从思想、技术、管理3方面分析本次故障发生的根本原因。

一是工作人员思想认识不足,缺乏责任心。工作人员觉得接线简单,容易出现不重视的心理,导致接线错误。在设备巡视时例行公事,存在敷衍了事思想,只重视大型设备(变压器、断路器、互感器等),而与这些大设备连接的辅助设备(端子箱等)容易忽视,觉得这种小设备不起眼或不易出问题,往往一带而过或不巡视,以致于在很多故障中往往都是因为没有巡视到的小设备引起的。

二是工作人员的专业能力差。因工作经验少,

对接线的重视程度不足,意识不到错误接线的危害。巡视时,对容易发生缺陷的设备认识不足,不能仔细观察设备的每一个部位。在发生故障时,不能准确分析故障原因。

三是监督检查不到位。在设备接线时,监督检查人员执行不到位。设备巡视记录简单,巡视指导卡只有大型设备,因小设备较多,人员不足,往往漏巡。

4 整改建议

提高人员思想认识和责任心。开展各类安全活动,通过事故案例分析,提高人员的思想认识和责任心。加强人员技能培训。举办相关专业培训班,熟悉变电站内设备的工作原理和接线方式,提高人员业务能力。健全监护检查机制^[6-7]。完善监护检查考核办法,接线完成且接线人员及监护人员均签字确认后,另指派1人进行接线检查,每检查出1处错误,对接线人员及监护人员进行考核,同时对检查人员进行相应奖励。健全设备巡视制度。一是建立小设备巡视周期,将小设备加入到巡视指导卡中,对5年以上设备,保证1年至少巡视1次。二是建立奖励机制,在小设备巡视中,每发现1处缺陷进行相应奖励。

参考文献

- [1] 潘金祥. 110 kV变电站主变差动保护动作原因分析[J]. 通信电源技术, 2019(36): 199-202.
- [2] 王欣, 杨海霞, 钟亮. 变压器差动保护差流超限原因分析[J]. 内蒙古电力技术, 2003(21): 104-105.
- [3] 袁晖. 一起因主变差动保护动作引起三侧断路器跳闸的案例[J]. 中国电力教育, 2011(30): 148-149.
- [4] 黄剑宏. 一起110 kV变电站1号主变差动保护分析与处理[J]. 科学技术创新, 2019(31): 158-159.
- [5] 王同军. 一起110 kV主变差动保护动作原因分析[J]. 企业技术开发, 2018(37): 91-93.
- [6] 杨成鹏. 微机变压器保护差流超限原因分析[J]. 山西电力, 2003(6): 31-32.
- [7] 王华, 李亚东, 陈铭. 一起变压器差动保护动作事故的分析[J]. 电力自动化, 2019(9): 136-137.

作者简介

李领南(1989年—),女,工程师,从事调控运行方面工作。

张士磊(1983年—),男,工程师,从事调控运行方面工作。

(责任编辑:刘艳玲)

台湾省“303”大停电对继电保护的思考

方榆冬¹, 陈伟华², 吴 坚², 叶仁杰²

(1. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 310007; 2. 国网浙江省电力有限公司台州供电公司, 浙江 台州 318000)

摘要: 2022年3月3日, 台湾省发生大面积停电, 影响用户数达549万。介绍台湾省电网概况、“303”事故过程, 对比分析大陆电网和台湾省电网相关保护在“母差保护TA断线逻辑”“线路保护振荡闭锁逻辑”和“线路保护配置与整定”3方面的差别, 并对大陆电网继电保护存在的不足提出改进措施。

关键词: 大停电; 继电保护; 闭锁拒动

中图分类号: TM773

Reflections on Relay Protection During "303" Power Outage in Taiwan, Province

FANG Yudong¹, CHEN Weihua², WU Jian², YE Renjie²

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 310007, China; 2. Taizhou Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Zhejiang Taizhou 318000, China)

Abstract: On March 3, 2022, a massive power outage hit Taiwan, affecting 5.49 million users. In this paper, the overview of power grid in Taiwan province of China, the development process of "303" accident, comparative analysis of mainland power grid and Taiwan province power grid protection in "differential bus protection TA bolt logic", "line protection oscillation atresia logic" and "line protection configuration and setting" three aspects of difference, and the deficiency existing in the mainland grid relay protection improvement measures are proposed.

Keywords: power grid blackout; relay protection; blocking refusal

电力系统是人类目前构建的最庞大、最复杂系统, 军事经济、工业生产、社会生活等各领域都依赖电能, 一旦发生大规模停电将带来极大的负面影响和稳定问题。近些年, 国际、国内大停电事故频发^[1-3], 吸取相关经验教训将有助于中国“碳达峰、碳中和”目标下新型电力系统的建设。2022年3月3日09:16, 台湾省345 kV兴达电厂发生一起因人为误操作引起的电网大面积停电, 造成损失负荷1050万kW(占总负荷的36.6%), 影响用户549万^[4]。台湾省电网近些年大停电事故如表1所示。

1 台湾省电网概况

台湾省面积约3.6万km², 电网主网架呈南至北带状分布, 属于海岛型电网, 未与大陆电网联网。台湾省主网架电压等级为345 kV和161 kV, 频率60 Hz, 以三路345 kV输电通道连接南北部电网, 形成龙潭、中寮、龙崎3个枢纽变电站, 为了抑制

收稿日期: 2022-10-12; 修回日期: 2023-01-30

表1 近些年中国台湾省停电事故统计

日期	起因	停电影响	
		时间/h	户数/万户
2021-05-13	误开隔离开关致母线接地故障, 造成兴达电厂4部机组跳机	5	415
2021-05-17	锅炉燃烧器控制系统故障引起兴达电厂1号机组停机	6	66
2022-03-03	误操作致电厂出线长时间高阻接地, 引发南部系统机组全部脱网	12	549

短路电流, 3个枢纽站分别采用分站模式, 台湾省超高压电网接线图如图1所示。

2 台湾省“303”大停电过程

根据台湾省公布的《“303”停电事故检讨报告》, 此次事故过程为: 故障前, 龙崎-天轮双馈电进行铁塔改造工程, 龙崎-兴达南III线停电进行站内设备GIS改造, 仁武-龙崎海线停电检修, 南部电网与中部电网联络减弱, 形成以龙崎站(南/北)

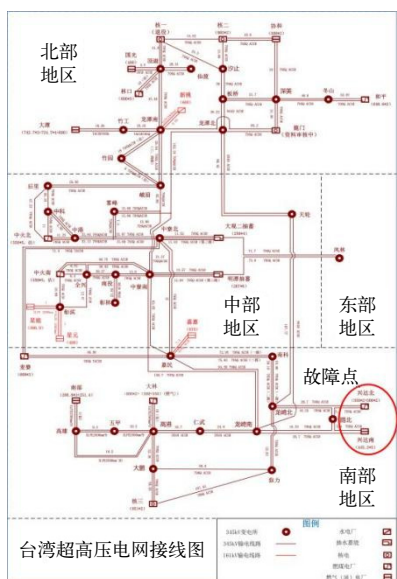


图1 台湾省超高压电网接线图

为关键节点的电网薄弱断面。为提高此时电网可靠性，兴达电厂和龙崎站均通过站内联络线将南北站合环运行，故障前系统如图2所示。

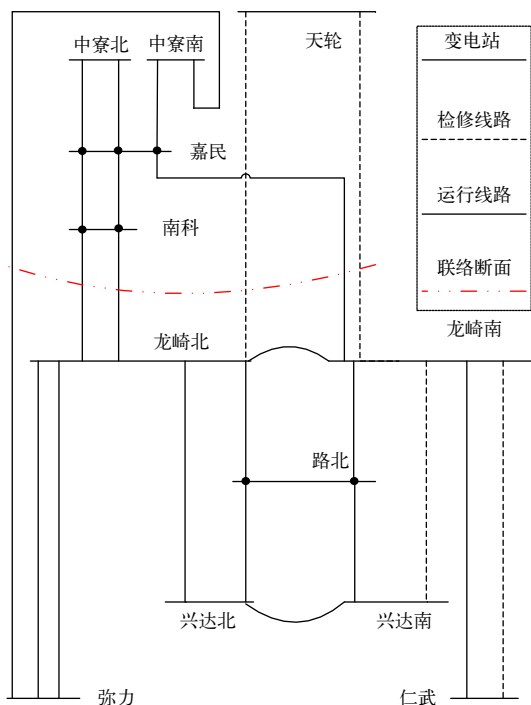


图2 故障前电网运行方式及薄弱断面

故障点位于兴达电厂的兴达（北）变电所，站内3540断路器为单独GIS气室，3541 闸刀和#1 母线为共体GIS气室，布局如图3所示。

3月2日，工作人员发现3540气室内绝缘气

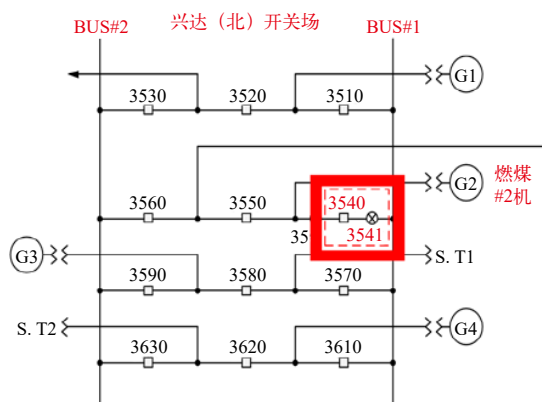


图3 3540 断路器和 3541 闸刀位置图

体SF₆含水量过高，将3540断路器单独GIS气室抽真空。3月3日，因3541控制回路曾更换元器件，须进行闸刀分合试验，而此时3540气室已真空，在3541闸刀投入过程中造成3540断路器带电后绝缘击穿，与外壳闪络放电，故障演化过程如图4所示。

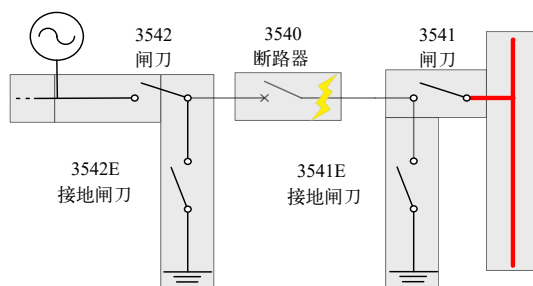


图4 故障演化过程图（GIS气室图）

台湾省“303”事故扩大是因母线保护误判TA断线致母差拒动引起的一系列连锁反应。3541 闸刀是马达驱动式操作机构，其从收到合闸指令至闸刀完全闭合一共需7s，在3541 闸刀合闸过程中，兴达电厂345kV I段母线通过3541 闸刀对已无绝缘气体的3540气室外壳产生泄漏电流，5s后母差保护判定为TA断线，闭锁母差保护，待3541 闸刀完全闭合，3540断路器和GIS筒壁之间的绝缘已击穿，而345kV母差保护功能已闭锁，如图5所示。

345kV母差保护是主保护，拒动后只能通过相邻元件后备保护切除故障。在本次大停电中，路北-兴达（南）白线、龙崎（南）-路北2条线路保护因判系统振荡而闭锁拒动，龙崎变电所出线全部跳闸。当中寮南-弥力线跳闸后，以龙崎变电所为界，南部电网与中、北部电网解列。

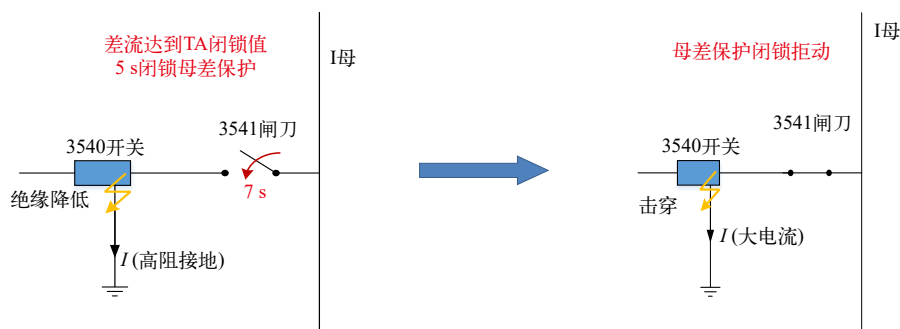


图5 母差保护误闭锁拒动分析图

南部电网与中、北部电网解列后，南部电网频率瞬时上升至 61.2 Hz，当时南部电网负荷约 979.4 万 kW；随后兴达电厂机组因距离保护跳机（跳机前出力 197.3 万 kW），系统频率快速下降，造成南部、大林、核三电厂机组因低频或低压保护动作跳机，电网频率崩溃，南部电网大面积停电。

中、北部电网在解列（嘉惠、麦寮机组跳机）后频率开始下降，第一次触发低频减载装置动作，切除负荷 360.5 万 kW，中北部电网频率回升至 59.7 Hz；因负荷持续上升，导致 09:18:38 第二次触发低频减载装置动作，切除负荷 74.6 万 kW。

随着水电机组逐渐并网发电，中、北及东部电网的停电用户（总计约 549 万户）于当天 11:27 全部恢复。而南部机组由于系统全黑，各个电厂辅机无法立即启动，恢复相关辅机设备运转耗时较长，最终于当天 21:31 恢复全部民生用电。

3 继电保护分析及改进

3.1 母差保护 TA 断线判据分析

本次“303”事故扩大原因是母线保护误判 TA 断线导致母差拒动引起的一系列的连锁反应，台湾省电网配置最多母差保护型号为 GE-B90 和 SEL-487B，其母差保护 TA 断线判据设置比较简单，仅仅检测差动电流是否大于断线闭锁定值（定值远小于差动动作定值），经延时报警和闭锁母差保护，如图 6 所示。

这种母差保护 TA 断线逻辑面对高阻（小电流）转金属性故障这种情况，高阻故障时间若大于 TA 断线判定时间，会造成母差保护被闭锁拒动。

针对此类母线高阻故障特征下母差保护 TA 断线逻辑误闭锁风险，对各大主流保护厂家的 TA 断

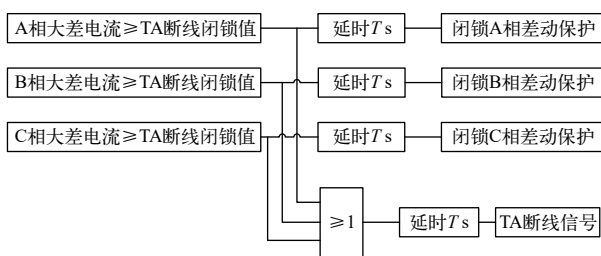


图6 台湾省电网母差 TA 断线逻辑

线判据调研情况如下：

如表 2 所示，通过调研，发现南瑞继保（3/2 接线）、北京四方、南瑞科技、许继电气、长园深瑞（常规站及九统一前）母差保护 TA 断线判据均简单采用“差流 \geq TA 断线闭锁定值”方式。南瑞继保和南瑞科技判别固有延时 5 s，若遇兴达电厂高阻发展性故障也可能闭锁。北京四方延时 10 s，国电南自延时 7 s，长园深瑞延时 9 s，虽大于 5 s，但若遇发展过程更长的高阻故障同样有误闭锁风险。

为此须进一步从电气特性上区分 TA 断线和母线高阻接地发展性故障，虽然两者都会产生差流，但有所不同，具体如下：

TA 断线。断线相二次电流大幅降低，仅断线支路存在零序电流，制动电流下降，且母线电压无变化。

接地故障。故障相电流增大，所有支路都会存在零序电流，制动电流增加，母线电压不正常。

因此在 TA 断线判据中增加“制动电流突变并且减小”“断线支路有零序且电流下降”“母线电压正常”等以区分 TA 断线和母线接地故障，防止误闭锁致拒动，改进逻辑如图 7 所示。

3.2 线路保护振荡闭锁分析

台湾省电网，其线路保护振荡闭锁为大圆套小圆或大四边形套小四边形（如图 8 所示）。系统正

表2 各主流厂家的母差TA断线调研表

厂家名称	通用判据	附加判据	高阻接地故障时，是否可能因判别时间小于故障发展时间而闭锁拒动
REB-500	仅差流大于TA断线闭锁定值	无	可能拒动
GE-B90	仅差流大于TA断线闭锁定值	无	可能拒动
SEL-487B	仅差流大于TA断线闭锁定值	无	可能拒动
南瑞继保(3/2接线)	仅差流大于TA断线闭锁定值	无	可能拒动
南瑞继保(单母线/双母线)	判差流大于TA断线闭锁定值	检测母线电压	有附加判据，不会误闭锁拒动
北京四方(九统一及以前)	仅差流大于TA断线闭锁定值	无	可能拒动
北京四方(全国产化芯片)	判电流大于TA断线闭锁定值	重载支路TA断线判据、稳态TA断线判据	有附加判据，不会误闭锁拒动
南瑞科技	仅差流大于TA断线闭锁定值	无	可能拒动
许继电气	仅差流大于TA断线闭锁定值	无	可能拒动
CYG(常规站及九统一前)	仅差流大于TA断线闭锁定值	无	可能拒动
CYG(九统一智能变电站)	判差流大于TA断线闭锁定值	制动电流判据	有附加判据，不会误闭锁拒动
SAC(3/2接线，快速逻辑)	判差流大于TA断线闭锁定值	制动量未突变增加、断线支路有零序且电流下降(不考虑三相断线)	有附加判据，不会误闭锁拒动
SAC(非3/2接线，慢速逻辑)	判差流大于TA断线闭锁定值	母线电压正常、支路有零序电流且一相无流等	有附加判据，不会误闭锁拒动

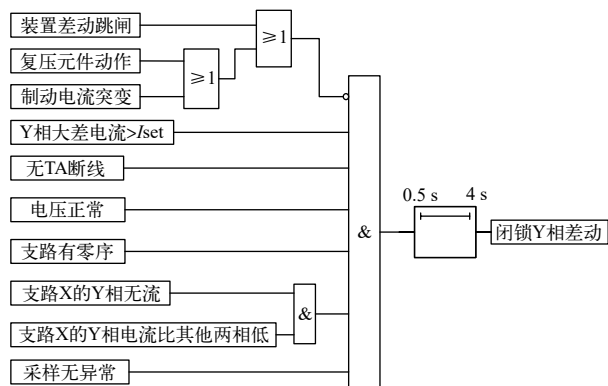


图7 母差改进TA断线逻辑图

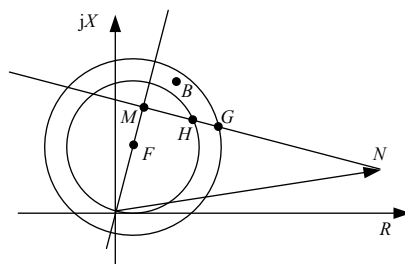


图8 台湾省电网振荡闭锁原理图

(1) 振荡周期小，时差整定值过小造成误闭锁拒动。

(2) 单相接地故障时，相间故障继电器的测量轨迹可能在两圆间B点，如接地故障未能及时切除，经整定时间闭锁距离出口，后发展为两相或三相故障，将误判为振荡而拒动。

大陆电网，其线路保护采振荡闭锁逻辑常用逻辑为(如图9所示)，此种振荡闭锁逻辑既能在振荡时闭锁保护，也能在区内故障时开放保护。

常运行时，负荷阻抗在N点。系统振荡时，测量阻抗 Z_m 从N点沿NGM向圆内靠近，先到G点，进入大阻抗圆，再到小阻抗圆H点。在G点和H点停留时间大于整定值，则判振荡闭锁保护。若是系统故障，则测量阻抗 Z_m 会立即由N点越变至F点，判区内故障。此种振荡闭锁不足为：

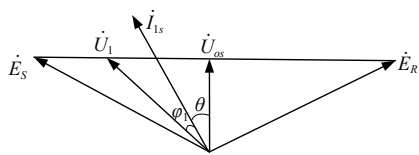


图9 大陆电网振荡闭锁原理图

暂态稳定破坏短时开放保护 160 ms，随之进入振荡闭锁；静态稳定破坏直接进入振荡闭锁，振荡闭锁过程中包括故障再开放逻辑，故障再开放又分对称开放和不对称开放。

160 ms 后再发生区内不对称故障，不对称元件开放，动作判据 $|I_0| + |I_2| > m|I_1|$ 。

160 ms 后再发生区内对称性故障，对称元件开放，计算 $U_{os} = U_1 \cos(\varphi_1 + \theta)$ ：（1）三相短路 $U_{os} \leq U_{arc}$ （电弧电压）；（2）系统振荡 $U_{os} \leq U_c$ （振荡中心电压）。判据：若 $0.03U_N < U_{os} < 0.08U_N$ ，则延时 150 ms 开放。

3.3 线路保护配置与整定

兴达（南）与兴达（北）间存在联络线，但未配置线路后备保护，导致兴达（北）故障时，联络线判区外故障无法隔离。而大陆电网联络线两侧配置完整的双套线路保护装置（包含主保护与后备保护），按照完全配合整定，可有效杜绝联络线区外故障无法跳闸。

从文献 [3] 保护动作情况可以看到，台湾省电网各线路距离 II 段和距离 III 段的时间差仅 150 ms 左右，时间级差小，后备保护配合较为混乱，可能造成越级跳闸。大陆电网距离 II 段和 III 段配合级差约 0.3~0.5 s，后备保护定值优先按完全配合整定。

4 台湾省电网保护拒动思考

台湾省“303”大停电事故原因之一是保护闭锁拒动。220 kV 及以上继电保护双重化是防主保护拒动的关键措施之一，当任意 1 套保护异常，也能由另 1 套保护快速切除故障。

大陆电网常开展专项排雷活动，将双重化配置的 2 套保护交流电压回路、电流回路、直流电源、跳闸回路、通道设备等相关回路和设备的独立性和完整性作为排查重点，目的就是杜绝双套保护拒动隐患。同时，推进交流电压回路 N600 两点接地在

线监测、站用变压器保护配置功能完善，消除 2 套保护公用回路薄弱环节。同时在电网建设、检修等方面提出如下建议：

加强电网规划与建设，坚强网架结构，避免存在如龙崎站这类枢纽站。

检修方式安排时，开展全面、深入的电网运行风险分析，既考虑站内接线，也保证主网架坚强，避免因供电方式过于削弱导致电网缺乏抗风险能力。

强化电网“三道防线”建设，巩固第一道防线、提升第二道防线、加强第三道防线，深入开展二次系统隐患排查治理，优化定值整定配合，确保关键时刻“三道防线”能正确、有效发挥作用。

加强电厂涉网保护管理。对机组的涉网保护进行技术指导和监督，规范涉网保护配置和整定、运行，防止系统故障期间机组无序跳闸。

开展对电网黑启动的研究，统筹考虑黑启动方案和启动策略，制订科学有效的电网黑启动应急预案。

5 结束语

在台湾省“303”电网大停电中，母差 TA 断线逻辑缺陷、联络线保护配置缺陷及线路保护配置和整定不合适都对停电过程起推波助澜。本文深入分析台湾省大停电中继电保护暴露的问题，比较大陆电网继电保护相关逻辑特性，并对存在的不足提出改进措施。

参考文献

- [1] 孙为民, 张一驰, 张晓涵, 等. 欧洲大陆同步电网“1·8”解列事故分析及启示[J]. 电网技术, 2021, 45(7): 2630-2637.
- [2] 王伟胜, 林伟芳, 何国庆, 等. 美国得州2021年大停电事故对我国新能源发展的启示[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(12): 4033-4043.
- [3] 常忠蛟, 刘云. 巴西电网“3.21”大停电中控制保护系统动作分析及启示[J]. 电网技术, 2020, 44(11): 4415-4428.
- [4] 303停电事故检讨报告[R/OL]. [2022-04-22]. www.moea.gov.tw.

作者简介

方榆冬（1977—），男，工学硕士，正高级工程师，从事电力系统继电保护设备管理、整定运行与专业技术管理工作。

陈伟华（1989—），男，工学硕士，工程师，从事电力系统继电保护及二次设备运检管理、故障分析等。

（责任编辑：刘艳玲）

智能变电站 SCD 多维度校验技术研究

罗振华¹, 成佳富², 廖惠琴¹, 孙迪飞¹, 汤野¹, 徐中南³

(1. 广东电网有限责任公司惠州供电局, 广东 惠州 516000; 2. 广东电网有限责任公司电力调度控制中心, 广东 广州 510000; 3. 武汉凯默电气有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘要: 针对SCD校验比较单一, 无法高效、全方位的排查SCD的配置问题, 提出了一种智能变电站SCD多维度校验技术。通过研究SCD的模型信息, 分析IED的命名原则、ICD的模型、通信参数的配置规则、虚回路连接原则, 实现了SCD的IED命名规范性、ICD入网版本、通信参数、SCD的虚回路4个维度的校验。设计开发了智能变电站SCD多维度校验系统, 并通过实例验证了所提方法的有效性。

关键词: 多维度校验; 模型信息; IED命名规范性; ICD入网版本; 通信参数; SCD的虚回路

中图分类号: TM764

Research on Multi-dimensional Verification Technology of Intelligent Substation SCD

LUO Zhenhua¹, CHENG Jiafu², LIAO Huiqin¹, SUN Difei¹, TANG Ye¹, XU Zhongnan³

(1. Power Supply Bureau of Huizhou of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangdong Huizhou 516000, China; 2. Power Dispatching Control Center of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangdong Guangzhou 510000, China; 3. Wuhan Kemov Electric Co., Ltd., Hubei Wuhan 430223, China)

Abstract: In view of the SCD verification is relatively simple, and cannot efficiently and comprehensively troubleshoot the configuration problems of SCD, a multi-dimensional verification technology of intelligent substation SCD is proposed. By studying the model information of SCD, analyzing the naming principle of IED, the model of ICD, the configuration rule of communication parameters, and the virtual circuit connection principle, the verification of the four dimensions of SCD file's standardization of IED naming, network access version of ICD, communication parameters, and the virtual circuit of SCD is realized. The multi-dimensional verification technology of intelligent substation SCD is designed and developed, and the effectiveness of the proposed method is verified by an example

Keywords: multi-dimensional verification; model information; standardization of IED naming; network access version of ICD; communication parameters; virtual circuit of SCD

0 引言

SCD文件囊括了全站二次系统的所有配置信息, 其配置正确性直接会影响到变电站设备或系统的功能。SCD文件由工程集成配置形成, 对自动化系统的集成和设备互操作起到积极作用。目前, 在智能变电站的新建、改扩建、运维工作中, SCD文件的校验依赖于人工完成, 存在人为因素导致的测试不到位而遗留下配置问题, 成为极大的安全隐患。

文献[1]提出了一种基于规范的SCD规范性检查的方法。文献[2-3]研究了SCD文件版本差异化比较, 直观的展示了SCD文件的变更范围。文献[4]

收稿日期: 2023-04-23

分析了虚端子连接配置特点, 提出虚端子连接配置CRC的生成方法, 提出了配置文件及虚端子配置管理方案。文献[5-6]提出了模型组态过程和方式解耦的思路, 提供了有效管控SCD文件版本, 保证了变电站全生命周期内的配置信息正确性和可溯源性。文献[7-9]研究了SCD虚回路校核技术。以上研究, 一是基于管控技术方面解决SCD版本一致性问题, 二是SCD文件校验仅从差异化、规范化等方面校验, 未涉及从IED的命名原则、ICD的模型、通信参数的配置规则、虚回路连接原则角度出发实现智能变电站SCD多维度校验。

基于上述问题, 提出了一种智能变电站SCD多维度校验技术, 开发了一套智能变电站SCD多维度

校验系统，从 IED 命名规范性、ICD 入网版本、通信参数、SCD 的虚回路 4 个维度全方位对 SCD 进行校验，为智能变电站 SCD 的校验工作提供了可靠的技术支撑，对智能变电站的稳定可靠运行具有重要意义。

1 IED 命名规范性校验

基于 Q/GDW 11662—2017《智能变电站系统配置描述文件技术规范》、DLT1873—2018《智能变电站系统配置描述文件技术规范》对 IED 名称和描述规范性校验，IED 命名规范性校验如图 1 所示。

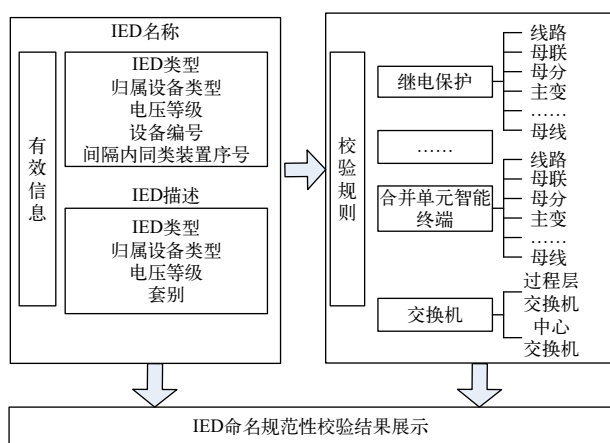


图 1 IED 命名规范性校验

从 IED 名称和 IED 描述中分别提取电压等级、归属设备类型、套别、IED 类型，并记录 IED 描述中电压等级、归属设备类型、套别、IED 类型的出现顺序。

以 IED 的名称规则为基准，判断 IED 描述规范性。IED 名称按照 IED 类型、归属设备类型、电压等级、归属设备编号、间隔内同类装置序号 5 层结构命名；IED 描述按照电压等级、归属设备类型、套别、IED 类型顺序命名。比较 IED 名称结构命名，如果按照 5 层结构命名，输出 IED 名称规范，否则输出 IED 名称不规范；当 IED 名称规范时，判断描述的命名顺序是否按照电压等级、间隔类型、套别、设备类型顺序命名，如果按照顺序命名原则，输出 IED 描述规范，否则输出 IED 描述不规范。例如：P_L2201A 220 kV 某线主一保护，校验结果为 IED 名称规范、IED 描述规范。

采用表格的方式展示 IED 命名规范性校验结果，

并以颜色区分 IED 名称和描述的规范性。

2 ICD 入网版本校验

ICD 入网版本校验是为了规范化版本来源，制作 SCD 文件时使用经电科院检测的 ICD 文件，便于统一管理。ICD 入网版本一致性检查除了直接比对 ICD 文件名（型号、版本、校验码），还须要针对 ICD 文件内容进行一致性检查。在 ICD 入网时重新计算 ICD 文件的 CRC 与原始文件中提取的 CRC 比较。

如图 2 所示，ICD 入网版本校核包括 ICD 方式校验和 SCD 方式校验。ICD 方式校验是将 ICD 文件与入网的 ICD 文件库的型号、版本、CRC 校验码比较；SCD 方式校验是将 SCD 文件中每个 IED 设备与 ICD 文件库的型号、版本、CRC 校验码比较。

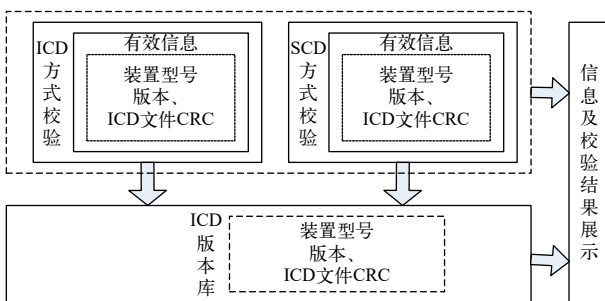


图 2 ICD 入网版本校验

ICD 入网版本校验的前提首先须要建立 ICD 版本库，ICD 版本的建立采用 2 种模式。

模式一：无实体 ICD 文件。以列表的形式按照 ICD 文件的命名方式手动输入 ICD 文件名称建立 ICD 版本库。ICD 文件的命名方式严格按：装置型号 + 选配功能代码 + 基础软件版本 + 基础软件生成日期 + 程序校验码.icd。

模式二：经过电科院入网版本检测的实体 ICD 文件。以树形的形式按照厂家、设备类型、间隔类型、电压等级建立 ICD 版本库。厂家包括南瑞继保、南自、四方、长园深瑞、许继电气等；设备类型包括保护、保测一体、合并单元、智能终端等；间隔类型包括线路、母线、母联、母分、主变、主变本体、断路器、电容器、电抗器等；电压等级包括 380 V 和 10、66、35、110、220、330、500、750 kV 等。

ICD 入网时，对文件的厂家、型号、版本、CRC 进行校验，采用表格方式展示校验结果，并以颜色区分 ICD 入网版本是否一致性。

3 通信参数校验

通过建立的通信子网、站控层网络、过程层网络、端口校验规则。提取 SCD 文件中 IED 的类型、设备类型、电压等级、IED 编号、IP 地址及 GOOSE 块信息，对 SCD 的通信参数校核，如图 3 所示。

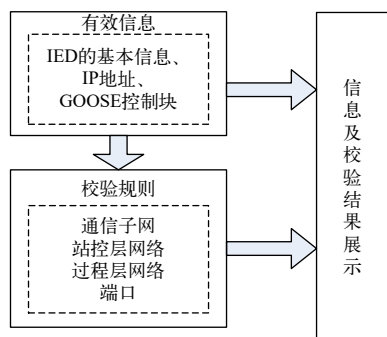


图 3 通信参数校验

站控层网络包括站控层 A 网、站控层 B 网、站控层 C1 网、站控层 C2 网、过程层交换机 MMS 网；根据电压等级，过程层网络包括过程层 A1 网、过程层 A2 网、过程层 B1 网、过程层 B2 网。根据标准的通信子网对 SCD 的通信子网描述、名称、类型校核，校核结果按类型划分，分为：名称错误、名称重复、类型错误、描述错误、子网缺失。

分析交换机的网络、交换机类型、IED 类型、套别、间隔类型、电压等级，然后建立 IED 所在的过程层网络，划分 IED 的控制块类型，区分是站控层 GOOSE、过程层 GOOSE，对 IED 所在的过程层网络以及 GOOSE 信息校核，校核结果按类型划分，分为 GOID 重复、MAC 地址非法、MAC 地址重复、AppID 非法、APPID 重复、APPID 不规范、优先级不规范、VLAN-ID 不规范、MinTime 不规范、MaxTime 不规范、GOID 错误、网络错误、配置缺失。

分析交换机的网络、交换机类型、IED 类型、套别、间隔类型、电压等级，然后建立 IED 所在的站控层网络，对 IED 所在站控层网络以及 IP 信息校验，校核结果按类型划分，分为 IP 地址非法、IP 地址错误、IP 地址重复、子网划分错误、网关地址错

误、掩码错误、掩码不规范、配置缺失。

分析 IED 连接的端口个数、中心交换机与相应电压等级的连接，对 SCD 中物理端口信息进行校验，校核结果按类型划分，分为电缆编号错误、级联网络错误、装置缺失、端口错误、端口连接多余、端口连接不一致。

采用表格的方式展示通信子网、过程层网络、站控层网络、端口校验结果。

4 SCD 虚回路校验

智能变电站 SCD 虚回路描述了不同 IED 之间虚端子连接关系，是实现智能变电站继电保护采样、跳闸等功能的核心，虚回路的正确性直接关系到继电保护功能是否正常。SCD 的虚回路校验主要对 IED 的虚回路连接关系进行校验，并输出校验报告，自动生成主接线图，显示一二次设备的关联关系，用不同的颜色标注 IED 的虚回路校核结果。SCD 虚回路校验框架如图 4 所示。

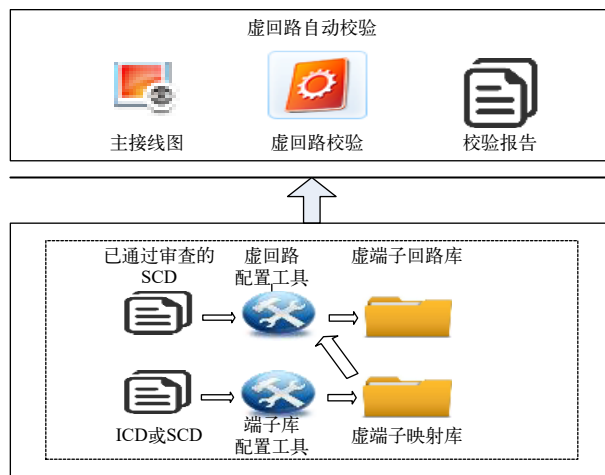


图 4 SCD 虚回路校验框架

按照 DL/T 1873—2018《智能变电站系统配置描述（SCD）文件技术规范》^[10] 规定，分析 IED 名称提取 IED 的类型、归属间隔类型、电压等级、归属间隔编号，结合 IED 之间的虚回路关系，构建主变、母线、线路等间隔，按照间隔类型划分，制作间隔图元模板，绘制各个间隔到母线的连接线以及各个主变断路器间隔到主变的连接线，形成各电压等级的一次设备拓扑关系，从而生成一次主接线图，并在主接线图上显示一二次设备的关联关系，如图 5 所示。

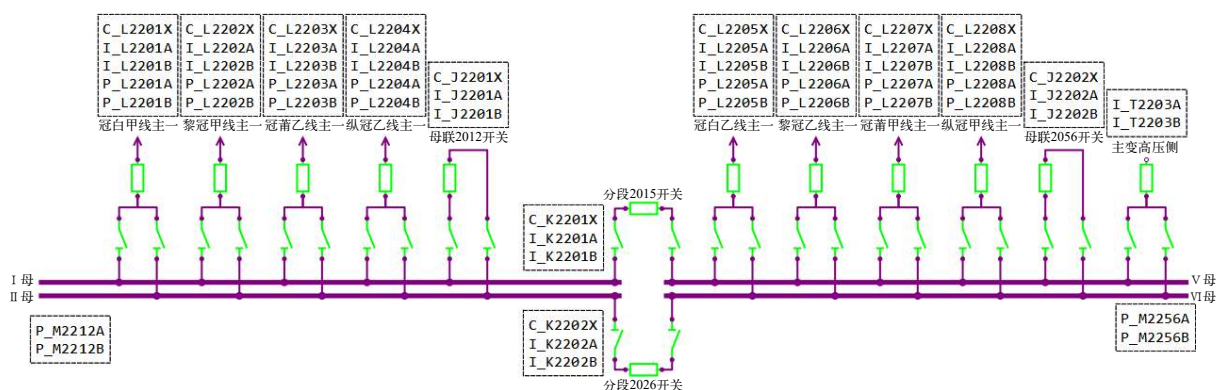


图5 主接线图

通过将不同厂家、信号、版本、ICD文件中的端子路径、端子描述与标准描述建立映射关系，建立虚端子映射库；结合虚端子映射库，利用标准虚端子对特性属性的IED之间接收、发送虚端子的连接关系进行表述，建立虚端子回路库；根据虚端子映射库和虚端子回路库对智能变电站SCD的虚回路自动校验，流程如图6所示。

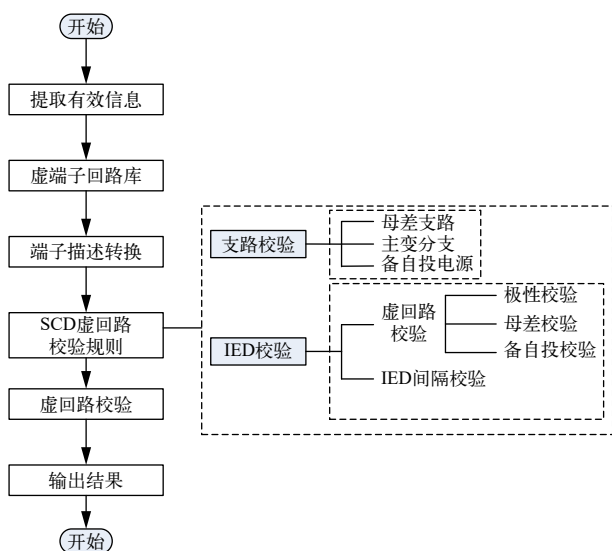


图6 虚回路校验流程

(1) 根据 IED 的电压等级、间隔类型、设备类型、接线方式等信息，遍历虚端子回路库，适配该 IED 对应的虚端子回路库。

(2) 提取 IED 的厂商、版本、型号、ICD 的 CRC 码，遍历虚端子映射库，根据标准虚端子与端子路径、端子描述的映射关系将 IED 的虚端子连接关系的外部 IED 端子、内部 IED 端子分别转换成标准虚端子。

