

江苏电机工程

JIANGSU DIANJI GONGCHENG

第 33 卷 第 2 期(总第 154 期)

2014 年 3 月 28 日出版



目 次

专论与综述

- SVC 预防电压失稳的快速控制方法
..... 任旭超,万秋兰(1)
- 基于 GAMS 的光伏发电消纳体系研究
..... 薛 斌(4)
- 应用于月度用电量预测的小波分析法
..... 吴雪花(8)

故障诊断与检修策略

- 真空断路器投切并联电抗器过电压故障分析
..... 吉亚民,周志成,马 勇,等(12)
- 汽流激振机理分析及某 330 MW 汽轮机故障处理
..... 姜广政,傅行军(15)
- 基于雷电信息的电网故障诊断系统研究
..... 李 鹏,张小易,黄浩声,等(17)

电网技术

- ± 800 kV 特高压锦苏线检修关键工器具的研制
..... 鲁永生,康宇斌,张云翔(22)
- 基于 MAS 服务的有序用电信息发布研究与应用
..... 张 斌,厉文婕,尹 飞(26)
- 基于 EMS 的地区电网合环风险评估系统
..... 罗玉春,龚成明,王 毅,等(30)
- 继电保护装置远方修改定值模式研究
..... 李德文,刘 进,刘 伟,等(34)
- 超高压输电系统中磁可控电抗器保护配置与实现
..... 熊 蕙,程 骁,文继锋,等(37)

《江苏电机工程》 编辑委员会

- 顾 问 张凤祥 郑健超 严陆光
尹积军 黄其励 薛禹胜
张 龙 陈 刚
- 主任委员 沈国荣
- 副主任委员 鞠 平 王海林 李 群
蒯狄正
- 委 员 袁晓辉 黄学良 李晓慧
张兴华 吴军基 张官元
王作民 费益军 陈云仑
莫建益 薛一如 叶 辉
- 主 编 薛一如

江苏省一级期刊

中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊

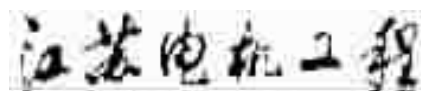
中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊

中国期刊全文数据库全文收录期刊

中文科技期刊数据库收录期刊

《CAJ - CD 规范》执行优秀期刊

(双月刊)



主管单位:江苏省电力公司

主办单位:江苏省电力公司

江苏省电机工程学会

编辑出版:《江苏电机工程》编辑部

地址:南京市江宁区帕威尔路1号

邮政编码:211103

电话:(025)86558772(主编)

(025)86556860(编辑)

(025)86558020(编务)

(025)86558020(广告)

网内:954296903, 954296927

传真:(025)86558020

电子信箱:jsdj@chinajournal.net.cn(电网系统外)

jee@js.sgcc.com.cn(电网系统内)

创刊时间:1982年

发行范围:公开

国内发行:南京邮政局

邮发代号:28-305

国内定价:16.00元

订阅:全国各地邮政局(所)

印刷:南京电力印刷厂

广告经营许可证号:3200004000534

中国标准连续出版物号:ISSN 1009-0665
CN 32-1541/TM

采用可控负荷平滑光伏发电功率波动的需求响应策略

..... 李卫良,黄堃,陈璐,等(40)

异构系统间数据远程调阅的方法与实现

..... 史金伟,杨启京,肖艳炜,等(44)

基于WEB的省级能效管理平台的设计与应用

..... 孙虹,李昆明,王林,等(48)

智能变电站网络交换机在线监测设计与实现

..... 徐勇,陆玉军,张雷(52)

江苏电网省地县一体化电量智能采集系统研究

..... 熊政,彭栋,仲春林(56)

一起SVC一相可控硅全部击穿的原因分析

..... 胡建农(61)

区域电网电缆—架空线混合线路故障区间判别方法及实现

..... 李园园,沈军,朱晓彤,等(64)

特高压铝管预制式跳线接头防滑移方案研究

..... 陈宁,陈龙元,高剑凌(69)

发电技术

660 MW 机组基建过程中对脱硫装置的改进

..... 张荣发(72)

660 MW 汽轮机组轴瓦温度异常的分析与处理

..... 陈华桂,秦惠敏,戴兴干(75)

电厂开式循环水系统水藻堵塞的原因及解决措施

..... 于强,彭辉(79)

科普园地

交流特高压输电线路运行维护现状综述

..... 高嵩,刘洋,路永玲,等(81)

信息

..... (25,51)

下期要目

..... (60)

广告索引

..... (33)

封面简介:

中国华电集团公司江苏分公司成立于2003年,现有望亭发电厂、扬州发电公司、戚墅堰发电公司、句容发电公司、吴江热电公司、仪征热电公司、江苏电力股份公司、江苏华电煤炭物流公司、通州热电公司等9家单位,发电装机容量5998.5 MW,在建机组装机容量2000 MW,在职员工4886人。

近年来,公司以科学发展观为指导,沿着“差异化发展、集约化经营、精益化管理、人本化改革、信息化管控”竞争路径,坚守绿色承诺,矢志结构转型,走出了一条科学、健康、可持续发展之路,结构调整持续优化,清洁能源比重达47%,年利润总额突破10亿元,安全生产始终保持稳定,主要经济指标多年保持集团“第一方阵”,多次获得江苏省能源工作先进单位、华电集团文明单位标兵等称号,2013年4月被授予“全国五一劳动奖状”。

CONTENTS

Thesis and Summary

- A Fast SVC Control Method for Voltage Stability REN Xuchao, WAN Qiulan(1)
- Research on the Photovoltaic Power Consumption System Based on Gams XUE Bin(4)
- A Wavelet based Method for Monthly Electricity Demand Forecasting WU Xuehua(8)

Faults Diagnosis and Maintenance Strategy of Power Apparatus

- Analysis of over-voltage caused by vacuum-breaker switching on/off shunt connected reactance JI Yamin, ZHOU Zhicheng, MA Yong,et al.(12)
- Steam-exited Vibration Mechanism Analyzing and Fault Processing of One 330 MW Steam Turbine JIANG Guangzheng, FU Xingjun(15)
- Research on Power Network Fault Diagnosis System with Lightning Location Information LI Peng, ZHANG Xiaoyi, HUANG Haosheng, et al.(17)

Electric Network Technology

- The Development of Key Maintenance Apparatus for ±800 kV UHV Jin-Su Project LU Yongsheng, KANG Yubin, ZHANG Yunxiang(22)
- An Orderly Power-Use Information Distribution System Based on MAS ZHANG Bin, LI Wenjie, YIN Fei(26)
- A Closing Loop Operation Risk Evaluation System Based on EMS LUO Yuchun, GONG Chengming, WNAG Yi,et al.(30)
- Research on the Modes of Setting Group Remote Modification in Relay Protection LI Dewen, LIU Jin, LIU Wei,et al.(34)
- Magnetically Controlled Reactor Protection in HVAC Transmission System XIONG Hui, CHENG Xiao, WEN Jifeng,et al.(37)
- Demand Response Strategies for Smoothing Power Fluctuation of Interconnecting ties in the Micro-Grid with Controllable Load LI Weiliang, HUANG Kun, CHEN Lu,et al.(40)
- Method and Implementation of Data remote Access Between Heterogeneous Systems SHI Jinwei, YANG Qijing, XIAO Yanwei,et al.(44)
- Design and Application of Provincial Energy Efficiency Management Platform Based on WEB SUN Hong, LI Kunming, WANG Lin,et al.(48)
- Design and Realization of Switches Monitoring in Smart Substation XU Yong, LU Yujun, ZHANG Lei(52)
- A Multi-municipal Unified Smart Electricity Acquisition System for Jiangsu Power Grid XIONG Zheng, PENG dong, ZHONG Chunlin(56)
- Analysis of SVC Single-Phase SCR Breakdown HU Jiannong(61)
- Faulty Zone Discrimination Method and Realization for Cable-overhead Mixed Lines in Regional Power Grid LI Yuanyuan, SHEN Jun, ZHU Xiaotong,et al.(64)
- Research on Anti-skidding Program of Aluminum Tub Jumper Connector for Ultra High Voltage Transmission Lines CHEN Ning, CHEN Longyuan, GAO Jianling(69)

Generation Technology

- Improvement of Desulphurization System of 660 MW Power Unit During Construction Process ZHANG Rongfa(72)
- Analysis and Solutions of Metal Temperature Anomalies in 660 MW Steam Turbine Unit CHEN Huagui, QIN Huimin, DAI Xinggan(75)
- Analysis on Algae-blockage in Open Circulating Water Systems of Power Units and Solution Measures YU Qiang, PENG Hui(79)

Popular Science Field

- A Review on Operation and Maintenance of UHV AC Transmission Line GAO Song, LIU Yang, LU Yongling, et al.(81)

Jiangsu Electrical Engineering(Bimonthly)

Competent Authorities Jiangsu Electric Power Company

Sponsor Jiangsu Electric Power Company

Jiangsu Society of Electrical Engineering

Editor and Publisher Editorial Department of Jiangsu Electrical Engineering

Address No.1 Power Road, Jiangning District, Nanjing, China

E-mail jsdj@chinajournal.net.cn(网外)

jee@js.sgcc.com.cn(网内)

Tel (025)86558772, 86558020

Fax (025)86558020

Publication Number ISSN 1009-0665

Post Code 211103

SVC 预防电压失稳的快速控制方法

任旭超, 万秋兰

(东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要:在电压濒临失稳时, 静止无功补偿器(SVC)可能因为输出无功功率不够快而无法阻止电压失稳, 针对这种情况, 提出了一种 SVC 预防电压失稳的快速控制方法。该方法以电压失稳预测(VIP)指标数值越限为启动条件, 通过调整 SVC 电压参考值提升其无功输出速度, 从而预防电压失稳。使用 PSCAD/EMTDC 和 MATLAB 的联合仿真进行算例分析, 验证了此控制方法提升电压稳定性的有效性。该方法简单可靠, 且仅调节 SVC 控制系统外部数据, 不改变 SVC 原有的系统结构和参数, 适用于实际系统, 有很好的发展前景。

关键词:SVC; 电压稳定; 戴维南等值; PSCAD/EMTDC; MATLAB

中图分类号:TM712

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2014)02-0001-03

电压稳定问题是电力系统安全运行的关键问题, 一直以来受到研究人员的关注。柔性交流输电系统(FACTS)以其快速灵活的控制特性, 有效提高了系统的安全性[1], 其中静止无功补偿器(SVC)可以快速补偿系统的无功功率, 对系统电压稳定性起到了良好的改善作用[2,3]。电压稳定性和系统中的无功储备容量有很大关系, SVC 的无功储备正起到越来越重要的作用。然而, 部分电压失稳的情况下, 即便 SVC 的无功容量是足够的, 但由于其响应系统无功需求的速度不够快, 可能无法将电压失稳的趋势拉回, 最终仍然出现电压失稳的情况。

1 SVC 控制系统模型

SVC 通常用于控制系统节点电压, 在这种工作模式下, 其控制系统框图[4]如图 1 所示。其中, V_{ref} 为人为设定的节点参考电压, V_{ms} 为测量得到的节点电压有效值, PI 控制器中主要参数为比例系数 K_p 和积分系数 K_i 。

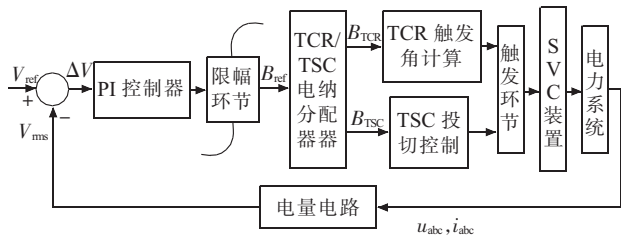


图 1 SVC 控制系统结构框图

控制系统通过 V_{ref} 和 V_{ms} 的对比得到电压偏差值 ΔV , ΔV 通过 PI 控制器和限幅环节得到可用于补偿电压偏差量的电纳参考值 B_{ref} , 再经过 TCR/TSC 电纳分配器计算 TCR 和 TSC 应有的电纳值 B_{TCR}, B_{TCS} , 从而可以算出与 B_{TCR} 对应的 TCR 触发角和与 B_{TCS} 对应的 TSC 投入数量, 将这一结果通过触发环节即可作

用于 SVC 装置, 以控制 SVC 输入系统的无功功率, 进而控制 SVC 所安装节点的电压[2-4]。

2 SVC 预防电压失稳的快速控制方法

2.1 无功投入速度对电压稳定的影响

在电压濒临失稳时, 系统中无功储备的响应速度对电压稳定性的发展趋势有一定的影响。下面以一组仿真算例进行说明。

仿真在图 2 所示的 3 机 10 节点系统中进行, B10 的负荷由 50% 的感应电动机负荷和 50% 的恒阻抗负荷组成, 电磁暂态仿真软件 PSCAD/EMTDC 为仿真所用的平台。

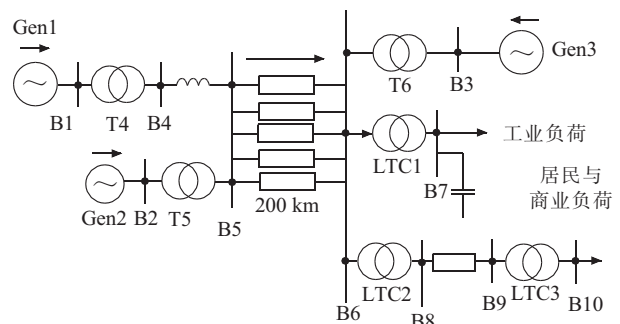


图 2 3 机 10 节点系统

仿真时序如下:

0—30 s 时, 系统处于稳态;

30—31.5 s 时, 节点 B10 的电动机负荷线性增加至稳态时的 1.48 倍;

31.5—31.6 s 时, 节点 B10 的电动机负荷维持在稳态值的 1.48 倍, 维持重载的状况;

31.6 s 时, 切除部分电动机负荷, 使节点 B10 的电动机负荷减少至稳态值的 1.19 倍;

60 s 时, 仿真结束。

仿真结果表明, 在这种运行条件下, 系统最终会电压失稳。为阻止电压失稳的发生, 在负荷增长后某一时

刻,在节点 B6 和节点 B9 同时投入 80 Mvar 的固定电容器,通过改变电容器的投入时间来观察无功投入速度对电压稳定性的影响。多组仿真实验结果表明,固定电容器投入速度越快,越利于改善电压稳定性。由于各节点电压轨迹类似,下面以系统侧节点 B6 和负荷侧节点 B9 的电压曲线进行说明,仿真曲线如图 3 所示。

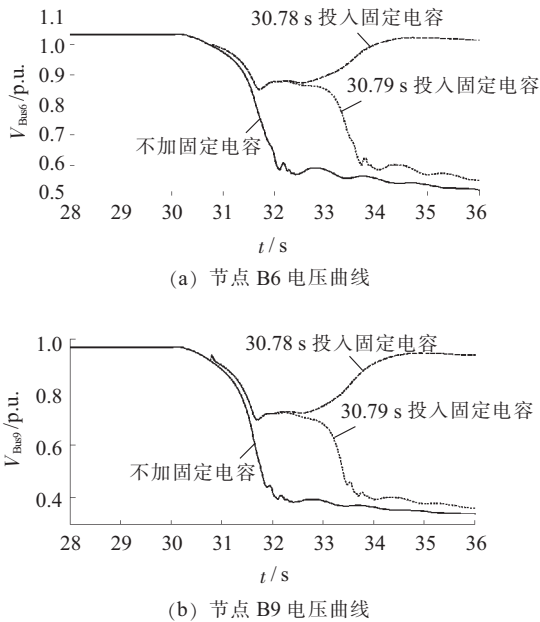


图 3 不同工况下节点电压曲线

由图 3 可见,虽然在 30.78 s 和 30.79 s 投入的固定电容相同,且 2 种情况无功投入时间仅相差 0.01 s,但结果却相差很大,前者阻止了电压失稳,而后者虽然在一定程度上延缓了电压下降的速度,但还是出现了电压失稳的情况。总之,在濒临电压失稳时,无功储备的投入速度在一定程度上决定了系统的电压稳定性,无功投入速度越快,越有利于阻止电压失稳。

