

# 谱写中国式现代化能源高质量发展新篇章

## ——2024年全国能源工作会议在京召开

本刊编辑部

2023年12月21日，2024年全国能源工作会议在北京召开。会议总结2023年工作成绩，部署2024年重点任务。

2023年以来，全国能源系统深入贯彻落实习近平总书记重要指示批示和党的二十大精神，按照党中央、国务院部署，统筹发展和安全，推动能源高质量发展，实现能源安全保供和清洁转型双提升、双平稳，为推动经济高质量发展和满足人民美好生活需要提供了坚实保障。

2023年，在以习近平同志为核心的党中央坚强领导下，全国能源系统坚持稳中求进的工作总基调，更好地统筹发展和安全，各项工作取得良好开局。一是学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育成效显著。牢牢把握“学思想、强党性、重实践、建新功”的总要求，以主题教育推动能源高质量发展实现新突破、人民群众用能获得感实现新提升。二是能源安全稳定供应能力稳步增强。坚持把保障国家能源安全作为首要职责，充分发挥煤炭兜底保障作用，强化电力安全保障，多措并举增加油气供给，能源生产供应总体稳定。三是能源绿色低碳转型步伐加快。加强统筹谋划和政策支持，保持非化石能源快速发展良好势头，继续厚植绿色发展的底色底蕴。四是能源改革创新纵深推进。充分发挥科技创新的驱动作用，持续深化重点领域和关键环节改革，进一步激发推动发展的动力活力。五是高水平能源国际合作全方位拓展。稳妥应对复杂国际形势，深度参与全球能源治理，推进能源合作多元布局，开放条件下的能源安全保障能力进一步提升。六是全面从严治党纵深发展。坚持以党的政治建设为统领，扛牢压实全面从严治党“两个责任”，持之以恒推进党的自我革命。

会议强调，2024年能源工作要坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，坚持稳中求进工作总基调，完整准确全面贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，统筹高质量发展和高水平安全，深入推进能源革命，加快建设新型能源体系、新型电力系统，加强能源产供储销体系建设，在新的历史起点上推动能源高质量发展再上新台阶。一要扛牢能源安全首要职责，立足我国能源资源禀赋，坚持稳中求进、以进促稳、先立后破，全力抓好能源增产保供，持续提高能源资源安全保障能力。二要聚焦落实“双碳”目标任务，持续优化调整能源结构，大力提升新能源安全可靠替代水平，加快推进能源绿色低碳转型。三要瞄准能源科技自立自强，深入实施创新驱动发展战略，完善能源科技创新体系，推动科技与产业融通衔接，扎实开展能源标准化工作，提升能源产业链供应链自主可控水平，着力打造能源科技创新高地。四要发挥改革关键支撑作用，落实关于构建全国统一大市场等有关工作部署，积极推进电力市场化交易，持续推进能源法治建设，深化能源领域体制机制改革，不断提升能源治理能力水平。五要着眼完善能源监管体系，健全完善能源监管制度，创新开展过程监管、数字化监管、穿透式监管、跨部门协同监管，加大监管工作力度，有效维护公平公正市场秩序。六要牢固树立安全发展理念，严格落实“三管三必须”，以“时时放心不下”的责任感抓好安全生产，坚守安全生产底线。七要积极加强能源国际合作，以共建“一带一路”为引领，充分利用国际国内两个市场、两种资源，保障开放条件下的能源安全，全面提升国际影响力话语权。八要大力加强民生用能工程建设，推进北方地区清洁取暖，推动农村能源清洁低碳转型，提升电动汽车充电基础设施水平。九要全面加强党的建设，强化党的创新理论武装，落实巡视整改责任，加强基层党组织建设，建设高素质专业化能源干部队伍，以高质量党建引领能源高质量发展。

# 农村电气化

NONGCUN DIANQIHUA

2024年第1期 总第440期 1979年创刊

2024年1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 <https://ncdh.cbpt.cnki.net>  
邮箱 [ncdqh@csre.org.cn](mailto: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  
发行范围 公开发行  
订阅邮箱 [guoyu@csre.org.cn](mailto:guoyu@csre.org.cn)  
内网邮箱 [ndzwh@bj.sgcc.com.cn](mailto:ndzwh@bj.sgcc.com.cn)  
订阅小程序 国宇出版  
系统电话 926531638/649/586/647  
广告 张朝勤 010-63231640  
每期定价 16.00元  
全年定价 192.00元

## 目次

### 刊首语

扉页 谱写中国式现代化能源高质量发展新篇章——2024年全国能源工作会议在京召开 本刊编辑部

### 新型配电网

- 1 基于变电站分布式潮流控制器的控制保护策略研究与应用 黄建阳
- 7 云南省分布式光伏开发现状及制约因素探讨 李 杰
- 11 变电站综合自动化改造及安全管控分析  
李志强, 李 晶, 邓显俊, 王 斌

### 电网建设

- 14 基于问题分类分级农村配电网项目精准投资策略研究  
杨 毅, 李 泽
- 18 10 kV 杆塔基础在复杂沙质土层的施工技术研究  
张 良, 赖伟强, 李浩辉

### 运行维护

- 21 超高压电网 500 kV 线路接地刀闸防误闭锁原理及典型问题分析  
严太山, 房雪雷, 李 炎, 朱 涛, 宋仁杰, 洪文慧
- 25 220 kV 变压器中压侧中性点小电抗接地的运行分析  
秦 彬, 杨克难, 潘振东, 闫存恒, 侯靖岩, 张海宾, 陈 琳
- 28 浅谈变电站保护测相量  
李林华, 霍 天, 陈宇翔, 方文军

### 安全生产

- 33 一起 220 kV 母线电压频繁跌落问题处理与分析  
项锦晔, 文海泉, 雷轶群, 陈士龙
- 37 10 kV 配电线路避雷器大面积故障原因分析  
马永福, 包正红, 王生杰, 杨洪易, 曲全磊
- 41 新能源电厂接入对电网继电保护的影响 张秋怡, 李梦娜, 胡 珩

### 信息系统

- 45 基于多线式智慧移动指挥的配网调度管理体系研究  
耿 晋, 黄亚磊, 时 鹏
- 49 基于数字化技术的电力安全工器具管理系统的研发  
詹滨瑜, 李 鹏, 王廷武



### QC 小组

- 54 变电站继电保护室安全措施自动布置系统研制  
周 婷, 管 州, 王 政, 赖政瑞
- 59 缩短高压计量装置现场装接时间 叶丽雅, 赵 琳

### 器具设备

- 63 杆塔可视化监控安装平台及其安装方法的研究 原伟森
- 66 户外环网柜混合动力除湿装置研究与应用  
张琰美, 陈诗娴, 李建杭, 陈 刚
- 70 计量现场互感器极性检测仪研究与应用  
县国成, 杨 斌, 赵玉婷, 董召强, 郭永翔
- 73 环网柜接地开关防误操作装置的研究  
李登雕, 王 伟, 陈海洋, 胡 亮, 朱惠红, 王晓静

### 经验点滴

- 77 一起 220 kV 变电站鸟害故障跳闸分析  
陆 阳, 徐 茜, 周 刚, 朱 贇, 满 忆
- 80 浅谈继电保护及自动化常见缺陷的处理分析  
罗超龙, 贾元峥, 于金滔
- 83 一起主变压器高压直阻数据异常诊断与处理 黄渤瑜
- 85 三相三线电能计量装置电压互感器二次侧极性反接案例分析  
王 壮, 童格格, 秦立璞
- 89 一起死区故障导致 35 kV 母差保护动作案例分析  
张 港, 蔡 潇, 李 明

### 资 讯

- 17 湖北武汉公司: 应用光伏声屏障服务绿色城市建设
- 44 江西赣州公司: 无人机照明助力夜间作业
- 65 浙江丽水公司: 强化光伏电站运维管理
- 封 2 寒潮来袭 电力先行 孔丹军  
雪中抢修巡视 保障企业用电 肖兵

### 广 告

- 封面 北京潞电电气设备有限公司
- 92 《农村电气化》《农电管理》订阅单
- 封 3 宝胜科技创新股份有限公司
- 封底 恒飞电缆股份有限公司

### 征文

- 91 新型农村配电网技术论坛征文启事

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  
潘力志 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

## ◆ New Distribution Network ◆

- 1 Research and Application of Control and Protection Strategy Based on Distributed Power Flow Controller in Substation/HUANG Jianyang
- 7 Discussion on the Status Quo and Restrictive Factors of Distributed PV Development in Yunnan Province/LI Jie
- 11 Comprehensive Automation Transformation and Safety Control Analysis of Substations/LI Zhiqiang, LI Jing, DENG Xianjun, WANG Bin

## ◆ Power Grid ◆

- 14 Research on Precision Investment Management Strategy of Rural Distribution Network Project Based on Classified and Graded Problem/YANG Yi, LI Ze
- 18 Research on Construction Technology of 10 kV Tower Foundation in Complex Sandy Soil Layer/ZHANG Liang, LAI Weiqiang, LI Haohui

## ◆ Operation & Maintenance ◆

- 21 Analysis of 500 kV Line Grounding Switch Miss Operation Blocking in Ultra-high Voltage Power Grid/YAN Taishan, FANG Xuelei, LI Yan, ZHU Tao, SONG Renjie, HONG Wenhui
- 25 Operation Analysis of Neutral Point on Medium Voltage Side of 220 kV Transformer with Small Reactance Grounding/QIN Bin, YANG Kenan, PAN Zhendong, YAN Cunheng, HOU Jingyan, ZHANG Haibin, CHEN Lin
- 28 Discussion on Phase Measurement for Substation Protection/LI Linhua, HUO Tian, CHEN Yuxiang, FANG Wenjun

## ◆ Safety ◆

- 33 Treatment and Analysis of Frequent Drop of 220 kV Bus Voltage/XIANG Jinye, WEN Haiquan, LEI Yiqun, CHEN Shilong
- 37 Analysis of Large Area Fault Causes of Lightning Arresters in 10 kV Distribution Lines/MA Yongfu, BAO Zhenghong, WANG Shengjie, YANG Hongyi, QU Quanlei
- 41 Impact of New Energy Power Plant Connection on Power Grid Relay Protection/ZHANG Qiuyi, LI Mengna, HU Heng

## ◆ Information System ◆

- 45 Research on Distribution Network Scheduling and Management System Based on Multi-Line Intelligent Mobile Command/GENG Jin, HUANG Yalei, SHI Peng
- 49 Research and Implementation of Electric Power Safety Tools and Tools Based on Digital Management Technology/ZHAN Binyu, LI Peng, WANG Tingwu

## ◆ QC Group ◆

- 54 Development of Automatic Layout System for Safety Measures in Substation Relay Protection Room/ZHOU Ting, GUAN Zhou, WANG Zheng, LAI Zhengrui
- 59 Reduce The On-site Installation Time of High-pressure Metering Devices/YE Liya, ZHAO Lin

## ◆ Equipment ◆

- 63 The Research about the Installation Platform and Method of Visual Monitoring System for Pole Towers/YUAN Weisen
- 66 Research and Application of Hybrid Dehumidification Device for Outdoor Ring Network Cabinet/ZHANG Yanmei, CHEN Shixian, LI Jianhang, CHEN Gang
- 70 Research and Application of Polarity Detection Instrument for Field Transformer in Measurement/XIAN Guocheng, YANG Bin, ZHAO Yuting, DONG Zhaoqiang, GUO Yongxiang
- 73 Research on the Anti Misoperation Device of Grounding Switch in Ring Network Cabinet/LI Dengdiao, WANG Wei, CHEN Haiyang, HU Liang, ZHU Huihong, WANG Xiaojing

## ◆ Experiences ◆

- 77 Analysis of a 220 kV Substation Bird Damage Trip Accident/LU Yang, XU Qian, ZHOU Gang, ZHU Yun, MAN Yi
- 80 Discussion on the Treatment and Analysis of Common Defects in Relay Protection and Automation/LUO Chaolong, JIA Yuanzheng, YU Jintao
- 83 Abnormal Diagnosis and Processing of High Voltage DC Resistance Data of Main Transformer/HUANG Boyu
- 85 Case Analysis of Polarity Reversal on the Secondary Side of Voltage Transformer in Three-phase Three Wire Electric Energy Metering Device/WANG Zhuang, TONG Gege, QIN Liying
- 89 Analysis of a Case of 35 kV Bus Differential Protection Action Caused by a Deadband Fault/ZHANG Gang, CAI Xiao, LI Ming



# 基于变电站分布式潮流控制器的控制保护策略研究与应用

黄建阳

(国网浙江省电力有限公司杭州市余杭区供电公司, 浙江 杭州 311100)

**摘要:** 随着电力系统规模的不断扩大和电力负荷的不断增加, 传统的集中式潮流控制策略在应对复杂的电力系统变化和 demand 时已显现出一定的局限性。为了提高电力系统的运行效率和稳定性, 分布式潮流控制器逐渐成为一种备受关注的新型技术。文章提出一种基于分布式潮流控制器的控制保护策略, 并详细研究了其在实际中的应用。

**关键词:** 分布式潮流控制器; 控制保护策略; 顺控流程

中图分类号: TM766

## Research and Application of Control and Protection Strategy Based on Distributed Power Flow Controller in Substation

HUANG Jianyang

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

Zhejiang Hangzhou 311100, China)

**Abstract:** As an important component of the power system, substations play a core role in the power system. Responsible for converting the electricity generated by the power plant into electricity suitable for transmission and distribution. However, with the continuous expansion of the power system scale and the increasing power load, traditional centralized power flow control strategies have shown certain limitations in responding to complex power system changes and demands. In order to improve the operational efficiency and stability of the power system, distributed power flow controller has gradually become a new technology that has received much attention. This article proposes a control and protection strategy based on a distributed power flow controller and conducts a detailed study of its application in practical power systems.

**Keywords:** distributed power flow controller; control and protection strategies; sequence control process

## 0 引言

变电站在电力系统中发挥着至关重要的作用, 传统变电站集中式潮流保护控制策略依赖于一个中心化的控制器来协调各个节点之间的潮流保护控制, 如果该控制器发生故障, 整个系统可能会陷入失控状态, 节点之间须频繁地通信以共享状态信息, 这会导致大量的通信开销; 在大规模系统中, 通信的延时问题也会导致控制效果下降。传统集中式潮流保护控制策略须对整个系统进行全局建模和优化, 涉及到大量的参数调整和算法设计, 增加了系统的复杂性和实现难度, 对系统的扰动和变化较为敏感, 一旦系统出现变化, 就须重新进行全局建模和优化, 导致系统的鲁棒性较差。综上, 传统集中式潮流保

收稿日期: 2023-10-12; 修回日期: 2023-11-20

护控制策略存在单点故障问题、通信开销大、系统复杂性高、鲁棒性差等不足; 因此, 须开发一种新的保护控制策略来解决这些问题。

本文旨在设计一种基于变电站分布式潮流控制器的新控制策略, 并详细介绍了其工作原理和实现方法。基于变电站分布式潮流控制器的控制策略实际应用结果表明, 该应用功能可有效解决传统潮流保护控制策略存在的问题, 提升区域电网的安全性与经济性。

## 1 潮流控制器结构及原理

分布式潮流控制器 (DPFC) 是一种基于大功率电力电子技术的柔性潮流控制装置<sup>[1]</sup>。其主要功能是通过分布式方式安装于电力系统的变电站或线路耐张杆塔上, 对潮流进行优化调节, 实现功率的均

衡分配，限制潮流断面的过载并抑制功率震荡。

传统的潮流控制器通常集中安装在变电站内部<sup>[2]</sup>，因此其控制范围有限，对电网潮流调节的效果也有所限制，如图 1 所示。

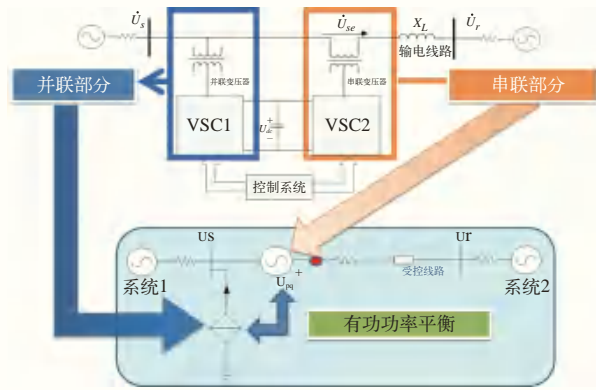


图1 传统潮流控制系统结构图

分布式潮流控制器的设计原理是在电力系统中多个节点分布式地安装一系列的控制器，通过协同工作实现更广泛范围的潮流控制。这种分布式布局可以有效提高控制范围和控制灵活性，优化电网的潮流分布，使电网运行更加稳定和可靠，系统结构图如图 2 所示。

### 1.1 分布式潮流控制器运行状态

分布式潮流控制器的运行状态主要有 4 种，分别是运行状态、旁路充电状态、冷备用状态、检修

状态，主要设备和装置在这 4 种状态分别对应的状态量如图 3 和表 1 所示。

### 1.2 控制保护系统功能机原理

基于分布式潮流控制器的控制保护系统采用双重化配置，共包括 2 套分布式潮流控制保护装置、测控装置和断路器操作装置。此外，系统还配备独立的故障录波装置。

基于分布式潮流控制器的控制保护系统中 2 套控制保护装置分别标记为 A 和 B，它们接收调度控制层发出的指令，执行功率控制和冗余逻辑策略。将分布式潮流控制器子单元模块的启动旁路命令、注入电压指令和值班信息等数据发送给各级分布式潮流控制器的子单元模块。子单元模块根据控制保护系统下行通信通道的状态选择当前值班控制保护系统，并执行相应的控制命令，以实现子单元换流阀的控制。

测控装置连接到监控系统，接收监控系统下发的断路器和隔离开关的远程控制命令，并执行“五防”闭锁逻辑，输出控制接点。断路器操作装置接收控制保护装置和测控装置的旁路断路器操作接点命令，执行旁路断路器的分合闸操作。故障录波装置可以独立记录分布式潮流控制器子单元的直流电容电压、旁路开关位置等信息。

基于分布式潮流控制器的控制保护系统基本结

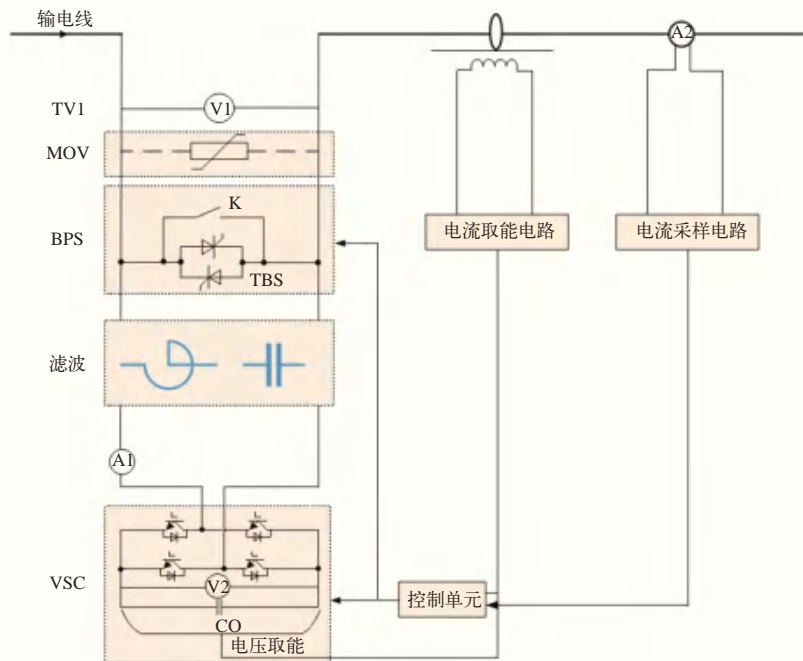


图2 分布式潮流控制系统结构图

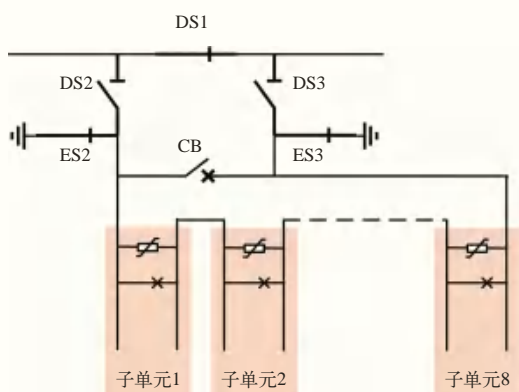


图3 分布式潮流控制系统接线图

构如图4所示，包括调度端控制层、分布式潮流控制器控制保护层和就地子单元控制保护层。调度层控制模块根据电网运行情况，调整分布式潮流控制器的控制目标；分布式潮流控制器控制保护层实现各级子单元的协调控制和保护，执行调度层的运行指令，与交流电网的其他设备协调配合；就地子单元控制保护层实现子单元的独立控制和保护。

## 2 控制调节策略原理

基于分布式潮流控制器的控制保护系统可以根据变电站自动化系统下发的潮流控制指令，通过调节分布式潮流控制器，向输电线路输出幅值可调、相位超前或滞后 $90^\circ$ 的电压。这样可以改变线路的阻抗，使其呈现电感或电容特性，并对线路的潮流进行调节控制，以维持电网潮流的稳定；此外，分

表1 分布式潮流控制器设备状态

| 状态   | 主支路  | 子单元                   |
|------|--|-----------------------|
| 运行   | DS1 分位<br>DS2、DS3 合位<br>ES2、ES3 分位<br>CB 分位<br>主控制保护装置运行 | 旁路开关分位<br>子单元控制保护装置运行 |
| 旁路充电 | DS1 分位<br>DS2、DS3 合位<br>ES2、ES3 分位<br>CB 合位<br>主控制保护装置运行 | 旁路开关合位<br>子单元控制保护装置退出 |
| 冷备用  | DS1 合位<br>DS2、DS3 分位<br>ES2、ES3 分位<br>CB 分位<br>主控制保护装置运行 | 旁路开关合位<br>子单元控制保护装置退出 |
| 检修   | DS1 合位<br>DS2、DS3 分位<br>ES2、ES3 合位<br>CB 分位<br>主控制保护装置退出 | 旁路开关合位<br>子单元控保退出     |

布式潮流控制器的运行方式应能适应电力系统的各种运行模式。

分布式潮流控制器控保装置的控制软件分为2层：总控模块和A、B、C三相控制模块。总控模块接收调度层的指令和各相控制器的反馈状态，并通过协调计算，将A、B、C三相的相关指令分配给各相控制器，并向调度层上报设备状态。相控制模块接收控制保护装置总控的指令和本相各子单元控制器的反馈状态，并通过协调计算，将每个子单元

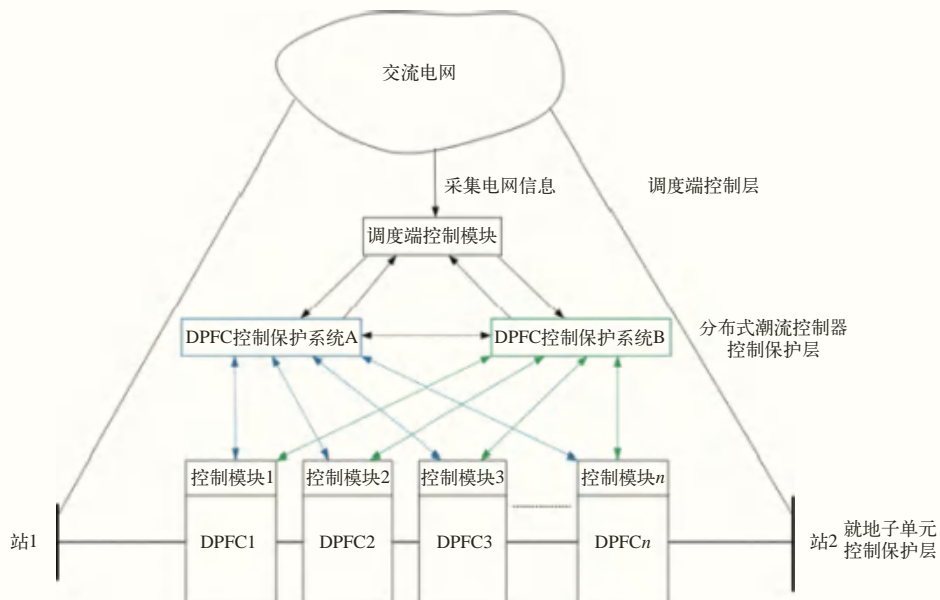


图4 控制保护系统基本结构图

的相关指令分配给本相的每个控制器，并向总控上报本相的状态，如图 5 所示。

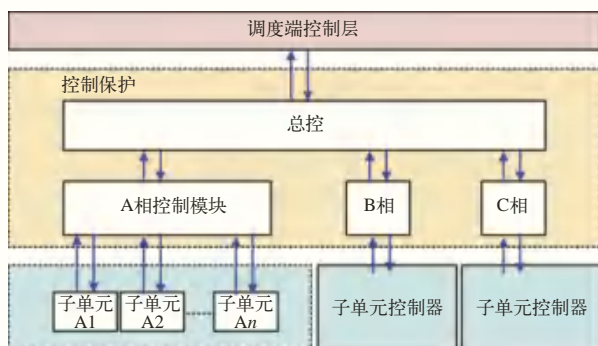


图5 控保装置控制关系图

### 2.1 总控控制策略

总控模块具有多种功能，包括定注入电压控制、线路阻抗控制、线路功率控制、三相电压不平衡控制、线路过载紧急控制、断面功率限制控制、设备的启停控制（部分功能）、相间故障投退的协调控制、控制模式切换和系统切换等。

假设电网要求的各相输出模式有电压控制、阻抗控制、有功潮流控制和断面限额控制。通过选择不同的模式值，相应的交流电压参考值被选取。在不同的控制模式下，总控模块会接收不同的调度指令，并为了简化子单元内部计算量，在总控模块将所有控制模式转换为电压参考值，不同模式下的电压参考值按以下算法计算得出：

电压控制模式，根据调度端控制层接收到的交流电压指令值确定。

阻抗控制模式，根据调度控制层的设备阻抗控制参考值和线路相电流有效值的乘积确定。

有功潮流控制模式，根据调度控制层的潮流有功功率控制参考值及流过本线路的有功功率加权换算确定。

断面限额控制模式，根据电压控制模式和有功潮流控制模式按照某个限值进行平滑切换，在监测线路单线功率时，当其小于某个设定功率值时，参考值设为零；当其超过设定功率值时，则参考值由有功潮流控制得出，且控制定值为该功率设定值。

三相均衡协调控制策略是在某相单个或多个子模块由于故障退出运行后，根据各相的上报信息协调其他两相的输出指令。具体的协调原则是以各相实时最大输出能力为约束条件，允许三相间子单元冗余个数不对称。例如，假设某相的电压输出指令

超过了该相上报的可输出最大电压，则另外两相须同步进行调整，减小实际下发的电压指令值。同时，须修正设备当前的最大运行范围并上报给调度控制层，以及时调整系统级的输出指令。各相可输出电压范围的计算由相控制器完成并上报。

### 2.2 相控制策略

相控制模块具有多种功能，包括分布式潮流控制器设备的启停控制（部分功能）、多组子单元的载波移相和故障投退的协调控制等。

子单元电压指令下发：相控制模块接收总控模块计算发送的本相总的电压参考值，并根据本相可用的子单元数，在各子单元之间平均分配下发电压指令。

载波移相角计算：为了减小交流出口注入的谐波含量，并充分发挥多个子单元级联的优势，在集中布置时，可以采用载波移相控制。相控制器会向本相的各子单元下发相互配合的载波移相角，以使其相互协调工作。

相单元运行范围校正：根据设备目前的设计容量，每个子单元的最大输出电压范围为 $\pm 0.6$  kV。级联个数将影响设备输出的输出电压范围。因此，相控制模块会根据级联个数对每个子单元的最大输出电压进行范围校正，以确保设备的输出电压在设计范围内。

### 2.3 子单元控制策略

在正常运行条件下，单级分布式潮流控制器子单元的控制功能可以分为有功类控制和无功类控制。有功类控制通过D轴实现，通常为恒定直流电压控制，生成D轴电压参考值。无功类控制通过控制Q轴实现，子单元可选择恒定交流电压控制模式，生成Q轴电压参考值。经过D、Q轴参考电压产生调制波后，最终通过脉冲宽度调制（PWM）产生绝缘删双极管（IGBT）触发信号进行输出。

对于分布式潮流控制器子单元的控制，控制流程可以分为主控制器层和阀控制器层。主控制器层主要包括锁相、串联输出电压基波分量提取、DQ控制分量生成和调制波生成等4部分。阀控制器层主要包括载波生成、可控充电控制信号生成、PWM控制信号生成、器件触发计算和触发死区设置等4部分。在控制流程中，主控制器负责生成参考信号，而阀控制器则负责相应信号的生成和触发设置，以实现分布式潮流控制器的控制。



### 3 保护策略原理

分布式潮流控制器应当配备专门的监控部件，以实时监测内部元件的运行状态。此外，分布式潮流控制器还应实现对内部元件的保护功能，并与线路保护配合，全面保护分布式潮流控制器装置。

根据分布式潮流控制器保护范围的不同，可以将保护划分为交流线路保护区和子单元保护区，如图6所示。每个保护区都设置2层保护机制，包括系统级保护和器件级保护，目的是有效对交流系统和分布式潮流控制器器件的故障进行保护。通过这样的保护措施，可以确保分布式潮流控制器在运行过程中时刻保持安全可靠。

线路保护区和子单元保护器之间的配合原则如下：

子单元保护比交流线路保护更为灵敏，具有更高的优先权。这意味着在故障发生时，子单元保护器会优先进行动作，以迅速切断故障电路并保护分布式潮流控制器内部元件的安全。

当系统出现故障时，分布式潮流控制器装置可以在 $\mu\text{s}$ 级别下保护动作装置旁路，不影响线路其他保护定值的整定。这意味着分布式潮流控制器能够快速响应并采取保护措施，而不会干扰线路其他保护装置的设置。

在保护动作时，如果子单元旁路开关合闸失灵，装置旁路开关将关闭。即在保护动作期间，如果子

单元的旁路开关无法正常关闭，装置旁路开关将代替其功能，确保保护系统的可靠性。

通过以上配合原则，线路保护区和子单元控制器能够协同工作，确保分布式潮流控制器在故障情况下能够快速、可靠地采取适当的保护措施，保护系统的稳定和安全运行，保护配置表见表2。

### 4 控制保护策略应用

浙江某变电站在1回线路上安装8级分布式潮流控制器控制单元，两供区断面潮流可转移140 MW，使得两供区单回线路运行时不会出现超载现象，如图7、8所示。

采用分布式潮流控制器的实际应用表明，它能够有效优化电力系统的运行，提高其效率和稳定性。通过分布式潮流控制器的协同运行，电力系统的功率分配变得更加合理，负荷均衡性得到改善，从而降低过载和短路风险。

分布式潮流控制器的应用可以实时监测电力系统的运行状态，并对其进行动态调整和控制。它能够在系统负荷变化时迅速响应，调整分布式电源的输出，进一步提高系统负荷均衡性。同时，通过智能优化算法和协同控制策略，分布式潮流控制器还能够最大程度地减少线损，提高能源利用效率。此外，分布式潮流控制器还具备快速切除故障的能力，可以迅速隔离故障点，并通过保护控制功能保护系统的稳定运行。它能够减少故障影响范围，降低停

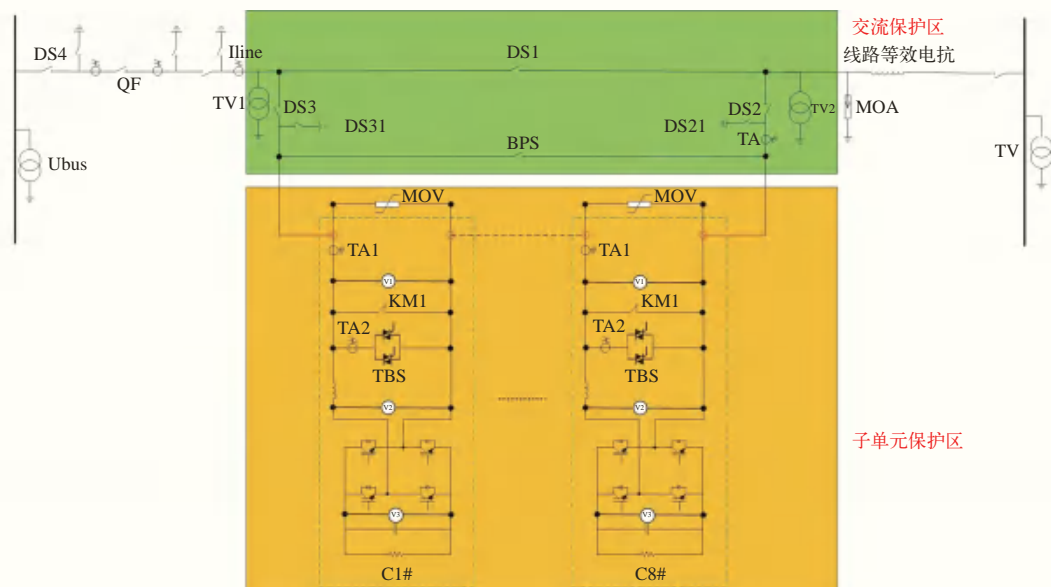


图6 保护分区图



表2 分布式潮流控制器保护配置

| 故障区域    | 保护层级  | 保护功能                   | 保护出口                        |
|---------|-------|------------------------|-----------------------------|
| 交流线路保护区 | 系统级保护 | 过流保护<br>低电流保护<br>无冗余保护 | 闭锁所有 IGBT<br>闭合所有子单元旁路开关 KM |
|         | 器件级保护 | 控保装置系统故障               | 切换主从系统<br>合旁路断路器 CB         |
| 子单元保护区  | 系统级保护 | 过流保护<br>过压保护           | 闭锁所有 IGBT<br>闭合所有子单元旁路开关 KM |
|         | 器件级保护 | IGBT、KM等故障             |                             |

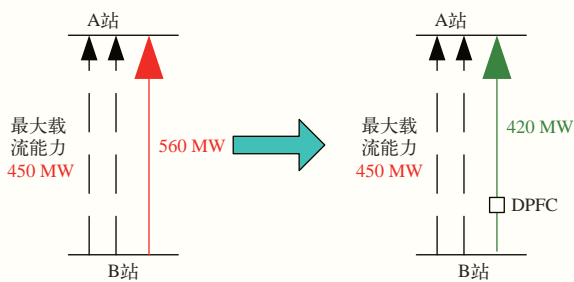


图7 潮流调控效果图

电风险，并提高电力系统的可靠性、稳定性和效率，减少能源浪费，降低故障风险，为电力系统的可持续发展做出贡献。

### 5 顺控流程

分布式潮流控制器顺控控制是一种综合型遥控系统，它在高级应用功能的基础上发展而来。该系统配备了一键顺控按钮，能够方便地完成复杂的倒闸操作<sup>[3]</sup>。该系统不仅可以实现操作票预制、操作任务生成、状态自动判别、智能联锁等功能，还能大大缩短分布式潮流控制器倒闸操作的时间，并且避免人工操作失误的可能性。

变电站内的运维人员控制系统具备一键顺控操作功能，可以实现对分布式潮流控制器装置的4种设备状态进行控制，包括运行、旁路充电、冷备用和检修。这种操作功能的引入，方便运维人员对系统的控制，使其能够通过简单的操作完成设备状态的切换。这不仅提高了操作效率，还减少了出错的可能性，从而确保变电站的正常运行和设备的可靠性，设备状态顺控流程转换示意图见图9所示。

分布式潮流控制器顺序控制启动流程需要满足以下前置条件：

- 判据1，接收到手动投入信号；
- 判据2，线路电流在合理范围内；
- 判据3，无装置级故障；

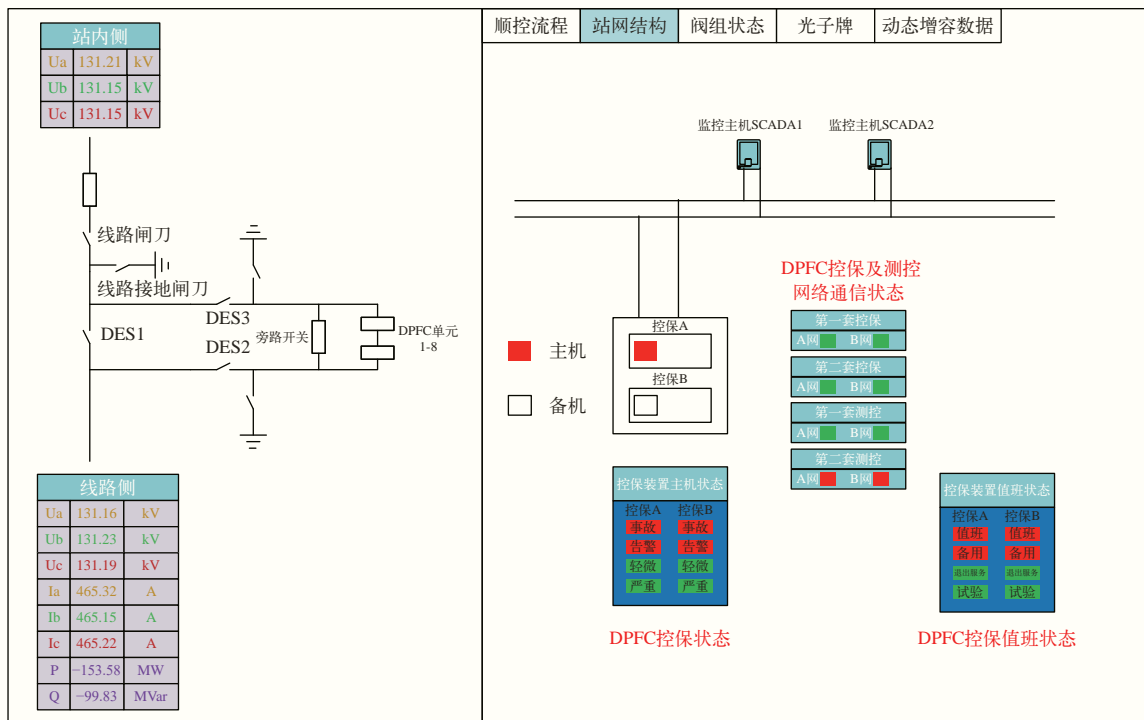


图8 控制保护设备状态图

(下转第 10 页)

# 云南省分布式光伏开发现状及制约因素探讨

李 杰

(云南能源投资股份有限公司, 云南 昆明 650200)

**摘要:** 在双碳背景下, 清洁能源必然会进入快速发展时期, 分布式光伏项目也将迎来发展的高峰期。文章对我国分布式光伏发展历程及发展现状进行了研究分析, 通过对当前云南省分布式光伏的发展及制约因素进行探讨, 给出了新能源投资开发企业针对分布式光伏项目的相关开发工作建议。

**关键词:** 分布式光伏; 发展现状; 制约因素; 工作建议

中图分类号: TM727

## Discussion on the Status Quo and Restrictive Factors of Distributed PV Development in Yunnan Province

LI Jie

(Yunnan Energy Investment Co., Ltd., Yunnan Kunming 650200, China)

**Abstract:** In the context of carbon neutrality and carbon peak, clean energy is bound to enter a period of rapid development, and distributed photovoltaic projects will also usher in a development peak. This paper analyzes the development history and current situation of distributed PV in China, discusses the development and constraints of distributed PV in Yunnan province, and provides suggestions for the development of distributed PV projects for new energy investment and development enterprises.

**Keywords:** distributed photovoltaic; development status; constraints; work suggestions

2020 年我国提出“双碳”战略目标, 新能源中的光伏发电以其特有的优势成为实现这一目标的主力军。随后国家及地方政府出台了一系列政策, 促进光伏行业的快速发展, 其中国家能源局出台的《关于报送整县(市、区)屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》, 使分布式光伏发电爆发式增长。

分布式光伏发电是以用户侧自发自用为主、多余电量上网且在配电网系统平衡调节为特征的发电方式<sup>[1]</sup>, 具有就近利用、产业互补、灵活高效的优点, 是推动非化石能源跨越式发展的重要能源利用方式<sup>[2-3]</sup>。本文从开发企业的角度出发, 对云南省分布式光伏项目的发展现状及制约因素进行分析探讨, 对企业项目推进过程中存在的困难及经验进行总结, 以期对新能源项目开发企业起到参考作用。

### 1 我国分布式光伏发展状况

#### 1.1 分布式光伏概念的演变

##### 1.1.1 第一阶段(2014年9月以前)

2013年11月, 国家能源局下发《关于印发分

收稿日期: 2023-07-03

布式光伏发电项目管理暂行办法的通知》首次定义分布式光伏发电为“在用户所在场地或附近建设运行, 以用户侧自发自用为主、多余电量上网且在配电网系统平衡调节为特征的光伏发电设施”。电压等级: 10 kV 及以下。项目规模: 单点容量不超过 6 MW (多点接入以最大为准)。消纳范围: 接入配电网并在所在变电台区消纳, 不向上一级送电。

##### 1.1.2 第二阶段(2014年9月—2019年4月)

2014年9月, 国家能源局下发《关于进步落实分布式光伏发电有关政策的通知》对分布式光伏的范围进行了扩大: “利用建筑屋顶及附属场地建设的分布式光伏发电项目, 在项目备案时可选择“自发自用、余电上网”或“全额上网”中的一种模式”。电压等级: 10 kV 及以下, 渔光互补/农光互补为 35 kV 及以下。项目规模: 单点容量不超过 6 MW (多点接入以最大为准), 渔光互补/农光互补单点接入容量不超过 20 MW。消纳范围: 接入配电网并在所在变电台区消纳, 不向上一级送电。

##### 1.1.3 第三阶段(2019年5月—2023年)

2019年5月, 国家能源局下发《关于2019年

风电、光伏发电项目建设有关事项的通知》将光伏项目分成 5 类：光伏扶贫项目、户用光伏项目、普通光伏电站、工商业分布式光伏发电项目、国家组织实施的专项工程或示范项目。电压等级：10 kV 及以下。项目规模：单点容量不超过 6 MW（多点接入以最大为准）。消纳范围：接入配电网并在所在变电台区消纳，不向上一级送电。

## 1.2 我国分布式光伏装机及区域分布情况

### 1.2.1 装机情况

2021 年分布式光伏新增装机首次超过集中式光伏，2022 年该趋势延续，分布式光伏新增 51.1 GW，同比增长 74.5%。

截至 2022 年年底，我国分布式光伏累计装机容量为 157.6 GW，自 2019 年起装机增速逐步回升。

2022 年工商业分布式光伏业务大幅度提升，主要区域市场集中在长江三角、东南沿海地区。

2022 年户是户用光伏取消补贴的第一年，但户用光伏几乎未受到补贴的影响，新增装机容量继续提升。尽管户用光伏每年新增速度很快，但市场渗透率仍然比较低，仅为 6% 左右，未来具有一定潜力。

### 1.2.2 区域分布情况

截至 2023 年 1 季度，山东、浙江、河南、河北、江苏 5 省分布式光伏装机容量合计占比达到 64%。户用分布式光伏市场集中在河北、山东、河南等华北地区。

## 2 云南省分布式光伏发展状况

### 2.1 云南省分布式光伏装机情况

截至 2023 年 1 季度，云南省分布式光伏装机容量为 70.1 万 kW，全国占比为 0.4%，在全国 32 省市中排名第 24 位。

### 2.2 整县分布式光伏推进情况

2021 年 6 月国家能源局印发《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》，同年 9 月，国家能源局综合司公布了整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点名单，共计 676 个县（市、区），其中云南省 28 个区县被列为整县屋顶分布式光伏开发试点。

试点县规划合计装机 369.59 万 kW，截至 2023 年 3 月底累计并网 14.67 万 kW，建设完成率不足 4%，占全省分布式光伏装机 20%。开发商主要为央

企、国企和地方国资企业，民营企业占比较小。从涉及的建设领域来看，开发企业更多青睐于开发工商业屋顶，户用光伏项目有所提升。

## 3 云南省分布式光伏开发制约因素

云南省辐照资源丰富，分布式光伏可开发装机规模较大，运用场景广阔。分布式光伏可运用于党政机关、学校、医院等公共建筑、工商业厂房、交通设施、通信基站、居民住宅等建筑物屋顶、外立面，以及具备条件的废弃土地、农业大棚、水利设施等，经初步评估，全省分布式光伏可开发装机容量约 2 400 万 kW。如此之大的可开发规模，为何在全国分布式光伏高速发展的情景之下，云南省实际开发情况却不尽人意，开发速度如此缓慢？通过调研部分试点县开发商及参建方，以及前期相关项目开发经验，云南省分布式光伏开发制约因素分析有以下几点。

### 3.1 云南省电价水平较低，导致项目经济效益低

据公开资料整理，2022 年全国各地电网企业代理购电价格来看，1~10 kV 电压等级工商业用户侧用电价格全国平均 0.619 8 元/(kW·h)，云南为 0.423 8 元/(kW·h)，排名 29 位，仅比青海、新疆价格高。燃煤标杆电价：全国平均水平为 0.393 元/(kW·h)，云南为 0.335 8 元/(kW·h)，排名 25 位。由于云南的销售电价、余电上网电价较低，导致以“用户侧自发自用、余电上网”的分布式光伏项目投资收益率较低。

### 3.2 非技术成本的增加，导致项目收益进一步降低

根据梳理部分整县分布式光伏项目业主优选情况，部分地方政府在招商引资中提出了资源入股、项目分成、捐款、项目配套投资、提前支付项目保证金以及约定屋顶租金等投资条件，增加了项目非技术成本投资，致使项目收益进一步降低，开发商投资意愿大打折扣。

### 3.3 整县分布式光伏项目点多量小，屋顶资源参差不齐，企业开发协调难度大

多数县区党政机关、学校、医院等公共建筑点多面小，且建设年代久远，屋顶已不具备安装光伏条件。同时，地方政府招商引资后配合支持力度不够，致使开发企业须花费大量人力物力摸排屋顶资源，并与各屋顶业主商谈合作模式，进一步降低开发商投资意愿。

### 3.4 部分地区电网网架结构薄弱，难以满足整县分布式光伏的大规模开发

部分县区电网网架结构薄弱，电网存在严重线路老化，变压器容量受限等情况，不具备户用的接网条件，制约着整县分布式光伏的规模化开发。

## 4 项目开发过程中存在问题及困难

分布式光伏项目主要建设在屋顶，相比于地面电站无需土地、路条费用，初始建设投资相较于地面电站低 0.5~0.7 元/W 左右，同时发电可自用，抵扣更高额的电费支出，使得分布式光伏本身的收益率高于地面电站。

分布式光伏项目的特点是点多量小，发电用电并存，涉及利益相关方众多导致不确定因素较多以及收益分配方式多样。企业在推进分布式光伏项目过程中，主要存在以下问题及困难：

### 4.1 业主诉求过高，导致项目达不到公司收益率要求

分布式光伏项目因用户自用电比例、自用电价、屋顶条件不同，其项目经济性也不同。部分项目业主方不考虑项目本身实际情况，过分诉求项目收益分享，项目收益率无法满足开发企业内部要求，从而导致项目无法推进。

### 4.2 项目竞争者较多

屋顶资源好、自用电量、电价高的工商业厂房是各开发企业必争之地。该类工商业项目，项目开发企业较多，竞争较为激烈，业主可进行相互比较，从而选择能提供利益最大的开发企业。五大发电集团及部分央企针对分布式光伏项目，已将资本内部收益率要求降低至 6.5%~7.5%，从而能给业主的优惠更大。

### 4.3 项目数量众多、区域分散，运营、安全管理难度较大

以整县分布式光伏为例，县区党政机关、村委会、学校及医院等公共建筑约共 100 多处，再加上农村居民屋顶，后期运维管理难度也将进一步加大。地面光伏电站通常建在距离居民区较远的区域，而分布式光伏项目近在咫尺，如果出现了意外，也会给人民的人身及财产安全带来极大威胁。

### 4.4 前期开发周期较长，业主耐心有限

分布式光伏项目备案程序简化，已免除发电业

务许可、规划选址、土地预审、水土保持、环境影响评价、节能评估及社会风险评估等支持性文件。项目外部审批流程的简化，使得项目建设周期大大缩短，但当前国企央企等投资开发企业的项目内部决策流程较长，制约项目快速推进。

## 5 分布式光伏项目开发建议

在双碳背景下，我国一直在加快构建以光伏、风电等新能源为主体的新型电力系统。国家在《“十四五”可再生能源发展规划》中明确提出：坚持集中式和分布式开发并举，推动建设一批重大可再生能源基地，大力支持分布式新能源发展。《云南省可再生能源发展“十四五”规划》中提出，优化布局，全面有序推动风电、光伏开发。计划以整县分布式光伏、产业园区分布式光伏和多场景应用分布式光伏为重点，建设分布式光伏装机 600 万 kW。

根据以上背景，结合分布式光伏项目开发建设过程中遇到的问题和困难。对投资开发分布式光伏项目，有以下建议。

### 5.1 利用好企业自有产权屋顶，加快分布式光伏项目建设

当前，云南省分布式光伏开发企业大多为各大央企、国企，其企业自身就拥有多个产业园区、物流园区、各类工业厂房等，其屋顶产权清晰，耗电量较大，在此类厂房建设分布光伏，其经济效益明显。建议此类企业协调统筹资源，加快建设。

### 5.2 积极与大型工业园区、大型工业厂房业主洽谈合作

优先选择资信较好、厂房资源丰富的国有企业、上市公司作为合作对象。合作模式建议采用成立合资公司的模式开展，一来可共同分担项目风险，二来可排除其他项目竞争者。

### 5.3 结合乡村振兴战略推进整县分布式光伏开发

整县分布式光伏着重看地方政府配合支持力度以及对利益诉求方面，若利益诉求满足公司收益率要求情况下，建议尽快推进整县项目。

### 5.4 建立远程集控中心

随着企业后续项目的陆续开发建设，分布式光伏项目运营、安全管理难度将进一步加大，远程集控中心的建设将有效提高项目安全生产管理效率，



减少项目人工运营成本。

### 5.5 优化内部决策流程，加快项目推进

分布式光伏项目不同于集中式光伏项目，项目外部审批流程已大大简化，项目前期更多的是与屋顶业主的项目谈判，建议投资开发企业合理设置分布式光伏项目的投资决策流程，简化内部立项程序，加快推进项目落地实施。

## 6 结束语

分布式光伏项目是实现“乡村振兴”和“双碳”战略目标的重要举措，对我国能源转型、电力供应、降低用电成本都具有十分重要的意义<sup>[4]</sup>。云南省辐照资源丰富，分布式光伏可开发装机规模较大，运用场景广阔。积极推动云南省分布式光伏建设，从而降低传统化石能源用能比例，构建当代农村与城市绿色低碳能源体系，具有较强的经济效益及社会效益。

在分布式光伏开发大潮中，各投资开发企业要合理研判项目开发制约因素，不断探索项目合作模式，确保自身收益的同时也能为利益相关方带来效益，从而实现多方互利共赢。

## 参考文献

- [1] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于印发《分布式发电管理暂行办法》的通知[EB/OL]. (2013-7-18)[2022-11-08]. [http://www.gov.cn/zwqk/2013-08/14/content\\_2466462.htm](http://www.gov.cn/zwqk/2013-08/14/content_2466462.htm).
- [2] 国旭涛, 蔡洁聪, 韩高岩, 等. 分布式能源技术与发展现状[J]. 分布式能源, 2019, 4(1): 52-59.
- [3] 闫湖, 黄碧斌, 洪博文, 等. 分布式能源商业模式重构与创新展望[J]. 分布式能源, 2019, 4(2): 16-22.
- [4] 肖利坤. 东营市整市分布式光伏屋顶开发试点应用方案探讨[J]. 农村电气化, 2022, 427(12): 53-57.