(3) 遍历 IED 的虚端子连接关系，基于虚回路校验规则进行校验，输出虚回路校验结果，IED 的虚端子连接关系与虚端子回路库比较后缺失一条母线合并单元拉至线路合并单元的额定延时。

虚回路校验规则包括支路校验、IED 校验。

支路校验是提取间隔内的 A、B 套设备的支路号进行比较，同一间隔 A、B 套设备支路号应一致，并与其他间隔内的 A、B 套设备的支路号进行比较，不同间隔的设备的支路号应不相同，输出支路校验结果，校验结果按类型划分，分为支路正常、支路错误。

IED 校验包括 IED 间隔校验和虚回路校验。IED 间隔校验是针对两个属于不同间隔的 IED 根据 IED 的电压等级、间隔类型、设备类型、接线方式、关联母线信息判断两个 IED 是否可以跨间隔连接。如 220 kV 双母双分接接线方式的 1M-2M 母线保护和 220 kV 的 5M-6M 线路保护，因关联母线属性不一致，两个 IED 不能跨间隔连接，若两个 IED 有连接，则判断为间隔错误。对 IED 间隔校验，输出间隔校验结果，校验结果按类型划分，分为间隔正常、间隔错误。

虚回路校验是将 SCD 中虚端子连接关系与虚端子回路库进行比较，输出虚端子回路校验结果，校验结果按类型划分，分为正常，多余，缺失，错误，不规范。

5 系统设计及应用

智能变电站 SCD 多维度校验系统架构如图 7 所示，包括 IED 命名规范性校验模块、ICD 入网版本校验模块、通信参数校验模块、虚回路校验模块，

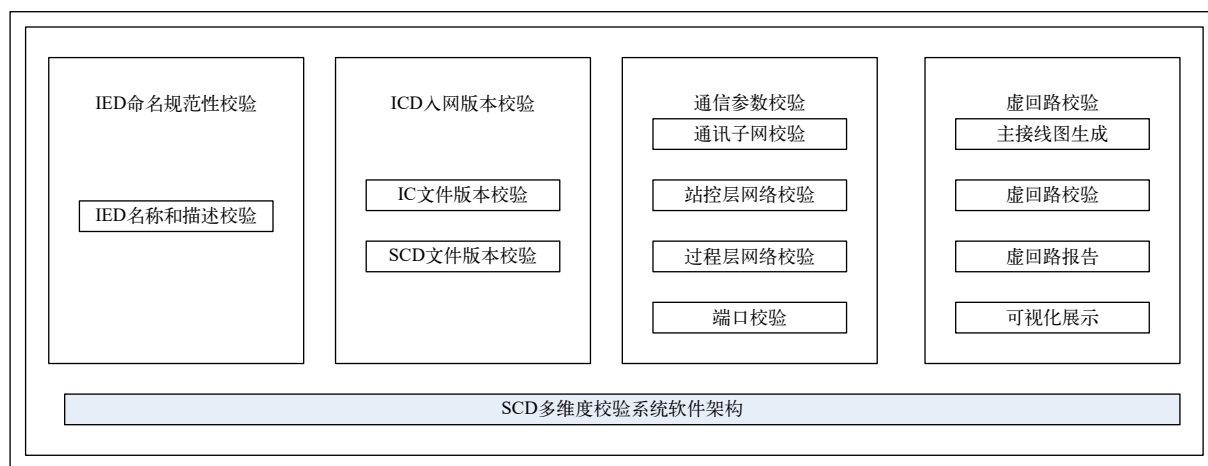


图7 系统架构

以实现 SCD 文件多维度校验。

智能变电站 SCD 多维度校验系统已在广东多个变电站应用，经现场反馈，可以准确地发现 SCD 的缺陷。

以广东惠州 220 kV 标准站为例介绍实际应用效果。该站 220 kV 侧采用双母双分接线方式，110 kV 侧采用双母双分接线方式，10 kV 侧采用单母线接线方式。全站 321 个 IED，共计 14 010 条虚连接，有 641 条保护业务虚连接参与校核。

从导入 SCD 文件、导入虚端子回路库文件、虚端子映射库，导入 ICD 版本，开始一键测试 ICD 入网版本、IED 命名规范性、通信参数 SCD 虚回路校验，显示结果、输出报告的完整过程，全程花费时间仅需不到 3 min。

校验结果：正确虚连接 641 条，多余虚连接 0 条，缺失虚连接 0 条；有 42 个 IED 命名不规范，通信参数校验正确 IED 数目 266 个，错误 IED 数目 55 个，ICD 入网版本校验所有 IED 校验正确。经现场专家分析，工具所校核出的结论均符合预期，准确率为 100%。

6 结束语

本文通过研究智能变电站 SCD 多维度校验技术，开发了一套智能变电站 SCD 多维度校验系统，可以准确快速地发现 SCD 文件的 IED 的描述及名称的规范性、ICD 入网版本的一致性、通信参数的正常、重复、缺失、多余、错误、不规范、SCD 虚回路连接的正确、错误、缺失、多余、不规范的情况，保证了 SCD 文件的正确性，为智能变电站运维检、检

修人员提供了有效地技术支撑，提升了智能变电站二次调试验收作业的工作效率。

参考文献

- [1] 吴恒福, 窦会光, 向前, 等. 基于设计规范的智能变电站 SCD 文件规范性检查[J]. 电网与清洁能源, 2015,31(4): 84-88.
- [2] 邓洁清, 车勇, 单强, 等. 基于标准中间过程文件的 SCD 版本比对的优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016,44(14): 95-99.
- [3] 冯义, 张承模, 刘宏君, 等. 智能变电站 SCD 文件版本差异化比较研究与应用[J]. 电网与清洁能源, 2015,31(1): 60-64+68.
- [4] 王松, 宣晓华, 陆承宇, 等. 智能变电站配置文件版本管理方法[J]. 电力系统自动化, 2013,37(17): 96-98.
- [5] 邹振宇, 孙中尉, 修黎明, 等. 智能变电站信息模型组态解耦技术研究[J]. 中国电力, 2018,51(1): 78-82.
- [6] 王光亮, 陈文, 唐明帅, 等. 基于相关间隔解耦的 SCD 文件管控系统设计与开发[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(11): 157-164.
- [7] 唐凡, 董默, 刘守瑞, 等. 智能变电站虚回路校验工具的开发与应用[J]. 中国电力, 2016,49(5): 136-140.
- [8] 侯亮, 冯亮, 杨庆伟. 智能变电站虚拟回路自动化校核技术的研究[J]. 电网与清洁能源, 2015,31(6): 44-48.
- [9] 郝晓光, 赵宇皓, 尹项根, 等. 基于中间模型文件的智能变电站虚回路校验研究[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(5): 132-137.
- [10] 国家能源局. DL/T1873-2018 智能变电站系统配置描述 (SCD) 文件技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2018.

作者简介

罗振华 (1983—), 男, 高级工程师、高级技师, 从事电网继电保护工作。

(责任编辑:张峰亮)

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¹, 王少春¹, 余剑¹, 赵印明¹, 陈艳²

(1. 国网浙江省电力有限公司绍兴供电公司, 浙江 绍兴 312000; 2. 浙江中通文博有限责任公司, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 为解决传统配网架空线路因没有配置保护引起跳闸或接地引起的故障无法有效实现自愈的问题, 研究具有 5G 通信功能的配网智能开关保护配置及合理布局, 可以达到配网故障快速自愈。在配网分线和主干线安装基于 5G 通信技术智能开关, 配备电流和重合闸保护, 并合理整定保护定值, 与变电站出线保护有效配合, 通过各智能开关终端的逻辑研判技术, 实现快速隔离故障恢复非故障区域供电, 从而减少停电用户数量, 提升用户的用电满意度。某地区实际投入使用中, 配网自动化自愈成功率明显提高, 成功实现预期目标。

关键词: 配电网; 5G 通信; 智能开关; 故障自愈; 保护整定

中图分类号: TM734

Research on Fault Self Healing Scheme for Overhead Transmission Lines in Distribution Networks Based on 5G Communication Technology

HUANG Zhenhua¹, WANG Shaochun¹, YU Jian¹, ZHAO Yinming¹, CHEN Yan²

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Shaoxing Power Supply Company, Zhejiang Shaoxing 312000, China; 2. Zhejiang Zhongtong Wenbo Co., Ltd., Zhejiang Shaoxing 312000, China)

Abstract: Traditional overhead lines in distribution networks cannot effectively achieve self-healing due to faults caused by tripping or grounding. Studying the protection configuration and reasonable layout of intelligent switches with 5G communication function in distribution networks can achieve rapid self-healing of distribution network faults. Install intelligent switches based on 5G communication technology in the distribution network branch lines and main lines, equipped with current and reclosing protection, and set the protection settings reasonably to effectively cooperate with the substation outgoing line protection. Through the logic analysis technology of each intelligent switch terminal, quickly isolate faults and restore power supply to non fault areas, thereby reducing the number of power outage users and improving customers' electricity consumption experience. Through the actual operation in a certain region, the success rate of distribution network automation self-healing has significantly increased, and the expected goals have been successfully achieved.

Keywords: distribution network; 5G communication; intelligent switch; fault self-healing; protection setting

配电网自愈^[1]概念于 2009 年由美国电气研究人员提出。某地区配网经过多年发展, 设备自动化改造日趋成熟, 城区配电网网架基本实现标准双环网改造, 通过 FA 的自愈模式可以快速隔离故障并恢复非故障区域供电, 然而, 相对城区平原的地理客观条件, 部分远离城区的郊区及山区之间的网架无法实现双环网改造, 且由于多源负荷接入, 特别是大量印染厂和化工企业坐落于偏远地区, 网架复杂,

收稿日期: 2023-05-03

在迎峰度夏期间, 雷电、大雨天气造成故障事件频发, 人员无法第一时间到达现场, 用户长时间停电, 造成不可估量的经济损失, 如何解决此类网架因故障引起的停电事件成为某地区重点攻关的难题。

随着 5G 网络通信技术^[2-4]和智能开关的快速发展, 某区架空线路引入具备 5G 通信功能的智能开关, 在线路上尝试通过合理安装智能开关, 并配置相应的保护, 经过实地投入运营, 取得良好效果。文献 [5] 研究了基于 5G 通信模式下城市配电网开关

站的故障自愈，并不涉及架空线路的自愈研究。文献 [6] 介绍了配电网自愈的前景分析，并未展开具体研究。文献 [7] 研究了配电网差动保护的具体情况。

本文利用 5G 通信网络的低延迟性、高安全、高可靠性的特点，将其布置在郊区的架空线路上，以最快的数据传输模式，进行配电设备之间的数据共享，实现配电网故障快速自愈。通过合理部署智能开关和合理配置保护定值，提升故障研判的准确率，大量减少停电用户数量，从而提升用户的用电感受。

1 线路部署 5G 通信设备终端方案

在某地区配网架空线路上配置 5G 通信模块的配电终端，可以实现终端之间的网络通信。以智能开关为单元，将线路上的智能开关的各种电气量如电压、电流、开关量等数据传递至配电终端，从而进行逻辑研判隔离故障。在采用 5G 通信的方式下，各设备间不存在物理连接，各设备之间的通信依赖于各设备配置的物联网卡所固定的 IP 地址。由于系统涉及设备较多，无法简单地进行 IP 地址设置，应基于区域拓扑配置信息。各设备根据被保护区域的拓扑结构以及各对应开关站设备的 IP 地址，各设备之间自动构建通信连接。各终端通过 5G 与配调主站通信，传输三遥信号。当配电网线路改造或更换智能开关时，只须要重新设置 IP 地址配置新文件，不受地理施工及通信通道的影响，满足灵活多变的特点。

在系统发生故障的情况下，基于电流变化量、电压变化量以及零序电流过流等判据的故障检测元件动作，并进入故障判别处理流程。进入故障判别处理流程后，提高各设备之间的通信频率，快速实现故障信息实时交互，以保证故障隔离与故障恢复的速度，同时降低对 5G 通信流量的需求。某地区马鞍片区海涂变电站 B554 线配电网通信结构

图 1 所示。

B554 线部署的自愈系统涉及 5 个柱上开关，每个柱上开关配置 1 面 5G 自愈系统屏，每面屏配置 1 台 5G 自愈终端、1 套 5G 通信设备、1 套电源管理模块（含后备电源），共 5 台 5G 配网自愈控制终端、5 套 5G 通信设备。每台自愈终端与相邻自愈终端通过 5G 通信设备进行连接，自愈终端之间的 5G 通信功能。

2 智能开关保护配置

2.1 配网差动保护

主网差动保护基于基尔霍夫定律，配网线路差动保护^[8-12]也可以适用，通过将线路两端的电气量（电流、电流相位、电流故障方向等），传输到对端，将两端电气量比较，以判断故障是在本线路范围内还是在本线路范围之外，从而决定是否切除被保护线路。以往配电网架空线路均安装普通开关，不具备保护功能，故障发生时，只能无选择性跳闸亦或不跳闸从而跳变电站出线开关，扩大停电范围。通过效仿主网线路众联差动保护原理，在配网线路安装多台具有保护功能的智能开关并配置通信终端以实现线路故障切除。如图 1 所示，5 个智能开关视为终端。

本方案为架空线路的智能开关配备了电流差动保护，下面具体分析电流差动保护的过程及动作原理。差动保护由分相电流差动速动继电器、分相电流差动继电器和零序电流差动继电器构成。

2.1.1 分相电流差动速动继电器

动作方程：

$$\begin{cases} I_{CD\phi} > 0.75 \times I_{ZD\phi}, \\ I_{CD\phi} > I_{CDS\phi}. \end{cases} \quad (1)$$

式中： $I_{CD\phi}$ 为差动电流，即两侧电流矢量差的幅值； $I_{ZD\phi}$ 为制动电流，即两侧电流矢量和的幅值； $I_{CDS\phi}$ 为线路相差动作电流定值，固定取一次电流 900 A 和 4 倍实测差流的大值，实测差流由正常运行时的

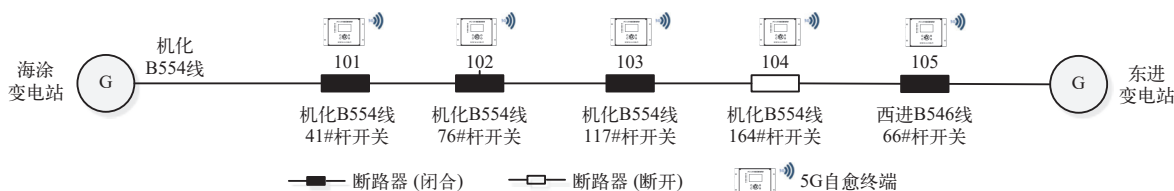


图 1 海涂变电站 B554 线电网接线图

差流获得。满足动作方程时，经 5 ms 确认，保护元件动作。

2.1.2 分相电流差动继电器

动作方程：

$$\begin{cases} I_{CD\phi} > 0.75 \times I_{ZD\phi}, \\ I_{CD\phi} > I_{CDQD0}. \end{cases} \quad (2)$$

式中： I_{CDQD} 为变化量启动电流定值，固定取一次电流 900 A 和 1.5 倍实测差流的大值。满足动作方程后，经 30 ms 延时，保护元件动作。

2.1.3 零序电流差动继电器

动作方程：

$$\begin{cases} I_{CD0} > 0.75 \times I_{ZD0}, \\ I_{CD0} > I_{CDQD0}, \\ I_{CD\phi} > I_{CDQD0}. \end{cases} \quad (3)$$

式中： I_{CD0} 为零序差动电流，即两侧零序电流矢量差的幅值； I_{ZD0} 为零序制动电流，即两侧零序电流矢量和的幅值； I_{CDQD0} 固定取一次电流 180 A。零序差动继电器经 60 ms 延时动作。零序电流差动继电器仅适用于接地系统或经小电阻接地系统。TA 断线自动闭锁零序差动继电器。

2.2 自愈重合闸配置

配网线路因树枝、鸟类、雷电等造成的瞬时失电，可通过重合一次开关快速恢复供电。同时，因永久性故障停电，通过重合闸功能可以划分故障范围，因此重合闸作用不可忽略。本文安装的智能开关均有重合闸功能，整定时间依据智能开关在线路的位置而整定，范围在 1~10 s 内（变电站出线重合闸整定时间为 1 s），如图 1 中的 5 个智能开关重合闸整定值分别为：B554 线 41#杆开关（3.5 s）、B554 线 76#杆开关（5.5 s）、B554 线 117#杆开关（7.5 s）、B554 线 164#杆开关（5.5 s）、西进 B546 线 66#杆开关（4 s）。重合闸逻辑图如图 2 所示。

2.3 小电流接地故障

小电流接地故障^[13-14] 判别采用的零序电流均为

外接零序电流。当在不接地系统中发生单相接地故障时，采用暂态零模电流极性法判别出故障在保护安装处的正方向还是反方向，并发送给相邻终端。小电流接地故障方向判别逻辑如图 3 所示。

当 B554 线（主干线，即分支线除外）发生接地时，将接地点两侧的开关分闸隔离故障点，针对 B554 线主干线的小电流接地定位逻辑如图 4 所示（ T_{GndLoc} 表示小电流接地定位时间）。

3 变电站馈线开关及分界开关保护配合

在与变电站保护配合时，可退出变电站该出线线路保护装置过流 I 段或者将过流 I 段的保护范围缩短到第一个开关站以内；将变电站该出线线路保护装置过流 II 段延时设置为 0.3 s，在被保护区域内发生故障时，无须变电站跳闸即可快速实现故障隔离，故障隔离完成后通过自愈合闸快速实现非故障时失电区域的复电。

考虑到分界开关的过流多为零时延的速断保护，故障时即使加上断路器的动作时延，开关分断总延时一般也不超过 100 ms。因此，自愈系统差动和过流的动作时延默认设置为 150 ms，可实现与分界开关间的配合。若分界开关速断保护带延时，则差动保护动作时间可设置为分界开关速断保护动作时间 + 150 ms（级差 150 ms）。

4 系统自愈动作时间

5G 自愈终端之间通过 5G 网络互相传递信息，差动保护动作及自愈动作时间受 5G 通信延时影响。整个系统动作时间可分为故障隔离时间 + 转供时间。

差动保护动作时间为 $30 \text{ ms} + T_{\text{ys}} + T_{\text{cd}}$ ，其中 30 ms 为装置 CPU 逻辑判断时间， T_{ys} 为 5G 通信延时，受环境和 5G 通信情况影响， T_{cd} 为差动动作延

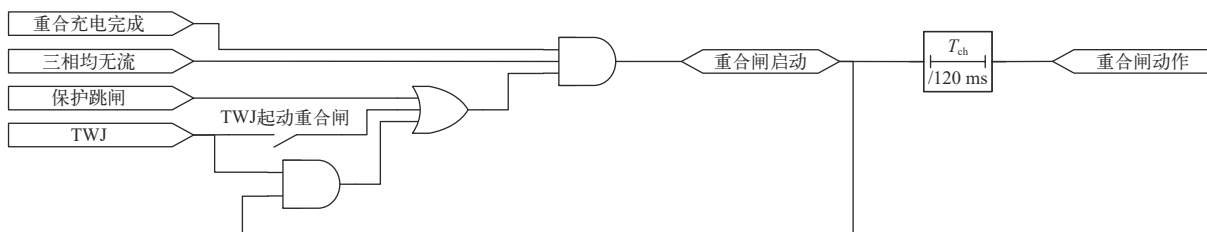


图 2 重合闸动作逻辑框图

时，可整定，一般情况下，默认 200 ms，若不考虑分界开关，则可将该定值设为 0 ms。以 5G 通道延时为 50 ms 为例，不考虑分界开关的情况下，故障隔离时间约为 80 ms。故障隔离完成后，经自愈合闸延时，系统发合闸指令，通过合开环点开关（联络开关）进行负荷转供。转供时间为 $T_{hz} + (n + 1)T_{ys}$ ， T_{hz} 为自愈合闸时间，可整定，默认 0.1 s， T_{ys} 为 5G 通信， n 为故障隔离过程中，最靠近开环点须要跳闸的开关到开环点开关的开关数量。

5 各种故障自愈策略分析

B554 线 41-76#杆故障图如图 5 所示。

5.1 瞬时故障

B554 线 41#杆开关与 B554 线 76#杆开关之间线路发生瞬时故障，差动保护动作（0.3 s），跳 B554 线 41#杆开关与 B554 线 76#杆开关，故障隔离成功；故障隔离成功后，经延时，B554 线 41#杆开关（3.5 s）与 B554 线 76#杆开关（5.5 s）重合闸

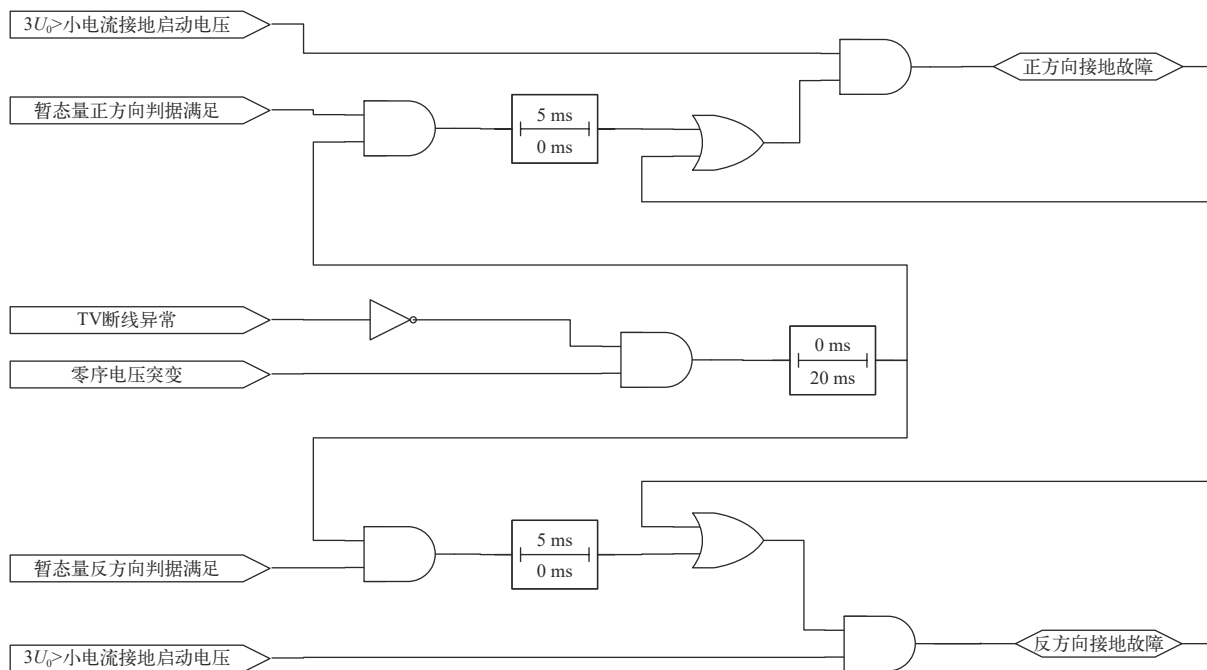


图 3 小电流接地故障方向判别逻辑图

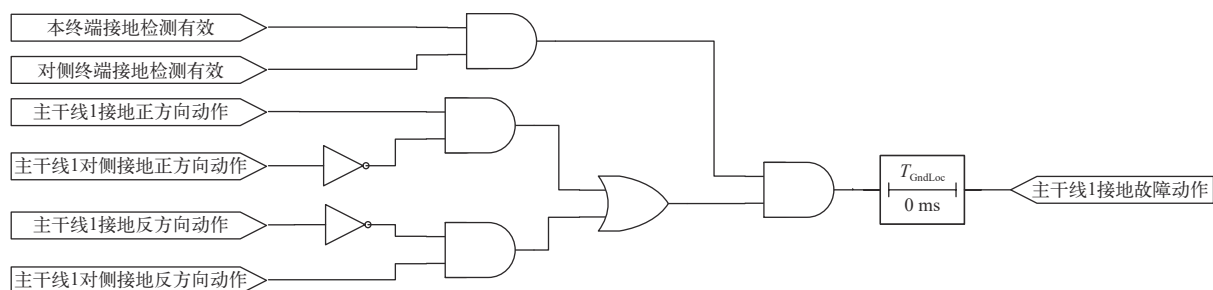


图 4 B554 线主干线小电流接地故障定位逻辑框图



图 5 B554 线 41-76#杆故障图



图6 海涂变电站 10 kV 母线发生故障示意图

动作，由于瞬时故障，故障已消失，重合闸成功，线路供电恢复。

5.2 永久故障

B554 线 41#杆开关与 B554 线 76#杆开关之间线路发生永久故障，差动保护动作 (0.3 s)，跳 B554 线 41#杆开关与 B554 线 76#杆开关，故障隔离成功，经延时 (3.5 s)，B554 线 41#杆开关重合，且重合于故障，加速保护 (差动) 动作 (0.1 s)，永跳 B554 线 41#杆开关，并向 B554 线 76#杆开关发永跳信号 (收到 B554 线 41#杆终端发送的永跳信号后，重合闸放电)，B554 线 164#杆终端检测到 B554 线 76#杆开关跳位且永跳后，经自愈合闸延时 (0.1 s)，自愈合 B554 线 164#杆开关，恢复线路供电。

5.3 分支线故障

B554 线 41#杆开关与 B554 线 76#杆开关之间分支线发生故障，由分支线智能开关过流保护动作 (0.05 s) 跳闸隔离故障，总线路无故障，无动作，全线恢复正常运行。如果分支线故障时，分支线开关拒动，经延时 (0.3 s)，B554 线 41#杆开关与 B554 线 76#杆开关之间线路差动动作，其后动作为同 B554 线 41#杆开关与 B554 线 76#杆开关之间线路故障处理过程。

5.4 变电站故障

海涂变电站 10 kV 母线发生故障示意图如图 6 所示。海涂变电站 10 kV 母线发生故障，B554 线 41#

杆开关检测到无压无流，无压跳闸动作 (8 s)，跳 B554 线 41#杆开关，合上联络 164#开关，恢复线路供电。

6 B554 线保护配置情况

变电站侧开关保护定值如表 1 所示，智能开关保护定值如表 2 所示。

表 1 变电站侧开关保护定值

变电站侧线路名称	电流速断保护	重合闸
B554 线	1 200 A, 0.5 s 跳闸	1 s

7 结束语

本文以某市某地区配电网为例，提出了 5G 通信技术的配电网保护定值的自愈方案，经过实际应用说明了该案的实用性。该自愈方案有以下特点：降低故障定位时间，快速恢复非故障区域供电，在 s 级完成。通过智能开关的保护定值配置，解决了架空下路保护级差配合的问题，提高故障定位的准确率，并缩小故障范围。采用 5G 通信技术，将设备与 IP 地址绑定，方案执行无须固定于设备的更改，具有灵活性。采用基于 5G 通信技术的配电网架空线路自愈方案经过实地的投运使用，初步取得良好效果，为其他地区架空线路部署基于 5G 通信自愈功能做了典范，在未来智能改造浪潮中，或许配网装备更优良的智能设备可以促使电网往智能化进一步发展。

表 2 智能开关保护定值

线路智能开关	差动保护	过流I段	过流II段	重合闸
B544线41#杆开关	900 A, 0.3 s	900 A, 0.4 s	700 A, 0.8 s	3.5 s
B544线76#杆开关	900 A, 0.3 s (900 A/0.2 s)	900 A, 0.4 s	700 A, 0.8 s	5.5 s
B544线117#杆开关	900 A, 0.3 s (900 A/0.2 s)	900 A, 0.4 s	700 A, 0.8 s	7.5 s
B544线164#杆开关	900 A, 0.2 s (900 A/0.2 s)	900 A, 0.4 s	700 A, 0.8 s	退出
西进B5654线66#杆开关	900 A, 0.2 s	900 A, 0.4 s	700 A, 0.8 s	3.5 s

(下转第 31 页)

基于无线公网的信号盲区 电能量数据采集的应用

李小江, 赵 贇, 王毅博

(国网新疆电力有限公司昌吉供电公司, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 目前, 在5G应用大规模推广的现状下, 各大电信运营商均不同程度存在频率紧缺的情况, 关闭2G、3G网络, 并将它们使用的频谱进行重新分配给4G和5G网络, 成为电信运营商的首选策略。2G、3G网络占用的为850、900、1800、1900、2100 MHz频段, 尤其是Sub-1 GHz频段, 在室内的覆盖和穿透能力方面具有很大优势, 运营商不约而同选择优先对850、900 MHz的信号进行退网, 而国网新疆电力有限公司的大量电力采集终端、信号中继设备均为850、900 MHz设备, 在2G低频信号退网时, 物联网设备支持的信号制式、频段将无法搜索到信号并进行网络注册导致出现规模性设备掉线。文章在分析现有地下室无线公网信号的基础上, 分析了现有物联网设备的性能的支持网络情况, 并给出了现有工况下的无线公网信号解决方案, 以供相关人员参考。

关键词: 无线公网; 信号; 电能量数据采集; 电力线通信

中图分类号: TM764

Research on Application of Electric Energy Data Collection Based on Wireless Public Network in Signal Blind Zone

LI Xiaojiang, ZHAO Yun, WANG Yibo

(State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd. Changji Electric Power Supply Company, Xinjiang Changji 831100, China)

Abstract: With the widespread marketing of 5G applications, major telecom providers have already been experiencing varied degrees of frequency scarcity. The preferred plan of Telecom operators is to shut down 2G and 3G networks and reallocate the spectrum to 4G and 5G networks. The 850, 900, 1,800, 1,900, and 2,100 MHz frequency bands are used by 2G and 3G networks. The Sub-1 GHz frequency band is particularly advantageous for indoor coverage and penetration. The elimination of 850 and 900 MHz transmissions has been prioritized by operators. However, a sizable portion of power acquisition terminals and signal relay devices for State Grid Changji Electric Power Supply Company are 850 and 900 MHz models. The signal formats that are supported by IoT devices are changed when 2G low-frequency signals are eliminated from the network. The frequency band will be unable to search for signals or register with the network, resulting in widespread device failure. This paper analyzes the performance of current IoT devices and the supporting network situation based on the analysis of the existing wireless public network signals in the basement, and then offers a wireless public network signal solution under current working conditions for reference by relevant personnel.

Keywords: wireless public network; signal; electric energy data collection; power line communication

0 前言

随着经济的发展有优化营商环境要求, 客户对用电信息的获取, 电费缴纳都有了更高的要求。基于物联网技术的用电信息采集和稳定、高效、迅速

收稿日期: 2023-05-05

的数据采集传输对企业管理、用户体验都十分重要。2010年11月, 国家发改委、电监会、能源局等六部委联合印发《电力需求侧管理办法》, 该办法的出台意味着国家电网公司“全覆盖、全采集”的要求将推广到全国电网, 从而打开了用电信息采集系统的市场容量空间。在全面推进采集全覆盖过程中,

地下室、停车场等无线公网信号盲区阻碍着采集终端抄表、费控和远程充值业务的开展。通过研究无线公网的频率覆盖特点和通过加装终端扩展器,改进物联网终端的通信模块可以有效提升终端联网状态,改善运维压力和提升用户服务感受。

1 计量抄表采集的基本原理

电力设备的远程采集抄表的上行通信是利用具有通信功能的智能电能表,通过电力线载波、微功率无线网络或 RS485 通信等方式由电能表通信模块将电能采集数据发送到采集终端,采集终端对电能表的数据进行存储同时将存储的电能数据通过无线公网、以太网等方式发送到用电信息采集系统。其下行通信与之相反,由用电信息采集系统将通信命令通过无线公网、以太网等方式发送到采集终端,采集终端将接收到的命令通过电力线载波、微功率无线网络或 RS485 通信等方式下发至电能表通信模块,电能表接收到指令。通常,将采集终端至用电信息采集系统的通信称为远程通信,将采集终端至电能表之间的通信称为本地通信。

2 信号盲区影响采集终端离线因素

在住宅小区地下室、地下停车场等信号盲区安装采集终端时,分析公网信号的频率及采集终端通信模块的频率性能对解决通信问题至关重要^[1]。

2.1 无线公网信号频率运营商分配方案

运营商在无线网络运维过程中,会不断调整频率资源的支持网络类型,以更好的分配频谱。表 1 为目前运营商对频段的运营方案。

n77~n79 所在频段(3 400~4 900 MHz)目前用于运营商 5G 网络建设,现有终端通信模块均不支持此频段,故不列出。

2.2 采集终端通信不兼容导致的无信号

采集终端通信模块在 2G、4G 网络下,目前支持的频段 Band5、Band8、Band3。如在部分地下室、地下停车场,手机信号、网络均正常的情况下,采集终端无法搜索到信号,无法注册网络,应与当地运营商确认所在区域的 2G 或 4G 网络是否在以上 3 个频段之外。

2.3 运营商频率调整对导致采集终端离线

在 5G 网络推广和 2G 退网的现状下,运营商会

表 1 运营商频段划分

频段	频率/MHz	运营方案
Band5	850	电信: 2G/3G/4G
Band8	900	移动: 2G/4G 联通: 2G/3G/4G
Band3	1 800	移动: 2G/4G 联通: 2G/4G 电信: 4G
Band39	1 900	移动: 3G/4G
Band34	2 000	移动: 3G/4G
Band40	2 300	移动: 4G 联通: 4G
Band41	2 600	移动: 4G/5G

不断调整不同频段所支持的网络类型。如中国移动将 Band8 频段所在的 2G 网络退网,进行 4G 网络部署,或中国移动关闭所在地 Band3 所在的 4G 网络,推广 Band39 频段,也将导致所在地采集终端出现离线。此时应与运营商核对所在地的网络频段和通信模块的支持频段,以判断信号支持情况。

2.4 无线公网信号放大器的支持频段超范围导致无信号

现有无线公网信号放大器部分仅支持 Band5、Band8 频段。以某公司生产的 GPRS 信号转发器(YHZ-980 型)为列,其所支持的频段为上行 890~910 MHz,下行频率为 935~960 MHz,在运营商对 Band8 频段所在 2G 网络进行退网时,仅支持该频段的 GPRS 通信模块将无法使用,若该范围内不存在相同频段的 4G 信号,则仅支持 Band8 频段的 GPRS 信号转发器较将失效;若该范围运营商同步覆盖 Band8 频段的 4G 网络信号,则可以通过更换支持 4GBand8 频段的通信模块解决信号覆盖问题。

3 远程通信的采集方案

针对采集终端分布广泛、安装环境复杂和通信能力要求的特点,专变采集终端、低压集中器采用无线公网与用电信息采集系统进行通信,通信稳定性受无线公网信号覆盖范围盲区、基站运行状况和采集终端的无线网络性能影响。针对地下室等信号

盲区采用多种方案以实现现有数据的全量采集^[2-4]。

3.1 中压电力线载波通信

中压电力线载波通信利用电力线作为传输通道来实现数据传送起先通信，利用现有 10 kV 配电线路作为通信传输介质进行透明传输，中压载波通信使用现有的配电线路作为传输通道。在实际应用中，需要将信号通过耦合器发送至 10 kV 线路中，需要将配电线路两侧停电安装，施工存在一定难度，且在拓展通信节点时，需要对新的通信点线路进行停电安装。在地下室、地下停车场等区域安装，应确保现场、室外区域具备耦合器的安装条件，且确保两侧耦合器在同一条线中相同相线上。设备的具体参数指标如表 2 所示。

表 2 中压载波机参数

参数名称	参数值
频率范围/kHz	40~500
发射功率/W	≤5
传输距离/km	≥10
通达方式	一点对多点

3.2 延长天线

通过延长采集终端外置天线，采用高频同轴电缆将天线延长安装至室外公网信号良好的地区，以便终端监测到公网信号。其中天线延长线的长度、信号阻抗程度会减弱信号强度，对于室外信号原本较弱的区域，采用天线延长线的方式可能无法使终端正常联网。设备的具体参数指标如表 3 所示。

表 3 射频同轴延长线参数

参数名称	参数值
频率范围/MHz	100~6 000
阻抗/Ω	50
不同频率信号衰减	900 MHz, 1.58 dB/m 1 800 MHz, 2.24 dB/m 2 400 MHz, 2.29 dB/m

根据其频率特性参数，室外良好工况下信号强度在-50 dBm，以 1800 MHz 频段为例，当信号强度在-90 dBm 时，通信设备将无法注册网络，则一般

情况下射频同轴延长线不应超过 17.86 m。

3.3 延长 RS485 通信线

延长 RS485 通信线以便采集终端处于无线公网覆盖范围内。通常情况下，专变采集终端与电能表安装在同一配电箱内。当配电箱安装处无无线公网信号时，采集终端将无法注册到网络。此时，可通过将采集终端安装至无线公网网络信号的覆盖范围内，使其满足具体注册网络的条件，采集终端与电能表的连接可通过 RS485 线进行连接。RS485 采用差分信号进行传输，最大的通信距离约为 1 219 m。RS485 的双绞线电气参数如表 4 所示。

表 4 RS485 双绞线缆电气参数

参数名称	参数值
传输速率/(kbit·s ⁻¹)	100~10 000
传输距离/m	1 219

针对不方便进行 RS485 布线的区域，可以采用 LORA 无线电台进行 485 信号的传输，其采用 433 MHz 无线信号传输，其空旷下传输距离可达 10 km，在复杂建筑下传输距离仍然可达到 100 m 左右。无线 485 电台参数如表 5 所示。

表 5 无线 485 数传电台

参数名称	参数值
发射功率/dBm	30
通信距离/km	10
传输速度/(kbit·s ⁻¹)	1.2~62.5
频率范围/MHz	433

在实际应用中，通常电气距离不超过 50 m，满足一般条件下的使用。

3.4 终端扩展器

通过将采集终端通信接口进行远传，分离通信模块并通过终端扩展器安装至无线公网覆盖范围内达到终端联网的目标。其近端机对采集终端无线公网模块进行更换，将采集终端交互数据通过 410~455 MHz 无线信号进行传输，远端机安装原采集终端通信模块，将收到无线信号解调后送入通信模块，

以实现采集终端联网^[5-6]。终端扩展器电气参数如表6所示。

表6 终端扩展器电气参数

参数名称	参数值
发射功率/dBm	20~27
传输距离/km	0.5~5
频率范围/MHz	410~455

4 现场实施的效果

在现场采集终端通信调试过程中,无线公网信号的覆盖与运营商基站调整、频段调整密切相关,运营商在调整频段、基站和信号强度以便达到覆盖范围。在分析采集终端信号问题时应以采集模块的通信特性、无线公网信号强度、覆盖频段进行分析,对采集模块支持的频段和公网信号进行匹配,并与当地运营商联系确定所在地的频率类型以便确定问题方向。

(上接第27页)

参考文献

- [1] 尹逊和,王忻.自愈控制系统研究的综述、分析与展望[J].控制理论与应用,2021,38(8):1145-1158.
- [2] 关鹏程,古庆利.5G通信与新基建的发展机会展望[J].集成电路应用,2021,38(6):86-87.
- [3] 王宏延,顾舒娴,完颜绍澎,等.5G技术在电力系统中的应用[J].广东电力,2019,32(11):78-85.
- [4] 李飞,谢君鹏,鲜涛,等.电力通信无线专网技术建设与应用分析[J].中国新通信,2019,9,21(9):29.
- [5] 李文君,段登伟,朱雨,等.基于5G通信模式下的配电网自愈保护应用[J].电力系统保护与控制,2022,50(24):152-159.
- [6] 许凌霄.清远城区配电网自愈及其应用实践[J].电工技术,2021(17):85-86+88.
- [7] 张星,徐文斌,赵东森,等.基于5G技术的配网差动保护应用[J].宁夏电力,2020(3):18-21.
- [8] 娄为,韩学军,韩俊,等.基于5G和光纤综合通道的输电线路差动保护方法[J].电力系统保护与控制,2022,50(1):158-166.
- [9] 赵艾萱,黄杨,宋戈,等.5G独立组网模式下的配网保护配置策略及应用[J].电力系统保护与控制,2021,49(8):24-31.
- [10] 黄福全,王廷凤,张海台,等.基于5G通信和动态时间规

参考文献

- [1] 李红柳,崔开源,伍言.无公网信号地下室用户用电信息采集方案的研究与应用[J].电网与清洁能源,2015(11):53-57.
- [2] 张维,王焕文,郭上华,等.电力线载波通信在10 kV配电网自动化中的关键技术研究[J].广东电力,2013(1):14-18.
- [3] 杨明川.浅析在GSM网络中应用直放站解决覆盖问题[J].移动通信,2003(9):73-76.
- [4] 胡绮文.计量自动化系统电能数据采集中信号放大器的应用探究[J].科学与财富,2020(24):155.
- [5] 曹宁,胡弘莽.电网通信技术[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [6] 陈爱军.深入浅出通信原理[M].北京:清华大学出版社,2018.