2.2 SVC 预防电压失稳的快速控制方法

若系统中安装 SVC,由上一节的结论可知,在系统濒临电压失稳时,SVC 无功输出的响应速度越快,越有利于防止失稳。在 SVC 的控制系统中,决定其响应速度的主要是图 1 中的 PI 控制器,而 PI 控制器的特性决定于比例系数 K_p 和积分系数 K_i 。理论上只要在检测出电压有失稳趋势时调整 K_p 和 K_i 的值即可使 SVC 的响应速度变快,其中 K_p 的值更是直接决定了调节速度。然而,在实际的工程应用中,SVC 的控制系统通常是封装的, K_p 和 K_i 是经过多次试验后整定的一组参数,已经有较好的响应特性和适应性,在实际运行过程中并不常调整。虽然 K_p 越大,调节速度越快,但过大的比例会使系统稳定性下降,甚至造成系统不稳定,在动态过程中整定得到响应特性满足要求的 PI 参数是有一定难度的。因此,在检测出电压失稳趋势时,通过调整 SVC 内部 PI 控制器预防失稳在实际系统中并不适用。

通过观察图 1 中 SVC 的控制系统,可见 SVC 输出的无功主要决定于电纳参考值 B_{ref} ,其通过 PI 控制器求得,与 PI 控制参数有很大关系,这与前文的理论一致。另外可以发现, B_{ref} 还受 PI 控制器输入 ΔV 的影响,在 PI 控制器参数不变的情况下, ΔV 越大,为快速补偿无功缺额,实现电压的无差调节,经过 PI 控制器得到的 B_{ref} 也会越大,相当于加快了 SVC 的响应速度。因此,在检测出电压失稳趋势时,若能按照一定的规则改变 ΔV ,即可以改变 SVC 投入无功的速度,从而避免电压失稳的发生,这就是本文所提方法的基本思路。

ΔV 的数值可以在 SVC 控制系统外部,通过改变 V_{ref} 进行调整,这在实际系统中是很容易实现的。使用的方法是在检测出电压濒临失稳时,调整 V_{ref} 使 ΔV 达到正常数值的 2 倍,即:

$$V_{ref} = 2 \times (V_{ref0} - V_{rms}) + V_{rms} = 2V_{ref0} - V_{rms} \quad (1)$$

式(1)中: V_{ref0} 为稳态时的电压参考值。

为监测电压稳定性,可采用电压失稳预测指标 VIP^[5],其数值可表示为 I_{VIP} ,计算公式为:

$$I_{VIP} = |Z_{th}| / |Z_L| \quad (2)$$

式(2)中: Z_{th} 为所观测节点戴维南等值阻抗; Z_L 为节点负荷等值阻抗。

VIP 指标反映所观测节点的电压稳定性,在电压稳定的情况下, I_{VIP} 的范围为 0~1,数值越接近 1,电压稳定性越差,当 I_{VIP} 为 1 时,则表示电压处于临界稳定状态。因此,通过实时监测 VIP 指标启动 SVC 快速控制的条件可以规定为,VIP 指标大于某一阈值,且本时刻 VIP 指标比上一时刻大,即:

$$\begin{cases} I_{VIPi} > I_{VIPth} \\ I_{VIPi} > I_{VIPi-1} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中:下标 i 为当前时刻, $i-1$ 为上一时刻, I_{VIPth} 为 VIP 指标阈值,多次实验结果表明,该阈值定位 0.85 比较合理。

提出的 SVC 预防电压失稳的快速控制方法基于以上思想,其基本控制过程是通过实时跟踪各节点戴维南等值参数,计算与其对应的 VIP 指标,当任意一个节点的 VIP 指标满足快速控制的启动条件时,即认为系统有电压失稳趋势,此时选择需进行控制的 SVC,并按照式(1)中 V_{ref} 数值的调整规则对此 SVC 加以控制,以达到预防电压失稳的目的。选定被控 SVC 的原则为,SVC 与报警节点的电气距离最小,从而可以为报警节点提供足够的无功支撑。SVC 预防电压失稳的快速控制方法流程图如图 4 所示。

此处跟踪戴维南参数的方法为基于偏差校正的在线跟踪算法^[6,7],此方法跟踪速度快、准确度高,且仅使用本地量测数据计算戴维南参数,很适用于对 VIP 指标的实时监测。

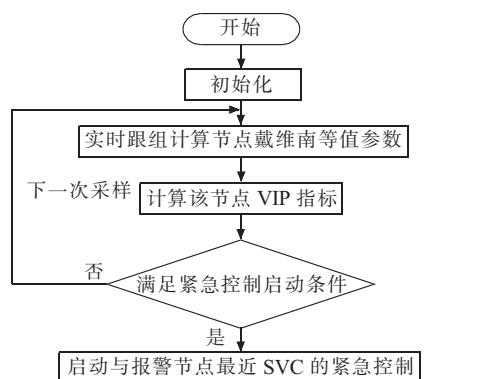


图 4 SVC 预防电压失稳的快速控制方法流程图

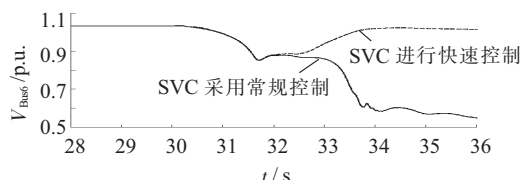
3 仿真结果及分析

利用了 PSCAD/EMTDC 和 MATLAB 的联合仿真^[8,9]对 SVC 预防电压失稳快速控制方法进行研究,充分利用了 MATLAB 编程方便的优点和 PSCAD/EMTDC 在电力系统电磁暂态仿真中的权威性,以确保仿真结果的可信性和有效性。

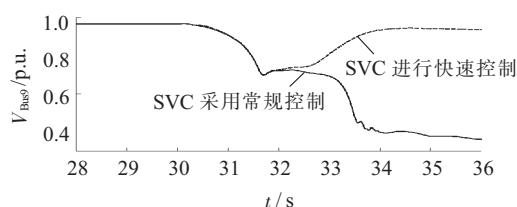
算例仿真在图 2 所示的 3 机 10 节点系统中进行,在系统中安装 2 台 SVC,分别为节点 B6 的 SVC1 和节点 B9 的 SVC2,2 台 SVC 容量均为 80Mvar。系统施加的扰动与 2.1 中的相同,当 2 台 SVC 不采用预防电压失稳快速控制方法时,会出现电压失稳的状况。当采用快速控制方法时,2 台 SVC 的快速控制动作时序如表 1 所示。考虑控制延时,在节点报警后 0.005 s 启动 SVC 快速控制。将 SVC 采用常规控制和采用快速控制的情况进行对比,如图 5 和图 6 所示。其中考虑到各节点电压变化情况类似,仅观察较有代表性的系统侧节点 B6 和负荷侧节点 B9。

表 1 2 台 SVC 快速控制启动时序

报警节点	B9	B7
报警时间 /s	30.16	30.20
快速控制的 SVC	SVC2	SVC1
控制启动时间/s	30.165	30.205

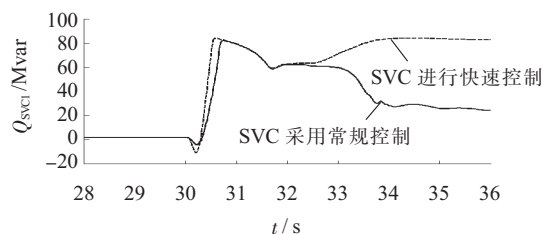


(a) 节点 B6 电压曲线

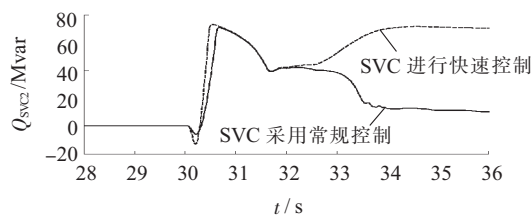


(b) 节点 B9 电压曲线

图 5 SVC 进行快速控制和采用常规控制电压曲线对比



(a) SVC1 的无功输出曲线



(b) SVC2 的无功输出曲线

图 6 SVC 进行快速控制和采用常规控制无功输出对比

由图 5 可见,提出的 SVC 预防电压失稳的快速控制方法在电压濒临失稳时有效阻止了电压失稳的发生,提高了系统的电压稳定性。由图 6 可见,采用快速控制方法时,在检测出电压失稳趋势时 SVC 输出无功的速度会明显加快,为系统提供了快速的无功支持,从而有效预防了电压失稳的发生。

4 结束语

考虑到在系统电压濒临失稳时无功储备投入速度对电压稳定性有较大影响,提出了 SVC 预防电压失稳的快速控制方法。该方法以 VIP 指标数值越限为启动条件,按照一定规则提升 SVC 控制系统电压参考值 V_{ref} 来加快 SVC 的无功输出速度,从而预防电压失稳。本文用 PSCAD/EMTDC 和 MATLAB 联合仿真的算例,验证了该方法在提升系统电压稳定性上的有效性。所提方法原理简单,易于实现,有良好的控制效果,在实际电力系统中,可使用 PMU 数据实时跟踪节点 VIP 指标,从而实现 SVC 快速控制,实用性强。更重要的是,该方法仅仅针对 SVC 控制系统外部数据进行控制,不需要改变 SVC 原有的系统结构和参数,非常适合在实际系统中应用,有较好的发展前景。

参考文献:

- [1] 孙元章,刘前进. FACTS 控制技术综述——模型、目标与策略[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(6): 1-7.
- [2] 王云洁,胡 毅. SVC 电压稳定控制和抑制低频振荡交互影响研究[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(1): 23-25.
- [3] 王玉荣,万秋兰,陈 昊. 基于模糊聚类和学习自动机的多目标无功优化[J]. 电网技术, 2012, 36(7): 224-230.
- [4] 盘宏斌,罗 安,涂春鸣,等. 蚁群优化 PI 控制器在静止无功补偿器电压控制中的应用[J]. 电网技术, 2008, 32(18): 41-46.
- [5] 赵金利,余贻鑫, ZHANG P. 基于本地相量测量的电压失稳指标工作条件分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(24): 1-4.

基于 GAMS 的光伏发电消纳体系研究

薛斌

(江苏省电力公司检修分公司, 江苏南通 226006)

摘要:提出了一个综合考虑光伏发电机组和传统机组的消纳体系,建立了相应的光伏发电消纳分析数学模型,给出了模型求解方法,以标准的 IEEE26 机 24 节点系统为原型给出了 3 个典型算例,并采用 GAMS(通用代数建模系统)求解。通过对计算结果的分析,表明光伏机组的加入可明显降低发电成本,且光伏发电需要消耗大量的无功,揭示了综合光伏发电消纳体系中发电成本、机组出力、系统稳定之间的密切联系,从而验证了模型和方法的有效性。

关键词:光伏发电;消纳体系;GAMS

中图分类号: TM615

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2014)02-0004-04

光伏发电作为一种可再生能源,越来越受到各国学者的关注。对于如何对光伏发电消纳也成为了业界一个普遍关注的问题,在该领域已经取得了不少的成果。其中文献[1]对于并网光伏电站低电压穿越进行了仿真与分析,文献[2]对大型光伏电站并网特性及其低碳运行与控制技术进行了深入的分析,通过逆变器多模式控制策略来实现大型光伏电站的低碳调度并以此获得最高的低碳效益,由于光伏电能转换过程中不产生无功也不消耗无功,在逆变过程中要消耗无功,因此就要对光伏电站进行无功补偿,文献[3]对具有无功功率补偿和谐波抑制的光伏并网功率调节器的控制和调节方面进行了研究。虽然以上这些文章并不是完全针对光伏发电消纳,但是对于光电消纳方面还是有一定的借鉴意义的。

就模型而言,现在对于光伏消纳模型的研究主要是考虑如何将光伏出力的波动以及不确定性减小到最低。文献[4]主要就是论述的一种平滑方法,通过该方法建立一个包括光电,风电和蓄电池的混合储能系统,以此来将系统的出力波动降到最低。在现有的文献中,极少有将光伏发电机组和传统机组综合起来考虑进行消纳。

1 光伏发电消纳模型及求解方法

1.1 光伏发电消纳分析模型

$$\min F = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \{u_i(t)C_i[P_i(t)] + S_i[x_i(t), u_i(t)]\} \quad (1)$$

式(1)中: F 为所有机组发电的总费用函数; T 为一个调度周期; I 为调度机组的台数; C_i 为发电费用函数; $C_i[P_i(t)] = \alpha_i P_i^2 + \beta P_i + \gamma$,其中 α, β, γ 为机组 i 的费用函数的系数; $u_i(t) = 1$ 为机组 i 在 t 时段开机; $u_i(t) = 0$ 为关机; $P_i(t)$ 为机组 i 在 t 时段的有功出力; S_i 为机

组 i 的开机费用; $x_i(t)$ 为以该时段前机组 i 最后一次开机时段为时间起点,并且中间没有停机,整个过程内的时段累计开机时间,为正值;相类似的有机组的连续累计停机时间为负值。

(1) 功率平衡约束:

$$\sum_{i=1}^I P_i(t)u_i(t) = P_{\text{load}}(t) + P_L(t) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I Q_i(t)u_i(t) = Q_{\text{load}}(t) + Q_L(t) \quad (3)$$

式(2)中: $P_{\text{load}}(t), P_L(t)$ 分别为 t 时段的负荷和网损。

(2) 旋转备用约束:

$$\sum_{i=1}^I [P_{i,\text{max}}(t) + P_{\text{pvi,max}}(t) - P_i(t)]u_i(t) \geq R(t) \quad (4)$$

式(4)中: $R(t)$ 为 t 时段所需的旋转备用。

(3) 由于每台机组都有一定的容量限制,则:

$$u_i(t)P_{i,\text{min}} \leq P_i(t) \leq u_i(t)P_{i,\text{max}} \quad (5)$$

$$u_i(t)Q_{i,\text{min}} \leq Q_i(t) \leq u_i(t)Q_{i,\text{max}} \quad (6)$$

$$0 \leq P_{\text{pvi}}(t) \leq u_i(t)P_{\text{pvi,max}} \quad (7)$$

式(5—7)中: $P_{i,\text{min}}, P_{i,\text{max}}, Q_{i,\text{min}}, Q_{i,\text{max}}$ 分别为机组 i 的有功和无功出力上下限; $P_{\text{pvi,max}}$ 为光伏机组 i 的出力上限。

(4) 发电机组在增加功率和减少功率时也要受一定约束:

$$-P_{i,\text{down}} \leq P_i(t) - P_i(t-1) \leq P_{i,\text{up}} \quad (8)$$

$$-P_{\text{pvi,down}} \leq P_{\text{pvi}}(t) - P_{\text{pvi}}(t-1) \leq P_{\text{pvi,up}} \quad (9)$$

式(8,9)中: $P_{i,\text{down}}, P_{i,\text{up}}$ 分别为机组 i 的有功出力的下降和上升限制。

(5) 机组最小开机和关机时间。机组不能频繁地开关,必须开机/关机一段时间之后才能关机/开机,即: $u_i(t) = 1$,此时 $X_i^{\text{on}}(t) < T_i^{\text{on}}$; $u_i(t) = 0$,此时 $X_i^{\text{off}}(t) < T_i^{\text{off}}$ 。

