

国家能源局组织发布《新型电力系统发展蓝皮书》

本刊编辑部

2023年6月2日，由国家能源局主办，电力规划设计总院、中国能源传媒集团有限公司承办的《新型电力系统发展蓝皮书》(以下简称《蓝皮书》)发布仪式在京举行。

2021年3月15日，习近平总书记在中央财经委员会第九次会议上提出构建新型电力系统，为新时代能源电力发展指明了科学方向，也为全球电力可持续发展提供了中国方案。为指导电力行业科学推进新型电力系统建设，国家能源局在组织11家研究机构开展“碳达峰 碳中和”背景下电力系统转型若干重大问题研究的基础上编制了《蓝皮书》，为电力行业转型发展指明战略方向。

《蓝皮书》的发布，有助于统一行业内外对新型电力系统的认识，也标志着新型电力系统建设进入全面启动和加速推进的重要阶段。目前我国电力供应保障能力稳步夯实，截至2022年底，我国各类电源总装机规模25.6亿kW，2022年全社会用电量达到8.6万亿kW·h，总发电量8.7万亿kW·h，电力可靠性指标持续保持较高水平，城市电网用户平均供电可靠率约99.9%，农村电网供电可靠率达99.8%。电力绿色低碳转型不断加速，电力系统调节能力持续增强，电力技术创新水平持续提升，电力体制改革攻坚成效显著。但多重因素叠加，我国电力系统保供电安全稳定运行仍面临着问题与挑战，适应新型电力系统的体制机制亟待完善。为完整、准确、全面贯彻落实党中央决策部署，积极践行“双碳”战略，推动构建新型能源体系，新型电力系统必须立足新发展阶段、贯彻新发展理念，重点在功能定位、供给结构、系统形态、运行机理、调控体系等领域顺应发展形势、响应变革要求，主动实现“四个转变”。

《蓝皮书》提出，按照党中央提出的新时代“两步走”战略安排，锚定“3060”战略目标，以2030、2045、2060年为构建新型电力系统的重要时间节点，制定新型电力系统“三步走”发展路径，即加速转型期(当前至2030年)、总体形成期(2030—2045年)、巩固完善期(2045—2060年)，有计划、分步骤推进新型电力系统建设。

《蓝皮书》明确，新型电力系统具备安全高效、清洁低碳、柔性灵活、智慧融合四大重要特征，其中安全高效是基本前提，清洁低碳是核心目标，柔性灵活是重要支撑，智慧融合是基础保障，共同构建起新型电力系统的“四位一体”框架体系。在总体架构与重点任务方面，《蓝皮书》提出要加强电力供应支撑体系、新能源开发利用体系、储能规模化布局应用体系、电力系统智慧化运行体系等四大体系建设，强化适应新型电力系统的标准规范、核心技术与重大装备、相关政策与体制机制创新的三维基础支撑作用。

气候变化给全人类生存和发展带来新的挑战。《蓝皮书》还对世界主要发达经济体能源电力转型进行了分析。2021年以来，世界多个国家和地区出现了能源电力短缺的局面，为适应新能源在系统中电量占比持续提升，国际主要发达国家立足于其国情和发展阶段制定了能源技术发展战略，通过电力转型适应大规模高比例新能源的并网与消纳。目前各国主要通过分布式发电和储能等领域技术革新，推动源网荷储多环节的深度融合，同时积极出台金融、财政、法规制度并完善电力市场建设，助力电力系统转型。各国重点转型措施也为我国新型电力系统构建提供重要参考和借鉴。

农村电气化

NONGCUN DIANQIHUA

2023年第7期 总第434期 1979年创刊

2023年7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 江苏省重点行业用电特征分析 孟 丹, 刘 进, 黄天科, 何庆儒

运行维护

- 5 RPA 机器人在电力营销业务应用中的实践 李小江, 赵 赞, 吴念霄
8 一种 110 kV 高压电缆故障应急抢修快速恢复技术研究
邱 扬, 温俊强, 李洪才
12 级差保护配电网自愈应用研究 陈 杰, 蓝海森, 周 旭, 麦耀光

安全生产

- 16 一起 110 kV 线路发展性故障导致 220 kV 主变保护动作的事故
分析 黄 岗, 邓德茂, 彭洪进, 王开波, 王 堃, 金基伟
19 某 220 kV 变电站的 110 kV 正母线母差动作原因分析
张 威, 张知宇, 操晨润, 周 刚

智能电网

- 22 高速公路可移动集装箱式充电站运营调配模式优化
钟 超, 万 君, 许程鹏, 张 哲, 陈子轩, 谢宇峰
28 基于混合仿真模式的典型双环型配电网自愈策略及试验分析
褚雯雯, 白东壮, 焦 涛, 王显力
33 基于“双中台”服务的营配本质贯通业务模式研究 钟晓剑

信息系统

- 38 考虑死区故障的馈线自动化技术研究 张贝贝
42 用电信息采集系统终端在线率的提升研究
杨小奕, 刘乃杉, 哲恺斌, 王 衍

QC小组

- 46 绝缘斗臂车内带电作业工器具取放盒的研制
操晨润, 杨振贤, 陆渊超, 钱若晨, 徐 智
50 一种适用于穿林架空线路的驱松鼠器的研制
周弘毅, 李 想, 高 原, 汪泽州
53 一种用电计量柜异常操作报警装置的研制
李 明, 蔡 潇, 王 维, 潘义云
57 提高配电终端在线率 吕春光, 陈冠望, 孔丹军



清洁能源

61 分布式光伏规模化接入对配电网的影响诊断分析
吕超然, 吕翔, 张文瑶

66 国内高空风力发电技术应用现状 肖利坤

器具设备

69 基于传统电能计量装置安装接线的改进研究
杨叶奎, 王林波, 赵阳

72 用于垂直双分裂导线弧垂调整的直线滑车研制应用
黄双得, 周自更

74 接线检测自动识别技术在互感器仿真培训装置中的应用
邹静, 徐耘英, 王涛

经验点滴

78 一起 110 kV 组合电器 SF₆ 气体泄漏处理与分析 尚嘉诚

80 基于计量自动化系统的电量波动研究分析
陈成, 陈永发, 肖惠敏

82 架空线路杆塔基础滑坡机理分析及防控技术措施
魏志雄, 杨柳辉, 孙立

85 变电站直流系统绝缘接地故障检测及处理
王军, 胡松华, 王瑞虎

89 查处窃电典型案例 李万, 黎海生, 李景村

资讯

前插页 国家能源局组织发布《新型电力系统发展蓝皮书》
本刊编辑部

7 河北雄安新区第 100 座开关站投运

15 河北石家庄公司: 部分县域实现时段性 100% 绿电供应

18 新疆第二座 750 kV 全站 GIS 变电站建成投运

27 山东东营公司: 高效推动海上风电项目并网发电

32 四川乐山公司: 数字化电力警务指挥中心正式运行

37 国家能源局成功举办 2023 年华东区域跨省区大面积停电事件
应急演练

45 福建厦门公司: 虚拟电厂平台上线试运行

49 我国首条输送“沙戈荒”新能源为主的电力通道开工

60 江苏苏州公司: 实施太湖生态岛引水上山配套电力工程

84 山东聊城公司: 220 kV 干渠变电站建成投运

广告

封面 北京华商三优新能源科技有限公司

封 2 盛天智能机器人(广东)有限责任公司

封 3 北京太岳天成科技有限公司

封底 盛天智能机器人(广东)有限责任公司

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

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 Analysis on Electricity Consumption Characteristics of Key Industries in Jiangsu Province/MENG Dan, LIU Jin, HUANG Tianke, HE Qingru

◆ Operation & Maintenance ◆

- 5 Practical Research on RPA Robot Service for Grassroots Applications in Power Grid Enterprises/LI Xiaojiang, ZHAO Yun, WU Nianxiao
8 Research on a Fast Recovery Technology for Emergency Repair of 110 kV High Voltage Cable Faults/QIU Yang, WEN Junqiang, LI Hongcai
12 Research on the Application of Differential Protection and Self healing of Distribution Networks/CHEN Jie, LAN Haisen, ZHOU Xu, MAI Yaoguang

◆ Safety ◆

- 16 Analysis on an Accident of 110 kV Main Transformer Protection Action Caused by a Developmental Fault on a 110 kV Line/HUANG Gang, DENG Demao, PENG Hongjin, WANG Kaibo, WANG Kun, JIN Jiwei
19 Analysis of the Causes of 110 kV Bus Differential Operation in a 220 kV Substation/ZHANG Wei, ZHANG Zhiyu, CAO Chenrun, ZHOU Gang

◆ Smart Grid ◆

- 22 Mode Optimization of Expressway Charging Station Based on Mobile Charging Station/ZHONG Chao, WAN Jun, XU Chengpeng, ZHANG Zhe, CHEN Zixuan, XIE Yufeng
28 Self-healing Strategy and Experimental Analysis of Typical Double-loop Distribution Network Based on Hybrid Simulation Mode/CHU Wenwen, BAI Dongzhuang, JIAO Tao, WANG Xianli
33 Research on the Business Model of Marketing and Distribution Essence Perforation Based on "Double Middle Platform" Service/ZHONG Xiaojian

◆ Information System ◆

- 38 Research of Feedback Automation Technology Considering the Dead-zone Fault/ZHANG Beibei
42 Research on Improving the Terminal Online Rate of Electricity Information Collection System/YANG Xiaoyi, LIU Naishan, ZHE Kaibin, WANG Yan

◆ QC Group ◆

- 46 Development of Pick-and-place Box for Live Working Tools and Appliances in Insulated Bucket Arm Vehicles/CAO Chenrun, YANG Zhenxian, LU Yuanchao, QIAN Ruochen, XU Zhi
50 Development of a Squirrel Repellent Suitable for Overhead Lines Through Forests/ZHOU Hongyi, LI Xiang, GAO Yuan, WANG Zezhou
53 Development of Abnormal Operation Alarm Device for Electricity Metering Cabinet/LI Ming, CAI Xiao, WANG Wei, PAN Yiyun
57 Improve the Online Rate of Distribution Terminals in Gaochun Urban Area/LYU Chunguang, CHEN Guanwang, KONG Danjun

◆ Clean Energy ◆

- 61 Diagnostic Analysis of Distributed Photovoltaic Large-scale Access on Distribution Network/LYU Chaoran, LYU Xiang, ZHANG Wenyao
66 Research on Application Status of High Altitude Wind Power Generation Technology in China/XIAO Likun

◆ Equipment ◆

- 69 Research on Improvement of Installation Wiring Based on Traditional Electric Energy Metering Device/YANG Yekui, WANG Linbo, ZHAO Yang
72 Development of Linear Pulleys for Vertical Double Split Conductor Adjustment/HUANG Shuangde, ZHOU Zigeng
74 Application of Automatic Identification Technology for Wiring Detection in Transformer Simulation Training Device/ZOU Jing, XU Yunying, WANG Tao

◆ Experiences ◆

- 78 Treatment and Analysis of SF₆ Gas Leakage of 110 kV Gas Insulated Substation/SHANG Jiacheng
80 Research and Analysis of Electricity Fluctuation Based on Measurement Automation System/CHEN Cheng, CHEN Yongfa, XIAO Huimin
82 Mechanism Analysis and Prevention and Control Measures for Landslide of Overhead Line Tower Foundation/WEI Zhixiong, YANG Liuhui, SUN Li
85 Detection and Handling of Insulation Grounding Faults in the DC System of Substations/WANG Jun, HU Songhua, WANG Ruihu
89 Model Cases Inspected and Processed Steal Electric Power/LI Wan, LI Haisheng, LI Jingcun

江苏省重点行业用电特征分析

孟丹, 刘进, 黄天科, 何庆儒

(江苏省工程咨询中心有限公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 工业是我国国民经济的主导行业, 同时也是能源资源消耗和碳排放的重点领域。随着碳达峰碳中和目标的推进实施, 工业领域终端用能电气化率持续提升, 加上大规模可再生能源接入的随机性和波动性, 对电网的承载能力、稳定性和灵活性提出了严峻挑战。研判工业用电负荷需求, 加大智能电网建设布局, 对推进产业绿色低碳高质量发展至关重要。

关键词: 重点行业; 用电量; 双碳; 电气化

中图分类号: TM727

Analysis on Electricity Consumption Characteristics of Key Industries in Jiangsu Province

MENG Dan, LIU Jin, HUANG Tianke, HE Qingru

(Jiangsu Engineering Consulting Center Co., Ltd., Jiangsu Nanjing 210003, China)

Abstract: Industry is the leading industry of China's national economy, and it is also a key area of energy resource consumption and carbon emissions. With the implementation of the carbon peak and carbon neutrality goals, the continuous increase in the electrification rate of terminal energy consumption in the industrial field, coupled with the randomness and volatility of large-scale renewable energy access, pose severe challenges to the carrying capacity, stability and flexibility of the power grid. Studying and judging the demand for industrial electricity load and increasing the layout of smart grid construction are crucial to promoting the green, low-carbon and high-quality development of the industry.

Keywords: key industries; electricity consumption; dual carbon; electrification

1 重点用能行业发展现状

2020年,我国工业领域能源消费总量33亿t标准煤、用电量5.2万亿kW·h^[1],占全国能源消费总量66.75%左右,全年工业用电量占全社会用电量67.45%。江苏省作为全国的制造业大省,近年来全社会用电总量不断增加。根据江苏省统计年鉴^[2-8],2015—2021年,全省用电量年均增长率约5.67%。2021年,全社会用电量突破7000亿kW·h大关,达到7101亿kW·h,增长率达到11.41%,其中工业用电量为4523亿kW·h,占全社会用电量的63.70%。以钢铁、石化、化工、建材、有色、纺织、造纸为代表的7大重点行业用电量占工业用电量的36%,占全社会用电量的25%以上。

在产业产值方面,“十三五”以来,受产业政策、能耗“双控”及环保政策的影响,全省钢铁、石化、化工、建材、有色以及纺织、造纸等7大重点行业的发展均受到了一定的制约,产业整体呈现

收稿日期: 2023-04-13

收缩性发展状态,营业收入呈逐年下降趋势,7大行业营业总收入从2015年的45530亿元下降至2020年的34378亿元。与此同时,钢铁、建材、有色等产业,经过不断整合、优化、提升调整,低端低效产能逐步淘汰退出或被兼并重组,产能转型升级之后产业集聚发展效应显著,同时受市场整体回暖的影响,到2021年各行业营业收入均呈现了上涨趋势。

在产值占比方面,“十三五”期间,受钢铁市场行情及全省石化产业布局的影响,全省钢铁、石化行业在制造业总产值中占比略有提升,而化工、建材、有色、纺织、造纸行业的占比整体均呈现下降趋势,产业整体发展趋于成熟稳定,如图1所示。

2 重点用能行业电力消费情况

钢铁行业。近年江苏以“钢铁大省”向“钢铁强省”转型为目标,加速形成沿江沿海两个钢铁产业集聚区,严格控制沿江地区的钢铁产能,推动沿

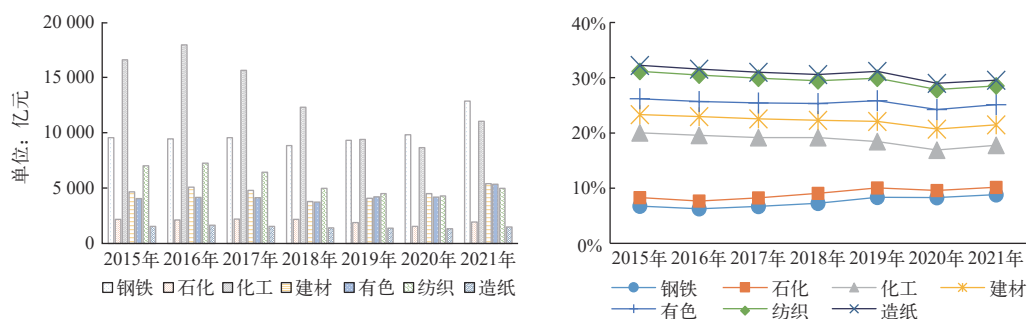


图1 江苏省重点用能行业历年营业收入及占比^[2]

江地区存量产能提档升级，加快实施落后冶炼产能退出和搬迁工作。随着钢铁产业不断整合和发展，钢铁行业用电量变化呈现先上升、后下降再上升的变化趋势。钢铁行业占全社会的用电量比例呈现先上升后下降的趋势，从2015年的9.55%下降到2021年的7.08%，如图2、图3所示。

苏省化工行业经过多轮行业整治，全省低端低效产能明显减少，绿色发展显现新成效，化工企业总数压减率达68%，“重化围江”问题得到有效缓解。2017年前，全省化工行业用电量呈现明显的上升态势，2017年达到顶峰后，随着行业整治效应的凸显，逐步下降，在全社会用电量中的占比从2015年的8.42%降低到2021年的5.91%，如图4、图5所示。

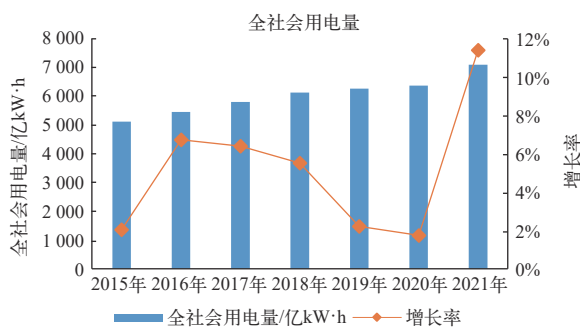


图2 全社会用电量变化图

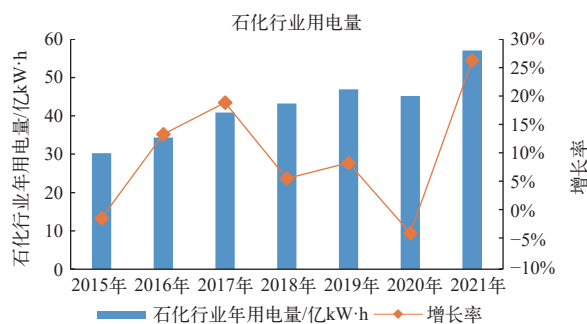


图4 石化行业用电量变化图

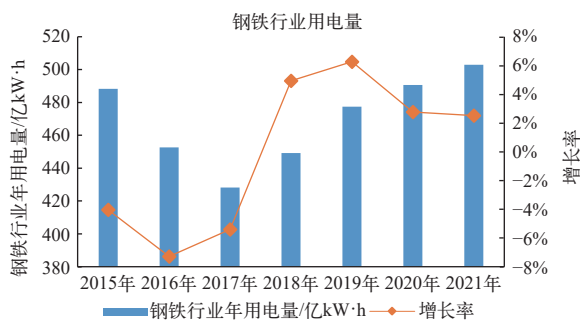


图3 钢铁行业用电量变化图

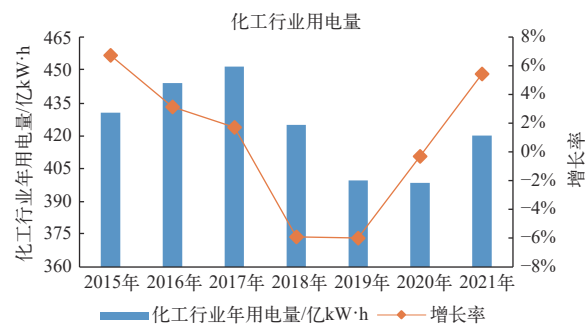


图5 化工行业用电量变化图

石化行业。江苏省石化行业用电量从2015年的30亿kW·h增加到了2021年的51亿kW·h，年均增长率约11.56%，在全社会用电量中的占比不断增加，从2015年的0.59%上升至2021年0.80%。随着盛虹炼化一体化项目、中化江苏高端精细化工产业基地等项目投产，全省石化行业用电量仍将保持快速增长状态。化工行业。“十三五”以来，江

建材行业。“十二五”期间，全省省建材行业面临产能严重过剩、市场需求不旺、下行压力加大的严峻形势，进入“十三五”后，全省加大供给侧结构性改革，推动建材行业走“高端化、绿色化、智能化”发展路径，行业节能减排提质增效成果显著。“十三五”期间，建材行业用电量呈现逐年递

增趋势，占全社会用电量的比例呈现稳中有降态势，从2015年的3.68%降低到2021年的3.16%。有色行业。“十三五”期间，先进有色金属材料是全省战略性新兴产业的重点领域。但有色行业作为高耗能、高污染行业，近年受资源环境的限制，产业规模较为稳定，年用电量稳定在60亿kW·h左右，占全社会用电量的比例从2015年的1.26%下降到了2021年的0.95%，如图6、图7所示。

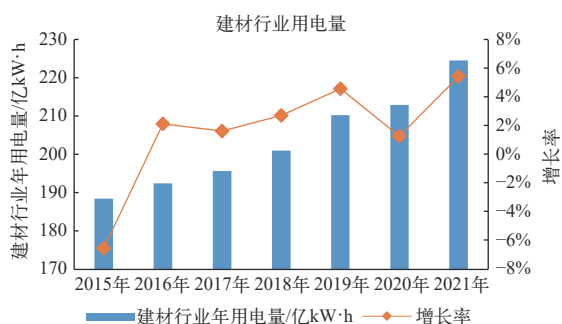


图6 建材行业用电量变化图

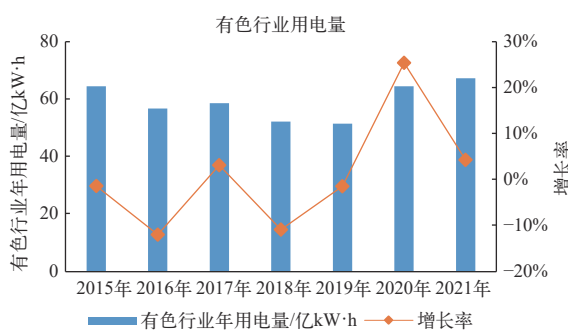


图7 有色行业用电量变化图

纺织行业。“十三五”以来，纺织行业加快集聚集约发展，实现了产业形式和发展方式的绿色升级，纺织行业整体产值呈现了先降后升的发展态势，其中2020年受宏观经济环境和市场变化影响，行业产值出现了较大的下坡，行业用电量也创造了410.04亿kW·h新低，其他年份稳定在450亿kW·h左右，占全社会用电量的比例从2015年的8.5%降低到2021年的6.38%。造纸行业。“十三五”期间，造纸行业受中美贸易战、环保大督查、供给侧改革、废纸政策变化等多重政策影响^[9]，市场需求疲软，行业不景气，2018年行业整体营业收入呈现了明显的下降趋势。用电量方面，行业用电量整体呈现缓慢上升趋势，由2015年的49亿kW·h增长到2021年的79亿kW·h，2018年与2017年持平，占全社

会用电量的比例从2015年的0.96%增长到1.11%，如图8、图9所示。

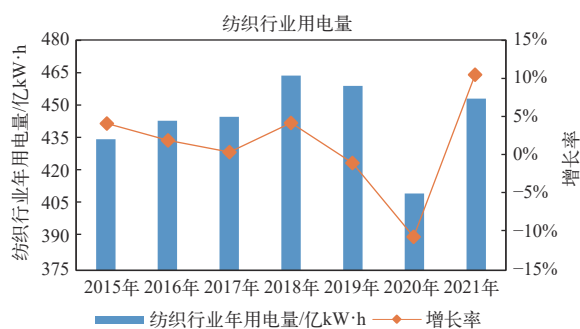


图8 纺织行业用电量变化图

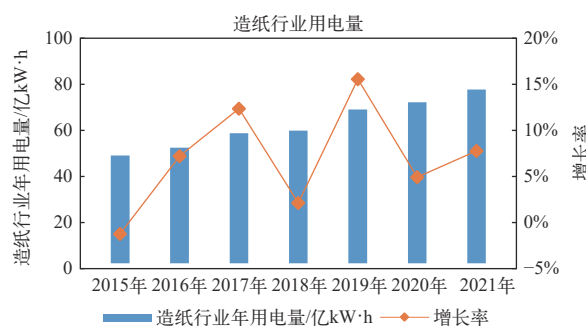


图9 造纸行业用电量变化图

3 重点用能行业发展趋势

2020年，我国工业部门电气化率26.2%，电气化发展趋于平稳，其中四大高载能行业电气化率17.8%，电气化发展潜力巨大^[10]。我国工业《工业领域碳达峰实施方案》提出要推动工业用能电气化，综合考虑电力供需形势，拓宽电能替代领域，在铸造、玻璃、陶瓷等重点行业推广电锅炉、电窑炉、电加热灯技术，开展高温热泵、大功率电热储能锅炉灯电能替代，扩大电气化终端用能设备的使用比例^[11]。随着工业领域终端用能设备电气化的推进，工业领域能源消费结构将持续优化调整，工业部门电气化率将不断提高。江苏省作为工业大省，受产业规模提升和电能替代的双重影响，2030年前重点用能行业的用电规模仍将面临较大增幅。

一是重点用能行业电能替代空间巨大。2016—2018年国网江苏电力推动全省累计完成替代电量达370.9亿kW·h，实现减排二氧化硫、氮氧化物、烟尘分别约17.3万t、5.8万t、2.5万t。江苏成为全国电能替代规模最大省份，与沪、浙、粤相比，江苏能耗降幅最大、总量增幅最小，电能替代有力地促

进了全省万元 GDP 电耗逐年降低。考虑到电能替代容易实施的项目已基本完成，后续增长将进入平缓区，预计“十四五”时期，全省电能替代电量累计达到 560 亿 kW·h 左右，电能站终端能源消费比重大到 35% 左右。

二是重点用能行业新增用电需求显著。受终端用能电气化趋势及能耗“双控”、碳排放“双控”等多种因素影响，重点用能行业持续加大投资力度，积极引入绿色电力消纳，以期降低对全社会能耗“双控”和碳排放“双控”的影响。在碳达峰碳中和推进进程中，行业终端消费电力占比将持续不断提升。“十四五”期间，7 大重点用能行业新增用电总量将达到 413 亿 kW·h。结合 2020 年，7 大重点行业用电总量基数 1 695 亿 kW·h，预期到 2025 年，全省六大重点用能行业用电总量将达到 2 108 亿 kW·h。

4 结论和建议

受到政策发展因素的制约，江苏省钢铁、建材、有色等行业规模已趋于稳定。随着连云港石化基地的建成，将带动全省石化、化工以及下游的纺织行业产能规模进一步提升，综合考虑产业规模的发展和工业领域终端用能电气化趋势，全省重点用能行业电力消费需求仍有较大增长空间。且随着苏南产业布局优化和全省产业向苏北及沿海地区的转移，未来重点用能行业新增电力需求预期将集中在连云港、南通、盐城和宿迁等地。为应对大规模新增电力需求，建议区域电网提前开展产业用电需求分析预测，加强电网建设与产业布局的协调性，为产业高质量健康发展提供电力安全保障。

4.1 加快开拓电能替代市场

加强售电公司的营销服务，与政府有关部门、主要用电企业及时沟通，掌握有产业转移功能的各类园区建设推进情况。针对钢铁企业、化工企业等具备电能替代的重点单位，过定期或不定期走访，及时掌握发展最新进度，提前介入为用户做好电力服务。同时，建立电网营销体系与市场拓展之间的联动机制，全力促成高载能产业转移负荷早日落地生根、及早发挥效益。

4.2 优化电网建设布局

加强电网建设与产业布局的协调性。优化 220 kV

输电网分区规模，结合江苏省产业布局方向，在现有分区基础上根据须要调整优化、设置备用联络线，提高区域间事故支援和转供负荷能力。针对特色产业园区，全面推行模块化设计、规范化选型、标准化建设，完善提升配网规划体系、建设标准和供电质量。

4.3 加强谋划绿色电力交易

在碳达峰碳中和政策背景下，为面对传统高耗能行业、能源消费指标紧缺，已有多个高耗能、高耗电项目及部分地市考虑通过购买可再生能源电力来进行能源消费指标抵扣，对未来江苏省的绿色电力消费市场和交易规模将会快速增加，因此建议提前做好电力交易市场的有关服务，开拓电力消费增值服务。

参考文献

- [1] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [2] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [3] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [4] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [5] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [6] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [7] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [8] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [9] 徐媚. 江苏省造纸工业2018年运营概况及未来发展展望[J]. 中华纸业, 2019, 40(11): 59-61.
- [10] 中国电力企业联合会. 中国电气化年度发展报告2021. 中国建材工业出版社, 2022.
- [11] 工业和信息化部 国家发展改革委 生态环境部. 关于印发工业领域碳达峰实施方案的通知.[EB/OL]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5717004.htm. 2022-07-07/2023-04-13.

作者简介

孟丹(1990—), 女, 工程师, 主要从事工作为碳达峰碳中和、能源绿色低碳转型等研究。

刘进(1987—), 男, 高级工程师, 主要从事工作为新能源、终端用能电气化等研究。

黄天科(1989—), 男, 工程师, 主要从事工作为碳达峰碳中和、工业节能等研究。

(责任编辑: 张峰亮)

RPA 机器人在电力营销业务应用中的实践

李小江, 赵 贇, 吴念霄

(国网新疆电力有限公司昌吉供电公司, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 在电网企业基层员工日常工作中, 在各类系统中推进各项流程任务、不同系统调取数据并产生新的数据报表或报告, 以及面对海量数据面前完成数据分析校对是日常耗时常规工作。原因在于电网企业内部存在多种系统应用的割裂感、业务断点多、数据共享困难等问题。在电网企业推进数字化企业转型的浪潮下, 帮助基层人员减负, 提高员工效率和积极性才能更好完成工作。而RPA技术正在旨在解决繁杂低效、耗时耗力任务的重要手段, 用好RPA技术, 推进电网企业数字化转型已经成为大势所趋。同时, 打通数字化系统壁垒是电网企业实现末端融合、数字化转型的最终目标。

关键词: RPA 机器人; 电力营销; 流程自动化

中图分类号: TM764

Practical Research on RPA Robot Service for Grassroots Applications in Power Grid Enterprises

LI Xiaojiang, ZHAO Yun, WU Nianxiao

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

Abstract: Promotion of various process tasks in various systems, retrieval of data from various systems and creation of new data reports or reports, completion of data analysis and proofreading in front of massive data are routine and time-consuming tasks in the daily work of grassroots employees in power grid enterprises. The reason for the problem lies in the sense of fragmentation among various system applications, multiple business breakpoints, and difficulties in data sharing within the power grid enterprise. Helping grassroots personnel reduce burden and enhancing staff productivity and passion are crucial expression of better completing work under the wave of advancing digital enterprise transformation in power grid enterprises. RPA technology is aimed at solving the complex and inefficient, time-consuming tasks of important means and using RPA technology to promote the digital transformation of power grid enterprises has become a trend. Furthermore, the opening of digital system barriers is the ultimate goal of the network enterprises to end-to-end integration and digital transition.

Keywords: RPA robot; electricity marketing; process automation

解放生产力一直是电网企业在基层业务提高工作效率追求的目标, 基层职工在繁杂的系统、海量数据面前往往进行着单一而重复的工作, 从而耗费了大量的时间和精力。国家电网有限公司 8 项主要目标中, “科技创新实现新突破”和“企业治理取得新进展”2 项指标都在以创新为基础驱动企业发展。同时公司 2023 年工作会议中, 也把“持创新驱动发展, 加快实现高水平科技自立自强。着力打造原创技术策源地, 提升科技攻关体系化能力, 持续激发创新创造活力”作为年度重点工作之一。

收稿日期: 2023-05-05

1 RPA 流程自动化机器人的介绍

RPA (robotic process automation) 作为一种新型自动化技术, 在打通系统互联通道、解决基层重复的、有规则的、不变的工作, 有极高的应用前景和应用效率, RPA 在企业数字化转型基层创新方面有着无可比拟的优势。RPA 机器人以拟人的工作模式, 零代码模块化的开发方法, 极低的开发成本在各行各业中迅速崭露头角。RPA 机器人以每个员工私人助理的形式出现, 让基层员工的工作更快乐、更高效、更有创造力, 业绩也得以提升^[1]。

RPA 机器人将特定功能（如点击、录入文打开文件）的底层编程语言进行打包并生成图形化功能模块，同时使模块具有所需信息的输入接口，并将该模块结果输出。如同电路中的各类符号一样，业务人员无须理解电路中每个元件的作用，只要知道该电路对于输入、输出量的关系就可以了^[2]。

2 供电服务工单短信预警中的需求分析

2.1 业务痛点和需求分析

为了扩展用户办电渠道、畅通用户沟通方式，国网新疆电力有限公司正在全面推广网上国网 App 线上办电。当用户通过多种渠道发出的业扩变更、新装申请均会集中在国网新疆电力有限公司供电服务指挥平台中，基层营销业务人员需要在 2 h 内进行受理并处理工单。该工作职责由供电所台区经理、业务受理员担任，台区经理、业务受理员由于日常工作安排无法做到实时系统查询，且在休息时间、节假日更换值班人员时，易出现工单超时问题。若利用 RPA 机器人实现供指工单的自动监控，并对超出一定时限的工单进行短信预警，将极大降低工单超期的可能性，减轻工作人员频繁登录系统的压力，为基层减负。图 1 所示为业务人员工作中的工作流

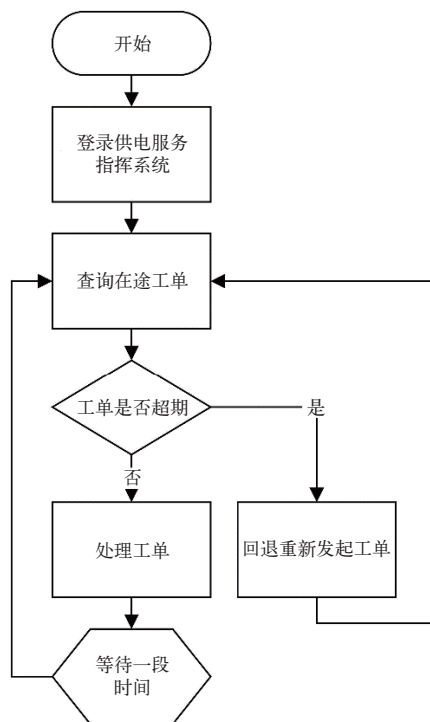


图 1 业务人员受理供电服务指挥系统工单流程

程，以此图分析利用 RPA 机器人可以完成的日常监督任务。

台区经理、业务受理员须 24 h 登录供电服务指挥系统，为防止业务受理超 2 h，业务人员一般每 1.5 h 左右查询一次供电服务指挥系统进行查询受理工单。

2.2 RPA 机器人功能开发的技术实现

基于业务人员的工作过程，将 RPA 功能与人员操作流程进行比对，以实现 RPA 机器人开发的可行性研究。表 1 为业务人员实际工作所对应 RPA 功能的具体实现。

表 1 RPA 短信机器人的具体功能的实现

序号	业务人员操作	RPA功能实现		
		功能	功能参数	提供参数
1	登录供电服务指挥平台	启动浏览器	浏览器类型、网址	网址
2	查询在在途工单	点击目标	点击位置	“查询”按钮
2	阅读工单	抓取数据	抓取位置	抓取位置
3	逐条检查工单	遍历数据	数据数组	已抓取数据
4	判断工单时长	计算数组	时间变量	当前时间、工单时间
5	处理工单	/	/	/
6	生成短信	在目标中输入	文本变量	工单编号、时间、名称及目标手机号
7	短信发送	点击目标	点击目标	“发送”按钮
8	等待	延时	时间	时间 (s)

RPA 机器人完全模仿了业务人员操作的全过程。由于程序在整个工单监控过程中始终保持运行，并进行循环监控，因此程序要进行模块化设计，对相应的功能实现复用，不同的工单内容通过变量进行传递。此外，监控工作须保证持续稳定运行，须加入运行状态监控功能，若监控出现意外错误，应通过声音提示值班人员干预。图 2 为 RPA 短信机器人的设计思路。

短信机器人由“数据抓取”模块实现在途工单的查询和读取功能。由“数据遍历”模块实现工单的逐个读取并判断工单时间。针对时长超时限工单利用“短信发送”模块进行短信发送提示。同时，用程序抛出异常功能对程序实现运行状态监控，异

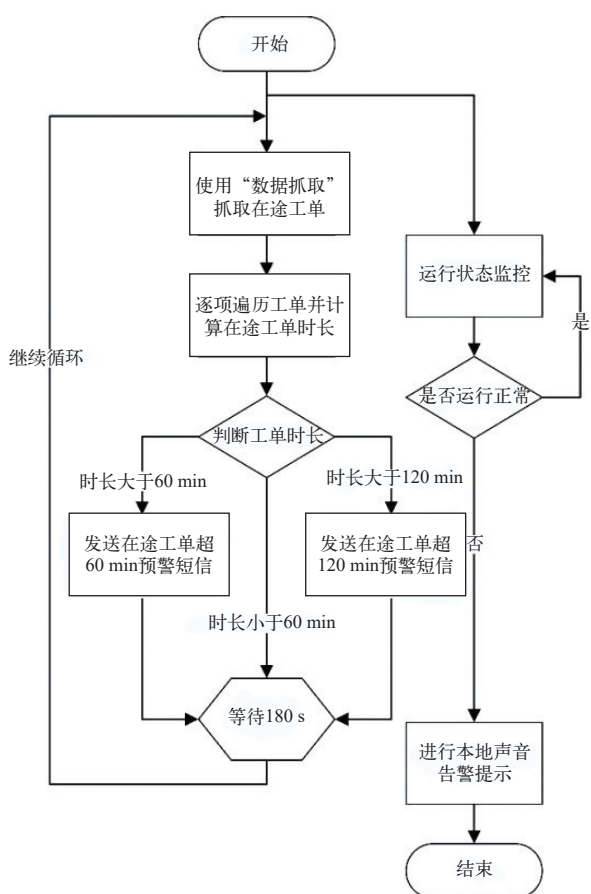


图2 RPA 短信机器人的设计思想

常时通过声音提示提醒业务人员进行干预。

2.3 RPA 机器人的应用效果

利用 RPA 短信机器人实现工单监控后，若在相应时间工单未及时处理，业务人员将收到短信提醒。

在程序出现异常或网络异常、供电指挥系统检修导致无法运行时，短信机器人可能无法通过短信平台发出短信提醒工作人员干预，因此采用本地声音提醒的方式提醒业务人员干预。

3 结束语

RPA 机器人是数字化软件产品，其一次开发，可以无限制的长期使用，且不须投入其他人力成本。RPA 机器人的价值由机器人工作场景的广泛性和节约的时间价值决定。而短信机器人解决了业务人员需要 24 h 坚守计算机前的痛点问题，在无工单时可实现机器人自动值守，存在未处理工单时，在指定时间向业务人员发送短信提醒处理。公司自短信机器人运行以来，已向业务人员发送预警短信 450 条，

警告短信 210 条。除供电指挥系统检修外，机器人实现了 7 × 24 h 稳定运行。

此外，业务人员具备长期和大范围推广 RPA 机器人应用的能力时，学习足够的专业开发知识，熟悉模块复用、异常纠错和条件判断的逻辑处理能力显得十分重要。RPA 开发知识的学习边际成本极低，当熟悉各项功能后，RPA 机器人开发应用对业务效率的提升将产生立竿见影的效果^[3]。

参考文献

- [1] 葛大维. 探索财务机器人 (RPA) 在财务共享中心的应用[J]. 福建质量管理, 2020(14): 60, 36.
- [2] 刘子闻. RPA+AI 引领智能办公的机器人时代[J]. 上海信息化, 2020(8): 31-33.
- [3] 马莉娟, 沈娜娜, 陈刚. RPA 在电网行业财务领域的应用探索[J]. 科技与创新, 2018(22): 16-20.

作者简介

李小江 (1992—), 男, 工程师, 用电监察技师, 工作方向: 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: 电能计量装表接电、检验检测、采集运维专业。

吴念霄 (1993—), 女, 工程师, 工作方向: 营业服务。

(责任编辑: 张峰亮)

资讯

河北雄安新区第 100 座开关站投运

2023 年 6 月 28 日 01:35, 河北雄安新区容东片区商业地块 75 号开关站投运。该站是雄安新区投运的第 100 座开关站, 可进一步优化容东片区配电网网架结构, 提升区域供电可靠性。

自 2020 年以来, 雄安新区供电公司目标配电网建设投资达 11.12 亿元, 共投运开关站 100 座, 新建线路 246 km, 覆盖容东、容西、胥岗、雄东、绿博园等片区。该公司通过部署 4 类智能化系统, 实现故障隔离和故障恢复“秒级自愈”, 大幅提升了雄安新区配电网的资源配置能力、安全保障能力和智能互动能力, 为雄安新区大规模发展建设提供了可靠电力保障。

目前, 雄安新区启动区服务雄安宣武医院、体育中心等客户的 9 座开关站正处于建设关键期, 将于下半年陆续投产, 届时可进一步完善雄安新区配电网网架结构。

信息来源: 《国家电网报》

一种 110 kV 高压电缆故障应急抢修快速恢复技术研究

邱 扬, 温俊强, 李洪才

(国网山东省电力公司青岛供电公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 为解决目前高压电缆故障恢复时间较长的问题, 提出了一种针对 110 kV 高压电缆故障快速恢复技术, 首先根据高压电力电缆插拔式快速接头的绝缘结构以及电场分布有限元数值分析, 研制能够实现不同截面的电缆快速对接功能的接头; 然后, 根据电缆双向快速展放和回收技术, 进一步实现故障后电缆的快速连接及分离, 能够满足实际工程需要; 最后, 构建了高压电缆快速恢复集成抢修平台, 并研制高压电缆快速恢复应急抢修设备。相关性能试验结果表明, 该装备显著缩短了高压电缆应急抢修时间, 具有良好的经济社会效益。

关键词: 高压电缆; 故障快速恢复; 快速对接接头; 双向快速展放; 应急抢修

中图分类号: TM726.4

Research on a Fast Recovery Technology for Emergency Repair of 110 kV High Voltage Cable Faults

QIU Yang, WEN Junqiang, LI Hongcai

(State Grid Shandong Electric Power Company Qingdao Power Supply Company, Shandong Qingdao 266000, China)

Abstract: In order to solve the problem of long recovery time for high-voltage cable faults at present, a fast recovery technology for 110 kV high-voltage cable faults is proposed. Firstly, based on the insulation structure and finite element numerical analysis of the electric field distribution of the plug-in quick connector for high-voltage power cables, a connector capable of achieving fast docking functions for cables with different cross-sections is developed. Then, by utilizing bidirectional rapid cable deployment and retrieval technology, the rapid connection and separation of cables after faults can be further achieved to meet practical engineering needs. Finally, an integrated emergency repair platform for rapid recovery of high-voltage cables was constructed, and emergency repair equipment for rapid recovery of high-voltage cables was developed. The relevant performance test results indicate that the equipment significantly shortens the emergency repair time of high-voltage cables and has good economic and social benefits.