## 作者简介

李 杰 (1988—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事分布式光伏、风电等新能源开发建设、管理等工作, E-mail: 317604225@qq.com

(责任编辑: 张峰亮)

(上接第6页)



图9 顺控流程示意图

判据4, 确认旁路断路器CB处于合位后, 检查后台节点信号正常, 准备进入启动流程;

判据5, 准备充电RFE信号有效。

同时满足以上判据后, 分布式潮流控制器开始由旁路充电状态到运行状态。

## 6 结论

变电站分布式潮流控制器作为一种创新的技术方案, 具有明显的优势和潜力, 对电力系统的运行和可持续发展起到积极的促进作用。

本研究提出了一种基于变电站分布式潮流控制器的高效控制策略, 并验证了其在电力系统中的应用性能。通过实际应用和验证, 证明了该策略的优

越性和可行性。该策略能够有效解决传统控制策略中存在的问题, 并显著提高电力系统的稳定性和可靠性。

该研究的成果对电力系统的智能化改造和管理具有重要的参考价值。通过采用变电站分布式潮流控制器的控制策略, 可以实现电力系统的精细化控制和优化运行。这将提高电力系统的运行效率、能源利用效率, 并且对于降低碳排放和实现可持续发展目标也具有积极的影响。

综上所述, 基于变电站分布式潮流控制器的研究成果为电力系统的优化运行提供了重要的技术支持, 有助于推动电力系统的智能化改造和管理, 促进电力系统的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 沈诚亮, 曹建伟, 唐明, 等. 分布式潮流控制器实时控制优化应用功能研究[J]. 浙江电力, 2021, 40(9): 55-61.
- [2] 刘国静, 祁万春, 黄俊辉, 等. 统一潮流控制器研究综述[J]. 电力系统及其自动化, 2018, 30(12): 78-86.
- [3] 陈子龙. 变电站一键顺控建设方案及实施要点[J]. 农村电气化, 2021(10): 33-35.

## 作者简介

黄建阳 (1990—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要工作方向: 电网自动化运维, E-mail: 279384281@qq.com.

(责任编辑: 袁航)



# 变电站综合自动化改造及安全管控分析

李志强\*, 李晶, 邓显俊, 王斌

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 随着科技的不断发展, 自动化改造成为提高变电站运行效率和有效性的有效手段。文章介绍变电站综合自动化改造流程及安全管控措施, 从而优化设备配置, 减少人工操作, 实现实时监测和调度功能, 提高工作效率。

**关键词:** 变电站; 综合自动化改造; 安全管控

中图分类号: TM766

## Comprehensive Automation Transformation and Safety Control Analysis of Substations

LI Zhiqiang\*, LI Jing, DENG Xianjun, WANG Bin

(XJ Electric Co., Ltd., Henan Xuchang 46100, China)

**Abstract:** With the continuous development of technology, automation transformation has become an effective means to improve the operational efficiency and safety of substations. The article introduces the comprehensive automation transformation process and safety control measures of substations. Thus optimizing equipment configuration, reducing manual operations, achieving real-time monitoring and scheduling functions, and improving work efficiency.

**Keywords:** substation; automation transformation; security control

变电站是电力系统中的重要组成部分, 其运行效率和安全性对整个电力网络的稳定运行至关重要。近年来, 随着科技的快速发展, 变电站综合自动化改造及安全管控成为电力行业的热门话题。如何基于现有技术实现变电站综合自动化改造及安全管控, 已成为变电站管理人员亟待解决的一大问题, 也是提高我国电力行业运营管理能力的重要方向。本文详细分析了变电站综合自动化改造及安全管控, 具体内容如下。

### 1 变电站综合自动化改造的基本原则

在改造过程中, 管理人员应着重考虑能效优化, 通过合理的设备配置和自动化控制, 提高变电站的电能利用效率, 减少能量损耗, 实现节能和环保。变电站是电力系统的核心环节, 任何改造都必须以确保安全稳定运行为前提。在改造中, 要充分考虑设备的可靠性、抗干扰能力和故障检测与隔离能力, 采取措施防止事故发生, 提高变电站的安全性和稳定性<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2023-11-20

随着电力系统的不断发展和需求的变化, 变电站须具备一定的灵活性和可扩展性。在改造中, 要充分考虑设备的通用性和互操作性, 采用模块化设计和开放式接口, 便于系统的升级和扩展, 满足未来的需求。

此外, 变电站综合自动化改造涉及多个子系统和设备, 需要协调统一的管理。在改造中, 应充分考虑系统的一体化和集成化, 实现设备间的互通互联和数据共享, 提高运维效率和管理水平<sup>[2]</sup>。

### 2 变电站综合自动化改造流程及安全管控

变电站综合自动化改造是为了提高变电站的自动化程度和运行效率, 保障电力系统安全稳定运行。改造过程包括多个环节, 涉及站内的保护屏、测控屏、直流系统、交流配电屏、同步向量测量系统、视频环境监控系统、二次公用等屏柜, 通信机房内的保护复接接口屏、场地部分端子箱、断路器汇控箱内原件即端子排、线路保护、断路器保护屏、母差保护屏、交流不间断电源系统、直流系统、智能录波器, 场地电缆沟二次接地铜排, 计算机监控系

统和线路故障测距装置。下面将详细介绍这些改造内容及其流程<sup>[3]</sup>。

针对保护屏的改造，应根据变电站的技术要求，选用先进的保护装置和控制设备，实现对高压设备的保护和控制功能。保护屏的改造包括更换老旧的保护装置、更新保护参数、重新设计保护逻辑和联锁逻辑，确保变电站的安全、可靠运行。同时，为了保障数据的准确性和稳定性，可采用高精度的数字式保护装置，并通过通信网络将保护屏和其他设备连接起来，实现信息的互联互通。

关于测控屏的改造，主要是替换老旧的测量仪器和控制设备，引入先进的数字测控装置。这些新设备可以更加准确地测量电压、电流、功率等参数，同时具备自动校准和自动报警功能，为变电站的运行管理提供更强大的数据支持。此外，可以将测控屏与其他系统进行联动，实现自动化的远程控制和监测。

针对直流系统的改造，主要是对直流屏进行升级和改造<sup>[4]</sup>。直流屏是变电站中重要的组成部分，用于供电和保护直流设备。改造的重点是更新直流屏的开关设备和控制系统，选用高可靠性、高精度的直流开关设备，通过智能控制系统实现对直流系统的远程控制和监测。

交流配电屏的改造主要是对变电站中的低压配电系统进行改造。通过更换现有的开关设备、保护装置和控制系统，提高配电系统的可靠性和安全性。同时，可引入智能型开关设备，实现对配电系统的远程监测和控制，提高变电站的运行效率。

在同步向量测量系统的改造中，须更新测量仪器和数据处理装置，以提高同步测量的准确性和可靠性。通过引入先进的同步向量测量装置，可实现对电压、电流、功率等参数的在线测量和分析，为变电站运行管理提供精确的数据支持<sup>[5]</sup>。

在视频环境监控系统的改造中，须更新监控摄像头、信号处理器和监控服务器等设备。通过引入高清晰度的摄像头和先进的图像处理技术，提高监控系统的画质和稳定性，实现对变电站关键区域的实时监控和录像<sup>[6]</sup>。

对二次公用等屏柜和通信机房内的保护复接口屏进行改造，目的是提升通信设备的性能和稳定

性。对于二次公用等屏柜，可以引入现代化的二次设备和控制系统，提高通信质量和可靠性。对于通信机房内的保护复接口屏，可以更新接口设备和控制软件，实现对保护和复接功能的全面控制和管理。

更换部分端子箱和断路器汇控箱内原件，应根据原有电路进行拆卸设备，确定新设备的型号和规格。然后根据新设备的安装要求，安装新的端子排，须注意新设备的线路连接方式、接线以及安装过程中的电气绝缘问题。最后进行检查和调试，确保每个设备的连接和信号传输正常<sup>[7]</sup>。

线路保护、断路器保护屏、母差保护屏是变电站中非常重要的设备，须精细施工和严格测试。在改造过程中，须准确地将原有的设备进行拆卸并安装新设备。在安装过程中，应仔细检查每个元件，包括母差变电器、电流互感器、电压互感器等，确保能够精确测量三相电流、电压、频率、相位等基础信息，并将测量数据通过接口输送到保护继电器，完成线路保护和断路器保护的工作。在设备安装完成后，须进行系统联调和测试，以确保保护装置能及时准确地检测出线路故障、断路器故障等问题，并能向系统发出相应的信号进行切断或切换<sup>[8]</sup>。

交流不间断电源系统、直流系统、智能录波器是综合自动化改造中非常重要的设备，首先确定系统的容量和规格，并根据系统要求进行安装和连接。在安装过程中，应注意每台设备的线路连接方式、安装位置、设备互通等问题，确保交流不间断电源系统和直流系统能够正常供电，并通过智能录波器对系统运行情况进行不间断记录，保证系统运行的稳定性、可靠性和监测功能。

在电气设备的改造中，电气绝缘问题是需要重点考虑的因素。为了提高设备的安全性和可靠性，在场地电缆沟中添加二次接地铜排将有助于提高设备的电气绝缘水平<sup>[9]</sup>。需要注意的是，在添加铜排前，应进行场地探测，确定电气绝缘状况；再设计铜排的位置和长度，确保跨步电压、触摸电压等电压等级满足标准规定。

计算机监控系统是综合自动化改造的重点，须对原有的系统进行重新设计和升级。在进行计算机

监控系统的设计时,应根据变电站的实际情况,将自动化设备、传感器、仪表和控制装置连接到计算机监控系统,实现对变电站设备状态、运行参数等信息的实时监测和数据采集。在安装计算机监控系统时,还应确保设备的布局、连接方式和数据传输的稳定性。同时,还应进行系统联调和测试,确保计算机监控系统与其他设备的正常通信和数据传输。

线路故障测距装置是用于测量电力线路故障发生位置的装置,对于大型变电站的自动化改造来说,线路故障测距装置是必不可少的。在改造过程中,应根据变电站的实际情况布置线路故障测距装置,并与其他保护设备进行连接。在连接过程中,须与线路保护装置、计算机监控系统等进行联调测试,确保故障测距装置能够准确计算故障点距离,并及时向系统发出警报。

在变电站安全管控方面,应采用现代化的监测设备和传感器,实时监测变电站各设备的状态参数和运行状况,通过数据分析和故障诊断,提前发现设备异常和故障风险,及时采取措施进行修复和预防。同时利用智能保护设备和自动化控制技术,实现对变电站各回路的快速断电和隔离,有效防止故障扩大和事故发生,保护设备和人员的安全。并结合数据云计算与人工智能技术,将变电站的运行数据通过云计算技术进行存储和分析,利用人工智能算法进行数据挖掘和预测,提供决策支持和优化方案,实现对变电站的智能管理和运维优化。

建立安全可靠的网络通信体系,能够实现对变电站的远程监控和控制,提高变电站运行的实时性和灵活性,减少人为操作和巡检,降低工作风险和成本。此外,采用多层次的数据安全和防护技术,包括物理安全措施、权限管理、数据加密和网络防火墙等,保障变电站运行数据的机密性、完整性和可靠性,防止数据泄露和网络攻击。

变电站安全管控采用应急响应与恢复技术,应通过建立完善的应急响应机制,及时发现并应对变电站突发状况,例如故障、灾害或恶意攻击等。同时,采用备份和恢复技术,确保系统数据的快速恢复和正常运行,减少服务中断时间和带来的影响。无论是变电站综合自动化改造还是安全管控,都应

根据相关法规和行业标准的要求进行规范化管理。这其中包括安全审计、合规评估、漏洞修复等工作,确保变电站的运行符合法规要求,且具备可持续发展能力。

除此之外,还应充分重视人员的培训和技能提升,确保操作人员具备必要的专业知识和技能,能够正确、安全地操作自动化系统。同时建立健全人员管理制度,确保操作人员行为符合规范,提高安全意识和责任意识。

### 3 结束语

综合自动化改造和安全管控旨在推进电力系统的智能化、数字化和可持续发展。通过充分利用先进技术和管理手段,不断提高变电站的安全性、可靠性和效率,为社会提供更加稳定和可靠的电力供应。这是一个不断追求创新和进步的过程,需要各界的共同努力。相信在不久的将来,变电站综合自动化改造和安全管控将迎来更加广阔的发展空间,助力构建更加智能和可靠的电网。

### 参考文献

- [1] 霍福国. 电气工程及其自动化的质量控制与安全管理[J]. 化学工程与装备, 2023(2): 205-206.
- [2] 袁丁, 付绕, 李存. 配电线路的自动化改造方案分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40(3): 280-282.
- [3] 芮文君. 发电厂中的电气二次设备自动化改造分析[J]. 电子技术, 2023, 50(1): 252-253.
- [4] 杨万琼. 关于电气工程及其自动化质量控制与安全管理的探讨[J]. 工程研究与实用, 2022, 42(3): 62-64.
- [5] 赵占国. 变电站自动化系统中的安全措施分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40(1): 156-157.
- [6] 王熠东, 刘立远. 110 kV 综合自动化变电站的电气二次设计分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(2): 127-129.
- [7] 王德贺, 张俊伟, 王婷, 等. 变电站安全帽自动清洗、烘干及存储一体化装置设计[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(5): 108-111.
- [8] 宋积琪. 变电站综合自动化系统的现场调试分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40(1): 166-167.
- [9] 包凤玲. 建筑电气工程施工中的质量控制及安全管理分析[J]. 中国建筑装饰装修, 2023(1): 142-144.

### 作者简介

李志强(1980—),男,本科,工程师,主要工作方向:电力系统自动化, E-mail: 1905833275@qq.com.

(责任编辑:袁航)



# 基于问题分类分级农村配电网项目 精准投资策略研究

杨毅\*, 李泽

(国网四川巴中供电公司, 四川 巴中 636000)

**摘要:** 农村配电网供区地域分散、地形复杂, 运行环境呈现差异化、多元化等特点, 本文通过对农村配电网“低电压”、重过载、安全隐患等问题分析, 采取多维度对问题进行量化评价, 建立以供电分区、乡村振兴、电网现状问题等级、经济发展等指标为评价维度的项目排序体系, 切实提升农村配电网精准投资管理水平。

**关键词:** 问题等级评价; 多维响应排序; 农村配电网; 精准投资

中图分类号: TM727

## Research on Precision Investment Management Strategy of Rural Distribution Network Project Based on Classified and Graded Problem

YANG Yi\*, LI Ze

(State Grid Sichuan Bazhong Power Supply Company, Sichuan Bazhong 636000, China)

**Abstract:** The supply area of rural distribution network is geographically dispersed and topographically complex, resulting in a differentiated and diversified operational environment. This paper employs a multidimensional approach to evaluate issues such as low voltage, heavy overload, and hidden safety risks in the rural distribution network. A project ranking system is established with evaluation dimensions including power supply zoning, rural revitalization, power grid status problem level, economic development, and other indicators. The ultimate objective is to improve the level of precision investment management.

**Keywords:** grade evaluation of the problem; multidimensional sorting; rural distribution network; precision investment

## 0 引言

农村配电网地域分散, 地形复杂, 10 kV 及以下配电网运行环境呈现差异化、多元化等特点<sup>[1]</sup>。为切实提升农村配电网精准投资管理水平, 在贯彻执行 DL/T 5729-2016《配电网规划设计技术导则》的基础上, 通过对现有电网问题摸排, 全面梳理“低电压”、重过载、安全隐患等问题, 通过运用数据挖掘和分析方法, 构建问题等级评价体系, 建立以供电分区、乡村振兴、电网现状问题等级、经济发展等指标作为评价维度的项目排序体系, 确保该体系对农村配电网具有充分的适用性及可操作性<sup>[2-3]</sup>。以农村配电网实际情况作为基础参数, 在获得评价结果的基础之上, 通过聚类分析等统计学研究方法, 逐一对每个项目进行评价、归类, 最终形

收稿日期: 2023-05-31

成多维响应项目排序成果体系, 为提升农村配电网投资精准化水平提供有力支撑。

## 1 问题等级评价指标体系研究

### 1.1 农网配电网分类分级问题库

以供电所为单元, 逐线、逐台区梳理农村配电网“低电压”、卡脖子、重过载、安全隐患、频繁投诉等问题<sup>[4]</sup>, 多维度对问题进行量化评价, 同时按照轻重缓急形成Ⅲ类、Ⅱ类、Ⅰ类问题库(Ⅲ类问题最为严重、Ⅰ类问题最轻)。结合农村配电网现状情况, 建立分类分级问题标准库如表 1 所示。

### 1.2 项目排序综合评估指标体系

结合农村区域电网发展实际情况, 从紧迫性、重要性、政策性 3 个方面建立综合评价指标体系, 确保电网项目指标的实用性和可操作性, 通过运用 G1 法求解评价体系中各指标权重。

表1 农村配电网问题分类分级标准

| 问题类型       |           | 严重程度                   |                         |                     |
|------------|-----------|------------------------|-------------------------|---------------------|
|            |           | I类                     | II类                     | III类                |
| 10 kV主干线问题 | 重过载       | 80%>最大负载率≥70%          | 100%>最大负载率≥80%          | 最大负载率≥100%          |
|            | 主干线线径偏小   | 主干线线径较小且最大负载率>70%且<80% | 主干线线径较小最大负载率≥80%且<100%  | 主干线线径较小最大负载率≥100%   |
|            | 10 kV高跳线路 |                        | 年跳闸次数4~6次               | 年跳闸次数超6次            |
|            | 安全隐患      |                        |                         | 存在安全隐患问题            |
|            | 分段不合理     | 分段数>5                  | 分段数<3                   |                     |
| 台区电网问题     | 配变重过载     |                        | 100%>最大负载率≥80%          | 最大负载率≥100%          |
|            | 台区出口“低电压” |                        |                         | 台区出口电压低于198 V       |
|            | “低电压”用户   | 台区低压户数<5户              | 15户>台区低压户数≥5户           | 台区低压用户数≥15户         |
|            | 配变高损      | S7以下及运行年限<10年          | 20年>S7以下及运行年限≥10年       | S7以下及运行年限≥20年       |
|            | 低压存在安全隐患  | 问题线路长度占台区线路总长占比<20%    | 50%>问题线路长度占台区线路总长占比≥20% | 问题线路长度占台区线路总长占比≥50% |
|            | 投诉        |                        |                         | 存在投诉（投诉次数>0次）       |
|            | 运行年限过长    | 大于设计年限（介于20~25年）       | 大于设计年限（介于25~30年）        | 大于设计年限（≥30年）        |

### 1.2.1 紧迫性

紧迫性指标主要体现项目安排的紧急程度，对于解决供电能力、安全性、电压质量等问题的项目，按照轻重缓急程度分3阶段分别进行解决，首先安排解决III类问题项目，其次解决II类问题项目，最后安排解决I类问题项目。

### 1.2.2 市场性

市场性指标主要考虑用电需求差异化程度，一是自然资源，即项目所在地人口对市场发展潜力影响作用；二是区域经济发展水平，反映区域社会经济发展建设水平及用电需求发展潜力；三是农村发展定位，乡镇规模等级、特色产业等都是影响用电需求水平的重要评价指标。

### 1.2.3 政策性

政策性指标是指项目安排充分考虑公司发展目标，紧密围绕当前电网建设重点，服务乡村振兴战略，服务民生以及社会经济发展，切实履行服务经济社会发展的企业责任。

因此，本文结合农村配电网特点，选取1级指标3项、2级指标5项、3级指标18项作为农村配电网项目排序综合评估指标体系，具体评估体系如表2所示。

表2 农村配电网项目排序综合评估指标体系

| 1级指标  | 2级指标    | 3级指标           |
|-------|---------|----------------|
| 紧迫性A1 | 供电能力A21 | 重过载配变A31       |
|       |         | 重过载10 kV线路A32  |
|       |         | 出口侧存在低电压台区A33  |
|       | 供电质量A22 | 低电压用户A34       |
|       |         | 投诉情况A35        |
|       |         | 高损配变A36        |
|       | 装备水平A23 | 配变运行年限A37      |
|       |         | 中压安全隐患A38      |
|       |         | 低压安全隐患A39      |
|       |         | 主干线线径偏小A40     |
|       |         | 分段不合理A41       |
|       |         | “高跳”10 kV线路A42 |
| 市场性B1 | 用电需求B21 | 自然资源B31        |
|       |         | 区域经济发展水平B32    |
|       |         | 农村发展定位B33      |
| 政策性C1 | 乡村振兴C21 | 市级重点C31        |
|       |         | 县级重点C32        |
|       |         | 区镇重点C33        |



由于农村配电网项目综合评估指标较多，而G1法便于数量较大权重指标比较，有效避免层次分析法中两两判断矩阵的计算和一致性检验问题<sup>[5-6]</sup>。因此，本文选取G1法作为指标权重计算方法，并得到各级指标的权重比例标度如表3所示。

表3 农村配电网项目各级指标权重

| 1级指标  | 2级指标    | 3级指标                 |                    |
|-------|---------|----------------------|--------------------|
| 紧迫性A1 | 供电能力A21 | 重过载配变A31(0.181)      |                    |
|       |         | 重过载10 kV线路A32(0.119) |                    |
|       | 供电质量A22 | 出口侧存在低电压台区A33(0.058) |                    |
|       |         | “低电压”用户A34(0.039)    |                    |
|       |         | 投诉情况A35(0.053)       |                    |
|       | 装备水平A23 | 高损配变A36(0.02)        |                    |
|       |         | 配变运行年限A37(0.011)     |                    |
|       |         | 中压安全隐患A38(0.015)     |                    |
|       |         | 低压安全隐患A39(0.014)     |                    |
|       |         | 主干线线径偏小A40(0.016)    |                    |
|       | 市场性B1   | 用电需求B21              | 自然资源B31(0.042)     |
|       |         |                      | 区域经济发展水平B32(0.167) |
|       |         |                      | 农村发展定位B33(0.091)   |
| 政策性C1 | 乡村振兴C21 | 市级重点C31(0.074)       |                    |
|       |         | 县级重点C32(0.05)        |                    |
|       |         | 区镇重点C33(0.026)       |                    |

表4 紧迫性指标综合评估体系评分标准

| 指标   | 总分值           | 分值  |
|--|---------------|-----|
| 重过载配变A31、重过载10 kV线路A32、低电压用户A34、高损配变A36、配变运行年限A37、低压安全隐患A39、主干线线径偏小A40 | 解决Ⅰ类问题        | 75  |
|  | 解决Ⅱ类问题        | 100 |
|  | 解决Ⅲ类问题        | 60  |
| 出口侧存在“低电压”台区A33  | 出口侧存在“低电压”    | 100 |
| 投诉情况A35  | 存在投诉（投诉次数>0次） | 100 |
| 中压安全隐患A38  | 中压存在安全隐患      | 100 |
| 分段不合理A41   | 解决Ⅰ类问题        | 60  |
|  | 解决Ⅱ类问题        | 75  |
| “高跳”10 kV线路A42   | 解决Ⅱ类问题        | 75  |
|  | 解决Ⅲ类问题        | 100 |

表5 市场性指标综合评估体系评分标准

| 评分依据                | 对应评分 |
|---------------------|------|
| 对农村居民用电需求水平提升作用极为明显 | 5    |
| 对农村居民用电需求水平提升作用一般   | 3    |
| 对农村居民用电需求水平提升几乎没有作用 | 1    |
| 上述相邻评分依据的中间水平       | 2、4  |

表6 政策性指标综合评估体系评分标准

| 评分依据     | 对应评分 |
|----------|------|
| 市级乡村振兴重点 | 100  |
| 县级乡村振兴重点 | 75   |
| 乡镇乡村振兴重点 | 60   |

## 2 项目排序综合评估指标体系应用

本次研究将运用上述指标权重分析结果，对农村用电需求进行量化分析，分别对紧迫性、市场性、政策性指标打分。结合农村配电网问题分类分级标准，紧迫性指标具体评分标准如表4所示。

将各项评估指标对农村居民用电需求水平影响程度作为市场性指标评价判据，市场性指标评分标准如表5所示。

将改造村纳入市、县、镇（乡）乡村振兴情况作为政策性指标评价判据，政策性指标的具体评分标准如表6所示。

通过项目排序综合评估指标体系应用，对紧迫性、市场性、政策性指标下的各三级指标进行打分，根据G1法的基本原理，经权衡比较后给出项目得分，以此作为项目排序的依据。

## 3 案例分析

工程概况：某村现有配变7台、容量360 kV·A，用户404户，户均配变容量0.89 kV·A，现配变容量已经无法满足日益增长用电需求。规划新建及改造10 kV线路5.395 km，新建及改造配变6台，容量600 kV·A，新建及改造低压线路24.17 km。

### 3.1 紧迫性指标评价

该村重载配变 6 台，占该村比例为 85.71%，根据问题分级，均属于 II 类；高损配变 1 台，占该村比例为 14.28%，属于 II 类问题；存在“低电压”用户 184 户，占该村比例为 44.54%，属于 III 类问题；线经偏小及存在安全隐患线路长度为 21.5 km，占比达 84.61%，属于 III 类问题。结合表 3 农村配电网项目各级指标权重及表 4 紧迫性指标综合评估体系评分标准，得到重载配变得分 6.788 分，“低电压”用户指标得分 1.95 分，低压安全隐患指标得分 0.7 分，高损配变指标得分 0.125 分，运行年限过长得分 0.248 分，综合该项目紧迫性指标最终得分 9.811 分。

### 3.2 市场性指标评价

该村供电人口 1804 人，占供区人口比例为 0.07%；户均用电量为 604 kW·h，2016—2020 年电量年均增长率为 4.39%。该村农村发展定位为特色加工（旅游产品、农副产品加工）的中心镇。依据该村实际数据，结合表 3 农村配电网项目各级指标权重及表 5 市场性指标综合评估体系评分标准，得到自然资源得分 1.075 分，区域发展经济水平得分 1.253 分，农村发展定位 3.647 分，综合该项目市场性指标最终得分 5.975 分。

### 3.3 政策性指标评价

从投资重点指标看，为乡镇级乡村振兴服务的重点村，结合表 3 农村配电网项目各级指标权重及表 6 政策性指标综合评估体系评分标准，综合该项目政策性指标最终得分 1.56 分。

综合项目上述子指标得分，项目最终得分 17.346 分。对储备库中的所有项目依次打分，根据得分高低确定各项目的建设时序，从而为农村配电网精准投资提供决策依据。

## 参考文献

- [1] 杨姘, 谢彬, 王海蓉, 等. 基于项目排序系统的乡镇低压配电网投资策略研究[J]. 供用电, 2021, 38(7): 63-71.
- [2] 王泽祺, 刘友波, 沈晓东, 等. 考虑风险测度的配电网精准投资项目优选模型[J]. 电网技术, 2021, 45(1): 216-226.
- [3] 邹杨, 王玉静, 燕磊, 等. 提升配电网投资决策精准性的研究及实践[J]. 国网技术学院学报, 2020, 23(4): 46-47, 51.
- [4] 何颀, 孙文兵, 胡成恩, 等. 基于数据挖掘技术的配电网精准投资策略分析[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(8): 220-

221.

- [5] 曾如明, 李云飞. 基于改进的 G1 法和主成分分析相结合的 K-means 聚类[J]. 长春师范大学学报, 2021, 40(6): 10-15.
- [6] 王梦. 基于 G1 云模型的企业岗位等级综合评价[J]. 化工管理, 2021(18): 17-18.

## 作者简介

杨毅 (1989—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 电力系统规划, E-mail: 348122460@qq.com.

李泽 (1989—), 男, 大学本科, 主要研究方向: 配电网评估、规划, E-mail: 420761107@qq.com.

(责任编辑: 张峰亮)

## 资讯

### 湖北武汉公司: 应用光伏声屏障服务绿色城市建设

2023 年 12 月 8 日, 在湖北武汉青山区友谊大道新建高架路段声屏障施工现场, 约 300 m 高的黑色光伏声屏障替代了传统的亚克力声屏障。这是湖北省首次尝试在城市高架桥路段上试点安装的清洁能源设备。

在道路两侧设置声屏障, 是减少城市道路噪音、给市民提供安静环境的有效措施。友谊大道新建高架桥上使用具备光伏发电功能的声屏障模块替代了传统的亚克力声屏障。光伏声屏障在满足隔声降噪的同时又兼具发电功能, 所发的电可供充换电站等设施使用, 余电可上网, 比传统的声屏障设备更节能、更环保。

该项目是国网武汉供电公司会同武汉城建集团等单位, 共建城市智慧交通开展的首批城市高架桥光伏声屏障安装试点之一。从 2022 年 11 月开始, 国网武汉供电公司联合多家单位, 对该项目开展可行性研究和设计, 基于方案图纸和现场施工方案多次对现场踏勘, 并对光伏材料多次对比选择, 采用了光伏发电组件替代传统的封闭声屏障的南侧立面的亚克力透光板, 并组织专业技术骨干现场督导安装质量、施工安全, 积极协调确保施工进度和项目顺利运行。

国网武汉供电公司将逐步在全市多个高架桥路段推广、安装光伏声屏障, 服务城市智慧交通建设和绿色能源的多领域应用。

信息来源: 国网湖北省电力有限公司

# 10 kV 杆塔基础在复杂沙质土层的施工技术研究

张 良<sup>1\*</sup>, 赖伟强<sup>2</sup>, 李浩辉<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉), 武汉 洪山 430070; 2. 广东电网有限责任公司肇庆四会供电局, 广东 肇庆 526000)

**摘要:** 随着10 kV 配电网网架地不断向农村地区发展, 农村配电网升级改造也迎来更高的可靠性和安全性, 文章以某110 kV 变电站10 kV 某线路改造工程为例, 重点阐述10 kV 配网杆塔基础施工, 遇到复杂的沙质地质且无法变更杆塔位置时, 所进行的施工技术优化改进。

**关键词:** 配电网; 杆塔基础; 流沙地质; 技术优化

中图分类号: TM727

## Research on Construction Technology of 10 kV Tower Foundation in Complex Sandy Soil Layer

ZHANG Liang<sup>1\*</sup>, LAI Weiqiang<sup>2</sup>, LI Haohui<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hongshan 430070, China; 2. Guangdong Power Grid Co., Ltd. Zhaoqing Sihui Power Supply Bureau, Guangdong Zhaoqing 526000, China)

**Abstract:** With the continuous development of the 10 kV distribution network in rural areas, the upgrading and renovation of rural distribution networks have also ushered in higher reliability and safety. This article takes the 10 kV tower line renovation project of the 110 kV Dongping Station in Sihui, Zhaoqing as an example, focusing on the construction of the 10 kV distribution network tower foundation. When encountering complex sandy geology and unable to change the tower position, the construction technology optimization and improvement are carried out.

**Keywords:** distribution network; tower foundation; quicksand geology; technical optimization

某110 kV 变电站10 kV 线路改造工程主要是将原10 kV 线路的JL/GIA-70/10 架空导线换成JL/GIA-240/30 架空导线, 原线行下增加部分杆塔使旧线路升级改造后的受力及弧垂满足规范要求。而增加的10 kV 杆塔基础施工中, 出现了复杂沙质地质, 导致人工开挖杆塔的基础施工被迫中止。针对工程所在的复杂沙质地质, 简要分析比选杆塔基础杆塔的施工技术工艺, 重点阐述本工程采用的井箍围挡、人工配合抽水开挖、套筒成形的施工技术方案在复杂沙质地质中的实践应用, 供交流参考。

### 1 工程概况及设计要求

杆塔杆洞采用直挖埋设方式, 回填土分层夯实, 每回填300 mm 厚度夯实一次, 坑口的地面上应筑防沉层, 防沉层的上部边宽不得小于坑口边宽, 其高度视土质夯实程度确定, 一般以300~500 mm 为宜。回填土经过沉降应及时补填夯实, 在工程移交时坑口回填层应不低于地面。如果坑位地质不良, 应配合使用底盘、卡盘, 对于部分地质差的情况则

收稿日期: 2023-10-18

杆塔采用混凝土杆杯基础。

施工时在杆塔杆洞开挖发现流沙及淤泥土质且地下水位高, 根据施工作业指导书采用掏挖基坑开挖适用于土质较好且地下水位低于基础底面。原设计地质为普土80%、坚土20%, 适用该方法开挖, 在开挖至约0.6 m 出现地下水, 土质出现流沙、淤泥等, 无法继续采用直接掏挖方式开挖, 坍塌风险大。

现场附近为经济农作物地带, 位置的小调整无法避免地质的情况。如果进行大位置的调整, 涉及的方面更多, 如河渠的路径须得到水利部门的同意; 或者修改线行至跨山路段, 首先是青赔难度大, 涉及的山上产业农业复杂, 然后各个支线也须通过该经济地段的连接, 部分会绕过民房地带, 使得线行更加复杂, 更加难以实施。所以综合考虑本工程线行几乎为最佳路线。

### 2 杆塔基础施工技术分析

根据现场环境勘查以及施工队开挖出来后的土质分析, 发现该地质为流沙地带, 通过走访附近居



民,发现该地区以前为河流,流沙地质情况严重,土地渗水情况严重,针对该情况,设计院提供了3种处理方式。

因杆塔位置位于田里,流沙情况严重,按照正常人工开挖会导致流沙坍塌,无法达到设计的电杆深度要求。首先可以采用挖机进场开挖,须将电杆位置开挖扩大范围,大约 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 的范围;然后在四周每隔 $50\text{ cm}$ 打一个松木桩和用沙包围堰形成一个 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的护坡固定,同时须在底部每隔 $40\text{ cm}$ 打一个松木桩,在松木桩上面制作C15混凝土垫层,保证地面不下沉;最后在护坡中间采用普通杆杯基础立杆。但是这种电杆多数位于经济农作物地带,对于挖机的进场作业,须要开通挖机进场的便道,该方式需大量的青赔而且耗时耗力,并且该处理方式造价较高,约为4.5万元/座。

针对这种情况提出另一种方案:首先对于流沙不是很严重的地带比如一些稻田路边或者中心渠边有混凝土挡土墙的情况下,直接采用套筒基础的模式,施工队开挖后将套筒放入开挖的杆洞中,在立完电杆后,灌入混凝土浇筑套筒同时将套筒周围须用原土回填夯实,保证电杆的固定。该方案造价约为0.35万元/座。

对于一些流沙严重地质而且无法深挖下去的情况,比如以前河流地方,在流沙或者渗水较严重的部分地带,则是第3种方式,就是采用井箍基础,首先施工队须在市场上购买6个 $0.33\text{ m}$ 深度、直径 $1\ 000\text{ mm}$ 、厚度 $0.06\text{ m}$ 的带钢筋井箍。挖出一个较浅的坑,约 $50\text{ cm}$ ,因电杆附近流水严重,须边开挖边抽水,挖好杆塔坑之后将第一个井箍放下去,同时将套筒放置下去,采用人工开挖方式,当开挖到一定程度后井箍会下沉,同时井箍也会隔离流沙,防止塌方在这样连续作业放6个井箍,达到设计的杆塔深度要求后,在最下面开始放底盘,安装双壁波纹管,在井箍内浇筑C20混凝土固定双壁波纹管,同时在露出地面 $0.6\text{ m}$ 时也必须浇筑C20混凝土固定电杆,在混凝土露出部分周围采用 $45^\circ$ 的原土夯实,达到套筒固定而且没有塌方的情况,完成杆塔基础施工。如图1所示,该方案造价约为0.7万元/座。

### 3 杆塔基础的施工技术方案与工艺要点

该工程因为是旧线行升级改造,基础位置的施工时,遇到复杂的沙质地质,又无法变更杆塔位置

时,只能采取上述方案3,施工单位根据设计方案制定了优化施工方法。

根据设计图纸复测定位电杆位置,以电杆定位点为圆心,直径 $1.8\text{ m}$ 开挖,在开挖至 $0.3\text{ m}$ 深度时,采用直径 $1\ 000\text{ mm}$ 井箍基础,将井箍平放至开挖坑洞内,放置井箍时随时注意坑洞塌方,采用4人平抬的方式放置。放置到位后调整井箍位置,保持圆心点在电杆中心。

布置自吸污水泵,将开挖基坑内余水排出。采用人工沿井箍内壁均匀往下开挖,利用流沙土质特性,当开挖到一定程度时井箍自动下沉,类似沉井基础,采用该方案可以有效防止土方坍塌,加固基础。根据井箍下沉方向及平整度调整开挖位置,保持井箍垂直下沉。以此类推开挖一个井箍深度后,放置另一个井箍,直至达到6个井箍深度,即达到设计开挖深度。在开挖过程中污水泵须连续运转,增加地下水流动性保证井箍顺利下沉,若在开挖过程中发现下层土质发生变化,遇到石子、粘土等土质时采用人工搅动基坑内,放慢开挖速度,还可采用水冲法将石子、粘土冲刷掏挖出来。

达到开挖深度后,申请监理单位验坑,验收合格放置底盘,在放置底盘前应再次确认开挖深度是否达到设计标准误差,放好底盘后立即在底盘中心位置安装双壁波纹管,波纹管采用DN300为宜,安装好后应做好波纹管压重及临时固定措施,将井箍内水排出,采用C20混凝土浇筑固定双壁波纹管。在放置底盘及安装双壁波纹管时应保持基坑内有水,与地下水位持平,防止流沙从底部冒出,降低基坑深度,因基坑内水源充足,采用的C20混凝土应在预拌时尽量控制水的用量,在浇筑过程中每隔 $0.3\text{ m}$ 振捣一次,保证浇筑质量及混凝土强度,待混凝土达到初凝强度即可拆除波纹管压重及临时固定措施。该施工过程应在 $2\text{ h}$ 内完成,因可能的流沙上冒,在开挖至设计深度时应再加深开挖 $0.1\text{ m}$ ,防止杆坑深度不足的缺陷。

立杆后,做好校杆及临时固定措施,在井箍以上 $0.6\text{ m}$ 安装 $1.2\text{ m} \times 1.2\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ 杆杯模板,对双壁波纹管及杆杯进行二次浇筑,在浇筑前应将双壁波纹管余水抽出,在浇筑过程中每隔 $0.3\text{ m}$ 振捣一次,保证浇筑质量及混凝土强度。待混凝土达到初凝强度即可拆模,对露出混凝土部分周围采用

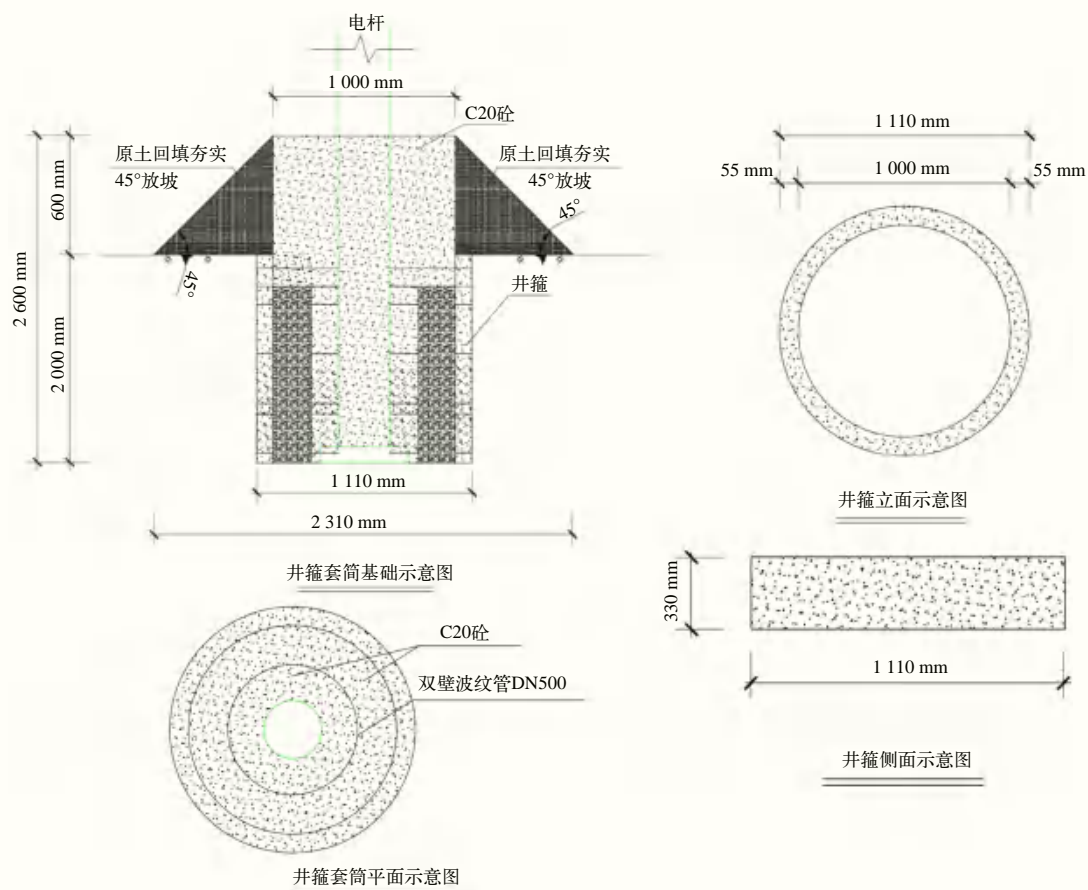


图1 井箍施工方案设计图

45%的原土回填夯实,若原土达不到回填夯实标准,应采用红松土等土质较好的材料回填夯实。

待混凝土达到终凝强度后即可拆除电杆临时固定措施,该基础即完成所有工序可以投入使用。

#### 4 新施工技术的安全管控要点

放置第一个井箍时,要保证井箍在电杆中心,否则后续的井箍会跟着偏离中心。放井箍到洞内时,作业人员不能站在洞内。

自吸污水泵不建议使用电动式,避免发生漏电,可以使用汽油泵。沿井箍内壁往下开挖过程中,必须沿壁内以圆弧的方式均匀开挖,不能集中挖某个方向,避免井箍倾侧。开挖过程井箍下沉时,应及时调整方向和平整度,保证底层井箍和上层井箍均匀沉降。开挖过程一定要有人在杆坑外监护,现场要备有安全绳,开挖过程如果遇有突变快速流沙,要首先保证杆洞内作业人员人身安全。

越往下挖,地质可能越复杂多变,如果开挖达

不到设计深度,应及时通知设计,商量处理方案。安装双壁波纹管 and 浇筑混凝土时,要保证波纹管在底盘中心位置。

要求先做杆杯基础然后再立电杆,并且要复测深度满足设计图要求才能组立电杆。

#### 5 结束语

通过这次项目施工,发现设计人员对于地质这方面的知识技术掌握不够。针对该情况,设计院邀请地质专家对设计人员进行一些必要的培训,使得设计人员在对待地质方面知识上有所补充和进步,避免以后再出现该情况。在今后的项目审查中,校核和审图人员应对地质方面严格审查把关,对于一些不确定的地质情况,须对项目选点进行专业的地址勘测,保证地质的准确性。

#### 作者简介

张良(1989—),男,硕士研究生,高级工程师,研究方向:电力建设、工程管理, E-mail: oraclestar@163.com。

(责任编辑:张峰亮)



# 超高压电网 500 kV 线路接地刀闸 防误闭锁原理及典型问题分析

严太山<sup>1\*</sup>, 房雪雷<sup>2</sup>, 李炎<sup>3</sup>, 朱涛<sup>4</sup>, 宋仁杰<sup>5</sup>, 洪文慧<sup>1</sup>

(1. 国网安徽省电力有限公司合肥供电公司, 安徽 合肥 230000; 2. 国网安徽省电力有限公司培训中心, 安徽 合肥 230000; 3. 国网安徽省电力有限公司超高压分公司, 安徽 合肥 230000; 4. 国网安徽省电力有限公司安庆供电公司, 安徽 安庆 246000; 5. 国网安徽省电力有限公司宣城供电公司, 安徽 宣城 242000)

**摘要:** 接地刀闸防误闭锁回路是否正确对电网倒闸操作安全性至关重要, 围绕超高压电网变电站中500 kV 线路接地刀闸防误闭锁问题, 研究不同情况下的线路接地刀闸逻辑闭锁与电气闭锁原理, 并针对变电站安全生产中出现的线路接地刀闸防误闭锁问题, 提出将电压互感器二次空开辅助接点串入闭锁回路、升级测控装置等措施, 提升线路接地刀闸防误闭锁功能的可靠性。

**关键词:** 接地刀闸; 超高压电网; 逻辑闭锁; 电气闭锁

中图分类号: TM773

## Analysis of 500 kV Line Grounding Switch Miss Operation Blocking in Ultra-high Voltage Power Grid

YAN Taishan<sup>1\*</sup>, FANG Xuelei<sup>2</sup>, LI Yan<sup>3</sup>, ZHU Tao<sup>4</sup>, SONG Renjie<sup>5</sup>, HONG Wenhui<sup>1</sup>

(1. State Grid Hefei Electric Power Supply Company, Anhui Hefei 230000, China; 2. Training Center of State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Anhui Hefei 230000, China; 3. Ultra high Voltage Branch of State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Anhui Hefei 230000, China; 4. State Grid Anqing Electric Power Supply Company, Anhui Anqing 246000, China; 5. State Grid Xuancheng Electric Power Supply Company, Anhui Xuancheng 242000, China)

**Abstract:** The correctness of miss operation blocking for grounding switch, is important to ensure the safety of switching-operation in power grid. This paper focuses on the problem of miss operation blocking for grounding switch in ultra high voltage power grid substation, and the principle of the logic blocking and electrical blocking for line grounding switch, under different conditions. Finally, the solutions are proposed to improve the reliability of miss operation blocking, such as series electrical circuit of voltage transformer, upgrade measurement-control device, and other measures.