作者简介

李小江(1992—),男,工程师、用电监察技师,工作方向为电能计量采集专业。

赵赞(1973—),女,工程师、电能表修校高级技师,工作方向为电能计量装表接电、检验检测、采集运维专业。

王毅博(1994—),男,工程师,工作方向为电能计量采集专业。

(责任编辑:张峰亮)

划算法的配电网线路差动保护[J].重庆大学学报,2021,44(4):77-85.

- [11] 袁通,高厚磊,徐彬,等.5G高精度时间同步及在电网中的应用模式研究[J].电力信息与通信技术,2020,18(8):47-53.
- [12] 谢民,王同文,徐靖东,等.分布式电源对配网继电保护影响及综合改进保护方案[J].电力系统保护与控制,2019,47(19):78-84.
- [13] 李祥,吴俊恒,邵星星,等.小电流接地系统中异名相两点接地事故分析[J].电世界,2022,63(6):14-17.
- [14] 张朝,张红旗,包曼,等.智能算法在小电流接地系统选线中的应用[J].山西电力,2021(4):6-10.

作者简介

黄振华(1985—),男,工程师,研究方向:配网自动化,调控管理。

王少春(1980—),男,高级工程师,研究方向:配网调控管理。

余剑(1984—),男,工程师,研究方向:配网网架建设,配网自动化。

赵印明(1991—),男,工程师,研究方向:配网调控管理。

陈艳(1982—),女,工程师,研究方向:配网自动化技术。

(责任编辑:张峰亮)

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

(南京磐能电力软件技术有限公司, 江苏 南京 210061)

摘要: 间隔分图是高可靠变电站二次系统图重要的组成部分, 现行的主流方案是通过变电站 scd (substation configuration description) 全站系统配置文件解析在数据库中生成对应的模型, 由工程人员手动绘制间隔分图并进行图模关联配置。为解决目前站控系统投运过程中人工绘制工作量大, 且图模关联易出错的现状, 提出一种基于接线模板、量测值模板自主定制、自动生成间隔分图的技术方法。工程人员在导入变电站 scd 文件做好系统数据内部关联后, 在图形编辑工具中选择对应的间隔名称, 匹配模板自动生成间隔图形, 并且由程序算法自动完成间隔分图的图模关联, 可减少工程人员的工作量, 保障系统图模数据的一致性。

关键词: 高可靠变电站; 间隔分图; 图模关联; 深度搜索; 广度贪心

中图分类号: TM763

Research on Bay Mapping Technology of Secondary System in High Reliability Substation

HE Ruixiang, WANG Shuyue, SONG Mengjie, SHI Hailin, WU Guowei, LU Lin

(Nanjing Panneng Power Software Technology Co., Ltd., Jiangsu Nanjing 210061, China)

Abstract: The partition diagram of bay is an important part of the graphic picture of the secondary system in a highly reliable substation, the current mainstream scheme is to generate the corresponding model in the database by parsing the substation scd (substation configuration description) file, manually draw the interval diagram and conduct the associated configuration of the diagram model by engineer. In order to solve the huge workload of manual drawing and the graph module association is prone to error during the operation of the station control system, this paper presents a technical method of automatically generating partition diagram of bay based on the self customization of wiring template and measurement template. After importing the substation scd file and finishing the internal association of system data, the engineer can select the corresponding bay name in the graphic editing tool, and automatically generates the bay graph by matching template, and the program algorithm automatically completes the graphic model association of the bay division graph, which greatly reduces the workload of the engineer, and ensures the consistency of the system graphic data.

Keywords: high reliability substation; partition diagram of bay; graph model association; deep search; breadth greed

为响应国家电网公司的号召, 从 2020 年开始各大厂家都积极研发新一代自主可控变电站二次系统, 经过 2 年多的研发和检测, 新型变电站相关的技术规范已逐渐成熟, 近期国家电网公司将“自主可控新一代”改为“高可靠”, 自此正式进入高可靠变电站时代。在“供应链安全”+“内部体系改革”背景下, 高可靠变电站二次系统按照自主可控、安全可靠、先进适用、集约高效的建 设原则, 编制功能技术规范, 加快推动设备研制。自主可控、安全可靠是要求以自主研发的可控芯片及操作系统为基础, 集约高效要求通过系统整体设计优化采集方式、

收稿日期: 2023-02-22; 修回日期: 2023-05-09

化网络结构、减少设备总量以及减少运维工作量, 提升变电站二次系统整体性能的同时, 全面满足无人值班、设备集中管控等新的生产体系业务要求。

随着城市化进程的不断推进, 城市内部的电网规模日益变大, 变电站数量也在逐年增加, 在目前的电力调度领域中, 维护人员不但要监控整个厂站的总体情况, 还要对每一个间隔进行监控, 保证其正常运行。所以变电站二次系统不但要绘制变电站主接线图, 还须绘制每个间隔的间隔分图, 以方便维护人员实时全面监控整个站点的运行情况。通常情况下, 1 座变电站内部就包含几十个间隔, 如果是整个地调系统则数量将呈几十倍增长, 如果还是

按以前工程投运人员手工绘制的方式,工作量将十分巨大^[1]。由此,本文提出一种基于接线模板、量测值模板的间隔图形自动生成方案,以减少现场绘图工作量大且关联容易出错、须反复核对修改的问题。

1 问题提出

根据国家电网公司发布的站控系统主辅一体化监控主机(试行)规范要求,站控系统宜支持间隔分图自动生成功能,1个标准的间隔分图通常包含以下几部分:(1)间隔下的设备一次接线图,包含断路器、隔离开关、接地刀闸、手车、互感器等^[2];(2)间隔相关的遥测量如三相电压、三相电流、有功功率、频率等;(3)切换把手信号、硬压板信号、软压板信号;(4)该间隔测控装置下相关光字牌信号、第一套第二套保护装置相关光字牌信号,完整的间隔分图布局如图1所示^[3-4]。



图1 间隔分图布局

如图1所示,要绘制出一幅完整的间隔分图,有以下几个难点须考虑:(1)如何找到合适的接线模板,随着系统接入的变电站数量增加,各个站接线方式不同,接线模板库中的模板数量会十分巨大;(2)匹配到适合的接线模板后如何进行拓扑分析,

将后台系统数据模型中设备信号与电气接线图中的对应设备关联起来;(3)如何获取遥测信号、光字牌信号并且与间隔分图中的图元关联起来;(4)合理的布局算法^[5-6]。

2 实现方案

本方案使用中国电力科学研究院站控系统集中检测的测试模型,投运人员搭建好后台系统,导入变电站scd文件,配置好数据模型后即可开始准备绘图。生成步骤如下:(1)打开系统绘图工具,点击间隔成图按钮弹出间隔选择页面,选择间隔;(2)程序算法从库中读取该间隔拓扑信息,通过计算得出该间隔的特征数据;(3)遍历间隔模板库中的接线模板与选中间隔的特征数据作比较,选出合适的模板,如果没有合适的模板则须手动绘制一个模板;(4)列出合适的接线模板、量测值模板供选择,根据选中的接线模板跟库中该间隔拓扑数据进行拓扑比对分析,将数据标识定义到设备图元上,根据量测类型匹配将遥测量标识定义到遥测图元上;(5)新建空白图纸,将已经完成定义的接线模板和量测值模板放置到图纸左侧,上下排列;(6)根据选择的间隔标识读取库中该间隔下的测控装置、第一套第二套保护装置的数据信息,根据不同的数据类型新建光字牌、软硬压板图元,按照布局算法将其放置到图纸上;(7)图形大体已生成,当前图纸是修改状态,投运人员可对不满意的地方,或有特殊要求,手动修改后保存。

经过以上步骤就可以生成1张完整的间隔分图,其中只有步骤(1)和步骤(4)或者新建模板须人工参与,其他都由程序算法自动完成,大大地减少了手工绘图的工作量^[7-8],具体的流程图如图2所示。

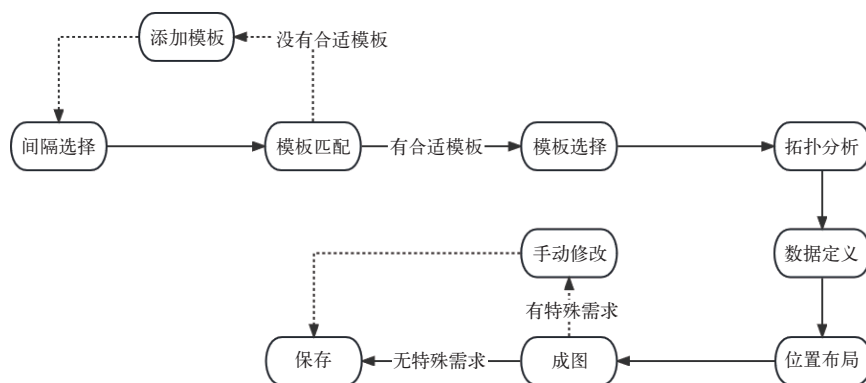


图2 成图流程

2.1 间隔选择

点击间隔成图按钮，会弹出变电站下所有的间隔列表，如图3所示，每一行数据展示一个间隔信息，选中一个间隔后点击确定，自动调用系统接口根据选中间隔的唯一标识读取该间隔的拓扑模型信息。

mid	间隔名称	中文描述
01600000000000060	VOC	VOC
01600000000000061	#2主变	#2主变
01600000000000062	#3主变	#3主变
01600000000000063	2-1电容	2-1电容
01600000000000064	2-2电容	2-2电容
01600000000000065	3-1电容	3-1电容
01600000000000066	3-2电容	3-2电容
01600000000000067	500kV I 段母线间隔	EBUS500kVIM
01600000000000068	220kV I 段母线间隔	EBUS220kVIM
01600000000000069	35kV I 段母线间隔	EBUS35kVIM
01600000000000070	交流流一体化电源	IPS
01600000000000071	263	263
01600000000000072	500kV I 段母线间隔	EBUS500kVIM
01600000000000073	220kV I 段母线间隔	EBUS220kVIM

图3 间隔选择表

2.2 匹配模板

间隔模板库中的接线模板数量很多，如果直接展示出来让投运人员选择是不合理的。因此在制作每一张接线模板的时候，除了将图形本身入库，也会将接线模板中主要设备的模型信息保存下来，具体来说就是接线模板中的一次设备（主要是断路器、隔离开关、接地刀闸、手车）的数量。在投运人员选择好间隔获取到间隔的拓扑信息后将遍历间隔模板库，找到各设备数量与类型与之一致的模板返回。这样通过初次筛选后，再将符合条件的模板展示选择，可以帮助投运人员快速找到合适的模板。

2.3 添加模板

添加模板不一定是必需的，因为随着系统投运的变电站数量越来越多，间隔模板库中的接线模板会越来越丰富，涵盖各种常见的间隔接线方式，基本可以满足需求，示例模板如图4所示。

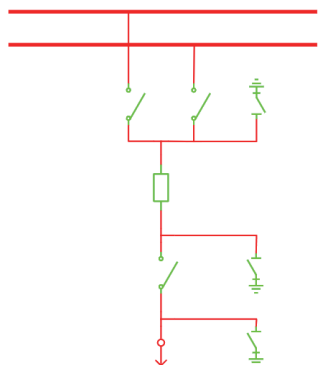


图4 模板示例图

2.4 拓扑分析和数据定义

拓扑分析是间隔成图最核心的部分，自动成图应帮助投运人员完成主要的两步工作，自动绘制是第一步，自动关联是第二步。经过上节模板选择后，已经获取到间隔拓扑数据和接线模板拓扑数据，本文采用深度搜索、广度贪心相结合的算法^[9-11]，选择断路器为起始节点，首先判断该设备类型的数量，断路器数量如果唯一，则直接将间隔拓扑数据中该断路器的数据标识定义到接线模板中断路器图元上，如数量不唯一则直接以第一个断路器为起始往下进行深度搜索，每到达一个设备节点，则广度遍历与之相连的所有节点，记录与之连接的设备类型和数量，一直搜索到母线或者单端子设备为止，与模板中的拓扑比对。如整个路径上的连接设备数量和类型都一样，则将间隔拓扑中的数据标识定义到图元上。接下来从断路器开始往上以同样的方法对比，直到接线模板上的设备图元都已定义完成，则将模板放置到图纸左上角，算法的简要流程如图5所示。

在制作量测值模板时，需要给每个模拟量图元定义一个量测类型，用来表明其展示的数据类型。一般间隔展示的遥测量类型大体相同（基本是三相电流、三相电压、功率等），根据所选的间隔唯一标志读取该间隔下测控装置的遥测信息表与量测值模板上模拟量图元的量测类型进行匹配，类型一致则将数据标识定义到模拟量图元上，完成定义后将量测模板放置在图纸上，位于接线模板之下。

2.5 位置布局

根据图1所示，接线模板和量测值模板在布局的最左侧呈上下排列。将接线模板和量测值模板放置好之后整个间隔分图的高度就确定了。根据选择的间隔调用后台接口分别获取间隔切换把手、测控软硬压板信号，分别创建对应的图元将数据标识定义在图元上，按固定的间距从上到下放置，须注意的是高度不能超过接线模板和量测值模板的高度之和，如高度不足以放置所有的信号，则在最下方增加一个“全部”按钮，新建一张空白图纸，将所有信号放置到新图纸上，并将全部按钮和新图纸进行关联，点击能够跳转到全部信号页面。接下来第一套保护和第二套保护装置的光字牌信号处理流程同上，向右扩展。以上布局流程均由程序算法自动控制，整幅图形生成完毕后页面处于修改中状态，这

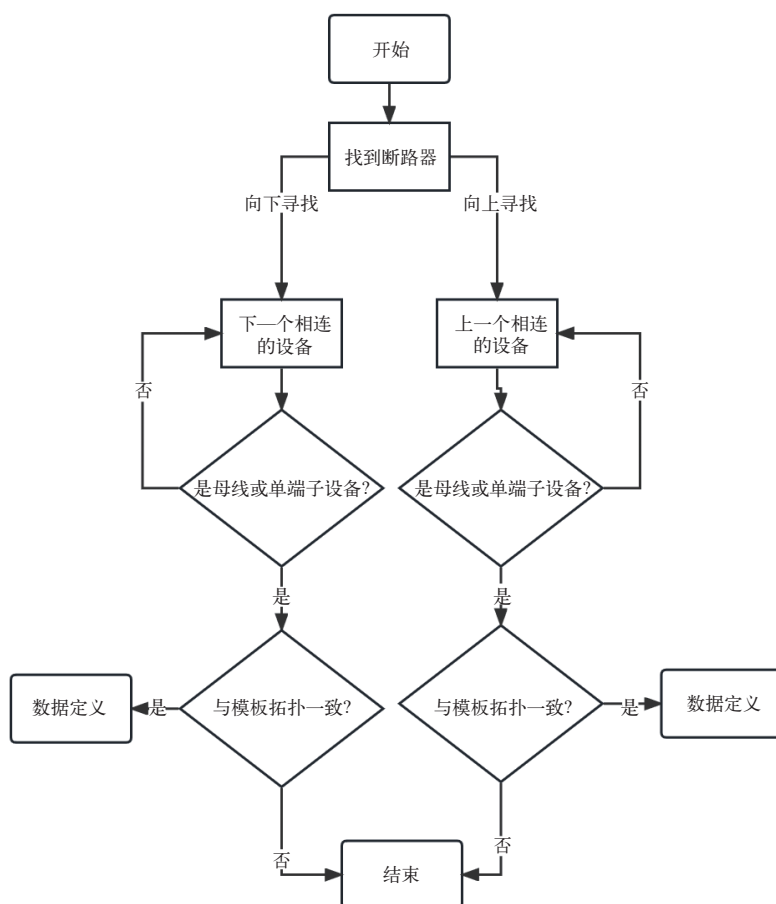


图5 算法简要流程图

时投运人员如有特殊需求可以手工操作绘图工具，在界面微调以达到要求，至此一幅完整的间隔分图自动生成成功，点击保存即可，最终成图效果如图6所示。

3 方案特点

间隔模板库中模板资源丰富。间隔模板库会随



图6 成图效果

随着系统投运变电站的数量增加而增多，常见的间隔接线方式在模板库中都能找到，一般不需要人工参与，如果没有合适的模板添加完成之后也能复用到本站或其他站。

操作简单，投运人员只须点击几次鼠标即可成图。整个成图过程中只有在选择模板时需要人工参与，其余均由程序算法自动完成，大大节省了投运人员的工作量，体现了“集约高效”的指导原则。

自由灵活，支持特殊定制和修改。成图完成后，图形处于修改中状态，如现场有特殊的要求支持手动拖拽修改，体现了“先进适用”的要求。

4 结论

针对变电站二次系统投运时，现行方案手工绘制间隔分图工作量大，且图模关联极易出错的现状，提出一种基于接线模板和量测值模板定制，自动生成间隔分图的方法。投运人员只须在间隔模板库中搜索不到合适模板时，制作一幅简单的接线模板，在成图过程中点击几次鼠标即可生成一幅完整的间隔分图，且支持特殊定制，灵活修改。该方法大大减少人工绘图的巨大工作量，是变电站二次系统投运不可缺少的一部分^[12]。

参考文献

- [1] 戴春潮, 周季峰, 唐晓莉, 等. 一种基于自由布局模板的间隔图自动生成方案[J]. 智能电网, 2015, 3(11): 1068-1071.
- [2] 束庆波, 齐周祥. 基于编码的变电站地形图自动成图系统研究[J]. 安徽建筑, 2022, 29(10): 108-109+127.
- [3] 王朴, 张兆归, 王兴念, 等. 配电主站智能配电室自动拓扑和成图设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2022, 39(5): 135-139.
- [4] 蓝国卉, 闫浩, 陈宇, 等. 基于人工智能算法的电系图自动成图研究[J]. 电子技术与软件工程, 2021(3): 239-240.
- [5] 张雨, 王德辉, 张翔华. 电网GIS平台低压台区图自动成图技术研究与应用[J]. 南方能源建设, 2020, 7(S1): 62-67.
- [6] 沈自虎, 吴淑玮, 葛艺晓, 等. 输电网接线图增量自动成图算法[J]. 计算机系统应用, 2020, 29(5): 128-135.
- [7] 李嘉, 饶丹, 李耕, 等. 基于典型间隔模板的智能变电站虚端子自动连接方法[J]. 电力工程技术, 2020, 39(4): 157-163.
- [8] 何雄坤, 周宏志, 聂辉, 等. 大数据技术在配网单线图自动成图的应用研究[J]. 电力大数据, 2020, 23(5): 54-63.
- [9] 陈乃金, 冯志勇, 江建慧, 等. 行并行可重构单元阵列流水映射性能评估[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2017, 45(8): 1218-1226.

- [10] 何瑞祥, 陈乃金. 行路由PEA广度贪心调度映射算法[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(14): 65-69+75.
- [11] Naijin Chen, Zhen Wang, Ruixiang He, et al. Efficient scheduling mapping algorithm for row parallel coarse-grained reconfigurable architecture[J]. Tsinghua Sci Technol, 2021, 26(5): 724-735.
- [12] 钱学成, 杜健, 尹燕霖, 等. 新一代配电自动化主站系统自动成图功能的研究[J]. 农村电气化, 2020(9): 56-58.

作者简介

何瑞祥(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事变电站二次系统、综合能源、储能等研究开发工作。

(责任编辑:袁航)

资讯

浙江送变电公司：应用焊接机器人提升施工质效

2023年5月9日，经过为期一周的试运行，焊接机器人在浙江省杭州闸北（南阳）220 kV 输变电工程 2 标盖板焊接自动化加工区正式“上岗”，为配合施工节奏，提升焊接质量，解决现场施工时间紧、强度高、环境复杂等难题，浙江省送变电工程有限公司主动探索新技术、新手段，引进焊接机器人。

“与传统焊接方式相比，焊接机器人能自动跟随、焊接盖板，全过程无需人工参与，节省人力的同时，能大幅提高焊接效率和电缆沟盖板的焊接质量。”项目负责人郑棋表示。

焊接机器人集成自动焊接系统、PIC 控制系统以及气动系统，可实现一键式控制、全自动焊接作业，能够自动识别焊缝，根据焊接参数进行自适应调整，完成复杂焊接任务，具有高速度、高稳定性和高精度的特点。“此前，对于 30 块长 2.24 m、宽 0.5 m 的电缆沟盖板焊接工作，需要 4 个焊接工人耗时约一整天才可完成，而采用焊接机器人之后，仅需 15 min 便可完成一块盖板的所有焊接工序，一天可焊接 40 块盖板，大幅减轻了我们的工作负担。”现场技术员谢潮洋说。

此外，焊接机器人主要运用气体保护焊接技术，使用惰性或活性气体来保护熔池，以减少氧化、氮化和其他污染物的产生，保持焊接过程稳定、持续，还能精确控制焊接时间和焊接位置，有效降低耗材，改善作业环境，保障施工人员安全。

信息来源：国网浙江省电力有限公司

基于三维仿真场景的巡检记录汇总分析平台

白雪峰

(国网山西省电力公司吕梁供电公司, 山西 吕梁 033000)

摘要: 总结输变电运检领域在巡视记录和数据管理方面存在的问题, 包括现场记录效率低、数据价值有待发掘、数据录入重复劳动等。针对这些问题, 自主开发了三维交互式变电检修布控系统, 利用数字化管理方式统计汇总设备信息, 提高了运检工作的效率和数据的价值。现整合前期工作成果, 完成巡检记录汇总分析平台的研制, 将班组内部各类琐碎杂乱的服务信息通过该数字化管理平台进行管理, 方便长期保存各类巡视数据, 生成数据曲线图谱, 以实现了对设备运行状态的长期动态掌握。

关键词: 输变电巡检; 三维; 汇总分析

中图分类号: TM755

Development of Inspection Record Summary and Analysis Platform Based on 3D Simulation Scenarios

BAI Xuefeng

(State Grid Shanxi Electric Power Company Luliang Power Supply Company, Shanxi Lyuliang 033000, China)

Abstract: Summarize the problems in inspection records and data management in the field of power transmission and transformation operation inspection. This includes low efficiency in on-site recording, data value that needs to be explored, and repetitive work in data entry. In response to these issues, a three-dimensional interactive substation maintenance and control system has been independently developed. Utilize digital management methods to collect and summarize equipment information. Improved the efficiency of transportation inspection work and the value of data. Now it is necessary to integrate the results of the previous work. Complete the development of a platform for summarizing and analyzing inspection records. Manage various miscellaneous service information within the team through this digital management platform. Convenient for long-term storage of various inspection data. Generate a data curve graph. Realize long-term dynamic control of the operating status of various equipment.

Keywords: power transmission and transformation inspection; 3D; summary analysis

随着生产生活用电的增长, 使得供电网络不断扩建, 输变电设备的运维数据也在与日俱增。面对大量设备巡检产生的信息管理压力, 传统的巡检记录方式给班组工作的开展带来了较大负担, 急需借助现代数字化工具, 解决信息收集、资料存储、数据价值挖掘等工作难题。现有的生产管理信息系统对班组日常资料的整理功能较少, 只有将日常工作业务紧密相连的各类工作流程数字化, 才能减轻基层对资料收集整理、汇总分析的工作量。

1 输变电巡检现状分析

输电线路长, 各类地理环境信息需要通过巡检记录进行完善; 变电站数量多, 站内的变电设备和装置结构复杂且故障排查技术要求高^[1]。针对输变

收稿日期: 2023-04-18

电工作的技术密集型特征, 以及日常工作对各类信息的高水平需求, 输变电运检中心自主开发了三维交互式变电检修布控系统, 初步解决变电站检修布控的问题, 将三维仿真技术应用到变电站复杂空间下安防布控的工作中来, 使得不熟悉现场的新员工, 也可以直观地查看工作周边环境, 了解危险点、工作位置、物资存放位置、特种车辆行驶和操作方位等。线路的巡检工作也可以借助电脑三维场景来获取完整的空间信息。

在已有电脑三维应用的基础上, 本文重点讨论当前面临的巡检记录管理面临的困难。

1.1 资料缺失或不全

有些变电站的资料可能没有及时更新, 或者在维护和整理过程中丢失了一部分。这会导致巡检人员无法了解设备的具体情况, 也难以对发现的问题

做出及时处理。

1.2 巡检记录登记难以准确描述问题

有时候巡检人员在发现问题时，可能难以准确描述问题的性质、位置、影响范围等具体信息，这可能会导致后续处理人员对问题的判断产生困难，影响问题的及时解决。

1.3 巡检记录登记工具不便利

有些变电站可能没有配备完善的巡检记录登记工具，巡检人员须手动记录，这可能会影响记录的准确性和速度，也会浪费巡检人员的时间和精力。

针对上述问题，巡检人员应提前做好所需的资料和记录工具，尽可能了解设备的具体情况和问题，并做好准确描述和记录，以便于后续的处理和管理工作。同时，变电站管理部门也应加强对设备资料的整理和更新，完善巡检记录登记工具和流程，提高巡检效率和准确性。

2 三维仿真场景的构建及完善

汇总分析平台将各类巡检记录，以变电站和设备三维模型为载体进行信息传递，将纷杂的信息用直观简洁的登记查询方式来管理。巡检记录等日常工作信息以三维模型为载体，可借助后台程序来完成信息的汇总、分析、推送。三维仿真环境的搭建可以通过使用相关的软件工具，如 AutoCAD、3DS Max、Unity 等来实现。具体步骤如下。

2.1 确定仿真软件和平台

目前市面上有很多三维仿真软件，比如 Unity、Unreal Engine、Blender 等，可以根据需要选择适合的软件和平台。

2.2 收集建模素材和场景数据

要搭建一座变电站的三维仿真环境，需要收集变电站周边环境及设备的数据和建模素材，比如设备模型、环境模型、材质、贴图。

2.3 建模和场景设计

通过建模软件对设备模型和场景模型进行建模，设置材质、纹理等属性，设计出一个真实的三维环境。将设备模型、站内设施、主接线空间分布等信息实现 1:1 三维模型制作。

2.4 导入模型和设置交互

将建好的设备模型和场景模型导入到仿真软件中，并进行一些设置，比如添加交互功能、设置视角、调整光线等。接入数据库管理程序，将巡检记录编码后统一存放，根据特征值进行自动分类推送，使得设备的巡检信息可以准确推送到对应的三维仿真场景中，如图 1 所示。

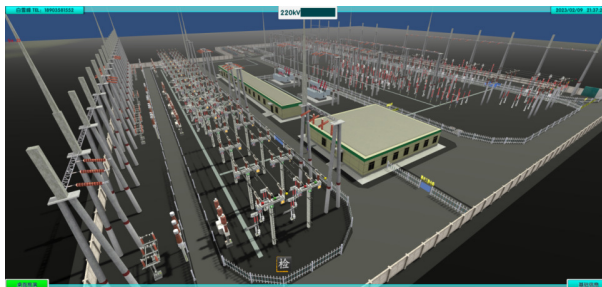


图 1 构建变电站三维仿真场景作为数据载体

3 巡检记录的登记与汇总分析

3.1 制作标准巡检模板

为了更好地进行巡检记录汇总分析，需要对现有巡检模板进行重点信息提取，构建结构化数据采集模板，如图 2 所示。明确巡检记录的时间、地点、人员信息。为了填写信息统一规范，采用扫码登记+字典选取的登记方式，减少人工输入操作。这样可以减少无效数据的产生，如：巡视地点为 220 kV 某变电站某线路 220 kV 258 断路器 A 相，如果人工录入可能会出现命名不规范和输入错误的问题，所以扫描设备实物 ID，从数据库中自动配置基础信息，

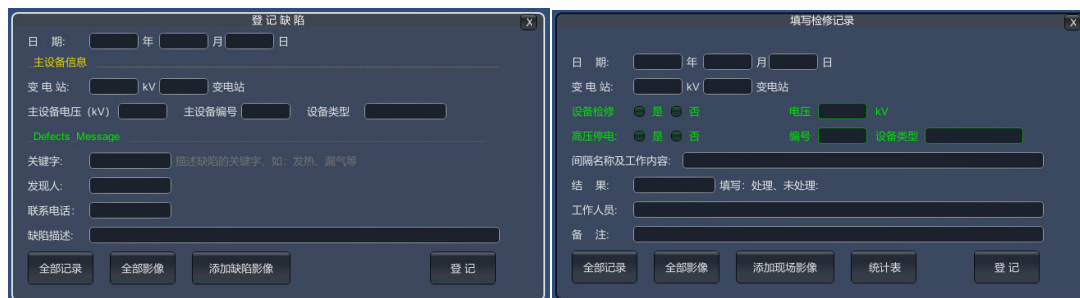


图 2 巡检记录模板

可减少人工操作，大幅度提升巡检效率。

3.2 制作巡检记录知识库

该平台是在现有巡检记录信息管理的基础上，进一步优化数据存储和查询方式，通过标准化的后台，来解决差异化的实际应用场景。通过使用规划好的信息采集方式，对巡检记录进行二次加工。在不改动原有数据的基础上，进行统计分析，将同类设备、同一个变电站的巡检记录进行重汇总，如图3所示。经过多年的实际使用后，形成的巡检数据表和巡检影像资料在统一的存储位置存放。工作人员可针对统计中使用率最高的设备和变电站，进行信息二次加工，形成该变电站、变电设备的巡检知识手册。借助巡检知识手册可对常见的设备故障和处置措施进行便捷查询。最终在三维仿真场景中自动推送，方便工作人员快速查询。

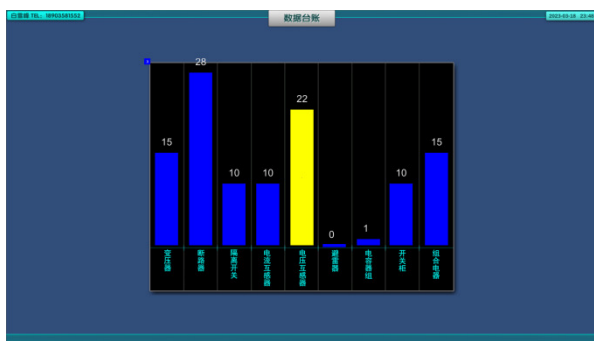


图3 巡检记录统计分析

3.3 高质量培训环境

采用三维仿真场景，可将变电站的主接线空间分布直观呈现，将以往的CAD主接线图变为可多方位查看的真实空间信息，加快熟悉作业现场效率，快速进入高效工作状态。使用Unity3D、UE等三维引擎制作视觉特效，可将现实环境中无法看到的设备内部结构及其连接引线带电情况直观呈现，大大降低风险点辨识难度。结合数据库储备的历史巡检记录和经过自动分选后的巡检知识库，可在基层运维班组随时开展高质量培训，消除时间和空间对技术密集型行业的培训阻碍，如图4所示。

4 拓宽巡检记录输入与查询方式

4.1 传统界面登记

将巡检重要信息以关系型数据库存储的方式，设计典型登记界面逐项输入相关信息。在各类巡检尚未优化之前，使用该模式登记可以快速实现巡检记录的数字化，经过二次加工可逐步优化录入方式，将重复录入内容自动填充，实现一键登记。

4.2 扫码登记查询

扫码登记就是传统登记结合设备实物ID后的优化版。只须扫描设备实物ID，就可以将所属变电站、设备名称、生产厂家等基础信息自动录入。工作人员仅须将新增的巡检数据登记即可。一般是将巡检的影像资料上传至服务器，登记的信息带有时间戳，



图4 包含巡检记录的多维数据在仿真场景中的融合



图5 数据多维接口之仿真场景提示入口

在服务器存储后可根据特征自动分类。

4.3 场景提示信息

作业场景查看。在三维仿真环境中，可以远程完成变电站、杆塔、开闭所等巡视场景的整体查看，在到达实地前，对巡检环境和巡检重点提前规划。特别是带电危险点、采空区识别、故障多发区等重要信息，可借助仿真环境，在后台程序的信息推送下快速掌握。

巡检对象拆解。将具有复杂结构、隐蔽结构的设备和建筑，通过三维建模实现仿真环境下的结构拆解，将传统巡检无法完成的透视功能在日常工作中使用，结合在线测试仪器仪表就可以对设备内部工况、故障位置有初步的诊断，方便开展后续检修和跟踪监测。

多维数据接口。巡检对象的前期档案数据、仪器仪表在线数据、运维巡检记录信息、多专业日常记录等信息都可以以设备为载体，进行多端口录入。各类信息将在后台数据库中统一进行特征值处理，自动完成分类和推送，如图5所示。如：110 kV某变电站159断路器，进入该变电站后界面就会提示新增故障信息，在查看159断路器时也可以看到该设备的新增故障登记，各类数据将不局限于单一来源和单一查询接口，可以在多终端、多界面中自由切换。

5 结束语

综上所述，输变电巡检的登记模版在不断优化，记录方式也在引入扫码、RFID等快捷方式，在采集录入过程中减少人工操作，甚至可以通过在线巡检自动完成全过程。在巡检信息的汇总和分析方面，

借助强大的后台数据管理，可自动分类推送重要信息。信息的存储量和保存时间也可得到较大提升。借助电脑三维、大数据工具、人工智能分析方法，巡检记录汇总分析平台可帮助运维管理单位不断提升巡检质量，保证运检对象的稳定运行。

参考文献

- [1] 白雪峰. 浅析泛在物联网在设备运维检修阶段的应用[J]. 山西电力, 2019(4): 46-48.

作者简介

白雪峰(1985—)，男，电力工程硕士，高级工程师，研究方向：电力系统、数字化管理。

(责任编辑:袁航)

资讯

河南开封公司：145 kV 无氟环保气体开断断路器试运行

2023年4月27日，145 kV 无氟环保气体开断断路器在220 kV 宋城变电站挂网试运行。

本次试点挂网运行的145 kV 无氟环保气体开断断路器采用二氧化碳和氧气作为绝缘与灭弧介质，与传统同电压等级六氟化硫断路器占地面积相同，但实现了整机无氟化，确保温室气体零排放，环保性能优越。

下一步，国网开封供电公司将持续推进绿色环保理念融入输变电工程建设全过程，严格落实新设备入网差异化运维策略，定期开展日常巡检和带电检测，积累无氟环保气体开断断路器运行维护经验，夯实后续推广应用基础。

信息来源：国网河南省电力公司

新型易装配电线路电杆防撞标示牌

谭文喜, 彭正良, 曹智平

(国网湖南娄底供电公司, 湖南 娄底 417000)

摘要: 配电线路是直接供电到用户的电力线路, 其运行状况直接影响到供电可靠性, 是电能传输链的重要环节, 配网常见的电杆主要有水泥电杆、钢管杆, 为便于配电线路施工和后期运维, 电杆大多选择组立于公路、道路两旁, 不可避免地会受到过往车辆的碰撞, 尤其夜间视野较差, 此类事故更易发生。为避免受到外力破坏, 电力部门常通过装设电杆防撞标识提高辨识度减少此类隐患, 因此, 设计一款安装便捷, 长久耐用的防撞标示显得尤为重要。

关键词: 配电; 电杆; 防撞标示; 易装; 耐用

中图分类号: TM754

New Type of Easily Installed Anti-collision Signs for Distribution Line Poles

TAN Wenxi, PENG Zhengliang, CAO Zhiping

(State Grid Hunan Loudi Power Supply Company, Hunan Loudi 417000, China)

Abstract: Distribution lines are power lines that directly supply power to users and are an important link in the power transmission chain. Their operating conditions directly affect the reliability of power supply. The common electric poles in the distribution network mainly include cement poles and steel pipe poles. In order to facilitate the construction and later operation and maintenance of power distribution lines, most poles are selected to be erected on both sides of highways and roads. Inevitably, there will be collisions from passing vehicles. Especially with poor visibility at night, such accidents are more likely to occur. To avoid external damage, the power department often improves identification and reduces such hazards by installing pole anti-collision signs. Therefore, designing a collision resistant label that is easy to install and long-lasting is particularly important.