Keywords: high-voltage cable; rapid recovery from faults; quick docking joint; bidirectional rapid deployment; emergency repair

随着经济与社会的发展, 电缆在电能传输中得到了越来越广泛的应用^[1-2]。在各大城市的基础设施建设中, 由于地下空间资源较为紧张, 许多建设工程紧邻电力管线施工, 容易造成电缆隧道被外力破坏、隧道坍塌等事件, 且部分密集敷设隧道存在较高火灾风险^[3]。传统电缆故障抢修方式耗时较长, 为保证快速恢复电力供应, 研究高压电缆故障快速恢复技术及相关装备具有重要现实意义。

在高压输电电缆线路的实际运行中, 对电缆安全运行造成威胁的因素主要包括: (1) 由于电缆本体缺陷而导致的绝缘击穿; (2) 由于路面塌方、隧

道火灾、断面丧失、自然灾害等外部原因造成电缆故障。目前电缆发生故障后最常用处置方案是运维人员通过巡视和专用工具对电缆线路进行检测, 定位出故障点, 进而原线路上停电检修以恢复供电。然而, 受地形条件限制及测量人员经验及技能影响, 导致短时间内无法对线路进行故障定位和应急抢修, 电缆故障恢复时间往往较长^[4-5]。为有效应对此类风险造成的隧道电力电缆故障, 本文积极研究高压电缆快速恢复技术, 重点聚焦在 110 kV 电缆断线故障发生后, 如何用最短时间恢复临时供电的应急抢修技术及工程装备研制。

收稿日期: 2022-05-15

电力电缆快速抢修恢复技术 (即旁路转电技术)

于90年代后期在日本得到使用，主要应用场景为6 kV城市配网系统架空线路故障不停电抢修。随后，我国北京、云南、宁波、重庆等电力公司先后引进了部分旁路转电技术，当时此项技术的实现方式耗费材料过多，需大量特殊辅助器材以完成旁路转电作业，并且要求参与操纵人员具备长期专业性培训，故而限制了该技术在应急方面的应用^[6-7]。

目前，国内外对于旁路转电技术的研究仅仅停留在10 kV配网的低压水平，针对高压电缆（特别是110、220 kV电压等级）旁路转电技术中关于电缆与故障电缆的应急抢修快速连接涉及较少，而通过调研所知，高压电缆故障快速恢复抢修是电力运检、供电保电亟待突破的难点，高压电缆快速恢复抢修技术的需求量大，目前大型城市都对其有需求，保障在电缆线路出现故障时，通过快速恢复抢修技术及设备，尽可能地快速恢复临时供电。因此，研究高压电缆故障快速恢复抢修技术，开发针对110 kV电压等级的电缆适用的快速恢复技术及设备的前景广阔。

针对上述问题，本文提出一种应用于110 kV高压电缆的快速恢复技术，首先研究了高压电缆快速连接及分离技术，适用于连接不同截面电缆的工程需要。然后，基于电缆的双向快速展放实现抢修电缆和原有电缆的快速对接。最后，研制了高压电缆快速恢复集成装置。试验表明，基于本原理的装备能够大幅度降低高压电缆故障恢复时间，为城市电缆的应急抢修提供了强有力的技术支撑。

1 研究目标

高压电缆快速恢复技术主要研究的技术应用场景主要包括以下几种情况：应用于各种原因导致的原电缆线路故障且无法短时间内快速复电的情况，提升快速抢修的响应速度、作业效率和质量，例如：高压电缆线路直埋段或排管敷设段电缆发生故障，隧道内发生火灾、灭火时封堵了部分线路，部分电缆故障后进水而又不具备处理条件，自然灾害等其他因素导致的无法快速复电的情况，直埋敷设电缆线路，故障点无法准确定位、须开挖某一段电缆，或者电缆线路采用排管敷设，排管某一段电缆出现故障需要整体更换，电缆线路运行过程中出现故障导致隧道起火、出现大面积烧毁的情况。

2 技术方案

为实现抢修电缆与现场原有电缆的快速连接，有效节省现场的抢修时间，本文对110 kV电压等级高压电缆的快速连接技术进行了专题研究与攻关。考虑到通常情况下，高压电缆应急抢修设备中的抢修电缆为固定的某一种截面，可能与现场原有线路的电缆截面不一致，甚至存在两种电缆截面跨度较大的现象，所以在快速连接技术研究过程中需解决电缆异径对接的问题；此外，还需实现抢修电缆与现场原有电缆的快速连接分离，并可满足多次、重复使用的工程要求。

2.1 高压电缆快速连接及分离技术研究

基于高压电力电缆插拔式快速接头绝缘结构和电场分布有限元数值分析^[8-9]，以及复合材料的界面压强对介质界面沿面放电的电压值变化的影响的研究结果，通过如下技术突破，针对应急抢修的工况及需求，完成了快速接头的绝缘结构设计。

通过应力锥结构控制电场均匀分布。

在插拔的过程中，复合材料的界面始终保持足够的正压强。

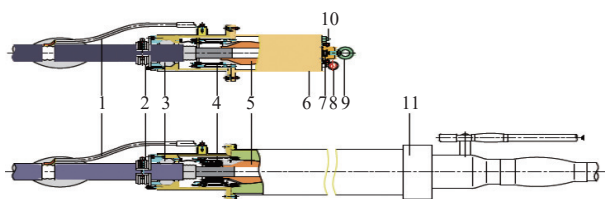
控制界面弹性变形量，使之不改变应力锥有效几何尺寸的范围。

在插拔过程中，采取措施自动排除空气，并且避免形成负压。

通过对弹性变形的疲劳寿命进行合理设计，保证接头的多次插拔可靠性。

在绝缘结构设计中最为关键技术是电场控制应力锥设计^[10]，基于长期的电缆绝缘技术研究经验及技术储备，本文攻克了电缆应急抢修快线接头特制应力锥的研制，插拔头连接过程中电缆与中间接头的界面压强的研究设计，跨截面异径对接等关键技术。快速连接及分离技术，实现电缆快速插拔头在电缆故障应急抢修时，快速实现电缆的对接，并保证安全可靠的供电、保电，满足防水、通流、耐压、温升和阻抗等各项电气指标的要求。

本文所研制的电缆应急抢修快速接头结构如图1所示，快速接头连接，尾管与电缆护套绝缘采用压封密封处理，既保证密封，又能够方便拆卸；金具采用插拔式压接金具，并在金具上设置牵引吊环，满足电缆敷设时牵引用；在电缆两端电缆插拔



1-接地线;2-专用抱箍;3-压封胶圈;4-锥托;5-应力锥;6-保护罩;7-密封罩;8-气压表;9-牵引吊环;10-充气阀;11-接头主体。

图1 电缆快速接头结构示意图

头处设置密封保护罩,可充氮气防潮,并设置了观测压力表,对电缆快速接头进行保护。

2.2 电缆双向快速展放和回收装置技术研究

电缆双向快速展放和回收装置技术研究内容包括专用电缆盘结构和展放装置的研究,可在施工现场实现抢修电缆的双向快速展放,确保抢修电缆能快速敷设到预定位置,实现和现场原有电缆的快速对接;在线路恢复正常供电后,还可实现抢修电缆的双向快速回收。

本节重点研究了抢修电缆的双向快速展放和回收技术、专用电缆盘的结构设计、电缆盘驱动及协调控制,成功设计研制了快速抢修专用电缆展放装置,如图2所示。

2.3 高压电缆快速恢复集成装置的技术研究

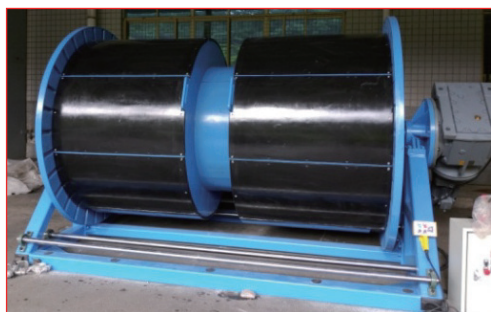
为了适应电缆应急抢修的快速响应,提升抢修效率和质量,高压电缆快速恢复集成装置是整个高压电缆快速恢复应急抢修技术的关键平台。通过合作攻关,成功研制了110 kV电压等级高压电缆的快速恢复集成装置,形成了集成高效的应急抢修平台,如图3所示。

该集成装置通过将专用电缆盘、快速接头、专用工具、动力系统、转运系统等各部件高度集成与整合,实现高压电缆快速恢复应急抢修设备的灵活转场和现场故障线路的快速应急抢修作业,最终实现故障线路的快速恢复送电。

110 kV 高压电力电缆应急抢修设备为集成厢式结构,其主要由发电机组舱、电缆及其展放装置舱、工器具及配件舱组成。

3 研究成果

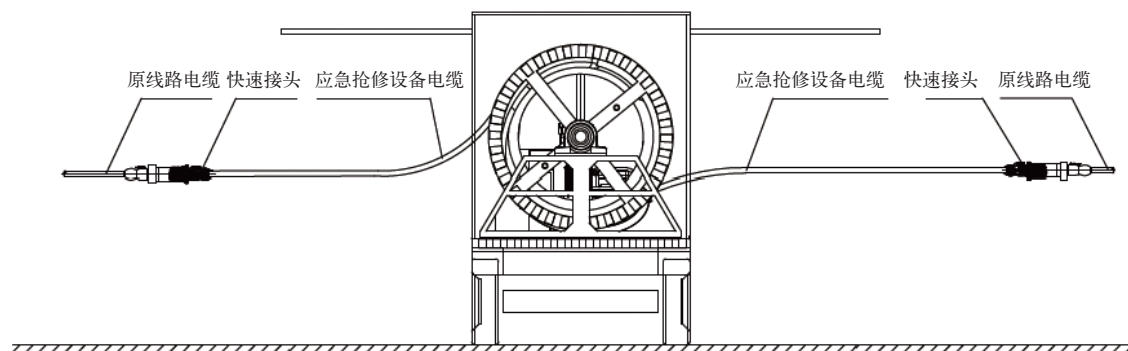
基于高压电缆应急抢修需求,对高压电缆快速恢复技术应用需求进行分析,得出适合高压电缆快速恢复应急抢修关键技术的实施方向,研究编制高压电缆快速恢复应急抢修关键技术设计方案,研制



(a) 电缆展放装置



(b) 实物总图



(c) 电缆展放系统连接图

图2 电缆展放及连接结构示意图



图3 高压电力电缆应急抢修设备主要结构示意图

设计高压电缆快速恢复应急抢修设备及快速恢复工艺，并对高压电缆快速恢复应急抢修设备的相关性能试验研究。

目前，高压电缆快速恢复技术研究在国内外研究成果较少。本文通过对抢修电缆的双向快速展放和回收，抢修电缆与现场原有电缆的快速连接及分离技术等的研究，成功完成了国内首套高度集成的110 kV 高压电缆快速抢修恢复设备的自主研发，该技术及装备的应用和推广实现了电缆接头抢修的效率提升和恢复时间缩短。

本文统计了青岛地区110 kV 电缆故障抢修的平均用时，对比了应用本电缆应急抢修解决方案的用时，得到结果如表1所示。传统应急抢修方法包含重新敷设电缆、加热校直、制作中直接头过程，多个流程无法并行进行^[11-12]，耗时可达2~3 d。而本文方法通过电缆快速连接接头及双向展放技术，显著降低高压电力电缆快速抢修恢复供电所需时间至5~8 h，满足现场应急抢修的快速性要求。

表1 本技术与传统技术耗时对比

电缆故障抢修耗时	目前通常工艺	应急抢修快速恢复技术
110 kV 电缆故障维修复电时间	2~3天	5~8 h
110 kV 电缆中直接头安装净用时	15 h	3 h

目前，已通过一系列试验验证了110 kV 高压电缆快速抢修恢复设备的有效性和可靠性，并形成了电缆快速接头抢修安装的标准工艺流程，以此项技术为基础，后续可优化电缆隧道故障快速恢复应急处置现场预案，为电网安全提供更加坚强的保障。

4 结束语

通过应用应急抢修快速恢复技术及成套装备，采用电缆快速接头的快速连接技术，可将110 kV 中

间接头净时间缩短至3 h，110 kV 电缆临时恢复时间缩短至5~8 h，有效解决了高压电缆故障抢修时间长的问题，应用前景广阔，具有显著社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 杜伯学, 李忠磊, 杨卓然, 等. 高压直流交联聚乙烯电缆应用与研究进展[J]. 高电压技术, 2017, 43(2): 344-354.
- [2] 欧阳本红, 华明, 邓显波. 高压交联电缆材料及工艺发展综述[J]. 绝缘材料, 2016, 49(7): 1-6+13.
- [3] 鹿洪刚, 覃剑, 陈祥训, 等. 电力电缆故障测距综述[J]. 电网技术, 2004(20): 58-63.
- [4] 罗俊华, 邱毓昌, 杨黎明. 10 kV及以上电力电缆运行故障统计分析[J]. 高电压技术, 2003, 29(6): 14-16.
- [5] 樊友平, 武利会, 康李一, 等. 110 kV XLPE 电缆GIS内锥插拔式快速中直接头的设计[J]. 高电压技术, 2016, 42(2): 485-495.
- [6] 张锦秀, 蓝耕, 范云刚, 等. 带电旁路作业用插拔式快速电缆终端和接头[J]. 高电压技术, 2005(5): 50-51+54.
- [7] 周曙琦. 基于旁路带电作业法的移动负荷转供系统的研究[D]. 广西: 广西大学, 2016.
- [8] 余海涛, 邵可然, 罗俊华. 用有限元法优化高压电缆参数[J]. 高电压技术, 2004(3): 3-4+8.
- [9] 李华春, 章鹿华, 周作春. 应用有限元方法优化应力锥设计[J]. 高电压技术, 2005(11): 55-57.
- [10] 卓金玉. 电力电缆终端结构中的应力锥电场数值分析和模拟实验研究[J]. 电工技术学报, 2000(2): 15-19.
- [11] 张建. 110 kV及以上交联聚乙烯电力电缆故障探寻检测技术的探讨与实践[D]. 华北电力大学(北京), 2015.
- [12] 刘润生, 李炎, 张磊, 等. 110 kV及以上交联聚乙烯电缆故障快速恢复系统的研究[J]. 高电压技术, 2018, 44(zk): 81-85.

作者简介

邱扬(1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事输电电缆运维检修、机组组合等方面的技术研究。

温俊强(1992—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事输电电缆运维检修、机组组合等方面的技术研究。

李洪才(1986—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事输电电缆运维检修方面的技术研究。

(责任编辑: 刘艳玲)

级差保护配电网自愈应用研究

陈杰¹, 蓝海森², 周旭², 麦耀光³

(1. 贵州电网有限责任公司六盘水钟山供电局, 贵州 六盘水 553000; 2. 广东电网有限责任公司东莞长安供电局, 广东 长安 523851; 3. 贵州电网有限责任公司毕节供电局, 贵州 毕节 551700)

摘要: 当前, 在中低压配电网智能、绿色、低碳的发展过程中, 主要存在配网故障率高、故障定位时间较长、故障隔离缓慢、复电不及时等突出问题。为了解决这一突出矛盾, 开展配电网故障自愈研究是最有效的方法之一, 自愈是配电网实现智能化发展的核心内容。对智能配电网故障级差保护自愈控制技术进行了分析, 介绍了智能配电网故障自愈控制的特点及实现的方法, 同时对级差保护协同主站智能配电网故障自愈流程进行了分析。

关键词: 智能配电网^[1]; 级差保护^[2]; 自愈控制技术^[3]

中图分类号: TM774

Research on the Application of Differential Protection and Self healing of Distribution Networks

CHEN Jie¹, LAN Haisen², ZHOU Xu², MAI Yaoguang³

(1. Zhongshan Power Supply Bureau, Liupanshui, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guizhou Liupanshui 553000, China; 2. Dongguan Changan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangdong Changan 523851, Guangdong, China; 3. Bijie Power Supply Bureau, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guizhou Bijie 551700, China)

Abstract: Currently, in the process of intelligent, green, and low-carbon development of medium and low voltage distribution networks, problems such as high distribution network failure rate, long fault location time, slow fault isolation, and delayed power restoration are prominent. To address these contradictions, conducting research on fault self-healing in distribution networks is one of the most effective methods. Self healing is the core content of achieving intelligent development in distribution networks. This article analyzes the self-healing control technology for fault range protection in intelligent distribution networks. This article introduces the characteristics and implementation methods of fault self-healing control in intelligent distribution networks. At the same time, an analysis was conducted on the fault self-healing process of the intelligent distribution network of the differential protection collaborative main station.

Keywords: intelligent distribution network^[1]; differential protection^[2]; self healing control technology^[3]

1 级差式电流保护工作原理

设备的过电流保护就是当电流超过预定最大值时, 使保护装置动作并在设定的时间内断开电源的一种保护方式。当流过被保护原件中的电流超过预先整定的某个数值时, 保护装置启动, 并在预设时限内发出动作指令, 使断路器跳闸并给出相应的报警信号, 以此达到保护电网重要设备的目的, 同时告知用户故障相关信息, 以便查找故障。

收稿日期: 2023-05-15

级差电流保护主要分为一段过电流保护(又称为速断保护)、二段过电流保护、三段过电流保护。一段过电流保护, 保护距离最小, 跳闸时间最短, 整定值是按大于被保护线路末端最大的短路电流的原则来整定; 二段过电流保护, 目的是为了弥补第一段保护的缺陷, 延长了第一段电流保护的覆盖范围, 保护范围较第一段更长更大一些, 动作时限更长一点; 三段过电流保护, 保护范围较大, 通常作为本线路的近后备保护以及作为相邻下一线路的远后备保护, 动作延时按阶梯形时限配合原则来确定。

2 级差式电流保在自愈系统中的应用

2.1 级差保护逻辑

级差式保护功能（简称级差保护）：主要包括多段式过流保护、零序保护、重合闸等功能，当配电网一次设备发生故障时保护设备自身能动作于故障告警或断路器跳闸实现就地隔离故障。

当线路发生故障时，临近前端断路器检测到故障信号，发出告警并执行跳闸，而前一个断路器能检测到告警但不跳闸动（如图1所示），故障后端断路器不动作，也不告警。

2.2 级差保护定值整定

定值设定须要根据设备状况，线路长度、截面、负荷情况等参数进行计算，同时满足各段时限的匹配，以图1为例，我们将CB断路器过流I段跳闸时间定值设定为0.3s，跳闸电流为3000A，过渡II段时间定值设定为0.7s，跳闸电流为720A，零序保护时间定值设定为0.7s，跳闸电流为60A，重合闸保护时间为5s。其他断路器定值如图2所示。

2.3 级差自愈过程

在级差保护投入后，有多种情景可能，下面对其中3类进行模拟分析。

当永久性故障出现在前端时，前端就近断路器跳闸动作，重合闸不成功，断路器发出保护告警信号，主站经过分析判断，确定故障发生在CB~A1之间，于是做出自愈决策，断开A1开关，合上环网开关FB即可实现自愈功能（如图3所示）。

当永久性故障出现在A2-A3时，CB跳闸且重合失败，开关分位且有保护告警信号，主站自愈启动，根据A1-A5开关的告警情况，判断故障范围为A3-A4区域，主站自愈隔离策略动作：

遥分A3、A4开关，故障隔离成功，遥合FB开关，故障点下游恢复供电；当值调度员根据主站自愈策略故障区域及隔离信息，人工遥控合上站内CB开关恢复故障点上游供电（如图4所示）。

当永久性故障出现在A4-A5区域，A1-A4发保护告警信号，A5无保护告警信号，A4跳闸且重合失败，开关分位且有保护告警信号，主站自愈启动，根据A1-A5开关的告警情况，判断故障范围为A4-

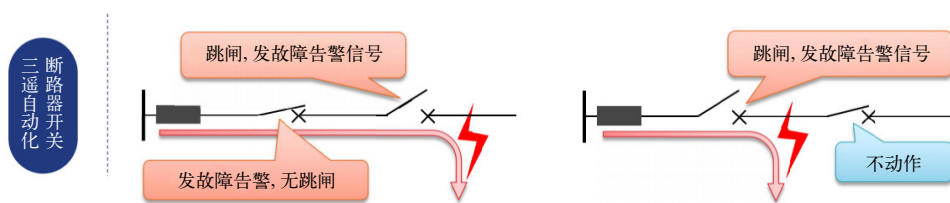


图1 级差保护示例

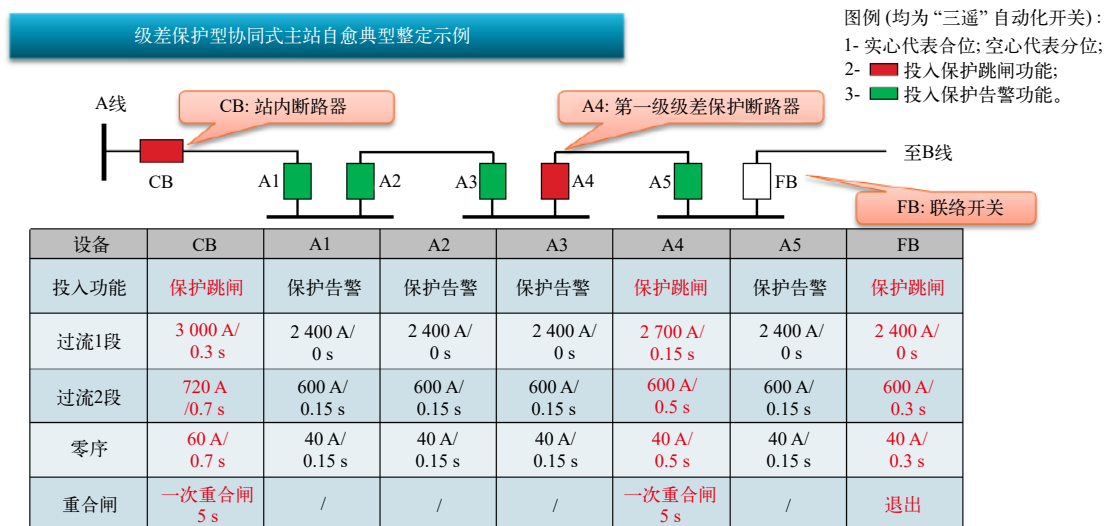


图2 级差保护定值整定示例

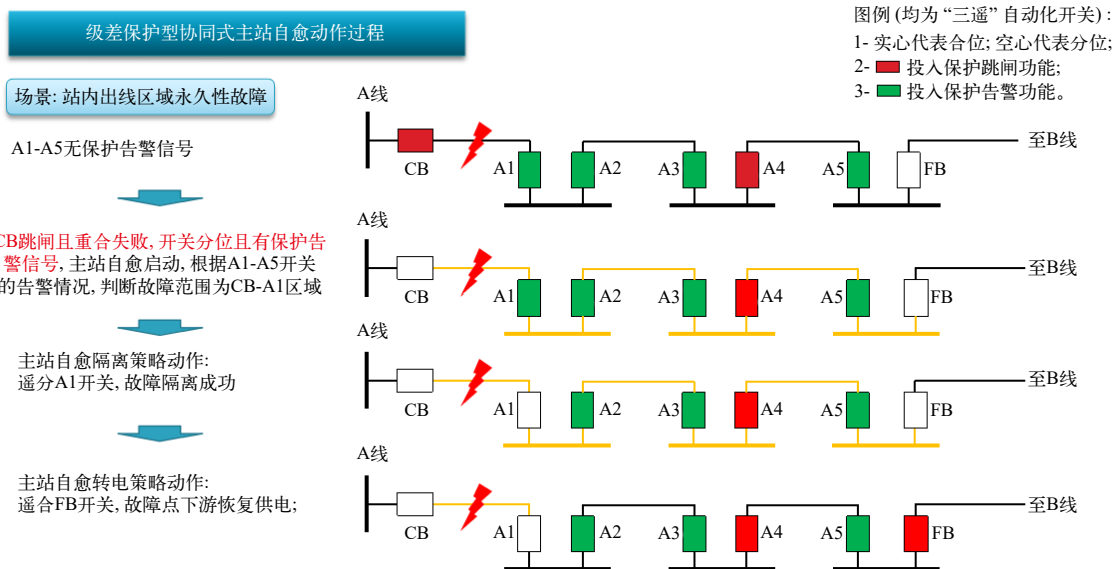


图 3 级差保护自愈示例 A

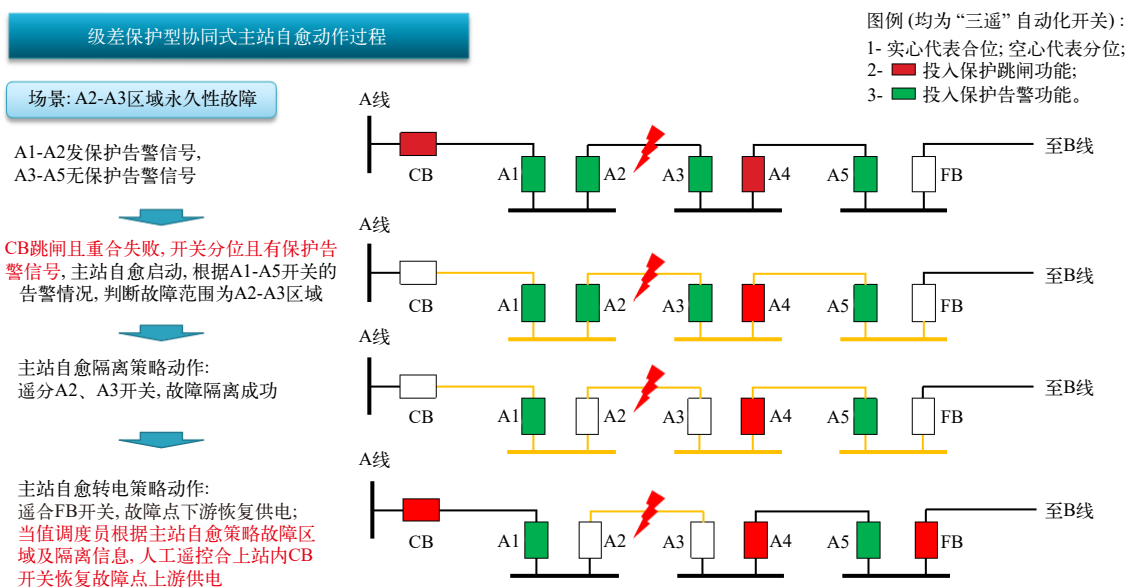


图 4 级差保护自愈示例 B

A5 区域，主站自愈隔离策略动作：遥分 A5 开关，故障隔离成功，主站自愈转电策略动作：遥合 FB 开关，故障点下游恢复供电（如图 5 所示）。

2.4 级差保护应用过程中存在问题和不足

级差保护在实际应用过程中存在一些问题和不足，比如说在图 4（级差保护自愈示例 B）所示的故障情形中，CB 断路器投入保护跳闸功能，A1、A2 投入保护告警功能，故障发生在 A1、A2 区段，则需要调度员进行断判后，人工遥控合上站内 CB 开关恢复故障点上游供电，这种情况会降低自愈效

率，如果在极端自然灾害下，线路多处故障时，调度员很难第一时间进行处置，将导致用户长时间不能恢复送电。

2.5 改进方向和发展趋势

针对上述问题和不足，须要对配网自愈策略进行升级，将自动控制策略延伸至变电站出线开关，系统自动化判断故障发生区段，自动断开故障区段两侧开关，合上站内出线开关，真正实现智能化自愈，提高自愈效率。

在今后的电网自愈发展中，会增加更多的设备

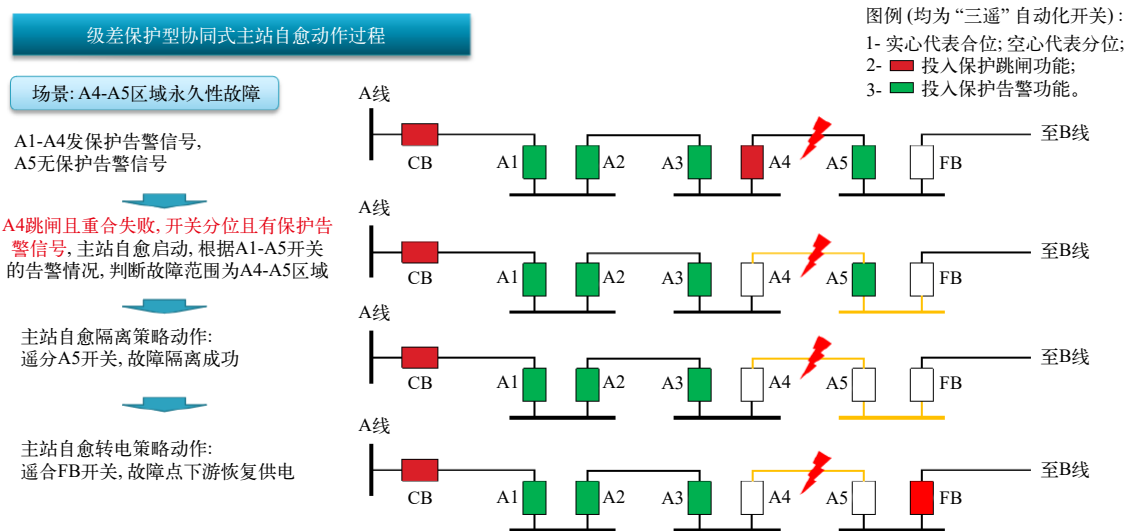


图5 级差保护自愈示例 C

和线路, 例如可以把变电站站内自愈, 和站间自愈等策略统筹考虑, 总体实现大电网的整体系统自愈, 大幅提升电网的数字化和智能化水平。

3 级差保护自愈的应用小结

电流级差保护在配网自动化自愈保护作用明显, 动作迅速, 故障判断准确, 有效防止故障范围扩大, 设备的损坏, 确保供电设备和供电网络的安全运行。

电流级差保护在自动化自愈应用过程中, 能高效定位和判断故障类型, 帮助开展故障快速隔离, 提高了故障处置效率, 减少供电恢复工作量, 提高了人机效率。

电流级差保护在配网供电可靠性方面发挥了重要作用, 有效提升了故障查找判断时间, 有效提升了故障隔离时间, 有效提升了转供复电时间等, 从而大大提高了供电可靠性。

参考文献

- [1] 顾欣欣, 姜宁, 季侃, 等. 智能配电网自愈控制技术的实践与展望[J]. 电力建设, 2009, 30(7): 4-6.
- [2] 王成山, 王守相, 郭力. 我国智能配电技术展望[J]. 南方电网技术, 2010, 4(1): 18-22.
- [3] 郭志忠. 电网自愈控制方案[J]. 电力系统自动化, 2005, (10): 85-91.

作者简介

陈杰 (1983—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 电力系统及其自动化。

(责任编辑: 刘艳玲)

资讯

河北石家庄公司: 部分县域实现时段性 100% 绿电供应

2023年6月6日11:30—13:30, 河北省石家庄市行唐县、无极县、灵寿县新能源最大出力分别达到17.2、22.09、49.03万kW, 均超过当地午间时段全网最大负荷, 标志着3县实现时段性100%绿电供应。

近年来, 石家庄市光伏、风电等新能源发展迅猛, 目前新能源装机容量约590万kW。2023年以来, 石家庄市新能源最大出力超385万kW, 占当时全网负荷54.61%, 终端用能的新能源比重大幅提升。

结合新能源发展实际, 国网石家庄供电公司持续提升新能源电力接入和消纳能力, 推动能源清洁低碳转型。公司先后建成投运一系列输变电工程项目, 为新能源发电项目提供了较好接入条件, 加强县域间电网“互济互保、互联互通”, 实现各县电网间负荷峰值余缺互济, 最大限度保障新能源应发尽发、就地消纳。

国网石家庄供电公司还构建了适应新能源发展的新型电力系统调控管理平台, 可准确预测新能源出力波动, 灵活调节光伏逆变器运行状态, 按照“市、县、站、线”4级分层调控光伏发电出力, 促进电网和新能源协调发展。

信息来源: 国网河北省电力有限公司

一起 110 kV 线路发展性故障导致 220 kV 主变保护动作的事故分析

黄 岗, 邓德茂, 彭洪进, 王开波, 王 堃, 金基伟

(贵州电网有限责任公司遵义供电局, 贵州 遵义 563000)

摘要: 220 kV 某变电站 1 号主变电站变压器保护装置中后备接地阻抗 1 时限保护动作跳开 110 kV 母联 110 开关, 同时 110 kV 某线保护装置零序过流 II 段、距离 II 段保护动作, 重合闸成功后距离 II 段再次动作跳开该线路开关, 造成 110 kV 某牵引变电站失压, 降低了电网的供电可靠性。详细分析了 110 kV 线路发生发展性故障导致 220 kV 主变保护动作的原因并提出了整改建议。

关键词: 发展性故障; 供电可靠性; 全站失压

中图分类号: TM773

Analysis on an Accident of 110 kV Main Transformer Protection Action Caused by a Developmental Fault on a 110 kV Line

HUANG Gang, DENG Demao, PENG Hongjin, WANG Kaibo, WANG Kun, JIN Jiwei

(Zunyi Power Supply Bureau of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guizhou Zunyi 563000, China)

Abstract: The backup grounding impedance protection of the 1# main transformer in a certain 110 kV station tripped the 110 kV buscouple breaker with the first time limit action. At the same time, the zero sequence overcurrent section II and distance section II protection of a 110 kV line were activated. After successful reclosing, the distance section II tripped the line breaker again, causing a voltage loss in the entire station and reducing the power supply reliability of the power grid. This article provides a detailed analysis of the reasons for the protective action of the 110 kV main transformer caused by developmental faults on the 110 kV line and proposes rectification suggestions.

Keywords: developmental failures; power supply reliability; total station voltage loss

220 kV 某变电站的事故前运行方式如图 1 所示。220 kV 某变电站的 220 kV 双母线及 110 kV 双母线并列运行, 110 kV 某 135 线路运行于 110 kV II 母, 1 号主变中压侧运行于 110 kV I 母且 110 kV 及 220 kV 中性点接地, 2 号主变中压侧运行于 110 kV II 母且 110 kV 及 220 kV 中性点未接地。110 kV 某 135 线路发生发展性故障导致故障越级至 220 kV 主变保护, 扩大了事故范围, 降低了电网的供电可靠性。本文详细分析了故障越级原因并提出了整改建议。

1 事件分析

1.1 110 kV 某线路保护动作行为分析

2022 年 12 月 28 日 18:08, 110 kV 某 135 线路

收稿日期: 2023-01-11

发生 B 相接地故障, 故障波形如图 2 所示。由波形分析可知, 故障时 110 kV 某 135 线路 B 相电流增大, B 相电压降低, 二次零序电流 59 A, 故障持续 1 106 ms 后, 110 kV 某 135 线路保护装置零序过流 II 段动作、接地距离 II 段动作跳开 110 kV 某 135 线路开关, 4 663 ms, 110 kV 某 135 线路重合闸动作, 合上 110 kV 某 135 线路开关。保护动作行为正确。

重合成功后 2 189 ms, 110 kV 某 135 线路再次发生 B 相接地故障, 故障波形如图 3 所示。B 相接地故障持续 600 ms 后发展为 BC 相间短路接地故障, BC 相间短路接地故障持续约 260 ms 后发展为三相短路故障。110 kV 某 135 线路由 B 相接地发展为三相短路故障持续时间约 860 ms, 其线路零序电流下

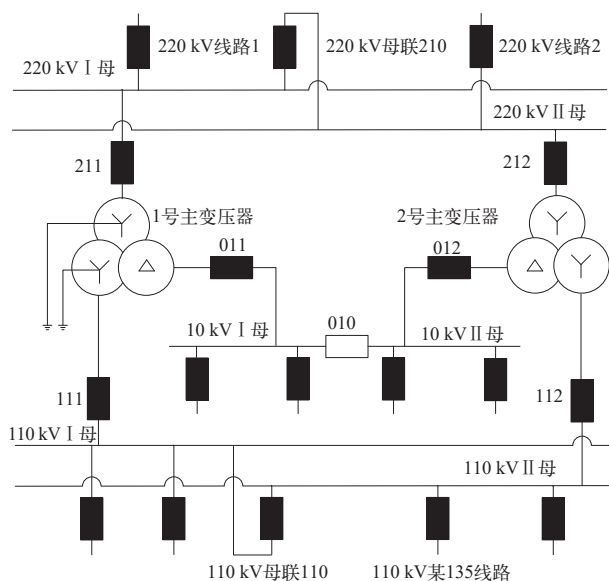


图1 110 kV 某变运行方式图



图2 110 kV 某 135 线路第一次发生 B 相接地故障波形

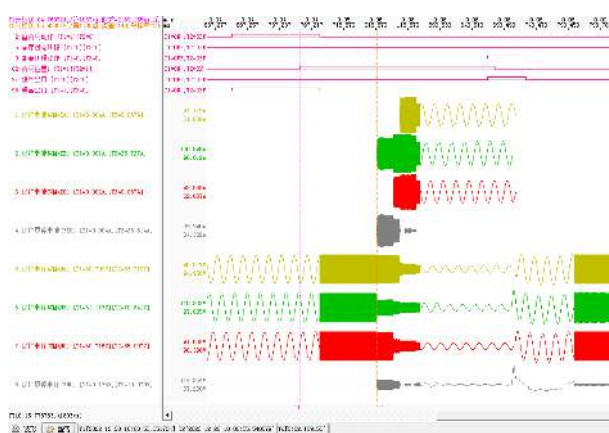


图3 110 kV 某 135 线路第二次发生 B 相接地故障波形

降至 0.67 A，小于线路零序启动电流定值，而保护装置型号为 PCS-943N，当零序电流小于零序启动

电流定值时闭锁接地距离 II 段保护，加之接地距离 II 段及零序过流 II 段保护时间定值为 1 100 ms，故第二次故障时，线路保护装置的接地距离 II 段及零序过流 II 段保护未动作。第二次故障持续约 1 700 ms，其相间距离 II 段保护动作隔离线路故障。

通过以上分析可知，2 次故障，线路保护装置的保护动作为正确。

1.2 1 号主变保护装置动作行为分析

由于 110 kV 某 135 线路第二次故障为发展性故障，先是 B 相接地故障持续 600 ms 后发展为 BC 相间短路接地故障，1 号主变中性点接地，有零序电流流过，而 2 号主变中性点未接地，无零序电流流过，故只满足 1 号主变中接地阻抗定值；故障持续至 1 400 ms 时，1 号主变中接地阻抗 1 时限动作跳 110 kV 母联 110 断路器。由于 1 号主变与 110 kV 某 135 线路运行于不同母线，当 110 kV 母联 110 断路器跳开后 1 号主变感受不到故障，保护返回。1 号主变保护装置的故障波形如图 4 所示。第二次故障发展到 1 406 ms 时的中后备保护测量阻抗如图 5 所示。

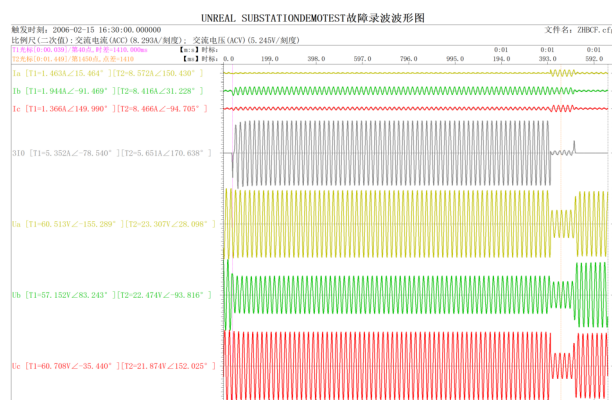


图4 1 号主变保护装置的故障波形

故障转换至相间接地短路时，满足 2 号主变相间阻抗定值，但是故障持续时间约 1 100 ms，不满足时间定值。

通过以上分析可知，第二次故障，1 号主变的保护动作正确，2 号主变保护不动作正确。

2 整改建议

通过以上分析可知，110 kV 某 135 线路发生发

数据名称	值	类别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T	1406ms	DI	ZK	FYF1	FYF2	LXF1	LXF2	FYGL	LXGL	INO	LXGY					
UA	23.277V∠145.15°	DO	QDJ	CK2	CK3	CK4	CK5	CK6	CK7	CK8	PDX	BY	HH	FGGJ	GJ	
UB	22.304V∠23.18°	LXB	LXT1	LXT2	LXT3	LXT4	LX1	LX2	I0FX	IN01	IN02					
UC	21.760V∠-90.84°	XJB	FXT1	FXT2	FXT3	FXT4	FXT5	FXT6	GL1	GL2	LY1	LY2	UE	UL	FYBS	
UD	1.952V∠17.16°	XJZK	XJ11	XJ12	XJ13	dZab	dZbc	dZca	dI2a	dI2b	dI2c	ABBS	BCBS	CABS		
S3U0	1.135V∠17.80°	JDZK	XJ11	XJ12	XJ13	dZa	dZb	dZc	ABS	BBS	CBS					
IA	8.585A∠-92.65°	QDB	FF1Q	FF2Q	LF1Q	FYQ	LXQ	LYQ	INOQ	XJ1Q	JD1Q	TBQD	PDX	IW		
IB	8.451A∠148.10°	QTB	ADSE	ADPE	ADPD	ADBS										
IC	8.487A∠22.13°															
3IO	5.466A∠-70.95°															
S3IO	0.949A∠-71.31°															
TN	0.013A∠-90.00°															
ZA	2.555Ω∠56.46°															
ZB	2.780Ω∠52.61°															
ZC	2.561Ω∠70.76°															
ZAB	2.710Ω∠56.03°															
ZBC	2.446Ω∠60.54°															
ZCA	2.760Ω∠63.25°															
LXGJ	128.000°															
UE	1.081V															
UL	36.953V															

图 5 第二次故障发展到 1 406 ms 时的中后备保护测量阻抗

展性故障时，线路保护和主变保护动作行为正确。但是故障点在 110 kV 线路，却越级至 220 kV 主变保护，造成事故扩大。如果故障线路与中性点接地主变运行于同一母线将造成一条 110 kV 母线失压，将造成更大的事故。

通过调查发现造成该情况的原因是由于当自产零序电流小于零序启动电流定值时，南瑞继保的线路保护装置接地距离 I 段和 II 段保护被闭锁。对比其他厂家发现：在线路上发生单相接地故障转换成三相短路故障时，某些厂家的保护设备存在故障越级的风险。

为防止该类发展性故障导致的故障越级，造成事故扩大，建议将存在故障越级风险的线路保护装置进行程序升级，取消零序电流闭锁接地距离保护的逻辑；同时加快推进三端线路的光差保护配置，提高保护动作的可靠性及灵敏性。

3 结束语

本文详细分析了 110 kV 线路先发生单相接地故障，后转换为两相短路接地故障，最后发展为三相短路故障时线路保护动作行为及主变保护动作行为，以及导致 220 kV 主变保护动作的原因，并提出了整改建议。整改建议有效地解决了该发展性故障下造成的故障越级及事故扩大，提高了电网的供电可靠性。

作者简介

黄岗（1987—），男，工程师，主要从事于电力系统分析及继电保护专业的工作。

（责任编辑：刘艳玲）

资讯

新疆第二座 750 kV 全站 GIS 变电站建成投运

2023 年 7 月 3 日，乌昌 750 kV 变电站启动试运行，标志着新疆第二座 750 kV 全站 GIS（气体绝缘）变电站正式投运，乌昌地区网架结构更加完善。

乌昌 750 kV 变电站是乌北—凤凰—乌苏—博州—伊犁输变电工程的重要组成部分，也是乌昌地区 750 kV 环网的重要一环。投运后可满足乌昌核心区电力负荷用电需求，优化昌吉中西部及乌鲁木齐西北部主网架，提高分区供电运行方式的合理性，缓解乌昌核心区局部区域短路电流超标问题，为乌昌、兵团十二师经济社会发展提供更为安全可靠、清洁高效的电力供应，对自治区“乌—昌—石”大气污染防治计划提供电力支撑。

乌昌 750 kV 变电站户外配电装置全站采用 GIS（气体绝缘全封闭组合电器）设备，这是继五家渠 750 kV 变电站后新疆的第二座 750 kV 全站 GIS（气体绝缘）变电站。

此外，该工程还是新疆首个采用水消防系统的 750 kV GIS（气体绝缘）变电站。相比传统的泡沫式灭火装置，水消防系统在灭火效率、消防处置能力、环境保护能力上都有很大的提升，在节约成本的同时还保障了电网的运行安全。

信息来源：中国新闻网

某 220 kV 变电站的 110 kV 正母线母差 动作原因分析

张 威¹, 张知宇¹, 操晨润¹, 周 刚²

(1. 国网浙江省电力有限公司海盐供电公司, 浙江 海盐 314399; 2. 国网浙江省电力有限公司
嘉兴供电公司, 浙江 嘉兴 314000)

摘要: 分析了一座 220 kV 变电站的 110 kV 正母线母差保护动作事故, 通过了解事故前系统的运行方式, 查阅保护装置的動作报文与主变故障录波器波形, 以及现场勘查, 经过综合分析研判后, 明确了事故原因是飘来的气球导致了正母线 A 相开关发生接地短路故障, 继而触发母差保护装置动作。最后提出了处置措施消除故障, 并针对该类事件制定了积极有效的防控措施, 努力为变电站营造一个安全稳定的运行环境。

关键词: 变电站; 双母线运行; 母差保护; 故障分析

中图分类号: TM631

Analysis of the Causes of 110 kV Bus Differential Operation in a 220 kV Substation

ZHANG Wei¹, ZHANG Zhiyu¹, CAO Chenrun¹, ZHOU Gang²

(1. Haiyan Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Zhejiang Haiyan 314399, China;
2. Jiaxing Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Zhejiang Jiaxing 314000, China)

Abstract: This article analyzes the 110 kV busbar differential protection action accident of a 220 kV substation. Based on the operation mode of the system before the accident, the action message of the protection device, and the waveform of the main transformer fault recorder, it is comprehensively determined that the cause of the accident is a floating balloon that caused a ground short circuit fault in the A phase switch of the busbar. Then trigger the action of the bus differential protection device. Finally, measures were proposed to eliminate the fault. And active and effective prevention and control measures have been formulated for such incidents, creating a safe and stable operating environment for the substation.

Keywords: substation; dual bus operation; bus differential protection; fault analysis

在一些重要的大型发电厂或者高压枢纽变电站中, 通常采用双母线接线方式, 即每组母线上只单独连接一部分的负载与供电元件。在这样的接线方式下, 如果其中一组母线出现故障, 虽然在短时间内影响了一半的负荷供电, 但是另外一组母线上的负荷却不受影响, 这样就大幅度地提高了系统供电的可靠性^[1]。在变电站中, 电能的汇集与分散一般由母线承担, 因此对母线的保护也必不可少。母差保护是一种常规保护手段, 它能够在母线发生故障时, 跳开所有与母线连接的断路器, 切除故障, 但这也将会引发大面积的停电事故, 扰乱正常的居民生活和工业生产秩序^[2]。因此, 在故障发生后, 如何短时间内快速地定位故障并消除缺陷, 对快速恢复系统正常运行来说是非常关键的。

收稿日期: 2021-12-29

本文以某座 220 kV 变电站的 110 kV 正母线母差动作事故为例, 通过了解系统运行方式, 详细梳理事件发生的经过, 查阅报文与故障录波波形, 结合现场巡视勘察等手段, 从中查找事故发生的原因, 最终消除故障并使系统恢复正常运行, 这为今后运维人员处理与防范该类事故提供了有价值的参考。

1 事故前系统的运行方式

在发生母差保护动作事故之前, 该 220 kV 变电站的 110 kV 部分为双母运行方式, 如图 1 所示。此时, 正副母线的母线联络开关 100 处在合位, 正副母线并列运行。其中, #1 主变带正母线运行, 南 602 线、南 603 线、北 702 线、北 704 线由正母线供电; #2 主变带副母线运行, 南 601 线、南 604 线、北 701 线、北 703 线由副母线供电。

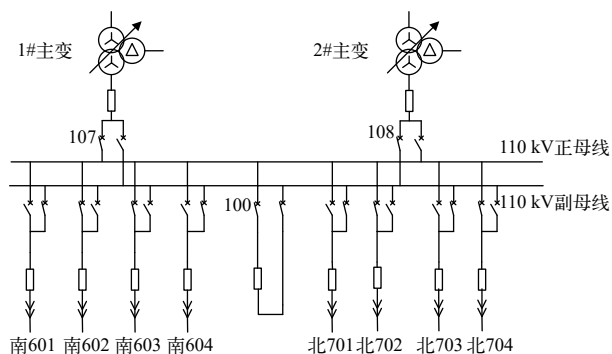


图 1 220 kV 变电站的 110 kV 部分运行方式

2 事故发生的概况

2020年12月31日14:43:31, 该220 kV变电站的110 kV正母线母差保护发生动作, 跳开了#1主变的110 kV开关107、110 kV母联开关100、南602线开关、南603线开关、北702线开关、北704线开关, 即切除了110 kV正母线上所有的运行开关, 符合正母差动作结果。

事故发生后, 变电运维抢修人员迅速抵达了变电站现场。通过查阅110 kV母差保护装置的动作报文, 发现故障相别为A相, 保护装置启动至出口时间为5 ms, 正母线每相差动电流分别为: $I_{da} = 17.66 \text{ A}$, $I_{db} = 0.13 \text{ A}$, $I_{dc} = 0.02 \text{ A}$ 。由于110 kV正母线母差保护启动电流值为4.7 A, 而此时A相差动电流之和远超整定值, 可以初步判定是正母线A相线路发生了故障。

在继电保护装置中, 故障录波器是一个能够记录故障信息的存储装置。当电力系统中发生如短路等故障时, 它将会自动启动并持续记录系统每相电流、电压、频率等电气量, 以及相关的重要数据, 这给运维人员日后进行故障分析提供了强有力的一手资料。

紧接着, 检修人员随即调出了故障发生时主变故障录波器记录的110 kV正母线的电压、电流变化情况, 发现在14:43:31, 正母线路的A相电压突然由正常值骤降至0附近、相电流剧增, 而此时, B相与C相的相电压却保持不变, 另外, 系统中的中性线上出现了零序电压、零序电流, 整个故障持续时间大约在50 ms左右。

众所周知, 电力系统在正常运行时候, 它的三相具有对称性, 零序电流、电压在理论上为0, 实际运行中接近零。当中性点接地系统发生接地短路

故障时, 中性线上将会出现很大的零序电压和电流。从发生故障时, A、B、C三相电压电流以及正序电压电流变化情况来看, 此次故障完全符合单相接地短路故障特征。因此可以判断是正母线A相发生接地短路故障, 从而导致正母线的母差保护动作。这样看来, 继电保护系统产生母差保护动作正确, 不属于误动作情况。

3 事故原因分析

在明确了是正母线的A相发生接地短路故障后, 检修人员随即做好个人防护, 开始对正母线路及所连开关展开仔细巡查。在巡查到南602线开关侧处, 发现几处异常点: (1) 该开关A相开关下载瓷瓶的第一片瓷裙上有明显放电灼伤痕迹, 表面釉质发黑、起皮、脱落, 如图2(a)所示; (2) 底部开关构架也有放电痕迹, 如图2(b)所示; (3) 在现场电缆盖板上发现有残余的气球碎片, 如图2(c)所示。而其他与正母线路相连接的线路或者开关均不存在异常现象。综合以上信息, 可以初步判定是南602线开关曾经遭遇过接地短路故障。

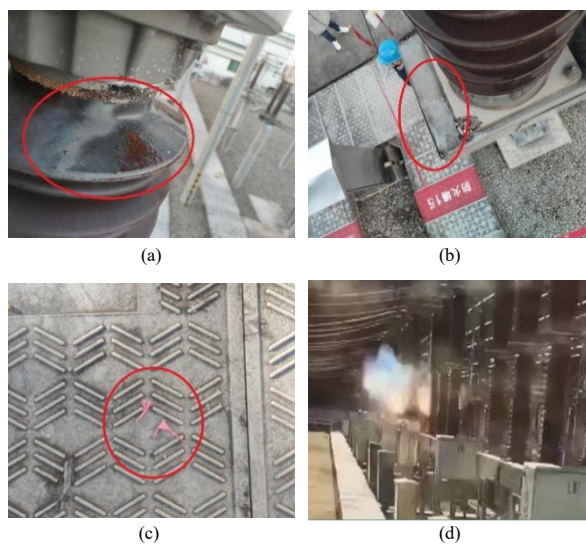


图 2 事故现场部分图片

为了进一步查清南602线开关的是如何发生接地短路故障, 运维检修人员通过调取变电站现场监控视频, 发现在事故发生前有一只气球飘到了南602线的开关间隔, 气球靠近位置与放电的部位高度吻合, 因此可以判断是气球及气球下的细绳与开关下端构架形成回路, 引发正母线的A相线路对地放电, 强大的电流瞬间击碎了气球。由于此次发生

短路故障的地点处在开关器件的母线侧，如图3所示，属于110 kV母差保护范围，因此母差保护动作，并立刻跳开了与正母线相连的所有开关器件。

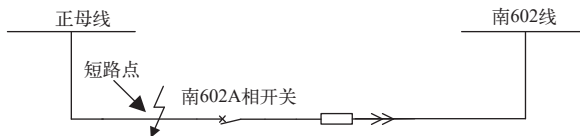


图3 正母线A相接地短路故障示意图

4 事故现场处置与预防措施

事后，检修人员对瓷裙放电部分进行清洗检查，将表面起皮脱落部分清除，并除去法兰表面毛刺。考虑到瓷裙外表部分破损，其绝缘性能未知，因此有必要对瓷裙进行绝缘电阻试验，试验得到绝缘表面电阻测试值为2.91 TΩ，可知开关瓷裙的绝缘电阻合乎规定，绝缘性能良好。为了尽快恢复系统供电，故暂时没有必要对瓷裙进行更换。

接着现场对该变电站的#1、#2主变油样进行取样分析，经油色谱数据分析后，排除了主变由正母线短路可能引发的潜在故障。

最后对#1、#2主变进行振动带电检测，其检测结果经厂家分析讨论后，结论为主变本体无明显异常。至此，正母线A相接地故障消除成功，可以为系统恢复供电。

由于陶瓷是良好的绝缘体，而瓷釉的憎水性可以使雨水无法附着在绝缘表面，由于第一片瓷裙表面部分釉脱落，设备完整性被破坏，因此，在后期的运检工作中，运维人员应当加强对南602线开关的巡视强度，着重观察运行中绝缘表面是否有异常现象。为保险起见，应当尽快安排设备更新计划，停电对瓷釉脱落部分进行喷涂RTV处理，以防在雨雪等潮湿天气下，湿气雨水弱化瓷裙的绝缘性能。

此次变电站的正母线A相刀闸发生接地短路故障是由于空中飘来的气球所导致，属于偶然不确定的突发事件。从本次事故中，可以看到小小的气球飘浮物却给变电站的安全运行带来了意想不到的危害，因此，要重视飘浮物对变电站的潜在危险性，有必要采取一些积极有效措施预防飘浮物引发电力事故。

从飘浮物的源头上下手，电力公司要加大保护电力设施的宣传力度，宣传飘浮物可能给电网带来

的危害，劝导人们不在变电站附近释放气球、风筝等高空飘物。要加大辖区内漂浮物的巡查力度，一经发现随意悬挂空飘广告的违法行为，应当立即给予撤除。

强化运维人员的责任意识，实行“变电站设备主人制”，为每座变电站指定一名负责人。班组成员要综合运用远程视频巡视与现场巡视手段开展设备巡查工作，确保巡视能够全覆盖，无死角。对暴露于户外的一次设备区域要进行漂浮物隐患的重点排查，及时发现隐患并处理。同时公司安监部门要对每名负责人进行监督与考核，不定期检查变电站的漂浮物隐患治理情况，进一步夯实治理效果。

要做到防患于未然。平时应密切关注天气变化情况，在大风天气来临之前，要提前对变电站附近的广告牌等易被吹落物体进行加固，拆除横幅、清理塑料垃圾，消除隐患。同时也要做好各种相应的应急准备工作。

5 结束语

母差动作保护具有速动性与选择性，当母线发生故障时候，它能够快速地切除故障，使事故范围不再扩大，降低经济损失。作为变电运维人员，应当能够熟知并理解母差保护的基本原理，这样，在母差保护动作后，要能快速地查找出事故原因并开展积极有效的处置工作，尽快消除故障，缩短停电时间，使电力系统在短时间内恢复正常运行。

参考文献

- [1] 胡浩，魏华跃，刘国玉，等. 220 kV变电站主变低压侧跳闸典型故障分析与启示[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(19): 153-161.
- [2] 李祖明，孙仲民，顾乔根，等. 基于继电保护装置态势感知及辅助决策的智能运维系统[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(19): 142-150.