**Keywords:** grounding switch; ultra high voltage power grid; logic blocking; electrical blocking

为防止倒闸操作中操作人员不熟悉现场设备、操作风险预控不到位、误入带电间隔等原因造成误操作, 在超高压电网中, 依托智能监控、信息传输及可视化技术, 广泛采用了具备全站防误闭锁逻辑可视化功能的监控一体化“五防”系统<sup>[1-2]</sup>。但由于设备老旧、防误闭锁回路不完整等因素, 造成站内部分设备防误功能不完整、不可靠等问题<sup>[3-4]</sup>, 尤其是对于超高压变电站中 500 kV 线路接地刀闸, 如何根据其防误隐患缺陷, 制定有效措施及规范运维验收管理, 是目前超高压变电站安全生产现场重点关

收稿日期: 2023-05-31; 修回日期: 2023-07-27

注的问题。

### 1 500 kV 系统接线

如图 1 主接线图所示, 500 kV 系统采用 3/2 接线方式, 共有主变 2 台, 500 kV 断路器 10 台, 出线 4 回, 其中线路 3 间隔配置有融冰刀闸, 每回线路出线侧均有三相电压互感器及避雷器。

### 2 500 kV 线路接地刀闸逻辑闭锁

对于 500 kV 线路接地刀闸来说, 其逻辑闭锁除了与该地刀直接电气相连的刀闸相关外, 还须满足

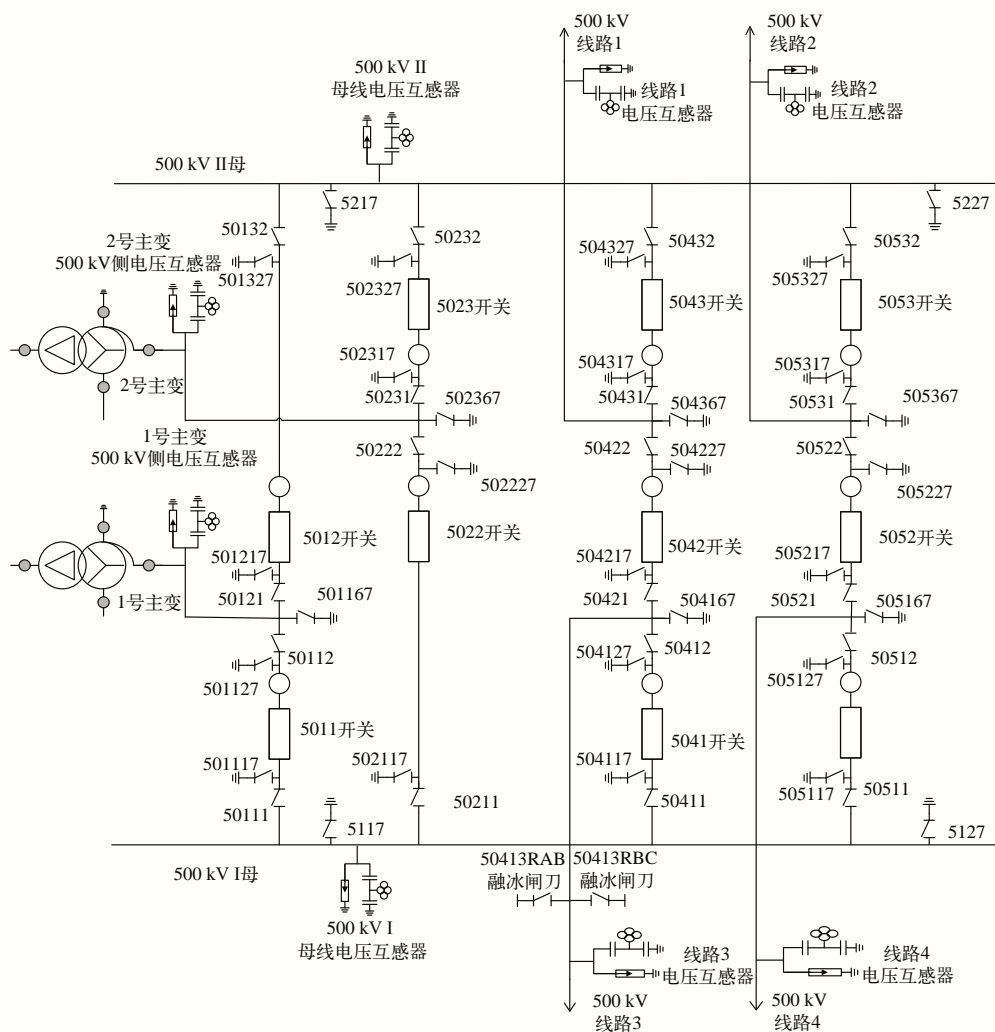


图1 500 kV 系统主接线图

线路无压的判定条件。对于敞开式的常规变电站，在线路电压互感器端子箱内，一般有保护电压、测量电压、故障录波器二次电压空气开关；对于智能变电站，在边开关的智能组件柜内也配置有满足相应功能需要的保护及测量二次电压空气开关。若在线路正常运行状态下，电压互感器二次电压空气开关断开，则测控及监控后台采集的线路电压为零，而实际线路二次电压为正常值 100 V（二次值）。因此，对于线路无压判别的与门条件中时，必须加入二次空开为合位的位置条件，防止在线路有压时，误判为线路无压，造成带电合线路接地倒闸的误操作风险。

根据线路有无配置三相电压继电器，500 kV 线路接地刀闸防误操作逻辑闭锁中的无压判别条件也存在差异。

## 2.1 未配置电压继电器的线路接地刀闸防误逻辑

对于常规变电站，线路电压互感器二次电压空气开关的分合位置是通过辅助接点将位置信号以电缆开入至测控，测控装置通过 MMS 网传输至监控后台，实现二次电压空气开关位置的实时采集。

由于线路侧未配置电压继电器，线路无压的判断只能由测控装置通过电压遥测值的大小实现判别。最典型的判别方式为测控将实时采集的二次电压与设定无压的门槛值（通常取 65% 额定电压）比较，并将比较结果转化为虚遥信传输至监控后台，作为监控后台判定线路无压的依据。对于新一代监控“五防”系统，根据测控装置上传的二次电压数据，可直接通过预设的内部程序判断线路是否满足无压条件，并将判定结果纳入后台“五防”逻辑规则运算中。

因此，未配置电压继电器的线路接地刀闸防误操作逻辑闭锁条件，与其电气直接相连的刀闸在分闸位置、电压互感器二次空开合位、线路无压，以500 kV 线路1 间隔 504367 接地刀闸为例，其逻辑规则如图 2 所示。

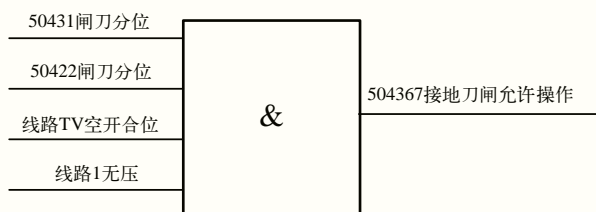


图2 504367 接地刀闸逻辑闭锁规则

### 2.2 带电压继电器的线路接地刀闸防误逻辑

500 kV 线路电压继电器一般配置在空开下端口，如图 3 所示，图中 3ZKK 为电压互感器二次空开，1YJ、2YJ、3YJ 为线路三相电压继电器。当空开 3ZKK 断开，电压继电器失压，测控采集二次电压值为 0 V。因此，只有在 3ZKK 处于合位状态，电压继电器采集电压才是有效电压数据，在线路接地刀闸操作逻辑闭锁条件中必须加入二次空开状态来判别线路无压。

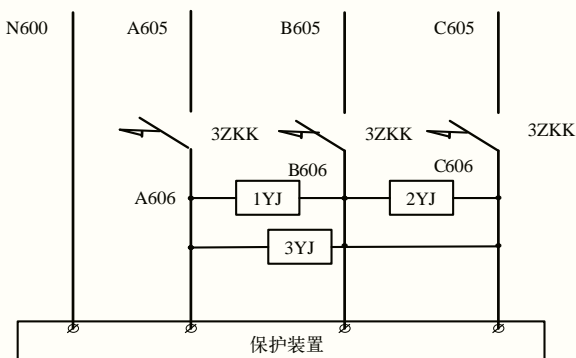


图3 500 kV 线路电压继电器接线原理图

以图 1 中 500 kV 线路 4 间隔 505167 接地刀闸为例，其逻辑规则如图 4 所示。

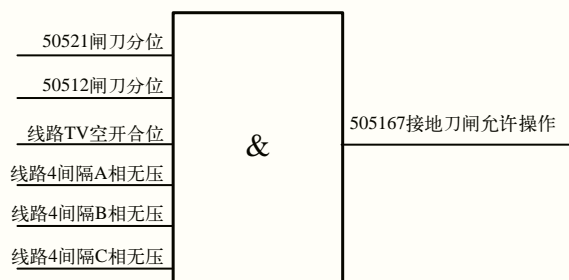


图4 505167 接地刀闸逻辑闭锁规则

## 3 500 kV 线路接地刀闸电气闭锁

在 500 kV 线路接地刀闸电气闭锁方面，智能变电站由于线路配置有带电显示器，无须再单独装设线路电压继电器。因此，智能变电站线路接地刀闸控制回路中的电气闭锁实现方式与传统敞开式变电站也存在不同之处。

### 3.1 敞开式变电站接地刀闸电气闭锁回路

对于不带电压继电器的线路，线路接地刀闸控制回路中的电气闭锁部分，一般由直接电气相连的两把刀闸常闭辅助接点串联构成。以接线图中 500 kV 线路 1 间隔 504367 接地刀闸为例，当 50431 和 50422 刀闸处于分闸位置，且刀闸对应三相辅助接点发生相应变位，504367 接地刀闸才能通过电气闭锁控制。其电气闭锁回路如图 5 所示。其中，50431DSa 代表 50431 刀闸 A 相辅助接点，50431DSb 代表 50431 刀闸 B 相辅助接点，50431DSc 代表 50431 刀闸 C 相辅助接点，50422DSa 代表 50422 刀闸 A 相辅助接点，50422DSb 代表 50422 刀闸 B 相辅助接点，50422DSc 代表 50422 刀闸 C 相辅助接点。

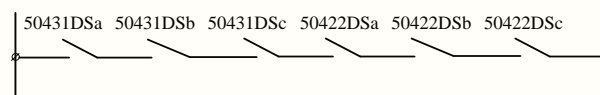


图5 504367 接地刀闸电气闭锁回路

若线路电压互感器端子箱内带有三相电压继电器，在接地刀闸电气闭锁回路中还应加入电压继电器的常闭辅助接点，其意义在于，只有当线路三相无压，三相电压继电器对应的常闭辅助接点闭合，与其直接电气相连的两把刀闸处于分闸位置，3 个条件均满足时，该接地刀闸方能允许操作。以接线图中 500 kV 线路 3 间隔 504167 接地刀闸为例，电气闭锁回路如图 6 所示。

### 3.2 智能变电站接地刀闸电气闭锁回路

智能变电站中，在 GIS 出线套管根部通过电容分压原理将电压信号接入带电显示器，带电显示器根据采集电压值大小判断线路是否无压。在智能变电站接地刀闸电气闭锁回路中，除了直接电气相连的两把刀闸常闭辅助接点外，还接有带电显示器辅助接点。以接线图中 500 kV 线路 4 间隔 505167 接地刀闸为例，电气闭锁回路如图 7 所示，其中 KVD1 为三相无压继电器辅助接点，KVD2 为三相平衡且

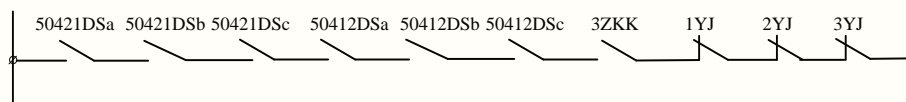


图6 504167 接地刀闸电气闭锁回路

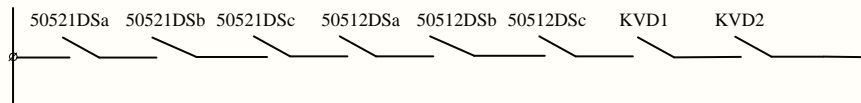


图7 505167 接地刀闸电气闭锁回路

线路有压继电器辅助接点。

#### 4 500 kV 线路接地刀闸防误闭锁典型问题

##### 4.1 逻辑闭锁回路中未接入二次空开位置判别

在运行年限较长的传统变电站中，电压互感器二次电压空开未接辅助接点，造成测控装置仅根据电压遥测值大小判断线路是否无压，而无法判断遥测值是否受二次电压空开断开的影响，对线路无压的判别不够全面。对于此类问题，要结合线路停电期间加装电压二次空开辅助接点，并将位置信号通过电缆开入至测控，实现二次空开状态的实时采集。

##### 4.2 接地刀闸控制回路电气闭锁中关联刀闸辅助触点接触不良

接地刀闸电气闭锁回路须要串接相关联的刀闸三相辅助接点，由于串联接点数量多、电缆敷设长度较长，再加上变电站运行环境、设备运行年限等因素影响，易出现辅助接点接触不良、端子排端子松动等问题，导致电气闭锁回路出现断开点。遇到此类问题，应使用万用表测量端子电压，逐步缩小故障范围来确定故障点，通过紧固接线端子、更换备用电缆、调整辅助接点端子等方法，消除电气闭锁回路故障。

##### 4.3 测控装置无压信号采用硬接点开入

在软件版本较老的测控装置中，无法通过二次电压遥测值转化为虚遥信，为满足线路接地刀闸逻辑闭锁中线路无压判别要求，在测控装置直接采取硬接点强电开入，使线路无压信号开放。此方法局限于测控装置功能，造成无压判别方式不合理，应尽快升级软件版本或更换新一代测控装置，采取有效的无压判别方式，完善线路接地刀闸逻辑闭锁功能。

##### 4.4 电压继电器功能失效或带电显示器采集电压不稳定

电压继电器由于元件损坏故障导致功能失效，

带电显示器由于连接电缆或接头等问题导致采集电压不稳定，无法满足线路无压判别功能。在发现电压继电器功能失效或带电显示器采集电压不稳定时，须排查确定异常原因并及时处置，电压继电器功能失效时须更换电压继电器。

#### 5 结束语

为防止恶性误操作事故，变电站现场必须加强防误闭锁装置的隐患排查和整改措施落实。对新建、改扩建设备的防误闭锁装置，应经过站控层闭锁、测控逻辑闭锁、现场电气联锁三层验收合格后，方可具备投运条件。对于存在线路接地刀闸防误隐患的在运变电站，在现场安全管理工作中，运维人员应重点关注“五防”系统的巡视，定期对防误闭锁规则条件进行复查，对处于异常状态的闭锁条件及时消缺处理，保障倒闸操作效率，规避误操作风险。

#### 参考文献

- [1] 陈跃, 甘羽. 500 kV 变电站防止电气误操作方案[J]. 中国电力, 2009, 42 (6): 60-64.
- [2] 张海庭, 张思远, 刘登鑫, 等. 变电站防误闭锁逻辑可视化校验系统设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49 (12): 181-187.
- [3] 何佳熹, 陈浩, 褚国伟, 等. 智慧变电站防误闭锁装置远程控制方法研究[J]. 电网与清洁能源, 2022, 38 (8): 75-81.
- [4] 郑荫钦, 朱光地. 变电站防误闭锁装置的应用与规范化管理[J]. 电力安全技术, 2016, 18 (4): 64-67.

#### 作者简介

严大山 (1990—), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事变电运维工作, E-mail: yantshan@126.com.

房雪雷 (1969—), 男, 本科, 高工, 从事变电运维、电力调度培训工作, E-mail: xzw\_0126@163.com.

李炎 (1993—), 男, 本科, 工程师, 从事变电运维工作, E-mail: 915255197@qq.com.

(责任编辑: 刘艳玲)



# 220 kV 变压器中压侧中性点经小电抗接地的运行分析

秦彬\*, 杨克难, 潘振东, 闫存恒, 侯靖岩, 张海宾, 陈琳

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 丰台 100068)

**摘要:** 北京电网分区运行, 其中枢纽站的接地方式关系整个电网运行, K分区中的A变电站采用220 kV变压器中压侧中性点经小电抗接地的运行方式。分析了该分区的主变中性点接地情况、A变电站的等值网络, 同时计算了A变电站的短路容量、不同主变并列运行时的单相短路电流, 计算表明, 中性点经小电抗接地后可降低其单相短路电流, 满足设备热稳定性要求。同时提出中性点小电抗投运后对现场运行、倒闸操作的要求。

**关键词:** 电网; 中性点接地方式; 变压器等值网络分析; 短路电流计算

中图分类号: TM407

## Operation Analysis of Neutral Point on Medium Voltage Side of 220 kV Transformer with Small Reactance Grounding

QIN Bin\*, YANG Kenan, PAN Zhendong, YAN Cunheng, HOU Jingyan, ZHANG Haibin, CHEN Lin

(Maintenance Company of State Grid Beijing Electric Power Co., Ltd., Beijing Fengtai 100068, China)

**Abstract:** The operation of the Beijing power grid is divided into zones, and the grounding method used at the hub station has a significant impact on the overall operation of the electrical grid. In the K zone, the A substation adopts the operating mode of grounding the medium-voltage side neutral point of the 220 kV transformer through a small reactance. This article analyzes the neutral point grounding situation of the main transformer in this zone and the equivalent network of the A substation. It also calculates the short-circuit capacity of the A substation and the single-phase short-circuit current when different main transformers are operated in parallel. The calculation shows that grounding the neutral point through a small reactance can reduce the single-phase short-circuit current and meet the requirements for equipment thermal stability. The article also proposes the operational and switching requirements when the neutral point small reactance is put into operation.

**Keywords:** power grid; neutral point grounding method; transformer equivalence network analysis; short-circuit current calculation

## 0 引言

十三五期间北京电网建成了“一环、七区、四深入”网架结构, 220 kV 电网形成“分区运行、区内成环、区间联络”七大供电分区<sup>[1]</sup>。A 变电站为其中 K 分区的 220 kV 枢纽变电站, 其变压器中性点的接地方式选择关系整个分区电网运行, 本文对该站 220 kV 三绕组变压器的中压侧中性点经小电抗接地的运行方式进行分析, 提出该运行方式下对现场运行、倒闸操作的要求。

针对变压器中性点经小电抗接地的运行方式,

收稿日期: 2023-08-10

许多学者进行相关讨论并制定相关规范。文献 [2] 指出 500 kV 自耦变压器中性点经小电抗接地后可有效限制 220 kV 侧的单向短路电流; 文献 [3] 指出在 110 kV 向阳站实际采用中性点经小电抗接地的运行方式, 可以降低变压器中性点过电压同时也限制了单相短路电流; 文献 [4] 指出 220 kV 变电站 110 kV 侧中性点加装小电抗后可以提高等值零序电抗, 降低 110 kV 侧单相接地短路电流。

由于 A 变电站某 110 kV 出线热稳定要求, 对 A 变电站 220 kV 变压器 110 kV 侧中性点串联小电抗, 从而降低 110 kV 母线单相短路电流, 满足其热稳定性要求。

## 1 K 分区主变中性点接地情况

### 1.1 500 kV 变电站

K 分区内的 500 kV 变电站均为自耦变压器, 其 500 kV、220 kV 侧直接接地, 低压侧为角形接线, 无接地点。

### 1.2 220 kV 变电站

K 分区内的 220 kV 变电站分为枢纽变电站和负荷变电站。枢纽变电站的 220 kV 侧和 110 kV 侧均合环运行, 因此只设置一个接地点, 枢纽变电站中多台变压器并列运行时, 采用 1 台主变的 220 kV、110 kV 侧直接接地, 其余并列运行变压器中性点经间隙接地; 负荷变电站的 220 kV 侧和 110 kV 侧分列运行, 其 220 kV 侧中性点接地点由上级电源提供, 其 110 kV 侧中性点直接接地, 为下级 110 kV 网络提供接地点, 站内主变 220 kV 侧不接地, 110 kV 侧均直接接地; 10 kV 侧为角形接线, 变压器侧无接地点。在带有站用变及 10 kV 出线的母线设置一台接地变提供零序电流通路, 实现选线跳闸。

### 1.3 110 kV 变电站

K 分区内的 110 kV 变电站均为负荷变电站, 站内 110 kV 侧均不接地, 10 kV 侧为角形接线, 变压器侧无接地点。部分老站 10 kV 母线采用消弧线圈接地, 大部分新站其电缆出线多, 对地容性电流大, 同时位于市区, 人员密集, 为了防止发生接地时跨步电压对人员产生伤害, 须尽快切除故障线路, 因此在每条母线设置一台接地变提供零序电流通路, 实现选线跳闸。

### 1.4 220 kV A 变电站特殊点

由于 A 变电站某 110 kV 出线型号限制, 发生单向短路接地时单相短路电流过大, 不满足其热稳定要求。在考虑改造成本与时间的条件下, 结合 A 变电站改造情况, 在 A 变电站 220 kV 变压器 110 kV 侧中性点串联小电抗, 从而降低 110 kV 母线单相短路电流<sup>[5]</sup>, 满足其热稳定性要求。本文主要针对该特殊点分析其对现场运行、倒闸操作的要求, 为现场实际提供指导。

## 2 A 变电站主变中性点接地方式运行分析

### 2.1 正负零序等值网络分析

按照 A 变电站 4 台主变并列运行情况展开分

析, 4 台主变的接线方式均为 ynd11。A 变电站为 220 kV 枢纽站, 运行接地方式为站内 1 台主变 220 kV 侧中性点直接接地, 110 kV 侧中性点经小电抗接地运行。

假设在 110 kV 母线发生单相短路故障, 则 A 变电站正序、负序等值电抗图<sup>[6]</sup>可近似用图 1 表示, 零序等值电抗图可近似用图 2 表示。

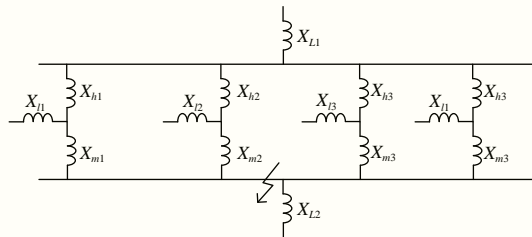


图1 正序等效电抗图

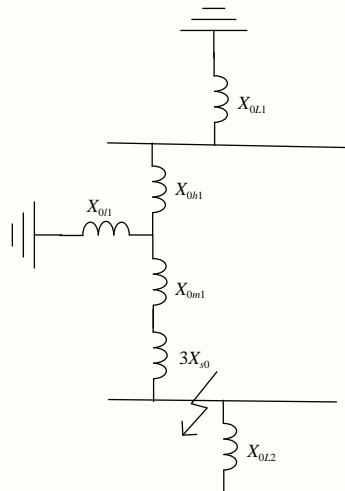


图2 零序等效电抗图

其中  $X_{L1}$ 、 $X_{L2}$  为 220 kV、110 kV 系统出线等值电抗,  $X_{h1}$ 、 $X_{m1}$ 、 $X_{l1}$  分别为 1 号变高压、中压、低压侧正序电抗。其他编号以此类推。

其中  $X_{0L1}$  为 220 kV 系统出线零序等值电抗,  $X_{0L2}$  为 110 kV 系统出线零序等值电抗, 因为另一端没有接地点相当于开路,  $X_{0h1}$ 、 $X_{0m1}$ 、 $X_{0l1}$  分别为 1 号变高压、中压、低压侧零序电抗。 $X_{s0}$  为 1 号变 110 kV 侧中性点小串抗。

### 2.2 单相接地短路电流分析

设在运行中 1 号主变 220 kV 直接接地、110 kV 中性点经小电抗接地, 在正序等效电抗图中忽略主变 10 kV 绕组, 则分析如下。

当 110 kV 母线发生 A 相短路故障时, 接地点

的正序等值阻抗为  $X_1$  为  $[X_{L1} + (X_{h1} + X_{m1}) // (X_{h2} + X_{m2}) // (X_{h3} + X_{m3}) // (X_{h4} + X_{m4})] // X_{L2}$ ，负序等值阻抗  $X_2 = X_1$ ，零序等值阻抗  $X_0 = 3X_{s0} + X_{0m1} + [X_{0h1} // (X_{0L1} + X_{0h1})]$ ，单相接地短路的短路电流为：

$$I_f = \frac{3U_f}{j(X_1 + X_2 + X_0)} \quad (1)$$

串联小电抗后可以看到零序等值阻抗值明显提高<sup>[7]</sup>，可以降低 110 kV 母线单相短路电流，满足目标热稳定性要求。

### 2.3 短路电流计算结果

将主变实际参数带入，并考虑主变阻抗按照高阻抗计算 ( $U_{12} = 14\%$ 、 $U_{13} = 64\%$ 、 $U_{23} = 50\%$ )，计算结果如表 1、表 2 所示。

表1 短路容量计算表

| 计算结果            | 220 kV 母线 |        | 110 kV 母线 |       | 10 kV 母线 |
|-----------------|-----------|--------|-----------|-------|----------|
|                 | 三相短路      | 单相短路   | 三相短路      | 单相短路  | 三相短路     |
| 短路容量 / (MV · A) | 18 786    | 18 938 | 4 076     | 2 659 | 331      |
| 短路电流 / kA       | 48.0      | 48.3   | 20.46     | 13.35 | 18.18    |

表2 不同数量主变并列运行情况下 110 kV 侧单相短路水平

| 110 kV 侧             | 1台主变运行 | 2台主变并列运行 | 3台主变并列运行 | 4台主变并列运行 |
|----------------------|--------|----------|----------|----------|
| 未加装小电抗时 $I_f/kA$     | 6.57   | 9.93     | 11.98    | 13.36    |
| 加装 3 Ω 小电抗时 $I_f/kA$ | 5.06   | 6.86     | 7.77     | 8.33     |
| 加装 6 Ω 小电抗时 $I_f/kA$ | 4.12   | 5.23     | 5.75     | 6.05     |

根据计算结果，在 A 变电站 110 kV 侧加装不小于 3 Ω 的小电抗后，可以将 A 站 110 kV 侧单相短路限制在 8.5 kA 以下，现状线路均满足安全要求。由于国网通用一次设备无 3 Ω 电抗，最接近为 6 Ω 小电抗，因此主变 110 kV 中性点加装 6 Ω 的中性点小电抗器。串联小电抗后可以看到零序等值阻抗值明显提高，降低了 110 kV 母线单相短路电流，满足目标热稳定性要求。

### 2.4 现场运行、倒闸操作的要求

A 变电站主变增加中性点串联小电抗，电抗为

6 Ω，刀闸为 7-1X、7-2X、7-3X、7-4X，日常运行中，2 台及以上主变并列运行时仅 1 台主变中性点接地，且中性点串抗应投入，由于 2 号变带有站用电及 10 kV 负荷，故 7-2X 应合闸；合 7-2 刀闸时由于是并联，故 7-2X 可不拉。

就地操作 7-2X 刀闸时，为了人员安全，必须先合 7-2 刀闸。

## 3 结束语

本文通过对北京 K 分区主变接地情况分析，引出其中特殊点 A 变电站，并通过对该站进行短路计算，计算出中性点未加装小电抗与加装 3、6 Ω 小电抗之后的单相短路电流。计算表明，中性点经小电抗接地后可降低其单相短路电流，满足设备热稳定性要求。同时提出中性点小电抗投运后对现场运行、倒闸操作的要求。

本文未对中性点经小电抗接地后的继电保护元件、相间短路电流进行计算，现场运行中也要考虑这 2 方面影响，综合各方因素考量进行中性点接地方式选择。

## 参考文献

- [1] 北京市城市管理委员会. 北京市“十四五”时期电力发展规划(京管发[2022]14号)[R], 2022(6).
- [2] 朱天游. 500 kV 自耦变压器中性点经小电抗接地方式在电力系统中的应用[J]. 电网技术, 1999(4): 17-20.
- [3] 陆国庆, 姜新宇, 江健武, 等. 110 kV 及 220 kV 系统变压器中性点经小电抗接地方式的研究及其应用[J]. 电网技术, 2006(1): 70-74.
- [4] 黄方能, 黄成军, 江秀臣, 等. 220 kV 变电站主变 110 kV 侧接地方式分析[J]. 高电压技术, 2007(12): 157-161.
- [5] 王世勇, 许文静. 北京西北部电网优化分区研究[J]. 电气应用, 2013, 32(S2): 493-498.
- [6] 何仰赞. 电力系统分析[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [7] 胡军. 220 kV 变电站主变中性点小电抗接地运行研究[D]. 长沙理工大学, 2019.

## 作者简介

秦彬(1994—), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向为电网运行维护, E-mail: 1643573297@qq.com.

杨克难(1986—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电网运行维护, E-mail: cooney2010@163.com.

潘振东(1978—), 男, 中专, 高级技师, 研究方向为电网运行维护, E-mail: 609579990@qq.com.

(责任编辑: 刘艳玲)

# 浅谈变电站保护测相量

李林华\*, 霍天, 陈宇翔, 方文军

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 丰台 100073)

**摘要:** 对于变电站保护而言, 电流互感器与保护装置间接线正确与否十分重要。主要讨论带负荷测相量的相关问题, 重点讨论了保护测相量过程中的3个重要内容: TA变比的正确性、电流相序的正确性、TA极性的正确性。同时也讨论了现场实际测量过程中, 可能引起保护测相量不正确的相关因素。

**关键词:** 保护测相量; 相量图; 电流互感器

**中图分类号:** TM645.2

## Discussion on Phase Measurement for Substation Protection

LI Linhua\*, HUO Tian, CHEN Yuxiang, FANG Wenjun

(State grid Beijing electric power company maintenance branch, Beijing Fengtai 100073, China)

**Abstract:** For substation protection, the correctness of the indirect lines between current transformers and protection devices is crucial. This article mainly discusses the relevant issues of on-load phasor measurement, focusing on three important aspects in the process of protection phasor measurement: the correctness of TA transformation ratio, the correctness of current phase sequence, and the correctness of TA polarity. At the same time, the relevant factors that may cause incorrect phase measurement of protective protection during the actual on-site measurement process were also discussed.

**Keywords:** protection phasor; phasor diagram; current transformer

新投运及大修后的设备的保护电流回路一、二次变动后, 在设备投入运行时, 正式带负荷前, 应将相关保护停用, 待经相量检查无误后, 方可将相关保护投入<sup>[1]</sup>。带负荷测相量是保证TA(电流互感器)与保护装置间接线正确与否的重要手段, 能确保TA保护、计量、测量等功能正确应用。

保护测相量实际上指通过测量二次回路中电压和电流之间的大小、角度关系来判断TA的极性和变比是否正确, 大小看变比(一、二次电流), 极性看角度(电流滞后电压的角度)。

## 1 保护测相量

### 1.1 确定基准量

在实际的送电过程中, TV(电压互感器)的定、核相都早于带负荷测相量, 首先确定了系统电压量的正确性。对于带负荷测相量, 一般选取高压侧相电压为基准量<sup>[2]</sup>。测相量时须要获取以下数据: ①有功功率; ②无功功率; ③TA一次电流; ④TA变比; ⑤TA二次电流电流值; ⑥各相电流间的夹

收稿日期: 2023-08-10

角; ⑦各相电流与基准电压之间的夹角。

其中, ①、②、③项可通过变电站监控后台获得, ④为TA基本参数, ⑤、⑥、⑦项可在现场保护屏处通过钳形相位表测得。

一般而言, 满足以下标准, 即为保护测相量正确: ③、④、⑤项满足TA变比要求; ⑥项为正序; ①、②、⑦项所测角度满足角度要求(TA极性的正确性)。

### 1.2 实际验证

1.2.1 变压器TA二次侧接线经星形/三角形接线变换  
变电站中, 变压器一般采用Yyd11、Yd11接线, 对于一些未采用微机保护的变压器而言, 接线经星形/三角形接线变换后, 三角形侧电压、电流超前星形侧电压、电流 $30^\circ$ , 为保证保护整定的正确性, 须要消除星形、三角形侧电流之间的 $30^\circ$ 夹角, 一般的做法是, 将在星形侧的3个TA采用三角形接线, 将在三角形侧的3个TA采用星形接线, 以此来消除相位差<sup>[3]</sup>。

某变电站保护配置简图如图1所示。

一般TA的极性端如图1所示。规定从TA极



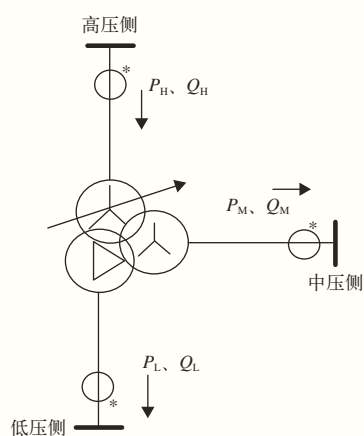


图1 变电站保护配置简图

性端流入为正，流出为负，所以，对于高压侧而言，算出  $I$ 、 $U$  的角度后，即可以画相量图，但是对于中压侧、低压侧而言，算出的  $I$ 、 $U$  的角度是以  $I$  流出 TA 极性端为前提的，画相量图时，还须将  $I$  旋转  $180^\circ$ 。

测相量时，可从监控后台获得的数据如表 1 所示，现场保护屏处可测得的数据如表 2 所示。

表1 监控后台数据 (1)

| 变压器侧 | P/MW | Q/Mvar | 一次电流/A | TA变比   |
|------|------|--------|--------|--------|
| 低    | 6.1  | 4.1    | 420.5  | 1500/5 |
| 中    | 4.2  | 3.3    | 86.8   | 600/5  |
| 高    | 10.0 | 7.2    | 67.7   | 200/5  |

表2 实际测量数据 (1)

| 变压器侧 | 电流值/A    | 相序                                     | 相电流与基准电压之间的夹角  |
|------|----------|--|----------------|
| 低    | 各相均为1.40 | A相超前B相 $120^\circ$ ，B相超前C相 $120^\circ$ | 滞后 $184^\circ$ |
| 中    | 各相均为1.25 | A相超前B相 $120^\circ$ ，B相超前C相 $120^\circ$ | 滞后 $188^\circ$ |
| 高    | 各相均为2.90 | A相超前B相 $120^\circ$ ，B相超前C相 $120^\circ$ | 滞后 $6^\circ$   |

验证如下：

(1) TA 变比的正确性

对于低压侧： $420.5/x = 1500/5$ ， $x = 1.40$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，低压侧变比正确。

对于中压侧： $86.8/x_1 = 600/5$ ， $x_1 = 0.72$ ，由于 TA 600/5 的变比是一次/二次，此时二次绕组还

未经过星形/三角形折算，得出  $x_1$ ，经过星形/三角形折算，得出  $x_2$ ，由于星形侧 3 个 TA 接成三角形，二次电流在幅值上是未经星形/三角形折算的同侧二次电流的  $\sqrt{3}$  倍， $x_2 = 1.25$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，中压侧变比正确。

对于高压侧： $67.7/x_3 = 200/5$ ， $x_3 = 1.675$ ，由于 TA 200/5 的变比是一次/二次，此时二次绕组还未经过星形/三角形折算，得出  $x_3$ ，经过星形/三角形折算，得出  $x_4$ ，由于星形侧 3 个 TA 接成三角形，二次电流在幅值上是未经星形/三角形折算的同侧二次电流的  $\sqrt{3}$  倍， $x_4 = 2.9$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，高压侧变比正确。

(2) 相序正确性

由表 2 中实际测量数据可知，各侧 A、B、C 相为正相序且相差  $120^\circ$ ，相序正确。

(3) TA 极性的正确性

对于低压侧： $\arctan(Q/P) = \arctan(4.1/6.1) = 34^\circ$ ，即为  $U$ 、 $I$  之间角度。画出相量图，为图 2 所示。

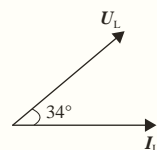


图2 低压侧电压、电流角度

常取高压侧的 A 相电压  $U_{AH}$  作为基准参考量，则如图 3 所示。

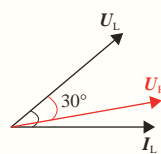


图3 低压侧电流与基准量之间的角度

但是对于低压侧而言，算出的  $U/I$  的角度是以  $I$  流出 TA 极性端为前提的，画相量图后，还须将  $I$  旋转  $180^\circ$ ，则如图 4 所示。

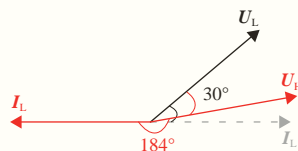


图4 实际低压侧电流与基准量之间的角度

$I_L$  滞后  $U_H$   $184^\circ$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，低压侧极性正确。

对于中压侧：即为  $U$ 、 $I$  之间角度。画出相量图如图 5 所示。

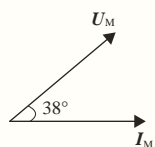


图5 中压侧电压、电流角度

常取高压侧的 A 相电压  $U_{AH}$  作为基准参考量，高压侧电压  $U_{AH}$  与中压侧电压  $U_{MH}$  应同相，则如图 6 所示。

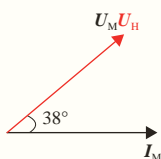


图6 中压侧电流与基准量之间的角度

这些角度存在的基础是，这是未经过换算的，而经星形/三角形换算后所得电流角度超前原电流  $30^\circ$ ，须要逆时针旋转  $30^\circ$ ，又因为对于中压侧而言，算出的  $U$ 、 $I$  的角度是以  $I$  流出 TA 极性端为前提的，画相量图后，还需要将  $I$  旋转  $180^\circ$ ，则如图 7 所示。

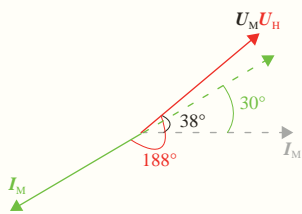


图7 实际中压侧电流与基准量之间的角度

$I_M$  滞后  $U_H$   $188^\circ$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，中压侧极性正确。

对于高压侧：即为  $U$ 、 $I$  之间角度。画出相量图如图 8 所示。

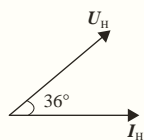


图8 高压侧电压、电流角度

常取高压侧的 A 相电压  $U_{AH}$  作为基准参考量，则如图 9 所示。

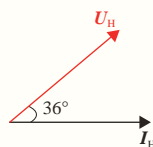


图9 高压侧电流与基准量之间的角度

这些角度存在的基础是，这是未经过换算的，而经星形/三角形换算后所得电流角度超前原电流  $30^\circ$ ，须要逆时针旋转  $30^\circ$ ，则如图 10 所示。

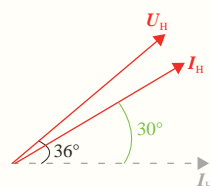


图10 实际高压侧电流与基准量之间的角度

$I_H$  滞后  $U_H$   $6^\circ$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，高压侧极性正确。

1.2.2 变压器 TA 二次侧接线未经星形/三角形变换  
微机型保护，在保护计算时，会乘以相应的系数，不需要如上一节讨论的那样，进行星形/三角形换算。

某变电站保护配置简图如图 11 所示。

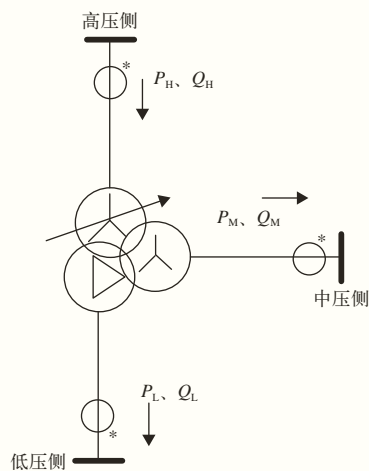


图11 变电站保护配置简图 2

测相量时，可从监控后台获得的如表 3 所示，现场保护屏处可测得的数据如表 4 所示。

验证如下：

表3 监控后台数据 (2)

| 变压器侧 | P/MW | Q/(MV·A) | 一次电流/A | TA变比   |
|------|------|----------|--------|--------|
| 低    | 6.4  | 0.8      | 100.4  | 1200/5 |
| 中    | 34.5 | 3.7      | 169.8  | 600/5  |
| 高    | 41.3 | 6.5      | 101.7  | 1200/5 |

表4 实际测量数据 (2)

| 变压器侧 | 电流值/A    | 相序                     | 相电流与基准电压之间的夹角 |
|------|----------|------------------------|---------------|
| 低    | 各相均为0.42 | A相超前B相120°, B相超前B相120° | 滞后156°        |
| 中    | 各相均为1.42 | A相超前B相120°, B相超前B相120° | 滞后187°        |
| 高    | 各相均为0.43 | A相超前B相120°, B相超前B相120° | 滞后8°          |

(1) TA 变比的正确性

对于低压侧： $100.4/x = 1200/5$ ， $x = 0.42$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，低压侧变比正确。

对于中压侧： $169.87/x = 600/5$ ， $x_1 = 1.42$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，中压侧变比正确。

对于高压侧： $101.7/x = 1200/5$ ， $x_1 = 0.42$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，高压侧变比正确。

(2) 相序正确性

由表4中实际测量数据可知，各侧A、B、C相为正相序且相差120°，相序正确。

(3) TA 极性的正确性

对于低压侧： $\arctan(Q/P) = \arctan(0.7/6.3) = 6^\circ$ ，即为U、I之间角度。画出相量图如图12所示。

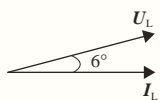


图12 低压侧电压、电流角度

常取高压侧的A相电压  $U_{AH}$  作为基准参考量，则如图13所示。

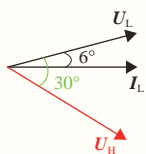


图13 低压侧电流与基准量之间的角度

但是对于低压侧而言，算出的  $U/I$  的角度是以  $I$  流出 TA 极性端为前提的，画相量图后，还须将  $I$  旋转  $180^\circ$ ，则如图14所示。

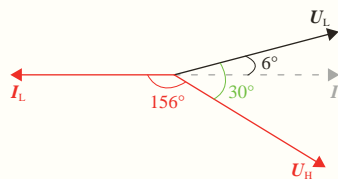


图14 实际低压侧电流与基准量之间的角度

$I_L$  滞后  $U_H$   $156^\circ$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，低压侧极性正确。

对于中压侧： $\arctan(Q/P) = \arctan(3.8/34.4) = 6^\circ$ ，即为U、I之间角度。画出相量图如图15所示。

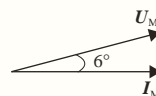


图15 中压侧电压、电流角度

常取高压侧的A相电压  $U_{AH}$  作为基准参考量，则如图16所示。

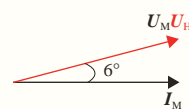


图16 中压侧电流与基准量之间的角度

但是对于中压侧而言，算出的  $U/I$  的角度是以  $I$  流出 TA 极性端为前提的，画相量图后，还须将  $I$  旋转  $180^\circ$ ，则如图17所示。

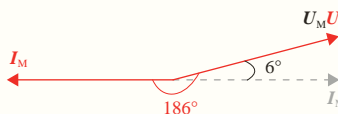


图17 实际中压侧电流与基准量之间的角度

$I_L$  滞后  $U_H$   $186^\circ$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，中压侧极性正确。

对于高压侧： $\arctan(Q/P) = \arctan(6.4/41) = 9^\circ$ ，即为U、I之间角度。画出相量图如图18所示。

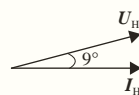


图18 高压侧电压、电流角度

常取高压侧的 A 相电压  $U_{AH}$  作为基准参考量，  
则如图 19 所示。

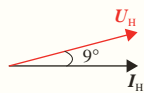


图19 高压侧电流与基准量之间的角度

但是对于高压侧而言，算出的  $U/I$  的角度是以  $I$  流出 TA 极性端为前提的，与实际相符，则如图 20 所示。

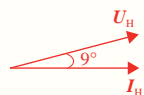


图20 实际高压侧电流与基准量之间的角度

$I_L$  滞后  $U_H$   $9^\circ$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，高压侧极性正确。

### 1.2.3 220 kV 某线路保护测相量

220 kV 某线路保护测相量时，可从监控后台获得的如表 5 所示，现场保护屏处可测得的数据如表 6 所示。

表5 监控后台数据 (3)

| 变压器侧 | P/MW | Q/Mvar | 一次电流/A | TA变比    |
|------|------|--------|--------|---------|
| 某线路  | 11.0 | -1.1   | 55.1   | 1 250/1 |

表6 实际测量数据 (3)

| 变压器侧 | 电流值/<br>mA                                   | 相序                                     | 相电流与基准电<br>压之间的夹角 |
|------|--|--|-------------------|
| 某线路  | $I_a = 44.5$<br>$I_b = 44.9$<br>$I_c = 44.1$ | A相超前B相 $120^\circ$ ，B相超前C相 $120^\circ$ | 滞后 $6^\circ$      |

验证如下：

(1) TA 变比的正确性

$$55.1/x = 1\ 250/1, \quad x = 0.044\ 08\ A = 44.1\ mA$$

监控后台数据与实际测量数据相同，变比正确。

(2) 相序正确性

由表 6 中实际测量数据可知，各侧 A、B、C 相为正相序且相差  $120^\circ$ ，相序正确。

(3) TA 极性的正确性

$\arctan(Q/P) = \arctan(-1.1/11) = -6^\circ$ ，即  $U_A$  超前  $I_A$  的角度为  $-6^\circ$ ，画出相量图如图 21 所示。

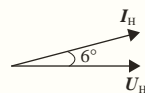


图21 实际线路电流与基准量之间的角度

$I$  滞后  $U_H$   $6^\circ$ ，监控后台数据与实际测量数据相同，极性正确。

## 2 结束语

本文所讨论的保护测相量，均以带负荷测相量为基础，当系统无负荷时，也可通过调整变压器分接头的方式来进行保护测相量<sup>[4]</sup>。

在现场实际的测量中，一般采用钳形相位表，测量时，二次回路的电流不能过小，一般不应小于所用测量仪器误差的一半，过小会导致测量仪器的准确度降低。测相量正确与否，主要从以下 3 个方面判断：TA 变比的正确性，若计算出的 TA 变比不符合要求，可能是 TA 二次抽头选择或安装不正确；相序正确性，若实际测量的相序不满足要求，可能是寄生回路、线路绝缘损坏导致分流等原因；TA 极性的正确性，若实际测量的相序不满足要求，可能是寄生回路、负荷变化较大、线路绝缘损坏导致分流等原因。无论上述哪个方面、何种原因引起的故障，都对现场测量人员的理论及实际经验提出了较高的要求。

## 参考文献

- [1] 国网北京市电力公司. 变电站现场运行通用规程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2022.
- [2] 朱仲元. 主变纵差动保护的带负荷相量测试[J]. 微机继电保护专题, 2007, 2007 (3): 118-121.
- [3] 王静萍, 王亚萍. 变压器差动保护带负荷相量测试[J]. 电工技术, 2009, 3 (1): 6-7.
- [4] 王光旭, 刘正义, 国文亮, 等. 差动保护测相量[J]. 科技新论坛, 2010, 2010 (1): 184-192.

