

# 国家电网公司全面部署泛在电力物联网建设

本刊编辑部

2019年年初，国家电网公司提出建设“三型两网、世界一流”战略目标，其中建设泛在电力物联网是重要内容和关键环节。

泛在电力物联网，是指围绕电力系统各环节，充分应用移动互联、人工智能等现代信息技术、先进通信技术，实现电力系统各环节万物互联、人机交互，具有状态全面感知、信息高效处理、应用便捷灵活特征的智慧服务系统，包含感知层、网络层、平台层、应用层四层结构。通过广泛应用大数据、云计算、物联网、移动互联、人工智能、区块链、边缘计算等信息技术和智能技术，汇集各方面资源，为规划建设、生产运行、经营管理、综合服务、新业务新模式发展、企业生态环境构建等各方面，提供充足有效的信息和数据支撑。

近日，国家电网公司对建设泛在电力物联网作出全面部署安排，泛在电力物联网建设分为两个阶段：到2021年初步建成泛在电力物联网，基本实现业务协同和数据贯通，初步实现统一物联管理，各级智慧能源综合服务平台具备基本功能，支撑电网业务与新兴业务发展；到2024年建成泛在电力物联网，全面实现业务协同、数据贯通和统一物联管理，公司级智慧能源综合服务平台具备强大功能，全面形成共建共治共享的能源互联网生态圈。

当前，数字化、网络化、智能化已经成为经济社会发展的大趋势。2019年政府工作报告中指出，全面推进“互联网+”，运用新技术新模式改造传统产业。如今，5G通信马上要落地商用，将为万物互联构筑技术基础。随着电力改革向纵深推进，新一代信息技术加速突破，互联网与传统产业跨界融合已成为大趋势。大数据、云计算、物联网、移动互联、人工智能、区块链、边缘计算等技术的广泛应用，将为跨界融合发展开辟出一片蓝海。

在互联网与传统产业跨界融合的大趋势下，国家电网公司以建设泛在电力物联网为主攻方向，进一步改造提升传统业务，同时发挥电网企业的平台和资源优势，着力拓展新市场、开辟新领域、打造新业务，大力开拓数字经济蓝海市场，不断培育新的增长动能，让更多市场主体参与价值创造和分享，为全行业发展创造更大机遇和空间。

新市场、新领域、新业务，国网公司全面部署泛在电力物联网建设，是一个极大的创新。泛在电力物联网涉及全社会，涉及千家万户，涉及所有的经济活动。打造泛在电力物联网，就是要建枢纽、搭平台、强应用、促共享，构建开放共建、合作共治、互利共赢的产业生态。

泛在电力物联网能够实现能源互联互通、智能服务和更高效的资源配置，使能源的开发利用更加高效便捷。打造泛在电力物联网，应充分应用移动互联、人工智能等技术，推动电网、设备、人员、信息全贯通，实现设备智能感知、数据贯通、信息共享和作业移动化；提升电网互联互通水平，适应电动汽车、分布式能源、微电网、储能装置等设施大量接入需要，满足客户多样化需求；以电力无线专网建设、“多表合一”推广、智能电网终端深化应用等为重要载体，加强政府、客户、电网企业间能源大数据的分析共享、价值挖掘，吸引更多社会资本、市场主体特别是终端客户参与能源互联网建设，激发市场活力，带动产业链上下游共同发展，与全社会共享发展成果。

# 农村电气化

刊名题字  
主管  
主办  
编辑出版  
中国标准连续出版物号  
CODEN 代码  
出版日期  
地址  
邮编  
网址

李鹏

中国科学技术协会  
中国电机工程学会  
北京国宇出版有限公司  
ISSN 1003-0867  
CN 11-2181/TM  
NODIEE  
每月10日  
北京市南蜂窝路5号  
100055  
http://www.chinarein.com

编委会名誉主任委员  
编委会主任委员  
编委会副主任委员  
编委会委员

郑宝森  
谢明亮  
陈小良(常务) 张莲瑛  
刘敏 周建方 盛万兴  
丁孝华 王立地 元伟  
戈立军 孔繁钢 艾闯  
龙国标 冯晋 刘伟  
汤克艰 杜松怀 李民  
李斌 李瑞生 杨进  
杨振琦 汪发明 宋连峻  
张思源 陈琳 陈俊章  
陈振宇 范伟 欧阳亚平  
岳红权 岳梦华 周开保  
郑斌 赵振宇 贾景奎  
顾联军 唐宝 黄燕  
常俊祥 谢宏伟 蔡丽华  
蔡冠中 谭跃凯 潘力志  
潘继雄

总经理兼总编  
主编  
副主编  
编辑  
美编

顾联军  
盛万兴 耿立宏  
袁航  
张峰亮 刘艳玲 赵文属  
周一鹏

编辑部电话

010-63123091/2  
926523091/2(系统)

邮箱

ncdqh@csre.org.cn

投稿

http://ncdh.cbpt.cnki.net

QQ交流群

35863746

发行部

010-63123085/6/7  
926523085/6/7(系统)

广告部

010-63123056 926523056(系统)

印刷

北京盛通印刷股份有限公司

广告经营许可证号

京西工商广字第8205号

户名

北京国宇出版有限公司

开户行

工行北京会城门支行

账号

0200 0414 0920 1503 351

每期定价

12.00元

全年定价

144.00元

## 目次

1 国家电网公司全面部署泛在电力物联网建设……本刊编辑部

### ◆ 典型推介 >>

5 智能化变配电监控系统设计 ……赵海东,甘星

8 BIM在110 kV室内变电站设计中应用 ……甘星,周伟

### ◆ 电网建设 >>

11 一种应用于直流建筑的多端环状直流配电网及其保护系统设计  
……侯院军

14 高压输电线路施工技术与检修方法 ……王茂奎

17 利用卫星地图精确计算输电线路工程人力运距 ……张鲲

20 配电网空间布局规划编制的思考  
……姚新丽,许小良,胡锡栋,黄海华,叶琛,李二喜

### ◆ 运行维护 >>

24 35 kV变压器后备保护配置及定值整定 ……陈静,郑博

27 高压开关柜局部放电诊断定位技术与运用  
……赵祥龙,焦伟,盖磊,刘成华,李小龙

### ◆ 安全生产 >>

32 一例直流两点接地导致的保护误动分析 ……杨奇

35 按时间节点审核输电工程安全措施  
……武庆祥,张立军,丁迪,邓志国,张国春,任汇东

37 110 kV变压器绕组变形故障的处理 ……白涛,张琴琴

### ◆ 智能电网 >>

41 一种智能快速型馈线自动方案 ……朱亚平

43 电力防误逻辑智能校核系统开发与应用 ……甘文琪



### 《农电管理》2019年第4期要目

开拓市场 服务客户 推动营销服务高质量发展  
本刊编辑部整理

担当有为 开拓创新 奋力推动配电网高质量发展  
本刊编辑部整理

线上全天候受理 线下一站式办电  
——国网浙江省电力有限公司嘉兴供电公司业扩报装创新与实践 龚书能 周杰  
创新驱动未来 智慧开启美好  
——国网安徽省电力有限公司信息化企业建设纪实  
陈清萍 刘辉舟 刘晶东

关于创建学习型班组的探索与实践 张秀秀 张建军  
浅析配网不停电作业“六化”管理模式的探究 张绍钦  
创新“X+1”管理模式,助力“全能型”建设水平提升  
国网上海市电力公司嘉定供电公司  
“三维支撑”搭建“全能型”人才梯队  
国网山西原平市供电公司  
依托信息化技术平台 高效推进“全能型”乡镇供电所建设  
国网湖北襄阳供电公司  
沙珠玉所:便民服务举措多样 客户满意实现“零”投诉  
国网青海共和县供电公司  
移动作业全面覆盖 台区经理轻装上阵  
国网江苏省电力有限公司  
指南引领 服务建设全能型乡镇供电所  
国网山西运城供电公司

### 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以及中国知网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。

#### ◆ 信息系统 >>>

- 47 电力安全质量管理平台的系统应用  
.....赵 辉,张 杰,张 英,江 澎,张云峰
- 50 低压电力载波采集成功率影响因素浅析 .....周立志,杨晓波
- 54 基于物联网技术的充电桩智能共享充电新模式 .....欧方浩

#### ◆ QC小组 >>>

- 57 快分快合消弧开关的研制  
.....彭新立,李孟东,祁 波,李春清,任晓东

#### ◆ 清洁能源 >>>

- 61 配电网分布式电源调控管理 .....范承宏
- 63 基于PLEXOS的电动汽车附加负荷电力系统优化调度  
.....孙哲彬,赵晨旭,闫志海

#### ◆ 器具设备 >>>

- 69 剩余电流动作保护器雷电防护分析与研究  
.....朱菁菁,朱遵义
- 72 变压器有载开关智能取油装置的研制  
.....王建慧,王序辰,苏有功,王 野,苏朝阳,辛晓虎
- 73 具有不停电换表功能的单相电能表接插件的研制  
.....刘洪儒,郑庆阳,阮召安
- 76 降低环网柜间接验电不规范操作率的改进方法  
.....李冬森,余江山,余述良,汪 洋,宋诚诚

#### ◆ 经验点滴 >>>

- 79 一宗典型窃电案例分析及应对措施.....王远辉

# In This Issue

## Typical Referral

- 5 Design of Intelligent Transformer and Distribution Monitoring System/Zhao Haidong, Gan Xing.
- 8 Operating Research of BIM in Design Used for 110 kV Indoor Substations/Gan Xing, Zhou Wei.

## Power Grid

- 11 A Design Used for Direct-current Construction with Multi-terminal and Ring Direct-current Power Distribution Network and Protecting System /Hou Yuanjun.
- 14 Research of Constructing Technology and Repair Methods Suited to HV Transmission Lines/Wang Maokui.
- 17 Accurately Calculation of Manpower Transportation Distance for Transmission Line Utilizing Satellite Map/Zhang Kun.
- 20 Thinking of Space Overall Arrangement Planning Working out for Electric Power Distribution Network Operation & Maintenance/Yao Xinli, Xu Xiaoliang, Hu Xidong, Huang Haihua, Ye Chen, Li Erxi.

## Operation & Maintenance

- 24 Backup Protection Configuration and Definite Value Setting Concerned with 35 kV Power Transformers/Chen Jing, Zheng Bo.
- 27 Research and Application of Diagnostic and Located Technology Related to Partial Discharge in HV Switch Cabinet/Zhao Xianglong, Jiao Wei, Gai Lei, Liu Chenghua, Li Xiaolong.

## Safety

- 32 An Analysis of Protection False Action due to DC two Point Earthing/Yang Qi.
- 35 To Examine and Verify Safety Measure Suited to Transmission Engineering According to Time Node/Wu Qingxiang, Zhang Lijun, Ding Di, Deng Zhiguo, Zhang Guochun, Ren Huidong.
- 37 Analysis and Treatment of Winding Distortion Fault in 110 kV Power Transformers/Bai Tao, Zhang Qinqin.

## Smart Grid

- 41 An Automatic Scheme with Intelligent and Fast Type Suited to Feeders/Zhu Yaping.
- 43 Development and Application of Logic Intelligent Check System Suited to Prevent False Operation in Power System/Gan Wenqi.

## Information System

- 47 Systematic Application of Management Platform Suited to Electric Power Safety Quality/Zhao Hui, Zhang Jie, Zhang Ying, Jiang Peng, Zhang Yunfeng.
- 50 Simple Analyses of Influential Factor for Collect Success Ratio in LV Power Line Carrier/Zhou Lizhi, Yang Xiaobo.
- 54 A New Model of Intelligent Shared Charging for Incharged Piles Based on Internet of Things Technology/Ou Fanghao.

## QC Group

- 57 Development of Arc-extinguishing Switch with Fast Opening and Fast Closing Functions/Peng Xinli, Li Mengdong, Qi Bo, Li Chunqing, Ren Xiaodong.

## Clean Energy

- 61 Research of Regulation, Control and Management Related to Distributed Power Sources in Power Distribution Network/Fang Chenghong.
- 63 An Electro-mobile Annex Conforming to Power System Optimal Dispatch Based on PLEXOS Method/Sun Zhebin, Zhao Chenxu, Yan Zhihai.

## Equipment

- 69 Analysis and Research of Lightning Prevention used for Residual Current Operation Protection Device/Zhu Jingjing, Zhu Zunyi.
- 72 Development of Intelligent Obtaining Oil Device Suited to on-load Tap Changer in Power Transformers/Wang Jianhui, Wang Xuchen, Su Yougong, Wang Ye, Su Chaoyang, Xin Xiaohu.
- 73 Development of Single Phase kWh Meter Plug with Function Replacing Meter in Charged Condition/Liu Hongru, Zheng Qingyang, Ruan Zhao an
- 76 An Improved Method to Reduce the Operation Rate of Indirect Electric Testing in Ring Liner/Li Dongsen, Yu Jiangshan, Yu Shuliang, Wang Yang, Song Chengcheng.

## Experiences

- 79 Analysis and Counter-measures Related to a Typical Case of Electric Larceny/Wang Yuanhui.

(王金鼎译)

# 智能化变配电监控系统设计

赵海东<sup>1</sup>, 甘星<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程东北设计研究总院有限公司, 吉林 长春 130021

2. 国网湖南永州供电公司, 湖南 永州 425000)

智能化变配电监控系统可以满足对智能电力设备的智能监控, 如直流系统、变压器等, 从而确保系统实现智能化, 使得其运行更加可靠, 同时还有利于生产效率的全面提高。

## 1 智能化变配电监控系统特点

在系统之中囊括了保护、测控、电能计量管理、报警等一系列的功能, 其在满足一体化综合监控的同时, 还能够满足无人值班的要求。

分层分布式的系统结构相互简单, 并且有利于后续与维护与拓展。

系统监控软件操作简单方便。

系统拥有良好的稳定性, 并且其可靠性较高, 有利于系统智能化程度的保障<sup>[1]</sup>。

## 2 智能化变配电监控系统设计与实现

以某变配电监控系统的设计与实现为例, 希望可以对其有深入的研究。

### 2.1 系统拓扑结构分析

基于低压配网智能化设计的主要规则, 在设计中主要是按照分层、分布式的方式进行设计。这一种设计能够实现通信体系设计的要求, 在每一层都可以满足监控功能的实现, 也就是实现远方的监视控制, 同时上一层的故障也不会影响其余层的功能不能实现<sup>[2]</sup>。

智能化变配电监控系统的分布式设计思想为系统主控站层—通信管理层—现场设备层, 其系统网络拓扑图如图1所示。

### 2.2 系统总体设计

#### 2.2.1 系统概要设计

系统, 指的是多个功能模块的相互组合, 利用严谨的工作流程, 满足具体需求目标的实现。针对

系统的设计, 还须对项目的不同需求进行充分的考虑, 能够最大限度地满足规范与标准的要求, 这样才可以实现智能化的变配电监控系统管理要求。

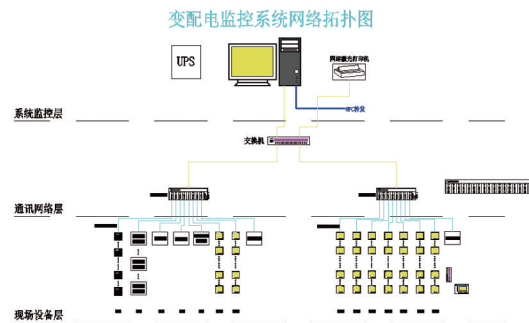


图1 系统网络拓扑图

#### 2.2.2 开发环境

本次选择的系统为智能化变配电监控系统, 主要是面对现场的运行人员进行探究, 虽然不会存在太大的用户访问, 但是对于安全性、稳定性以及反应速度的要求较高, 还需要结合实际情况进行综合的分析与考虑, 才可以确定具体的运行环境<sup>[3]</sup>。

#### 2.2.3 系统功能模块设计

基于整体的系统设计思路, 还需要统一的监测与监控高低压设备和第三方监控设备。通过实际的分析, 将整个监控系统的不同功能实现, 其主要的功能模块包含用户管理模块、功能操作模块、编辑配置模块、高级功能模块、工程配置模块。因为篇幅的限制, 本文的研究主要是集中在用户管理模块与功能操作模块的设计。

用户管理模块: 用户的管理模块主要包含了用户登录、注销、设置权限等。其功能主要是统一的管理与分配系统用户与操作权限。系统之中不同级别的用户, 其对应的操作权限也有所差异。考虑到不同级别, 主要是指用户划分为管理员、运行人员、

高级用户以及开发人员，每一组用户的操作权限范围都有所不同。系统管理员可以进行角色的自定义添加，并且赋予角色页面方位、数据修改、数据查看等权限，进而确保系统权限分配的灵活性。在管理子模块中还有用户增删改或添加。因为系统采用的是单点登录，所以，子模块提供用户自己注册审批的功能，当通过管理员审批之后，方可成为合法用户。

功能操作模块：针对功能操作模块，主要是考虑到基本操作、系统维护、资料管理、图形监控等一系列的功能，确保用户可以实现资料管理、监控以及查询等对应的操作，具体的功能操作模块如图2所示。

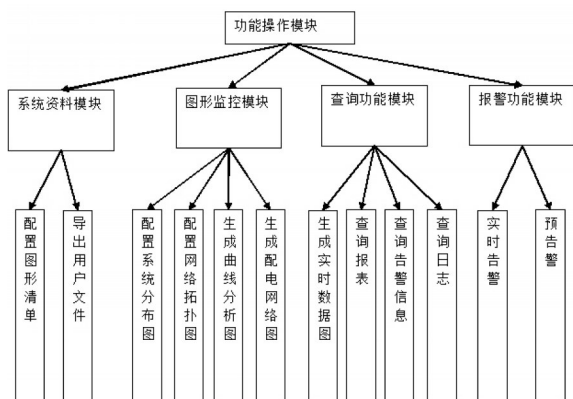


图2 功能操作模块框架图

### 3 系统的实现与测试

#### 3.1 主要功能

##### 3.1.1 用户管理模块

用户登录：在系统的主窗口单击菜单选项，打开管理窗口，从而进行用户的创建、删除、更改等一系列的操作，并且按照提示框进行选择。当用户登录之后，需要进行权限设置，其具体的权限设置是基于用户管理身份登录系统，然后进入到管理窗口。

针对“√”的，表明已经赋予用户这一项权限，不过每一用户拥有的权限是不能超出用户应有的最高权限范围。

##### 3.1.2 运行操作模块的实现

针对运行操作模块，其主要功能是配置运行系统资料，如图纸、元器件清单等。这一部分资料可以利用系统统一的管理界面来实现查看，也可以通

过电力监控界面的单线图、系统接线图等相关设备来加以调用<sup>[4]</sup>。

第一，在系统图纸中包含了单线图与控制原理图。第二，系统每一个回路元器件或者是配电柜都需要按照一定的格式来加以统计，从而提供用户浏览与查询。第三，数据备份，主要是备份保存重要的配置表和历史数据信息，避免因为数据的稀释，对系统的正常运行造成影响。第四，单击“图形监控\拓扑图”的菜单选项，就可以将网络拓扑图打开，显示出网络拓扑结构。

针对拓扑图，其实现的功能：将前端机、监控主机、通信交换机等通信设备的分布与网络连接方式体现出来。满足系统通信监视与网络诊断的实现。每一个系统设备左上方都设置有通信状态指示灯，利用颜色变化情况，就可以了解通信系统是否正常。单击“图形监控\系统图”之中的系统图按钮，就可以打开系统图。

利用系统图，就可以对系统的电力流向与能量分配加以了解，并且按照实际的需求，做好系统接线图的配置，不同工程，其配置也会有所差异。在系统图的主界面之中，就会直接进入接线图与单线图。

曲线，作为电参量数据最直观、最有效的显示，也可以呈现出历史数据区县、实时动态曲线等<sup>[5]</sup>。

单击“图形监控\监控”菜单，可以直接进入到曲线的主页面。在其主页面中包含了分成实时曲线和历史曲线，并且主页面之中可以查看各种采集量曲线。单击曲线联接按钮，就可以代开对应的曲线。

单击“查询\实时数据”菜单项，就可以打开实时数据查询窗口，其数据主要包含了标准遥信、组合遥信、遥测等。在实时数据窗口中，主要是按照实际的需求，从而查询不同类型的实时数据。

#### 3.2 系统测试

测试系统可以确保系统满足预期的效果要求，通过测试与调试，还可以对系统的性能与功能进行改善，从而达到最佳的状态。

##### 3.2.1 测试方法

本次测试选择单元测试、集成测试与确认测试。第一，单元测试也就是检查与验证最小的可测试单元，其主要是针对各个核心功能模块设计的功能，

其测试包含了模块功能准确性、输入输出一致性等。第二,集成测试,是基于单元测试这一基础,从而按照设计要求,将左右模块都设计成为系统或者是子系统,然后再开展集成测试。本次的集成测试主要是验证与分析系统的所有功能,确保其处理流程能够满足预期的标准,同时在单元测试基础上确保数据的正常交互。第三,确认测试,则是基于单元测试和集成测试基础来测试系统的功能,其主要是确保系统能够满足终端用户的需求,并且还可以针对其中的偏差做好对应的记录与修正处理。

### 3.2.2 测试内容

在本次的测试中,第一,硬件测试;第二,功能测试,其主要是按照系统功能模块,划分为系统管理、基础锁具管理、综合分析等;第三,业务流程测试。针对实际的业务流程,按照既定的测试方法来验证流程;第四,性能测试,对是否按照性能指标来实现相关功能要求加以验证,主要是按照设计运行环境来对各项指标加以验证;第五,用户界面测试,验证系统的可操作性、人性化、颜色搭配等<sup>[6]</sup>。

### 3.2.3 测试结果分析

系统硬件测试,都处于正常的工作状态下,能够满足系统设计的要求。

针对系统的功能测试结果,其结果如表1所示。

表1 功能测试表

功能模块	调试内容	结果
用户管理	实现不同权限、不同等级用户的管理	实现
系统通信	能够正常通信,正确收发报文。	实现
接线图	遥信变位反应正确,可以查看模拟量	实现
语音告警	针对遥信变位,可以实现正确的语音警告	实现
告警查询	可以查询所有告警信息	实现
曲线	满足模拟量变化信息的正确绘制	实现
报表	实现报表数据的正确调用	实现

从表1也可以看出,其系统功能可以直接满足预期的结果要求。

针对系统的性能测试结果,具体如表2所示。

表2 系统功能测试结果

序号	内容	测试结果
1	事件记录正确率/%	≥99.9
2	遥信正确率/%	100
3	遥控正确率/%	100
4	遥调正确率/%	100
5	遥测正确率/%	>99.9
6	重要遥测更新周期/s	<2
7	一般遥测更新周期/s	<3
8	事故时遥信变位传送时间/s	≤1
9	事故推画面时间/s	<2
10	遥信变位/s	<1
11	遥控过程完成/s	<3
12	模拟量测量综合误差/%	<0.5
13	电网频率测量误差/Hz	<0.01

通过表2可以看出,系统性能指标都能够满足系统的设计要求,表明性能测试能够通过既定的要求。

## 4 结束语

随着计算机和通信技术的发展,变配电监控系统必定能够得到广泛的应用。因此,希望通过本文对智能化变配电监控系统的设计与实现研究,能够对其有清楚的认识,从而推动其得到更加广泛的应用。

## 参考文献

- [1] 程仁志. 浅谈10 kV变配电智能化监控系统的应用[J]. 企业技术开发, 2015(25): 41-42+53.
- [2] 王锦辉. 智能化低压配电监控系统的应用和信息管理[J]. 电世界, 2014(08): 32-33.
- [3] 范守华. 10 kV变配电智能化监控系统的应用[J]. 成组技术与生产现代化, 2012(04): 45-49.
- [4] 董金. 某工业厂房智能化配电系统设计[D]. 华侨大学, 2017.
- [5] 徐迎春. 智能建筑中的电气与控制系统设计[D]. 齐鲁工业大学, 2016.
- [6] 杨光. 综合体智能化管理系统[D]. 大连交通大学, 2016.

## 作者简介

赵海东,(1985—):男,汉族,本科,中级职称,研究方向:电气设计。

(责任编辑:张峰亮)

# BIM在110 kV室内变电站设计中应用

甘星, 周伟

(国网湖南永州供电公司, 湖南 永州 425000)

**摘要:** BIM技术在民用建筑市场使用很成熟, 是在建筑生命周期中非常重要的技术, 涵盖设计、施工、移交和运维等所有环节, 为促进电网工程建设质量及其稳定性的提高, 结合110 kV联海变电站工程实际项目的BIM应用, 重点讨论设计环节BIM设计的运用及经济效益分析。

**关键词:** BIM; 变电站; 设计应用; 仿真

**中图分类号:** TM929.5

BIM也就是建筑信息模型, 在当前工程策划、设计、建造、管理和运维等领域应用较多, 整个行业近年来开始重视这项技术, 最早欧美、日韩等发达国家提出和广泛重视及普及, 我国起步相对较晚。随着业主对质量、进度、难度要求越来越高, 2013年以来, BIM在我国建筑业逐步到了广泛应用, 越来越多的企业利用BIM开展设计、施工和管理工作, 并取得了显著效果, 满足业主的需求, 在竞争中立于不败之地。BIM应用是全国建筑业大势所趋, 变电站的BIM运用也势在必行。

## 1 室内变电站二维设计的难点

### 1.1 面积小, 设备安装紧凑

选择节能化、小型化的GIS设备, 对户内变电站布置进行优化, 通过紧凑布局确保各电压等级配电装置实现科学布置。这样能够实现建筑物空间利用率的有效提升, 避免占用过多的面积, 最大限度将有限的城区土地利用起来。

### 1.2 自动化水平较高

当前微机保护是户内变电站中的重要组成部分, 并采取分层和分布式微机监控系统, 有效提升了自动化水平, 并应用基于IEC 61850的数字化变电站系统。同时通过对视频监控系统的设置, 不需要安排专人进行值守。

### 1.3 电缆数量多, 敷设不易

结合城市景观要求, 在设计中主要使用高压电缆, 变电站设计为220 kV, 其电缆为6回, 而电容器、站用电及接地电阻用电缆为33回, 电缆层高压电缆数量超过了100根, 且照明、视频监控等方面也要用到一定数量的电缆。

### 1.4 通风降噪问题较为严重

因为在城市区域建设户内变电站, 所以这须在噪声上加强控制。很多损耗较大的电气设备安装室内, 这在通风、降噪等方面也有极高要求。

### 1.5 涉及专业众多, 接口管理难度较大

为了保证户内变电站顺利运行, 电气、土建等专业要加强配合。土建专业进行主梁、次梁等布置的过程中, 应该避开电缆孔洞, 设备校验属于电气专业内容, 此时要保持一定的距离, 防止发生危险事故, 并控制好各个梁柱的大小, 准确定位设备的位置, 注意各楼板梁柱位置, 若是忽视了这一点, 将发生很多问题。在电气专业和土建专业中须关注设备尺寸与质量, 并以此将运输大门规格与房间大小确定下来, 同时结合设备质量对结构进行计算。

## 2 BIM设计

随着Revit在民用建筑中成功的运用, 技术被逐步推广到变电站建设中, 协同、设计、集成、校审、出图等Revit、Navisworks、AutoCAD为数字化BIM设计方案软件。从项目生命周期的视角, 围绕着项目管理、族库建立, 三维模型设计、各专业模型集成协同、模型优化设计、BIM模型校审、仿真、出工程图、工程图校审、移交等流程环节, 确保设计阶段在变电站建立之前, 仿真建立变电站全景和内部结构, 提前发现布局问题, 消除现场安装时的干涉, 维修时的可行性。以项目管理为中心, 一套模型为核心, 以多专业协同为工作模式, 以模型集成相关所有数据为原则, 驱动整个设计流程的进行。



### 3 工程实例

#### 3.1 BIM项目运用情况

近年来人们生活水平有了大幅度提升，各行业在电力上的需求也有了很大提升，要想满足人们在变电站的需求，通常会将户内式变电站设置在城区，并达到城市景观上的要求，联海电站就是地处闹市旁的户内式变电站。在某项目中，室内变电站项目模型如图1所示，建立了建筑BIM模型、结构BIM模型、消防BIM模型、通风BIM模型、控制柜BIM模型、机电设备BIM模型、GIS设备BIM模型，如图2所示。变压器BIM模型等，成功实现了预先设定的项目管理、协同、设计、校审、出图等流程。由于户内变电站不仅占地面积小，也实现了设备的紧凑布置，同时电缆数量较多，敷设难度较大，这要求将三维BIM设计技术应用到变电站中，发挥出其应有的优势，顺利消除户内变电站设计中遇到的各种问题，让今后生命周期管理与数字化移交有良好的条件。

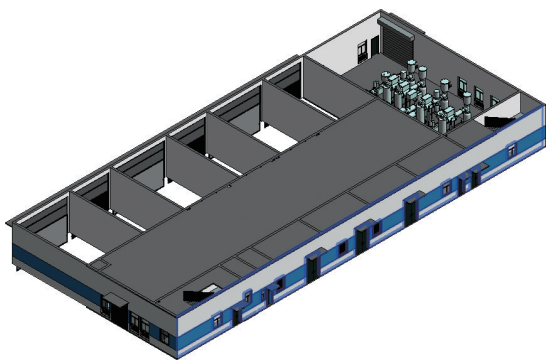


图1 室内变电站项目模型

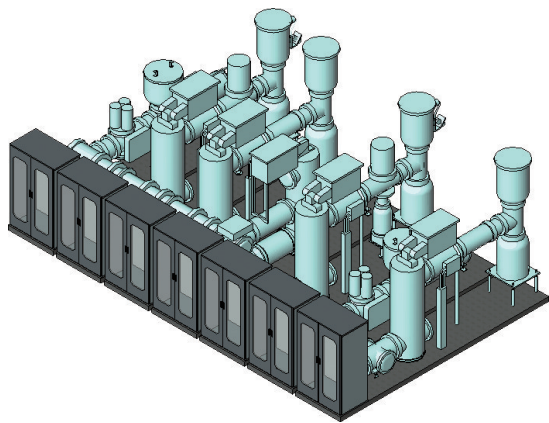


图2 GIS设备BIM模型

#### 3.2 BIM集成优化设计和三维校审

按BIM方案流程，设计师在协同平台中完成BIM模型后，有集成权限的工程师按3天为一个周期，集成各专业模型，分别进行专业内部和专业间的干涉分析，如图3所示。形成专门的干涉报告，根据分析报告，优化设计模型，不断重复更新模型干涉分析各个流程，最后在设计阶段，去除潜在的干涉，如图4所示。完成干涉后，有校审模型权限的工程师校审模型，根据校审人员的检验在3D环境下直观地看到各种潜在的问题，使用批注工具批注出相关问题，便于设计师优化设计，最终得到精确的可指导施工的BIM模型。

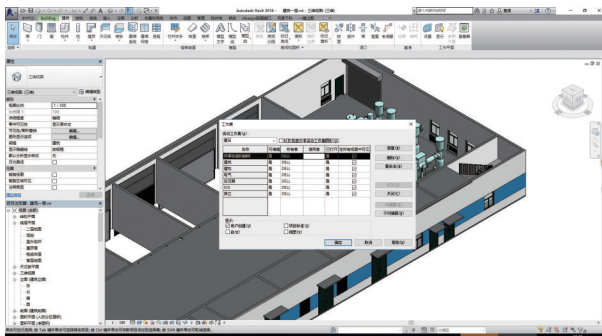


图3 协同设计

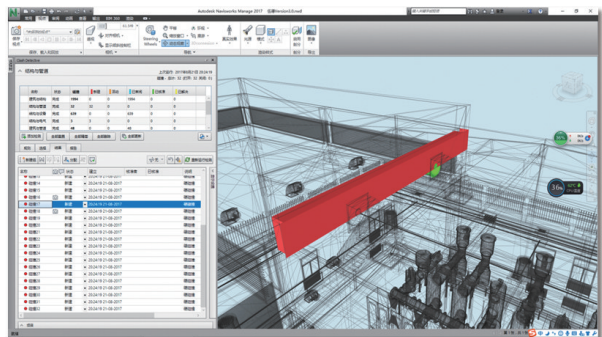


图4 干涉分析

#### 3.3 BIM出工程图

集合2D设计积累的经验、集合精确的BIM模型，定制了适用于本设计院的出图规则，开发了实现建筑、结构、消防、设备布置图等一键出图的插件，对优化设计和模型校审完成后，实现一键自动化完成根据模型出图，对出图的结果进行人工添加部分模型无法表达的细节备注，审核完成后出图，移交，如图5所示。

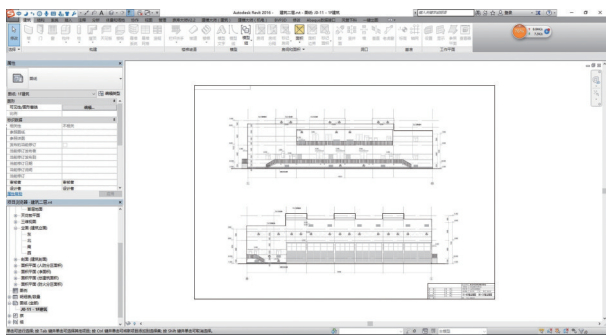


图5 出图

### 3.4 基于BIM模型的维修仿真

在完整的BIM模型基础上,充分考虑工程全生命周期管理应用,对大件的维修、更换等方式进行了仿真,进行了GIS设备调出维修,确保设计阶段充分考虑投产后使用维修等问题,如图6所示。

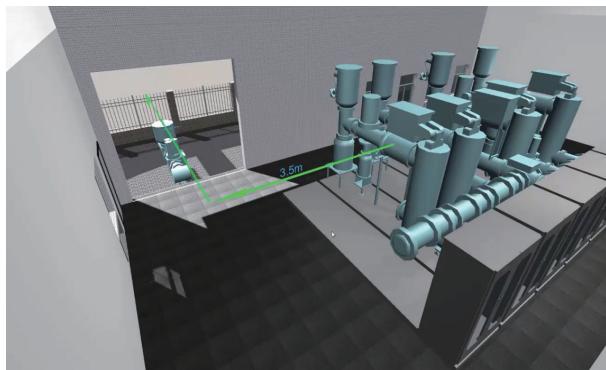


图6 维修仿真

### 3.5 经济效益

在本项目中,使用了BIM项目,在设计阶段充分地进行了干涉检查和3D模型审阅,做到了实施过程中没有改动增补项。关键部分都做了维修仿真,优化了原有的布置设计和空间规划,得到了用户的肯定。整个项目比原有计划提前了15天竣工,建设成本比预算节省了8%。

## 4 结束语

BIM技术在工程建设行业的广泛应用是行业的共识,BIM技术是技术的革新的产物,影响力等同于图版到CAD二维设计,三维设计只是BIM中的一部分,设计本身是系统工程,不再是单一的图纸对象,BIM思想符合这一逻辑,是一种设计的理念,BIM技术是在电力工程设计中,碰撞检查、管线综合、模型共享、专业间协同,数字化移交,仿真等。

采用BIM技术不仅提高了设计效率,同时把所有的变电站信息通过模型串联起来,涉及整个工程项目全生命周期中的策划、设计、施工、运维等各阶段,实现对变电站项目建设的有效管理。

(责任编辑:张峰亮)

## 资讯

### 国家电网公司圆满完成2019年全国两会保电任务

3月15日,2019年全国两会顺利闭幕。国家电网有限公司认真贯彻党中央、国务院决策部署,落实政府有关部门工作要求,全力做好全国两会供电保障工作,圆满完成了保电任务。

国家电网公司寇伟董事长、辛保安总经理赴现场检查、督导保电工作,分管领导具体研究部署保电工作。确定“全网保华北,华北保北京,北京保核心,各地保平安”原则,明确国网华北分部和国网北京、冀北电力等重点单位保障北京地区供电,组织国网天津、河北、山西电力等支撑单位保障进京重要输电通道;公司系统其他单位做好本单位安全生产和供电优质服务工作。

国家电网公司精心制定全国两会保电运行方式,全面排查治理有关输、变、配电设备及重要场所缺陷隐患,落实防污闪、防山火措施,对保电重要客户开展供用电安全检查,协助、指导客户做好隐患排查治理和自备电源配置,重点保障时段进驻客户内部开展延伸服务;两会保电期间,重要变电站有人值班,重要输配电线路加强看护、特巡,应急发电车现场备用,确保了电网安全和可靠供电。公司强化网络安全监测,消除网络信息通信系统安全隐患和漏洞,拦截网络攻击,保障了信息网络和电力监控系统安全。

两会保电期间,国家电网公司总部和有关单位开展24h保电值班,各级领导参加保电值守,全体保电人员严守工作纪律,坚守岗位。公司共计出动供电保障人员34668人、保电车辆4647台、发电车57台;各级应急抢修队伍集结待命,严防死守,确保了电网安全稳定运行,确保了会场驻地、机场、火车站等重要客户安全可靠供电,圆满完成了供电保障任务。

来源:国网安监部,国家电网报

# 一种应用于直流建筑的多端环状直流配电网及其保护系统设计

侯院军

(上海大周信息科技有限公司, 上海 200233)

**摘要:** 根据现代直流建筑的特点, 提出了一种应用于直流建筑的风光储柴新能源多端环状直流配电网。同时分析了该直流配电网的运行特性, 并在此基础上提出了相应的保护系统及其参数选定方法。该保护方法是基于直流接触器-直流断路器的主从式控制方法。同时给出了直流接触器切断的判断依据以及直流断路器的选型计算公式。最后, 按照本文设计的选型计算方法, 搭建实验平台用于实验验证。实验结果表明, 该直流环网能够很好地满足直流建筑的应用且其保护系统能够对配网进行有效的保护。

**关键词:** 直流配电网; 直流建筑; 直流微电网; 配电保护; 微网保护

**中图分类号:** TN929.5

近年来, 随着风光储等可再生能源以及我国特高压的快速发展, 低压直流配电网作为特高压的延伸以及终端应用而越来越多的受到大家的关注。当前商业楼宇、工厂车间等区域的直流化改造建设成为热点, 推动着直流配电网的快速发展。由于这些应用场景的特殊性以及直流配电网区别于交流网的特殊性, 传统交流配电网拓扑结构、保护方案和保护设备将不再适用。因此近年来越来越多的专家学者加入到直流配电网及其继电保护的研究中来。文献[1-2]详细总结了直流电网和微电网的发展历史、拓扑结构、故障类型以及继电保护技术现状和面临的问题。文献[3]详细介绍了直流微电网的各种拓扑结构以及故障类型, 并且重点介绍了一种单环网直流配电网, 同时提出了针对该配电网的一种双斜率电流差动保护方案, 该方案能够区分瞬时性故障和永久性故障, 但仅针对输电线路故障而没有考虑设备故障状态。文献[4]详细介绍了低压直流供电系统中涉及电气安全的保护策略、短路电流计算、直流灭弧等各类问题, 但并未给出具体的解决方案。文献[5]提出了对多母线多支路系统增加感性阻抗用于识别故障类型的方法, 但该方法需要增加额外的感性阻抗, 使得系统变的复杂且难度增加。同时, 伴随着越来越多的直流负载商用化以及国家降低碳排放量的社会目标, 含可再生能源的直流建筑近年来蓬勃发展。文献[6]介绍了150 kW建筑光储直流系统为楼宇负载供电案例, 以及使用各类断路器进行简单的短路保护方案。文献[7]介绍了兴业研发楼光储