作者简介

张威(1996—)，男，工学硕士，助理工程师，研究方向为电力系统继电保护、电能质量控制。

张知宇(1995—)，男，工学硕士，助理工程师，主要从事系统不确定性研究、储能优化配置。

操晨润(1993—)，男，工学硕士，工程师，主要从事电力系统优化运行方面的研究。

周刚(1996—)，男，本科，高级工程师，高级技师，主要从事电网运检方面的研究。

(责任编辑:刘艳玲)

高速公路可移动集装箱式充电站运营 调配模式优化

钟超, 万君, 许程鹏, 张哲, 陈子轩, 谢宇峰

(国网浙江台州供电公司, 浙江台州 318000)

摘要: 随着电动汽车的不断普及, 为满足不同时段车流量下电动汽车充电的需求, 充电站的合理规划建设问题显得尤为关键。文章提出一种灵活调配集装箱式移动充电站的方式, 有效避免高速公路充电站在车流量高峰期时出现排队现象。文章首先对移动充电站设计及运行方式结构进行分析, 分3个场景介绍移动充电站的应用模式; 然后针对高速公路充电站排队状况进行建模, 利用排队模型分析充电站服务系统性能特征; 接着形成计及经济成本及用户充电体验的目标函数, 并构建考虑移动充电站灵活调配的高速充电站规划模型, 通过预测数据合理配置固定充电桩数量, 精确判断调配移动充电站时机。最后利用国网台州沈海高速公路电动汽车服务站点车流量数据进行算例验证, 在满足用户的充电需求的情况下, 文章所提基于可移动充电站的高速公路充电站模式优化方案与传统单一利用固定充电桩模式相比有更好地经济效益的同时, 还为充电站后期充电需求的提升提供了更好地改造升级空间。

关键词: 移动充电站; 排队模型; 电动汽车; 充电模式优化

中图分类号: TM72

Mode Optimization of Expressway Charging Station Based on Mobile Charging Station

ZHONG Chao, WAN Jun, XU Chengpeng, ZHANG Zhe, CHEN Zixuan, XIE Yufeng

(State Grid Taizhou Power Supply Company, Zhejiang Taizhou 318000, China)

Abstract: With the continuous popularization of electric vehicles, in order to meet the needs of electric vehicle charging under the traffic flow of different time periods, the reasonable planning and construction of charging stations is particularly critical. This paper proposes a way to flexibly deploy container-type mobile charging stations to effectively avoid queuing at highway charging stations during peak traffic hours. This paper firstly analyzes the design and operation mode structure of mobile charging station, and introduces the application mode of mobile charging station in three scenarios; then builds a model for the queuing situation of expressway charging station, and uses the queuing model to analyze the performance characteristics of charging station service system; Form an objective function that takes into account the economic cost and user charging experience, and build a high-speed charging station planning model that considers the flexible deployment of mobile charging stations. Through the forecast data, the number of fixed charging piles is reasonably allocated, and the timing of deploying mobile charging stations is accurately judged. Finally, an example is used to verify the traffic flow data of the State Grid Taizhou Shenhai Expressway charging vehicle service station. In the case of meeting the charging needs of users, the optimization scheme of the highway charging station mode based on the mobile charging station proposed in this paper is different from the traditional single charging station mode optimization scheme. Compared with the fixed charging pile mode, it has better economic benefits and also provides a better space for transformation and upgrading for the later charging demand of the charging station.

Keywords: Mobile charging station; queuing model; electric vehicle; charging mode optimization

随着汽车工业的高速发展, 全球汽车总保有量不断增加, 燃油汽车所带来的环境污染、能源短缺、资源枯竭等方面的问题日益突出^[1-3]。电动汽车具有高效、节能、低噪音、零排放等显著优点, 在环保和节能方面具有不可比拟的优势, 因此它是解决上述问题最有效地途径之一。

收稿日期: 2022-09-30; 修回日期: 2023-05-11

然而, 在大规模推广电动汽车的同时也同样面

临着一系列充电服务难以满足用户需求的问题。尤其是车流量随时间变化波动较大的高速公路沿线充电站，其目的是为电动汽车实现长距离行驶提供条件，但由于快速充电技术仍处于发展阶段，电动汽车单次完成充电所需时间仍然远多于燃油车加油耗时间^[4]。充电站规划若难以满足充电需求将会导致车流量大时出现排队现象，极大程度上影响用户的充电体验。而站内过度的充电桩建设虽能缓解忙时充电排队的现象，但闲时站内充电需求小，充电设施利用率低，会造成充电资源的浪费，充电站的运营盈利周期将延长。由此可见，在电动汽车快充技术短时间内无法实现跨越性突破的当下，如何对充电站进行合理优化配置问题显得尤为关键。

为解决充电站内无序充电带来的充电成本高、排队时间长等问题，文献[5-8]针对充电站服务车辆对象的不同，设计了不同充电桩限功率有序充电策略。文献[9]利用电网负荷、分时电价以及排队充电3方面约束对专用和公用充电站设计一种有序充电策略，有效保障充电站电网安全运行的同时，提高充电桩的使用效率。针对当前电动汽车充电站优化规划中未能有效精确分析时序车流对充电等待时间累计影响的问题，文献[10-11]对电动汽车充电桩经典排队服务模型进行改进，实现充电站运行效率和服务水平的实时跟踪和综合优化。

本文提出一种灵活调配可移动集装箱式充电站对现有高速公路充电站充电能力拓展的方案。通过排队模型建模，以充电用户满意度以及充电站投资成本为优化目标，有效缓解高速公路充电站忙时排队现象，并且避免了充电设施过度建设导致的充电资源浪费，具有较好的经济效益。

1 集装箱式移动充电站的应用

1.1 集装箱式移动充电站的设计结构

电动汽车发展需求与现有的基础配套设施之间的矛盾存在于时间与空间两个维度。时间维度上，工作日与节假日充电需求的差异在高速公路的公共充电站尤为突出。公共充电站建设规模若满足节假日高峰需求，在工作日则会有大量充电桩闲置，导致充电设施利用率低；若满足平时工作日需求，在节假日等特殊时期就会出现“一桩难求”现象。空间维度上，各地电动汽车发展并不均衡，具有区域

性和一定的随机性，公共充电站前期建设规划时无法准确预测，导致运营商投资回报难，发展遇到瓶颈。

为解决以上矛盾，本文提出了一种集装箱式移动充电站，其系统结构如图1所示。集装箱式移动充电站由箱式变压器、大功率充电模组、多台充电桩集成为一体，箱式变压器为电源预留高压接头；大功率充电模组采用三相四线低压交流输入，与变压器低压侧相连；大功率充电模组多路直流输出接至充电桩；另外，集装箱式移动充电站底部预留接地扁铁。

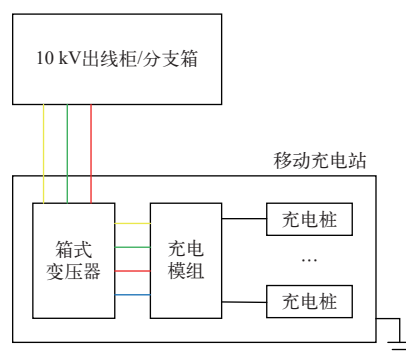


图1 集装箱式移动充电站系统结构图

1.2 移动充电站接入公共充电站的运行方式

集装箱式移动充电站运至现场即可通过分线器接至公共充电站高压配电出线柜或分支箱，快速提升充电能力，对原有充电站配电设施改造幅度小，集装箱前期接入投运以及后期拆除操作方便。因此，集装箱式移动充电站在电动汽车逐步普及的过程中运行方式灵活，如图2所示。



图2 集装箱式移动充电站系统运行方式

提供中长期规划依据：集装箱式移动充电站可作为公共充电站的建设试点，为新建公共充电站提供中长期规划依据。

满足充电高峰应急需求：当充电需求远大于公

共充电站服务能力时，调入集装箱式移动充电站提升充电能力，闲时调出保证站内充电设施利用率。

成熟期充分利用：集装箱式移动充电站内的箱式变压器和充电桩等设备可快速拆分充分利用，转换为固定。

2 基于排队论的充电站服务能力模型建立

2.1 充电站排队模型

高速公路充电站的容量是有限的，为避免过度拥挤实行交通管制，即当顾客到达某个值 m 时限制进入系统；且在充电等待队伍中存在顾客因等待时间过久而离开系统或还未进入系统的顾客因看到无空闲充电桩而选择离开，因此本文采用顾客带有不愿等待和不愿进入行为的有限容量 $M/M/c/m$ 排队模型。

在电动汽车充电排队系统中，输入过程主要为电动汽车到达充电桩的行为，假设电动汽车到达充电桩服从参数为 λ 的泊松分布，充电桩给汽车充电的服务时间满足参数为 μ 的负指数分布。若该站点有 c 个桩，容量为 m ，因其容量有限，故当顾客到达 m 时不允许汽车再进入该站。当进入系统顾客发现 c 个充电桩被占满时，加入等待队列的概率为 q ，则离开的概率为 $1-q$ 。等待中的顾客存在因等待时间过久而离开，假设其愿意等待充电的时间服从参数为 φ 的指数分布。

2.2 充电站服务系统性能特征模型

根据电动汽车充电排队系统介绍和排队论相关理论，可以得到系统的平衡方程为

$$\lambda p_0 = \mu p_1, \quad (1)$$

$$(\lambda + n\mu)p_n = \lambda p_{n-1} + (n+1)\mu p_{n+1}, \quad (2)$$

$$1 \leq n \leq c-1,$$

$$(\lambda q + c\mu)p_c = \lambda p_{c-1} + (c\mu + \alpha)p_{c+1}, \quad (3)$$

$$\{\lambda q + [c\mu + (n-c)\varphi]\} p_n = \lambda q p_{n-1} + [c\mu + (n+1-c)\varphi] p_{n+1}, \quad (4)$$

$$c+1 \leq n \leq m-1,$$

$$[c\mu + (m-c)\varphi] p_m = \lambda q p_{m-1}. \quad (5)$$

式中： p_n 为系统中有 n 辆汽车接受充电桩服务的概率； n 为接受充电桩服务的电动汽车数量； m 为充电站配置的充电桩数量； λ 为电动汽车到达充电站的泊松分布参数； μ 为充电桩给汽车充电的服务时间满足的负指数分布参数； q 为加入等待队列的概率； $1-q$ 为离开的概率； c 为进入系统顾客发现充电桩被

占满的个数； φ 为顾客愿意等待充电的时间。

解平衡方程可得：

$$p_n = \begin{cases} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p_0, & 0 \leq n \leq c, \\ \frac{q^{n-c} \lambda^n}{c! \mu^c \prod_{j=1}^{n-c} (c\mu + j\varphi)} p_0, & c+1 \leq n \leq m. \end{cases} \quad (6)$$

再由归一性可得：

$$p_0 = \left[\sum_{n=0}^c \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \sum_{n=c+1}^m \frac{q^{n-c} \lambda^n}{c! \mu^c \prod_{j=1}^{n-c} (c\mu + j\varphi)} \right]^{-1}. \quad (7)$$

可求得以下系统性能指标。

充电站平均停留的车辆数 L_S ：

$$L_S = \sum_{n=0}^m n p_n = \left[\sum_{n=1}^c \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \sum_{n=c+1}^m \frac{n q^{n-c} \lambda^n}{c! \mu^c \prod_{j=1}^{n-c} (c\mu + j\varphi)} \right] p_0. \quad (8)$$

充电站充电桩的平均利用率 Q ：

$$Q = \sum_{n=0}^c \frac{n}{c} p_n + \sum_{n=c+1}^m p_n = \left[\sum_{n=1}^c \frac{1}{c(n-1)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \sum_{n=c+1}^m \frac{q^{n-c} \lambda^n}{c! \mu^c \prod_{j=1}^{n-c} (c\mu + j\varphi)} \right] p_0. \quad (9)$$

充电站平均等待车辆数 L_q ：

$$L_q = L_S - cQ. \quad (10)$$

充电站进行交通管制禁止进入的概率 P_A ：

$$P_A = p_m = \frac{q^{m-c} \lambda^m}{c! \mu^c \prod_{j=1}^{m-c} (c\mu + j\varphi)} p_0. \quad (11)$$

充电站因排队较长顾客不愿进入排队的概率

P_B ：

$$P_B = (1-q) \sum_{n=c}^{m-1} p_n = (1-q) \left[\frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c + \sum_{n=c+1}^{m-1} \frac{q^{n-c} \lambda^n}{c! \mu^c \prod_{j=1}^{n-c} (c\mu + j\varphi)} \right] p_0. \quad (12)$$

充电站顾客总损失率 P_L :

$$P_L = \frac{\lambda P_A + \lambda P_B + L_q \varphi}{\lambda} = P_A + P_B + \frac{L_q \varphi}{\lambda} \quad (13)$$

3 考虑移动充电站灵活调配的高速充电站规划

3.1 充电站规划目标函数

高速充电站规划的目的是为充电站规划安装合适数量的充电桩, 在考虑顾客充电体验的同时实现经济效益的最大化。一个时段内车流量系数 λ 以及充电的服务时间系数 μ 恒定时候, 该时刻目标函数可表示为:

$$Q(c) = \alpha \lambda [1 - P_{L(c)}] - \beta c \quad (14)$$

式中: $P_{L(c)}$ 为充电站内充电桩配置数为 c 时顾客的总损失; α 为充电站单位数量顾客充电后获得的收益; β 为单位时间内单个充电桩的服务成本。

3.2 不同车流量下移动充电站调配方案

高速公路充电站配合集装箱式移动充电站的方式可有效解决车流量大时充电服务能力不足的现象。假设高速公路充电站内配置固定充电桩数量为 c_1 , 若调用移动充电站则能为站内提供 c^* 个充电桩。当充电站仅由站内固定充电桩提供服务的模式下, 单位数量顾客充电后获得的收益与充电的服务时间系数分别为 λ_1 、 μ_1 ; 固定充电桩配合集装箱式移动充电站模式下则为 λ_2 、 μ_2 。固定充电桩数量 c_1 须满足全年大多数时间充电站内的充电需求, 将一年时间分为 t 个时段, 每个时间段内 λ 与 μ 恒定, 故设 c_1 为全年 λ 与 μ 取众数下对应目标函数的最优解。 t_i 时段下两种服务模式下的收益函数分别为:

$$Q(c_1) = \alpha_1 \lambda_i [1 - P_{L(c_1)}] - \beta_1 c_1, \quad (15)$$

$$Q(c_1 + c^*) = \alpha_2 \lambda_i [1 - P_{L(c_1 + c^*)}] - \beta_2 (c_1 + c^*) \quad (16)$$

通过比较该时段下两种方案的收益情况可以判断是否须调用移动充电站。

3.3 算法流程

本文提出的高速公路充电站配合集装箱式移动充电站方式站内固定充电桩数量规划、移动充电桩调配方案以及全年收益计算过程分两部分, 具体如图3所示。

步骤1: 通过给出全年各时段 λ 与 μ 值求出两项参数的众数 λ_i 与 μ_i , 并利用 λ_i 与 μ_i 求出效益目标函数的最优解 c_1 即为站内固定充电桩数量。

步骤2: 通过比较各个时段下两种方案 $Q(c_1)$ 与

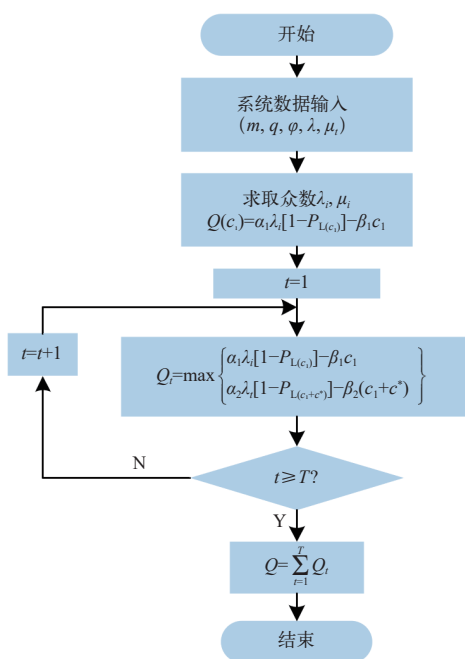


图3 全年收益计算流程图

$Q(c_1 + c^*)$ 收益情况及用户排队情况可以判断该时段下是否须调用移动充电站。将每个时段最优收益累加可求得全年收益。

4 算例分析

由式(14)可知, 充电站内规划固定充电桩个数的最优值 c 与车辆到达参数 λ 以及顾客充电时间 μ 等参数有关。为了进一步研究充电桩最优个数 c 与 λ 和 μ 之间的关系, 可将式(14)中取充电站内容量 $m = 25$, 用户加入等待队列的概率 $q = 0.8$, φ 为2辆/h, α 为39元/辆, β 为23元/辆。图4表示当车辆到达参数 λ 以及顾客充电时间 μ 变化时, c 与 λ 和 μ 三者之间呈凸形曲面关系。

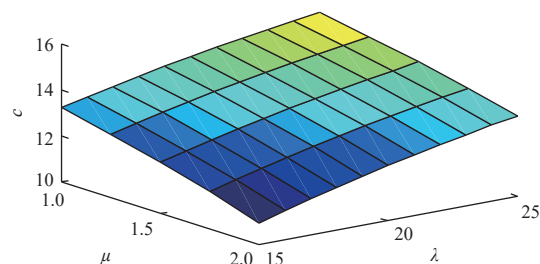


图4 充电桩最优个数 c 与 λ 和 μ 之间的关系图

将图5分别投影至 μc 平面与 λc 平面, 并将充电桩台数进行取整, 如图5(a)(b)所示, 分析可

知, c 随 μ 增大而减小, 随 λ 增大而增大, 所以缩短每位顾客充电时间提高充电效率可以减少规划充电桩数量, 实现最优经济效益。

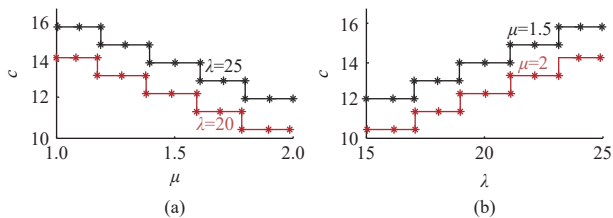


图5 充电桩最优个数 c 与 λ 和 μ 之间的投影关系图

本节采用 MATLAB 软件平台结合 CPLEX12.1 求解器, 对国网台州沈海高速公路充电汽车服务站车流量进行数据统计分析, 并利用本文所提模型进行充电站规划。为验证本文所提的基于可移动充电站的高速公路充电站模式优化在实际应用场景的经济效益, 采取以下两种方案, 并将结果进行比较。

方案 1: 采用固定充电桩方案, 此方案下规划固定充电桩个数为 c_1 。

方案 2: 固定充电桩配合集装箱式移动充电站的方式, 此方案下规划固定充电桩个数为 c_2 。设移动充电站内充电桩数为 6 个, 即 $c^*=6$ 。

两种方案均寻求经济与社会效益最优解, 求取最优状态下固定充电桩台数以及方案 2 中移动充电站调配策略。

将每天分为 4 个时段, 每个时段 6 h, 对一年内高速服务站进出电动汽车数量进行统计, 电动汽车以每时段 δ 辆的速度进入系统, 如图 6 为全年车辆到达参数 δ 频数统计图, 由图可得车流量大小在全年内近似呈正态分布。

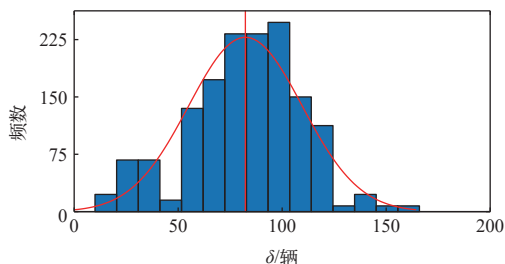


图6 全年车辆到达参数频数统计图

服务站内系统容量 m 为 30, 电动汽车进入到服务站内若发现充电桩被占满后止步离开的概率为 0.2。

假设当顾客加入排队队伍后, 其耐心等待排队时间服从均值为 30 min 的指数分布。每辆车充电时间相互独立, 服从均值为 30 min 的指数分布。即 $m = 30$, $q = 0.8$, $\mu = 1.5$ 辆/h, $\varphi = 2$ 辆/h。

由于每次调用移动充电站须一定量的工程改造成本, 故固定充电桩配合移动充电站的模式下, 服务成本要高于单一使用固定充电桩的模式。根据服务站内运营实际情况求取每次充电服务所需平均成本与平均收益, 表 1 对各项成本参数进行统计。

表1 充电站内单次充电平均成本与平均收益

	不调用移动充电站	调用移动充电站
单次充电平均收益 α	39元/辆	39元/辆
单次充电平均成本 β	23元/辆	24元/辆

通过对全年车流量数据的整理计算, 求解两种方案下固定充电桩的个数以及全年经济效益。得方案 1 下固定充电桩为 12 个, 方案 2 的固定充电桩为 8 个, 全年经济收益如表 2 所示。

表2 两种方案全年净利润

方案	全年净利润/万元
1	65.72
2	70.04

由表 2 得方案 1 全年净利润为 65.72 万元, 方案 2 全年净利润为 70.04 万元, 方案 2 比方案 1 高 4.32 万元。可见该运营模式在经济效益上也有一定的优势。

以全年内服务站车流量最大的国庆当天为例, 取当日车流量最大的 12:00—18:00 时段进行分析。该时段车流量为 165 辆, 方案 2 经过收益对比采用调用移动充电站的方式。方案 1 该时段充电站的经济净利润约为 0.24 万元, 方案 2 该时段充电站的经济净利润也约为 0.24 万元。方案 1、2 情况下充电站服务性能指标如表 3 所示。

将两种方案充电站服务性能指标进行对比, 得

表3 两种方案下充电站服务性能指标

	等待车辆数 L_s	充电桩利用率 $Q/\%$	充电站顾客总损失率 $P_L/\%$
方案1	10.35辆/h	93.41	13.57
方案2	6.81辆/h	87.39	8.39

方案2比方案1平均少3.54辆/h等待；由于方案1平均每小时排队人数多于方案2，故方案2在不影响充电服务质量的情况下充电桩利用率要略低于方案1；对充电站顾客损失率数据分析得，由于方案1排队数量较高的原因，方案2的顾客损失率低于方案1。两种方案固定充电桩数目均配置为各方案下最优数目，由分析结果可知，方案2下调用移动充电站，单次服务成本有所提高，但由于服务车辆数提升，该时段净收益与方案1的近似。方案2保持经济效益的同时一定程度上缓解了高速充电站车流量高峰时期排队现象。

5 结束语

本文提出一种根据预测车流量灵活调配集装箱式移动充电站的充电模式，并对充电站服务系统性能特征进行建模，量化充电用户排队效率以及充电站运营效益。

与单一利用固定充电桩的运营模式相比，本文所提充电模式增加了应对车流量大时充电站服务能力，灵活应对充电站内各时段下充电需求。

本文所提灵活调配集装箱式移动充电站的充电模式，通过各个时段提供的车流量预测对是否进行移动充电站调配进行经济与社会效益预算，得到不同时段下调用移动充电站的判据，实现全年充电站效益最大化。

本文是以高速公路上单个充电站为研究对象建立模型，考虑交通网络内充电站的布局以及考虑交通网各个充电站点距离对充电用户选择的影响是下一步研究目标。

参考文献

- [1] 马建, 刘晓东, 陈轶嵩, 等. 中国新能源汽车产业与技术发展现状及对策[J]. *中国公路学报*, 2018, 31(08): 1-19.
- [2] 高赐威, 张亮. 电动汽车充电对电网影响的综述[J]. *电网技术*, 2011, 35(02): 127-131.
- [3] 陈丽丹, 张尧, Antonio FIGUEIREDO. 电动汽车充放电负荷预测研究综述[J]. *电力系统自动化*, 2019, 43(10): 177-191.
- [4] 吴晓刚, 崔智昊, 孙一钊, 等. 电动汽车大功率充电过程动力电池充电策略与热管理技术综述[J]. *储能科学与技术*, 2021, 10(06): 2218-2234.
- [5] 孙晓明, 王玮, 苏粟, 等. 基于分时电价的电动汽车有序充电控制策略设计[J]. *电力系统自动化*, 2013, 37(01): 191-195.
- [6] 王建, 吴奎华, 刘志珍, 等. 电动汽车充电对配电网负荷

的影响及有序控制研究[J]. *电力自动化设备*, 2013, 33(08): 47-52.

- [7] 程杉, 王贤宁, 冯毅焜. 电动汽车充电站有序充电调度的分散式优化[J]. *电力系统自动化*, 2018, 42(01): 39-46.
- [8] 丁明, 史盛亮, 潘浩, 等. 含电动汽车充电负荷的交直流混合微电网规划[J]. *电力系统自动化*, 2018, 42(01): 32-38.
- [9] 胡道栋, 邱俊宏, 王玉芳, 等. 综合能源充电站有序充电策略的研究与设计[J]. *电测与仪表*: 1-8.
- [10] 张维戈, 陈连福, 黄或, 等. M/G/K排队模型在电动出租汽车充电站排队系统中的应用[J]. *电网技术*, 2015, 39(03): 724-729.
- [11] 熊轲, 吴思宇, 郑海娜, 等. 5G-V2X辅助下基于站点区域类型的城市充电站规划方法[J]. *中国电力*, 2021, 54(03): 89-98.

作者简介

钟超(1996—), 男, 工学硕士, 工程师, 主要研究方向: 电力系统动态稳定分析。

(责任编辑: 张峰亮)

资讯

山东东营公司：高效推动海上风电项目并网发电

2023年6月10日，随着第三批29台大型海上风机投运，国华渤中B2场址501.5MW海上风电项目成功并网发电。国网山东东营供电公司超前于海上风电本体3个月完成了营港站220kV间隔扩建工程，新建铁塔41基、线路13.56km，敷设海底电缆160km，满足了渤中海上风电集中送出需要。

国华渤中B2场址海上风电项目位于山东省东营市北部海域，项目2022年9月开工，分3批次并网，每年可提供清洁电能15.89亿kW·h，可满足172万户家庭1年的用电量，积极推动能源结构转型和经济发展。

国网山东东营供电公司主动提供新能源并网服务指南“一本通”，组织4次网源沟通协调会，动态跟踪项目建设进度，破解多次分批并网、海陆分体验收等难题；开展上门服务，为场站提供全流程、一站式、精益化技术指导，将现场问题移至并网验收前；精心编制送电方案，多轮次讨论确定最优送电步骤，相关专业骨干人员全程一线指导，确保了送电过程万无一失。

信息来源：国网山东省电力公司

基于混合仿真模式的典型双环型配电网自愈策略及试验分析

褚雯雯¹, 白东壮¹, 焦涛², 王显力¹

(1. 国网河北省电力有限公司培训中心, 河北保定 071000; 2. 北京科东电力控制系统有限责任公司, 北京海淀 100080)

摘要: 城市智能配电网的推广建设, 离不开自愈控制技术的推广应用。在双环型配电网中, 中间配电房或开关站配置分布式配电保护自愈装置, 通过与各间隔线路保护、母线保护等配合, 实现故障的快速隔离和快速恢复供电。在仿真试验测试过程中, 对于变电站侧失电、开关偷跳、线路故障等, 在满足自愈动作逻辑的情况下, 自愈装置可以在设定的自愈合闸时间内快速的合闸热备用开关, 快速恢复供电, 提升供电可靠性。

关键词: 智能配电网; 双环型; 自愈; 仿真

中图分类号: TM727

Self-healing Strategy and Experimental Analysis of Typical Double-loop Distribution Network Based on Hybrid Simulation Mode

CHU Wenwen¹, BAI Dongzhuang¹, JIAO Tao², WANG Xianli¹

(1. Training Center of State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Hebei Baoding 071000, China; 2. Beijing Kedong Electric Control System Co., Ltd., Beijing Haidian 100080, China)

Abstract: The promotion and construction of urban intelligent distribution network cannot be separated from the promotion and application of self-healing control technology. In the double-loop distribution network, the central distribution room or switch station is equipped with a distributed distribution protection self-healing device, which can achieve rapid fault isolation and power supply recovery through cooperation with each bay line protection, bus protection, etc. In the process of simulation test, for power loss at the substation side, switch tripping, line fault, etc, the self-healing device can quickly close the hot standby switch within the set self-healing closing time, quickly restore power supply and improve the reliability of power supply, under the condition that the self-healing protection logic is satisfied.

Keywords: intelligent distribution network; double-loop; self-healing; simulation

双环网供电是目前在城市配电网建设中一种较为先进的供电模式。其具有高供电可靠性、合理的投资运维成本, 停电故障率低等特点。在综合考虑各种供电模式的影响因素后, 该供电模式被国内城市配电网建设普遍接受并逐步推广。

双环网供电方式, 当某一处电源线路故障或检修无法供电时, 可以切入到另一条正常供电的线路, 在其他线路供电负荷没有极大提升的情况下, 恢复正常供电。其中, 在配电网中融入故障自愈技术, 可以自动快速的恢复供电, 整个过程不需要人工干预, 全部由智能系统自动完成, 从而进一步提升了

收稿日期: 2023-03-15

供电可靠性^[1]。

1 典型双环型配电网

1.1 网架结构

简化的典型双环网结构如图1所示, 主要方便进行混合仿真搭建与测试。其中变电站S1有一条出线, 手拉手连接A开关站、B开关站, 并与S4变电站连接。A、B开关站分别有两段母线, 配置分段开关。正常运行时, 可以存在不同点的开环状态, A、B开关站的分段开关处于断开状态^[2]。

1.2 混合仿真搭建

对于双环网自愈逻辑的测试, 选择混合仿真的

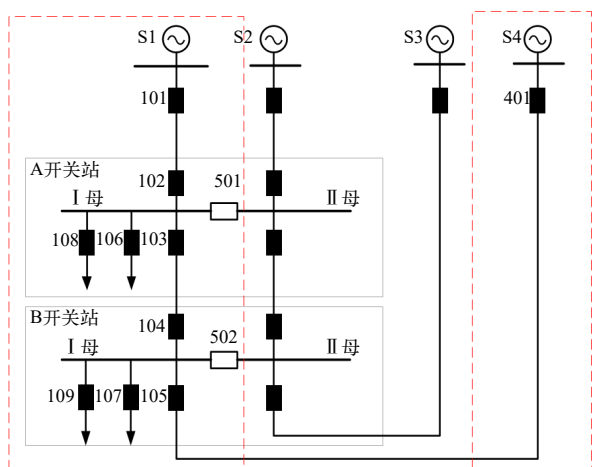


图1 双环型配电网拓扑示意

模式搭建。二次保护及自愈设备采用与现场一致的真实的站内装置，一次设备及潮流模拟加载选择用仿真部分实现，既保持与现场的一致性，又尽可能的减少场地和投资占比，从而搭建起一套可以用于双环网调试、测试、培训的应用平台。

1.2.1 保护配置

环内主干线路选用差动保护装置，即101与102之间、103与104之间、105与401之间配置光差保护；分支线路选用过流保护，即A开关站106、108间隔，B开关站107、109间隔，配置过流保护；开关站母线配置母线保护，当开关站发生母线故障时，跳开本段母线上所有间隔；同时开关站内配置备自投装置，隔离和恢复非故障段负荷供电。每座开关站内配置一套分布式配电保护自愈装置，用于双环结构内自愈执行。

1.2.2 仿真配置

其中，一次设备按照间隔配置相应的模拟断路器设备。模拟系统运行的二次电流电压值采用放大器提供，按照上述典型结构搭建电网模型，通过配电网的电磁暂态计算输出计算值，通过放大器装置加载至各二次设备，从而模拟实现整个双环网结构的闭环运行状态。

同时考虑建设成本及实际的测试需求，本环境搭建完成上述S1站-A开关站-B开关站-S4站此一环的模拟及配置建设。图1中红色虚线框区域为本次混合仿真模拟建设部分。

1.2.3 系统架构

按照数字仿真+真实设备的仿真模式，构建双环网的运行测试平台，如图2所示。

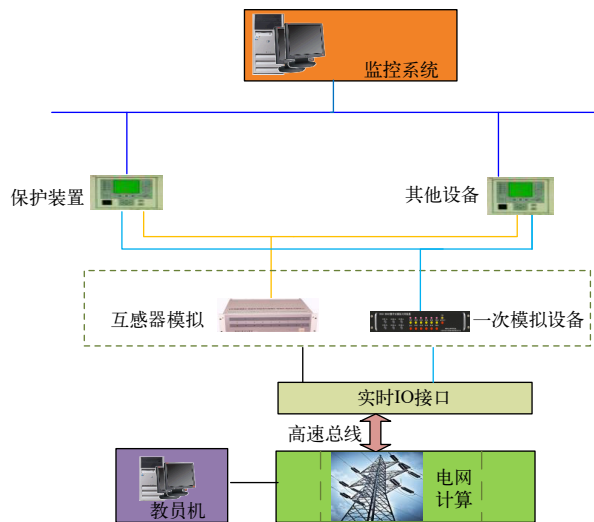


图2 混合仿真系统架构

2 自愈策略与分析

2.1 自愈逻辑

以本次混合仿真模拟部分为例进行描述。

首先沿S1至S4方向环进环出主干线路开关依次定义该开关站的间隔1和间隔2开关，分段开关为间隔3开关。对于A开关站，102开关为间隔1开关，103开关为间隔2开关，501开关为间隔3开关。对于B开关站，104开关为间隔1开关，105开关为间隔2开关，502开关为间隔3开关。本房母线分别指的是对应A、B开关站的I母。本房里指对应的配电房或开关站。

自愈逻辑跟运行方式有关，须满足自愈装置的充电逻辑，装置才会动作。

2.1.1 105开环

图3中F1-F9为可模拟的故障点位。105开关处于分闸位置。

对于自愈装置，其充电逻辑需满足：本房母线三相有压，这里指B开关站I母有压，同时有压无压判断是指的线电压，以下相同。本房间隔1开关在合位，即104开关合位。本房间隔2开关在分位，即105开关分位。下游相邻房母线三相有压，这里指S4站母线有压，本实验模拟S4站正常带电，即其母线有压；通过上述分析，充电逻辑满足。

本房、下游相邻房母线均不满足有压条件，试验前，检查本房及下游母线是否有压。本房母线保护动作，在正常运行时，装置母线保护不动作，不满足放电条件。本房失灵保护动作，同样正常运行

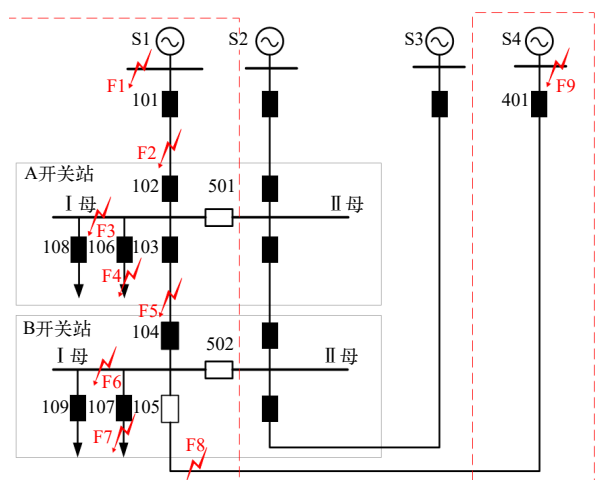


图3 105开环运行状态及故障点

时，装置失灵保护不动作，不满足放电条件。本房间隔2保护动作，同理正常运行，保护不动作，不满足放电条件。本房间隔2开关合位经200ms，当前105开环，非合位状态，不满足放电条件。发自愈合闸命令后经200ms，同上，不满足放电条件。下游相邻房间隔1分位，试验前检查401开关是否处于合位。下游相邻房母线保护动作，同上。下游相邻房失灵保护动作，同上。下游相邻房间隔1保护动作，同上。串供回路上间隔1、间隔2开关任一个TWJ异常，在试验前，保证TWJ正常。串供回路上间隔1、间隔2开关任一个TA断线，试验前，保证TA回路正常。串供回路上间隔1、间隔2开关任一开关检修，试验前，开关在正常应用状态。串供回路上除开环点为的间隔1、间隔2开关任一个开关手跳，试验前，不做相关手跳操作。串供回路上任一配电房接收GOOSE异常，试验前，检查各自愈装置，无GOOSE接收异常。首端变电站发闭锁自愈信号，或尾端变电站发闭锁自愈信号，试验前，检查是否有闭锁自愈开入。串供回路上任一配电房或变电站侧的母线TV三相断线告警，试验前，检查TV回路，保证各母线电压有值。拓扑保护跳闸时，串供回路上间隔1、间隔2后备保护动作开入，试验前，无动作开入。串供回路上任一配电房的自愈整定控制字、或功能硬压板、或功能软压板任一退出，试验前，检查压板状态，保证自愈功能投入。

105开环状态下充放电逻辑框图如图4所示。

通过上述检查，首先满足充电逻辑，同时还必

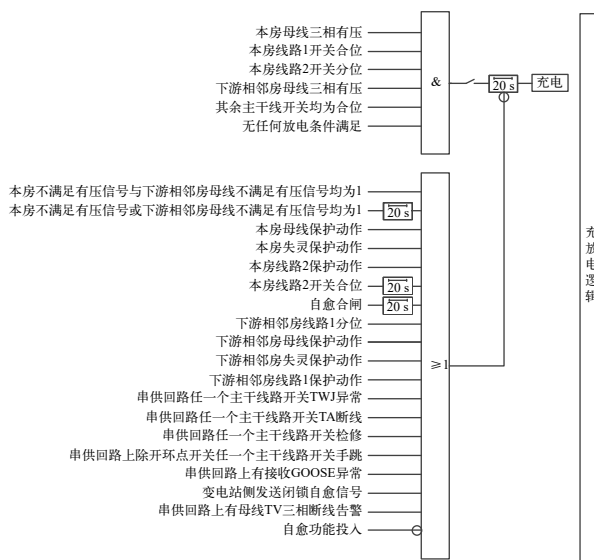


图4 105开环状态下充放电逻辑框图

须排除放电逻辑，在经过装置的整定时间后，自愈充电灯点亮。

动作逻辑分析：分析B开关站自愈装置的动作逻辑，当上游失电时，收到上游自愈启动信号，本房母线三相无压，本房间隔1无流，下游相邻房母线最大线电压有压，自愈起动，经自愈合闸时间后合间隔2，即合105开关，如图5所示。

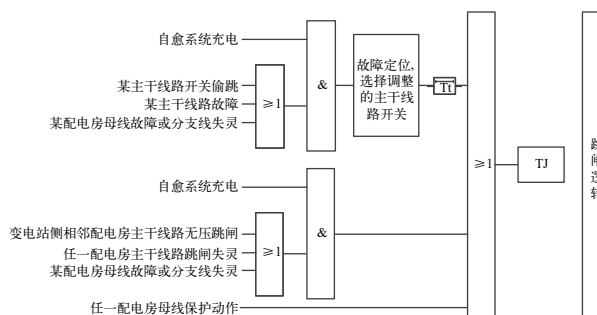


图5 105开环状态下跳闸逻辑框图

当下游失电时，收到下游自愈启动信号，下游相邻房母线三相无压，本房母线最大线电压有压，自愈起动，经自愈合闸时间后合间隔2，即合105开关。因B开关站在本次的仿真建设中，不存在下游的自愈装置，故无法收到下游的自愈启动信号，且本身105开关在开环状态，故下游失电，对本自愈装置无影响。

2.1.2 104开环

与图3中105开环类似，当前运行状态为105开关处于合闸位置，104开关处于分闸位置。

其充放电条件基本相同，不同点在这里列出。充电逻辑需满足：本房间隔 1 开关在分位，即 104 开关分位。本房间隔 2 开关在合位，即 105 开关在合位。其余主干线开关都为合位。当前运行状态满足充电逻辑。对于放电逻辑：本房间隔 1 开关合位经 200 ms，试验前，确认 104 开关状态，保证开关在分位。上游相邻房间隔 2 分位，试验前，确认 103 开关在合位；其他放电条件基本相同或类似。

动作逻辑分析：同样，以 B 开关站自愈装置为例，当上游失电时，自愈充电完成后，收到上游自愈启动信号，上游相邻房母线三相无压，本房母线最大线电压有压，自愈启动，经自愈合闸时间后合间隔 1，即合 104 开关。下游失电情况，与 105 开环状态下类似。

本次以 105 开环为主要测试运行方式，此处 104 开环不做详细介绍。

2.2 无压跳闸逻辑

因本混合仿真建设的双环网中间仅有 2 座开关站，开关站两侧都连有变电站，因此在主干路径上变电站对侧开关投入此功能，其他开关不投入此功能。在本结构中，102 开关及 105 开关投入无压跳闸功能。在自愈充电时，开关之前为合位，有压状态，转变为无流、母线无压，经无压跳闸时间，本开关跳闸。

对于 A 开关站，母线最大线电压低于无压定值，间隔 1 最大相电流小于无流定值，且间隔 1 对侧母线不满足有压同时满足后经无压跳闸时间动作。

对于 B 开关站，母线最大线电压低于无压定值，间隔 2 最大线电流小于无流定值，且间隔 2 对侧母线不满足有压同时满足后经无压跳闸时间动作。

3 故障实验

以 105 开环运行状态模拟故障实验，其中故障点如图 3 所示。

各仿真间隔 TA 变比统一为 600 A/1 A，TV 变比为 10 kV/100 V。电缆线路正序阻抗为 0.15 Ω /km，正序感抗 0.57 Ω /km，正序容抗忽略。自愈功能压板及控制字投入。整定无压跳闸时间 5 s，自愈合闸时间 0.1 s。

3.1 F1 故障，模拟 S1 站失电

通过仿真系统，模拟 S1 站失电。

动作情况分析：A 开关站在失电后，本开关站母线最大线电压低于无压定值，间隔 1 最大相电流小于无流定值，在经过无压跳闸时间（5 s）后，自愈装置动作出口跳 102 开关。同时向下游发环进间隔分位，首端无压跳开等信息，如图 6 所示。B 开关站，在接收到 A 开关站自愈装置的启动信号，按照其自愈逻辑，判定本开关站母线三相无压，104 间隔无流，自愈启动，经自愈合闸时间（0.1 s）后合 105 开关，恢复正常供电，如图 7 所示。

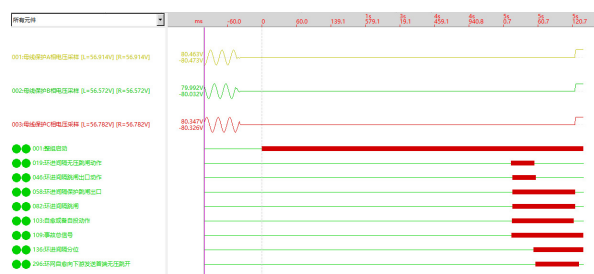
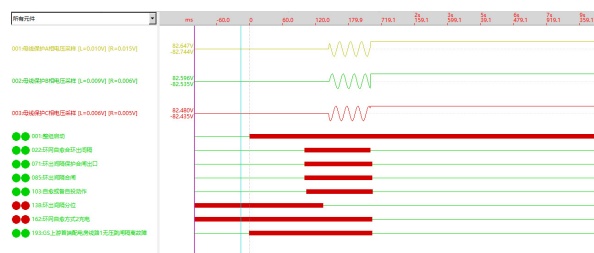


图 6 S1 失电后 A 开关站过程录波



注：非重要开关量信息未截图

图 7 S1 失电后 B 开关站过程录波

以上图中的时间标尺为各自装置的相对动作时间。从打印的动作报告绝对时间发现，S1 站失电时间是 15:56:34.408，A 开关站自愈装置启动的绝对动作时间为 15:56:34.446，102 开关变位时间是 15:56:39.463，B 开关站自愈装置的合闸动作时间为 15:56:39.595。根据前述逻辑分析，当 S1 站失电后，A 开关站自愈无压跳闸，经过 5 s 后，跳开 102 开关，同时 A 开关站自愈装置向 B 开关站自愈装置发送相关信息。B 开关站在接收到动作信号后，0.1 s 自愈装置动作，合 105 开关。

3.2 模拟主干线故障跳闸

通过仿真系统模拟 F2 点故障，设置 AB 开关站之间线路相间短路，故障持续时间 2 s。

动作情况分析：F2点故障，故障两侧的差动保护装置动作，分别跳开对应的开关，即差动跳开103和104开关。同时B开关站满足了其自愈动作条件，B开关站自愈装置将合闸105开关，如图8所示。A开关站自愈装置未满足其动作条件，装置未动作。B开关站自愈装置，因满足了其自愈合闸动作条件，故动作合闸105开关，如图9所示。其动作行为与前述基本相同。

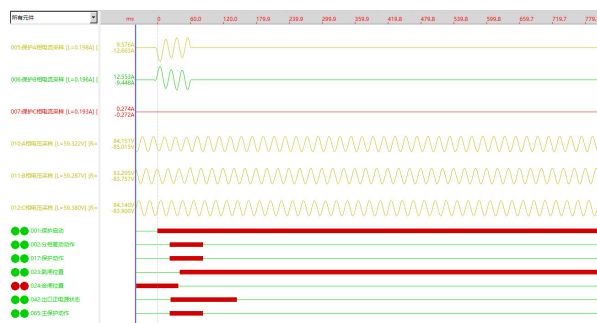


图8 主干线故障 线路差动动作录波

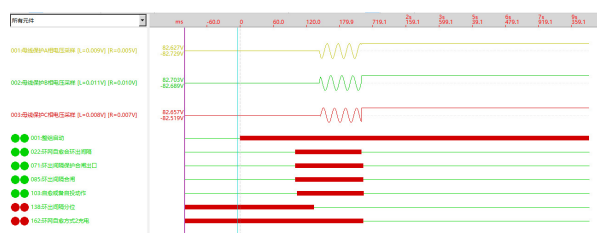


图9 主干线故障 B开关站自愈装置过程录波

通过上述3个故障的模拟实现，可以发现双环网架构中，配置的分布式配电保护自愈装置，通过不同开关站之间的通信联系，实现区域内的故障隔离与自愈供电，自愈合闸时间根据整定的时间，可以在100ms左右执行合闸动作，从而实现非故障区段的快速恢复供电，提高整个供电电网的可靠性。

4 结论

本文介绍了利用混合仿真模式建设的典型双环型配电网自愈逻辑测试平台及开展的故障测试，通过失电、开关偷跳、线路故障等试验，验证了配置在开关站内的自愈装置动作的正确性。自愈装置在单一故障引起的失电等情况下，可以快速的恢复供电，且动作时间较备自投设备要快很多。下阶段，将利用该测试平台，开展复合型故障的测试，同时

叠加开关拒动等情况，还可以测试不同开环点下的不同自愈逻辑，以测试自愈装置在复杂故障情况下的动作逻辑及动作行为，为配电网自愈逻辑的策略判定及自愈装置的应用推广提供试验参考^[3-4]。

参考文献

- [1] 国家电网有限公司. Q/GDW 10738—2020. 配电网规划设计技术导则[S]. 2020.
- [2] 娄为, 沈冰, 裴愉涛, 等. 钻石型配电网的保护与自愈策略分析[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(23): 161-168.
- [3] 王彦国, 赵希才. 智能分布式配电保护及自愈控制系统[J]. 供用电, 2019, 36(9): 1-8.
- [4] PCS-9721S-NB. 分布式配电保护自愈装置技术和使用说明书[M]. 南京: 南瑞继保, 2021.