## 作者简介

李林华 (1993—)，男，硕士，工程师，主要从事 220 kV 及以上变电站运维，E-mail: 1151980433@qq.com。

霍天 (1992—)，男，硕士，工程师，主要从事 220 kV 及以上变电站运维，E-mail: iterqing@163.com。

陈宇翔 (1992—)，男，学士，工程师，主要从事 220 kV 及以上变电站运维，E-mail: chenxyxiangnpp@126.com。

方文军 (1980—)，男，本科，高级工程师，主要从事 220 kV 及以上变电运维，E-mail: 80270965@qq.com。

(责任编辑: 刘艳玲)



# 一起 220 kV 母线电压频繁跌落问题处理与分析

项锦晔\*, 文海泉, 雷轶群, 陈士龙

(国网浙江省电力有限公司衢州供电公司, 浙江 衢州 324002)

**摘要:** 变电站母线电压作为继电保护的重要组成部分, 是日常运维巡视、检修改造的重点关注对象。文章首先阐述了母线电压异常的原因、危害及检测方法, 然后针对一起 220 kV 母线电压频繁跌落问题进行分析处理, 提出了防范措施, 为运检人员准确快速定位、处理类似缺陷提供一定参考。

**关键词:** 电力系统; 母线电压; 频繁跌落

中图分类号: TM727

## Treatment and Analysis of Frequent Drop of 220 kV Bus Voltage

XIANG Jinye\*, WEN Haiquan, LEI Yiqun, CHEN Shilong

(State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Quzhou Power Supply Company, Zhejiang Quzhou 324002, China)

**Abstract:** As an important part of relay protection, substation bus voltage is the focus of daily operation and maintenance inspection, maintenance and transformation. Firstly, the causes, hazards and detection methods of abnormal bus voltage are described. Then, the problem of frequent drop of 220 kV bus voltage is analyzed and processed, and the preventive measures are provided, which provides a reference for the operation and maintenance personnel to quickly and accurately locate and deal with similar defects.

**Keywords:** power system; bus voltage; frequent drop

### 1 母线电压异常问题概述

在变电站实际运行过程中, 由于母线电压涉及间隔数量多, 覆盖区域广, 且面临复杂多变的现场环境, 给母线电压设备平稳运行带来挑战<sup>[1-4]</sup>。此外, 设备质量、人为活动也是影响母线电压回路的重要原因。

#### 1.1 母线电压异常的原因

引起母线电压异常的因素主要分为环境因素、设备因素、人为因素 3 部分。

##### 1.1.1 环境因素

长期处于潮湿环境下的 TV 端子箱、TV 隔离开关机构箱等户外设备内部易积水、凝露, 影响二次电压回路对地绝缘、相间绝缘; 电缆沟、机构箱等区域封堵措施不完善导致小动物误入, 甚至造成动物啃咬二次电缆的情况, 导致电压回路断线。

##### 1.1.2 设备因素

产品质量较差, 使得 TV 隔离开关辅助接点无法正常切换, 失去母线电压, 影响保护功能; 设备使用年限较长, 造成保护装置采样插件异常、CPU

收稿日期: 2023-08-30

插件异常等。

##### 1.1.3 人为因素

作业人员关闭户外设备时密封不严, 导致雨水渗入, 影响设备属性; 综合检修、保护改造等工程中行为不规范造成电压回路异常, 如作业人员在通压试验结束后, 安全措施恢复不到位造成螺丝未紧固导致回路电阻增大, 或二次电缆受损、绝缘降低导致电压回路两点接地, 形成电压差, 装置采样波形出现畸变。

#### 1.2 母线电压异常的危害

母线电压异常甚至 TV 断线时, 将影响母线上所有间隔的保护、测量、计量功能, 引起继电保护可靠性、灵敏性降低、测量数据异常、电能质量计算失准等诸多不利因素。其中, 影响继电保护范围最广, 危害最大。

##### 1.2.1 线路保护

异常母线上所有线路支路间隔与电压相关的保护退出运行, 如退出距离保护、零序差动保护、零序过电流保护等。

##### 1.2.2 变压器保护

TV 断线时本侧复压过流保护、零序过流保护

方向元件退出<sup>[5]</sup>。变压器三侧均 TV 断线，高中压侧后备保护复压元件退出，变为纯过流保护；仅低压侧 TV 断线时，低压侧后备保护复压元件退出。

### 1.2.3 母线保护

母线电压 TV 断线，母线保护复压闭锁功能开放，失灵电压开放<sup>[6]</sup>，保护误动作风险骤增。

### 1.2.4 备自投装置

备自投装置主要应用于 110 kV 及以下的中低压电力系统，若两段母线电压均低于有压定值则备自投延时 15 s 放电，闭锁备自投。

### 1.3 母线电压异常的检测思路

二次电压并列回路典型设计思路为：TV 二次侧输出保护和测量、计量电压依次经过 TV 端子箱

单相电压熔丝/专用空开、TV 隔离开关位置辅助接点后引至电压并列装置。保护和测量电压在电压并列装置处完成电压并列，并经保护装置的电压切换箱切换后辐射至各间隔保护测控装置，或直接引至相应的母设测控。计量电压在电压并列装置处完成电压并列后，再经电压重动继电器完成电压切换后接至各测量表计，如图 1 所示。其中，保护、测量、母设遥测共用一个电压绕组；计量表计单独用一个绕组。

当母线电压异常时，可以通过缺陷的影响范围进行初步定位分析，如保护、测量、计量装置均电压异常，则故障在 TV、TV 隔离开关辅助开关、电压并列装置等公共设备上；若异常母线上所有保护测控装置均有电压跌落，但计量电压正常，则故障

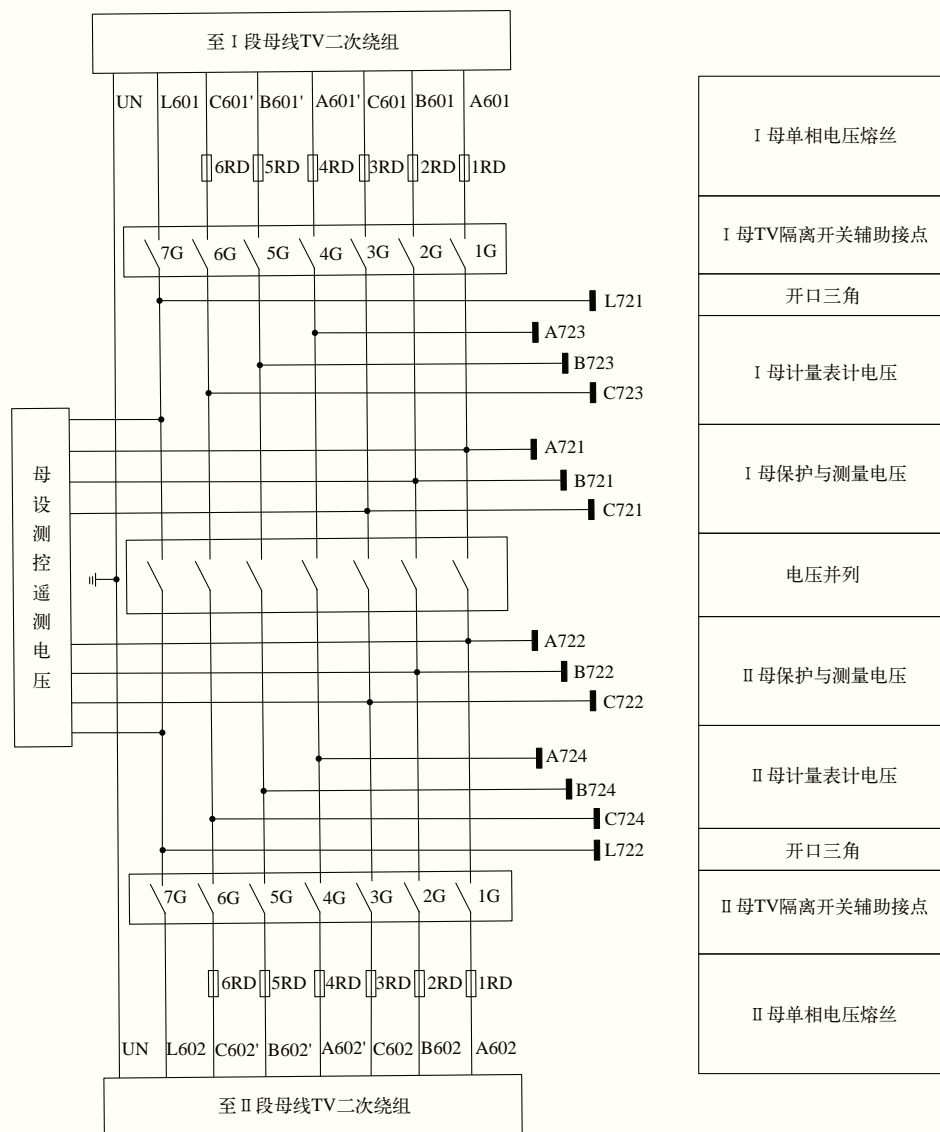


图1 母线电压并列回路原理

点单独出现在保护测量电压回路上；若仅母设测控装置显示电压异常，则故障点应集中在母设测控及其至TV端子箱的二次回路上。

母线电压异常检测思路为从二次电压回路源头开始遍历搜寻异常，以回路元器件为单位依次确定两点间是否存在电压差，以此定位缺陷。电压回路异常分析流程如图2所示。

## 2 220 kV 副母电压频繁跌落处理

### 2.1 异常情况

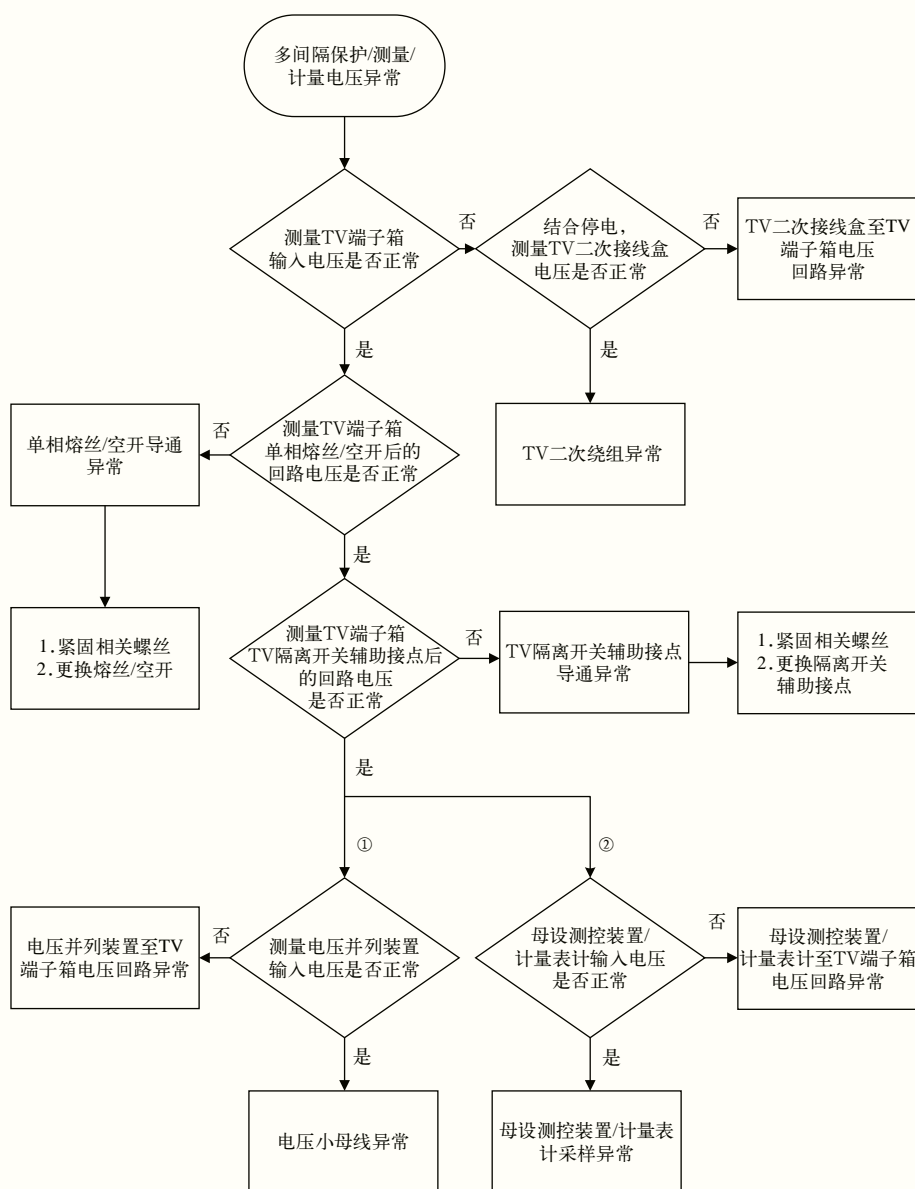
2023年6月23日，监视系统画面显示某变电

站220 kV II段母线电压时常有异常跌落，最低达209 kV，并列运行的220 kV I段母线电压正常，如图3所示。经调阅历史曲线，该问题已存在较长时间，近期电压波动更频繁，有发展严重趋势。

### 2.2 现场处理

由于220 kV II段母线电压异常跌落时刻不定，且基本都能自行恢复，运检人员在发现该现象后，多次赶往现场检查，但往往人到现场便复归，或在查找时量取电压过程中自动复归，影响了运检人员对故障原因的准确定位。

查阅220 kV线路故障录波器、主变故障录波器



注: 1-代表保护测量电压异常; 2-代表母设遥测/计量表计电压异常。

图2 母线电压异常分析流程

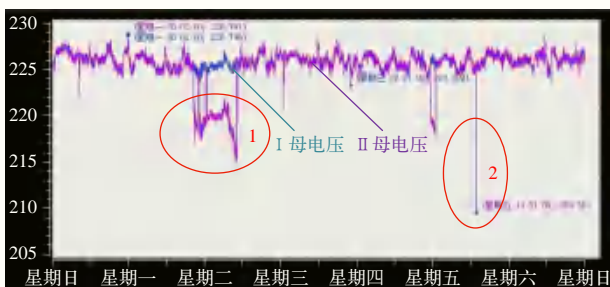


图3 220 kV II 段母线电压间断性异常周曲线图

录波情况，历史文件显示 II 段母线所连支路电压均同时出现异常，并结合监控系统历史曲线初步判断异常点在保护测量电压共用的二次电压回路上。在最初查找原因未果后，运检人员怀疑是电压回路上某一接线回路上有松动，便检查整个电压回路的螺丝紧固情况，未发现有明显松动现象，但此后该电压跌落仍时有发生。

7月7日，运检人员检查发现保护测量共用的 A 相熔丝存在松动和接触不良情况，测出熔丝两端压差约为 5.6 V，便将其更换为专用电压空开，电压恢复正常，如图 4 所示。

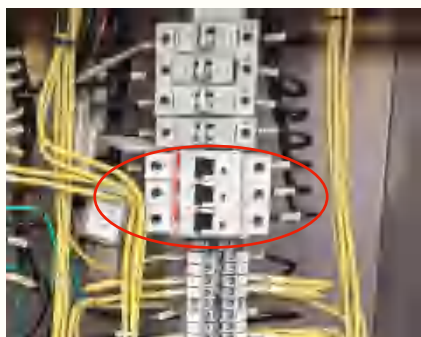


图4 由熔丝换为专用空开

在更换熔丝后，220 kV II 段电压异常仍时有发生，但压降频率降低，持续时间缩短，如图 5 所示。

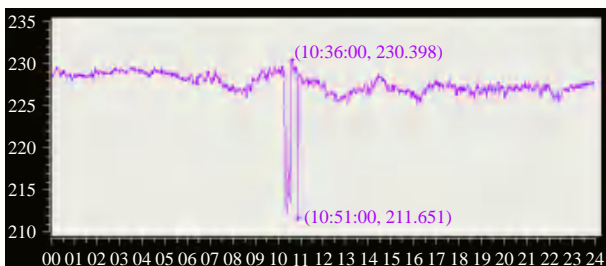


图5 220 kV II 段母线电压间断性异常日曲线图

7月25日，220 kV II 段母线电压再次异常且持续时间较长，运检人员测量 II 母 TV 端子箱电压过程中，首次可以明确测出 II 母 TV 隔离开关 A 相辅助接点两端存在压差（约为 8.9 V），打开 220 kV II 母 TV 隔离开关机构箱，用螺丝刀轻触图 6 所示的螺丝后，该 TV 隔离开关常开接点间压差消失，且该螺丝并无任何松动。因此判断为串联在二次电压回路里的这副 TV 隔离开关常开接点内部存在偶发性的接触异常。现场重新更换一副辅助接点后电压恢复正常，至此再无异常情况发生。

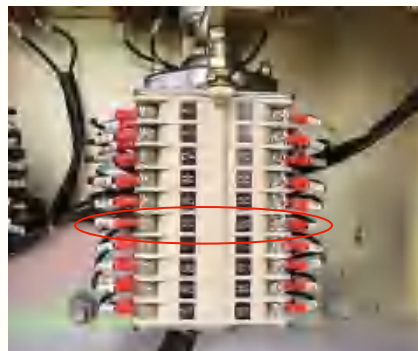


图6 存在异常的 TV 隔离开关辅助接点

### 2.3 原因分析

2次处理过程中二次元器件两端压差换算后与电压异常波动幅度基本一致，如表 1、图 3 所示。

表1 电压差换算表

| 处理时间  | 二次电压回路<br>压差/V        | 一次电压回路       |              |
|-------|-----------------------|--------------|--------------|
|       |                       | 线电压<br>压差/kV | 线电压<br>幅值/kV |
| 7月7日  | A相熔丝两端5.6             | 10.7         | 216.3        |
| 7月25日 | TV隔离开关A相辅助<br>接点两端8.9 | 17.1         | 209.9        |

熔丝松动缺陷对应图 3 波形 1（持续时间较长、压降较小，约为 10.7 kV），TV 隔离开关辅助接点接触不良缺陷对应波形 2（持续时间较短、压降较大，约为 17.1 kV）。且在更换熔丝后，跟踪多次电压异常情况，其波形特征均类似图 3 波形 2，如图 5 所示。综上所述，判定该异常缺陷为在保护测量电压回路中，由两个接触异常程度不一、时限不定的元器件组合成的复合型缺陷。

(下转第 53 页)



# 10 kV 配电线路避雷器大面积故障原因分析

马永福\*, 包正红, 王生杰, 杨洪易, 曲全磊

(国网青海省电力公司电力科学研究院, 青海 西宁 810008)

**摘要:** 2020年雷雨季节某地区10 kV配电线路避雷器出现大面积炸裂故障, 给电网运维检修工作带来了较大压力。为全面分析故障原因, 从地区落雷情况、故障与正常避雷器解体比对、诊断试验、理论推理等角度深入分析, 发现避雷器产品质量不合格是造成大面积故障的主要原因, 对后续工作提出了防范建议和措施。

**关键词:** 配电线路; 金属氧化物避雷器; 故障

**中图分类号:** TM727

## Analysis of Large Area Fault Causes of Lightning Arresters in 10 kV Distribution Lines

MA Yongfu\*, BAO Zhenghong, WANG Shengjie, YANG Hongyi, QU Quanlei

(State Grid Qinghai Electric Power Company Electric Power Science Research Institute, Qinghai Xining 810008, China)

**Abstract:** In the thunderstorm season of 2020, the arrester of the 10 kV distribution line in a certain area has a large-scale burst failure, which has brought great pressure to the operation and maintenance of the power grid. In order to comprehensively analyze the cause of the failure, we made an in-depth analysis from the perspectives of lightning strikes in the region, comparison of the breakdown with normal arresters, diagnostic tests, and theoretical reasoning. Recommendations and Actions.

**Keywords:** distribution line; zinc oxide arrester; failure

## 0 引言

电力系统在运行过程中, 主设备易受各类内部过电压或大气过电压侵害, 为减少此类故障, 必须在系统中安装避雷器以保护主设备安全。金属氧化物避雷器 (metal oxide arrester, MOA) 以其优异的非线性伏安特性逐步成为电力系统重要的保护设备, 它具有保护特性好、通流容量大、耐污性能好等特点<sup>[1-2]</sup>。但是由于避雷器长期承受工频运行电压, 加上设备本身组部件质量、制造工艺、外部环境等的影响, 易发生异常发热或者爆炸事故, 因此须科学认识、科学判断、科学防范<sup>[3-5]</sup>。

本文针对某地区10 kV配电避雷器大面积故障现象, 通过多种手段进行原因分析, 发现炸裂的10 kV配电避雷器主要集中在某避雷器厂家生产的同一型号产品中, 将拆解的该厂家同型号的3支故障相和2支正常相金属氧化物避雷器在实验室进行了一系列检测分析, 得出了原因分析结果并针对性

收稿日期: 2022-04-21

提出了防范措施。

## 1 故障概况

故障避雷器分布在35 kV某变电站所带10 kV配电线路上, 雷雨季节避雷器故障情况比较普遍, 站内异常或故障记录无法与故障相避雷器对应, 本次抽取的5支避雷器均无准确保护动作或故障录波信息。雷电定位系统显示, 2020年全年以该变电站为圆心半径10 km范围内共有516次落雷。

经查该工程避雷器设备现场安装完成后曾开展过交接试验, 试验项目包括绝缘电阻测试、直流1 mA参考电压测试和0.75倍直流1 mA参考电压下的泄漏电流测试, 试验结果全部合格。

## 2 故障原因分析

对3支故障相避雷器(1号、2号、3号)开展了解体检查, 作为比对, 对2支正常相避雷器(4号、5号)进行了试验检测和解体检查, 分析避雷器大面积故障原因。

## 2.1 铭牌信息不完整

经检查 3 支故障相避雷器和 2 支正常相避雷器的铭牌信息，发现其中 4 支避雷器有出厂日期但无出厂编号，剩余 1 支避雷器有出厂编号但无出厂日期，铭牌上的其余信息相对完整。

铭牌是运检人员了解设备基本信息的重要依据，5 支避雷器中出厂日期或出厂编号的缺失，将直接影响设备出厂和运行年限计算以及质量调查追溯等，不利于设备集中缺陷的管理和整治。

## 2.2 阀片全部为碎片

1 号故障避雷器解体情况如图 1 所示，发现两电极之间共有 6 片阀片，表面均有烧损痕迹，部分阀片表面泛有白色粉末。6 片阀片除上下表面较平整外其他面均呈不规则形状，无统一尺寸和排布方式，阀片厚度（上下平整面间高度）共有 4 种：1 片约为 18 mm，1 片约为 20 mm，2 片约为 23 mm，2 片约为 25 mm，如图 2 所示；其中 3 片外边沿呈较规则的外圆弧状，如图 3 所示，表明此阀片来源于完整的圆饼型或圆环形阀片的外圆部分。其余 2 支故障相避雷器同样存在此类问题。

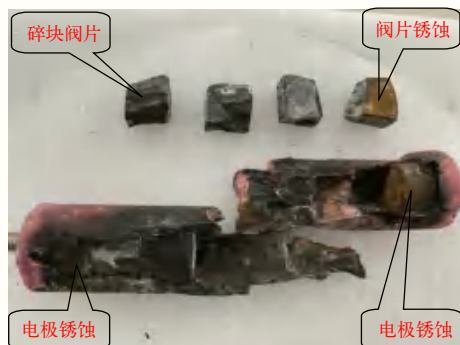


图1 1号避雷器解体检查情况



图2 阀片碎块高度不一致

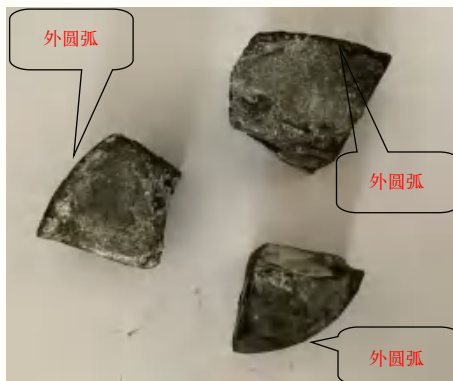


图3 部分碎块外边沿呈圆弧状

对 5 号正常避雷器在完好的前提下进行了解体，解体过程未对避雷器造成破坏，解体后情况如图 4 所示。发现其内部共有 5 片阀片和 3 片金属垫片，阀片除上下表面较平整外均呈不规则碎片形状，阀片形状与其他避雷器相似，其中 3 片厚度约为 22 mm，1 片约为 20 mm，1 片约为 17 mm。3 片外边沿呈较规则的外圆弧状，表明此阀片来源于完整的圆饼型或圆环形阀片的外圆部分；2 片内边沿呈较规则的内圆弧状，表明此阀片来源于完整的圆环形阀片的内圆部分。



图4 5号避雷器解体检查情况

常规金属氧化物避雷器阀片形状应为规则的圆饼、圆环或圆柱状，其直径和厚度设计严格与压比（残压/参考电压）、电位梯度、通流能力以及原材料、烧制工艺等相关，且阀片芯组组装前须逐片进行工频、直流、大电流冲击和方波等全套检测试验，全部合格后方可压紧组装使用。

从上述避雷器解体情况可以发现该避雷器阀片

为非常规阀片，同型号避雷器内部阀片数量及金属垫片数量不一致，阀片形状不统一、不规则，厚度、外边沿圆弧等尺寸不一致，判断该避雷器阀片芯组由不同规格、不同电气参数的常规阀片残碎片拼组而成，而非经过严格试验检验的 10 kV 标准阀片，且从故障相与正常相的比对分析中可以看出这是产品出厂时的本身状态，并非故障造成。此类阀片自身电气性能无法满足要求，加上阀片间接触面积不一致，使得避雷器产品较常规产品承受过电压能力和通流能力低、稳定性差，极易在线路过电压时出现击穿故障。

### 2.3 复合外套密封不良

对 3 号故障避雷器解体检查，在取下两电极处金属盖板后，发现复合外套与电极柱其中一端密封良好，如图 5 所示；另一端复合外套未浇注密封，电极和隔弧筒间仅靠少量密封胶密封，但密封胶不足以起到密封保护作用，电极和隔弧筒间存在缝隙，导致电极外表面严重生锈，如图 6 所示。从解体情况可以看出，电极一端密封不良并非由故障造成，而是生产阶段浇注不到位。



图5 一端密封良好

复合外套在隔弧筒其中一侧未浇注密封，电极块螺纹表面严重生锈的现象表明即使涂有密封胶，潮气仍可以通过螺纹间隙进入到隔弧筒内，潮气附着在运行状态下的阀片芯组表面会导致芯组泄漏电流增大、阻性分量偏高，并伴随严重发热，长期运行会造成隔弧筒内温度升高、筒壁烧融爆破，导致避雷器运行质量逐步下降。

对 4 号避雷器检查时发现其中一侧电极端部存

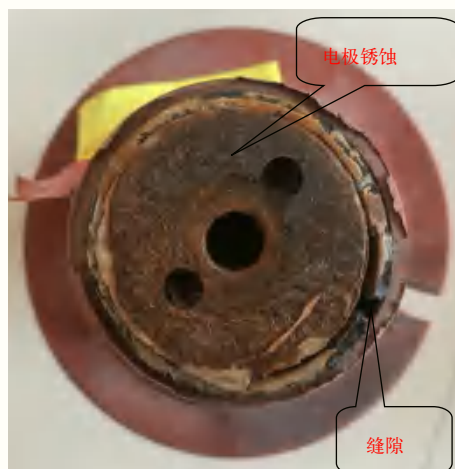


图6 对端无密封

在复合外套厚度不均的情况，用千分尺测量最厚处厚度为 4.985 mm，最薄处厚度仅为 0.275 mm，如图 7 所示，从图中也可以看到外套中心电极柱穿孔并非为标准圆形，表明此处的密封状况也较差。

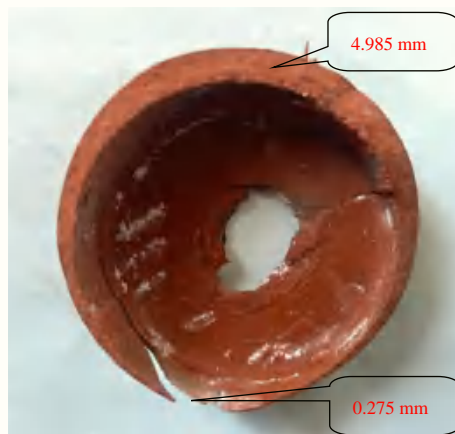


图7 复合外套厚度不均

复合外套的主要成分是硅橡胶，其厚度不均是由于硅橡胶在生产环节硫化时工艺控制不良偏心造成，常规 10 kV 避雷器复合外套厚度为 3~5 mm 且厚度均匀，过薄的硅橡胶耐老化性能差、易破裂，极易造成潮气进入并吸附在绝缘筒表面导致受潮故障，同时也可能对设备外绝缘造成影响，是影响产品质量的另一重要因素。

### 2.4 常规试验合格但特殊试验不合格

对 5 号正常避雷器开展了直流电压相关试验，试验结果如表 1 所示。

为判断其承受过电流能力，对 4 号正常避雷器



表1 常规试验结果

| 试验项目                        | 试验结果 | 标准规定 | 结论 |
|-----------------------------|------|------|----|
| 1 mA直流参考电压/kV               | 27.2 | ≥25  | 合格 |
| 0.75倍1 mA直流参考电压下<br>泄漏电流/μA | 4.3  | ≤50  | 合格 |

进行大电流冲击试验，发现避雷器在试验冲击电流远低于标准规定值的情况下发生击穿碎裂，试验不合格，试验结果如表2所示。

表2 特殊试验结果

| 试验项目    | 试验结果                                  | 标准规定                            | 结论  |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------|-----|
| 大电流冲击试验 | 第一次施加4/10 μs波形<br>20 kA电流时避雷器击穿<br>碎裂 | 应承受4/10 μs<br>波形65 kA冲击<br>电流2次 | 不合格 |

### 3 建议

在避雷器设备尤其是配网避雷器招标采购过程中，应明确供货方资质及招标技术规范要求，尽量选择生产工艺成熟、供货业绩较好的供货方，警惕价格明显低于市场价的产品。

配网避雷器在到货验收时，各建管单位和运维单位应严格按照“五通”或本单位其他验收规范，逐设备逐项目进行规范验收，留存设备出厂试验报告等关键资料，确保设备验收合格率。

利用省级物资质量检测中心避雷器试验平台及试验能力，开展10 kV避雷器常规交直流试验、大电流冲击试验、密封试验等全套等抽检工作，杜绝不合格产品挂网运行。

在设备安装完成之后投运之前，应严格按照GB 50150—2016《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》<sup>[6]</sup>等技术规范开展现场交接试验，规范出具试验报告并按公司要求存档，做到每一台设备在生产→运输→验收→交接试验→投运的全过程资料管理。

设备投运后，应加强巡视和记录，尤其在雷雨季节时建议结合红外成像技术进行巡视，如有异常发热等现象时应及时停电更换，避免电网故障扩大。

### 4 结束语

由于厂家生产的避雷器产品铭牌信息及阀片生

产检验信息不全，无法追溯产品质量管控细节，不符合电网设备出厂要求。

避雷器核心部件所用阀片为形状、尺寸均不统一的不规则碎阀片，部分碎片边沿有外圆弧状或内圆弧状，明显为其他不同电压等级、不同形状完整阀片碎裂后收集、拼接而成，此类阀片及芯组压比性能差、方波冲击和大电流冲击耐受能力低，加上形状不规则造成的芯组阀片间接触面积不一致、通流通道极小，会导致避雷器整体电气参数不满足要求，极易在受到大电流冲击时发生击穿崩溃。

该避雷器复合外套浇注工艺控制不良，存在硫化偏心现象，电极柱处密封情况较普遍较差，极易引起避雷器在户外环境下长期运行时芯组受潮异常发热甚至热崩溃现象。

阀片碎片组成的芯组可以通过直流电压试验但无法通过大电流冲击耐压试验，可以解释现场安装后交接试验时直流试验合格的现象，实际产品电气性能不符合要求，不能承受过电压侵袭。

综上所述，此次配电线路避雷器大面积故障的原因是：厂家生产工艺不严谨、产品质量不合格，产品未经严格试验检测后流入市场，交接试验合格但特殊试验无法通过，投运后在雷电流和过电压冲击、内部受潮等因素综合影响下发生击穿故障。

### 参考文献

- [1] 陈宜斌, 金佳敏, 薛睿, 等. 10 kV 避雷器频繁故障的原因分析[J]. 自动化与仪器仪表, 2015 (2): 185-186.
- [2] 邓国宙. 10 kV 配电线路上避雷器故障分析及防范措施[J]. 技术与市场, 2020, 27 (8): 107, 109.
- [3] 陈宜斌, 金佳敏, 薛睿, 等. 10 kV 避雷器频繁故障的原因分析[J]. 自动化与仪器仪表, 2015 (2): 185-186.
- [4] 王陆璐, 熊易, 左中秋, 等. 配网避雷器产品国家监督抽查方案建议及可行性分析[J]. 高压电器, 2020, 56 (3): 210-216.
- [5] 黄双得. 35 kV 线路金属氧化物避雷器雷击击穿原因分析[J]. 农村电气化, 2020 (10): 26-27.
- [6] 孙关福, 陈发宇. GB 50150—2006《电气装置安装工程 电气设备交接试验标准》修订说明[J]. 电力标准化与技术经济, 2007 (2): 21-24.

### 作者简介

马永福 (1994—), 男, 本科, 工程师, 主要从事电气设备诊断试验工作, E-mail: 1069671957@qq.com.

(责任编辑: 张峰亮)



# 新能源电厂接入对电网继电保护的影响

张秋怡<sup>1\*</sup>, 李梦娜<sup>2</sup>, 胡珩<sup>2</sup>

(1. 国网湖北送变电工程有限公司, 湖北 武汉 432000;  
2. 国网孝感供电公司大悟县供电公司, 湖北 孝感 432100)

**摘要:** 新能源接入后, 由于电网系统序网结构发生变化, 导致继电保护灵敏度发生变化, 从而保护范围扩大, 造成继电保护装置误动作。通过一起110 kV线路因接地故障引起区外跳闸, 从定值以及电网结构两个方面, 对保护动作过程进行了分析, 得出引起区外跳闸的主要原因。对110 kV线路保护配置和电网零序网络进行了分析, 结合电网运行方式提出了优化措施, 避免了因接地故障导致保护产生误动作。为面向新型电力系统电网稳定提供了解决思路, 对调控运维及保护人员具有借鉴与参考意义。

**关键词:** 新能源; 电网序网; 继电保护

**中图分类号:** TM581

## Impact of New Energy Power Plant Connection on Power Grid Relay Protection

ZHANG Qiuyi<sup>1\*</sup>, LI Mengna<sup>2</sup>, HU Heng<sup>2</sup>

(1. State Grid Hubei Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd., Hubei Wuhan 432000, China; 2. State Grid Dawu Electric Power Supply Company, Hubei Xiaogan 432100, China)

**Abstract:** After the integration of new energy, the grid system's sequence network structure changes, which leads to a change in the sensitivity of relay protection. As a result, the protection range expands, and there is a risk of relay protection devices malfunctioning. Through an analysis of the grid's sequence network combined with its operating mode, optimization measures were proposed to avoid the incorrect operation of protection due to grounding faults.

**Keywords:** new energy; grid topology; relay protection

### 1 新能源电网现状

随着新能源的快速发展, 风电、光伏等新型能源作为电源网络的重要组成部分, 获得了大力开发和广泛应用。同时, 由于新能源的大规模接入, 给传统电网带来了一系列的技术问题。大规模风电接入的继电保护问题属于智能电网的兼容性范畴<sup>[1]</sup>。对接入点而言, 规模化的风电场对系统运行的影响, 已不能象早期小型风电接入一样被完全忽略掉, 这已不仅仅是风电调度的问题, 继电保护所面临的故障特征同样也发生了显著的变化<sup>[2]</sup>。

110 kV及以下电网主要采用的是辐射式网络, 新能源电厂接入后, 供电方式由辐射网变成多端有源网, 导致电网运行方式发生改变, 从而对电网系统的电压、电流、潮流走向等产生影响。在继电保护配置上, 传统的保护配置已不能满足新能源电网的需求。传统继电保护主要针对辐射网, 保护方向

收稿日期: 2023-06-09

从电源侧指向负荷侧, 新能源接入后, 联络线保护方向由单侧指向变为双向指向, 由于电源点的增加, 系统总阻抗也发生变化, 零序保护灵敏度发生变化。系统发生接地故障时, 零序电流由单回路方式变为多回路方式, 导致新能源线路发生误动。

### 2 110 kV 保护主要配置

110 kV 电网线路主要配置差动保护、距离保护、零序保护。差动保护主要保护本线路, 出现故障时快速动作。三段式距离保护主要保护本线路, 并作为下一级线路的后备。三段式零序保护主要针对接地故障, 有较高的灵敏度, 作为本线路主保护及下级线路的后备保护。线路上下级定值与时间依次配合。新能源电厂接入电网, 电网潮流随发电厂出力变化而发生改变。由于110 kV及以下网络属于辐射式网络, 保护配置遵循上下级配合原则, 新能源电厂接入后, 大部分升压变压器采用中性点接地方式, 导致主系统电网零序网络结构发生变化。单电源辐

射式网络变为双端或多端有源网络，导致故障发生时原有电网电流保护出现保护范围过大、误动、灵敏度降低等问题<sup>[4]</sup>。当联络变电站处于主系统与新能源电厂之间时，须线路保护同时与主网系统和新能源电厂出线配合，导致系统与电厂间继电保护配合矛盾，发生故障时使继电保护无选择性跳闸，从而导扩大停电范围。

### 3 110 kV 线路主保护计算原则

#### 3.1 距离保护整定原则

距离 I 段：可靠躲过本线路末端故障整定。

距离 II 段：保本线路末端金属性接地故障有规定的灵敏系数整定，与相邻线路接地距离 I 段配合整定。若无法满足配合要求，按与相邻线路接地距离 II 段配合整定。

距离 III 段：按与相邻下级线路接地距离 II 段或接地距离 III 段配合整定。

#### 3.2 零序保护整定原则

零序 I 段：躲本线末端接地故障最大零序电流整定。

零序 II 段：优先与相邻下级线路零序 II 段保护配合整定，在条件允许的情况下，可按与相邻下级线路零序 I 段保护配合整定。

零序 III 段：与相邻下级线路零序 II 段或零序 III 段保护配合整定，保证高阻接地故障时能可靠切除，一次值一般不大于 300 A。

## 4 典型继电保护动作实例分析

#### 4.1 继电保护动作情况

某 220 kV 变电站 110 kV 侧出现多条线路同时发生跳闸，接线图如图 1 所示。

11:26，西平站上西线平 115 开关零序 III 段动作

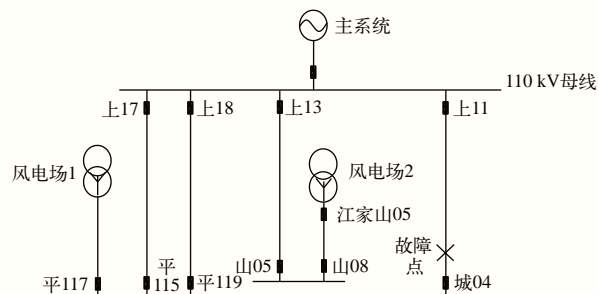


图1 某 220 kV 变电站 110 kV 侧主接线

跳闸；

11:26，西平站风电场平 117 开关零序 IV 段动作跳闸；

11:26，上 11 开关距离 II 段，零序 II 段动作跳闸，重合成功。

抢修人员第一时间到达现场检查设备情况，检查发现，城 04 出口附近出现放电痕迹。

#### 4.2 故障点电网序网结构分析

目前我国 110 kV 电网系统线路保护配置主要有差动保护、距离保护和零序保护。其中差动和距离保护不受系统阻抗变化影响，受系统阻抗影响的只有零序保护。因此本次故障主要是零序保护发生动作，下面从电流走向来重点分析本次动作过程。

当有新能源电厂接入系统时，发生短路时短路电流有一部分由新能源电厂提供，阻抗图如图 2 所示。

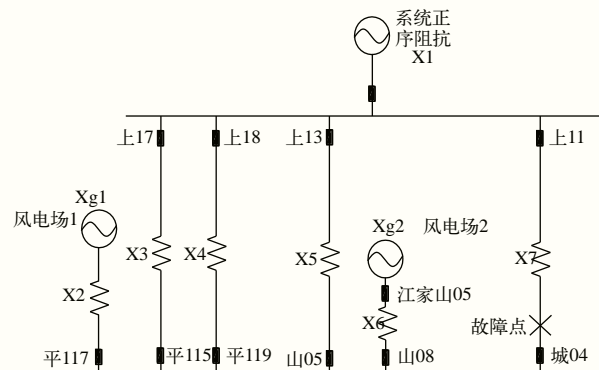


图2 系统正序阻抗图

由于零序阻抗与变压器中性点是否接地密切相关，风电场 1 和风电场 2 以及系统主变接地，因此零序阻抗图如图 3 所示。

故障点零序电流大小与系统至故障点的正序阻

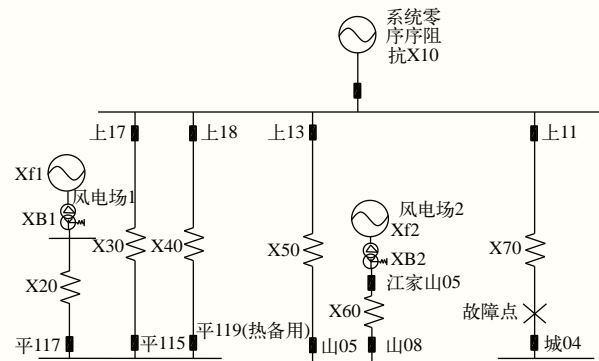


图3 系统零序阻抗图

抗和零序阻抗有关，但是零序电流走向与系统接地点有关。

电流走向图如图 4 所示，零序电流主要通过故障点经过大地流向主变中性点。

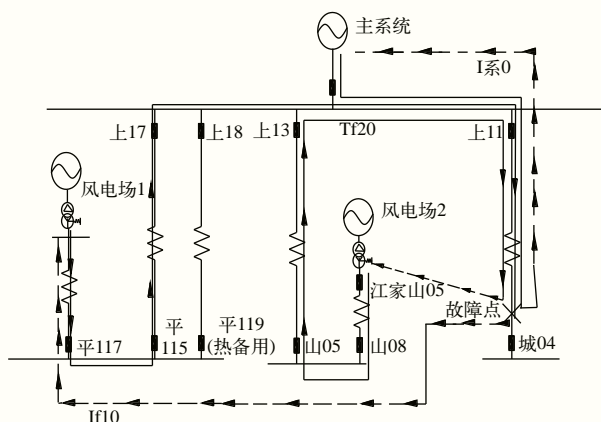


图4 零序电流走向图

本次故障中，风电场 1、风电场 2 以及主系统三条零序回路给故障点提供零序电流。上 11 零序二段动作，属于正确动作，确保本线路有故障时可靠切除。平 115 零序三段保护动作，平 117 零序四段保护动作属于误动作。因故障发生区外造成本线路调闸，导致出现损失负荷的情况。风电厂 1 由于零序电流未达到定值，故未动作。

#### 4.3 线路整定计算及配合

根据《湖北电网继电保护整定计算细则》，110 kV 电网线路主要配置差动保护、距离保护、零序保护。差动保护主要保护本线路，出现故障时快速动作。三段式距离保护主要保护本线路，并作为下一级线路的后备。三段式零序保护主要针对接地故障，有较高的灵敏度，作为本线路主保护及下级线路的后备保护。线路上下级定值与时间依次配合。由于本次误动主要是零序电流引起，因此着重讨论零序电流整定及配合。

按躲本线末端接地故障最大零序电流整定，对于线变组接线，可按躲过变压器中（低）压侧相间故障的最大不平衡电流整定，动作时间一般取 0 s。

优先与相邻下级线路零序 II 段保护配合整定，在条件允许的情况下，可按与相邻下级线路零序 I 段保护配合整定。

按保本线路末端接地故障有不小于规定的灵敏系数整定，并力保相邻线路末端接地故障有不小于

规定的远后备灵敏系数。

应可靠躲过所供变压器其他各侧三相短路最大不平衡电流。

应保证高阻接地故障时能可靠切除，一次值一般不大于 300 A。如无法满足，应设置零序 IV 段。

各线路保护一次值如图 5 所示。

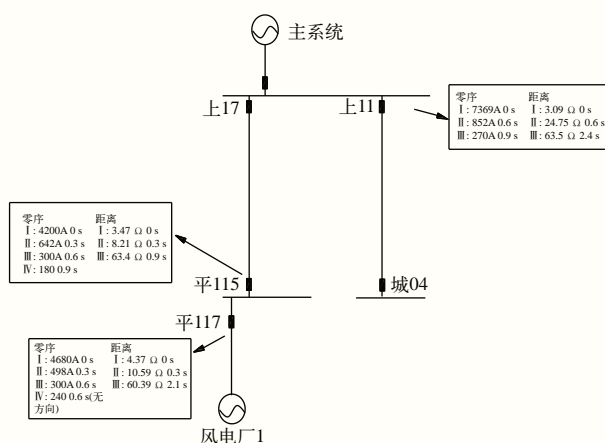


图5 110 kV 线路定值配合图

本系统线路计算过程中，由于上庙为主系统，上 11 主送城 04，故计算过程中未考虑与区外线路上平（上 17—平 115）线配合。上平线与主系统联络线，主要潮流为上 17 送至平 115，不考虑平 115 送至上 17 母线后与出线配合情况，具体定值如图 5 所示。

由于平 117 零序四段时间 0.6 s，平 115 三段时间 0.6 s，上 11 零序二段时间 0.6 s，当城 04 附件发生接地故障时，主系统与风电场提供零序电流，故引起上城线区外动作，扩大停电范围。

#### 4.4 措施及建议

电网接地方式一般有 3 种，主要有中性点直接接地，中性点不接地和中性点经间隙接地。目前 220 kV 主变一般采用中性点接地方式运行。110 kV 变压器采用经间隙接地或直接接地运行。对于有效直接接地系统而言，变压器中性点对地偏移电压通常被限制在一定范围内。本地区目前已投运的 110 kV 风电厂，大部分采用中性点直接接地方式，导致本地区零序网络过于复杂，出现变压器检修时，零序网络变化较大<sup>[3]</sup>。

若本次故障，若风电厂 1 和风电场 2 升压变压器中性点选择经间隙接地方式，零序电流只剩下主

系统至故障点回路，则至故障点正序阻抗不变，零序阻抗将发生变化，零序回路图如图6所示。

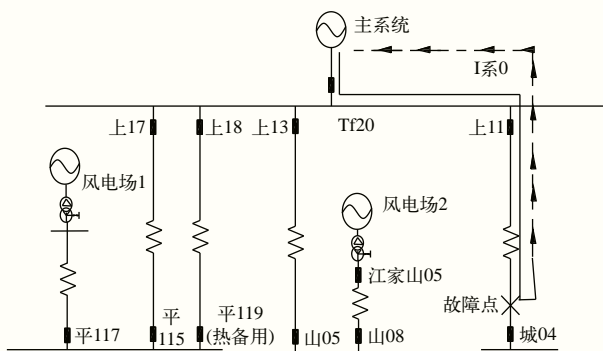


图6 中性点不接地后零序电流回路

新能源电厂升压变经间隙接地后，线路发生接地故障后，零序回路只有系统与故障点之间连通，新能源电厂不再提供零序电流，故不会引起故障线路区外跳闸情况。

综上所述，为维护零序网络稳定，建议新能源电厂升压变中性点通过间隙接地，在单相接地过电压条件下，中性点间隙经过延时后击穿，从而实现保护变压器保护的目的，同时避免因区外故障产生误动作<sup>[5]</sup>。

## 5 结束语

随着新能源电厂的快速发展，厂内的110 kV变压器中性点接地方式对电网零序网路的影响也越来越显著。为维护电网稳定，确保零序保护正确可靠动作，建议采取以下措施。

新能源升压变压器中性点采用经间隙接地方式运行，以保持电网零序网络稳定，避免因接地故障产生穿越性跳闸，造成停电范围扩大。

新能源区域设备保护宜配置差动保护，确保设备发生故障时快速动作。

梳理全区110 kV定值单，取消零序四段无方向保护，避免保护出现无选择性跳闸。

## 参考文献

- [1] 李俊鹏. 云南电网大规模风电接入继电保护探讨[J]. 云南电力技术, 2014, 42(增刊): 11-12.
- [2] 焦在强. 大规模风电接入的继电保护问题综述[J]. 电网技术, 2012, 07(7): 195-201.
- [3] 刘慧媛. 110 kV风力发电厂110 kV变压器中性点接地问题研究[J]. 应用科技, 2013, 15: 103-105.