柴系统的设计与应用, 主要采用微机型继电保护装置实现故障切除。

本文首先讨论了并总结了现代楼宇的供电要求复杂性和可靠性, 尤其是风光储等可再生能源的加入, 使系统变得非常复杂。单纯的单端单源系统难以实现可靠的供电。因此本文提出了采用多端多源环形直流配电网的供电系统, 以提高系统供电可靠性, 系统结构图如图1所示。其次, 本文分析了该直流配电网的特点和运行特性并给出了该配电网的系统保护方案以及各保护设备的参数计算方法。最后, 通过样机搭建了相关的测试系统用以验证本文提出的直流配电网及其保护系统。

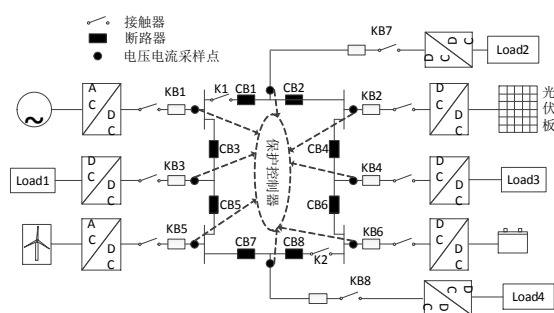


图1 多端直流环网系统

## 1 风光储柴直流环网及其故障特性

现代的综合能源楼宇要求接入风光等可再生能源, 同时要求增加储能系统以平衡这些新能源的波动性。一方面要求最大可能的使用可再生能源, 以提高经济性; 另外一方面要求整个供电系统应具备

冗余的可靠性和安全性。同时由于现代直流负载的普及以及直流系统的简单、高效等特点。因此,本文根据以上要求,设计了风光储柴多端多源环形直流配电网。该直流环网除了具备以上特性外,还具有一定的先进性和科研价值。在该环形配电网当中:所有的电力电子变换装置均通过直流母线连接,且直流母线最终构成环形网络;接电网的端口同时连接柴油发电机作为备用;同时包含了光伏、风机和储能系统;直流负载供电可以环网的从四个点就近接入以保证负载的供电路径最短,且当环网某段出现故障不影响系统的整体供电,整个环形母线上的电流最小。总体来说,该环形配电网具备以下特性:具备纯直流配电网特性,由多种新能源组合为负载供电;具备风光储综合能源协调运行能力,可以最大化的利用可再生能源;以就近原则为负载提供供电,且互为备用,提高了负载供电的可靠性,同时降低了环网母线的电流;当某条支路发生故障时,不影响其他支路为负载供电,提高了系统的可靠性。

针对图1所示的典型直流环网,一般可以归结为以下3种故障<sup>[8]</sup>:电力电子设备故障,即设备故障;直流母线正负短路,即极对极短路,该类故障故障电流大,检测容易,且受接地电阻影响小;直流母线对地短路,即极对地短路,该类故障检测受限于接地电阻,此时电流小,故障难以检测。

根据文献[8]所述,故障时的线路电流由负载电流和故障电流组成,且短路电流呈现出指数曲线增长,在1s左右即可增加到额定电流的6~8倍。如果不加以控制,将会导致设备和线路损坏。由于网络为环形网络,故障电流可以通过环网网络继续存在,因此给整个故障的识别和定位带来困难。

## 2 直流环网配电保护设计

### 2.1 保护方案设计

根据直流环网的特性,在此设计了本拓扑的保护方案,如图1所示,具体为:在环网直流母线的各个连接段配置相应的直流断路器(CB1~CB8),用于保护相应的线路段;在环网的各个分支配置电压电流采样点+直流断路器+直流接触器(KB1组~KB8组)用于保护相应的分支;将各个分支的电压电流采样信号通过光纤传至保护控制器,用以计算

和判断故障类型并给出相应的保护动作;在环形直流母线上,配置两个直流接触器用以使用控制器分断环网。

### 2.2 分支断路器选型计算

各个分支以该分支电力电子设备的容量为准进行保护选取。下面以KB1为例,其他组的选取均参照KB1,假设直流母线最大工作电压为 $U_d$ ,AC/DC变换器额定容量为 $P_N$ ,则:

过电压限值, $U_{dz}$ 为断路器电压保护值, $k$ 为整定系数,按照经验值可以选择1.1~1.3:

$$U_{dz} = kU_d \quad (1)$$

过电流保护值,其中 $I_N$ 为变换器额定运行电流,则过电流保护:

$$I_N = \frac{P_N}{U_d} \quad (2)$$

$$I_{dz} = \frac{k_{rel}k_{st}I_N}{k_{re}} \quad (3)$$

式中: $I_{dz}$ 为过电流保护值; $k_{st}$ 为自启动系数,需要依据实际情况确定,如果没有自启动设备,请将此系数置1; $k_{re}$ 为返回系数,根据经验值选取。

### 2.3 母线断路器选型计算

由于本配网采用环网结构,对于每一段直流母线而言,他的电流来自于与之相邻的两个分支。下面以CB1为例,其他分支组计算类似:

$$I_1 = I_{KB1} + I_{CB3}, I_2 = I_{CB2} + I_{KB7} \quad (4)$$

最终的保护电流取两者最小值,按照极限的工况来考虑,为CB1流过KB1、KB7或者KB3的最大电流,即与之相邻的三条分支的最大值。即有:

$$I_{1CB1} = \max(I_1, I_2), I_{2CB1} = \max(I_{KB1}, I_{KB7}, I_{KB3}) \quad (5)$$

因此,KB1分支的电流保护值选取范围为

$$I_{2CB1} \leq I_{CB1} \leq I_{1CB1} \quad (6)$$

### 2.4 故障判断及动作处理

本配网在每个分支均嵌入了电压电流采样传感器,用于采集相应分支的电压电流信息。这些被采集得到的数据将通过光纤信号传递至保护控制器用于判断故障。由于发生故障时,相应故障点的电流会迅速增加,因此本文提出采用电流阈值和电流上升率相结合的判据进行故障判断。当判定为发生故障后,根据图2的处理流程迅速切断故障支路以及环网接触器。总体的思路为首先为网络的各个节点标号,然后判断

采样的电压、电流以及电流的上升率是否达到设定的阈值。详细的故障判断流程如图3所示。

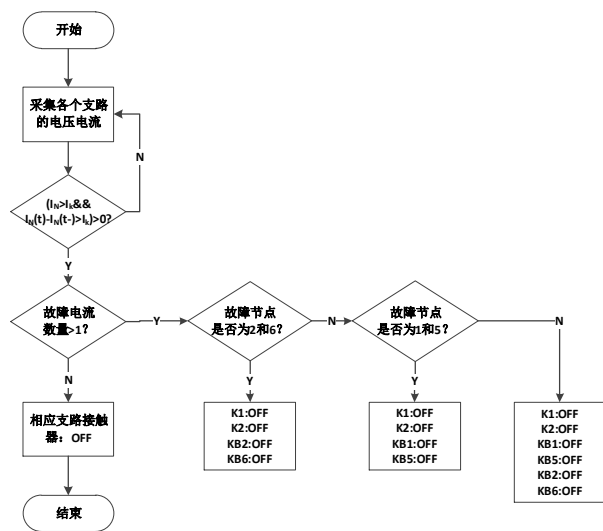


图2 故障处理流程图

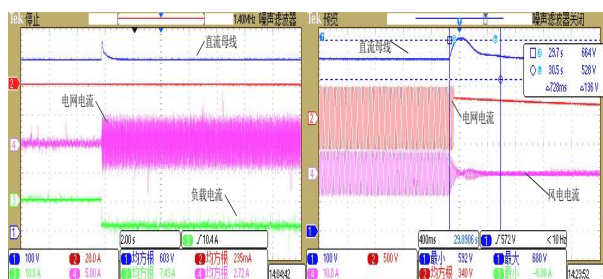


图3 运行结果

### 3 实验验证

本方案通过一套实验装置进行验证，实验装置配置如下：电网AC/DC，额定功率10 kW；光伏模拟器，额定功率10 kW；风电模拟器，额定功率10 kW；锂电池，容量10 kWh；KB1~KB8，最大电压：800V，最大电流：25A；CB1~CB8，最大电压：800 V，最大电流：32 A；直流电压保护值，650 V。测试条件一：关闭风电系统，测试系统是否能够为负载供电。测试结果如下：当风电处于停止状态时，负载仍旧可以通过光伏进行供电，见图3所示左图。测试条件二：系统过压保护，设定过压值为650 V。测试结果如下：当控制系统检测到直流母线电压超过650 V时切断相应的支路。运行结果由图3右图可以看到，当直流母线电压迅速上升时与之相关的支路被迅速切除。

### 4 结束语

本文介绍了一种应用于现代直流建筑的环形新能源直流配电网，以及该配电网的保护方案，并推导出了一套简单的工程方法进行保护系统参数整定。最后通过实验进行了验证，验证结果表明该环形配电网能够实现风光储的最优经济性以及负载最短路径的供电并能够实现故障保护功能。

### 参考文献

- [1] 罗飞, 焦在滨, 马钊, 等. 直流配电网故障分析和继电保护综述[J]. 供用电, 2018(06): 3-11.
- [2] 薛士敏, 陈超超, 金毅, 等. 直流配电系统保护技术研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(19): 3114-3122.
- [3] 王斌. 基于双斜率电流差动保护的直流微电网保护策略研究[D]. 广西: 广西大学, 2016.
- [4] 李露露, 雍静, 梁仕斌, 等. 民用低压直流供电系统保护综述[J]. 电工技术学报, 2015, 30(22): 133-143.
- [5] 李子峰. 使用故障分类新方法的直流微电网保护方案[J]. 高压技术, 2018, 44(4): 1261-1268.
- [6] 孙建锋. 150 kW建筑直流微电网系统的设计[J]. 现代建筑电气, 2015, 8(6): 52-55.
- [7] 李冬华, 曾鹏飞, 罗多, 等. 兴业研发楼光伏微电网设计与应用[J]. 绿色建筑, 2016, 1: 57-59.
- [8] PARK J D, CANDELARIA J. Fault detection and isolation in low-voltage DC-bus microgrid system[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 28(2): 779-787.

(责任编辑:张峰亮)

### 资讯

#### 国家能源局发布2月份全社会用电量

3月20日，国家能源局发布2月份全社会用电量等数据。

2月份，全社会用电量4891亿kWh，同比增长7.2%。第一产业用电量52亿kWh，同比增长6.7%；第二产业用电量2942亿kWh，同比增长6.5%；第三产业用电量932亿kWh，同比增长8.2%；城乡居民生活用电量965亿kWh，同比增长8.3%。

1—2月，全社会用电量累计11063亿kWh，同比增长4.5%。分产业看，第一产业用电量110亿kWh，同比增长7.9%；第二产业用电量7059亿kWh，同比增长1.2%；第三产业用电量1994亿kWh，同比增长10.5%；城乡居民生活用电量1899亿kWh，同比增长11.1%。

来源:中国电力新闻网

# 高压输电线路施工技术与检修方法

王茂奎

(国网山东省电力公司莒南县供电公司, 山东 莒南 276600)

## 1 基础工程

### 1.1 掏挖基础

掏挖施工根据掏挖地面的深度不同也分为不同的工种, 如果采用掏挖施工的话, 一般情况下适用于硬塑粘性土的地基。这种施工工艺有时候可以在基坑的基础上进行动工。还有一个重要的因素就是因为掏挖后的土地基截面为圆形, 如果基础受到外界载荷的作用, 它的凝聚力就会充分显现。这种基础形式非常有好处, 因为按照以前的工程经验来看, 全国每个地方的高压输送线路, 不可能按照统一条件进行施工, 因此每一个高压线路都具有不同的施工基础, 采用全掏挖的形式, 能够在一定程度上更加节约成本。

### 1.2 斜插板式基础

这种类型的基础, 就是说这种承受高压线路的基础是利用底部支撑柱子以及塔腿倾斜插在混凝土当中形成的, 主要受力的塔腿部分应当且凝固在混凝土当中, 这样做是为了降低水平力的影响, 让基础更加坚实。通常来说, 埋在土里面的塔腿以及各个基础部件, 受力比较平衡, 因此可以不必考虑横向作用力导致的工程偏差。这种类型的基础有一个优点, 就是能够在一定程度上减小基本底板尺寸, 最终的结果就是减少了混凝土和底板中钢筋的用量。总体上来说, 能够使材料运用率下降大约25%左右。

### 1.3 阶梯型基础

阶梯形基础可以说是在这类工程中历史最悠久的了, 无论是何种土质类型, 基本上都能够满足使用条件。这种基础比较显著的特点就是要进行大范围的挖土操作, 挖好之后进行模板的浇筑, 成型之后再行回填操作。该类型的基础是不需要钢筋的, 依靠的是基础重量保持稳定性, 而且这种类型的基

础底板非常抗压。虽然不需要钢筋, 但是相反就需要更多的混凝土, 而且必须要挖得足够深, 如果在某些地区遇到土壤土质比较疏松的地方就很难进行动工, 当然遇到这种土壤土质, 也不会采用这种类型的基础。

### 1.4 灌注桩基础

在一些比较特别的地区, 比如说流塑地区, 或者说输电线路所承受的作用力比较大的直线塔等, 遇到这些情况, 基本上采用的就是灌注桩基础。这种基础主要依靠的就是桩周围的摩擦力负担起高压输电线路在平时输电过程中发生抖动所产生的拉力以及压力, 灌注桩基础施工比较方便安全, 但是它有一个很大的特点就是成本比较高。

### 1.5 岩石锚杆基础

对于一些我国北方的地区, 尤其是风沙比较严重的地方以及岩石比较多的地区, 就可以采用岩石锚杆基础。一般的施工方法就是在岩石上进行打孔, 之后紧接着进行灌溉, 这种类型的基础, 一个很大的特点就是岩石跟受力部件融为了一体, 在一定程度上大大利用了岩石基础稳定的特点。但是这种类型基础的缺点就是动工之前并不知道岩石的整体结构是怎样的, 需要对地质结构进行准确核查。

### 1.6 岩石嵌固基础

对于一些比较特殊的地区, 那里到处是岩石, 无法进行挖土, 因此在这种地段可以使用岩石嵌固基础。这种基础的优点就是能够承受很强的拉应力。在施工的时候, 可以根据施工需求因地制宜选择塔腿以及主柱的安装坡度, 安装好之后, 根本就不用地脚螺栓, 因为采用这类基础的土地大多是岩石比较多的地区, 也使得抗剪性很强, 自然对钢筋混凝土的需求量就比较小, 费用就不是很高。

### 1.7 联合基础

联合基础是根据当地的土壤土质特征以及施工

成本的考虑,因地制宜的设计出一种适用于小基础而又很难对地面进行挖土的基础。它的基本结构是整体上从四个角先浇筑出四个基础,梁的结构分为纵向和横向,纵横向主要承受基础的拉应力以及压力和水平方向上的受力,通过梁的连接使整个基础成为一个很好的整体。但是这种类型的基础也有缺点,第一就是比较废材,第二就是对施工人员的技术要求相当的高,更重要的是施工过程很繁琐,很难设计出一套完整的方案。

## 2 杆塔工程

高压输电线路施工过程中,还有一个比较重要的点就是如何选择杆塔。如果杆塔的质量选择好,那么高压输电线路就能够工作很久,如果杆塔的质量不好,那么如果遇到极度恶劣的天气,它就会发生故障甚至发生更严重的倒塌事故影响输电线路的电力传送。对于一些地理条件比较好的地区,比如说平原和丘陵,一般考虑的是钢筋混凝土的杆塔,但是目前这种类型的电杆已经不再使用了,所以选的是铁塔。有时候在施工过程中会遇到很大的难度,由于地理条件的限制根本无法走线,或者遇到跨度比较大的两个地区之间,那么也会选择铁塔。目前我国对于超高压线路采用的都是铁塔,通过一定间距设置不同的铁塔来传输电力,成为铁塔组立。

我国目前对于超高压线路铁塔组立的经验已经掌握的很丰富,它的施工方法多种多样,比如说外抱杆分解组塔就是其中的一种。杆塔强度到底如何,并不是由单一的因素决定的,不同的结构以及不同的材料决定了强度不同。一般情况下,在正常输送电力的过程中,杆塔要承受拉力、压力以及各种横向力和纵向力,为了使输电线路能够长期稳定的运行,就必须满足刚度要求。

除了考虑杆塔的强度和刚度之外,还要考虑稳定性。如果不考虑稳定性,单单考虑它的强度和刚度,那么在遇到大风天气的时候基础都不可能牢固,何谈刚度和强度呢?遇到大风天气,输电线路就会发生震动导致整个塔身发生抖动,如果稳定性不高,严重就可能引起铁塔倒塌事故。因此综合来说只有杆塔保持一定的稳定性,其次,满足一定的强度和刚度,才能让高压输电线路经久不衰的工作。

我国目前所采用的高压输电线路杆塔,主要有分解组力和整体组力,这是针对于110 kV的高压输电线路。由钢筋混凝土组成的杆塔最大的特点就是焊接的地方比较多,单个构件质量比较大,稳定性也不是很好。因此通常来说,这种类型的杆塔是先在地面组装好之后才拉起来的。高压输电线路中关于构建截面的选择也是有一定的技术的,一般情况下选用的是环形截面。这种类型的构件也分为两种形式,一种就是比较普通的,而另一种就是构件本身含有预应力。含有预应力的构件,在浇筑之前必须先将钢筋进行张拉,等到混凝土冷却凝固以后再将张力撤除。弹簧拉长之后也要回缩,因为弹簧收到了张力,相应的撤除之后钢筋就会回缩,但是混凝土会阻止它回缩,因而混凝土就会受到预压应力。预压应力的好处就是能够防止杆塔在平时风吹日晒过程中防止出现裂缝,因为杆塔如果出现了裂缝,就可能发生氧化现象导致该处强度降低,影响电杆的寿命。

## 3 架线工程

高压输电线路的架线工作也是一项难度比较大的工程,在输电线路架线之前要做很多准备工作。因为输电线路架线的时候,如何控制线路的张紧力,使它保持在一个适当的值是很难把握的。高压输电线路有不同的展放方式,比如说拖地展放以及张力展放。张力放线,就是让输电线路保持一定的张紧力,而拖地展放就是线盘不需要制动,让施工人员将线拖着前进,很明显这种方式虽然不需要专业的设备,但是很有可能对输电线路造成磨损,而且放线过程中需要大量的人手,也无法保证放线的质量。相比较来看,虽然前者需要比较笨重的设备,但是它解决了拖地放线的一些缺点,而还是有很大的优势。

根据之前的描述,知道张力放线就是通过一定的机械设备,让导线处在一定张力的状态。这种奉献方法能够保证一定的放线质量,而且效率高,但是它的缺点就是所使用的设备比较笨重,成本比较高。另一个优点就是这种放线方法根本不需要输电线路落地,因此就不可能发生输电线路磨损这种现象,施工质量得到了保证。而另一种方法拖地放线,

需要大量的施工人员手里拉着输电线路，在地上摩擦而前进，这种方法难免就在一定程度上损伤了输电线路不能够保证放线质量。施工人员必须仔细检查输电线路本身是否具有质量问题，输电线路不能出现破损以及断裂等情况。如果要进行拖地放线，拉线与地面的夹角不应该超过 $45^\circ$ 。

#### 4 高压输电线路的检修

高压输电线路的检修，也是一项比较重要的工作。定期的对高压输电线路进行检修，能够时刻使输电设备处于良好的工作状态，保证一定质量的电力传送，在一定程度上还能避免危险事故发生。如果一旦发生高压输电线路事故，由于该类事故处理的紧急性，一般来说时间非常紧迫，工作人员不会有太多时间去考虑施工方案。因此一旦发生事故，就必须立即对线路进行检修排查，而在检修排查的过程中，必须做好相关的安全措施，而此时变电站的开关仍然是跟该线路所接通的，因此还要时刻冒着开关随时可能接通的风险。因此针对以上情况，在处理事故的时候必须联系相关的变电站进行断电操作方可进行事故排查检修。而且在施工的时候必须事前向有关单位以及部门进行汇报，得到同意后才能进行检修工作。在对线路进行检查时，要确认线路已经断电，所有的准备工作做好之后确认无误才能开始线路检修工作，检修工作完成以后，要确保所有人员设施离开输电线路，再次确认无误后方可通知相关变电站进行供电操作。

##### 4.1 相对温差判断法

相对温差判断法，它的测试原理为测量2台相似设备的测量点的温度差，如果说这两个点当中某个点的温度比较热，那么具体上升了多少，一般是用百分数来表示的。这种判断方法适用于部分电流型设备，它的测试结果准确度比较高，因为测试过程中已经排除了温度与负荷对其产生的干扰。

##### 4.2 表面温度判别法

表面温度判别法，顾名思义就是测量设备某个点表面的温度，然后根据此温度与国家相关法规所规定的标准温度进行比较来判断设备是否出现缺陷。但是目前来说我国对于线路发热相关的法律法规还不够完善，没有一个特定的标准，因此这种判别方

法只能适用于一些比较简单的故障状况。

##### 4.3 同类比较法

采用这种方法来判断缺陷，很有可能会出现一种情况就是热故障可能在同一时间产生。设备发热，无论是电压导致的还是电流导致的都可以采用这种方法。如果是用电压导致设备发热，那么还可以使用允许温差以及允许温升的方法来判断缺陷类型。

##### 4.4 热图谱分析法

热图谱分析方法就是把设备的热图谱拿来和正常状态设备的热进行比较来判断是否设备发生缺陷。这种方法。测试效率高，尤其是对于电压制热设备来说，这种方法的应用极为广泛。

##### 4.5 档案分析法

档案分析法的前提是此类设备必须具有之前的诊断资料，具体的实施方法就是针对同一设备，根据之前的诊断资料，找出该设备在不同时期的热图谱以及相对温差和温升等数据，对这些数据进行分析，从数据中发觉不同点以及从这些数据中找出使设备发热的可能参数，从而进一步地展开分析和研究来判断设备是否发生缺陷。

## 5 结束语

我国现代科学技术飞速发展，包括电力系统也在不断地完善升级之中。输电线路的检修是一项非常重要的工作，线路检修应该得到更多的重视。在对高压输电线路施工过程中，要根据不同的土壤土质条件，因地制宜选择正确的施工方法以及工艺，确保高压输电线路有一个高质量和稳定的运行环境。

## 参考文献

- [1] 周亦君. 浅谈电力系统高压输电线路施工技术存在的问题及控制措施[J]. 信息系统工程, 2018(05): 19-21.
- [2] 秦志华, 赵辉. 简述高压输电线路的运行与维护[J]. 科技创新导报, 2018(18): 36-40.
- [3] 韦璋剑. 高压输电线路运检工作技术难点与应对措施探讨[J]. 通信世界, 2016(24): 22-25.
- [4] 梁乔云. 110~500 kV高压输电线路运行及维护[J]. 建材与装饰, 2016(44): 5-8.
- [5] 伍海波. 高压输电线路状态检修及维护技术分析[J]. 通信世界, 2017(11): 23-25.

(责任编辑:张峰亮)



# 利用卫星地图精确计算 输电线路工程人力运距

张 鲲

(中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:** 结合某线路新建工程施工图实际线路路径、运输道路情况等资料,并通过卫星地图对工程地形进行规范划分,对运输方案进行合理选择,用科学方法对本工程的运输地形比例、人力运距进行计算。既提高了预算编制的准确性,又提升了造价管理水平,达到了工程成本控制目标,实现了造价最大效益化。

**关键词:** 输电线路; 地形划分; 人力运距

**中图分类号:** TM726

随着国民经济的发展,工农业及居民日常生活对电力供应的需求日益增加,这使得电网建设进入了高峰期,因而各地电网投资也不断加大,如何控制输电线路造价也就成为亟待解决的问题,而人力运距对输电线路的造价影响较大,在以往的工程建设中,一般根据地形图量出各段线路距离公路的直线距离乘以弯曲系数再加权平均求得人力运距,但由于地形图年代久远,目前已有的公路不能在图上体现,且地形划分不够准确,故计算结果与实际存在一定的偏差,进而影响了工程造价的合理性,本文提出利用卫星地图精确计算各段线路距离公路的直线距离,并根据等高线准确划分各段线路地形,加权平均求得人力运距,提高了预算编制的准确性,又提升了造价管理水平,达到了工程成本控制目标,实现了造价最大效益化,在具体实践中应根据工程不同阶段的精度要求,选择相应的影像图源,如公开的航天影像时效性和现实性较差,对人力运距计算引起的误差较大,可在可行性研究阶段选用;初期设计阶段需对可研路径进一步优化,因此应选用航测影像,施工图阶段则应选用低空影像来确定施工路径,节俭工程造价。

## 1 人力运距的计算方法

在确定运输地形时,应按运输路径的实际地形来划分,人力运输的路径可以参考工程地形。

由于人力运输路径大多数是从公路或河流向线路横向运输,路径中常遇平地 and 相对便于运输的其他地形,幅度中的上下限可视实际运输路径情况而定。

## 2 输电线路中各种地形的定义

在输电线路设计及施工过程中,会遇到各种地形的划分如丘陵,一般山地,高山峻岭等,各种地形的划分方法如表1所示。

表1 地形划分

地形	划分方法	示意图
平地	地形比较平坦广阔,地面比较干燥的地带	
丘陵	陆地上起伏和缓,连绵不断的矮岗、土丘,水平距离1 km以内地形起伏在50 m以下的地带	
山地	一般山岭或沟谷等,水平距离250 m以内,地形起伏50~150 m的地带	
高山	人力、牲畜攀登困难,水平距离250 m以内,地形起伏150~250 m的地带	
峻岭	地势十分险峻,水平距离250 m以内,地形起伏250 m以上的地带	
泥沼	经常积水的田地及泥水淤积的地带	
沙漠	地面完全被沙所覆盖,植被非常稀少、雨水稀少、空气干燥,在风的作用下地表会变化和移动,昼夜温差大的荒芜地区	

### 3 人力运距计算实例

#### 3.1 可研阶段人力运距的计算

在可研设计阶段，对人力运距的精度要求不是太高，可选用公开的航空影像来计算人力运距，本文以某110 kV新建工程施工图路径为依据，利用谷歌公开航空影像图，计算该线路工程的人力运距，其路径图及各塔位到公路的直线距离如图1所示。

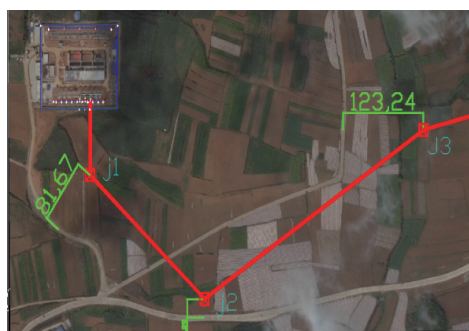


图1 A线路工程路径图

根据上文所述地形划分方法可从卫星地图得知该线路全线地形为平地，故全线弯曲系数取1.1，线路各段材料量用各段线路长度表示，则该线路的人力运距求解如表2所示。

表2 人力运距计算表

线路分段号	分段线路长度(m)	地形	运输距离			工作量
			距公路直线距离	弯曲系数	小计	
1	2	3	4	5	6=4X5	7=2X6
J1-J2	229	平地	$(81.67+22.63)/2=52.15$	1.1	57.365	13136.59
J2-J3	392	平地	$(22.63+123.24)/2=72.935$	1.1	80.2285	31449.57
J3-J4	284	平地	$(123.24+189.99)/2=156.615$	1.1	172.2765	48926.53
J4-Z1	435	平地	$(189.99+82.35)/2=136.17$	1.1	149.787	65157.39
Z1-J5	298	平地	$(82.35+44.92)/2=63.635$	1.1	69.9985	20859.55
J5-JZ2	203	平地	$(44.92+39.3)/2=42.11$	1.1	46.321	9403.163
JZ2-J6	230	平地	$(39.3+56.1)/2=47.7$	1.1	52.47	12068.1
J6-J7	293	平地	$(56.1+18.93)/2=37.515$	1.1	41.2665	12091.08
J7-J8	155	平地	$(18.93+35.05)/2=26.99$	1.1	29.689	4601.795
J8-J9	97	平地	$(35.05+143.03)/2=89.04$	1.1	97.944	9500.568
小计	2616					227194.3
平均人力运距	227194.3/2616=86.85					

根据计算，该线路的平均人力运距为86.65 m，考虑到从图上量得各塔位到公路的直线距离与实际距离的偏差及地形划分的偏差，该线路的人力运距取100 m，与用1:10000的地形图计算结果200 m相比减少了100 m，较大的节约了本体工程的投资。

#### 3.2 初步设计、施工图阶段人力运距的计算

初步设计、施工图阶段需对可研设计路径进一步优化，因此应选低空影像来确定路径，本文以某220 kV新建线路工程路径为依据，利用低空影像图，计算该线路施工图阶段的人力运距。路径图及各塔位到公路的直线距离如图2所示。



图2 B线路工程路径图

根据上文所述地形划分方法可从卫星地图得知该线路全线地形为一般山地,故全线弯曲系数取1.3,线路各段材料量用各段线路长度表示。

根据计算,该线路的平均人力运距为844.3 m,考虑到从图上量得各塔位到公路的直线距离与实际距离的偏差及地形划分的偏差,该线路的人力运距取900 m,与用1:10000的地形图计算结果1100 m相比减少了200 m。通过对实际的线路路径进行对比分析,根据卫星地图对塔位直线距离进行测算,结合地形起伏高度量化指标对工程地形进行规范划分,采用科学方法对本工程的人力运距进行计算,得出的结论较可研估算值更为准确,相关指标较可研大幅降低,调整减少工程本体费用约20%。

#### 4 结束语

据此可以得出,运用卫星地图对工程地形进行规范划分,采用科学方法对输电线路工程的人力运距进行计算,既提高了概算编制的准确性,又提升了造价管理水平,达到了工程成本控制目标,实现了造价最大效益化,为建设环境友好,资源节约型绿色电网提供了坚实保障。

#### 参考文献

- [1] 缪胜光,文凯.特高压架空输电线路工程造价的敏感因素分析[J].中国工程咨询,2016(05):62-65.
- [2] 杨珂,罗帅.220 kV输电线路工程可研投资的敏感性分析[J].贵州电力技术,2014,17(11):52-54+56.
- [3] 肖宇,王劲.输电线路工程运输方式经济性分析[J].四川电力技术,2017,40(05):63-68.
- [4] 张朝明,陈解祥,明大安.试论工程地形及工地运输的计算[J].工程建设与设计,2018(06):236-238.
- [5] 王海燕.基于数据分析的输电线路造价研究[J].云南电力技术,2015,43(04):83-85.
- [6] 中国电力企业联合会.110~750 kV架空输电线路设计规范.GB 50545-2010[S].北京:中国计划出版社,2010.
- [7] 国家电力公司东北电力设计院.电力工程高压送电线路设计手册[M].北京:中国电力出版社,2003.

#### 作者简介

张鲲(1986-),男,汉族,大学本科,工程师,从事输电线路设计工作。

(责任编辑:张峰亮)

#### 资讯

国家电网公司系统全国人大代表、全国政协委员座谈会召开

3月15日,国家电网有限公司全国人大代表、全国政协委员座谈会在京召开。会议旨在学习贯彻习近平总书记全国两会重要讲话精神,畅谈参会体会,交流思想认识,汇报履职情况,进一步抓好2019年全国两会精神学习宣传和贯彻落实,更好地指导和推动公司工作。公司党组书记、董事长寇伟主持会议并讲话。公司党组副书记、总经理辛保安,公司领导班子成员黄德安、罗乾宜、韩君、刘泽洪、张智刚出席会议。

座谈会上,公司系统10位全国人大代表、全国政协委员作了发言,结合深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想,紧扣参加全国两会的亲身感受、思想认识和履职情况进行了交流。部分代表、委员结合学习贯彻全国两会精神,就公司下一步工作提出了意见建议。大家一致表示,回到单位后,将认真做好全国两会精神的传达学习贯彻工作。

寇伟指出,两会期间,李克强总理所作的政府工作报告在电力改革、国企改革、创新引领、污染防治、推进脱贫攻坚和乡村振兴等方面作出的部署安排,对公司工作有很强的针对性和指导性。要深入学习领会全国两会精神,切实把思想和行动统一到党中央、国务院决策部署上来,确保各项工作取得实效。

寇伟强调,公司全面推进“三型两网”世界一流能源互联网企业的战略部署,与两会提出的推动新兴产业加快发展、不断增强国有企业发展活力和核心竞争力等要求紧密契合。下一步,要积极应对新的形势要求,大力提质增效,坚决落实好中央有关降价要求,压降非生产性支出,支持新兴业务发展。要坚定不移深化改革,大力推进电力改革,纵深推进国企改革,积极推进“放管服”改革。要积极服务“一带一路”建设,更积极、稳妥地实施“走出去”。公司系统全国人大代表、全国政协委员,公司党建工作领导小组办公室成员部门主要负责同志参加会议。

来源:国网办公厅、研究室、党组党建部,国家电网报

# 配电网空间布局规划编制的思考

姚新丽<sup>1</sup>, 许小良<sup>1</sup>, 胡锡栋<sup>1</sup>, 黄海华<sup>2</sup>, 叶琛<sup>2</sup>, 李二喜<sup>2</sup>

(1. 浙江省城乡规划设计研究院, 浙江 杭州 310030;

2. 国网浙江温岭市供电公司, 浙江 温岭 317500)

**摘要:** 配电网是国民经济和社会发展的重大公共基础设施, 在“美丽浙江”“特色小镇”“乡村振兴”等城乡建设项目推进的背景下, 提供适应区域发展的配网规划显得尤为重要。基于配电网规划面临的新环境, 本文提出了紧密结合城乡相关规划而编制配电网空间布局规划的方法, 并以浙江某地为例, 从负荷的空间预测热力分布、市政项目的空间推进、配电工程及设施的空间布局等多方面、多角度, 介绍着眼全局、立足围观的配电网空间布局规划编制方法。

**关键词:** 配电网; 负荷热力图; 指标; 空间布局; 影响因子

**中图分类号:** TM7

## 1 配电网规划面临新环境

### 1.1 可操作性

目前配电网, 尤其是涉及 10 kV 和 20 kV 的中压配电网, 面临的变动因素较多, 处处受掣肘, 给配电网规划的实际可操作性带来较大的不利影响。

### 1.2 临时性

随着配电网的逐年提升改造, 电网结构已有大幅改善, 但部分地区的配网规划由于缺乏全局与细节的判断, 仍存在“头痛医头, 脚痛医脚”的现象, 规划未完全结合区域开发而制定配电网建设方案, 采用临时性的方法处理出现的问题, 起不到长远规划的作用。

### 1.3 不准确性

传统配网规划对存在问题和各项指标的分析时, 采取全局性、区域性和统筹性的思路, 未能准确反映局部性、细节性, 造成全局电网规划分析可行, 但局部却存在较大问题的情况。

### 1.4 短频快

浙江省各地工业园区、CBD 商务中心、乡村振兴等工程项目的建设, 具有一定的“短频快”特点, 需要及时完善的配电网规划来支撑。

挥其优势, 在有效保障电力设施选址落地的同时, 也能更加有效地指导区域配套设施的建设, 促进区域的发展。

### 2.2 编制技术路线

配电网空间布局规划应与规划范围内相关已编、在编的城乡规划、专项规划等相衔接, 同时结合城市开发生态, 协调在建、已批、规划建设项目, 制定合理的规划方案, 同时规划需要建立负反馈机制, 直至完成适应区域发展的规划成果, 并将规划成果纳入城乡发展规划和土地利用规划, 实现配电网与城乡其他基础设施同步规划、同期建设, 如图 1 所示。

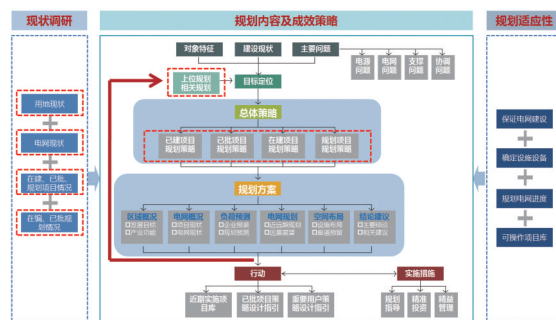


图 1 规划技术路线

## 2 配电网空间布局规划技术路线

### 2.1 规划范围

配电网建设与城市的建设发展紧密相关, 配电网规划既要切合实际又要适当超前, 在结合控制性详细规划等城乡规划而展开编制时, 才能更好地发

## 3 规划编制内容

配电网空间布局规划的编制内容, 应建立在传统配电网规划的基础上, 同时兼顾城乡规划、市政专项规划等, 规划编制内容主要应包括空间预测、电网规划、布局规划等, 重点研究配电网及其配套设施的空间形态。

### 3.1 负荷预测分析

#### 3.1.1 现状负荷空间分布及动态

规划编制前，应先对规划范围内的用电现状、用地性质等进行详细的调查。基于电力系统现有的公变监测系统，营销系统、调度系统、用电采集系统等多个电力平台，采用大数据分析手段<sup>[1]</sup>，研究现状电力负荷空间分布情况，形成负荷分布热力图，直观把握区域现状负荷空间分布及区域发展水平，为后续负荷预测提供基础，如图2所示。

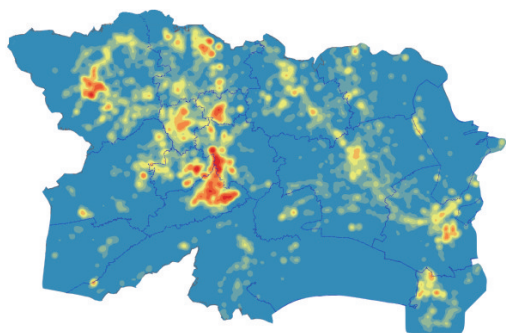


图2 电力负荷热力图

#### 3.1.2 负荷预测指标分析

对于有控制性详细规划编制，以及有明确地块出让和项目建设情况的区块，宜采用负荷密度指标法进行负荷预测，而负荷密度指标和同时率指标是其中重要的因素。城市发展水平不同、产业类型不同、区块开发强度不同都会带来负荷密度指标的差异性，以往统一参照浙江省采用的负荷密度《城市电力规划规范》(GB50293)选择指标，虽方便快捷，但并不能准确反映区域的局部性、细节性。

通过对规划范围内现状大量电力数据进行统计分析，得出不同区域的现状负荷密度值以及同时率值，供区域负荷预测参考使用；同时，结合地块出让及开发建设情况，大用户<sup>[2-3]</sup>报装情况，人工干预负荷预测结论，如图3所示。

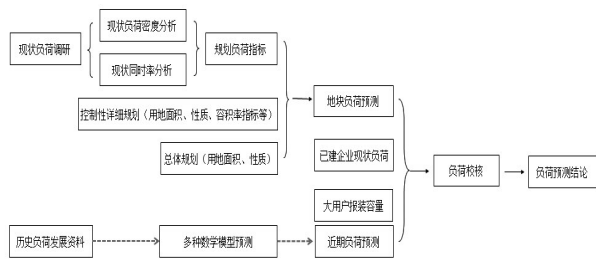


图3 负荷预测流程图

根据区域用地构成，结合现状负荷特性，对居住用地、公共管理与公共服务设施用地、商业服务设施用地、工业用地等现状负荷指标进行取样分析，部分样本数据展示如表1、表2、表3、表4所示。

表1 居住用地最大负荷月工作日实测数据 kW

时刻	居住用地		合计		同时率	实测负荷密度指标 W/m <sup>2</sup>	
00:00	105	107	100	171	818		0.63
⋮							
08:00	57	58	63	179	560		0.43
⋮							
18:00	85	109	72	192	789		0.61
⋮							
23:00	164	162	123	173	1134	0.87	
Max	171	162	142	270	1218	0.94	16.2