其中, $X_i^{\text{on}}(t)$ 为机组 i 在 t 时段之前已经运行的时

间; T_i^{on} 为机组*i*的最小开机时间。

(6) 线路功率限制:

$$P_{jk,\min} \leq P_{jk}(t) \leq P_{jk,\max} \quad (10)$$

$$Q_{jk,\min} \leq Q_{jk}(t) \leq Q_{jk,\max} \quad (11)$$

式(10,11)中: $P_{jk,\min}, P_{jk,\max}$ 为节点*j*到节点*k*之间线路的最小和最大有功传输功率; $Q_{jk,\min}, Q_{jk,\max}$ 为节点*j*到节点*k*之间线路的最小和最大无功传输功率。

(7) 节点电压限制,这里就是要将节点电压限制在一定范围内,即:

$$V_{j,\min} \leq V_j(t) \leq V_{j,\max} \quad (12)$$

且有:

$$P_{jk}(t) = [V_j(t)^2 - V_j(t)V_k(t)\cos\theta_{jk}(t)]g_{jk} - V_j(t)V_k(t)\sin\theta_{jk}(t)b_{jk} \quad (13)$$

$$Q_{jk}(t) = -V_j(t)V_k(t)\sin\theta_{jk}(t)g_{jk} - [V_j(t)^2 - V_j(t)V_k(t)\cos\theta_{jk}(t)]b_{jk} \quad (14)$$

1.2 模型求解

该模型采用通用代数建模系统(GAMS)求解。GAMS是一款数学规划和优化的高级建模系统,特别为求解线性、非线性和混合整数最优化问题而设计,它允许使用者通过制定简单的设置来把精力放在建模问题上,使用GAMS,数据仅仅需要一次就能在熟悉的列表和表格形式中输入,模型以简练的代数声明来描述,对于人和机器都很容易读懂,相关约束的整个集合被输入到一个声明中,GAMS自动生成每个约束等式,至于执行的费时的细节将由GAMS系统来处理。GAMS的操作大抵可分为3个步骤:(1)建立GAMS输入文件;(2)执行GAMS程序;(3)输出GAMS求解结果。

2 算例分析

2.1 算例 1

用一个IEEE26机24节点系统进行测试,其系统图如图1所示。将全天24h平均分为24个时段,仿真结果均为标么值(下同)。

首先为分析方便,暂时不加入光伏机组,只考虑常规机组的机组组合问题。仿真结果如表1、表2所示(篇幅所限,只列出Unit1,Unit17,Unit19和Unit26的数据,Unit2—Unit9与Unit1类似,此处略去)。

算例1所有机组发电的总费用为771981.021元。Unit1—Unit9由于运行费用相对其他机组较高,因此从总体上来看,它们的出力较少,并且停机时间也比较长;在第18时段这9台机组都有比较多的出力,因为负荷在该时段突然增加,其他机组基本上已经满发,所以需要增加费用相对较高的机组来平衡负荷。

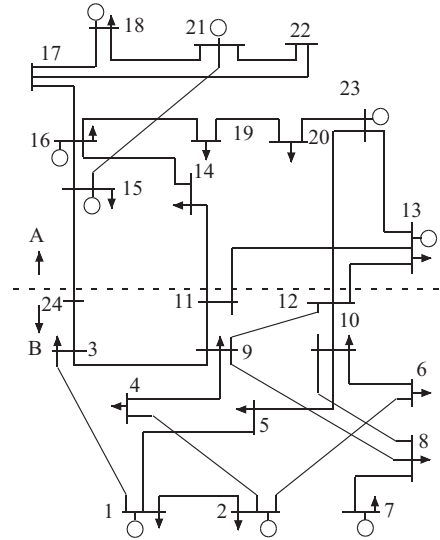


图1 IEEE26机24节点系统图

表1 机组出力表(1—12时段) p.u.

时段	1	2	3	4	5	6
Unit1	0	0	0	0	0	0
Unit17	1.550	1.514	1.428	1.550	1.320	1.344
Unit19	1.550	1.376	1.396	1.550	1.432	1.473
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
时段	7	8	9	10	11	12
Unit1	0	0	0	0	0	0
Unit17	1.550	1.514	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	1.550	1.474	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

表2 机组出力表(13—24时段) p.u.

时段	13	14	15	16	17	18
Unit1	0	0	0	0	0	0.024
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
时段	19	20	21	22	23	24
Unit1	0	0	0.024	0	0	0
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	1.550	1.474	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

2.2 算例 2

将光伏发电加入到该电网中来,和算例1的模型相比,将Unit1和Unit19替换为光伏机组,并且Unit19是6台光伏机组的并联。仿真结果如表3、表4所示(篇幅所限,只列出Unit1,Unit17,Unit19和Unit26的数据)。

表3 机组出力表(1—12时段) p.u.

时段	1	2	3	4	5	6
Unit1	0	0	0	0	0.004	0.030
Unit17	1.219	0.999	1.065	1.222	1.291	1.550
Unit19	0	0	0	0	0.025	0.181
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

时段	7	8	9	10	11	12
Unit1	0.044	0.157	0.239	0.257	0.314	0.328
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	0.265	0.941	1.432	1.541	1.882	1.966
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

表4 机组出力表(13—24时段) p.u.

时段	13	14	15	16	17	18
Unit1	0.321	0.328	0.257	0.221	0.044	0.030
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
Unit19	1.924	1.966	1.541	1.327	0.265	0.181
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

时段	19	20	21	22	23	24
Unit1	0.015	0.002	0.0007	0	0	0
Unit17	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.483
Unit19	0.088	0.013	0.004	0	0	0
Unit26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

算例2所有机组发电的总费用为723 993.231元。由表3、表4可见,由于将Unit1换成光伏机组之后,其在第1到第24时段内大都是满发,正是因为光伏出力是不需要消耗煤的,没有发电成本,所以该机组一般选择满发。

对比算例1的结果可看出:

(1) 由于Unit1和Unit17是在同一节点上,而Unit1在第1到第4时段是没有出力的,为了保持该节点功率平衡,在考虑网络传输功率的条件下就有2种选择,Unit17直接增加发电或者相邻节点上的Unit26增加出力,最后的结果是Unit17多出力,原因是Unit17的发电成本低于Unit26;

(2) 在加入光伏机组后,与光伏节点相连线路的流出功率会增加,这样也符合整个系统的成本最小化。

2.3 算例3

算例2可看出,光伏机组的加入会使得成本降低,又由于其中有很多线路的传输功率值还远远没有达到上限,因此可提高光伏机组的出力值,来看是否会使得整个系统的成本更低。在这里将每台机组的出力放大到原来的10倍,仿真结果如表5、表6所示(篇幅所限,只列出Unit19,Unit21,Unit22,Unit23的数据)。

表5 机组出力表(1—12时段) p.u.

时段	1	2	3	4	5	6
Unit1	0	0	0	0	0.252	1.806
Unit17	0	0	0	0	0	0
Unit19	0	0	0	0	0	0
Unit26	0	0	0	0	0	0

时段	7	8	9	10	11	12
Unit1	2.464	9.408	11.801	10.662	7.690	0
Unit17	0	0.689	0.689	0.689	0.870	1.420
Unit19	0	0	0	0	0	0.689
Unit26	0	0	0.689	0.689	0.870	1.420

表6 机组出力表(13—24时段) p.u.

时段	13	14	15	16	17	18
Unit1	0	0	6.442	0	2.646	1.806
Unit17	1.970	1.970	1.394	1.944	0.954	0.749
Unit19	1.239	0.689	0	0	0.689	0.689
Unit26	1.970	1.789	1.129	1.679	0.689	0

时段	19	20	21	22	23	24
Unit1	0.882	0.126	0.042	0	0	0
Unit17	1.251	1.801	1.811	1.566	0.689	0
Unit19	1.053	1.603	1.612	1.367	0.689	0
Unit26	0	0	0.689	0	0	0

算例3所有机组发电的总费用为654 638.688元。对比算例2可得出如下结论:

(1) 在第8到第12时段,与Unit19所在节点邻近节点的Unit21—Unit23的出力都相应减少或者减少为0,但Unit19却没有满发,这是因为线路已经接近满载,这样虽然费用大大减少,但是长期运行会使得线路老化严重,系统风险增加;

(2) 算例3中从Unit19所在节点流出的无功功率大大减少,说明光伏发电需要消耗大量无功功率,因此在对光伏进行大规模消纳的时候,要考虑在光伏节点处注入无功,否则就会造成系统的不稳定。

3 结束语

提出了一个综合考虑光伏发电机组和传统机组的消纳体系,建立了相应的光伏发电消纳分析体系的数学模型,对标准的IEEE26机24节点系统及其演变的2个系统算例采用GAMS求解,通过对计算结果的分析,得出以下结论:

(1) 本文所建立的数学模型和采用的GAMS是有效的。

(2) 光伏发电机组的加入会降低机组整体的发电

成本,应优先选择发电成本低的机组增加出力。

(3) 要在确保系统稳定的前提下,增加机组出力,可适当在光伏节点注入无功。

再下一步可从以下方面深入研究。选取哪些节点为光伏节点对提高系统的经济性最佳以及在光伏节点注入无功对系统稳定性的影响。

参考文献:

- [1] 陈波,朱凌志,朱晓东. 并网光伏电站低电压穿越仿真与分析[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):13-17.
- [2] 艾欣,韩晓男,孙英云. 大型光伏电站并网特性及其低碳运行与控制技术[J]. 电网技术,2013,37(1):15-23.

[3] 汪海宁,苏建徽,张国荣,等. 具有无功功率补偿和谐波抑制的光伏并网功率调节器控制研究[J]. 太阳能学报,2006,27(6):540-544.

[4] LI L L, DING Q, LI H, et al. Optimal Dispatching Method for Smoothing power Fluctuations of the Wind-Photovoltaic-Battery Hybrid Generation System[C]. ISGT Asia, Tianjin: IEEE,2012:1-6.

作者简介:

薛斌(1982),男,江苏如皋人,工程师,从事电力系统的安全与控制工作。

Research on the Photovoltaic Power Consumption System Based on Gams

XUE Bin

(Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper proposes a Power Consumption System with the considerations of photovoltaic power and regular power. A mathematical model for photovoltaic power consumption analysis is built and the way to solve the model is provided. The IEEE 26-generator 24-bus test system is taken as an example and three scenarios of it are analysed with the method of GAMS. The results show that the generation cost is reduced and reactive power consumption is increased with the integration of photovoltaic power. It also reveals that there exists tight connections among generation cost, generation output and power system stability, which validates the effectiveness and correctness of the proposed system.

Key words: photovoltaic generation; consumption system; GAMS

(上接第3页)

- [6] CORSI S, TARANTO G N. A Real-time Voltage Instability Identification Algorithm Based on Local Phasor Measurements [J]. Power Systems, IEEE Transactions on,2008,23(3):1271-1279.
- [7] 牟善科,丁涛,顾伟,等. 基于偏差校正的戴维南等值参数在线跟踪改进算法[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(2):23-28.
- [8] 杨健维,麦瑞坤,何正友. PSCAD/EMTDC 与 Matlab 接口研究[J]. 电力自动化设备,2007,27(11):83-87.
- [9] 邹宁,方存洋,刘育鑫,等. PSCAD/EMTDC-MATLAB 联合仿真

技术在 SVC 控制系统仿真建模中的应用[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):40-44.

作者简介:

任旭超(1989),男,河南济源人,硕士研究生,研究方向为电力系统电压稳定与控制、FACTS 装置协调控制;

万秋兰(1950),女,江西南昌人,教授,研究方向为电力系统运行与控制及电力系统经济调度。

A Fast SVC Control Method for Voltage Stability

REN Xuchao, WAN Qiulan

(Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: When voltage tends to instability, SVC (Static Var Compensator) may fail to prevent it due to the slow reactive power output speed. For this situation, a fast control method of SVC to prevent voltage instability is proposed. The out-of-limit of VIP(voltage instability predictor) is set as the starting condition of this method. The reactive power output speed of SVC is raised by adjusting the voltage reference of SVC controller, thus voltage instability is prevented. PSCAD/EMTDC and MATLAB joint simulation is adopted for example analysis, and the results prove that the control method improves voltage stability. Moreover, the method only adjusts external data of SVC control system, and the original structure and parameters of SVC control system are not changed, so it is easy to apply the method current actual power system.

Key words: SVC; Thevenin equivalent; Voltage stability; PSCAD/EMTDC; MATLAB

欢迎投稿 欢迎订阅

应用于月度用电量预测的小波分析法

吴雪花

(南京航空航天大学金城学院, 江苏 南京 211156)

摘要: 月度用电量预测是中期负荷预测的主要内容,也是制定月度发电规划的基础。文中以美国亚利桑那州为例,采用小波分析法,首先使用小波变换获得若干个采样点减少一半的小波系数;然后分别对各系数插零、重构,恢复到原数据的长度;最后采用RBF神经网络对恢复长度的各系数进行预测。该方法将月度用电量的时间序列分解成趋势项和波动项,分别进行预测,提高了预测精度。

关键词: 用电量预测,小波,RBF神经网络

中图分类号: TM715

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2014)02-0008-04

月度用电量预测是中期负荷预测的主要内容,也是制定月度发电规划的基础。近年研究发现,用电量不仅呈逐年变化的趋势,而且受气温波动的影响^[1]。因此将月度用电量数据逐年变化趋势的特征和随气温波动的特征这2种特征进行分离剖析,能够提高预测的准确性^[2,3]。小波分析法是一种运用伸缩平移运算,对高频分量进行时间细分,低频分量进行频率细分,最终将信号分解成一系列小波函数叠加的分析方法。该方法实现了时间频率的局部化分析。相较于傅里叶分析,小波函数可以逼近非稳态信号中尖锐变化的部分,也可以逼近离散不连续具有局部特性的信号,描述能力更强,是信号分解的一种常用方法,对非线性信号具有较好的分解效果^[4]。

文献[3]采用小波分析法,将用电量数据分解成若干不同尺度的分量,使得数据逐年变化趋势的特征和随气温波动的特征这两种特征分离,然后采用BP神经网络对各分量分别进行预测,总体预测精度更高。然而小波分析每进行一次分解,小波系数的采样点会减少一半,影响预测精度,文献[3]并未对小波分解的这种不足加以分析。

针对这种不足,本文将做如下改进:首先采用小波分析法对月度用电量进行分解;然后采用小波重构将各小波系数恢复到原数据的长度;最后采用RBF神经网络对恢复长度的各系数进行月度用电量预测,并与传统的小波分析法进行比较。

1 小波分析法

1989年,Mallat等人采用滤波器的方法实现了离散小波变换^[4],Mallat离散小波变换可表示为:

$$cA_{j+1}(n) = \sum_k H(k-2n) \times cA_j(k) \quad (1)$$

$$cD_{j+1}(n) = \sum_k G(k-2n) \times cA_j(k) \quad (2)$$

式(1,2)中: j 为分解尺度; k, n 为平移系数; cA_j 为第 j 层小波系数的低频部分; cA_{j+1} 和 cD_{j+1} 分别为第 $j+1$ 层小波系数的近似分量和细节分量; H, G 为小波分解滤波器。

式(1)和式(2)所示的离散小波变换等效于分别采用高通滤波器 H 和低通滤波器 G 对 cA_j 进行滤波,并进行降采样,得到近似分量 cA_{j+1} 和细节分量 cD_{j+1} 。

形象化的小波分解过程如图1所示。首先对原信号 $x(t)$ 进行小波变换,即对 $x(t)$ 进行滤波和降采样,得到近似分量 cA_1 和细节分量 cD_1 ;然后对近似分量 cA_1 进行小波变换,即对 cA_1 进行滤波和降采样,得到 cA_2 和 cD_2 ;接着对近似分量 cA_2 进行小波变换,……,以此类推,直至得到近似分量 cA_{j+1} 和细节分量 cD_{j+1} 。