- [4] 刘林. 分布式发电对配电网继电保护和重合闸的影响[J]. 四川电力技术, 2011, 34(2): 28-29.
- [5] 安新林. 110 kV变电站跨地区线路跳闸分析[J]. 农村电气化, 2016, 05(10): 27-28.

## 作者简介

张秋怡(1995—)，女，工学学士，助理工程师，研究方向：电力系统继电保护运行管理，E-mail: 250896484@qq.com。

李梦娜(2000—)，女，工学学士，助理工程师，研究方向：电力系统运行管理，E-mail: 960219176@qq.com。

胡珩(1996—)，女，工学学士，助理工程师，研究方向：电力系统调度运行管理，E-mail: 914692885@qq.com。

(责任编辑:张峰亮)

## 资讯

### 江西赣州公司：无人机照明助力夜间作业

2023年12月14日3:30，在江西省赣州市兴国县埠头乡钓鱼台风电场——埠头π入长冈变电站220 kV工程施工现场，随着无人机升至100 m高度，整个施工现场瞬间亮如白昼。国网赣州供电公司施工人员完成准备工作后，借助照明灯光迅速登塔开展跨铁路封网及导地线架设作业。

该工程于2023年11月启动，是赣州地区首次同时跨越2条以上铁路的作业，也是国网赣州供电公司史上作业难度最大、风险系数最高、持续时间最长的施工项目。为进一步减小施工给铁路运行造成的影响，国网赣州供电公司从11月下旬起，连续20余天在每天3:30—4:30铁路班次“天窗”时段开展施工。传统夜间施工照明采取在地面放置燃油发电灯的方式，光源向上，照明范围有限，塔顶作业的施工人员基本只能依赖手电筒光源照明，不仅对施工进度造成影响，还存在一定安全隐患。

为破解这一难题，国网赣州供电公司创新性采用无人机系留灯组的方式，使用无人机携带光源及发电机，悬停在空中进行夜间照明。经前期反复论证及测试，于14日凌晨正式投入使用。在900 kW的照明灯光下，铁塔上设备的每一处细节一览无余，弥补了传统照明设备照明范围有限、光源朝向阻碍视线的短板，在确保施工安全的前提下提升施工效率。

信息来源：国网江西省电力有限公司



# 基于多线式智慧移动指挥的配网调度管理体系研究

耿 晋\*, 黄亚磊, 时 鹏

(国网山东省电力公司菏泽供电公司, 山东 菏泽 274000)

**摘要:** 随着配网规模增大, 设备数量增多, 配网调控和运维人员高峰时业务承载力不足、现场等待时间长、调控移动应用开发不足、内网移动终端便利性不够、配网信息支撑不足以及参与业务流转效率低等问题日益突出。文章以提高调控信息的实时感知、提升调控运行安全可靠为目标, 统筹调度管理系统、网络下令指挥平台和“i配调”3大应用系统, 建立配网调度指挥至现场运维支撑的2级网络快速响应机制, 打造基于多线式智慧移动指挥的配网调度管理体系, 旨在从调度操作智能化、带电作业平台化、设备检修网络化、定值管理可视化、故障传递多元化和调控信息共享化6大方面, 实现配网调控业务联系由传统“内网+电话”到“移动+可视”交互的转变, 解决配网调度管理突出问题, 提高配网调控业务处理效率和协作能力, 提升配网运行管控精益化水平。

**关键词:** 配网调度管理; 移动管理; 智慧调度

中图分类号: TM763

## Research on Distribution Network Scheduling and Management System Based on Multi-Line Intelligent Mobile Command

GENG Jin\*, HUANG Yalei, SHI Peng

(State Grid Heze Electric Power Supply Company, Shandong Heze 274000, China)

**Abstract:** With the expansion of the distribution network scale and the increase in the number of devices, issues such as inadequate capacity to handle peak business loads, long waiting times at field sites, insufficient development of mobile control applications, lack of convenience for internal network mobile terminals, inadequate support for distribution network information, and low efficiency in participating in business flow have become increasingly prominent. This paper aims to improve real-time perception of control information and enhance the safety and reliability of control operations. It proposes a two-tier network rapid response mechanism that integrates the dispatch management system, network command platform, and i-distribution network dispatch mobile APP, to support the coordination of dispatch command with on-site maintenance in the distribution network. The goal is to establish a smart mobile command-based distribution network dispatch management system, focusing on intelligent dispatch operations, platform-based live-line work, network-based equipment maintenance, visualization of parameter management, diversification of fault transmission, and sharing of control information. The objective is to transform the traditional "intranet + telephone" mode of communication in distribution network control operations to a "mobile + visual" interactive approach, resolve prominent issues in distribution network dispatch management, improve the efficiency and collaboration capability of distribution network control operations, and enhance the lean management level of distribution network operations.

**Keywords:** distribution network; distribution network dispatch management system; scheduling management

随着配网网架日益完善、配网负荷不断增加, 计划检修、非计划检修、带电作业、配网故障次数将逐年增大, 值班人员工作量和压力也逐年增加, 班组承载力将接近满载<sup>[1]</sup>。高峰时业务承载力凸显不足, 现场运维人员等待调度指令时间较长; 配网

收稿日期: 2023-09-28

运维检修人员获取配网信息支撑不足、参与业务流转的效率较低。如何切实提高配网调度工作效率, 满足日益增长的庞大业务需求是当前最严峻的问题<sup>[2-3]</sup>。而目前传统的依赖人工经验对配网调度管理工作模式已难以适应配电网精益化管理、精准化作业的要求。

## 1 基于多线式智慧移动指挥的配网调度管理体系

### 1.1 管理目标

以提高“调控信息”实时感知、提升调控运行安全可靠为目标，依托移动终端数字化优势，实现配电网调度操作、带电作业流程管控、配网定值单管理以及故障抢修指挥等环节的数智化转型。基于“i配调”移动终端，深度融合配网5大运维业务，实现配网业务流程精益管控、调控全场景监测、自动化移动运维等，提升配网调控业务效率和协同能力，最终实现配网运行管控精益化水平提升。

### 1.2 管理基础

开发“i配调”手机应用，实现以“调控信息数字化”驱动配网调度、现场抢修、信息交互等业务开展的突破，完成配网管理工作模式由传统的“点对点”信息化到“多线式”可视化的重要转变。“i配调”应用立足配网调控全业务流程，遵循国家电网公司移动应用总体架构，实现调控运行、方式计划、继电保护、配电自动化和基础支撑5项18类配调业务全过程闭环管理。

### 1.3 管理框架

统筹调度管理系统、网络下令指挥平台、“i配调”3大应用系统共建共享，建立“配网调度指挥至现场运维支撑”2级网络快速响应机制，实现配网调控业务联系由传统“内网+电话”到“移动+可视”交互的转变。打造“多线式智慧调度指挥”配网管理新模式。如图1所示。

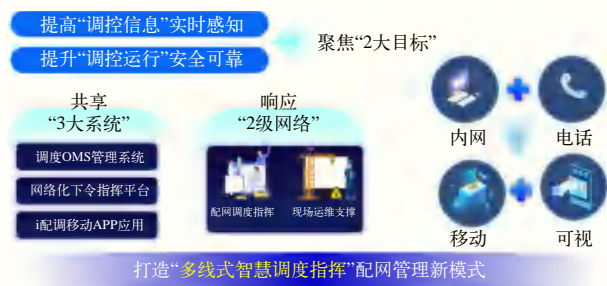


图1 基于多线式智慧调度指挥的配网调度管理构架

## 2 体系的实施

### 2.1 调度操作智能化

传统调度操作采用的是人工拟票+电话下令，

存在拟票重复、易出错、业务串行、话务量巨大、人员承载力不足的问题<sup>[4]</sup>。依托配电自动化系统、网络化下令系统及“i配调”应用，配网操作票进入智能成票新时代，具备检修票成票、典型票成票、点图成票、逆序成票、检修票成票多种拟定功能，实现s级智能出票，如图2所示，从根本上解决不断增长的配网精益管控需求与人员承载力不足的矛盾。



图2 调度操作智能化功能图

配网调度下令进入智能防误新时代，具有调度术语规范性校核、设备状态实时校核、操作过程防误提醒、基于拓扑逻辑校核等防误功能，提升操作安全的同时，操作指令由“听”变“看”，解决了配网操作安全与停电电操作时长的矛盾。

传统调度运行操作票需要手工编写，调度操作依靠人工防误，受人员主观经验影响较大，调度业务串行操作，现场运维等待时间较长。而采用网络化下令系统，实现智能拟票，s级出票，全方位提质增效、全要素实现安全可控。调度指令由之前串行操作，现场运维等待转变为多线并行，调度业务全过程管理更加精益。调度操作智能化流转，多线式调度指挥效率显著提升。

### 2.2 带电作业平台化

不停电就是最好的服务，带电作业是保障可靠供电的有效方式。菏泽直供区日均带电作业数量约12项，每项带电作业从发起、审批到开工、竣工许可涉及多个单位信息互通，至少需要接打8次电话，现阶段仍采用线下传递，存在信息传递不畅问题。尤其是带电作业抢修时弊端较为明显，如施工地点、

现场环境是否支撑带电作业，传统业务沟通采用发视频、打电话等方式现场对话，影响抢修速度和抢修效率。

依托网络化下令系统及“i配调”应用，带电作业管理流程从申请、批复到下令许可等流程，全部实现线上云端汇聚，作业开竣工全部网络化许可，如图3所示，解决现场只能现场对话，信息传递失真问题，带电作业云端流转，实现作业流程最优化，人员能效最大化，应用成效显著。



图3 带电作业平台化功能图

### 2.3 设备检修网络化

配网设备检修管理是提升配网设备安全稳定运行和供电服务水平的重要组成部分。检修票涉及检修申请、调度预告、许可开工、复电核实各个环节，涉及人员包括现场运检、方式计划、继电保护、配电自动化等专业，传统检修申请的提报需要现场运维人员办公内网实时在线，在发生临时故障抢修时，现场运维人员忙于现场，无法在线提票，须返回办公驻地或通过电话、微信等方式进行信息传递。配网方式、保护、自动化人员也无法实时完成流程批复，只能依靠调度人员支援。调度人员在处理事故的同时，须兼顾现场提票、方式及保护批复。

依托“i配调”应用，将现场拟票、方式批复、保护批复、检修开工、复电核实流程网络化流转，在手机移动App中建设检修票管理模块，将设备检修各环节网络化，实现检修提报、配网方式、保护、自动化人员流程即时处理，检修票各个环节流程由“繁”变“简”，多联动网络化检修提质增效，如图4所示。

### 2.4 定值管理可视化

配网定值管理是保证电网安全稳定运行的一项



图4 设备检修网络化功能图

重要手段。配电定值管理普遍存在异动频繁、保护整定工作量大的2大难题。之前，配网保护定值管理流程全部依赖于OMS系统中的开关保护定值单，管理过程中存在4大难点：保护整定计算人员需要线下收集配网相关参数；配网开关定值查阅需在配网中查看，较为不便；定值流程流转全部依赖内网，无法及时归档；部分整定计算涉及开关较多，如电压型线路单台开关异动须完成全线所有分段开关定值单编制，保护整定人员和现场人员难以统筹分析<sup>[5]</sup>。

基于保护定值的可视化管理思路，开发了“定值管理一图清”模块，新增设备参数报送环节，为保护整定计算人员提供便利。如图5所示，保护定值可视化展示流程，将原来的多份开关保护定值单转变为线路定值拓扑可视化展示，同时移动端应用为定值核对实时回填提供了工具，实现配网保护定值管理一图览全局，一键全穿透。

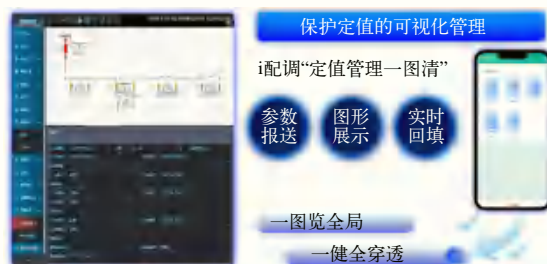


图5 定值单管理可视化功能图

基于“i配调”模块的配网保护管理，参数报送、定制发布、现场执行、现场校核各环节快速回填，实现保护整定规范便捷、现场执行高效顺畅、配网保护同质管理。

### 2.5 故障传递多元化

配电网运行监视是调控人员核心业务，设备故障跳闸后，配调人员须将跳闸信息实时通知现场抢修人员。配网巡线和抢修等现场人员，若想获得配



网故障时运行方式、线路接线图、开关分合变位信息等，仅能凭借电话问询或个人记忆，受限传统电话通知模式，故障通知一对一，跳闸信息全部局限于调度员手中。如图 6 所示。

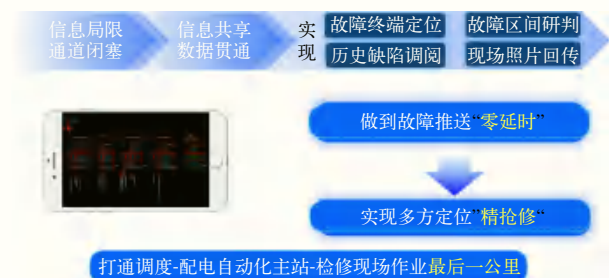


图6 故障传递多元化功能图

“设备故障信息实时传递”模块的开发应用，实现了故障信息实时发布、FA 故障分析报告、故障线路图和停电范围定向推送，解决配网故障处置传统电话模式下信息传递迟缓、不可视等问题，实现故障信息传递具体化、可视化。打通了调度台—配电自动化主站系统—检修现场协同办公的“最后一公里”。信息内容丰富，交互传递准确，故障处理高效，实现故障推送“零延时”，多方定位“精抢修”。

## 2.6 调控信息共享化

配网调度作为配电网运行数据的汇集中心，重要保电、电网风险、异常缺陷、接地跳闸小而多但又极为重要，是现场运维人员无法实时掌握到调控信息，全部依赖调控运行人员被动通知<sup>[6]</sup>。

基于“i 配调”“调控信息”模块，实现了调控信息的共享，现场运维人员可在手机上完成 OMS 值班日志中记录信息的查询，方便快捷，运维能动性进一步加强。调控信息查看功能模打破传统信息传递壁垒，9 类配网设备监视信息，现场运维人员可通过手机端实时获取，并可主动跟踪，支撑配网设备的精益运维及精益检修，如图 7 所示，彻底解决现场运维人员看不到调控信息，调控人员一遍一遍通知难放心的现状，配网设备运维能动性持续提升。

## 3 实施效果

### 3.1 数字化精准调控

“i 配调”与调度管理 OMS、网络化下令系统

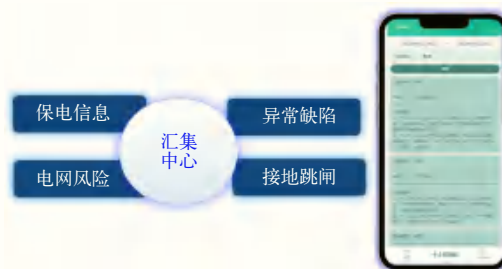


图7 调控信息共享化功能图

融合，实现“同一账号，登陆互联，即刻记录，数据共享”。将一线运维工作人员从内网系统中解放出来，有效提升业务管理效率。自“i 配调”试运行以来，共执行停电计划 258 项，完成网络下令 3 697 次，成票及操作执行正确率达 100%；操作票编制时间由 10 min 缩短至 s 级，配电线路停电水平平均操作时间由 27 min 压降至 9 min，配调人员单值业务流转执行耗时由原来的 1 574 h 降低至 1 088.2 h。调度操作指挥效率提升 49%。

### 3.2 多线式智慧指挥

“i 配调”的应用，实现了配网 5 大运维业务的流程精益管控、调控全场景监测、自动化移动运维等，保证了数据共享的实时性与安全性的同时，提升了配网调控业务的处理时效及同步协作能力，网络快速信息的实时传递提升了配网运行管控精益化水平，配网调控管理进入多线式智慧指挥新模式。

## 参考文献

- [1] 冉晓霞. 电力系统中配网调度管理模式研究综述[J]. 中国设备工程, 2020 (23): 78-80.
- [2] 罗东. 电力配网调度管理实践及其技术的研究[J]. 中国新通信, 2019, 21 (24): 234.
- [3] 杨淑娟. 配网调度管理中存在问题 and 优化策略分析[J]. 科技创新与应用, 2019 (4): 193-194.
- [4] 张锦添. 配网调度全流程智能系统的设计与应用[J]. 电工技术, 2022 (15): 7-8, 12.
- [5] 刘国强, 魏存良, 邓文科. 基于配网整定计算平台的定值单审批流程[J]. 电子技术, 2021, 50 (8): 68-69.
- [6] 徐浩, 武毅, 董向明. 基于调控云的电网调控数据信息共享的研究[J]. 湖北电力, 2018, 42 (5): 17-24.

## 作者简介

耿 晋 (1991—)，女，工程师，从事配网调度、配电自动化技术方面研究工作，E-mail: 1015463326@qq.com。

黄亚磊 (1990—)，男，工程师，从事配网调度工作，E-mail: 972202339@qq.com。

时 鹏 (1988—)，男，高级工程师，从事电网检修、电网安全管理等工作，E-mail: 297540227@qq.com。

(责任编辑: 张峰亮)



# 基于数字化技术的电力安全工器具管理系统的研发

詹滨瑜\*, 李鹏, 王廷武

(广东电网有限责任公司深圳供电局有限公司计量管理所, 广东 深圳 518100)

**摘要:** 电网企业作为承担电力供应的单位, 验电器、绝缘手套、绝缘靴等安全工器具使用频繁, 但领用、归还、盘点等手续复杂, 须人工清点和登记, 效率低, 错误率高; 状态无法实时监控, 管理人员不能实时查看工器具当前状态和使用人, 容易造成遗失且追溯困难; 管理滞后, 无法及时明确哪些工器具需要检验保养, 造成安全隐患。为了适应当前新形势的发展, 聚焦“数字赋能、基层减负、提质增效”, 亟待采用先进有效的技术手段, 对安全工器具实行高效精益化管理; 因此, 公司提出“安全工器具数字化管理工具的研制”职工技术创新项目, 文章就该项目情况进行阐述。

**关键词:** 电网数字化转型; 数字化; 安全工器具

中图分类号: TM763

## Research and Implementation of Electric Power Safety Tools and Tools Based on Digital Management Technology

ZHAN Binyu\*, LI Peng, WANG Tingwu

(Guangdong Power Grid Co., Ltd. Metrology Institute of Shenzhen Power Supply Bureau,  
Guangdong Shenzhen 518100, China)

**Abstract:** As a unit responsible for power supply production, power grid enterprises frequently use safety tools, such as electrical testers, insulating gloves, insulating boots, etc., it needs manual counting and registration, low efficiency, high error rate, status can not be real-time monitoring, managers can not real-time view the current status of tools and tools and users, easy to cause loss, traceability trouble; The management has the lag nature, causes not to be able to discover the tool to need the inspection maintenance in time, may cause the safety hidden danger. In order to adapt to the development of the new situation, focusing on "Digital energy, grass-roots burden reduction, quality and efficiency", it is urgent to adopt advanced and effective technical means to implement efficient lean management of safety tools. Therefore, the power grid enterprises put forward the "Safety tools digital management tool development" staff technical innovation project.

**Keywords:** power grid digital transformation; digital; safety tools

随着能源数字化转型和新型电力系统建设的推进<sup>[1]</sup>, 电网企业的安全工器具数字化管理工具研究的应用前景非常广阔。用数字化技术取代传统人工对安全工器具的管理, 提升安全工器具的数字化管理能力, 推动供电企业计量管理数字化转型和智能化发展。

### 1 系统设计和技术路线

拟采用引进射频标签识别技术, 配套开发本地化管理软件, 研制一套安全工器具数字化管理工具, 实现领用、归还、盘点等业务环节的数字化、精益化, 同时具备温湿度等环境信息实时监控, 试验周

收稿日期: 2023-10-25

期到期自动提醒等功能。其架构主要包括基础设施层、信息资源层、支持平台层、应用系统层和数字化综合平台层。

#### 1.1 数字化管理技术说明

##### 1.1.1 系统架构与组成

安全工器具管理工具采用图形用户界面, 有操作提示和操作指导功能, 大多数任务使用鼠标即可操作完成, 同时任务间切换应快速、简单。显示的信息根据要求可以是数字或图片, 所有的指令、出错信息显示在屏幕上。功能键的定义在系统保持一致。

系统总体设计思路主要考虑系统的扩展性、柔性, 在业务扩展或业务改变的情况下减少系统的

修改。

采用多层架构设计，将界面操作层、业务逻辑层、数据实体和访问层分别实现。

在界面层中将显示界面和业务处理（验证、校验等）分离，实现界面今后更改的要求。

将业务流、单据流单独作为功能实现，在设计业务流时，采用4W1H的设计思想配合设计业务流程，实现业务流和单据流的操作，便于业务的扩展。

将系统的信息节点采用配置的方式实现。

基于数字化技术的电力安全工器具管理系统主要包括基础设施层、信息资源层、支持平台层、应用系统层和数字化综合平台层，其系统架构如图1所示。

接口设计包括 Web service 技术交换和中间数据库交换。

Web service 技术交换：Web Service 的主要目标是跨平台的可互操作性，为了达到这一目标，Web Service 完全基于 XML（可扩展标记语言）、XSD（XML Schema）等独立于平台、独立于软件供应商的标准，是创建可互操作的、分布式应用程序的新平台。采用该方式可以由外部系统提供接口服务，管理系统通过调用接口服务将数据传递给外

部系统，由外部系统自行存储和处理；同时管理系统通过调用接口服务实现外部数据的获取，获取到的数据在管理工具内部实现处理和存储。

中间数据库交换：此方式采用一台 PC 机安装数据库，所有要交换的数据都通过此数据库中的表进行交换。外部需要的数据，管理工具以视图的方式提供，管理工具需要的数据由外部系统主动导入或者管理工具提供对应功能，由用户手工操作导入。对各个系统来说，这种交换方式编程简单，容易实现。

### 1.1.2 系统说明

基于数字化技术与高频无感式高速识别技术的电力安全工器具管理系统，采用数字化、智能化的方式，实现领出、归还、盘点、监控检验和保养日期、预警预判等，无须人工处理，工作效率大大提升；实时了解工器具资产的状态；快速进行资产盘点，盘点电子标签 300 个以上，最快只需 5 s，无误读、无漏读；满足各种业务、流程的管理要求，具有智能提醒、数据统计、实时记录等功能；工器具借出超时或超出使用期限，及时语音提示报警。

基础设施层：使用库房管理基础硬件，实现办公、资产身份信息采集、数据存储和网络通信。

信息资源层：基础层获取相关数据，分类到相



图1 系统架构图

应的数据库中，以便形成数字化处理。

**支撑平台层：**设计应用组件和配置各类工具，支撑应用层实现相关权限管理、运行日志、身份认证等功能；设计部分使用工具，以便实现数据支撑。

**应用系统层：**包含相关业务接口、基础设备服务、设备监控系统 and 设备控制、数据采集等。资产身份绑定采用高频无感式电子标签进行身份信息录入，可实现电力安全工器具从唯一身份信息录入到出入库、盘点，再到报废等业务流程操作，使业务流程形成数字化。

**数字化综合平台层：**设计数字化管理工具，形成资产数字化管理操作平台，再衍生成各类型资产数字化管理平台，实现电力公司全部资产数字化管理<sup>[2]</sup>。

## 1.2 环境监控数字化

环境监控系统通过智能设备采集所有库房内的温度、湿度、空气质量（PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、TVOC、CO<sub>2</sub>以及甲醛值）、烟雾探测、漏水状态、人员侵入等数据，并通过自动模式控制空调、恒湿净化一体机、空气消毒净化机等智能设备，达到调节温湿度、空气净化、消防监测的目的，实现了安全工器具管理库房内空气质量的智能管理，保护工器具资产本身安全和从业人员的身体健康，如图2所示。

## 1.3 门禁信息数字化

门禁系统与资产管理系统配合，完成自动出入

库的门禁管理。通过门禁系统实现对安全工器具库房出入和资产出入库等的管理，门禁数字化架构如图3所示。

采用刷卡/指纹的方式开锁，自动验证身份权限、自动记录进出记录、自动绑定任务信息，向上层服务提供数据管理。

## 1.4 数字化大屏展示

通过电力安全工器具管理系统整合处理后的数据，结合大屏可视化软件，形成数字化大屏展示界面内容，使安全工器具管理更加清晰、智能、简洁。同时，使操作人员一目了然知晓资产出入库、库存和任务信息等内容，方便及时应对各种情况，数字化大屏展示界面如图4所示<sup>[3-6]</sup>。

## 2 系统应用扩展与价值

### 2.1 系统应用扩展

基于高频无感式高速识别技术<sup>[7]</sup>的电力安全工器具管理系统可接入供电公司各个系统平台，实现安全工器具的全生命周期管理，支撑决策；无缝支持施工类工器具、备品备件资产和档案的管理。如图5所示。

### 2.2 系统应用价值

管理能力上，采用数字化技术，提升安全工器具资产的管理能力，可实时了解工器具的状态，减少管理成本。

通过本项目实际开展的成功经验和推广成果，



图2 环境监控数字化架构图

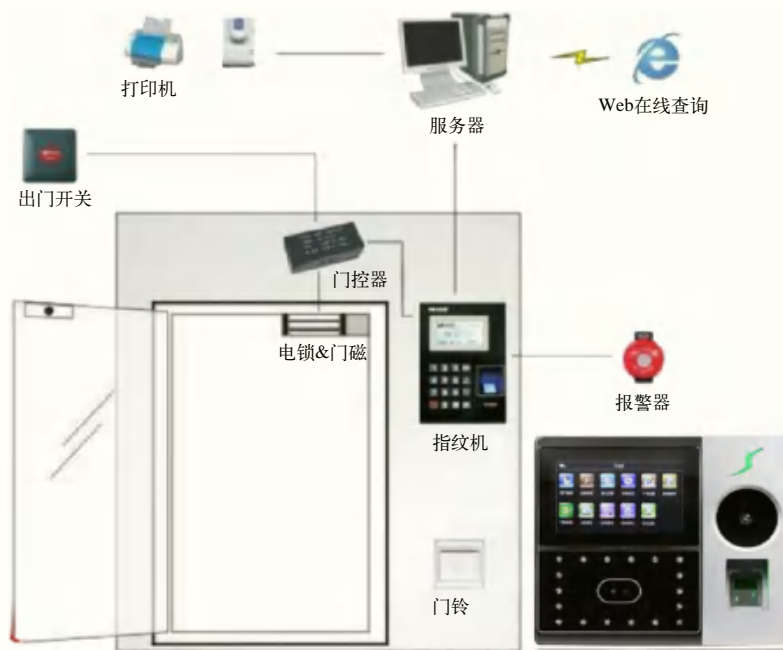


图3 门禁信息数字化架构图



图4 数字化大屏展示界面效果图

制定安全工器具的数字化管理规范。

### 3 系统应用价值

本研究应用后，将明显提高安全工器具的领出、归还、盘点和校验保养监督等效率以及标准化管理程度，减少作业时间，降低管理成本，杜绝安全隐患。

采用数字化手段，提高工作效率，实时了解工器具状态，便于追溯；满足各种业务、流程的管理

要求，具有智能提醒、数据统计、实时记录等；工器具借出超时或使用期限，系统及时预警预判，管理更加安全高效。

### 4 结束语

通过基于数字化管理的电力安全工器具数字化管理工具研究，替换传统人工管理与作业方式，采用数字化相关技术，规范和优化安全工器具的领出、归还、盘点、到期试验等业务，提升电力企业对安



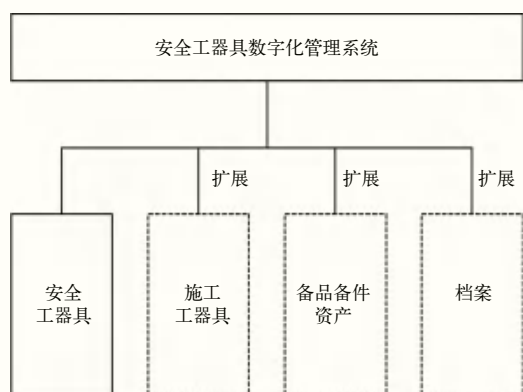


图5 系统业务扩展图

全工器具的数字化管理能力，后续还可升级，支持普通工器具、备品备件等高效、精益化的全生命周期管理。

### 参考文献

- [1] 靳丹, 张小敏, 何清素, 等. 一种电网数字化管理指标体系

(上接第36页)

### 2.4 防范措施

本次电压异常波动偶发性强、持续时间不定、故障点多重化，因整体元器件运行时间较长，易出现绝缘降低、接触不良等状况，若处理不及时，后期存在着故障时间变长，频次增多，压降幅值增大，甚至扩大故障范围影响保护功能等隐患，干扰设备正常运行。为减少类似情况发生，后续建议采取以下措施：

**增强源端管控。**严格执行标准化作业规范，提升设备投产验收质效，保证设备安装质量、运行质量。

**做好针对性整改。**检修班组须做好备件储备工作，如本次案例中220 kV II段母线TV隔离开关机构内已无多余的常开辅助接点，必要时结合停电检修进行针对性的整改。

**提升巡视质量。**针对年限较长的变电站，运维班组加强日常巡视，并通过锤炼核心业务能力提升隐患查找水平。

### 3 结束语

母线电压异常是一种影响范围广、危害潜力大的缺陷，且随着变电站投运时间增长，发生概率也

的构建方法：CN202111606290.0[P]. CN202111606290.0 [2023-09-06].

- [2] 杜舒明, 梁雪青, 赵小凡, 等. 基于物联网的电网数字化管理平台构建[J]. 数字技术与应用, 2021, 39 (12): 225-227.
- [3] 王春胜, 付斌, 王维信, 等. 电力安全工器具试验管理系统: CN201910638392.7[P]. CN110378446B [2023-09-06].
- [4] 游战清. 无线射频识别技术(RFID)理论与应用[M]. 电子工业出版社, 2004.
- [5] 余雷. 基于RFID电子标签的物联网物流管理系统[J]. 微计算机信息, 2006 (2): 233-235, 232.
- [6] 张肖回. 图书馆RFID智能管理系统述评[J]. 图书馆建设, 2009 (10): 63; 64.
- [7] 常荣, 陈运忠, 刘婉媛, 等. 基于无感识别技术的工器具智能分类系统设计[J]. 计算技术与自动化, 2022, 41 (3): 142-147.

### 作者简介

詹滨瑜 (1992—), 女, 本科, 工程师, 主要从事计量运维的物资管理工作, E-mail: 278803659@qq.com.

(责任编辑: 张峰亮)

逐年递增。本文针对一起母线电压频繁跌落问题进行了剖析处理，分析了电压异常原理、危害，通过现象初览、源端检测的思路定位、处理缺陷，并提出了具体的防范措施，为处理变电站母线电压异常问题提供了查找解决思路。

### 参考文献

- [1] 黎宏飞, 高宗宝, 吴达, 等. 母线电压不平衡问题暂态分析方法研究[J]. 电工技术, 2023 (7): 137-141.
- [2] 王婷. 一起电压互感器次级熔丝松动引起母线电压异常分析[J]. 农村电气化, 2022 (4): 95-96.
- [3] 郑晓琼, 康臣, 严太山, 等. 500 kV电压互感器电压异常故障的处置与分析[J]. 农村电气化, 2019 (1): 34-36.
- [4] 戚矛, 王贺, 熊剑, 等. 220 kV母线电压互感器故障[J]. 农村电气化, 2017 (9): 28-29.
- [5] 韦庆宁. 主变压器保护复压并联启动问题探讨[J]. 广西电力, 2013, 36 (4): 63-65, 86.
- [6] 王长春. 母线死区保护的完善[J]. 东北电力技术, 2008, 29 (12): 13-14, 17.

### 作者简介

项锦晔 (1994—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事变电站运维检修工作, E-mail: zjpaxjy@foxmail.com.

王海泉 (1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 继电保护高级技师, 主要从事继电保护调试与研究, E-mail: 593364170@qq.com.

(责任编辑: 张峰亮)

# 变电站继电保护室安全措施自动布置系统研制

周 婷, 管 州\*, 王 政, 赖政瑞

(国网浙江省电力有限公司杭州市余杭区供电公司, 浙江 杭州 311100)

**摘要:** 变电站继电保护室安全措施包括“在此工作”标示牌和“运行设备”红遮布。为解决变电站继电保护室内布置安全措施时间过长的问题, 提出安全措施自动布置系统方案设计, 能够优化继电保护室内安全措施布置流程。该系统具有电子标示牌和电动卷帘, 能够通过算法自动识别需要布置安全措施的屏柜信息, 自动打开相应的标示牌和红遮布, 完成继电保护室内安全措施的布置。经试验证明, 该系统将继电保护室内安全措施布置时间降低至 2 min 以内, 有效提高安全措施布置效率。

**关键词:** 继电保护室; 屏柜; 电子标示牌; 电动卷帘; 自动识别

中图分类号: TM74

## Development of Automatic Layout System for Safety Measures in Substation Relay Protection Room

ZHOU Ting, GUAN Zhou\*, WANG Zheng, LAI Zhengrui

(State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Hangzhou Yuhang District Power Supply Company, Zhejiang Hangzhou 311100, China)

**Abstract:** The safety measures for the relay protection room of the substation include "work here" signs and "operating equipment" red covers. To solve the problem of long safety measures being arranged in the relay protection room of substations, an automatic safety measures arrangement system scheme is proposed. This system can optimize the layout process of safety measures in the relay protection room. The system features electronic signage and electric rolling shutters. It is able to automatically identify screen cabinet information that requires security measures through algorithms. Automatically open the corresponding signs and red masks. Complete the arrangement of safety measures in the relay protection room. After testing, it has been proven that the system reduces the arrangement time of safety measures in the relay protection room to less than 2 minutes. Effectively improve the efficiency of safety measures arrangement.