表2 工业用地最大负荷月工作日实测数据 kW

时刻	工业用地		合计		同时率	实测负荷密度指标 W/m <sup>2</sup>	
00:00	0.53	1.23	34	123	2571		0.37
⋮							
08:00	23	67	29	138	4165		0.61
⋮							
18:00	27	1	55	185	4176		0.61
⋮							
23:00	104	1	34	124	2615	0.38	
Max	104	94	79	204	6877	0.86	25.4

表3 公共管理与公共服务用地最大负荷月工作日实测数据 kW

时刻	公共管理与公共服务		合计		同时率	实测负荷密度指标 W/m <sup>2</sup>	
00:00	71	12	2	12	580		0.33
⋮							
08:00	67	33	28	32	834		0.48
⋮							
18:00	108	27	28	23	1262		0.72
⋮							
23:00	106	24	3	14	834	0.48	
Max	184	36	48	38	1754	0.87	34.1

由以上方法分析，可得反应区域现状负荷水平的各类用地负荷密度指标值，可以此作为负荷密度指标法预测阶段负荷密度值选取参考依据。

表4 商业用地最大负荷月工作日实测数据 kW

时刻	商业用地				合计	同时率	实测 负荷 密度 指标 W/m <sup>2</sup>
00:00	18	111	102	89	656	0.38	
⋮							
08:00	32	75	70	191	642	0.37	
⋮							
18:00	45	119	190	331	1212	0.70	
⋮							
23:00	45	157	146	95	902	0.52	
⋮							
Max	53	180	229	543	1730	0.86	49.4

线路同时率统计的基础为在线监测公变和专变实时数据，分布以线路、变电站为单位，统计分析最大负荷同时率情况。

由上述方法分析，可得反应区域线路负荷同时率情况，可以此作为负荷密度指标法预测阶段负荷同时率指标值选取参考的依据。

在此基础上，集合多种负荷预测方法进行负荷预测<sup>[3]</sup>，加以人工干预，可得到规划范围内较为切合实际发展的负荷预测结论。

### 3.2 规划方案分析

为更好地指导配电网建设，配电网空间布局规划宜从总规、控规、重要节点三个层次进行编制。着眼全局，从宏观层面编制适应区域发展的电网空间布局方案；立足微观，结合控规、城市设计、道路交通、管线综合等规划，完善总体空间布局，细化线路路径、落实配网设施选址；另外，对明确城市建设项目、或涉及周边有重大建设项目的节点等，进行更加细致的方案对比与研究，并可能的提出多方案对选。

### 3.3 设施布局与选址

#### 3.3.1 设施布局建议

环网单元宜在地面上建设，也可与用电单位的供电设施共同建设，与用电单位共同建设时，宜建在首层或地下一层。

目前，10 kV(20 kV)配电网设施在规划建设过程中面临较多难题<sup>[4]</sup>，尤其在设施落地时，根据这一情况，结合区域发展情况及景观性要求，提出以下几点建议。

通过规划方法，设置防护绿廊，以与周边用地进行隔离，一方面达到景观美化要求，另一方面与周边敏感用地，尤其是居住用地，中小学用地等形成一个绿化屏障，降低公众的敏感状态。

根据控规以及城市设计等规划，合理选择中压配电网主干设施的选址，并提出选址意向，以公园绿地、防护绿地、广场用地、环卫用地、交通枢纽用地、公共交通场站用地、社会停车场用地、供水用地、物流仓储用地等作为首选布点用地，并将沿街店铺门口，小区门口、幼儿园等用地作为最不利选址。并提出用地兼容性影响指标（或敏感性指标），对各类用地进行评分，以作为配电设施选址的评估要求。

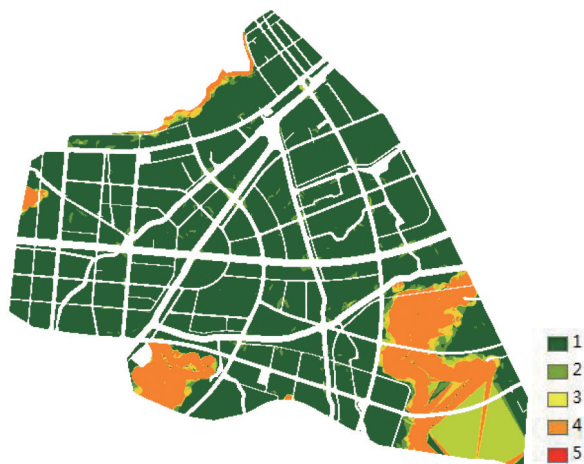
采用相应的美化措施，以达到与周边环境的协调和有机衔接。

10 (20) kV 配电网设施一般均较小，可以结合市政综合体的思路，例如可以与公厕、环卫站、泵站等合址建设。

引入公众参与。

#### 3.3.2 选址适宜性分析

在规划选址时，提出影响因子分析法，综合考虑地形地势、通道距离、负荷分布、用地兼容性等多个因素，并加以不同的权重，利用 ArcGIS 分析手段，从地理空间划定适合配电网设施（环网柜等）选址的区域，以本规划范围内较独立的一片区域为例，展示影响因子分析法分析结果，如图 4 所示。



(a) 地形坡度 Slope(绿→红: 适宜→不适宜)



(b)通道距离Dis(绿→红:适宜→不适宜)



(c)负荷分布Load(绿→红:高→低)



(d)用地兼容性Land(绿→红:适宜→不适宜)

图4 影响因子分析

通过以上分析,可得到范围内适宜选址的区域,对配电设施选址有较好的指导意义。

#### 4 结束语

结合城乡规划而编制的配电网空间布局规划,具有空间分配的前瞻性、配电网的可靠性及可操

作性,能够提高范围内配网基建、技改和大修项目安排的针对性和资金的利用效率,保障城市建设品质和电网建设要求,适应售电侧改革和增量配电业务放开的新形势。

根据规划范围内对不同因素的要求不同,采用不同的权重,若本次分析选择区域是以工业用地为主,可考虑负荷分布因素为第一权重因素;若为居住等用地为主,则可考虑用地兼容性因素为第一权重因素。本次举例中,假定负荷分布、用地兼容性、通道距离及地形地势的权重取值分别为0.4、0.3、0.2、0.1,选址综合适宜性分析(Suit)通过GIS分析得到选址综合适应性分析结果,如图5所示。

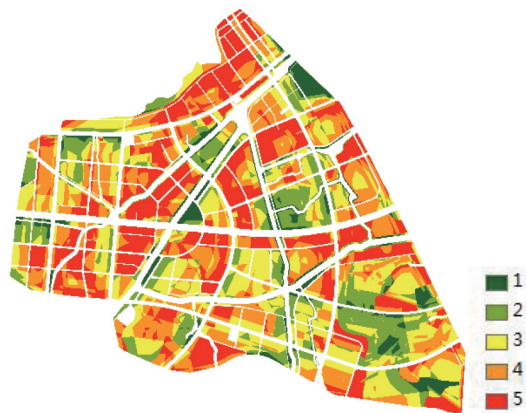


图5 综合选址适宜性Suit(绿→红:适宜→不适宜)

本文从配电网空间布局规划的技术路线、规划内容等角度,探索规划编制的基本思路,对类似规划的编制有一定的参考价值。

#### 参考文献

- [1] 基于大数据的分布式中压配电网空间负荷分配方法研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(15): 228-233.
- [2] 空间负荷预测中确定元胞负荷最大值的概率谱方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(21): 47-52.
- [3] 城市负荷需求预测与网格化供电[J]. 企业技术开发, 2017, 36(12): 58-59, 75.
- [4] 城市10 kV配网线路与环境相协调的集中设计方案探讨[J]. 建设科技, 2009, 72-73.

#### 作者简介

姚新丽(1986—),女,硕士,工程师,主要研究方向为电力规划与设计。

许小良(1978—)男,硕士,工程师,主要研究方向为电力规划与设计。

(责任编辑:张峰亮)

# 35 kV 变压器后备保护配置及定值整定

陈静, 郑博

(巴彦淖尔电业局, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

**摘要:** 根据巴彦淖尔地区电网 35 kV 变电站保护配置情况, 阐述了 35 kV 变压器后备保护整定原则。以呼和温都尔为例, 结合该站电气设备运行情况, 合理安排保护动作时间, 分析保护动作情况, 提出日常整定计算过程中 35 kV 变压器后备整定注意事项。

**关键词:** 变压器; 继电保护; 后备保护

中图分类号: TM762.4

随着内蒙古巴彦淖尔地区经济的快速发展, 人们的用电需求不断增加。35 kV 变电站作为巴彦淖尔地区农业灌溉、小型厂区矿业的主要供电电源是当前农网改造和发展中十分关键的设施。而 35 kV 变电站实际运行中, 存在着设备老化、环境和人为等多种因素的影响极易导致电力设备发生故障, 为确保故障发生时, 继电保护装置能够正确迅速地发挥自动保护功能, 必须对地区 35 kV 变电站继电保护采用具体的整定方案, 进一步提高继电保护工作效率, 确保电网安全稳定运行。

## 1 地区 35 kV 变电站保护配置情况

巴彦淖尔地区目前常见的输电网络电压等级有: 220 kV、110 kV 和 35 kV。110 kV 及以上电压等级主要承担输电任务, 形成多电源供电模式, 采用中性点直接接地方式, 其主保护一般由全线路速动纵联保护担任, 后备保护由距离保护、零序保护、阶段式过流保护组成。110 kV 以下电压等级的电网, 主要承担地区电网供配电任务, 发生单相接地后为保证继续供电, 中性点采用非直接接地方式。35 kV 系统正常运行时采用单电源供电的运行方式。其 35 kV 进出线主保护一般由阶段式电流保护担任。

目前, 巴彦淖尔地区电网 35 kV 变电站内进出线线路及 35 kV 母线均无电压互感器, 再加上 35 kV 及以下电网结构较为简单、运行方式变化较少, 因此, 设计上 35 kV 变电站一般采用简单的过电流保护配置, 来满足该电压等级对继电保护的基本要求。

以呼和温都尔 35 kV 变电站接线图如图 1 所示。以设备参数为例, 结合该站电力设计院变压器保护配置图, 确定对该站保护配置如下。

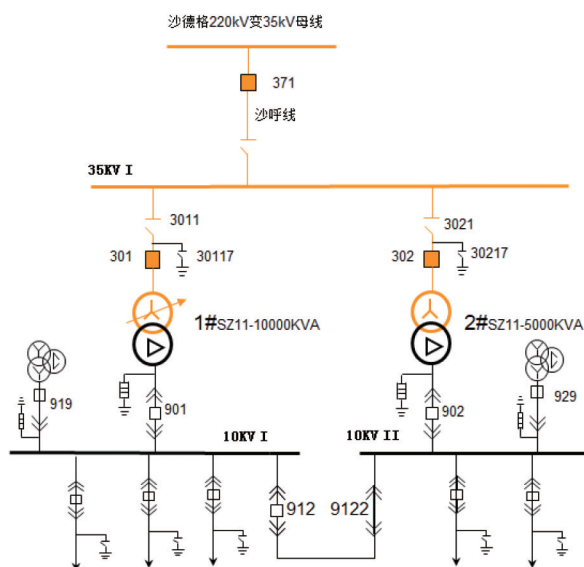


图1 呼和温都尔 35 kV 变电站接线图

呼和温都尔 35 kV 变电站进线 371 沙呼线及该站 10 kV 配网出线均配置普通阶段式电流保护 (线路速断保护、过流保护)。

呼和温都尔 35 kV 变压器保护配置。

主保护: 主变差动保护

后备保护: 高、低压侧后备保护各配置不带方向三段式过流保护; 过负荷保护; 针对可以调压的 35 kV 变压器配置过负荷闭锁有载调压保护。

## 2 35 kV 变压器后备保护的整定

35 kV 变电站变压器后备保护整定时, 主要参考 DL/T 584—2007 《3~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程》和《电力系统继电保护与安全自动装置整定计算》来进行 35 kV 变压器后备保护整定原则的选取与整定。



### 2.1 35 kV 变压器后备保护整定原则

根据规程要求，无复合电压闭锁的变压器过流保护，最大负荷电流应适当考虑电动机的自启动系数，以避免当系统某处故障切除后，因电压恢复，负荷中的动力负荷产生的自启动电流过大，而造成保护误动，故35 kV变压器后备保护整定原则确定为

$$I_{DZ} \geq \frac{K_k \times K_{zd}}{K_f} I_{fh \cdot \max}$$

式中： $K_k$ 为可靠系数，取1.2； $K_f$ 为返回系数，电磁型取0.85，微机型取0.95<sup>[1]</sup>； $K_{zd}$ 为自启动系数，参考《电力系统继电保护与安全自动装置整定计算》中的选取原则，对35 kV及以上电压级负荷，可取1.5~2，对6~10 kV电压级负荷，取1.5~2.5<sup>[2]</sup>； $I_{fh \cdot \max}$ 为最大负荷电流，即变压器的额定电流。

过负荷保护：高、低压侧均配置过负荷保护，保护整定原则确定为

$$I_{DZ} = 1.05 \times I_e / K_f$$

式中： $I_e$ 为主变额定电流； $K_f$ 为返回系数，电磁型取0.85，微机型取0.95<sup>[1]</sup>。

过负荷闭锁有载调压：仅针对具备调压功能的35 kV变压器在其高压侧配置此保护。

### 2.2 35 kV 变压器后备保护整定注意事项

巴彦淖尔地区35kV变电站采用单电源供电，变压器过流保护除作为本站变压器的后备保护外还须兼作下级线路和低压侧母线故障时的后备保护，在整定时注意事项如下。

35 kV变压器高、低压侧后备保护定值间有不小于1.15的配合系数，还要保证高、低压侧过流保护对低压侧母线故障均有不小于1.5的灵敏度系数。

35 kV变压器后备保护时间整定时，应考虑上级进线过流保护最长动作时间，同时为保证35 kV变电站上下级保护的时间配合关系，根据35 kV站内设备情况，应按照如下原则配置相应35 kV变压器过流保护时间。

35 kV变电站内有2台双绕组变压器且2台变压器分列运行或单台变运行时，变压器低压侧后备保护跳本侧时间与高压侧后备保护全跳段时间可以相同，并且高后备保护动作的时间应与上级进线有不小于150 ms的时间配合关系。

35 kV变电站内只有1台变压器时，变压器低压

侧过流保护动作时间与高压侧后备保护动作时间应有不小于150 ms的时间配合关系。

### 2.3 35 kV 变压器后备保护整定计算范例

以巴彦淖尔地区呼和温都尔35 kV变电站1#变压器定值整定计算为例，呼和温都尔1#变压器参数，具体计算过程如下。

呼和温都尔35 kV变电站如图2所示，该站共有2台35 kV变压器，经运行方式经济性计算结果，呼和温都尔35 kV变2台主变可以并列运行。据地调提供电源侧进线371沙呼线过流保护定值一次值：465.6 A，时间为0.6 s；呼和温都尔35 kV变母线阻抗值： $X_{\max} = 0.3105$ ， $X_{\min} = 0.3813$ 。据此绘制该站阻抗图如图3所示，呼和温都尔35 kV变压器参数如表1所示。

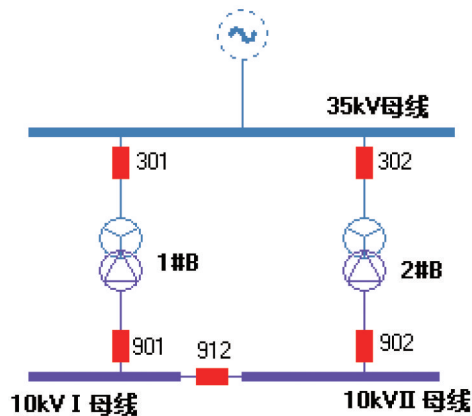


图2 呼和温都尔35 kV变电站接线图

表1 呼和温都尔35 kV变压器参数表

变压器编号	电压等级/kV	额定电流/A	额定容量/kVA	阻抗电 压/%
1#	35/10	165/550	10000	7.5

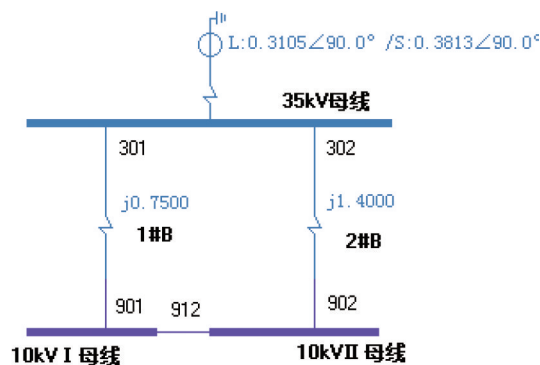


图3 呼和温都尔阻抗图

## 2.3.1 10 kV 低压侧后备保护整定

过流保护:

$$I_{DZ} \geq \frac{K_k \times K_{zqd}}{K_f} I_{th, \max} = \frac{1.2 \times 1.5}{0.85} \times 550 = 1164.71 \text{ A}.$$

灵敏度校验: 结合呼和温都尔运行方式, 考虑小方式下, 在1#变压器低压侧发生两相相间短路, 短路电流计算结果如表2所示。

表2 呼和温都尔1#变压器低压侧发生两相相间短路电流

运行方式	流过1#变短路电流计算结果
1#变单独运行	$I_{d1}^2 = 4861.66 \text{ A}$
1#、2#主变并列运行(分流)	故障点电流: $I_{d1}^2 = 6324.22 \text{ A}$ 流过1#变电流: $I_{d1}^2 = 4118.1 \text{ A}$

选取最小短路电流进行校核:  $K_{lm} = I_{d1}^2 / I_{DZ} = 4118.10 / 1164.71 = 3.54 > 1.5$  满足灵敏度要求。

过流保护动作时间:

配置两段时间,  $T_1 = 0.3 \text{ s}$  跳912分段开关;  $T_2 = 0.45 \text{ s}$  跳901本侧开关。

过负荷保护:

$$I_{DZ} = 1.05 \times I_c / K_f = 679.41 \text{ A}.$$

时间: 9 s发信号。

## 2.3.2 35 kV 高压侧过流保护整定

过流保护: 要与低压侧过流保护配合, 配合系数取1.15。

$$I_{DZ} \geq \frac{K_k \times K_{zqd}}{K_f} I_{th, \max} = 401.82 \text{ A}.$$

该整定结果与上级线路371沙呼线过流保护定值一次值465.6 A间的配合系数大于1.15, 满足定值间配合要求。

灵敏度校验: 结合呼和温都尔运行方式, 考虑小方式下, 在1#变压器低压侧发生两相相间短路, 短路电流计算结果如表3所示。

选取最小短路电流进行校核:  $K_{lm} = I_{d1}^2 / I_{DZ} = 1168.04 / 455.4 = 2.56 > 1.5$  满足灵敏度要求。

过流保护动作时间:

仅配置一段时间:  $T_1 = 0.45 \text{ s}$  全跳, 与上级371沙呼线过流保护动作时间有150 ms的级差。

过负荷保护:

$$I_{DZ} = 1.05 \times I_c / K_f = 203.82 \text{ A}.$$

时间: 9 s发信号。

表3 呼和温都尔1#变压器高压侧发生两相相间短路电流

运行方式	流过1#变短路电流计算结果
1#变单独运行	$I_{d1}^2 = 1378.94 \text{ A}$
1#、2#主变并列运行(分流)	故障点电流: $I_{d1}^2 = 1793.78 \text{ A}$ 流过1#变电流: $I_{d1}^2 = 1168.04 \text{ A}$

过负荷闭锁有载调压:

$$I_{DZ} = 1.05 \times I_c / K_f = 203.82 \text{ A}.$$

时间: 3.5 s发信号。

## 2.4 35 kV 变压器后备保护动作逻辑分析

根据上述计算可以看出, 受上级371沙呼线过流保护的制约, 为缩短保护配合时间, 呼和温都尔35 kV主变高、低压侧后备保护整定时, 采取定值配合, 时间不配合的不完全配合整定方法, 高、低后备动作时, 只能靠定值来保证继电保护动作的选择性。

若呼和温都尔10 kV I 母线发生故障, 其动作逻辑如下。

912分段开关跳开, 隔离故障—1#主变901开关跳开, 切除故障—I 母线失电。

912分段开关跳开, 隔离故障—1#主变901开关跳开, 切除故障(或1#主变高、低后备同时达到定值, 时间相同, 1#变高、低后备同时动作出口)—I 母线失电。

通过动作逻辑分析, 该种不完全配合整定方法, 虽然可能出现高、低后备保护同时动作, 但最终并没有导致故障范围扩大, 对系统供电可靠性也无任何影响。

## 3 结束语

目前, 巴彦淖尔地区35 kV变电站均为两绕组变压器, 通过上述分析, 本文所确定的系统继电保护配置和整定原则选择正确, 并能够满足该地区所有单电源供电的35 kV变电站继电保护整定计算, 满足35 kV供电网安全可靠需求。

(责任编辑: 刘艳玲)

# 高压开关柜局部放电诊断 定位技术研究与应用

赵祥龙, 焦伟, 盖磊, 刘成华, 李小龙

(国网天津市电力公司检修公司, 天津 河东 300232)

**摘要:** 高压开关柜局部放电通常伴随着声、热、光、电、磁等多种形式的物理现象和气体电离等化学反应现象, 局部放电检测是目前高压开关柜状态检修中最有效的检测手段。局部放电采用的检测方法有超声波法、暂态地电压法 (TEV)、特高频法 (UHF) 等检测方法, 本文对以上3种局部放电检测方法进行了研究分析。通过一起35 kV高压开关柜局部放电缺陷, 介绍了局部放电的诊断方法和定位过程。

**关键词:** 高压开关柜; 局部放电; 超声波; 暂态地电压; 特高频

**中图分类号:** TM591

高压开关柜的故障可分为: 拒动故障、误动故障、绝缘故障、载流故障、开断与关合故障和外力或其他故障等<sup>[1]</sup>。从故障对电网的影响程度看, 绝缘和载流故障对电网的影响程度最为严重, 占到高压开关柜所有故障的40%以上。并且绝缘和载流故障一旦发生, 故障处理起来困难, 处理时间长, 最终会长时间影响对用户的供电。目前常采用停电例行试验和带电检测的手段来发现这些故障隐患。停电例行试验, 一方面对设备内的固体绝缘有积累损害效应, 另一方面设备必须停电, 从而造成用户供电可靠性的下降<sup>[2-4]</sup>。带电检测是在设备运行条件下进行的检测, 能够反映设备的真实运行状况, 及早发现设备隐患, 并且不会影响对用户的供电。由于带电检测的优越性, 近几年在电网中被广泛使用<sup>[5]</sup>。高压开关柜的带电检测主要就是设备的局部放电检测。据统计, 引起高压开关柜局部放电的主要因素包括: 绝缘表面受潮和污秽、设备连接处的接触不良、导体或柜体有金属毛刺、设备内部有金属微粒、设备绝缘内部气隙放电等。

高压开关柜内的局部放电主要为表面放电和内部放电, 发生放电时伴随着声、热、光、电、磁等多种形式的物理现象以及气体电离等化学反应<sup>[5]</sup>。目前针对高压开关柜局部放电采用的检测方法有超声法、暂态地电压法、特高频法等<sup>[6]</sup>。本文通过一起35 kV高压开关柜的局部放电的案例, 采用以上3种检测方法进行了检测, 并采用特高频法对放电源进行了精确定位, 通过停电检修验证了局部放电检测和定位的准确性。

## 1 缺陷检测与分析定位

### 1.1 发现过程

2017年5月18日, 试验人员对220 kV XX变电站进行带电检测巡检时, 在对站内35 kV高压室内的开关柜进行超声波局部放电检测, 在“35 kV 1号所变S31-1刀闸”隔离开关柜上方检测到明显的超声波局部放电信号, 在隔离开关柜柜顶中间缝隙区域最强, 超声周期最大值为13.0 mV, 频率成分1 (50 Hz) 为0.3 mV 小于频率成分2 (100 Hz) 为1.0 mV, 可知超声波相位图谱及波形图谱具有工频相关性, 且相位图谱每个周期有两簇信号, 成驼峰状, 具有明显的聚集效应, 波形图谱每个周期有两组脉冲波形, 波形形状各不相同, 且幅值不一, 同时耳机中也具有放电特征声音, 根据这些超声特征, 依据Q/GDW 11059.1—2013《超声波法局部放电带电检测技术现场应用导则》, 综合判断35 kV 1号所变S31-1隔离开关柜内检测到超声波异常信号。

对35 kV开关柜进行暂态地电压局部放电检测, 测试空气背景读数为13 dB, 金属背景读数为12 dB, 测试数据如表1所示, 1号所变S31-1高压开关柜的信号最大, 并且距离1号所变S31-1高压开关柜越远的开关柜检测数值越小。依据Q/GDW 11060—2013《交流金属封闭开关设备暂态地电压局部放电带电测试技术现场应用导则》, 若开关柜检测结果与环境背景值的差值大于20 dBmV, 须查明原因。

对35 kV 1号所变S31-1高压开关柜进行特高频

局部放电检测，检测数据及图谱，如图1所示。可知特高频 PRPD/PRPS 图谱具有的局部放电特征，PRPD/PRPS 图谱显示在一个工频周期出现两簇局部放电信号，信号在工频周期内有很强的对称性，依据 Q/GDW 11059.2—2013《特高频法局部放电带电检测技术现场应用导则》，呈现明显的放电特征。

表1 暂态地电压(TEV)测试数据

柜体名称	TEV 幅值 (柜体前/dB)	TEV 幅值 (柜体后/dB)	备注
311	34	38	合闸
1号所变S31-1	44	46	合闸
1号主变301	33	37	合闸
312	21	22	合闸
I母PT T31	20	23	合闸
313	20	22	合闸
314	20	21	分闸
315	20	23	合闸
2号主变302	21	22	合闸
316	20	21	合闸
II母PT T32	20	22	合闸
2号所变S32	21	21	合闸

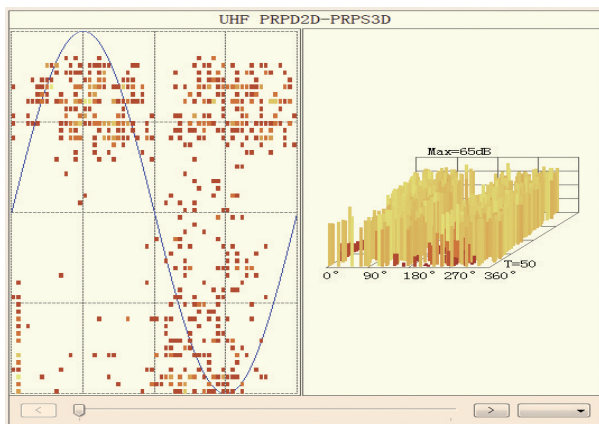


图1 特高频PRPD/PRPS图谱

### 1.2 定位分析

通过局部放电精确定位系统检测可以看到示波器的绿色、黄色和红色通道显示在一个工频周期内有两簇脉冲信号，呈现很均匀的特征，脉冲信号间隔时间基本相等，最大幅值约为1.22V，综合判断放电类型为金属性放电。

### 1.3 局部放电定位分析

为了准确定位局部放电的位置，采用特高频局

部放电平分面法和时差法进行定位。采用平分面法进行精确定位步骤如下：左右水平移动两传感器，当示波器2个检测通道的信号波形重叠时，则局部放电源位于2个传感器连线的垂直平分面P上，平分面法定位原理图如图2所示。

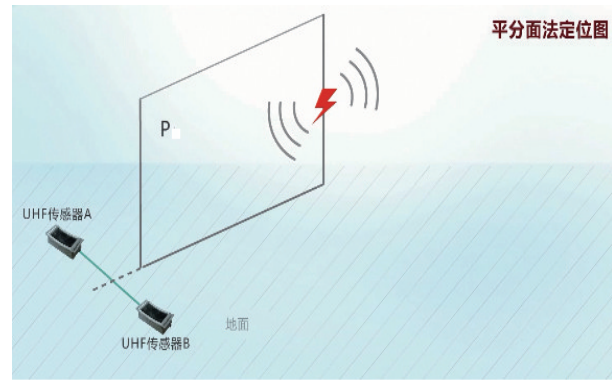
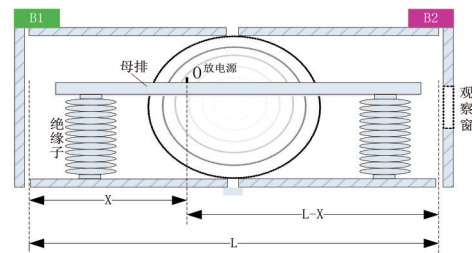
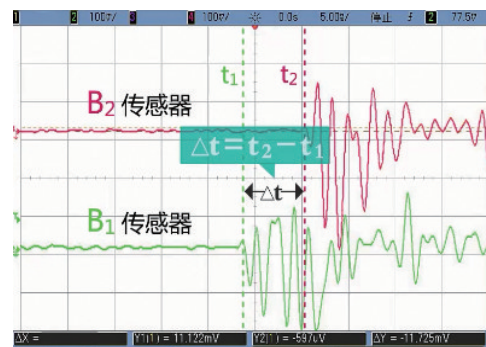


图2 平分面法定位原理图

在确定局部放电源位于O位置周围后，可在邻近开关柜缝隙处或者观察窗分别放置2个传感器B1和B2，2个传感器之间水平距离L，并通过示波器观察2个传感器接收到的信号时间差 $\Delta t$ 。设开关柜局部放电源距传感器B1距离为x，按式(1)可以计算局部放电源的准确位置。时差法定位原理如图3所示。



(a)原理图



(b)两个传感器时差

图3 特高频局部放电时差法定位

$$\Delta t = t_2 - t_1 = (L - x) / c - x / c, \quad (1)$$

$$x = \frac{1}{2} (L - c\Delta t).$$

式中： $c$ 为电磁波等效传播速度， $3 \times 10^8$  m/s。

第一次定位检测判断特高频局部放电信号来自开关柜内部还是外部，传感器放置位置及定位波形图如图4、图5所示，绿色传感器波形上升沿位置超前于红色传感器，且红色传感器基本无特高频信号，可知信号源位于开关柜内部。



图4 信号来源定位传感器布置图

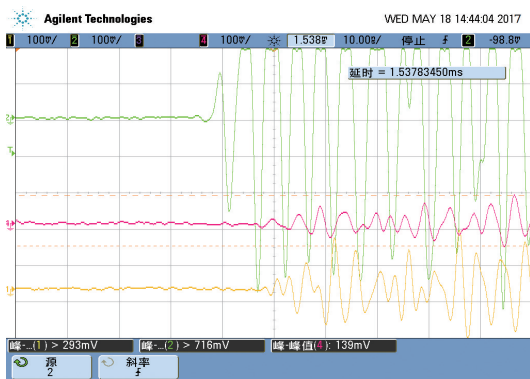


图5 信号来源定位波形



图6 左侧定位传感器布置图

第二次定位检测局部放电信号左侧定位分析，传感器位置图及定位波形图如图6、图7所示，绿色传感器波形上升沿位置超前于红色传感器，可知信号源位于左侧即35 kV 1号所变S31-1高压柜开关柜。

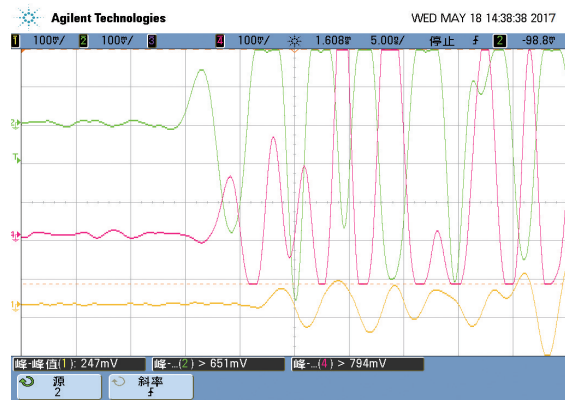


图7 左侧定位波形

第三次定位检测局部放电信号右侧定位分析，传感器位置图及定位波形图如图8、图9所示，绿色传感器波形上升沿位置超前于红色传感器，可知信号源位于右侧即35 kV 1号所变S31-1高压开关柜。



图8 右侧定位传感器布置图

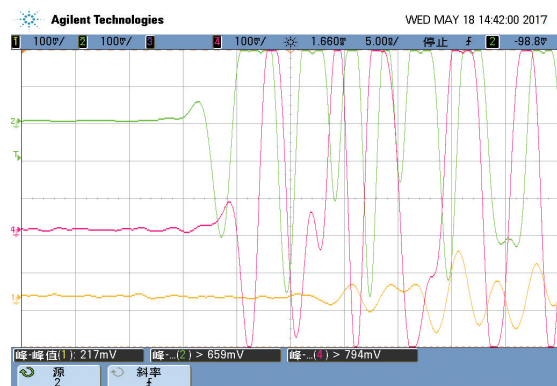


图9 右侧定位波形

第四次定位检测局部放电信号横向定位分析，传感器位置及横向定位波形图如图10、图11所示，绿色传感器检测到的信号波形与红色传感器检测到的信号波形上升沿基本相同，由此可知信号到达2个传感器的时间基本相同，说明局部放电源位于2个传感器连线垂直平分面上，如图中红线所示位置。

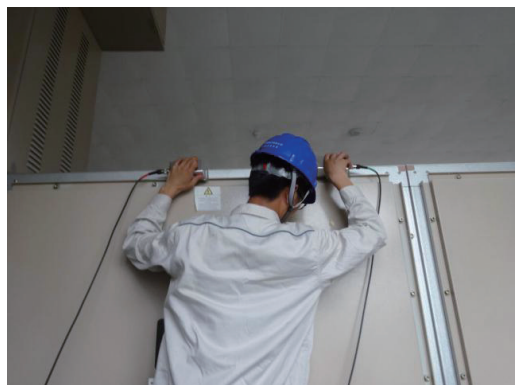


图10 横向定位传感器布置图

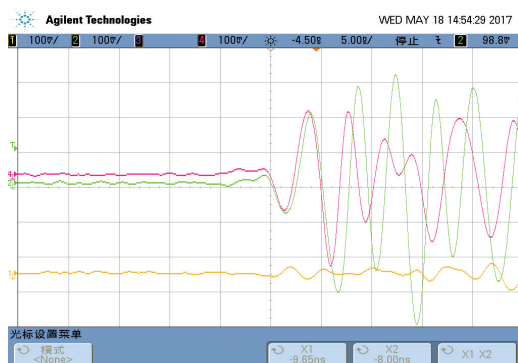


图11 横向定位波形



图12 纵向定位传感器布置图

第五次定位检测局部放电源纵向定位分析，传感器放置位置图及定位波形图如图12、图13所示，

上下移动传感器，绿色传感器检测到的信号波形与红色传感器检测到的信号波形的上升沿基本一相同，可知信号到达2个传感器的时间基本相同，说明局部放电源位于2个传感器连线垂直平分面上，如图中红线所示位置。



图13 纵向定位波形

第六次定位检测局部放电信号深度定位分析，传感器位置和定位波形图如图14、图15所示，红色传感器放置在1号所变S31-1高压开关柜后侧观察窗，绿色传感器放置在1号所变S31-1高压开关柜前侧观察窗，2传感器物理距离约为2.4 m（开关柜的前后距离）；根据示波器波形可以看出红色波形超前绿色波形约6 ns，对应的物理距离约为1.8 m。代入时差法公式得出放电源距离绿色传感器的距离大约为0.3 m的位置。



图14 深度定位传感器布置图

综上可判断，局部放电位置在如图16红色圆圈范围所示的内部往里30 cm处概率较大（初步判断为A相），更准确的位置须结合开关柜内部结构综合

判断。

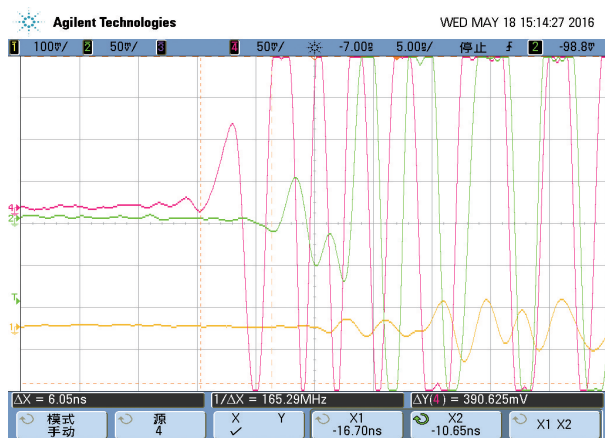


图 15 深度定位波形



图 16 局部放电位置图

## 2 局部放电位置检查与处理

经过停电检查发现在 35 kV 1 号所变 S31-1 高压开关柜与 311 开关柜 A 相穿柜套管内母线与套管屏蔽层之间发生了放电。为了使母线和套管屏蔽层之间形成等电位，在母线与套管屏蔽之间用屏蔽弹簧相连。长期运行，屏蔽弹簧的机械强度会降低，材质太软，变形后不易恢复，如果受到外力或者设备电动力的作用，屏蔽弹簧出现松动，就会和套管屏蔽层接触不良形成金属性放电。经过检查套管内部有明显的放电灼烧痕迹，屏蔽弹簧由于放电烧蚀的非常严重。通过更换套管和屏蔽弹簧消除了放电缺陷。

## 3 结束语

在实际工作中，开关柜局部放电检测发现缺陷数量远远大于停电例行试验发现的缺陷数量，局部

放电检测已经成为开关柜状态检修的主要手段。超声波局部放电检测主要针对声波进行的检测，对外部放电缺陷和机械振动比较灵敏，抗干扰能力较强；TEV 是间接检测电磁波信号，主要发现内部绝缘缺陷，TEV 抗干扰能力差，周边环境对 TEV 影响很大，纯电缆进线影响会小；特高频局部放电检测是直接对电磁波信号进行检测，抗干扰能力强，对放电信号比较灵敏，对于机械振动信号灵敏度较差。

放电源粗略定位时，可根据超声波、暂态地电压和特高频局部放电的幅值大小进行，而放电源精确定位时，采用特高频定位技术的时差法和平分面法，对于有条件的情况下还可以采用声电联合法进行定位。

## 参考文献

- [1] 张鑫, 费旋, 玄轲宇, 崔悦, 唐振威, 张杰. 基于 TEV 检测技术在开关柜局部放电诊断中的应用[J]. 农村电气化, 2017(2): 21-22.
- [2] 王俊波, 章涛, 李国伟. 在线检测 10 kV 开关柜局部放电方法研究[J]. 绝缘材料, 2011, 44(6): 60-64.
- [3] 章涛, 王俊波, 李国伟. 10 kV 开关柜局部放电检测技术与运用[J]. 高压电器, 2012, 48(10): 100-104.
- [4] 李振宇. 中低压断路器柜在线检测的探索与应用[D]. 广州: 华南理工大学硕士学位论文, 2012.
- [5] 邓雨荣, 田树军, 李锐鹏, 胡华, 邢雅, 李洪杰. 一种改进的 10 kV 开关柜局部放电 TEV 检测及定位技术[J]. 绝缘材料, 2014, 46(2): 93-96.
- [6] 岳彩鹏, 侯宪法, 董亚. TEV 与 UHF 技术在开关柜局部放电检测中的应用[J]. 山东电力技术, 2016, 02: 78-80.
- [7] 李海德. 基于 TEV 和超声波的高压开关柜局部放电检测方法研究[D]. 保定: 华北电力大学硕士学位论文, 2013.
- [8] 章坚. 10 kV 配网开关柜局部放电带电检测[J]. 农村电气化, 2011(12): 10-12.
- [9] 杨坤. 变电设备局部放电带电检测技术研究[D]. 济南: 山东大学硕士学位论文, 2014.
- [10] 江波. 变电设备带电检测技术在状态检修中的实用性探讨[J]. 电气时代, 2015(8): 52-58.
- [11] 刘杨, 陈昱同, 马丽强. 声电联合法检测开关柜局部放电有效性分析[J]. 山西电力, 2016(15): 34-36.
- [12] 国家电网公司运维检修部. 电网设备带电检测技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

## 作者简介

赵祥龙(1984—),男,汉族,江苏省铜山县,硕士研究生,从事电气设备状态监测与故障诊断研究。Email: zhaoxl05283125@163.com.