Keywords: power distribution; electric poles; anti collision signs; easy to install; durable

1 选题理由

现阶段常采用的配电杆塔防撞标识为杆基涂彩漆、粘贴反光贴膜和装设多功能防护装置的措施, 这几种防撞标识能够起到一定的警示作用, 但均存在其缺陷, 如: (1) 杆基涂彩漆耗费工时、无夜间反光警示作用、年久易沾灰、易脱落; (2) 粘贴反光贴膜因配电杆塔多为水泥电杆, 粘贴不牢靠, 易被外力损坏, 易脱落; (3) 装设多功能防护装置产品价格高、装设耗时过长、遇电缆入地处因电缆管阻碍不能装设。因此为了改善现在各种防撞标示的缺点和不足, 成立了专门的 QC 小组开始研究设计。

2 目标设定

提供一种结构简单、设计合理、使用方便的新型易装线路杆塔防撞标识牌, 它能降低产品成本,

收稿日期: 2022-12-29, 修回日期: 2023-04-12

减少装设时间, 便于安装, 提升使用耐久度, 提高夜间反光警示作用, 既能减少事故发生, 又可广泛应用于电杆防撞警示方面。

3 方案的选择

在完成现状调查后, QC 小组提出了几个须要解决的问题: (1) 是现有电杆都是锥形杆上小下大, 新型的防撞标识牌要能便于完成安装; (2) 是解决产品的耐久度和夜间反光效果的难题; (3) 为了解决上述所存在的问题, 采用包括彩钢板和工程级反光膜、螺丝、螺帽组成的防撞标识牌。能满足降低产品成本, 减少装设时间, 易安装, 提升使用耐久度, 提高夜间反光警示作用, 减少事故发生, 可广泛应用于电杆防撞警示方面。

4 制定对策及实施

根据选定的方案绘制了产品图纸, 以下结合附

图及具体实施方式，对本产品进行详细说明。如图 1 和图 2 所示。



1-彩钢板; 2-工程级反光膜; 3-水平腰型孔; 4-垂直腰型孔;
5-螺丝; 6-螺帽。

图 1 防撞标示牌展开图

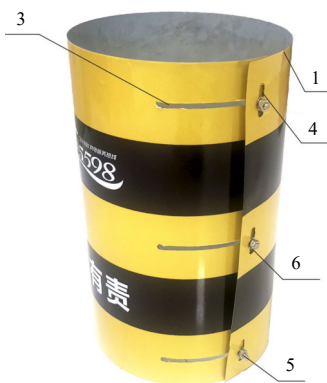


图 2 防撞标示牌安装示意图

具体实施方式采用如下技术方案：彩钢板 1 的表面贴覆有工程级反光膜 2，彩钢板 1 和工程级反光膜 2 的一端设置 3 个水平腰型孔 3，水平腰型孔 3 的末端设置有大圆孔，另一端设置个对应的垂直腰型孔 4，每组水平腰型孔 3 和垂直腰型孔 4 的中心在一条直线上，螺丝 5 穿过重叠的水平腰型孔 3 和垂直腰型孔 4，螺丝 5 的末端通过螺帽 6 固定，所述工程级反光膜 2 为颜色相间的多条纹图案。所述螺丝 5 的螺头直径和螺帽 6 的宽度均大于垂直腰型孔 4 的宽度和水平腰型孔 3 的宽度。

材质上选用彩钢板和工程级反光膜，彩钢板可用于活动板房的修建，优点耐久度高、轻便易折叠、成本低廉，使用寿命达 20 年。

工程级反光膜用于高速公路反光防撞标识，优点是夜间反光明显，提高安全性能，使用寿命达 10 年。在材料的选用上进行改进，相较于杆基涂彩

漆和粘贴反光贴膜相比大大提高使用耐久度和警示作用，与装设电杆防撞墩的方式相比减少材料成本。

装设工艺上的创新改进：标识牌 2 连接端处，一端设置三垂直腰型孔 4，可进行少量的上下调节，以便于更好地贴合锥形的杆身，另一端设置对应的三水平腰型孔 3，水平腰型孔 3 末端设置大圆孔方便螺丝放入，三水平腰型孔 3 的设置适用于不同直径的杆身，可大幅度调节，便于贴合锥形杆身，安装时将彩钢板 1 围住线路杆塔，使每组对应的水平腰型孔 3 和垂直腰型孔 4 重叠，再将专用的螺丝 5 栓入对应的孔洞中，通过螺帽 6 拧紧固定。安装方面可 1 人可完成操作，耗时短，固定牢靠，可根据杆塔大小调节固定位置。

5 效果检查

2022 年 6 月，QC 小组对该电杆防撞标识进行试装，1 名作业人员只需 5 min 既完成安装，极大地缩短了作业人员安装时间，同时也降低安装难度。产品通过尺寸调节可适用不同尺寸的水泥电杆，无须重新开模，在制作中按统一尺寸进行制作，批量生产降低成本低至约 300 元/套，且采用的材料使用时间均较长，延长了更换周期，具有可以重复使用，翻新使用的特性，使用的工业级反光膜，反光效果明显，特别是夜间达到了预期效果。该产品生产工艺要求不高，可有效带动当地小型加工厂的生产，产品一次开模后多类型使用，加工厂家成本不随型号发生变化，减少企业负担，通过数月的观察夜间反光明显达到了预期效果。

经过统计分析，较为综合地解决目前配电杆塔常采用的防撞标识中存在的一些主要缺点，降低生产成本，增加了企业经济效益，提高了工作效率，确保了电网安全运行，可广泛应用于电杆防撞警示方面。

作者简介

谭文喜（1981—）男，本科，工程师，主要研究方向：电气工程。

彭正良（1993—）男，本科，工程师，主要研究方向：电气工程。

曹智平（1987—）男，硕士研究生，工程师，主要研究方向：电气工程。

（责任编辑：刘艳玲）

语音告警防触电警示牌

李春发, 卢伟雄

(广东电网有限责任公司韶关始兴供电局, 广东 始兴 512500)

摘要: 近年来社会人员因在电力线路下面钓鱼、放风筝等户外活动导致的触电事故逐渐增多, 研制了一种语音告警防触电警示牌, 包括警示牌外壳和语音告警防触电装置, 通过红外探测模块感应周边范围是否有人靠近, 当人员靠近, 将会触发语音告警, 并发出红蓝闪光, 提示高压线下危险, 禁止钓鱼、放风筝, 减少触电事故的发生。

关键词: 语音告警; 防触电装置; 红外人体探测

中图分类号: TM726.2

Research on One Kind of Voice Warning Signs for Preventing Electric Shock

LI Chunfa, LU Weixiong

(Shaoguan Shixing Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangdong Shixing 512500, China)

Abstract: In recent years, there has been a gradual increase in electric shock accidents caused by outdoor activities such as fishing and flying kites under power lines. This article studies a voice warning anti electric shock warning board, which includes a warning board shell and a voice warning anti electric shock device. Detect whether there are people approaching the surrounding area through the infrared detection module. When there are people around, a voice alarm will be triggered and a red and blue flashing light will be emitted, indicating the danger of high-voltage lines. Fishing and kite flying are prohibited to reduce the occurrence of electric shock accidents.

Keywords: voice alarm; anti electric shock device; infrared human body detection

随着社会的发展及城市化建设的推进, 电力企业的发展可谓突飞猛进。当前, 架空线路的电压等级分为 10、35、110、220、500、800 kV 等, 不同电压等级的架空线路的安全距离不一样。且架空线路大多为裸导线, 线路正常运行时, 导线带有电压, 当人、动物或其他物品接近高压线路时易发生触电现象。架空线路受地形、工厂、公路、居民区的限制, 经常穿越鱼塘、河流或湖泊。因部分人员安全意识淡薄, 在架空电力线路下方钓鱼、放风筝等, 容易发生人员触电事故。

电力企业通常会在架空电力线路下方安置防触电警示牌^[1], 在一定程度上起到警示作用, 但因现有的警示牌不具备语音及灯光警示, 部分垂钓人员往往注意不到。而目前市场上的防触电预警器大部分是蜂鸣器的版本并不具语音功能, 也没有自检功能, 其大部分电源采用 CR2032 电池, 电源容量较小。

本文提供一种语音告警防触电警示牌, 利用红外探测技术, 当有人在架空线路下方靠近警示牌附近区域垂钓或放风筝时会触发, 同时进行语音告

收稿日期: 2023-03-24

警、红蓝闪光警示, 提示有电危险请勿在此处垂钓、放风筝。该语音告警防触电警示牌由警示牌外壳和语音告警防触电装置组成, 下面将对这 2 部分进行详细说明。

1 语音告警防触电装置

语音告警防触电装置设有红外人体探测感应器、声光报警器、单片机、太阳能模块组成^[2]。当红外人体探测感应器感应到区域范围内有人存在时, 单片机会处理并启动声光报警器。太阳能电池负责能量的采集、存储与供应。如图 1 所示。

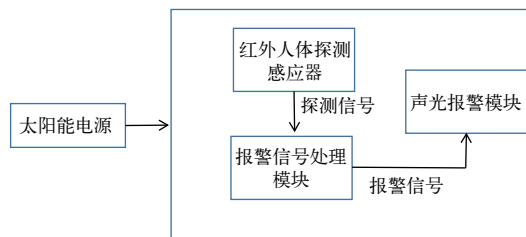


图 1 语音告警防触电装置各模块

1.1 红外人体探测感应器

红外探测器是靠探测人体发射的红外线来进行

工作的，探测器收集外界的红外辐射进而聚集到红外传感器上，红外传感器通常采用热释电元件，这种元件在接收了红外辐射温度发出变化时就会向外释放电荷，检测处理后产生报警。这种探测器是以探测人体辐射为目标的，所以辐射敏感元件对波长为 $10\ \mu\text{m}$ 左右的红外辐射必须非常敏感，为了对人体的红外辐射敏感，在它的辐射照面通常覆盖有特殊的滤光片，使环境的干扰受到明显的控制作用。

其传感器包含 2 个互相串联或并联的热释电元，而且制成的 2 个电极化方向正好相反，环境背景辐射对 2 个热释电元几乎具有相同的作用，使其产生释电效应相互抵消，于是探测器无信号输出。一旦入侵人进入探测区域内，人体红外辐射通过部分镜面聚焦，从而被热释电元接收，但是 2 片热释电元接收到的热量不同，热释电也不同，不能抵消，经信号处理而报警。

1.2 信号处理模块

信号处理模块的信号输入端与红外人体探测感应器的输出端连接，信号处理模块的信号输出端连接语音报警模块的输入端，信号处理模块主要是将红外人体探测感应器输出的信号转化为适于语音报警模块的接入信号。

工作过程：通过模块接收到的信号，再经过解码电路模块解码并把已解码信号通过处理器处理，微处理器再把信号转化为另一种报警信号，该信号将会再经过加码传递给声光报警模块。

1.3 声光报警模块

报警信号处理模块的输出端连接有声光告警器，声光告警器负责当有人或动物入侵靠近时发出警示灯和告警音，设置语音提示有电高压危险，同时告知周围的人员架空线路下面钓鱼危险。

1.4 太阳能电源模块

电源模块为滤波及信号预处理模块、探测传感器、微控制器、挡位切换及按键处理模块和语音报警模块供电。

随着光伏产业的发展，太阳能电池的种类也逐渐增多。但是世界各国研究的主流太阳能电池都是以硅 (Si) 为材料制作而成的，所以被统称为硅系太阳能电池。具体的组成有单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池、非晶硅太阳能电池等。

研究设备混合供电技术，供电电源模块由锂电

池及太阳能板组成，确保设备能够长时间巡航，并方便维护。

2 警示牌外壳

语音告警防触电警示牌可应用于高压线下的池塘、河流、施工地段、空旷区域等环境旁。如图 2 所示。



图 2 应用场景

根据实际应用场景和美观设计，设计成房子形状，屋顶放置太阳能板，红外人体探测感应器、信号处理模块、声光报警模块^[3]。外观设计如图 3 所示。



图 3 外观设计

3 装置使用说明

使用时，人员携带本产品并且打开波段开关的电源控制开关开机，听到“已开机”语音提示后可确认开机成功，一种语音告警防触电装置通过探测传感器，感应是否有人接近带电的架空线路附近，当监测范围内出现异常，立即通过声光告警器发出预警，并通过语音提示。可设定监测范围值，当监测范围内出现异常，立即声光告警。将分析结果传送给微控制器，微控制器将结果与内部的各级别电压场强波动范围与距离微调资料库进行对比，如果超出安全范围，微控制器就控制语音报警模块发出“为了您和他人的安全，禁止在高压线下方垂钓、放风筝。”报警响声。波段开关和挡位切换按键都可以对预设电场的等级进行选择，微控制器采集到波段开关或挡位切换按键的状态后，根据其状态来判断设置信息并自行对电场强度预警范围进行选择。防触电语音预警器还可进行自检工作，判断现在处于哪个波段，并发出语音提示，当应用完毕后，关闭防触电语音预警器，并且防触电语音预警器在关闭时发出“已关机”的语音提示。

4 效益分析

4.1 经济节约

语音告警防触电警示牌装置无须接入 220 V 电源供电，语音告警防触电警示牌采用蓄电池+太阳能光伏板的模式可以持续不间断工作，绿色环保。太阳能光伏板在阳光充足的条件下将光能转换为电能进行装置使用供电，剩余电能通过锂电池进行储存，为确保语音告警防触电警示牌在夜间及阴雨天气正常工作提供电能支持装置，锂电池储存电量能供语音告警防触电警示牌使用 10 天，相关使用单位无需额外增加装置供电费用。

4.2 警示效果好

语音告警防触电警示牌装置通过安装红蓝警示灯及语音提示，明显提高了靠近语音告警防触电装置的人员视觉警示性，在夜晚或因天气等原因导致的光线较暗条件下，警示效果明显，避免人员在架空线路下逗留或开展其他影响架空线路安全运行的活动。

4.3 噪声符合环保要求

语音告警防触电警示牌装置声光报警器声音设

置为可调模式，根据安装环境可设定报警器的播报音量，在野外将告警声音控制在 50 dB 左右，既能起到防范触电风险，又不会因警示牌长期工作出现语音告警导致的扰民。

语音告警防触电警示牌装置安全可靠，绿色环保，不受地形地貌等因素影响，在架空线存在涉电隐患区域大力推广使用。2022 年广东电网有限责任公司韶关始兴供电局对所辖的架空线路进行全面排查涉电隐患，共完成语音告警防触电警示牌安装 3 562 块，有效减少因人员误入带电区域开展垂钓、放风筝等户外活动造成的触电事故。

本文提供了一种可靠的钓鱼人员身处电力场的告警器，其中波段开关可以做为电压挡位切换又可以做为电源开关，解决了目前市场上必须在另外加装电源开关的问题，而且也可以不用波段开关，只用一个挡位切换按键实现各个挡位的电子切换，简洁了整体设计，采用 CR2450 电池供电，缩小了产品的体积，提高了电池的容量，采用专用 ASIC 芯片采集和分析电场信息，灵敏度高，可靠性强，具有语音报警模块，实现了多段语音报警功能，可实现“已开机”“已关机”“自检”“为了您和他人的安全，禁止在高压线下方垂钓、放风筝”等语音提示，具有更小型化更美观的外壳结构。

5 应用前景

用组合设计，探测传感器与声光告警装置相结合，设定在架空线路范围内，当感应到有人入侵物靠近时，可发出警示音，警示钓鱼人员远离带电架空线路范围，能大大降低钓鱼人员触电概率，减少事故发生率及钓鱼人员伤亡。一种智能型鱼塘架空线路触电声光预警装置采用太阳能+锂电池取电设计，能够长时间巡航，极大提高运维工作效率。

参考文献

- [1] 张宗芳. 一种可视化智能防触电安全保护电子围栏设计与研究[J]. 科技与创新, 2022(3): 21-23.
- [2] 帕孜来·马合木提. 应用于人体探测的红外温度传感器[N]. 新疆工学院学报, 1998(3): 78-81.
- [3] 陆世鸣, 施晓红. 正确使用GB 7000.1—2015规定的“触电危险”警告符号[J]. 光源与照明, 2018(1): 22-24.

作者简介

李春发(1983—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 电力系统安全运行。

(责任编辑: 刘艳玲)

缩短计量异常处理时间

霍振星¹, 王敏鑫², 栗晓华¹, 王娜¹

(1. 国网河北省电力有限公司邯郸供电分公司, 河北 邯郸 056000; 2. 国网河北省电力有限公司武安市供电分公司, 河北 武安 056300)

摘要: 计量是供电企业进行电量采集和核算收费的枢纽, 计量异常的处理是影响供电企业经营效益和用电客户的服务体验的重要因素, 围绕缩短计量异常处理时长并通过采用智能手持终端和新一代智能感知和主动防窃电计量箱实现计量异常点的精准定位和计量装置的全天候监控。

关键词: 计量异常; 定位; 监控

中图分类号: TM933.4

Shorten the Processing Time of Measurement Anomalies

HUO Zhenxing¹, WANG Minxin², LI Xiaohua¹, WANG Na¹

(1. Handan Power Supply Branch of State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Hebei Handan 056000, China; 2. Wu'an Power Supply Branch of State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Hebei Wu'an 056300, China)

Abstract: Metering is the hub of power supply enterprises for power collection and accounting charges, and the processing of metering anomalies is an important factor affecting the operating efficiency of power supply enterprises and the service experience of electricity consumers. This paper focuses on shortening the processing time of metering anomalies by adopting intelligent handheld terminals and new generation of intelligent sensing and active anti-theft metering boxes to achieve accurate positioning of metering anomalies and all-weather monitoring of metering devices.

Keywords: measurement anomaly; location; monitoring

1 选择课题

从近年来的宏观经济表现得知用电量增速趋缓, 加之市场化售电等供给侧结构性改革政策的施行均使供电企业的盈利空间被进一步压缩。所以, 注重提质增效, 夯实专业管理基础势在必行, 而计量异常的处理是关系供电企业经营效益的重要影响因素之一, 所以缩短计量异常处理时间对于进一步提升供电企业的经营效益意义重大。

2 现状调查

2.1 调查活动一

小组成员通过对邯郸供电分公司 2021 年 1—12 月计量故障处理抽样的 100 个工单用时进行统计分析发现: 计量故障处理平均用时为 79.2 min, 最短用时与最长用时相差 75 min。因此, 通过优化计量异常处理过程, 可以减少计量故障处理时间。

2.2 调查活动二

小组成员随机抽取 10 个计量故障处理工单的各

环节用时, 经统计分析发现在异常故障处理的各个环节中, 现场定位环节平均耗时相对其他环节较长, 占总时长高达 46.91%, 现场处理环节平均耗时占比 34.93%, 这 2 个环节耗时占总流程耗时 81.84%, 是造成计量故障处理用时长久的关键。

3 设定目标

根据历史数据表 1 进行可行性分析, 计量故障平均处理时长为 79.2 min。因此小组将计量故障处理时间控制到 60 min 是可行的, 并确定目标值为处理计量异常时长小于 60 min。

4 原因分析

小组成员集思广益, 运用头脑风暴法, 针对“现场定位”和“现场处理”这 2 个步骤进行讨论分析, 确定末端因素并绘制关联图, 如图 1 所示。

根据关联图, 小组从中找出 7 个末端因素, 分别是: 发现故障至到达故障现场耗时长、故障工具操作速度慢、现场发现非单一故障、更换零部件耗

表 1 要因确认计划表

序号	末端因素	确认方法	确认依据
1	发现故障至到达故障现场耗时长	统计现场测量结果	《国网河北省电力有限公司计量异常处理及反馈要求》工作时间<60 min
2	故障工具操作速度慢	统计使用工具处理时长	《国网河北省电力有限公司计量故障处理工器具要求》工作时间<60 min
3	现场发现非单一故障	统计分析	现场工作统计比重分析
4	更换零部件耗时长	统计现场测量结果	《国家电网公司技能人员岗位能力培训规范 第27部分：装表接电》工作时间<30 min
5	无法精准定位异常	统计现场测量结果	现场工作统计比重分析
6	专业工器具年限长	统计分析	Q/GDW 11372.27—2015《国家电网公司技能人员岗位能力培训规范 第27部分：装表接电》专业工器具须在检验周期
7	工作人员缺少指导作业	统计分析	《国家电网公司技能人员岗位能力培训规范 第27部分：装表接电》培训时间>6个月

时长、无法精准定位异常、专业工器具年限长、工作人员缺少指导作业。

5 确定要因

小组成员根据计量故障处理时间末端因素关联图，开展现场调查、验证，对引起“现场定位”和“现场处理”的各个末端因素制定了要因确认计划

表，如表 1 所示，并根据计划进行逐项确认。

5.1 要因确认一：发现故障至到达故障现场耗时长

小组成员调查了 2022 年 1 月 1 日—3 月 30 日 10 个从发现故障至到达故障现场的时长，经分析发现末端原因“发现故障至到达故障现场耗时长”操作环节，平均用时达 63.2 min，超过了《国网河北省电力有限公司计量异常处理及反馈要求》中“遇紧急故障处理时，市区范围到达现场时间不超过 60 min”的要求，因此确定此原因为要因。

5.2 要因确认二：无法精准定位异常

根据实际工作经验，受现场环境影响较大，在老旧小区线路交叉混乱以及电能表和计量箱安装位置较高等现场作业时，异常定位耗时明显增加。为了调查清楚异常定位耗时影响，小组成员针对调查活动一中的 100 个工单，筛选出处理时长大于 100 min 的 29 个工单，经分析发现现场定位环节时长占比较大，如果能够缩短现场定位的时长，一定能大大缩短计量故障处理的平均时限，因此确定此原因为要因。

通过以上分析，确定要因为：发现故障至到达故障现场耗时长、无法精准定位异常。

6 制订对策

针对 2 个要因，分别制定对策方案，筛选优选方案，如表 2、表 3 所示。

制定要因对策实施表如表 4 所示。

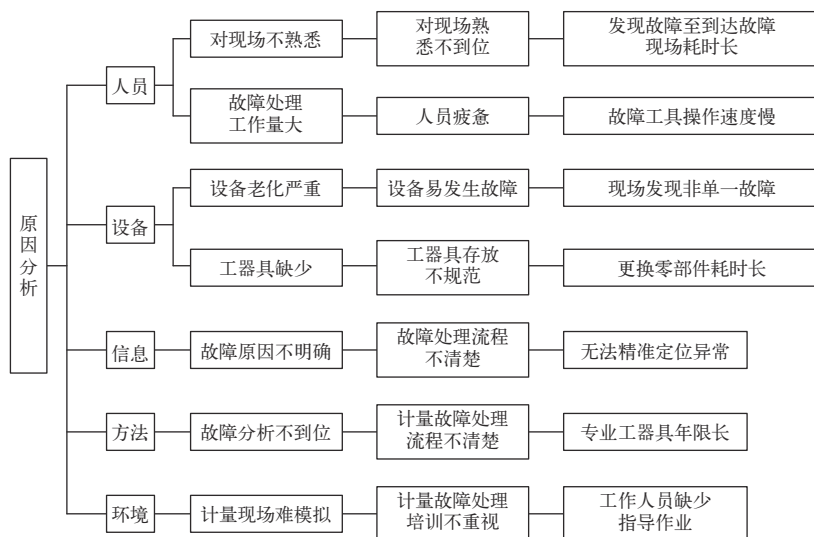


图 1 计量故障处理时间末端因素关联图

表2 缩短发现故障至到达故障现场耗时方案选优表

序号	方案	内容	优点	缺点	结论
1	制定终端地址台账，并随时更新	专业人员梳理终端台账，建立终端地址台账	成本低，灵活性高，成效明显	消耗人力大，标准程度低，效率低	不采纳
2	利用手持终端实现导航定位	总结设备所需定制成品类型，由专业厂家制作	安全性高，消耗人力少，可靠性高，标准化程度高；操作性强	无	采纳

表3 改善无法精准定位异常方案优选表

序号	方案	内容	优点	缺点	结论
1	加装身份识别表箱锁	由厂家制作身份识别表箱锁，可识别开锁人身份	成本低，实现简单，成效明显	消耗人力大，标准程度低，安全性不高	不采纳
2	基于物联感知与载波通信技术	总结设备所需定制成品类型，由专业厂家制作	安全性高，消耗人力少，可靠性高，标准化程度高；操作性强	无	采纳

表4 2个要因对策实施表

序号	要因	对策	目标	措施	负责人	地点	完成时间
1	发现故障至到达故障现场耗时长	利用手持终端实现导航定位	市区内发现故障至到达故障现场时长用时<40 min	实现计量装置信息云存储，不丢失，对计量装置位置进行智能导航，能编辑记录文字和图片信息，实现计量信息的共享性和安全性	霍振星	邯郸市洛单科技公司1号加工车间	2022年5月10日
2	无法精准定位异常	计量箱加装门磁传感器与位移监测装置，同时与控制器连接并通信	精准定位异常时间<10 min	通过门磁传感器获知箱门被打开，能够抗信号干扰，位移监测单元可实时监测表箱发生改动或异常震动并上报至手机 App 自动报警	卢丽鹏	邯郸市洛单科技公司2号加工车间	2022年5月10日

7 对策实施

7.1 对策实施一：利用手持终端实现导航定位

梳理到达现场流程，分析是否可以通过安装定位装置实现快速确定故障地点，小组成员逐个分析到达现场流程环节（如图2所示），判断是否可通过安装定位装置实现快速确定故障地点，如表5所示。

由表5可知，从系统调取户号到前往现场平均耗时 54.9 min。经分析，小组共确认 2 个须删减的流程，3 个须重构的流程。

制定重构方案。对每个流程制定重构方案和平均耗时，如表6所示。

根据表6可知，从发现问题至到达现场，流程缩短为 4 个环节，平均耗时 32 min，满足市区内发现故障至到达故障现场时长用时< 40 min 的要求。

开发的计量装置定位平台具有实时位置储存、路线智能导航、存储文字图片、账号保密共享等功能，现场排查处理时自动定位准确位置，能够

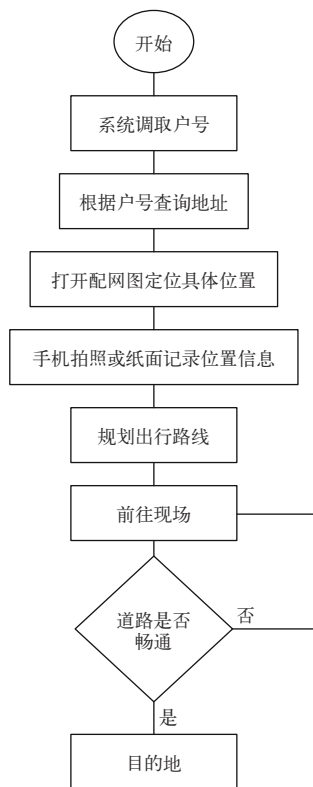


图2 到达现场流程图

表 5 自发现故障至达到现场各流程分析及对策

序号	流程名称	平均耗时/min	具体分析	对策
1	系统调取户号	3	输入户号以调取用户相关信息	直接输入
2	根据户号查询地址	40	在186系统查询用户地址信息	删减
3	打开配网图定位具体	90	通过配网图查询故障点所在具体位置信息	删减
4	手机拍照或纸面记录位置信息	2.7	方便查看出行路线	重构
5	规划出行路线	6	按照经验选出最佳出行路线	重构
6	前往现场	30.5	道路施工、严重堵车等情况影响	重构

表 6 安装快速定位系统重构方案

序号	流程名称	平均耗时/min	实施方案
1	输入基本信息	3	在计量装置快速定位系统中输入户号信息
2	获取位置信息	4	计量装置快速定位系统按照户号信息直接获取计量故障点的具体位置
3	规划出行路线	5	系统按照位置信息规划最佳出行方式
4	前往现场	20	按照最佳路线出行，避开道路施工、堵车等道路
合计		32	

显示现场大小街道、周围知名建筑等参照物，显示计量装置台账信息的详细路径说明，缩短路程，降低能耗，避开拥堵坑洼路段，减少发生交通事故和车辆损坏的概率，提高了工作安全性，提高了计量异常位置确定的准确性和实效性，如图 3

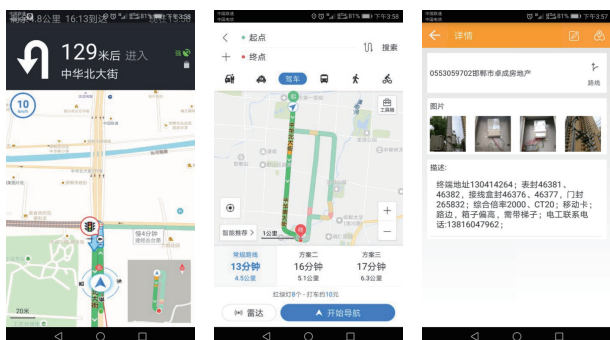


图 3 计量装置自动精准定位和智能导航界面

所示。

7.2 对策实施二：计量箱加装门磁传感器与位移监测装置，同时与控制器连接并通信

当发生破坏计量箱或改动计量箱内设备窃电时，会出现用户不认可，推卸责任的情况，同时计量箱巡视周期较长，会出现窃电时间较长的现象，致使计量箱内窃电行为的管控难度加大。针对这些问题研制智能感知和主动防护计量箱，基于物联感知与载波通信技术，通过全维度实施监控，能在第一时间对窃电行为检测、定位，并迅速处理。

7.2.1 新一代智能感知和主动防窃电计量箱介绍

如图 4、图 5 所示，智能计量箱主要分为 2 部分：一是具有智能计量箱及相应辅助设备，具有门磁报警、温湿度感知、线损分级计算等功能；二是具有智能 App 平台，同时支持 PC 后台和手机 App 2 种终端对系统进行管理和使用。App 平台与现场智能计量箱配合可实现：平台采用智能监控终端接入标准协议，支持远程监控、异常告警、地图显示、分级权限管理、安全管理、数据查询等主要功能。

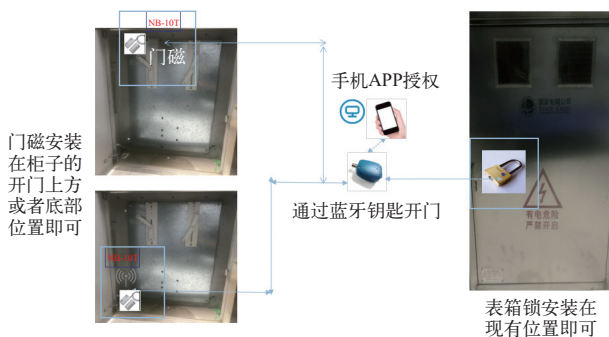


图 4 专公变计量箱



图 5 低压计量箱

新一代智能感知和主动防窃电计量箱，是基于“物联感知与载波通信”技术，通过全维度实施监控，在第一时间对窃电行为进行检测、定位和处理，避免了电量流失，实现高效、便捷的防窃电智慧管理平台，满足运维场景，实现计量系统智能化安保。

在技术实现上，新一代智能感知和主动防窃电计量箱平台分为设备层、通信层、前置层、服务层、业务处理层、数据层，架构如图6所示。设备层主要是指智能计量箱和接入系统的移动设备，设备均通过无线公网接入系统。通信层是指接入系统的通信通道，主要是电力无线专网。前置层提供对接入系统的移动设备的管理。服务层为业务逻辑层提供外围服务接口。业务逻辑层专注于系统的业务数据处理，通过访问数据层，为业务应用提供业务逻辑处理服务。数据层由数据映射和数据源构成，使应用系统能够适应多种类型的数据库。

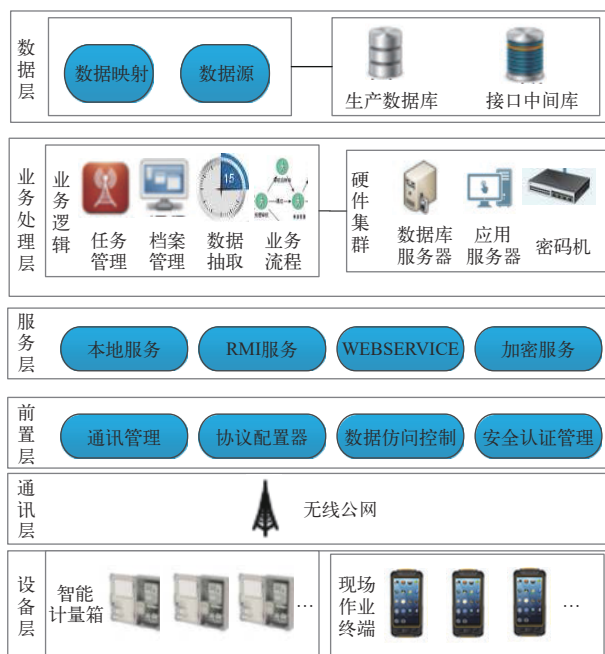


图6 新一代智能感知和主动防护计量箱平台架构

7.2.2 效果检查

如表7所示，通过30个现场数据计量工单验证，智能感知和主动防窃电功能投运后，精准定位时长降为平均10 min。与QC小组制定的目标：智能感知和主动防窃电功能使用后定位异常时间不大于12 min相比，对策目标二完成。

表7 传统计量箱与智能计量箱效果检查对比

	传统计量箱	智能计量箱
安全性	容易打开，不安全	智能感知，安全
干扰源	强光、阴雨、距离、安装角度	避免干扰
工作效益	精准定位异常时间 30 min	精准定位异常时间 12 min

8 确认效果

8.1 目标检查

在各项对策实施后，小组对2022年4月20日—5月10日的计量故障处理时间进行了统计分析，结果显示故障处理平均时间由原来的79.2 min降至44 min，小于60 min，达到预期目标值。

8.2 安全效益

当出现人为破坏计量装置或非法开启计量箱时，App能够收到报警信息，计量装置设备主人收到报警信息后，立即赶赴现场检查处理，降低计量装置被人为破坏的风险。

8.3 经济效益

一是实现计量装置智能导航。在计量装置发生故障后，能精准快速定位到故障点，且通过移动手持终端快速处理故障，平均每个异常问题从发现至处理完毕平均时间由79.2 min将至44 min，效率提升了44.5%。一个地市公司系统年节约车辆800台次、人员1200人次，节约成本25.6万元。二是追补大额电量电费，挽回了巨大的经济损失。非法入侵窃电率小于10%，2022年至今防止窃电数量：专变客户1169处，平均每户减少电量损失0.5万kW·h；低压客户12万户，每户减少电量损失100 kW·h；共计减少电量损失1784.5万kW·h，根据2022年平均售电单价0.56元/kW·h，挽回经济损失999.32万元。

作者简介

霍振星（1982—），男，硕士研究生，高级工程师，从事电能计量采集，用电检查和反窃电工作。

王敏鑫（1988—），男，本科，工程师，从事费控及用电检查工作。

栗晓华（1990—），男，研究生，高级工程师，从事供配电工作。

王娜（1983—），女，研究生，工程师，从事电能计量和抄表收费工作。

（责任编辑：刘艳玲）

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

(国网山西送变电工程有限公司, 山西 太原 030006)

摘要: 某500 kV变电站新建工程全站建筑外墙采用真石漆工艺, 通过开展QC小组活动对其施工过程开展质量控制, 针对外墙真石漆颗粒不均匀和色差的3个因素, 遵循5W1H原则制定了对策, 通过控制喷嘴压力、控制喷涂厚度、合理选择喷枪、喷嘴, 最终将外墙真石漆施工一次成优率提高到96%, 实现了工程安全可靠, 工艺优良的工程建设目标。

关键词: 变电站外墙; 真石漆; 一次成优率

中图分类号: TM633

Improve the one-time Success Rate of Real Stone Paint Construction on the Exterior Walls of Substation Buildings

HAN Xiaofeng, CUI Yachao, ZHANG Deng

(State Grid Shanxi Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd., Shanxi Taiyuan 030006, China)

Abstract: The exterior walls of a 500 kV substation construction project are made of real stone paint. Conduct quality control over the construction process through QC group activities. In response to the factors of uneven particle size and color difference of exterior wall real stone paint, countermeasures have been formulated following the 5W1H principle. By controlling nozzle pressure, controlling spraying thickness, and selecting spray guns and nozzles reasonably, the one-time optimization rate of exterior wall real stone paint construction was ultimately increased to 96%. The engineering construction goal of safety, reliability, and excellent craftsmanship has been achieved.

Keywords: substation exterior wall; real stone paint; one time optimization rate

1 工程概况

山西大同某500 kV变电站是山西北部电网的重要组成部分, 该变电站投产后对促进山西省能源基地建设具有重大意义。变电站全站建筑物色彩统一规划, 全站10座建筑物外墙采用真石漆涂料装饰。外墙真石漆施工质量的好坏直接影响变电站整体观感质量, 同时要满足国家电网公司标准工艺和质量通病防治要求, 为达到相关要求, 要求外墙真石漆施工一次成优率需达到95%以上。

2 现状调查

小组成员抽查建筑外墙400个点, 其中50个检查点存在缺陷, 平均合格率87.5%。小组对检查出的质量问题50个点进行分类、整理, 发现外墙真石漆主要问题为颗粒不均匀、色差、表面污染、接槎明显、涂层开裂^[1-2]。具体统计结果如表1所示。

从图1看出, “颗粒不均匀”与“色差”是影

收稿日期: 2023-04-28

表1 建筑外墙缺陷调查统计表

因素	频数	累计频数	频率/%	累计频率/%
颗粒不均匀	22	22	44	44
色差	15	37	30	74
表面污染	6	43	12	86
接槎明显	5	48	10	96
涂层开裂	2	50	4	100
合计	50	—	—	—

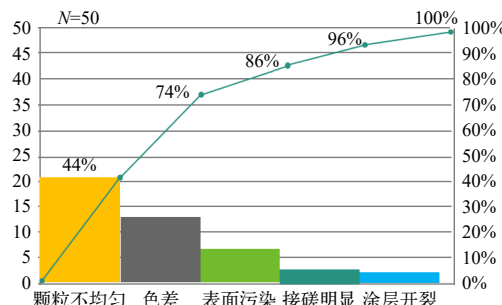


图1 排列图

响变电站建筑外墙真石漆施工质量的主要因素，累计频率高达 74%，为问题症结。所以，提高建筑外墙真石漆施工质量必须解决这 2 个主要问题。

3 目标设定

本工程是创优工程，对工程质量、施工工艺的要求高，公司要求外墙真石漆允许偏差项目的合格点率不小于 95%。由图 1 排列图可以看出，外墙真石漆的一次成优率平均为 87.5%，问题症结“颗粒不均匀”与“色差”累计频率高达 74%，小组成员认为，只要将问题症结“颗粒不均匀”与“色差”2 个质量问题解决 85%，合格率可达到 95.4%。

本次 QC 小组活动的目标值设定为：建筑物外墙真石漆施工一次成优率由原来的 87.5% 提升到 95%。

4 原因分析

小组对影响外墙真石漆颗粒不均匀和色差的各种因素，经过反复讨论、认真研究归纳：空压机压力未按要求控制、喷涂厚度不均匀、受天气影响、未使用封闭底漆、材料不符合要求、未制定工艺流程、技术交底不到位、喷枪喷嘴型号不统一。

5 要因确认

5.1 要因确认（一）：空压机压力未按要求控制

标准：空压级压力控制在（0.5~1.0 MPa）。

现场测量：项目部检查现场施工喷涂的 3 台空压机压力值（压力值：0.47、0.45、0.46 MPa），空压机压力值未达到规范范围值，说明施工人员操作时空压机压力未严格按照要求进行控制，出现偏差，造成喷出的颗粒大小不一。

结论：空压机压力未按要求控制为要因。

5.2 要因确认（二）：喷涂厚度不均匀

标准：厚度控制在 1.5~2 mm。

现场测量：现场使用漆面厚度检测仪抽查 50 点，合格点数 39 个，合格率仅 79%，未达到要求。

结论：喷涂厚度不均匀为要因。

5.3 要因确认（三）：受天气影响

标准：基层含水率 ≤ 8%。

现场测量：查阅施工日志，结果显示真石漆喷涂施工期间未下雨，属于在有利条件下施工。同时

通过砂浆表面水分仪，抽查墙面 50 个点测量含水率，结果显示含水率在 6%~7%，满足规范要求。

结论：受天气影响为非要因。

5.4 要因确认（四）：未使用封闭底漆

标准：封底涂料覆盖率 100%。

调查分析：经过现场调查，检查建筑物外墙，现场施工共查 10 处，均有喷涂封闭底漆，如图 2 所示。



图 2 建筑外墙封闭底漆图

结论：未使用封闭底漆为非要因。

5.5 要因确认（五）：材料不符合要求

标准：材料质量检查合格。

调查分析：经查阅相关资料，封闭底漆质量检验报告、合格证齐全，材料性能能够满足要求。

结论：材料不符合要求为非要因。

5.6 要因确认（六）：未制定工艺流程

标准：是否有施工工艺流程。

调查分析：经查阅资料项目部安装标准工艺要求，有制定相应的外墙真石漆施工工艺流程（如图 3 所示），保证施工工艺满足要求。

结论：未制定工艺流程为非要因。

5.7 要因确认（七）：技术交底不到位

标准：工人培训率 100%，评价考核分数 90 分以上视为合格。

调查分析：业分包单位分别开展了公司级、项目部级、班组级交底，现场管理、施工人员签字齐全，查看工人培训考试分数统计表，分值均 ≥ 92，满足要求。说明技术交底对问题症结影响程度较小。

结论：技术交底不到位为非要因。

5.8 要因确认（八）：喷枪、喷嘴型号不统一

标准：选用与工艺、现场施工工艺配套的统一规格型号的喷枪。

现场测量：小组对现场作业人员的喷枪和喷嘴

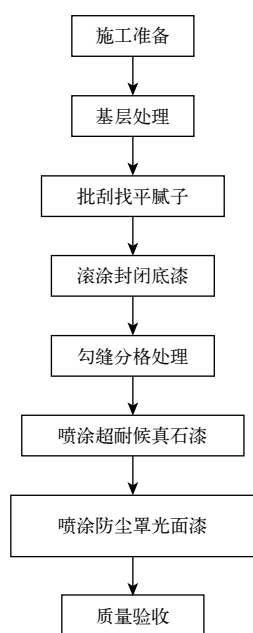


图3 施工工艺流程图

型号进行检查，检查结果如表2所示，发现喷枪和喷嘴型号现场不统一，导致现场施工速度、喷涂效果不统一，效果差距大。

表2 喷枪、喷嘴型号统计表

规格	上壶喷枪	下壶喷枪	6 mm喷嘴	8 mm喷嘴
数量	1	3	2	2

结论：喷枪、喷嘴型号不统一为要因。

由调查可以看出，经QC小组调查与讨论分析确认，空压机压力未按要求控制、喷涂厚度不均匀、喷枪喷嘴型号不统一，这3个要因是造成真石漆颗粒不均匀与色差的主要原因如表3所示。

表3 要因确认表

末端因素	确认内容	确认方法
空压机压力未按要求控制 喷涂厚度不均匀	压力均匀	现场测量
	控制厚度	现场测量
受天气影响	控制含水率	现场测量
未使用封闭底漆	有无漏刷	调查分析
材料不符合要求	进场验收	调查分析
未制定工艺流程	制定流程	调查分析
技术交底不到位	查培训记录	调查分析
喷枪喷嘴型号不一致	核查型号	现场测量

6 制定对策

小组成员针对外墙真石漆施工一次成优率低的4个因素，研究对策、制定目标、采取措施、专人负责，经对策评价讨论，制定了对策表如表4所示。

表4 对策实施表

要因	对策	目标
空压机压力未按要求控制	控制喷嘴压力	压力值0.5~1.0 MPa
喷涂厚度不均匀	控制喷涂厚度	厚度控制在1.5~2.0 mm
喷枪喷嘴不一致	合理选择喷枪及喷嘴	统一选用口径8 mm的喷枪

7 对策实施

7.1 对策实施一：控制喷嘴压力

现场先进行试喷，试喷时定人定设备，空压机压力值0.5~1.0 MPa范围内试喷，对比不同压力下真石漆颗粒形状、凹凸效果，确定最佳喷涂压力后大面积施工。正式喷涂时，要求工人严格按标准工艺要求施工，空压机起压统一0.80 MPa，枪嘴距离墙面距离统一控制在20~30 cm左右。喷施时，要求施工人员上下左右缓缓平行移动，确保喷涂颗粒大小一致。

效果验证：按照对策实施后，小组成员现场随机抽查15处进行检查，每处涂颗粒均均匀、细致，达到预期效果。

7.2 对策实施二：控制喷涂厚度

措施：通过每平方米真石漆用量控制喷涂厚度，计算出每平方米所需使用真石漆使用重量，现场实测用量为4 kg/m²，并严格按此标准进行施工。

实施效果：真石漆层达到强度后，现场采用钻孔取样法，进行随机取样，配合卡尺测量真石漆层的实际厚度。现场随机抽查10处涂层厚度情况，实施效果：从表4可以看出聚合物砂浆饱满度均满足要求，对策目标达到。

7.3 对策实施三：合理选择喷枪及喷嘴

措施：根据样板墙效果，确定各部位、各工序施工喷枪、喷嘴型号。喷涂封底漆、罩面漆：现场统一选用口径1.3 mm、容量500 ml下壶喷枪。选用真石漆喷枪：分别选用6、8 mm喷嘴做样板墙，

小口径喷嘴施工速度相对较慢，但是喷涂效果平整均匀；大口径喷嘴施工速度相对较快，颗粒大，整体效果凹凸感强。

实施效果：QC小组现场做了2面样板墙，一面选用6 mm直径喷嘴，效果相对细腻，施工速度慢；一面选用8 mm直径喷嘴，凹凸感强，施工速度快。经与监理、业主现场敲定，统一选用口径8 mm的喷枪，提升外墙凹凸感。

8 效果检查

对策实施后，小组抽查检测真石漆外墙400个，其中不合格点为16点，成优率为96%，通过对比分析，建筑外墙真石漆一次成优率由活动前的87.5%提高至96%，实现课题目标。具体情况如表5所示。

表5 对策实施前后合格率对比表

问题	对策实施前	对策实施后
	频数	频数
颗粒不均匀	22	9
色差	15	4
表面污染	6	2
接搓明显	5	1
涂层开裂	2	0
合计	50	16

通过本次QC小组活动，在保证施工质量的情况下，超预期完成了预定目标，节约费用3.6万元，实现了工程安全可靠，工艺优良的工程建设目标。最终实现“零缺陷”移交为后续创优工作奠定了基础。

9 结束语

通过此次活动，小组成员对外墙真石漆施工有了全面的认识，工人的技术水平也有了较大的提高，特别是在细部节点处理上，更加合理和完善，修改完善的《建筑物外墙真石漆施工方案》，具有可推广性和复制性。

通过本次QC活动，使小组成员的专业技能水平得到了极大的提高，在解决问题过程中，运用

PDCA循环和科学工具，采取了有效措施，达到了预期目标，提高了队伍的整体水平和质量意识。

在QC小组全体成员的共同努力下，实现了预定目标，不仅在建筑外墙真石漆施工质量上得到了保证，也为项目整体创优打下了基础。QC小组成员团队协作能力、理论知识、进取精神、质量管理水平、QC工具运用技巧、工作热情等综合素质有了显著的提高。

参考文献

- [1] 史圣姣. 建筑外墙真石漆饰面层起鼓开裂问题分析及其防治措施[J]. 广东建材, 2022, 38(10): 40-42.
- [2] 郭承博, 张文政, 李守彬. 外墙真石漆施工技术研究探讨[J]. 工程质量, 2020, 38(S1): 66-68.