作者简介

褚雯雯(1991—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 电力系统自动化。

(责任编辑: 张峰亮)

资讯

四川乐山公司：数字化电力警务指挥中心正式运行

2023年5月28日，国网乐山供电公司与乐山市公安局签订了《关于构建警企共建营造良好供用电环境发展合作协议》，通过警企工作机制共建，实现数据价值共享，助力社会治理共治。

2022年10月，乐山市公安局联合国网乐山供电公司对原乐山市公安电力警务室进行数字化提升建设，建成乐山市数字化电力警务指挥中心。该中心集信息汇聚、情报研判、指挥联动于一体，开创了“市级电力警务指挥中心+区县公安局治安大队（情报中心）+乡镇电力警务室（站）”数字化立体联动的警企共建新模式。

中心通过“联防、联动、联治”工作机制，依托电力警务智慧数据平台，汇聚8大业务系统，融合公安监控系统，实现电力设施保护、反窃电、防山火等联动处置，全面保障电网安全、用电安全、重点场所安全、网络信息安全。

中心试运行以来，累计联动开展用电秩序整治1600余户、用电问题治理1400余户；查处窃电95笔，取得反窃电经济成效170万元；开展电力设施保护防外破联合执法检查，消除危险源169处，切实保障电网设备安全稳定运行。

信息来源：国网四川省电力公司

基于“双中台”服务的营配本质贯通业务模式研究

钟晓剑

(国网浙江省电力有限公司杭州供电公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 营配贯通业务已研究和多年, 但数据异源存储多头维护、信息不共享、业务不协同等问题依旧突出, 较多业务场景未真正实现营配融合。文章提出了一个基于“双中台”服务的营配本质贯通业务模式。该业务模式依托电网资源业务中台和用户服务业务中台2个企业级中台的核心服务。文章还从集成架构、数据管理、服务提供以及业务场景应用维度进行了业务模式设计和贯通验证, 构建了电网资源和用户资源共享服务模式, 实现营销和生产专业间业务同根、数据同源、服务共享, 促进供电企业提升供电服务水平和供电可靠性, 赋能人民美好生活需要。

关键词: 中台; 营配本质贯通; 数据同源; 业务模式

中图分类号: TM764

Research on the Business Model of Marketing and Distribution Essence Perforation Based on "Double Middle Platform" Service

ZHONG Xiaojian

(State Grid Zhejiang Power Co., Ltd. Hangzhou Power Supply Company, Zhejiang Hangzhou 310000, China)

Abstract: The maketing and distribution business has been researched and developed for many years, but the problems such as multi-head maintenance of heterogeneous data storage, non-sharing of information, and lack of business collaboration are still prominent, and many business scenarios have not truly realized the integration of marketing and distribution. This paper proposes a business model of marketing and distribution essence perforation which based on the "double middle platform" service. This business model relies on the core services of two enterprise-level middle platforms, which are the grid resource business middle platform and the customer service business middle platform. This paper also designs and verifies the business model from the dimensions of integrated architecture, data management, service provision, and business application scenarios, and builds a service model for sharing power grid resources and customer resources to achieve the same root of business, data and service sharing between marketing and production majors, which can promote power supply enterprises to improve power supply service levels and power supply reliability, and empower people's needs for a better life.

Keywords: middle platform; marketing and distribution essence perforation; data homology; business model

营配贯通是国家电网公司2015年以来的重点工作之一, 是指供电企业营销和生产等专业之间通过高效的专业协同, 将整个供电企业内部资源进行整合分配, 实现海量营配数据资源共享、业务融通、流程优化, 达到供电服务末端营配业务的贯通融合, 促进供电服务质量持续提升的管理模式^[1-2]。通过开展营配数据梳理和信息化系统建设, 整合营销和生产的各类数据资源, 将供电企业营销、生产的协同工作以及数据资料等联系在一起, 使须要营销、生产协同配合的业扩报装、停电主动通知、故障报修、95598供电服务等工作达到业务有机整合、功能相

收稿日期: 2023-04-11

互融通、服务实时响应^[3]。

传统的营配贯通, 受限于营销和生产专业的系统独立性、非确定性的海量数据等因素的限制, 虽在一定程度上实现了营配资源的共享, 但还是无法实现数据的同源管理和应用。文献[4]设计了数据中台的贴源、共享、分析3层服务架构, 提出了建设数据中台所须要的关键技术, 借助数据中台进行营配贯通优化提升, 但营配贯通的总体架构在于业务应用和数据中台之间, 并未涉及中台之间数据源的存储和交互。文献[5]提出了电力大数据营配贯通典型应用场景, 但缺少对营配数据同源管理模式的分析。文献[6]研究了基于营配贯通的营销可视

化技术的应用，建立数据信息平台，实现不同专业间的信息交互和共享，但是数据的来源还是营销和生产独立，未正在实现数据一个源。文献[7]提出了应用营配贯通成果优化业扩报装勘查作业的方案，但必须在一定的前提和业务范围条件下应用，且未对营配数据同源维护机制进行分析。

本文提出了一个基于“双中台”服务的营配本质贯通业务模式，并从数据管理和提供服务2个维度进行了集成架构设计。该业务模式依托电网资源业务中台和客户服务业务中台2个企业级中台的核心服务，实现营销和生产专业间业务同根、数据同源和服务共享。在此基础上，分中压和低压2个典型场景维度，对营配本质贯通业务模式进行数据集成以及业务应用的贯通验证，为营配业务高质量协同发展、供电服务水平的提升和供电质量的提高提供了有力的支撑。

1 营配贯通业务发展现状及存在问题

1.1 营配贯通业务发展现状

营配贯通业务经过多年的研究和发展，在营配贯通管理实践、营配信息化建设以及营配业务流程优化等方面均有相当不错的研究和发展成果，一定程度上降低了供电企业的人力和时间成本，营销和配网的精益化管理水平也有了很大程度的提升^[8]。在营配贯通管理实践方面，供电企业通过营配组织机构调整、管理模式优化等，来提升整体的工作质量和效率；在营配信息化方面，通过营配贯通平台建设、营销可视化技术的应用等，来提升企业的信息化管理水平和基础数据质量^[9]；在营配业务流程方面，通过在业扩报装、故障抢修、线损管理等营配协同业务流程的创新实践和模式优化，来简化业务流程，提升末端服务水平和服务质量。然而，在营配信息化和营配业务流程方面，大部分的研究，都集中在营配贯通平台的建设应用以及营配贯通成果在各类业务场景的应用等方面，对基于营销和生产专业中台服务的营配数据集成、资源共享和服务提供等架构和机制，以及对应的数据和业务集成场景应用等方面的研究较少。

1.2 当前营配贯通业务存在的问题

随着营配贯通业务的不断深入，虽一定程度上实现了业务流程的优化、基础数据质量的提升和整

体服务效率的提高，但受限于供电企业的组织机构设置、业务职责分工、系统平台功能定位、基础数据维护边界等因素，营销和生产虽然存在交叉耦合的业务，但很多的业务场景还是无法做到真正的数据同源、业务融合和营配本质贯通^[10-11]。

在营配业务流程处理方面，营销、生产部门之间的配合难以做到协同，如业扩报装的勘查、送电等现场工作，均须要营销的用户经理和生产的专业人员配合完成，但繁杂的协调手续，经常会出现部门之间的推诿现象。

在营配信息化建设方面，营销、生产都有各自的业务系统和数据，营销专业主要应用的有营销系统和客户服务业务中台，生产专业主要应用的有PMS系统和电网资源业务中台，数据异源存储、标准不统一、信息不共享等问题依然普遍存在^[12-13]。以数据存储为例，当前营配贯通模式下，电网资源数据与用户数据分别存储在电网资源业务中台和客户服务业务中台，须要通过双方增量数据同步，并结合异常数据定时推送、手工治理的方式来维持营配数据的一致性。营销、生产专业的信息化系统虽已应用多年，并取得了一定的成效，但因电网资源数据和用户数据多头维护，产生了营销和配网数据不一致、应用效果不理想等诸多问题，对跨专业的数据分析、业务决策依旧存在严重的影响。因此，构建一种电网资源和用户资源融合共享的服务模式，实现营销和生产专业间业务同根、数据同源和服务共享，能够有效解决营配信息化方面数据异源存储、多头维护等问题，真正实现营配本质贯通，从而促进末端服务效能和供电质量的大幅提升。

2 基于“双中台”服务的营配本质贯通业务模式

2.1 基于“双中台”服务的营配本质贯通集成架构

基于当前营配贯通存在的问题，须要重点从业务流程、信息集成等方面针对性的推进，打破专业壁垒，做到数据一个源、业务一条线，才能实现营配本质贯通。营配本质贯通，须要依托电网资源业务中台和客户服务业务中台两个企业级中台的核心服务，形成以业务中台为中心的信息管理理念，并通过消息通知、服务调用等方式，实现营销、生产专业的业务应用系统与业务中台间的数据传递和业

务集成。基于电网资源业务中台和用户服务业务中台的“双中台”服务的营配本质贯通集成架构如图1所示。

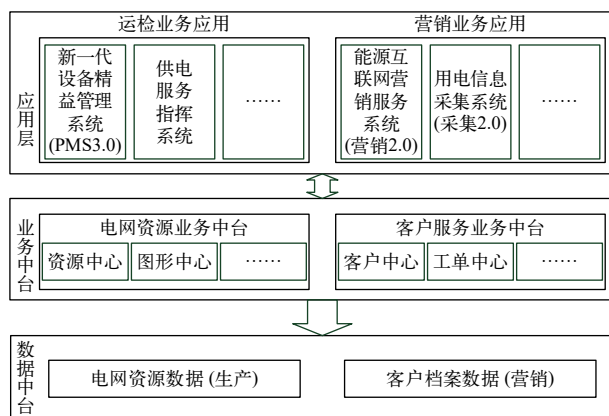


图1 基于“双中台”服务的营配本质贯通集成架构

该集成架构下，电网资源业务中台负责电网资源数据存储与管理，包括设备台账、电网图形等，用户服务业务中台负责用户数据存储与管理，包括用户数据、用户档案等。电网资源业务中台、用户服务业务中台为各专业的业务应用系统提供数据查询、业务维护服务，以支撑营销、生产业务的开展。同时，电网资源业务中台、用户服务业务中台定时同步数据到数据中台，实现数据沉淀。数据中台为各专业业务应用系统提供数据服务，满足数据获取、数据统计的需求，支撑各专业数据分析、业务决策等工作的正常开展。

2.2 基于“双中台”服务的数据管理和提供机制

在营销、生产专业的业务系统、中台互相提供数据查询、共享应用服务时，须满足信息集成的业务独立性、数据一体化、功能实用性和模块可拓展等原则。基于“双中台”服务的营配本质贯通业务模式，电网资源业务中台和用户服务业务中台须要实现数据一写多读，向外部系统提供读取库，并开放读取库查询权限，为营销、生产的基础业务、批处理业务提供支撑。在数据管理和提供方面采用如下方式进行管理权限划分。

在数据管理方面，为了保证数据的可用性和唯一性，电网资源业务中台和用户服务业务中台对于同一个对象须使用相同的业务编码，避免多重映射导致数据不可用。电网资源业务中台负责电网设备

数据存储管理，用户服务业务中台负责用户及计量数据存储与管理，保证数据的唯一性。

在服务提供方面，由业务对象管理者向各专业应用系统提供同源数据查询、差异化数据维护服务。在数据查询服务上，业务中台应为各专业提供同等查询服务，支持所管理数据的查询。在数据维护服务上，因各专业的业务职责和功能定位不同，应对各专业应用系统进行权限区分，采用差异化配置，保证数据维护对象的唯一性。以常见的变压器档案的数据查询和维护服务为例，因变压器属于电网设备，数据存储在互联网资源业务中台，查询服务由电网资源业务中台提供，所有业务应用系统均有相同的查询权限，但数据维护权限应进行区分，公用变压器应由生产专业人员进行数据维护，专用变压器应由营销专业人员进行数据维护。根据数据一致性和唯一性要求，以管理、存储同源为准则，对重叠交叉部分的电网资源数据、用户档案数据进行梳理，可得到两个业务中台所管辖的数据范围如表1所示。

表1 “双中台”数据管辖范围

序号	电网资源业务中台	用户服务业务中台
1	变电站信息	电源点信息
2	线路信息（专线、公线）	计量点信息
3	变电站与线路关系	电源点与计量点关系
4	变压器信息（公变、专变）	计量箱信息
5	线路与变压器关系	电能表信息
6	低压接入点信息	电能表与计量箱关系
7	低压接入点与公变台区关系	电能表与计量点关系
8	低压接入点与表箱资产关系	用户信息
9	计量箱图形信息	结构化地址信息
10	计量箱资源信息	专线计费信息
11	计量箱资源与计量箱资产关系	专变计费信息
12	站房信息	自备电源台账信息
13	电网设备(站线变)与电源点关系	电厂、机组信息
14	专变与用户关系	充电桩信息
15	设备与计量点关系	/

3 基于“双中台”服务的营配本质贯通场景应用

3.1 营配本质贯通数据集成场景

结合基于“双中台”的营配本质贯通集成架构、

数据管理以及服务提供机制，营销和生产的数据集成场景可以分为中压和低压2部分。

3.1.1 中压数据集成场景

对于中压场景，电网资源业务中台存储线路、站房、变压器、电网设备与电源点关系、专变与用户关系信息，客户服务业务中台存储用户、电源点信息。客户服务业务中台提供用户、电源点、计量点数据服务，可通过用户标识（用户编号）查询用户信息、电源点、计量点信息，通过电源点、计量点查询关联用户档案。电网资源业务中台提供变电站、线路、变电站与线路关系、站房、变压器、电网设备与电源点关系数据服务，可通过线路标识（线路ID）查询线路、变电站信息，通过电网资源标识查询配电变压器台账信息，通过电网设备与电源点关系，查询关联电源点信息、电网资源信息。中压场景数据集成及服务提供示意图如图2所示。

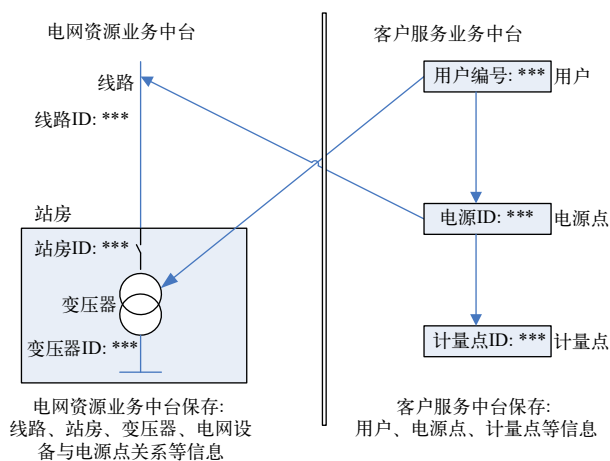


图2 中压场景数据集成及服务提供示意图

3.1.2 低压数据集成场景

对于低压场景，以低压接入点为分界点，存储营配数据并提供相应数据服务。电网资源业务中台存储配变、杆位（电缆分支箱）、接入点、接入点与计量箱关系数据；用户服务中台存储计量箱、电能表数据。用户服务业务中台提供计量箱、电能表、用户的数据服务，可通过接入点与表箱关系，查询关联的计量箱、电能表、用户信息。电网资源业务中台提供配变、杆位（电缆分支箱）、接入点、接入点与计量箱关系的数据服务，可通过计量箱标识查询对应的接入点与计量箱关系、接入点挂接的杆位、线路、配变信息。低压场景数据集成及服务提供示意图如图3所示。

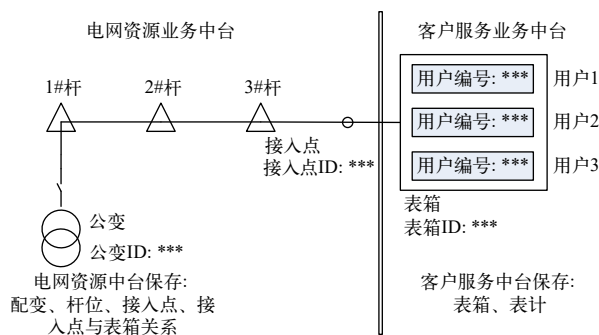


图3 低压场景数据集成及服务提供示意图

3.2 营配本质贯通模式的典型业务场景应用

在实际工作中，营配业务主要的应用场景有业扩报装、故障抢修、线损管理、停电通知等，这些业务场景中，业扩报装营配协同应用场景最为典型。在业扩报装业务流程中，须营配协同开展工作的环节主要有现场勘查、供电方案编制、设计态图形维护、检修计划制定、中间检查、竣工验收、空间拓扑维护、装表送电等，在系统中通过界面集成或应用集成的方式，实现档案数据的获取和业务流程的传递。以高压业扩新装这个典型业务场景，开展营配本质贯通业务模式的业务贯通验证。

高压业扩新装业务，营配协同业务应用交互，涉及到营销业务应用系统、供电服务指挥系统、PMS系统等营销、生产专业的业务系统，业务系统间服务提供及业务交流过程如图4所示。

在现场勘查环节，用户经理组织生产专业人员

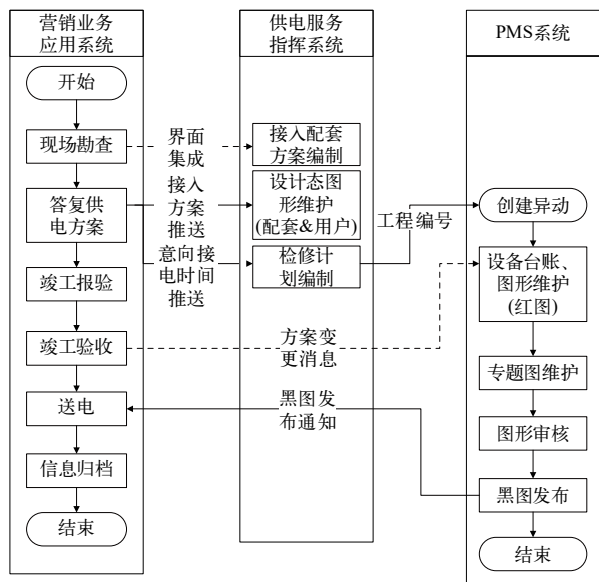


图4 高压业扩新装业务营配协同应用交互图

开展联合勘查，在营销业务应用系统通过界面集成方式编制接入方案，结合计量、计费方案以及受电设备方案、意向接电时间等，将编制完成的整套供电方案推送至供电服务指挥系统，生产专业人员通过供电服务指挥系统和 PMS 系统，开展设计态图形维护、检修计划制定等工作。在竣工验收环节，用户经理组织生产专业人员开展联合竣工验收，用户经理和生产专业人员配合完成电网设备、用户设备的台账、图形维护。在送电环节，根据编制并发布完成的黑图，用户经理组织生产专业人员开展联合送电，完善用户档案信息。通过以上各环节的营配协同交互，实现高压业扩新装业务的全场景贯通。

4 结束语

本文提出的基于“双中台”服务的营配本质贯通业务模式，通过打破营销、生产专业在数据存储、业务协作上的壁垒，构建了电网资源和用户资源共享服务模式，实现营销和生产专业间业务同根、数据同源、服务共享，达到了营配本质贯通。通过数据和业务 2 个维度的场景集成，验证了营配本质贯通业务模式的可行性，对供电企业高质量的实现营销和生产专业的业务协同、资源整合和服务共享，提供更快速的服务响应、更便捷的服务体验和更高标准的供电质量，具有一定的参考和指导意义。

参考文献

- [1] 辛保安. 加快建设新型电力系统助力实现“双碳”目标[J]. 国家电网, 2021(8): 10-12.
- [2] 保瑞. 电网企业营配贯通服务管理模式设计及评价研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2017.
- [3] 乔琦. 大力推进营配调贯通 实施专业化协同运作——专访国家电网公司营销部[J]. 中国电力企业管理, 2015(12): 13-17.
- [4] 李炳森, 胡全贵, 陈小峰, 等. 电网企业数据中台的研究与设计[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(7): 29-34.
- [5] 王海云, 朱洁, 迟忠君, 等. 营配贯通电力大数据典型应用场景研究[J]. 供用电, 2017, 34(5): 57-59+49.
- [6] 王长江, 沈健, 金良峰. 基于营配贯通的营销可视化技术的应用研究[J]. 浙江电力, 2015, 34(8): 55-58.
- [7] 金良峰, 沈健, 王长江. 营配贯通在业扩报装勘查作业中的应用[J]. 浙江电力, 2015, 34(6): 61-63.
- [8] 周世忠. 蚌埠供电公司“营配贯通”模式构建及优化策略研究[D]. 蚌埠: 安徽财经大学, 2020.
- [9] 柯奇江. 营配调数据贯通管理系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2021.
- [10] 张晓薇. 供电企业营配贯通中的难点以及解决途径[J]. 中

小企业管理与科技(中旬刊), 2019(12): 6-7.

- [11] 尹鹏, 腾飞, 张东斐. 供电企业营配贯通中难点问题及对策探讨[J]. 中国高新技术企业, 2017(1): 170-171.
- [12] 孙美东. 营配调贯通数据同源管理的实践探究[J]. 南方农村, 2019, 50(18): 228.
- [13] 刘国良, 钱伟, 汪洋. 营配调贯通数据同源管理工作的实践[J]. 农电管理, 2017(5): 22-23.

作者简介

钟晓剑(1989—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力营销技术。

(责任编辑: 张峰亮)

资讯

国家能源局成功举办 2023 年华东区域跨省区大面积停电事件应急演练

为提升跨省区应急协调能力，做好迎峰度夏等重要时段电力突发事件应对工作，2023 年 6 月 15 日，国家能源局在华东区域举办跨省区大面积停电事件应急演练，本次演练由国家能源局主办，近 30 个部门和单位参加。

华东电网是我国规模最大、电压等级最高的区域电网。2023 年夏季，华东电网最高用电负荷预计 39725 万 kW，电网保安全、保供应形势较为严峻。

本次演练包括监测预警、先期处置、应急响应启动、应急处置和应急结束 5 个阶段，预警发布和预警行动、电网企业先期处置、相关单位启动应急响应、上海市社会面应急联动等 9 个演练科目。场景设置除华东电网输电通道因遭受台风和强降雨造成严重故障外，叠加了电厂送出线路故障、新能源脱网、跨区直流闭锁等情形。演练还设置了上海市多家重要电力用户停电的情形和社会面应急处置场景，突出上海市政府作为大面积停电事件的主导部门有序开展社会面应急处置，体现了电力行业和地方政府的应急响应联动。

本次演练针对华东电网主要安全风险开展，分别设置新能源风机脱网、局部电网全停等多个故障情形，抓住华东电网主要特点和薄弱环节，流程合理、贴合实际、针对性强、演练全面，有力提升了电力系统保安全、保供应能力，为保障迎峰度夏期间电网安全稳定运行和电力可靠供应奠定了坚实基础。

信息来源：国家能源局

考虑死区故障的馈线自动化技术研究

张贝贝

(国网江苏连云港供电公司, 江苏 连云港 222000)

摘要: 文章分析了目前应用的集中式馈线自动化的故障处理逻辑, 但不适用于环网开关的死区故障, 研判故障区域与实际隔离区域不一致, 提出考虑死区故障的馈线自动化技术, 综合利用故障区域边界开关的上一级“三遥”开关保护特征, 可大大缩短故障查找时间, 快速恢复非故障段负荷供电, 避免重复停电、停电范围扩大等问题。最后, 通过案例分析验证了该方法的有效性。

关键词: 馈线自动化; 供电可靠性; 死区故障; 故障

中图分类号: TM733

Research of Feeder Automation Technology Considering the Dead-zone Fault

ZHANG Beibei

(State Grid Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222000, China)

Abstract: This paper analyzes the logic of the centralized FA handling with the distribution network breakdown. FA used now is not suitable for the switch dead-zone fault. An improved technology is proposed by using the characteristics of the "three remote" switches relay protection before the located fault area to achieve distribution network fault location, isolation, restoration of power for fault region and avoid cutting power repeatedly and expanding scope blackout. Finally, the effectiveness of the proposed method is verified through case analysis.

Keywords: feeder automation; power supply reliability; dead-zone fault; relay protection

配电自动化系统 (distribution automation, DA) 具有配电网数据采集与监控、故障处理、负荷管理等功能, 是实现智能配电网的基础, 而 DA 核心功能是馈线自动化 (feedback automation, FA)。

集中式 FA (下文简称 FA) 由于其自愈适应性强等特点, 受到较多关注。根据统计, 某地区配电房电缆室或电缆中接头故障发生率为 58.6%^[1], 受 TA 安装位置影响, 使得 FA 判断故障位置与实际故障位置不一致, 动作成功率大大降低, 并造成重复停电、故障点转移、停电范围扩大等问题。文献 [1] 扩大故障隔离范围, 提高复电的成功率。文献 [2] 通过区分利用环网进线开关、出线开关的故障指示信息, 遥控分开其上一级开关, 确保故障点的彻底隔离。但以上策略均未能对是否发生死区故障做出准确判断, 当线路发生死区故障时, 造成停电范围扩大等问题。

本文提出了考虑死区故障的馈线自动化技术, 从配电网环网开关加装电流互感器产生的死区问题, 分析现有 FA 策略不适应死区故障问题, 通过自适应调整故障边界开关的上游“三遥”开关保护动作

收稿日期: 2023-02-13

跳闸功能, 实现对死区故障的准确隔离, 快速恢复非故障区域供电。

1 馈线自动化技术

1.1 配电自动化系统概述

DA 主要由主站、子站 (根据需要建设)、终端和通信通道组成, 采用数据中台的方式, 实现与其他相关应用系统的数据共享和功能扩展, 如图 1 所示。供电企业实际应用的 DA 系统包括配电网自动化系统、配电网管理自动化系统、停电管理系统以及配电管理系统^[3-4]。

通过 DA 实时监控中低压配电网及其设备的运行状态, 当系统发出异常预警时, 通知人员及时处理, 消除故障隐患, 避免配电网设备“带病”工作。当配电网设备发生故障时, 实现自动完成故障定位、遥控隔离故障以及恢复非故障负荷供电, 减少故障停电给社会造成的经济损失和不良影响^[5]。

1.2 主站集中式馈线自动化

馈线自动化主要分为主站集中式和就地分布式, 其中, 就地分布式又可分为时间电压型和智能分布式, 本文研究的重点对象就是主站集中式馈线自动化。

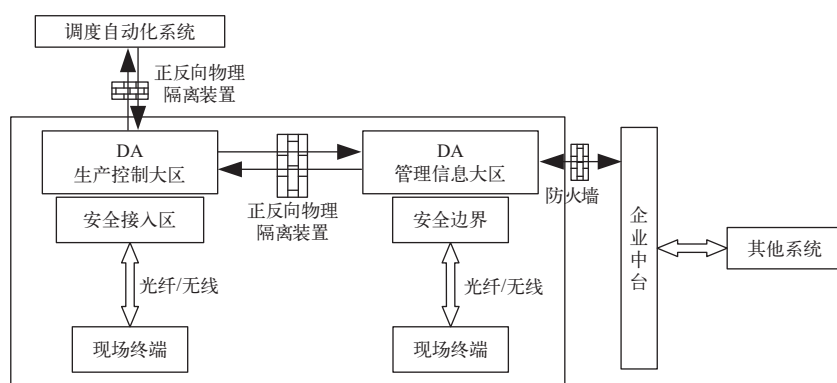


图1 配电自动化系统示意图

对于采用主站集中式FA的配电网10 kV(20 kV)线路,当发生短路故障或者单相接地故障时,变电站出线开关保护动作跳闸,配电自动化系统根据相应的设定原则启动FA,通过多种通信方式,综合线路上自动化开关的保护动作信息,结合配电线路拓扑模型,研判故障类型以及故障区域,遥控分开故障区域的边界开关,遥控合上电源点开关,实现非故障区域供电。

2 考虑死区故障的馈线自动化技术

为了节省投资,对于现有未集成TA的环网开关柜,一般在原有开关柜间隔的电缆室加装TA,安装位置位于开关、电缆终端接头下方^[1],分别以进线电缆终端接头和出线电缆中间接头发生故障展开讨论分析。

进线开关发生死区故障特征分析。当进线开关的电缆终端接头处发生故障时,故障电流流过该接头下方的TA,变电站开关至该开关之间的上游主干线开关(包括该开关)的终端(distribution terminal unit, DTU)上送保护告警信息,FA研判故障点在该开关的下游区域,遥控隔离故障区域、恢复故障点上游区域供电时,造成变电内断路器再次跳闸,变电站开关至该开关之间主干线开关(包括该开关)的DTU再次上送保护告警信息,此时该开关处于分位。

出线开关发生死区故障特征分析。当出线开关的电缆终端接头处发生故障时,故障电流不流过该接头下方的TA,该开关下游(包括该开关)的DTU均无保护告警信息,FA研判故障点在该开关的上游区域,遥控隔离故障区域、恢复故障点下游区域供电时,造成转供线路变电站的断路器跳闸,

该开关至转供线路站内断路器之间的开关DTU上送保护告警信息,此时该开关处于分位。

综上所述,当环网开关发生死区故障时,主站FA不能将故障点有效隔离,导致重复停电、故障转移等不良后果。同时FA将发生死区故障的开关(故障区域边界开关)遥控分开后,对非故障区域送电失败,且该开关以及上游开关的DTU上送保护告警信息,因此,可利用该特征对现有的FA技术进行改进,如图2所示。

当配电网线路发生永久性故障时,变电站出线开关保护动作跳闸,主站FA功能启动。主站FA根据变电站出线开关以及配电网线路开关的保护信息,研判故障区域,遥控分开故障区域各侧开关,隔离故障区域。

检索并形成故障区域各侧边界开关至变电站出线开关、联络开关的供电路径拓扑,识别并遥控分开故障区域边界开关的上一级“三遥”开关(以下简称上一级开关)以及两者之间的分支开关,遥控合上变电站出线开关、联络开关,恢复非故障区域供电。

主站将上一级“三遥”开关的保护跳闸功能投入,并遥控合上。如果未发生保护动作跳闸,将保护跳闸功能退出,判定故障区域定位准确,并恢复上一级开关与故障边界开关之间分支开关后段负荷的供电;如果发生保护动作跳闸,将保护跳闸功能退出,判定跳闸侧边界开关发生死区故障,完成死区故障隔离,分支开关后段负荷进行转供,将未跳闸侧的故障边界开关保护跳闸功能投入,遥控合上边界开关,并恢复故障区域负荷供电,在试送馈线开关过程中,如边界开关发生跳闸,判定试送的馈线开关发生死区故障,遥控分开馈线开关,遥控合

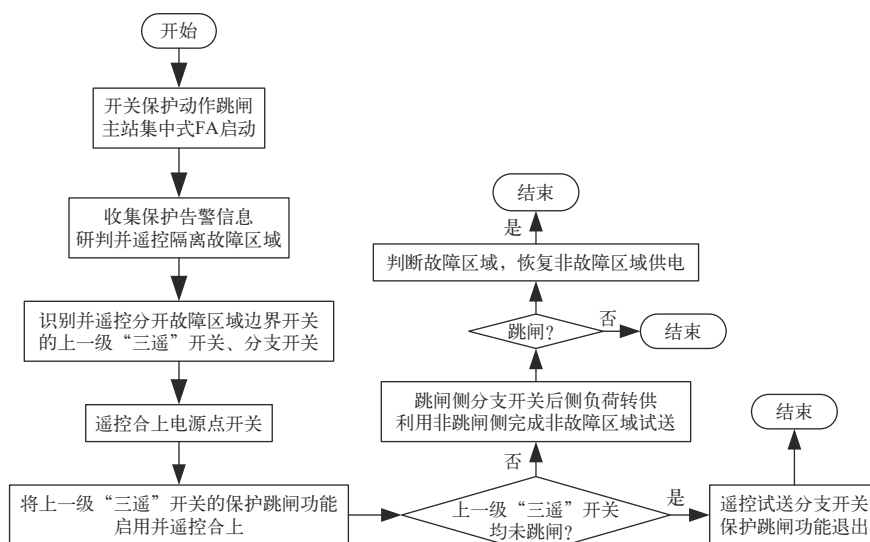


图2 考虑死区故障的馈线自动化技术流程图

上边界开关，完成其余馈线负荷供电后，将边界开关的保护跳闸功能退出。

3 案例分析

故障前线路运行方式如图3所示，图中实心代表开关合位，空心代表开关分位。甲、乙变电站主变10kV侧为小电阻接地方式，Q1为甲变电站10kV I段母线上出线开关，Q2为乙变电站10kV I段母线上出线开关，均配置过流保护和零序过流保护，I段时限均设置为0.4s，两条线路均采用全电缆敷设，变电站内重合闸功能不投入。Q1与Q2线路采用主站集中式FA，均投入在线自动模式。

H1、H2、H3、H4为自动化环网，环网开关具备“三遥”功能，配置过流保护I段和零序过流I段保护，其中，用户分界点开关（L1、L2、L3、L4）均投跳闸，时限设置为0，其余分段开关跳闸不投，K7为联络开关。环网开关零序TA均采用穿心式，安装在电缆与开关接头处下方。

K4发生死区故障时，故障零序电流回路见图4，Q1、K1、K2、K3开关的TA流过故障电流，智能终端有保护告警，下面分别对传统和改进的集中式FA处置方案进行分析。

3.1 传统的FA处置方案

传统的FA根据保护告警信息，判断故障点在K3、K4与L2之间，遥控分开K3、K4与L2；遥控合上Q1，K3前段恢复供电，此时K3的上一级开关K2无保护告警信号，同时遥控合上K7，对故障点再次送电，零序电流回路见图5。由图5可知，零序电流流过K4的TA4，K4有零序过流I段保护告警信息，通过遥控分开K4，无法隔离故障点，造成变电站内Q2开关送电失败。

3.2 改进的FA处置方案

改进的FA根据保护告警信息，判断故障点在K3、K4与L2之间，遥控分开K3、K4与L2；检索非故障区域供电路径，L2为负荷开关，无转供路径，识别并遥控分开K3的上一级“三遥”开关K2，

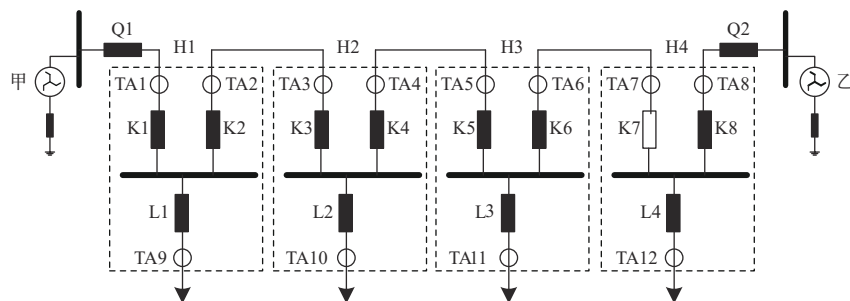


图3 故障前运行方式

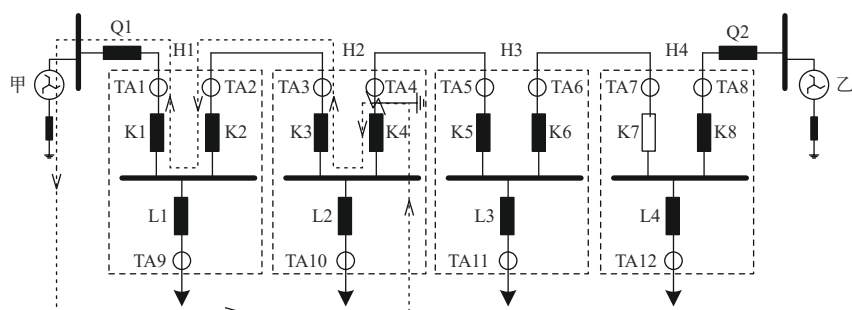


图4 K4死区故障零序电流示意图

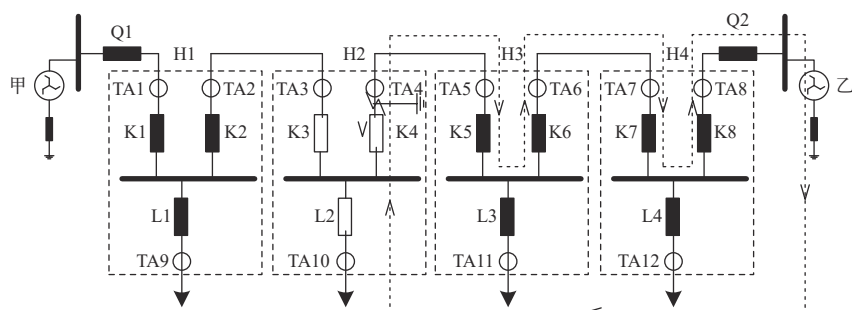


图5 K4死区故障转移后零序电流示意图

K4的上一级“三遥”开关K5，将K2与K5开关保护动作跳闸投入，时间时限设置为0s；遥控合上所内开关Q1、线路联络开关K7，送电正常；遥控合上K2与K5，K2开关送电正常，K5开关保护动作跳闸，判断K4发生死区故障，隔离故障点，将K2、K5开关的跳闸功能退出；将K3的保护动作跳闸功能投入，时限设置为0s，遥控合上K3，送电正常，遥控合上负荷开关L2，送电正常，恢复非故障段供电，将K3的保护跳闸功能退出。

3.3 效果对比

采用改进的FA策略前后，针对是否发生死区故障，从停电范围、非故障段重复停电、恢复供电速度等3个方面进行对比，见表1。从表1可以看出，当未发生死区故障时，停电范围相同，均不存在重复停电情况，非故障段恢复供电速度均高于传统巡线处理方案。当发生死区故障时，改进的FA

停电用户范围更小，重复停电影响范围更小，非故障段恢复供电速度更快。

4 结束语

本文论证了现有的集中式FA技术并不适用于发生死区故障的线路自愈，着重分析了进线开关、出线开关死区故障的动作逻辑以及保护特征，提出利用故障区域边界开关的上一级“三遥”开关保护跳闸功能，实现对死区故障的精确定位，对非故障区域快速复电，提高了配电网的供电可靠性。

参考文献

- [1] 许达, 秦绮蕾, 顾大德. 考虑设备故障概率的配网自愈故障隔离优化策略[J]. 电工技术, 2022(4): 83-85+88.
- [2] 梁铭聪. 配网死区故障分析及配网自动化故障处理策略改进[J]. 技术与市场, 2018, 25(8): 117-118.
- [3] 黄兵, 吴成东, 曾乃鸿. 一个国外已运行的配网自动化系统[J]. 电力系统自动化, 1999(18): 39-41.
- [4] 顾锦汶, 张步林. 配网自动化[J]. 电力系统自动化, 1999(5): 35-40.
- [5] 徐丙垠, 李天友. 配网自动化若干问题的探讨[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(9): 81-86.

作者简介

张贝贝(1992—), 男, 工程师, 硕士研究生, 主要研究方向为电网调度运行与控制、配电网自动化技术。

(责任编辑: 袁航)

表1 FA策略改进前后效果对比

故障类型	策略	停电范围	非故障段重复停电	非故障段恢复供电速度
非死区故障	传统FA	故障研判区域	不存在	快
	改进FA	故障研判区域	不存在	快
死区故障	传统FA	扩大	存在	慢
	改进FA	故障研判区域	不存在	快

用电信息采集系统终端在线率的提升研究

杨小奕, 刘乃杉, 哲恺斌, 王 衍

(国网辽宁锦州市义县供电公司, 辽宁 锦州 121199)

摘要: 用电信息采集系统终端在线率是电力计量专业的基础性指标, 针对目前地下配电室和采集安装点计量采集终端在线率低的问题, 开展用电信息采集系统终端在线率提升策略研究, 通过完善终端状态判定程序并升级、安装信号放大器等手段, 提高终端在线率。

关键词: 用电信息采集系统; 采集终端; 在线率

中图分类号: TM734

Research on Improving the Terminal Online Rate of Electricity Information Collection System

YANG Xiaoyi, LIU Naishan, ZHE Kaibin, WANG Yan

(State Grid Liaoning Jinzhou Yixian Power Supply Company, Liaoning Jinzhou 121199, China)

Abstract: The terminal online rate of the electricity information collection system is the basic index of the power metering profession, in view of the current problem of low online rate of the measurement collection terminal in the underground distribution room, this paper carries out the research on the terminal online rate improvement strategy of the power information collection system, and improves the terminal online rate by improving the terminal status determination procedure and upgrading, installing signal amplifiers, and improving the terminal online rate.