(责任编辑:刘艳玲)

# 一例直流两点接地导致的保护误动分析

杨奇

(京能集团山西漳山发电有限责任公司, 山西 长治 046021)

**摘要:** 介绍了一例直流两点接地导致保护误动事故的查找过程, 通过对直流系统绝缘监测仪平衡电桥原理、CSC241 变压器综合保护装置开关量输入电路的分析, 得出直流系统两点接地、综保装置开关量输入电路设计不当共同导致了事故的发生, 并对直流电源回路日常检修维护, 跳合闸线圈及开入量采集电路的设计提出了建议。

**关键词:** 零序电流; 开关量回路; 两点接地; 稳压二极管

**中图分类号:** TM77

2017年6月某火电厂3#灰场变压器高压侧综保装置运行中发出“低压侧零流开入”动作信号, 跳变压器高压侧开关, 低压侧开关欠压脱扣动作后断开。该灰场变为D/Yn-11接线, 高压侧接10 kV高压公用母线, 低压侧接380 V灰场PC段。低压侧中性点安装变比800/1的零序电流互感器T3, T3二次侧接电流继电器LJ, LJ常开接点经二次电缆接入CSC241 变压器综合保护装置开关量输入回路(以下简称开入回路)DI5, 开入回路电源直接取自DC110 V直流母线支路空开。如图1所示。

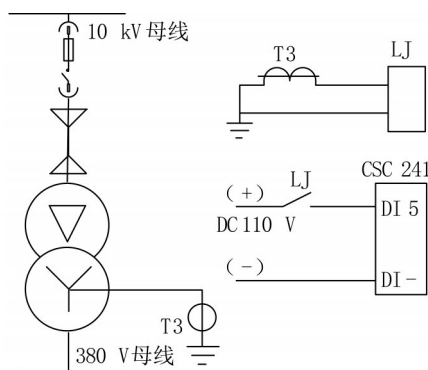


图1 灰场变压器零序电流接线示意图

## 1 故障检查

### 1.1 综保装置检查

检查综保装置动作报文如下:

2017-06-22 06:03:02.682 保护启动;

2017-06-22 06:03:03.692 低压侧零流开入动作。

综保装置非电量开入动作逻辑如图2所示, 低压侧零序过流继电器常开接点接入非电量开入DI5, 保护装置投跳闸, 跳闸延时1 s。对比动作报文, 保护启动1 s后开关跳闸, 与保护设定值一致, 判断保

护装置动作正常。

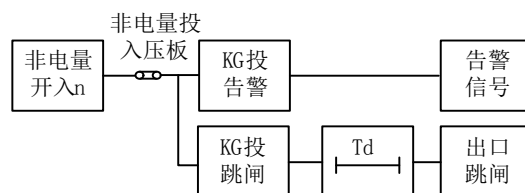


图2 非电量开入动作逻辑

查看保护动作时装置的故障录波记录, 保护动作前后变压器高压侧三相电压、电流均运行正常, 无突变现象, 且对变压器低压侧及PC段母线绝缘检查正常, 因此判断变压器低压侧无真实接地故障。

### 1.2 零序电流回路检查

测量电流互感器值阻、变比正常, 回路接线与图纸一致、绝缘符合要求。电流继电器LJ设定值1 A、无延时, 校验继电器动作值、动作时间与设定值一致。检查LJ常开接点接入综保装置开入DI5的二次电缆绝缘低(1000 V摇表绝缘为0 MΩ), 查找电缆在穿入开关柜处绝缘外皮破损导致线芯接地, 且破损已有一段时间, 但综合保护装置一直未动作, 直流系统也未发接地报警。

### 1.3 直流接地检查

因灰场变压器综保装置跳闸前, 接带该综保装置的直流母线发接地报警, 查找发现直流分屏二的27#号支路因下雨发生正接地, 接地电阻最低为3 kΩ。综合上述开入DI5回路接地, 判断直流系统两点接地致零序过流开入接点导通, 进而变压器综保装置动作。

### 1.4 保护原理分析

开入DI5回路接地(假设接地电阻R'), 同时同一母线其他支路发生正接地, 如图3所示, 两个正



极接地点沟通正电源与开入 DI5。综保装置判断为低压侧零流入开入接点导通，满足动作逻辑跳高压侧开关。

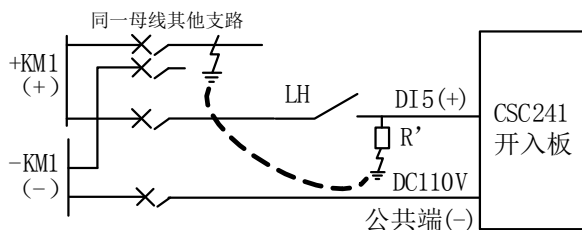


图3 综保装置跳闸原理图

## 2 保护装置开入回路检查

直流分屏二的27#号支路接地点处理后，DI5外回路依旧接地，但直流正负母线对地绝缘恢复正常，测量DI5对地电压约-2 V，对负极电压约56 V，将DI5外回路二次线甩开后测量DI5对地电压、对负极电压均接近于0 V。因无法解释DI5所测量到的电压，结合直流系统绝缘监测仪正负极对地电压分析如下。

### 2.1 直流系统绝缘监测仪平衡电桥原理

直流系统绝缘监测仪利用平衡电桥测量母线对地绝缘电阻，平衡电桥原理如图4所示，固定电阻 $R_1$ 与 $R_2$ 相等，两者之间有一接地点。直流系统无接地时， $V_1$ 、 $V_2$ 对地电压分别为一半的额定直流电压，DC110 V直流系统工作电压为116 V，正常运行时正极对地电压+58 V，负极对地电压-58 V。

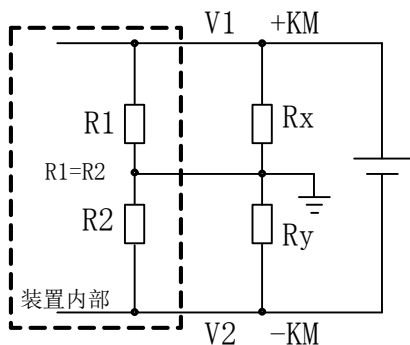


图4 绝缘监测仪平衡电桥原理

DI5与负极公共端通过内部电路相连，其输入端无接线或者接线回路绝缘正常时，DI5对地电压为0 V，而非-58 V。可推断装置内部可能有二极管电路将DI5输入回路反向截止。DI5外回路经 $R'$ 电

阻接地，DI5对地电压-2 V、对负极电压56 V实际为DI5至地之间电阻 $R'$ 分压-2 V，DI5至负极之间电路分压56 V。

### 2.2 综保装置开入回路原理

因DI5回路接地时直流系统无法检测，将综保装置开关量输入电路分解如图5所示，9个开入接点DI1至DI9为输入110 V正电源，公共端为110 V负电源。每一开入回路为光耦P627与稳压二极管D并联后与电阻R，稳压二极管ZD1、ZD2串联，正负电源之间并接氧化锌压敏电阻ZR。

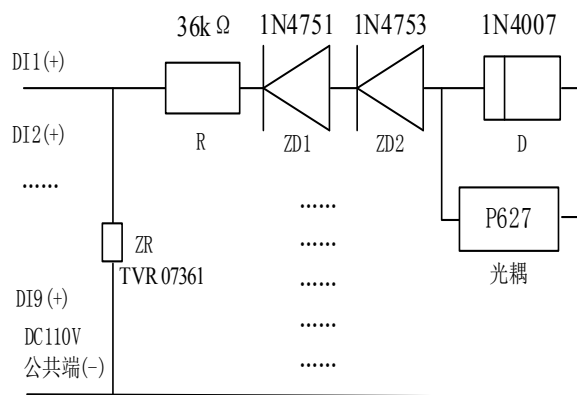


图5 CSC241装置开入电路

查询电子元器件手册：电阻 $R$ 为36 k $\Omega$ ，ZD1型号为1N4751，稳压值30 V；ZD2为1N4753，稳压值36 V；D为1N4007，反向直流电压>1000 V，正向电压1 V；ZR为氧化锌压敏电阻TVR07361，最大直流电压300 V，参考电容190 pF，最大峰值电流1200 A。P627光耦反向电压为1 V，正向压降约0.7 V。开关量输入电路正负端加入不同等级的直流电压测量各元器件分压如表1所示。

表1 开入回路各元器件电压值 V

加入电压	1N4007 并光耦	1N4751+1N4753	R
50	0.05	49.9	0
64	0.17	62.9	0
67	0.80	65.9	0.14
68	0.98	66.1	1
71	1.01	66.1	3.9
116	1.00	66.0	48.9

从表1可得出：所加电压小于64 V，1N4751与1N4753关断，电压降均在此两个稳压二极管；电压大于68 V时，1N4751与1N4753导通，分压稳定在

66 V, 与元器件的稳压特性一致, 1N4007 并接光耦分压接近于 1 V 并维持不变, 直至电压升高至直流工作电压 116 V, 剩余的电压由 36 kΩ 电阻  $R$  承担。

根据对开入电路特性的分析, 公共端接 DC110 V 负电, DIn 输入端悬空, 稳压二极管 1N4751、1N4753 两端无电压, 工作在截止状态, 因此 DIn 端检测不到 -58 V 电压。DIn 输入回路直接接地时, DIn 对负极公共端电压 +58 V, 小于 1N4751 与 1N4753 的稳压值 65 V, 不满足其反向导通条件, 所以在 DIn 回路接地时, 绝缘监测仪无法检测到直流感地。

### 3 直流接地对保护装置影响

直流系统发生一点接地, 不会产生短路电流, 可继续运行。但接地点未及时处理发展为两点接地, 就有可能引起继电保护装置的误动或拒动等严重事故。一般动作触点接正电源, 出口中间继电器线圈、跳合闸线圈或开入电路接负极电源, 当线圈或电路正端与正电源两点同时接地会造成保护装置误动, 如本文中案例分析。当线圈或电路正端接地, 同时又发生直流负极接地时, 两接地点会将线圈或电路两侧短接, 此时保护动作接点接通后线圈或电路无电压, 就可能造成保护拒绝动作, 越级扩大事故, 甚至引起直流空开跳闸或熔丝熔断, 还可能烧坏继电器触点。

直流正极或负极接地时, 绝缘监测仪能检测到母线电压绝缘降低或支路接地, 发出声光报警提醒运行人员及时检查。本文案例中开入电路正端接地, 直流系统无法检测, 此时再发生直流正极或负极接地会严重影响继电保护装置的安全运行。

### 4 结论及建议

DI5 开入回路与直流正电源两点同时接地是本次事故的直接原因。

DI5 外回路接地时无法导通稳压二极管 1N4751 与 1N4753, 直流绝缘监测仪未能及时检测到接地点间接导致了本次事故的发生。

建议在日常检修维护中加强对直流电源回路、开关量回路的绝缘检查, 及早地发现处理回路接地问题。

在继电器或跳合闸线圈回路中加装二极管等元器件时, 应考虑到线圈正端接地时, 地对负极电压能将所加装的元器件导通, 以保证直流系统及时检测到回路接地。

装置直接使用 DC 110 V 或 DC 220 V 直流母线支路作为开入电路电源时, 应特别注意与直流系统绝缘监测仪中正负极对地电压检测的配合。若本例中 CSC241 装置开入回路稳压二极管反向导通电压设计为小于 55 V, 则在回路正端接地时, 直流系统可检测到接地点。但不满足反措规定的“光耦开入的动作电压应控制在额定直流电源电压的 55%~70%”, 且开入回路正端接地时会导致保护装置误动作。

对于光耦开入回路, 可使用开入逆变电源, 但需要考虑逆变电源的运行稳定性、可靠性, 且存在外回路接地时不能及时发现的问题。

在重要的开关量直接跳闸回路加装大功率继电器, 可避免长电缆电容充放电效应导致的误动且在继电器线圈正端接地时可以实时检测, 但此设计是从外回路而非保护装置来解决问题, 不能确保现场大量使用的开关量输入回路均加装大功率继电器。

外回路加装大功率继电器、使用开入逆变电源各有优劣, 单纯使用稳压二极管的光耦开入回路动作电压过大或者过小<sup>[5]</sup>均会给继电保护装置安全稳定运行带来隐患, 因此光耦开入回路的设计应综合考虑动作电压与开入正端接地时能及时检测的要求。

### 参考文献

- [1] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础 3 版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [2] 任东红, 樊树根. 直流电源系统接地引起保护误动作的分析及对策[J]. 供用电, 2011, 28(6): 39-42.
- [3] 聊方伦. 直流系统接地对保护控制及开关量输入回路的影响分析[J]. 浙江电力, 2012(8): 21-24+62.
- [4] 国家能源局. 直流电源系统绝缘监测装置技术条件: DL/T 1392-2014[S]. 2014.
- [5] 金宇, 邱凯翔. 一种直流系统接地故障排查方法的研究与分析[J]. 电工电气, 2017(6): 21-24.

### 作者简介

杨奇(1988-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护与励磁管理方面的工作(E-mail: it\_is\_written@163.com)。

(责任编辑: 刘艳玲)

# 按时间节点审核输电工程安全措施

武庆祥, 张立军, 丁迪, 邓志国, 张国春, 任江东

(国网北京平谷供电公司, 北京 平谷 101200)

**摘要:** 依托陆港110 kV输电工程, 摆脱传统的施工方案审核方法, 以时间为节点, 按照施工的先后顺序, 对施工方案每一步工序的安全措施进行部署, 所有部门要按照工程建设的时间节点, 对作业风险的安全措施进行严格把控, 实现安全措施的有效落地。

**关键词:** 施工方案; 安全措施; 时间节点; 输电线路

**中图分类号:** TM72

电力输变电工程建设是一项复杂的系统工程, 施工环境相对来说比较恶劣, 因其特殊属性, 对专业技术能力要求也很高<sup>[1]</sup>。同时安全人员配置不到位、部分施工人员和分包人员专业素质低、施工安全风险评价不周全等因素严重制约着工程项目安全管理水平<sup>[2]</sup>。施工方案作为保证工程安全质量管理的重要手段, 传统的审核方法已不能保证方案的有效落实, 不能做到让作业人员对安全措施心中有数。

本文依托陆港110 kV输电线路工程, 按照时间节点对施工方案内的安全技术措施进行审核, 从三维空间的安全管理上升为四维空间的安全管控, 保证安全措施有效落地。

## 1 工程概况

陆港110 kV输电线路起于现状李平一二马支15#铁塔附近的T接点, 止于拟建陆港110 kV变电站内电缆终端塔。全线基本平行现状东河北红线外15 m架设。双回路长度0.816 km, 路径全部为新开路径。

本段新建110 kV双回铁塔8基, 均为耐张塔; 新建线路导线采用单根JL/G1A-240/30型钢芯铝绞线; 地线采用2根24芯OPGW光缆; 改建线路导线与现状匹配, 采用单根JL/G1A-300/40型钢芯铝绞线; 地线除利用旧部分外采用1根24芯OPGW光缆及1根JLB40-100型铝包钢绞线地线; 本工程不涉及更换地线。

## 2 施工作业内容及安全措施

针对本工程停电切改, 110 kV李平一二马支线倒停工作, 审核安全及质量管控措施, 保证施工平

稳有序进行。

### 2.1 施工第一阶段

**作业时间及内容:** 2018年12月12日8:00—10:00, 共2 h, 拆除110 kV李平二马支线2#塔小号侧引流线。

**安全管控措施:** 仔细核对路名、杆号及色标, 确定与本次停电路名一致后方可登塔进行工作。断引流前使用合格验电器验电, 确认无电后, 戴绝缘手套用绝缘杆挂接地线。人员上下塔或在塔上横向移动不得失去保护(配备全方位安全带、绝缘防坠器)。

### 2.2 施工第二阶段

**作业时间及内容:** 2018年12月12日10:00—12月14日15:00, 共3天, 在110 kV李平二马支线13#塔大号侧打反向临时拉线、16#塔小号侧打过轮临锚; 拆除110 kV李平二马支线15#塔导、地线悬垂线夹; 组立N1#塔、拆除110 kV李平二马支线15#塔; 展放110 kV李平二马支线14#~N1#~16#塔导、地线(利旧), 做耐张; 展放N1#~N2#双回导、地线, 做耐张, 搭立线; 2018年12月13日10:00要对110 kV李平一马支线光缆实行停役令(陆港站至马坊站、陆港站至平谷站), 拆除L1#、N6#光缆接头盒, 展放N2#~N1#~L1#光缆、展放N6#~N7#光缆(利用现状光缆); 展放完成后交通信公司在L1#临时塔、N7#塔熔接光缆; 工作完成后拆除临时拉线; 验收、消缺。

**安全管控措施:** 打拉线时保证与带电线路距离大于4 m, 拉线提升时用绝缘绳控制, 禁止拉线大幌, 绝缘绳控制人员在带电线路相反的方向进行控制, 提升拉线时速度应平稳。在110 kV李平一二马支线15#塔拆除导地线悬垂线夹前, 仔细核对杆

号、路名及色标,核对无误确定与本次停电路名一致后方可登塔进行工作;塔上工作禁止进入同塔并架带电侧横担,禁止在带电侧横担放置工器具及材料。吊车进场前审核吊车及司机证件,审核无误后报监理项目部;司索人员持证上岗;吊车支腿枕木用不小于30 cm方木(或钢板),吊件离开地面约100 mm时暂停起吊并进行检查,确认正常且吊件上无搁置物及人员后方可继续起吊,吊车组立N1#T接塔,吊车组塔设置工作区域,保证与带电线路的安全距离大于5 m,并对吊车进行接地,设置限位器,专人指挥吊车进行吊装工作,不得兼任其他工作;起吊前检查钢丝绳套子,吊点套使用16钢丝绳套用16 t,U环进行连接由工作负责人检查钢丝绳套子,钢丝绳套子插接长度不小于30 cm,无断股变形影响受力因素;使用绝缘绳作为吊件起吊过程中的控制绳,以保证起重吊件与带电体的安全距离,缆风绳应使用绝缘绳。

组立前分段吊装铁塔时,上下段间有任一处连接后,不得用旋转起重臂的方法进行移位找正,分段分片吊装铁塔时,控制绳应随吊件同步调整;禁止无关人员进入施工区域,吊臂下严禁站人或从吊臂下通过。平衡挂线,开断前做好二次保护(用不小于15钢丝绳套子与塔身固定)。移动光缆时,绝缘绳控制人员在带电线路方向进行控制。导地线压接人员持证上岗,项目部质量员全程旁站,防止施工人员误操作。导地线压接前进行钢锚、铝管进行清洗,压接前及压接后均有监理、施工项目部人员进行旁站,并进行数据统计工作。

### 2.3 施工第三阶段

作业时间及内容:2018年12月14日15:00—20:00,共5 h,恢复110 kV李平二马支线2#塔小号侧引流线;测参、核相。

安全管控措施:恢复引流前用合格验电器验电,确认无电后,戴绝缘手套使用绝缘杆挂接地线。人员上下塔和在塔上移动不失去保护(配备全方位安全带、防坠器)。

### 2.4 施工第四阶段

作业时间及内容:2018年12月16日8:00—10:00共2 h,拆除110 kV李平一马支线2#塔小号侧引流线。

安全管控措施:断引流前用合格验电器验电,确认无电后戴绝缘手套用绝缘杆挂接地线。人员上下塔和在塔上移动不失去保护(配备全方位安全带、防坠器)。

### 2.5 施工第五阶段

作业时间及内容:2018年12月16日10:00—12月17日15:00,在110 kV李平一马支线13#塔大号侧打反向临时拉线、16#塔小号侧打过轮临锚;拆除110 kV李平一马支线13#~L1#~16#塔导线;展放110 kV李平一马支线13#~14#~N1#塔导、地线、N1#~16#塔导、地线(利旧),搭立线做耐张;2018年12月16日10:00对110 kV李平一马支线光缆实行停役令(陆港站至马坊站、陆港站至平谷站),拆除L1#塔光缆接头盒,将光缆接头盒位置更换为N1#塔,交信通公司在N1#塔熔接光缆接头盒;工作完成后拆除反向临时拉线;验收、消缺。

### 2.6 施工第六阶段

作业时间及内容:2018年12月17日15:00—20:00,共5 h,恢复110 kV李平一马支线2#塔小号侧引流线,测参、核相。

安全管控措施:恢复引流前用合格验电器验电,无电后戴绝缘手套用绝缘杆挂接地线。人员上下塔和在塔上移动不失去保护(配备全方位安全带、防坠器)。

## 3 结束语

随着输变电工程建设任务的不断加重,工程项目安全管理形式愈加严峻。安全管理工作必须深入基层,离开基层工作的上层工作都是没有意义的<sup>[1]</sup>。所有部门要按照工程建设的时间节点,对作业风险的安全措施进行严格把控。保证作业人员心中有数,保证安全技术措施得到有效执行。

## 参考文献

- [1] 李辉煌. 电力输变电工程建设安全管理[J]. 无线互联科技, 2017(21): 122-123.
- [2] 赵洪远. 输变电工程施工过程安全管理探讨[J]. 机电信息, 2015(30): 165-166.
- [3] 院向飞. 电力输变电工程建设安全管理[J]. 科技资讯, 2015, 13(16): 119-120.

(责任编辑:刘艳玲)

# 110 kV 变压器绕组变形故障的处理

白涛, 张琴琴

(国网石嘴山供电公司, 宁夏 石嘴山 753000)

**摘要:** 在对一台 110 kV 变压器例行试验时发现频率响应法、低电压短路阻抗法和绕组电容量测试试验数据异常, 通过试验数据分析, 发现绕组变形的潜在故障, 确定绕组变形的严重程度和变形位置, 为变压器的检修提供准确依据, 避免了事故的方法和经验。

**关键词:** 变压器; 绕组变形; 数据分析

**中图分类号:** TM41

在对某 110 kV 变压器进行预防性例行试验时, 发现此变压器绕组电容量与交接值、上次试验值相比较存在较大变化, 超过规程规定的标准值。

## 1 试验情况

### 1.1 变压器基本参数

主变压器型号为 SSZ10-63000/110, 额定容量: 63000/63000/63000 kVA, 绕组额定电压和分接范围:  $110 \pm 8 \times 1.25\%/38.5 \pm 2 \times 2.5\%/11$  kV, 联结组别: YNyn0d11, 冷却方式: 自然油循环风冷 (ONAF), 出厂日期: 2004 年 11 月。根据运行记录, 该变压器投运以来未经历短路电流冲击, 历次预防性试验数据正常, 运行状况良好。

### 1.2 绝缘油色谱分析

在历次对该台变压器例行油色谱试验分析中, 均未发现油中溶解气体含量有增长趋势, 特征气体组分正常, 结果如表 1 所示。

### 1.3 电气试验分析

#### 1.3.1 绝缘测试和绕组直流电阻测试

绝缘试验主要进行铁芯、夹件对地绝缘电阻测试, 高、中、低压绕组连同套管的绝缘电阻测试, 测试结果均符合规程要求。直流电阻测试中高、中、低压绕组直流电阻无论与出厂值、上次试验值纵向比较还是三相横向比较, 均无明显变化, 满足规程要求。

#### 1.3.2 绕组电容量测试

三绕组变压器绕组电容等效电路图如图 1 所示。 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  为高、中、低压绕组对地电容;  $C_{12}$  为高压对中压绕组间电容;  $C_{23}$  为中压、对低压绕组间电容。

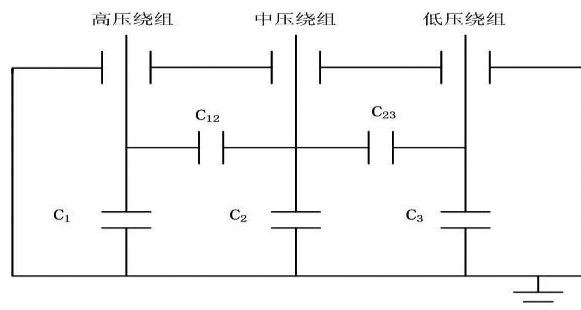


图1 三绕组变压器等值电容电路图

通过 5 次接线测得的试验数据联列方程组可以解出图 1 中的 5 个电容值。通常测试的绕组电容量为高对中、低及地  $C_{x1}$ , 中对高、低及地  $C_{x2}$ , 低对高、中及地  $C_{x3}$ , 高、中、低对地  $C_{x4}$ , 高、中对低及地  $C_{x5}$ 。通过列方程组可得出  $C_1 \sim C_3$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{23}$ 。如式 (1)~(5), 进而分析判断变压器绕组变形情况。

$$C_1 = (C_{x5} + C_{x1} - C_{x2}) / 2 \quad (1)$$

$$C_2 = (C_{x4} - C_{x3} - C_{x1} + C_{x2}) / 2 \quad (2)$$

$$C_3 = (C_{x4} + C_{x3} - C_{x5}) / 2 \quad (3)$$

$$C_{12} = (C_{x1} + C_{x2} - C_{x5}) / 2 \quad (4)$$

$$C_{23} = (C_{x3} + C_{x5} - C_{x4}) / 2 \quad (5)$$

对该台变压器进行绕组电容量测试, 试验数据

表1 主变色谱试验数据

时间	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	总烃	备注
2012.06.16	175.02	434.69	2410.90	20.28	9.48	12.90	0.00	42.66	定检
2013.04.02	175.48	459.79	2328.09	17.60	4.75	11.93	0.00	34.28	定检
2014.03.11	243.34	518.72	2744.22	24.48	6.89	13.80	0.00	45.17	定检

如表2所示。

表2 绕组电容量测试结果

测试部位	交接试验/nF	上次试验/nF	本次试验/nF	上次试验对比交接值偏差/%	本次试验对比交接值偏差/%
高对中低及地	14.66	14.63	14.13	-0.2	-3.62
中对高低及地	24.22	24.26	27.52	0.165	13.63
低对高中及地	23.67	23.61	27.51	-0.25	16.22
高中对低及地	16.83	16.98	20.62	0.89	22.52
高中低对地	16.72	17.03	16.95	1.85	1.38

变压器各部电容的变化，对应于不同绕组的变形。为了能更准确地利用变压器绕组电容量变化判断变压器绕组变形程度，应用式(1)~(5)求解，使用单一电容量 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{23}$ 分析判断，如表3所示。

表3 各绕组电容量的计算值

$C_x$	交接试验/nF	上次试验/nF	本次试验/nF	上次试验对比交接值偏差/%	本次试验对比交接值偏差/%
$C_1$	3.635	3.675	3.615	1.1	-0.55
$C_2$	1.305	1.305	1.415	0	8.43
$C_3$	11.780	11.780	11.920	0	1.19
$C_{12}$	11.025	10.955	10.515	-0.63	-4.63
$C_{23}$	11.890	11.780	15.590	-0.93	31.12

从表3计算出各绕组的电容量可以直观的看出，中压与低压绕组之间的电容量增加了31.12%，变化率最大；高压与中压绕组之间电容量也增加了4.63%；低压绕组对地的电容量增加8.43%，说明

了中压绕组在电动力作用下向铁芯收缩，导致中压绕组与低压绕组间的距离大幅度减小，高中压绕组之间的距离小幅增大，如表4所示。

### 1.3.3 变压器频率响应法测试

对该主变进行了频率响应法绕组变形试验，试验结果如图2、图3、图4所示。

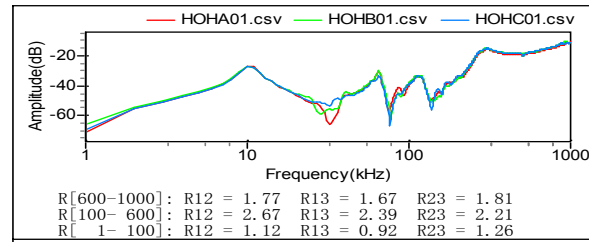


图2 高压绕组频率响应特征曲线

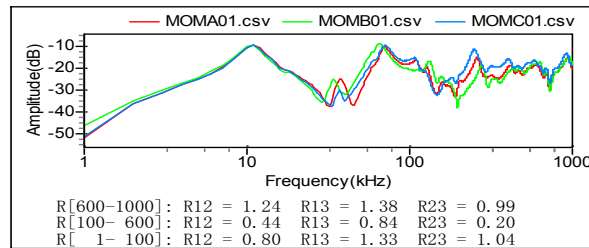


图3 中压绕组频率响应特征曲线

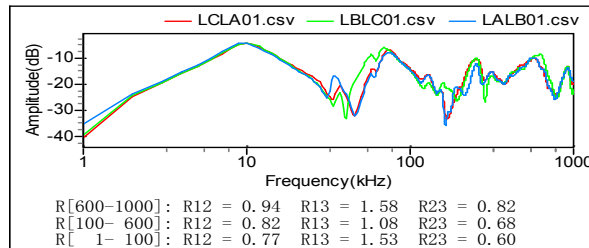


图4 低压绕组频率响应特征曲线

从图2可以看出，高压绕组各频段相关性基本良好，谐振峰值位置和大小基本没有明显变化。从图3可以看出，中压绕组低频段相关性基本良好，谐振峰值位置和大小基本没有明显变化，但在中、高频段相关性较差，三相横比图谱重合性较差。从

表4 低电压短路阻抗试验结果纵向比较

分接位置	$U_{ke}$	$U_{k04}$	$U_{k14}$	$\Delta U_{k04}$	$\Delta U_{k14}$
高压(1档)—中压(3档)	10.64	10.5145	10.864	-1.1798	2.11
高压(1档)—低压	18.3	18.0080	18.027	-1.5956	-1.49
高压(9档)—中压(3档)	10.15	10.0578	10.382	-0.9080	2.29
高压(9档)—低压	17.85	17.6193	17.578	-1.2922	-1.52
中压(3档)—低压	6.22	-	5.7946	-	-6.84

表5 低电压短路阻抗测试结果横向比较

分接位置	相别	电抗 $X/\Omega$	阻抗 $Z/\Omega$	阻抗/%	变化率/%
高压(1档)—中压(3档)	a x	26.008	26.025	11.198	4.5650
	b y	25.345	25.359	10.912	1.8868
	c z	27.209	27.227	11.715	9.3925
高压(1档)—低压	a x	41.941	41.958	18.054	-2.194
	b y	43.342	43.361	18.658	1.0753
	c z	42.112	42.138	18.132	-1.776
高压(9档)—中压(3档)	a x	20.599	20.616	10.734	4.9298
	b y	19.952	19.965	10.395	1.6138
	c z	21.599	21.615	11.254	10.013
高压(9档)—低压	a x	33.854	33.869	17.634	-1.975
	b y	34.869	34.884	18.162	0.9608
	c z	34.002	34.021	17.713	-1.536
中压(3档)—低压	a x	1.2901	1.2920	5.4917	-12.82
	b y	1.4665	1.4703	6.2494	-0.801
	c z	1.1877	1.1937	5.0739	-19.46

图4可以看出, 低压绕组在各频段尤其是中高频段相关性差, 波形重合性也差。依据频率响应曲线初步判断中压侧、低压侧线圈存在变形。

### 1.3.4 低电压短路阻抗测试

注:  $U_{ke}$  为铭牌值,  $U_{k04}$  为2004年交接值,  $U_{k14}$  为2014年实测值,  $\Delta U_{k04}$  为  $U_{ke}$  与  $U_{k04}$  的相对变化率,  $\Delta U_{k14}$  为  $U_{ke}$  与  $U_{k14}$  的相对变化率。

由表4和表5可以看出, 试验数据与铭牌值或初始值相比, 或三相互比, 发现该主变低电压短路阻抗测试数据发生了明显变化。

## 2 试验分析结论

由于中压侧绕组发生了明显变形, 改变了各级绕组相对电容分布, 造成中压与低压绕组, 高压与中压绕组, 低压绕组对地的电容量出现了很大变化, 给电容分布造成了一定影响。绕组单一电容量与出厂试验和上周期试验相比变化量很大, 表明绕组本身松紧程度发生改变, 结构性位置发生偏移, 导致电容分布发生变化, 但并未影响变压器绕组的绝缘性能。

从频率响应法测得图谱可以看出中压、低压绕组在中频段(100~600 kHz)内波峰或波谷位置发生明显变化, 通常预示着绕组发生扭曲和鼓包等局部变形现象。可以基本确认该变压器中压、低压绕

组存在变形。

变压器短路阻抗及其电感分量与绕组几何尺寸及相对位置有关, 通过检测变压器阻抗的变化即可分析绕组状况。在短路阻抗试验中, 高压对中压、中压对低压的短路电抗及三相短路阻抗的变化率都已超标, 并且最负挡、额定挡、最正挡的短路阻抗及短路电抗的偏差量都很接近, 这表明中压绕组均已发生了变形, 且绕组变形状况相似。

综上所述, 初步判断该主变中压绕组、低压绕组明显变形, 该变压器应立即返厂检修。

## 3 解体检查及处理措施

### 3.1 解体检查情况

2014年12月4日, 1号主变返厂, 现场进行了解体分析, 具体情况如下。

吊罩后检查发现绝缘垫块有脱落和移位现象。

拆除上铁轭及铁芯, 拔出高压调压线圈及高压侧A、B、C相绕组无明显变形。

中压A相幅向严重变形, 如图5所示。低压A相有一定辐向内凹变形。

中压B相幅向也严重变形, 中压B相与低压B相由于变形粘连无法分开整体吊下, 如图6所示。

中压C相辐向明显变形, 中压C相与低压C相可分离开, 如图7所示。

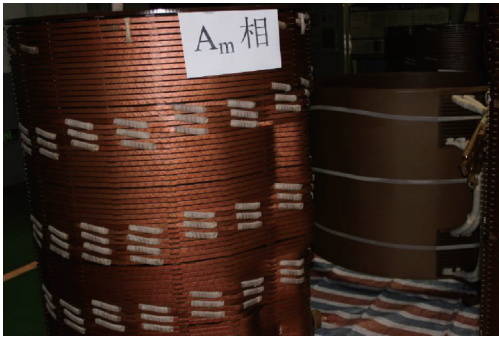


图5 中压A相线圈变形



图6 中压B相线圈变形



图7 中压C相线圈变形

### 3.2 处理措施

更换该台变压器高压、中压、低及调压线圈。

高压及调压线圈采用组合导线，中压、低压线圈采用半硬铜自黏性换位导线，所用导线屈服强度不小于  $150 \text{ N/mm}^2$ 。调压线圈、中、低压绕组均带硬纸筒，撑条数在原20档基础上增加辅助撑条，变为40档。

器身采用套装结构，所有线圈均按照  $5 \text{ MPa}$  进行压紧。

所有线圈均加装外撑条，油道垫块采用T4高密度纸板，副压板由  $40 \text{ mm}$  改为  $50 \text{ mm}$ ，以加强绕组轴向压紧水平，提高垫块等绝缘件的机械强度，强化绕组换位处的绝缘强度。

## 4 结束语

绕组变形是变压器运行中的一大隐患，运行经验表明，变压器绕组发生变形后，高压绝缘试验和油中溶解气体分析试验都难以发现，会形成潜伏性故障，对设备长期安全运行构成威胁。因此，应将频率响应曲线法和低电压短路阻抗法与设备预防性试验同步进行，逐步完善和收集变压器绕组变形状态信息，便于以后判断变压器有无变形。应在变压器受到短路电流冲击后核对各部电容量变化，配合短路阻抗试验、频响试验等数据，综合判断变压器绕组是否发生变形及绕组变形程度，可排除某些试验项目的误判断，为试验结论提供可靠的数据支撑。对发现试验数据异常的应全面分析，综合判断变压器内部有无绕组变形，绝缘损伤等故障，最终给出准确的变压器检修方案，以确保电网安全稳定运行。

### 参考文献

- [1] 仇炜, 吴伟文. 110 kV 变压器事故分析及处理 [J]. 变压器, 2013, 50(12): 67-70.
- [2] 陈天翔, 王寅仲, 海世杰. 电气试验(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [3] 韩爱芝, 刘莘昱, 曾定文, 等. 判断变压器绕组变形的简单方法[J]. 变压器, 2003(4): 8-12.