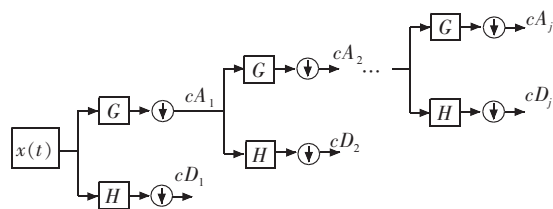


图1 小波分解的流程图

文献[3]中采用小波分析法,将原信号 $x(t)$ 进行3次滤波和降采样,得到相应的近似分量和细节分量。其中近似分量表征逐年变化趋势的特征,细节分量表征随气温波动的特征。然后采用组合预测的方法,利用小波系数 cD_1, cD_2, cD_3 和 cA_3 ,对波动分量和趋势分量分别进行预测。然而,这种仅利用小波系数 cD_1, cD_2, cD_3 和 cA_3 进行组合预测的方法存在2个缺点。

(1) 各小波系数中横坐标为采样点,纵坐标为系数值,缺乏具体的物理意义。

(2) 在离散小波分解过程中,每进行一次滤波和降采样,采样点就会减少一半。如果原信号数据有269个采样点,那么,经4次滤波和降采样后得到的 cA_4 仅剩17个采样点,显然会降低表征逐年变化趋势的特征分

量的预测精度。

为了克服上述缺点,可以对小波系数 cD_1, cD_2, cD_3, cD_4 和 cA_4 分别进行重构,使得它们恢复原来的数据长度。借助 Mallat 离散小波变换对应的反变换,可以有效实现该重构目标。Mallat 离散小波变换对应的反变换可表示为:

$$cA_j(k) = \sum_n G'(k-2n) \times cA_{j+1}(n) + \sum_n H'(k-2n) \times cD_{j+1}(n) \quad (3)$$

式(3)中: H', G' 为小波重构滤波器,且 H' 为高通滤波器, G' 为低通滤波器。

式(3)表示的离散小波反变换等效于采用低通滤波器 G' 对近似分量 cA_{j+1} 进行滤波,同时采用高通滤波器 H' 对细节分量 cD_{j+1} 进行滤波,然后对这 2 个输出量进行求和并升采样,重构得到上一层小波系数的低频部分 cA_j 。升采样过程中要在各系数各采样点之间插零,并通过重构滤波器 H', G' 进行滤波。形象化的小波分解和重构的全过程如图 2 所示。

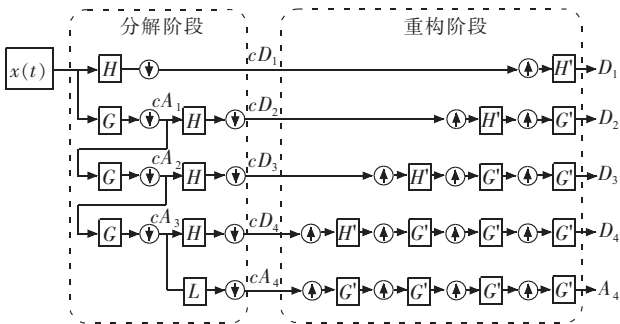


图 2 月度用电量数据小波分解的全过程

通过小波重构,各小波系数不仅恢复了原来的长度,且都被赋予了明确的物理意义, D_1, D_2, D_3, D_4 和 A_4 可以看作是原信号 $x(t)$ 的 4 个分量,并且有:

$$x(t) = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + A_4 \quad (4)$$

小波函数决定着小波变换及其反变换过程中各滤波器 H, G, H', G' 的表达式,其选取直接关系着分解效果的好坏。Daubechies 是一类正交小波函数,在分解的过程中不会造成信息的丢失,因此被广泛应用于负荷预测领域。

2 算例分析

以美国亚利桑那州从 1990 年 1 月至 2007 年 5 月共 209 个月的月用电量数据为例,该数据来自美国能源信息局官方网站:<http://www.eia.gov/electricity/data.cfm>。数据曲线如图 3 所示。其中,前 173 个月的数据用于训练,后 36 个月的数据用于测试。本文进行月度用电量预测方法的流程图如图 4 所示。

首先对月度用电量数据 $x(t)$ 进行小波分解,4 次

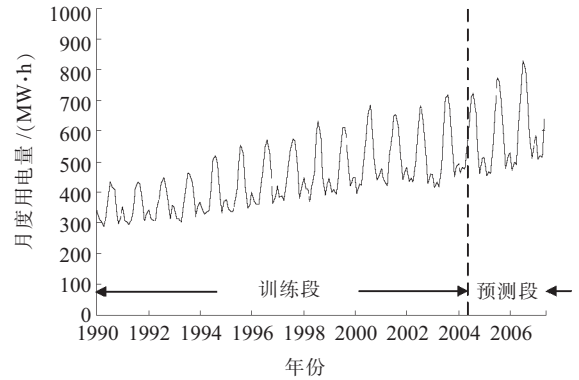


图 3 亚利桑那州 1990 年 1 月至 2007 年 5 月月度用电量曲线

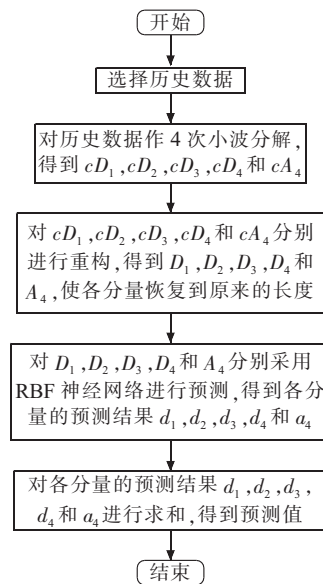


图 4 本文预测方法的流程图

滤波和降采样之后,再通过小波重构恢复数据长度,得到 D_1, D_2, D_3, D_4 和 A_4 的 5 个分量;然后对 D_1, D_2, D_3, D_4 和 A_4 分别采用 RBF 神经网络进行预测,本次预测模型需要建立 5 个 RBF 神经网络;最后对 5 个预测结果进行求和,得到预测值。具体的,首先采用 Daubechies 4 小波函数,将亚利桑那州月用电量数据进行小波分解,结果如图 5 所示。

从图 5 中可以看出,第 4 次小波变换后,近似分量 cA_4 已基本没有波动的特征,因此可以认为系数 cA_4 代表了月度用电量数据中不随气温变化的那一部分趋势分量,此外 cD_1, cD_2, cD_3 和 cD_4 , 与 cA_4 相对应,是反映月度用电量数据随气温波动的那一部分分量。

经过小波分解,原信号 $x(t)$ 中不同尺度的分量已基本被分离出来,在此基础上对各分量进行对应的小波重构,使得各分量恢复原来的数据长度。重构后的各分量分别为 D_1, D_2, D_3, D_4 和 A_4 , 它们的曲线图如图 6 所示。

获得上述分析结果后,就可以对未来一个月的用

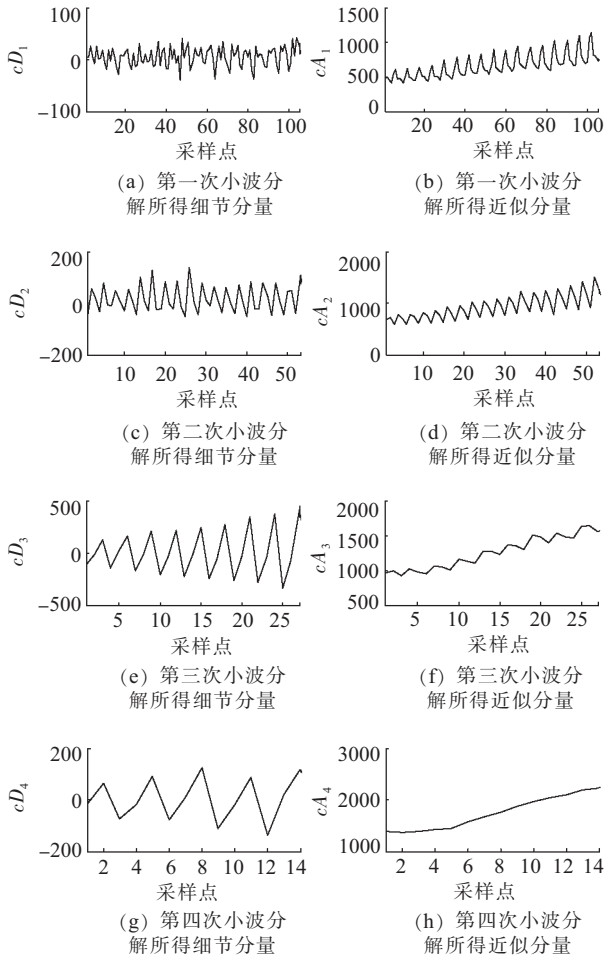


图5 月度用电量曲线小波分解结果

电量值进行预测了。虽然月度用电量数据受到气温、经济、政治等因素的影响,但是这些因素大多以12个月为周期,因此采用过去12个月的月用电量数据来预测未来一个月的用电量是非常合理的^[5,6]。本文采用RBF神经网络对上述分析结果进行预测。RBF神经网络是一种三层前馈网络,具体的结构图如图7所示。图中 $x(t_p-1), x(t_p-2) \dots x(t_p-12)$ 为所需预测月度 t_p 之前连续12个月的用电量数据,而 $x_{pre}(t_p)$ 为该月度用电量的预测值。

本次算例中,需要建立5个如图7所示的RBF神经网络,依次命名为RBFNN1~5。然后,将恢复原来数据长度的小波系数 D_1, D_2, D_3, D_4 和 A_4 作为历史数据,分别输入RBFNN1~5中,每个小波系数对应一个RBF神经网络。譬如,将 D_1 中前173个月的数据每连续12个月作为一组输入RBF神经网络RBFNN1中,预测相应未来一个月的用电量,预测值输出量结合对应月份已知用电量可以训练RBFNN1。利用训练好的神经网络RBFNN1预测小波系数 D_1 中后36个月的数据 $D_{1pre}(i)$,其中变量 i 为1~36的自然数。参照以上步骤,分别预测 D_2, D_3, D_4 和 A_4 中后36个月的数

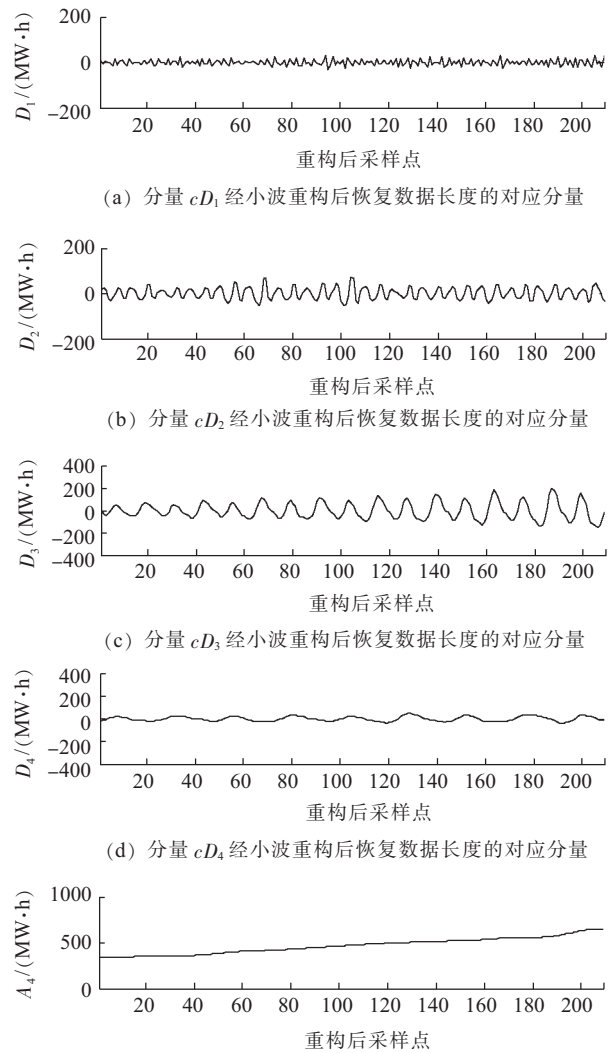


图6 小波重构后恢复原来数据长度各分量

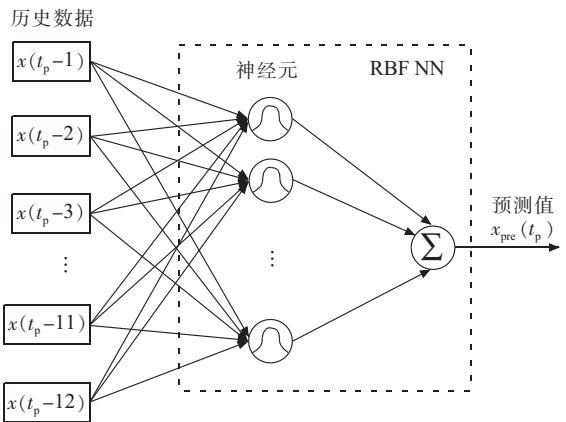


图7 RBF神经网络结构图

据,分别为 $D_{2pre}(i), D_{3pre}(i), D_{4pre}(i), A_{4pre}(i)$,其中变量 i 为1~36的自然数。 $D_{1pre}(i), D_{2pre}(i), D_{3pre}(i), D_{4pre}(i)$ 和 $A_{4pre}(i)$ 是后36个月的预测用电量 $x_{pre}(i)$ 的5个分量,并且有:

$$x_{pre}(i) = D_{1pre}(i) + D_{2pre}(i) + D_{3pre}(i) + D_{4pre}(i) + A_{4pre}(i) \quad (5)$$

MATLAB 仿真结果显示,本文提出的方法预测精

准确度较高。为了充分说明这点,接下来将采用另外2种方法进行预测对比。其中,方法1不对月度用电量数据 $x(t)$ 做任何分解,直接采用RBF神经网络对 $x(t)$ 进行预测;方法2采用文献[3]提出的小波分析法对 $x(t)$ 进行预测;方法3是本文提出的方法。3种方法的36个月用电量数据预测结果如图8所示。

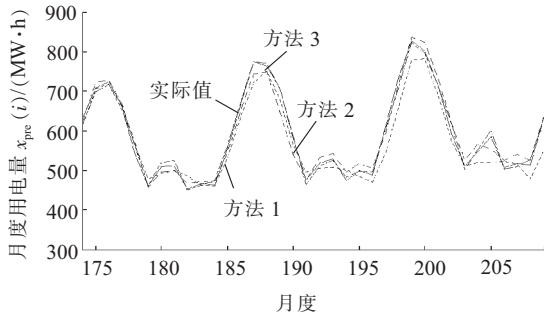


图8 各预测方法预测结果

从图8中可以看出,相比于其他2种方法,本文所提出的方法具有更高的预测精度。为进一步比较上述3种方法的预测精度,还可以比较它们预测结果的2个指标。

平均绝对百分误差:

$$\delta_{MAPE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{x(i) - x_{pre}(i)}{x(i)} \right| \times 100\% \quad (6)$$

均方根误差:

$$\delta_{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [x(i) - x_{pre}(i)]^2}{N}} \quad (7)$$

式(6,7)中: N 为测试样本的个数,这里为36个; $x(i)$ 为实际值; $x_{pre}(i)$ 为预测值。3种方法的平均绝对百分误差 δ_{MAPE} 和均方根误差 δ_{RMSE} 如表1所示。

从表1可以看出,方法3的 δ_{MAPE} 和 δ_{RMSE} 比另外2种方法要小,再一次证明了本文所提出的方法对月度用电量数据的预测更加精确。

表1 3种方法的预测误差

误差	方法1	方法2	方法3
$\delta_{MAPE}/\%$	4.22	2.90	1.40
δ_{RMSE}/MW	32.84	20.26	10.24

3 结束语

本文提出了一种应用于月度用电量预测的小波分析法。传统的Mallat小波分析法在小波分解过程中,每进行一次分解,采样点就会减少一半,从而影响预测精度。针对这种现象,该法可以通过小波重构将各分量的采样点个数恢复到原来数据的长度,再通过RBF神经网络进行预测,大大提高预测精度。

参考文献:

- [1] 许琦,曾凌. 南京电网负荷与气温敏感性分析[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(5): 55-57.
- [2] 刘学琴,吴耀华,崔宝华. 小波软阈值去噪和GRNN网络在月度负荷预测中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 59-62.
- [3] 姚李孝,刘学琴. 基于小波分析的月度负荷组合预测[J]. 电网技术, 2007, 31(19): 65-68.
- [4] MALLAT S. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition-the Wavelet Representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7): 674-693.
- [5] CHEN Y, LUH P B, GUAN C. Short-Term Load Forecasting: Similar Day-Based Wavelet Neural Networks[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2010, 25(1): 322-330.
- [6] AGNALDO R R, ALEXANDRE P A. Feature Extraction via Multiresolution Analysis for Short-term Load Forecasting[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2005, 20(1): 189-198.