Keywords: electricity information collection system; acquisition terminals; online rate

用电信息采集系统终端在线率是营销计量专业的一项核心指标, 供电企业要求终端在线率必须达到 99.50% 以上^[1], 通信故障、终端故障、营销系统信息异常、其他各类故障均会影响终端在线率, 其中, 通信故障和终端故障占绝大多数, 是影响终端在线率低的主要症结^[2-3]。针对地下配电室和采集安装点, 本文开展用电信息采集系统终端在线率提升策略研究。

1 终端状态判定程序完善和升级

1.1 编写控制程序

根据终端程序缺陷, 采集终端无停电状态确认程序, 导致主站无法判断采集终端的运行状态, 图 1 为主站与采集终端运行状态判断命令与信号传递的流程, 按照图 1 编写程序, 将已编写的升级软件、明细和申请单发送电科院, 电科院对程序的有效性和安全性进行检查并备案后, 提供开放时间和开放端口。

1.2 现场测试升级程序

程序编写完成后, 对现场有程序缺陷的 10 只采

集终端进行程序升级测试和现场停电测试, 从用电信息采集系统中查询这 10 只采集终端的停电报文报送次数, 统计情况如表 1。

1.3 远程升级采集终端程序

对程序缺陷终端按下列步骤进行远程批量升级, 远程升级步骤如下:

组态选择标准 698 版本, 点击组态按钮, 与主站前置机建立连接;

在扩展参数 → 扩展命令菜单, 点击设置升级模式按钮, 下发远程升级命令, 所示为采集终端程序远程升级命令界面;

待集中器进入升级模式后连接主站升级端口, 组态连接升级端口, 在界面选择 ARM 程序升级;

程序升级完毕之后, 会自动复位, 重新连接主站, 升级成功后, 请求终端配置信息, 召回软件版本为 SDV1160501。

2 安装信号放大器

安装信号放大器须制定详细的安装方案, 安装过程如图 2 所示。

安装前须进行现场勘查, 重点勘察以下内容:

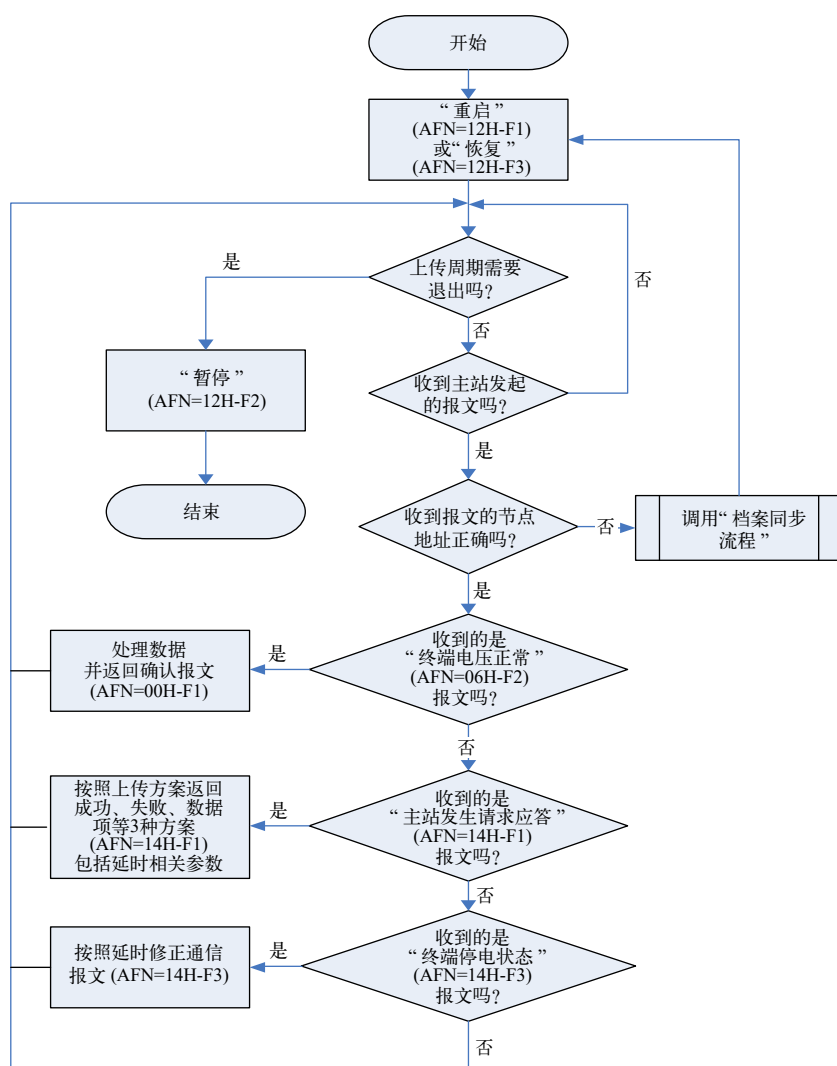


图1 终端状态判定与主站数据传递流程图

表1 杭州炬华采集终端升级后测试表

序号	采集点名称	停电次数	报送停电事件次数	停电报文报送率/%
1	某自来水公司	2	2	100
2	某房地产采集点2	1	1	100
3	某3#变采集点	1	1	100
4	某石料厂	2	2	100
5	某合作社	3	3	100
6	某5#变采集点	1	1	100
7	某司怀昔	2	2	100
8	某花园3号楼1单元	4	4	100
9	某3#变采集点	3	3	100
10	某小区24#一单元	4	4	100

信号放大器的辐射半径是否能有效覆盖采集终端，在不穿墙时距采集终端不超过4m；

信号放大器安装地点的选取，便于接入电源；信号放大器天线引出线的走线和材料需求；信号放大器的安装数量与终端数量要做到最优处理。

信号放大器由主机、室内天线、室外天线、室外天线馈线、电源适配器5部分组成，按照以下5个步骤安装手机信号放大器。

(1) 接入电源，简单测试。信号放大器需要220V交流电源，在小区地下室或者配电室表箱表前开关上引出电源插座，连接放大器，测试导通状况。

(2) 寻找信号源，安装户外天线。通过信号强度测试，寻找比较稳定的信号(<-80dB)，在室外信号合格点架设安装，将主机接上室外天线，看显示屏或指示灯情况调整室外的对向和方向角度，达到理想状态时固定室外天线。

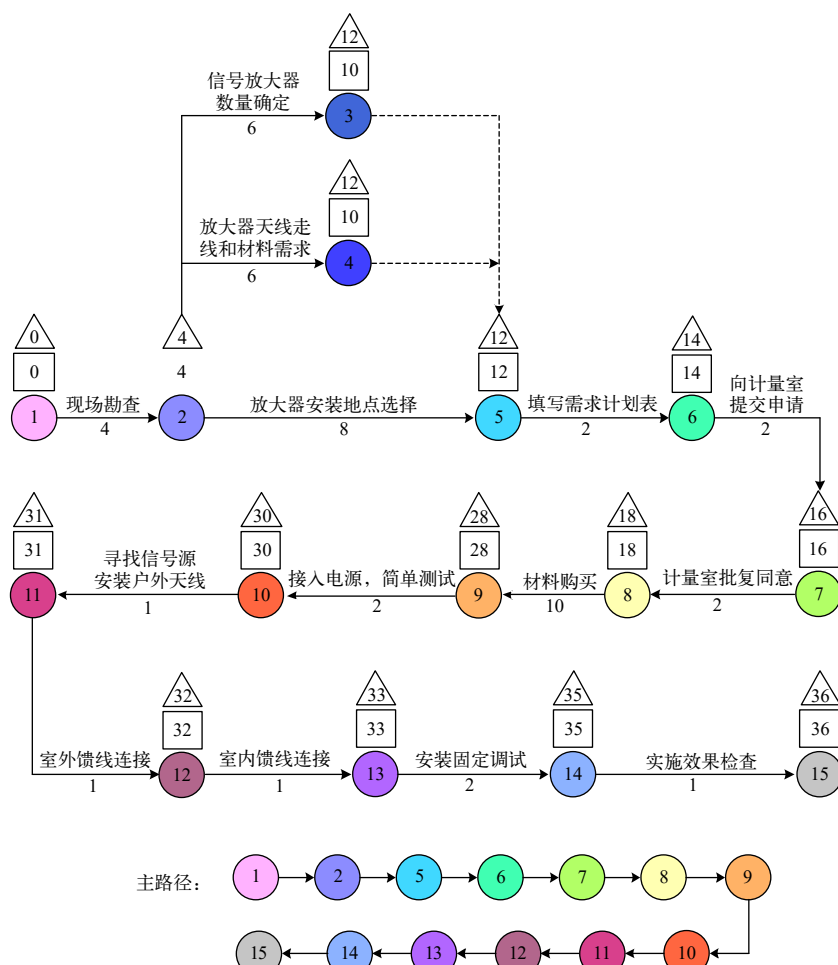


图2 信号放大器安装过程箭条图

(3) 室外馈线连接。把较长的室外馈线连接到室外天线的连接口上，将室外馈线的另一端接口接到放大器的 BTS 接口上。

(4) 室内馈线连接将室内的馈线接口接到放大器的 MOBILE 接口上，并将另一端接口接到室内天线的接口处，确保接口拧紧。

(5) 安装固定调试。选择合适位置固定安装放大器，通电后，观察信号强度显示值，调整室外的天线对向角度以获得最佳信号。

3 应用效果

利用阿达基站路测软件，对已安装手机信号放大器的采集终端安装点的信号强度进行对比，如图3所示。对比安全装前后测试信号，如图4所示，可以看出采集终端安装点信号差的问题已解决，信号强度均大于 -80 dB，采集终端运行稳定。

通过用电信息采集系统查询 2022 年 6—8 月 4

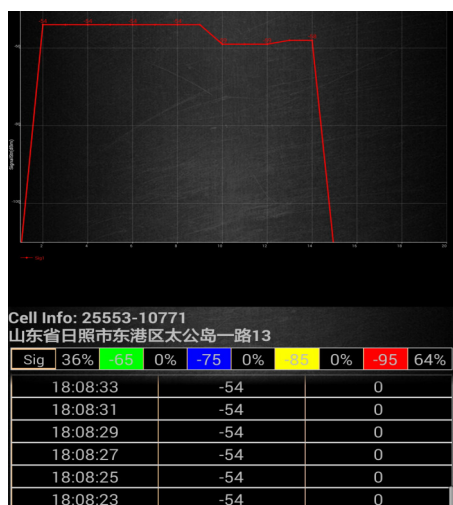


图3 采集终端安装点信号测试

个供电所终端离线情况，数据如表2所示，终端在线率均提升到 99.5% 以上。



(a) 安装前



(b) 安装后

图4 放大器安装前后终端在线与信号强度对比

表2 各供电所终端在线率统计表

统计对象	终端数量	在线终端数量	离线终端数量	终端在线率/%
1供电所	5 082	5 071	11	99.78
2供电所	5 928	5 913	15	99.75
3供电所	2 894	2 889	5	99.83
4供电所	3 054	3 048	6	99.80
合计	16 958	16 921	37	99.78

4 结束语

通信故障和终端故障是影响采集终端在线率的主要因素,针对该问题,本文开展用电信息采集系

统终端在线率提升策略研究,完善终端状态判定程序并升级,安装信号放大器,提高终端在线率,解决了采集终端安装点信号差的问题,提高采集终端运行稳定性,为提升远程自动抄表核算比率、电压采集率等指标奠定基础。

参考文献

- [1] 周艾辉. 用电信息采集系统运行评估体系研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2013.
- [2] 宋知润. 新时期用电信息采集终端检测装置研究与应用[D]. 保定: 华北电力大学, 2018.
- [3] 陈彤彤, 林明轩, 杨金伟. 10 kV电力集抄系统终端离线的解决措施[J]. 农村电工, 2014, 22(2): 43.

作者简介

杨小奕(1995—),女,大学本科,长期从事用电业务受理工作。

(责任编辑:袁航)

资讯

福建厦门公司:虚拟电厂平台上线试运行

2023年6月12日,国网福建厦门供电公司首次基于虚拟电厂技术对用电侧的负荷需求响应进行精准管控,实现一定区域内用电负荷的自平衡。这标志着国网福建电力首个虚拟电厂平台上线试运行,保障迎峰度夏期间供电安全可靠。

虚拟电厂可以将电网中大量散落的、可调节的电力资源整合起来,加入电网调度,增强电网安全性。根据测算,容量35万kW的虚拟电厂平台,相当于投产3座110kV变电站,可为政府节省土地资源和管廊投资约13.8亿元;每利用100h,可提供电量3500万kW·h,节约标煤1.42万t/年,减排二氧化碳4万t。

“虚拟电厂的加入,将大幅提升电网削峰的效率 and 管控质量水平,用电负荷高峰期间的压降效率由原先的24h以上,最多可缩短到3min以内,大幅提升电网在用电高峰的快速应对能力。”项目负责人蔡鸿斌介绍。

下一步,国网厦门供电公司“虚拟电厂”还将探索更多的商业模式,除需求响应外,依托平台的运营管理和聚合能力,逐步实现辅助交易、电力实时现货交易等更多综合功能,加强厦门电网的承载力,服务双碳目标落地。

信息来源:国网福建省电力有限公司

绝缘斗臂车内带电作业工器具取放盒的研制

操晨润, 杨振贤, 陆渊超, 钱若晨, 徐 智

(国网浙江海盐县供电公司, 浙江 海盐 314300)

摘要: 配网带电作业的工器具及材料的存放器皿缺乏相关标准规范, 作业现场仍以简易的工具包或各类功能相近的盛装产品为主, 在一定程度上影响了带电作业的效率 and 规范性。针对此问题, 跟踪调研了某县级供电企业绝缘斗臂车法带电作业情况, 以数据说明了带电作业工器具取放盒的研制必要性; 通过借鉴2款既有产品的优点, 提出了结构设计、材料选择及辅助功能的设计思路; 设计制造出了适用于绝缘斗臂车内使用的带电作业工器具取放盒, 并展示了应用成效。

关键词: 绝缘斗臂车; 带电作业; 工器具; 取放盒

中图分类号: TM726

Development of Pick-and-place Box for Live Working Tools and Appliances in Insulated Bucket Arm Vehicles

CAO Chenrun, YANG Zhenxian, LU Yuanchao, QIAN Ruochen, XU Zhi

(State Grid Haiyan Power Supply Company, Zhejiang Jiaying 314000, China)

Abstract: There is a lack of relevant standards and specifications for the storage utensils of tools and materials for live work in the distribution network. The operation site is still dominated by simple tool kits or various products with similar functions, which affects the efficiency and specifications of live work to a certain extent. In response to this problem, firstly, the live operation situation of the insulated bucket boom truck method in a county-level power supply enterprise was tracked and investigated, and the necessity of the development of the pick-and-place box for live work tools and tools was explained with the data. The design ideas of structural design, material selection and auxiliary functions are presented; finally, a pick-and-place box for live working tools and appliances suitable for use in insulated bucket boom trucks is designed and manufactured, and the application effect is demonstrated.

Keywords: insulated bucket truck; live work; tools; pick-and-place box

在 10 kV 配电线路检修或施工作业中, 经常采用绝缘斗臂车工器具来协助完成不停电作业的任务。为方便工器具取放, 一般都会在斗臂车斗内加装工器具包。但是, 由于带电作业斗内空间有限、绝缘防护装备较多, 传统工器具包的使用便利性较差, 如图 1 所示, 特别是戴绝缘手套时, 取放小型工器具容易掉落, 增加了带电作业工作难度, 容易造成高温等特殊抢修场景下作业人员的心理压力。对于夜间的抢修任务而言, 照明条件有限, 工器具取放时更为困难。此外, 带电作业工器具的绝缘要求高^[1], 混放在一起容易造成绝缘工器具受潮或表面损伤、脏污, 影响作业安全。

以浙江省某县级供电公司为例, 2021 年累计开展配网带电作业 867 次, 其中夜间作业 79 次, 夜间作业占比 9.1%; 不完全统计 10 余种带电作业工器具

收稿日期: 2022-06-29

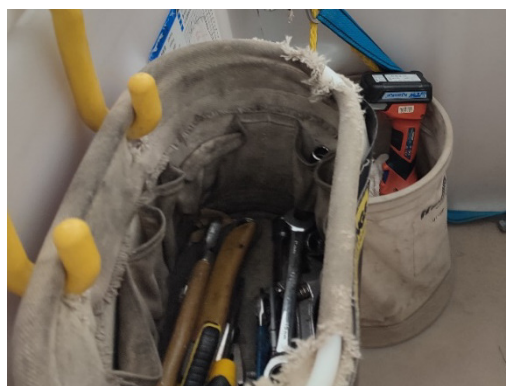


图 1 传统带电作业工器具包

具取放超过 9 200 次, 工器具平均取放时长占带电作业总时长的 30% 左右。“能带不停”背景下带电作业的工作量逐渐增加, 为了进一步提高工作效率和安全性, QC 小组开展绝缘斗臂车内带电作业工器具取放盒的研制课题。

1 工器具取放现状

常见的带电作业工器具包括电动剪刀、电动扳手、棘轮扳手（有绝缘手柄）、活轮扳手、套筒（14#/17#/19#）、剥皮器、老虎钳、螺丝刀、螺帽（各类型号）、螺丝（各类型号）、垫片、美工刀等。QC 小组选择带电作业班组的 10 名作业人员分别模拟现场作业，对常用取放装置内取放工器具进行计时，如图 2 所示。

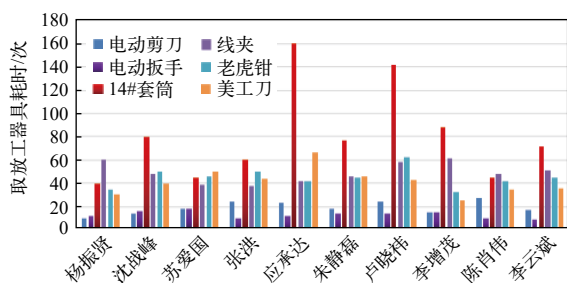


图 2 不同作业人员取放工器具耗时

10 名作业人员均为班组技术骨干，已通过技师技能等级考核，在作业经验及技能水平上的差异可以忽略不计。由上图 2 可知，对于电动剪刀、电动扳手等大型工器具，取放耗时普遍较短；但对于小型工器具，例如特定型号的 14#套筒，取放一次平均耗时高达 80.9 s，耗时严重。

表 1 给出了带电作业工器具使用情况跟踪调研。小组于 2021 年 7 月开始更换一批全新的带电作业工器具，跟踪调研 7—11 月期间近 500 次带电作业工器具使用情况，详细记录使用情况，统计取放过程中不慎掉落次数和老旧破损情况。由表可知，工器

表 1 带电作业工器具使用情况跟踪调研表

名称	使用频率/%	掉落次数	磨损情况
电动剪刀	95	0	把手磨损
电动扳手	98	0	轻微磨损
垫片	100	16	较新
17#套筒	49	7	有划痕
14#套筒	42	5	有划痕
线夹	85	0	较新
老虎钳	35	0	有划痕
美工刀	30	0	有弯折

具混放于桶内，可能造成划痕、弯折及不同程度磨损，影响使用寿命。此外，作业时佩戴绝缘手套不便于取放小型工器具，发生工器具掉落直接影响了作业安全。

目前使用绝缘斗臂车带电作业时取放工器具的痛点可归纳为：

(1) 工器具混放难以快速找到，且容易造成磨损，有安全隐患；

(2) 佩戴绝缘手套不方便拿取小型工器具，有掉落风险。

2 借鉴与创新

文献 [2] 设计制造合页连接的五间隔不锈钢材质箱体的应急工器具箱，实现了分区分类、统一收纳。但是，该箱体质量为 22.5 kg、总体尺寸为 1.5 m × 0.8 m，无法在绝缘斗臂车内使用，且不锈钢材质不具备绝缘性能。文献 [3] 设计制造了适用于绝缘斗臂车的工具挂板装置，为小型工器具定制了小孔座。但是，该挂板内侧无防护，作业时容易碰到甚至刮伤绝缘防护。

小组通过借鉴应急工器具箱的分区分类、统一收纳的设计方法和夜间辅助作业功能，以及工具挂板装置的绝缘斗臂车作业的便捷化作为改造的灵感，设计制造出结构布局合理、材料选择合适、辅助功能实用的取放盒。

结构设计上，考虑到工具挂板装置在实际使用过程中，可能存在被作业人员误碰到而使小物件掉落的情况，因此借鉴应急工器具箱的箱体设计。考虑到带电作业工器具形状各异，佩戴绝缘手套取放小物件，间隔可能存在不太方便，因此优先考虑借鉴间隔和孔座设计 2 种方案。

材料选择上，考虑到应急工器具箱的不锈钢材质绝缘性能不佳，且可能存在一些毛刺损坏绝缘工器具，工具挂板装置所使用的环氧酚醛玻璃板材料价格较高，因此寻找其他平价材料代替。

辅助功能上，主要参考应急工器具箱内加装附件的设计思路。

3 设计与实施

在结构设计上，要布局合理，小物件不易掉落，能满足常用工器具取放，存放工器具种类不少于

20 件；在材料选择上，承重能力好，承载工器具总重量超过 15 kg 不易变形；在辅助功能上，成本价格不超过 600 元，能提供常用的场景作业的辅助。

3.1 结构设计

为满足绝缘斗臂车内带电作业工器具取放需求，考虑现场作业所需工器具中，小型工器具所占空间较小，以存放大型工器具的间隔为主，设计特定型号孔座便于放置垫片、套筒等，根据工器具尺寸定制底部抽屉，减小进深便于拿取工器具。结构设计方案如图 3 所示。

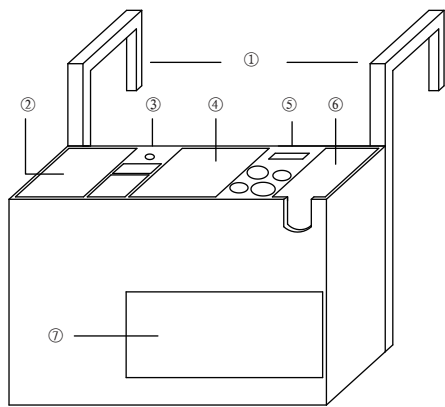


图 3 结构设计方案

图 3 所示的设计方案尺寸为 420 mm × 230 mm × 350 mm，包含 1 组绝缘挂架，6 组取放区（细分为 12 小区）采用绝缘间隔区分，避免取放过程中相互影响。其中，① 为绝缘挂架，采用倒 U 型设计，便于在绝缘斗臂车内挂置及拆装；② 为纵向大工具区，用于存放电动剪刀等尺寸较长的工器具；③ 为常用中等工具区，设计 3 个孔座，用于存放螺丝刀及扳手等工器具；④ 为备用功能区，用于存放临时备品；⑤ 为特定型号孔座，与常用套筒的尺寸相匹配，用于存放套筒及垫片等小工器具，作业过程中稳定存放不易晃动；⑥ 为 L 型大工具区，用于存放电动扳手等工器具；⑦ 为单次取放材料区，用于存放线夹等单次消耗材料。

采用该结构设计方案的取放盒可存放常规项目 90% 所需工器具。将常用的 4 个套筒插放在对应规格的内孔柱中，套筒不易随着装置晃动而晃动，同时也便于套筒的取放；将较重的工器具按照使用习惯合理布置于两边，使得装置更加稳定；将主要工具放在上方，备用工具存放在下方，减少弯腰取放。大工具如电动扳手的间隔包括头套和支撑杆，装放

时，电动扳手的头部套入头套，其尾座放在支撑杆上，放置稳定且取用方便。

3.2 材料选择

从价格、性能、加工难度等方面综合考虑，选择聚丙烯作为制造材料。以 GB/T 5737—1995《食品塑料周转箱》、GB/T 28798—2012《塑料收纳箱》为检测依据，从外观、操作性能、抗冲击性能、高低温性能、盐雾性能及耐压性能等方面进行检测，结果显示聚丙烯材料符合相关标准；聚丙烯材料可采用热熔接及 3D 打印等方式加工成型，加工难度较低。

3.3 辅助照明

夜间抢修作业占比约 9.1%，虽然有照明无人机等手段辅助照明，但由于角度问题，绝缘斗臂车内视线仍然不佳，给工器具带来一定难度。考虑在区域⑦顶部安装 LED 光源，采用可充电电池供电。该功能安装方便，安装所需空间较小，加装成本低。

4 应用效果

图 4 为所设计制造完成的工器具取放盒实物图，图 5 所示为该工器具取放盒在绝缘斗臂车内带电作业时的应用。该取放盒所占空间不到绝缘斗臂车内



图 4 工器具取放盒实物图



图 5 取放盒在绝缘斗臂车内应用图

空间的 1.5%，固定装置质量为 1.9 kg，可承重超 15 kg，能存放常规作业项目所需的 90% 以上工器具，易于操作，并且安全可靠较高。

使用该工器具取放盒在实训场地模拟夜间抢修作业 10 kV 更换开关实操时，照明条件大幅提高。统计了使用传统取放装置和本文所设计的取放盒在完成同一项工作时，取放工器具时所花费的时间，结果如表 2 所示。使用传统取放装置时耗时较长，甚至有未完成情况；使用本文所设计取放盒进行的 6 次实操均取得成功，工器具取放成功率为 100%，平均用时为 4.5 min 左右，作业效率有较大提高。

表 2 使用新型取放装置进行配网更换开关操作时间统计

作业人员	传统取放装置		本文所设计取放盒	
	完成时间/min	完成情况	完成时间/min	完成情况
杨振贤	13	完成	5.17	完成
沈战峰	15	完成	4.88	完成
苏爱国	—	未完成，取放耗时长，有工器具掉落	5.26	完成
张洪	12	完成	4.12	完成
应承达	10	完成	4.36	完成
陆渊超	—	未完成，取放耗时长	4.76	完成
平均时长	—	部分完成	4.76	全部完成

选取带电作业班组的 5 名员工，使用本文所设计的取放盒进行作业 10 次。根据统计调查，从图 6

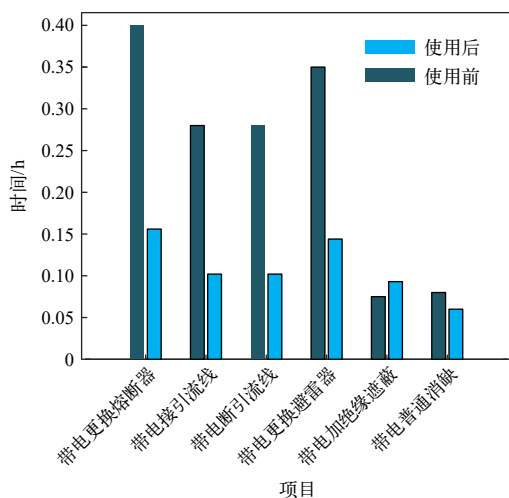


图 6 QC 实施前后工器具及材料取放时长对比

可以看出，该取放盒投入使用前后，经统计，取放时长占比由以前的 30% 降低至 10%，效果显著。

本文所设计的适用于绝缘斗臂车内带电作业的工器具取放盒应用后，提高了带电作业效率，降低了作业风险系数。截至 2022 年 3 月，本文所设计的取放盒已在多个地市供电公司推广，为提升“获得电力”服务水平、持续优化用电营商环境创造相应的社会效益。

参考文献

- [1] 国家电网公司运维检修部. 10 kV 配网不停电作业规范 (试行) [M]. 中国电力出版社, 2016.
- [2] 麦友发, 甘钰安, 哈斌凯, 等. 新型配网移动抢修工器具收纳装置的研制[J]. 中国新技术新产品, 2017(24): 89-91.
- [3] 隆晨海, 杨森, 甄朝晖, 等. 10 kV 配电线路带电作业工具挂板装置的研制[J]. 电气时代, 2019(6): 104-106.

作者简介

操晨润 (1993—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统输配变管理工作。

(责任编辑: 刘艳玲)

资讯

我国首条输送“沙戈荒”新能源为主的电力通道开工

2023 年 6 月 11 日，宁夏至湖南±800 kV 特高压直流输电工程、汨罗抽水蓄能电站全面开工。宁夏至湖南特高压工程是我国第一条以开发沙漠光伏大基地、输送新能源为主的特高压输电通道，线路全长 1 634 km，2025 年建成后每年可向湖南输送电量超 360 亿 kW·h。汨罗抽水蓄能电站新建 4 台 30 万 kW 可逆式发电机组，将发挥保障大电网安全运行的“稳定器”“调节器”作用和支撑新能源大发展的“充电宝”作用。

这 2 项工程投产后，宁夏电力外送规模将超过 2 000 万 kW，有力促进新能源开发外送和大范围优化配置；湖南将形成特高压直流跨区通道为直接供电保障、特高压交流骨干网架为省间互济支撑、华中抽水蓄能电站群为调整手段的能源供应格局。

信息来源：《科技日报》

一种适用于穿林架空线路的驱松鼠器的研制

周弘毅, 李 想, 高 原, 汪泽州

(国网浙江省电力有限公司海盐县供电公司, 浙江 海盐 314300)

摘要: 采用红外线感应探测技术, 集声、光、超声波、形等多种驱松鼠方式于一体, 可通过感知松鼠类的靠近自动发出使松鼠类恐惧的声音、超声波、松貂外形, 发出红、紫爆闪光灯光等方式进行驱赶, 大幅降低了线路光缆故障率, 减少安全隐患, 在有效驱赶松鼠的同时合理控制成本。

关键词: 红外感应技术; 超声波驱鼠; 太阳能供电; 仿生学; 单片机

中图分类号: TM726.3

Development of a Squirrel Repellent Suitable for Overhead Lines Through Forests

ZHOU Hongyi, LI Xiang, GAO Yuan, WANG Zezhou

(State grid Zhejiang Electric Power Co., LTD. Haiyan County power supply company, Zhejiang Haiyan 314300, China)

Abstract: Using infrared induction detection technology, it integrates sound, light, ultrasonic, shape and other ways to repel squirrels, which can be driven by sensing the proximity of squirrels to automatically emit sounds that make squirrels fearful, ultrasound, pine marten shape, red and purple flashing lights, etc., which greatly reduces the failure rate of line optical cables, reduces potential safety hazards, and reasonably controls costs while effectively driving squirrels.

Keywords: infrared sensing technology; ultrasonic mouse repellent; solar powered; bionics; microcontroller

近几年国内通信行业飞速发展, 光缆作为支撑通信的基础资源也随之大规模地进行建设, 乡镇区域往往采用架空光缆作为最主要的敷设方式, 但光缆护套的塑料材质特有的气味使其成为鼠类常啃咬的对象。作为通信传输连接中最重要的组成部分之一, 线路光缆的突发故障不仅会导致承载的通信、自动化等业务中断, 影响电力通信可靠性, 还有可能造成工程延期、无法远程操作等问题, 对其他部门班组开展相关的工作造成了阻碍。另外, 线缆的维修与更换也是一笔不菲的费用。

国网浙江省海盐供电公司在 2017—2021 年期间由于鼠咬发生的通信故障达到 47 起 (其中 2021 年发生 12 起), 光缆断芯现象则更加频繁, 严重超过了通信线路的故障率要求。

为此, QC 小组希望研制一种适用于穿林架空线路的驱松鼠器, 采用红外线感应探测技术, 集声、

收稿日期: 2023-05-05

光、超声波、形等多种驱松鼠方式于一体, 在有效驱赶松鼠的同时合理控制成本, 减少因松鼠啃噬光缆引起的通信事故, 提高通信业务的可靠性, 降低运维成本。

QC 活动目标设定: 研制一种适用于穿林架空线路的驱松鼠器, 借助该装置将每年松鼠啃咬导致的破坏降低 70% 以上, 达到年通信故障总量不超过 7 起的目标。

1 总体设计

根据小组的借鉴思路及上述可行性分析, QC 小组选定总体研制方案为: 设计一个适用于穿林线路的驱松鼠器, 将总体方案分为底座安装模块、电源模块、控制模块和驱松鼠模块 4 个部分^[1]。

控制模块设定驱松鼠器在松鼠活动时段, 电池供电功率正常且有松鼠靠近线路或杆塔的情况下运行; 驱松鼠模块使用声音、超声波、松貂外形、发

出红、紫爆闪光灯等多种方式，实现有效驱赶松鼠的功能，防止松鼠啃咬。将完成后的设备用于海盐县域内所有穿过林间的架空光缆线路中。总体方案如图1所示^[2]。

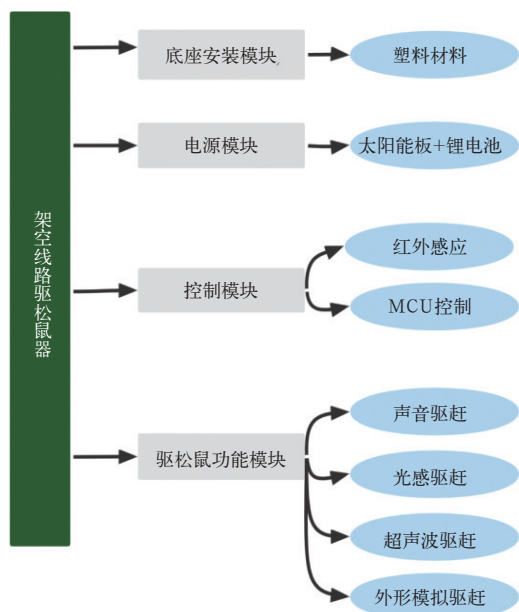


图1 架空线路驱松鼠器总体方案

2 模块设计

2.1 底座安装模块

装置拟安装的地点为树干和杆塔上，带电安装是本新型驱鼠器的一个重要亮点，底座的使用性和牢固性尤为重要，要求底座材料牢固可靠耐用、安装方便且安全。

如图2所示，该安装结构可以通过强力磁吸或者电钻螺丝攻丝等方式安装在杆塔或树干上，由于其角度可以调节，在各种直径的圆柱体上均能够实现稳定安装。



图2 异形底座安装模块结构

2.2 电源模块

如图3所示，考虑到本装置除了裸露的杆塔上，也会安装在树干等照明条件不是很好的地方，所以要求太阳能板材具有高光电转化率、高弱光转化能力的优点，综合考虑，小组成员决定选用单晶硅材质的太阳能板^[3]。

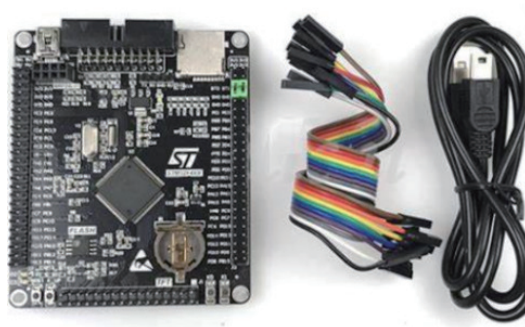


图3 单片机 STM32F407

根据装置实际大小考虑，采购350 mm × 240 mm规格的太阳能板。采用太阳能发电，实现节约能量并且野外地点放置方便，光照下产生电压电流通过降压恒流电路给锂电池充电，一天光照可以提供驱鼠器工作48 h，为整个系统提供+5 V的直流电源，夜间输出电能给电路，支撑驱鼠器的整体运作。

2.3 控制模块

如图4所示，红外感应控制通过感应外界散发的红外热量，实现其自动控制功能，动物体温通常为35~40℃，会发出9.5 μm的红外线，发出的红外辐射信号汇聚到红外热释电传感器上从而被感知，感知最大距离为5 m。

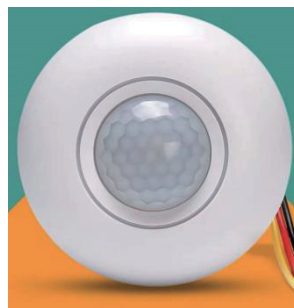


图4 红外感应模块

红外感应可以滤除风、太阳光、雨水等的干扰波形，并且感应角度较大，容易采样到松鼠活动，

感应可靠性较高。

使用 MCU 智能时间管理模块，早上 5:00 开机，晚上 6:00—7:00 关机，在白天自动发出耗能较低的超声波驱松鼠功能模块，驱除松鼠。

2.4 驱松鼠功能模块

利用松鼠听力发达，使装置发出变频超声波驱赶，整个装置采用三面（左、右、下方）超声波方式，封锁住左右两侧线缆过来及从电线杆下部活动松鼠，主要是采用了人耳听不到的 20 kHz 以上的超声波，如 25、30、35、48 kHz 等频率进行随机发送，主要是在非触发时间段进行轮巡发送，破坏松鼠的生存环境，制造只有松鼠、老鼠类等听得到的噪音，使其神经受损，烦躁，使其逃离装置附近，而对人类无害^{[4-6][7-8]}，如图 5 所示。

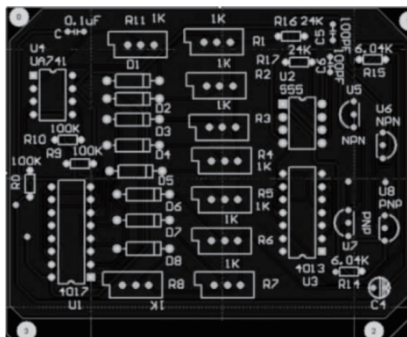


图 5 超声波模块 PCB 图

利用仿生学，内置录存多种松鼠天敌的声音，喇叭可以循环播放猫头鹰、雕、蛇、狗等动物叫声和枪炮声，装置喇叭叫声可以传播 10 m 左右，以驱逐松鼠^[9-10]，如图 6 所示。



图 6 超声波喇叭图

3 效益与展望

对电力企业而言，安全是最大的效益。通过开

展本次 QC 小组活动，解决了架空线缆受损的问题，成功将鼠类对线缆光缆造成的故障损害降低，安全效益显著，提高了通信网维护安全性，无需人员爬杆，保护了人员安全。

该装置在国网浙江省海盐县供电公司 110 kV 富亭变、110 kV 石泉变等 15 个综合工程中的杆塔试验中投入使用，在 2022 年架空线缆故障率有明显降低，年通信故障总量只有 3 起，达到预期目标。

架空线缆驱（松）鼠系统可以应用于电网中的架空光缆线缆，该系统能够减少因松鼠咬坏光缆引起通信事故，降低松鼠在电缆活动造成相间短路跳闸带来的直接经济损失，提高通信网维护安全性，大大节约安装时间。架空线缆驱（松）鼠系统具有广阔的应用前景和较强的推广价值。

参考文献

- [1] 杨宇永, 胡皓杰, 许雷宁, 等. 变电站新型驱鼠器技术研究[J]. 电子制作, 2015(10): 62-63.
- [2] 许奕帅. 电子驱鼠器及其在电力安全生产中的应用研究[D]. 华侨大学, 2013.
- [3] 阴家龙, 方伟俊, 季云芮, 等. 新型太阳能电子驱鼠器的设计[J]. 黑龙江科技信息, 2017(11): 40.
- [4] 邵建泽, 韦梦祯, 陈凯, 等. 超声波对小鼠活动行为的影响及其驱鼠机制研究[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2022, 42(5): 504-510.
- [5] 罗海成, 游宇堃, 柳涛, 等. 变电站自动感应超声波驱鼠器的应用研究[J]. 江西电力, 2018, 42(10): 43-45.
- [6] 王啸东, 周红军, 吴飞, 等. 超声波驱鼠器的设计与制作[J]. 现代经济信息, 2017(19): 365.
- [7] 孟凤霞, 刘起勇, 宋秀平, 等. 超声波驱鼠器对鼠活动行为的影响及其应用探讨[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2007(3): 181-184.
- [8] 张世水, 景晓, 官学诗, 等. 超声波驱鼠器现场驱鼠效果研究[J]. 中华卫生杀虫药械, 2005(1): 32-34.
- [9] 陈步华, 孙建云, 张杰, 等. 基于 51 单片机的音频驱鼠器设计[J]. 电子技术, 2012, 39(5): 28-29.
- [10] 张建龙, 谢鹏程, 翟长远, 等. 基于仿生学原理的新型电子驱鼠器的设计与开发[J]. 湖南农机, 2009, 36(5): 25-27.

作者简介

周弘毅(1998—), 男, 助理工程师, 从事科技创新、通信运检工作。

李想(1998—), 女, 助理工程师, 从事信息运检工作。

高原(1989—), 男, 工程师, 从事企业管理工作。

汪泽州(1984—), 男, 高级工程师, 从事信息通信、科技创新工作。

(责任编辑: 刘艳玲)

一种用电计量柜异常操作报警装置的研制

李明¹, 蔡潇², 王维³, 潘义云²

(1. 国网江苏省电力有限公司营销服务中心, 江苏 南京 210000;

2. 泰州三新供电服务有限公司兴化分公司, 江苏 兴化 225700;

3. 国网江苏省电力有限公司兴化市供电分公司, 江苏 兴化 225700)

摘要: 窃电是指在电力供应与使用过程中, 电力客户以非法占用电能, 以不交或者少交电费为目的, 采用非法手段不计量或者少计量用电的行为。随着我国经济社会的快速发展, 人们的用电需求也在迅猛增长, 但是由于供用电管理制度并不完善, 间接导致一些电力客户出现违约用电或窃电行为。研制一种面向专变客户的用电计量柜异常操作报警装置, 通过高精度的采集、可靠的通信、实时的报警系统, 在反窃电应用管理方面起到了重要的作用。

关键词: 电力供应与使用; 供用电管理; 违约用电或窃电; 异常操作报警

中图分类号: TM930

Development of Abnormal Operation Alarm Device for Electricity Metering Cabinet

LI Ming¹, CAI Xiao², WANG Wei³, PAN Yiyun²

(1. Marketing Service Center of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Jiangsu Nanjing 210000, China;

2. Xinghua Branch of Taizhou Sanxin Power Supply Service Co., Ltd., Jiangsu Xinghua 225700, China;

3. Xinghua Power Supply Branch of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd.,

Jiangsu Xinghua 225700, China)

Abstract: Electric power theft refers to the behavior of electric power customers who use illegal means to occupy electric energy illegally in the process of electric power supply and use, with the purpose of not paying or paying less electricity fee. With the rapid development of our economy and society, people's demand for electricity is also growing rapidly. However, because the management system of power supply is not perfect, it indirectly causes some power customers to break contract and steal power. A kind of abnormal operation alarm device of electricity metering cabinet for specialized customers is developed, which plays an important role in anti-power theft application management through high-precision acquisition, reliable communication and real-time alarm system.

Keywords: power supply and use; power supply management; breach of contract or theft of electricity; abnormal operation alarm

电力线损从管理的角度可分为技术线损和管理线损。技术线损又称为理论线损, 它是电网各元件电能损耗的总称, 主要包括不变损耗和可变损耗^[1-2]。技术线损可通过理论计算来预测, 在现实生产中是不可避免, 可以采取技术措施达到降低的目的。管理线损包括计量设备误差引起的线损、用户窃电以及管理因素等原因造成的线损, 管理线损可以通过规范业务管理等手段降低^[3]。

窃电行为直接影响到供电企业的经济效益, 其

收稿日期: 2023-03-14

产生的社会危害较大, 每年因窃电行为而造成的人身伤亡事故也不在少数, 因此对于反窃电的研究十分重要^[4-6]。供电企业要自我生存和发展, 不仅要抓好安全生产和经营服务, 还要提高企业的自我保护意识和能力, 依法打击窃电行为, 维护企业自身的合法利益^[7]。

本 QC 课题小组自成立以来, 立足岗位创新, 理论联系实际, 将丰富的理论知识和充足的现场实践经验相结合, 将平时工作中发现的细节问题进行总结提炼思考, 将其做好做精, 不断提升供电企业

的经济效益。

1 选择课题

随着科技的快速发展，电力客户窃电现象发生的概率越来越高，近年来，因窃电行为影响居民正常用电，扰乱社会治安的现象频频发生，甚至因窃电造成人身伤亡的案例也逐渐增多，这些事故的发生引起了社会各界的广泛关注。

存在于用户侧的窃电行为，其危害具体包括：

(1) 造成电能流失，线损增大，形成供电企业直接经济损失；(2) 供用电双方诚信度下降；(3) 导致供电营业秩序混乱，造成不好的社会影响^[8]。

经过充分调查和论证，QC 小组设定如下活动目标：实施 QC 课题后，针对窃电情况较为严重的 10 kV 电力线路，同期线损实现比较明显的下降，大部分用户窃电行为基本杜绝。

2 确定最佳方案

2.1 提出方案

分析传统反窃电工作流程可以看出，获取用户窃电信息的手段有 3 种：用户举报、数据分析、营业普查，其中第 1 种和第 2 种针对性较强，用户信息准确^[9-11]。第 3 种则是属于广撒网性质的，从反窃电工作的角度来看意义不大。

反窃电与窃电的矛盾之争，焦点在于是否能在第一时间进入用电现场。只要解决了如何第一时间进入用电现场的问题，就解决了查窃电难的问题，通过传统的反窃电手段并不能有效地打击窃电行为^[12-16]。

据统计，2022 年某市处理窃电用户总共 68 起，其中擅自接线用电 12 起，绕越计费计量装置用电 30 起，致使供电企业计费、计量装置不准或失效的其他用电行为 15 起，私自启封表计封印 4 起，其他窃电 7 起。可以看出，窃电用户在计量装置动手脚的占总窃电行为的 72%，而专变用户窃电在计量装置动手脚的则是 100%。因此只要想办法管住专变用户的计量柜，就等于用绳子捆紧了用户窃电的手脚，就可以实现我们反窃电的目的，确定了利用“计量柜异常操作报警装置”开展反窃电工作，达到降低线损的目的。计量柜异常操作报警装置（含终端、电源、主台）设计原理如图 1~4 所示。

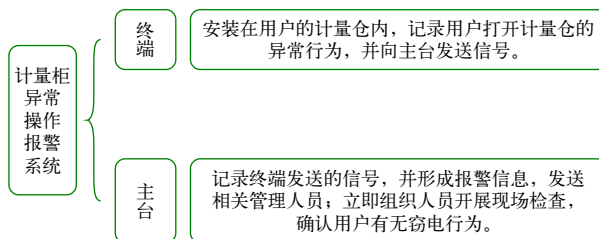


图 1 计量柜异常操作报警装置

2.2 确定最佳方案

经过上述分析，本小组将最终方案确定为：在计量柜增加监视点（如图 5 所示），当用户对计量柜（柜）有异常行为时，终端形成记录，向后台发出报警信号，并通知用电检查人员进行现场。

本小组提出的计量柜异常操作报警装置具备以下特点：

- (1) 回路采用常开型节点，用户打开计量柜（柜）进行报警，无功耗；
- (2) 终端电源采用联合接线盒接 UPS 接入，用户断电后仍可进行现场监视；
- (3) 主台单独建立，采用 GPRS 发送数据。

3 对策实施

针对以上确定的最佳方案，小组成员对方案内容分别进行详细讨论和分析（如图 6 所示），逐项制定对策，并最后进行操作试验，按照“现场使用”原则制定对策表如表 1 所示。

在制定对策的基础之上，本小组继续明确了计量柜异常操作报警装置的实施原则，具体分为 3 步：

步骤一：某个用户拆开封印，打开了计量柜，有在计量装置上动手脚以实现窃电的想法；

步骤二：终端识别到用户的异常行为并向主台发出告警信号，主台进行异常信息记录，给用电检查人员发出检查指令；

步骤三：用检人员根据主台的信息对用户进行检查，以达到预防用户窃电的行为。

将本小组提出的计量柜异常操作报警装置与传统反窃电工作方法进行对比，如表 2 所示。

4 效果检查

本小组达到了以下预期效果：在全市 10 个用户安装计量柜异常操作报警装置，并进行模拟试验，

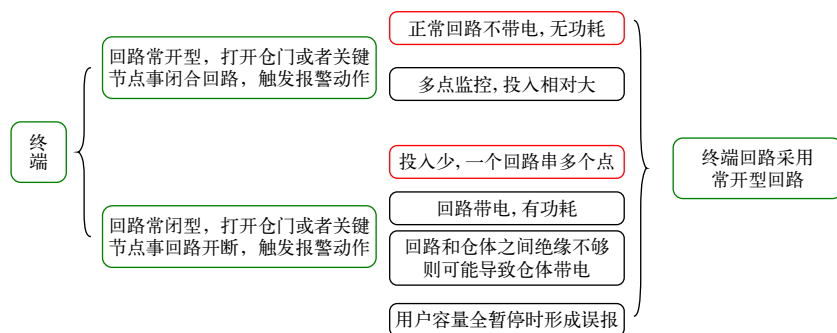


图2 终端特点

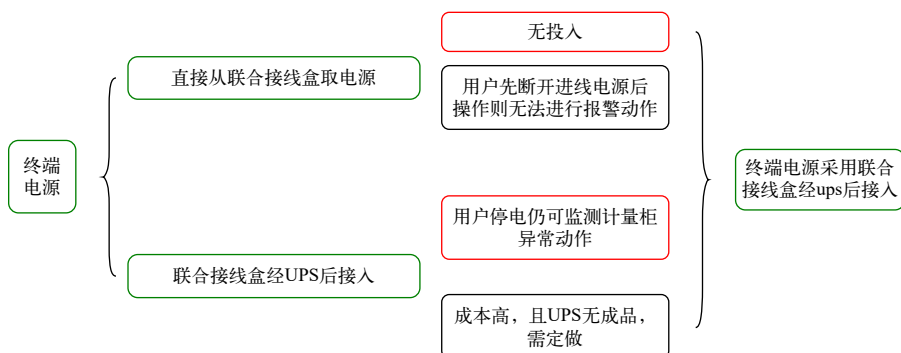


图3 终端电源特点

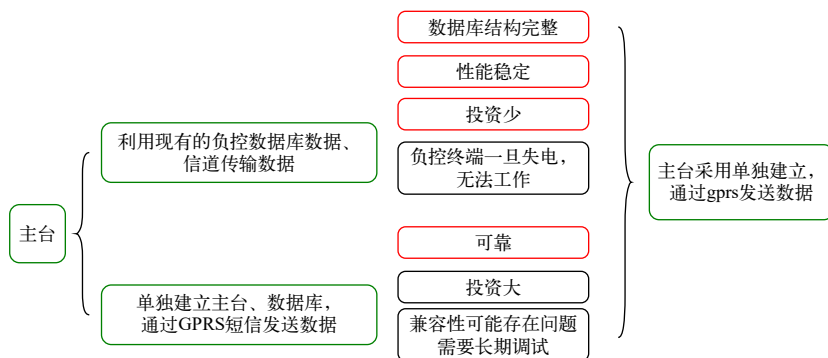


图4 主台特点

表1 对策计划表

序号	要因	对策	目标
1	人员配置不足，用户分布较广，无法形成有效专业检查	加装计量柜监视装置	针对于有异常的用户，缩小用户排查范围
2	用户本身素质良莠不齐，无法进行有效预防	加装计量柜监视装置	针对于有异常的用户，缩小用户排查范围
3	现场封印被破坏后无法保留有效证据	加装计量柜监视装置	一旦用户行为异常即可形成报警信号

当在其中某一个用户打开计量柜后，终端系统对用户的本次异常行为进行记录，并向主台发送告警信号，通知用电检查人员去现场进行检查，验证结果表明，每一次终端都进行了记录且发出了报警信号。

5 标准化及推广

通过效果检查可以发现，计量柜异常操作报警装置将成为助推线损指标提升的有力支点。为扩大

表2 对比表

序号	方案	优点	缺点	结论
1	传统的用采系统搜索异常数据进行现场检查	通过数据分析能对所有的用户进行排查	耗时耗力，且不能及时到达现场掌握有效证据	×
2	对UPS进行适当改造，新增拨号设备	针对性强，能及时到达现场，制止用户的任何不法行为	对于不是通过计量装置进行窃电的行为无法有效监测	✓

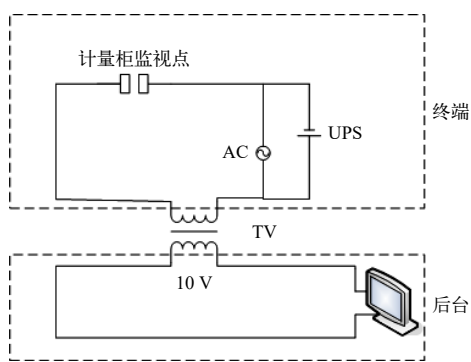


图5 计量柜异常操作报警装置结构图

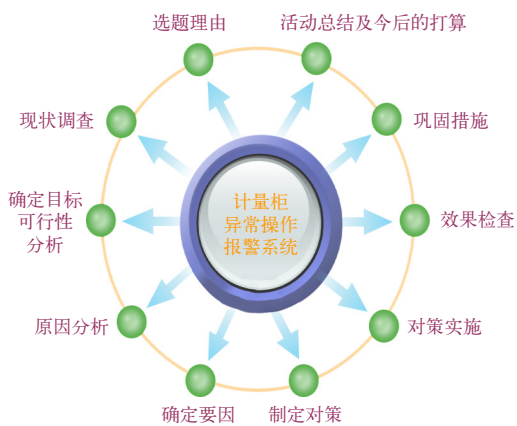


图6 课题完成流程

计量柜异常操作报警装置推广使用范围，小组成员对计量柜异常操作报警系统的操作制定标准化步骤：

后台安排专人进行值班，保证24h有人进行监控；

当有告警信号后立即安排检查人员到现场，对本次异常进行记录。

6 总结与展望

本小组通过本次QC活动，提出了一种计量柜异常操作报警装置，可较大地提升营销线损管理水平，为供电企业挽回经济损失，对建立良好的供用电秩序和保障供电企业的合法权益具有重要意义。在后续研究中，将考虑提出计量柜异常操作报警装

置能够智能地将用户划分不同的片区，不同地区的异常信号发送给就近的人员，以更好地实现第一时间到达窃电现场排查的目的。

参考文献

- [1] 张海军, 马牧林. 反窃电经验总结[J]. 农村电气化, 2019(10): 75.
- [2] 侯磊, 赵鸣. 高压直接量测防窃电系统的技术与管理研究[J]. 供用电, 2017, 34(9): 76-80+75.
- [3] 匡红刚, 易鹏飞, 邹平, 等. 常见窃电手段分析及反窃电装置设计[J]. 电工技术, 2020(514): 64-65.
- [4] 程超, 张汉敬, 景志敏, 等. 基于离群点算法和用电信息采集系统的反窃电研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(17): 69-74.
- [5] 庞利鹏, 张浩. 创新“六力”合一新模式开创反窃电新局面[J]. 农电管理, 2021(1): 55-57.
- [6] 郭立才, 彭志炜, 范强. 电能计量及反窃电方法综述[J]. 高压电器, 2010, 46(5): 86-88+91.
- [7] 冬来, 刘友波, 熊智临, 等. 基于时空关联矩阵的配电台区反窃电预警方法[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(19): 168-176.
- [8] 葛亮. 用电检查面临的重点问题及反窃电措施[J]. 电力技术经济, 2009, 21(4): 69-72.
- [9] 张顺禹, 李振, 贾春生. 供电企业反窃电工作的全过程管理分析[J]. 农村电气化, 2022(5): 91-92+96.
- [10] 辛洁晴, 夏正侃, 高亦凌, 等. 基于事故树的窃电损失要因分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(3): 47-51.
- [11] 霍亮. 智能反窃电技术研究与应[J]. 电力需求侧管理, 2015, 17(2): 52-55.
- [12] 于铁军. 应用大数据技术的反窃电分析[J]. 电力设备管理, 2020(40): 101-103.
- [13] 杨进. 10kV高压计量箱反窃电技术措施[J]. 农村电气化, 2003(6): 39-40.
- [14] 冉孝强, 李长强. 大数据在反窃电检查中的运用[J]. 农电管理, 2021(12): 54.
- [15] 黄文科. 电力远程智能管理信息系统应用于用电监测与反窃电系统的方案[J]. 供用电, 2005(2): 60-62.
- [16] 杨闯, 刘玉龙, 温景春. 深化同期线损应用 提高反窃电质效[J]. 农电管理, 2019(2): 41-42.