### 作者简介

白涛(1986.12—),男,大学本科,国网宁夏石嘴山供电公司变电检修室,助理工程师,主要从事变压器类设备检修、管理工作。

(责任编辑:刘艳玲)



# 一种智能快速型馈线自动方案

朱亚平

(国网安徽省电力有限公司池州市贵池区供电公司, 安徽 贵池 247000)

**摘要:** 介绍智能快速馈线自动方案, 此方案由智能快速永磁真空断路器来实现, 依照主干线的保护时间差异将馈线分为多段, 当出现保护、跳闸时, 可分段来选择操作。通过 SCADA 系统硬件的馈线数据采集器来获取馈线信息, 结合软件的计算、自动化检测、报警功能, 智能判断馈线当前状态是否正常。

**关键词:** 智能; 馈线自动化; 智能真空断路器

**中图分类号:** TM734

在自动化技术的普及之下, 许多电力单位为了提高供电水平, 选择了馈线自动化技术, 但此项技术存在处理时间较长的问题, 因此须加以改善。本文出于改善目的, 选择了一种智能快速型馈线自动方案, 并结合实例进行分析。

## 1 方案说明

本文结合电力公司智能快速型馈线自动方案进行分析, 本例中的智能快速型馈线自动方案由智能快速永磁真空断路器来实现, 通过该设备, 使原有馈电线路的主干线分段、分支线依照相应功能分界。智能快速永磁真空断路器可以在 25 ms 内, 实现保护、跳闸动作, 速度上具有良好表现<sup>[1]</sup>。

电力公司通过智能快速永磁真空断路器, 依照主干线的保护时间差异将其分为三段或四段, 当出现保护、跳闸需求时, 可以依照分段来选择性操作。而分支线方面, 可以在其出现故障时实现快速隔离, 以免对其他供电区域造成影响。在智能快速型馈线自动方案当中, 采用了 SCADA 监控功能, 提供可视化故障监控界面, 当出现异常现象时, 工作人员会在第一时间得知该现象, 提高了抢修工作的效率<sup>[2]</sup>。

## 2 方案应用

### 2.1 方案概况

电力公司供电管理辖区内, 存在大量 10 kV 架空线路双电源环网线路, 所有 10 kV 架空线路中, 统一配置了智能快速型馈线自动方案, 具体配置如图 1 所示。

结合图 1 对整体配置进行分析, 共分 5 个部分: CB1、CB2 代表变电站出口断路器, 该断路器实测延时时间为 0.3 s; S1、S2、S4、S5 代表分段智能快速真空断路器, S3 为联络智能快速真空断路器; S1、S2、S3、

S4、S5、S6、S7、S8、S9 均配置了 1 个三相 TV; S1、S2、S4、S5 在系统中实现了重合闸功能、三段保护功能、合闸加速保护功能延时合闸与分闸功能, S3 具备 S1、S2、S4、S5 的所有功能, 同时还具备单侧失压延时投入功能、双侧有压复归并闭锁合闸功能。

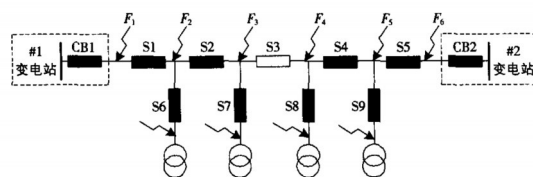


图 1 智能快速型馈线自动方案配置

### 2.2 故障分析

图 1 当中的 F1~F6 均为主干线上的故障点, 各故障点上都配置了相应的断路器, 下文将对每个故障点发生故障时, 断路器的运行方式以及结果进行分析。此外, 因为本例当中 F1~F6 故障现象存在重复现象, 所以根据重复情况, 只针对 F1~F3 进行分析, 其他不再赘述。

#### 2.2.1 F1 故障点

当 F1 故障点出现故障, CB1 会先启动保护跳闸动作, 动作延时时间为 0.3 s, 之后 S1、S2 会失去保护, 并在 100 ms 之后分闸, 随之 CB1 将在 0.5 s 后进行重合闸动作。在此基础上如果 F1 故障点的故障类型为瞬时性故障, 那么 CB1 的重合闸动作成功, 同时 S1、S2 依照排列顺序会恢复电力支撑, 并在延时间内合闸成功, 另外 S3 联络开关也会恢复计时; 如果 F1 故障点故障类型为永久性故障, 那么 CB1 的重合闸动作会失败, 此时启动跳闸闭锁动作, 同 S3 单侧将失压, 并延时 15 s 后进行合闸动作, 如无异常则合闸动作成功, 最终 S1、S2 恢复供电, 在延时 2 s 后合闸成功, 此时与故障后的加速保护跳闸并闭锁相接, 完成转移供电<sup>[3]</sup>。

### 2.2.2 F2故障点

当F2故障点出现故障,首先S1会在0.2 s延时之后对CB1启动保护速断跳闸动作,此时CB1、S1的保护功能因为没有反应会返回,相应S2将失去电力支撑,在延时100 ms之后启动分闸动作。之后S1将在0.5 s延时后启动重合闸动作,在此前提下如果F2故障点故障类型为瞬时性故障,那么重合闸动作就会成功,相应S2恢复电力供应并在延时后合闸成功,最终S3联络开关恢复计时;如果F2故障点故障类型为永久性故障,那么S1将会通过重合闸动作与加速保护跳闸接触形成闭锁,此时S3联络开关将单侧失压,并在15 s延时之后合闸成功,完成转移供电。

### 2.2.3 F3故障点

当F3故障点出现故障,首先S2会在0.1 s延时之后对CB1、S1启动保护速断跳闸动作,CB1、S1将不会有行动,S2将在0.5 s延时后启动重合闸动作。如果F3故障点的故障类型为瞬时性故障,那么合闸动作成功,相应S3联络开关将恢复计时;如果F3故障点故障类型为永久性故障,那么S2合闸动作将与加速保护跳闸相接触,并形成闭锁,此时S3联络开关将单侧失压,在15 s之后合闸,与故障后加速保护跳闸相接触,以此达到隔离故障目的。

## 3 方案的通信网络建设

结合上述分析,电力公司通过智能快速型馈线自动方案,对架空线路进行了保护,具有时间价值。智能快速型馈线自动方案的运行原理在于通信技术,通过此项技术实现了馈线自动化,因此对该系统的通信网络建设方法进行分析。

本例当中的通信网络主要以SCADA系统为基础,SCADA系统是一种具有数据采集、监视控制功能的技术系统,主要由计算机硬件来展示其内容,SCADA系统结构大致可以分为3个部分,即硬件、软件、通信。

SCADA系统硬件泛指计算机的服务器、显示装置、操作装置等,其中服务器主要实现硬件通信功能,可以用于接收数据传输、反馈数据指令等;显示装置主要实现数据可视化,即当服务区接收到数据之后,就会在显示装置上将数据展现给用户;当用户须对数据进行调整操作时,通过操作装置来输入相应的指令,最终再通过服务器将指令反馈到系统另一端。

SCADA系统软件泛指计算机内部应用程序,SCADA系统软件具有多种类型,例如数据储存、计算、自动化检测、报警等,所有软件的功能都是给SCADA系统提供可操作性的元素。

SCADA系统通信主要分为2个部分,即内部通信、外部通信。一般情况下,内部通信可以采用以太网来形成通信渠道;外部通信可以采用信号技术或者光纤来实现。

本方案馈线自动化实现流程如下:首先通过SCADA系统硬件的馈线数据采集器来获取馈线信息,然后通过采集器将数据转化为数字格式发送到服务器,服务器会将数据保存后发送到显示装置,同时启动显示装置的SCADA系统软件,此时人工即可看到馈线当前信息,其次根据信息,结合软件的计算、自动化检测、报警功能,会智能判断馈线当前状态是否正常,如果不正常,则根据预设逻辑来决策处理方案。上述过程均可被人工随时接管,同时主要由SCADA系统通信实现。

本方案在SCADA系统的结构基础上,为了确保系统相应速度,设计了线路故障快速响应机制,同时结合GIS技术来完成设备定位工作。首先将线路设备集成在管理系统当中,再在SCADA系统内嵌入GIS地理沿布图,管理人员可以对设备进行定位。根据设备定位情况,SCADA系统将线路与设备坐标一一对应、连接,此时就形成了单独的链路,这可以降低系统运作负担,满足快速响应需求。此外,为了给人工操作提供边界,在SCADA系统上,设计了相应的检索软件,人工可以直接搜索关键字来找到相应的链路。

## 参考文献

- [1] 罗伟文. 基于混合型配电网智能分布式馈线自动化故障定位方法研究[J]. 中州煤炭, 2017(12): 176-179.
- [2] 虞坚阳. 主动配电网智能分布式馈线自动化故障定位方法[J]. 南方电网技术, 2016, 10(12): 38-44.
- [3] 唐成虹, 杨志宏, 宋斌, 朱亚军. 有源配电网的智能分布式馈线自动化实现方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(9): 101-106.

## 作者简介

朱亚平(1977.03—),男,安徽池州,本科,技师,研究方向为电力调度自动化。

(责任编辑:袁航)

# 电力防误逻辑智能校核系统开发与应用

甘文琪

(广东电网有限责任公司肇庆供电局, 广东 肇庆 526060)

**摘要:**“五防”逻辑数据的正确性检查是目前运维班组的周期性工作之一, 每次检查一个变电站的“五防”逻辑是否改动过, 都须人工检查, 不仅工作效率低下, 而且准确率不高, 严重影响正常工作。电力防误逻辑智能校验系统可以实现逻辑文件的智能化验收, 避免了人工检查的疏漏, 减少了工作强度, 提高了验收的准确性。

**关键词:** 变电站; “五防”; 防误逻辑; 逻辑校核

**中图分类号:** TM734

目前变电站中的逻辑格式各异, 每个防误厂家都有自己的逻辑格式和编写规范。因此造成了变电站闭锁逻辑的阅读困难、维护困难等问题, 各个厂家之间的逻辑也没有统一的校验标准, 单依赖人工方式手动编写设备闭锁逻辑容易造成风险。因此, 对各种风格各异的变电闭锁逻辑进行校验分析和检查, 成为一项繁重的工作。而通过电子防误逻辑智能校验系统可实现“五防”逻辑的自动化审查, 可以大大减少“五防”数据错误的问题, 提高“五防”设备运行安全性, 同时可以有效地降低人工检查所产生的错误和效率低等问题, 能在所有变电站中推广应用。

## 1 系统的总体设计

通过汇总一次接线图各种接线方式和设备信息, 对输入的图形、设备信息数据进行处理, 生成标准化专家逻辑库, 与现有的手写逻辑进行对比, 分类输出逻辑检验结果。系统总体设计如图1所示。

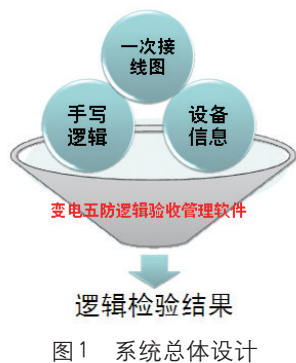


图1 系统总体设计

系统以标准专家库逻辑为基础, 对输入的手写逻辑进行校验核对, 结合标准逻辑规则库和手工逻辑, 以直观的方式对各厂家防误逻辑文件进行预演

比对, 对不符合项进行提示生成的结果。其原理框图如图2所示。

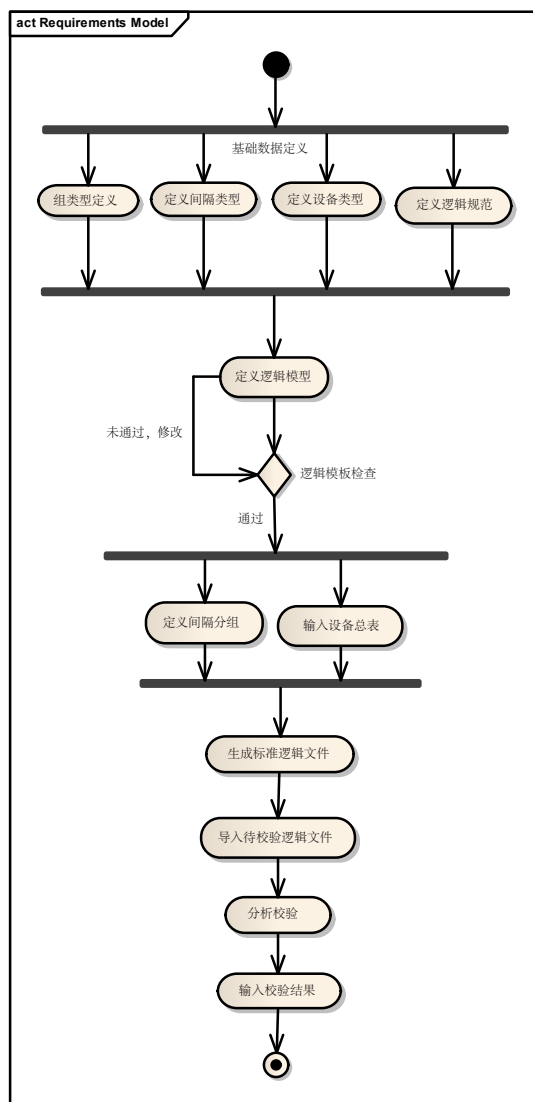


图2 系统原理框图

步骤1: 从“五防”系统导入已经编写好的逻

2019年第4期 总第383期 农村电气化 43

辑文本、设备类型等基础数据；

步骤2：导入带间隔类型和设备信息的变电站一次接线图；

步骤3：对“五防”逻辑进行抽取和解析，生成软件可辨认的逻辑格式；

步骤4：根据间隔类型和设备信息，自动生成专家库逻辑；

步骤5：把人工编写的逻辑与专家库逻辑进行对比校验；

步骤6：按“正确”“错误”“疏漏”“多余”等类型生成结果，并提供报告打印输出。

## 2 系统的组成

系统由应用层、逻辑层、数据层组成，模块原理如图3所示。

应用层：属于人机交互界面，通过输入须校验的逻辑文件，得到校验结果，对逻辑校验结果进行查询统计等操作。

逻辑层：分析各种变电操作的操作逻辑规则，分析各种设备操作的类型、设备种类、接线方式，形成操作逻辑规则，并建立规则库。标准专家库技术以自然语言描述“五防”规则，本系统内嵌入自然语言解析器，能将自然语言翻译成系统识别的代码，结合内置“五防”逻辑，完成各厂家防误逻辑的完整性和有效性的判断。

数据层：校验逻辑数据采集和报告模板定制模块，输入主流厂家防误逻辑，实现接口，建立逻辑关系模型。基于信息安全和系统稳定，有些厂家采取了加密手段，禁止非授权获取“五防”逻辑。这种情况下，要求厂家提供可读的“五防”逻辑文本。

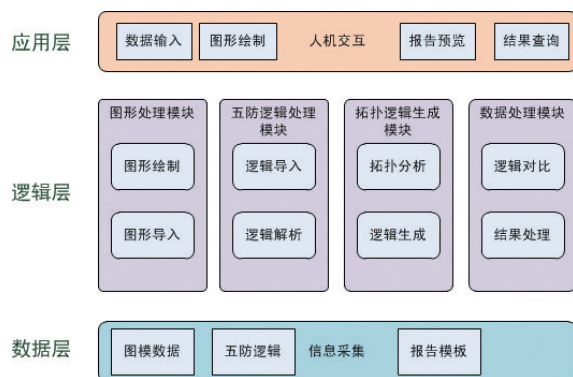


图3 系统模块

## 3 系统功能

### 3.1 防误逻辑验收智能管理平台

建立验收智能管理平台，实现系统的基础应用和配置功能，包括了系统设置、用户管理、角色权限管理、组织架构管理、数据库备份。

### 3.2 设备台账管理

建设“五防”设备台账是本系统的重点工作之一，对“五防”逻辑智能验收时，通过录入须验证的各站端防误设备的属性，包括编号、名称、间隔、设备类型、电压等级等数据以确定须验证逻辑设备的位置、关系。

### 3.3 防误逻辑标准规则库

通过建立防误逻辑标准库来实现对各个变电站的防误手写逻辑自动分析和校验功能，防误逻辑规则库的建立严格执行《变电站防止电气误操作闭锁装置技术规范》的要求，同时满足根据用户要求自定义防误逻辑规则库，支持全部或局部防误逻辑标准规则库的应用。

### 3.4 防误逻辑关系模型

研究建立一种崭新的防误逻辑关系模型，主要用于形成一套新型的防误逻辑关系，可根据模型关系将导入、输入的主流厂家设备的防误逻辑进行转换，转换为系统可识别的防误逻辑关系。

### 3.5 防误逻辑自动校验

输入的手写逻辑与防误逻辑标准规则库进行静态、动态计算分析，系统对被验证的逻辑自动校验。

## 4 逻辑模型设计

逻辑模型设计遵循的依据是在倒闸操作中防止发生下列5种误操作：误分、误合断路器；带负荷拉、合隔离开关或手车触头；带电挂接地线或合接地刀闸；带接地线或接地刀闸送电（合隔离开关）；误入带电间隔。

根据以上依据，设计出电气设备防误逻辑。

### 4.1 开关

在刀闸的逻辑满足“防止带电挂（合）接地线（接地刀闸）”要求的基础上，即在合刀闸时所有与刀闸两侧相连的（经过变压器或开关而未经刀闸隔离的仍然认为是相连的，以下同）地线和接地刀闸都在

断开位置，且为强制性闭锁，开关的闭锁逻辑可以不加条件，即开关的分合不受其他设备闭锁影响。

## 4.2 刀闸

### 4.2.1 母线侧刀闸(单母线)

合条件：本间隔开关在分位，且线路侧刀闸在分位，且所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：本间隔开关在分位，且线路侧刀闸在分位。

### 4.2.2 线路侧刀闸(单母线)

合条件：本间隔开关在分位，且母线侧刀闸在合位，且所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：本间隔开关在分位，且母线侧刀闸在合位。

### 4.2.3 母线侧刀闸(双母线)

合条件：满足下面两个条件之一

本间隔开关在分位，且线路侧刀闸在分位，且所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

间隔开关在合位，且另一母线上的母线侧刀闸在合位，且线路侧刀闸在合位，且所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置，且母联开关和母联开关两侧刀闸在合位（倒母线操作）。

分条件：满足下面两个条件之一

①本间隔开关在分位，且线路侧刀闸在分位。

②本间隔开关在合位，且另一母线上的母线侧刀闸在合位，且线路侧刀闸在合位，且母联开关和母联开关两侧刀闸在合位（倒母线操作）。

### 4.2.4 线路侧刀闸(双母线)

合条件：本间隔开关在分位，且任一母线侧刀闸在合位，且所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：本间隔开关在分位，且任一母线侧刀闸在合位。

### 4.2.5 母线侧刀闸(二分之三接线)

合条件：本侧线路开关在分位，所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：本侧线路开关在分位。

### 4.2.6 中间开关两侧刀闸(二分之三接线)

合条件：中间开关在分位，所有与刀闸两侧相

连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：中间开关在分位。

### 4.2.7 母联(分段)开关两侧刀闸

合条件：母联（分段）开关在分位，且所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：母联（分段）开关在分位。

### 4.2.8 旁路间隔旁母刀闸(双母线带旁路母线)

合条件：旁路开关在分位，且本间隔非旁母的母线侧刀闸在合位，且除本间隔外的其他各间隔旁母刀闸在分位，且所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：旁路开关在分位，且本间隔非旁母的母线侧刀闸在合位，且除本间隔外的其他间隔全部旁母刀闸在分位。

### 4.2.9 出线间隔旁母刀闸

合条件：旁路开关在分位，且旁路间隔旁母刀闸在合位，且其余各间隔旁母刀闸在分位，且旁路开关对旁路母线充电完毕，且所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：旁路开关在分位，且旁路间隔旁母刀闸在合位，且其余各间隔旁母刀闸在分位。

### 4.2.10 主变间隔刀闸

主变间隔刀闸参照出线间隔刀闸闭锁逻辑。

### 4.2.11 中性点刀闸

中性点刀闸的闭锁逻辑可以不加条件，即中性点刀闸的分合不受其他设备闭锁。

### 4.2.12 PT刀闸

合条件：所有与刀闸两侧相连的地线和接地刀闸都在断开位置。

分条件：分开中性点刀闸的闭锁逻辑可以不加条件，即分开中性点刀闸不受其他设备闭锁。

### 4.2.13 隔离小车

隔离小车按其位置参照其他刀闸闭锁逻辑。

### 4.2.14 开关小车

推入条件：开关在分位，且按小车位置参照其他刀闸闭锁逻辑。

拉出条件：开关在分位，且按小车位置参照其他刀闸闭锁逻辑。

### 4.2.15 接地刀闸

合条件：所有与接地刀闸相连的刀闸都在分位。

分条件：分开接地刀闸的闭锁逻辑可以不加条件，即分开接地刀闸不受其他设备闭锁影响。

#### 4.2.16 地线接地点

合条件：所有与地线接地点相连的刀闸都在分位。

分条件：拆除地线的闭锁逻辑可以不加条件，即拆除地线不受其他设备闭锁。

#### 4.2.17 网门

网门的开闭不直接涉及误操作，应结合现场安全条件编制闭锁逻辑，在网门打开后保障安全。

### 4.3 附加逻辑设计

#### 4.3.1 开关

变压器停送电操作开关前，相应中性点刀闸在合位。

变压器送电，先操作高压侧开关，再操作中、低压侧开关；变压器停电，先操作中、低压侧开关，再操作高压侧开关。

#### 4.3.2 刀闸

网门内设备送电的操作，合刀闸前网门应关闭。

#### 4.3.3 网门

打开网门前，所有与网门内设备相连的刀闸都在分位。

#### 4.3.4 其他

对部分不具备安装锁具进行控制的较重要操作，可采取提示性闭锁。如小车在试验位置、检修位置间拉出或推进。

## 5 结语

“五防”逻辑数据的正确性检查是目前运维班组周期性的工作之一，每次检查一个变电站的“五防”逻辑是否改动过，都需要人工一行一行的检查，不仅工作效率低下，而且准确率不高，通过本系统可实现“五防”逻辑的自动化审查，可以大大减少“五防”数据错误的问题，提高“五防”设备运行安全性，同时可以有效地降低人工检查所产生的错误和效率低等问题，每个班组管辖几十座变电站，应用前景非常好。

### 参考文献

- [1] 白东亚, 朱利锋, 王小林. 220 kV综合自动化变电站防误

逻辑验收探讨[J]. 2011, (6).

- [2] 曹凤. 微机防误操作逻辑闭锁规则编写原则浅析, 中国电机工程学会论文集(C), 2011.
- [3] 余亚林, 王俊峰. 微机五防装置防误基本规则及闭锁逻辑优化[J]. 广西电力, 2012(3).
- [4] 张纯. 隔离开关分全闸采用不同五防逻辑的解决方案[J]. 广西电力, 2011(33).

(责任编辑:袁航)

## 资讯

### 南方电网建成全国首个省地调度端程序化操作机器人

3月19日,南方电网广东电网省地调度端程序化操作机器人(简称“调度操作机器人”)正式投运,调度端程序化操作在广东中调及19个局完成功能部署,标志着广东电网省地调度操作机器人新模式基本建成,在全国范围内率先全面实现程序化操作功能部署。

实施调度操作机器人新模式后,南方电网广东电网省、地两级调度操作,由调度操作机器人在调度端实现远方遥控“一键操作”,操作设备与系统的隔离,全过程实现智能安全校核,而现场只须做安全措施相关的设备操作,线路停电时间最短至2 min。该模式革新了现有的工作流程,大大提升了操作效率,减少停送电、事故处理时间,有效防止调度人为误操作和现场人身伤害。

省地调度操作机器人已在东莞、佛山、惠州完成了线路停复电的操作试点,省地联动220 kV线路停电时间最短缩至6 min。该项目主要负责人潘远介绍,调度操作机器人模式具备现场设备改造简易,系统平台集约,省地流程关联闭锁,自适应切换操作模式,智能安全校核,涵盖一、二次设备(含线路地刀)程序化操作等特点。调度操作机器人创新模式在2018年获得中国电力管理创新一等奖,并被南网纳入全网调控一体化推广模式。

推进实施该模式的广东中调调度部长董错表示,初期东莞、佛山、惠州将实现省地调度端程序化操作,中调实现程序化自动发令(中调不控设备)。由于部分供电局新OCS系统更新换代,2019年南方电网广东电网公司19个局将全面实现调度操作机器人新模式。

来源:南方电网网站

# 电力安全质量管理平台的系统应用

赵辉, 张杰, 张英, 江澎, 张云峰

(国网辽宁省营口供电公司, 辽宁 营口 115000)

**摘要:** 在安全质量管理平台中, 电网资产质量管理系统是基于SG-CIM模型, 充分利用省公司数据中心(ODS)大数据系统、电力企业服务总线(ESB)以及Webservice技术路线实现数据横向推送集成; 依托两级数据交换平台(DXP)与企业服务总线(ESB)实现数据的纵向贯通; 通过采集的大数据与各项业务融合, 对设备(资产)运维精益管理PMS2.0系统、电力调度技术支持OMS系统、电力用户用电信息采集系统与SG186营销业务应用系统采集的终端运行数据, 进行融合与应用, 对电网规划、设备运行和检修维护等方面都具有指导作用。

**关键词:** 安全质量管理平台; 供电可靠性; 数据共享

**中图分类号:** TM73

电力是现代社会经济建设和发展的基础, 安全质量管理对电力企业尤为重要。国网安全质量管理平台涵盖可靠性、电压、频率数据, 为电网设备运维检修、电网运行调度、电力企业营销等业务系统应用, 相关设备运行数据的共享融合和集中管理提供保障。随着国家电网建设进入大电网、智能电网建设的新时期, 电网、设备运行的复杂程度显著增大, 电力系统的安全稳定运行问题日渐显现。如何快速实现资源调配, 形成典型规范的管理流程, 实现科学规范的企业管理, 对整体项目进行统筹规划和控制, 从而在安全管理、质量管控等方面取得显著提高, 使得企业能最大限度地适应现代化社会发展, 成为电力企业管理提升的热点。

电力安全质量管理遵循“统一领导、分级负责”的原则, 数据由下至上采集终端直接传至省网大数据中心, 各专业由上至下对相关数据进行管理维护, 公司总部统一领导, 各单位逐级开展质量管理。

## 1 主要做法

### 1.1 落实制度标准

认真贯彻落实《国家电网公司质量监督工作规定》《国家电网公司质量事件调查管理办法》, 严格执行《国家电网公司电力可靠性工作管理办法》《供电系统用户供电可靠性工作指南》和《辽宁省电力有限公司电力电能质量管理工作实施细则》要求<sup>[3]</sup>, 管理平台从电网运行实际出发, 对设备运行状况、运行质量、设备运行寿命周期进行全面监督管控。电能质量管理采用科学的数理统计的方法, 对设备

的运行状态及问题风险进行管控, 为设备运行改造维护, 提供重要的依据, 通过制定相应的改进措施, 提高安全质量管理水平。

### 1.2 确定供电可靠性数据管理流程

供电可靠性数据管理流程如图1所示。

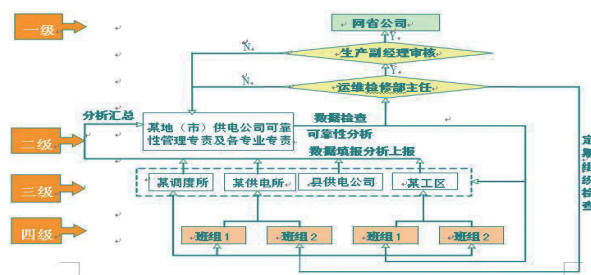


图1 供电可靠性数据管理流程

### 1.3 安全质量管理平台建设和职责分工

#### 1.3.1 成立电能质量在线监测系统管理体系

公司电能质量管理工作, 在省公司的统一领导下, 实行分级管理。按照管理层次分为国网各省电力公司、国网各地市电力公司、所属各县供电单位和工区(部门)、班站(站所)4级管理<sup>[3]</sup>。

#### 1.3.2 明确职责分工

省级电力公司: 负责贯彻执行国家电网公司电能质量管理相关规程、制度、标准和办法。负责网省公司范围内电能质量管理体系的建立、目标的制定以及数据的收集、审核、分析、上报和发布工作; 组织开展数据分析预测和评估, 监督促进工作的落实, 确保工作目标的顺利完成; 同时对所属单位质量管理工作的开展进行考评; 组织开展电能质量管理的经验交流和专题研究; 负责所属单位专业人员

的审核、培训和考评。

各地市电力公司：负责贯彻落实上级安全质量管理有关制度与规定，完成录入设备基础数据信息，组织开展数据审核工作，认真执行安全质量管理指标计划，对安全质量管理中出现的问题，进行分析制定改进措施。

县供电企业和工区（部室）：负责本单位（部门）安全质量管理信息的收集、统计、审核和报送工作，及时将本单位（部门）电能质量基础数据和运行数据等信息资料录入管理信息系统。

班站（站所）：负责本单位安全质量管理体系信息的收集、统计、审核和报送工作，及时将本单位的质量管理体系基础数据和运行数据等信息资料，按照国家电网公司要求录入管理信息系统。

#### 1.4 规范管理平台中电能质量在线监测系统数据管理

安全质量管理体系数据包含设备终端基础数据和设备运行数据2部分，设备终端基础数据管理是用户供电信息采集工作的重点，是电能质量管理体系中线路台账、用户台账、开关设备台账等信息的基础来源，是运行数据录入的基础，是供电可靠性指标统计的基础。

公司按照《中压用户供电可靠性线路分段细则》和《用户供电可靠性数据管理》的要求，各运行单位的管理员要结合线路单线图 and 变电站系统接线图健全可靠性基础数据台账，联合运检部、营销部、调控中心全面展开数据核查与对应工作，确保系统内输变电数据及城、农网供电基础数据的准确性，针对每一个无法确认对应关系的用户，都要到运行现场进行核实，保证安全管理系统数据的准确性。

设备运行数据主要包含集成停电事件确认和集成设备台账确认2个方面，它反映了一个供电企业在统计期间内配电网整体运行情况，包括计划停电、故障停电、限电、调电等用户停电信息，是电能质量管理体系中供电可靠率、停电时户数、用户平均停电时间、用户平均停电次数、平均停电用户数、停电持续时间等供电可靠性主要指标的基础来源，是电网供电可靠性指标的应用基础。

电能质量在线监测系统内集成停电事件要在入库24 h内完成确认操作，集成设备台账要在入库7日内完成确认操作，电能质量管理人员除工作时间

要对运行数据进行管理外，在每一个节假日内也要对数据进行管理，针对此种情况，公司制定了电能质量管理人员值班制度，负责对节日期间新集成的数据进行操作，保证了数据确认的及时性。

#### 1.5 电能质量在线监测系统实现的数据监测功能

##### 1.5.1 数据集成数量监测

电网频率：每小时1条，每日24条。

电网电压：每小时集成数根据本单位考核点数量确定，每日数量 = 24 × 本单位考核点数

供电电压：A、B、C、D，4类数据每日集成前一天数据，集成数据量 = 本单位A类监测点 + B类监测点 + C类监测点 + D类监测点。

可靠性相关电网运行数据：每日02:00、10:00、20:00采集。

可靠性停电事件数据：与主、配网的调度日志，检修计划等比对。

##### 1.5.2 数据采集质量监测

完整性：检查各类数据是否符合其在实际集成环境中的业务特征；检查某条数据必填字段值为空的原因。一致性：检查某条数据字段与字段间的数据逻辑准确性。合理性：检查某数据字段值的合理性逻辑约束，对异常数据进行监控，比如频率、电压值突然下跌，须监控与分析<sup>[2]</sup>。

##### 1.5.3 数据集成质量监测

及时性：按集成规范要求运维，数据传输及时性不低于95%，比如电网频率、电网电压要求整点后1 h内上传总部；供电电压监测点当日22:00前上传总部，供电电压数据次日04:00前上传总部。稳定性：数据传输稳定性不低于95%。安全性：实现数据每日增量备份、每周全量备份，每月反馈数据质量核查分析报告和系统运维分析报告<sup>[4]</sup>。

#### 1.6 组建系统工作微信群，方便信息沟通

国网公司组建了以网、省、市安全质量管理平台管理员为群主的“全国电能质量管理交流群”“辽宁电能质量工作群”“营口质量管理微信群”，如图2所示为辽宁省电能质量工作群交流截图。群内人员包含各网省地市分公司各专业电能质量管理专责，利用微信平台的实时性，在群内实时传递电能质量工作任务与各类会议信息，发布下一阶段的工作任务，解决工作中遇到的难题，适时提醒值班人员到



岗到位，“微信质量管理”模式方便了各单位人员的沟通，让电能质量管理流程更加透明、高效。

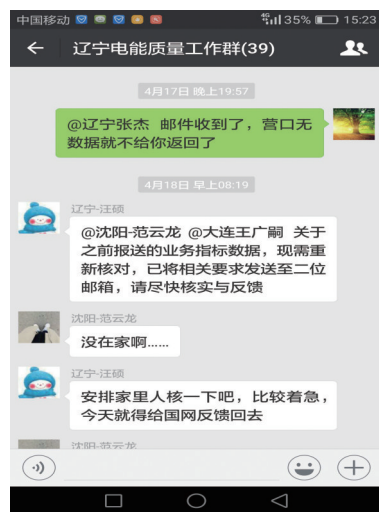


图2 工作交流群截图

### 1.7 系统整合

安全质量管理平台中，电网资产质量管理体系构成是基于SG-CIM模型，充分利用省公司数据中心（ODS）大数据系统、电力企业服务总线（ESB）以及Webservice技术路线实现数据横向推送集成；依托两级数据交换平台（DXP）与企业服务总线（ESB）实现数据的纵向贯通；通过采集的大数据共享与各项业务融合手段，对设备（资产）运维精益管理PMS2.0系统、电力调度技术支持OMS系统、电力用户用电信息采集系统与SG186营销业务应用系统采集的终端运行数据<sup>[1]</sup>，进行数据融合与展示应用，提高了数据采集的及时性、准确性和完整性，减少了业务数据的人工干预和维护工作量，同时还可将指标数据共享给运营监测中心及运检监指挥中心。

## 2 实践成效

2015年10月，电力安全质量管理平台的电网资产质量监督管理系统完成了项目体系建设工作。统计截止到2018年3月整个国网资产质量监督管理系统，采集涵盖了管辖区域近5年来电力用户供电可靠性、区域用户供电电压及频率相关电压质量数据，系统中含有中（高）压供电可靠性用户数量，110（66）kV及输变电可靠性台账数量，供电电压监测点数量，中压用户停电事件1亿多条，电网电压数据4亿多条，供电电压数据3000多万条，集成对应

关系5000多条。电网系统供电频率、电网系统供电电压、电网输变电系统供电指标达到小时级监测水平。电网系统供电现有注册用户2万多户，电力安全质量管理平台日均访问量5000多人次。实现了电网设备运维检修、电网运行调度、电力企业营销等业务系统应用，相关设备运行数据的共享融合，业务系统的互联互通集中管理。通过大数据采集应用共享，增强了公司科学管理水平，提升了公司电网安全质量管理能力，实现了设备运行安全风险的超前防范。

## 3 结束语

安全质量管理平台将各终端采集的数据通过与生产、调度、营销系统的成功对接并进行数据融合分析与展示，提高了数据采集的及时性、准确性和完整性，减少了业务数据的人工干预和维护工作量，真实反映电网的实际运行情况，为运营监测指挥中心分析提供依据。

安全质量管理体系应用在电力企业的实际生产管理中，通常将具体的指标转化为对用户、配电线路的全过程的质量和安全管理，并利用数据对用户、配电线路的可靠性状况进行全面、科学、系统地计算和评估，找出薄弱环节，为企业的管理、生产、发展提供更为科学的依据，实现安全质量管理指标的有效控制。

通过建立电力安全质量管理平台，不断完善系统优化配置，使安全质量管理体系不断适应电力企业的各项业务要求，依托平台数据，发挥各类数据的过程效能，为实现公司持续发展，更好的服务社会起到积极作用。

## 参考文献

- [1] 蔡大伟，基于LABVIEW的电能质量在线监测和分析[J]. 自动化信息，2016(6)：23-27.
- [2] 胡海平，电能质量在线监测系统的设计与实现[J]. 华南理工论文集，2012，4(3)：35-38.
- [3] 国家电网公司电力可靠性工作管理办法[M]. 2012.
- [4] 国网电能质量在线监测系统运维技术规范[M]. 2013.

## 作者简介

赵辉(1970—)男，汉族，本科 高级工程师。主要从事电力系统安全质量管理工作。

(责任编辑：袁航)

# 低压电力载波采集成功率影响因素浅析

周立志<sup>1</sup>, 杨晓波<sup>2</sup>

(1. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061; 2. 国家电网公司国际合作部, 北京 100016)

**摘要:** 低压电力线载波采集成功率是用电信息采集系统建设的基础, 主要梳理和分析了用电信息采集系统建设过程中影响低压电力线载波采集成功率的因素, 提出了很多切实可行的解决建议和意见。

**关键词:** 用电信息采集系统; 电力线载波; 采集成功率

中图分类号: TM73

电力线载波通信技术, 英文简称 PLC (power line communication), 它是指利用现有电力线, 通过载波方式将模拟或数字信号进行高速传输的技术, 其最大特点是无须架设网络, 投资少, 见效快, 与电网建设同步。基于此, 低压电力线载波通信技术正在被广泛应用于低压居民用户的用电信息采集中, 据统计, 全国已入网运行的低压电力用户采集系统中, 80%采用低压电力线载波方式。

低压电力线载波采集成功率(以下简称“采集成功率”)是用电信息采集系统(以下简称“采集系统”)的一项重要指标, 根据国家电网公司用电信息采集系统建设总体目标<sup>[1]</sup>, 2014年实现了对低压居民用户的“全覆盖、全采集、全费控”的建设目标。据了解, 目前全国大部分网省的用电信息采集系统已完成, 安装覆盖率基本满足目标, 但采集成功率距98%的建设目标仍有差距。如何提高采集成功率已经成为用电信息采集系统建设的重点工作之一。

采集成功率是采集系统极为重要的一项指标, 没有较高的采集成功率, 包括台区线损管理、预付费管理、远程费控、有序用电、统计分析等采集系统功能都无法完整实现。更为严重的是, 若采集成功率较低将造成数据失效, 不得不采取人工补抄, 既费时费力, 且违背采集系统建设初衷, 因此, 梳理、分析和解决影响采集成功率的各方面因素具有重要的现实意义。

青海省西宁供电公司目前安装覆盖率已达98%, 但采集成功率只有90%。2017年下半年, 西宁供电局对采集成功率低的台区进行了集中消缺, 并发现影响采集成功率的主要原因有工程施工、档案信息、载波通信、集抄设备和运行维护等几大方面, 图1为西宁市湟中区下属所有台区中影响采集成功率的

因素统计饼图, 涉及33个台区, 近1.1万只智能电表。

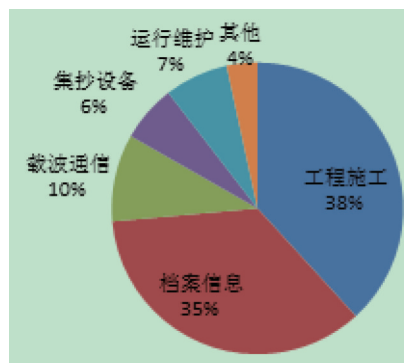


图1 影响因素饼图

## 1 工程施工

工程施工是采集系统建设的基础, 涉及设备安装、线路搭建、台区改造等方面, 由于工程施工错误影响采集成功率主要表现在2个方面。

### 1.1 485接线

采集终端和智能电能表的485端子接线错误是工程施工主要错误之一, 表现在接线错误、导线裸露、短路断路、接触松动等方面。

按照规范要求, 接入电能表的485导线应采用RVVP 0.5 mm<sup>2</sup>的屏蔽双绞线, 表箱间485导线采用RVVP 0.75 mm<sup>2</sup>的屏蔽双绞线, 使用插片或搪锡或冷压接头, 保证接触良好。为减少由于不匹配引起的反射、吸收噪声、抑制噪声干扰, 不得将485总线的屏蔽层断开。采用规范双色双绞线, 避免使用同色线导致485端子接反的情况发生。施工人员要善于使用万用表等辅助设备判断电表和采集器485端子的通断情况。

### 1.2 安装位置

对于低压电力线载波通信而言, 采集成功率受

到传输距离，信号衰减的影响巨大，因此，设备的安装位置显得尤为重要。

集中器一般要求安装在变压器附近，尽量靠近整个台区的中心位置，采集半径尽量小于500 m。采集器的安装须考虑楼层单元表计数量以及485导线的长度，避免超出有效通信范围，影响通信稳定性，1只采集器最多可以连接32只智能电表，智能电表的安装位置尽量集中，每5~10只电表可共用1只表箱，便于485端子接线，电表的分布尽量均匀，保证有效的载波中继能力，对于线路末端或中间有空杆较多的电表，应适当加装中继表。

图2为西宁市“上措龙1#变”工程布线图，该台区共有电表235块，1只台区总表，单相电线路分支多，传输距离远，线路未整改前，有近42块电表无法抄到，在增装1台集中器并移至台区中心位置和在线路末端增加中继表后，该台区采集成功率达到100%。

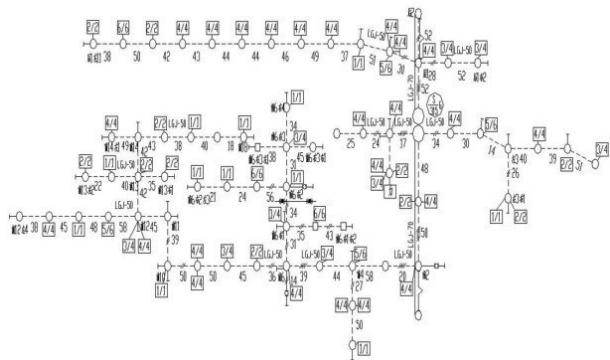


图2 典型低压电力载波工程布线图

为提高上线率和通讯稳定性，集中器的GPRS/CDMA天线要从表箱内引出，在距离地面5 m以上的位置安放牢固，保证信号强度在3格以上。根据现场表计数量和位置来确认采集器安装。计量表箱、分线箱安装要求牢固、美观、防水、防潮、防止小动物进入。