作者简介:

吴雪花(1986),女,江苏金坛人,硕士研究生,从事开关电源、电力系统研究工作。

A Wavelet based Method for Monthly Electricity Demand Forecasting

WU Xuehua

(Jincheng College of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211156, China)

Abstract: Monthly electricity demand forecasting is the main content of medium-term load forecasting and the base of monthly scheduling for the power grid operation. This paper proposes a wavelet based monthly electricity demand forecasting method. It consists of three steps: first, the wavelet transform converts the original data series into several coefficients which are down sampled; second, inserting zeroes between each coefficient to recover the coefficients to the origin length; finally, RBF neural network is adopted to forecast the coefficients. By decomposing the monthly electricity consumption data series into trend component and fluctuation component and forecasting each component separately, the proposed method greatly improves the precision of monthly electricity demand forecasting.

Key words: demand forecasting; wavelet; RBF neural network

真空断路器投切并联电抗器过电压故障分析

吉亚民¹, 周志成², 马勇², 秦延山¹, 谢天喜²

(1.江苏省电力公司检修分公司, 江苏南京 211102; 2.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

摘要:文中以某220 kV变电站20 kV系统侧由真空断路器开断并联电抗器过电压引发的事故进行了分析。基于电路理论阐述了真空断路器投切并联电抗器过程中的截流、复燃、多次重燃过电压产生的机理,运用PSCAD建立了20 kV系统电磁暂态仿真模型,对不同截流值、不同并联电容下系统母线侧与电抗器侧的过电压进行了计算。结果表明常规氧化锌避雷器只能限制过电压幅值,不能改变频率和陡度,且现有避雷器均为相对地避雷器,不能有效地抑制相间过电压;电抗器两端加装并联电容器(或阻容吸收装置)可降低过电压幅值和陡度,能较好地抑制真空断路器投切电抗器过电压。

关键词:真空断路器; 并联电抗器; 过电压; 截流; 重燃; 并联电容器

中图分类号: TM561.2; TM866

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0012-03

随着城市电网中110 kV和220 kV电压等级长电缆输电线路的广泛应用,需要在主变低压侧使用并联电抗器对线路的容性无功进行补偿以控制线路末端电压。目前,10 kV和20 kV并联电抗器均采用真空断路器,而35 kV并联电抗器的投切则通常采用SF₆断路器,少量使用真空断路器。真空断路器具有结构简单、灭弧能力强、可频繁操作、维护方便、安全可靠等优点,但是在利用其切除电抗器时却极易因截流、重燃而产生很高的操作过电压,对设备的安全稳定运行造成严重威胁^[1,2]。近年来,多次发生真空断路器投切并联电抗器操作过电压导致所用变、母联开关闪络等故障^[3,4]。

1 故障实例

2012年5月1日08:10,某220 kV变电站20 kV 1号接地变104开关、2号主变变三侧分支—102开关故障跳闸。接地变保护装置过流保护、零序过流保护均动作出口跳开104开关,故障电流约为318 A;2号主变后备保护装置低压分支—复压闭锁过流II段动作出口跳开102开关,故障电流约为16 000 A;101开关无保护动作跳闸,跳闸时一次电流为1000 A左右。故障发生时的系统接线图如图1所示。

在20 kV设备区内检查发现,开关室内有浓烟冒出。发现母联A10开关柜烧毁,柜内保护装置烧毁严重,柜体已变形无法拉出,相邻A101隔离开关也无法拉出,打开A10开关柜后网门发现开关A相与母线间有明显放电灼烧痕迹。经现场分析,故障原因为切除6号电抗器时,在电抗器两端产生较高幅值过电压,开关发生重燃后,母线上也出现较高过电压引起20 kV母联A10开关发生故障。另外某变电站35 kV电抗器采用的真空开关,在切除该电抗器时,多次发

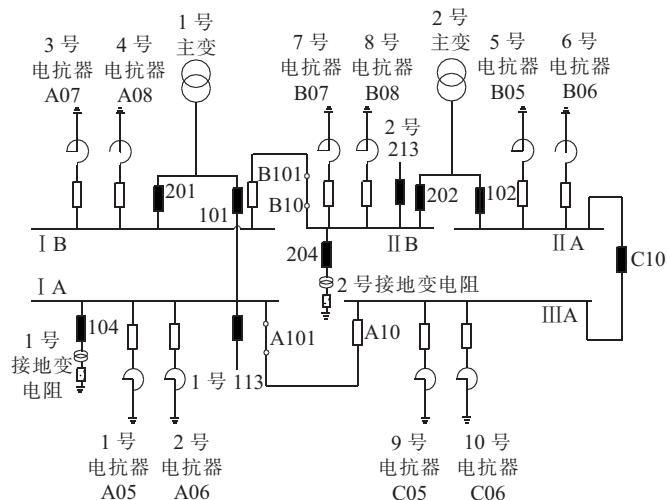


图1 变电站20 kV侧主接线运行方式

生接在母线上的站用变相间放电故障。现场实测过电压较高,超出了设备绝缘水平,且避雷器未起到防护作用。后来将真空断路器更换为SF₆断路器,运行正常。

2 真空断路器投切电抗器过电压分析

真空断路器切除电抗器操作过电压主要有截流过电压、复燃过电压和重燃过电压等^[5,6]。

2.1 截流过电压

真空断路器在开断电抗器时,因真空断路器的灭弧能力强,会使电流强迫过零而产生截流。并联电抗器等回路以电容、电感为主,这种回路的电压电流是不能突变的,截流必然引起剧烈的电磁振荡。忽略阻尼作用,根据能量守恒定律可推导出单相电抗器截流过电压的估计值:

$$\frac{1}{2}CU_0^2 + \frac{1}{2}LI_{ch}^2 = \frac{1}{2}CU_m^2 \quad (1)$$

式(1)中: L 为电抗器电感量; I_{ch} 为截流幅值; C 为电抗器绕组对铁心、电缆等对地的等效电容; U_m 为等效电容

上的电压最大值; U_0 为等效电容上的初始电压。

$$U_m = \sqrt{\frac{L}{C} I_{ch}^2 + U_0^2} \quad (2)$$

振荡频率为:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

由式(2,3)可以看出真空断路器截流值越高、杂散电容越小,截流过电压越高。三相系统的截流过电压更为复杂,但其原理基本相同。

2.2 复燃过电压

断路器在开断时,如果被开断的负荷侧暂态恢复电压及其上升率高于断口绝缘强度的恢复能力和恢复速度,电弧就会在瞬间将断口击穿,产生复燃,并在复燃相上产生复燃过电压,在其他相上产生感应过电压,随后高频暂态电流出现过零点,断口再次灭弧,再次截流。如果被开断的负荷侧暂态恢复电压及其上升率仍然高于断口绝缘强度的恢复能力和恢复速度,就会再次重复“击穿—灭弧”的过程,直到断口的绝缘强度足够大,不再产生复燃。在真空断路器开断并联电抗器时,其暂态恢复电压主要由截流引起,因此截流过电压的频率直接体现了暂态恢复电压上升率;很高的频率导致很高的暂态恢复电压上升率,很高的暂态恢复电压和暂态恢复电压上升率导致很高的复燃几率。

2.3 重燃过电压

一般情况下真空断路器的重燃是由于灭弧室制造时没有进行老炼造成的,在真空灭弧室采取老炼措施后,真空断路器的重燃几率很低。重燃和多次重燃的过电压产生过程与复燃的过程类似,多次重燃的过电压水平也是很高的。真空断路器在开断电抗器时,因真空断路器的灭弧能力强,会使电流强迫过0而产生截流,由截流产生较高的过电压可能使触头重燃,从而会有更高的过电压出现,必须采取过电压保护措施。在几次故障中,系统均安装了避雷器,但未起到防护效果。常规氧化锌避雷器只能限制过电压幅值,不能改变频率和陡度,也不能保护相间绝缘。为了抑制过电压,可考虑加装并联电容器(或阻容吸收装置),降低过电压幅度,也可降低过电压的频率。

3 建模计算

以该变电站 20 kV 侧主接线运行方式(如图 1 所示)为背景进行建模。电抗器每相电抗为 0.318 H, 20 kV 码唐 2 号为一段 1 km 的电缆线路,假定 6 号电抗器的断路器 A 相发生截流, B 相、C 相电流过 0 关断,对截流过电压进行仿真计算。母线及系统其他杂散电容考虑 2000 pF, 电源、主变、接地变等采用典型参数。

当假设母线上只有 6 号电抗器投入运行,在 6 号电抗器并联 1 组电容器,每组电容分别为 0.3 μ F、0.5

μ F、1 μ F、2 μ F 和 3 μ F。当切除 6 号电抗器时,计算 5 A 截流值下 20 kV 的过电压水平。母线上过电压计算结果如图 2、图 3 所示。

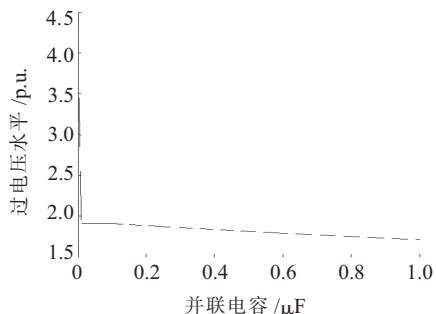
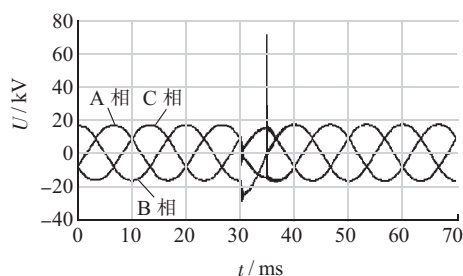
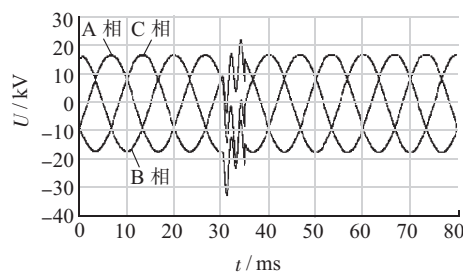


图 2 不同并联电容值下的母线过电压水平



(a) 母线的过电压波形(未并联电容器)



(b) 母线的过电压波形(并联电容器 0.3 μ F)

图 3 母线的过电压典型波形

由图 2 计算结果可知:并联电容后可明显降低母线的截流过电压水平,并联电容越大,过电压水平越低,加装电容器后,过电压水平处在 2.0 p.u. 以内;并联电容分别为 0.1 μ F、0.2 μ F、0.3 μ F、0.5 μ F、1 μ F、2 μ F 和 3 μ F 时,过电压水平分别降低 53.16%、53.81%、54.45%、55.53%、58.10%、62.42% 和 65.92%。电容值在 0.3 μ F 之后,过电压的降低程度不明显。电抗器侧的过电压水平如图 4、图 5 所示。

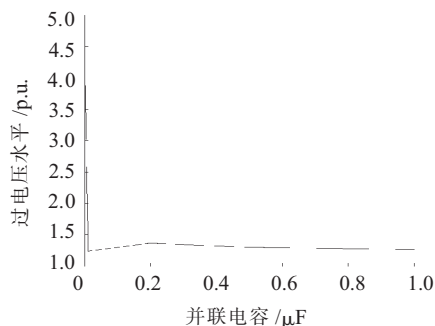
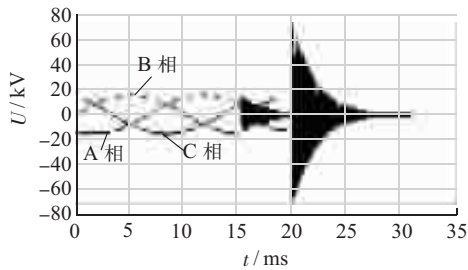
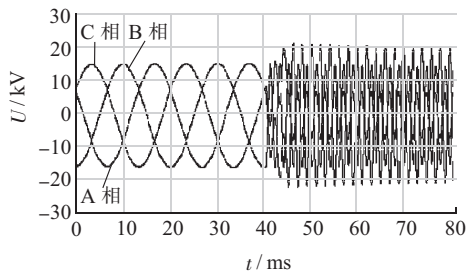


图 4 不同并联电容值下电抗器过电压水平



(a) 电抗器的电压波形(未并联电容器组)



(b) 电抗器电压波形(并联电容器 0.3 μF)

图5 电抗器的过电压典型波形

由图4计算结果可知:电抗器上并联电容器组后,电抗器的过电压水平明显降低,电容大于0.1 μF时,电抗器上过电压水平在1.4 p.u.以内。

4 结束语

(1) 真空断路器在开断并联电抗器时,因真空断路器的灭弧能力强,会使电流强迫过0而产生截流,由截流产生较高的过电压可能使触头重燃,从而会有更高的过电压出现。所以对于35 kV并联电抗器应采用SF₆断路器,而目前10 kV和20 kV开关柜均采用真空断路器,必须采取过电压抑制措施。

(2) 常规氧化锌避雷器只能限制过电压幅值,不能改变频率和陡度,不能保护相间绝缘。从故障现象和现场实测结果看,断路器在开断并联电抗器时相间过电压较高,导致设备相间故障。

(3) 为了抑制过电压,可考虑加装并联电容器(或阻容吸收装置),降低过电压幅度,也可降低过电压的频率。并可加装相间避雷器,进一步抑制相间过电压。并联电容器(或阻容吸收装置)和避雷器的参数,应根据系统情况计算确定。

(4) 真空断路器截流是其开断并联电抗器产生过电压的主要原因,本文建模计算5 A截流值下的过电压水平,如果截流值超过5 A,过电压还将大幅升高。真空断路器制造厂应采取措施,降低截流值。

参考文献:

- [1] 杜宁,关永刚,张景升,等. 40.5 kV真空断路器开断并联电抗器的现场试验[J]. 清华大学学报,2010,50(4):517-520.
- [2] 安昌萍,司马文霞,廖瑞金,等. 35 kV真空断路器开断空载变压器时过电压的研究[J]. 中国电机工程学报,2002,22(8):32-40.
- [3] 时燕新. 真空断路器投切并联电抗器过电压实例研究[J]. 华北电力技术,2005(6):2-5.
- [4] 陈西庚. 断路器切合并联电抗器爆炸原因分析[J]. 电力建设,2003,24(5):10-14.
- [5] 刘伟,孟庆刚,商姣,等. 一种新型级联多电平动态电压恢复器的研究[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):27-31.
- [6] 顾在峰,黄宇保,王峰. 10 kV真空负荷开关操动机构故障分析[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):23-24.