作者简介

韩晓峰(1987—),男,硕士研究生,工程师,主要研究方向为输变电工程施工。

(责任编辑:刘艳玲)

资讯

安徽滁州公司：柔直互联系统落户红色景区

2023年5月7日，在安徽滁州天长龙岗抗日军政大学第八分校红色景区，游客到景区休闲椅休息时，发现这些座椅除了供人休息，还能存储太阳能，给手机提供无线充电。这些光伏座椅，是国网滁州供电公司多台区柔性直流互联示范项目的组成部分。

滁州龙岗抗大八分校纪念馆是皖东重要红色景点之一。随着当地旅游、芡实种植产业负荷持续增长，直流负荷、充电桩和光伏设备的大量接入，原来龙岗社区的单台变压器、单线路供电方式，存在电网资源配置效率低下、配网调节能力不足等情况。

相较于以前增设变压器、调节台区负荷的方法，国网滁州供电公司创新运用柔性直流技术，通过建设光伏、储能、充电桩等设施，实现龙岗党校1号、2号等5个台区“手拉手”互联互通，构建以电为中心、清洁能源为主导的微型互联网，实现台区间功率灵活互济、故障快速转供，台区内动态无功补偿，分布式电源高效消纳和新能源电力系统稳定供电，每年上网电量达30万kW·h。

信息来源：国网安徽省电力有限公司

配电网分布式光伏接入台区及容量的测算方法

王小虎

(广东电网公司湛江供电局, 广东 湛江 524000)

摘要: 整县光伏试点工作涉及农村众多配电网台区, 分布式光伏的接入台区选择及安装容量将影响配电网台区的电源与负荷供应结构, 对配变运行特点、线路损耗、光伏发电收益等带来一定的影响。为有效推进整县光伏试点工作, 在解决农村配电网配变运行负荷较高的情况下, 达到分布式光伏安装运行收益最高的目的, 文章通过分析农村配电网配变运行负荷水平、负荷时间分布特点, 提出优选安装分布式光伏项目的目标台区及配变。根据目标台区配变在光伏有效发电时间内的下网电量、负载率数据, 按最大负荷月的数据组, 结合分布式光伏发电就地消纳收益与安装后折合到每日的综合运营成本, 提出对比预期收益后确定台区分布式光伏最佳安装容量的方法。

关键词: 配电网台区; 光伏接入; 容量测算; 项目成本

中图分类号: TM727

Measurement Method of Distributed Photovoltaic Access Station Area and Capacity in Distribution Network

WANG Xiaohu

(Zhanjiang Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Company, Guangdong Zhanjiang 524000, China)

Abstract: The photovoltaic pilot work in the whole county involves a large number of rural distribution network stations. The selection and installation capacity of distributed photovoltaic access stations will affect the power supply structure and load supply structure of distribution network stations, as well as the distribution operation characteristics, line losses and photovoltaic power generation income. In order to effectively promote the photovoltaic pilot work in the whole county and achieve the highest return of distributed photovoltaic installation and operation under the condition that the operation of rural distribution network meets a high standard, this paper proposes the optimal installation target platform area and distribution of distributed photovoltaic project by analyzing the load level and load time distribution characteristics of rural distribution network. Based on the grid electricity and load rate data of the target station area distribution during the photovoltaic effective generation time, according to the data set of the maximum load month, combined with the local absorption income of distributed photovoltaic power generation and the integrated operating cost converted to daily after installation, a method was proposed to determine the optimal distributed installation capacity of the station area after comparing the expected income.

Keywords: distribution network station area; photovoltaic access; measurement capacity of photovoltaic; project cost

随着“碳达峰、碳中和”能源战略的不断实施, 整县光伏试点工作逐渐在广大农村地区展开工作布局, 分布式光伏接入农村配电网低压台区侧已成为构成农村配电网的一种典型供用电场景^[1-2]。台区接入光伏容量和位置, 将影响该台区配变、低压导线等设备的运行水平, 以及决定着分布式光伏项目发电的消纳情况, 从而对该分布式光伏项目的经济投资产生一定的影响。现有测算光伏接入台区容量的方法主要是根据台区配变的容量进行预估光伏接

收稿日期: 2023-03-07

入容量, 使得光伏发电的总功率不超配变总功率^[3-4]。

该方法是单纯从光伏投资开发方考虑, 寻求最大的装机容量, 但未根据配电网台区的实际负荷运行水平进行选择接入光伏容量, 导致部分台区光伏发电未能有效就地消纳, 甚至能导致配变上送过程出现设备重过载问题, 同时增加了台区、中压线路等设备的运行损耗, 不具有良好的经济性能^[5-6]。

本文提供一种优选台区光伏接入台区及装机容量测算的方法, 利用基于目前供电系统全覆盖的智

能配变终端采集的下网电量、功率等信息，通过算法筛选出台区负荷水平与光伏发电功率相匹配的项目台区，实现光伏接入后能量的就地消纳，提高了光伏发电就地消纳的能力，同时解决配电网配变设备重过载的运行压力。根据低压配网台区负荷就地消纳的水平，结合光伏安装的单位成本，测算出最为合理的建议台区安装分布式光伏装机容量。

1 农网台区配变运行现状及负荷特点

分布式光伏接入农网台区线路，农网台区配变的负载率水平、主要负荷分布的时间等均直接影响所接入分布式光伏的就地消纳份额。本文以整县光伏试点区域的南方某县级市为研究对象，通过分析典型负荷日下的该市农网区域配变运行现状及负荷特点。

该县级市农网区域共有配变 3 120 台，容量包括 50、100、200、315、400、630、800、1 000 kV·A 等 8 个容量系列，合计容量 664 249 kV·A。该县级市典型负荷高峰日为 2022 年 7 月 29 日，经对其农网区域配变负载率数据统计，配变负载率主要分布在 60% 以下的区间，占比达 82.98%，其配变负载率分布区间如表 1 所示。

表 1 配变负载率区间分布统计表

配变负载率区间/%	配变个数	区间配变平均容量/(kV·A)	各区间配变个数占比/%
30>负载率≥0	1 185	183	37.98
60>负载率≥30	1 404	215	45.00
80>负载率≥60	391	268	12.53
100>负载率≥80	113	296	3.62
负载率≥100	27	220	0.87

同时结合该区域农网典型负荷日的高峰负荷分布时间段进行统计与分析，统计结果表明高峰负荷主要分布在夜间，即 18:00—00:00，该时间段的高峰负荷配变个数占比达 64.23%，其统计分布如表 2 所示。

由以上分别对配变负载率水平分布及配变高峰分布时间段的统计分析可以得知，分布式光伏接入台区的选择以及拟接入分布式光伏的容量与配变的负荷运行水平及负荷分布时间段有密切的联系，该

表 2 配变高峰负荷分布时间段统计表

配变最高负载率分布时刻期间	区间配变平均容量/(kV·A)	配变个数	各时间段配变个数占比/%
06:00—18:00	160	905	29.01
18:00—00:00	232	2 004	64.23
00:00—06:00	202	211	6.76

负荷特点也是直接决定分布式光伏发电量就地消纳份额的重要参考依据。

2 台区分布式光伏接入模式

根据台区分布式光伏建设的场地场景以及当地的电网公司制定并网政策，台区分布式光伏接入模式存在 3 种，分别是自发自用，自发自用、余量上网及全额上网^[7-8]。

自发自用的模式用于用户侧用电负荷较大，且用电负荷持续，如农村区域的工厂或车间，利用其自身的场地或屋顶建设分布式光伏发电，满足自身用电负荷需求，市电作为备用电源的接入模式。该模式下的分布式光伏开发受拟接入的台区配变负荷特点影响较小。

自发自用、余量上网的接入模式普遍存在农村地区。用户利用自家屋顶开发光伏发电项目，在满足自身小功率用电的同时，将余量送入低压台区配电网。

全额上网的接入模式，受开发场地自身用电负荷水平较低，分布式光伏的发电量将全部接入低压台区配电网。这 2 种接入模式将直接受台区的配变负载率以及负荷分布时间段的影响，光伏有效发电时间段内台区负载率较高，消纳较多；负载率较低，则消纳较少，须经配变上送 10 kV 线路的情况出现。

3 分布式光伏开发台区优选及容量测算

为统筹解决农村配电网台区配变负载率偏高问题以及提高分布式光伏就地消纳水平，首先通过区域配变负载率分布水平以及高峰负荷分布时间段，对拟开发分布式光伏的台区进行优选。在此基础上，结合该台区的消纳水平及分布式光伏设备开发及运营成本，运用迭代逼近算法对分布式开发的容量给予合理的经济测算，达到预期的效果。

3.1 优选开发分布式光伏的配变台区

结合企业级计量管理系统,对农网区域的台区配变进行采集输出电量数据,以及采集配变终端记录配变的负载率数据,上传至项目分析数据库。

为有效分析光伏发电及台区负荷消纳的时间关系,本文定义 06:00—18:00 期间为光伏有效发电时间,18:00—00:00、00:00—06:00 为光伏发电无效时间^[9]。

光伏发电就地消纳的台区为 06:00—18:00 期间台区连续负荷较高水平的台区,本文通过对农网区域各配变的下网电量进行分析,即通过对所记录的研究的农网区域所有配变在光伏有效发电时间内的输送电量数据组 W_i 以及对应的配变额定容量 S_i ,通过分析该区域所有配变在光伏有效发电时间段的累计输送电量与额定容量的 80% 负载率运行下的输送电量对比的关系: $\beta_i = W_i / (0.8 S_i \Delta T) > 50\%$,通过该关系优选出满足光伏就地消纳的台区配变组 X_1 。

另外,为结合分布式光伏有效降低农网配变重过载问题的数量,通过记录农网台区配变在光伏发电有效发电时间内的负载率情况,即负载率数据、时刻。优选出配变负载率超过 80%,且持续时间超过 60 min 的情况记录为重载次数 m ,若一个月内重载次数 $m > 10$,则记录该部分台区为重过载台区,形成重过载台区配变组 X_2 ,该部分重过载台区可优选通过分布式光伏发电就地消纳的方案进行解决其负载率偏高的问题。

通过以上分别对农网台区配变的下网电量及光伏有效发电时间内的配变重过载情况统计与分析,汇总所形成的优选配变数据组 X_1 和 X_2 ,则最终形成优选开发分布式光伏的农网配变组 $[X_i = X_1 \cap X_2]$ 。

3.2 台区分布式光伏开发容量测算

根据上文所优选出开发分布式农网配变组 X_i ,关联其一个月内的光伏有效发电时间内最大功率 $P_{i\max}$,须满足如下测算公式。

$$L = 10 + 10 + 44.25 = 64.25 \text{ m}。 \quad (3)$$

式中: S_{ipv} 为该台区建议安装分布式光伏的装机容量; 0.7 为分布式光伏有效发电效率^[10]。

以数据台区配变组 X_i 为基础,通过关联每个配变负荷高峰月的一个月内的每天光伏有效发电时间内累计下送电量数据组 $W_{ij}(W_{i1}, W_{i2}, W_{i3}, \dots, W_{in}, W_{in+1}, W_{i30})$,以及关联负荷高峰月的一个月内的配变每天光伏有效

发电时间内配变最高负载率 $P_{i\max}$ 数组 $P_{i\max j}(P_{i\max 1}, P_{i\max 2}, P_{i\max 3}, \dots, P_{i\max n}, P_{i\max n+1}, \dots, P_{i\max 30})$; 通过公式 (1),得到建议安装光伏容量的数组 $S_{ipvj}(S_{ipv1}, S_{ipv2}, S_{ipv3}, \dots, S_{ipvn}, S_{ipvn+1}, \dots, S_{ipv30})$,进而可通过逼近算法得出负荷要求的光伏建议安装容量。

以数据台区组 X_i 的负荷高峰月内每天光伏有效发电时间内累计输出电量数据组 $W_{ij}(W_{i1}, W_{i2}, W_{i3}, \dots, W_{in}, W_{in+1}, W_{i30})$,通过人工输入当地售电电价 $C_{\text{电价}}$,即可得到分布式光伏就地消纳的售电收入 $W_{ij} C_{\text{电价}}$ 。

以建议安装光伏容量的数组 $S_{ipvj}(S_{ipv1}, S_{ipv2}, S_{ipv3}, \dots, S_{ipvn}, S_{ipvn+1}, \dots, S_{ipv30})$,通过人工输入单位容量光伏建设及运行综合成本 C_{ipv} , C_{ipv} 为考虑当地日照情况、使用年限、建设与运维成本的每个有效发电光伏日综合成本^[11-12],即可得到建议光伏建设的综合成本 $S_{ipvj} C_{ipv}$ 。

$$H = 1.71 \text{ m}。 \quad (4)$$

式中: ε_{ij} 为测算出的预期收入数值;取第 i 个台区配变取 $\max(\varepsilon_{ij})$,所对应的 S_{ipvj} 为建议安装光伏容量。

按照以上步骤,得出满足预期收入的台区安装光伏容量。

4 算例分析

以整县光伏试点区域的某农网地区为算例研究对象,该农网区域共有配变 3 120 台,按照满足优先选择进行开发分布式光伏的台区共有 340 个。以该 340 个台区作为分布式光伏开发容量测算的数据组 X_i 。

为简要说明台区光伏开发容量的测算过程,以其中的某一台区为例进行说明。

来利公用台变台区,配变容量为 630 kV·A,2022 年最大负荷月为 7 月。2022 年 7 月 29 日,最高负载率为 90.43% (夜间出现)。经过对该台区的典型负荷月内的每天光伏有效发电时间 (6:00—18:00) 内的下网电量及负载率统计,如图 1 所示。

下网电量最高为 7 月 29 日,下网电量为 4 036 kW·h,负载率最高为 58.5%,出现在 7 月 7 日。

根据公式 (1) 对来利公用台区的建议安装分布式光伏容量进行测算,其结果如图 2 所示。最大安装容量为 526.5 kW,最小安装容量为 375.66 kW。

以分布式光伏的上网电价 0.39 元/W,光伏及其组件设备使用年限为 20 年、设备购置、安装及运

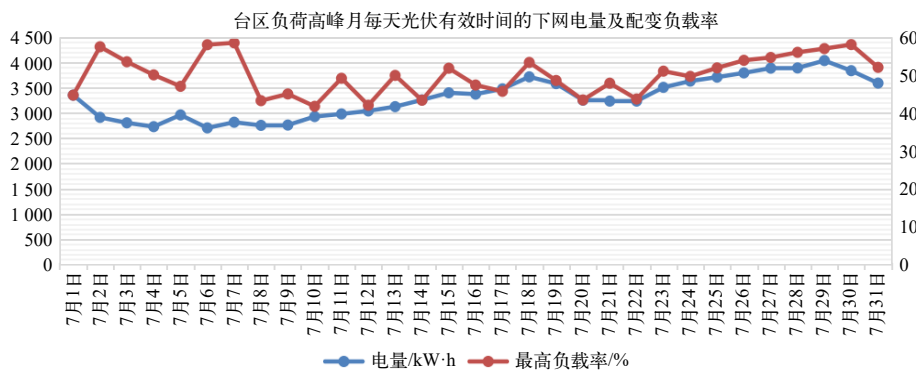


图1 来利公用台区光伏有效发电时间的下网电量及负载率

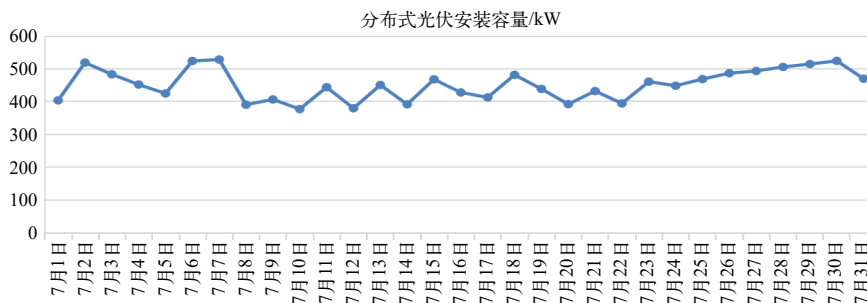


图2 来利公用台区建议安装分布式光伏容量

维等综合成本为4元/W，进行测算。则以来利公用台区的7月运行数据为测算，得出光伏发电上网收益、每日运营成本及预期收入的数据曲线，如图3所示。

由以上测算可知。该台区在7月29日06:00—18:00期间配变下送电量最高，对应光伏发电就地消纳最多，按此容量进行安装分布式光伏容量，收益最高，当天收益为1289.19元，以解决台区负荷偏高问题及光伏装机最大化、收益最多的目的达到最佳效果。

5 结束语

为解决农村配电网台区配变负荷偏高及提高分

布式光伏在有效发电时间的装机发电负荷，积极有序推进开展“整县光伏”试点工作，本文将低压台区分布式光伏接入按照优选接入台区、分布式光伏容量测算的过程进行开展。

文章首先分析了农网区域配变负荷运行水平和台区配变负荷时间分布特点。结合配变运行实时数据更加精确确定哪些台区配变更适合安装分布式光伏，提高光伏发电的就地消纳能力，减少因就地消纳不足而导致的能量上送问题，减轻配电网的运行压力及线路损耗。其次在运用台区实际就地消纳的负荷情况以及分布式光伏的建设综合成本，通过逼近算法测算出建议安装分布式光伏的容量，为同步解决配变负荷偏高下提高光伏发电收益最大化提供

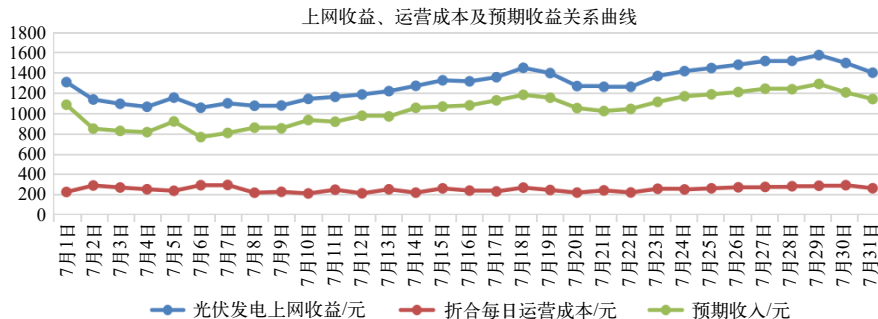


图3 来利公用台区光伏发电上网收益、运营成本及预期收益曲线

计算依据。

参考文献

- [1] 肖利坤. 东营市整市分布式光伏屋顶开发试点应用方案探讨[J]. 农村电气化, 2022(12): 53-57.
- [2] 卢才云, 陈峰, 齐磊. 电力调度系统基于整县分布式光伏接入技术分析[J]. 农村电气化, 2022(4): 70-73.
- [3] 潘卓兮, 毛洪山, 徐涵. 建筑屋面分布式光伏发电项目设计探讨[J]. 能源研究与利用, 2023(1): 47-49.
- [4] 鞠冠章, 李顺昕, 赵敏, 等. 基于配网运行裕度的光伏最佳接入容量评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2023(1): 34-37.
- [5] 杨玉龙. 分布式光伏发电项目的投资决策分析[J]. 新型工业化, 2022(12): 11-14.
- [6] 赵东昊. 分布式光伏并网对配电网的影响分析[J]. 集电线路应用, 2022, 39(12): 244-245.

- [7] 范贤稳. 农村配电网故障原因分析及应对措施[J]. 电气时代, 2021(3): 43-45.
- [8] 谢玉荣, 詹天津, 等. 典型屋顶分布式光伏项目开发方案研究[J]. 节能, 2022, 41(11): 17-20.
- [9] 樊国旗, 童力, 李鹏, 等. 低压分布式光伏接入应对研究[J]. 青海电力, 2022, 41(S1): 22-25.
- [10] 宁超, 杨俊, 朱咏明, 等. 含分布式光伏的配电网规划设计研究[J]. 电气工程学报, 2022, 17(4): 282-288.
- [11] 黄振宏. 整县区屋顶分布式光伏开发规划研究[J]. 机电信息, 2022(18): 22-24.
- [12] 孙亚娟, 焦镜泽. 户用分布式光伏-储能系统经济性分析[J]. 农村电气化, 2022(7): 75-78.

作者简介

王小虎(1986—), 男, 工程师, 研究领域为配电网规划与运行、电力系统运行与分析。

(责任编辑:张峰亮)

(上接第9页)

(1) 进气平均速度计算

进气长度为:

$$L = 10 + 10 + 44.25 = 64.25 \text{ m}。 \quad (3)$$

进气高度为:

$$H = 1.71 \text{ m}。 \quad (4)$$

进气最大流量为:

$$Q = 4 \times 135 = 540 \text{ m}^3/\text{s}。 \quad (5)$$

平均进气速度为:

$$V_i = \frac{Q}{L \times H} = \frac{540}{64.25 \times 1.71} = 4.92 \text{ m/s}。 \quad (6)$$

(2) 出气口平均速度计算

排气长度为:

$$L = 44.25 + 44.25 = 88.5 \text{ m}。 \quad (7)$$

排气高度为:

$$H = 2.1 \text{ m}。 \quad (8)$$

排气速度为:

$$V_o = \frac{Q}{L \times h} = \frac{540}{44.25 \times 2.1 + 44.25 \times 1.0} = 3.94 \text{ m/s}。 \quad (9)$$

综上所述, 进气平均速度 4.92 m/s, 出气平均速度 3.94 m/s, 进出气流平均速度为 4.43 m/s。

(3) 平均动压计算

$$\Delta P_d = \rho \frac{1}{2} \left(\frac{V_i + V_o}{2} \right)^2 = 1.225 \times 0.5 \times \left(\frac{3.94 + 4.92}{2} \right)^2 = 12 \text{ Pa}。 \quad (10)$$

流道损失系数近似取 2.0, 则气流通风所需压增

为 24 Pa。散热器风机压增 27 Pa, 因此本方案具有可行性。

4 结束语

在考虑变压器散热效率时, 应当充分考虑散热系统所处的四周环境, 结合环境因素, 通过硬件改造, 若考虑不周, 容易导致散热器不能良好地散热, 导致变压器过温损坏。本案例在设计阶段通过对冷却系统所处环境进行分析, 采取了进出气隔离的方案, 并进行了论证, 解决了散热器空间风流存在扰动, 导致气压不足的情况, 为下一步电气设计打下了基础。

参考文献

- [1] 颜廷韵, 冯家奎, 于晓松, 等. 复杂市政工况下全地下变电站施工技术研究[J]. 安装, 2022(S1): 265-266.
- [2] 王卫华, 沈婷. 220 kV地下变电站电气布置研究[J]. 电力勘测设计, 2022(3): 41-44.
- [3] 何真珍. 基于串联谐振的地下变电站成套试验设备设计[J]. 电力与能源, 2018, 39(6): 817-822.
- [4] 于春辉, 曹凯, 翟晨龙, 等. 大型地下变电站交接试验标准流程及施工工艺[J]. 东北电力技术, 2022, 43(1): 45-49.

作者简介

李 郢(1980—), 男, 高级工程师, 主要从事项目建设、安全质量等管理工作。

杨 云(1980—), 男, 高级工程师, 主要从事规划建设、生产运行相关管理工作。

姚伟瑾(1980—), 女, 高级工程师, 主要从事供应链管理、质量监督、仓储配送等物资专业相关管理工作。

(责任编辑:刘艳玲)

电动汽车充换电安全风险多层次智能防控及系统应用技术研究

窦 胜, 刘国鹏

(南京能瑞电力科技有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要: 随着政策的支持和规模化电动汽车接入电网, 用电安全越来越受到关注, 包括车、桩、网和人的安全。在这个环节中, 充电桩作为电力传输的介质, 安全风险尤为须要重视。针对充换电设备本地和其平台的研究, 通过冗余保护、功率调配单元和智慧运营平台的联动机制, 实现电动汽车充换电安全风险多层次智能防控。首先, 充换电设备结合现有国标, 优化设备选型和功能设计, 降低安全风险; 其次, 鉴于变压器扩容不便、但同时满足多车辆同时充电的现状, 采用增设功率调配单元监控充电需求与剩余电力容量, 达到需求与能力有效平衡; 最后, 为共享分支箱和沿用原有塑壳断路器及其电力线缆, 保证设备的最大化使用的同时, 采用智慧运营平台进行精准防范和控制。

关键词: 冗余保护; 功率调配单元; 智慧运营平台; 多层次

中图分类号: TM764

Research on Multi-layer Intelligent Prevention and Control of Safety Risks in Electric Vehicle Charging and Switching and System Application Technology

DOU Sheng, LIU Guopeng

(Nanjing Nengrui Electric Power Technology Co., Ltd., Jiangsu Nanjing 211100, China)

Abstract: With the support of policies and the integration of large-scale electric vehicles into the power grid, electricity safety is receiving increasing attention, including the safety of vehicles, piles, networks, and people. In this process, as the medium for power transmission, the safety risks of the charging station still do not need to be taken seriously. Research on local and platform charging and swapping equipment, through the linkage mechanism of redundant protection, power allocation units, and smart operation platforms, to achieve multi-level intelligent prevention and control of safety risks in electric vehicle charging and swapping. Firstly, the charging and swapping equipment should be combined with existing national standards to optimize equipment selection and functional design, and reduce safety risks; Then, considering the inconvenient expansion of transformers but the current situation of meeting the simultaneous charging of multiple vehicles, an additional power allocation unit is added to monitor the charging demand and remaining power capacity, achieving an effective balance between demand and capacity. Finally, in order to share branch boxes and extend the use of existing molded case circuit breakers and their power lines, while ensuring the maximum use of equipment, intelligent operation platforms are used for precise prevention and control.

Keywords: redundant protection; power allocation units; smart operation platforms; multi-level

0 引言

近两年, 国家能源局等有关部门出台了一系列支持政策推动充电基础设施规划建设, 全国充电桩累计数量快速增长^[1]。根据中国电动汽车充电基础设施促进联盟发布的统计数据, 截至 2022 年 12 月全国充电基础设施累计数量达到 521.0 万台, 同比增加 99.1%。未来新能源汽车行业的发展将带动充

收稿日期: 2023-04-19

电桩数量快速增长, 预计 2023 年中国充电基础设施累计数量将达到 958.4 万台, 快速发展的 10 年间, 出现过多次充电过程重大安全问题^[2]。

非车载充电机普遍使用传统的单一电气保护, 通过剩余电流动作保护器或者人工急停来保障设备的安全运行, 这样满足不了高安全可靠的运行需求。场站整体充电需求与台区配电容量、电网投资改造之间的矛盾日益突出, 即充电桩群与电网之间的互联互通急需解决, 否则变压器、电力线览等

容易出现过负荷运行,影响到电网安全^[3]。同时,针对配电网超承载能力的问题,电网调峰和调压困难的问题,要综合考虑消纳与电网调节能力的储能配置策略^[4-5]。

电动汽车与智能充电桩可通过 GB/T 18487.1—2015《电动汽车传导充电系统 第1部分:通用要求》的充电模式3(交流充电)或充电模式4(直流充电)规定的控制导引方式进行有序充电,实时响应充电功率调节指令。监测容量不足时,应采取充电功率等比分摊措施,可减至最小功率,监测容量充足时,应提升到额定功率充电;监测容量严重不足时,应采用最小功率充电措施;当台区越限时,应依序切除后来充电负荷;若通过以上措施仍不能保证电网安全运行时,则应切除全部充电负荷;监测容量充裕时,应恢复先来充电负荷。上述实时调度策略是根据电动汽车的充电功率可调节功能进行规定,若电动车辆具备延时启动、断电续充功能时,则可参照实施更优的充电计划调度方式。

1 实现原理

1.1 充换电设备保护原理

非车载充电机的充电电路主要包括充电主回路和充电控制回路^[6]。其中充电主回路的输入端通过供电接口与380V交流电源连接,输出端通过充电接口与电动汽车连接。充电主回路主要包括交流断路器、充电模块、熔断器和输出接触器,充电控制回路主要包括控制器、辅助电源和输出继电器。此外,还包括与控制器连接的上行通信单元和人机交互界面。因此,在传统保护的基础上,增加了多重保护,以实现非车载充电机的多级冗余保护^[7]。通过交流电能表和直流电流表配合控制器使用,两种电能表将检测到的电压、电流、功率等数据反馈至控制器,控制器判断充电主回路的电压、电流状况,例如出现输入侧电压缺相、某一相电压异常、输出侧电流过流等现象时,控制器可根据预先设置的需求发出停机指令,一方面提高了使用的安全性,另一方面也能提高相关电气元件的使用寿命。

在控制回路中,通过微型断路器将主回路与控制回路隔离开来,通过快速熔断器保护控制回路不受输出高压的影响,并设有控制引导保护。

通过电路设计和多级冗余保护机制,从各个维

度对充电机进行保护,形成多级冗余保护机制如图1所示,大大提升充电机及使用过程的安全性,完全符合 GB/T 18487.1—2015《电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议》对电动汽车传导充电系统的要求,同时也可以更加精确的判断设备运行状态和更稳定地执行保护措施,从而提高了电气安全保护的完备性、实时性、准确性和环境适应性。

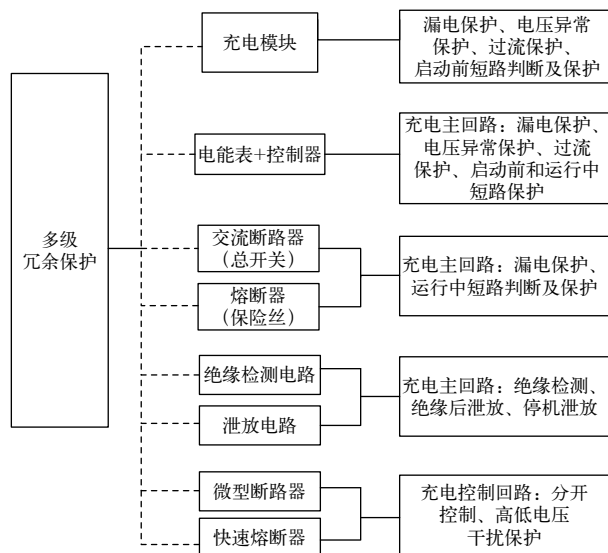


图1 多级冗余保护框图

1.2 平台原理

电动汽车智慧运营平台的实现主要分为3大阶段:信息汇聚阶段、协同感知阶段、泛在聚合阶段,即实现信息流的采集、处理与综合应用。为精益采集电动汽车以及充电桩的各项信息,增强用户的参与感,须建立智能量测系统,实现充电信息的智能处理,为充电系统的智能化奠定基础^[8-9]。

智能量测系统主要由3部分组成,分别为信息源、信息传输通道、信息处理中心,如图2所示。

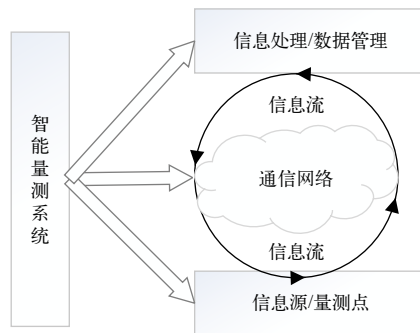


图2 智能量测系统结构

在智能充电系统中信息源主要包括电动汽车的充电需求、充电桩的使用率以及电网实时运行量测信息、(电网负荷、实时电价)等;信息传输通道主要负责将空间上广域分布的信息从信息源传输至信息处理中心,即云平台,将控制指令传输至实施环节;信息处理中心将信息源的信息进行分类汇总并处理,以供控制决策,实现充电设备的有序充电。

将具有电能传输功能的电动车网和桩网通过云平台(即“两网一云”)进行智慧融合,实现各参与要素间的便捷、高效、协同运行以及资源优化匹配^[10]。考虑出功与负载状态,推导电动汽车最优效率馈网的临界条件,给出超出临界点后网侧储能的出力函数^[11]。平台获取固定编号充电桩输出电压、输出电流和输出功率及其输入参数的数值,同时,低压柜出线 and 分支箱中电能表数值通过 645 规约,将对应的功率、电压、电流值上报至平台,图 3 是电动汽车与充电设备在配电网中的连接框图。

2 平台控制

2.1 平台控制策略

电动汽车大规模的涌入必然增加电网负荷,如果不合理充电将导致电网峰谷差加大、电网利用率降低,甚至超出电网的承载能力,影响电网运行的可靠性。因此,针对这一特性,有必要实施有序充电策略,保障电网运行的稳定性与可靠性^[12]。

针对非车载充电机,根据 GB/T 27930—2015《电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议》,BMS 会将充电需求告知充电桩,功率调配单元获取 n 个充电桩的功率需求,并对各充电桩的功率需求进行相加得到总需求功率 Q ,根据电网配变容量 D ,云平台控制系统分配各充电桩的充电容量 Q' 。非车载充电机与交流充电桩工作原理不同,因而功率分配方式有所差异,其中非车载充电机的充电容量分配方式如公式(1)所示:

$$Q_i = \mu P_i \quad (1)$$

式中: μ 为比例系数; Q_i 为每台充电机分配所得功

率; P_i 为每台充电桩额定功率,比例系数确定方式如公式(2)所示:

$$\mu = \begin{cases} 1, & D \geq Q, \\ \frac{D}{Q}, & D < Q. \end{cases} \quad (2)$$

交流充电桩根据比例系数 μ ,相应地调节 PWM 占空比,实现有序充电,交流充电桩占空比与功率之间关系如表 1 所示。

表 1 交流充电桩占空比与功率关系

序号	PWM占空比 /%	输入电流 /A	输入电压 /V	车载充电机规格 /kW
1	16.7	10	232	3.3
2	26.7	16	232	3.3
3	40.0	24	232	7.0
4	53.3	32	232	7.0
5	70.0	42	232	40.0
6	89.2	63	232	40.0

充电桩的控制器根据云平台配置的功率,保持电压值不变,电流按比例调节系数下发至充电模块,命令其输出,进入充电阶段,保障充电桩的有序工作。

2.2 多层级智能防控

将“智慧运营”平台和一二次设备通过接口技术,实现很好地融合,应用于电动汽车综合功率调配的智慧平台。特别针对变压器、所辖片区以及分支箱开关,实现多范围层级的监测控制设计,独立的无线通道和以太网通道,建立双链接机制,实现上线率的双重保障;另外针对电动汽车通信用 CAN 口和一二次设备通信用 RS485 口,将各自通道隔离,避免相互干扰。图 4 是智慧运营平台与充电设备通信框图。

2.3 功率调配单元的设计

对于特定场景,不连接平台的情况,将设置功率调配单元以实现本地安全控制。定位为充电场站现场群充群管设备,安装在户外,防护等级 IP54,要求简洁、占用空间小、有人机交互、可实时监测和调控充电桩的运行。