## 2 档案信息

档案错误是采集系统建设中经常遇到的问题之一，如台区资料不准确、不完整、归属关系错误、安装信息错误、表计“串台区”等，档案出现错误后，由于须要在营销系统中重新维护归属关系，导致此类问题的解决变得非常麻烦。

目前，全国大部分网省公司采取“自下而上”的档案汇总方式，因此，应该从台区采集专员（或抄表员）开始，重视档案信息的完整性和正确性，及时更新更正档案变化，并在批量实施项目前对准备实施的台区进行一次排查、梳理，提高归属关系准确率。

## 3 集抄设备

低压电力线载波抄表涉及的设备主要有集中器、采集器、智能（载波）电表等，各设备故障主要表现在以下几个方面。

### 3.1 通信故障

集中器地址错误或者GPRS/CDMA模块故障，导致终端无法上线。集中器、采集器、载波表的载波通信模块故障，导致采集失败。

### 3.2 设置错误

测量点的端口、波特率、规约类型等设置错误，导致采集失败。集中器地址、采集器地址、电表地址错误，导致采集失败。

对于设备质量问题，应加强对采集设备的检测工作，保证现场设备的高质量和高合格率。努力提高人员的专业技术水平，打造一支专业技术强的建设队伍。

## 4 载波通信

低压电力线载波抄表虽然是最符合电力系统特点的用电信息采集方案，即使在10 kV以上的高压电力线上应用也可以取得比较好的效果。但由于低压侧信息传输技术尚未成熟，特别是针对220/380 V的低压电力线，与高压电力线载波通信有较大区别，突出表现为信号衰减强、噪声干扰大、阻抗复杂、时变性强等特点，这些因素都直接影响到采集成功率，具体表现在4个方面。

### 4.1 信号衰减

低压电力线载波抄表系统中，载波节点多，电力线距离越长，信号衰减越剧烈。

电力线是非均匀不平衡的传输线，接在上面的负载的阻抗也不均衡，所以信号会遇到反射、驻波等复杂现象，且对于低压电力线路而言，三相电源所接的负载大小和性质各不相同，所以同样强度的

信号在三个相位上的衰减也不同。文献[2]中实验显示,载波信号的衰减与传输距离存在函数关系,一般为40~100 db/km,具体参考数据如表1所示。

表1 信号衰减对比表

电网类型	传输距离/m	衰减幅值/db
农村电网	500	50
郊区电网	250	20
城市电网	250	20
工业区电网	750	30

#### 4.2 噪声干扰

低压电力线上广泛存在的强噪声是限制载波数据传输质量的主要障碍之一<sup>[3]</sup>。在低压电网中,噪声干扰主要来自普通居民家用电器,如交直流两用电视、带可控硅的调光器等设备产生的随机噪声、平滑噪声及工频谐波噪声等。

由于此类电器种类繁多,而我国对电器上网的电磁兼容性要求没有欧美国家控制的严格,所以在一些地方,尤其是偏远农村和老城区,劣质节能灯,电子镇流器、开关电源电器等接入电网后,产生的谐波信号严重干扰采集系统的稳定运行。如图3所示为家用开关电源电器在通断时对低压电力线载波形成的噪声影响。

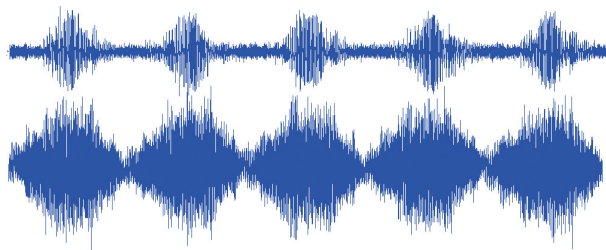


图3 低压电力线噪声对比图

对于噪声干扰较大的台区,建议从以下几个方面优化,提高采集成功率。

第一,调整集中器的位置,将集中器或者采集器移动到受变频设备影响较小的位置。

第二,修改集中器的采集时段,采集时间设置在噪声干扰小的时段,如凌晨1:00~6:00。

第三,采集时间,优化采集策略。

第四,提高集中器、采集器、载波电表的载波芯片性能。

#### 4.3 阻抗复杂

阻抗特性是干扰电力线传输的又一主要因素,实验表明,电力线的输入阻抗与频率有着密切的关系,低压电力线上的输入阻抗随着频率的变化而剧烈变化,可以从0.1Ω变化至100Ω,变化范围超过了1000倍。目前,低压台区阻抗和频率的主要特点包括:

地域差异较大,如城乡结合部线路的阻抗变化范围比城区大;

相同时间,不同位置的阻抗频率特性和变化趋势差别较大;

相同位置,不同时间的阻抗频率特性和变化趋势差别较大。

而且输入阻抗随频率的变化并不符合随频率的增大而减小的变化规律,而是甚至出现与之相反的特性<sup>[4]</sup>,这是由于电力线上连接了各种复杂的负载,这些负载与电力线本身组合成许多的共振电路,在共振频率及其附近频率上形成低阻抗区,同时由于负载会随机通断,所以在不同时间和位置,电力线上的输入阻抗会发生较大幅度的改变。

这些特点都须在选择载波通信方案和排除通信故障时,因地制宜,综合考虑台区的布线方式、使用年限、线路材质等因素。

#### 4.4 随机变化

由于低压电力线直接面向电力用户,用户接入负载的情况十分复杂,难以预测,干扰“因时而变”和“因地而变”,这也使电力线载波通信仍然面临很多技术难题。此外,一些自然因素也影响着电力线载波通信的稳定性和可靠性,雷电干扰便是其中之一。雷电干扰分为直接雷击和感应雷击。虽然低压线路本身具有避雷措施,且安装于断路器内部,直接遭受雷击的几率很小,但感应雷击可以穿越保护,产生浪涌过电压,干扰通信效果,甚至损害载波设备。

随机变化的特性还表现在同一电网的不同位置,甚至在同一个位置的不同时段,其衰减值相差很大,并且随着频率的上升,衰减也随之增大。这也成为限制低压电力线载波通信发展的主要难题之一<sup>[5]</sup>。

由于低压电力线受人为因素影响较大,很多人因素也会降低采集成功率,如采集设备、智能电

表、端子接线受到破坏等。

## 5 运行维护

用电信息采集系统在安装和调试完成后,进入实际应用阶段,该阶段的主要工作是保证系统稳定运行和其他日常维护等。运行维护工作包括线路的优化整改、台区的管理监测、设备的维修更换等。

低压电力线载波采集设备主要包括集中器、采集器、专变终端和智能电表等,这些设备的使用寿命一般为8~10年左右,但从目前实际应用情况来看,每年有将近有1%左右的采集终端和8%左右的智能电表需要维修和更换,对于系统而言,设备的维修更换和档案的维护更改将显得尤为重要。

日常维护中,其他方面的工作还包括预防设备被盗、损坏、断电等问题,同时对用户的拆除或迁移应及时记录上报。

## 6 其他

因为载波下行通道技术标准尚未规范,目前各载波方案之间还不能实现互连、互通、互换,这使得用电信息采集系统的核心作用得不到充分发挥,再加上同一地区相邻台区若有多种载波方案,互相干扰、串扰时有发生。

如何建立、规范和统一多种载波采集方案将是未来系统建设的一个主要课题,这也须要相关部门、载波方案提供商和终端厂家等有关方面的共同努力。

用电信息采集系统建设涉及施工、监理、营销、计量、客服等环节,要提高低压载波采集成功率,须要各部门协同合作,积极沟通,对整个采集建设实行全过程质量控制与管理,对采集系统建设和运行过程出现的各种问题及时予以解决,重点对采集成功率较低的台区进行集中消缺,定期对采集设备进行维护,采集成功率的提高定能水到渠成。

## 参考文献

- [1]. 电力用户用电信息采集系统功能规范: Q/GDW373-2009[S].
- [2]. 高金辉, 申杰奋, 杨军平, 等. 低压电力线载波通信干扰因素的解决方法[J]. 河南师范大学学报, 2007, 35(2): 89-90.
- [3]. 孙海翠. OFDM技术及其在低压电力载波通信中的应用研究

[D]. 河海大学计算机与信息工程学院, 2007.

- [4]. 卢志忠, 孙红敏, 李玉清. 低压电力线载波通信信道传输特性分析[J]. 黑龙江电力, 2002(6): 45.
- [5]. 孙海翠, 张金波. 低压电力线载波通信技术研究与应用[J]. 电测与仪表, 2006(8): 55.
- [6]. 吕仲瑜, 孟力. 低压电力线载波通信中的抗干扰问题[J]. 电测与仪表, 2003(6): 36-39.
- [7]. 陈长德. OFDM调制技术在宽带高速电力线通信中的应用[J]. 电力系统自动化, 2001(18): 55-59.
- [8]. 王慕坤. 通信原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1995: 105-109.
- [9]. 邓桂平, 李帆, 夏水斌, 等. 低压电力线载波通信的性能测试研究[J]. 湖北电力, 2001(6).

## 作者简介

周立志(1981—),男,江苏南京人,汉族,硕士研究生,从事用电信息采集技术的研究。Email: lizhi-zhou@sgcc.com.cn.

(责任编辑:袁航)

## 资讯

### 山西电力获中国腐蚀与防护学会科技一等奖

近日,笔者从国网山西省电力公司获悉,该公司最佳创新项目——“变电站接地网状态诊断与腐蚀防护技术研究及应用”荣获2018年度中国腐蚀与防护学会科学技术一等奖。

中国腐蚀与防护学会是国家一级学会,是中国科学技术协会的组成部分,面向国民经济建设,多年来,该协会积极宣传腐蚀对国民经济建设带来的危害以及防护技术对国家可持续发展的重要性,为繁荣发展我国的腐蚀科学技术事业作出了巨大贡献。此次中国腐蚀与防护学会授予山西电力科学技术一等奖,是对山西电力在腐蚀和防护领域的科学研究与技术开发中所作贡献的肯定与鼓励。

该项目通过对变电站接地网状态评价与腐蚀监测防护技术的研究,有效提高了接地网故障诊断与腐蚀状态检测的效率和精度,可避免因接地网缺陷造成的设备损坏和事故发生,实现了变电站接地网状态检测和安全性能评价技术的突破,形成一系列创新成果。

目前,该科技项目成果已成功应用于山西省变电站接地网状态检测诊断与维护,并取得了显著的经济效益和社会效益,整体技术达到了国际领先水平。

来源:中国电力新闻网

# 基于物联网技术的充电桩 智能共享充电新模式

欧方浩

(北京华商三优新能源科技有限公司, 北京 通州 100123)

**摘要:** 全面阐述了私家充电桩智能共享充电平台的整体开发过程、设计思想和设计流程, 对平台App功能模块和云端后台功能模块的设计过程进行了具体的阐述。并对国内首家“私家充电桩智能共享充电运营平台”运营情况进行了综合评价。

**关键词:** 充电桩; 物联网; 共享充电

**中图分类号:** TP311.5

电动汽车的普及应用已逐渐成为一种解决全球能源危机和环境污染问题的有效措施, 目前, 中国电动汽车已经进入了产业化阶段<sup>[1]</sup>。但电动汽车的发展要跳出电动汽车的局限, 应将汽车、能源、交通、城市看作一个相互交融的整体来部署、规划和推进。

## 1 充电基础设施建设的现状及分析

中国电动汽车长远发展的关键点有3方面: 电池技术、充电基础设施、信息及通信技术。其中充电基础设施的建设和发展方向要遵循“网联化、智能化、共享化”以及三者之间的高度融合。

充电基础设施的建设涉及较多的管理单位, 包括电网企业、能源规划与发展、交通产业、城市规划建设等多个管理主体, 其发展需要政府的政策引导和市场的有效协调。然而我国缺乏统一协调的市场引导和政商沟通机制, 尤其在城市居民区域的利益相关资源和政商链整合方面存在不足, 在充电桩占地手续办理、充电维护管理等各环节仍面临着城市建设、小区物业管理、政府审批等多方面事务性的相关阻碍。由此, 在高密度的大城市普遍存在“安装充电桩难”和“大量私家充电桩闲置”的矛盾问题。因此, 采用物联网技术和充电基础设施研发的高度融合策略, 针对我国超大城市普遍存在的人口密度高, 地面空间面积稀缺的具体情况, 提出基于物联网技术的城市电动汽车智能化共享充电新商业模式就具有非常实际的意义。

## 2 电动汽车用户的用电需求

城市电动汽车的用电需求具有3个特殊性: 可

移动性、多样性、分时性。

**可移动性:** 作为交通运输工具, 同一辆电动汽车可能会停靠在多个不同的位置, 其用电需求也会在不同停靠位置间移动, 因此针对传统电网用户设计的“定点用电、定点计费”的用电服务方式就不再适用, 而必须为电动汽车用户提供“多点用电、多点计费”的用电服务方式。

**多样性:** 不同种类电动汽车用户的用电需求不同。如电动公交车、环卫车、出租车和私人轿车的用电需求存在较大差异。其次, 同一个电动汽车用户存在多种用电需求, 既有对电池快速更换的需求, 也有对直流充电和交流充电的需求。

**分时性:** 电动汽车的用电需求可由用户来自主选择分配充电时间。就目前采用的慢充技术而言, 一般可在5~8 h完成充电过程。据统计, 90%的汽车有95%的时间处于停驶状态, 这意味着通过合理的激励手段和物联网技术, 将私家充电桩加入到统一运营管理平台中, 实现1台充电桩可同时满足多台电动汽车的充电需求。

独立和孤立的充电桩不能满足电动汽车的可移动性用电需求, 城市充电基础设施必须具备网络化的属性, 通过合理优化充电桩的物理网点布局和物联网信息平台, 构建一个有机共享充电服务网络, 实现高效、智能、规范的网络化建设和运营平台。

## 3 智能共享充电新模式

为了缓解北京现存的充电难、停车难等问题, 本文提出私家充电桩智能共享充电新模式, 通过研制私家充电桩智能共享充电平台, 其业务架构如图

1所示,能够让私家桩用户将私家充电桩分享出来,进入公共充电网络,既补充了公共充电网,又提高了私家充电桩的利用率。

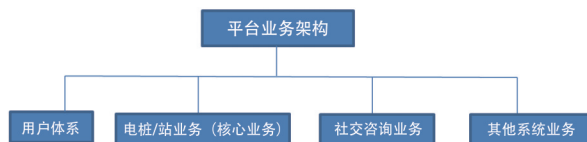


图1 智能共享充电新模式结构框图

智能共享充电新模式的核心是充电桩业主通过智能共享充电平台发布充电桩共享信息,由服务平台为他人提供充电服务。业主可通过自主定价、设定分享时段发布充电桩的共享信息。电动汽车客户与业主联系,建立合约后,业主利用网络平台向客户发送临时授权码。客户通过手机蓝牙或扫描私人桩专属二维码连接充电桩后可操控共享桩的启停,充电桩正确识别用户,允许用户对充电桩进行充电操作,并将消费数据发送至用户、业主和云端,提供结算依据。

智能共享充电平台结构如图2所示,功能实现

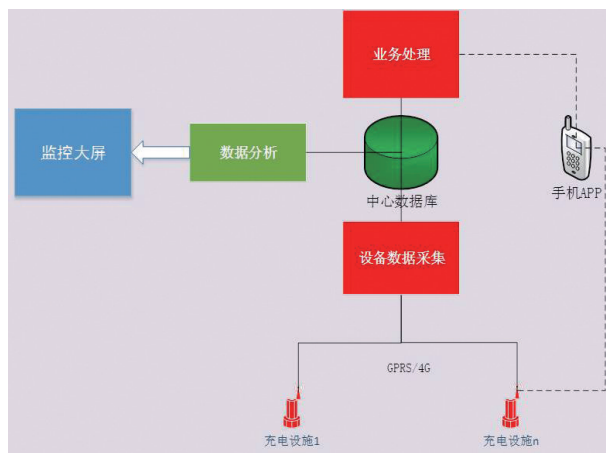


图2 智能共享充电平台结构框图

主要依靠3个手段:第一,研制蓝牙充电桩系统,主要包括智能控制器、充电机、蓝牙模块、GPRS+GPS位置通讯模块等。第二,研制利用手机智能终端实现人与蓝牙充电桩信息交互和智能控制的软件,即蓝牙充电桩智能共享充电App。电动车用户使用手机终端利用蓝牙和GPRS技术与充电桩进行通讯,通过App软件实现人机交互、用户身份认证、充电控制、数据管理、与后台系统进行通讯等功能。第三,研制智能共享充电平台。基于“大云物移”技

术的云端平台管理系统支持App数据的长期存储及查询,提供App与充电桩之间交互的密钥颁发、充电桩管理及授权等。

智能共享充电平台,解决了用户闲置充电桩资源浪费的问题,缓解了城市充电桩建设用地紧张的问题,大大提高了现有充电桩的利用率。

#### 4 充电桩智能共享充电App功能模块设计

充电桩智能共享充电App功能模块主要由四个子模块组成,人机交互、用户身份认证、充电控制、数据管理、与后台系统进行通信等功能。如表1所示。

表1 充电桩智能共享充电App功能描述表

模块名称	实现功能
充电	扫码充电;蓝牙充电;输入运行编码充电。
寻找电桩	根据条件筛选,包括全部显示、私人电桩、充电站、只显示在线;地图、列表模式切换;电桩位置导航;电桩状态查看,包括桩的在线、离线,空闲桩个数。
关注	优易圈,包括站点评价、投诉建议等;发布评论;动态,包括充电桩、站等最新动态及咨询。
个人中心	我的订单,查询用户的充电记录;我的钱包,在线支付包括充电币、支付宝、百度钱包;我的收藏,对常去站点进行收藏;我的评价,评价管理;众筹标点,发现新站上报;电桩管理,私人电桩的分布、管理及分享电桩的充电记录;帮助与反馈;我的设置;关于优易充。

充电桩智能共享充电App功能结构如图3所示。作为充电用户使用界面来看,App主要体现出4大功能:精准找桩(地图找桩、列表找桩、筛选找桩以及关键字搜索找桩);快速充电(支持扫码充电和输码充电2种方式,您可扫描充电桩上的二维码启动充电,也可输入充电桩上的充电编码进行充电操作);互联互通(App系统内的用户名互联互通,轻松体验智能充电);安全支付(优易充小程序支持充电币免密支付、微信支付,更安全更便捷)。

#### 5 云端平台管理系统功能设计

云端平台管理系统主要由5个子系统组成,完成App数据的长期存储及查询,提供App与充电桩之间交互的密钥颁发、充电桩管理及授权等功能,

如图4所示。

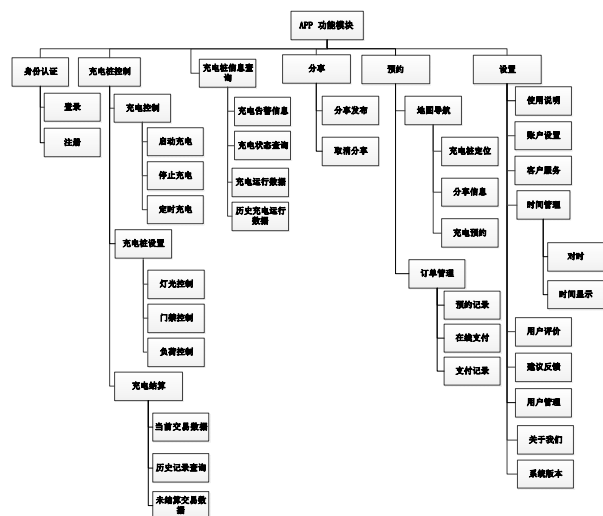


图3 充电桩智能共享充电 App 功能结构图

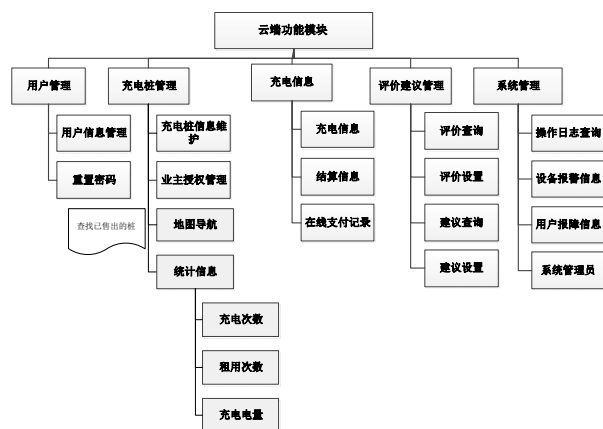


图4 云端平台管理系统功能模块

## 6 智能共享充电平台运营的效益分析

智能共享充电平台的建设目标是对北京市全市私人自用充电设施信息进行充分的整合，建立统一的数据平台；对电动汽车充电设施建设和运营环节实施统一监管，有序推进充电设施建设；成为全国首家电动汽车充电设施建设和运营信息的窗口展示平台，为政策制定提供科学有效的决策支持信息。

### 6.1 有利于提高私人充电设施的利用率

利用平台的建设，为广大私家充电桩业主提供一个私家充电设施分享且同时能够收益的平台，从而提高私家充电设施的利用率，这是电动汽车的充电网络的重要补充部分，为电动汽车推广普及有重要作用。简单讲：就是拥有私家桩的“桩主”在App自主发布

共享桩，设置充电费用和闲时共享时段，将自用桩变成共享桩。共享收益归桩主所有，平台不收取任何费用。电动汽车用户通过App“寻找电桩”“预约充电”和“在线导航”功能找到可预约的共享桩，并根据桩主设置的共享时段预约充电，充电完成后，在线支付直接付费到平台，桩主通过平台提现。“自用”“赚钱”一举两得，方便快捷。在2017年至2018年期间，据不完全统计，1台共享桩可同时满足4位车主的充电需求。平台已累计为近2万无桩车主提供充电服务11万次，为共享桩车主创造收益320万元。

### 6.2 社会效益

平台实现了用户需求和电动汽车、充电设施的信息化交互，使用户管能及时掌握全市充电设施的分布和使用情况，知道到哪里充电、充电桩是否可用。本平台的建设提升了北京市新能源汽车充电设施信息收集、收集的数字化水平；深度开发信息资源，可以实现管理信息化，决策科学化，从而实现整体工作的优化。

### 6.3 经济效益

本模式坚持需求导向、点面结合，保护投资、整合资源的原则，平台系统在充分利用现有网络资源和信息资源的基础上，通过统一规划、共同开发、互联互通，既可以盘活存量资源，又可以减少重复建设，节省投资。

平台应用人员可以对信息化采集数据进行综合分析，提高充电设施信息的分析速度，提高充电设施安全保障服务能力，提高管理效率，节约管理成本，充电设施的分享为用户创造收益的同时促进了产业推广和发展。

## 参考文献

- [1] 商车, 陈清泰. 电动车已经进入产业化阶段[J]. 商用汽车新闻, 2019(03): 9.
- [2] 气候组织, 贝恩公司. 低碳技术市场化之路, 电动汽车[EB/OL]. (2010-05-04) (2010-06-20).
- [3] 罗文雲, 周浩, 于乐淘, 李金宝. 国内外电动汽车发展现状及优化建议[J]. 中国集体经济, 2018(11): 15-17.
- [4] 李立理, 张义斌, 周原冰, 葛旭波. 我国发展电动汽车充电基础设施若干问题分析[J]. 能源技术经济, 2011, 23(01): 6-10.

(责任编辑:袁航)



# 快分快合消弧开关的研制

彭新立<sup>1</sup>, 李孟东<sup>2</sup>, 祁波<sup>1</sup>, 李春清<sup>1</sup>, 任晓东<sup>1</sup>

(1. 国网北京密云供电公司, 北京 密云 101500; 2. 国网北京顺义供电公司, 北京 顺义 101300)

根据规定:“带电断、接空载电缆线路与架空线路连接引线(以下简称:带电断、接电缆引线)应采用带电作业用消弧开关进行,不应直接带电断、接”。在带电班进行带电断、接引线工作中,因进口的消弧开关不具备快分功能,断电缆引线只能停电实施。

公司为提升供电服务质量,减少用户停电,向带电班提出断电缆引线也应带电实施。

QC小组进行网上搜索及专利查新,没有小组需要的快分消弧开关。

QC小组咨询国内生产带电作业用工具厂家及进口消弧开关的代理商,没有小组需要的具备快分功能的消弧开关。

QC小组对2016年4—10月的断、接引线的带电实施率进行统计,如表1所示。

表1 断、接引线带电实施率统计表

项目	上报数量/次	带电实施数量/次	带电实施率/%
带电断线路引线	34	34	100
带电接线路引线	56	56	100
带电断电缆引线	22	0	0
带电接电缆引线	27	27	100
合计	139	117	84.2

## 1 确定课题

小组经过讨论,一致认为解决带电断电缆引线工作时,也应考虑带电接引线工作,这样一件工具,可以满足2种工作的需要,最终小组确定以快分快合消弧开关的研制作课题。

## 2 设定目标

### 2.1 设定目标

QC小组确定,通过新型快分快合消弧开关的应用,将上报带电断、接引线的带电实施率达到

100%。

### 2.2 目标可行性分析

小组通过查找资料,“带电作业用消弧开关的切合电容电流能力 $\geq 5$  A、在开断状态下的工频耐压水平42 kV/1 min。”网上查找及生产厂家咨询,绝缘管材、棒材种类繁多,全部满足电气试验要求。具备绝缘工具加工能力的生产厂家众多。

## 3 提出方案并确定最佳方案

### 3.1 提出方案

小组成员围绕目标的实现,提出3种一级方案。

方案1:改造进口消弧开关,即改造进口消弧开关的操作机构,使其具备快分快合的功能,可以制作快分快合消弧开关。

方案2:利用真空泡加工,即利用开关柜内的真空泡,在其活动杆上加装推拉机构,可以制作快分快合消弧开关。

方案3:借鉴风箱原理来自制消弧开关,即导杆带动动触头在灭弧仓内往返运动,使动静触头闭合与开断。

### 3.2 一级方案分析评估

小组通过搜集资料分析对比,列出3种一级方案分析评估表,如表2所示。

### 3.3 一级方案进一步细化

经过小组对一级方案的分析比较,小组决定采用方案3研制快分快合消弧开关。下面将对一级确定方案进一步分解,从各个功能部件的选择进行细化。通过比较,小组发现钢化玻璃管须要在玻璃状态下加工制作,成品后再进行钢化,加工难度大,玻璃破损率高;抗冲击级透明塑料管在介电强度、冲击韧性、透明度、加工难易度等方面符合选择目标,最终确定抗冲击级透明塑料管作为灭弧仓制作材质。

绝缘导杆的材质有2种选择,一种是环氧树脂

表2 3种一级方案分析评估表

	一级方案1	一级方案2	一级方案3
项目	改造现有消弧开关	利用真空泡加工	自制消弧开关
工频耐压水平	开断状态、工频耐压水平 42 kV/1 min	开断状态、工频耐压水平 42 kV/1 min	开断状态、工频耐压水平 42 kV/1 min
分合电容电流能力	≥5 A	200 A	≥5 A
触点间距	150 mm	40 mm	150 mm
操作动力需求	0.39 N/mm	12.25 N/mm	0.39 N/mm
预计成品重量	3.5 kg	7 kg	3 kg
价格成本	进口消弧开关约5万元,改造费用约1.5万元,合计6.5万元。	真空泡约780元,改造费用约1万元合计1.078万元。	绝缘管、棒等各种材料约2000元,加工费约1.5万元,合计约1.7万元。
方案分析选择	1、在拉环位置加装拉簧; 2、改造消弧开关的动力机构,使动触头需要快分时脱离合闸动力; 3、不需对导线、引线的连接进行改造。 4、进口消弧开关设计紧凑,动力部件用途严谨,改造难度大。	1. 在真空泡动触头端连杆加装简易操作机构及动力源; 2. 在动触头连杆外连接引线,连接线路引线。 3. 静触头端改造可固定线路导线的紧固装置。 4. 在断路器开关连杆侧加装推拉机构较易。 5. 拉动断路器开关连杆动力源所需较大。	1. 绝缘管做灭弧仓,管内一端安装静触头。 2. 绝缘导杆可以在灭弧仓内往返运动,带动动触头与静触头分合。 3. 设置储能柄,推动绝缘导杆运动。 4. 由动静触头分别引出连接线。 5. 绝缘管棒材易加工。 6. 绝缘导杆的推动力需求不大。
是否采用	否	否	是

绝缘棒,另一种是尼龙棒,通过比较,小组发现尼龙棒的抗压强度、抗弯强度都低于环氧树脂绝缘棒;环氧树脂绝缘棒在介电强度、抗压强度、抗弯强度、加工难易度等方面均高于尼龙棒,符合选择目标,最终确定采用环氧树脂绝缘棒作为导杆制作的材质。

能量来源有2种材质可选择,一种是弹簧,一种是橡皮筋。通过比较,小组发现橡皮筋只能用于拉伸且受日晒老化严重,而弹簧具有压缩、伸展等多功能,不受环境影响,符合选择目标。

储能机构安装位置,如表3所示。

储能机构与灭弧仓连接方式有3种,包括丝扣连接、对侧卡口连接、对侧弹簧销,通过比较,小组发现卡扣连接强于丝扣连接,但在压缩状态下进行旋转,操作难度较大,而对侧弹簧销连接,只在进行压缩的同时,弹簧销自动销入定位孔,方便快捷,符合选择目标。

#### 4 制定对策

小组针对细化最佳方案得出的要素制定对策表,如表4所示。

表3 储能机构安装位置选择对照表

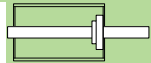

方案号	制作材质	对照指标			结论
		具备储能种类	消弧开关整体体积	加工难度	
方案1	在灭弧仓一侧安装 	拉伸储能、压缩储能	储能机构要在触头分离时满足导杆突出的距离	大	不采用
方案2	在灭弧仓两侧调换安装 	具备压缩储能	储能机构要在突出的导杆上满足压缩的距离	小	采用
综合评定	通过比较,小组发现方案1的在一侧安装所需弹簧,既具备压缩功能,还需具备拉伸功能,通过网站查询无同时具备2种功能的弹簧,而方案2各个条件符合选择目标,最终确定方案2采用储能机构两侧互换的安装方式。				

表4 对策表

项目	对策	目标	措施
灭弧仓的材质	抗冲击级透明塑料管	0.4 m耐压 42 kV/1 min	采用由0.5 m长抗冲击级透明塑料管制作
绝缘导杆的材质	环氧树脂绝缘棒	0.4 m耐压 42 kV/1 min	由直径为20 mm环氧树脂绝缘棒制作
能量来源	弹簧作为储能机构	弹簧的倔强系数不小于0.39 N/mm	采用直径3 mm钢丝,制作成直径50 mm长度210 mm的弹簧
储能机构安装位置	在灭弧仓两侧调换安装	灭弧仓定位孔两端一致	定位孔距灭弧仓管边距离2.5 mm,且两端距离相同
储能机构与灭弧仓连接方式	对侧弹簧销	自动弹入定位孔	将弹簧销设置在储能机构上,当储能机构套在灭弧仓到达位置时,弹簧销插入定位孔

## 5 对策实施

### 5.1 绘制满足快分快合消弧开关加工图

#### 5.1.1 确定新型快分快合消弧开关的工作原理

小组成员根据对策表,确定了操作原理:将动静触头分离并闭锁,将弹簧储能柄安装在动触头侧的导杆上,通过储能柄能量释放,推动导杆向静触头方向快速移动实现快合;将动静触头闭合并闭锁,将弹簧储能柄安装在静触头侧的导杆上,通过储能柄能量释放,推动导杆向动触头方向快速移动实现快分。

#### 5.1.2 绘制新型快分快合消弧开关图纸

小组成员按照原理,认真分析讨论,绘制了快分快合消弧开关设计图,如图1所示,并进行模拟操作,检验触点间距150 mm,如图2所示。

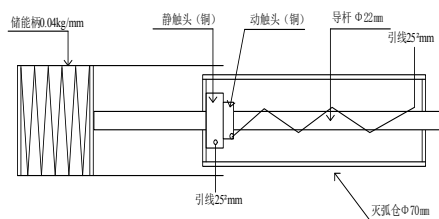


图1 快分快合消弧开关设计图

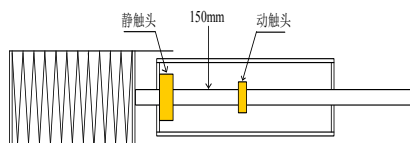


图2 动静触头距离

### 5.2 联系厂家制作

2017年1月8日,经过小组资质能力比对,确定采用北京潞电电气有限公司加工,并签订加工合

同。2017年4月17日,新型快分快合消弧开关加工完毕,如图3、图4所示。



图3 加工完成的快分快合消弧开关



图4 储能机构

### 5.3 整体测试

绝缘电气试验:2017年4月21日,公司试验班完成对快分快合消弧开关的电气试验,满足在开断状态下的工频耐压水平42 kV/1 min的要求。

切合电容电流试验：2017年4月21日，云电电气有限公司试验班完成对快分快合消弧开关的切合电容电流试验，切合电容电流能力 $\geq 5$  A，符合规定要求。

储能机构测试：经测试，弹簧弹力为83.3 N，满足0.39 N/mm的要求。

连接测试：小组成员将储能机构灭弧仓在静触头侧及动触头侧分别进行连接，连接方便可靠，两侧连接平均时间为2.46 s和1.52 s。

## 6 效果检查

2017年4月24日在培训线路进行检查，快分快合消弧开关动作正常，并确定操作步骤。小组向公司运维检修部提出现场应用申请，得到批准。2017年5月4日带电作业班在10 kV太韩路45#杆带电断、接电缆与架空线路引线工作中应用，效果良好，如图5所示。



图5 现场检验

自2017年5月4日至9月30日上报的断、接引线（含断、接电缆引线）106处全部通过带电作业方式完成，如表5所示。小组目标实现。

## 7 标准化

编制标准化作业指导书：小组根据操作步骤编制标准化作业指导书，并得到批准执行。

专利申请：小组将设计图及应用撰写专利申请并获得实用新型专利。

图纸归档：小组将快分快合消弧开关的设计图纸送公司档案室存档。

表5 2017年5—9月带电断引线、带电接引线实施率统计

项目	上报数量 /次	带电实施数 量/次	带电实施率 /%
带电断线路引线	21	21	100
带电接线路引线	23	23	100
带电断电缆引线	28	28	100
带电接电缆引线	34	34	100
合计	106	106	100

## 8 总结和下一步打算

通过此次QC活动，小组成功地解决了断电缆与架空线路引线不能带电作业实施的问题，并在活动过程中增加了对QC知识的学习与运用，同时还学习到很多关于材料的知识。

小组在活动中，发现快分快合消弧开关的引出线与导线连接时用时较长，小组计划以“快装线夹的研制”作为下一个活动课题。

（责任编辑：袁航）

## 资讯

### 国网雄安综合能源服务有限公司正式注册

近日，经雄安新区公共服务局和雄安新区管委会、国家市场监督管理总局分别核准，国网雄安综合能源服务有限公司（以下简称“国网雄安综合能源公司”）顺利完成工商注册。

根据国家电网有限公司“三型两网、世界一流”战略目标，以及关于高端高新产业入驻雄安新区的统一部署，国网河北省电力有限公司和国网节能服务有限公司在雄安新区合资注册成立国网雄安综合能源公司。作为国家电网公司在雄安新区从事综合能源服务的平台，该公司将充分应用“大云物移智”等新技术，充分发挥“枢纽型、平台型、共享型”能源互联网企业属性，以能源供应、能源综合管理、能源数据服务为主要业务，负责沟通协调新区政府，统筹内外部资源，一口对外参与具体项目建设，积极探索能源互联网发展路径，为国家电网公司打造世界一流能源互联网企业起到示范先行作用。

来源：中国电力新闻网

# 配电网分布式电源调控管理

范承宏

(国网浙江宁波供电公司, 浙江 宁波 315200)

**摘要:** 随着近年来分布式电源的迅速普及,其在电网中的比重也越来越大。而对于配电网,分布式电源的接入将会带来一系列问题。通过对各类影响的分析,从接入方式、负荷预测、故障处理、电能质量等四方面入手,讨论了针对分布式电源的调控管理方案,同时提出了通过控制分布式电源发电计划来提高负荷预测准确率的方案。

**关键词:** 配电网; 配电自动化系统; 负荷预测; 电能质量; 无线接入; 故障处理

**中图分类号:** TM72

分布式电源作为一种依托新能源的发电模式,具有供电可靠性高、意外发生时仍可继续供电、可对区域电力的质量和性能进行实时监控、网损低、调峰性能好等优点,他必将逐渐取代传统发电模式。

配电自动化系统是实现配电网科学管理的最主要的工具。它具有实时监控配电网、自动故障隔离及恢复供电等功能,因此,通过配电自动化的合理化应用,将接入分布式电源接入配电自动化系统,并制定相应的技术措施,是实现分布式电源调控管理的最优途径。

## 1 接入方式管理

以光伏发电为例,目前分布式光伏并网方式可分为全部上网、全部自用、自发自用余电上网3种。宁波市镇海地区基本上都采用自发自用余电上网的方式。在分布式电源接入配电网的过程中,调控机构应参与审查分布式电源接入系统方案,对短路电流、无功平衡、一次接线方式、主要设备选型、涉网继电保护及安全自动装置配置、调度自动化与安全防护等内容进行检查,并与用户签订并网调度协议,经调试满足并网运行条件后方可并网运行。

分布式电源接入配电网自动化系统的配置原则为:10~35 kV接入的分布式电源,应能够实时采集并网设备状态、并网点电压、电流、有功功率、无功功率和发电量等并网运行信息,并能上传至相关电网调度部门;其电能量计量、并网设备状态等信息应能够按要求采集、上传至相关营销部门。

目前,浙江地区10 kV分布式电源并网后,所采用的主要通信方式为无线方式,经调度安全接入区接入各级调度自动化。

以光伏为例,无线接入系统模型如1图所示。

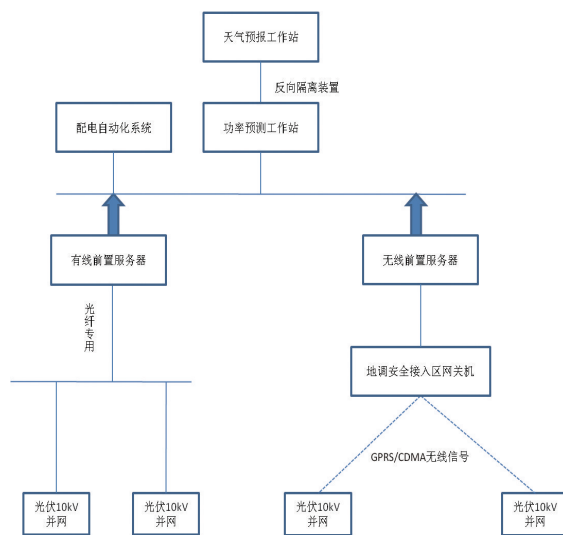


图1 浙江地区10 kV光伏无线接入模型

在并网装置上,兼顾安全性和经济性,融合保护、测控、电能质量监测、规约转换、远动功能、信息加密等功能,信息上送支持不同种类的有线方式和不同运营商提供的无线方式<sup>[2]</sup>。

## 2 负荷预测管理

由于分布式电源的不规则启停,给负荷预测带来了很大不确定性,因此须制定相关的技术措施来保证负荷预测的准确率。

设负荷预测值为 $P_y$ ,实际负荷值为 $P_s$ ,每15 min为一个采集点,则全天负荷预测值应为 $\{P_{y1}, P_{y2}, P_{y3}, \dots, P_{y96}\}$ ,实际负荷值为 $\{P_{s1}, P_{s2}, P_{s3}, \dots, P_{s96}\}$ ,设负荷预测偏差值为 $\lambda$ ,则:

$$\lambda = \frac{|P_{y1} - P_{s1}| + |P_{y2} - P_{s2}| + \dots + |P_{y96} - P_{s96}|}{96} \quad (1)$$

浙江地区要求的负荷预测准确率为不低于92%，即 $\lambda \leq 8\%$ 。

在接入分布式电源的配电网中，设系统中分布式电源总容量为 $P_{DC}$ ，假设 $P_{DC} \leq P_s$ ，则分布式电源所发电能均被系统所消纳，在这种情形下：

当 $P_{DC}$ 下降时，将会造成 $P_s$ 上升，由式(1)可知：若一天中有一半以上的 $P_y > P_s$ ，则 $\lambda$ 将会降低；若一天中有一半以上的 $P_y < P_s$ ，则 $\lambda$ 将会升高。

当 $P_{DC}$ 上升时，将会造成 $P_s$ 下降，由式(1)可知：若一天中有一半以上的 $P_y > P_s$ ，则 $\lambda$ 将会升高；若一天中有一半以上的 $P_y < P_s$ ，则 $\lambda$ 将会降低。

由此可见，当系统中分布式电源总容量小于等于系统总负荷时，当分布式电源由于天气、设备故障等非计划的原因停役时，须保证前一天的预测负荷尽可能多的高于实际负荷；同理，当分布式电源非计划增发时，须保证前一天的预测负荷尽可能多的低于实际负荷，所以负荷预测必须考虑天气预报、用户数据等多方面因素。

而上述结论也提供一种利用分布式电源来提高配电网负荷预测准确率的途径，即：当一天中有一半以上的 $P_y > P_s$ 时，可要求分布式电源减少发电量；当一天中有一半以上的 $P_y < P_s$ 时，可要求分布式电源增加发电量。

因此，为了提高具有分布式电源的配电网负荷预测的准确度，提出分布式电源调度计划管理的要求：分布式电源应严格执行调控机构下达的发电计划曲线（或实时调度曲线）；调控机构根据电网和分布式电源的实际情况，安全、经济安排并网分布式电源参与电力系统调峰、调频、调压、备用。并网分布式电源应按照值班调控员的指令执行；分布式电源应按规定向管辖调控机构报送检修计划，并按照调控机构下达的检修计划严格执行。

### 3 故障处理管理

由文献可知，配电自动化系统传统故障处理策略对分布式电源的接入有很大的适应范围，并且电缆馈线比架空馈线的适应范围大，逆变器并网型分布式电源比电机并网型分布式电源的适应性强<sup>[3]</sup>。因此，对于以光伏接入为主，且分布式电源容量不是很大的配电网，不需要更改配电自动化的故障判

断逻辑；对于风电、水电等电机并网型为主的配电网，可考虑整定变电站侧10 kV馈线开关的重合闸时间（>2 s）来保证传统故障处理逻辑不受分布式电源的影响。

### 4 电能质量管理

分布式电源用户在规划设计时，应考虑安装消谐装置，尽量减少谐波电流。在接入电网前，应对公共连接点的谐波电流、电压偏差、三相电压不平衡度进行检测满足规定标准后方可投入运行。

### 5 结束语

分布式电源接入配电网对电能质量、网损故障处理等多方面均有影响，需要针对各个方面制定全面的管理措施。

10 kV分布式电源的接入可通过无线方式，应在满足电力监控系统安全防护方案的前提下，制定无线接入流程，保证厂站与配电自动化系统之间的通信。

分布式电源的接入在不同的条件下对负荷预测的准确率会产生不同的影响，通过分析，我们可以制定出通过控制分布式电源发电计划来提高负荷预测准确率的方案。

对于分布式电源容量较大的配电网，在不改变配电自动化传统故障判别逻辑的基础上，可通过重新整定重合闸时间的方式来确保故障处理的准确性。

在分布式电源接入电网时制定相应标准来减少其对系统电压、谐波的影响。

### 参考文献

- [1] 刘健, 张志华, 黄炜, 魏昊焜. 分布式电源接入对配电网故障定位及电压质量的影响分析[J]. 电力建设, 2015, 36(1): 115-121.
- [2] 陈国恩, 张磊, 王跃强. 分布式电源智能调控系统研究与实践[J]. 电气技术, 2016(3): 90-93.
- [3] 王宏业. 探讨考虑分布式电源的配电网规划[J]. 通信世界, 2014(3): 154-155.