作者简介:

吉亚民(1972),男,江苏盐城人,高级工程师,从事电力系统过电压方面的研究工作;

周志成(1977),男,湖南株洲人,高级工程师,从事电力系统过电压及输电线路运行及维护等方面的研究工作;

马勇(1986),男,湖北襄阳人,助理工程师,从事过电压防护方面研究工作;

秦延山(1987),男,江苏南通人,助理工程师,从事电力系统过电压方面的研究工作;

谢天喜(1983),男,湖北天门人,博士,从事电力设备结构优化及电力系统过电压方面研究工作。

Analysis of Over-voltage Caused by Vacuum-breaker Switching on/off Shunt Connected Reactance

Ji Yamin¹, ZHOU Zhicheng², MA Yong², QIN Yanshan¹, XIE Tianxi²

(1. Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing, 211103, China)

Abstract: This paper studies a failure caused by a 20 kV vacuum-breaker¹ shunt connected reactor over-voltage in a 220 kV substation. Based on circuit theories, the mechanism of over-voltage in the process of vacuum-breaker switching on/off its shunt connected reactor is interpreted. Through building the electromagnetic transient model of a 20 kV power system in PSCAD environment, the over-voltages at bus side and reactor side with different shunt connected capacitors are calculated. It shows that a regular lightning arrester can only restrict the magnitude of over-voltage, and has no impact on its frequency and gradient; existing lightning arresters are ground-based, which is ineffective for restricting phase-to-phase over-voltage; and a reactor with shunt connected capacitor can both reduce the magnitude and gradient of over-voltage, which is effective to restrict the over-voltage in the process of vacuum-breaker switching on/off its shunt connected reactor.

Key words: Vacuum-breaker; Shunt connected reactor; Over-voltage; Shunt connected capacitor

汽流激振机理分析及某 330 MW 汽轮机故障处理

姜广政,傅行军

(东南大学火电机组振动国家工程研究中心,江苏 南京 210096)

摘要:介绍了汽流激振故障发生的机理及特征。某 330 MW 汽轮机组在单阀带大负荷时,1 瓦、2 瓦出现较大的低频振动,结合阀门试验时的频谱图和汽流激振的机理进行分析,发现该机组故障为典型汽流激振,通过调整 2 瓦标高,解决了低频振动问题。

关键词:汽流激振;失稳;轴系稳定性;轴承标高

中图分类号:TK268.1

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0015-02

汽流激振是由蒸汽激振力激发的在汽轮机高中压转子上产生的一种自激振动现象。随着汽轮发电机组向大容量、高参数方向发展,汽流激振问题越来越突出,20 世纪七八十年代,美国、俄罗斯等国在发展超临界机组过程中都遇到了不同程度的汽流激振问题,近二十多年来,我国的汽流激振问题也较突出^[1]。

1 汽流激振机理

目前关于汽流激振方面的研究还不是很成熟,初步分析表明,由于蒸汽对转子系统形成了一个作用在转子偏心垂直方向上并与转子线速度方向同向的切向力,在一个振动周期内,若该力所做的功大于系统阻尼消耗的能量,就会导致系统失稳,形成汽流激振。汽流激振力主要来源有 3 个方面:(1) 叶顶间隙不均产生的激振力;(2) 密封间隙不均产生的激振力;(3) 部分进汽和转子偏心等因素产生的静态汽流^[2]。

2 汽流激振故障的一般特征

(1) 对负荷较敏感,具有突发性。汽流激振一般出现在负荷逐渐增加的过程中,且一般发生在较高负荷区。存在一个门槛负荷,当负荷超过这一阈值后,汽流激振立即被激发;负荷降至该值以下,汽流激振消失,振动恢复正常^[3]。

(2) 汽流激振严重时,低频振动的频率通常等于转子固有频率,但大多数情况下,振动频率以工频的一半为主。

(3) 汽流激振引起的低频振动有时与调节阀的开启顺序和开度有关。通过调整阀门开启顺序,能够避免或减小低频振动幅值^[4]。

3 某 330 MW 机组汽流激振实例分析

3.1 机组概况

某电厂 1 号机组为东方汽轮机厂生产的 330

MW 机组,机组型号为 C330/262-16.7/0.3/538/538。轴系由高中压转子、低压转子以及发电机转子组成,共有 7 个瓦支撑。机组轴系如图 1 所示,阀门布置如图 2 所示。机组顺序阀调门次序为 3,4—1—2。

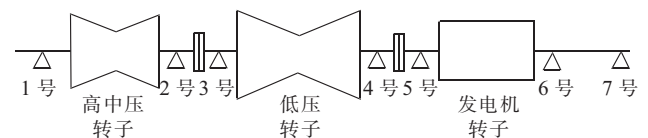
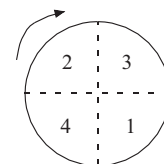


图 1 轴系图



从机头向机尾看

图 2 阀门布置

3.2 振动情况

机组在单阀带大负荷过程中,1 号瓦和 2 号瓦的轴振会出现比较大的低频振动。根据机组的振动情况,现场决定进行调门次序试验。

(1) 15:40 开始,机组从 320 MW 顺序阀降负荷。如表 1 所示。

表 1 顺序阀降负荷时各瓦振动数据 $\mu\text{m}/\mu\text{m}/\angle^\circ$

时间	15:41	16:57	18:10
负荷	321 MW	270 MW	210 MW
1Y	46/29 \angle 63	44/29 \angle 63	45/30 \angle 62
2Y	38/31 \angle 43	41/31 \angle 45	41/32 \angle 44
3X	75/67 \angle 197	77/67 \angle 198	78/69 \angle 198

根据振动数据可知,在顺序阀降负荷过程中,机组振动正常,并未出现低频振动现象。

(2) 18:10 时,负荷降至 210 MW,此时,切换机组运行方式为单阀,然后进行升负荷试验,监测轴系振动情况,数据及频谱图如表 2、图 3、图 4、图 5 所示。

(3) 22:50 时,负荷为 250 MW,切换机组运行方式

表2 单阀升负荷时各瓦振动数据 $\mu\text{m}/\mu\text{m}/\angle^\circ$

时间	18:25	18:52	19:40	22:00
负荷	270 MW	300 MW	300 MW	320 MW
1Y	45/30 \angle 62	48/30 \angle 63	70/24 \angle 65	80/24 \angle 59
2Y	41/32 \angle 44	42/31 \angle 42	68/31 \angle 38	76/32 \angle 38
3X	78/69 \angle 198	78/68 \angle 198	93/70 \angle 198	99/70 \angle 196

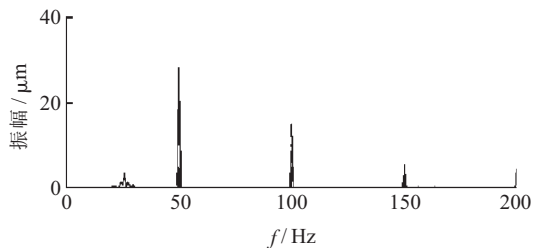


图3 18:52时300 MW负荷1Y频谱图

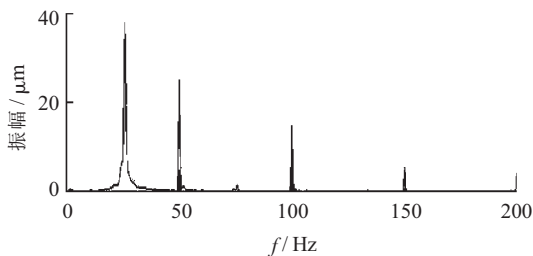


图4 19:40时300 MW负荷1Y频谱图

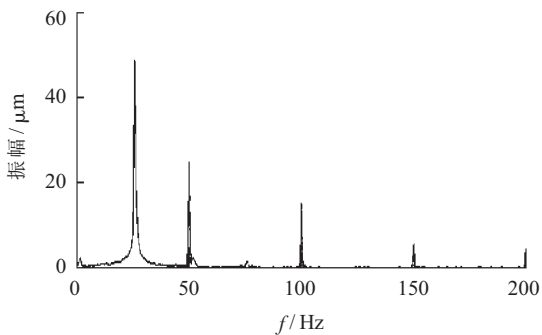


图5 22:00时320 MW负荷1Y频谱图

为顺序阀(3,4—1—2),进行升负荷试验,此时并未出现低频振动现象,振动数据如表3所示。试验过程中各瓦瓦温情况如表4所示。

表3 顺序阀升负荷时各瓦振动数据 $\mu\text{m}/\mu\text{m}/\angle^\circ$

时间	22:50	23:11	23:50
负荷	250 MW	300 MW	320 MW
1Y	45/30 \angle 62	45/29 \angle 61	45/29 \angle 62
2Y	40/32 \angle 42	40/31 \angle 42	40/32 \angle 42
3X	78/69 \angle 195	78/69 \angle 197	78/70 \angle 198

表4 试验过程中各瓦瓦温情况

时间	负荷 /MW	1瓦 / $^\circ\text{C}$	2瓦 / $^\circ\text{C}$
19:40	300	77.6	94.3
22:00	320	77.6	94.3
22:50	250	77.6	94.3
23:50	320	83	98

3.3 振动特征及原因分析

单阀运行时,当负荷低于300 MW时,没有出现低频振动,且各瓦振动幅值均不大,负荷刚带到300 MW时,1瓦出现了少量的低频振动,但振动仍以工频为主,如图3所示。保持机组在300 MW负荷运行一段时间后,振动发散,1瓦的低频振动幅值超过工频成为主要振动,且低频成分为25 Hz,如图4所示。随着负荷增加,振动逐渐增大,到320 MW时,1Y,2Y,3X均已超过75 μm ,见表2。且低频振动现象越来越明显,如图5所示。由于振动对机组所带负荷变化较敏感,当负荷大于300 MW之后,振动迅速增加,与转速无关,且低频振动频率以半频为主,故判断故障为汽流激振。造成汽流激振失稳的原因可以分为2个部分:(1)汽流作用在转子上的失稳力较大。(2)轴系稳定性差。

机组在单阀运行时出现失稳,而在顺序阀没有失稳现象,其原因可能为在顺序阀下剩余汽流力作用在转子上产生一个向下的力,增加轴承载荷,提高了轴系稳定性,而在单阀情况,因喷嘴配汽产生的剩余汽流力为0,而轴系自身稳定性不好,则引发失稳。另结合试验过程瓦温分析,见表4。在单阀320 MW负荷时,1瓦、2瓦瓦温较顺序阀明显降低,表明1瓦、2瓦载荷减小,稳定性变差,且1瓦、2瓦之间温度相差过大。故判断是轴系载荷分配不合理,导致轴系稳定性较差。

3.4 处理方案

结合试验过程振动数据、瓦温及大修有关解体情况,需进行改善轴系负荷分配等措施,提高轴系稳定性。决定调整2瓦标高至比3瓦低0.45 mm。同时尽量减小轴系对中偏差,调整中低对轮和低发对轮的张口值,控制通流部分动静间隙,特别是高中压部分,注意保持冷态到热态动静间隙均匀。有条件尽量减小1号、2号瓦顶部间隙。方案实施后,机组在单阀和顺序阀满负荷运行时,振动达到优秀水平,且不再出现低频振动。

4 结束语

本文对汽流激振的机理、特征进行了简单地阐述,指出了产生汽流激振的主要原因可以归结为2点:(1)汽流作用在转子上的失稳力较大。(2)轴系自身稳定性较差。故可以从这2点着手解决汽流激振问题。针对本文提到的某330 MW机组发生的汽流激振故障,通过调整2瓦的标高来增加轴系的稳定性,从而很好地抑制了失稳现象。

参考文献:

- [1] 杨建刚. 旋转机械振动分析与工程应用[M]. 北京:中国电力出版社,2007:131-132.
- [2] 杨建刚,朱天云,高伟. 汽流激振对轴系稳定性的影响分析[J]. 中国电机工程学报,1998,18(1).

基于雷电信息的电网故障诊断系统研究

李鹏¹, 张小易¹, 黄浩声¹, 余晓峰², 袁宇波¹

(1.江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京211103;2.南京移腾科技有限公司,江苏南京210022)

摘要:随着信息技术的发展,电网运行信息、故障信息及一次设备状态监测信息逐步开始融合,为实现基于多数据源信息的故障诊断与应用提供了前提依据,文中提出了一种利用雷电定位信息进行电网故障分析的信息综合处理方法。首先从整体上剖析了现有电网故障信息系统与雷电定位系统的基本构成和数据特征,在此基础上应用分阶段故障分析的思想,设计了使用雷电定位信息进行故障分析的流程,并提出数据融合与处理方法。最后,以某电网220 kV线路实际故障为例,对该故障诊断算法和方法流程进行说明,并验证其有效性。

关键词:电网故障诊断;雷电定位;继电保护;数据融合

中图分类号: TM77

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0017-05

电网运行调控一体化的实施,将有力推动电网运行与设备运行业务数据的融合。为充分发挥设备评估和环境监测对电网调度运行的技术支撑功能,有必要建立基于电气量、开关量及气象环境与灾害信息等多数据源的综合性电网故障分析功能,为调度运行人员提供更为丰富的电网运行信息,提升电网调度运行人员决策准确性^[1]。现阶段电网发生故障时,故障信息基础数据主要包括开关量和电气量。传统的电网故障分析与诊断主要依赖于故障后上送到继电保护故障信息系统的保护、断路器等开关量信息及分布式或集中式录波数据,但由于信息传输丢失或不全面等不确定情况,往往会发生故障元件诊断范围扩大,甚至误判等情况^[2]。

本文提出了一种融合雷电定位信息与继电保护故障信息系统的电网故障诊断数据处理方法,电网发生故障时,首先对电气量故障信息进行特征提取,通过数据映射技术获取特征数据,依据特征数据搜索故障时相关区内的雷电定位信息,最后进行基于多数据源的信息融合的故障分析。

1 继电保护故障信息系统数据及特征

目前,继电保护故障信息系统处理的主要数据对象是在电网发生故障的情况下,保护设备上送的离散信息,运行人员需对这些设备运行信息进行故障识别与分析处理^[3]。在电网系统发生复杂故障时,将有大量的异常和故障信息涌入数据处理中心,运行人员很难在短时间内从中识别出有用的故障信息。掌握并利用继电保护故障信息系统相关数据的特征对于电网故障的识别、分析及恢复相当重要。

传统的故障信息识别与处理技术在面对大量故障信息数据时,一直无法解决上送数据过剩而有用信

息不足的问题。本研究通过对故障时继电保护上送的信息及其自身特点进行分析,提出了基于规则库的信息识别与处理技术,并通过软件技术将故障信息处理逻辑与程序实现分离开来,使故障信息识别规则变成可维护的对象,从而在信息系统特征数据发生变更的时候,无需修改程序代码即可完成故障信息处理方式的改变。通过对大量历史故障信息的整理与分析,可进一步完善故障信息处理的规则库,提高故障信息处理的准确性与及时性。基于规则库的继电保护故障信息识别与处理技术根据电网故障时保护装置在特定时间范围内上送信息的数据特征,智能定义每一台保护装置的故障特征信息集合,在海量的继电保护运行信息中通过规则匹配的方式识别是否出现电网故障,从而自动进行后续的故障信息处理与分析。具体实现技术方案如图1所示。

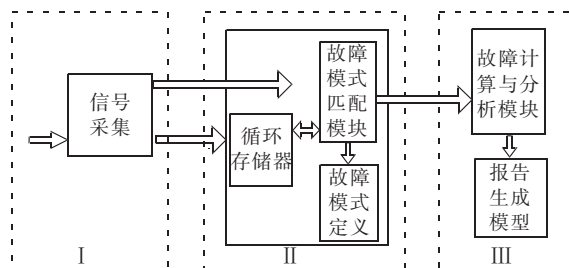


图1 基于规则库的继电保护故障信息识别与处理

数据处理过程由设备信号采集模块、规则匹配与模式定义模块、故障报告计算与分析模块3部分组成。

(1) 设备信号采集模块。采集模块通过系统软总线实时获取系统接收到的各种继电保护设备运行信息,并对上送的设备信号进行分类缓存。

(2) 规则匹配与模式定义模块。规则匹配模块同步处理数据缓存区域内的继电保护设备运行信息,通过匹配某一台保护设备在指定时间区间段上送的信息是否符合故障规则定义,从而形成判断标准,并发出故障通知。具体规则匹配与故障识别流程如图2所示。