**Keywords:** relay protection room; screen cabinet; electronic signage; electric roller shutter; automatic recognition

变电站继电保护室内屏柜紧密排列, 各种控制屏、保护屏外形相同颜色一致, 对不熟悉继电保护室内屏柜位置的工作人员需要花费大量的时间去寻找对应的屏柜。此外, 在开展检修工作时, 须要停运部分屏柜并悬挂警示标志, 提醒人们哪些是运行设备, 哪些是须要停运的设备<sup>[1]</sup>。工作人员如果不能区分屏柜的工作状态, 不清楚哪些屏柜及其控制的设备线路需要停运检修, 极易产生误操作, 造成事故。

在继电保护室布置安全措施时, 需要综合考虑相邻屏柜情况, 相邻屏柜的前后左右均放置红布, 且在工作屏柜的前后放置“在此工作”标示牌, 防

**基金项目:** 国网浙江省电力有限公司杭州供电公司 2023 年群众性创新项目, 项目编号 5211H2230012。  
**收稿日期:** 2018-11-30; **修回日期:** 2018-11-30

止工作人员走错间隔<sup>[2]</sup>。

为提升安全措施布置效率, 文献 [3] 中提出在继电保护屏正面的顶端安装一个安全措施盒。安全措施盒参照卷尺弹簧结构, 像卷尺般卷收布帘, 包括“在此工作”“运行中”2 种布帘, 直接翻盒子的分组标示号码牌实现分组<sup>[3]</sup>。另外, 也有利用不锈钢材质的挂钩实现屏柜上布置安全措施<sup>[4]</sup>。

本文旨在通过电子式标识牌和投影灯, 替代继电保护室内实体的安全措施, 并通过识别算法和单片机控制, 让继电保护室内安全措施实现自动识别、一键布置, 提升安全措施布置效率。

### 1 变电站继电保护室安全措施布置基本流程

变电站继电保护室内放置有多个屏柜, 屏柜内

常设有保护装置、测控装置、自动装置、故障录波装置、交直流装置、蓄电池等设备。当某屏柜需要开展检修工作时，运维人员将采取保证安全的技术措施，简称“安措”，主要内容是确认须开展工作的屏柜后，找到相邻屏柜，悬挂“运行设备”红遮布，并在工作屏柜前后放置“在此工作”标示牌，提醒检修人员注意工作地点，布置流程如图 1 所示。



图1 变电站继电保护室安全措施布置流程

从流程图 1 中可以看出，继电保护室内安全措施布置的流程包括寻找屏柜、悬挂红遮布、放置标示牌 3 个环节。

## 2 继电保护室安全措施电子化可行性分析

传统的继电保护室安全措施布置方式采用人工布置方式，费时费力，对人员身高有一定的要求。考虑到继电保护室内安全措施只有红遮布和标示牌，只须要将这 2 项设备进行电子化。参考智能家居系统中采用电动窗帘、智能电灯等自动设备，若将电子设备引入到继电保护室的安全措施中，能够实现安全措施自动布置。

“运行设备”红遮布参考电动卷帘，将印有“运行设备”的红布设计成卷帘，嵌入到转动电机内，电机的正反转能够带动“运行设备”红遮布的释放与收回，如图 2 所示。

“在此工作”标示牌可采用投影灯方式，设计好具备传统标示牌的透镜，通过投影的方式在地面

显示“在此工作”，达到提示效果，且可以通过电源通断的方式控制标示牌的打开与关闭，如图 3 所示。

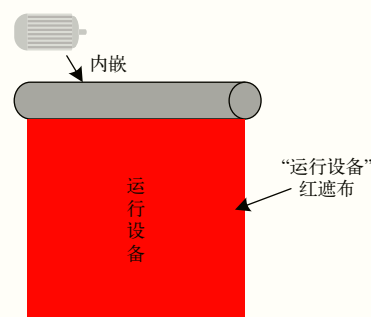


图2 电子式红遮布布置方案

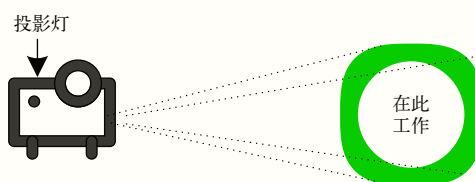


图3 电子式“在此工作”标识牌方案

电子式标示牌和红遮布为安全措施自动布置提供可控终端，是实现智能化布置安全措施的必要条件。

## 3 继电保护室安全措施自动布置系统方案设计

引入智能家居中模块组合的原理，将继电保护室内安全措施布置变得智能化、电子化。本文中系统应由 4 个模块构成，包括人机交互模块、通信模块、安全措施布置模块、供电模块。其控制关系如图 4 所示。

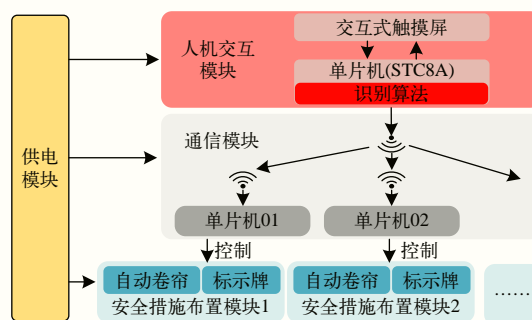


图4 各模块连接示意图

各模块的功能为：

人机交互模块显示继电保护室内电子屏柜图，即继电保护室内屏柜分布情况，运维人员在人机交互模块上选择对应的工作屏柜，系统运行识别算法

自动判定安全措施类型；

无线通信模块能够接收人机交互模块的指令信号，并发送给多个单片机，该单片机根据指令信号对安全措施进行控制；

安全措施布置模块包含自动卷帘和电子式标示牌，自动卷帘能够自动布置“运行设备”红遮布，电子式标示牌能够投射出“在此工作”标示牌，发挥电子式标示牌的优势；

供电模块是为整个系统提供稳定的交直流供电。

### 3.1 人机交互模块

人机交互模块能够通过简单操作实现对装置设备的控制和操作，由硬件设备和识别算法构成。作为本系统的核心，所设计算法需要大量的逻辑运算，因此要求单片机的运算速度快。

#### 3.1.1 单片机

单片机是一种集成电路芯片，经过对比，最终选择 STC8A8K64S4A12 系列单片机，运算速度快，具有 64 KB FLASH ROM、8 KB SRAM、5 个定时器、5 个外部中断、43 个 I/O 口和 12 路高精度 ADC。

#### 3.1.2 触摸屏

触摸屏是一种可接收触头等输入信号的感应式液晶显示装置，经过对比，选用 2.8 寸 ILI93xx 系列触摸屏，屏幕的分辨率为 320 × 240，是 16 位真彩屏显示，自带电阻式触摸板，能显示 65 536 种颜色。设计 TFT 液晶屏显示界面，并设置多个功能键，包括“取消”“重置”“执行”“复位”等，如图 5 所示。

### 3.2 无线通信模块

无线通信模块能够实现数据无线传输，由微控制器接收信号进一步对采集的数据进行处理。它可以根据交互模块提供的信息准确判断须要动作的电动卷帘、电子式标识牌，从而实现安全措施自动化布置。

该模块可以完成人机交互模块与安措布置模块之间的信息传递，有稳定的传输能力及传输距离，能够有效实现各模块间的智能互联，实现智能化、高效化的使用体验。本文分析蓝牙、ZigBee 和 GL24S3 种方案。

蓝牙是一种无线数据和语音通信开放的技术，它可以基于近距离无线连接，为固定和移动设备建

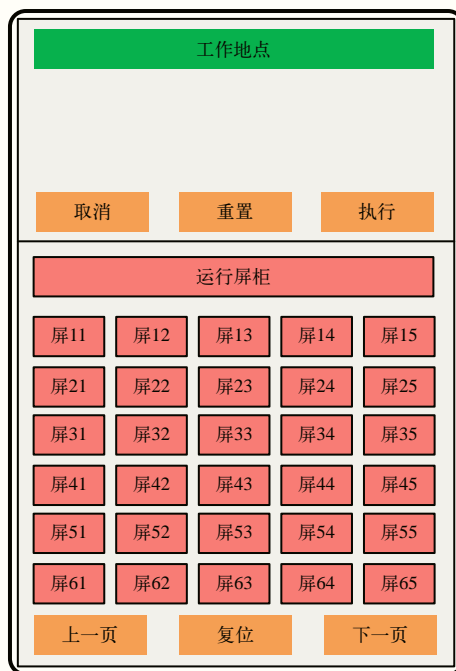


图5 触摸屏显示方式

立通信环境；Zigbee 无线网关是一种低功耗、低速率的短距离无线通信技术。它适用于须要构建小型、低功耗的无线传感器网络的场景；GL24S 芯片有更好的信号传输稳定性，当障碍物多的情况下依旧可以抗干扰。经过对比，最终选用 GL24S 芯片进行站内信号传输。

该模块还要通过单片机控制无线通信模块，在接收到控制模块的信号后，可通过解码控制信号并控制管状电机和电子标牌电源通断，从而驱动电动卷帘的上升与下降、电子式标识牌的打开与关闭，该单片机采用 STC89C52 即可满足控制需求。

### 3.3 安全措施布置模块

安全措施布置模块根据变电站安全措施布置要求，由电动卷帘和电子式标识牌组成。如前所述，电动卷帘能够自动布置“运行设备”红遮布，采用红遮布 + 管状电机组合而成。电子式标示牌采用投影灯，透镜上印有标示图案，能够投射出“在此工作”标示牌。

### 3.4 供电模块

供电模块可以为整个系统提供可靠电源，保证安全措施布置模块正确运行。本系统需要稳定交流电源，通过各屏柜内的照明电源接入，为投影灯和管状电机供电，另外，交流电源还须要转化为 3.3 V



直流电压，为单片机、通信设备等芯片供电，完成安全措施布置。

供电模块选用交直混供的方式，电压波动率 < 5%，所提供电源可以随情况自动切换，当装置任一路电源失电后仍可继续供电，保障装置运行可靠稳定，如图 6 所示。

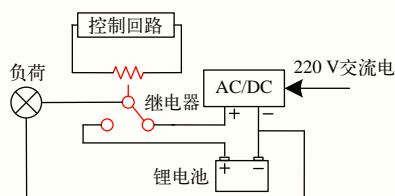


图6 混合供电模块示意图

#### 4 算法分析

如图 7 所示，继电保护室内的屏柜分布无规律，开展检修工作涉及多个屏柜，安全措施布置非常复杂，尤其是传统的综合自动化变电站，屏柜数量多，安全措施布置工作量大。

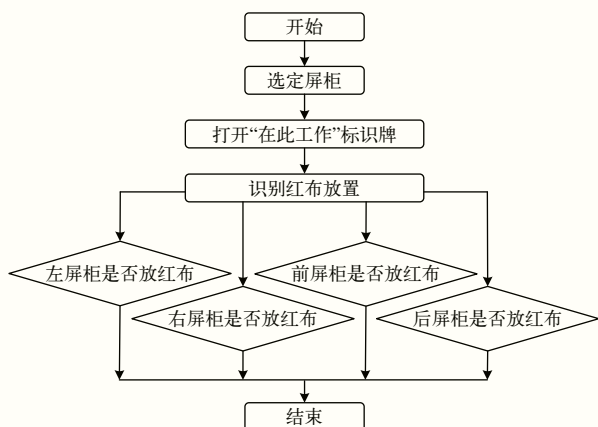


图7 安全措施识别算法

通过人机交互模块可以将屏柜的位置分布情况导入到模块中，运维人员选取须要开展工作的屏柜，算法自动识别哪些屏柜须要布置安全措施，时间短、效率高。

首先在  $M \times N$  的数组中储存了变电站保护室的屏柜分布图，遇到备用屏柜或空屏柜则存为 0；然后通过数组存储交互式屏幕获取的工作屏柜信息、存储的是工作屏柜相邻间隔信息和前后方的屏柜信息，通过遍历各个屏柜的方式实现须要布置安全措施信息的识别。

#### 5 策略实施及可行性验证

##### 5.1 供电模块测试

在直流供电方面，选用的是额定输出直流电压 5 V，额定容量为 2 500 mA·h 的锂电池；在交流供电方面，设计了整流电路，即 AC/DC 转换电路，输入电压设计支持 115~265 V，输出电压为直流 5 V，最大功率 25 W；加装了供电自动切换装置，初始时由直流电源供电，当直流电源输出不符合设定值后自动切换至 220 V 交流整流供电。经多次测试，能实现装置要求，测试结果如表 1 所示，测试结果表明直流供电稳定可靠。

表1 供电模块测试情况

| 时间/min | 电压/V | 时间/min | 电压/V |
|--------|------|--------|------|
| 0      | 5.06 | ∴      | ∴    |
| 5      | 5.06 | 100    | 4.97 |
| 10     | 5.05 | 105    | 4.97 |
| 15     | 5.04 | 110    | 4.96 |
| 20     | 5.03 | 115    | 4.95 |
| 25     | 5.03 | 120    | 4.94 |

##### 5.2 无线通信模块测试

根据变电站继电保护室内环境要求，GL24S 芯片在不同工况下满足传输距离  $\geq 50$  m，通过电脑上的串口软件进行传输性能测试，在地点 1、地点 2、地点 3、地点 4 分别测试信号，测试结果如表 2 所示。

##### 5.3 整体测试与现场实测

将整个模块进行组装，如图 8 所示。

根据识别算法进行程序编写，要求系统安全措施类型判定正确率  $\geq 99.9\%$ 。经拟定任务对系统多次模拟测试后，结果满足要求，测试如表 3 所示。

在 2023 年 3—5 月通过在某变电站继电保护室内不定期的任务进行多次试验，统计安措布置的正确率及时间，测试结果如表 4 所示。

由此可见，使用变电站继电保护室安全措施一键布置系统后，布置安全措施所需平均时间仅需 1.58 min，对比使用前的 15.23 min，安措布置时间缩短为原来的 10.3%。通过识别算法，还能避免人为失误而造成的漏掉布置安全措施的情况发生，实现安全措施智能化、电子化。

表2 GL24S 芯片传输距离测试

| 距离/m | 地点1 | 地点2 | 地点3 | 地点4 |
|------|-----|-----|-----|-----|
| 5    | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 15   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 25   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 35   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 45   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 55   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 65   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 75   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 85   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |
| 95   | ✓   | ✓   | ×   | ×   |



图8 整体组装效果（以3个屏柜为例）

表3 系统测试

| 结果   | 测试1 | 测试2 | 测试3 | 测试4 | 测试5  |
|------|-----|-----|-----|-----|------|
| 满足要求 | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓    |
| 结果   | 测试6 | 测试7 | 测试8 | 测试9 | 测试10 |
| 满足要求 | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓    |

## 6 结束语

本文设计的系统能够极大减少运维人员在安全

表4 变电站工作测试 min

| 测试日期及平均值   | 安措布置时间 | 安措收回时间 |
|------------|--------|--------|
| 2023-03-02 | 1.11   | 0.59   |
| 2023-03-07 | 1.22   | 0.51   |
| 2023-03-12 | 1.83   | 0.52   |
| 2023-03-15 | 1.92   | 0.53   |
| 2023-03-24 | 1.70   | 0.53   |
| 2023-03-27 | 1.93   | 0.50   |
| 2023-04-08 | 1.06   | 0.55   |
| 2023-04-13 | 1.47   | 0.58   |
| 2023-04-18 | 1.98   | 0.57   |
| 2023-04-22 | 1.63   | 0.54   |
| 2023-04-25 | 1.67   | 0.53   |
| 2023-04-27 | 1.96   | 0.54   |
| 2023-05-08 | 1.49   | 0.57   |
| 2023-05-12 | 1.68   | 0.60   |
| 2023-05-18 | 1.95   | 0.51   |
| 2023-05-22 | 1.39   | 0.58   |
| 2023-05-28 | 1.26   | 0.54   |
| 2023-05-29 | 1.33   | 0.58   |
| 平均值        | 1.58   | 0.55   |

措施布置环节花费的时间，布置安措所需平均时间仅需 1.58 min，大大缩短工作时间，有效提升工作效率，节省更多人力资源，检修人员能够更早地开展工作。此外，工作结束以后的安全措施收回时间也得到了明显缩短，下降到 0.55 min，有效提高安全措施布置效率，缩短设备停电时间。

## 参考文献

- [1] 张月华, 罗家万, 何志文, 等. 变电站新型安全围栏的研制及应用研究[J]. 科技风, 2019 (7): 189.
- [2] 邝彬彬. 变电站继保室新型安全措施人机工效学探讨[J]. 中国高新技术企业, 2016 (2): 34-35.
- [3] 陈健强. 变电站继保室安全措施优化探讨[J]. 中国高新技术企业, 2016 (2): 28-29.
- [4] 许云程, 梁敦艳. 变电站新型红布挂钩的研究及应用[J]. 科技风, 2015 (24): 97.

## 作者简介

周婷 (1993—), 女, 本科, 工程师, 从事变电运维工作, E-mail: 694144297@qq.com。

(责任编辑: 刘艳玲)

# 缩短高压计量装置现场装接时间

叶丽雅<sup>1\*</sup>, 赵琳<sup>2</sup>

(1. 国网浙江省电力有限公司培训中心, 浙江 杭州 310015; 2. 国网浙江省电力有限公司  
电力科学研究院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:** 电能计量装置是智能电网数据采集的基本设备, 是确保企业与用户电力交易结算准确性的重要器具。文章围绕缩短高压计量装置现场装接时间展开分析, 并通过多功能自动切剥装置实现计量装置安装导线自动切剥, 通过基于线性霍尔传感器技术的互感器免拆线对线仪实现互感器的快速对线。

**关键词:** 现场装接; 自动切剥; 免拆线对线仪

**中图分类号:** TM84

## Reduce The On-site Installation Time of High-pressure Metering Devices

YE Liya<sup>1\*</sup>, ZHAO Lin<sup>2</sup>

(1. State Grid Zhejiang Electronic Power Corporation Training Center, Zhejiang Hangzhou 310015, China;  
2. State Grid Zhejiang Electronic Power Research Institute, Zhejiang Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** The energy metering device is the basic equipment for smart grid data collection. It is an important instrument to ensure the accuracy of power transaction settlement between enterprises and users. This paper focuses on shortening the on-site installation time of high-pressure metering devices. Automatic cutting and stripping of the installation wires of the metering device is realized by multi-function automatic cutting and stripping device. Fast alignment of instrument transformers is achieved by a wire-to-line instrument without removing the wire based on linear hall sensor technology.

**Keywords:** on-site installation; automatic cutting and stripping; wire-to-line instrument without removing the wire

### 1 选择课题

传统的高压计量装置装接中, 辅助工器具手工切剥费力、导线取用易缠绕, 影响工作效率; 装接的质量未有效管控, 导线露铜、压皮等问题, 存在着窃电、触电、电表烧毁、电气火灾等重大隐患。导线切剥长度预估不准, 互感器对线作业空间受限等困难使得计量装置装接耗时过长。为此, 小组开展了缩短高压计量装置现场装接时间的研究。

### 2 现状调查

本课题研究的高压计量装置采用的是三相四线经电压、电流互感器接入式, 互感器已随配电装置安装到位。装表接电培训班成员需要根据要求完成电能表、终端、联合接线盒安装及其二次导线连接, 和互感器核线小组对装表接电培训班的高压计量装置现场装接耗时情况进行调查发现: 高压计量装置现场装接时间平均耗时 57.5 min, 不能达到公司规

收稿日期: 2023-11-14

定的 40 min 之内完成的要求。

高压计量装置现场装接工作流程主要有工作许可、安全交底、操作过程、工作终结几个环节, 不同环节工作时长不同, 小组对各工作环节的耗时情况进行统计后得到: 高压计量装置的操作过程占总时间的 90.43%, 远高于其他工作流程所占比例, 是重点关注对象。

小组进一步将高压计量装置操作过程细分为现场准备、挂表、接线、计量器具封印、清理现场 5 个部分。发现高压计量装置接线工序的时间为 41.5 min, 占操作过程的 79.81%, 是决定现场装接时间长短的重要环节, 所以接线时间长是高压计量装置现场装接时间长的症结所在。

### 3 设定目标

小组根据历史数据进行统计, 高压计量装置现场装接每套平均 57.5 min。小组现场调查发现, 传统的计量装置装接过程中因切剥工具原始, 切剥长度预估不准以及互感器拆线对线等问题, 使得接线

时间长。经过小组模拟试验，采用一系列方法简化导线切割和互感器对线试验，可以取得更好的成绩，因此小组将本次课题目标设定为高压计量装置现场装接每套缩短到 30 min 以内。

#### 4 原因分析

针对症结，小组运用头脑风暴法对“接线时间长”开展讨论与分析，如图 1 所示，根据关联图可以看出共有 9 条末端因素，由于表计固定螺丝多不在小组能力范畴，直接判定为非要因。小组通过讨论制定了要因确认表，运用现场测量、调查分析、试验等方法，对每条末端因素要因确认，以此判断是否为主要因素，如表 1 所示。

#### 5 确定要因

##### 5.1 要因确认一：专项培训时间少

小组调查了 6 个装表接电实训班级的培训记录，发现专项培训时间的长短和症结所花时间呈现杂乱无章的变化情况。培训时间长的学员与培训时间短的学员，试验时间十分接近，甚至出现了培训时间长的学员接线时长超过培训时间短的学员的情况。故判定“专项培训少”为非要因。

##### 5.2 要因确认二：切割工具费力

小组从装表接电实训人员中随机抽取 50 名，使用同一套剥线钳进行接线操作，现场试验获得具有不同握力人员的接线时间相关情况，根据学员握力

大小与接线时间的相关系数  $R^2$  为 0.048 4（如图 2 所示），判定切割操作费力对症结影响程度小，判定为非要因。

##### 5.3 要因确认三：切割长度预估不准

小组从装表接电实训人员中随机抽取 30 名开展接线，对切割线不准次数和接线时长进行统计，判定切割长度不准次数与接线时间有强正相关性，判定为要因。

##### 5.4 要因确认四：导线折弯空间受限

小组对现有的 2 种导线折弯空间的操作方式进行了分析，并记录了 2 种方式下装表接电实训人员接线耗时情况，结果发现折弯空间大小与接线时长没有明显的正相关性，判定为非要因。

##### 5.5 要因确认五：导线缠绕整理时间长

小组从装表接电实训人员中随机抽取 50 名学员进行接线试验，获得导线缠绕整理时间与接线时间的相关情况。判定导线整理时间对接线时间的影响度较小，判定为非要因。

##### 5.6 要因确认六：无法免拆线对线

在装接电能表前，装表接电人员须要核对互感器二次端子至接线盒的接线是否正确。小组从装表接电实训人员中随机抽取 10 名学员，试验获得互感器拆接线时间与接线时间之间的关系，绘制出拆接线时间与计量装置接线工序时间的散布图，获得  $R^2$  为 0.961 4（如图 3 所示），说明需要拆线接线才能对线的方式与接线时间有极大正相关性，判定为要因。

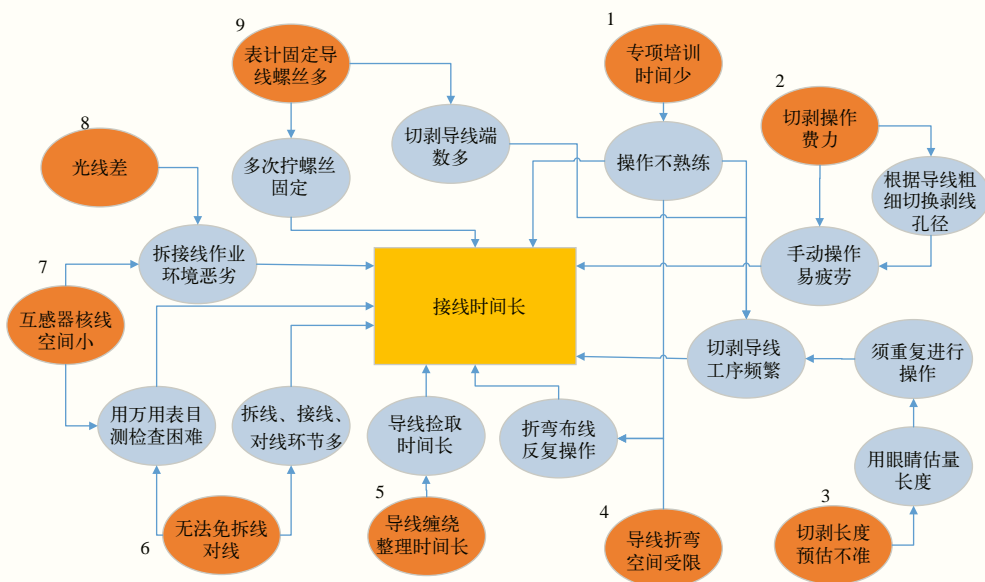


图1 原因分析图



表1 要因确认计划表

| 序号 | 末端因素      | 确认内容                                    | 确认方法         |
|----|-----------|---|--------------|
| 1  | 专项培训时间少   | 对不同专项培训时长的人员进行接线试验                      | 调查分析、试验      |
| 2  | 切剥操作费力    | 调查具有不同握力的人员接线耗时情况                       | 调查分析、现场测量、试验 |
| 3  | 切剥长度预估不准  | 调查不同的切剥不准次数下接线耗时情况                      | 调查分析、试验      |
| 4  | 导线折弯空间受限  | 进行两种不同折弯空间方式下的接线试验                      | 调查分析、试验      |
| 5  | 导线缠绕整理时间长 | 进行导线缠绕后不同整理时长下的接线试验                     | 调查分析、试验      |
| 6  | 无法免拆线对线   | 进行不同拆接线时长下的接线试验                         | 调查分析、试验      |
| 7  | 互感器核线空间小  | 进行不同互感器核线空间下的接线试验                       | 现场测量、试验      |
| 8  | 光线差       | 进行不同光照强度下的接线试验                          | 现场测量、试验      |
| 9  | 表计固定导线螺丝多 | 现已有电动螺丝刀工具加快拧螺丝速度，螺丝数量多非小组能力范畴，直接判定为非要因 |              |

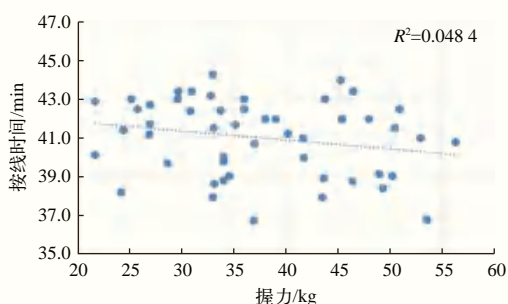


图2 学员握力大小与接线时间的散布图

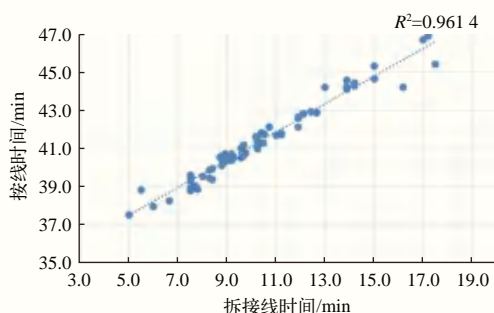


图3 拆线时间与接线时间的散布图

### 5.7 要因确认七：互感器核线空间小

小组随机选取了不同尺寸的6台高压计量装置，对互感器核线空间进行现场测量，调查了不同空间学员的接线时间，发现核线空间的大小与接线时长呈现无序变化，即互感器核线空间大小对接线时间影响度较小，判定为非要因。

### 5.8 要因确认八：光线差

根据高压计量装置现场光源的正常光照强度范围，小组通过调整光源强度，试验获得了16种光线强度下的接线耗时情况。经测量试验，光线强度与接线时长呈现无序变化，判定为非要因。

通过以上分析，确定要因为：切剥长度不准、不能免拆线对线。

## 6 制定对策

小组针对2条要因，提出要因对策，如表2所示。方案对比评估后，筛选优选方案分别为制作多功能自动切剥装置、制作基于线性霍尔传感器技术的互感器免拆线对线仪。

## 7 对策实施

小组按照要因、对策目标、措施、负责人、地

表2 要因与对策对照表

| 序号 | 要因      | 对策   |
|----|---------|--|
| 1  | 切剥长度不准  | 方案一：制作多功能自动切剥装置<br>方案二：制作带计米轮的盘线装置                       |
| 2  | 不能免拆线对线 | 方案一：制作基于线性霍尔传感器技术的互感器免拆线对线仪<br>方案二：制作基于数字式转换技术的互感器免拆线对线仪 |

表3 对策实施表

| 要因      | 对策                      | 目标  | 措施  |
|---------|-------------------------|---|---|
| 切剥长度不准  | 制作多功能自动切剥装置             | 每分钟切剥导线数量≥50根；<br>导线切剥长度误差绝对值≤2 mm              | 借鉴手工剥线原理设计结构图、计量原理图等各类图纸；<br>加工制作剥线工具和装置结构件；<br>现场试验自动切剥功能；<br>整理图纸、编写指导书等资料；<br>效果验证 |
| 不能免拆线对线 | 制作基于线性霍尔传感器技术的互感器免拆线对线仪 | 正反向信号最大偏差≤10%；<br>电路正常工作时，蜂鸣器响；<br>非正常工作时，蜂鸣器不响 | 利用干电池测量互感器极性的原理绘制对线仪原理图；<br>加工制作对线仪结构件；<br>现场试验免拆线对线功能；<br>整理图纸、编写指导书等资料效果验证          |
| 试验验证    | -                       | 设备检测合格率100%                                     | 进行第三方检测<br>验证无负面影响  |

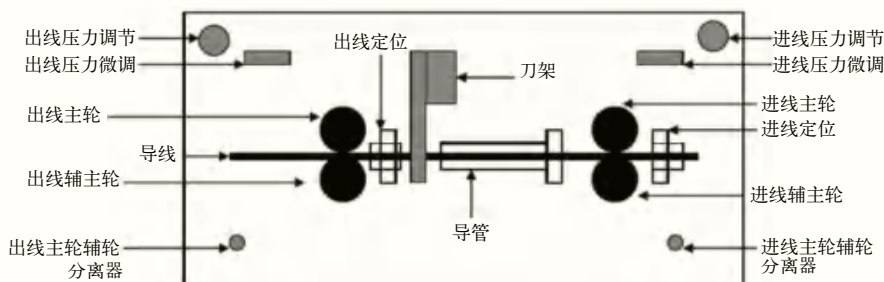


图4 多功能自动切剥装置切剥区示意图

点、完成时间等要素制定对策计划表，并按照对策计划表逐条进行实施。表3中仅列出了要因、对策目标、措施等事项。以下本文针对对策的几个关键措施进行说明。

### 7.1 对策实施一：制作多功能自动切剥装置

根据多功能自动切剥装置的功能要求，合理设计结构和功能模块。多功能自动切剥装置包括机架，机架上自进线到出线依次设置进线轮组、导管、切刀组件和出线轮组。通过该套装置上的导管，能够实现导线摆动错开前方电线，便于电线回穿切到组件实现线尾剥线。

如图4所示，按照图纸的设计制作切剥装置并进行组装。通过现场环境完成多功能自动切剥装置的功能测试和试验，结果表明多功能自动切剥装置切剥导线数量 $\geq 50$ 根/min，导线切剥长度误差绝对值 $\leq 20$ mm，符合要求。

### 7.2 对策实施二：制作基于线性霍尔传感器技术的互感器免拆线对线仪

利用干电池测量互感器极性的原理，在核对互感器接线时，在二次侧互感器远端加入一个信号，在近互感器端检测信号。并采用线性霍尔传感器在磁场检测中进行磁电转换，将电磁信号转换成电压信号，有效检测弱磁场。

按照原理图制作PCB板，选取电源模、信号检测及结果输出模块、焊接元器件。

通过现场实际环境完成对互感器免拆线对线仪的试验，结果表明正向信号最大偏差平均值为6.57%，电路正常工作时蜂鸣器响，符合要求。

## 8 确认效果

### 8.1 效果检查一：活动目标值检查

在各项对策实施后，小组对高压计量装置现场

装接时间进行统计，结果显示平均耗时为27.2min，达到预期目标值。

### 8.2 效果检查二：症结解决效果对比

小组对高压计量装置现场装接操作过程中各工序时间进行统计，发现主要症结已经解决，接线工序时长从原来的41.5min缩短到11.20min。

多功能自动切剥装置代替了人工切剥操作，剥取导线绝缘时能够确保不伤线芯，避免了人工切剥划伤手臂等事故的发生。标准化的切剥物料生成，助力优化营商环境，可以缩减装接时间，减少客户通电等待；可以提高电能表安装质量，提升电能表安装美观度，提高供电可靠率。使用基于线性霍尔传感器技术的互感器免拆线对线仪，装接工不必再进入狭小空间进行作业，避免了碰擦伤事故。

采用自动切剥装置和基于线性霍尔传感器技术的互感器免拆线对线仪可以大幅缩短高压计量装置现场装接时间，提高了工作效率。应用4个月，使用在1424套电能计量装置安装上，按照人工人员40元/h计算，可节约经济成本5.93万元，可节省铜芯导线长度702.03m，减少导线资源浪费。

## 9 总结与下一步打算

小组以缩短高压计量装置现场装接时间、提高装接工作效率为目的，小组成功设计并制作出多功能自动切剥装置替代人工切剥导线，制作了基于线性霍尔传感器技术的互感器免拆线对线仪免去互感器拆线核对步骤，减少人力物力财力，缩短高压计量装置现场装接时间，进一步提高了装接工作效率。

作者简介

叶丽雅（1991—），女，硕士，工程师，从事电力营销工作，主要研究方向为电力营销、配用电等，E-mail: kx19981111@163.com。

（责任编辑：刘艳玲）

# 杆塔可视化监控安装平台及其安装方法的研究

原伟森

(国网山东省电力公司莱州市供电公司, 山东 莱州 261400)

**摘要:** 可视化监控在电力杆塔上大量安装应用, 提高了电网隐患远程研判预警能力, 大幅提升电网安全管理水平。受制于杆塔型号制式不统一, 增加了安装难度。研究一种杆塔可视化监控安装平台, 解决现有技术存在的不足之处, 提高可视化监控稳定性和可靠性并填补该领域空白。

**关键词:** 电力杆塔; 可视化监控; 安装平台; 安装方法

中图分类号: TM754

## The Research about the Installation Platform and Method of Visual Monitoring System for Pole Towers

YUAN Weisen

(Laizhou Power Supply Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Shandong Laizhou 261400, China)

**Abstract:** The widespread application of visual monitoring on power pole towers has improved the remote hazard assessment and warning capabilities of the power grid, greatly enhancing the level of power grid safety management. However, due to the lack of uniformity in pole tower models, installation difficulties have increased. This study aims to develop a visual monitoring installation platform for pole towers to address the shortcomings of existing technology, improve the stability and reliability of visual monitoring, and fill the gap in this field.

**Keywords:** power pole towers; visual monitoring; installation platform; installation method

随着“大云物移智链”的不断发展, 可视化监控、无人机等智能装备在各行各业得到广泛应用。可视化监控在电网企业设备运维中大规模普及, 通过人工智能、数据分析等新技术实现通道隐患实时预警及现场环境一键抵达, 大幅提升运维管理水平<sup>[1]</sup>。在可视化监控在安装过程中, 发现电力杆塔型号制式各异, 无统一规范的安装位置, 安装支架的选择应该根据实际应用的场景、杆塔型号和监控设备的类型等因素进行考虑<sup>[2]</sup>, 由专业技术人员进行配套设计和安装。

### 1 杆塔可视化监控安装背景

在杆塔上安装可视化监控是一项技术难度较高的工作, 安装前应该尽可能地考虑防风、防震、防老化、防盗等因素, 确保监控设备稳定运行。主要难点体现在4个方面。

#### 1.1 杆塔形状尺寸各异

对于不同类型制式的杆塔, 其结构形状、径向尺寸差异极大, 而且管柱状杆塔安装附属设施受限。以钢管杆类为例, 杆身为管柱状, 除爬梯外没有合

收稿日期: 2023-10-11

适的安装固定点, 仅能借助爬梯安装, 而监控太阳能板最佳朝向为朝南, 大部分爬梯不在钢管杆南侧, 安装人员用铁条、箍带捆绑在钢管杆南侧, 安装不牢固, 存在安全隐患, 如图1所示。



图1 捆绑安装

#### 1.2 恶劣天气侵袭

可视化监控安装在杆塔上, 长期暴露在复杂环境中, 如遇台风、暴雨、暴雪、地震等自然灾害的袭击, 很容易导致设备损坏。尤其是自然环境的风力会使监控设备长时间发生摆动、晃动, 影响结构稳定性和监控系统的运行效果, 甚至引发设备故障失效。



### 1.3 现场施工难度大

安装可视化监控设备需要高空作业，而且需要在带电运行的杆塔上安装，因此需要有合适的工具、工作方式及工人安全保护等方面的配合，以保证施工安全和效率。

### 1.4 设备成本及维护费用高

可视化监控造价昂贵，一旦损坏、掉落或者被盗，会给设备运维管理单位造成极大损失。

为提高可视化监控设备的监控质量和使用寿命，设计一种可视化监控安装平台，解决上述难点问题，以加快设备运维可视化在电力系统的落地普及应用。

## 2 杆塔可视化监控安装平台原理

杆塔可视化监控安装平台由塔身抱箍、延伸架、不锈钢箍带、太阳能板支架、监控支架组成，抱箍对合通过箍紧的方式将支架紧贴在杆塔外壁上，这种安装方式不需要在杆塔上打孔或焊接，不会对杆塔本体结构和功能造成损害，如图2所示。

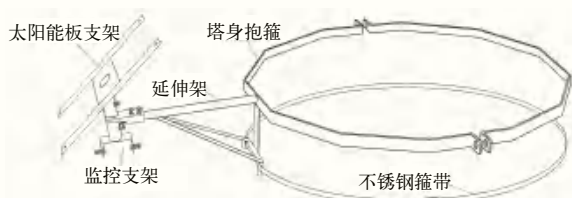


图2 杆塔可视化监控安装平台示意图

太阳能板须最大接受光照，不管线路走向如何，必须将可视化监控安装于杆塔南侧。太阳能板支架下端采用圆形套筒，可灵活旋转确定最佳角度，上紧定位螺栓将太阳能板牢牢固定，监控支架上端也采用圆形套筒，确定好方向后上紧定位螺栓，将监控牢牢固定，监控的电源线可穿过中心套筒与太阳能板相连。把监控设备、太阳能板等配件依次固定在安装平台上，关键连接处采用防盗螺栓紧固，只能通过专用工具拆卸，其余部分均为一体焊接，如图3所示。

塔身抱箍根据杆塔形状及安装位置的尺寸确定，一般为等边多边形和圆形2种，要确保抱箍的尺寸与杆身匹配，延伸架尺寸根据太阳能板和监控的尺寸确定，一般长为30~40 cm、直径为2.5 mm不锈



图3 杆塔可视化监控安装平台安装示意图

钢管；针对台风、暴雨、冰雪、地震等恶劣天气，平台各部分均采用高强度的型材、螺栓，并在延伸架下方采用双斜撑三角架形状，以提高耐风载荷和抗风等级；在底板增设左右2处带有长方穿孔的耳板，可穿入不锈钢箍带辅助抱箍将支架牢牢固定在杆身，消除受风振动、频晃因素，提高抗震强度；平台各部分进行热镀锌处理，形成锌层保护，有效抵御湿度、盐雾和酸雨等环境的腐蚀。

## 3 杆塔可视化监控平台的安装方法

### 3.1 制作塔身抱箍

提前测量可视化监控安装位置处的杆塔截面尺寸，根据杆塔形状及测量的尺寸选择配套抱箍，可视化监控最佳安装高度与下层导线弧垂最低点水平线一致，即杆塔下层横担以下3 m左右，大概位于钢管杆结构高度3/4处，确定好配套抱箍后，焊接箍体与其相连部分。

### 3.2 装配可视化监控

将太阳能板安装至太阳能板支架上，监控安装至门型安装架上，根据现场情况调整太阳能板及监控至最佳角度后，将防盗螺栓及铆钉安装牢固，装配完成后接通电源完成调试。

### 3.3 连接抱箍及箍带

将不锈钢箍带松开后穿入穿孔中，不锈钢箍带保持开口状态，箍体保持分离状态，制作2根双股的铝条穿入箍体两侧安装耳板螺栓穿孔中，用于后续辅助箍体两边箍体对合安装。



### 3.4 登高安装

作业人员攀登到杆塔安装位置以上，杆塔锥形结构上细下粗，上端杆身较细，箍体可灵活转动，便于调整安装。用工具将箍体两侧辅助铝条勾住，转动调整箍体方向，使太阳能板位于正南，监控对准线路通道，将另外半边箍体对合，穿入防盗螺栓拧紧固定。此时平台与太阳能板、监控、杆塔等各连接处已不能分离，仅能使用配套的专用工具方可拆卸维修或更换。

### 3.5 固定紧固

箍体安装完毕后可慢慢松落支架整体，使其自然滑落至安装位置，利用手锤自上向下敲击箍体，利用上细下粗的锥形结构使箍体紧密贴合塔身，使支架牢牢稳固在杆塔安装位置，再收紧不锈钢箍带将支架紧固在杆塔上。

## 4 杆塔可视化监控安装平台成效

杆塔可视化监控安装平台技术成熟、装配简单、成本较低，安装后坚固稳定、安全可靠，具有良好的力学稳定性，安装后能够确保可视化监控长期稳定运行，如图4所示。经结构力学性能测算，10级风力作用在可视化监控及其安装平台的力值为 $F = P \times S = 80 \text{ N}$ ，向杆塔可视化监控安装平台各部件各方向施加80 N的力并持续1 min，无结构变形及部件损坏。抱箍安装方式适用于各种型号制式的杆塔，太阳能板角度、监控方向可灵活旋转调节，可延伸适用于民用管状立柱监控安装，适用范围极广。



图4 现场应用

杆塔可视化监控安装平台的应用消除了安全隐患，最大发挥可视化监控的效能。总的来说，可视化监控还处于更新迭代中<sup>[3]</sup>，杆塔安装平台也应

不断适应市场需求，提供更加高效、可靠、安全的安装方式，以加快可视化技术在电力系统的落地普及。

### 参考文献

- [1] 陈磊,段钰.智能电网输电线路中的在线监测技术应用[J].电子技术,2023,52(10):332-333.
- [2] 王艳如,刘海峰,李琳,等.基于边缘智能分析的图像识别技术在输电线路在线监测中的应用[J].电力信息与通信技术,2019,17(7):35-40.
- [3] 陈磊,段钰.可视化技术在输电线路巡检中的应用[J].集成电路应用,2023,40(9):128-129.

### 作者简介

原伟森(1986—),男,本科,工程师,从事输电线路巡检工作, E-mail: yuanweisen861@163.com。

(责任编辑:刘艳玲)

### 资讯

#### 浙江丽水公司:强化光伏电站运维管理

2023年12月5日,浙江省丽水市龙泉宝溪乡龚岭村五雷蛇7.2 MW集中式农光互补发电项目顺利完成建设并投产,预计年发电量超过800万kW·h。该项目由国网浙江丽水供电公司代运维。

近年来,新能源电站建设加速推进,代运维市场需求骤增。国网丽水供电公司积极整合资源,发挥行业优势,将光伏电站接入智慧光伏运维平台,开展新能源代运维服务。

国网丽水供电公司依托自身管理和技术资源,成立新能源运维团队,提供设备检修、故障排除、性能检测等全方位的光伏电站运维服务,确保光伏电站的稳定运行和高效发电。该公司定期清洁光伏组件,及时修复损坏和老化的设备,最大程度提高光伏电站的发电能力和发电量;通过设备监测和数据分析,实时监测光伏电站的运行状态,及时发现并解决电站设备故障或异常情况,通过远程控制和调节确保光伏电站的稳定运行;积极参与当地相关政策实施,为光伏电站的发展创造良好的政策环境和市场机制,探索与政府、企事业单位的合作,共同推动光伏电站的建设和运营。

信息来源:国网浙江省电力有限公司

# 户外环网柜混合动力除湿装置研究与应用

张琰美\*, 陈诗娴, 李建杭, 陈刚

(国网福建省龙岩市新罗区供电公司, 福建 龙岩 364099)

**摘要:** 户外环网柜在多变的环境下, 内部温湿度控制尤为重要。然而, 传统的环网柜经常出现凝聚现象, 导致设备故障频发, 为了解决这一问题, 研发了一款户外环网柜混合动力除湿装置。该装置由无动力通风部分和有动力通风部分组成, 能够有效地调节环网柜内部的温湿度。投入使用后, 除湿效果显著, 有效缓解了环网柜内部凝聚情况, 降低了设备故障率。详细介绍了该装置的设计、工作原理和实际应用效果, 为相关领域的研究和应用提供有益的参考。

**关键词:** 户外环网柜; 凝露现象; 温湿度控制

中图分类号: TM591

## Research and Application of Hybrid Dehumidification Device for Outdoor Ring Network Cabinet

ZHANG Yanmei\*, CHEN Shixian, LI Jianhang, CHEN Gang

(State grid Fujian Longyan City Xinluo district power supply company, Fujian Longyan 364099, China)

**Abstract:** Outdoor loop network cabinets are subject to varying environmental conditions, and internal temperature and humidity control is particularly important. However, traditional loop network cabinets often experience condensation phenomenon, resulting in frequent equipment failures. To address this issue, we developed a hybrid dehumidification device for outdoor loop network cabinets. The device consists of passive ventilation and active ventilation components, which can effectively regulate the temperature and humidity inside the loop network cabinet. After being put into use, the dehumidification effect is significant, effectively alleviating the condensation inside the loop network cabinet and reducing the equipment failure rate. This article details the design, working principle, and practical application of the device, providing useful references for research and applications in related fields.

**Keywords:** outdoor loop network cabinet; condensation phenomenon; temperature and humidity control

### 1 课题背景

近年来, 随着科技的进步、设备材料的革新、施工工艺的日趋成熟, 各类开关柜、环网柜、端子箱、控制柜、电动刀闸箱、配线柜等都向紧凑型方向发展。由于柜内空间狭窄、相间距离小, 且柜体密封, 空气湿度过大设备表面凝聚水分, 引起霉菌滋生加快, 金属腐蚀加快导致接触面氧化, 接触电阻增大, 柜内元器件及接线端子容易受潮发生短路或接地故障, 导致设备的绝缘性能降低, 给开关设备的安全带来威胁, 容易造成事故的发生<sup>[1]</sup>, 如图1所示。

传统防凝露技术方法主要分为2类: 提升辅助

**基金项目:** 国网福建省电力有限公司科技项目资助 (项目编号: 521366230001)。

**收稿日期:** 2023-10-29



图1 环网柜凝露故障

设施和改进设备结构设计。提升辅助设施主要是指在配电室采取强制通风或设置除湿装置等控制温湿

度。国内在除湿和防治、消除凝露方面主要采用凝露加热法、湿度加热法、通风法和半导体冷凝除湿法等技术手段；改进设备结构设计是因为除湿装置在安装应用、运行维护和设备状态监测及远程控制等方面存在功能缺陷，信息化、自动化、智能化水平不足。因此，项目针对开关柜开展凝露机理、冷凝技术、微热空气循环技术、集中监测预警等技术研究，提高开关柜运行异常技术防护水平和管理水平<sup>[2]</sup>。

## 2 问题分析

由于环网柜安装于室外裸露环境，其安全可靠极易受到自然环境的影响，尤其是受空气中湿度的影响最大。由于环网柜内温度较低，当空气中的水蒸气遇到温度较低的环网柜金属表面后，会在表面上凝结形成凝露，凝露会加快开关的锈蚀速度、降低设备绝缘性能、引起开关跳闸、造成设备短路甚至爆炸，严重威胁人员和设备安全<sup>[3]</sup>。

如图2所示，通过查阅环网柜基础施工工艺图，潮气（湿气）主要从环网柜基础内电缆室汇集，然后渗入到环网柜内，遇冷凝结成凝露（水珠），进而危害电气电子设备。



图2 环网柜基础施工工艺图

因此，通过相关手段控制环网柜内温湿度，限制凝露情况的发生是当前的重要工作。

## 3 户外环网柜混合动力除湿装置的结构

针对以上问题，技术人员设计了一种户外环网柜混合动力除湿装置，旨在提供更高效和可靠的除湿功能。

### 3.1 有动力通风单元

有动力通风单元是装置的第1个部分，强化了通风效果。它由电源、控制模块和电动风机组成<sup>[4]</sup>。电源提供能量，控制模块负责控制电动风机的工作。电动风机则使用电力驱动，能有效地增强通风效果<sup>[5]</sup>。此外为了更精确的控制温湿度，还配备了高精度的温湿度传感器和液晶显示设备，巡视人员可以随时读取温湿度数值，如图3所示。



图3 有动力通风单元

### 3.2 无动力通风单元

无动力通风单元是装置的第2个部分，主要负责排出潮湿空气。电缆隧道无动力通风与智能监测装置，只需在电缆竖井口安装一套无动力风机，就可以实现对电缆隧道的持续通风换气，如图4所示。

无动力通风是利用环网柜内外的空气对流来驱动风机涡轮旋转。优良的空气动力学设计使通风器在微弱的气流下也能转动。当无动力除湿装置的涡轮旋转时，产生离心力，通风器下方的空气从叶片间隙排出，增强了环网柜内的空气流动性，以此来达到除湿的效果。当一部分气体排出环网柜外时，环网柜内通风器下方形成低压区。周围的高压气流





图4 无动力通风单元

不断流向低压区，便形成自然通风。环网柜内设备运行时会产生一定的热能，使环网柜内温度升高，热空气通过室外环网柜无动力除湿装置的通风口涌出，在通风器下方形成高压热空气区，催动风机涡轮旋转。室外环网柜无动力除湿装置只需在环网柜上方开口并安装无动力风机就可以实现对环网柜的持续通风除湿。

### 3.3 进风单元

进风单元是装置的第3个部分，通过引入新鲜空气来降低湿度。它由进风口和固定装置组成。进风口设计为窄长形，以便尽可能多地引入新鲜空气。固定装置确保了进风口的稳定安装，如图5所示。



图5 进风单元

户外环网柜混合动力除湿装置通过结合无动力通风单元、有动力通风单元和进风单元，形成了一个完整而高效的除湿系统，能有效地降低环网柜内

的湿度，延长设备寿命并保障设备的正常运行，总体布置图如图6所示，装置的各部分的最佳方案分层图如图7所示。



图6 总体布置图

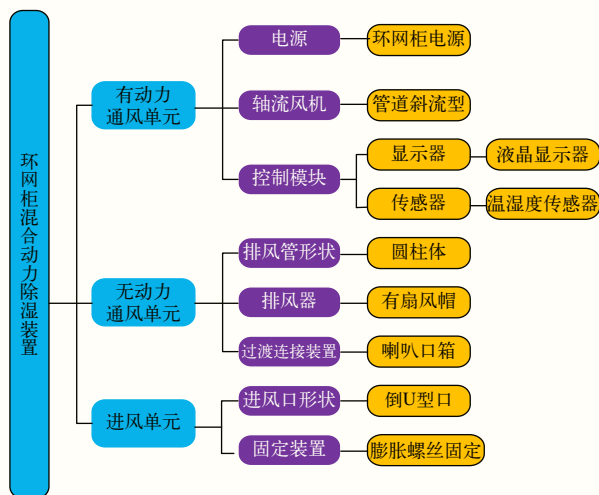


图7 选择后除湿装置最佳方案图

## 4 应用效果

### 4.1 有效性验证

技术人员筛选了20个严重的环网柜，加装混合动力除湿装置，观察环网柜内湿度温度后的数值，并记录下来，如图8、表1所示。



图8 环网柜除湿装置除湿效果图



表1 20个凝露严重环网柜除湿情况

| 试验序号及平均值 | 10 kV环网柜    | 除湿前/<br>%RH | 除湿后/<br>%RH |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| 1        | 城南线H01环网柜   | 97.35       | 41.49       |
| 2        | 富电线H04环网柜   | 65.42       | 52.99       |
| 3        | 富桥线H02环网柜   | 77.94       | 50.06       |
| 4        | 富港线H02环网柜   | 65.15       | 47.17       |
| 5        | 面粉线H01环网柜   | 85.40       | 51.44       |
| ⋮        | ⋮           | ⋮           | ⋮           |
| 16       | 富电线H05环网柜   | 76.15       | 45.85       |
| 17       | 面粉线H03环网柜   | 77.36       | 51.27       |
| 18       | 永馆I线H01环网柜  | 77.91       | 40.73       |
| 19       | 永馆II线H03环网柜 | 96.59       | 41.49       |
| 20       | 富桥线H04环网柜   | 97.15       | 52.99       |
| 平均值      | —           | 85.56       | 44.30       |

除湿装置的除湿性能的稳定性非常高,可以保证环网柜内除湿后湿度 $\leq 60\%RH$ 。

#### 4.2 推广价值验证

环网柜作为城区电网中的一个重要节点,一旦出现问题将造成城区很多重要客户停电,经济损失巨大。通过在环网柜上安装室外环网柜无动力除湿装置,提高了环网柜的运行可靠性,平均每年可减少每台环网柜停电时间2 h。平均每台环网柜所带的线路的负荷电流为170 A,则线路的容量为5 100 kW,平均电价为按0.568元/(kW·h)计算,则在安装室外环网柜无动力除湿装置后每台环网柜每年所带来的电费收益为5 793.6元,整个中心城区由环网柜故障减少所带来的电费收益为3 035 846.4元。

室外环网柜无动力除湿装置应用后,可大大提高供电可靠性,大幅度减少了维护抢修带来的车辆和人工成本。未采用室外环网柜无动力除湿装置的环网柜,每年每台环网柜的维护费用约为1 000元,采用室外环网柜无动力除湿装置后,可将维护费用降低到200元,则524台环网柜可减少维护费用419 200元。核心城区平均每年由于环网柜发生故障的停电次数有24次,安装该装置后发生环网柜故障

导致的停电次数可降低到10次,每次故障需车辆费2 000元和人工费用约3 000元,则每年可节省70 000元。

室外环网柜无动力除湿装置自应用以来,除湿效果十分明显,有效地降低了环网柜内部的凝露情况。此成果有巨大的推广应用空间,逐步在供电公司管辖的环网柜上安装此无动力除湿装置。最终实现环网柜无动力除湿装置实现全覆盖,并逐步扩大到全省。

#### 5 结束语

综上所述,本文所研究的装置能够全天24 h,多环境下连续工作,采用高技术水准的滚珠轴承,自我润滑,当环网柜内外温度差超过0.5℃时,能够自动运转,对环网柜内空气进行强制流通,从而解决环网柜内湿度过大的问题。该装置具有自适应环网柜内除湿的需求,能够加强环网柜内空气的流通,并保持环网柜内湿度在正常的范围内。其圆弧叶片设计,能够有效排水,防止雨水进入涡轮,同时使空气由叶片间隙流出,不影响环网柜的正常运行及巡视检修。此外,该装置具有无需能源供应、绿色环保、高效节能等特点,其设计结构简单可靠,安装简便,且具有较长的使用寿命和较好的免维护性。本文的研究为解决环网柜内湿度过大问题提供了一种有效的方法,具有较强的实践指导意义和理论研究价值。

#### 参考文献

- [1] 张静,徐国钧,丁叶强,等.一种新型环网柜FRTS测温和环境监控系统设计探索[J].中国电业(技术版),2014,(9):138-141.
- [2] 田浩,邢军,杨敏.10 kV环网柜温湿度综合智能监控系统的研究与实践[J].通信电源技术,2018,35(8):23-26.
- [3] 赵晓峰,王占军,黄超.户外环网柜防凝露问题的研究[J].农村电气化,2020(9):14.
- [4] 徐俊,王小峰,朱云霄.基于主动除湿的户外环网柜防凝露装置设计[J].电工技术,2021(10):4.
- [5] 郑国平.公路特长隧道利用交通风力实现无动力通风的研究[J].公路,2016,61(9):5.