作者简介

李明(1989—), 男, 技师, 工程师, 从事电力营销技术研究。

(责任编辑:刘艳玲)

提高配电终端在线率

吕春光, 陈冠望, 孔丹军

(国网南京市高淳区供电公司, 南京 高淳 211300)

摘要: 配电终端是配电自动化建设的重要组成部分, 其主要应用于10 kV架空线路, 完成配电线的运行检测以及监控功能, 实现对10/20 kV配电网的开闭所、环网柜、柱上开关、配电变压器、电容器等一次设备的实时监控并通过有线/无线通信等手段, 上传信息、接收控制命令, 实现电源的不间断性供电, 为电网智能化向末端配网进一步延伸提供了保障。

关键词: 配电自动化; 配电终端; 电网智能化

中图分类号: TM761

Improve the Online Rate of Distribution Terminals in Gaochun Urban Area

LYU Chunguang, CHEN Guanwang, KONG Danjun

(State Grid Nanjing Gaochun District Power Supply Company, Nanjing Gaochun 211300, China)

Abstract: The distribution terminal is an important component of the construction of distribution automation. It is mainly applied to 10 kV overhead lines, completing the operation detection and monitoring functions of distribution lines, achieving real-time monitoring of primary equipment such as switching stations, ring network cabinets, column switches, distribution transformers, capacitors, etc. on the 10 kV/20 kV distribution network. Through wired/wireless communication and other means, it uploads information, receives control commands, and achieves uninterrupted power supply. It provides the possibility for the further extension of intelligent power grid to the end distribution network.

Keywords: distribution automation; distribution terminals; intelligent power grid

1 选择课题

随着智能电网建设的不断深入对智能化配电终端的实时监视和分析系统目前状态的能力提出了更高的要求。当前, 智能电网的通信多元化发展在不同的应用场景下可发挥各自的技术优势, 电力无线公/专网作为以电力光纤为主有线通信的电力公/专网通信另一补充, 将克服有线通信建设难度大和GPRS等公网通信安全隐患的弊端, 为电网智能化向末端配网进一步延伸提供了保障。

2019年以来, 受多种因素影响, 高淳城区配电终端在线率较低, 不能满足上级公司对标要求, 严重影响了公司的同业对标排名。稳步提高城区配电终端在线率最大化提升配网运维人员工作效率和达到指标要求, 成为深化和推动终端稳定运行的关键点。

收稿日期: 2022-03-28

2 目标确认

国网南京市供电公司相关考核指标要求: 配电终端接入在线率须达到98%。小组对国网南京市高淳区供电公司城网2020年10—12月配电终端设备在线情况进行了统计分析, 如表1所示。

表1 配电终端设备在线率统计表

指标	10月	11月	12月	均值
配电终端 在线率/%	97.0	96.6	95.8	96.5

从表1可以看出, 2020年10—12月份配电终端接入在线率为96.5%, 远低于国网南京供电公司《关于城区配电终端精细化管理标准》规定的98%, 严重影响配电终端运行的稳定性。

因此, 小组成员立足于现场实际, 为了解决配电终端在线率低的问题, 决定将本次课题确定为:

提高高淳城区配电终端在线率。同时将目标设定为：高淳城区配电终端在线率由原来的 96.5% 提高至 98%。

3 原因分析

小组成员对 2020 年 10—12 月这 3 个月配电终端缺陷类别进行了调查分析，得出终端缺陷类别占比如表 2 所示。

从表 2 可以得出，配电终端设备故障所占比重最大达到 87.92%。因此可以判断配电终端设备故障是影响配电终端在线率低的主要症结。

得出主要症结后，小组成员召开讨论分析会，大家集思广益、拓展思路，从各方面因素考虑导致配电终端设备故障时间长的原因，绘制出关联图如图 1 所示。

表 2 2020 年 10—12 月终端缺陷类别占比表

序号	故障类型	累计频数	故障时长/h	所占比率/%	累计比率/%
1	配电终端设备故障	385	9 625	87.92	87.92
2	通信核心单元故障	27	621	5.67	93.59
3	终端交换机故障故障	18	432	3.95	97.54
4	其他设备单元故障	10	270	2.46	100.00
5	合计	440	10 948	100.00	—

4 要因确认

为了确定主要原因，小组全体人员集体对影响配电终端设备故障时间长的因素进行了讨论和分析，并针对关联图的所有末端因素逐一分析，如表 3 所示。



图 1 2020 年 10—12 月终端缺陷类别占比表

表 3 确定主要原因计划表

序号	末端因素	确认方法	确认依据
1	现场信号强度差	现场调查	现场信号强度差对主要症结的影响程度
2	运维培训通过率低	调查分析	运维培训通过率低对主要症结的影响程度
3	终端柜内孔洞口径大	现场调查	终端柜内孔洞口径大对主要症结的影响程度
4	弯曲半径过小	调查分析	弯曲半径过小对主要症结的影响程度
5	运维巡视周期间隔长	调查分析	运维巡视周期间隔长对主要症结的影响程度
6	运维人员对配电终端位置不熟悉	现场调查	运维人员对配电终端位置不熟悉对主要症结的影响程度
7	终端现场台账图纸不符	现场调查	终端现场台账图纸不符对主要症结的影响程度

5 制定对策

小组成员针对每条末端因素逐一论证，经过仔细分析我们得出结论：影响高淳城区配电终端在线率的主要因为终端柜内孔洞口径大和终端现场台账图纸不符。针对以上2种要因，小组成员进行分析论证并制定了相应的对策实施计划表，如表4所示。

表4 对策实施计划表

序号	要因	对策	目标	措施
1	终端柜内孔洞口径大	减少、消除柜内孔洞	孔洞封堵率达100%且无可见缝隙	现场采用绝缘防水材料进行封堵
2	终端现场台账图纸不符	对终端图纸及现场位置台账进行核对修改	图纸与现场位置准确率100%	查阅图纸资料，与现场进行核对并组织配网运维人员完善图纸

6 对策实施

6.1 对策一：减少、消除柜内孔洞

采取措施：采用绝缘防水材料进行封堵。

小组成员针对统计有间隙或未封堵的终端，采用柔性绝缘防水材料进行封堵，它的特点是对金属有良好的黏附性，而且其耐热和阻燃性能良好，防水性也有保障，柔性绝缘防水材料封堵处理后的现场图如图2所示。

实施效果：方案实施后，小组成员对前期排查中统计的封堵不到位的终端进行封堵处理，目前已无未封堵情况，封堵率达到100%，而且终端柜内无可见的缝隙，老鼠啃咬、终端发生凝露的现象也得到了明显的改善。



图2 柔性绝缘防水材料封堵处理后的现场图

6.2 对策二：对终端图纸及现场位置台账进行核对修改

采取措施：查阅图纸资料，与现场进行核对并组织配网运维人员完善图纸。

小组成员现场对终端设备位置进行统计，并对之前统计的配电终端设备现场位置分别与图纸进行核对，整理出与图3实际不符的终端，并积极采取应对措施。

通过结合百度地图定位各城区配电终端站点的方法，在出现通信业务及线路问题时可以快速明确定位各故障点准确的位置信息，能够让配网运维人员在第一时间到达抢修地点。

实施效果：方案实施后，小组成员对之前图实不符的终端进行了图纸位置的再次确定，发现图纸位置准确率达100%，目标顺利实现。

7 效果检查

根据2021年4—6月所测数据，小组成员对高淳城网148台配电终端的运行情况进行了统计，如表5所示。

表5 2021年4—6月效果检查

序号	时间	配电终端设备月运行总时间/h	配电终端设备停用总时间/h	高淳城网配电终端在线率/%
1	2021年4月	96 660	2 148	98.8
2	2021年5月	97 708	1 879	98.9
3	2021年6月	97 812	1 287	98.4

根据表5可知，方案实施后配电终端接入平均在线率由原来的96.5%上升至98.70%，经过本次QC活动，配电自动化系统接入在线率已达到预期目标。



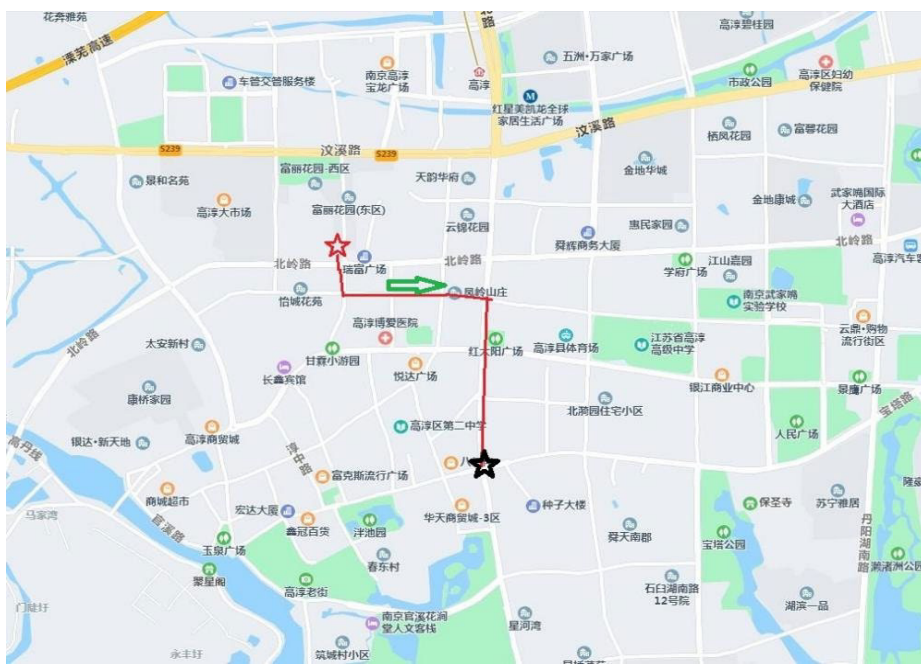


图3 百度地图定位各城区配电终端站点

8 巩固措施

小组根据对策实施表制订了巩固措施，如表6所示。

表6 巩固措施

序号	措施	巩固形式	相应条款
1	减少、消除柜内孔洞	编写配电终端柜内封堵细则	对终端柜内孔洞口径大的地方进行规范性封堵，并结合日常巡检定期检查
2	对终端图纸及现场位置台账进行核对修改	编制现场终端图纸档案管理规范	终端设备现场定位及连接图模板

通过开展此次QC活动，高淳城网配电终端在线率已经实现并超出国网南京市供电公司的指标考核要求，方案实施后高淳城区在线率均达到98%及以上，并在2020年8月达到99.4%，巩固期效果显著。

作者简介

吕春光（1982—），中级工程师，所从事的工作方向：10 kV配网精益化管理、成套式开关柜故障分析及排除。

陈冠望（1996—），助理工程师，所从事的工作方向：配农网智能开关柜故障分析。

孔丹军（1990—），中级工程师，所从事的工作方向：配农网开关柜故障分析及现场运维。

（责任编辑：刘艳玲）

资讯

江苏苏州公司：实施太湖生态岛引水上山配套电力工程

2023年6月12日，在苏州市吴中区金庭镇西山岛东村，容量为250 kV·A的3号专用变压器送电投运。泵站内的5台水泵中涌出汨汨清水，经过总长超9 km的水渠，流入山坞深处的14个蓄水池，灌溉约7.3 km²茶树、果树林地。

2020年，苏州市将西山岛等27个太湖岛屿建设成为“太湖生态岛”，种植茶树、果树。虽处在太湖之中，但受岛上丘陵地形限制，部分山坞没有直通水源，需要人工抽水、运水，极为不便。

2023年2月，当地启动太湖生态岛引水上山工程。国网苏州供电公司同步实施该工程的配套电力项目。该工程共有8个泵站需要新建专变，新装容量共计2215 kV·A。国网苏州供电公司成立了项目保障专班，掌握工程用电需求，开辟接电绿色通道，及时跟踪实施进度。

泵站主体和水渠施工已完工，所有配套电力项目已验收。8个泵站的新建专变于2023年6月底前全部送电。

信息来源：国网江苏省电力有限公司

分布式光伏规模化接入对配电网的影响诊断分析

吕超然¹, 吕翔², 张文瑶³

(1. 国网河南博爱县供电公司, 河南 博爱 454450; 2. 国网河南焦作供电公司, 河南 焦作 454150; 3. 国网河南孟州市供电公司, 河南 孟州 454750)

摘要: 从分布式光伏接入配电网基本情况、对电网产生的影响、规模化接入和安全运行引起的问题以及分布式光伏接入问题治理措施等方面来阐述分布式光伏对电网的影响。重点分析了开发并网、规范接入、“可观可测可控”、就地消纳、安全运行以及运维安全等方面由分布式光伏规模化接入引发的关键问题和具体治理措施。

关键词: 分布式光伏; 关键问题; 治理措施

中图分类号: TM764

Diagnostic Analysis of Distributed Photovoltaic Large-scale Access on Distribution Network

LYU Chaoran¹, LYU Xiang², ZHANG Wenyaoyao³

(1. State Grid Henan Boai County Power Supply Company, Henan Boai 454450, China; 2. State Grid Henan Jiaozuo Power Supply Company, Henan Jiaozuo 454150, China; 3. State Grid Henan Mengzhou Power Supply Company, Henan Mengzhou 454750, China)

Abstract: In this paper, the basic situation of distributed PV access to the distribution network, the impact on the power grid, large-scale access and security problems caused by the operation of the distributed PV access and management measures to explain the impact of distributed PV on the power grid. The key problems caused by distributed PV large-scale access, such as grid connection, standard access, "Observable and controllable", on-site absorption, safe operation and Operation Security, are analyzed.

Keywords: distributed photovoltaic; key issues; control measures

1 分布式光伏接入配电网情况分析

1.1 分布式光伏接入分布特征

截至 2022 年底, 河南全省分布式光伏装机总容量 1 781.02 万 kW, 分布式光伏用户 60.15 万户, 其中工商业用户 22.29 万户, 自然人光伏 37.86 万户。全省共有光伏台区 16.84 万个, 涉及 10 kV 线路 13 191 条。

分布式光伏装机按照并网电压等级分类情况: 10 kV 电压等级并网总装机容量为 350.9 万 kW, 共计 4 655 个站点, 并网容量占比 19.7%。380 V 电压等级并网总容量为 1 380.62 万 kW, 共计 543 373 个站点, 并网容量占比 77.52%。220 V 电压等级并网总容量为 49.5 万 kW, 共计 53 513 个站点, 并网容量占比 2.78%。

台区渗透率(并网容量占台区配变容量比例): 分布式光伏台区共有 168 426 个, 其中渗透率低于

收稿日期: 2023-05-17

40%的台区 107 419 个, 占比 63.78%; 渗透率在 40%~60%之间的台区 21 528 个, 占比 12.78%; 渗透率在 60%~80%之间的台区 16 690 个, 占比 9.91%; 渗透率在 80%~100%之间的台区 10 913 个, 占比 6.48%; 渗透率在 100%~200%之间的台区 10 829 个, 占比 6.43%; 渗透率大于 200%的台区 1 047 个, 占比 0.62%。由此可见, 大部分台区渗透率低于 40%, 台区渗透率超过 100%的占比仅为 7.05%。

1.2 分布式光伏开发模式

当前河南省分布式光伏的开发模式主要包括自然人报装与工商业报装。自然人报装的特点是报装数量多、单体容量小, 以户用光伏为主; 工商业报装的特点是报装数量少、单体容量大, 以工业厂房、商业楼宇房顶为主。

1.3 分布式光伏发展趋势

政策和市场双重驱动下, 河南分布式光伏发展速度将远超前期规划。《河南省“十四五”现代能

源体系和碳达峰碳中和规划》指出，预计到“十四五”末全省新增光伏并网容量 1 000 万 kW 以上。但是，仅 2022 年新增超过 770 万 kW。按照中国光伏行业协会估算，河南分布式光伏理论总体开发空间为 83 GW (8 300 万 kW)，居全国之首，若以 2022 年的发展速度，十四五末河南预计将新增 2 100 万 kW 分布式光伏，届时分布式光伏装机总量将达到 3 700 万，预计占装机总量的 33%。随着光伏建设成本的降低、新能源政策的持续强化和各地“整县屋顶光伏”试点项目的逐步落地，河南分布式光伏在未来仍将持续快速发展。

2 分布式光伏规模化接入和安全运行关键问题分析

2.1 分布式光伏超电网承载力开发并网

按照 DL/T 2041—2019《分布式电源接入电网承载力评估技术导则》标准要求，分布式电源不能向 220 kV 及以上电网反送电，反送潮流不得超过设备容量的 80%，当前河南省分布式光伏迅猛发展，部分地区光伏装机容量已明显超出电网承载力，且该问题日益严重，威胁电网设备安全运行。

2.2 分布式光伏规范接入问题

一是在电气连接方面对标准执行的差异性较大。分布式光伏项目建设主体多，各项目在明显断开点设置、防雷设计、接地措施等方面的执行情况差异较大，缺乏统一设计。在设备选型方面未严格落实相关标准，在保护动作时间及整定值、电压及频率耐受性、防孤岛保护、电弧智能检测及快速切断等方面与电网运行特性的适配性较差，安全风险较大。2022 年 8 月份抽样调研了 18 个地市的 33 个台区共 861 个光伏用户，其中 314 户未按 GB/T 29319—2012《光伏发电系统接入配电网技术规定》配置明显断开点，占比 36.5%，当发生电网停电后分布式光伏不能保证可靠退出，具有向线路反送电的风险，威胁作业人员人身安全。

二是部分设备在通信链路方面未落实标准要求，大量设备存在接入壁垒。一方面，部分逆变器未按 GB/T 33592—2017《分布式电源并网运行控制规范》和 NB/T 32004—2018《光伏并网逆变器技术规范》要求设置本地通信接口，造成数据采集困难；另一方面，各品牌型号光伏设备的通信协议各异，严重影响通信效率。例如，2022 年 9 月份抽查了 2 848

个光伏用户，其中 135 户未开放光伏逆变器本地通信接口，1 988 户本地通信接口被占用（涉及 95 类型号逆变器和 8 种通信规约），严重影响光伏数据接入。

三是设备接入缺乏安全认证，容易成为攻击跳板。目前低压侧分布式光伏建设过程中，由于考虑成本，逆变器等设备未加装加密芯片，缺乏身份鉴别、安全认证等防护措施，并且存在同一台设备既接受电网调控，又接受外部光伏平台调控的情况，在缺乏认证的情况下，入侵者可轻易接入，非法入侵光伏电站电力监控系统网络，甚至攻击部署在互联网上的光伏平台，控制大规模的光伏设备频繁投退。

2.3 分布式光伏“可观可测可控”能力不足

分布式光伏柔性控制需求日益迫切，但柔性控制的控制差异化配置方案和实施计划尚未明确。河南省电力公司已提出了“1 个基础方案+5 个升级方案”的分布式光伏“三可”技术路线，当前以基础方案为主，后续对不同的未来场景平滑过渡到升级方案。基础方案实现 15 min 级的“可观可测”和“刚性可控”，能够基本满足业务需求，但随着分布式光伏的快速发展，未来仅采用刚性控制可能引发用户投诉纠纷。“5 个升级方案”中有 4 个可实现柔性控制，能够兼顾光伏出力调节和用户满意度，未来应用需求更加迫切。

分布式光伏“可观可测可控”覆盖率低、采集上传频率不统一，可用性不够。当前河南省分布式光伏用户 60.15 万户，接入 16.84 万台 10 kV 公用配变；基于用采方案实现了 60.15 万户分布式光伏运行电压、电流、电量等信息的采集，采集方式为 15 min/次采集就地存储，依据本地通信模块的配置不同，每 24 h 或者 1 h 汇总至主站，数据上传成功率为 90% 左右。用采方案采集覆盖率高，但数据采集频率和成功率不高，不能实现柔性控制，可用性不够。对于配自方案，当前 16.84 万个光伏台区，其中配置融合终端的 1.1 万个，可实现 1 min/次的数据采集就地存储，每 5 min 的数据上传至主站，数据实时性高，可实现柔性控制，但终端覆盖率较低。

分布式光伏调控依据不充分，未能对电网运行提供支撑。配电网由目前的检修调度向功率调度转变，应根据电力平衡、设备重过载等情况采用差异化控制策略，为电网运行提供支撑。相关的国家标

准如 GB/T 33592—2017《分布式电源并网运行控制规范》，明确指出接入 10 kV、380 V 的分布式光伏向公用电网输送电量，应具备接受电网调度指令进行有功功率控制能力。由于分布式光伏属于用户资产，沟通协调难度较大，接受调控义务在实践中一直未执行，未能对电网运行提供支撑。

2.4 分布式光伏就地消纳压力巨大

分布式光伏就地消纳能力严重不足，造成各级电网严重功率上翻。分布式光伏增长应与用电负荷发展相适应，确保分布式光伏电力在配电网系统平衡，不应向 220 kV 电网反送电，就地就近消纳。但是，分布式光伏主要分布在农村地区，日常负荷极低，且缺少配套的储能装置，造成分布式光伏发电功率大于所接入配电网用电负荷，难以实现分布式光伏就地平衡消纳，导致河南全省超过 50 个 220 kV 变电站因分布式光伏出现功率上翻。

分布式光伏大规模接入导致河南全省午间新能源消纳风险加剧。分布式光伏大规模接入叠加集中式新能源发电影响，导致系统调节能力不足，电力平衡难度加大，新能源消纳矛盾加剧。从省网整体看，考虑午间分布式光伏大发影响，省网用电负荷特性将发生变化，午间省网用电负荷“深 V”特性突出，在春秋季节午间光照较好情况下，分布式光伏出力将超出电网消纳能力，集中式新能源与分布式光伏消纳的叠加矛盾将集中显现，新能源消纳风险加剧。

新能源消纳与电力保供问题共存，电网面临“消纳”与“保供”双重压力。河南省负荷已突破 7 800 万 kW，在负荷高峰期，传统电源装机容量捉襟见肘，局部出现功率缺额的问题，保供电形势极其严峻。大规模分布式新能源接入增加了用电负荷的日峰谷差，常规电源开机容量过大影响午间新能源消纳，开机容量过小造成晚高峰供电能力不足；加之极端天气对新能源发电和负荷用电的双重影响，在度冬、度夏大负荷期间新能源发电的不可控与波动性严重降低了电网顶峰保供能力；另外，由于缺少灵活储能和统一调控手段，分布式光伏发电时段与负荷高峰时段难以匹配，造成光伏电量无法在负荷尖峰时段可靠“顶峰”。

2.5 分布式光伏接入下电网安全运行问题

分布式光伏设备涉网性能偏低导致电网稳定运

行风险增加。分布式光伏现行标准多为产业发展初期制定，将分布式光伏作为非主流电源考虑，对其涉网技术指标要求偏低，涉网性能较差，不具备一次调频和动态电压支撑能力。分布式光伏规模化发展，进一步挤压网内火电机组的开机空间，将导致系统转动惯量下降、频率支撑能力不足。电网故障情况下，大规模分布式光伏脱网可能引发连锁反应，大电网安全运行风险加大。

配电网保护整定配合难度增大。一方面，配电网采用辐射状供电方式，保护跳闸后可能形成局部电网孤岛运行模式，造成重合闸和备自投功能失效。另一方面，110 kV 及以下变压器和线路保护以阶段式过流保护为主，过流保护存在反方向误动、过流速断越级跳闸、灵敏度降低等问题。

2.6 分布式光伏接入下配电网运维安全风险问题

无序并网导致配电网故障风险升高，电网运维工作量骤增。农村地区是分布式光伏的主要分布场景，但河南农村配电网整体网架薄弱，普遍存在设备老旧、容量小的问题，难以承载当前大规模分布式光伏的上送功率，甚至导致配变和互感器烧毁、低压出线绝缘损坏、跌落式熔断器误断等故障。其次，用户侧光伏专变和并网专线存在部分组件防雷水平低、接地不可靠等问题，故障隐患较多，全省已发生多起因光伏并网设施引发的全线停电。

运维工作复杂程度和安全风险增加。光伏并网配套装置如智能开关、直流设备、光伏通信单元等大量接入电网，电网运维工作技术难度增大。大量反向重过载设备须特巡，巡检范围和频次显著增加，给运检工作带来人员、设备方面的较大压力。目前在渗透率大于 25% 的光伏台区，配变低压母线处未按照 GB/T 3342—2016《户用分布式配变低压侧应光伏发电并网接口规范技术》要求装设反孤岛保护装置，且部分并网点缺乏明显断开点，存在反送电安全风险。

3 分布式光伏接入问题治理措施

3.1 开发并网环节应对措施

措施一：开展全省 220 kV 变电站供电范围光伏承载力滚动评估，制定分布式光伏开发时序。以就近消纳、就地平衡为主，协调光伏开发与区域内电网建设、用电负荷同步发展，引导光伏优先在具有

可开放容量的区域开发。

措施二：开展中低压电网承载力精细核算。参考 DL/T 2041—2019《分布式电源接入电网承载力评估导则》标准要求，统筹考虑光伏、储能、可调节负荷等资源，每月定期测算并公开线路和台区光伏可开放容量，引导光伏有序报装，扭转“先并网、后改造”的被动局面。

措施三：加强薄弱环节治理，提高分布式光伏承载力。电网改造升级资金应优先向光伏装机已超出承载力区域倾斜，采用无功装置配置、储能配置、中压转供、低压柔性互联等差异化措施，改善电网现状，服务分布式光伏并网。

措施四：争取政策，按电网承载力有序提供并网服务。争取政府政策，制定光伏并网要求，明确屋顶光伏项目在取得备案手续和电网公司出具的接入系统方案前，严禁提前开工建设；加强光伏建设、接入、验收和运行维护管理，明确电网公司的职责范围，支持电网公司按线路、台区可开放容量有序提供并网服务。

3.2 接入环节应对措施

措施一：开展存量改造和增量管控工作，统一电气连接和通信链路。遵循省内分布式光伏接入的电气连接和通信链路统一要求，加大协调沟通力度，推动存量设备按照统一标准改造，严把增量项目验收关口，杜绝不合规的项目并网。例如，对存量本地通信接口被占用的逆变器，进行通信接口“一分二”改造，对存量通信协议不同的逆变器，开展协议解析功能开发；对增量用户，在通信接口与通信协议方面形成省内统一要求，开展光伏逆变器通信测试及验收服务，协助各单位备案查验。

措施二：建立健全分布式光伏安全接入技术管理体系。分布式光伏接入公司生产控制大区，应加强安全隔离、访问控制、认证及加密、流量监测与分析等安全防护；分布式光伏接入公司管理信息大区，应通过终端接入子域，并遵循国家电网互联〔2021〕24号《智慧物联体系安全防护方案》相关安全防护要求；分布式光伏接入公司互联网大区，应通过公众服务子域或终端接入子域，并遵循相关安全防护要求。在满足上述基本要求的前提下，应针对海量分布式光伏接入，统一制定兼顾经济性与可靠性的具体安全防护措施。

措施三：统筹制定完善的分布式电源并网服务验收细则。系统梳理各级政策和相关技术标准，细化电网企业对分布式电源的并网要求，形成并网验收细则；定期对各地市落实情况进行监督、检查，坚持“不达标、不并网”，确保管住增量，实现分布式光伏发电规范化接入。

3.3 监控环节应对措施

措施一：因需施策，差异化推进分布式光伏“可观、可测、可控、可调”。加强各技术路线的差异化配置，依据台区光伏渗透率、电力平衡等因素，差异化采用基于用采集中器和台区智能融合终端的技术方案。对反向重过载问题严重的光伏台区，优先使用“新型台区智能融合终端+光伏信息采集单元”的方式，实现台区重过载、电压越限的自适应治理，实现“可观、可测、可控、可调”；对当前运行正常的光伏台区，优先使用经济造价低的用采方案，实现“可观、可测、可控”。根据光伏台区的运行情况，按月诊断新增反向重过载台区情况，升级改造实现光伏台区“可调”。

措施二：加强与政府沟通，推进低压分布式光伏调控授权。重新审视分布式光伏与传统电源在调控需求的区别，加强与政府沟通，推进低压光伏可控可调政策出台。同时开展分布式光伏运行数据采集频次需求研究，从分布式光伏调控对单点出力数据误差容许度、分钟级数据采集的技术经济可行性角度，推动分布式光伏可控可调技术路线落地，支撑电网安全运行。

措施三：完善调控机制，尽快明确中低压配电网调控管理模式。根据接入电压等级、规模容量、功能定位、服务对象等特性，明确可观可测的精度深度，研究建立省调-地调-配调-台区（自治单元）多级协同的调控机制，将配自、用采系统控制功能纳入调度体系。统一调控资源，中低压配电网调度应用满足调峰调频、无功电压调节等多业务需求，支撑微电网、虚拟电厂、负荷聚合商根据电压等级接入相应调度层级，促进网荷储协调互动。

措施四：加强调控部门与气象部门合作，提升调控精准度。通过加强调控与气象部门合作，开展区域气象预测与分布式电源出力和电网负荷出力预警分析，提前发布地区气候情况和分布式光伏出力预警，一方面，促使运维部门提前做好电网设备保

障运维，保障电网设备安全稳定运行，另一方面，提前做好应急预案，开展重点电网设备风险点把控分析，最大程度保障分布式电源消纳和电网设备安全稳定运行。

3.4 消纳环节应对措施

措施一：滚动开展区域电网分布式光伏消纳能力测算，推动区域功率平衡。基于各 220 kV 供电区负荷发展情况、新能源出力等数据，以分布式电源不向 220 kV 电网反送电、220 kV 以下功率反送低于 80% 为准则，并保证新能源整体利用率高于 95%，综合开展分布式光伏承载力及新能源消纳能力测算，明确各地区、各 220 kV 变电站 2023~2025 年分布式光伏可开发容量，引导分布式光伏有序接入。

措施二：县域共享储能和分布式储能并举，促进分布式光伏就地就近消纳。针对存量分布式光伏超电网承载力导致的消纳问题，基于实际运行数据和网架结构，开展高比例分布式光伏县域配电网共享储能优化布局研究工作，制定分布式储能容量测算、布点选择典型方案，因地制宜配置县域电网新型共享储能，推行“光储融合”项目建设，丰富县域配电网有功调节手段及自平衡能力，有效解决分布式光伏消纳难题。

措施三：推动集中式规模化储能协同高效运行，解决“新能源消纳与电力保供”双重难题。聚焦电网调峰能力及电力顶峰保供能力提升，开展电网新能源弃电、电力供应缺口时空分布特性分析，并基于集中式规模化储能位置分布、容量大小、充放电能力等实际情况，以聚合释放规模化储能最大消纳与保供能力为目标，制定规模化储能全时段综合充放电运行策略，提升电力安全保障水平，满足高比例大规模新能源发展需要。

3.5 运行环节应对措施

措施一：规范分布式光伏涉网性能标准，开展并网设备涉网性能检测。制定《分布式光伏接入电网技术指导意见》，明确分布式光伏并网应遵循的技术原则，明确接入点选取方法、主要设备选型标准，规范分布式光伏电压/频率适应性、高/低电压穿越能力及电能质量等分布式光伏核心涉网性能标准；针对并网逆变器开展涉网性能入网检测和技术监督，确保并网装置涉网性能满足标准要求，保障大规模分布式光伏接入下电网安全稳定运行。

措施二：规范配电网继电保护与安全自动装置配置整定原则。分布式电源接入的 35 kV 及以下配电网过流保护定值整定应投入方向元件；分布式电源侧配置过流保护和故障解列装置，合理整定定值解决孤岛问题；优化系统侧重合闸和备自投与分布式电源故障解列装置配合关系，避免非同期重合风险。

3.6 运维环节应对措施

措施一：建立有源配电网运维标准体系，提升电网运维人员技能水平。建议向各单位征集含光伏电源的配电网在消缺排故、日常巡检等运维环节问题，优化运维检修工作流程和技术要求。开展专项培训，提升电网运维人员技能水平，适应有源配电网运检工作要求。

措施二：加大低压不停电作业推广力度，降低运维检修工作量和安全风险。含光伏线路或台区的故障抢修，应优先使用不停电作业方式，避免光伏反送电带来的安全风险，保障现场运维人员人身安全。

措施三：提高分布式光伏台区和线路问题治理时效性。在规划阶段要充分考虑分布式电源并网需求，适当提高配电网设计标准；建立常态化的配电变压器等物资轮换工作模式，按照分布式光伏装机优化匹配电网设备，提高资产利用率；建立分布式光伏严重超承载力台区、线路治理物资储备库，配合配变轮换等管理措施，及时治理反向过载、电压越限等问题。

4 结束语

本文从分布式光伏接入配电网基本情况、对电网产生的影响、规模化接入和安全运行引起的问题以及治理措施等方面来阐述分布式光伏对电网的影响。进而为分布式光伏规模化开发并网、规范接入、“可观可测可控”、就地消纳、安全运行以及运维安全等方面由引发的关键问题和具体治理措施提供了思路。

作者简介

吕超然（1996—），男，工程师，从事变电检修工作。

吕翔（1969—），男，高级工程师，从事电力系统规划设计工作。

张文瑶（2000—），女，工程师，从事变电检修工作。

（责任编辑：张峰亮）

国内高空风力发电技术应用现状

肖利坤

(国家电投集团广东电力有限公司广州分公司, 广东 广州 511458)

摘要: 文章由2种高空风力发电理论, 综述国内外3种高空风力发电技术发展现状和路线, 概况市场应用前景和做出经济性分析研究, 并分析目前发展遇到的困难, 最后作出总结。

关键词: 高空风力发电; 飞行器; 伞梯型

中图分类号: TM727

Research on Application Status of High Altitude Wind Power Generation Technology in China

XIAO Likun

(Guangzhou Branch of State Power Investment Group Guangdong Electric Power Co., Ltd.,
Guangdong Guangzhou 511458, China)

Abstract: China has a vast territory and abundant wind resources, with a broad prospect for developing high altitude wind power generation. Based on two types of high altitude wind power generation theories, this article summarizes the development status and routes of three types of high altitude wind power generation technologies at home and abroad, outlines the market application prospects, makes economic analysis and research, analyzes the difficulties encountered in the current development, and finally makes a summary.

Keywords: high altitude wind power generation; aircraft; umbrella ladder type

1 高空风力发电技术前景分析

中国高空风能资源储量是世界最丰富的国家之一。据了解, 当国内风能资源的使用达到 60% 时, 它产生的电能满足当前全国用户用电需求^[1]。高空风相比地面风, 不仅风速大而且密度一般是地面风能密度的几十到几百倍^[2]。标准空气密度为 1.225 kg/m³, 海拔高度每升高 1 000 m, 空气密度约降低 10%。在高度 1 000 m 以上, 特别是在 6 000~12 000 m 的高空, 风功率密度可高 10 kW/m² 以上^[3]。

美国国家环境预报中心 (NCEP) 的数据资料表明: 在 6 000 m 高空中, 我国大部分地区的风能密度均值超过 5 kW/m², 是目前低空风力资源的平均风能密度的 20 倍以上。

高空风力发电主要具有以下几个方面的优点。发电输出稳定、功率大且可调节 (机组单台功率达 50 MW, 集中发电方式功率更大)。常规风电年利用小时数只有约 3 000 h, 而高空风力发电利用小时达到 6 000 h, 发电时间更长、单位功率造价成本更

收稿日期: 2023-03-28

低。高空风力发电对环境生态和人们生活几乎无影响, 所以风力发电站选址受限少。因此它是新能源发电的重要发展方向, 不仅可以改变现状的能源供应结构, 还可以解决能源短缺及空气污染的问题^[4], 由此可见发展高空风力发电前景广阔^[5]。

2 国内外技术发展现状及路线

高空风力发电有 2 种方式理论思路, 从理论的角度看都是可行的。一是在高空建造发电站, 利用风力发电后把电力通过电缆传输到地面; 二是通过把传动设备放在高空^[6], 将风能转化为机械能, 再传递到地面的发电机设备用来发电^[7]。

利用这 2 种理论, 目前高空风能发电主要有 3 种技术路线, 广东高空风能技术有限公司是目前国内为数不多在高空风能发电技术方面从研发、系统设计到发电站建造全过程的企业^[8]。

2.1 发电机悬置于空中的技术路线

把发电机置于高空的技术路线优点是不必把笨重的电力转换设备置于空中, 只是将较为简单的风力驱动设备在高空就将发出来的电通过传输电缆就

可以输送到地面得设备，通过电力的转换后，就能实现发电，这样的系统易于控制在空中停留的时间^[9]。

在高空风能发电的发电机涡轮机型，由于受到发电设备在重量重和体积大的影响，要做到大规模发电难以实现。同时庞大的空中平台上升到高空也难以承担克服发电系统巨大的自重，安全性能和收集的风能也不是很理想，控制系统相较也复杂。同时此类发电方式也须要解决如何把发电机产生的电能从空中传输到地面的应用场景问题。这一类发电技术很难建造 MW 级发电系统，当前往往用于小型化场景应用^[10]。

2.2 发电机置于地面的技术路线（非伞梯型）

目前国际主流的高空风能发电技术，多采用发电机置于地面的系留风筝型技术路线，从而克服发电机置于空中，功率等级较低的局限性。同时，非伞梯型结构升空高度仍然受限，其空中系统运行轨迹的稳定性难题和空中系统控制技术瓶颈仍面临挑战。当前，此技术路线的发电设备功率等级仍停留在百千瓦级。

2.3 发电机置于地面的技术路线（伞梯型）

2022 年 1 月 17 日，由中国能建采用梯伞组合高空风能发电技术，在我国投资、建设、运营实施的安徽绩溪高空风能发电示范项目正式开工，该项目属于我国首创一体化高空风能项目^[11]。

2010 年 4 月中路股份公司下属广东高空风能公司研制出基于伞梯组合型高空风能发电技术的国内首台 100 kW 高空风电系统样机。2015 于芜湖建设完成 2.5 MW 高空风能试验电站，实际测试单绳功率超过 600 kW，芜湖 2.5 MW 高风风能系统试验站如图 1 所示。

伞梯型风力发电技术，包括地面系统和高空系统 2 部分。地面系统由卷扬机（滚筒和反向转动电机）、发电机、滑轮组成。高空系统又包括多个平衡伞、做功伞组成。伞之间、做功伞与卷扬机之间连接是通过轻质高强度缆绳实现的^[12]。芜湖实验站放飞试验现场如图 2 所示。

伞梯型高空风能发电技术的升力平衡系统与做功系统是分别控制的。首先平衡系统在风的作用下产生升力，自己不参与做功，但是它维持整个系统在空中的平衡，保持稳定。做功系统在风的作用下起作用，将风能转换为机械能，再传递到地面的发电机转动发电。而做功系统和平衡系统相对保持独立，在风的随机扰动下，平衡系统依然可以达到自我调节而不影响做功系统的做功。并且做功过程中对系统的扰动也不会直接传递到平衡系统，从而使平衡系统在整个运行过程中都保持稳定状态，最后保证了整个系统做功的稳定进行，达到了发电的要求。

3 市场前景与经济效益分析

经过对高空伞梯组合式风能发电系统分析，发展高空风能发电科技示范工程项目，按优化平稳运行方式最低规模配置为 6 MW（4 × 2 MW 系统），通过“三升一降”模式运行，可实现发电运行曲线基本平滑稳定（类似汽车四缸发动机原理，交替上升发电）。

项目投资占比空中设备 18%~20%，地面设备 40%~45%，剩余为输变电设备及其他。未来技术成熟设备量产后，预期装机成本可降低至 6 000 元/kW 区间，预期发电成本降至 0.1 元/kW·h。项目经济性如表 1 所示。



图 1 芜湖 2.5 MW 高风风能系统试验站



图2 芜湖实验站放飞试验现场

表1 10 MW发电系统经济性

机组装机成本	高度	运行时间	发电成本	回收期限	内部收益率
8 000元/kW	500~3 000 m	>6 000 h	0.2元/(kW·h)	7年	>10%

4 风险点分析

4.1 项目选址

高空风能项目可发电区间 500~8 000 m，考虑军用飞机、民航飞机等飞行器的空域管制，东部城市密集地区可用空间为 500~3 000 m，项目选址有较多受限性，应充分考虑现有及规划空军基地、民航机场、飞行线路、空间飞行器试验基地、区域管制高度、禁飞区等多重因素。另外升空须当地军事部门审批^[13]，如选址风险分析不充分，可能导致项目无法或者较少时间升空发电，将严重影响项目运行小时数。

4.2 无长时间滞空运行试验

国内高空风力发电系统尚无长时间滞空发电试验，受限于试验项目选址附近有空军基地等原因，最长滞空发电市场为 10 h，对高空风力发电系统长时间滞空发电的稳定性缺乏相应数据支撑。

4.3 缺乏高空测风数据

目前高空风力发电项目缺乏高空测风数据，试验数据基于美国国家环境预报中心的卫星数据及实验室吹风试验，对高空风资源缺乏关键数据，高空雷击、台风等恶劣天气数据仅为预估，无实际试验数据。

4.4 功率预测系统待完善

功率预测系统缺失，风速仪安装在高空，随高空捕风装置漂浮，测风数据不精确，不能准确进行发电机组功率预测。系统因空域管控等缺乏长时间

滞空运行试验数据。

5 总结

高空风能发电技术不受区域资源禀赋限制，占地面积远低于光伏发电及风机发电，如实现技术成熟且项目稳定运行，可实现对低风速区域的清洁能源布局及城市远郊的能源开发供给，助力实现碳中和。

参考文献

- [1] 黄加明. 风力发电的发展现状及前景探讨[J]. *应用能源技术*, 2015(4): 47-50.
- [2] 杨燕, 亢碧成. 几种中高空风能发电技术可行性研究[J]. *电子世界*, 2018(18): 107.
- [3] 李泉洞, 滕凯芝. 高空风力发电技术[J]. *起重运输机械*, 2011(2): 45-47.
- [4] 李大西. 中高空风能发电技术[J]. *科技创业*, 2010(11): 28-31.
- [5] 俞增盛, 吴俊. 高空风力发电技术与产业前景综述[J]. *上海节能*, 2017(7): 379-382.
- [6] 肖小丽. 风筝发电机飞行轨迹优化研究[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2020. DOI: 10.27738/d.cnki.ghnkd.2020.000072.
- [7] 飞天. 绿色能源从天降[J]. *知识就是力量*, 2010(2): 66-67.
- [8] 刘杨. 各路资本纷纷进军高空风电领域[N]. *中国证券报*, 2015-08-17 (A09).
- [9] 和月磊. 直驱式永磁电机在高空风力发电中的应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [10] 邵垒, 毛虹霖, 邢胜, 利威, 方子淇, 侯洋. 高空风力发电发展现状及关键技术研究综述[J]. *新能源进展*, 2020, 8(06): 477-485.
- [11] 王波. 国内首创高空风能项目开工[J]. *能源研究与信息*, 2022, 38(1): 61.
- [12] 席淑静. 高空风电技术全球赛跑[N]. *中国领先* 2015-05-26 (08: 25).
- [13] 刘杨. 高空风电千亿市场引而待发[N]. *中国证券报*, 2015-08-17 (A09).