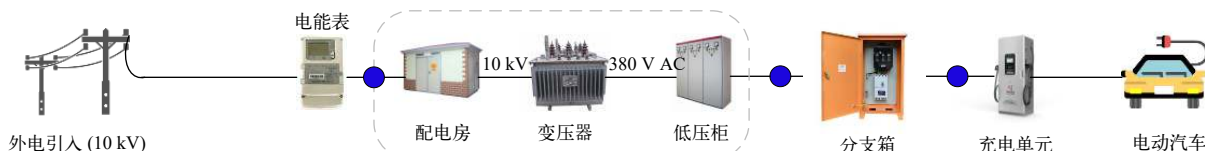


图 3 电动汽车与充电设备在配电网中的连接图

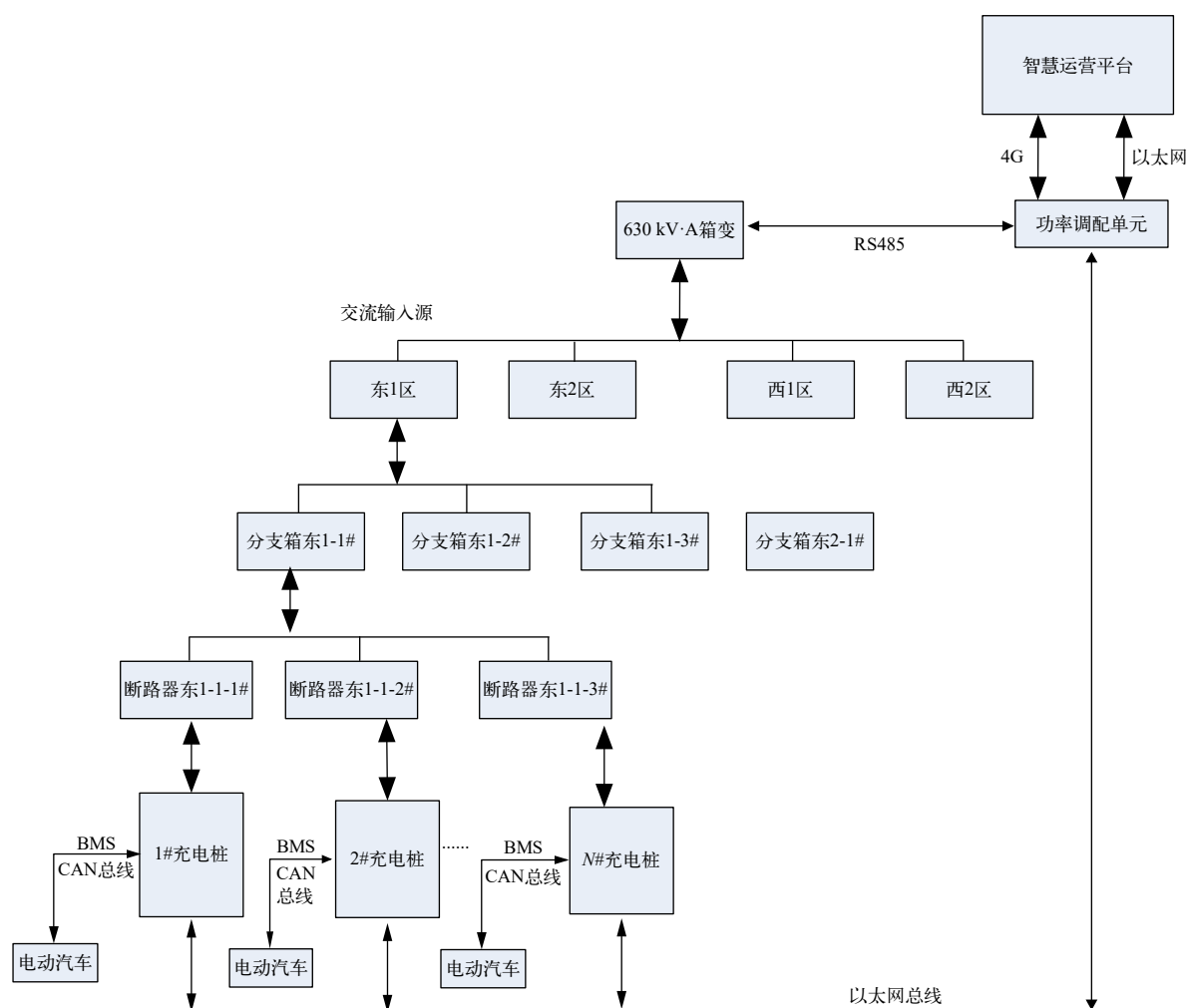


图4 智慧运营平台与充电设备通信框图

功率调配单元由触摸屏和控制板 2 部分组成，触摸屏具备运行参数维护功能和桩群状态显示功能，触摸屏与主控板之间通过 232 或 485 通信，通信协议采用 Modbus 协议，相关参数和数据通过寄存器读取和写入。触摸屏维护界面将参数下发给主控板，主控板保存设置参数；主控板通过 485 总线与下属充电桩实时交互，主控板读取充电桩当前充电的状态、电压、电流、功率等数据，自身执行功率分配策略，将调控命令发送给下属充电桩；充电桩根据调控命令进行自身功率输出的调节。

此外，该功率调配单元的应用对单个充电桩的特点并不限制，可基于现有的普通充电桩直接改造，也可以采用实施例 1 中的充电桩优选方案，在保证互联互通的同时，保证整个充电系统的安全可靠，如图 5、图 6 所示。

通过对上述平台的设计和应用，从各个维度对

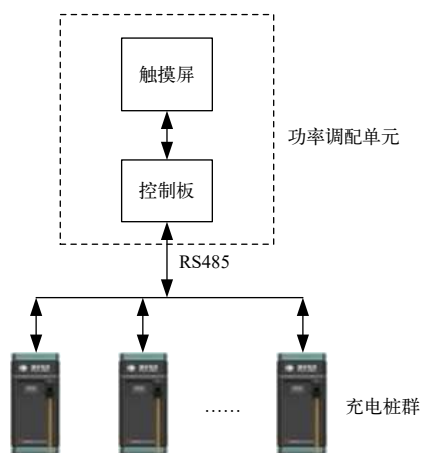


图5 功率调配拓扑图

功率进行科学配置，包括变压器、所辖片区以及片区中分支箱开关进行逐层级的功率配额，保证充电机安全、高效、稳定运行。

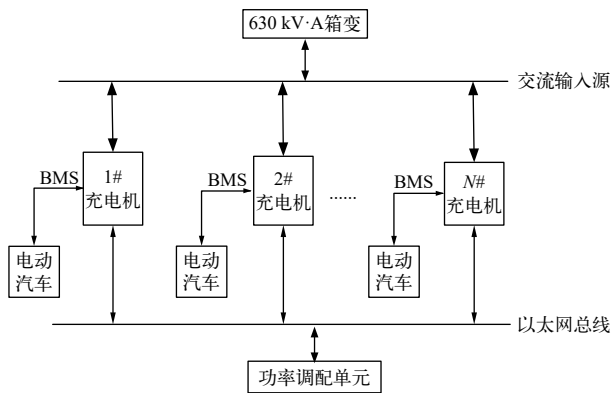


图6 功率调配系统图

3 应用实例

3.1 “1区-南”响应

选取某充电场站点为研究对象，通过本地充电设施智能控制器的边缘计算能力以及云平台有序控制策略，形成的优化调度算法指令下发至所有充电设备，有序充电和无序充电效果如图7所示。图中绿色曲线为需求功率1348 kW，蓝色曲线为实际获得功率644 kW，红色曲线为设定的“1区-南”供电能力值750 kW。



图7 “1区-南”平台策略响应图

3.2 “5#分支箱”响应

运营平台不仅可以针对某个充电站中分区管控，还可以针对某一固有分支箱进行控制，如图8所示。图中绿色曲线为需求功率2043 kW，蓝色曲线为实际获得功率749 kW，红色曲线为设定的配电站供电

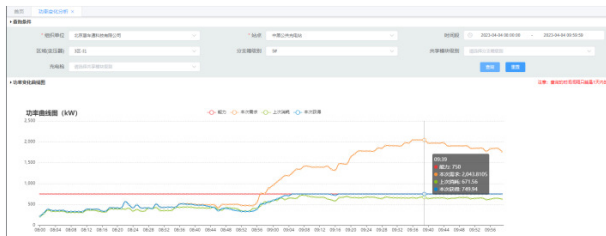


图8 “5#分支箱”平台策略响应图

能力值750 kW，逼近上限功率，确保运营效率最优，且运行安全。

4 结束语

通过功率调配单将本地充电桩、电动汽车动力电池以及台区配电信息等实时数据进行集中处理，从而实现充电桩与充电桩之间、与电网之间的互联互通，并根据实时通信获取的充电桩输出能力、动力电池充电需求及配电容量信息建立等比例分配充电决策模型，不仅实现了当前充电过程中的最优控制策略，而且响应了互联互通的控制需求，并能与电网保持良好的互动。从原先单个充电桩的安全保护到桩群，继而延伸至整个充电网络，保护的對象不断拓展，保护的手段不断增加，确保整个充电系统安全可靠运行。

参考文献

- [1] 刘安苙, 袁旭峰, 李婧. 城市配电网下的电动汽车有序充电策略研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55(21): 50-55+74.
- [2] 刘宏新, 江冰, 杨东伟. 全力构建泛在电力物联网[J]. 国家电网, 2019(4): 44-47.
- [3] 窦胜. 非车载充电机及其散热系统主动适应和自诊断方法: 中国, CN108495522 B[P]. 2020-06-30.
- [4] 张光儒, 任浩栋, 马振祺, 等. 提升配电网承载力和调节能力的整县分布式光伏储能配置方法[J]. 电气技术, 2022, 23(11): 49-55+61.
- [5] 蔡建逸, 林裕新, 吴泽鑫, 等. 配电网联络开关异动感知及自适应纠正的防误方法[J]. 电气技术, 2022, 23(3): 92-97.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中华人民共和国国家标准化委员会. GB/T 18487.1-2015. 电动汽车传导充电系统 第1部分: 通用要求[S]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [7] 葛少云, 郭建祎, 刘洪, 等. 计及需求侧响应及区域风光出力的电动汽车有序充电对电网负荷曲线的影响[J]. 电网技术, 2014, 38(7): 1806-1811.
- [8] 吴甲武, 邱晓燕, 潘胤吉, 等. 基于改进鸡群算法的电动汽车有序充电策略研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(9): 97-103.
- [9] 杨庆新, 张献, 章鹏程, 等. 电动车智慧无线电能传输云网[J]. 电工技术学报, 2023, 38(1): 1-12.
- [10] 周玮, 蓝嘉豪, 麦瑞坤, 等. 无线充电电动汽车V2G模式下光储直流微电网能量管理策略[J]. 电工技术学报, 2022, 37(1): 82-91.
- [11] 余星儒, 高桂革. 基于粒子群算法的电动汽车有序充电控制策略的研究[J]. 电力学报, 2017, 32(3): 194-199+264.
- [12] 王海燕, 邓烽. 基于台区负荷平衡和优化的电动汽车有序充电策略研究[J]. 电气应用, 2019, 38(1): 66-70.

作者简介

窦胜(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事电动汽车充换电设备充放电技术的研究工作。

(责任编辑: 张峰亮)

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

(石家庄科林电气股份有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要: 在电力系统中故障指示器系统领域, 具体是分布在同一母线高压线路的多台故障指示器和母线的一台零压启动单元, 多设备间通过5G通信技术完成数据互传, 自注册连接; 母线上安装零压启动单元, 采集常规的零压信号, 实时检测零压暂态突变, 通知所有出线的障指示器设备按照突变时刻生成数据, 实现分布式管理, 零压启动单元汇总障指示器故障时刻数据, 合成零序。通过零序电压和零序电流, 对线路暂态故障的分析和判断。零压启动单元, 根据每个故障指示器的位置, 映射成拓扑结构图, 实现分布式管理, 汇总每个拓扑点的数据, 通过汇总数据, 大数据存储和大数据分析, 对各个线路进行实时检测和故障判断。将故障点上传主站, 完成配电网中接地故障定位。

关键词: 5G通信; 零压启动; 自注册连接; 分布式管理; 拓扑结构; 大数据分析; 故障定位

中图分类号: TM726

Line Fault Location Device Based on 5G Communication and Zero-voltage Start

LI Ying Chun, WU Na Lei, WANG Lei Ke, MA Chao, CHEN Li Xin, MA Chao

(Shijiazhuangkelindianqigufenyouxiangongsi, Hebei Shijiazhuang 05000, China)

Abstract: In the field of fault indicator system in power system, specifically, a plurality of fault indicators distributed on the high-voltage line of the same bus and a zero-voltage start-up unit of the bus, and data mutual transmission and self-registration connection are completed among multiple devices through 5G communication technology; A zero-voltage start-up unit is installed on the bus to collect the conventional zero-voltage signal, detect the zero-voltage transient mutation in real time, and notify all outgoing barrier indicator devices to generate data according to the mutation time to realize distributed management. The zero-voltage start-up unit summarizes the failure time data of the barrier indicator and synthesizes zero sequence. Through zero-sequence voltage and zero-sequence current, analyze and judge the transient fault of the line. Zero-voltage start-up unit, according to the position of each fault indicator, maps it into a topological structure diagram, realizes distributed management, summarizes the data of each topological point, and carries out real-time detection and fault judgment on each line through data summarization, big data storage and big data analysis. Upload the fault point to the master station to complete the grounding fault location in the distribution network.

Keywords: 5G communication; zero pressure start-up; self-registered connection; distributed management; topological structure; big data analysis; fault location

故障指示器作为一种挂在架空线或电缆上的配电产品, 以其实用性强、使用方便、故障识别和判断、故障易识别性, 使其在配电领域得到广泛应用。三相线路上各挂1个采集单元, 目前大家依据相电流和电场的暂态变化作为判据, 分析判断暂态故障(不同种类的接地故障), 这种单相独立判断不准确、不全面。

收稿日期: 2022-05-30, 修回日期: 2023-04-11

三相线路的故障指示器, 以电场方式采集电压, 很容易受到雨雪环境的干扰, 电场的波动、负荷波动、某些接地故障的相电流变化微小等因素干扰的接地故障的识别和判断。如高阻接地相电压和相电流变化微小, 单相独立判断容易出错; 有些接地故障, 故障点下游, 相电压和相电流变化微小。因此这种单相独立判断不准确、不全面, 我们须提高故障识别率, 实现接地故障定位准确率100% (5 000 Ω)

以内，零流 1 A 以上），0 误报。

广域时间同步，实现多设备间时间同步；母线零压互感器采集准确，不受外界环境影响，准确捕捉暂态突变；多设备间通过 5G 通信技术完成数据互传，交互迅速，自注册连接，实现实时分布式管理；零压启动单元，汇总零序数据，零序电流和零序电压暂态特性明显，判断准确。这样来提高故障识别率。

设备包括：包括零序电压启动单元、线路故障指示器（多台）；一台线路故障指示器包括汇集单元和三相采集单元。

1 本设备组合及通信关系

1.1 汇集单元连接主站模式

系统使用示意图如图 1 所示。

设备间通信示意图如图 2 所示，主站、汇集单元、零压启动单元三者之间通信关系。通信方式：主站和汇集单元用 5G 通信；汇集单元和零压启动单元用 5G 通信^[1]。

主站与多个汇集单元通信。通信保持原有方式：

5G 通信，如图 3 所示。

零压启动单元（作为客户端）与多个汇集单元通信（满足支持 100 个）。通信方式：5G 通信。如图 4 所示。

通信系统：如图 5 所示。

汇集单元与采集单元通信：通信方式保持无线 433 MHz，如图 6 所示。

具体介绍：现有的汇集单元具备同时与零压启动单元和主站同时通信。零压启动单元内有 5G 路由器，通信方式：汇集单元具备原有的 5G 模块，同时支持客户端与主站通信，又作为服务器与零压启动单元通信。零压启动单元：具备网口，与 5G 路由器通信，支持与 100 套汇集单元通信。

1.2 现场应用情况

1 条母线只须要安装 1 个零序电压启动单元，多条出线上安装有多组故障指示器装置。零序电压启动单元，通过电压互感器采集稳定、准确的零序电压，可实时判断零序电压暂态变化，记录暂态突变时刻，通知线路所有故障指示器记录此时刻的采样数据，汇总分析后定位接地故障点^[2]。

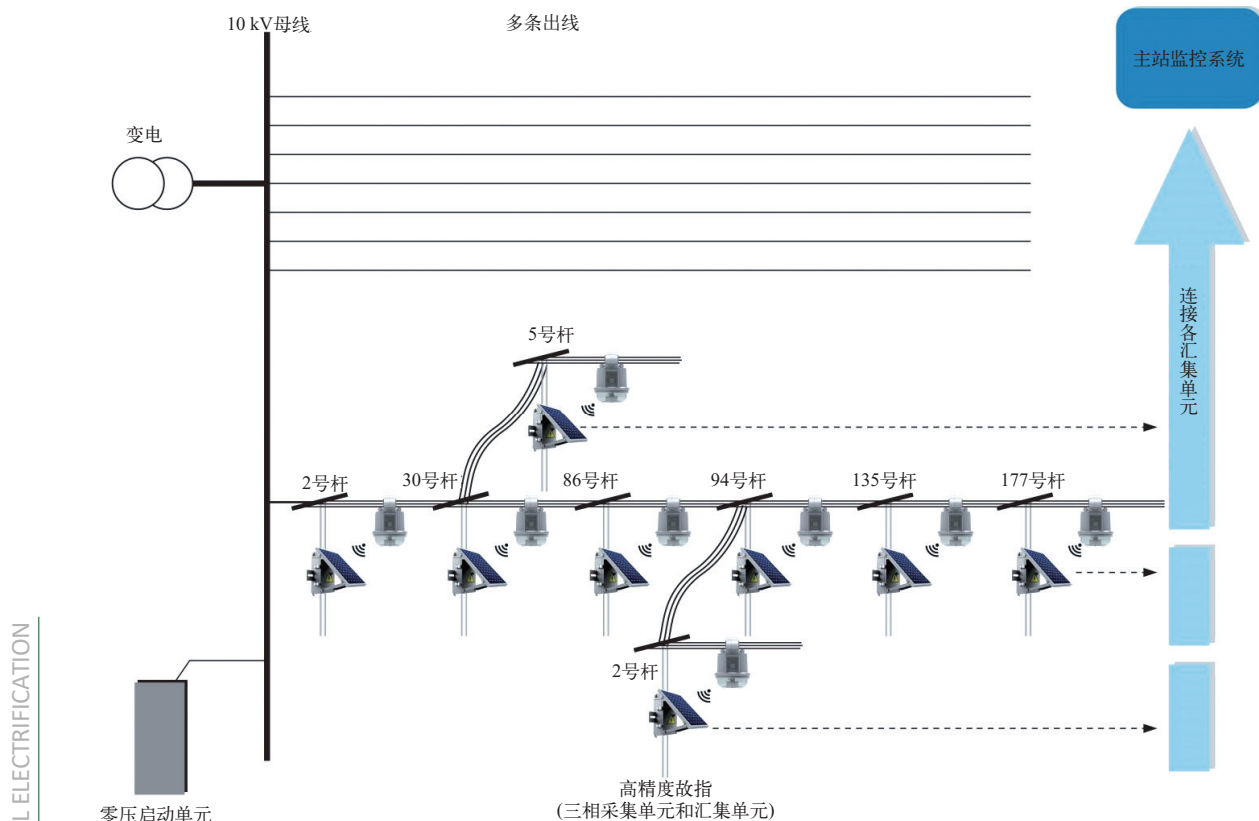


图 1 基于 5G 通信和零压启动的线路故障定位系统

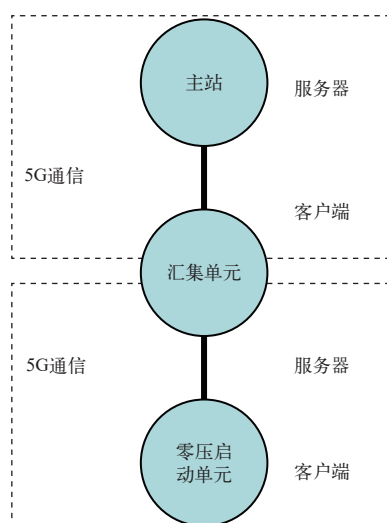


图2 主站、汇集单元、零压启动单元通信方式

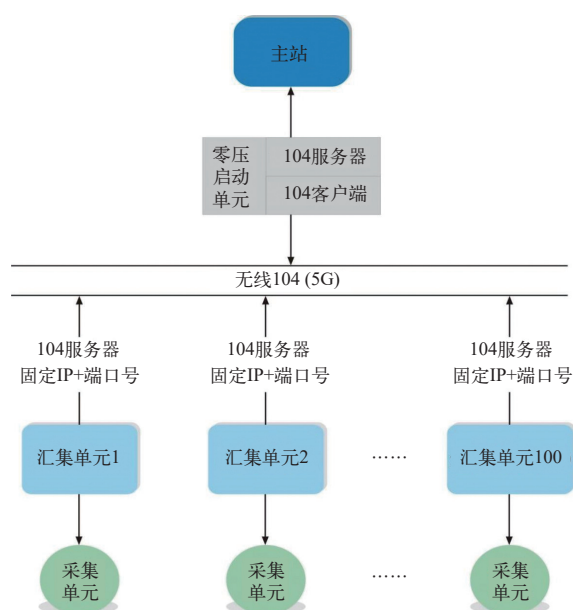


图5 通信系统框图

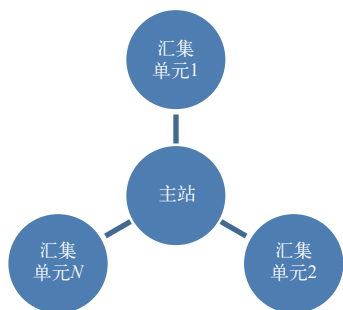


图3 主站与多个汇集单元通信

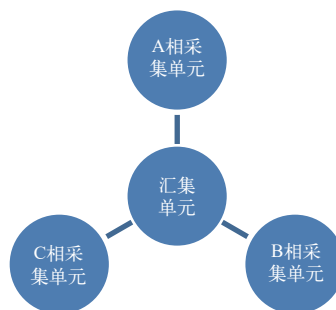


图6 汇集单元与采集单元通信图

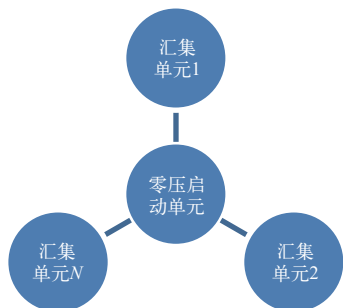


图4 零压启动单元与多个汇集单元通信方式

2 设备具备技术

2.1 分布式管理技术

零序电压启动单元与线路的多个故障指示器，用5G通信，源地址和目的地址通过SIM卡的IP区分。每安装1台故障指示器，自动连接零序电压启动单元，连接成功后，零序电压启动单元会在自己的设备管理库中，记录该设备的IP、位置等信息，

并保持连接，实现了设备的自注册功能，即安即连。

2.2 实时采集电压数据

电压采集：采集母线三相的相电压（或2个线电压）和零序电压、电压频率，同时计算电压谐波数据。电压精度达到0.5%、256点采样。

2.3 通信方式和技术

零压启动单元作为客户端，具备104规约通信功能。与5G路由器（内插SIM专网卡）通信，网络形式，5G路由器只具备数据转发功能。需要扩展104规约，满足遥控录波带时标（精确到ms级别）功能。零压启动单元可连接100套汇集单元，建立100个客户端，每个客户端具备现有同等的功能（三遥、突发、招数据等所有功能）^[3]。故障研判在零压启动单元设备实现，提供每个客户端读回

录波中零序电流数据的位置，提取零序电流。判断结果用遥控方式，分别传给相应汇集单元，汇集单元根据收到的结果和自身判断，操作接地遥信置位或清零，零压启动单元根据 U_0 判断接地消除（包括拉闸或瞬时故障消除），SOE 时标为录波启动时刻时标。

2.4 对时方式

实现 5 μ s 广域同步：零压启动单元和故障指示器都配置对时模块（GPS/北斗双模），软件具备对时功能，都以对时模块为基准。本系统涉及到采样的设备，实现 5 μ s 广域同步，AD 采样触发时间每个一个短暂时间（周期性）与各自设备的系统时间进行校对和补偿，调整 ADC 触发采样的计数器，调整时将计数器与毫秒沿对齐。这样三相采集单元采样步调基本一致。

2.5 存储和上传录波功能

汇集单元与主站通信时，汇集单元保持原有的模式，波形包含三相电压（现有的电场采集）、三相电流、零序电流 7 个通道。汇集单元上传主站。零压启动单元与主站通信时，零压启动单元存储波形，波形包含三相电压（现有的电场采集）、三相电流、零序电流 7 个通道上传主站。

3 故障研判

3.1 零压启动型高精度故障研判流程

零序电压启动单元实时采集零序电压和判断其暂态变化，记录暂态突变时刻 T （精确到 ms），存储此时的零压录波数据，并通知线路各故障指示器（多个）按照此时刻 T 形成录波文件，汇集同一段母线内所有故障指示器采集的数据和遥信进行预处理和故障研判，并按照规定的方式把数据结果传送各自的汇集单元。减少汇集单元与主站之间的数据通信，主要是录波数据。零序电压启动单元检测到汇集单元录波形成遥信置 1 后，将录波招回，汇总每个故障指示器的录波，通过故障判断算法和拓扑图的解析，进行选线和故障点的定位，将结果发送给对应的故障指示器，故障指示器根据返回的结果体现在接地遥信上，位于接地点上游的遥信置 1，下游或其他分支的设备遥信置 0，分别传送主站。整个过程 5 min 内完成。可满足各类接地的触发研

判，实现接地故障定位准确率 100%（5 000 Ω 以内，零流 1 A 以上），0 误报^[4]。

3.2 故障研判技术：零压启动单元参与故障研判

3.2.1 检测零压突变，记录突变时刻 T

零压启动单元用采样点突变大于设定值的计算方法，连续多个采样点（256 对应 10 个）满足突变判断条件，记录当前时刻 T （时间精确到 ms）。按照此时刻形成前 4 后 8 的波形。形成的录波可以包含 4 个通道， U_A 、 U_B 、 U_C 、 U_0 。电压都是常规采集，有稳定性、精度高。

3.2.2 大数据处理

汇总每个汇集单元的录波（都是按照 T 时刻形成了录波），读回来的录波文件格式是标准的 CFG/DAT。

3.2.3 汇集单元在存储采集单元录波数据时

如果零压启动单元连接主站模式，传给零压启动单元的录波文件只存 I_A 、 I_B 、 I_C 、 I_0 4 个通道的数据（标准的录波文件 CFG 和 DAT），可加上零压启动单元自己的 U_A 、 U_B 、 U_C 的数据合成 7 通道录波文件，还可以传给主站， I_0 与 U_0 结合判断接地故障。

3.2.4 根据 I_0 与 U_0 数据进行故障研判

故障研判时判断零序电压突变的趋势和零序电流突变的趋势，2 个趋势相同，则设备在故障点下游或其他出线。2 个趋势相反，则设备在本线路的故障点上游。接地的其他特点：故障线路故障点下游的零序电流较小；故障线路故障点上游的零序电流大，暂态峰值 I peak value；非故障线路的零序电流较小，NO_I peak value1，NO_I peak value2 ... NO_I peak valueN；故障线路故障点上游 I peak value = NO_I peak value1 + NO_I peak value2 ... + NO_I peak valueN。

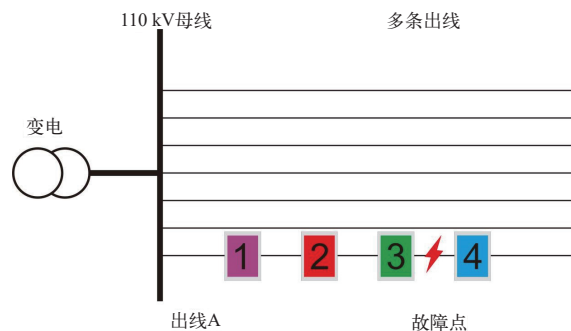


图 7 故障点示意图

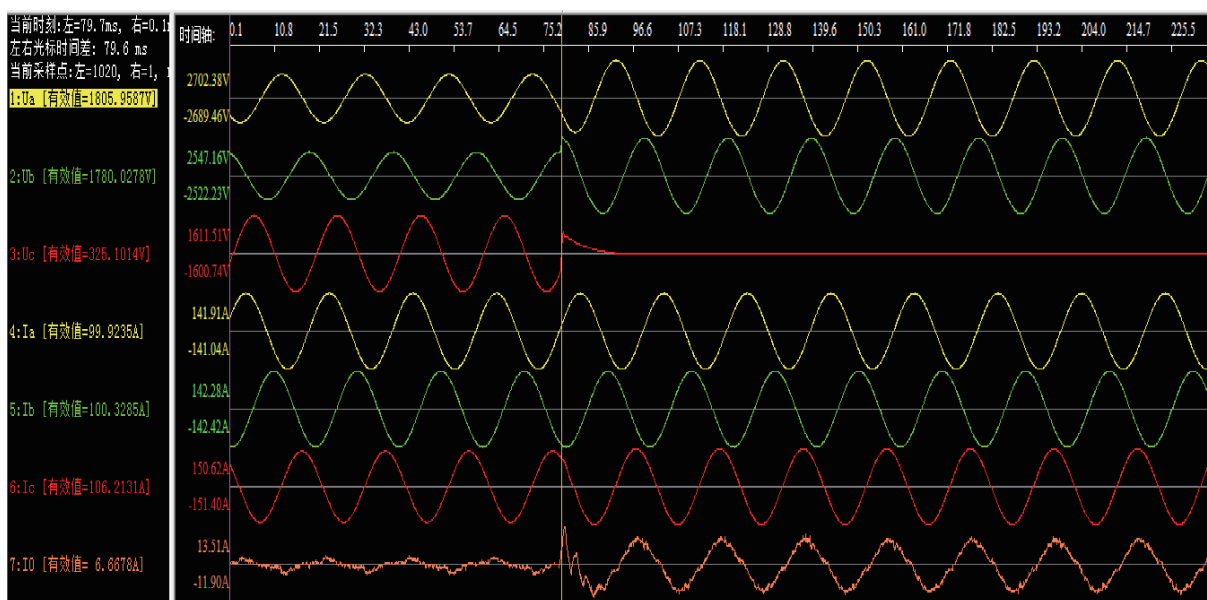


图8 故障点上游设备采集到的故障时刻波形

3.2.5 根据拓扑结构,生成最终的接地研判结果

根据图7所示,研判故障。拓扑图查询后,判出1、2、3、4号设备按照先后顺序安装出线A,经过录波研判,判出1号和3号设备处于接地上游,3号和4号间是接地故障点,2号研判后未判出(有录波但不符合接地判断或未形成录波),此种情况,2号要作为接地上游设备处理。最终将故障点上游的1、2、3号设备都能判断出来。故障点在3号和4号之间。

同时分别形成1.1、1.2两台位于故障点上游和1.3、1.4故障点下游的录波文件(4个),包含8个通道,分别是 U_A 、 U_B 、 U_C 、 U_0 、 I_A 、 I_B 、 I_C 、 I_0 ; U_0 代表零压数据, I_0 代表零序电流。前4个电压数据来自零压启动单元,后4个电流数据来自各个故障指示器。录波文件,最下面的分别是 I_0 和 U_0 ,故障时刻, I_0 趋势向上(极性为正), U_0 趋势向下(极性为负),判定处于故障点上游。如图8所示。若同为正或同为负,是处于故障点下游。

3.2.6 故障判断结束,信息传送主站

零压启动单元将故障信息对应到拓扑位置,接地标记为1,传主站。

3.3 接地故障返回判断方案

3.3.1 接地故障返回判断流程

零压突变启动后,接地启动标记为位,然后进行故障返回判断,判断出故障消失或线路回复正

常,接地启动遥信清零^[5-6]。根据汇总的录波判出接地故障后,按照拓扑图记录故障点号,当接地启动遥信清零后,将复归信息发送到故障点号对应的汇集单元。

3.3.2 故障返回判断

返回判断包含情况:2种,满足其中任1个即可判为返回。情况1:拉闸或跳闸后,检测到相电压无压且零压归零,经过延时,接地启动遥信清零。情况2:瞬时接地故障,检测到相电压和零压回复正常值,经过延时,接地启动遥信清零。电压定值、延时定值可设置。

3.4 零压启动单元检测相电压(或线电压)突变启动录波方案

零压启动单元用现有的突变量计算方法,连续多个采样点(每周波100时对应3个,256对应8个)满足突变判断条件。相电压(或线电压)突变启动存储数据。线路监测装置检测到两相或三相短路故障,形成录波文件;短路故障时,没有零压变化,零压启动单元检测不到零压变化,无法启动录波;此时检测相电压(或线电压)突变启动录波,

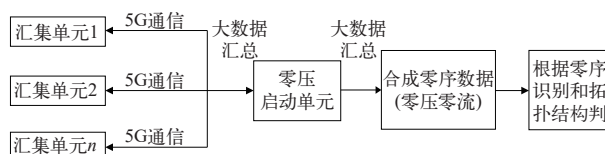


图9 线路故障研判和定位流程图



图 10 系统组成图

电压突变定值可设置，记录突变时刻，锁定原始点缓存前 6 后 10（取决于汇集单元形成波形录波周波数和误差）。根据读回来的短路波形，按照其启动时刻（单位 ms），从缓存中找到相应数据，波形包含三相电压（互感器采集）、三相电流、零序电流和零序电压（互感器采集）8 个通道的故障波形。汇集单元形成波形录波周波数如下：录波数据的故障前周波数：默认 4，录波数据的故障后周波数：默认 8。

通过录波中 CFG 文件，获得通道数、系数、启动时间、采样频率和每个通道总采样点数，算法中调用。流程图如图 8、图 9 所示。

4 结束语

如图 10 所示，电力系统中故障指示器系统领域，具体是分布在同一母线高压线路的多台故障指示器和母线安装的一台零压启动单元^[7]；零压启动单元，采集稳定的零压信号，发生暂态突变，通知所有出线的障指示器设备按照突变时刻生成数据；零压启动单元，根据每个故障指示器的位置，映射成拓扑结构图，实现分布式管理，汇总每个拓扑点的数据，通过汇总数据，大数据的存储和分析，对各个线路进行实时检测和故障判断。准确的判断接地故障点，将故障结果上传主站，极大的提高了接地故障的识别率和定位，为配电网线路及时、有效、准确的定位故障点提供了可靠信息。

参考文献

- [1] 程小平, 章昊. 适应 5G 通信的配电网分布式供电恢复策略[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22(5): 1906-1913.
- [2] 蒋帅, 沈冰. 5G 通信技术在配电网保护中的应用探讨[J]. *电力信息与通信技术*, 2021, 19(5): 39-44.
- [3] 杨云平, 张春辉. 基于 5G 通信的智能分布式故障自愈技术研究[J]. *中国新技术新产品*, 2021(22): 18-20.
- [4] 董礼清, 薛永端. 小电流接地故障零序电压分布特征与测距[J]. *电力系统自动化*, 2022(4): 10.
- [5] 甄雄辉. 接地故障指示器的 10 kV 线路接地故障的判断与分析研究[J]. *中国新技术新产品*, 2015(9): 63-64.
- [6] 徐科林. 对装有接地故障指示器的 10 kV 线路接地故障的判断与分析[J]. *广西电业*, 2010(2): 92-93.
- [7] 李英春, 吴纳磊. 一种多设备间数据同步合成检测线路的故障方法[J]. *农村电气化*, 2021(6): 22-24.

作者简介

李英春（1987—），男，高级工程师，研究方向为：电力系统运行分析和智能化监控，配电网线路的监视和故障的判断，继电保护的运用策略。

吴纳磊（1983—），男，高级工程师，研究方向为：电力系统运行分析和智能化监控，配电网线路的监视和故障的判断，继电保护的运用策略。

王雷克（1989—），男，中级工程师，研究方向为：电力系统运行分析和智能化监控，配电网线路的监视和故障的判断。

马超（1990—），男，初级工程师，研究方向为：电力系统运行分析和智能化监控，配电网线路的监视和故障的判断。

陈立新（1996—），男，初级工程师，研究方向为：电力系统运行分析和智能化监控，配电网线路的监视和故障的判断。

马超（1989—），男，中级工程师，研究方向为：电力产品工业设计。

（责任编辑：刘艳玲）

架空配电线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

(内蒙古电力(集团)有限责任公司巴彦淖尔供电分公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘要: 随着配网自动化的不断推进, 隔离开关的数量和操作次数逐年增多, 人员去现场查看开关分合闸位置所需要的人财物也大大增加。为了节省在人财物方面的投资, 合理地调配资源, 研制一种架空配电线路隔离开关开合位置智能监视装置, 实现隔离开关位置的实时监控。

关键词: 隔离开关; 分合闸; 位置; 监视

中图分类号: TM564.1

Research and Application of Intelligent Monitoring Device for Opening and Closing Position of Isolation Switch of Overhead Distribution Line

BAI Yunchang, LI Jianjun, AO Xudong

(Bayannur Power Supply Branch of Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., Ltd.,

Inner Mongolia Bayannur 015000, China)

Abstract: With the continuous advancement of distribution network automation, the number of isolation switch and the number of operation increased year by year, and the people and property needed to send people to the site to check the switching position also increased greatly. In order to save the investment in human resources and property and allocate resources reasonably, this paper develops an intelligent monitoring device for the opening and closing position of the isolation switch of overhead distribution line to realize real-time monitoring of the isolation switch position.