### 作者简介

范承宏(1989—),男,浙江宁波人,助理工程师,电力调度及配网自动化。

(责任编辑:张峰亮)

# 基于 PLEXOS 的电动汽车 附加负荷电力系统优化调度

孙哲彬, 赵晨旭, 闫志海

(内蒙古电力经济技术研究院, 内蒙古 呼和浩特 010000)

**摘要:** 试图使用电力建模 PLEXOS 软件对额外的电动汽车负载进行电力调度优化, 采用的数据来源于爱尔兰电力市场, 根据北爱尔兰系统运营商(SONI)和全岛电网(AIG)的最新文件和计划。利用 2025 年的发电和输电数据以及负荷需求预测, 建立了 2025 年单一电力市场的单代模型, 利用该仿真模型对特定需求负荷下的发电和供能调度进行了优化。

**关键词:** 碳排放; 电动汽车; 能源系统; PLEXOS 软件

**中图分类号:** TM732

近年来, 使用燃料油和天然气的传统汽车的快速增加引起温室气体排放和空气污染的加速增长, 已成为全球性问题<sup>[1-2]</sup>。为了摆脱对化石燃料资源的依赖, 减少碳排放, 以电力代替化石燃料的电动汽车 (EV) 引起了人们极大的兴趣<sup>[3-4]</sup>。虽然与传统的内燃机车辆相比, 电动汽车确实能产生更少的碳排放和消耗更少的化石燃料, 但是电动车充电需要为其提供电力供应, 因此为这些电力供应在火电厂生产过程一定可能产生额外的污染物排放。随着越来越多的电动汽车接入网络, 对电力系统的影响变得非常重要。因此, 评价电动汽车对碳排放的限制以及对电力系统的影响, 无论对政府还是决策者们都具有重要意义。此外, 规划电网系统的额外电力负荷需要预测排放量、电力负荷分配和系统成本<sup>[5]</sup>。电动汽车的充电负荷模型将受到电网连接方式、电池特性、用户习惯和市场因素的影响<sup>[6-7]</sup>。因此, 电动汽车作为一种充电负荷和灵活的存储装置, 可以为电力系统和其他辅助服务提供调制和备用, 推动了可再生能源的广泛应用<sup>[8]</sup>。

对电力系统进行的管理, 实际上为确保产生和分配足够的电力, 以满足预测的需求, 从而满足实时消费需求的波动。当电动汽车负载附加到电力系统时, 会产生额外的排放物。一些研究发现, 对于峰值充电的电动汽车渗透率较高的情况, 电力系统将很难应付电动汽车负荷的大小, 需要额外的发电能力来供应电力, 从而增加运行成本和电价<sup>[9-10]</sup>。相反, 其他研究发现, 峰谷充电可以增加基础负荷的调度, 从而降低运行成本, 提高电力系统的整体

效率<sup>[11-12]</sup>。Keoleian 等人提倡利用阶梯电价智能计量错开电动汽车充电峰值时间, 或将充电移至峰谷时段, 从而避免电动汽车充电高峰<sup>[13]</sup>。A. R. Boynuegri 发现, 最好避免堆叠充电, 因为通过对当地配电系统的分析, 这种方式可使变压器的预期寿命减少 50%<sup>[14]</sup>。克莱门特·尼恩斯等人和 Fernández 等人的研究报告均得出这样的结论: 高的 PHEV 充电水平会引起巨大的无功功率, 使电压变化, 增加配电系统的功率损耗和线路电流, 从而导致变压器和变电站的过载<sup>[15]</sup>。一些对电动汽车负荷的影响进行的研究, 得出的结论是, 不加控制的峰值充电将导致低效率发电和污染排放高峰, 电厂需增加发电最大值来满足电动汽车充电负荷, 从而导致基础模式中碳排放的增加<sup>[16]</sup>。Markel 等人通过 16 周时间的调查研究, 通过对电动汽车进行现场测试, 发现电车的停放时间占总时间的 90%, 因此在停放时调整充电的时间, 可用于电压支持、降低损耗和产生峰值负荷<sup>[17]</sup>。因此, 电动汽车负载对电力系统的影响取决于电动汽车负载的大小和使用的充电时间曲线。

由于电动汽车减少污染排放的能力与发电性质、电动汽车负载的大小、电动汽车的类型和充电时间密切相关, 本文以 2025 年的爱尔兰为例, 重点研究了电动汽车充电对电力系统的影响。我们试图通过电力建模 PLEXOS 软件<sup>[18]</sup>来优化电动汽车额外负载的功率分配和特定需求负荷下的碳排放。在 PLEXOS 中建立了电动汽车的单一发电模型和 4 种电动汽车充电时间曲线。对这些模型的计算结果进

行了分析，总结了未来电力系统中附加电动汽车负荷的影响。该调查可以为电力系统管理人员提供实时信息，确保发电和分配的电量能够满足预测的需求，满足实时用电需求的波动。

## 1 方法和参数

PLEXOS是一种电力仿真系统，可用于优化发电调度和为指定的需求负荷提供能源。PLEXOS采用混合集成程序，包括遗传算法（GA）、模拟算法（SA）和粒子群优化（PSO）。

## 2 结果和讨论

### 2.1 电动汽车负载对2025年电力系统的影响

本文在 PLEXOS 中建立了单一电力系统 (SEM)。SEM 系统通过 500 MW 莫伊尔连接器连接到英国电力贸易系统和输电安排 (Betta) 系统。假定对于 Moyle 连接器，任何现有的流量限制都将被消除，PLEXOS 到 2025 年将与 Betta 完全互连。2007 和 2008 年爱尔兰电网总能源需求数据是从 SONI (北爱尔兰系统运营商) 下载的，记录了 2007 年和 2008 年每小时的负荷需求。在该模型中，输电线路和节点也是简单地利用 2013—2014 年全岛发电能力的输电图建造。所有类型的发电组合如表 1 所示，是在不增加 EV 负载的情况下，由 SEM 为 2025 年分配的发电机总量。据预测，煤和风是基础负荷的主要贡献者，而在低风条件下，天然气被用作后备。天然气主要用于中优点和高峰负荷。有几个必须运行的泥炭发电工厂，也贡献了一个较小规模的基础负荷。根据英国燃料价格预测报告的燃料市场，燃油价格分别为：天然气 7.02\$、石油 12.06\$、煤炭 2.12\$、核能 3.18\$、水力发电零。爱尔兰政府曾制定过一个电动汽车发展目标，即爱尔兰在 2025 年达到电动汽车占车辆总数的 8%。通过对 1990—2008 年私家车销量、历史国生产总值和燃油价格之间的关系建立了回归分析。EV 负载的需求如表 2 所示。根据充电周期的不同假设，建立了 4 种电动汽车充电方案。这 4 种情况分别作为 2025 年总负荷需求的额外负荷添加到 SEM 中。这是通过 PLEXOS 中附加的买方功能来实现的。然后，研究了电动汽车负载对 2025 年电力系统和碳排放的影响。

表 1 2025 年无电动汽车负荷的发电组合

Fuel	Generation/GWh	Share of Generaion/%
Coal	6525.69	11.59
Distillate Oil	2.48	0.00
Gas	21797.59	37.32
Hydro	1825.78	3.16
Pumped storage	152.49	0.27
Wave	707.26	1.23
Wind	19979.85	34.71
Peat	2788.59	4.84
Interconnectors	3756.76	6.86

表 2 EV 负载需求的年度报告 GWh

EV Type	BEV	PHEV	Split EV fleet
BEV	—	—	391.98
PHEV Diesel	—	—	767.31
PHEV Petrol	—	—	255.77
Total EV load	1959.92	1278.85	1415.06

首先，对 4 种情况下的充电时间曲线进行了仿真模拟，如图 1 所示。到 2025 年，所有电动汽车负荷需求方案都采用了 8% 的电动汽车渗透率，充电效率达到 88%。非高峰充电时间曲线发生在中午 12:00 到早上 8:00 之间，高峰充电时间为下午 15:00 至 24:00，在这个时间段总用电量达到高峰。一个综合的 EPRI (电力研究所) 充电时间曲线设置为，最高的充电负荷通常在深夜和凌晨，而对于公共日间或工作场所，适度负荷被假设，它们通常发生在中午。对于随机充电时间曲线，它假定所有 EV 用户将在任何时间和地点为电动汽车充电。这与 EPRI 时间曲线是非常类似的，唯一的区别是随机百分比的每小时收费。

众所周知，电力供应将始终满足所需的负荷需求。对电力系统进行实时管理，以保证最大的电力和配电满足预测的需求，同时考虑需求的实时波动。因此，首先根据电力系统的计费特性，研究了 2025 年 SEM 和 EVS 的电力系统特性对电力系统调度的影响。



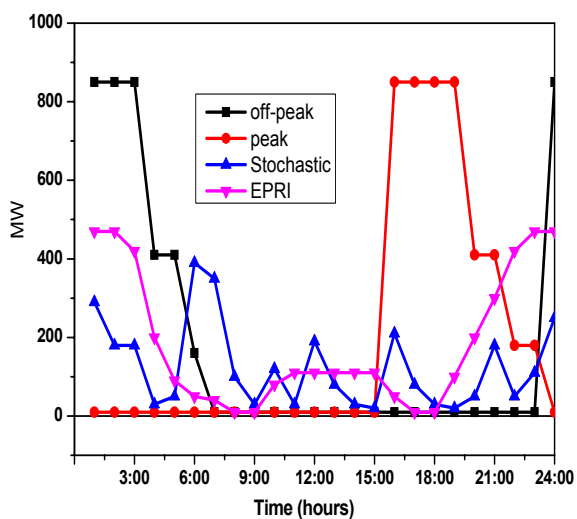
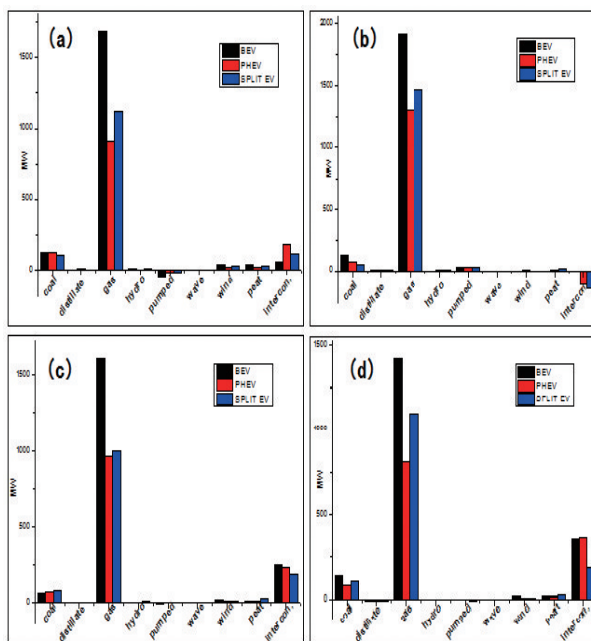


图1 非峰值、峰值、随机和EPRI场景的充电时间与耗电量

当电动汽车加入到电力网络中时，3种不同的电动汽车负载被包括在内，即PHEV、BEVS和PHEV电动汽车。在此基础上，分别研究了在SEM中加入的4种附加负荷对2025年总负荷需求的影响。图2(a)中显示，在2025年6月8日附加有电动汽车负载的1h发电调度中，研究发现，在非峰值发电模式下，在每一种电动汽车负载情况下，气体主要用于供电，而风和互连线发电的功率也得到了利用。相反，馏分油、水煤浆和泥炭发电对电动车负荷没有产生更多的影响，此外，电动汽车的非峰值充电会导致天然气为基础发电厂的配电的增加，这意味着这些中档的天然气厂被转换为基础负荷电厂。因此，通过在夜间补谷，优化基地负荷厂的运行能力，增加中优厂的容量因素，减少低效峰电站的调度，将提高电力系统的效率。在图2(b)中，与非高峰期间的充电时间曲线相似，在需求高峰期，燃气主要分配给电动汽车负载，同时还使用了风力和煤炭分配给电动汽车负载。然而，风力配电并不像非高峰充电方案那么重要，因为风能一般不会受到限制。此外，减少了煤炭配电的使用，以适应中优天然气厂的增加配电额度。结果表明，这个方案导致SEM效率下降，因为日峰值负载和平均日负荷的差异都在增大。由于容量因素低，峰厂效率低，中优厂的调度能力也有所提高。同时，降低了基础电厂发电的调度和容量因素，以适应中优厂和高峰厂的需要。图2c显示了随机充电方案，随机充电比峰值充电所

用的配电少，气体仍然主要用于驱动每一种电动汽车负载。同时，还使用了风、波和互连网充电方式，一个显著的区别是风力发电，在这种情况下，只有很少一部分来驱动电动汽车。此外，填补一些夜间低峰发电，使发电厂减少发电波动和更接近发电的最佳运作能力，从而提高产能因素，降低边际价格。对于EPRI充电(图2d)，观察到电动汽车负载的其余部分是由分配气体和互连网功率提供的，而风的分配功率则较少。



(a)非峰值充电;(b)峰值充电;(c)随机充电;(d)EPRI充电

图2 峰充电过程中各种电动汽车负载对配电的影响

因此，在所有的充电方案中，电动汽车的负载主要由燃气分配来充电，根据电动汽车负载的大小和充电周期，燃气由煤、风、抽水和互联电源辅助。非峰值、峰值和EPRI方案之间最大的区别是，除了非峰值充电方案之外，用于驱动电动汽车负载的风配电量大大减少。与无电动汽车负载的SEM系统相比，电力系统效率的下降因电动汽车负载的增大而加剧。然而，与其他情况相比，非高峰情况下，导致大量的基础负荷在一些峰谷填充，从而增加了发电机的容量因素和SEM电力系统的效率。还应该指出，随着电动汽车负载的增加，效率的提高更加突出。因此，电动汽车大负荷与充电周期之间的平衡会对电力系统的效率产生很大的影响。

表3 具有非峰值、峰值、随机和EPR充电场景的SEM特性

£

SEM Characteristics		BEV	PHEV	Split EV Fleet	Without EV
Charges in Total Generation Cost	off-peak	90994.41	61568.29	65703.1	1693576.61
	peak	111205	72253.88	78831.25	
	Stochastic	99761.17	66886.53	72922.21	
	EPR	100039.7	66043.93	72493.19	
Load-Weighted Average SMP (£/MWh)	off-peak	57.77	57.91	57.70	55.56
	peak	69.49	69.60	69.28	
	Stochastic	56.10	59.02	56.04	

2.2 系统边际价格分析 (SMP)

系统边际价格(SMP)由以下公式计算:

$$P = (C_v + M) / Q$$

式中:  $P$  为边际价格;  $C_v$  为可变成本;  $M$  为边际贡献。因此, 如果边际贡献大于固定成本, 供应商可以从中获利。计算的收费费用如表3所示。可见, 电动汽车负载越大, 总发电成本、SMP和充电成本就越高。虽然电动汽车在非高峰时段的收费成本低于峰值充电时段, 但电动汽车支付的平均负荷加权价格是非高峰和高峰充电方案的中间值, 因为电动汽车的负载分布在一天之内。此外, 由于随机充电的随机本性, 电厂的调度每天都在波动, 导致发电成本增加。因此, 在所有收费方案中, 随机充电模式收费的总发电成本增幅最大, 对PHEV的收费幅度也增加最大。

随着电动汽车负载的增加, 这些效益更加明显。表4显示了对于分裂的EV车队负载方案SMP随着EV负载的增加而降低。增加的电动汽车负荷允许中等和基础电厂配电更多的额度, 这表明电力系统的效率会提高, 这有利于等多的电动汽车使用。因此, 如果供应商想获得固定的利润, 在夜间更多的调度配电将更好地利用浪费的电力, 从而降低电厂的损耗, 就会获得较低的边际价格。因此可以推断电动汽车的非峰值收费可以使这一边际价格更多的降低。

也可以从表3中观察到, 由于非高峰的电动汽车负荷的增加, 计算的2025年SEM的总发电成本增加。与SMP相似的是, 随着电动汽车负载的增加, 风力电的贡献因子减小。总之, 与没有电动汽车负载的情况相比, 2025年SEM的总发电成本在计算的4个模型中都在增加。通过避免发电机启动成本, 与其他方案相比, 非峰值和EPRI模型费用的增加可以达到最小。费用增加幅度最大的是峰值收费方案, 因为在高峰时间时, 它的配电曲线最高。

表4 2025年SEM中不同方案下的充电成本

£

EV Charging Costs		BEV	PHEV	Split EV fleet	
		BEV	PHEV	BEV	PHEV
Annual Cost to Load per EV	off-peak	296	195	290	195
	peak	555	438	552	424
	Stochastic	313	217	312	208
	EPR	316	208	317	211
Average Load-Weighted Price Paid by Purchaser	off-peak	52.00	52.57	50.99	52.56
	peak	97.39	117.75	96.91	114.04
	Stochastic	55.02	57.33	54.77	55.77
	EPR	55.54	54.79	55.58	55.58

表4列出了不同电动汽车类型和电动汽车负载情况下的年度收费成本。正如预期的那样, 使用高电池容量的BEV比PHEV更昂贵。将SMP从峰值收费降低到非峰值收费或EPRI收费, 这意味着如果购买

表5 2020年SEM在非峰值/峰值、随机以及EPR充电方案的二氧化碳排放量

kt

		Total Emissions	BEV	PHEV	Split EV fleet
EV LOAD	off-peak	1821.03	739.78	530.69	550.56
	peak	1826.43	768.02	512.21	546.20
	Stochastic	1815.33	736.61	516.26	562.46
	EPR	1881.21	787.67	517.28	576.26
without EV			15851		

表6 由于不同充电方案情况而产生的减排目标贡献

		off-peak	peak	Stochastic	EPRI
EV Renewable Load/GWh	BEV	772.2	650.69	719.29	762.41
	PHEV	503.87	424.58	469.34	497.47
	Split EV Fleet	557.53	469.80	519.33	550.46
EV Renewable Load—2.5 Weighting /GWh	BEV	1930.5	1626.7	1798.2	1906.02
	PHEV	1259.6	1061.4	1173.3	1243.68
	Split EV Fleet	1393.8	1174.5	1298.3	1376.15
EV Renewable Load/ktoe	BEV	166.02	139.90	154.65	163.92
	PHEV	108.33	91.28	100.91	106.96
	Split EV Fleet	119.87	101.01	111.66	118.35
10% renewable energy target/%	BEV	3.16	2.67	2.95	3.13
	PHEV	2.07	1.74	1.92	2.04
	Split EV Fleet	2.29	1.93	2.13	2.26
Net Reduction in CO <sub>2</sub> /kt	BEV	71.9	43.62	75.03	23.97
	PHEV	209.3	227.75	223.7	222.68
	Split EV Fleet	192.7	197.05	180.79	166.99
20% emissions target/%	BEV	0.53	0.32	0.55	0.18
	PHEV	1.54	1.68	1.65	1.64

者在夜间充电，将为自己和SEM节省更多的成本。在适当的时间充电，总发电量和发电成本也将降低。

### 2.3 污染气体排放和可再生能源

为了比较电动汽车和电动汽车的排放量，SEM中预测了2025年6月每小时配电分配情况，包括在没有电动汽车负载的情况下，以及在4个不同电动汽车负荷情况下(非峰值充电、峰值充电，EPRI和随机充电模式)，数据如表5所示。它显示了每种电动汽车负荷方案的所有排放都有所增加，正如预期的那样，电动汽车负荷越大，排放就越大。

计算了电动汽车负荷方案对20%的非排放目标和12.88%的可再生能源目标的贡献，这些计算在方法部分已经描述。考虑到欧盟第2009/28/EC号指令<sup>[29]</sup>，可再生能源消耗的加权系数为2.5。就这些限制而言，经计算，到2025年，PHEV被计算出1278.85 GWh，可再生能源需求 $4478 \times (103.2\%)^5 = 5242$ ，发电的总可再生能源占比为39.4%，EV的可再生能源负荷为 $1278.85 \times 0.394 = 503.87$ ，考虑到2.5个权重的电动汽车可再生负荷，相当于 $1278.85 \times 0.394 \times 2.5 = 1259.68$ ，假定GWh与ktoe之比为1/11.63，最终贡献率为 $108.33/5.242 = 2.07\%$ 。

如表6所示总结了所有结果。在非排放模式中，非高峰收费方案可贡献2.07%至10%的可再生能源运输能源和1.74%至20%的排放目标。PHEV柴油汽车显示出最大的减排潜力，因为在非高峰充电方案中它们有最好的里程效率。

高峰收费方案对可再生能源在运输电力消耗12.88%的贡献与非高峰情况大致相似。虽然高峰方案没有像非峰值方案那样多地分配额外的风力，但它确实有更大的抽水蓄能调度，这导致了在2种情况下可再生能源的总份额大致相等。在非峰值充电方案中，EPRI方案产生的二氧化碳比高EV负载情况下要少。对照地，EPRI对这些目标的贡献几乎相同，因为负载主要是通过风力调度来实现的。但是，需要指出的是，这些目标贡献是由于电动汽车负载的不同尺寸造成的，而不是同时发生的。峰值和随机充电对这些排放和可再生目标的影响较小，但也有一定的贡献。显然，在不同的充电时间段内，相同的需求会导致发电成本和排放总量的变化。随着电动汽车负载的增加，对非排放部分目标减少20%的贡献也随之减少，这与二氧化碳排放量的增加有关。

### 3 结束语

目前的研究证实,电动汽车使用率的增加有助于实现减少二氧化碳排放的目标。电动汽车负载对SEM的影响随充电过程中的负荷大小和充电方式的不同而变化。电动汽车的峰谷充电方案增加了中等规模电厂的容量因素,并将一些较大的中层电厂转换为基础电厂。同时,低效峰值电厂的配电额度将被减少。通过对不同类型电动汽车和电动汽车负荷测试的研究,证明了使用高电池容量的电动汽车比使用PHEV要贵得多。根据不同的电动汽车类型,PHEV显示出最大的减少排放污染气体的潜力,因为他们使电场增加的污染排放这尾气排放降到最低。随着电动汽车负荷的增加,可以实现减少20%污染排放的环保目标。在用电高峰对电动汽车充电结果显示,SMP价格、发电成本和二氧化碳排放总量的增幅最大。大量的基础负荷被分配到非高峰的情况下,中层电厂被用来填补一些夜间低谷时间充电。说明电动汽车大负荷与充电周期之间的平衡会对电力系统的效率产生很大的影响。本研究结果还表明,峰谷充电方式比其他充电方式更有利于实现20%的减排目标以及1.54%的可再生能源的普及率和供应量。

### 参考文献

- [1] HAJJI A M, LEWIS M P. How to Estimate Green House Gas (GHG) Emissions from an Excavator by Using CAT's Performance Chart, AIP Conference Proceedings, 2017, 1887(1): 1-8.
- [2] SELVAKKUMARAN S, LIMMEECHOKCHAI B, MASUI T, HANAOKA T, MATSUOK Y. An explorative analysis of CO2 emissions in Thai Industry sector under Low Carbon Scenario towards 2050, Energy Procedia, 2014 (52) :260 - 270.
- [3] MAHMOUD S, JOAKIM M, JOAKIM W. Modeling of photovoltaic power generation and electric vehicles charging on city-scale: A review, RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, 2017(89): 61-71.
- [4] HÖGLUND-ISAKSSON L, WINIWARTER W, PUROHIT P, RAFAJ P, SCHOPP W, KLIMONT Z. EU low carbon roadmap 2050: Potentials and costs for mitigation of non-CO2 greenhouse gas emissions, Energy Strategy Reviews, 2012 (1): 97-108.
- [5] XIN J, KYRJI B, DANE C. Foresee: A user-centric home energy management system for energy efficiency and demand response, APPLIED ENERGY, 2017(205):1583-1595.
- [6] LU W, SULEIMAN S, ANDY C. Optimal decentralized coordination of electric vehicles and renewable generators in a distribution network using A\* search, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER & ENERGY SYSTEMS, 2018(98): 474-487.
- [7] PETER P, MAZEN A, YACINE L M. Probabilistic Energy Management Strategy for EV Charging Stations Using Randomized Algorithms, IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, 2018, 26(3):1099-1106.
- [8] SBORDONE D, BERTINI I, PIETRA B. Di EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm, ELECTRIC POWER SYSTEMS RESEARCH, 2015(120): 96-108.
- [9] KARAPOSTOLAKIS S, RIGAS E S, BASSILIADES N, RAMCHURN S D. EVLib: A Library for the Management of the Electric Vehicles in the Smart Grid, Proceedings of the 9th Hellenic Conference on Artificial Intelligence, 2016(5):16.
- [10] PERERA A T D, ATTALAGE R A, PERERA K K C K, DASANAYAKE V P C. Designing standalone hybrid energy systems minimizing initial investment, life cycle cost and pollutant emission, Energy, 2013(54):220-230.
- [11] FOLEY A M, LEAHY P G, MCKEOGH E J, Gallach Ó ir B P. Electric Vehicles and Displaced Gaseous Emissions. In: Proceedings of the 6th International IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC10), Lille, France.
- [12] FOLEY A, DALY H, Gallach Ó ir B P. Quantifying the Energy and Carbon Emissions Implications of a 10% Electric Vehicles Target. In: Proceedings of the 2010 International Energy Workshop (IEW), KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.
- [13] KEOLEIAN G, KELLY J, MACDONALD J, CAMERE A C, DE M, SCHAFER A. Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Michigan: Greenhouse Gas Emissions, Criteria Air Pollutants, and Petroleum Displacement. Center for Sustainable Systems, Report No. CSS11-0. University of Michigan. Ann Arbor, Michigan, 11th January 2011.
- [14] BOYNUEGRI A R, UZUNOGLU M, ERDINC O, GOKALP E. A new perspective in grid connection of electric vehicles: Different operating modes for elimination of energy quality problems, Applied Energy, 2014 (132) :435-451.
- [15] CLEMENT-NYNS K, HAESSEN E, DRIESEN J. The impact of charging Plug-In Hybrid electric vehicles on a residential distribution grid. IEEE Transactions on Power Systems 2010; 25 (1): 371-80.
- [16] MAHMOUD SM JOAKIM M, JOAKIM W. Modeling of photovoltaic power generation and electric vehicles charging on city-scale: A review, RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, 2018 (89): 61-71.
- [17] MARKEL T, BROOKER A, GONDER J M, O Keefe, Simpson A, THORNTON M. Plug-In Hybrid Vehicle Analysis, Milestone Report NREL/MP-540-40609. National Renewable Energy Laboratory, 2006.
- [18] MANUEL W, PAUL D, MARK H, BRIAN Ó, FIONN R, MORGAN B, HANS-HOLGER R. Incorporating flexibility requirements into long-term energy system models - A case study on high levels of renewable electricity penetration in Ireland, Applied Energy, 2014(135):600-615.

(责任编辑:张峰亮)

# 剩余电流动作保护器雷电防护分析与研究

朱菁菁<sup>1</sup>, 朱遵义<sup>2</sup>

(1. 江苏省电力公司检修分公司, 江苏 南京 211102; 2. 南京鼎牌电器有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘要:** 根据国家电网公司关于剩余电流动作保护器加装防雷模块的相关技术规范的要求, 对剩余电流动作保护器的内部结构进行了分析, 对雷电入侵方式、破坏途径与防护原理进行了研究。提出了加装防雷模块的优选连接方法。

**关键词:** 防雷模块; 浪涌保护器; SPD; 保护器; 剩余电流保护器

中图分类号: TM86

剩余电流动作保护器集过载保护、短路保护、漏电保护、自动重合闸、电流监测、电压监测等功能为一体, 它的使用可大大提高农村配电网的保护水平。安装在低压架空电线上的剩余电流动作保护器, 因其内部使用了大量的电子元器件极易受到雷电的侵入而损坏。国家电网公司企业标准 Q/GDW 11289《剩余电流动作保护器防雷技术规范》, 对剩余电流动作保护器中加装防雷击浪涌过电压保护模块提出了具体要求。

本文对剩余电流动作保护器的结构进行了分析, 对雷电入侵方式、破坏途径与防护原理进行了研究。提出了剩余电流动作保护器加装防雷模块的优选连接方法。

## 1 保护器内部结构与雷电破坏路径分析

### 1.1 保护器内部结构分析

由图1、图2可看出整个保护器内部(除控制线路外)的主要结构分成以下几部分: 输入接线端、断路器触头、短路保护线圈、电流互感器、剩余电流互感器、电源变压器、主电路铜排、输出接线端子。

### 1.2 雷电对保护器的破坏路径分析

一是浪涌电流引起的损坏: 由于主电路铜排存在电感、接触阻抗等, 在通过瞬间大电流冲击时便会在输入输出两端形成巨大的电压差, 一旦电压差超过内部绝缘强度便会形成闪络现象, 不但有可能由于直接闪络到与控制部分相连的线路上从而导致的损坏, 还有可能由于闪络点产生高温融化金属部件而造成设备的损坏。

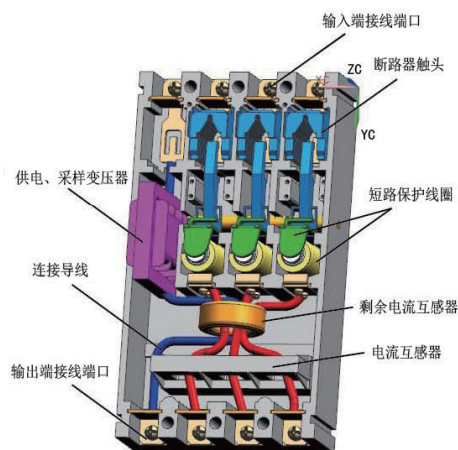


图1 剩余电流动作保护器内部结构图

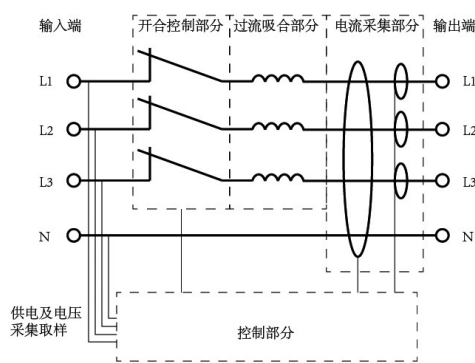


图2 剩余电流动作保护器内部结构示意图

二是输入端相电压差引起毁坏: 控制电路部分的供电取自输入端的相、零线, 受雷电影响, 当该部分电压差超过控制电路电子元件的耐压值便会导致其损坏。

三是感应方式造成的损坏: 电流互感器、剩余电流互感器线圈内部由多达数百至数千匝的漆包线绕制而成, 当浪涌电流通过时会在线圈两端形成一

个瞬间的高电压，当电压超过漆包线的绝缘强度时，便会击穿绝缘层，向周边的漆包线进行放电，直接将周边漆包线打断，从而使线圈失效。这个感应电压同样会通过线路传入到控制电子电路，对其造成破坏。

## 2 雷电的防护原理

从上节雷电对剩余电流动作保护器破坏路径分析可以看出，如果想最大限度地减少雷电对保护器的损坏，就必须从消除保护器内部的电压差和流过保护器的瞬态涌流着手，合理安装SPD模块。下面对几种常见的SPD安装方法进行分析。

### 2.1 SPD安装在输入端

如图3所示，当雷电由输入端侵入时，由于输入端口处安装有SPD，雷电过电压便会得到均衡，但此时由于后续线路依然可对地形成泄放雷电流的通道，虽然此时的雷电流峰值会因SPD的吸收而有所降低，但仍会有很大的电流由保护器内部相线和N线经过，雷电通过上节第三种方式对设备造成损坏。

当雷电由输出端侵入时，由于输出端没有SPD，此时过电压和过电流并不会得到衰减，并且由于保护器内部具有等效电感（短路保护线圈电感、电流互感器和剩余电流互感器电感等）、等效电阻（线路内阻、触头的接触电阻等）等，所有的雷电流均由保护器内部相线和N线经过，便会在内部相线和N线之间形成巨大的电压差，雷电通过以上节3种方式对设备造成损坏。

### 2.2 SPD安装在输出端

如图4所示，当雷电由输入端侵入时，由于输入端没有SPD，此时过电压和过电流并不会得到衰减，并且由于保护器内部具有等效电感、等效电阻，所有的雷电流均由保护器内部相线和N线经过，便会在内部相线和N线之间形成巨大的电压差，雷电通过上节3种方式对设备造成损坏。

当雷电由输出端侵入时，由于输出端口处安装有SPD，雷电过电压便会得到均衡，但此时由于后续线路依然可对地形成泄放雷电流的通道，因此仍会有大电流由保护器内部相线和N线经过，并且由于保护器内部具有等效电感、等效电阻，控制电路取电的输入端口处相线和N线之间的电压差仍有可

能超过电子元件的耐压值，雷电通过上节第二、第三种方式对设备造成损坏。

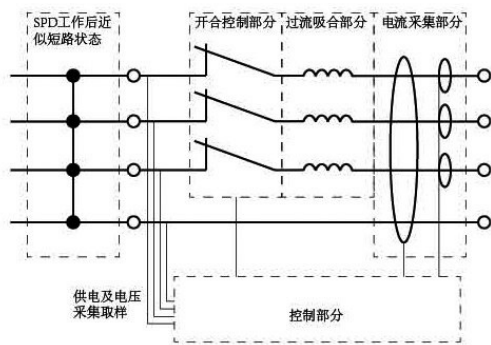


图3 SPD安装在输入端示意图

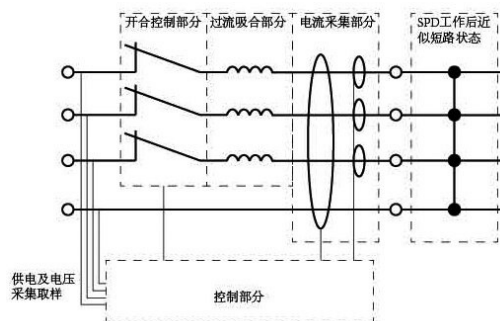


图4 SPD安装在输出端示意图

## 3 优选SPD防护接线方案

### 3.1 SPD独立双端防护

该方案采用两个4P-SPD作为防护主体，分别安装在保护器的输入和输出端，SPD内部采用星型连接方式，从而对设备双端口形成全模防护。其安装方式和等效原理图如图5、图6所示。

由输入端或输出端侵入时，由于两端口之间均安装有防雷器，输入输出端各端口之间的电压均以N线为参考，因此在保护器内部不会存在引起绝缘击穿的巨大电位差，并且由于N线体现出的等效电感、等效电阻最低，因此各线路的大电流会经过N线向后续线路进行传输，并且由于N线为一直通导线，只在经过剩余电流互感器时才会体现出电感特性，因此输入和输出端N线的电压差相对于相线低很多。雷电通过仅以上述第一节第三种的方式对设备造成损坏。由剩余电流传感器产生的感应电压虽然峰值高，但整体能量较小，此时只须控制电路板上安装小功率压敏电阻便可。

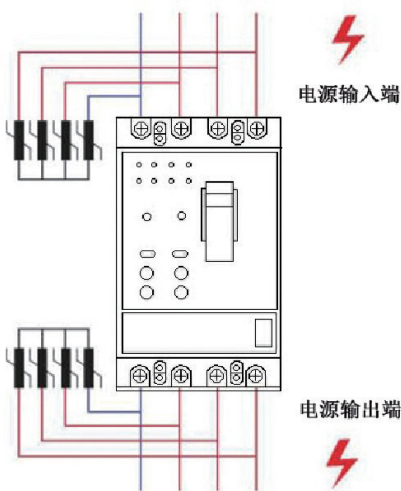


图5 独立双端防护安装示意图

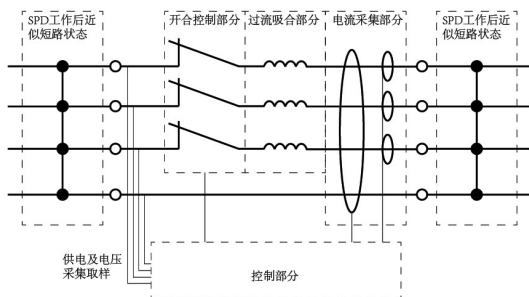


图6 独立双端防护安装原理图

### 3.2 SPD复合双端防护

方案采用两个4P-SPD作为防护主体，分别安装在剩余电流动作保护器的输入和输出端，两SPD之间使用导线相连，使得输入和输出各端口之间形成星型连接，从而对设备形成双端口复合型全模防护。其安装方式和等效原理图如图7、图8所示。

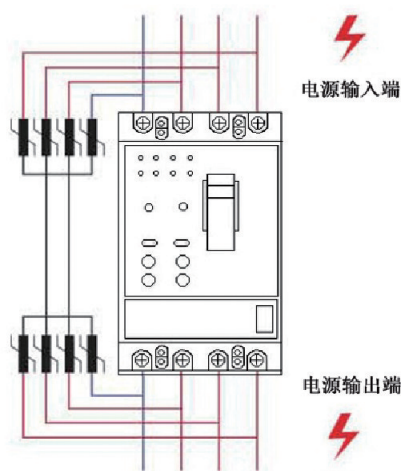


图7 复合双端防护安装示意图

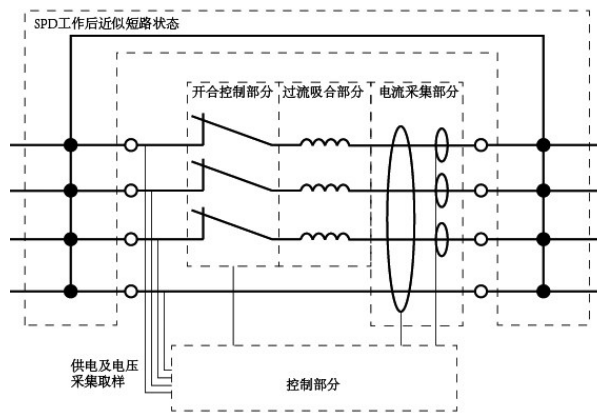


图8 复合双端防护安装原理图

当雷电由输入端或输出端侵入时，由于两边各端口之间使用SPD形成了复合星型连接的方式，各端口之间的电位差均被限制在较低的范围之内，因此在保护器内部不会存在引起绝缘击穿的巨大电位差，并且由于SPD件动作后对于雷电体现出的阻抗最小，因此雷电流会通过两个4P-SPD内部从保护器的一端流向另一端，这样在保护器内部也不会有雷电流通过，是对设备最佳的过电压和过电流防护。

### 4 结束语

随着电子、微电子集成电路的大量应用于低压保护器，雷电过电压和雷击电磁脉冲所造成的设备的损坏越来越多。因此，低压保护器雷电灾害防护问题显得十分重要。选择合理的剩余电流动作保护器防雷模块的技术参数和连接方式，降低剩余电流动作保护器的损坏率，会带来显著的经济效益和社会效益。

### 参考文献

- [1] 国家电网公司. 剩余电流动作保护器防雷技术规范: Q/GDW 11289—2014[S].
- [2] 王尧, 李奎, 郭志涛, 牛峰, 武一. 智能漏电断路器抗电快速瞬变脉冲群干扰研究[J]. 电力自动化设备, 2012(4): 129—133.