作者简介

肖利坤(1988—), 男, 本科, 电气工程师, 研究方向: 新能源发电及节能技术。

(责任编辑: 张峰亮)

基于传统电能计量装置安装接线的改进研究

杨叶奎, 王林波, 赵 阳

(贵州电网铜仁思南供电局, 贵州 思南 565100)

摘要: 电力企业安全生产、营销管理、电网经济运行的重要组成部分就是电能计量装置, 强化“计量就是效益”的管理理念, 是供电企业提升营销管理的必然要求, 更是电力企业实现健康有序发展的关键途径, 通过对传统计量装置安装接线带来的各种错误接线进行分析研究, 研制出防范各型电能计量装置二次接线的标准化二次回路模块, 可以使计量安装人员及时、方便、直观、正确地安装各型电能计量装置, 从源头杜绝了因人为造成的各类错误接线导致的电量流失, 对此加以简要的分析和论述。

关键词: 电能计量; 错误接线; 二次接线集成模块

中图分类号: TM933.4

Research on Improvement of Installation Wiring Based on Traditional Electric Energy Metering Device

YANG Yekui, WANG Linbo, ZHAO Yang

(Tongren Sinan Power Supply Bureau of Guizhou power grid, Guizhou Sinan 565100)

Abstract: An important part of the safe production, marketing management, and economic operation of the power grid of electric power enterprises is the electric energy metering device. Strengthening the management concept of "metering is benefit" is an inevitable requirement for power supply enterprises to improve their marketing management, and it is also the key to the healthy and orderly development of electric power enterprises. In this paper, through the analysis and research of various wrong wiring caused by the installation and wiring of traditional metering devices, a standardized secondary circuit module to prevent the secondary wiring of various types of electric energy metering devices is developed, which can make the metering and installation personnel timely, convenient and intuitive. Install various types of electric energy metering devices correctly, and eliminate the power loss caused by various human-caused wrong wiring from the source. This article briefly analyzes and discusses this.

Keywords: energy metering; wrong wiring; secondary integrated module

1 传统电能计量装置安装现状及背景

在电力技术和新设备日新月异的今天, 电能计量装置安装接线却仍然采用几十年来的传统安装方式—人工现场安装; 各类用于贸易结算的电能计量装置主要是由各型电能表、负荷管理终端、配变监测终端 (TTU) 以及高压电流电压互感器组合计量箱、低压电流互感器、试验接线盒、二次电流电压回路组成的; 各型计量装置均是安装人员现场采用导线连接电能表、负荷管理终端与接线盒之间的二次连接回路及电压、电流互感器与计量接线盒之间的二次回路电缆包括多根, 且分散开, 电缆上无相色区分及规范符号标记, 高压组合计量箱须要登杆高空接线且极易错误等^[1], 导致工作人员安装时须认真

收稿日期: 2022-08-05; 修回日期: 2023-05-05

识别, 常出现电能表、负荷管理终端、配变监测终端 (TTU) 与接线盒之间; 电压、电流、电压互感器与接线盒之间接线错误 (逆相序, 电流、电压极性不对应, 电流方向反, 电流电压错位等), 且劳动强度大, 安全风险较大、安装效率低下。

特别是这一类用户均为高低压专变用户、大用户、专线用户及公共配变计量装置; 均属于采用经电压和电流互感器接入的大负荷、大用电量用户, 计量倍率 (电流、电压比) 少则几百、多则几十万, 一旦接线错误造成的电量损失特别巨大, 由于该错误接线导致的电量损失系供电企业计量安装人员造成, 进而导致电量追补成本大、耗费时间长, 追补困难, 造成企业线损增大, 经营成果流失, 同时造成与客户关系紧张、影响供电企业良好的社会服务形象, 客户投诉率增加, 客户满意度受损。鉴于此

如何能保障计量连接的各类电能表和负荷管理终端、试验接线盒之间接线的准确性，杜绝因计量接错误造成的各种电量损失，是迫切需要解决的关键问题。

2 计量装置二次接线集成模块的研究

根据中华人民共和国电力行业标准 DL/T 448—2016《电能计量装置技术管理规程》；DL/T 85225—2021《电能计量装置安装接线规则》；中国南方电网有限责任公司企业标准 Q/CSG 113007—2012《低压用电客户电能计量装置典型设计》，研制出了一整套满足各型电能计量装置标准化接线模块，从而实现各型电能表、负荷管理终端、配变监测终端（TTU）的规范、标准、防窃电、防错误接线的二次连接系统。该系统主要组成部分：三相三线二次接线集成模块、三相四线二次接线集成模块、配变终端二次接线集成模块，可以分别用于各型通过电流、电压互感器接入用于贸易结算的高低压电能计量装置及台区考核的各型计量装置。

该电能计量装置二次回路接线模块，连接试验接线盒与电能表，采用二次接线集成模块回路，模块内部电流回路采用 4 mm^2 、电压回路采用 2.5 mm^2 单芯铜芯绝缘线或者多股软铜线，与接线桩头连接处搪锡或制作作为单股套头），分别用黄、绿、红、蓝（黑）对应 A、B、C、N 相（也可标注为 U、V、W、N），将各电流、电压回路接线桩头分别标注于二次回路桩头并一一对应；只预留出连接桩头处，连接桩头设计为伸缩式及滑槽式；实现外观整齐、方便区分，能实现各种通过电流、电压互感器的电能表与联合接线盒之间的快速正确连接。防止经电压、电流互感器接入电能计量装置导致的电压逆相序，电流电压极性不对应，电压、电流错位，二次电流方向反接等各种错误接线的发生（如图 1、图 2、图 3 所示）。

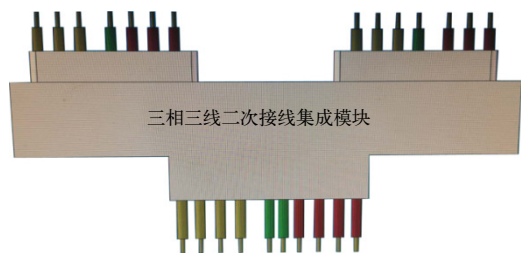


图 1 三相三线二次接线集成模块

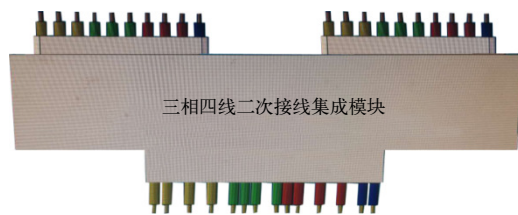


图 2 三相四线二次接线集成模块



图 3 配变终端二次接线集成模块

3 二次接线集成模块创新点分析

由传统的现场采用散线安装转变为模块化、集成化的标准安装，补齐了电力销售环节的最后一块短板，实现了计量装置模块化、集成化、标准化。

结构科学合理、性能可靠、免维护。

安装方便、省时省力、减少安全风险。

该集成化模块取缔了人工现场安装接线，只须将模块直接插入电能表及联合接线盒，紧固螺栓即完成整个电能计量装置的安装，从源头杜绝各种错误接线的发生，安装一套计量装置减少现场安装时间 40 min 以上。

4 二次接线集成模块解决的问题分析

解决各级供电企业各类高压专线大用户、高压专变用户用于贸易结算通过 TV、TA 接入电能计量装置因接线错误（逆相序，电流、电压极性不对应，电流方向反、电流电压错位等错误接线）导致的电量不计量或者少计量问题^[2]。

解决高供低计专变用户、低压三相四线动力用户及其他用户通过 TA 接入电能计量装置因接线错误导致的电量不计量或者少计量问题。

解决配变总表（监测终端 TTU）通过 TA 接入电能计量装置因接线错误导致的电量不计量或者少计量问题，实现台区线损的实时计算、分析、统计和考核。

解决因各级供电部门，特别是绝大多数县级供电企业因计量人员配置不足、工作疏漏及业务技能

低下导致的各类计量装置接线错误，通过该二次接线集成模块及专用回路电缆可以有效杜绝各类计量装置错误接线的发生（安装接线如图4、图5、图6所示；图4二次接线集成模块下端绿色接线盒为二元件试验接线盒；图5、图6二次接线集成模块下端绿色接线盒为三元件试验接线盒）。



图4 三相三线高压二次接线集成模块接线图



图5 三相四线低压二次接线集成模块接线图

适用范围：所有由于贸易结算的10 kV高压专线用户，大工业用户、专变用户（通过电压电流互感器接入计量装置），高供低计及低供低计通过电流互感器接入电能计量装置的大用户；高压分支线路的关口计量、配变监测终端（TTU）的台区考核计量等。

5 综合效益分析及成果

使用该模块安装1套电能计量装置节约人力成本200元，减少停电时间约2h，减少二次导线损失约150元。



图6 配变终端（TTU）二次接线集成模块接线图

对安装人员的业务技能要求不高，不须要登杆对线头，减少高空作业坠落安全风险，降低劳动强度、提高工作效率，降低人力资源成本、实现快速供电复电，保障了供电企业和用户的合法权益，体现了公平交易，提升了客户满意度和供电企业的良好服务形象，实现了经济、社会、安全效益的“三赢”。

该成果规模生产后相比于传统的接线方式成本降低百分之40%，市场接受度高，规模生产将产生利润百分之40%左右。

该成果取得3项实用新型专利，2项发明专利，荣获电力行业创新成果金奖（整体接线示意图如图7所示，从上至下分别为三相三线10 kV及负荷管理终端、三相三线高压二次模块、二元件试验接线盒、二次联合接线电缆）。

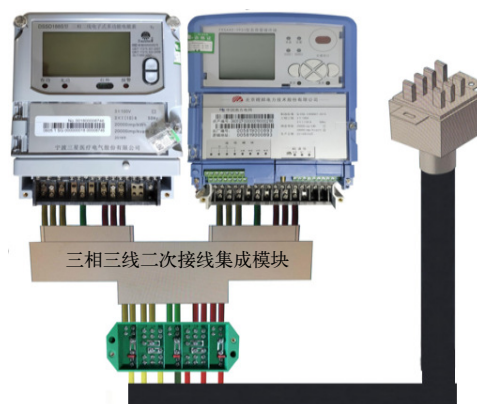


图7 二次接线集成模块整体接线图示意图

（下转第77页）

用于垂直双分裂导线弧垂调整的直线滑车研制应用

黄双得, 周自更

(云南电网有限责任公司昆明供电局, 云南 昆明 650011)

摘要: 针对导线弧垂出现异常, 导致两根子导线间距过小, 发生导线鞭击或粘连, 并且目前还没有调整垂直双分裂导线弧垂的专用滑车。因此, 研制出一种用于垂直双分裂导线调整弧垂的直线滑车, 经过现场应用, 效果良好, 有很好的推广作用。

关键词: 输电线路; 垂直; 双分裂; 滑车; 调整弧垂

中图分类号: TM726.3

Development of Linear Pulleys for Vertical Double Split Conductor Adjustment

HUANG Shuangde, ZHOU Zigeng

(Power Supply Bureau, Yunnan Power Grid Co., Ltd. Kunming, Yunnan Province, Yunnan Kunming 650011, China)

Abstract: The article appears for the wire sag abnormalities, resulting in two sub-wire spacing is too small, the occurrence of wire whipping or adhesion, and there is no adjustment of vertical double split wire sag of the special pulley. Therefore, the development of a vertical double split wire to adjust the sag of the linear pulley, after field application, the effect is good, has a very good promotion.

Keywords: transmission lines; vertical; double split; tackle; adjust sag

1 研究背景

目前, 在电力行业中会出现高压输电线路垂直双分裂导线在长期运行过程中, 由于各种原因, 导线弧垂会出现异常, 导致两根子导线间距过小, 发生导线鞭击或粘连现象, 极易发生导线断股、断线。并且, 国内暂无有效调整垂直双分裂导线弧垂的专用滑车, 主要采用人工出导线处置, 在处置过程中人员出导线的安全风险较大且费事费力^[1]。

2 直线滑车的研制

2.1 设计原理

用于垂直双分裂导线弧垂调整的直线滑车由承力挂板、设在承力挂板一侧的固定承力挂板、设在承力挂板另一侧且与固定承力挂板平行的活动承力挂板和通过轴承固定在固定承力挂板与活动承力挂板之间的滑轮组成; 活动承力挂板是通过铰链与承力挂板连接的; 在轴承靠近活动承力挂板的一端设有闭锁销。

通过轴承固定在固定承力挂板与活动承力挂板之间的滑轮有 4 个, 每 2 个滑轮为一组水平排列, 2 组滑轮垂直上下排列。此专用直线滑车用于垂直

收稿日期: 2022-05-23

双分裂导线调整弧垂, 专用直线滑车具备 4 个滑轮, 每 2 个滑轮一组水平排列, 2 组滑轮垂直上下排列, 2 组滑轮各通过一根子导线, 专用直线滑车垂直排列的滑轮轴心距设计为与双分裂子导线间距相同, 保证调整弧垂一次到位, 不须再进行二次调整; 专用直线滑车采用水平双轮滑车, 以增加导线通过滑车的承力点和轮径, 大大减轻调整弧垂时导线对每个滑轮压力, 减轻对导线的损伤; 专用直线滑车所有零部件均使用高强材料, 减轻专用直线滑车整体重量, 安装或拆卸方便、灵活。

2.2 安装情况

本装置中的 2 组滑轮上各通过一根子导线, 如图 1 所示。

一套用于垂直双分裂导线弧垂调整的直线滑车应配备至少 16 个, 以保证满足一个耐张段内, 专用直线滑车与直线杆塔数量相匹配, 在各直线杆塔绝缘子串末端, 通过相应荷载的金具与专用直线滑车匹配连接, 打开活动承力挂板后, 将导线放入直线滑车的滑轮, 闭合活动承力挂板, 将导线荷载转移到专用直线滑车, 拆除导线上金具及附件后, 在耐张段两侧进行导线收放调整, 使整个耐张段各档弧垂达到要求^[2]。

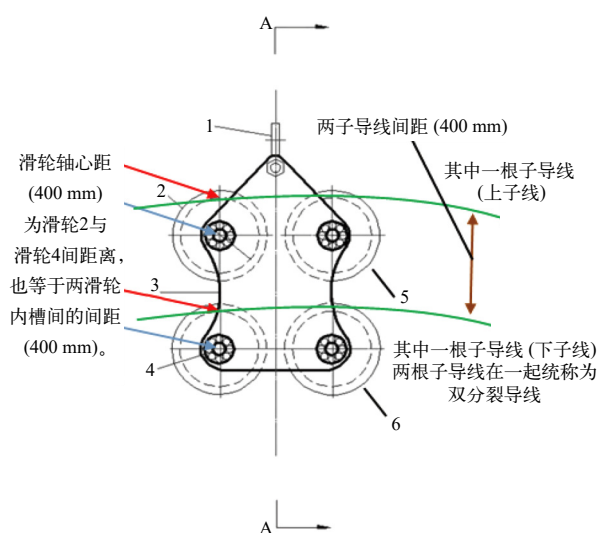


图1 滑车挂线结构示意图

2.3 具体实施

如图2、图3所示,一种用于垂直双分裂导线弧垂调整的直线滑车特征在于:该直线滑车由承力挂板1、设在承力挂板1一侧的固定承力挂板3、设在承力挂板1另一侧且与固定承力挂板3平行的活动承力挂板7和通过轴承4固定在固定承力挂板3与活动承力挂板7之间的滑轮2组成;活动承力挂板7是通过铰链5与承力挂板1连接的;在轴承4靠近活动承力挂板7的一端设有闭锁销6。本装置中,通过轴承4固定在固定承力挂板3与活动承力挂板7之间的滑轮2有4个,每2个滑轮2为一组水平排列,2组滑轮垂直上下排列。

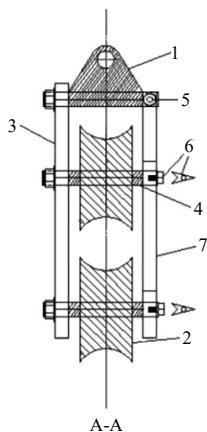


图2 A-A向剖视图

3 应用情况及效果

3.1 现场应用情况

垂直双分裂导线调整弧垂直线滑车的研制,成

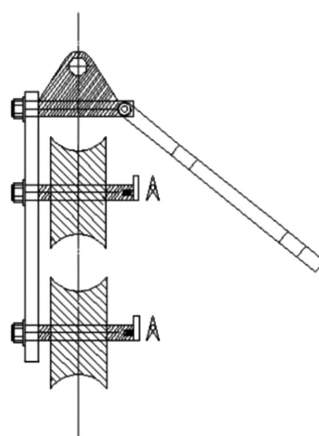


图3 活动承力挂板打开状态示意图

功应用于某供电局220 kV赤狮线(220 kV厂狮线)、220 kV中狮线等多条输电线路弧垂调整中,效果良好。有效地解决了220 kV双分裂垂直排列方式由于大档距、大高差、连续下坡而导致的弧垂偏差调整的问题,有效避免弧垂不一致而导致导线鞭击和粘连的发生^[3]。

3.2 本装置的有益效果

直线滑车垂直排列的滑轮轴心距设计为与双分裂子导线间距相同,保证调整弧垂一次到位,不再进行二次调整;直线滑车采用水平双轮滑车,以增加导线通过滑车的承力点和轮径,大大减轻调整弧垂时导线对每个滑轮压力,减轻对导线的损伤;直线滑车所有零部件均使用高强材料,减轻专用直线滑车整体重量,安装或拆卸方便、灵活。

3.3 知识产权

目前,该工具已获得实用新型专利授权1项,受理发明专利1项。

参考文献

- [1] 国家能源局. 电力设备预防性试验规程: DL/T 596—2021[S]. 2021.4.
- [2] 董吉谔. 电力金具手册[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.1.
- [3] 周自更. 220 kV厂狮线#74—#76连续下坡导线鞭击分析[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2014(24).

作者简介

黄双得(1981—),男,高级工程师,主要从事架空输电线路运行与维护技术研究工作。

周自更(1964—),男,带电作业专责,从事输电线路工程工作。

(责任编辑:刘艳玲)

接线检测自动识别技术在互感器仿真 培训装置中的应用

邹静, 徐耘英, 王涛

(武汉电力职业技术学院, 武汉 洪山 430070)

摘要: 互感器检测是高职院校电力专业教学的重要内容, 是电力营销服务、变配电运维检修等专业“1+X”职业资格证书必考项目, 是电力行业电能表修校工等多个工种必备技能, 全面提升互感器检测能力是电力类专业职业教育和电力生产企业的紧迫任务。本项目将开发一套互感器检测仿真培训装置, 采用一种接线检测自动识别技术, 通过稳压管稳压范围、限流电阻选择、多路ADC采集设计, 实现对学员的接线情况实时分析判断, 将复杂、抽象、危险性较高的互感器检测操作转变为直观、标准、安全的操作, 克服以往教学中存在安全风险, 设备投资昂贵, 完整性不强, 培训效率低等问题, 该装置安全可靠、功能完备、高效灵活, 成本低, 能切实提升学员的理论知识水平和专业实践操作水平, 加速互感器检测相关专业的高技能人才的培养。

关键词: 互感器检测; 接线检测自动识别; 采集电路; 互感器检测仿真培训

中图分类号: TM644

Application of Automatic Identification Technology for Wiring Detection in Transformer Simulation Training Device

ZOU Jing, XU Yunying, WANG Tao

(Wuhan Electric Power Technical College, Wuhan Hongshan 430070, China)

Abstract: Transformer testing is an important part of the teaching of electrical engineering in vocational colleges. It is a mandatory "1 + X" vocational qualification certificate for electrical marketing services, transformation and distribution operation and maintenance, and is a necessary skill for multiple types of work in the power industry, such as electricity meter repair and maintenance. It is an urgent task for vocational education and power production enterprises in the field of electric power to comprehensively improve the detection ability of transformers. This project will develop a simulation training device for transformer detection, using an automatic identification technology for wiring detection. Real time analysis and judgment of students' wiring situation can be achieved through the selection of voltage stabilizing range, current limiting resistor, and multi-channel ADC acquisition design of the voltage regulator. Transform complex, abstract, and high-risk transformer detection operations into intuitive, standard, and safe operations. Overcoming issues such as safety risks, expensive equipment investment, weak integrity, and low training efficiency in previous teaching. This device is safe, reliable, fully functional, efficient, and flexible, with low cost. It can effectively improve students' theoretical knowledge level and professional practical operation level, and accelerate the cultivation of highly skilled talents in transformer detection related fields.

Keywords: transformer detection; automatic identification of wiring detection; acquisition circuit; transformer detection simulation training

电力互感器是一个重要的高压设备, 广泛应用于电力设备的测量、保护和电能计量, 直接关系到电力系统的安全稳定经济运行。互感器检测是电力

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究项目: 互感器检测仿真培训装置研究与开发 (B2022571)。
收稿日期: 2023-05-30

生产中一项重要工作, 是电力行业电能表修校工、装表接电工、用电检查员、计量检验检测工、电表仪表工、电力负荷控制员等工种必须掌握的技能, 也是相关工种的职业技能鉴定项目。

由于现场互感器型式多样, 测试现场环境复杂,

测试内容多,需要多种测试设备,接线复杂,且高压环境安全风险大,容易造成人员伤害和设备损害,为了提高检测人员的技能水平,须对专业人员做严格、专业和大量的培训。目前互感器检测培训中接线检测主要依靠人工,工作效率低下,容易出现错误,理论教学中实用性不强。在真实设备实操训练中存在着安全隐患,测试环境单一,不能模拟多种工况下的故障方式,且难以开展多人同时训练,存在完整性、针对性不强,培训效率低等问题。

本项目致力于解决以上问题,开发一套带接线检测自动识别技术互感器检测仿真培训装置^[1],该装置依据国家电网有限公司互感器检测作业标准和职业院校电力系统职业技能等级标准进行设计研发,覆盖互感器检测全部内容,且能灵活设置各种故障工作状态,能够对学员接线情况进行接线检测自动识别,可以切实提高学生的理论知识水平以及专业实践操作水平。本项目的实现可以为互感器检测技能的学习提供一个安全可靠、功能完备、高效灵活的实操训练平台。

1 接线检测自动识别整体原理介绍

传统互感器现场检测实操训练中,实现接线检测普遍方式是让学员先将测试线接好,专业的操作人员再进行现场检查,这种方法培训效率低、人工成本高,而且对设备和人身都存在一定的危险性。本项目重点研究一种接线检测自动识别技术,检测方

法主要通过高低不同的电压信号来识别判断接线动作。在此处对电压的精度要求并不是很高,所以采用简单经济的齐纳二极管来输出不同的电压信号。接线检测实现原理图如图1所示。稳压管输出的电压信号须要经过抖动处理来提高信号检测的准确性。检测模块读取电压信号传入CPU,CPU进行区域值判断,处理后传递给互感器仿真培训,互感器仿真培训软件根据不同的电压信号实时绘制出各个接线端子对应的连接导线。从而实现对学员的接线情况实时分析判断,该软件能够灵活的设置各种故障状态,对互感器检测操作进行实时监测。

2 电路设计

2.1 稳压管稳压范围

稳压管的稳定电压都是在理想状态下的值,但实际真实稳压管的稳定电压会在一定范围波动,本次设计采用的稳压管型号为SMA2Z系列,芯片手册部分系列型号如图2所示,选取SMA2Z3.3A、SMA2Z4.3A、SMA2Z5.6A这3个型号的稳压管计算稳压管的稳压精度,数据对比表如表1所示,由表格可以看出,稳压管精度在5%以内。根据稳压管的精度来确定CPU域值判断的合理区间,来实现接线检测的精准识别。

2.2 限流电阻选择

对于限流电阻的阻值选择过小会导致稳压管电流过大损坏,过大会导致稳压管位于反向截止区而

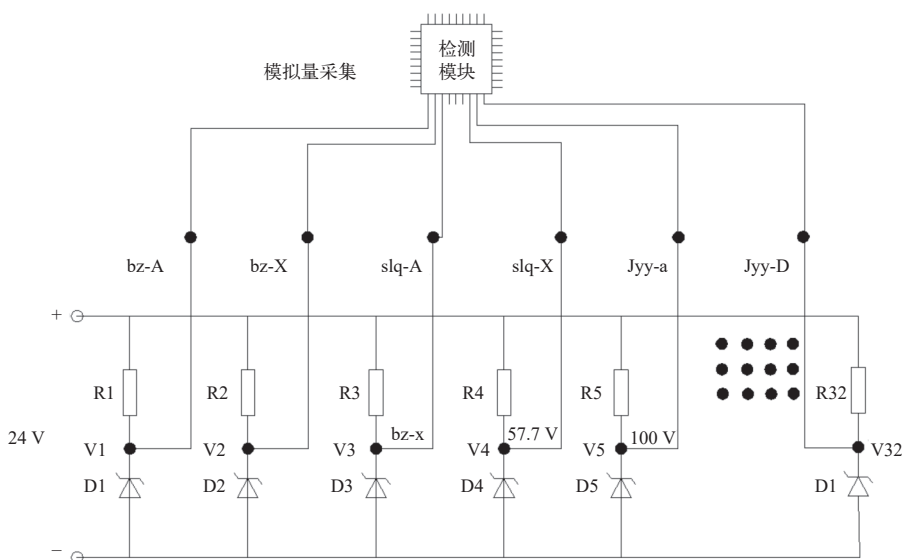


图1 接线检测实现原理图

Part Number	Device Marking Code	Nominal Zener Voltage @I _T			I _{ZT} (mA)	Maximum Zener Impedance			Maximum Reverse Leakage Current		Maximum DC Zener Current
		V _{Z AVE} (V)	V _{Z MIN} (V)	V _{Z MAX} (V)		Z _{ZT MAX} (Ω) @I _{ZT}	Z _{ZK MAX} (Ω) @I _{ZK}	I _{ZK} (mA)	I _R (μA)@V _R	V _R (V)	
SMA2Z3.0A	2H1	3.0	2.85	3.15	160	8.0	400	1.00	100	1.0	603.0
SMA2Z3.3A	2H2	3.3	3.14	3.47	145.0	8.0	400	1.00	100	1.0	548.0
SMA2Z3.6A	2H3	3.6	3.42	3.78	139.0	5.0	400	1.00	100	1.0	502.0
SMA2Z3.9A	2H4	3.9	3.71	4.10	128.0	5.0	400	1.00	50	1.0	464.0
SMA2Z4.3A	2H5	4.3	4.09	4.52	116.0	4.5	400	1.00	50	1.0	421.0
SMA2Z4.7A	2H6	4.7	4.47	4.94	106.0	4.5	550	1.00	10	1.0	385.0
SMA2Z5.1A	2H7	5.1	4.85	5.36	98.0	3.5	600	1.00	10	1.0	354.0
SMA2Z5.6A	2H8	5.6	5.32	5.88	89.5	2.5	500	1.00	10	2.0	323.0
SMA2Z6.2A	2A0	6.2	5.89	6.51	80.5	1.5	700	1.00	10	3.0	292.0
SMA2Z6.8A	2A1	6.8	6.46	7.14	73.5	2.0	700	1.00	10	4.0	266.0
SMA2Z7.5A	2A2	7.5	7.13	7.88	66.5	2.0	700	0.50	10	5.0	242.0
SMA2Z8.2A	2A3	8.2	7.79	8.61	61.0	2.3	700	0.50	10	6.0	220.0
SMA2Z9.1A	2A4	9.1	8.65	9.56	55.0	2.5	700	0.50	10	7.0	200.0
SMA2Z10A	2A5	10.0	9.50	10.50	50.0	3.5	700	0.25	10	7.6	182.0
SMA2Z11A	2A6	11.0	10.45	11.55	45.5	4.0	700	0.25	1.0	8.4	166.0
SMA2Z12A	2A7	12.0	11.40	12.60	41.5	4.5	700	0.25	1.0	9.1	152.0

图 2 稳压管数据手册

表 1 稳压值对比表

稳压管类型	V _Z /V	V _{min} /V	V _{max} /V	A _{CCmin}	A _{CCmax}
SMA2Z3.3A	3.3	3.14	3.47	(1-3.14/3.3) × 100% = 4.8%	(1-3.47/3.3) × 100% = 4.8%
SMA2Z4.3A	4.3	4.09	4.52	(1-4.09/4.3) × 100% = 4.9%	(1-4.52/4.3) × 100% = 4.9%
SMA2Z5.6A	5.6	5.32	5.88	(1-5.32/5.6) × 100% = 5.0%	(1-5.88/5.6) × 100% = 5.0%

不能进入稳压工作状态。所以这个限流电阻就会存在一个上限值和一个下限值，导致稳压管分别工作于最小和最大电流 2 种极限状态。在此设计电路中，负载电阻和电源电压的影响忽略不计。输入电源电压 24 V，稳压管型号 SMA2Z10A，计算出合理的限流电阻值：

$$R = \frac{U_{in} - U_z}{I_z} = 24 - 10/0.05 = 240 (\Omega)。 \quad (1)$$

同时为了使稳压效果更稳定，应使稳压管工作在中度偏深的击穿状态，选择输入电压值是 2~3 倍的稳定电压值，即 $U_{in}=(2\sim 3)U_z$ ，如果选择的输入的电压偏小，稳压管会处在浅度击穿状态，稳压效果不好。

2.3 多路 ADC 采集设计

根据对互感器接线原理图的分析，电压互感器或者电流互感器测试要连接多根导线进行试验（情况最多为 13 根）。根据需求要设计多路 ADC 来采集多种不同的电压值。我们采用 STM32F103RBT6 来完成多路电压信号采集电路的设计^[2]，通过数据手册可知该芯片单个 ADC 测量通道多达 16 个，此

单片机内置 12 位的 A/D 转换器，当多路电压信号由多路转换器进入单片机后，即可对多路电压信号进行 A/D 转换和数据处理^[3]，完成数据采集，如图 3 所示。

为了保护单片机引脚，设计了隔离电路，采用 LM324 四通道运放来做电压跟随器。

3 实际应用

可用于专业教学：互感器检测实训课程已列入相关电力院校“发电厂及电力系统”专业人才培养方案中，本项目开发的带接线检测自动识别技术互感器检测仿真培训装置将应用于学生实训。

可用于学生竞赛：全国电力职业教育教学指导委员会已开展全国职业教育技能大赛互感器检测项目，本项目开发的带接线检测自动识别技术互感器检测仿真培训装置将应用于学生技能大赛和师资培训中。

可用于“1+X”职业资格证书取得：带接线检测自动识别技术互感器检测仿真培训装置是依据国

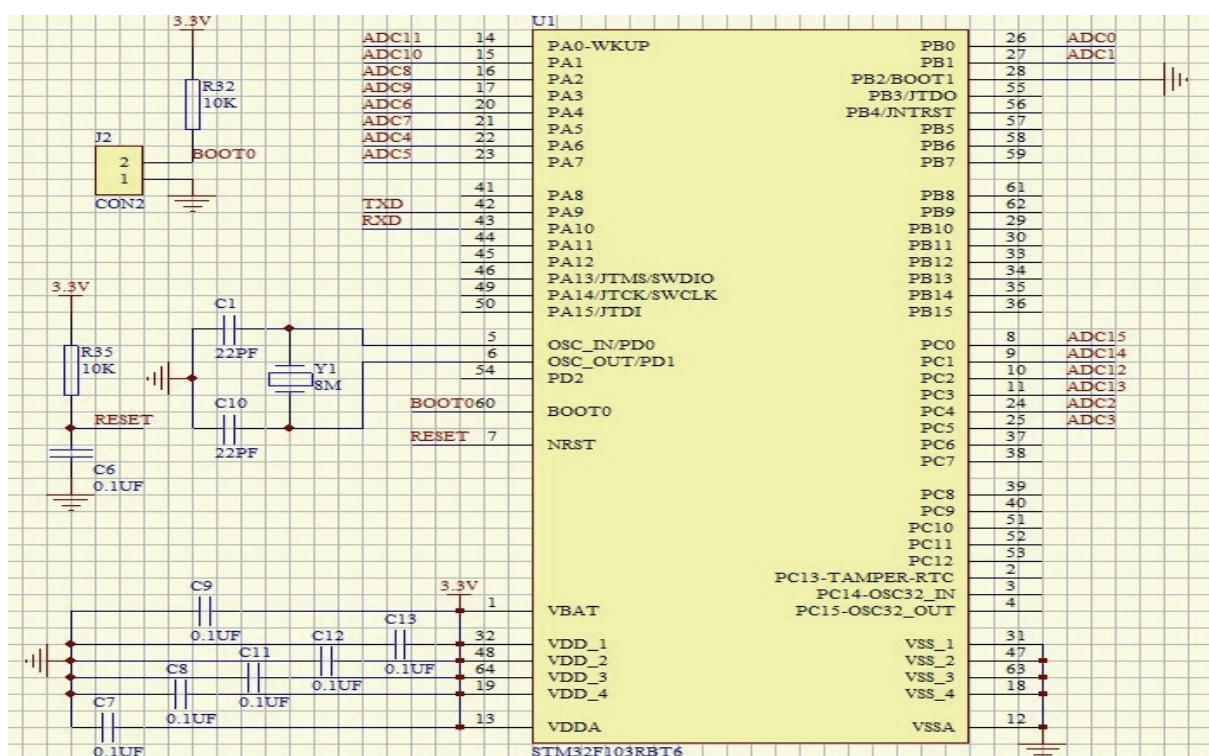


图3 STM32采集电路设计原理图

国家电网有限公司互感器检测作业标准和职业院校电力系统职业技能等级标准而研发的实训装置，为职业院校学生的培训和鉴定提供了有力支撑，可以帮助在校学生取得电力营销服务、变配电运维检修等专业“1+X”职业资格证书。

可用于职工培训、岗位练兵、竞赛比武、职业技能鉴定；可广泛应用于职工培训、岗位练兵和竞赛比武以及中电联电能表修校工、装表接电工等工种职业技能鉴定工作。

(上接第71页)

6 结束语

通过上述分析，在日常计量安装及用电检查工作中，要求电力企业计量安装工作人员严格按照相关标准进行电能计量装置安装，最大限度地避免接线错误，检查人员必须充分利用现有的理论知识与检查技能认真检查电能计量装置，避免因电能计量装置接线错误而引起计量误差^[3]，采用常规的计量安装方法，计量装置错误接线问题难以避免，通过使用二次接线集成模块可以解决各级供电企业各型电能计量装置因接线错误问题。确保从源头控制供

参考文献

- [1] 李鹏程, 乐文静, 张玉平, 等. 电能计量仿真培训系统的设计与实现[J]. *自动化与仪器仪表*, 2015(10): 63-65.
- [2] 徐江海. 单片机实用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 王利军. TLC1549串口传输与单片机的A/D设计[J]. *电子设计工程*, 2007(10): 61-63.

作者简介

邹静 (1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 副教授, 研究方向: 用电检查、电能计量等。

(责任编辑: 刘艳玲)

电企业电量不流失, 提高计量装置运行效率。

参考文献

- [1] 陈康. 浅谈电能计量装置的错误接线及接线检查方法[J]. *工程技术*, 2017(20): 347-349.
- [2] 梅丹. 浅谈电能计量装置错误接线检测与分析[J]. *企业导报*, 2018(25): 206-208.
- [3] 周文. 浅谈三相三线电能计量装置错误接线检测与分析[J]. *中国新技术新产品*, 2018(17): 155.

作者简介

杨叶奎 (1974—), 男, 高级工程师, 高级技师, 一级拔尖技术专家, 研究方向为电力营销、配用电。

(责任编辑: 刘艳玲)

一起 110 kV 组合电器 SF₆ 气体泄漏处理与分析

尚嘉诚

(国网宁夏宁东供电公司, 宁夏 灵武 751400)

摘要: 某变电站 110 kV 组合电器设备存在漏气问题, 检修人员对其进行 SF₆ 带电补气后, 结合现场情况, 应用多种检漏技术开展漏气点查找, 发现组合电气 GIS 设备漏气原因并提出处理方案, 彻底解决了该组合电气气室漏气问题, 避免了 SF₆ 气体长期泄露导致设备事故的发生, 保证设备安全稳定运行。

关键词: 组合电器; SF₆; 漏气处理

中图分类号: TM643

Treatment and Analysis of SF₆ Gas Leakage of 110 kV Gas Insulated Substation

SHANG Jiacheng

(Ningdong power supply company of State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd, Ningxia Lingwu 751400, China)

Abstract: The 110 kV combined electrical equipment in a substation has air leakage problem. After the maintenance personnel carried out SF₆ live air supply for it, combined with the site situation, they applied a variety of leak detection technologies to find the leak point, found the cause of air leakage of the combined electrical GIS equipment and proposed a solution, which thoroughly solved the air leakage problem of the combined electrical equipment gas chamber, avoided the occurrence of equipment accidents caused by long-term SF₆ gas leakage, and ensured the safe and stable operation of the equipment.

Keywords: gas insulated substation; SF₆; gas leakage treatment

2022 年 10 月 28 日, 某变电站 110 kV 组合电器 GIS 设备隔离开关气室发出低气压告警信号, 检修人员现场发现 SF₆ 气体压力下降, 气室密度继电器气压达到告警值。现场初步判断由于近期温度急剧下降导致 SF₆ 气体收缩、气室压力下降, 随即对该气室进行带电补气工作。该型号组合电器为上海西电高压开关有限公司 2010 年生产, 型号为 ZF10-126 的三相分体式组合电器 GIS 设备, 该气室所配密度继电器 SF₆ 气体额定压力为 0.45 MPa, 低气压告警气体额定压力为 0.40 MPa。

1 组合电器漏气点查找

当日检修人员处理了该气室低气压告警信号时, 发现该隔离开关气室 B 相盆式绝缘法兰处, 螺栓连接孔存在轻微漏气声音。现场检修人员用 SF₆ 气体手持式检漏仪, 判断设备漏气点具体位置, 找到具体漏气点后对该漏气点涂刷肥皂水进行检漏。

检修人员对螺栓处刷肥皂水检漏, 发现肥皂水

不断产生气泡, 判断盆式绝缘法兰连接螺栓处存在 SF₆ 气体泄漏, 之后采用红外气体检漏仪发现该处 SF₆ 气体泄露明显。检修人员现场将该螺栓拆下后, 发现绝缘法兰沿螺栓孔 SF₆ 气体泄漏迅速, 且螺栓密封垫出现龟裂老化。采取紧急措施在螺栓两端缠绕生料带, 更换螺栓密封垫, 并在螺栓露出部位涂抹密封胶, 如图 1~2 所示。定期进行设备巡视, 防止 GIS 设备气压过低, 同时检修人员紧急咨询厂家, 并购置绝缘法兰。



图 1 固定螺栓缠绕生料带

收稿日期: 2023-02-01

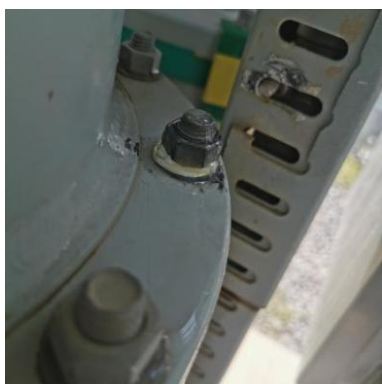


图2 螺栓连接处涂抹密封胶

2 组合电器漏气点处理

2022年11月15日,该间隔再次发出SF₆低气压告警信号,结合设备停电检修,对该隔离开关气室进行SF₆气体回收并抽真空,更换三相气室法兰绝缘子和法兰面密封圈,重新涂抹密封胶。

查询该变电站历史检修记录,发现该变电站投运后2015年2月15日,该站110kVI母电压互感器11-9隔离开关气室泄漏,法兰盘破损处且存在SF₆气体泄漏,解体检查法兰绝缘子存在明显裂纹,如图3~4所示,更换破损法兰绝缘子,如图5所示。

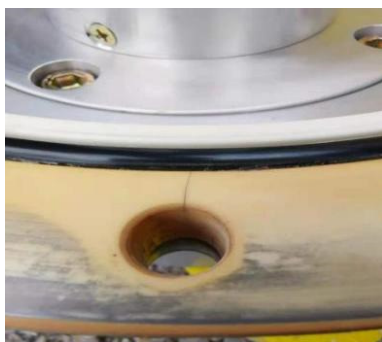


图3 更换法兰处存在裂纹



图4 绝缘法兰裂纹



图5 检修人员更换法兰绝缘子

3 组合电器泄漏原因分析

上述2起SF₆气体泄漏事件的根本原因是绝缘盆子法兰产生裂纹,随着密封圈的老化变形,SF₆气体从裂纹沿上述螺栓孔泄漏处。

绝缘盆子法兰产生开裂的可能原因:(1)GIS设备正常运行中振动较大,内外应力控制不良所致;(2)绝缘子是树脂材料,本身机械强度不够,承受不均衡的压力、过大的挤压力,可能导致破裂;(3)雨雪天气在螺栓孔和浅槽内形成积水,进入冬季,地区温度较低,最低气温能达-20℃以下,会结冰将螺栓孔撑裂,使盆子绝缘子螺孔处产生裂纹。

绝缘法兰的材料为环氧树脂混合氧化硅填料,具有较高的强度和硬度,但韧性较差,在不均匀应力作用下容易产生开裂。因此判断此次盆式绝缘法兰漏气原因:绝缘法兰由于螺栓孔内进入水气,遇冬季低温天气影响,螺栓内积水结冰膨胀,造成绝缘子承受挤压力,也造成绝缘子受力不均匀产生裂纹,绝缘子裂纹导致GIS设备漏气。

4 结束语

本文就一起GIS设备SF₆泄露问题进行处理分析,针对该类型三相分体式的GIS设备,属于国内第一代GIS设备,装备制造和技术水平都不完善,备品配件也已经停产,后续结合项目对该站GIS进行改造升级,在设备改造前,检查全站GIS设备绝缘法兰螺栓孔防水情况,对防水不良的覆涂防水胶,保证设备安全稳定运行。

作者简介

尚嘉诚(1994—),男,变电检修工,从事变电一次设备检修工作。

(责任编辑:袁航)

基于计量自动化系统的电量波动研究分析

陈 成, 陈永发, 肖惠敏

(广东电网韶关始兴供电局, 广东 韶关 512000)

摘要: 结合笔者的工作实践, 根据计量自动化系统的抄表数据进行用电情况分析, 主要手段是结合当地用电习惯, 根据以往经验值设定波动阈值, 设计程序自动对比、分析电量数据, 并在电费管理、客户服务领域二次应用电量数据, 降低电费回收风险, 提高客户服务满意度。

关键词: 计量自动化系统; 电量波动分析; 预控

中图分类号: TM744

Research and Analysis of Electricity Fluctuation Based on Measurement Automation System

CHEN Cheng, CHEN Yongfa, XIAO Huimin

(Guangdong Power Grid Shaoguan Shixing Power Supply Bureau, Guangdong Shaoguan 512000, China)

Abstract: This article combines the author's practical experience in the field to analyze electricity usage based on meter reading data from the measurement and automation system. The main method involves setting a fluctuation threshold based on local electricity usage habits and past experience, and designing a program to automatically compare and analyze electricity data. The electricity consumption data is then applied in the areas of electricity bill management and customer service, in order to reduce the risk of electricity bill recovery and improve customer satisfaction.

Keywords: metering automation systems; power fluctuation analysis; pre-control

为贯彻落实国家关于优化营商环境的重要决策部署, 始兴供电局通过建立一套适用于当前客户用电情况的电量波动辨识及预警方案, 对计量自动化系统抄回的数据和营销管理系统往期的历史电量台账进行比对, 建立客户用电画像, 实现客户每周用电情况分析, 对用电量波动情况较大的客户提前预警, 及时发现用电量异常的客户并及时查找和解决异常的源头, 为电费回收及提高客户服务满意度奠定基础。

1 研发背景

由于公司目前是先用电, 后交费, 若客户发现电费相比上月突增, 交纳电费时易产生抵触情绪。

客户表后线漏电导致电费突增, 增加电费回收的难度。

企业客户电量突减也须提前介入, 了解企业生产经营情况, 可能存在企业经营不善, 导致周转资金困难, 导致无法及时交纳电费, 电费回收存在风险。

2 技术内容

基于 Python 语言编写程序软件, 程序界面如

收稿日期: 2023-02-14; 修回日期: 2023-05-10

图 1 所示, 自动对比、分析计量自动化系统和营销系统导出的电量数据, 根据电量增减情况设定波动阈值, 由程序筛选出异常数据, 提高了处置效率和筛选精准度。该程序可按周筛选出异常电量数据, 而营销管理系统则是按月处理抄表计费复核异常数据, 同比缩短了 3/4 的处理周期, 效率提升明显。

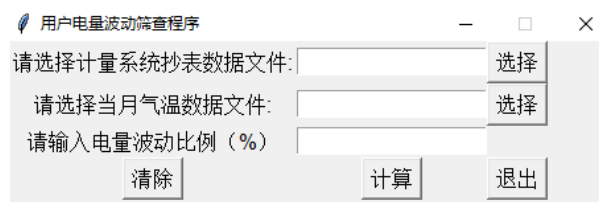


图 1 用户电量波动筛查程序应用界面

通过计量自动化系统导出日冻结表码数据, 根据表码日期自动折算成月电量, 在数据库中获取历史电量进行比对, 并根据电量异常判定规则筛选出电量异常用户。此方法只须导入表码数据, 分析过程由程序自动计算电量并筛选出异常数据, 降低人工筛选时间, 程序自动处理流程如图 2 所示。

基层供电所根据用户电量异常清单 (表 1 所示) 情况展开排查, 提前为客户解决问题, 提升客户满意度, 为电费催收创造有利条件, 降低电费回收风险。

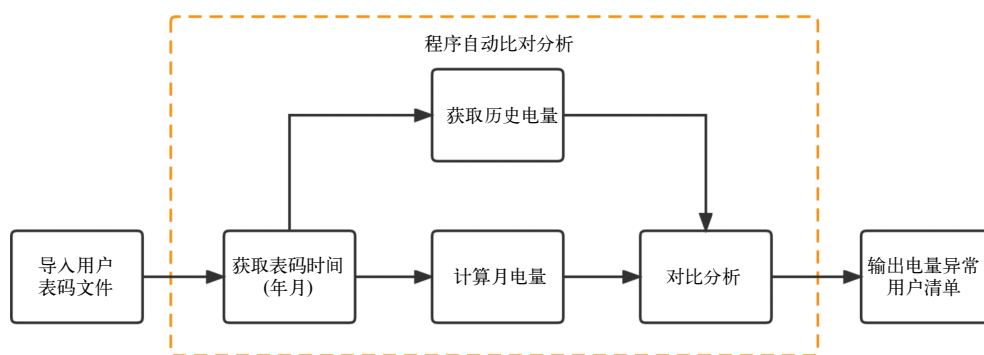


图2 电量异常筛选程序流程图

表1 用户电量异常清单

用户名称	用电类别	环比/%	同比/%	月电量/ kW·h	上月电量/ kW·h	上年同期电量/ kW·h	供电所	提示信息
雷*波	农业生产	12.81	214.12	1 633	1 448	520	顿岗供电所	非居民波动大于30%
朱*坤	农业生产	-9.43	-43.91	1 560	1 723	2 782	太平供电所	正常
朱*强	农业生产	119.22	617.47	1 421	648	198	澄江供电所	非居民波动大于30%
华*阳	农业生产	-35.45	0.00	2 170	3 361	0	顿岗供电所	正常
始兴*园	农业生产	37.74	443.77	2 866	2 081	527	太平供电所	非居民波动大于30%
陈*尚	农业生产	-20.46	294.59	2 225	2 798	564	顿岗供电所	非居民波动大于30%
始兴*会	农业生产	-50.76	277.86	1 727	3 507	457	沈所供电所	非居民波动大于30%

3 技术产品

基于计量自动化系统日表码的电量分析程序，筛选条件全面，数据可信用度高，实现每周对公司区域客户的电量情况分析和管控，建立客户用电画像，提早介入和解决客户电量突增的问题。

结合电量波动情况，提早介入与客户的沟通联系，提高服务质量。

数据来源是基于计量自动化系统的抄表数据，配合营销管理系统的历史用电台账，数据的精准性高，为电量研究分析提供有效保障。

结合当地气候、人文因素、用电习惯等情况综合考虑制定电量筛选条件，容错率较高，可有效提取异常数据。

通过电量分析建立客户用电画像，可用于业扩报装分析、线损排查及用电检查等领域，后续效应高。

该办法成本低，效果好，提升了计量系统的创新应用，可向客户提供多元化的服务。

4 应用效果

高温干燥、低温冰冻前期，可以筛选出电量突

增的客户，如针对养殖保温客户，可提前导出异常数据，并下发用检专业跟进工单，不仅可减少客户的经济损失，还能消除山火和社会人员触电隐患。

通过软件自动分析比对，每周提前筛选电量异常用户清单，并告知客户，可减少客户电费诉求工单。

该技术应用以来，提升了计量系统的创新应用，向客户提供了增值服务，提升客户的认同感，提升客户满意度。

5 推广前景

该技术可以实现区域客户用电习惯的数字化展示，建立不同用电性质客户的用电画像，为客户提供精准用电服务。

后期可增加基础数据，完善电量筛选程序，使其筛选结果更精准、有效，提高工作效率。

本单位作为试点单位，向同兄弟单位介绍先进经验，向电力行业推广。

作者简介

陈成（1987—），男，抄核收技师，工程师，从事供电服务工作。

陈永发（1986—），男，工程师，从事计量及用电检查工作。

肖惠敏（1990—），女，助理工程师，从事供电服务工作。

（责任编辑：袁航）

架空线路杆塔基础滑坡机理分析及防控技术措施

魏志雄, 杨柳辉, 孙立

(广东电网有限责任公司河源供电局, 广东 河源 517000)

摘要: 针对近年来架空输电杆塔基础滑坡隐患频发的情况, 对以表层土质滑坡为代表的滑坡机理进行分析, 并结合大量的工程案例和治理经验, 提出做好截排水、边坡防护及妥善处置施工弃土3方面的预防措施建议, 能在一定程度上规避滑坡隐患。最后, 针对常见的3种不同程度的滑坡隐患, 提出锚杆铁丝网喷射混凝土、覆盖包塑网+复绿、削坡+坡脚挡土墙+锚杆+格梁+格梁间砼板支护3种边坡治理措施, 因地制宜实施边坡隐患治理, 确保输电线路安全可靠稳定运行。

关键词: 基础滑坡; 边坡防护; 锚杆; 边坡复绿

中图分类号: TM76

Mechanism Analysis and Prevention and Control Measures for Landslide of Overhead Line Tower Foundation

WEI Zhixiong, YANG Liuhui, SUN Li

(Guangdong Power Grid Limited Liability Company Heyuan Power Supply Bureau, Guangdong Heyuan 517000, China)

Abstract: In response to the frequent occurrence of landslide hazards in the foundation of overhead transmission towers in recent years, the landslide mechanism represented by surface soil landslides is analyzed. Based on a large number of engineering cases and governance experience, suggestions for preventive measures in three aspects: good interception and drainage, slope protection, and proper disposal of construction waste have been proposed. To some extent, it is necessary to avoid landslide hazards without taking precautions. Finally, in response to the common three different degrees of landslide hazards, three slope control measures were proposed: anchor wire mesh shotcrete, covering with plastic mesh and greening, slope cutting and retaining wall at the foot of the slope, anchor rod and grid beam, and concrete plate support between grid beams. Implement slope hazard management according to local conditions. Ensure the safe, reliable and stable operation of transmission line equipment.