Keywords: isolation switch; open and close; location; monitor

目前, 10 kV 配电线路隔离开关(刀闸)应用广泛, 配网自动化“四个严防”要求 10 kV 线路联络开关一侧、线路主线第一个分段智能开关负荷侧须要加装隔离开关, 保证停电线路或设备各端应有明显断开点, 隔离开关所处位置对确保线路停电至关重要。线路送电时, 须保证刀闸处于合位, 方可告知调度申请遥控操作开关, 而检修人员或巡线人员无法获知刀闸的实时位置, 实际工作中获知刀闸位置只能派人去现场查看。

1 目标论证

要实现隔离开关开合位置的监视功能, 不仅要使用到传感器, 还要用到通信模块^[1]。

现代通信技术发达, 无线通信技术和数据处理单元也是越来越先进, 主要通信单元单片机的数据传输准确率可达 100%, 处理速度也在毫秒级别^[2]。

收稿日期: 2023-03-10

而且其拥有无法解密、低功耗低造价、高速可靠、强抗静电、强抗干扰的优点。

电源装置方面, 新能源的发展和电池的快速研发, 使得供电电源的选择多样化, 选择合适容量的供电电源, 可持续稳定地为监视装置和通信模块提供电源^[3]。

综上所述, 各个模块的产品质量可以保证, 组合成智能监视装置后, 其成功率完全可以达到 99.5% 及以上, 因此, 目标值可以实现。

2 监视装置的方案设计

监视装置可广泛应用于 10 kV 架空配电线路检修工作中, 对 10 kV 架空配电线路隔离开关具有普遍适应性。操作装置可实现对隔离开关开合位置的实时监测, 降低了操作时间、劳动强度, 减少了事故的发生。该成果可推广应用到实际生产工作, 提高工作效率。

小组成员对所研制的监视装置各组成部位进行了分析、讨论，确定了装置由本体部分、控制部分组成，其中本体部分主要是光电传感器^[4]，控制模块由控制箱体、电源部分、无线传输部分和数据处理单元，各部位结构设计方案细分如图1所示。

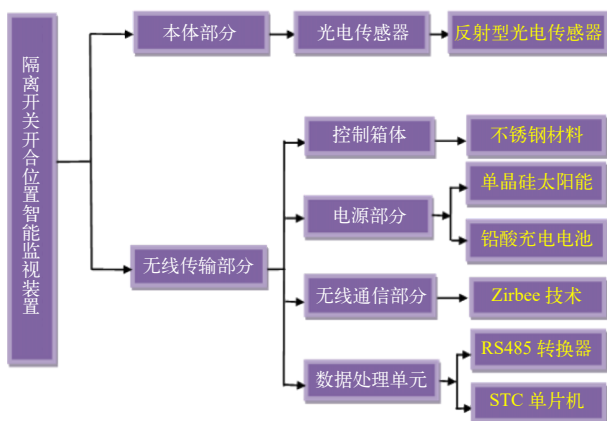


图1 隔离开关开合位置智能监视装置研发最佳方案图

小组成员根据监视装置研发流程图，按照5W1H制定了切实可行的目标量化对策表如表1所示。

3 监视装置的制作

根据目标量化对策表，小组成员针对所须研制

的监视装置结构设计进行了讨论并绘制设计图纸^[5]，设计图纸如图2所示，原理图如图3所示。

项目组在实训室组装完成监视装置，实物如图4所示。

4 效果检查

项目组成员结合日常配网架空线路检修工作，对辖区内56条架空线路上的隔离开关进行了监视装置的安装和记录，现场操作结果表明（如表2所示），利用研制的监视装置现场完成隔离开关的监视任务，操作简单方便，成功率达到100%，圆满完成目标。

近几年，巴彦淖尔供电分公司配网工作中配电网线路的故障频发，检修工作的工作量正逐步加大，对于人员紧缺的配电运检班组来说，加班处理工作已成为家常便饭。项目组研制的架空配电线路隔离开关开合位置智能监视装置，实现了远程遥信功能，大大减少了工作量。现场工作人员亦可离开检修杆塔，该装置使用简单方便、省时省力，极大地降低了人员劳动量，提高了人员工作效率。

操作时间方面：现场查看耗时耗力，采用智能监视装置，平均每次可节省时间25 min，按照每年操作150个隔离开关，每个操作次数为10次进行计算，每年可节约工作时间625 h左右。

表1 目标量化对策表

项目	对策	目标	措施
本体部分	光电传感器	隔离开关底座打孔	距离绝缘子柱3 cm以上的安全距离；钻孔位置在触头的正下方，偏差不超过5 mm
	选择光电传感器邦纳Q20NDXL	固定牢固；价格不高于200元；判断误差小于1%	采用电钻钻孔；采用游标卡尺精确测量钻孔位置 购买反射型光电传感器自带2 m连接线以及M12，4芯快插接头
控制模块	控制箱体	制作不锈钢控制箱	长宽高的尺寸控制在35 cm×30 cm×35 cm以内；焊接缝隙小于0.2 mm；接地线25 mm ² ，电阻小于0.79 mΩ/mm ²
	电源部分	选择太阳能板	长度、宽度均小于40 cm；使用寿命大于15年
		选择合适的充电电池	长宽高均小于15 cm，输出电压为12±0.5 V
	通信模块	选择485通信转换器	传输延时小于3 s；手机接收到的信息与实际相对应
选择单片机		可以稳定输出信号	
组装试验	部件组装，整体试验	装置判断成功率达到99%以上；装置防雷试验满足要求	联系厂家购买29 cm×33 cm的太阳能板；测试太阳能板输出电压 固定电池；输出电压稳定 实现机间数据传输；软件开发平台采用C/C++交叉编译器和调试器。 购买STC11F02E单片机 在实训室组装调试；利用户外培训线路进行监视装置的操作试验

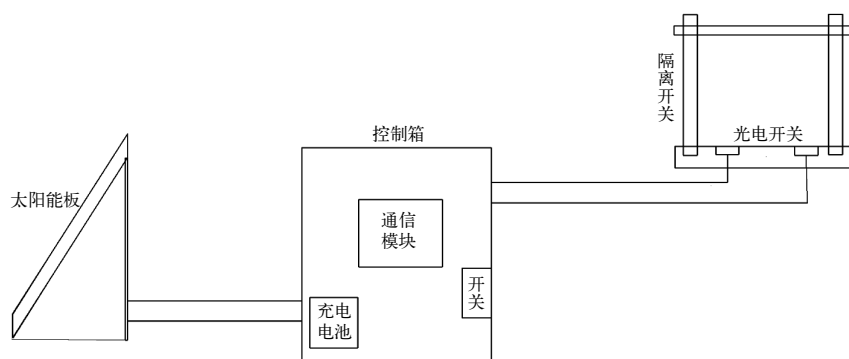


图2 监视装置设计图纸

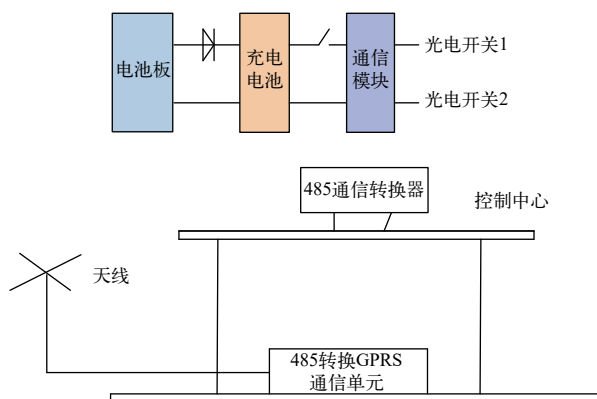


图3 电源供电和通信模块原理图

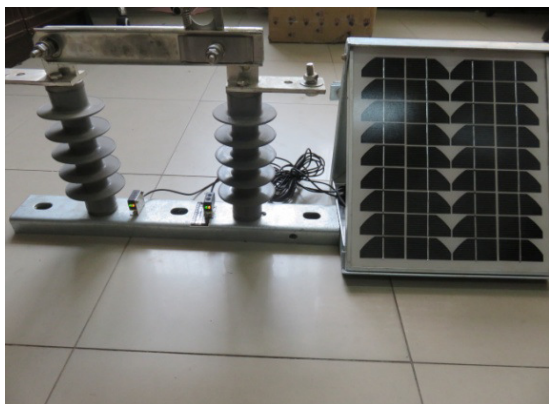


图4 整体实物图

表2 现场应用中成功判断位置试验情况表

开合角度	45°	60°	90° 以上
成功次数：室内（开灯）	1 000	1 000	1 000
成功次数：室内（不开灯）	1 000	1 000	1 000
判断成功率	100%		

5 结束语

架空配电线路隔离开关开合位置智能监视装置成功解决了困扰配电线路多年的难题，可广泛适用于配网架空线路，符合内蒙古电力（集团）有限责任公司建设坚强智能配电网的要求，真正形成监测数字化、设计模块化、运行状态化、信息标准化和应用网络化的监控预防体系。

参考文献

- [1] 陈富国, 陈晓东, 蔡杰, 等. 基于机器视觉的隔离开关分合闸判别系统设计与应用[J]. 河南科技, 2021, 40(6): 6-9.
- [2] 史存伟, 李凤民, 傅春明, 等. 基于姿态传感器的刀闸状态在线监测系统的研究[J]. 电子世界, 2021(1): 89-93.
- [3] 陈富国, 蔡敏, 尹军华, 等. 基于姿态传感的隔离开关位置监测系统设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2019(3): 101-105.
- [4] 王青. 计算机视觉技术及其在电力系统自动化中的应用[J]. 通信电源技术, 2019, 36(1): 213-214.
- [5] 段汇斌, 周元伟, 邹娇. 基于霍尔传感的GIS刀闸机械位置监测[J]. 电气技术, 2018, 19(5): 92-93+98.

作者简介

白云长（1995—），男，助理工程师，硕士，研究方向：电力系统自动化。

李建军（1976—），男，工程师，研究方向：电力系统自动化。

敖旭东（1977—），男，工程师，研究方向：电力系统自动化。

（责任编辑：刘艳玲）

一种新型防水端子的研制

何鸿威

(广东电网有限责任公司江门新会供电局, 广东 新会 529100)

摘要: 介绍了一种新型防水端子的研制过程和性能测试结果。防水端子是一种用于连接电线或电缆的器件, 具有防止水分侵入和防止线路腐蚀的功能。防水端子的设计和制造对于提高10 kV及以下输配电线路的可靠性和安全性具有重要意义。实验结果表明, 新型防水端子具有良好的防水效果, 高强度、低电阻、耐高温、耐老化等优点, 适用于各种室外或潮湿环境中的电气连接。

关键词: 防水端子; 热缩管; 粘合剂; 液压压接钳接头

中图分类号: TM757.2

Development of a New Type of Waterproof Terminal

HE Hongwei

(Jiangmen Xinhui Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangdong Xinhui 529100, China)

Abstract: This paper introduces the development process and performance test results of a new type of waterproof terminal. Waterproof terminal is a device used to connect wires or cables, which has the function of preventing water from entering and causing short circuit or corrosion. The design and manufacture of waterproof terminal are of great significance for improving the reliability and safety of 10 kV and below power transmission and distribution lines. The experimental results show that the waterproof terminal developed in this paper has the advantages of good waterproof effect, high strength, low resistance, high temperature resistance, aging resistance, etc., and is suitable for various outdoor or humid environments of electrical connection.

Keywords: waterproof terminal; heat shrinkable tube; adhesive; hydraulic crimping connecto

电缆端头是电力系统中的重要组成部分, 它是电缆与电缆或电缆与设备之间的连接点, 其性能的好坏直接影响着电力系统的运行安全和可靠性。然而, 由于电缆端头所处的环境复杂多变, 经常受到水分、湿气、盐雾、腐蚀、温度变化等因素的影响, 导致电缆端头进水、绝缘老化、接触不良等故障, 甚至引发火灾、爆炸等严重事故。据统计, 电缆故障中有 70% 以上是由于电缆端头的质量问题所造成的^[1]。

为了解决电缆端头进水问题, 目前常用的方法有冷缩式、热缩式、预制式等, 但这些方法各有优缺点, 不能完全防止水分从电缆端头侵入。冷缩式电缆终端具有安装方便、无须加热等优点, 但其防水性能主要依靠硅橡胶材料的弹性恢复力, 随着时间的推移, 硅橡胶材料会发生老化、开裂、松动等现象, 导致防水效果下降^[2]。热缩式电缆终端具有密封性能好、耐高温等优点, 但其安装须要加热, 操作不便, 而且加热过程中容易造成热应力和热冲

收稿日期: 2023-04-24

击, 影响绝缘材料的性能^[3]。预制式电缆终端具有结构简单、制造工艺成熟等优点, 但其防水性能主要依靠油纸或环氧树脂等填充材料, 这些材料在长期运行中容易发生老化、开裂、脱落等现象, 导致防水效果下降^[4]。

为了克服上述方法的不足, 本文提出了一种新型防水端子, 可以适用于各种室外或潮湿环境中的电气连接。

1 新型防水端子的创新性

本文在防水端子的设计、材料、安装、封装等方面进行了创新性的研究, 采用了一种特殊的粘合剂涂层的热缩管作为防水端子的主要材料, 该材料具有高阻燃等级和优异的耐候性。通过液压压接钳接头将电线或电缆固定在防水端子内部, 然后加热使热缩管收缩并与电线或电缆紧密贴合, 形成密封的防水层。为了进一步提高防水性能, 本文在端子顶部设计了一个防水封帽, 如图 1 所示, 该封帽可以通过紧压配合或热熔焊接的方式与端子圆柱段密

封连接，避免水分从顶部侵入。此外，本文还在封帽下方增加了硅胶罩，如图2所示，该硅胶罩可以通过注塑工艺与端子和导线端头形成一个整体，有效地保护电气连接部分免受外界环境的影响。本文对防水端子的结构、工作原理、制造方法和性能参数进行了详细的描述，并通过实验测试了其防水性能、机械强度、电气特性等指标。



图1 新型防水端子防水封帽实物图



图2 新型防水端子防水封帽套

2 新型防水端子的应用领域

新型防水端子适用于10 kV及以下输配电线路中的电缆与电缆或电缆与设备之间的连接，可以有效地解决电缆端头进水问题，提高输配电线路的可靠性和安全性。新型防水端子还可以应用于其他需要防水电气连接的领域，如LED照明灯具、城市户外照明工程、灯塔、游船、航空航天、工业设备、电缆、洒水车等^[5]。新型防水端子的应用前景广阔，具有重要的社会和经济价值。

3 新型防水端子的制造方法

新型防水端子的制造方法主要包括以下几个步骤。

制作端子本体：将铜或铝等导电材料加工成端

子本体的形状，包括圆柱段、锥形段和扁平段，其中圆柱段用于与防水封帽配合，锥形段用于与热缩管配合，扁平段用于与电线或电缆的线芯压接。

制作防水封帽：将塑料或金属等防水材料加工成防水封帽的形状，包括圆柱段、锥形段和顶部孔，其中圆柱段用于与端子本体圆柱段配合，锥形段用于与热缩管配合，顶部孔用于放置电线或电缆。

制作热缩管：将聚烯烃等高分子材料加工成热缩管的形状，内部涂有特殊的粘合剂，长度和直径根据端子本体和电线（电缆）的尺寸确定。

制作硅胶罩：将硅胶等弹性材料加工成硅胶罩的形状，长度和直径根据端子本体和热缩管的尺寸确定。

以上步骤可以采用冷冲压、切削、注塑等常见的金属或塑料加工方法进行。

4 新型防水端子的安装

在安装新型防水端子之前，先将电线或电缆的外皮剥去一定长度，露出线芯。

将热缩管套在电线或电缆上，将端子本体插入线芯中，并用专用工具压接牢固。

将防水封帽套在端子本体上，并用紧压配合或热熔焊接的方式与端子本体圆柱段（如图3所示）紧密配合，形成一个密封的空间。用热风枪对热缩管进行加热，使其收缩并与端子本体和电线或电缆紧密贴合，形成一个密封的防水层。在注塑机中将硅胶罩注塑在端子本体和热缩管之间，将端子与导线端头完全保护起来。



图3 新型防水端子本体

经过以上步骤，新型防水端子就安装完成了。由于新型防水端子具有双重防水结构，即防水封帽和硅胶罩，能够有效地阻止水分从任何方向侵入电

缆端头，并且能够适应各种温度、湿度、压力等环境变化，保证电气连接的稳定性和可靠性。

5 新型防水端子的性能测试

为了验证新型防水端子的性能优势，本文对其进行了多项性能测试，包括以下几个方面：（1）防水性能测试，检验新型防水端子在不同水压和时间条件下的防水效果；（2）机械强度测试，检验新型防水端子在不同拉力和扭矩条件下的机械强度；（3）导电性能测试，检验新型防水端子在不同电压和电流条件下的导电性能；（4）耐高温测试，检验新型防水端子在不同温度条件下的稳定性和可靠性；（5）耐老化测试，检验新型防水端子在长时间使用后的性能变化；（6）耐腐蚀测试，检验新型防水端子在不同腐蚀介质条件下的耐腐蚀性。

测试结果表明，新型防水端子具有良好的防水效果、高强度、低电阻、耐高温、耐老化、耐腐蚀等优点，其性能参数均达到或超过了国家标准和行业标准，适用于各种室外或潮湿环境中的电气连接。

6 结束语

新型防水端子的研究成果为解决电缆端头进水问题提供了一种有效的技术方案，对于提高 10 kV 及以下输配电线路的可靠性和安全性具有重要意义。新型防水端子不仅能够有效地防止水分从任何方向侵入电缆端头，并且能够适应各种温度、湿度、压力等环境变化，保证电气连接的稳定性和可靠性。新型防水端子还具有安装简单、操作方便、成本低廉等优点，可以节省人力和物力资源，提高工作效率。新型防水端子的应用前景广阔，具有一定的社会和经济价值。

本文对新型防水端子的研究还存在一些不足之处，须要进一步完善和改进。例如：

（1）新型防水端子的制造方法还需要优化和简化，以降低生产成本和提高生产效率。

（2）新型防水端子的性能测试还需要扩大范围和增加次数，以验证其在不同条件下的稳定性和可靠性。

（3）新型防水端子的应用领域还需要拓展和探索，以满足更多场合和需求的电气连接。

本文对新型防水端子的研究为今后进一步深入

和拓展该领域提供了一定的基础和参考。希望通过不断地改进和创新，能够开发出更多更好的防水端子产品，为社会和人类带来更多的便利和福祉。

参考文献

- [1] 龚庆东. 6 kV~10 kV 电缆中间接头内部防水分析及改进措施[J]. 电世界, 2019, 60(09): 28-29.
- [2] 刘思, 袁家银, 宁会朋, 等. FPSO 中高压电缆冷缩终端施工问题的研究[J]. 化工管理, 2020(26): 178-179.
- [3] 田煜. 局部放电作用下 10 kV 热缩、冷缩接头的劣化特性对比研究[D]. 华北电力大学(北京), 2020.
- [4] 李传东. 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其安装解析[J]. 电世界, 2023, 64(02): 7-11.
- [5] 梁允魁. 防水电连接器设计[J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(10): 82-83.

作者简介

何鸿威（1989—），男，工程师，主要从事配网基建工程工作。
（责任编辑：刘艳玲）

资讯

湖南岳阳公司：推进乡村充电网络建设

2023 年 5 月 17 日，国网湖南岳阳供电公司员工刚完成岳阳市张谷英村公共停车场充电桩的例行检修，村民陈义门便驾驶着自己的电动车驶进停车场为爱车充电，对快速充电桩赞不绝口。

近年来，为更好满足新能源汽车充电需求，国网岳阳供电公司加大充电网络建设运营支持力度，统筹考虑乡村级充电网络建设和输配电网发展，扎实推进乡村供电所充电设施全覆盖工作。在多部门共同推进下，作为当地旅游热点的张谷英村配网变压器从 1 台增加至 8 台，配变容量增加至 1 600 kV·A，改造低压绝缘线路 5 km，供电能力有了大幅提升。该公司还计划开工建设 35 kV 张谷英变电站，全面增强农村电网的支撑保障能力。

“我们在配套电网建设改造方面超前规划，并且在供电所充电设施建设的选点、场地协调、项目立项、报装接电等工作中都提前介入、提前实施，正在将充电网络延伸到乡镇。”国网岳阳供电公司员工李岳介绍，该公司将围绕乡村旅游、乡村物流、乡村客运等重点领域，在推广清洁能源上持续发力，密切关注地方基础设施建设规划动态，以优质服务保障用户绿色安全便捷出行。

信息来源：国网湖南省电力有限公司

错接线工况下电能表计量逻辑的分析

褚兴旺

(国网江苏省电力有限公司营销服务中心, 江苏 南京 210019)

摘要: 介绍了错接线在线诊断模型, 该模型依托高频采集的电压、电流、有功功率、无功功率等数据, 结合大数据分析技术, 实现错接线现场停电核查转变至线上诊断。但在差错电量计算的过程中, 发现了2种电能表计量逻辑错误的情况, 通过用电信息采集系统数据测算、实验室检测2种方式, 确认了总电量与分相电量累积错误的具体原因。依托高频曲线数据, 重新通过积分方式准确复原了应计电量。

关键词: 远程抄表; 错接线; 在线诊断; 计量逻辑

中图分类号: TM933.4

Analysis of Metering Logic in Wrong Connection Condition

CHU Xingwang

(State Grid Jiangsu Marketing Service Center, Jiangsu Nanjing 210019, China)

Abstract: This paper introduces the online diagnosis model of wrong wiring. The model relies on high-frequency collected voltage, current, active power, reactive power and other data. Besides, it is Combined with big data analysis technology. So the reform of on-site power outage check to online diagnosis is realized. However, in the process of calculating the wrong amount of electricity, two kinds of metering logic errors of electricity meters were found, the specific reasons for the wrong accumulation of total electric quantity and phase-divided electric quantity were confirmed through data calculation and laboratory testing. Finally, relying on the high-frequency curve data, the accrued electricity is accurately restored by integrating again.

Keywords: remote meter reading; wrong connection; online diagnosis; metering logic

供电企业主要用电能计量装置计量用户使用的电量, 其结果的准确性影响着供用双方的经济利益。为保证电能计量装置的计量准确性, 其接线必须正确且接触良好。

电能计量装置包括电压互感器、电流互感器、二次回路和电能表。它们之间接线种类繁多且复杂, 而正确接线方式只有1种, 由于部分现场装表接电人员技能水平低、责任心不够, 电力用户的电能计量装置错接线是有可能发生的, 若存在人为窃电行为, 接线方式更是千奇百怪。以往错接线可通过现场校验仪、万用表、钳形表等仪器检测^[1], 而检测仪器的正确使用需要较高的技能水平与一定的现场经验, 现场装表接电人员不一定人人都能分析出来。也可通过现场对线的方式检查, 但该方式往往需要现场停电, 会影响电力用户的正常生活生产。因此亟须研究一种新型的错接线诊断方式。

收稿日期: 2022-12-22, 修回日期: 2023-03-31

1 错接线在线诊断模型

随着用电信息采集系统及采集终端硬件设备升级、软件程序优化, 用户档案维护准确可靠, 电能表分相电压、电流、有功功率、无功功率曲线采集频率已普遍达到15 min/次, 部分已达5 min/次, 电能表相序也可通过电能表状态字获取^[2], 这奠定了远程错接线的的数据基础。

结合用电信息采集系统采集的电能表分相有功功率与无功功率曲线, 可得到每15 min时刻的分相功率因数角 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 。结合电能表状态字的顺、逆相序, 电压、电流曲线数值, 可得到该电能表每15 min的瞬时相量图, 将该相量图与系统建立的感性负载用户错接线相量图典型库进行比对, 可得到瞬时错误接线方式结果。三相三线与三相四线电能表顺相序感性负载正确接线相量图如图1、图2所示。最后, 依据大数据统计原理, 形成错接线在线诊断模型, 并依据总及分相电量、错接线方式, 准确计算出差错电量^[3]。

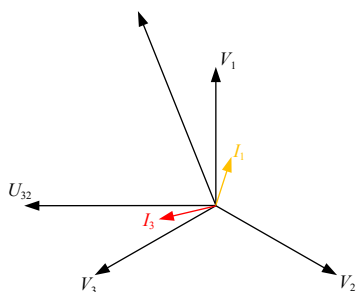


图1 三相三线电能表顺相序感性负载正确接线形式相量图

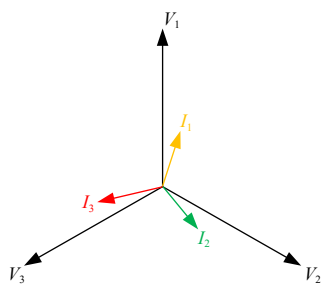


图2 三相四线电能表顺相序感性负载正确接线形式相量图

2 电能表计量逻辑分析

根据用电信息采集系统相量图错接线智能诊断模型，发现多起电能表错接线形式^[4]，常见的错接线形式有跨相接错、单相反接、跨相反接、多相串

接、压变反极性等。在对错接线复核差错电量时，发现2种电能表计量逻辑错误的情况，一是总电量计量逻辑错误，二是分相电量计量逻辑错误。为了验证计量逻辑错误情况，通过用电信息采集系统与实验室检测深度分析问题原因。

2.1 总电量计量逻辑错误

2.1.1 用电信息采集系统发现与分析

某三相四线电能表2022年8月13日6:00—9:00数据如表1所示，该电能表此期间负荷相对稳定，A、B相有功功率1.3 kW左右，C相有功功率-1.3 kW左右，总有功功率1.3 kW左右，经计算，小时正向有功电量维持在3.9 kW·h左右，与总有功功率时间积分存在明显差异。

2.1.2 实验室检测与分析

首先抄读逻辑异常电能表参数、潮流反向事件、有功功率触发下限等参数未发现异常，因此排除由于潮流反向事件有功功率触发下限设置过大导致反向电量计入正向的情况。然后对逻辑异常电能表进行基本误差试验，平衡负载和不平衡负载下的误差均合格，未发现异常。最后在平衡负载时电能表其中一相电流线反接的情况下误差依旧合格（±0.6%以内），而由于其中一相错接线，此时电能表的实际总功率只有标准表的1/3，此时基本误差^[5]应为

表1 6:00—9:00 功率及示值变化情况

时间	A相有功功率 /kW	B相有功功率 /kW	C相有功功率 /kW	总有功功率 /kW	正向有功示值 / (kW·h)	正向有功小时电量 / (kW·h)
6:00	1.383 4	1.306 4	-1.267 7	1.344 8	1 224.09	/
6:15	1.361 9	1.288 3	-1.255 0	1.328 6	1 225.03	/
6:30	1.328 3	1.296 4	-1.262 7	1.294 6	1 226.01	/
6:45	1.358 1	1.281 9	-1.242 5	1.318 7	1 226.97	/
7:00	1.312 2	1.286 1	-1.248 4	1.274 4	1 227.94	3.85
7:15	1.336 3	1.305 0	-1.268 2	1.299 5	1 228.89	/
7:30	1.162 4	1.131 6	-1.104 8	1.135 6	1 229.77	/
7:45	1.154 3	1.127 3	-1.100 0	1.127 1	1 230.62	/
8:00	1.324 6	1.294 6	-1.259 6	1.289 5	1 231.49	3.55
8:15	1.525 1	1.394 0	-1.334 6	1.465 8	1 232.51	/
8:30	1.416 2	1.336 9	-1.281 3	1.360 6	1 233.52	/
8:45	1.416 4	1.350 4	-1.282 7	1.348 7	1 234.53	/
9:00	1.413 8	1.313 7	-1.281 6	1.381 7	1 235.54	4.05

表2 逻辑异常电能表电能累积情况

kW·h

接线方式	总电能		A相		B相		C相		说明
	正向	反向	正向	反向	正向	反向	正向	反向	
A-B-C-	0	0.30	0	0.10	0	0.10	0	0.10	电量累积在反向
A-	0	0.85	0	0.85	0	0	0	0	电量累积在反向
B-	0	0.12	0	0	0	0.12	0	0	电量累积在反向
C-	0	0.50	0	0	0	0	0	0.50	电量累积在反向
A+B+C-	0.09	0	0.03	0	0.03	0	0	0.03	分相电量全部累积在正向
A+B-C-	0	0.48	0.16	0	0	0.16	0	0.16	分相电量全部累积在反向

-66%左右,因此初步判定在一相错接线的情况下,电能累积异常。

为了进一步判定其计量逻辑情况,对电能表进行电能累积试验,在平衡负载(三相均升相同电压电流)和不平衡负载(升三相电压和其中一相电流)的情况下,正反向电量累积均未发现异常,但在其中一相电流和另两相电流方向不一致时,电能累积出现异常,如表2所示。

由表2可以看出,在平衡负载三相电流同为反向或不平衡负载电流反向时,所有反向总电能增量等于分相反向电能增量之和,但当其中一相电流和另两相电流方向不同时,逻辑异常电能表依旧将所有方向的电量累积在正向或反向总电能中,而非按实际情况将输入电能抵消后累积。

针对上述现象继续进行试验,两相电流为正(1.5 A)一相电流为负(-1.5 A)和两相电流为负(-1.5 A)一相电流为正(1.5 A)的情况下,分别走时0.5 h,观察电能表电能累积情况^[6],如表3所示。

由表3可以看出,在一相电流与另两相电流不一致的情况下,逻辑异常电能表实时功率与理论值一致,但累积的电能为理论值的3倍。且总功率为正的情况下,逻辑异常电能表所有分相电能全部累加到正向总电能,总功率为负的情况下,逻辑异常电能表所有分相电能全部累加到反向总电能,总电能没有根据实时功率对时间进行累积,因此判定逻辑异常电能表在错接线的情况下电能累积方式错误。

综上所述,电能表的电能累积应为实时功率对时间积分的方式进行,逻辑异常电能表在错接线的情况下实时功率计算正确,但总电能未按照实时功率对时间的积分进行累积,而是简单的根据总功率

表3 逻辑异常电能表功率和电能累积情况

接线方式	相别	功率/kW	电量增量/(kW·h)	
			正向	反向
A+B+C-	A	0.332 9	0.16	/
	B	0.332 9	0.16	/
	C	-0.332 9	/	0.16
	总	0.332 9	0.48	/
A+B-C-	A	0.332 9	0.16	/
	B	-0.332 9	/	0.17
	C	-0.332 9	/	0.17
	总	0.332 9	/	0.50

符号判定电能累积在正向或反向后,将所有分相电能以算术和的方式累积在总电能中,导致总电能累积发生错误。

2.2 分相电量计量逻辑分析

2.2.1 用电信息采集系统发现与分析

某三相三线电能表C相反接后,每月反向有功走字仅为0.01 kW·h,而C相反向有功功率最小为0.000 7 kW,按此计算电量为 $0.000 7 \times 24 \times 27 = 0.453 6$ kW·h,与实际走字存在差异。

2.2.2 分相电量计量逻辑分析

首先对逻辑异常电能表进行基本误差试验,平衡负载和不平衡负载下的误差均合格,未发现异常。然后对电能表进行电能累积试验,在两相负载方向一致情况下,正反向电量累积均未发现异常,最后在两相负载方向不一致时,电能累积出现异常,如表4所示。

由表4可以看出,在平衡负载电流同相或不平

表4 逻辑异常电能表电能累积 kW·h

接线方式	总电能		A相		C相		说明
	正向	反向	正向	反向	正向	反向	
A+C+	0.08	0	0.04	0	0.04	0	总和分相电量累积正常
A+	0.04	0	0.04	0	0	0	总和分相电量累积正常
C+	0.04	0	0	0	0.04	0	总和分相电量累积正常
A-C-	0	0.08	0	0.04	0	0.04	总和分相电量累积正常
A-	0	0.04	0	0.04	0	0	总和分相电量累积正常
C-	0	0.04	0	0	0	0.04	总和分相电量累积正常
A+C-	0	0	0	0	0	0	总和分相电量均无累积
A-C+	0	0	0	0	0	0	总和分相电量均无累积

衡负载时，所有总电能和分相电能累积均正常；但当两相电流方向不同时，总有功电能无累积，分相有功电能也无电量累积。因此初步判定在一相错接线的情况下，分相电能累积异常。

针对上述现象继续进行试验，对逻辑异常电能表进行电能累计走字试验，A、C两相通方向相反的不同电流，即A相电流为正（5 A）C相电流为负（-2.5 A）和A相电流为正（2.5 A）C相电流为负（-5 A）的情况下，观察电能表电能累积情况，如表5所示。

表5 逻辑异常电能表功率和电能累积情况

电流方向及大小	相别	功率/kW	电量增量/(kW·h)	
			正向	反向
A: 5 A C: -2.5 A	A	0.432 9	0.03	0
	C	-0.216 4	0	0
	总	0.216 5	0.03	0
A: 2.5 A C: -5 A	A	0.216 4	0	0
	C	-0.432 9	0	0.03
	总	-0.216 5	0	0.03

由表5可以看出，在A相电流为正向、C相电流为反向且电流大小不一致的情况下，存在电能表的分相有功功率不为0但分相有功电量累积为0的

情况。总有功功率为正时，逻辑异常电能表A相电能增量和总电能增量一致，C相电能无增加。总有功功率为负时，逻辑异常电能表C相电能增量和总电能增量一致，A相电能无增加，和实际情况不符。因此判定逻辑异常电能表在错接线的情况下分相电能累积异常。

电能表的电能累积应为实时功率对时间积分的方式进行，而逻辑异常电能表在错接线的情况下实时功率计算正确，总电能按照实时功率对时间的积分进行正常累积，但分相电能未根据实时功率对时间进行积分累积，只根据功率方向将总电能累加到与总功率方向一致的分相电能寄存器中，导致分相电能累积发生错误。

3 结束语

电能表全检往往依据规程检定，试验电压、电流往往为标准源设备，未能覆盖现场反接、错接、窃电等复杂工况，仅能测试正确接线方式下计量误差情况。依托错接线在线诊断模型，快速锁定现场错接线电能表，并准确计算差错电量。本文在计算差错电量的过程中，发现了2种电能表计量逻辑错误的情况，通过用电信息采集系统数据测算、实验室检测2种方式，确认了总电量与分相电量累积错误的具体原因，最终依托高频功率曲线，重新复原了应计电量，保证了供用双方的公平贸易。

参考文献

- [1] 陈霄, 周玉. 新型三相三线电能表错接线快速判别方法研究[J]. 电测与仪表, 2014, 51(13): 5-8.
- [2] 毋育捷, 杜瑞娟. 智能电表远程抄表系统的设计与实现[J]. 光源与照明, 2022(9): 93-95.
- [3] 陈少先, 张瑾, 康广庸. 错误接线时差错电量计算中功率因数的求法[J]. 计量与测试技术, 2011, 38(03): 40-41.
- [4] 刘锦华. 电能表的错误接线及其检查方法[J]. 科技情报开发与经济, 2011, 21(20): 202-204.
- [5] 周丽梅, 郭航. 电能表智能校验台[J]. 电测与仪表, 2000(3): 35-36.
- [6] 沈明炎, 肖娜丽, 陈静, 等. 智能电表底层计量策略的设计与研究[J]. 市场监管与质量技术研究, 2022(5): 54-56+60.

作者简介

褚兴旺(1991—), 男, 工学学士, 工程师, 主要从事电能计量、用电信息采集系统监控等方面的工作。

(责任编辑:袁航)

智能直流集中驱动路灯改造示范项目应用分析

叶旭梁, 刘平

(重庆能投综合能源服务有限公司, 重庆 九龙坡 401445)

摘要: 传统路灯照明采用交流供电方式, 是一种成熟可靠的路灯照明方案, 其构成有LED光源、驱动电源、单灯控制器, 存在故障率高、高空维护工作量大等缺点。本项目应用智能直流集中驱动专利技术, 结合远程智能控制技术, 提出新的路灯照明控制方法、节能措施, 解决了交流供电的部分缺陷, 项目具备较好的安全性和节能效果。

关键词: 直流; 集中驱动; 路灯改造

中图分类号: TM923

Application Analysis of Intelligent DC Centralized Drive Street Lamp Renovation Demonstration Project

YE Xuliang, LIU Ping

(Chongqing Neng Tou Comprehensive Energy Service Co., Ltd., Chongqing Jiulongpo 401445, China)

Abstract: Traditional street lighting using AC power supply is a mature and reliable street lighting solution. However, due to its composition of LED light sources, driving power supplies, and single light controllers, it has defects such as high failure rates and heavy maintenance workload at high altitudes. This project applies intelligent DC centralized drive patented technology, combined with remote intelligent control technology, to propose new street lighting control methods and energy-saving measures. Solved some defects in AC power supply. Provide targeted suggestions and opinions by analyzing existing problems and defects. The project has good safety, reliability, and energy-saving effects.

Keywords: DC; centralized drive; street lamp renovation

1 工作原理和特点

1.1 直流集中驱动控制原理

智能直流集中驱动控制系统是采用集中电源控制箱将 380 V 三相交流电经整流模块整流转化为 220 V 的直流电, 通过正负两条电缆和一条均压线向直流 LED 灯具供电, 线路输出端为恒流模式, 取代传统 LED 灯具单灯控制器和单灯驱动电源。后台客户端管理系统实现自动定时分组启停^[1]。

智能直流集中控制系统照明方案, 其系统图如图 1 所示, 其构架主要包括直流集中控制电源箱、输电线路、直流 LED 灯及客户远程管理系统^[2-3]。

1.2 直流集中驱动控制照明特点

安全可靠提升。智能直流集中驱动方式, 前端通过模块式交直流电源转换器变交流为直流, 可消除路灯交流供电系统因雨天漏电而发生人员触电的安全隐患。按照 N-1 原则配置电源模块, 增强了供电可靠性。采用直流驱动, 脱离交流电网, 功耗低,

收稿日期: 2023-03-23

LED 灯具温升小, 灯具可靠性强。

运营经济性增强。该系统通过集中控制前移, 解决了传统路灯 LED 灯具内镇流驱动电路寿命短、高空维修费用高的痛点, 灯杆上的灯具最简化, 相比于传统 LED 的寿命提高 2 倍以上, 故障率低, 高空维护工作量大幅减少。最新 LED 路灯寿命大于 5 万 h, 可达到 10 年以上。

调光节能性好。直流集中控制驱动可对 LED 灯具按需调光, 减少设计时因光衰储备高亮度而造成的光浪费, 可在夜间高电压、低人车流动的工况下, 通过后台管控系统自动调整输出电流。

2 原路灯控制方式

某企业道路原 25#路灯控制点在 (1#) 大门门卫室内, 路灯分布于场内道路两侧, 道路全长约 1.5 km, LED 灯具功率 99 W, 使用了近 10 年, 其控制原理示意图如图 2 所示。原 1P 开关数目较多, 路灯采用交流供电方式, 开关控制交错布置, 该路段部分路灯线缆有支路搭接。例如宿舍、食堂周围

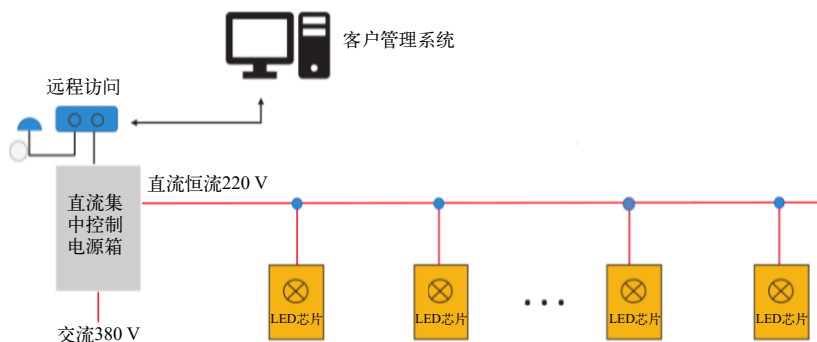


图1 智能直流集中控制系统示意图

路灯主线是从 25#回路取主电源。

3 施工难点及存在问题

根据现场施工条件，综合考虑电缆沟、井开挖工程、主线敷设、主体工程、线缆接头及实际施工难点和存在问题作了分析。

3.1 电缆沟开挖

在实际开挖线缆沟、查看旧线和灯杆水泥基础时，发现旧线缆不能复用，水泥基础必须打孔穿线。围墙侧电缆沟深度 100 mm，宽度 30~50 mm，在前期是人工打孔敷设线缆，后期在灯杆底部开孔敷设线缆用水泥回填，施工工艺不规范美观。

3.2 主线敷设

行人侧原主线缆沟有穿线空间，前期用穿线器全部疏通查看，确保所有路口不须再开挖，主电缆敷设过程中分段穿线布线，长距离拖拽电缆容易造成新电缆损伤，穿线体力消耗大，到布置电缆后期每个电缆井须有人带动电缆进行布线工作。另外，行人侧电缆井数目有限，须新制作电缆井，来回走线工作量大，导致主线接头较多。

3.3 主体工程

安装配电箱、灯和新线路以及调试等主体工程。

灯具更换工作耗时多，采用手推登高车和汽车登高车 2 种方式进行施工。初期采用手推登高车，更换一盏灯平均需要 30 min，作业人员 7 人，效率低；使用手推登高车 2 天换灯 21 盏。而使用汽车登高车当日换灯 26 盏，作业人员降至 3 人。

3.4 线缆连接

线缆接头较多。如图 3 所示，红色为正极、黄色为负极、绿色为回路线，控制回路是闭环直流并联电路，电缆不能一敷到底。原电缆井可利用但不能直通到灯杆内，导致灯杆到主线皆有接头。主线敷设中跨越路口、围墙、预留线不可控等因素导致电缆接头较多。

4 经济效果分析

4.1 新旧路灯用电监测情况

本次改造项目于 2022 年 6 月完成，采用最新的高效直流 LED 灯具，同时配合后台智能二次调光节能，实现产品更新换代和节能同步实现的目标。通过表 1 和表 2 可以看出，在不考虑夜间二次调节节能的情况下，改造后的灯具功率约为原来的 68%，节电率超 30%。初步计算年节电约 5 978 kW·h，按 0.52 元/kW·h 的电价测算，年节约电费 3 108 元。

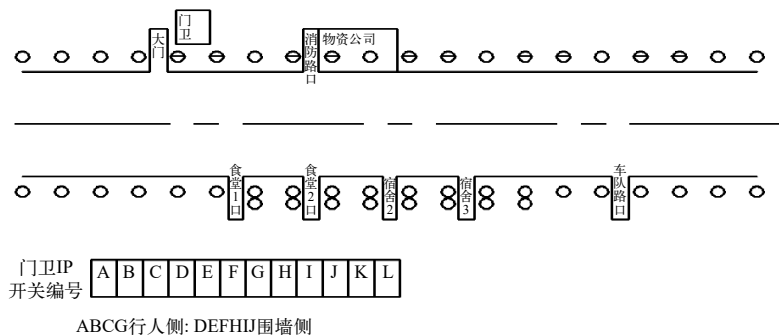


图2 某企业原路灯控制原理示意图

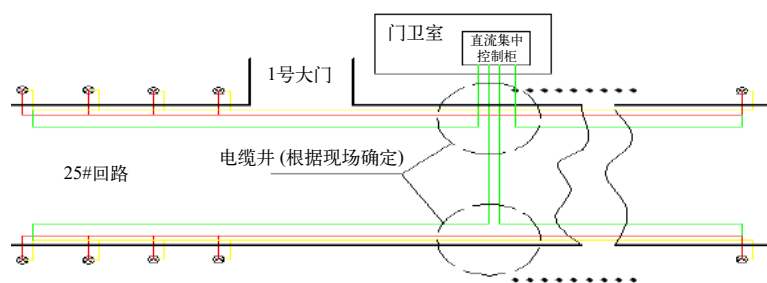


图3 控制原理示意图

表1 旧路灯用电监测统计

亮灯时长/h	灯数	起读数/(kW·h)	止读数/(kW·h)	总电量/(kW·h)	单盏功率/W	改造前总电量/(kW·h)
11	7	0.10	7.60	7.50	99	50.40

表2 新路灯用电监测统计

亮灯时长/h	灯数	起读数/(kW·h)	止读数/(kW·h)	总电量/(kW·h)	单盏功率/W	改造后总电量/(kW·h)
11	47	111.64	146.32	34.68	67	34.68

4.2 光效对比情况

为了验证改造项目光效情况，实施成员在现场设置12个监测点，经过感光核查和现场光效检测对比分析光效情况，如表3所示，换灯前后的照度明显增强了一倍以上；换灯前后的色温基本保持不变，视觉效果与原来效果一样，总体效果较好。

表3 新旧路灯光效对比统计

测试点	灯前照度值/Lx	换灯前色温/K	换灯后照度值/Lx	换灯后色温/K
1	26.4	3 603	63.6	3 497
2	34.3	3 593	83.0	3 477
3	12.7	3 573	22.7	3 562
4	15.2	3 590	59.5	3 526
5	5.1	3 574	23.4	3 569
6	6.3	3 583	28.8	3 603
7	8.9	3 577	12.8	3 578
8	11.9	3 568	20.2	3 597
9	24.4	3 596	21.2	3 589
10	29.3	3 582	39.1	3 588
11	26.8	3 602	68.8	3 505
12	34.6	3 585	85.9	3 483
平均值	19.7	3 586	44.1	3 548

5 存在的不足及建议

该项目采用的智能直流集中控制系统配合最新的LED灯具，至今已稳定运行8个月以上，节电效果明显。

经过实施现场全过程管控，该智能直流集中控制驱动系统存在一些不足，主要体现在：（1）灯具须采用直流240V的LED灯具，市面上供应相对较少；（2）后台控制系统不智能，还处于初级产品阶段，后续要持续升级；（3）原有线路改造工程量较大，原来的路灯系统比较规范时，才可以合理利用原来的电缆，降低工程造价；（4）可能出现正负极电缆一处断路导致整个路灯熄灭的情况；（5）缺少故障判断、维护保养手册，不利于项目推广。

根据上述情况，为进一步增强本方案的市场化推广，建议重点加强收资工作，排除难点、风险点，为项目策划和施工实施充分准备。前期调研线缆沟是否需要新开挖、灯杆基座是否规范穿管、主线路是否单一、是否存在搭接其他用电电源、原地理线缆规格和走向等。知悉原控制线路是否存在故障，掌握原电气控制原理图。加强施工组织设计、安全监管，符合国家住建部CJJ 45—2015《城市道路照明设计标准》。

参考文献

- [1] 卢茜. 直流集中供电LED智能照明系统的设计及应用[D]. 华北电力大学(北京), 2016.
- [2] 谢伟. 基于直流集中供电的第二代LED智能照明系统解决方案[J]. 电气时代, 2018(7): 75-76.
- [3] 张雪霁. LED集中直流供电系统的通信及调光控制研究[D]. 华南理工大学, 2012.