#### 作者简介

张琰美(1982—),女,研究生,高级工程师,现从事自动化终端运维岗位,E-mail:634099633@qq.com。

(责任编辑:刘艳玲)

# 计量现场互感器极性检测仪研究与应用

县国成\*, 杨斌, 赵玉婷, 董召强, 郭永翔

(国网甘肃省电力公司天水供电公司, 甘肃 天水 741000)

**摘要:** 互感器的极性检测是确保电能计量准确性的一项重要工作, 设计了一种新型计量现场的互感器极性检测仪, 主体结构包括主操作杆、控制回路、测试回路。检测仪能够避免工作人员直接进入计量柜工作, 仪器顶部的照明灯方便工作人员看清计量柜内设备, 增强工作安全性; 输出信号的电压衰减率和周期延迟率试验性能符合要求。本互感器极性检测仪对于提高电能计量的安全性和准确性具有重要的应用价值。

**关键词:** 计量互感器; 极性; 检测仪

**中图分类号:** TM452

## Research and Application of Polarity Detection Instrument for Field Transformer in Measurement

XIAN Guocheng\*, YANG Bin, ZHAO Yuting, DONG Zhaoqiang, GUO Yongxiang

(State Grid Gansu Electric Power Company Tianshui Power Supply Company, Gansu Tianshui 741000, China)

**Abstract:** The polarity detection of transformers is an important task to ensure the accuracy of electrical energy measurement. This article designs a new type of transformer polarity detection instrument for on-site measurement, with the main structure including the main operating rod, control circuit, and testing circuit. The detector can prevent workers from directly entering the measuring cabinet for work, and the lighting on the top of the instrument makes it easy for workers to see the equipment inside the cabinet, enhancing work safety; The voltage decay rate and cycle delay rate test performance of the output signal meet the requirements. The polarity detector of this transformer has important application value for improving the safety and accuracy of electric energy metering.

**Keywords:** metering transformer; polarity; tester

互感器是电力系统中实现电能变换的关键设备之一, 其准确与否将直接影响电能计量的准确性。在电力系统电能计量工作中, 互感器的极性检测是确保电能计量准确性的一项重要工作。由于计量柜内的互感器布局的不同, 导致互感器的极性检查工作的操作难度大, 检测成功率低, 存在安全隐患。一般的计量柜电流互感器安装较高较深, 工作人员须借助梯、凳等工具, 经常出现工作人员部分身体进入计量柜的情况, 某些情况是在高压进线带电的情况下进行装表接电工作, 而这种情况下若出现高压开关失灵或被击穿, 则工作人员存在高压触电的危险。针对老式互感器极性测试工具的缺陷, 本文研制一种新型的便携式互感器极性测试仪, 包括主体结构、测试回路、控制回路 3 部分, 对检测仪进行整体性能开展测试, 具有安全、准确、方便测试的优点。

收稿日期: 2023-10-29

### 1 计量现场互感器极性检测仪结构框架

计量现场的互感器极性检测仪的设计包括 3 部分: 仪器主体结构的设计、测试回路的设计与控制回路的设计 3 部分。为了确保互感器极性测试仪质量可靠, 制定了互感器极性测试仪的设计流程, 如图 1 所示。设计过程中每完成一部分的设计与组装工作即对该部分进行性能测试, 经测试合格后再进行下一部件的设计。互感器极性检测仪整体设计与组装完成后, 再对检测仪进行整体性能的测试, 以确保设计功能的实现。

### 2 计量现场互感器极性检测仪各部件设计方案

#### 2.1 主操作杆的设计与实施

设计的互感器极性检测仪的杆体部分的设计方案为: 四分段抽拉型绝缘套管。为了对不同距离的

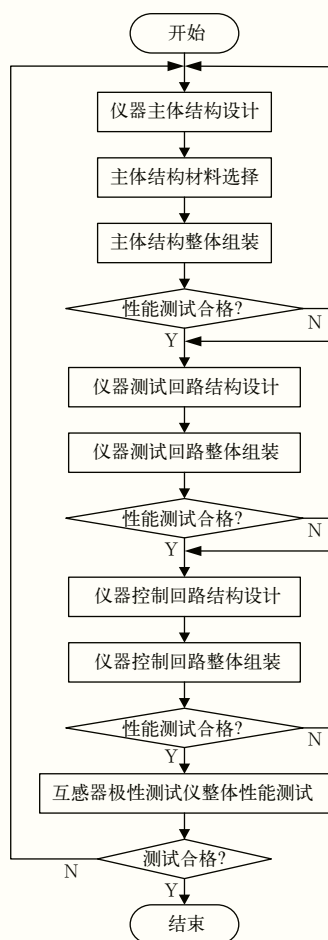


图1 互感器极性检测仪的设计流程

计量设备进行准确快速的测量，主杆体通过分段抽拉设计方案的实施，可以实现在不同实验高度及不同柜体深度等各种测试环境下的应用场景。该设计方式可以由操作人员根据作业现场的环境需求进行长度调节，极大地提高了检测仪操作过程中的便捷性。

## 2.2 测试部分和控制部分的设计与实现

对于测试部分的设计，经过反复的设计与测试，最终确定了单杆双分头接触式测试头的设计方案。对于控制部分的设计，互感器极性检测仪的万向旋转环是承接主干和测试分支的重要控制装置，需达到绝缘的要求，内部排列4条导线，两分支头具有半球面万向旋转功能，以支撑点为顶点，分别可以达到轴向75°的锥面旋转、平向180°旋转的设计效果。万向旋转环可以保证实验与现场使用过程中对各种位置分布的计量设备进行测量。互感器极性检测仪的整体设计方案的设计原理图如图2所示。

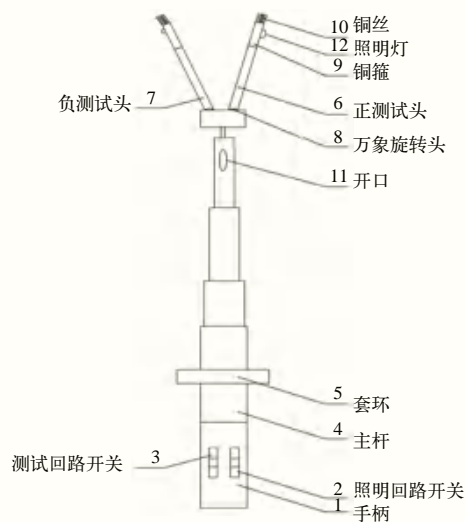


图2 互感器极性检测仪整体设计方案

## 3 应用效果

### 3.1 作业安全性验证

为验证装置的有效性，对互感器极性检测仪的现场使用性能进行了全面的测试与分析。首先对深处作业和高处作业进行测试。图3为工作人员使用互感器极性检测仪对位于计量柜柜体内部的互感器进行极性检定工作。检测仪的运用避免了作业人员深入柜体内部进行工作，因此也就排除了计量柜低压侧向高压侧反送电等因素给作业人员带来的触电危险。



图3 互感器极性检测仪的“深度”测试

图4为作业人员对位于计量柜高处的互感器进行极性检定工作，通过运用互感器极性检测仪，使得互感器极性检定工作的操作更为简便，也切实提高了作业人员的人身安全。

此外，由于部分工作现场光线较差，特别是未送电的地下室，在采光不好的情况下，由于互感器极性检测仪在正负测试触头处设计了氖管照明装置，



图4 互感器极性检测仪进行“高度”测试

可以有效地提升作业现场的照明条件，使工作人员可清晰看到柜体内部情况，准确判断触头与设备接触情况，大幅提升了互感器极性检测仪测试结果的安全性和准确性。

综上，互感器极性检测以结构设计合理，使用方便，通过合理的装置连接，无论检测现场出现什么情况，都可以保证工作人员的人身安全；工作人员单手即可操作，不必借助增高工具；仪器顶部的照明灯可让工作人员看清计量柜内设备，大大提高了工作效率和安全可靠性。

### 3.2 实验结果分析

现场测试与使用时，输出电压为 5.0 V 的蓄电池作为互感器极性检测仪输入电源，测试过程中，由操作人员手动控制检测仪的开关以判断待测互感器的极性。各控制信号的间隔时间为 3~5 s，每组控制信号的持续导通时间大约为 0.5 s。

为了在实验室条件下排除干扰因素的影响，我们将对检测仪输出信号的衰减性和延迟性 2 个方面对检测仪的导通率进行分析。测试参数如下：测试输入信号是电压为 5.0 V 的直流电源，由每 0.5 s 通断一次的自动开关提供控制信号，在此基础上得到的互感器极性检测仪的输出信号如图 5 所示<sup>[1]</sup>。

由图 5 可以发现，互感器极性测试仪的输出电压为 4.9 V，电压衰减率  $\delta$  为：

$$\delta = \frac{U_i - U_o}{U_i} = \frac{5.0 - 4.9}{5.0} = 2\%。 \quad (1)$$

式中： $U_i$  为输入电压，V； $U_o$  为输出电压，V。

由公式 (1) 可以看出，检测仪的电压衰减率为 2%，该电压衰减率可以保证在输入电压为 5.0 V 时，测试仪的输出信号能够保证指示器正常工作。因此，电压衰减率符合设计要求。

由图 5 可以看出，互感器极性测试仪输出信号的周期为 0.55 s，输出信号的周期延迟率  $T_D$  为：



图5 互感器极性检测仪的试验输出信号

$$T_D = \frac{T_o - T_i}{T_o} = \frac{0.55 - 0.5}{0.55} = 9\%。 \quad (2)$$

式中： $T_o$  为输出信号的周期； $T_i$  为输入信号的周期。

由公式 (2) 可以看出，检测仪的周期延迟率为 9%。由于检测仪在正常使用时，各控制信号的间隔时间为 3~5 s，每组控制信号的持续导通时间大约为 0.5 s，周期延迟率为 9%，其延迟输出时间为 0.05 s，相对于控制信号的间隔时间 3~5 s 来说，操作人员可以对测试结果进行正常判断。因此，互感器极性检测仪的周期延迟率符合设计要求<sup>[2-3]</sup>。

### 4 结束语

本文设计并构建了一种新型计量现场的互感器极性检测仪，具有 3 个特点：(1) 工作人员单手即可操作，不必借助梯、凳等增高工具，有效避免工作人员直接进入计量柜工作，工作安全性大大提高；(2) 仪器顶部的照明灯可让工作人员看清计量柜内设备；易携带、易保存、操作简单、使用寿命长；(3) 互感器极性检测仪输出信号的电压衰减率和周期延迟率试验性能符合设计要求。本互感器极性检测仪对于提高互感器的极性检查工作的安全性能，确保电能计量的准确性具有重要的应用价值。

### 参考文献

- [1] 易江. 电压互感器极性误接对计量的影响[J]. 供用电, 1996 (2): 49-50, 54.
- [2] 丁鹏程, 傅子明, 王鹏. 10 kV 电能计量互感器二次回路极性测试仪的开发[J]. 中国电业 (技术版), 2015 (11): 49-52.
- [3] 郑忠发, 刘建辉, 廖勇, 等. 三相三线电能计量装置公共回路断线及电流互感器二次反极性时接线分析[J]. 电测与仪表, 2007 (7): 29-32.

### 作者简介

县国成 (1976—), 男, 研究生硕士, 工程师, 长期从事配网管理工作, E-mail: 2506504005@qq.com.

(责任编辑: 刘艳玲)



# 环网柜接地开关防误操作装置的研究

李登雕\*, 王伟, 陈海洋, 胡亮, 朱惠红, 王晓静

(国网浙江仙居县供电公司, 浙江台州 255000)

**摘要:** 针对目前配网电气操作易出现的环网柜误操作的问题, 研制一种环网柜接地开关防误操作装置, 其具备“五防”逻辑判断, 辅助配网开关防止误操作。该装置加入智能锁具优化传统配网锁具管理, 并且在人工操作前对操作环境进行研判从而提升防误操作水平。通过现场实验表明, 使用该装置防误操作准确性为 99.86%, 能够降低误操作风险概率, 保证配电网安全可靠运行。

**关键词:** 环网柜; 接地开关; 防误操作; 智能锁具

**中图分类号:** TM591

## Research on the Anti Misoperation Device of Grounding Switch in Ring Network Cabinet

LI Dengdiao\*, WANG Wei, CHEN Haiyang, HU Liang, ZHU Huihong, WANG Xiaojing

(State Grid Zhejiang Xianju County Power Supply Company, Zhejiang Taizhou 255000, China)

**Abstract:** In view of the problem of misoperation of the ring cabinet, which is easy to occur in the electrical operation of the distribution network at present, this paper develops an anti-misoperation device of the ring cabinet grounding switch, which has the "five prevention" logic judgment to assist the distribution network switch to prevent misoperation. The device adds intelligent locks to optimize the management of traditional distribution network locks, and studies the operating environment before manual operation to improve the level of anti-error operation. Field experiments show that the accuracy of the device is 99.86%, which can reduce the risk probability of misoperation and ensure the safe and reliable operation of distribution network.

**Keywords:** ring network cabinet; ground switch; prevent misoperation; smart lock

## 0 引言

随着环网柜等设备在中低压配电网的广泛应用, 配网网架结构越来越复杂, 配网调度、倒闸操作、维护检修等工作越来越繁重, 对配网的整体运行管理也提出更高要求。在浙江省仙居县域内, 随着城镇化发展和配电网升级改造, 辖区内共有 361 台环网柜、138 个开闭所, 70% 以上的联络转电须通过环网柜实现<sup>[1]</sup>。截至 2023 年 10 月, 全域环网柜开关操作 8 322 次, 平均每天须分合开关设备 22.8 次。

根据国网安监〔2006〕904 号《国家电网公司防止电气误操作安全管理规定》, 在进行电气设备(高压开关)操作时, 有“防止误入带电间隔、防止带接地(接地刀闸)线合开关、防止带负荷合闸、防止带电挂(合)接地线(接地刀闸)、防止带负荷拉刀闸”的“五防”安全操作要求<sup>[2]</sup>。

在对国网浙江省电力公司 2023 年(数据截止  
收稿日期: 2023-11-03

到 10 月)涉及环网柜开关操作的安全检查情况开展分析中, 发现在 8 322 次开关操作中, 仍有 56 次违反“五防”要求的误操作现象, 如表 1 所示, “五防”误操作占比仅为 0.67%。其中, 1 次因电缆两侧带电情况不明确, 施工人员带电挂接地线引起 10 kV 线路跳闸和电力设备损坏, 耗费近 7 h 才完成抢修恢复, 给安全生产、社会经济、居民生活等带来诸多影响<sup>[3]</sup>。只要有 1 次错误操作, 就会对电网设备、人身安全造成巨大伤害。因此有必要进一步提升配网开关操作规范性, 降低误操作发生可能性, 保证电网、设备、人身安全可靠。

表1 环网柜开关操作风险分析

| 误入带电间隔 | 带接地线合闸 | 带负荷合闸 | 带电挂接地线 | 带负荷拉刀闸 |
|--------|--------|-------|--------|--------|
| 43     | 3      | 4     | 1      | 5      |

同时, 对 8 322 次开关操作票、现场操作情景、操作指令等开展调查分析, 并与实际操作人员走访交流。如图 1 所示, 通过数据分析主要存在无防误

系统校验（占比 22.62%）、钥匙管理不规范（占比 16.55%）、无防误锁具（占比 16.14%）、带电显示器功能不完整（占比 10.5%）、人工效率低（占比 6.18%）等问题。

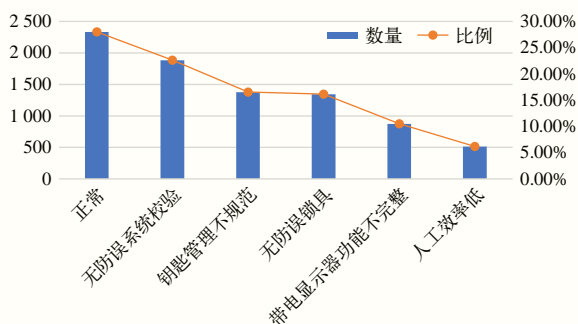


图1 操作数据分析

针对以上问题，国网浙江省电力有限公司仙居县供电公司立项研究一种新型环网柜接地开关防误操作装置（编号 S2TZT7230001），该装置主要工作内容如下：

研制环网柜接地开关防误操作装置的结构，通过自动网络拓扑分析功能和逻辑编程功能，可实现对配网系统内所有设备的电力操作防误规则判断功能；

配合智能解锁钥匙和闭锁锁具，对配网系统中大部分设备实现强制性的防误闭锁；

对于无法加装锁具的设备，通过提示性闭锁方式提醒操作人员。从而满足电力系统防误要求。

## 1 研究现状

现有配网设备操作防误闭锁的方式，主要有 2 种。

### 1.1 一次设备的机械闭锁

当前为了防止操作人员发生开关没有拉开而合接地刀闸的情况，一次设备厂家在设计柜体时采用了机械连锁或互斥结构设计：机械连锁设计、三工位一体化操作孔设计，来实现防误功能。

机械结构防误设计有效地防止本间隔内“有电合地刀”误操作的发生，但在环网供电及手拉手网络接线方式时，这种设计无法对电源进线线路侧的带电情况进行有效的闭锁，操作人员容易发生“线路有电合接地刀闸”的恶性误操作事故。

### 1.2 利用电磁锁对柜门进行防误闭锁

当前很多环网柜、开关柜采用就地电磁锁的方式对开关柜本体的下柜门、后柜门进行闭锁，带电显示器有输出节点，与电磁锁连接，当带电显示器有电时，电磁锁闭锁，无法打开，带电显示器无电时，电磁锁自动开启，可以打开下柜门或后柜门。该种方式的电磁锁采用外接电源或是内置电池的方式供电，在现场应用过程中出现很多无法正常打开的情况，分析原因，电池没电或是电子开锁部分失灵是主要原因，可靠性比较差。

以上 2 种方式在实际广泛应用，但无法避免误开环网柜，仍会出现误入带电间隔等情况。需要一种防误辅助系统更好发挥开关设备本身闭锁功能，切实减少误入带电间隔等情况发生。

## 2 环网柜接地开关防误操作装置的结构

本文提出的环网柜防误集控装置由系统管理主机、电脑钥匙、具有验电接口的高压带电显示闭锁装置、防误锁具及智能柜门锁具组成。图 2 展示了装置的主要构成。



图2 环网柜接地开关防误操作装置

其中智能电脑钥匙可与带电显示器互联，获取线路带电状态，通过判断线路带电状态与接地设备逻辑闭锁关系，实现接地刀闸的强制验电闭锁，即验电有电或不验电无法打开闭锁在接地设备或网门上的防误锁具，有效防止“带电合接地刀闸”“误入带电危险区域”等电气误操作事故的发生。

锁控管理可满足运维人员不同工作内容的开锁需要，如：运行操作、设备巡检、检修维护等，本装置通过多种授权方式实现对作业人员、开锁范围

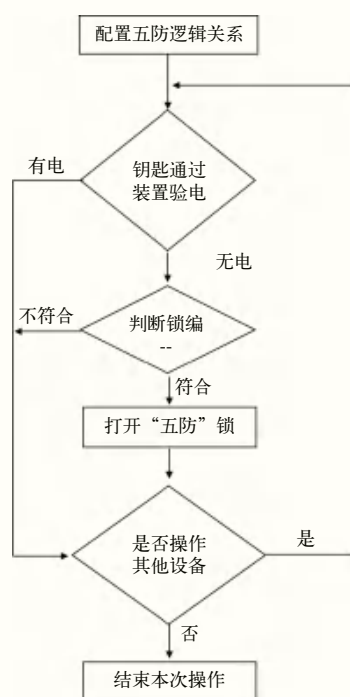


图3 环网柜接地开关防误操作装置操作流程

的授权管理，记录设备开锁信息，实现配网户外门锁的智能化。

装置主要操作流程为（如图3所示）：

系统安装完成后，将带有逻辑闭锁关系的编译数据，通过传输适配器传给电脑钥匙；

需要倒闸操作解锁时，首先通过电脑钥匙对带电显示器（GSN2）装置进行验电，如果有电，电脑钥匙会提示“有电！禁止操作”，且无法打开对应的“五防”机械锁。若无电，则可以进行对应接地刀闸的解锁操作；

电脑钥匙还会判断机械锁的编码是否正确，若正确，按下开锁按钮即可将锁打开，若编码不对应则禁止开锁，从而达到防止带电合接地刀闸误操作事故的发生；

所有操作结果还可以回传给管理软件，便于查询。

### 3 应用效果

#### 3.1 装置构建

根据环网柜接地开关防误操作装置整体结构进行分析，将整套装置分为：系统平台（如图4所示）、数据传输、智能钥匙、智能锁4个部分。

##### 3.1.1 系统平台搭建

在JOYO-J系统基础上，按照实际配网主接线连接情况，对倒闸操作进行智能逻辑校验，并将现场配网接线情况以CAD图模形式维护。

##### 3.1.2 传输适配器

根据系统适配性和数据类型，装置选取了TXZJ-3C\_1FC嵌入式通信主机（如图5所示），可快速实现系统平台数据传输，对智能钥匙、智能锁具进行快速编码。

##### 3.1.3 智能钥匙

根据系统适配性和数据类型，装置选取了DNYS-2C\_U防误电脑钥匙。该类型电脑钥匙有一块液晶显示屏和中文语音提示功能，能实现良好人机互动。同时，数据传输模块功能综合，具备高速红外IRDA模块，蓝牙通信模块，满足多种类型数据传输。防雨、防尘等级达到GB/T 4208—2017《外壳防护等级（IP代码）》要求，符合实际现场作业环境条件需求如图6所示。

##### 3.1.4 智能锁具

根据环网柜操作机构特性，选取了闭锁盒用以面板分合闸按钮闭锁，选取带编码功能的机械锁用于机械操作机构闭锁。通过锁芯内的唯一数字编码，实现与智能钥匙对码解锁。其中，机械操作挂锁为

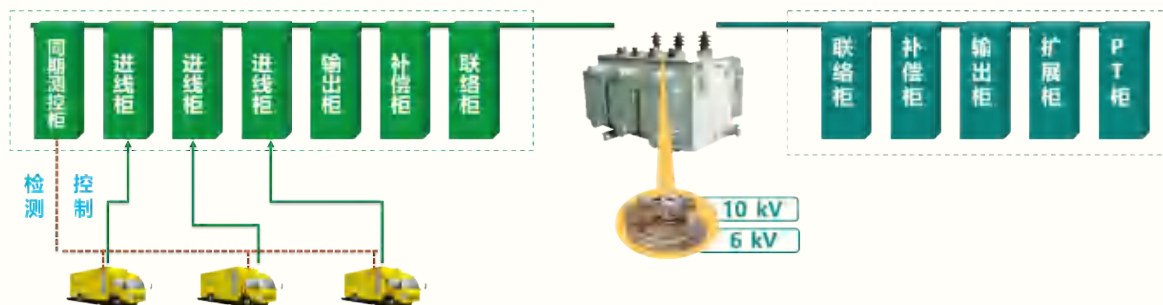


图4 系统平台界面



图5 TXZJ-3C\_1FC 嵌入式通信主机

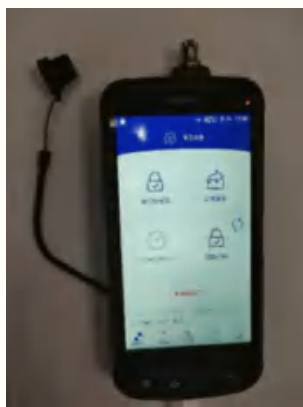


图6 智能钥匙

铜合金材质，有防锈蚀、可靠牢固等特点，如图7所示。

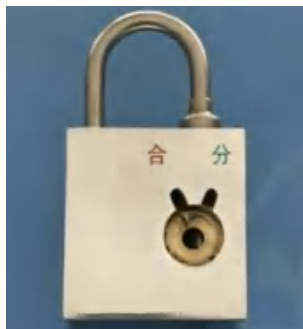


图7 智能锁具

### 3.2 有效性验证

本文实验选取2023年9—11月的操作票和现场执规检查情况进行统计汇总，发现涉及环网柜操作有2106次，发生“五防”风险误操作仅3次，如表2所示。其中，“误入带电间隔”“带接地线合闸”“带点挂接地线”3项风险发生频数为0，整体防误操作准确性为99.86%如图8所示。

在使用环网柜接地开关防误操作装置后，原来

表2 “五防”风险误操作

| 误入带电间隔 | 带接地线合闸 | 带负荷合闸 | 带电挂接地线 | 带负荷拉刀闸 |
|--------|--------|-------|--------|--------|
| 0      | 0      | 1     | 0      | 2      |

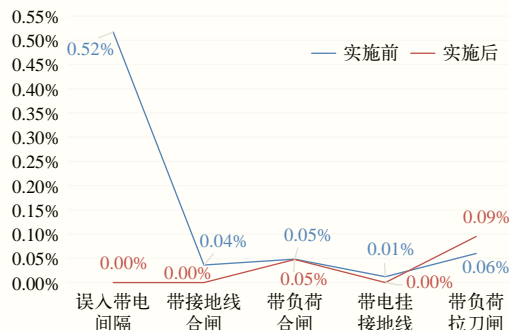


图8 实施装置前后误操作数据对比

频繁发生的误入带电间隔从占比76.79%下降为0%，效果显著。

## 4 结束语

针对目前生产现场中出现误开环网柜、误入带电间隔等情况，本文研制了一种环网柜接地开关防误操作装置。该装置对环网柜的传统机械锁进行智能化改造，通过防误逻辑专家判断进行操作逻辑校验，再以锁控管理模块进行逻辑编码传送至智能钥匙和智能锁具，不仅能有效解决误入带电间隔、误操作等问题，而且现场安全只需一把智能钥匙就能管控，同时能简化环网柜防误管理方式。在实现接地刀闸强制验电闭锁的基础上，结合高安全性智能锁具在防盗上的特性，实现柜门锁安全、高效、智能化管理。

## 参考文献

- [1] 何梓田, 李敏仪, 赵法强. 配网环网柜防误操作装置的研制与应用[J]. 技术与市场, 2020, 27(2): 102-103.
- [2] 刘勇. 安全锁控技术在配电网中的应用[J]. 农村电气化, 2018 (12): 44-47.
- [3] 陈敬菊. 配电网高压环网柜防误操作模式探索[J]. 科技风, 2016 (13): 162-163.

## 作者简介

李登雕(1984—), 男, 工程硕士, 高级工程师, 研究方向: 配网检修, E-mail: lddky@126.com。

(责任编辑: 刘艳玲)



# 一起 220 kV 变电站鸟害故障跳闸分析

陆阳<sup>1</sup>, 徐茜<sup>2\*</sup>, 周刚<sup>2</sup>, 朱赞<sup>2</sup>, 满忆<sup>2</sup>

(1. 国网浙江省电力有限公司嘉善供电公司, 浙江 嘉善 314100; 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:** 分析了一起220 kV 变电站鸟害故障跳闸事故, 结合故障区段环境分析、分布式故障定位装置分析, 判定故障杆塔位置信息及故障原因, 此次故障是因鸟类站立在防风偏绝缘子挂点上方排泄, 排泄物导致绝缘子上下均压环之间空气间隙击穿放电。针对此类事故提出整改措施, 在杆塔安装防鸟刺、超声波驱鸟器等装置, 加强线路防鸟害工作, 不断提高对输电线路的管理水平, 保证电网运行稳定。

**关键词:** 变电站; 鸟害事故; 分布式故障定位

**中图分类号:** TM421

## Analysis of a 220 kV Substation Bird Damage Trip Accident

LU Yang<sup>1</sup>, XU Qian<sup>2\*</sup>, ZHOU Gang<sup>2</sup>, ZHU Yun<sup>2</sup>, MAN Yi<sup>2</sup>

(1. Jiashan Power Supply Company, Zhejiang Jiashan 314100, China; 2. Jiaxing Power Supply Company, Zhejiang Jiaxing 314000, China)

**Abstract:** This paper analyzes a 220 kV substation bird fault trip accident, the location information of the faulty pole and tower was determined by combining the analysis of the environment of the fault section and the analysis of the distributed fault locating device. The fault cause was that birds excreted standing above the hanging point of the windproof offset insulator. The waste causes the breakdown and discharge of the air gap between the upper and lower pressure equalizing rings of the insulator. In this paper, put forward follow-up corrective measures, the pole tower to supplement the installation of anti-bird thorns, ultrasonic bird to prevent bird to bird and other anti-bird devices, targeted to strengthen the line anti-bird damage work, constantly improve the power grid line management level, to ensure the stable operation of the power grid.

**Keywords:** substation; bird damage accident; distributed fault location

近几年, 国家大力提倡保护生态环境, 我国的森林植被面积逐年增长, 良好的生态环境为鸟类的繁衍活动提供了场所和空间。然而, 数据统计表明, 鸟害已成为我国东南沿海地区输电线路故障跳闸的主要因素之一, 给电网稳定运行带来考验<sup>[1-2]</sup>。

当前, 针对输电线路故障原因主要可分为以下2类: (1) 雷击事故, 沿放电通道, 通过极高的雷电过电压、过电流放电, 主要包括绕击、直击, 且后者对电网损害更为严重, 故障录波波尾时间相对较短; (2) 非雷击事故, 主要包括鸟害、山火、闪络、覆冰等形式, 据统计, 近年来鸟害已成为主要非雷击事故, 通过与绝缘子表面的污秽形成放电结构, 故障录波的波尾时间相对较长<sup>[3-4]</sup>。

本文分析了某 220 kV 变电站鸟害故障跳闸情况, 通过对故障区基本情况分析, 结合故障区段巡视情况、故障区段地理位置、故障时段天气情况, 发现

收稿日期: 2023-07-02, 修回日期: 2023-12-10

鸟类排泄物导致绝缘子上下均压环之间空气间隙击穿放电, 针对此类事故原因及暴露的问题进一步分析, 提出相应的整改措施, 不断提高线路的管理水平, 保证电网稳定运行。

### 1 事件概况

2022 年 11 月 8 日 11:46:58, 220 kV 变电站 X1 的 LZ 3U05 线 B 相保护动作, 开关跳闸, 重合成功。

故障信息记录: B 相接地故障, 故障电流 20.404 kA。故障测距 (距变电站 X1): 1.030 km。故障点定位在 35#和 36#杆之间。

保护信息记录: 第一套, B 相接地故障, 接地距离 I 段保护动作, 纵差保护动作, 重合闸动作, 重合成功, 故障电流 20.250 kA, 故障测距 1.133 km (34#和 35#杆之间); 第二套, B 相接地故障, 纵差保护动作, 接地距离 I 段保护动作, 重合闸动作, 重合成功, 故障电流 19.705 kA, 故障测距 0.666 km

(36#和 37#杆之间)。

分布式信息记录：2022 年 11 月 8 日 11:46:58 599 220 kV LZ 3U05 线路发生跳闸事故，重合闸成功，故障相为 B 相，位置在 1#杆塔和 41#杆塔之间，距离 1#杆塔大号方向 11.520 km，故障点位于 35#杆塔附近。

## 2 故障巡视情况

11 月 8 日 11:53，H 市供电公司接到调度电话通知后，立即组织 12 人分为 3 组赶赴现场。经故障特巡发现，故障杆塔为 LZ 3U05 线 35#塔，塔型为 2F2-SJ1-30（杆塔呼高 30 m）。故障区段位于 H 市杨家埠东彭家村附近，主要地形为平原，现场位置信息为荒地、芦苇塘，北侧临近吕山港，南侧为西苕溪，东侧为吕山港与西苕溪交汇处，如图 1 所示。线路故障区段地处平原，当地经济发展迅速，沿线群众法律意识强，周边治安情况良好。



图1 LZ 3U05 线 GIS 图

特巡人员通过对线路通道和本体进行全方位巡视，未发现线路通道内有施工作业、树竹放电等异常现象。利用无人机对 35#杆塔进行精细化巡检，发现 B 相（垂直排列下相）固定防风偏绝缘子横担挂点、铁塔端均压环、导线端碗头与跳线线夹连接处、跳线线夹螺栓、绝缘子伞裙均有闪络放电痕迹。

## 3 故障原因分析

### 3.1 故障杆塔确认分析

特巡人员到达 35#杆塔时，杆塔底部芦苇塘内有大量鸟类飞起。

无人机精细化检查发现 LZ 3U05 线 35#塔 B 相（垂直排列下相）杆塔横担、绝缘子、均压环表面

鸟粪残留，在 LZ 3U05 线#35 塔下方塘中发现一具灰鹭尸体，未发现其他异常。

根据安装在 1#和 41#塔上的分布式故障装置采集信息，故障点距离 1#杆塔大号方向侧 11.520 km，故障杆塔为 35#塔左右一两基杆塔范围内，与无人机巡检发现故障杆塔基本吻合。综合以上信息确定本次故障杆塔为 35#杆塔。

### 3.2 分布式故障定位装置分析

220 kV LZ 3U05 线全长 12.820 km，属于 H 市供电公司管辖线路。在 1#、41#杆塔安装了输电线路分布式故障诊断终端。

输电线路分布式故障诊断终端于 2022 年 11 月 8 日 11:46:58 LZ 3U05 线上监测到工频分闸电流波形，波形中故障电流增大若干周期后归零，如图 2 所示，符合线路发生故障时工频电流特征，因此系统判定 LZ 3U05 线于 2022 年 11 月 8 日 11:46:58 发生跳闸故障<sup>[5]</sup>。

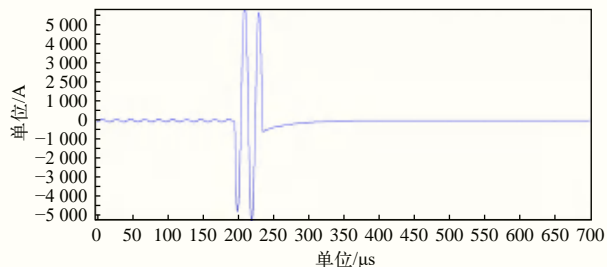


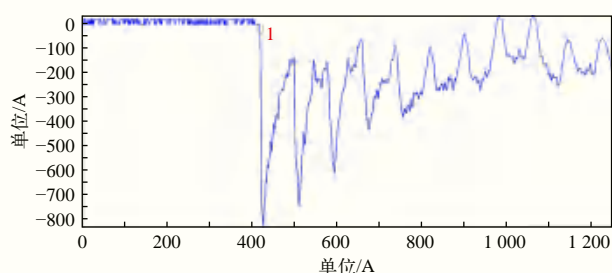
图2 1#杆塔故障分闸工频电流波形

故障时刻故障点产生的电流行波向线路两端传播，故障时刻电流行波主波头第一次到达 1#杆塔监测终端的时刻记为时刻“1”，第一次到达 41#杆塔监测终端的时刻记为时刻“2”，时刻“1”与时刻“2”的时间差  $\Delta T = 35.8 \mu\text{s}$ ，如图 3 所示。系统检测电流行波在 LZ 3U05 线上传播速度为  $V = 290 \text{ m}/\mu\text{s}$ ，1#杆塔到 41#杆塔的距离  $L = 12637 \text{ m}$ ，由双端行波精确定位公式  $L_1 = (L - \Delta TV)/2$  经计算得出故障点距离 1 号杆塔往大号侧 11 524 m，因此，LZ 3U05 线故障点最终定位在 35#杆塔附近。

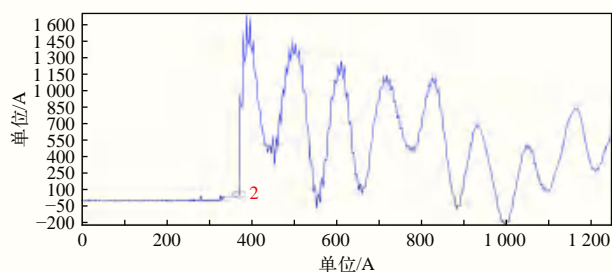
根据系统记录的故障时刻电流行波波头，故障时刻电流行波主波头电流上升比较陡，波尾持续时间大于  $20 \mu\text{s}$ ，符合非雷击跳闸故障特征，故系统判定此次故障为非雷击故障。

### 3.3 故障原因分析结果

综合 LZ 3U05 线故障区段跳闸前后的天气情况、



(a) 1#杆塔故障分闸高频电流波形



(b) 41#杆塔故障分闸高频电流波形

图3 故障分闸高频电流波形

绝缘子表面及均压环状况、无人机巡检及全线通道巡视结果，故障原因分析如下：

LZ 3U05 线 35#塔采用双联耐张绝缘子串挂设，绝缘子型号 U210B/170，单片爬距 400 mm，18 片成串，跳串采用固定防风偏绝缘子，绝缘子型号为 FSP-220/0.8-3，结构高度 2 350 mm，爬距 6 350 mm，防污水平满足要求，且绝缘子表面干净，可排除污闪跳闸可能。

故障相 B 相为垂直排列下相，杆塔位于芦苇塘内，周边水系、荒地及芦苇塘密集，交叉跨越完全满足安全距离要求，且线路通道防护区内并无施工作业隐患点，因此排除外破、树线放电跳闸可能。

故障时段 35#塔附近天气晴朗，同时雷电定位系统查询，故障时间点前后 5 min 内、故障线路周边半径 1 km 范围内无落雷，故排除雷击跳闸的可能。

由于 LZ 3U05 线故障区段处于芦苇塘内，沿线周围无大棚等易飘浮物、污染物存在。故障时段微风，排除风偏、异物钩挂等跳闸的可能。

综合 LZ 3U05 线故障区段跳闸前后的天气情况、固定防风偏绝缘子横担挂点、铁塔端均压环、导线端碗头与跳线线夹连接处、跳线线夹螺栓、绝缘子伞裙状况以及各类监测装置采集的信息，判断本次故障原因为大型鸟类站立在固定防风偏绝缘子挂点上方排泄，排泄物导致 LZ 3U05 线 35#塔 B 相固定防风偏绝缘子上下均压环之间空气间隙击穿放电。

#### 4 故障暴露的问题及后续措施

线路运行单位对鸟类的活动规律掌握不够。据调查，对线路构成危害的鸟类有黑鹳、白鹭、鹈鸟等中大型水鸟，不同鸟类在不同地区、不同时间的生活规律和习性不易掌握，造成防范措施针对性不强。

线路专业缺少鸟类问题研究人员。参与线路防鸟害整治项目的人员只是普通的技术人员，没有专门进行涉鸟类问题的学习和研究。

输电线路防鸟措施有待提升。目前所使用的驱鸟器、防鸟刺、防鸟箱等设备优缺点并存，并不能完全防止鸟害跳闸故障的发生，防鸟措施须进一步提升。

H 市供电公司立即对 LZ3U05 线 35#及附近杆塔补充安装防鸟刺、超声波驱鸟等装置，防止该路段鸟害故障再次发生；并组织开展线路全线鸟害排查治理，预防类似情况发生。

加强线路防鸟害工作。重点加强地处农田、河网地带的输电线路防鸟害措施，通过加装驱鸟器、防鸟刺、防鸟挡板等装置，减少鸟类在杆塔上活动停留；及时拆除杆塔上鸟窝，杜绝鸟害故障的发生。

加强鸟类活动观测，及时增补、修正鸟类频繁活动区域，掌握大型鸟类活动区域分布、活动规律，采取针对性防鸟害措施。

根据故障点的情况来看，复合绝缘子放电灼伤痕迹不影响线路长期安全运行，计划结合线路停役更换损伤绝缘子并打开各联结部位仔细检查，未消缺前加强设备的日常运行维护工作。

#### 参考文献

- [1] 王耀升, 周刚. 一起 500 kV 线路及母线跳闸事件的分析[J]. 农村电气化, 2022 (6): 21-24.
- [2] 王立建, 祝文澜, 宣弈, 等. 一种图文融合的电网故障综合研判方法分析[J]. 农村电气化, 2021 (4): 47-50.
- [3] 黎江. 基于图像实例分割的架空输电线路鸟害分布推演研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2022.
- [4] 董桓毓. 基于故障录波数据特征的输电线路故障原因辨识[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2022.
- [5] 李静, 丁蓝, 张淦水. 基于故障录波数据的输电线路参数辨识[J]. 电工技术, 2018 (13): 17-18.

#### 作者简介

陆阳 (1989—), 男, 本科, 工程师, 主要从事配电网、电网建设方面的工作, E-mail: caraxq@126.com.

(责任编辑: 袁航)



# 浅谈继电保护及自动化常见缺陷的处理分析

罗超龙\*, 贾元峥, 于金滔

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 丰台 100073)

**摘要:** 变电站中继电保护及自动化设备的正常工作是电网安全稳定运行的可靠保证, 一旦发生故障, 需要立即处理。立足于变电站继电保护自动化设备, 结合班组生产工作实际, 针对常见的缺陷分别阐述处理思路, 为继电保护人员现场消缺提供经验借鉴。

**关键词:** 变电站; 继电保护及自动化; 保护装置

中图分类号: TM588

## Discussion on the Treatment and Analysis of Common Defects in Relay Protection and Automation

LUO Chaolong\*, JIA Yuanzheng, YU Jintao

(Beijing Electric Power Company Maintenance Branch, Beijing Fengtai 100073, China)

**Abstract:** The normal operation of relay protection and automation equipment in substations is a reliable guarantee for the safe and stable operation of the power grid. Once a fault occurs, it needs to be dealt with immediately. Based on the automation equipment of substation relay protection, combined with the actual production work of the team, and elaborates on the handling and analysis ideas for common defects, in order to provide some ideas and experience for relay protection personnel when dealing with defects on site.