Keywords: basic landslide; slope protection; anchor rod; slope greening

随着我国新型电力系统建设的快速发展, 架空输电线路作为电力负荷中心之间相互联络的长距离电能输送通道显得尤为重要。作为重要的电力负荷输送通道, 输电线路的基础设施则显得尤为重要, 一旦发生异常情况影响电能输送, 将造成巨大的经济损失, 同时影响着新能源的转型发展。而近年来广东地区频繁出现持续性的强降雨, 雨水无法及时排泄, 位于山坡上的杆塔基础滑坡隐患频发, 危及线路安全运行。往往运维人员对基础滑坡的预防及处理经验较少, 难以进行有效地判断和防控, 本文将分析滑坡的机理, 找出诱因, 进而提出可行的基础滑坡隐患治理措施和预防建议, 提升输电线路供电可靠性。

收稿日期: 2023-05-11

1 基础滑坡形成的机理分析

一般情况下架空输电线路的杆塔基础中心桩40 m范围内的坡度不宜大于30°, 但是由于路径走向的限制及特殊性, 一些线路杆塔基础可能经过陡峭地形, 且土质可能为沙土、易风化岩等不良地质, 往往线路杆塔所在山体在设计阶段是处于稳定状态的, 设计人员也未开展专业评估, 所以很少落实加固预防措施。笔者根据前人的研究分析^[1-3]和自身的工作经验总结, 发现常见的基础滑坡以表层土质滑坡为主, 其主要诱因有以下几种。

1.1 持续性的强降雨

短时间内持续的强降雨将造成基础边坡表面水流排泄滞后, 山体储水处于饱和甚至超过饱和状态,

裸露区域受渗流和地表径流影响更大。饱和的积水浸泡渗入杆塔基础下方的边坡后，增加了土体的容重，滑动带土体浸水饱和软化，形成的土体内部渗流产生向坡外的渗透压力，降低了土体的抗剪强度，加剧了下滑力。同时，动静水压力的作用降低了边坡的稳定性，导致坡体失稳，基础边坡失稳滑塌。

1.2 边坡所属的岩土特性

山体的物质组成及粒度成分的特殊性，为坡面冲刷的发育提供了有利的物质条件，砂岩风化后残留较多晶体状态保持良好的石英和已经风化完全的黏土矿物，差异风化使得砂岩残积土不同成分间性质差异大。不同特性的岩土，其稳定强度、软化特性及崩解特性随含水量增加而表现出不同程度的变化。

1.3 边坡植被情况

完好的植被根系对土体强度的影响主要表现为增加土体的黏聚力，特别是草根根系对土体强度有明显提高作用。植被稀疏，土壤裸露，雨水极易自然下渗，致使山体土体饱和，降低了土体的抗剪强度，加剧了下滑力。另外，广东地区普遍种植桉树，对生态环境和土壤强度破坏极大，大面积长时间种植桉树，会使土体呈现“砂化”趋势，其他植物难以生长，水土保持情况恶化，土壤强度侵蚀比例逐年升高。

1.4 人类活动方面

杆塔基础周边道路修筑，主要包括施工期间的临时道路和沿线村民自发性的修筑道路，破坏了原坡面山体支撑，使道路上方坡面路坎坡度变陡，路堤边坡易发生溜塌、坍塌；道路开挖会产生大量的废弃土石，余土弃渣沿路堆积在道路下方坡面，造成植被破坏，加重水土流失危害。

线路在施工期间基础开挖的弃土，由于山区外运不便，一般就近堆放在塔脚附近，弃土造成坡体应力分布发生改变，堆积体相当于在稳定边坡体上施加纵向荷载，增加了边坡的下滑力，造成边坡原稳定状态破坏。且弃土破坏坡表植被，诱发雨水入渗，形成软弱面，加之弃土结构松散，土体强度极低，降雨入渗使其饱和度增大，这些因素综合作用导致弃土容易发生滑动。

2 基础滑坡预防

大量的滑坡案例和运维经验表明，绝大多数的

滑坡都是因为过饱和的强降雨水和人类开挖活动引起的^[4-5]。因此，须贯彻预防为主的治疗理念，即尽可能在线路设备投入运行前做好相应的预防措施：

(1) 充分评估杆塔基础所处的山体地形、坡度、岩土特性以及植被覆盖情况，科学合理布置一定数量的混凝土工艺的截水沟和排水沟，有效疏导边坡上方的表层雨水，减少雨水入渗量及降低冲刷程度，同时运维人员须定期对截、排水沟进行维护检修，防止堵塞及损坏，从而影响雨水的疏导。(2) 避免在杆塔基础边坡保护区内，特别是基础正下方开挖修筑道路，修路可采用迂回盘绕的方式，防止原坡面山体支撑被破坏，导致路堤边坡发生牵引式滑坡。(3) 规范处置杆塔基础施工开挖的弃土，尽可能远离边坡保护区，若条件允许的情况下，建议采用麻袋将弃土装袋，并在袋内撒种草籽，平缓堆放，促使弃土能在较短的时间内与原状山体进行融合，确保山体保持原有的稳定性。(4) 严格按照设备运维策略的周期要求，开展基础边坡运维巡视，特别是强降雨过后，应及时对基础护坡、杆塔所在山体、排水沟、挡土墙等进行隐患排查，及时发现异常情况并处理。

3 基础滑坡治理施工技术

在日常运维工作中，通常会存在不同发展阶段、不同影响程度的边坡滑坡隐患，可根据现场实际，组织有经验的专业技术人员和设计人员对现场进行勘察，因地制宜地制定治理措施，常见的边坡治理措施如下。

基础边坡保护区范围内存在开挖，坡面路坎坡度变陡，暂未引发滑坡现象的，可采用锚杆铁丝网喷射混凝土护坡的方法。对边坡表面松动土石及风化岩层进行清刷，嵌补坑凹，使坡面大致平整。在坡面上用风枪打锚杆孔，孔距间隔约 1.5 m，锚杆长度可根据土质情况而定，一般不小于 1 m，孔深比锚杆长度约大 20 cm。用高压水将孔中岩粉冲洗干净后插入锚杆，灌注 1:3 水泥砂浆固定锚杆，并捣固密实。将预制铁丝网安装在锚杆上，铁丝网与坡面保持约 1 cm 的间隙。在预留若干个泄水孔后对边坡喷射砂浆，喷浆厚度不少于 3 cm，喷射混凝土厚度不少于 5 cm，喷射厚度须均匀，铁丝网及锚杆头不可外露。在喷射作业完成后，立即用草袋覆盖，

当浆体初凝后，进行洒水养护，使灰体表面经常保持湿润，养护期一般持续 7~10 天。

基础边坡发生小面积的轻微表层土质滑坡，可简单地采用覆盖包塑网+复绿的方法。优先选择根系较发达的本土植物种子，外来植物种子为辅进行补充，使复绿植物更适应当地气候环境，易于边坡快速达到复绿稳固的效果。采用普通喷播绿化施工技术，分 2 步进行，先是喷播不含种子的混合土料，待其达到合适强度后，在坡面上喷播已调配好的种子混合料。最后对边坡覆盖一层绿色包塑网，防止阳光暴晒以及雨水冲刷，并做好养护管理，定期进行边坡复绿和维护工作^[6-7]。若预测未来数月仍存在强降雨天气，应用防水油布对已滑坡区域进行覆盖，防止滑坡隐患进一步恶化，待条件允许后再落实复绿措施，达到最佳的防护效果。

基础边坡发生较大面积的滑坡、滑塌现象，若隐患继续恶化将直接危及杆塔基础稳定性，可采用边坡削坡+坡脚挡土墙+锚杆+格梁+格梁间砵板支护的方法。锚杆布置间隔约 2 m，锚杆长度根据现场实际确定，一般为 10 m 左右，锚杆采用 $\phi 28$ 钢筋，锚杆成孔孔径约 150 mm，施工角度以斜向下 25°为宜，采用的水泥砂浆强度不低于 M30。格构梁截面 400 mm × 300 mm，格构梁间设置砵板，砵板采用 $\phi 8$ 双层钢筋网，间距及厚度均设置为 150 mm，格构每隔约 25 m 宽度设置伸缩缝，缝宽 20~30 mm 填塞沥青麻筋。坡顶设置截水沟，坡脚设置排水沟，便于截取、疏通山体表层雨水。挡土墙的高度应根据边坡实际设定，若边坡坡度较小且滑坡面积不大，可不设置挡土墙。该方法针对滑坡较严重的隐患，施工工程量较大且工期耗时较长，实施期间应避开强降雨天气，在施工进场前应充分覆盖防水油布等临时措施。边坡治理工程质量检验及验收应严格按照 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》的要求落实，确保工程质量可靠。

4 结束语

通过对常见输电线路杆塔基础滑坡的诱发因素进行归纳分析，雨水、岩土特性、植被、人类活动及山体坡度是引发基础滑坡的主要因素，且各因素间相互影响。在边坡预防治理上，科学合理修筑截、排水沟能有效地降低雨水冲刷和入渗的影响程度。

规范人类开挖活动，维系边坡原始状态，合理处置施工弃土，减轻边坡的额外荷载，有助于边坡持续稳定。在边坡隐患已发生成形后，组织专业人员开展现场勘查，针对性地采用锚杆铁丝网喷射混凝土、覆盖包塑网+复绿、削坡+坡脚挡土墙+锚杆+格梁+格梁间砵板支护等 3 种边坡加固治理施工技术，及时进场实施，完成边坡隐患治理工作，防止基础稳定性发生不可逆的边坡坍塌。

参考文献

- [1] 朱家良. 输电线路地质灾害危险性评估的基本特点与认识[J]. 电力勘测设计, 2006(4): 9-12.
- [2] 王继华. 降雨入渗条件下土坡水土作用机理及其稳定性分析与预测预报研究[D]. 中南大学, 2006.
- [3] 陈英, 马东涛, 杨敏. 超高压输电线路塔基滑坡灾害特征分析与治理[J]. 电力建设, 2014, 35(10): 69-73.
- [4] 陈峰, 李敏生. 谈输电铁塔边坡滑坡机理及基础加固方法[J]. 山西建筑, 2017, 43(31): 51-52.
- [5] 高利松. 工程开挖和降雨作用下杆塔基础滑坡的稳定性[D]. 湖北工业大学, 2020.
- [6] 李永强, 王新然. 边坡复绿与客土喷播施工技术[J]. 西部探矿工程, 2017(10): 1-4.
- [7] 苏亚鹏. 多种边坡复绿及美化技术在某道路山体边坡中的应用[J]. 城市建筑, 2016(313): 158-159.

作者简介

魏志雄(1992—), 男, 工程师, 本科, 主要工作方向: 输电线路管理。

(责任编辑: 袁航)

资讯

山东聊城公司: 220 kV 干渠变电站建成投运

2023 年 6 月 2 日, 国网山东聊城供电公司完成 220 kV 干渠变电站的 22 条 10 kV 线路配出工作, 标志着聊城市主城区首座 220 kV 变电站干渠站建成投运。

受历史原因影响, 聊城市城区中心地带没有 220 kV 变电站, 2017—2022 年, 聊城市城区中心地带用电客户增加了 10 万户, 用电容量增长了 105 万 kV·A, 客户数和用电容量分别增长 71.4% 和 74.7%, 部分区域新增负荷接入受限。

为保证城区中心地带可靠供电, 国网聊城供电公司在全省首次应用 110 kV 预制舱式移动变电站, 施工人员连续奋战 70 天, 实现了负荷转移期间客户“零感知”。

信息来源: 国网山东省电力公司

变电站直流系统绝缘接地故障检测及处理

王 军, 胡松华, 王瑞虎

(云南电网有限责任公司保山供电局, 云南 保山 678000)

摘要: 变电站直流系统的可靠运行对电网系统极为重要, 文章从变电站直流系统绝缘接地故障分类入手, 分析故障发生的原因及危害, 总结由绝缘性能下降所导致接地故障的检测方法, 提出相应的处理办法, 为二次检修人员如何检测处理接地故障提供一定的参考。

关键词: 直流系统; 绝缘接地故障; 检测方法

中图分类号: TM736

Detection and Handling of Insulation Grounding Faults in the DC System of Substations

WANG Jun, HU Songhua, WANG Ruihu

(Yunnan Power Grid Limited Liability Company Baoshan Power Supply Bureau, Yunnan Baoshan 678000, China)

Abstract: The reliable operation of the substation DC system is extremely important for the power grid system. How to accurately grasp and understand the detection and handling methods of insulation grounding faults in DC systems is a key issue of concern for power grid operation and maintenance personnel. This article starts with the classification of insulation grounding faults in the DC system of substations. Analyzed the causes and hazards of the malfunction. Summarized the detection methods for grounding faults caused by insulation performance degradation. Corresponding handling methods have been proposed. Provide certain reference for secondary maintenance personnel on how to detect and handle grounding fault issues.

Keywords: DC system; insulation grounding fault; detection method

1 变电站直流系统绝缘接地故障概述

1.1 直流系统绝缘接地故障分类

在实际运行过程中, 直流系统分布范围广, 连接的负荷较多, 且面临复杂的自然环境条件, 这些都会对直流线路和设备产生不利的影 响。此外, 设备问题和人为因素的干扰也可能导致线路绝缘受损、端口开裂等问题, 从而导致绝缘度下降, 引发接地故障的发生。直流接地故障分类如图 1 所示^[1-3]。

1.2 直流系统绝缘接地故障的原因

直流绝缘接地故障的因素有许多, 可以分为自然因素、设备因素和人为因素类^[4-5]。

自然因素。(1) 遇到连续大雨、大雪的潮湿天气会引起二次设备内凝露或积水, 破坏对地绝缘性能。太阳暴晒和高温气候会加速电缆老化和开裂, 从而引发直流接地故障。(2) 变电站内防小动物封堵材料破损, 控制柜、接线盒等二次设备防护不严,

收稿日期: 2023-06-01

都会导致小动物爬入, 造成导电部件脱落, 甚至发生动物啃噬设备的现象。这有可能直接引起绝缘电阻明显下降, 产生直流接地故障。

设备因素。(1) 二次设备本身的质量低下, 例如一些厂家在设计生产户外端子箱和机构箱时存在漏洞, 导致内部易受潮、积水, 绝缘监测装置平衡桥电阻阻值较低等问题, 也易发生直流接地故障。

(2) 设备使用时间太长, 例如防雷元件在使用一段时间后容易被击穿, 从而导致绝缘失效引发接地故障。(3) 交流充电机故障, 引起设备过热, 对通信设备造成干扰, 导致系统发生故障, 对系统内部绝缘产生损坏。

人为因素。(1) 设计和基建验收时工作人员失误引发故障, 比如设计错误造成寄生回路的产生, 施工不当造成交流直流系统接线错误等问题。(2) 检修工作不到位造成故障。如工作人员个人操作疏忽, 电缆二次接线绝缘包扎不完整, 备用芯线外露误碰金属外壳导致接地故障等, 并且此类故障缺陷很难

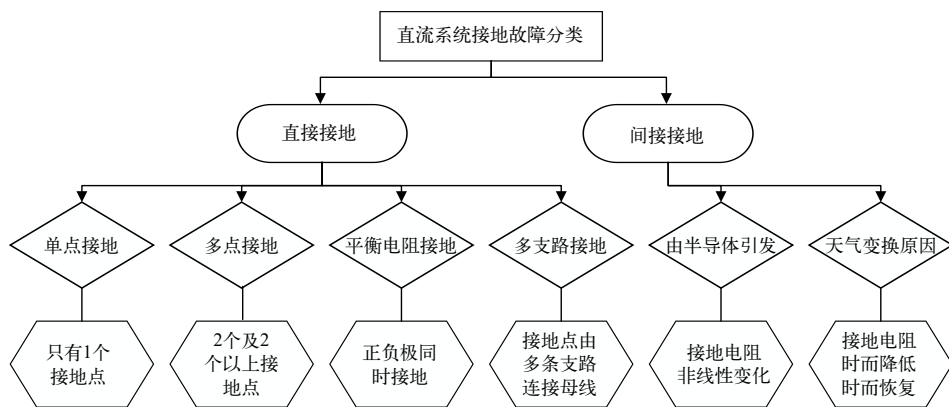


图1 直流系统接地故障分类

排查。

1.3 直流系统绝缘接地故障的危害

变电站直流系统中发生单点接地现象，通常是指系统中某一个点出现对地的电路短接，而其他部分设备电路不受影响，这种情况不会对设备运行产生致命的伤害，回路中也不会出现短路现象，相关的熔断器也不会动作，系统在表面看来依旧是正常运行。但监测设备会告警，提醒设备具有绝缘电阻下降引起接地故障风险，如果不能在一定时间内彻底解决直流接地故障问题，则会导致故障发展为2点甚至多点接地故障，引起断路器误动作跳闸、直流熔断器烧坏、保护跳闸出口二次短接和负荷损失等。因此，一旦直流系统发生接地故障后，必须要立即处理查找接地点，排查故障，采取有效措施切除，使直流系统恢复正常绝缘。

2 直流系统绝缘接地故障检测方法

2.1 经验判别法

根据以往的直流故障处理经验，发现绝缘接地故障在新投入运行或改造完成后的二次设备和回路中，以及在室外暴露在潮湿或烈日下的设备中比较常见。这类故障频率较高且占比较大，因此一旦发生故障，可以通过经验推断，快速确定接地位置。这种方法直接快速，但存在一定的盲目性。

2.2 拉路法

这种方法通常只适用于可以短时间断电的非重要回路。其操作流程为：对各直流支路熔断器或空气开关逐个拉试，若断开分路之后，原本的直流接地告警信号消失、绝缘恢复到正常状态，则说明这条支路就是接地点所在的地方。这种方法须注意的

是：采取拉路寻找、分路处理的办法，且支路断电时间不能超过3s。这种方法简单直观，只适用于检测单点接地故障，若发生多点接地，则不能有效锁定接地故障点，同时这种方法会使对应一次设备暂时失去保护，增加了电网安全运行风险^[6]。

2.3 平衡电桥法

平衡电桥法原理如图2所示，该方法主要是通过检测系统中正负极母线对地的绝缘情况来实现故障检测。 R_1 和 R_2 是人为设定的阻值相等的电阻， R^+ 和 R^- 分别对应正极和负极对地的绝缘电阻。当系统绝缘正常时，电桥保持平衡，信号继电器KS中是无电流的。而如果直流系统正极或负极发生接地故障时，电桥的平衡被破坏，继电器线圈中流过的电流增大，继电器会动作，并发出报警信号^[7-8]。

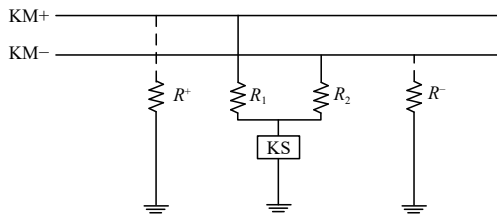


图2 平衡电桥法原理图

2.4 交流检测法

交流检测法分为低频信号注入法和变频信号注入法。

低频信号注入法是一种在接地故障发生后使用低频信号发生器向直流系统内注入低频信号的方法，通过对各支路电流的采集和分析，确定故障所在的接地支路。该方法也存在一些缺点，比如向直流系统中注入低频分量后，可能会对系统的稳定运行产生影响，同时容易受各类谐波、互感器噪声的影

响,从而降低其检测精度和可靠性。

变频信号注入法是注入2个幅值相同但频率不同的低频信号,使其交替出现,并通过2次信号注入后采集支路电流的方式,计算出接地绝缘电阻的大小。该方法具有更高的检测精度和可靠性,可以减少谐波干扰和互感器噪声干扰等问题的影响。但变频注入法无法在系统对地电容和接地电阻较大时准确检测出故障。

2.5 漏电流检测法

漏电流检测法须在主电路各个支路中装设直流电流传感器,通过传感器检测出漏电流值,最终计算出接地电阻的阻值。这种方法的局限性在于在主电路的各个支路都要装设传感器,成本较高。而且检测电阻大小设定不合适也会有影响,若检测电阻偏大,则传感器的漏电流值相对较小,测量精度不够;若检测电阻偏小,则会造成正负母线对地电压发生偏移,对安全运行造成危害^[9]。

3 直流系统绝缘接地故障处理方法

为确保直流系统的良好绝缘性能,技术人员应根据实际运行环境制定科学合理的排查方案。该方案应包括保持干燥整洁的环境,并尽量减少自然因素对系统的不利影响,以有效提升系统的绝缘性能。

故障发生后,按照由内向外的顺序逐一排查,根据检测方法定位故障点后,重点检查元器件、机构箱、电缆线路等位置,特别注意有无封堵不严、进水受潮、腐蚀漏电等现象,并及时处理,做好漏洞封堵、清灰扫尘、绝缘包裹完善等工作^[10]。

4 220 kV 保山变电站直流系统绝缘接地故障处理

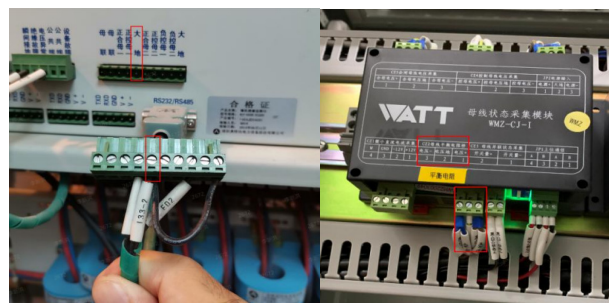
4.1 案例一

因直流系统 I、II 段母线均不完全接地导致告警缺陷。2021 年 8 月 18 日,保山调度通知 220 kV 保山变后台频发“直流系统 I 段故障”和“直流系统 II 段故障”信号,检修人员对其进行现场检查,用漏电流检测法查找各段母线直流馈线支路接地情况如下: I 段负母对地电压为 129.7 V,正母对地电压为 105.8 V, I 段直流系统#1 馈电柜 3#馈线(110 kV 保护电压并列装置)正接地电阻为 10.6 kΩ,

#2 馈电柜 11#馈线(35 kV I 段母线测控装置)正接地电阻为 10.6 kΩ。II 段负母对地电压为 129.6 V,正母对地电压为 104.7 V, II 段直流系统#4 馈电柜 1#馈线(110 kV 母联 112 断路器操作电源)正接地电阻为 10.5 kΩ, 3#馈线(110 kV 计量电压并列装置)负接地电阻为 12.6 kΩ, #6 馈线柜 11#馈线(35 kV II 段母线测控装置)负接地电阻为 12.3 kΩ,以上电阻均低于告警值(告警值为 25 kΩ,正常值为 999.9 kΩ),直流系统 I、II 段母线均不完全接地。

该案例故障产生原因经初步判断,是由于二次控制电缆已投运 16 年,部分电缆绝缘情况不良,连续多天下雨后,导致多支路存在绝缘接地故障的可能,使得馈线柜馈线接地电阻低于警告值,进而导致直流系统 I、II 段母线均不完全接地告警。

检修人员用直流接地查找仪查找各段母线直流馈线、支路接地情况,发现各直流支路均无接地,因此分析可能原因是变电站综自改造导致新老直流系统并列运行,平衡桥位置设置不合理,不同厂家的新老直流系统绝缘监测回路电阻计算方法不一致,因此出现正负接地电阻低于告警值情况。更改直流系统接地平衡桥,将直流接地平衡桥由老系统接地更改至新直流系统平衡桥接地,如图 3 所示。



(a) 拆除老直流系统平衡桥 (b) 安装新直流系统平衡桥

图 3 更换直流系统平衡桥接地

更换直流系统平衡桥后,接地电阻值恢复正常,后台直流母线数据信息恢复正常,故障消除。由上述过程可以看出在变电站综自改造过程中须重点对新敷设电缆进行绝缘检查,对拆过的接线盒、电缆孔洞应进行密封性检查验收,做好干燥措施,防止因封堵不严造成电缆受潮接地。须定时更换老旧设备,在综自改造可研阶段,分析变电站二次电缆运行情况,如电缆运行情况良好,则不更换二次电缆;若根据历史运行情况分析二次电缆绝缘较差、接地

频发，综自改造时应同步考虑更换二次电缆。

4.2 案例二

因施工人员在电缆敷设、接线等施工过程中没有认识到端子箱金属尖锐部分可能对电缆绝缘产生的影响，导致电缆绝缘外皮破损引发直流接地。110 kV 公用测控告警直流系统 I 段直流接地故障，经检查#1 直流屏控制母线对地绝缘电阻降低为 5.52 k Ω ，#2 直流屏控制母线对地绝缘电阻降低为 0.72 k Ω 。

具备开工条件后，现场检修人员查看直流监测装置告警信息，发现接地告警支路为 220 kV 兰保 II 回线 275 断路器测控装置遥信电源支路，检修人员利用拉路法依次在直流馈线屏，220 kV 兰保 II 回线 275 断路器测控装置、275 断路器端子箱、275 断路器汇控柜查找，并确定了直流接地点在端子箱至汇控柜间。

确定接地点的大概位置后检修人员通过观察（此时 220 kV 兰保 II 回线 275 断路器间隔已带电运行，无法通过拉路法或者拆线来明确具体接地芯线）发现回路电缆芯线绝缘外皮有破损，如图 4 所示，初步判断是由于该芯线绝缘外皮破损并通过端子箱金属部分接地导致直流接地。

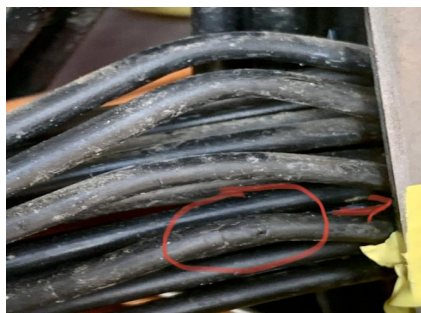


图 4 破损芯线

检修人员佩戴绝缘手套，对破损芯线进行绝缘包裹，对端子箱内金属部分进行绝缘包裹，实现对接地点的隔离，如图 5 所示，处理后直流监测装置、后台均显示直流系统接地告警复归，缺陷消除。

该案例是由于施工人员在电缆敷设、接线等施工过程中，电缆绝缘外皮破损引发的直流接地。因此技术人员应重点关注敷设接线施工工艺，对端子箱金属尖锐部分进行包裹，同时做好停电间隔绝缘电阻测试工作，对绝缘电阻低的回路及时隔离并更

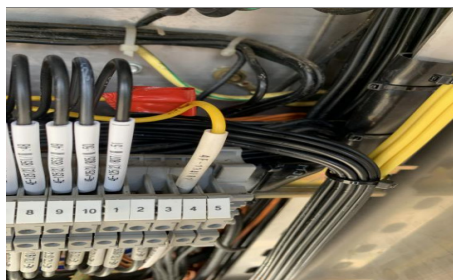


图 5 后期处理措施

换电缆，检查开关场端子箱、机构箱。

5 结束语

直流系统绝缘接地故障是一种常见故障，且随着变电站投入运行的年限越长，发生的概率越大。本文针对故障进行深入分析，同时总结故障检测处理的方法优点与不足。结合实际工程实际需要，采取多方案相结合的办法，快速检测定位故障点，并消除故障，确保变电站直流系统的稳定运行，为变电站直流系统绝缘接地故障处理提供参考。

参考文献

- [1] 缪艺昕, 王雨薇, 胡娟. 变电站直流系统接地故障的监察与诊断[J]. 机电信息, 2022(24): 15-18.
- [2] 刘鑫. 变电站直流系统接地故障分析与处理[C]//2012年云南电力技术论坛论文集(文摘部分), 2012-12, 中国云南昆明: 云南科技出版社, 2012: 49.
- [3] 颜丽渊. 变电站直流系统接地故障查找与处理方法研究[C]//2011年云南电力技术论坛论文集(入选部分), 2011-11-15, 云南电机工程学会, 2011: 1402-1404.
- [4] 林贤麟, 林继涛, 何美铃. 变电站直流系统接地故障检测技术[J]. 电工技术, 2021(22): 176-178+184.
- [5] 郭兴强, 党政, 纪哲夫, 等. 变电站直流系统接地故障解析及新型检测方法的研究[J]. 电子测量技术, 2020, 43(3): 81-85.
- [6] 林毅斌, 术茜. 变电站直流系统接地故障快速定位及防范措施分析[J]. 电气时代, 2017(3): 80-83.
- [7] 高林, 邱世超, 李萌. 变电站直流系统接地故障分析与查找策略[J]. 大众标准化, 2022(18): 49-51.
- [8] 张浩, 张金堂. 浅析变电站直流系统接地故障的查找和处理[J]. 农村电工, 2020, 28(3): 46.
- [9] 梁建斌. 变电站直流系统接地故障查找的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [10] 梁志豪. 直流系统接地故障的查找方法及分析[J]. 大众用电, 2015, 30(12): 34-35.

作者简介

王军(1993—), 男, 硕士, 助理工程师, 研究方向: 变电设备智能运维。

(责任编辑: 袁航)

编者按：《防治窃电实用技术（第三版）》是一部介绍防治窃电基础理论和实践经验的工具书，第三版在前两版的基础上，增加了窃电行为的查处、典型案例、防治窃电的新技术等内容，本刊节选新增部分的内容，分期2期刊登。此书第一版曾在《中国电力报》《农村电工》等媒体上连载。

查处窃电典型案例

李 万¹，黎海生²，李景村²

(1. 河南理工大学，河南 焦作 454000；2. 广东电网汕尾供电局，广东 汕尾 516600)

Model Cases Inspected and Processed Steal Electric Power

LI Wan¹, LI Haisheng², LI Jingcun²

(1. Henan Polytechnic University, Henan Jiaozuo 454000, China; 2. Shanwei Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid, Guangdong Shanwei 516600, China)

根据供电方式和计量方式的不同，笔者对窃电分为单相用户窃电、10 kV 专变高压计量用户窃电和低压三相三元件计量用户窃电进行分析。

1 查处单相用户窃电案例

1.1 案例

案例一：某居民用户装有2台空调，但夏天用电量和其他季节差不多，每月电量都在200 kW·h以下，日常巡查和智能电表现场监测都未发现异常。在一次夜间巡查时发现用户电表箱上方主线多搭接了2条导线引入户内，跨接导线处放置建筑装修用的竹排，很明显这个竹排是用来遮挡的。查电人员当场制止了用户的窃电行为，并明确指出私接公线是窃电行为，是违法的。由于无法查明具体的窃电时间，按相关规定认定窃电天数为180天，居民用电每天6h，根据现场查出的用电设备计算应交电费，扣除期间已经交的电费，计算窃电追补电费，再加3倍违约使用电费给予处罚。此后该用户夏天月用电量都在600 kW·h以上。

案例二：某临街商铺的门面进行了一次装修，其间把经过这户屋檐下的供电线也包在店门上方的三合板里面，此后发现该用户用电量比以前明显减少了。经多次明查暗访，也未发现任何蛛丝马迹。

用钳形电流表测量这户门口主线的进线电流、出线电流和电能表电流，三者符合节点电流定律，测电表相线、中性线电流也符合节点电流定律，似乎用户并无窃电嫌疑。不久供电局计量改造，投入使用智能电能表，用户夜间电能表中性线电流大于相线电流，提示用户窃电。后经用电检查人员现场查实取证，用户在装修门面时从主线上多接了一条导线进入户内，并经闸刀开关控制接入与退出，在铁证面前用户只得认错认罚。

1.2 点评

以上案例是单相用户比较常见的典型个案。表面看似简单，实则很有学问。第一个案例是偷偷摸摸，第二个案例是暗渡陈仓。在目前普及使用智能电表和远程抄表系统的情况下，常见窃电的侦查手段固然先进一些，但是防治窃电的技术措施和组织措施仍然有用，今后仍要“两条腿”走路，新技术和老办法一起发挥作用。例如，第一个案例属于无表法窃电，智能电能表就无能为力，防范对策还是老办法；第二个案例看似问题解决了，其实不然，因为安装的智能电能表如果是单电流元件（计量用），它只有运行状态监测功能，应对用户窃电还是十分被动，除非采用双电流元件（计量用）智能电能表，问题才能从根本上解决。另外，第二个案例有很大的火灾隐患，

可通过安监和消防部门明令禁止。供电企业应与地方政府有关部门联合，推广使用剩余电流动作保护器，这既是保护人身安全的必要措施，也是保障正常计量的有效措施。

2 查处 10 kV 专变高压计量用户窃电案例

10 kV 专变高压计量互感器通常采用 V/V 接线，TA 接线则有三线制和四线制。这种计量接线比较复杂，误接线和故障概率较高，窃电手法通常是故意制造误接线和开路、短路故障。

2.1 案例

案例一：某新成立的供电局在移交清点设备时，检查移交的 10 多台专变用仪器仪表装置的正确性和完好性，其中有 1 台 315 kV·A 专变采用高压计量方式，接线为三相两元件电流四线制。检查发现电压回路正常，但 A 相电流反进 II 元件，C 相电流正进 I 元件，这种接线对应的测量功率为 $P = 2UI\sin\varphi$ ，而正确接线时的测量功率是 $\sqrt{3} UI\cos\varphi$ ，当时实测功率因数角 31° ，依此计算，少计电量约 1/3。由于农村电工对表箱封印管理不严格，在设备移交期间不便追究到底是装表接线工作失误还是有人故意为之。

案例二：某毛纺厂原有 2 台 315 kV·A 专用变压器，因为生产发展需要加装 1 台 315 kV·A 变压器。计量方式为高压计量电流四线制。投产几个月后抄表人员发现这台新增变压器每月用电量不足 1 万 kW·h，而这个厂原有 2 台变压器月用电量都超过 10 万 kW·h。起初认为可能是厂内负荷还未分割好，因为 3 台变压器没有并联，负荷分担不均也是正常的事。但后来发现原来 2 台专变月用电量比增容前明显减少，而新增变压器每月电量都不足 1 万 kW·h，即这个厂总的月用电量比增容前减少了。

为了解开疑团，核抄人员决定采用计量故障分析仪检测。结果发现 A 相电流和 C 相电流互接错。在这种接线下，电能表的测量功率表达式 $P = 0$ 。因为厂内有很多单相负荷，三相电流不对称，所以电能表测量的电量是三相不平衡引起的。正常情况下按照操作流程，安装三相电能表除了接线复核，还有重要一环就是带负荷测试，只有带负荷测试正确无误并且装表责任人和用户代表签名确认才算工作

完结。但这次并无带负荷试验记录，是何原因不得而知。

案例三：某海滨城市制冰厂，装有 1 台 400 kV·A 专用变压器，高压计量方式，电流三线制。通常每年 9 月至来年 4 月是捕鱼季节，也是制冰旺季，这段时间的月用电量达 10 万 kW·h。某年 9、10 月抄表电量仅 6 万 kW·h。抄表人员觉得可疑，和用电检查人员带上万能表和计量故障分析仪来到现场，在冰厂老板和厂电工陪同下，通过直观检查发现高压计量箱的封印被开启过，开箱后又发现电压互感器的二次 A 相接头松动接触不良，引起电能表 A 相失压，其他则无异常。按现场实测功率角（约 30° ）计，正常接线时的测量功率为 $1.5UI$ ，而 A 相失压时的实测功率为 UI ，刚好少计 1/3，计量分析结果与 8、9 月电量相对应。

案例四：某市供电局远程抄表系统提示郊区某炼钢厂有 1 台专变 05:20 A 相电流突然为 0。资料显示，这个炼钢厂有 2 台 800 kV·A 专用变压器，10 kV 计量电流四线制。A 相电流为 0，可能 A 相 TA 二次断线，有重大窃电嫌疑，用检人员现场直观检查发现计量箱门被开启过，箱门封印是伪造的。智能电表显示 05:20 A 相电流中断。进一步检查 A 相电流互感器二次 A 相线芯被弄断，显然是人为破坏制造故障。这次偷电时间从 05:20—09:20，4 h 共窃电约 1 000 kW·h，另加 3 倍罚款。

案例五：某县供电局远程抄表系统显示 05:10 有 1 台专变的电压互感器电压和功率减半，提示有窃电嫌疑。这台专变容量 400 kV·A，高压计量电流三线制。平时每月电量超过 10 万 kW·h，是一个来料加工企业，三班制生产。当天 09:00 左右用检人员带着仪表仪器来到现场，当用检人员通报远程发现电压互感器断相，经直观检查发现计量箱门开启过，封印是伪造的。开箱检查发现 B 相接头松动并有白色塑料填充物，电能表监测数据也显示 05:10 电压异常记录，用万能表测得表尾电压为 52、105 V，低压计量分析仪实测向量图可见三相电压异常。显然这是人为制造电压回路故障的窃电行为，造成窃电期间电量少计一半。取证完毕，用检人员当场开具违章用电、窃电通知单，根据实测负荷计算 4 h 用电量少计约 600 kW·h，

另加3倍罚款。

案例六：某市用检负责人从远程抄表系统获悉，有个工厂的专用变半夜时分A相电流突然比C相电流减少一半左右。这台专变容量500 kV·A，高压计量方式，电流四线制，TA变比30/5。日常负荷400 kW左右，二次电流4 A左右。从电流数据初步分析，很可能是短接TA二次线窃电。用检人员现场检查发现计量箱门被开启过，电能表显示00:10 A相电流有突减记录。测表尾电流，A相约2 A，C相约4 A。未见A相TA二次有短接线。进一步检查TA出线端电流，两相电流基本相等。问题就在这段电缆线，经再三详细检查，结果发现电缆内部短路，这是一起比较隐蔽的短接TA二次线窃电行为。按照实测功率因数计算，少计电量约1/6。用检人员按规定执罚，并在内部交流了这次查电经验。

案例七：某镇供电所用检负责人从远程抄表系统获悉，某织布厂的专变06:35功率因数异常。这种情况以前从未见过，经请示所长后向县供电局请求派人指导。10:00县局来人和所用检人员简单会商。调阅用户资料可知，这个厂的专变容量400 kV·A，高供高计电流四线制。平时功率因数0.8左右，而当天的功率因数约0.5，初步怀疑有改变计量二次线窃电行为。经直观检查发现高压计量箱门被开过，封印是伪造的，电能表监测记录显示06:35功率因数异常。用计量故障分析仪检测表尾，发现电压向量正常，电流向量异常，判断为C相电流正进I元件，A相电流反进II元件。在这种接线下，结合实际功率因数估算，少计电量约1/3。

案例八：某市供电局用检班长从远程抄表系统告警信号获悉，市区某制衣厂的专变计量装置10:05突然功率减半。这个厂装有1台500 kV·A专变，高压计量三相两元件电流三线制，TA变比30/5 A，日常负荷和月用电量比较平稳，因为两班制生产，从08:00—24:00的负荷正常情况下变化不大。用检人员初步判断TA断B相，决定请公安介入查处工作。经过事前一番准备，尤其是检查用的仪表仪器和取证用的录像照像设备，3名用检人员和1名公安驱车来到现场，发现计量箱门和封印

被开启过，开箱检查电流互感器，发现B相公共联接头松动并有绝缘材料。取证完毕，下发《用户违约用电、窃电通知书》和《停电通知书》，告知用户这种窃电少计一半电量，将追补窃电损失电量电费和3倍违约电费。

2.2 点评

10 kV高压计量用户是供电企业的重要用户，远程抄表系统把这类用户列为重点监测对象，日常管理自然也是重中之重。随着智能电能表和远程抄表系统的运用，防治窃电工作有了质的飞跃，现在用检人员坐在办公室的电脑前就能远程监测用户的计量状态，窃电的侦查工作可以做到非常精准和高效。借助智能电网新技术可及时发现用户的窃电行为，只要用检人员及时查处，在短时间内的窃电量往往较小，这样就使经济处罚比较容易执行。但是，简单有效的技术措施和组织措施仍然不能舍去，封印管理和带负荷试验仍很重要。以防为主、防治结合的做法也要坚持下去。为了防止误接线，电能计量装置二次联合接线模块就是行之有效的解决办法。

10 kV计量装置诊断要诀：AC断线必为0，B相断线减一半，TA短路电流降，功角异常误接线。AC断线必为0是指A相或C相断线必然会出现电压为零（TV断线）或电流为零（TA断线）。A相断线A为0，C相断线C为0。B相断线减一半是指对于三线制的电流二次回路或三线制电压二次回路，电压B相断线则电能表2个元件的电压减少一半，功率也减少一半，电流B相断线则电流减至 $\sqrt{3}/2$ 倍，同时测量功率和有功电能也减少一半。TA短路电流降是指TA二次回路短路，流进电能表测量元件的电流就会降低（减少）。因为电能表电流元件的电阻很小，和短路线的电阻可能在同一个数量级，名为短路，实则并联。功角异常误接线是指电能表的实测功率因数角异常是误接线引起。接线正常时2个测量元件电压电流间的夹角（功角）一个小于 120° ，另一个小于 60° ，否则就是误接线。功角是否正常可以用计量故障分析板实测向量图判断，也可以通过智能电能表运行监测的功率因数判断。

3 查处低压三相三元件计量用户窃电案例

这类用户包括高供低计和低供低计三相三元件电流四线制以及三相三元件电流六线制计量用户，但不包括三个单相表分相计量用户。电流经互感器接入，电压不经互感器接入。常见窃电手法是制造二次回路故障，其次是更换电流互感器。

3.1 案例

案例一：某市新营业大酒店专变容量 200 kV·A，TA 变比 400/5 A，高供低计三相三元件电流六线制。酒店开张后连续数月电量不足 2 万 kW·h，用检人员现场检查发现计量箱被开启过，封印是伪造的，表尾实测向量图与带负荷试验记录无异，说明计量接线正确无误。随后实测 TA 变比，发现原来配置的 3 个 400/5 A 被换成 600/5 A，这就导致少计电量 1/3 左右。这个案例发生在智能电能表和远程抄表系统尚未投运前，所以未能及早发现。但如果有关人员及时检查计量箱封印，也许就不会造成长时间电量被窃。

案例二：一天上午，某县供电局用检班长从远程抄表系统发现提示信息。城东某制衣厂计量装置的 B 相电压 06:55 突然为 0。这个制衣厂报装容量 80 kW，三相三元件电流四线制计量方式，TA 变比 200/5 A，日常接近满负荷运行。现场发现计量箱门开启过，智能电能表有失压记录，开箱检查发现 B 相电压线开路。因为当时三相负荷接近平衡，一相失压造成少计电量约三分之一。取证完毕开具违约用电、窃电通知书，此案除了执行停电，还追补 3 h 窃电量和 3 倍罚款。

案例三：某日上午，市局用检人员从远程抄表系统获悉，有个电子厂的计量装置 A 相电流在 05:15 突然中断。这个厂安装一台 160 kV·A 专变，低压计量三相三元件电流六线制，TA 变比 300/5 A，日常三班制生产，24 h 负荷曲线比较平缓。用检班人员交流了看法，大家觉得可能是二次电流线开路所致，是否是窃电行为则须现场调查取证才能确定。用检班一行 3 人 09:00 来到现场，和厂方人员一起先做直观检查，首先发现计量箱门及封印开启过，电能表有断电流记录。开箱检查二次线，发现 A 相电流二次线开路。恢复正常接线后做表尾测试向量图未见异常，用检人员按照破坏计量接线窃电对用

户进行处罚。根据实测功率，窃电期间少计电量约 200 kW·h。考虑到用户首次窃电，而且认错态度较好，决定仅处以补交差额电费加 3 倍罚款，停电 1 天。

案例四：某县供电局用电检查班长从远程抄表系统中得知，城东某制衣厂的计量装置 04:00 B 相电流突然减少一半左右。由于以前从未见过这种情况，就打电话请教市局相关人员。市局用检班长认为，一相电流突减，有可能是负荷变化，也可能是 TA 二次线短路。因为电能表的电流取样元件电阻很小，TA 二次线被短路时相当于在电能表电流元件并联一条分流导线，这样就使电能表的实测电流减小了。从用户档案获知，该厂专变容量 200 kV·A，低压计量三相三元件电流六线制，TA 变比 400/5 A，用检人员到达现场按市局的指导意见三步走。第一步查表箱封印，发现箱门和封印开启过；第二步查电能表记录信息，发现电流突变记录；第三步直观检查表箱内接线，发现 TA 二次出线被短接；表尾实测向量图和校验 TA 变比，未见其他异常。根据实测负荷和分流量，5 h 少计电量约 200 kW·h，按照初犯轻罚的原则，除了按规定执行停电，并对用户处以补交 200 kW·h 电费外加 3 倍罚款。

3.2 点评

三相三元件电流四线制以及电流六线制计量接线比较清晰明了，由于电压电流一对一同相组合，就像三个单相表组装起来，向量图分析和侦查工作较两元件电能表简单。对于容量较小而没有配置电流互感器的三相四线制用户，从兼顾安全角度考虑最好采用三个单相电能表分相计量。因为三相四线制电能表相间距离较小，操作过程容易引起相间短路，查电人员被电弧烧伤的事故时有发生。为了减少带 TA 低压三相计量装置误接线概率，也可采用全模块化防窃电低压计量装置。

作者简介

李万（1994—），男，河南理工大学研究生，主要研究方向：电力系统及其自动化。

黎海生（1971—），男，高级工程师，2018 年获汕尾市最美工匠称号，主要工作方向：电能计量及防窃电。

李景村（1950—），男，高级工程师，主要研究方向：防治窃电。

（责任编辑：袁航）