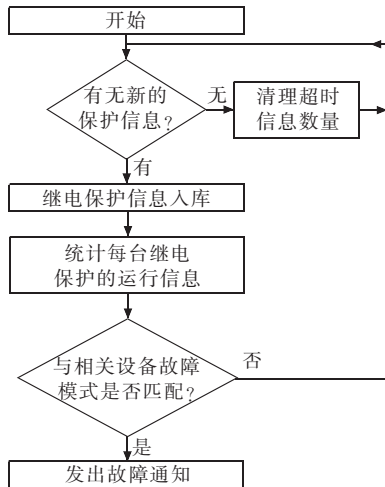


图 2 基于规则库的故障识别流程

(3) 故障报告计算与分析模块。故障报告生成模块在接收到故障通知后,根据保护动作时间,将系统中的故障数据进行组合,形成故障报告。综合考虑不同设备类型信息的上送时差,故障计算与分析模块以增量方式完成故障报告的分析与归档处理。

2 雷电定位系统相关数据及其特征

目前雷击是影响电网安全的头号外力破坏因素。通过对电网区域雷击的高效监测,将有利于快速查找雷击故障点、分析事故原因、鉴别故障性质,提高电网安全运行水平。

2.1 系统现状

现阶段电网雷电定位系统覆盖范围越来越大,雷电监测精度也得到极大提高,系统能实时遥测并显示雷云对地闪击的时间、位置、雷电流峰值和极性、回击次数以及每次回击的参数,雷击点的分时彩色图能清晰地显示雷暴的运动轨迹^[4]。雷电定位系统解决了困扰电网安全运行多年的雷击故障快速准确定位、真假雷害事故鉴别和雷电基础数据自动收集难题,雷电定位系统已成为电网调度运行管理的重要信息支撑。

2.2 存在的不足

随着雷电定位系统的推广应用,雷电定位信息在雷击跳闸事故分析中起到了重要的参考作用,但也存在一定的问题。(1) 雷电定位信息数据比较单一,在实际电网故障分析过程中,必须参考其他业务系统相关数据,跨业务数据融合功能薄弱,容易形成信息孤岛;(2) 雷电定位信息系统仅关注雷电自身相关专业数据的统计,其数据存储与统计分析很难与其他信息系统进行横向分析与计算;(3) 在电网发生故障的情况下,电网故障相关的电气量、开关量等常规业务系统的信息与雷电定位信息的处理与分析过程还依赖人工干预,智能化程度较低底,更难以实现系统数据共享^[5,6]。

3 多信息融合与处理方法

为适应电网故障智能分析与防护的发展,需将继电保护故障信息与雷电定位信息进行跨业务平台的数据融合,全面提升电网调度运行管理整体水平,完善现有信息系统在功能上的不足。

3.1 Webservice 技术

Webservice 是一种通过 Web 部署提供对业务功能访问的技术,逐步成为不同应用系统之间相互交流信息资源的一个接口。Webservice 可以突破不同操作系统平台、不同数据存储结构的限制,以较快的速度提供跨平台的业务数据服务^[7]。XML 是目前通用的数据交换格式,WSDL 是一种 XML 文档,包含了一组描述 Webservice 的接口定义。Webservice 主要以 XML 协议为基础,实现不同应用系统的数据集成,成功解决了不同信息系统的异构数据融合问题。利用 Webservice 技术可以实现雷电定位信息与继电保护故障信息系统数据的融合,数据融合方式如图 3 所示。

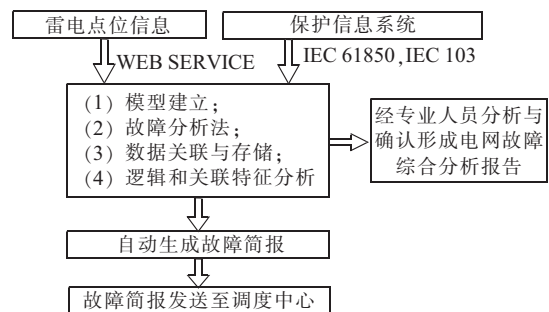


图 3 多源数据融合技术方案

3.2 信息交互范围

信息交互范围涉及电网 220 kV 及以上所有发电厂、变电站及其输电线路相关区域的雷电信息及厂站内二次设备运行信息。电网故障诊断系统对于故障区域内的雷电信息、继电保护动作信息能够实现自动采集与数据整理,支撑综合性电网故障信息的融合与数据处理。电网故障诊断系统可以根据区域内产生的电网故障信息,依据区域、时间等条件对雷电信息进行检索,并提供区域雷击过程相关图形化数据。继电保护故障信息系统与雷电定位系统采用基于 Webservice 服务模式进行数据交互,通过规范化服务接口定义实现数据交互格式的统一。

3.3 信息交互方式

(1) 模式 1,主动事件通知模式。雷电定位系统接收到新的雷击信息后向电网故障诊断系统发出雷击简报信息,内容主要包括雷击区域、线路名称与编号、雷击时间等信息,通信接口通过标准 Webservice 通信服务接口实现。

(2) 模式 2,数据检索。电网故障诊断系统可以通

过检索条件对雷电定位系统中的雷击信息进行检索,雷电定位系统返回检索结果主要包含数据与图像 2 种类型信息,针对数据信息主要包含雷击相关的时间、经度、纬度、电流、回击、站数、参与定位监测站、距离、最近杆塔、线路两端测距等数据,数据可以通过 Webservice 通信服务接口实现。数据传输结构基于 XML 相关技术标准对信息进行描述。

3.4 多信息源分阶段故障信息融合

继电保护动作信息与雷电定位信息系统内部通信方式、输出信息格式均存在很大差异,原有系统之间亦是独立的,没有数据交互,因而需要建立一个统一的信息交互平台来获取各种类型的设备信息,实现不同阶段信息获取的及时性和准确性。

(1) 故障识别阶段。在电网产生故障的初期,电网故障诊断系统的首要任务为发现故障并发出故障简报。为了提高故障信息识别的准确性与有效性,需要对雷电定位信息与继电保护设备信息进行统一故障特征值建模,实现电网故障信息在不同系统中的准确识别。同时依据建模方式,可逐步构建电网故障信息识别规则库,实现不同应用系统对于电网故障信息识别的准确性和有效性。在这个过程中侧重于电网故障信息的快速识别与实时发布。

(2) 智能化分析阶段。电网发生故障后,各种信息依据不同的传输通道和模式汇集到调控中心,电网故障诊断系统根据故障特征提取相关保护信息、雷电定位信息,根据多站、多系统的故障信息结合故障信息规则库,确保故障报告的准确性与完整性。在这个过程中侧重于从信息、事件处理的本质层面展开设备运行信息分析和诊断,形成多业务、综合性的故障分析报告。

4 工程应用案例

某电厂送出系统接线如图 4 所示。以某日电厂 A 送出线路由于雷击引起相继跳闸的事故为例来说明本文电网故障诊断系统流程及有效性。

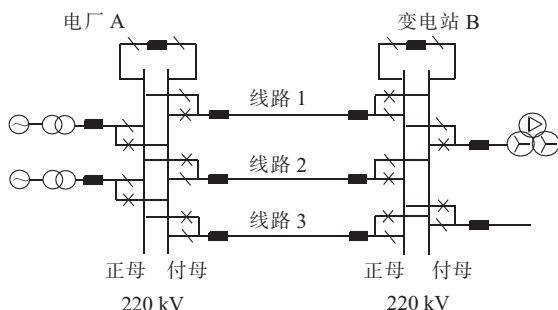


图 4 某电网电厂送出系统主接线

4.1 保护动作信息

(1) 电厂 A 继电保护动作情况。当日 16:44:32, 线路 1 发生 C 相接地, 18 ms 差动保护、距离 I 段动作相

继动作; 78 ms 线路 1 的 C 相断路器跳闸, 故障切除。

约 300 ms, 线路 1 的 C 相再次出现故障电流, 差动保护动作, 距离加速动作, 386 ms 时 A、B 相开关相继跳闸。968 ms 母差失灵保护动作 (0.3 s 跳母联, 0.6 s 跳失灵开关所在母线所有开关), 同时发远跳命令给线路 3 保护, 1020 ms 跳开正母上所有开关, 包括线路 3 及 2 台发变组, C 相故障电流消失。

约 1941 ms, 线路 2 发生 B 相接地故障, 1960 ms 差动、距离 I 段保护相继动作, B 相故障跳闸, 2820 ms 重合于故障线路保护加速三跳。

(2) 变电站 B 继电保护动作情况。当日 16:44:32, 220 kV 线路 1 发生 C 相故障, 差动保护动作, C 相断路器跳闸, 50 ms 时 C 相故障电流消失, 390 ms 时收到对侧远跳信号, 启动三跳, 不重合。988 ms 线路 3 收到远跳信号, 开关三跳, 未重合。1960 ms 线路 2 B 相故障, 重合不成三跳。

4.2 多源数据融合的故障分析

在故障发生后保信系统及时接收到电厂 A、变电站 B 子站系统上送的大量告警信息、保护动作信息、故障录波等, 并对上送的信息进行分类缓存。

(1) 系统实时处理数据缓存区内的保护动作事件以及雷电定位系统依据预定规则发出的雷电定位信息, 通过系统自建的电网故障规则库精确识别出线路 1、线路 2 发生故障, 并形成电网故障信息简报, 如表 1、表 2 所示。

表 1 电厂 A 故障信息

一次设备名称	保护	测距/km	重合闸	故障相别	跳闸信息	时间
线路 1	线路 1 保护	1.1	失败	C 相	保护动作	16:44:32:467
					C 相跳闸	16:44:32:519
					C 相故障	16:44:32:749
					差动动作、距离加速动作、三跳出口	16:44:32:773
					A、B 相跳闸, 远跳	16:44:32:819
线路 2	线路 2 保护	2.1	失败	B 相	B 相跳闸	16:44:34:441
					重合闸出口	16:44:35:282
					重合于故障, 加速三跳	16:44:35:388

(2) 系统根据保信系统数据实时统计故障时间、故障区域、涉及线路等相关特征数据, 通过雷电定位系统提供的 Webservice 服务接口, 从雷电系统中获取故障区域内、故障前后 600 s 内全部雷击信息, 进一步, 通过特定的雷击特征数据识别, 确认线路 1 的 4 号塔附近的雷击信息如表 3 所示。

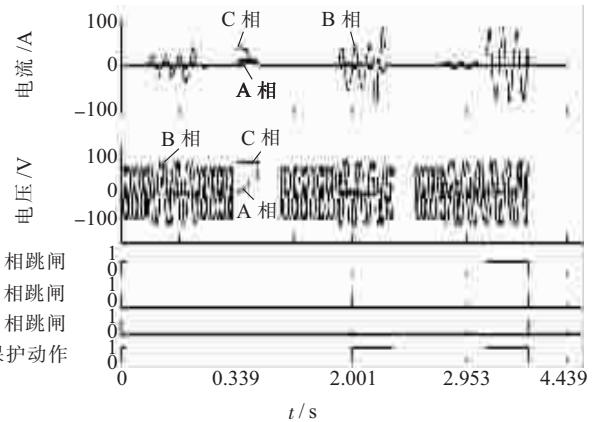
(3) 系统根据保信系统相关故障录波信息进一步完善整个故障时相关一次、二次设备状态、动作行为信息, 故障录波如图 5 所示。

表 2 变电站 B 故障信息

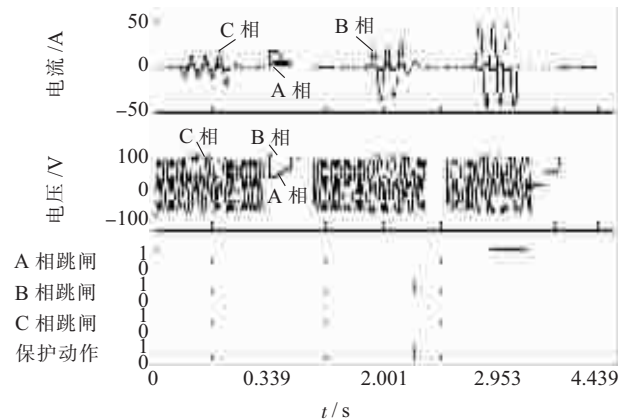
一次设备名称	保护	测距/km	重合闸	故障相别	跳闸信息	时间
线路 1	线路 1 保护	9.2	失败	C 相	保护动作	16:44:32:467
					C 相跳闸	16:44:32:499
					C 相故障	16:44:32:749
					A、B 相跳闸, 远跳	16:44:32:839
线路 2	线路 2 保护	7.1	失败	B 相	B 相跳闸	16:44:34:441
					重合闸出口	16:44:35:264
					合于故障, 加速三跳	16:44:35:389

表 3 雷电定位系统信息

序号	1	2	3	4	5
时间	16:44:32:454	16:44:32:511	16:44:32:687	16:44:32:709	16:44:32:820
经度	120.218	120.218	120.217	120.214	120.217
纬度	31.916	31.916	31.916	31.918	31.916
电流/kA	-11.6	-9.4	-28.5	-14.4	-14.1
回击/次	1	2	3	5	7
距离/m	59	6	6	139	40
杆塔	4-5	4-5	3-4	3-4	3-4
两端测距/km	前侧 0.5, 后侧 9.1	前侧 0.5, 后侧 9.1	前侧 1, 后侧 8.6	前侧 0.7, 后侧 8.9	前侧 1.1, 后侧 8.5

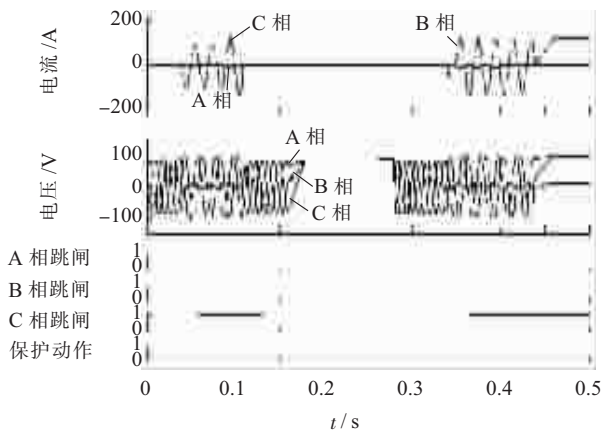


(c) 线路 2 A 侧故障录波

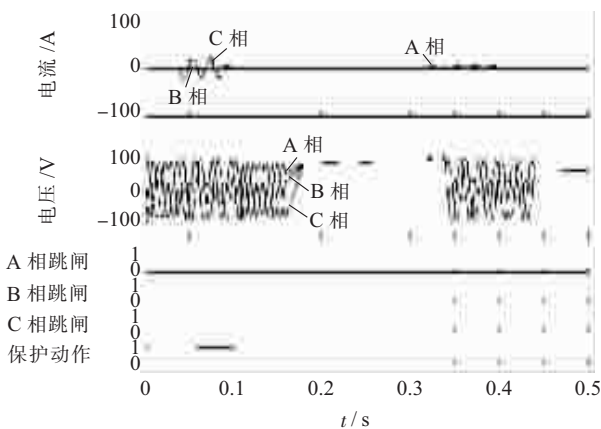


(d) 线路 2 B 侧故障录波

图 5 继电保护故障录波



(a) 线路 1 A 侧故障录波



(b) 线路 1 B 侧故障录波

(4) 基于故障诊断系统提供的相关一次、二次设备动作信息及雷电信息快速开展故障综合分析。结合现场一次设备检查,对故障原因分析如下。

① 线路 1 的 C 相绝缘子受雷电绕击发生闪络,导致 C 相跳闸;在 C 相开关等待重合的过程中遭受重复雷击,由于雷电波在 C 相开关断口处形成全反射,导致 C 相开关断口绝缘击穿,不能切除故障电流,通过失灵保护跳正母所有开关切除故障。

② 线路 1 开关损坏后,故障电流持续时间达 798 ms,由于故障电流在线路地线上分流超过地线热稳定容量,使线路 2 地线断裂掉落在线路 2 的 B 相导线上形成永久性故障,导致线路 2 三相跳闸。

在本次故障信息采集与分析过程中,电网故障诊断系统采用特征数据匹配的方式实现了线路 1、线路 2 故障识别,在故障数据处理过程采用继电保护信息与雷电定位信息横向融合的方式将线路相关保护信息、雷电定位信息及录波信息以增量的方式汇总到故障报告中,保证了电网故障报告中多业务系统数据的全面性与正确性,为故障分析处理提供了充分的信息支持。

5 结束语

电网故障诊断系统通过多种数据源对故障进行综合诊断与分析,全面提升了应对电网故障的能力。本文

提出利用雷电定位信息进行电网故障诊断的多数据源融合数据处理方法,首先对雷电定位信息、继电保护故障信息进行故障特征值提取,利用数据映射技术获取故障特征数据;依据特征数据进行跨系统故障信息检索与汇总;最后基于多数据源进行相关区域电网故障信息的融合与综合分析。通过电网实际故障案例,对其有效性和实用性进行了说明,为实现区域电网智能化调度奠定基础。

参考文献:

- [1] 江宇,李明,张勇.一种集中监控模式下电网故障诊断算法[J].江苏电机工程,2013,32(1):56-58.
- [2] 郭创新,彭明伟,刘毅.多数据源信息融合的电网故障诊断新方法[J].中国电机工程学报,2009,31(14):1-7.
- [3] 毛鹏,张军林,许扬,等.区域电网故障诊断系统设计[J].江苏电机工程,2005,24(6):1-4.
- [4] 韦海荣,郑海雁,张铁华.基于电力信息网络雷电定位系统的开发[J].江苏电机工程,2006,25(2):1-3.