**Keywords:** substation; relay protection and automation; common defect

随着变电站的数量越来越多, 继电保护人员所要维护的设备与日俱增, 这对班组的生​​产承载力带来了巨大的考验。如果变电站中的保护装置或自动化装置发出报警信号, 继电保护人员需要立即去现场处理缺陷, 然而对于经验不足的人员来说, 无法达到迅速处理缺陷的程度, 有可能会在一个小问题上浪费大量时间, 影响处理缺陷的效率<sup>[1]</sup>。为提高现场人员的效率, 保障电网的安全稳定运行, 针对几个常见的缺陷, 提出自己的思路分析以及处理方法, 为今后在处理类似缺陷时, 提供一定的帮助与借鉴。

### 1 继电保护及自动化常见缺陷的处理分析

#### 1.1 “五防”虚点无法连接到服务器

在某站进行服务器的缺陷处理工作后, 需要测试“五防”是否能正常工作, 测试发现“五防”发出的报文无法在服务器上抓取到, 通过观察发现, “五防”中的通信小模块 NC601 只亮了 1 个红灯, 正常时应该是“一红两绿”, 如图 1 所示。

收稿日期: 2023-08-08

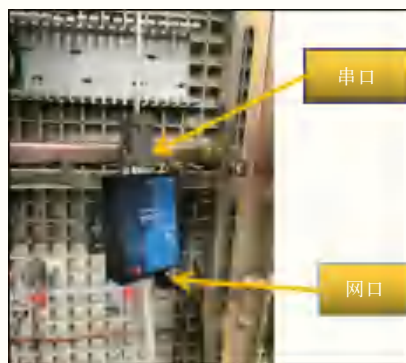


图1 通信小模块

在更换新的通信小模块 NC601A 后, 通过电脑给服务器发报文, 测试“五防”与服务器的通信, 发现“五防”与南瑞服务器网络 103 通信过程中, 实点和遥控问答许可没问题, 但是虚点存在问题。

此时, 通过观察报文我们可以发现, 虚点报文一般在串转网里配延时 0~1 000 ms, 而设置到 200 ms 时南瑞管理机就不接收了, 因此南瑞管理机处理不了此类报文。

为了解决此类问题, 最好的解决办法是将串转网中的通信小模块换成“五防”管理机。但值得注



意的是，共创“五防”通信管理机的规约与 SOPHIC 通信存在不兼容的问题，这依然会造成“五防”虚点无法连接服务器。因此，须修改南瑞 SOPHIC 服务器内“五防”通信的配置，将工作模式由 UDP 广播模式改为 TCP 点对点问答模式，共创“五防”串转网也改为 TCP 模式，整改后，实虚点及遥控许可都验证无问题。

### 1.2 10 kV 电容器 TV 断线

电容器发生 TV 断线后，保护装置会发出报警信号，通过查看保护装置上的电压采样值，可以初步判断故障发生的原因，如图 2 所示。在保护装置上看出  $U_{AB}$  为 103.95 V， $U_{BC}$  为 59.92 V， $U_{CA}$  为 50.95 V，因此判断是 C 相出了问题。

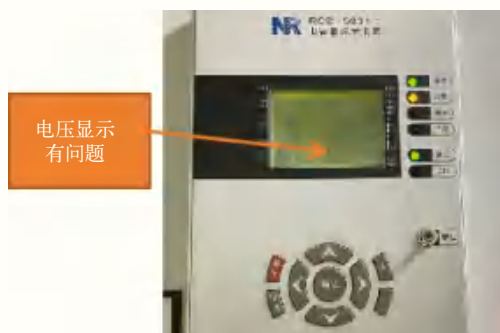


图2 电容器保护装置液晶画面

为了判断是什么原因造成 C 相电压出现问题，接下来先用万用表测量交流接头背板上的  $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$  接线端子，从而区分出 TV 断线故障是发生在保护装置内部还是外部，如图 3 所示。

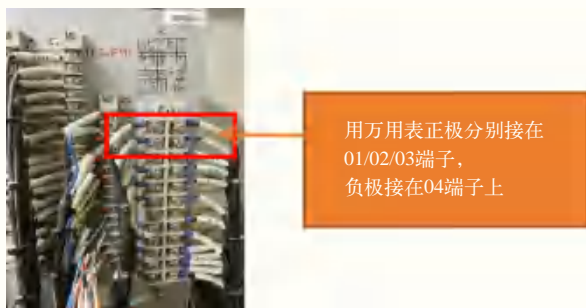


图3 保护装置背板图

测量后在万用表上显示三相电压均正常，因此可以确定是保护装置中的交流接头出现了问题，从而发出 TV 断线的报警信号；因此，须更换一个同型号的交流接头。值得注意的是，更换好交流接头

后，应根据交流接头上的精度参数表进行精度调节，这样电压采样值才能准确。

### 1.3 10 kV 保护装置 C 相电流异常

在变电站中除了经常会有保护装置电压异常的缺陷，还存在电流异常的情况，如图 4 所示，断路器保护装置告警灯亮起，通过查看采样值发现，TA 的保护 C 相电流为 1.25 A，而 A 相电流无异常。



图4 保护装置 C 相电流异常

根据此类异常情况，首先怀疑该间隔保护装置的 CPU 可能已损坏，从而造成 C 相电流显示异常。为了验证判断的正确性，用相量表测量保护 C 相回路电流，此时相量表中显示的电流值为 1.18 A，说明此缺陷并不是 CPU 损坏造成的。那么，此异常现象很可能是由于保护 TA 一次侧存在两点接地的情况，使得 C 相回路中感应出了很大的感应电流。

### 1.4 保护装置开入信号与实际不符

在某站发现低周投入硬压板的开入信号以及远方/就地手把在后台显示的位置与实际不符。在保护装置液晶面板上，低周投入硬压板的信号显示在分位，远方/就地手把显示在就地，而实际柜门上的低周投入硬压板已投上，远方/就地手把打在远方位置。如图 5 所示。

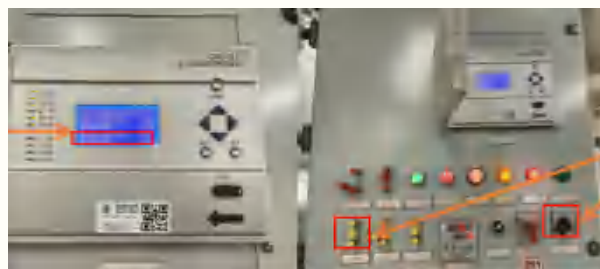


图5 保护装置开入信号

根据查看图纸以及对缺陷现象的分析，可以判断出开入信号与实际不符合的原因有 3 方面：

(1) 信号回路中的接线松动；(2) 保护装置的电源损坏；(3) 保护装置的 CPU 损坏。其中，依据经验判断，信号回路中的接线松动可能性最大。

通过对二次线路的排查，远方/就地切换和投入低周减载的信号回路的负极端是接在一起的，可能造成了回路接触不良。

随后，通过万用表测量二次信号回路，发现果然是负极公共端的端子松动，使得开入信号无法传到后台上；因此，将保护装置背板的端子重新紧固，开入信号正常。

### 1.5 保护装置防跳回路异常

在对 10 kV 馈线保护装置进行保护校验自动化传动的工作时，须对保护防跳回路进行校验，一般取消保护装置防跳，采用断路器机构防跳的方式。在进行防跳校验时，分闸指示灯正常切灯，此时，并未发现异常。然而，在防跳校验后，发现无法正常手动合闸。

首先，判断保护装置防跳回路出现了问题，通过查看图纸，分析现场可能存在的因素，判断发生此问题的原因可能是继电器故障，在进行防跳校验后，防跳继电器中的接点并没有返回，以至于造成合闸回路不通，防跳继电器 K0 粘连在结点 (5) 处，并未返回至结点 (2)，使合闸回路不通，无法再次合闸。

## 2 处理常见缺陷的思路归纳

变电站中各种继电保护及自动化设备经常会出现类似的缺陷，因此为了更快、更方便地处理缺陷，可以将发生的各种缺陷进行梳理，将处缺的思路进行归纳。

在收到某变电站发生保护或自动化缺陷的通知后，首先登录 D5000 系统，查看系统内上传的告警信号，先弄清楚保护装置发出告警信号的内容以及时间等信息。

结合 Web 图，查看变电站内的一次接线图，结合 D5000 系统上的 SOE 信号，以及现场运行人员的操作步骤等，推导出缺陷发生前，设备是否更改变过运行状态<sup>[2-3]</sup>。

查看班组中的缺陷汇总表，查看之前是否有继电保护人员处理过类似的缺陷，借鉴相关的历史缺陷处理方法，也有助于快速地排查缺陷。

初步判断缺陷的性质，预估可能造成缺陷的各种原因后，将处理缺陷所要准备的各种工器具、备品备件、图纸、二次安全措施、抢修单等资料准备齐全。

到达现场后，结合图纸，使用万用表、电阻表等测量工具对二次回路进行排查，不断缩小范围，直至找到故障点。据统计，继电保护缺陷大部分都是二次回路上有故障点，因此在考虑是否是其他因素造成保护装置告警之前，先要确保二次回路是没问题的<sup>[4]</sup>。

处理完缺陷后，一定要进行反馈，完成闭环。将此次处理缺陷的内容记录在缺陷汇总表中，完善数据库中的内容，方便其他人员参考借鉴。

## 3 结束语

本文针对变电站中继电保护及自动化常见缺陷，阐述了相关的处理方法，归纳了继保人员在处理缺陷问题时的思路分析。希望能为从事继电保护及自动化的工作人员提供一些帮助。只有不断地总结处理缺陷中的经验和方法，互相借鉴，才能保证在处理缺陷的过程中少走弯路，提高工作效率，保障电网的安全可靠运行。

## 参考文献

- [1] 何志勤, 张哲, 尹项根, 等. 电力系统广域继电保护研究综述[J]. 电力自动化设备, 2010, 30 (5): 125-130.
- [2] 袁灼新. 变电站继电保护自动化常见缺陷的处理方法及辨析思路[J]. 电工电气, 2019 (10): 67-69.
- [3] 史兴华. 变电设备典型缺陷处理和隐患排查[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [4] 舒昶. 变电站继电保护缺陷分析及消缺措施研究[J]. 技术与市场, 2021, 28 (11): 104-105.

## 作者简介

罗超龙 (1995—), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事继电保护及自动化专业工作, E-mail: Chaolongluo@163.com.

贾元峥 (1994—), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事继电保护及自动化专业工作, E-mail: jiayy1994@163.com.

于金滔 (1994—), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事继电保护及自动化专业工作, E-mail: 525481751@qq.com.

(责任编辑: 袁航)

# 一起主变压器高压直阻数据异常诊断与处理

黄渤瑜

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 丰台 100069)

**摘要:** 有载分接开关是变压器的重要组部件之一, 被广泛应用于电网系统内。据统计, 运行中变压器由分接开关引起的故障占相当大的比例。有载分接开关引线连接部件多, 连接松动是缺陷的主要原因。要提高安装及检修质量水平, 须制订出厂验收标准和检修工艺要求, 确保变压器安全运行。

**关键词:** 有载分接开关; 连接松动; 验收标准

**中图分类号:** TM763

## Abnormal Diagnosis and Processing of High Voltage DC Resistance Data of Main Transformer

HUANG Boyu

(Maintenance Company of State Grid Beijing Electric Power Co., Ltd., Beijing Fengtai 100069, China)

**Abstract:** On-load tap-changer is one of the important components of the transformer, which is widely used in power system. According to statistics, the faults caused by the tap-changer account for a considerable proportion of transformers in operation. There are many on-load tap-changer lead connection parts, loose connections are the main cause of defects, so it is necessary to improve the quality level of installation and maintenance, formulate factory acceptance standards and maintenance process requirements, and ensure the safety of the transformer.

**Keywords:** on-load tap-changer; loose connections; acceptance criteria

有载调压分接开关广泛应用于电网系统中, 有载分接开关由切换开关和单柱式分接选择器组成。切换开关被密封在油室内, 与变压器本体隔绝, 可开展常规检修; 分接选择器则安装在变压器本体油箱内, 对其检修需要本体撤油, 检修周期长, 严重影响电网运行可靠性。

### 1 试验基本情况

在一次 220 kV 某变电站 2#主变例行试验工作中, 发现高压直阻数据异常, 高压 C 相绕组双数直阻数据普遍增大, 不符合试验规程规定的变压器高压直阻不平衡率不超过 2% 的标准要求。变压器不满足运行条件, 试验数据如表 1 所示。

### 2 设备基本信息

2#变型号为 SFSZ-180000/220, 生产日期 2013 年 7 月, 投运日期 2014 年 8 月。有载分接开关型号为 MIII600Y-123/C-10193W。有载分接开关机械结构如图 1 所示。

有载分接开关的分接选择器安装在变压器本体

收稿日期: 2023-08-15

表1 选取前 6 分接的例行试验高压绕组直流电阻数据

| 分接 | A-0/ $\Omega$ | B-0/ $\Omega$ | C-0/ $\Omega$ | 不平衡率/% |
|----|---------------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 0.3009        | 0.3005        | 0.3054        | 1.6    |
| 2  | 0.2973        | 0.2971        | 0.3041        | 2.4    |
| 3  | 0.2944        | 0.2941        | 0.2986        | 1.5    |
| 4  | 0.2904        | 0.2903        | 0.2971        | 2.3    |
| 5  | 0.2870        | 0.2868        | 0.2912        | 1.5    |
| 6  | 0.2836        | 0.2835        | 0.2903        | 2.4    |

油箱内, 调压绕组各分接与分接选择器编号对应连接。切换开关通过桥接电路的过渡阻抗来限制 2 个相邻分接绕组间的循环电流, 实现带负荷调压。由于切换开关切换时要拉弧产生乙炔, 故切换开关置于密封油室, 与本体变压器绝缘油相隔绝。油室外筒壁上每相均有单双 2 个触头, 分接选择器引线油室外筒壁触头连接, 形成整体结构。分析出厂试验数据发现, 虽然所有分接的三相直流电阻不平衡率均小于 2%, 如表 2 所示。但双数分接的三相直流电阻不平衡率比单数分接的三相直流电阻不平衡率略大, 且规律明显。



图1 有载分接开关机械结构图

表2 出厂高压绕组直流电阻试验数据

| 分接 | A-0/ $\Omega$ | B-0/ $\Omega$ | C-0/ $\Omega$ | 不平衡率/% |
|----|---------------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 0.343 9       | 0.343 3       | 0.347 7       | 1.28   |
| 2  | 0.339 6       | 0.339 6       | 0.344 5       | 1.44   |
| 3  | 0.336 6       | 0.336 0       | 0.340 6       | 1.36   |
| 4  | 0.331 8       | 0.331 8       | 0.336 7       | 1.47   |
| 5  | 0.328 2       | 0.327 7       | 0.332 2       | 1.37   |
| 6  | 0.324 0       | 0.324 0       | 0.328 9       | 1.50   |
| 7  | 0.321 1       | 0.320 6       | 0.325 1       | 1.40   |
| 8  | 0.316 9       | 0.316 9       | 0.321 8       | 1.54   |
| 9  | 0.312 4       | 0.311 9       | 0.316 4       | 1.44   |
| 10 | 0.316 9       | 0.317 4       | 0.322 2       | 1.67   |
| 11 | 0.321 1       | 0.321 0       | 0.325 4       | 1.34   |
| 12 | 0.324 6       | 0.325 0       | 0.329 8       | 1.60   |
| 13 | 0.329 5       | 0.329 3       | 0.333 7       | 1.33   |
| 14 | 0.332 4       | 0.332 9       | 0.337 5       | 1.53   |
| 15 | 0.336 7       | 0.336 6       | 0.340 9       | 1.27   |
| 16 | 0.339 5       | 0.340 1       | 0.344 8       | 1.56   |
| 17 | 0.343 8       | 0.343 9       | 0.348 2       | 1.27   |

### 3 现场检查情况

按照有载检修质量工艺流程，工作人员将切换芯子吊出检查，切换芯子机构无异常，动静触头无问题，接触电阻和过渡电阻试验无问题，对油室内筒壁静触头处进行直阻测量，经过与之前带切换芯子所做直接测试数据比对，两者之间并无明显改善，始终在2%以上。排除了切换开关及油室内筒壁部分存在故障造成直阻异常的可能，依据出厂数据初

步怀疑油室外筒壁连接引线或选择器的连接部位存在松动。

### 4 现场处理情况

根据现场排查情况，分析M型开关机械连接，制订现场排查方案，对2#变撤油钻筒进行检查。将调压分接设置在4分接，先检查有载油室外筒壁C相双数静触头引出与选择器的连接处，外筒壁静触头引出螺栓与选择器之间的引线连接端子无明显烧灼痕迹。对外筒壁引线连接端子至C相套管进行直阻测量绕组带选择器，与相应位置的B相数据进行对比，不平衡率已降至1.34%，与出厂数据接近。选择器端C相双数公共引线至C相套管进行测量，与相应位置的B相数据进行对比，不平衡率已降至1.32%，与出厂数据接近，如表3所示。测量位置如图2所示。



图2 对外筒壁引线连接端子处进行测量

表3 选取前6分接的处理后高压绕组直流电阻数据

| 分接 | A-0/ $\Omega$ | B-0/ $\Omega$ | C-0/ $\Omega$ | 不平衡率/% |
|----|---------------|---------------|---------------|--------|
| 1  | 0.305 6       | 0.305 8       | 0.310 1       | 1.47   |
| 2  | 0.302 2       | 0.032 6       | 0.306 6       | 1.45   |
| 3  | 0.299 2       | 0.299 5       | 0.303 6       | 1.47   |
| 4  | 0.295 3       | 0.295 6       | 0.299 6       | 1.45   |
| 5  | 0.291 7       | 0.292 0       | 0.296 0       | 1.47   |
| 6  | 0.288 3       | 0.288 6       | 0.292 5       | 1.45   |

结合发现故障时在内筒壁静触头测量直阻异常、而外筒壁引线紧固螺栓外直阻合格等情况，将故障点定位在外筒壁引线连接螺栓。经检查，用手施力

(下转第88页)



# 三相三线电能计量装置电压互感器 二次侧极性反接案例分析

王 壮\*, 童格格, 秦立瑛

(国网江苏省电力有限公司扬州供电分公司, 江苏 扬州 225000)

**摘要:** 三相三线电能计量装置电压互感器二次侧极性反接时, 由于可能存在电能表对自身电压接线相序判定异常等问题, 往往容易引起接线异常类型误判, 进而干扰接线更正, 甚至引起新的接线错误。文章研究此类接线异常类型的表现特征与原理, 提出该类接线异常的判定方法, 帮助计量人员精准识别异常类型, 支撑现场消缺, 提高计量业务工作准确度。

**关键词:** 电能计量; 电压互感器; 三相三线; 极性

中图分类号: TM763

## Case Analysis of Polarity Reversal on the Secondary Side of Voltage Transformer in Three-phase Three Wire Electric Energy Metering Device

WANG Zhuang\*, TONG Gege, QIN Liying

(State Grid Yangzhou power supply company, Jiangsu Yangzhou 225000, China)

**Abstract:** When the polarity of the secondary side of the voltage transformer in a three-phase three wire electric energy metering device is reversed, it is often easy to misjudge the type of abnormal wiring due to possible problems such as abnormal phase sequence judgment of the meter's own voltage wiring. This can further interfere with wiring corrections and even cause new wiring errors. The article studies the abnormal characteristics and principles of this type of abnormal wiring. And propose a judgment method for this type of abnormal wiring. Assist metrology personnel in accurately identifying types of anomalies. Support on-site defect elimination and improve the accuracy of measurement business work.

**Keywords:** electricity metering; voltage transformer; three phase three wire; polarity

### 1 研究背景

电能计量作为电力企业与用户进行电能核算的数据基础, 其计量的准确性关系到电力企业与用户的利益。电能计量装置是供电企业电能计量的核心组成部分, 其自身的科学性、合理性、准确性至关重要, 装置内各元件是否正常、接线方式是否正确等都影响着计量结果的准确性。

电能计量装置由电能表、电压互感器、电流互感器及二次连接导线构成。电能计量装置接线正确, 是维护电能计量结果准确性的基础条件, 关乎电费结算的公平公正。

简单的三相三线电能计量装置接线方式共有48种, 其中包括6种电压相序、2种电流相序与4种电流极性。这些接线方式较为常见, 因此被研究

收稿日期: 2023-11-16

得比较多, 其他接线方式则较少见于研究中<sup>[1]</sup>。

相比于直接接入式电能表, 经互感器接入的电能表接线复杂程度大大增加, 接线异常的发生概率显著增大, 并且异常发生的位置更加多元和隐蔽, 从而带来排查难度大、异常原因难以准确定位等问题<sup>[2-3]</sup>。

当发生三相三线电能计量装置电压互感器二次侧极性反接时, 由于可能存在电能表对自身电压接线相序判定异常, 往往容易引起接线异常类型误判(如误判为电流互感器二次侧绕组串接), 进而干扰接线更正, 引起新的接线错误。本文基于某典型案例, 分析此类异常的表现特征和发生机理。

### 2 电流互感器二次侧绕组串接特性

电流互感器二次侧绕组串接同样是常见的接线错误之一, 其反极性串接时的电流特性与本文研究

的电压互感器二次侧极性反接类似，因此下面先介绍电流互感器二次侧反极性串接时的电流电压特性<sup>[4]</sup>。

电流互感器二次侧反极性串接指的是 A、C 两相线路上的电流互感器 (TA) 以相反的磁通方向串联在一起，电气接线图如图 1 所示。

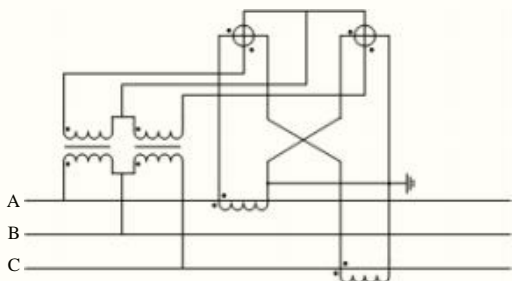


图1 电流互感器二次侧反极性串接电气接线图

用  $I_a$ 、 $I_c$  分别表示 A、C 两相的电流，当三相负载平衡时，两相电流相等，都为  $I$ ，电流互感器线圈的感应电动势同样相等，记为  $E$ 。当发生电流互感器二次侧反极性串接时，两相电流发生改变，变为大小相等方向相反，即  $I_a - I_c$  与  $I_c - I_a$ ，感应电动势均变为  $\sqrt{3}E$ 。两相电流同样发生偏转，相对于正确接线时的电流  $I_a$ 、 $I_c$  分别顺时针/逆时针偏转了  $30^\circ$ 。反极性串接后相量图如图 2 所示。

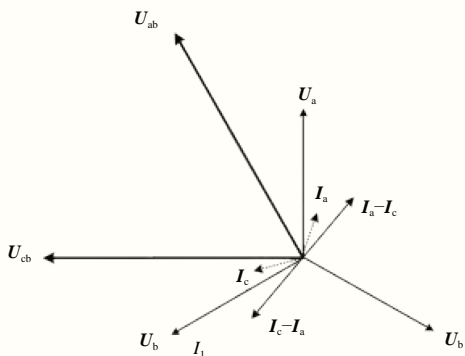


图2 电流互感器二次侧反极性串接电气相量图

流过电流互感器的电流不会因为计量表计或继电保护装置等负荷而改变，所以可以把电流互感器当成电阻为  $r$  的恒流源。电流互感器串接等价于 2 个恒流源串联，此时电阻为  $2r$ ，反极性串接后的计量电流为  $\frac{\sqrt{3}E}{2r}$ ，即电流减小为原来的  $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 。

### 3 电气量分析

电力用户用电信息采集系统常规采集电能计量装置的电压、电流、功率等电气量曲线数据，以及

电压相序等状态字数据。

某专变用户电压等级为交流 10 kV，电压规格为  $3 \times 100$  V，电流规格为 1.5 (6) A，综合倍率 1500。其采用三相交流供电方式，计量方式为高供高计，计量装置接线方式为三相三线，透抄电能表电压相序状态字为逆相序。

该用户的装表日期为 2021 年 1 月 17 日，查询用户的电流曲线数据发现从电能表计量开始，该用户的 A、C 两相电流长期呈现电流大小基本一致的现象，符合电流回路串接的特点。

进一步对接线相量图进行分析，计量装置在某一时刻的接线相量图如图 3 所示，A、C 两相电流夹角呈  $180^\circ$ 。进一步以散点形式表征电流相量，绘制该典型日全天的接线相量图如图 4 所示，A、C 两相电流相量基本对称。综上，该用户 A、C 两相电流呈现大小相等、方向相反的特点，与电流互感器二次侧绕组反极性串接的电流特性一致，疑似发生电流回路反极性串接。

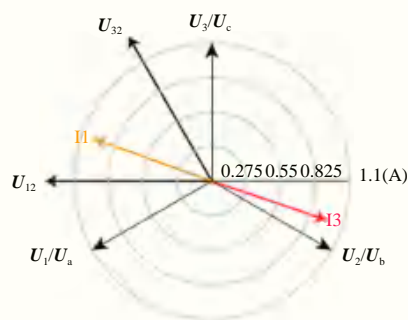


图3 接线相量图 (2022-5-31 16:30)

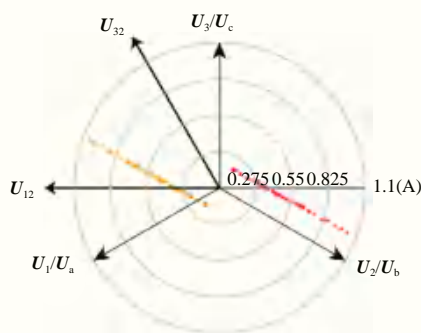


图4 接线相量图 (2022-5-31)

## 4 电气量异常原理

### 4.1 计量装置接线图

三相三线计量装置正确接线如图 5 所示。

经计量人员现场检查发现，本案例中接线异常

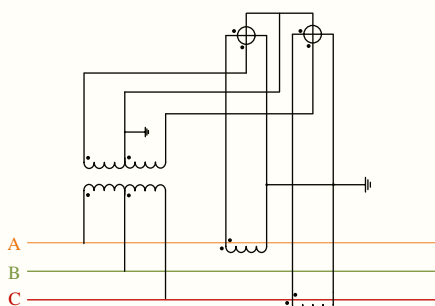


图5 三相三线电能计量装置标准接线图

类型为计量装置第二计量元件所在回路的电压互感器极性反接，接线图如图6所示。

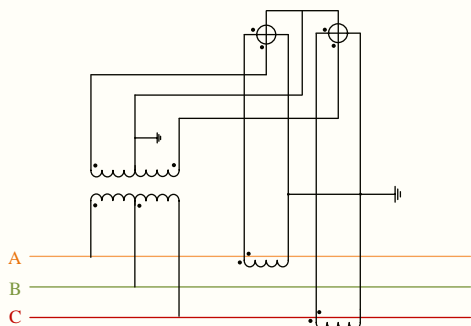


图6 案例接线图

#### 4.2 典型异常特征

电压互感器接线正常的状态下，电压三角形为等边三角形，如图7所示，三条边为线电压  $U_{ac}$ 、 $U_{ab}$ 、 $U_{cb}$ ，三角形中心点到各顶点为相电压  $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ ，线电压幅值为相电压的  $\sqrt{3}$  倍，两者大小分别为 100 V 和 57.7 V。

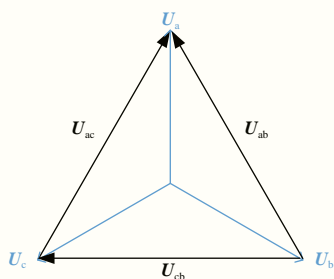


图7 电压三角形

当第二计量元件所在回路的电压互感器发生反接后， $U_{cb}$  反向，此时 A 相与 C 相间的线电压  $U_{ac}$  由  $U_{bc}$  指向  $U_{ab}$ ，三者构成顶角为  $120^\circ$  的等腰三角形， $U_{ac}$  为原线电压的  $\sqrt{3}$  倍，约 173 V，此时电压三角形如图8所示。

因此，发生电压互感器二次侧反接时，典型异

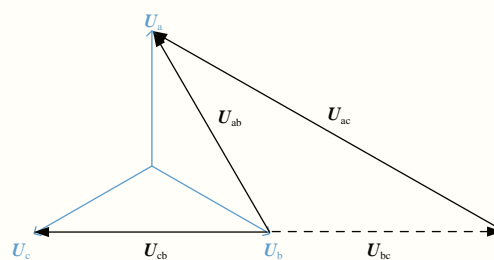


图8 电压三角形 (TV 极性反接)

常特征为  $U_{ac}$  幅值约为 173 V。若是现场人工检查，可以通过测量电压  $U_{ac}$  的值进行验证，而电能表中没有采集电压  $U_{ac}$  的值，因此无法在远程进行判断。

#### 4.3 TV 远程监测结果异常原因分析

##### 4.3.1 电能表电压接线相序判定异常

本案例中，计量人员基于用电信息采集系统远程透抄电能表的电压相序，结果为顺相序接法。经现场检查结果发现，电能表电压实际为逆相序接法，因而引起接线相量图绘制错误及分析结果错误。

经分析，产生该异常的主要原因为电能表自身相序判别规则存在不足。当前，三相三线电能表大多采用两相计量电压过零点的时间间隔判断相序<sup>[5]</sup>。结合图7，在正相序时，第一元件计量电压  $U_{ab}$  超前第二元件计量电压  $U_{cb}$   $300^\circ$  (如图9)，考虑电网频率约为 50 Hz，超前过零点时间约为 16.67 ms。考虑电网频率波动和计时误差等影响因素，判别时间基准允许存在一定的裕度  $\varepsilon$ ，因此当第一元件电压过零点时间超前第二元件  $(16.67 \pm \varepsilon)$  ms 时，判定电能表状态字记录为电压顺相序接线，若不满足，则记为逆相序。

发生第二元件反接时，结合图8，第一元件计量电压  $U_{ab}$  超前第二元件计量电压  $U_{bc}$   $120^\circ$  (如图10)，对应超前过零点时间约为 6.67 ms，由于  $6.67 \text{ ms} \notin [16.67 - \varepsilon, 16.67 + \varepsilon] \text{ ms}$ ，因此被误判定为

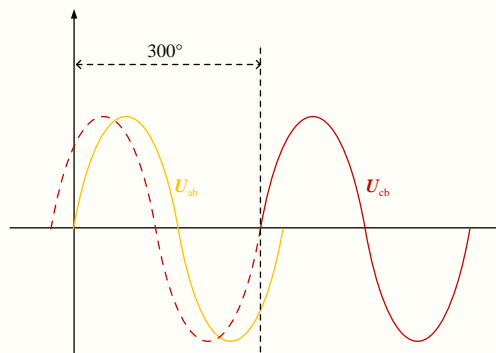


图9 正相序电压波形图

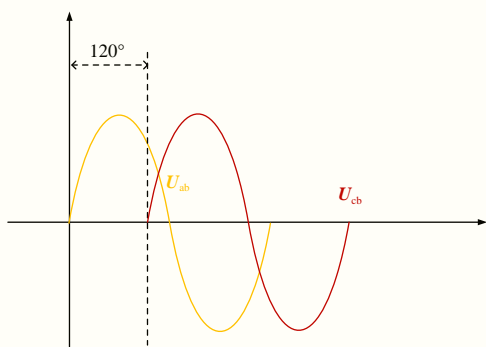


图10 TV 极性反接电压波形图

逆相序。

此外，在本案例中，用户负荷性质较为特殊。该用户为新能源汽车充电公司，提供充换电服务，在电动汽车充电时，三相负荷幅值基本一致，因此易被误判为电流回路发生串接。

#### 4.3.2 电压采集信息不足

在顺相序下，重新绘制接线相量图，如图 11 所示，与 C 相电流反向时的图形特征一致，易被误判为 C 相电流反接。因此，由于缺少  $U_{ac}$  的计量结果，实际上难以远程判定异常类型。

## 5 结束语

在三相三线电能计量回路中，当某个电压互感器二次侧极性反接时，可能引起电能表电压接线相序状态字错误，进而接线相量图绘制错误，导致错接线类型误判。

此类错接线的典型特征为  $U_{ac}$  幅值为常规线电压的  $\sqrt{3}$  倍，即  $|U_{ac}| \approx 173 \text{ V}$ 。该特点能够帮助计量

(上接第 84 页)

无异常，使用工具进行检查时，发现存在松动现象，紧固好后进行 C-O 直阻测量，不平衡率已降至 1.47%，与出厂数据接近。工作人员对选择器各部件进行了全面检查和紧固，复测整体全相全分接直阻，均合格。

## 5 原因分析及管控措施

外筒壁引线紧固螺母松动是造成高压直阻异常的直接原因，分析认为主要是设备在厂内安装时制造工艺把控不到位，对螺母紧固力不够，留下隐患，随着设备运行振动，逐步松动恶化。同时现场安装

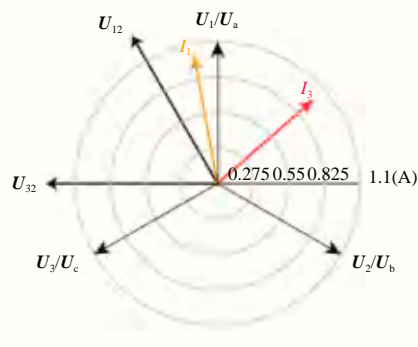


图11 接线相量图—顺相序 (2022-5-31 16:30)

人员精准判定异常类型，支撑现场消缺，提高计量业务工作准确度。

## 参考文献

- [1] 张有顺, 冯井岗. 电能计量基础[M]. 北京: 中国计量出版社, 2002.
- [2] 孙方汉. 电能计量装置及其正确接线[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [3] 刘建明. 电测仪表与电能计量[M]. 北京: 中国计量出版社, 1998.
- [4] 郑忠发, 刘建辉, 廖勇, 等. 三相三线电能计量装置公共回路断线及电流互感器二次反极性时接线分析[J]. 电测与仪表, 2007 (7): 29-32
- [5] 胡志刚. 三相三线两元件电能表的逆相序判断[J]. 电测与仪表, 2009, 46 (8): 31-32, 38.

## 作者简介

王壮 (1992—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要工作方向: 电能计量, E-mail: 2869474094@qq.com.

童格格 (1994—), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 主要工作方向: 电能计量, E-mail: 921381434@qq.com.

秦立瑛 (1999—), 女, 本科, 助理工程师, 主要工作方向: 电能计量, E-mail: 13002582323@139.com.

(责任编辑: 袁航)

验收也没有全面检查。

应严格执行主变出厂验收管理规定和国网“五通一措”变压器验收细则要求。制定出厂监造细则，对制造环节中的隐蔽部分要有安装检查记录和影像留存。加强现场安装、验收环节对此类部位检查要求，严格执行安装工艺标准，确保紧固到位。主变运维过程中，提高对变压器油色谱数据和电气试验数据的综合分析能力，及时发现设备缺陷。

## 作者简介

黄渤瑜 (1970—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事变电设备检修工作, E-mail: huangboyu815@126.com.

(责任编辑: 袁航)



# 一起死区故障导致 35 kV 母差保护动作案例分析

张 港<sup>1</sup>, 蔡 潇<sup>2</sup>, 李 明<sup>3\*</sup>

(1. 国网江苏省电力有限公司海安市供电分公司, 江苏 海安 226600; 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营销服务中心, 江苏 南京 210000)

**摘要:** 介绍了在AVC切除电抗器过程中, 发生的一起 35 kV 母差保护动作事件, 导致 35 kV II 段母线上所有开关全部跳闸。根据现场采集情况, 分析了开关跳闸原因, 同时对预控措施做了阐述。

**关键词:** 35 kV 母差保护; 电抗器; 死区故障

**中图分类号:** TM721

## Analysis of a Case of 35 kV Bus Differential Protection Action Caused by a Deadband Fault

ZHANG Gang<sup>1</sup>, CAI Xiao<sup>2</sup>, LI Ming<sup>3\*</sup>

(1. State grid Jiangsu Province electric power company Haian power supply company, Jiangsu Haian 226600, China; 2. Taizhou Sanxin power supply service Co., Ltd. Xinghua branch, Jiangsu Xinghua 225700, China; 3. State grid Jiangsu electric power company marketing service center, Jiangsu Nanjing 210000, China)

**Abstract:** This article introduces a 35 kV bus differential protection action event that occurred during the AVC reactor removal process. Causing all switches on the 35 kV II section bus to trip. Based on on-site collection, the cause of switch tripping was analyzed, and the pre control measures were stated.

**Keywords:** 35 kV bus differential protection; reactor; deadband fault

母差保护既能区分区内故障和外部故障, 还能确定哪段母线故障。由于母线故障影响系统的安全稳定运行, 因此, 及时发现并切除故障显得尤为重要<sup>[1-3]</sup>。母线连接元件除出线单元外, 还有电压互感器、电容器、电抗器等。运行实践表明, 污秽引起的闪络接地故障、绝缘子老化和雷击造成的短路故障占比较高<sup>[4-5]</sup>。母差保护判别母线出现故障, 保护动作元件立即启动, 故障母线上的所有断路器断开。如果母线并列运行, 故障处于分段开关和其 TA 之间, 母差保护会跳开另一条母线上所有开关。

### 1 事故发生过程

2017 年 9 月 3 日 02:48, 监控汇报某变电站 35 kV 母线保护动作, #2 主变 35 kV 开关、35 kV 母分开关、#2 补偿变开关报事故分闸, 田紧 3216 开关分闸; 35 kV II 段母线失压。OPEN3000 报#2 主变第一、二套主变保护装置异常, 35 kV II 段母线电压变低压开关跳开。故障前 35 kV II 段母线上#2 电抗器开关、#2 补偿变开关、田紧 3216 开关, #2 主

收稿日期: 2023-07-05; 修回日期: 2023-11-07

变三侧开关运行, #1 主变三侧开关运行, 35 kV I / II 段母分开关运行。如图 1 所示。

### 2 现场情况采集

2017 年 9 月 3 日 02:48:31, 地调 AVC 因某变电站功率因数越下限, 发令切除#2 电抗器; 02:48:42, #2 电抗器分闸, 同时 35 kV 母线保护动作, 切除 35 kV 母分开关、#2 补偿变开关、田紧 3216 开关、#2 主变 35 kV 开关。主变故障录波器录波图如图 2~3 所示。#2 电抗器故障点如图 4 所示。

### 3 故障原因分析

地调 AVC 发令切除#2 电抗器后, #2 电抗器在分闸过程中开关下触头(电抗器侧)击穿放电, 根据录波图分析, 放电电流最大值大约为 18 kA, 有效值 12 kA 左右。由于电抗器 TA 位于开关靠线路侧, 放电位置在开关与 TA 间, 故母差保护感受到故障电流正确启动, 并动作, 约 40 ms 切除 II 母所有间隔。在电抗器分闸结束后, 故障电流由于交流

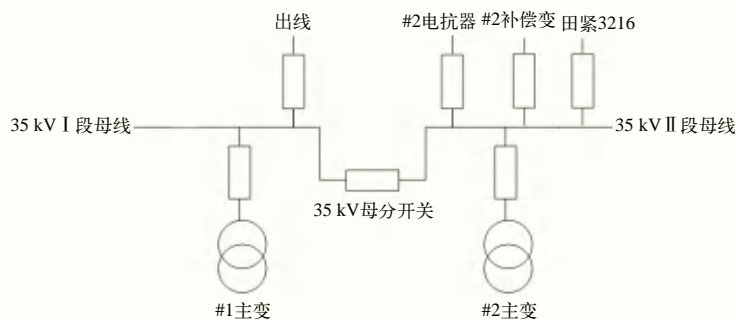


图1 故障前运行方式

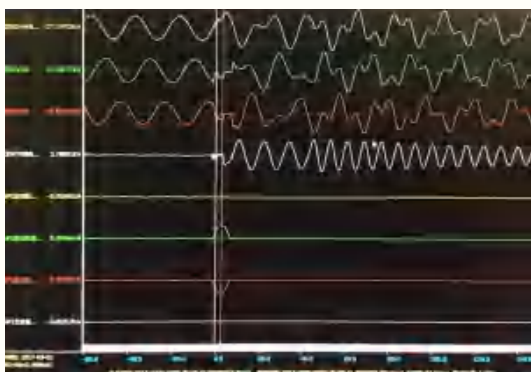


图2 I 母电压和#1 主变低压侧电流录波图

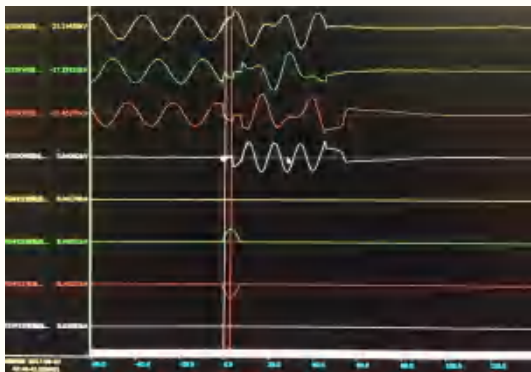


图3 II 母电压和#2 主变低压侧电流录波图

电流过零点自然熄弧，没有发生重燃，所以故障电流消失，故障电流大约持续半个周波（10 ms）。在 35 kV II 段母线上所有间隔均切除后，35 kV 母线电压消失。

由录波图可看出，故障时 B、C 相电流相位相反，大小相等，电压相位幅值基本一致，可推测为 B、C 相间放电。电流消失后，电压仍然呈现明显异常，I 母电压异常现象持续超过 2 000 ms，软件分析其中含有很高分量的二次、三次以及高次谐波，推测为用户负荷受电压波动而产生谐波。

综上所述，本次故障是由于电抗器开关与 TA



图4 #2 电抗器故障点

间放电，导致母差动作，切除 35 kV II 母线开关，母差保护动作正确。

#### 4 预防措施

根据不同季节选择空调运行方式；密切关注开关柜运行条件，对重要设备须做好记录，分析绝缘老化速度，制定和实施科学的检修计划，延长设备使用寿命；过负荷会加速设备绝缘老化，防止设备过负荷运行。

#### 参考文献

- [1] 张威, 张知宇, 操晨润, 等. 某 220 kV 变电站的 110 kV 正母线母差动作原因分析[J]. 农村电气化, 2023(7): 19-21.
- [2] 陶昆, 胡毅. 变电站电流互感器一次引线异常接线方式研究[J]. 农村电气化, 2021(11): 25-28.
- [3] 王风光, 李力, 吕航, 等. 基于电流分布系数的母差保护非故障相饱和判别[J]. 电力工程技术, 2020, 39(5): 197-203.
- [4] 张贝贝. 考虑死区故障的馈线自动化技术研究[J]. 农村电气化, 2023(7): 38-41.
- [5] 王风光, 李力, 吕航, 等. 母线保护对死区故障的优化解决方案[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(12): 219-224.

#### 作者简介

张港 (1989—), 男, 硕士研究室, 工程师, 从事电力调度技术研究, E-mail: zhanggang765435@qq.com.

(责任编辑: 袁航)



# 构建绿色、安全、智能的新型农村配电网技术论坛 征文启事

2024年全国能源工作会议指出，要深入推进能源革命，加快建设新型能源体系、新型电力系统。大力加强民生用能工程建设，推进北方地区清洁取暖，推动农村能源清洁低碳转型，提升电动汽车充电基础设施水平，更好地满足人民群众用能需求。

中国电机工程学会农村电气化专委会根据会议精神，2024年围绕农村能源清洁低碳转型、农村电网数智化建设等方面开展学术交流活动，拟定于6月举办“构建绿色、安全、智能的新型农村配电网技术论坛”。现面向全国广大供电企业、科研机构、高校、相关厂家等单位征稿，望踊跃投稿。

## 征稿方向

- 支撑新型农村配电网的数字化、智能化改造与实践，多能互补的柔性互联智能配电网的建设模式；
- 高比例新能源接入电网后，配网的调度、运维、控制、保护与电压调整等方面的应对策略与相应技术措施；
- 分布式能源在配电网的潮流控制策略与研究，如何最大限度地实现分布式能源的电力和电量就地、就近消纳；
- 储能的优化配置，分布式储能对配电网安全运行、电压调整、线损的影响分析，对电量就地消纳的研究与实践；
- 新型电力系统下分布式电源分散接入，配电网承载力评估方法研究；
- 微电网建设实例，现阶段存在的问题及发展建议；
- 零碳供电所、数字化供电所改造建设实践及相关研究；
- 支撑电动汽车下乡的农村地区电动汽车充电桩规划建设与运维管理实践及信息共享、协调优化的智慧充电管理平台研究；
- 北方农村清洁供暖方式研究与应用及效果分析。

## 注意事项

- 论文重点突出，结构合理，论述严谨，文字简练，避免长篇公式推导。论文不少于4000字，其中题目、摘要、关键词、作者姓名及单位须翻译成英文。
- 研究方法叙述清楚，理论联系实际，有独到的见解和价值，数据合理，论点、论据和结论客观准确。
- 图片清楚，图中各类点、线、符号、字母必须符合国家标准；表格为三线表，并在项目栏中标明表中数据的物理名称和单位；公式须符合文章内容且尽量少用；引文须在正文中标注，并与参考文献列表中对应。
- 论文未在公开媒体发表，勿一稿多投；勿剽窃他人观点、数据、图像、研究方法；勿编造或虚构数据、事实；勿涉及所在单位不可公开的内容。
- 来稿采用word格式。

## 投稿方式及评审

- 投稿地址：<https://ncdh.cbpt.cnki.net>，投稿时须注明“新型配电网征文”字样。
- 行业专家评审，优秀论文作者参与会议交流，会议现场颁发证书。部分优秀论文在《农村电气化》期刊以专题形式出版。
- 一经采用，论文整体及相关附件的全部复制传播的权利——包括但不限于复制权、发行权、信息网络传播权等著作财产权许可给北京国宇出版有限公司使用。著作权使用费包含在稿酬中。

## 截止日期

2024年4月30日。

## 联系方式

袁航：010-63231586，18613875937

邮箱：[yuanhang@csre.org.cn](mailto:yuanhang@csre.org.cn)

中国电机工程学会农村电气化专业委员会  
北京国宇出版有限公司  
2024年1月



# 中国电机工程学会 《农村电气化》 《农电管理》 2024 年订阅单

## 【订单获取】

- 1.农村电气化或农电管理期刊微信公众号；
- 2.农村电气化官网 <http://www.chinarein.com>；
- 3.微信小程序“国宇出版”；
- 4.期刊 2023 年第 10 期至 2024 年第 3 期最后一页。



## 【联系方式】

- 1.期刊订阅专用邮箱：[guoyu@csre.org.cn](mailto:guoyu@csre.org.cn)；
- 2.国家电网公司内网邮箱：[ndzwh@bj.sgcc.com.cn](mailto:ndzwh@bj.sgcc.com.cn)。

## 【订单邮寄地址】

北京市大兴区地盛北街 2 号院 17 号楼 101，发行部，电话 010-63231636/38，邮编：100176。

## 【合订本订阅】

订阅两刊过刊合订本可扫描右侧微信二维码下单。

|   |   |   |         |         |       |                         |
|---|---|---|---------|---------|-------|-------------------------|
| 订阅数量                                    | 农村电气化   |   | 全年12期定价 | 192.00元 |       | 两刊共计<br>册<br>期刊款总额<br>元 |
|   | ( )   | 册 | 书款合计    | ( )     | 元     |                         |
|   | 农电管理  |   | 全年12期定价 | 144.00元 |       |                         |
|   | ( )   | 册 | 书款合计    | ( )     | 元     |                         |
| 收书单位                                    |   |   |         |         | 邮政编码  |                         |
| 收书地址                                    | 省 市 县(区)  |   |         |         |       |                         |
| 收书人                                     | 联系电话  |   |         |         |       |                         |
| 如需发票，请提供贵单位以下各项信息。信息请务必完整，以免发生退票或重开票等情况 |   |   |         |         |       |                         |
| 发票类型                                    | <input type="checkbox"/> 增值税专用发票 <input type="checkbox"/> 增值税普通发票 |   |         |         | 发票收件人 |                         |
| 单位名称                                    |   |   |         | 税号      |       |                         |
| 开户行                                     |   |   |         | 账号      |       |                         |
| 地址                                      |   |   |         | 电话      |       |                         |
| 北京国宇出版有限公司收款账户信息：                       |   |   |         |         |       |                         |
| 收款户名                                    | 北京国宇出版有限公司  |   |         |         |       |                         |
| 银行汇款                                    | 工商银行账号：0200 0414 0920 1503 351                                    |   |         |         |       |                         |
|   | 开户行：工行北京会城门支行   |   |         |         |       |                         |
| 注意事项                                    | 汇款转账时请务必注明汇款人单位（或姓名）及电话，以免影响后续对账                                  |   |         |         |       |                         |