### 作者简介

朱菁菁 (1986—)女,工程师,主要从事变电站设备运行及检修。  
朱遵义(1957—)男,高级工程师,主要从事低压电器设计开发。  
(责任编辑:刘艳玲)

# 变压器有载开关智能取油装置的研制

王建慧, 王序辰, 苏有功, 王野, 苏朝阳, 辛晓虎

(国网天津电力公司蓟州供电分公司, 天津 蓟州 301900)

**摘要:** 研制了一种智能的取油设备, 利用自动控制设备以及油泵等实现全自动取油, 且将变压器有载开关取油管内残油储存起来, 在取油结束后重新注回有载开关油箱内, 实现每次取油, 油的损耗几乎为零, 且避免取油时因为取油方法不规范引入空气等杂质。

**关键词:** 变压器; 有载开关; 取油

**中图分类号:** TM411

变压器是变电站内最重要的电气设备, 变压器有载开关功能为调节变压器高低压侧变比, 变压器有载开关内绝缘油需要定期试验, 普通变压器有载开关绝缘油取油管较长, 如图1所示, 每次取油须先放掉取油管内残油, 因此浪费较多的绝缘油。多次取油会导致绝缘油油位变低, 且手动取油经常会因为取油方法不规范引入空气杂质等。

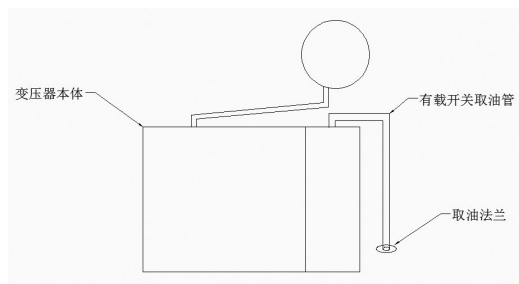


图1 变压器有载开关取油管

本文研制了一种智能的取油设备, 利用自动控制设备以及油泵等实现全自动取油, 且将变压器有载开关取油管内残油储存起来, 在取油结束后重新注回有载开关油箱内, 实现每次取油, 油的损耗几乎为零, 且避免取油时因为取油方法不规范引入空气等杂质。

## 1 设备研制原理

本文研制的变压器有载开关自动取油装置, 主要部件包括电控三通阀、取油嘴、连接法兰、双向油泵、储油柜、储油柜弹簧隔膜、油位上行程开关、油位下行程开关、智能控制模块等部分构成, 装置示意图如图2所示。

## 2 设备使用方法

在现场取油使用中, 将本装置的1连接法兰和

变压器有载开关取油管的法兰相连接, 启动装置。装置自动完成取油全过程。

一是, 智能控制模块控制电控三通阀门接通1和3, 开始收集残油阶段, 由于变压器有载开关油箱内压力的存在, 有载开关内的绝缘油(包含取管道内绝缘油)将缓慢地注入装置储油柜内, 待储油柜内隔膜接近油位上行程开关后, 自动关闭电控三通阀门。

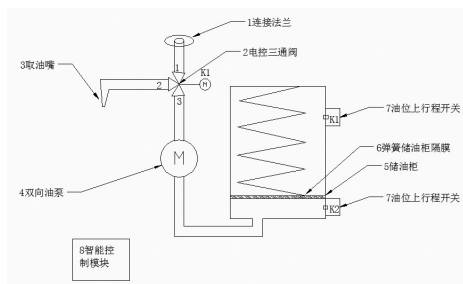


图2 为变压器有载开关取油装置示意图

二是, 开启取油阶段, 智能控制模块控制电控三通阀门接通1和2, 绝缘油将缓慢流向取油样瓶, 通过控制取油时间, 确定取油样的体积为300~500 mL, 取油完毕后, 自动关闭三通阀门。

三是, 回注油阶段, 智能控制模块切换电控三通阀门至1和3, 开启双向油泵, 将储油柜内油重新注入变压器有载开关油箱内, 待油位下行程开关动作后, 关闭双向油泵, 关闭三通阀门。现场试验人员断开连接法兰后, 取油结束。

## 3 结束语

变压器有载开关智能取油装置, 能够克服目前取变压器有载开关内油样浪费管道内残油较多的问题, 解决因人工取油手法不规范引入空气杂质的问题, 具有较好的推广价值。

(责任编辑: 刘艳玲)



# 具有不停电换表功能的单相电能表接插件的研制

刘洪儒, 郑庆阳, 阮召安

(国网平阳县供电有限责任公司, 浙江 平阳 325401)

**摘要:** 随着人们对美好生活向往的不断提高, 对供电可靠性的要求也逐步提高。目前单相电能表换表数量巨大, 电能表更换造成了用户的长时间停电, 同时造成了大量未换表用户停电, 严重影响供电服务质量, 成为用户不满意的风险点之一。本文介绍了单相电能表接插件实现不停电换表及短路电量计量的原理, 提出了接插件、短路构件等部件的技术要求, 解决了换表引起的用户末端停电问题, 提高了供电可靠性。

**关键词:** 接插件; 不停电换表; 短路电量计量

**中图分类号:** TM933.4

随着生活质量不断提高, 居民用户的各类家用电器逐渐增多, 对供电可靠性的要求逐步提高。国网平阳县供电所公司共有运行单相电能表385954只, 每年轮换的数量约总量的15%~20%, 同时近年来单相电能表故障率较高, 每年电能表更换数量约8万只左右, 更换数量巨大。目前现场换表采用“先断开计量箱进线开关, 再更换电能表”作业模式, 停电时间较长, 且会造成同计量箱内未换表用户的停电。多数公用配变的停电问题已通过配电线路之间的联络互倒及双电源供电得以解决, 由电能表更换造成的用户末端停电问题尚无有效解决方案。在广大电力用户对供电可靠性要求越来越高的大背景下, 换表停电已经严重影响了供电服务质量, 甚至导致用户电气设备损害, 造成投诉, 不停电换表迫在眉睫。

## 1 实现原理

### 1.1 不停电换表的实现原理

经互感器接入式的电能计量装置通过试验接线盒将电流回路短接、电压回路断开, 实现不停电换表。借鉴此原理, 直接接入式的单相电能表可将待换电能表的进出线短接, 再进行换表作业, 进而实现不停电换表, 原理图如图1所示。

### 1.2 短路电量计量的实现原理

经互感器接入式的电能计量装置更换电能表时, 通过记录换表时间、用电负荷计算换表期间的用电量, 此方法计算的用电量不准确, 很难得到用户认可。本项目在短路回路中串入与待换电能表同型号

的电能表, 准确计量短路期间的电量, 用户认可度高, 原理图如图2所示。

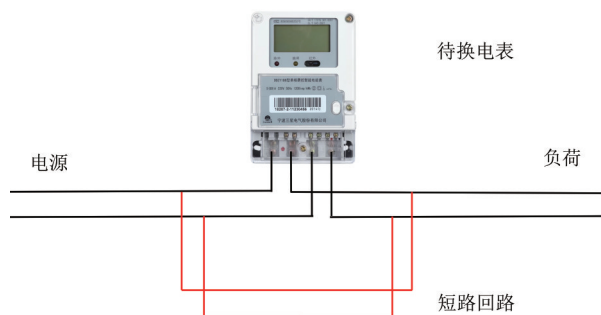


图1 单相电能表不停电换表原理图

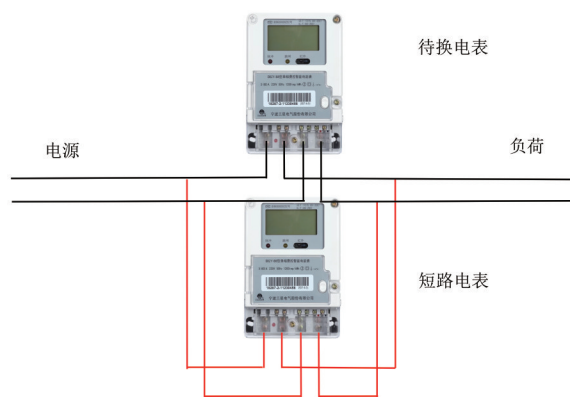


图2 单相电能表短路电量计量原理图

## 2 各部件技术要求

### 2.1 单相电能表接插件技术要求

单相电能表接插件由金属插头、绝缘底座、绝缘挡板、保护套4部分组成。

金属插头规格参照Q/GDW 11008—2013设计

《低压计量箱技术规范》，与电能表连接、进出线连接均采用间隙配合式，2颗M5螺丝固定；短路孔采用过盈配合式，香蕉插头母头设计，与短路构件的香蕉插头公头配合使用，实现电能表进出线方便可靠短路。额定电压：AC 220 V，额定电流：60 A。接线柱采用圆弧、梯形组合设计，增加与电能表接线孔的接触面积，圆弧部分直径7.5 mm；接线孔孔深 $22\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，孔径 $7.5\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ ；短路孔孔深 $10\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ ，孔径 $6\text{ mm}\pm 0.1\text{ mm}$ 。金属插头采用HPb59-1铜材，最小截面积不小于 $16\text{ mm}^2$ ，机械寿命不小于1000次，温升实验温升不大于 $60^\circ$ 。金属插头3D设计图如图3所示。

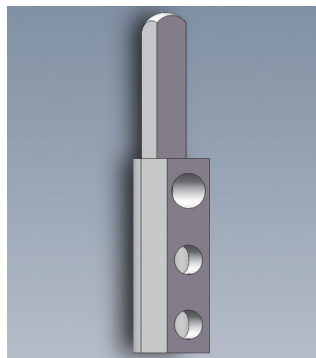


图3 金属插头3D设计图

绝缘底座规格参照Q/GDW 335—2009《单相智能电能表型式规范》设计，并考虑一定的裕度及限位结构尺寸，长190 mm，宽116 mm。绝缘支撑件固定后的机械强度满足电能表重力及短路拔插力需要；具有电能表拔插滑动导向，便于电能表的安装和拆除，同时防止触电；具有金属插头限位结构，与金属插头螺丝配合实现限位，防止金属插头移动；绝缘支撑件主体结构采用ABS或SMC材料。绝缘底座件3D设计图如图4所示。

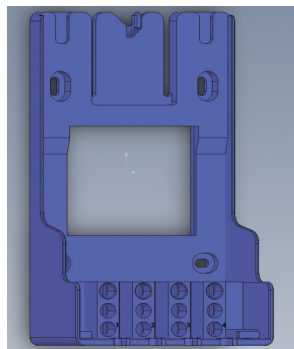


图4 绝缘底座件3D设计图

绝缘挡板与电能表表尾盖配合使用，无须单独施封，实现防窃电功能；可拆卸，为换表预留操作空间；具有户号粘贴结构，防止换表时发生串户、方便用户识别；防窃电挡板采用PC材料。绝缘盖板3D设计图如图5所示。

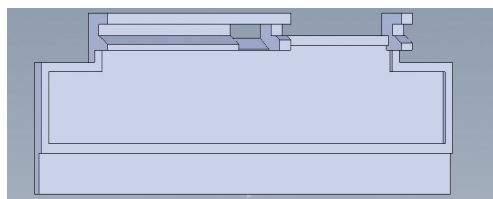


图5 绝缘挡板3D设计图

保护套与以上3部分配合使用，实现空表位带电部分隔离，防止人身触电；保护套采用ABS或SMC材料。保护套3D设计图如图6所示。

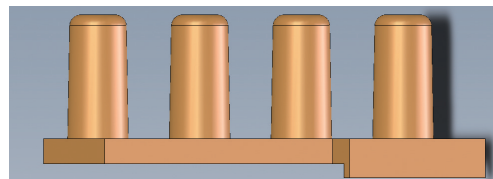


图6 保护套3D设计图

接插件组装3D图如图7所示。

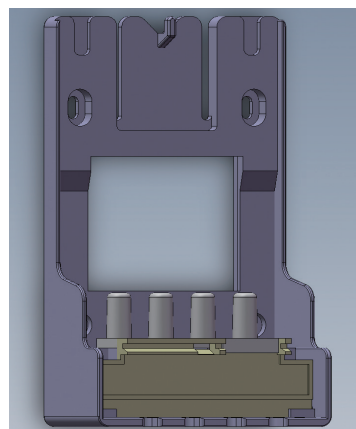


图7 接插件组装3D图

## 2.2 短路构件技术要求

短路构件由短路电量计量单相电能表、拔插件、连接导线3部分组成。

短路电量计量电能表采用5（60）A单相电能表，重新设计电能表程序，实现以下功能。

短路电量的计量功能。电能表按键长按3 s，当前电量自动清零，重新计量电量，实现短路电量的净值计量，减少人工计算的工作量，消除人工计算

误差；支持99次短路电量及清零时刻的存储，并支持红外线抄表。

电压、电流监视功能。第一屏固定显示短路电流，第二屏显示当前电压，确保可靠短路，保证装表接电人员人身安全。

开路告警功能。短路回路开路后电能表告警灯长亮5 s，提醒装表人员短路构件已开路，防止作业过程中因短路构件接触不良等原因导致用户长时间停电，同时保证作业人员安全。

拔插件采用过盈配合式，香蕉插头公头设计，与内径6 mm的金属插头短路孔配合使用，实现待换电能表进出线可靠短路；弹性变化量不低于0.5 mm，插入力不大于300 N，拔出力不大于500 N，机械寿命不小于1000次。拔插件3D设计图如图8所示。

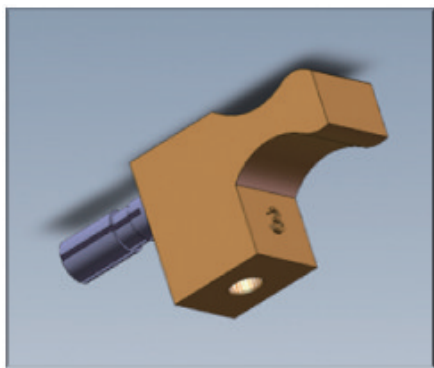


图8 拔插件3D设计图

连接导线采用股铜芯软线，焊锡粘连后与电能表、灯笼花插头连接，连接处温升实验温升不大于60℃。连接导线截面积计算如下：

$$S = I_{\max} / J = 60 / 6 = 10 \text{ mm}^2.$$

式中： $I_{\max}$ 为单相电能表额定最大电流，60 A； $J$ 为铜芯线的安全载流量，一般为5~8 A/mm<sup>2</sup>，取6 A/mm<sup>2</sup>。

短路构件组装3D图如图9所示。

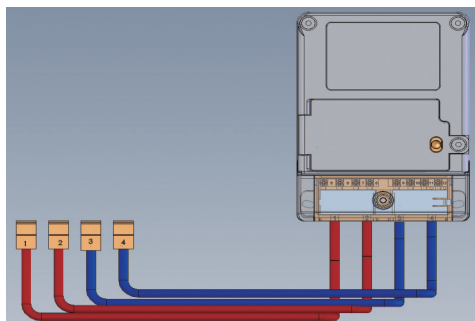


图9 短路构件3D设计图

### 3 不停电换表标准化作业流程

不停电换表作业颠覆了传统的停电换表作业模式，同时也产生了触电、电弧灼伤等新的危险点，因此本项目编制了不停电换表的标准化作业流程，规范换表人员的作业行为，确保换表人员的人身安全。不停电换表的标准化作业流程如下。

打开表尾盖及接插件盖板，检查接线是否正确。确认短路构件电能表已清零后，用短路构件按照“先零后火，先出后进”的顺序短接待换电能表，即按照接线端子4-3-2-1的顺序短接，同时观察电流变化，确认短接构件接触良好。

拆除待换电能表，并记录待换电能表读数。

安装新电能表，记录新电能表读数。

按照“先进后出，先火后零”的顺序拆除短路构件，即按照接线端子1-2-3-4的顺序拆除，同时观察新电能表电流，确认新电能表运行正常。

长按短路构件电能表按键3 s，存储并记录当前电量及清零时刻。

清理工作现场，办理工作票终结手续。

### 4 结束语

在优质服务方面，将单相电能表更换时间将为零，极大地提高了用户的供电可靠性，降低了用户投诉风险，提升了供电服务质量；得到了试点小区用户的一致好评。

在装接质量方面，采用挂接方式安装电能表，取消传统的螺丝固定方式，无导线布置，提高了装接的工艺质量，提高了电能表运行的可靠性。

在经济效益方面，不停电换表增加了供电企业的售电量，同时提高了换表工作效率，降低了换表的人工成本。

综上所述，具有不停电换表及短路电量计量功能的单相电能表接插件的社会效益、经济效益显著，有良好的推广应用前景。

### 参考文献

- [1] 国家电网公司. 低压计量箱技术规范: Q/GDW 11008-2013[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [2] 国家电网公司. 单相智能电能表型式规范: Q/GDW 335-2009[S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

(责任编辑: 刘艳玲)

# 降低环网柜间接验电 不规范操作率的改进方法

李冬森, 余江山, 余述良, 汪洋, 宋诚诚

(国网安徽省电力有限公司金寨县供电公司, 安徽 六安 237300)

**摘要:** 随着电力电子及供电技术的发展, 越来越多的电力设施得到广泛运用。目前金寨县供电公司城区环网柜已达150座。在进行电力操作时, 必须要进行验电操作, 但是封闭的环网柜环境不允许进行直接验电, 而只能进行间接验电。间接验电有众多查检项目, 在同一份配网调令中会涉及2~4处甚至更多的间接验电项目, 一旦出现工作人员疏忽, 未能检查核实到位, 则可能出现严重后果。本文将对如何降低环网柜间接验电不规范操作率进行分析和探讨, 并提出解决方法。

**关键词:** 降低; 环网柜; 间接验电; 不规范操作率

**中图分类号:** TM59

城乡居民对美好生活的追求越来越高, 加速了城区配电网改造的步伐, 目前金寨县供电公司已有150座环网柜, 城区配网出线连接已经由传统的树状结构转变为网状结构, 各个环网柜已实现双电源供电。

环网柜是一种高压开关装在金属或非金属绝缘柜体内, 或做成拼装间隔式环网供电单元的电气设备, 封闭的环网柜是无法进行直接验电的设备, 只能依据间接验电设备进行验电工作, 现有的环网柜的验电, 都只是通过电容式传感器的单一信号来源进行验电, 不符合电力安全规定的标准: 采用间接验电时, 至少应该有两个或两个以上的指示同时发生对应变化。

在线路检修前, 切实降低环网柜间接验电的不规范操作率, 确保每一个操作人员进行简单、有效、可靠地进行间接验电, 是本文须要解决的问题。

## 1 环网柜间接验电操作工作现状

公司环网柜进出线全部为电缆连接方式, 柜体密封性强没有预留可以直接验电的窗口, 故无法使用10 kV验电器直接验电, 而采用间接验电。在无法进行直接验电的设备和雨雪天气时的户外设备, 可以进行间接验电, 通过设备的机械指示位置、电气指示、带电显示装置、仪表及各种遥测遥信等信号的变化来判断。

### 1.1 环网柜防误操作流程调查

#### 1.1.1 环网柜自带的防误方案

停电时先拉开关, 再分闸刀, 最后合线路接地开关, 送电反之。只要闸刀拉开即可对线路进行接地操作。

#### 1.1.2 与环网柜适配的防误软件

目前金寨县供电公司使用的拓扑着色远程同步防误软件, 可分色显示便于判断供电区域, 可远程传票便于抢修, 具有操作音频视频同步功能利于远程监护及历史记录。防误软件在地刀操作前除了会判断本侧开关闸刀位置以外, 还会对侧环网柜运行方式纳入逻辑判断之中, 而对侧环网柜运行状态只能依靠手工对位。防误软件在地刀操作前会给出相关间接验电的流程, 在操作票中打印与电脑钥匙提示, 属于提示性操作。

### 1.2 环网柜线路转检修前按规范间接验电执行率的情况调查

通过分析金寨县供电公司城区配电队在2015年11月—2017年3月间接验电执行情况, 发现在2015年11月至今金寨县供电公司环网柜间接验电不规范操作率月平均值为4.69%, 未满足公司100%规范间接验电的要求。

#### 1.3 间接验电不规范操作类型细分

对统计出的32次间接验电不规范操作进行细分: 在间接验电中有4项需要核实, 具体如下。

核实开关位置：即核实开关的实际位置、机械指示、电气指示。

核实闸刀位置：即核实闸刀的实际位置、机械指示。

核实带电指示：即核实带电指示的灯光电压。

核实对侧状态：核实相应线路对侧环网柜运行状态。

表1 不规范间接验电分析表

序号	间接验电不规范操作原因	次数	占比/%	累计占比/%
1	未核实带电指示	26	81.25	81.25
2	未核实开关位置	2	6.25	87.50
3	未核实对侧状态	2	6.25	93.75
4	未核实闸刀位置	1	3.13	96.88
5	配合抢修工作	1	3.13	100.00

由表1数据可知，2015年11月—2017年3月金寨县供电公司环网柜调令票303份共进行682次间接验电。间接验电不规范操作共计32次，其中未核实带电指示占比率为81.25%，“线路带电指示仪核查不到位”为主要症结。

## 2 降低环网柜间接验电不规范操作率的方法探究

数据显示2016年7月、2017年2月规范验电百分比分别降到1.61%、1.52%，低于2%，经过对间接验电流程与风险控制环节进行分析并充分讨论后可知，采用各种手段若能解决环网柜不规范核实带电指示的问题，排除其他不确定因素，可有效解决主要症结的85%以上。

### 2.1 通过要因分析确定需改进项目

通过对柜内环境潮湿、人员维护不到位、间接验电无闭锁、操作人员水平差、安装工艺不好、封堵不良等6条末端因素的对比分析，得知间接验电无闭锁为主要问题所在，因此对该项进行改进即可达到预期目标。

### 2.2 确定环网柜间接验电闭锁方案

通过对变电站间接验电闭锁调查分析和对防误厂家调研，选出4种对环网柜间接验电强制闭锁方案进行对比，对比如下：

第1种，把变电站地刀电磁锁改装到环网柜上；

第2种，把变电站用于线路TV上的验电锁改装

到环网柜上；

第3种，引入无线带电显示闭锁装置（GCW2SA型高压带电显示装置）；

第4种，引入兼容原传感器的带电显示闭锁装置（GCN1C-H型高压带电显示装置）。

通过比对之后，确认第4种方案为最优选择。总体来讲，该方案具体分析如下。

优点：装置支持验电闭锁、带电显示，核相测试、辅助接点4类功能，兼容已有带电传感器，可替代环网柜原有的带电显示器；验电闭锁与带电显示功能各自独立，启动电压均依照行业标准在标称电压的15%时启动，与10 kV验电器启动电压相同；有内镶与外置2种安装方式可选择。

缺点：内镶式安装后内延40 mm，为了避免影响内部机构运转，需要在环网柜前面板内外侧寻找合适的安装位置开孔；外置式安装后装置在面板处外延42 mm影响美观。

### 2.3 环网柜间接验电闭锁方案实施

#### 2.3.1 制定安装计划

在通过提报工作计划及配合已有工作计划情况下，具体安装计划如下。

安装工作计划：与对城区各个环网柜各出线带电显示器部分逐一进行改造。

实施结果：计划工作时间满足各个环网柜安装用时，计划工作地点覆盖城区各环网柜。

#### 2.3.2 实施安装

内置型安装实施：开发区1#环网柜选择内置型安装。

拆除原有的带电显示器（保留带电传感器引线部分）。

利用原有带电显示器的位置画尺寸并切割内档板，如图1所示。

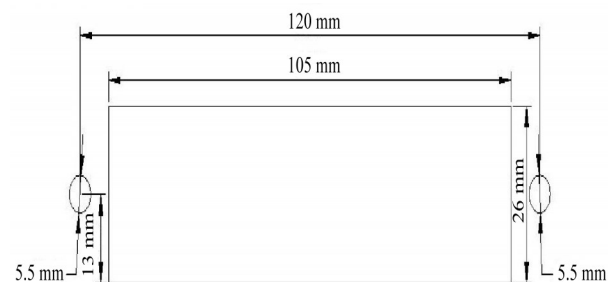


图1 利用原有带电显示器的位置画尺寸并切割内档板

新型带电显示器套上封堵件,在切孔位置安装,如图2所示。



图2 新型带电显示器套上封堵件,在切孔位置安装

外置型安装实施:开发区2#环网柜选择外置型安装,外置型安装时,仅须将原带电显示器位置钻孔,工作难度低,将原带电显示器引丝拆除后接入新型带电显示器即可,安装后外延42 mm。

防误软件逻辑更新:“接地操作前电脑钥匙必须先插入验电锁检测,线路任意相带电时电脑钥匙拒绝对接地闸刀解锁操作”。

### 2.3.3 实施结果

对城区各环网柜进行防误软件刷钥匙操作,达到“各环网柜接地操作前电脑钥匙必须先插入验电锁检测,线路任意相带电时电脑钥匙拒绝对接地闸刀解锁操作”的目标。

## 3 结束语

在当前我国城市配网的建设中,环网柜已大量使用。因为环网柜本身设计问题,无法进行直接验电,间接验电容易误操作。为保护操作人员安全,可靠完善的防误操作装置必不可少。在实际操作过程中,由人为控制防误转变为设备控制防误,可大大提升工作的安全性。<sup>[1]</sup>通过对双电源环网柜安装强制性间接验电闭锁装置,使线路带电时无法通过电脑钥匙操作接地开关,极大地保障了操作安全,避免事故发生,其经济效益是非常巨大,无法估量的。

### 参考文献

- [1] 蒋乃建,黄奇峰.浅谈电子闭锁在环网柜接地开关闭锁方面的应用[J].科技与企业,2015(11):239.

### 作者简介

李冬森,(1975—),男,安徽六安,国网安徽省电力有限公司金寨县供电公司,从事电力技术方面工作。

(责任编辑:刘艳玲)

## 资讯

### 海南联网二回海底电缆完成敷设

3月3日中午12点,随着海南联网二回工程第四根海底电缆在海南澄迈500 kV林诗岛终端站登陆,该工程海底电缆完成敷设。

据介绍,海南联网二回工程共四根海底电缆,其中单根最长32 km。海底电缆登陆需将大约1 km的海缆从敷设船释放到海面,在船上完成牵引头的制作后,由小船将海缆牵引至登陆段,再通过岸上的牵引机牵引上岸,最后沉入预先挖好的沟槽再进行填埋。3月3日中午12点,第四根海缆成功登陆上岸。至此,历时1个月的时间,海南联网二回工程海底电缆敷设工作全部完成。

据了解,联网二回海缆路由距离一回海缆较近,确保一回海缆安全是此次敷设工作的一个关键环节。超高压公司通过作业现场有人监督、后台船舶定位监控等管控措施,全方位保障海缆施工安全、质量和进度。

此外,琼州海峡海域宽广、海况复杂,要一次性把没有接头的海缆安全敷设到海底,难度相当大,其中一个关键点就是天气海况,还有潮流因素。海南联网二回项目海南侧项目现场负责人芦海介绍,项目方通过提前与当地气象部门联系,获得准确的潮流和气象信息,在获得琼州海峡西口1号站的潮流和潮汐信息之后,请当地的水文专家具体推算出登陆点林诗港的潮流潮汐,充分利用平流期完成导缆工作,使海底电缆顺利登陆。

将近1个月的施工时间里,400多名电力施工人员坚守现场忙碌地施工,中间还跨过了新春佳节。“陆上人员每天早上5点赶到施工现场,到第二天凌晨赶回驻地。船上人员在海缆敷设期间一直驻守在船上,重点对海缆敷设安全、进度、质量进行管控,直至敷设施工结束,非常艰辛。”超高压公司海南联网项目部协调工程师庞斌说。

下一步,海南联网二回工程海底电缆工作还将完成海上的冲埋和抛石保护,后续将开展海缆终端头的制作、海缆绝缘油泵站的调试等工作,预计今年4月建成投运。

来源:南方电网报

# 一宗典型窃电案例分析及应对措施

王远辉

(广东电网有限责任公司中山神湾供电分局, 广东 中山 528462)

电能是一种特殊的商品, 肉眼看不到, 只有通过计量装置才能确定用电量的多少。所以, 确保计量装置的准确和稳定运行就显得尤为重要。本文通过一宗典型窃电案例分析, 从防止窃电、表计是否带故障运行等方面制定应对措施, 实现在线实时监控计量装置的运行情况, 能够有效杜绝窃电和计量装置带故障运行。

## 1 窃电案例分析

### 1.1 由于线损异常引起警惕

神湾变电站冰厂线2017年9—11月柜线管理线损率分别为4.35%、5.20%、4.82%, 开始出现线损异常情况。2017年12月及2018年1—4月管理线损率均正常为1.16%、2.07%、1.98%、2.06%、1.89%, 2018年5—8月管理线损率分别为4.96%、4.23%、5.48%、5.94%, 又连续出现线损异常情况, 其线损电量每月大约在20~35 MWh之间。

初步分析: 该柜线下共有5个专变用户, 7个公变台区, 公变用户中报装容量在30 kW及以上的有35户, 首先从这35户和5个专变用户进行排查, 是否存在偷漏电情况。另外, 对低压公共线路进行检查, 是否存在私自接入用电设备情况。由用电检查和计量运维班全员参与巡线、检查台区总表及用户表计、专变用户偷漏电检查等。

### 1.2 事件经过

2018年9月14日上午09:30, 神湾分局用电检查和计量运维人员到某制冰企业(专变250 kVA, 装400/5电流互感器)对其低压计量装置进行检查, 发现该计量装置柜门的铅封有人为动过的痕迹(不太明显), 再细心分析表计显示的电压、电流数据时, 显示三相电压正常, A、B、C相电流为0.48 A、4.78 A、4.35 A, 三相负荷严重不平衡, A相电流大约是其两相的1/9, 经咨询企业负责人其目前的主要用电负荷为3台50 kW的三相压缩机, 1台单相1.5匹空调和一些简单照明。现场工作人员在经过认

真思考后, 电话通知营业部主任, 然后决定进行报警处理。在警方的见证下, 神湾分局工作人员打开计量柜门, 发现计量接线盒的2个铅封有人为动过的痕迹(比较明显), A相电流接线端子螺丝有明显松开的情况, 读取电能表管理软件的数据, 在2017年8月5日20:41计量柜有开启记录。在证据面前, 企业负责人承认自己有窃电行为, 同意接受处罚, 并在《用电检查结果通知书》上签名确认, 如图1所示。

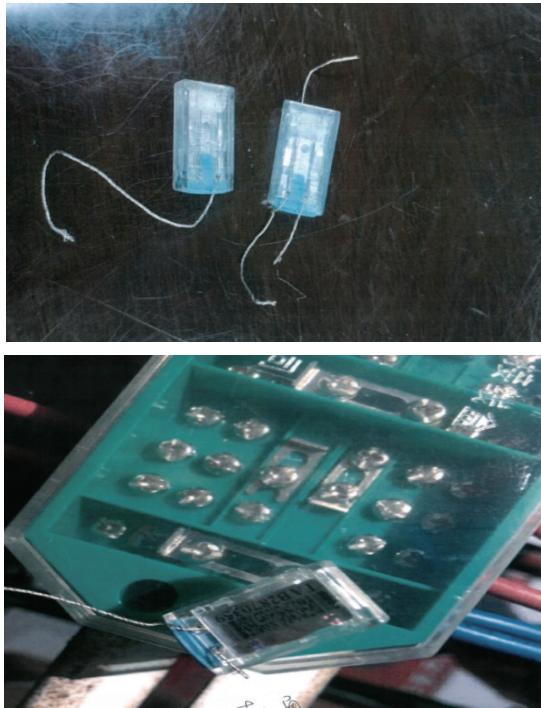


图1 现场铅封

## 2 应对措施

这是一宗比较普遍、技术含量较低的典型窃电事件。但是这宗窃电事件非常隐蔽, 从计量装置柜门的铅封处理来看, 几乎以假乱真, 计量接线盒的2个铅封次之; 另外, 选择电流接线端子而不是电压接线端子, 这样就可以用三相负荷不平衡来掩盖。

对于窃电现场非常隐蔽的用户, 可以通过线损

分析来缩小排查范围，如锁定在某条馈线、某个台区，根据线损电量的多少，来锁定某些用户。所以，这宗窃电案例是由线损异常而锁定某些用户进行排查发现的。

另外，单独从计量自动化系统的数据来看，是可以推导出这个用户是有很大嫌疑的。原因是，A相电流比之前明显减少，比其他两相明显小。

目前我们运用的计量自动化系统存在问题，就是计量表在运行过程中存在的故障，须要有报警功能，能够第一时间在计量自动化系统中提醒。这样，计量运维人员就能及时到达现场，检查和分析报警原因。根据总结神湾分局遇到的情况和经验，出现4种情况应进行报警提醒。

第一，电流不平衡报警。企业在建设初期，用电负荷设计要求就是要达到三相相对平衡，且企业的大功率用电设备大部分是三相负荷；所以，在正常用电情况下，三相负荷平衡系数不会太高，这样既能达到安全可靠用电的要求，又能提高变压器的效率。建议：低压计量用户三相负荷平衡系数大于30%的设置为报警，高压计量用户A、C相负荷平衡系数大于50%的设置为报警。

第二，电压异常报警。低压计量用户的基准电压 $U$ 是220V，高压计量用户 $U_{ab}$ 、 $U_{cb}$ 的基准电压是100V，当它们的电压超过基准电压的 $\pm 10\%$ 时，应设置为报警。神湾分局在2018年中，共发现5起因电压互感器保险管烧坏的情况，因为有专人对计量自动化系统的电压、电流数据进行分析，所以能够第一时间发现故障并处理，因此每起的追补电费都很少。

第三，开启计量柜柜门时进行报警。主要是为了排除非供电企业工作人员开启计量柜柜门，防止用户的窃电行为。

第四，表计内的系统时间不准确进行报警。这是因为远程自动抄表的需要，时间的准确度可根据不同类型的用户进行设置，对于市场化交易用户的时间准确度要求就更高。

通过这4项报警功能的设置，实现在线实时监控计量装置的运行情况，根据计量自动化系统提供的数据，是完全能够有效杜绝窃电和计量装置带故障运行。

### 3 结束语

在工作时会产生大量的数据，应该运用好这些数据，为工作带来方便，提高工作效率，通过这宗窃电案例的分析和列举的应对措施，给大家予以启发。

目前，神湾分局所有的电能表已实现远程集抄，表计运维人员到现场检查表计的次数也越来越少；所以，现在缺少表计故障报警的提示，如时间不准确、缺相、失压、失流、偷漏电等，都应该第一时间提醒运维人员到现场检查，如果没有这个功能，将给表计运维带来很多的不确定性。

(责任编辑:袁航)

### 资讯

国家电网公司积极贯彻落实“一般工商业电价再降10%”工作部署

3月5日，国务院总理李克强在第十三届全国人民代表大会第二次会议上作政府工作报告时提出，“深化电力市场化改革，清理电价附加收费，降低制造业用电成本，一般工商业平均电价再降低10%。”

国家电网有限公司党组高度重视、积极行动，坚决贯彻落实中央重大决策部署，坚决服从党和国家工作大局，以供给侧结构性改革为主线，积极支持实体经济健康发展，不折不扣执行各项降价降费措施，进一步释放改革红利，推动全面深化改革不断取得新突破新成效。

2016年以来，国家电网有限公司积极参与和推动出台降价降费措施，严格落实政策，加强监督检查，每年降低用户用能成本超过2000亿元，有效释放了改革红利。2018年，超额完成一般工商业电价降低10%的目标，进一步降低客户用电成本915亿元，切实增强了中小企业的获得感。同时，推出全面深化改革十大举措，引导和鼓励社会资本积极参与电网、产业、金融业务，推进体制机制创新，持续优化营商环境，“获得电力”指数由第98位跃升至第14位，多措并举推动电力市场建设，市场主体活力有效激发，新能源消纳实现“双升双降”目标。

来源:国家电网公司