作者简介

叶旭梁(1986—)男, 助理工程师, 研究方向: 机电安装及检修。

刘平(1986—)男, 工程师, 研究方向: 战略规划及项目管理。
(责任编辑: 袁航)

沿海输电线路抗风能力评估探讨

徐 晖

(广东电网有限责任公司潮州供电局, 广东 潮州 521000)

摘要: 设计风速是架空线路设计的基本要素之一, 设计风速取值越高, 铁塔抗风能力就越大, 发生超越设计风速的事件概率越低。文章提出以杆塔抗风可靠度、设计气象荷载重现期、荷载因子3个因素为基础开展输电线路抗风能力的方法。

关键词: 可靠度; 设计气象荷载重现期; 荷载因子; 抗风能力

中图分类号: TM752

Discussion on Wind Resistance Assessment of Coastal Transmission Lines

XU Hui

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

Abstract: Design wind speed is one of the basic elements in the design of overhead lines. The higher the design wind speed value, the greater the wind resistance ability of the tower, and the lower the probability of events exceeding the design wind speed. This article proposes a research method for the wind resistance capacity of transmission lines based on three factors: tower wind resistance reliability, design meteorological load recurrence period, and load factor.

Keywords: reliability; design meteorological load return period; load factor; wind resistance

对于风荷载计算, 现行设计规范均存在忽略或低估阵风效应的问题, 无法从设计风速推导其最大耐受风速, 因此须验算其杆塔承受的最大风速并由此推算评估其抗风能力, 本文对基于杆塔可靠度的抗风能力评估方法进行介绍。

1 评估方法

1.1 逐基杆塔验算评估原则

由于我国设计标准遵循基础连接可靠性高于铁塔的设计原则, 因此一般基础抗风可靠水平高于上部杆塔结构。我国设计标准中的基础连接等设计强度较欧美标准保守, 大风风灾中也较少出现基础先于杆塔破坏的情况, 因此在杆塔体系中杆塔结构是抗风能力薄弱环节, 上部杆塔结构的抗风能力影响着结构最终的抗风能力, 故评估验算首先基于上部结构。对少数上部结构抗风能力较强, 而基础设计明显相对较弱或塔位地质地貌条件较差的塔位, 进行基础抗风能力复核评价。

1.2 欧美杆塔结构可靠度规定

欧标、美标、IEC 等国际较为通行的规范均以杆塔所能耐受的极限风荷载的发生概率为线路抗风可靠度评价尺度。

收稿日期: 2023-03-15; 修回日期: 2023-04-18

欧标、IEC 建议除临时线路外线路可靠度级别选择最低为 1, 220 kV 以上电压等级线路可靠度不宜低于 2。

由表 1、表 2 可看出, 国际通行规范不仅规定了由设计气象荷载重现期决定的抗风设计可靠度水平量化关系, 还规定了 50 年基准重现期风荷载与其他重现期风荷载的对应关系。

表 1 欧标 BS EN-50341、IEC-60826 规范抗风可靠度对应表

可靠度级别	气象荷载重现期 (荷载等效重现期) / 年	基于50年的 荷载因子 γ
1	50	1
2	150	1.20 (1.21)
3	500	1.40 (1.44)

注: 括号内数值为 IEC-60826 规范荷载因子值。

表 2 美标 ASCE-74 规范抗风可靠度标准对应表

可靠度级别	设计气象荷载重现期 (荷载等效重现期) / 年	基于50年的 荷载因子 γ
1	50	1.00
2	100	1.15
4	200	1.30
8	400	1.45

1.3 可靠度评价原则

依据线路结构抗风验算，可获得线路各基杆塔的最大耐受风速，然而决定线路杆塔抗风安全可靠水平的不是其最大耐受风速（极限风荷载），而是超越此风荷载的风灾出现的概率，或者说最大耐受风在气象中的重现期。

1.4 荷载因子与可靠度的关系

依据建筑结构荷载设计规范中各沿海城市 100 年与 10 年基本风压值，风振系数值为 0.25^[1]，可以得到与美标相似的可靠度及相关荷载因子表如表 3、4 所示。

表 3 沿海地区风荷载因子与重现期关系表

可靠度级别	设计气象荷载重现期 (荷载等效重现期) /年	基于50年的 荷载因子 γ
1	< 30	< 0.87
2	30	0.87
3	50	1.00
4	100	1.17
5	200	1.35
6	400	1.52
7	800	1.69

表 4 重现期关系与可靠度关系表

可靠度级别	设计气象荷载重现期/年	基于50年的荷载因子 γ	评价
1	< 30	< 0.87	极不可靠
2	30	0.87	不可靠
3	50	1.00	不太可靠
4	100	1.17	基本可靠
5	200	1.35	可靠
6	400	1.52	非常可靠
7	800	1.69	极其可靠

以上荷载因子推导结果为 100 年一遇风荷载为 50 年一遇的 1.170 倍，100 年一遇风速为 50 年一遇的 1.085 倍。

2 可靠度评价与选择

50 年一遇为欧美、IEC 标准中除临时线路外的

最低线路可靠度水平，因此耐受风荷载（风速）为 50 年一遇以下的可定义为不可靠，低于 30 年一遇的已经低于欧美对临时线路可靠度水平要求，因此定义为极不可靠。在欧标、IEC 标准中，可靠度中位水平为 150 年一遇，标准中建议 220 kV 以上线路及重要骨干线路可靠度水平选择应至少达到此可靠度。抵御 100 年一遇灾害为基本可靠可满足我国社会对基础设施安全可靠要求的心里期望，因此将 100 年一遇确定为基本可靠，200 年一遇确定为可靠。耐受风荷载达到 50 年但达不到 100 年的，仅是欧美线路的起步可靠度水平，因此定义为不太可靠。对于 400 年一遇的相当于欧美最高可靠度水平的耐受风荷载，可评价为非常可靠。由于我国电网规模大于欧美，风灾中线路破坏引起的停电造成的社会经济影响大，另外特高压线路也是欧美国家没有的，因此设定 800 年一遇已为目前我国乃至全球最高电网可靠度水平并定义为极可靠^[2]。依据上述分析设定如表 4 所示的可靠度水平对应评价。

线路改造重建涉及征地、停电等复杂问题，建设工期成本较大，因此已建线路抗风可靠度要求较新建线路可靠度要求宜低一两个级别^[3]，建议新建线路应达到的可靠度如表 5 所示。

表 5 已建线路建议可靠度选择表

可靠度级别	设计气象荷载重现期/年	基于50年的荷载因子	评价	线路类型
3	50	1.00	不太可靠	普通 110、220 kV 线路、重要城市配网，城市重要配网
4	100	1.17	基本可靠	普通 500 kV 线路，220 kV 及以下保底线路及其他重要线路等
5	200	1.35	可靠	500 kV 及以下线路，500 kV 及以下其他重要线路，220 kV 及以下大跨越等
6	400	1.52	非常可靠	特高压线路，500 kV 及以上大跨越

3 结束语

通过风荷载计算过程中若干系数乘积（包括但不限于风压不均匀系数、风荷载调整系数等）与荷

（下转第 92 页）

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

(国网安徽省电力有限公司凤阳县供电公司, 安徽 滁州 233100)

摘要:近年来, 凤阳地区分布式光伏发展迅速, 为强化低压分布式光伏供电服务, 依托营销系统、用电信息采集系统和一体化电量与线损管理系统, 对分布式光伏建设情况、光伏出力特性和对线损管理的影响进行分析。

关键词: 低压分布式光伏; 线损管理; 光伏出力

中图分类号: TM731

Analysis and Discussion on the Impact of Low Voltage Distributed Photovoltaics on Marketing Line Loss Management

ZHOU Bo, HAO Shengwu, XU Changle, FANG He

(State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Fengyang County Power Supply Company, Anhui Chuzhou 233100, China)

Abstract: In recent years, distributed photovoltaics have developed rapidly in the Fengyang area. In order to strengthen low-voltage distributed photovoltaic power supply services, relying on marketing systems, electricity information collection systems, and integrated electricity and line loss management systems, the construction situation of distributed photovoltaic, photovoltaic output characteristics, and the impact on line loss management are analyzed.

Keywords: low-voltage distributed photovoltaic; line loss management; photovoltaic output

近年来, 凤阳地区低压分布式光伏发展迅速。在标准完善、政策推动、技术进步、商业模式创新等多重因素带动下, 低压分布式光伏实现了高速增长。为强化低压分布式光伏供电服务, 提升营销精益化管理水平。国网安徽凤阳县供电公司(以下简称“公司”)依托能源互联网营销服务系统、用电信息采集、一体化电量与线损管理3大应用系统, 通过获取系统基础数据、查阅历史气象资料、理论研究、人工建模、线下大数据分析以及现场实测, 对低压分布式光伏建设情况、光伏出力特性以及光伏并网对线损管理影响3个方面展开研究分析^[1]。

1 低压分布式光伏建设情况

截至2023年3月, 公司区域低压分布式光伏用户9891户, 占比2.93%; 总装机容量120565 kV·A, 光伏台区1787个, 占比60.72%。低压分布式光伏基本选择全额上网模式, 其中全额上网用户9721户, 装机容量115866 kV·A; 自发自用余电上网用户170户, 装机容量4699 kV·A。2022年, 低压分布式光伏用户新增2463户, 光伏装机容量增长83360 kV·A。低压分布式光伏用户数量与装机容量整体呈现逐年

收稿日期: 2023-03-22

递增的趋势。

从台区分布看, 公司光伏整体呈现零散分布、部分区域装机集中的状况, 光伏用户数量在5户以内的台区1097个, 光伏用户数量在10户以上的台区237个。光伏渗透率在80%以下的台区1716个, 光伏渗透率在80%以上的台区有71个。

从装机容量看, 公司户均光伏装机容量为12.19 kW, 光伏装机容量在20 kW以下用户数量为8126户, 其中装机容量10 kW以下用户数量为4985户, 装机容量10~20 kW用户数量为3141户。从就地消纳水平看, 2022年, 公司光伏就地消纳台区共531个。1256个台区光伏存在无法就地消纳的现象, 其中光伏就地消纳率低于10%的台区共28个。

2 低压分布式光伏出力特性

光伏出力是指光伏可输出的有功功率, 温度一定的情况下, 光伏出力随着光照强度的增加而增大; 光照强度一定的情况下, 光伏出力随着温度的升高而增大。

2022年公司低压分布式光伏日户均发电量呈现正向分布, 在6月、7月达到峰值, 冬季光伏日户均发电量明显减少, 在春秋两季光伏日户均发电量

较高，达到分布式光伏最佳运行状态。

查询 2022 年历史气象数据，分析不同季节天气下公司低压分布式光伏用户 2022 年日户均发电功率可知，晴天作为理想光伏发电天气，光伏出力在 6 月达到峰值；多云天气光伏出力在 4—8 月保持相对平稳。阴雨天气光照强度远低于晴天和多云天气，而夏季是一年内相同天气情况下日均光照强度和温度最强的时刻，此时天气因素和季节因素的影响互相抵消，所以阴雨天发电峰值会由 5 月推迟至 8 月，在 9 月之后阴雨天气发电功率明显降低。

2.1 光伏出力影响因素

选取公司 2022 年 10 月和 11 月光伏数据（凤阳县 10—11 月温度均为 15℃ 左右），分析低压分布式光伏用户平均出力功率。由图 1 可知，在阴雨天气，光伏发电功率因光照强度弱而大大降低。在 10 月中旬连续的晴天时，光照条件较好，这一时段的发电功率在 10—11 月中处于极大峰值状态。

按照晴天、多云、阴天、雨天等天气信息，依次对公司低压光伏用户 2022 年日平均发电功率与温度变化之间关系进行分析。在晴天天气下，户均发电功率较为稳定，集中在 1.5~2.2 kW。随着温度的上升，户均发电功率逐渐增加，温度上升至 22℃ 左右时，发电功率达到峰值。在多云天气下，户均发电功率有较为明显的波动，为 1.0~2.0 kW。随着温度的上升，户均发电功率逐渐增加。28℃ 之后，随着温度的升高，户均发电功率上升趋势并不明显。在阴天天气下，户均发电功率有较为明显的波动，在 0.5~2.0 kW 变化。在雨天天气下，户均发电功率低于 14℃ 时波动不明显，在 0.5 kW 左右，高于 14℃ 后，随着温度的上升，户均发电功率有明显的

上升趋势。

值得注意的是，在晴天天气下，温度过高将制约光伏出力，特别是在夏季持续高温天气，这是因为温度过高将影响光伏组件发电效率。电池片的标准工作温度是 25℃，在大于 25℃ 的工作条件下，温度每升高 1℃，光伏组件的输出功率会相应衰减，为此同等条件下气温在 25℃ 时分布式光伏最优运行。

2.2 光伏台区消纳规律

以光伏台区总表是否存在反向电量来评估台区光伏的就地消纳水平，统计公司全部光伏台区 2022 年每月总表反向平均电量，如图 2 所示。台区反向上网电量在冬季最低，其次是夏季；春、秋两季光伏反向上网现象较为严重，表明光伏台区在冬、夏两季消纳能力较强，在春、秋两季消纳能力较弱。

3 低压分布式光伏对线损管理的影响

3.1 影响技术线损的主要因素

低压分布式光伏并网后可能会使用户电压质量、台区三相负荷平衡度、变压器负荷经济运行等发生改变，下面对这些影响因素进行分析。

3.1.1 电压质量

当光伏上网功率过高或上网点就近处无用电点时，光伏上网功率无法就近全部消纳，使得功率反向传输，会引起线路电压抬升甚至越限。从整体电压水平影响来看，光伏有功功率注入会抬高台区用户电压水平，电压越限会造成部分用电设备出现过热现象，严重影响其使用寿命和安全稳定运行。当光伏上网功率正常或者上网点就近处有用电点时，光伏上网消纳能力较强，会改善用户电压质量，降

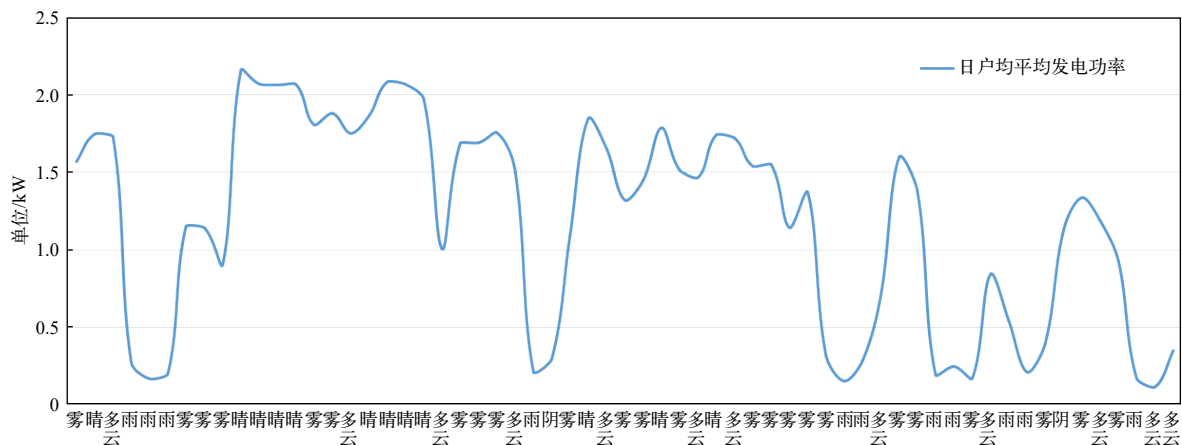


图 1 2022 年 10—11 月光伏出力分布

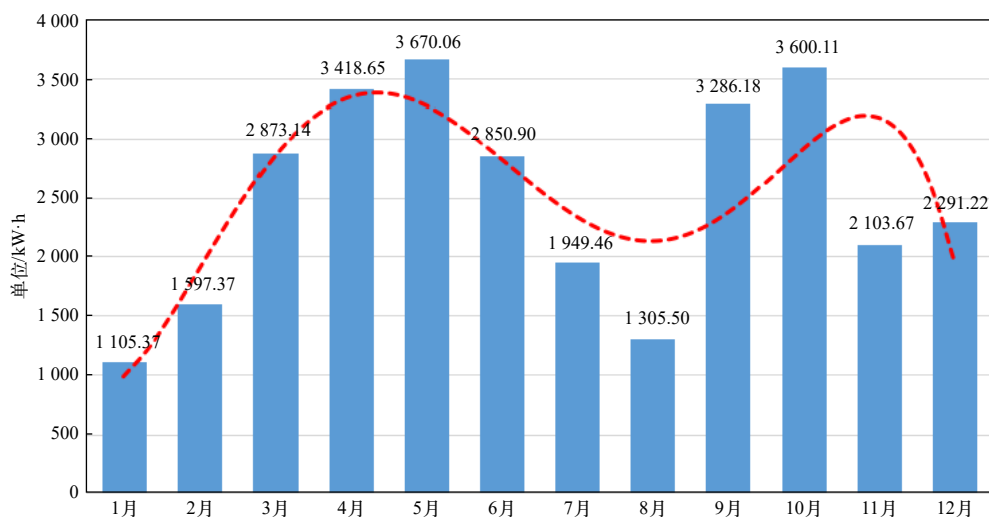


图2 光伏台区2022年每月总表反向平均电量分布

低台区线路损耗。

以公司某光伏台区为例，分析该台区某一天内总表电压的变化规律，在光伏出力时段内台区的总表电压较光伏出力前有明显抬升，且在12:00三相电压到达峰值且均越限，达到244V，可见光伏出力对光伏台区电压影响较为明显。

随机选取一户光伏用户，比较该户在某一天内电压的变化情况，可以看出在光伏出力时段内光伏发电电压有明显抬升，且在11:00左右三相电压到达峰值，约250V，可见光伏出力对光伏台区电压影响较为明显。比较同一天该台区低压用户电压的变化，在光伏出力时刻用户电压明显抬升，与光伏电压变化趋势相同。

台区电压与台区反向有功功率正相关。随机抽取同一光伏台区总表电压及总表有功功率数据，比较一天内有功功率和总表电压曲线，可以看出在光伏出力时段内，光伏电量无法消纳反向上网，台区电压随着反向有功功率的增加而抬升，在一定区间范围内存在线性关系，抬升幅度与线路的阻抗及变压器容量相关。

光伏台区反向有功功率越大，表明光伏电量在台区内消纳能力越弱，为确保有功功率能够在线路传输反向上网，在发电功率保持一定的情况下，光伏逆变器抬升电压，同时带动台区电压的上升，同时有功功率在线路传输中增加了损耗。同理，光伏出力时反向有功功率过小或者为零，表明光伏电量在台区内消纳能力强，能够使低电压用户得到改善，对降损有促进作用。

3.1.2 三相负荷平衡度

大量光伏的无序接入以及光伏出力变化影响，三相不平衡现象更加突出，这对电网和用户侧会造成一定的影响，降低电网对光伏发电的接纳能力。由于部分台区线路单相供电，会存在某一相或两相负荷较集中的情况，加上单相光伏发电系统的无序接入，会进一步加剧台区三相电流、电压的不平衡性，进而影响台区线损率。

光伏台区的三相不平衡度相对较高，且光伏出力越大，三相不平衡度更明显。随机抽取公司一个光伏台区，统计一天内96点的三相电压数据，计算低压台区三相电压不平衡度。在光照强度较大的10:00—14:00时间段，因光伏出力较大造成的低压台区三相电压不平衡情况更为明显。

3.1.3 变压器负荷运行

分布式光伏并网出力过大时，可能存在向上一级电网反向送电的现象，严重情况造成台区变压器反向过载现象。分布式光伏并网出力正常且在台区内全部消纳时，能够缓解变压器过载运行现象。

为分析光伏台区中变压器反向过载分布情况，随机统计公司某一天1797个光伏台区变压器负载数据，光伏台区中出现反向负载的台区数量为893个，占比为49.69%；反向负载率超过100%的台区有13个，占比为0.72%。

一些台区变压器反向过载容量超过变压器额定容量的60%，并且持续时间长。以公司某台区为例进行分析，在光伏出力时刻，光伏台区变压器的负载率由正向逐渐变成反向，在12:00左右反向负载率最高，达到74%，并且台区反向过载持续9h，

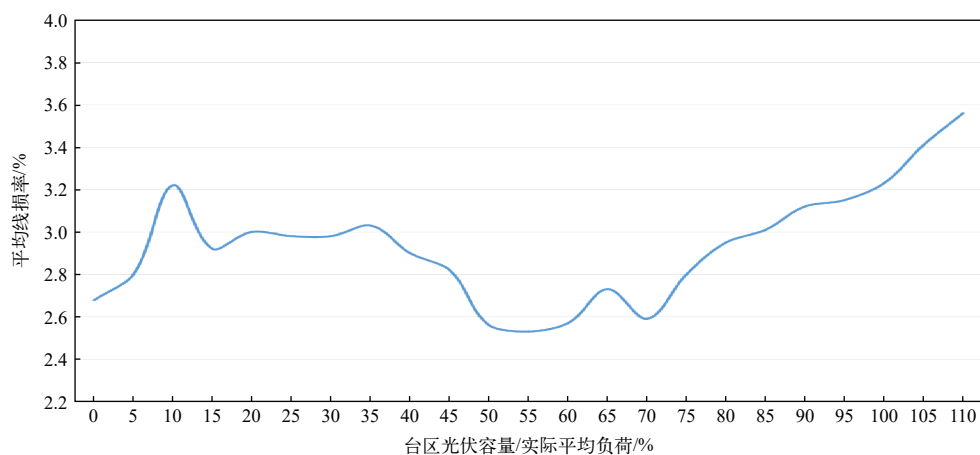


图3 光伏并网容量对台区线损率的影响

此现象是造成该台区高损的主要原因。

3.2 光伏台区线损率特性

针对分布式光伏并网容量对台区线损的影响，对公司 1 787 个光伏台区的装机容量与线损率进行统计分析，台区线损率随分布式光伏并网容量变化情况如图 3 所示。

随着并网容量与实际平均负荷比值逐渐增加，台区线损率总体呈现先减小后增大的趋势。其中光伏并网容量占实际平均负荷 50%~70% 时，台区线损率处在较低水平。当并网容量占比高于 95% 后，台区线损率将明显上升。

针对分布式光伏不同接入位置对线损率的影响，选取网架结构、用电负荷、光伏出力都相近且光伏安装位置不同的台区，通过对比线损率发现光伏出力位于负荷中心侧的台区线损率最低，在线路远处两侧的台区线损率相对较高。结合理论线损计算，可以得出随着光伏并网位置由靠近电源侧向线路末端侧移动，台区线损率先降低后增加。接入位置在线路负荷中段时，就近用电负荷由光伏输入，减少由变压器端传输的电能损耗，台区线损降低效果最明显。因此为降低台区线损率，光伏接入位置应选择台区负荷中心并靠近负荷密集区域。

随机抽取公司 205 个光伏台区，分析一天内光伏出力与分时线损率的对应关系。在光伏集中发电的 08:00—17:00 时段，台区分时段线损率出现不变、降低和升高 3 种情况。这主要因光伏接入位置、并网容量、用电负荷不同，使不同台区下光伏出力时消纳能力不同。

分析分布式光伏并网运行对台区线损率综合影响，须比对光伏台区在同等用电负荷、不同发电状

态下的线损率变化。查询历史气象数据得知，2022 年 10 月 19—26 日平均气温均为 14℃，且 19 日是晴天，26 日雨天。10 月 19 日光伏上网电量 43.16 万 kW·h，26 日光伏上网电量仅为 4.29 万 kW·h，低压台区供电量相近且负荷平稳，具备分析要求。统计 1 787 个光伏台区 2 日内的线损率，发现在剔除 47 个因表计轮换、系统采集等造成的台区线损异常数据后，对剩下的 1 740 个光伏台区进行分析，光伏台区线损率平均下降 0.61 个百分点，其中光伏发电后线损率环比下降的台区有 1 125 个，线损率环比上升的台区有 602 个，线损率保持不变的台区有 13 个。

4 结束语

光伏并网容量、位置、实际用电负荷的不同造成光伏消纳率不同。当光伏发电在台区内就近消纳时，能够促进公司台区综合线损下降，反之，当光伏发电在台区内无法消纳反向倒送甚至过载时，对台区降损有抑制作用，通过运用管理和技术的手段，使光伏台区渗透率、消纳率整体保持在相对合理的范围内。分布式光伏并网容量宜与实际负荷需求相匹配，并靠近台区负荷密集区域，尽可能减小台区线损率，实现分布式电源与电网协调有序发展。

参考文献

- [1] 赵全乐. 线损管理手册[M]. 北京: 中国电力出版社有限责任公司, 2007.

作者简介

周波 (1981—), 男, 硕士研究生, 高级经济师, 主要工作方向: 电力系统自动化技术。

(责任编辑: 袁航)

试论变电检修现场危险点与安全控制对策

唐 刚

(国网江苏省电力有限公司连云港供电分公司, 江苏 连云港 222000)

摘要: 在当前我国用电需求不断增加的背景下, 电网规模不断扩大, 而变电检修能够对电网中存在的潜在风险进行分析与控制, 确保电气设备稳定运行。文章从变电检修现场的变压器、母线倒闸、直流回路等危险点入手, 提出针对性的安全控制对策, 以便变电检修工作顺利开展。

关键词: 变电检修; 危险点; 安全控制

中图分类号: TM754

Discussion on Dangerous Points and Safety Control Paths at Substation Maintenance Sites

TANG Gang

(State Grid Jiangsu Power Supply Branch Lianyungang, Jiangsu Lianyungang 222000, China)

Abstract: Against the backdrop of increasing electricity demand in China, the scale of the power grid is constantly expanding. Substation maintenance, as an optimization measure for the power grid system, can analyze and control potential risks and hidden dangers in the power grid. Ensure stable operation of electrical equipment. This article mainly starts with hazardous points such as transformers, busbar switching, and DC circuits at the substation maintenance site, and proposes targeted safety control paths to facilitate the smooth progress of substation maintenance work.

Keywords: substation maintenance; dangerous points; safety control

1 变电检修现场危险点

变电检修现场危险点形成因素较为复杂, 为确保检修人员人身安全, 必须对相关危险点深入探究, 全面排查, 明确变电检修潜在的安全风险, 保障变电运维工作顺利开展。

1.1 母线倒闸危险点

母线倒闸操作作为变电检修工作中的重要环节, 其流程如图 1 所示。若检修人员不能严格按照操作顺序进行倒闸, 则可能出现一定风险。主要表现在 3 个方面: (1) 可能会出现带负荷拉刀闸的现象; (2) 可能会导致自动装置切换错误; (3) 开关的电容器易与电压互感器发生串联。这些危险点如果不加以重视, 将会对人员人身安全埋下隐患。

1.2 变压器危险点

变压器在运行过程中 2 个绕组相当于 2 个电感器, 当交流电压输入绕组时便使其形成电动势, 产生交变磁场。另一绕组受此影响会产生与其变化规律相似的感应电动势, 我们将这一感应电动势称为

电压, 于是另一绕组输出交流电压, 这便是变压器的运行过程。工作人员在切合变压器过程中, 一旦

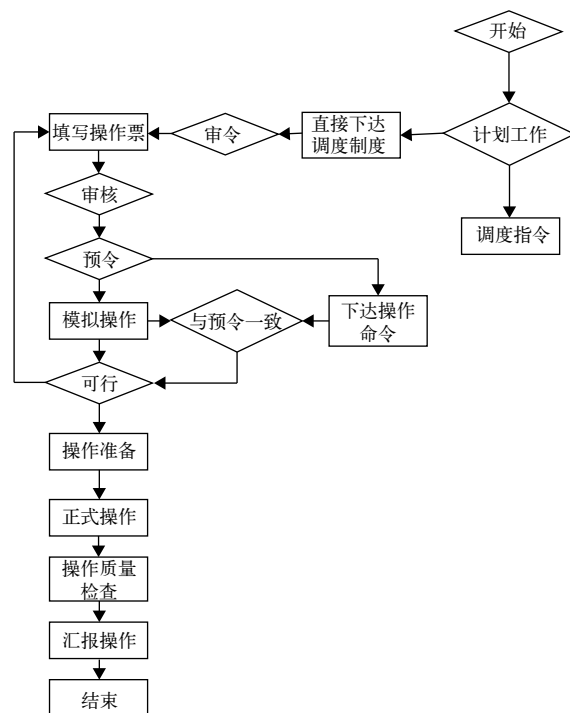


图 1 母线倒闸操作流程

收稿日期: 2023-04-07

出现过电压现象，将会危及变压器绝缘，若变压器的空载电压不断升高，最终会严重损坏绝缘体^[1]。

1.3 直流回路操作危险点

当检查直流系统的接地装置时，某些继电保护以及自动装置会发生临时性的检查、退出与投入。在此过程中，若操作不正确将会导致保护及自动装置发生误动作，使得变电系统发生故障。

1.4 环形网络并、解列操作危险点

在变电检修工作中，有关环形网络的并、解列操作也称为合环、解环操作，是变电检修中将一种方式转换为另一种方式的常见操作。变电系统的环网由不同电压等级的线路联接，在并解列过程中，除了操作要符合线路及变压器本身的操作要求外，还须注意操作不能超过系统内各元件允许范围^[2]。

2 变电检修现场危险点的安全控制对策

针对变电检修现场危险点，工作人员须从母线倒闸、变压器、直流回路操作以及环网并解列等工作入手，采取安全控制对策，严格按照操作规范进行，保障操作安全。

2.1 母线倒闸危险点的安全控制

首先，要对备用母线充电，若有母联断路器，可以使用母联断路器对母线充电。母联断路器的充电保护应在投入状态，必要时工作人员应将保护整定时间调整为0。这样一来，若备用母线在检修工程中出现故障，那么母联断路器会直接切除故障段，防止事故范围扩大。若没有母联断路器，工作人员应确认母线是否处于完好状态，也可以应用隔离开关充电，但是在此过程中须注意的是，选择隔离开关以及编制操作顺序时，一定要避免过负荷现象^[3]。除了运用母联断路器充电外，针对母线倒闸工作还须将操作电源拉开，防止母联断路器误跳闸，导致带负荷拉隔离开关出现事故。

其次，当工作人员在变电检修过程中将一条母线上的所有元件倒换至其他母线时，可以采用2种次序进行倒换：（1）将某元件的隔离开关与另一母线合并，而后将其隔离开关拉开；（2）将全部原件都合于另一母线后，将隔离开关拉开。选择何种次序须工作人员结合操作机构位置以及工作习惯决定^[4]。

最后，工作人员若须将设备倒换至另外一条母

线，或母线上的电压互感器发生停电现象，此时继电保护及自动装置的电压回路须转换，由另一电压互感器供电。工作人员一定要注意避免继电保护及自动装置失去电压发生误动。防止电压回路发生接触不良现象，或通过电压互感器二次向不带电母线反充电，导致电压回路熔断器出现熔断，造成继电保护误动。在对母线操作时一定要注意对母差保护的影响，根据母差运行规程开展相应的变更。在倒母线过程中母差保护应投入到使用中。由于母线装有自动重合闸，因此在完成倒母线工作后，必要时还须改变重合闸方式。

2.2 变压器危险点的安全控制

2.2.1 空载电压升高

工作人员在检修过程中应避免变压器空载电压升高现象。若出现该现象须及时采取措施，例如投入电抗器、改变有载调压变压器的分接头等，以此降低受端电压。此外，还可采取降低送端电压这一方法。若送端为单独向变电站供电的发电厂，那么可根据设备运行情况，降低发电厂电压。若发电厂还存在其他负荷，此时应对发电厂母线解列，且部分电源须按照设备要求单独调整电压^[5]。

2.2.2 切合空载变压器产生操作过电压

在变电检修现场，变压器中性点接地是为了避免在检修过程中出现操作过电压现象。由于变电站通常涉及大电流接地系统，因此工作人员在开展检修工作时，想要限制单相接地短路电路，须注意变压器设备的中性点接地情况，部分中性点可能不接地。这是因为变压器在运行过程中，会因为网络位置、绝缘安全、继电保护可靠动作等因素的影响，决定中性点是否接地。工作人员在切合空载变压器识别时，如果直接将变压器设备的中性点接地，那么在操作过程中可能会造成断路器故障，主要表现为三相不同期动作以及非对称开断。基于此，想要控制空载变压器产生操作过电压，须重视变压器中性点接地刀闸操作的正确性。

2.3 直流回路操作的安全控制

2.3.1 断路器合闸熔断器操作

断路器合闸熔断器指的是电磁操动机构的合闸熔断器。工作人员一定要谨记在断路器断开时取下，防止操作时出现误动作合闸现象。若合闸熔断器不是在断开断路器设备之后取下，而是在隔离开关拉

开之后取下，那么在拉开隔离开关的一瞬间可能会导致断路器误合闸，极易造成带负荷拉隔离开关事故。同理，在开展断路器送电操作时，应在推上隔离开关、合上断路器之前装上合闸熔断器。

2.3.2 直流控制熔断器的操作

在变电检修工作中，针对直流控制熔断器的操作应遵循以下几点：（1）工作人员将直流控制熔断器取下时，应遵循先取正极、后取负极的原则。安装时则相反。这样是为了防止在操作过程中产生寄生回路，避免保护装置误动作。须要注意的是装取熔断器要迅速，不得对其连续多次接通与断开，取下与接上操作之间应有不低于 5 s 的时间间隔。

（2）在检修中若须停用运行中保护装置的直流电源，那么首先要停用保护出口连接片，再停用直流回路。应注意恢复正常时次序相反^[6-7]。（3）在开展断路器停电操作过程中，在拉开断路器之前应做好断路器控制熔断器的安全措施，即要装设绝缘罩，或装设接地线，完成上述工作后可继续后续操作。这是因为当断路器未断开时，容易导致带负荷现象，此时若拉隔离开关，断路器会发生跳闸现象。

2.4 环形网络并、解列的安全控制

要有效控制环形网络并、解列操作，保障操作安全，检修人员须注意以下几点：（1）应保证相位一致，在完成初次合环操作后，须查看可能导致相位变化的因素，检修工作中开展合环操作，一定要开展相位测定工作^[7]；（2）及时调整电压差，针对环形网络并解列工作，检修人员一定要注意，最大允许的电压差为 20%，环网在特殊情况下最大电压差不能超过 30%；（3）合环后一定要保障各元件设备不能过载，设备运行时，节点电压不能超过规

定值；（4）针对系统环状并列动作，一定要重视并列处两侧电压向量间存在的夹角，整个环网的变压器结线角度应为 0°。此外，对于潮流分布产生的功率角，工作人员要结合设备运行实况，明确继电保护以及设备容量。须对继电保护进行校正，确保其不会误动作。

3 结束语

变电检修作为电力系统稳定运行的基础，能够保障变电设备稳定运行。从变电检修内容来看，变压器检修和直流回路操作，都存在一定危险点，工作人员须结合不同类型设备，探究其危险点并提出针对性的对应措施，保障检修工作安全开展。

参考文献

- [1] 郭琦. 变电检修现场危险点分析与安全控制研究[J]. 大众标准化, 2022,(18): 61-63.
- [2] 姜培兵, 石巧莉, 周晓琴. 变电检修现场危险点与安全控制策略解析[J]. 科技与企业, 2016,(2): 8-9.
- [3] 袁诚. 变电检修现场危险点分析与安全控制探讨[J]. 中国高新技术企业, 2017,(7): 206-207.
- [4] 焦文涛, 李志华, 李果. 变电检修现场危险点分析及安全控制[J]. 科技传播, 2013,5(2): 136+118.
- [5] 梁蒙蒙. 变电检修现场危险点及安全控制策略[J]. 中国市场, 2015,(42): 175-176.
- [6] 洪飞. 变电检修现场危险点分析与安全控制探讨[J]. 科技风, 2021,(1): 195-196.
- [7] 刘树龙. 变电检修现场危险点分析及安全防范控制[J]. 黑龙江科技信息, 2015,(35): 152.

作者简介

唐刚（1991—）男，硕士研究生，工程师，从事电力相关工作，输配电、用电工程及电力系统专业。

（责任编辑：袁航）

（上接第 85 页）

载因子的比较，可实现定量判断线路的可靠度级别。若以海岸区域可抵抗 15 级台风评价为“可靠”作参照，沿海地区原采用 SDJ 3—79《架空送电线路设计技术规程》设计的 110~220 kV 线路的总体可靠度处于“极不可靠”的水平。采用南方电网现行标准设计的 110~220 kV 线路的总体可靠度处于“基本可靠”和“可靠”的水平^[4]。

参考文献

- [1] 中国工程建设标准化协会. 建筑结构荷载规范: GB 50009—

2012[s]. 中国建筑工业出版社, 2012, 9.

- [2] 邵天晓. 架空送电线路的电力学计算（第二版）[M]. 北京：中国电力出版社，2003.
- [3] 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册（第二版）[M]. 北京：中国电力出版社，2003.
- [4] 中国电力企业联合会. 110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范 (GB 50545—2010) [M]. 北京：中国电力出版社，2010.

作者简介

徐晖（1988—），男，大学本科，中级工程师，主要工作方向为输配电。

（责任编辑：袁航）