- [5] 何健,张弓达,徐陈华,等.雷电定位系统在输电线路雷击故障分析中的应用[J].电瓷避雷器,2012(4):74-78.
- [6] 杨家峰,王保保,何广林.基于数据融合的雷电监测预警方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2008.
- [7] 向洪,刘志,胡海波.基于 WEBSERVICE 系统交互设计与实现[J].重庆工学院学报,2008(11):110-114.

作者简介:

- 李鹏(1982),男,陕西周至人,博士,研究方向为电力系统继电保护、直流控保技术等;
- 张小易(1978),男,河南许昌人,高级工程师,研究方向为电力系统调度自动化、继电保护等;
- 黄浩声(1979),男,浙江温岭人,工程师,研究方向为电力系统继电保护、直流控保系统等;
- 余晓峰(1980),男,江苏江都人,工程师,从事计算机软硬件系统开发工作;
- 袁宇波(1975),男,江苏丹阳人,高级工程师,从事继电保护试验和研究工作。

Research on Power Network Fault Diagnosis System with Lightning Location Information

LI Peng¹, ZHANG Xiaoyi¹, HUANG Haosheng¹, SHE Xiaofeng², YUAN Yubo¹

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing, 211103, China;

2. Nanjing Yiteng Technology Co.Ltd., Jiangsu Nanjing, 210022, China)

Abstract: With the development of communication technology, the information of power network operation and fault and the data of primary equipment condition monitoring are merging to each other. The mergence makes it possible to achieve fault diagnosis with multiple data sources. A comprehensive data processing method based on lightning location information is proposed for fault diagnosis in this paper. The basic composition and data feature of the power network fault information system and lightning location system are analyzed. Based on the analysis, a fault analysis flow with lightning location information by utilizing stage fault analysis strategy corresponding data processing method is proposed, and a corresponding data processing method is provided. Finally, a practical fault of a 220 kV transmission line is taken to interpret the procedures and effectiveness of the proposed method.

Key words: power network fault diagnosis; lightning location; relay protection; data merging

(上接第 16 页)

- [3] 张学延,王延博,张卫军.大型汽轮机汽流激振问题的分析和处理[J].热力发电,2004(2):47-55.
- [4] 崔亚辉,张俊杰,徐福海,等.某台 300 MW 汽流激振故障的分析和处理[J].汽轮机技术,2012,54(2):158-160.

作者简介:

- 姜广政(1988),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为汽轮机故障诊断;
- 傅行军(1962),男,江苏溧水人,教授,研究方向为汽轮机故障诊断。

Steam-exited Vibration Mechanism Analyzing and Fault Processing of One 330 MW Steam Turbine

JIANG Guangzheng, FU Xingjun

(National Engineering Research Center of Turbogenerator Vibration, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The mechanism and characteristics of steam-exited vibration fault were discussed in this paper. At a high load, larger half-frequency vibration occurred in NO. 1 and NO. 2 bearing of one 330 MW steam turbine. Based on the further analysis on the frequency spectrum of valve test and the mechanism of steam-exited vibration, it was deduced that the vibration was caused by steam-exited vibration. By adjusting the elevation of NO. 2 bearing, we solved the turbine vibration successfully.

Key words: steam-exited vibration; instability; the shafting stability; height of bearing

±800 kV 特高压锦苏线检修关键工器具的研制

鲁永生, 康宇斌, 张云翔

(江苏省电力公司检修分公司, 江苏南京 211102)

摘要:文中根据±800 kV 特高压锦苏线设备特点,对更换导线直线塔V型悬垂串和耐张塔耐张串绝缘子等检修作业方式进行研究,研制了六线一体式提线器、绝缘吊杆及更换耐张串任意片的钛合金卡具等工器具,以满足更换悬垂串、耐张串单片绝缘子需要。经过在±800 kV 锦苏线上应用,表明作业方法和工器具安全可靠、操作简便,取得了良好的现场应用效果。

关键词:±800 kV 特高压;检修;工器具

中图分类号:TM726

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2014)02-0022-04

锦苏线是锦屏换流站至苏州换流站的±800 kV 特高压直流输电线路,承担着雅砻江流域锦屏一、二级和官地水电站的电力外送任务,对于促进西南地区水电开发及缓解华东地区用电紧张局面具有十分重要意义。本文根据±800 kV 锦苏线悬垂串和耐张串型式和横担结构,以及大吨位盘形绝缘子单个质量重不易操作等特点,研制适用于900 mm²大截面导线的提线工器具和耐张串盘形绝缘子更换的卡具,为±800 kV 锦苏线检修作业提供工艺支撑和技术保障。

1 锦苏线结构特点

±800 kV 锦苏线是我国首条采用六分裂900 mm²截面导线和760 kN绝缘子的特高压直流输电线路,输送功率7200 MW^[1],与其他±800 kV 特高压直流输电线路相比,其输送容量更大、输送距离更远,代表了高压直流输电技术的新高峰。导地线主要参数如表1所示,直线塔绝缘子参数如表2所示,耐张塔绝缘子参数如表3所示。

表1 导地线主要参数

名称	型号	计算截面/mm ²	外径/mm	计算重量/(kg·km ⁻¹)
导线	JL/G3A-900/40	939.16	39.90	2 790.2
地线	LBGJ-180-20AC	182.8	17.5	1 221.5

表2 直线塔绝缘子参数

型号	额定负荷/kN	结构型式	串长/m	V形度数/(°)
FZBZ-±800/240	240	双V	12.595	90—100
FZBZ-±800/300	300	双V	12.321	90—100
FZBZ-±800/420	420	双V	12.410	90—100
FZBZ-±800/420	420	单V	12.195	90—100
FZBZ-±800/550	550	单V	12.225	90—100

表3 耐张塔绝缘子参数

型号	额定负荷/kN	结构型式	单串片数	结构高度/mm	单片重量/kg	串长/m
CA-785EX	550	三联	76	240	23	20.8
FC760P/C270DC	760	二联	69	270	26.1	20.7
CA-765EZ	760	二联	69	280	30	21.4

2 检修工器具研制思路

线路检修包括停电检修和带电检修,主要包括绝缘子清扫、绝缘子及金具更换、修补导地线、更换间隔棒或防振锤、导地线异物处理等。更换耐张绝缘子或连接金具主要依靠闭式卡和端部卡;更换悬垂串绝缘子或连接金具,主要依靠提线工器具提升导线至绝缘子串松弛后将绝缘子或连接金具更换;带电修补导地线、更换间隔棒或防振锤、处理异物等,关键在于等电位作业人员的安全防护和进出电场的方式。

根据±800 kV 锦苏线设备特点,更换单V悬垂串合成绝缘子或连接金具的提线工器具,研究难点在于六分裂导线提线器、提升设备和用于带电作业的绝缘拉棒,其中六线一体式提线器是同行领先;更换双V悬垂串合成绝缘子或连接金具的提线工器具,研究难点在于大刀卡、联塔挂具和用于带电作业的绝缘拉棒;更换耐张串任意片的卡具,尤其是760 kN耐张绝缘子,锦苏线全线仅为江苏段独有,单片质量达30 kg,研究难点在于闭式卡、端部卡和托瓶架^[2]。

3 更换悬垂串工具的研制

3.1 工作荷载确定

±800 kV 锦苏线 JL/G3A-900/40 导线的计算重量2 790.2 kg/km,最大垂直档距为600 m,单极导线采用六分裂方式,合成绝缘子V串夹角在90°~100°,按最大角度100°分析,如图1所示。对于单V串提线的

最大荷载为 98 438 N,则六分裂提线器、提升设备和绝缘拉棒的工作荷载为 100 kN;对于双 V 串提线的最大荷载为 76 571 N,则大刀卡、联塔挂具和绝缘拉棒的工作荷载为 80 kN。

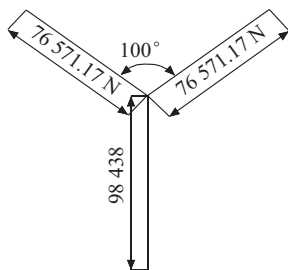


图 1 V 串受力分析示意图

3.2 六线一体式提线器研制

根据单极 6×JL/G3A-900/40 导线结构和最大荷载,采用传统机械丝杠较难实现提线功能,因此研制了采用液压缸为提升设备的六线一体式提线器。该提线器拥有 4 个吊线钩和本体架上方 2 个凹槽,按 60° 圆心角分布在直径为 900 mm 的圆上,保证提线过程中导线线束的尺寸不变,吊钩设计宽度 125 mm,如图 2 所示。结合 V 串导线至横担下平面的垂直距离,独创性的将液压缸放在本体架内部,活塞杆通过本体架轴向孔与机械丝杠、绝缘拉棒相连,这样操作时更便捷、更灵活,同时又充分保证了绝缘杆的有效长度以及操作人员的安全距离。提线器 4 个吊线钩、液压缸与本体架之间采用螺栓固定,本体架和吊线钩选用重量轻、强度高的铝合金材料制作,使得提线器本体便于现场运输和高空作业方便。

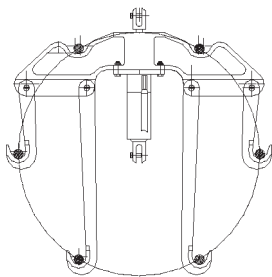


图 2 六线一体式提线器示意图

采用两侧提线,需考虑横担宽度引起的弧垂量,锦苏线铁塔横担宽度平均在 3 m 左右,根据任意点弧垂公式:

$$f_x = 4f \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right) = 4 \frac{gl^2}{8\sigma} \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right) = \frac{gl^2}{2\sigma} \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right) \quad (1)$$

式(1)中: $x=1.5$ m,档距 L 取 600 m 时,弧垂量为 254 mm。

考虑现场操作性,提线器液压缸的行程确定为 400 mm。作业时,塔上电工在横担前后操作孔挂好接头,连接好机械丝杠、绝缘拉棒与六线一体式提线器,

先用机械丝杠预收紧整套提线工具,再用液压缸提升导线使绝缘子串松弛,换下绝缘子或连接金具。

3.3 大刀卡研制

±800 kV 锦苏线双 V 串的每个肢采用联板将两支合成绝缘子并联,如图 3 所示。据此在更换其中一支绝缘子时可以在二联板上使用大刀卡。借助大刀卡的杠杆作用,只需施加双 V 串单个肢承受荷载的 0.5 倍收紧力(即 38 kN),便可使合成绝缘子串松弛,也就是说,可采用 45 kN 的防扭机械丝杠作为大刀卡的收紧装置。为了高空作业方便,大刀卡和联塔挂具选用重量轻、强度高的铝合金材料制作。

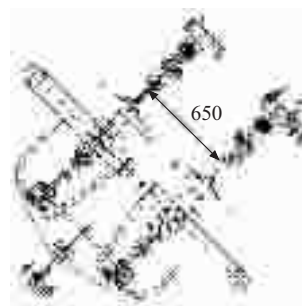


图 3 双 V 串绝缘子示意图

作业时,塔上电工将联塔挂具安装在横担挂点处或横担角钢上,导线上电工将大刀卡安装于导线侧直角挂板和二联板上,联塔挂具通过绝缘拉棒连接大刀卡,导线上电工收紧大刀卡上的防扭机械丝杠完成合成绝缘子串的荷载转移,绝缘子串松弛后进行更换。如图 4 所示。

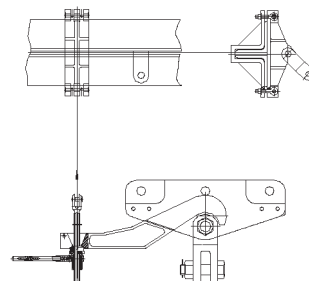


图 4 大刀卡连接示意图

3.4 绝缘拉棒研制

本文采用绝缘拉棒、预收紧机械丝杠和六线一体式提线器联合提线的方式更换单 V 绝缘子串,绝缘拉棒的结构长度受塔头间隙、金属连接件和提线装置行程等多方面因素影响,成为研制难点。±800 kV 锦苏线直线塔导线与横担施工孔的垂直距离为 8.1 m,考虑预收紧机械防扭丝杠和六线提线器活塞杆的长度,结合带电作业车车厢内尺寸,更换单 V 串时采用 2 节绝缘拉棒(单节长 3.77 m,有效绝缘长度 3.4 m),有效绝缘长度 6.8 m 大于规程要求的 6.6 m。基于合成绝缘子的结构长度均为 11.5 m,考虑联塔挂具和机械防扭丝杠的长度,结合带电作业车车厢内尺寸,更换双 V 串时

采用3节绝缘拉棒(单节长3.9 m,有效绝缘长度3.53 m),有效绝缘长度10.6 m大于规程要求的6.6 m,现场起吊和装卸运输均很方便^[3]。

4 更换耐张串工具的研制

4.1 工作荷载确定

±800 kV 锦苏线单导线的张力 52.143 kN, 单极 6 根导线的张力为 312.86 kN。三联串时每串绝缘子串的张力为 104.29 kN, 确定出三联串卡具的工作负荷为 150 kN; 双联串时每串绝缘子串的张力为 156.43 kN, 确定出二联串卡具的工作负荷为 190 kN。

4.2 材质比选

因为耐张绝缘子串的张力很大,所以选择强度高,质量轻,工作可靠的工器具材质是确保现场实用性的关键。通过对结构的优化和材料的优选,综合比选钛合金、铝合金、合金钢等材料,性能如表4所示。虽然铝合金材质较轻,但力学性能较差,做成的卡具尺寸较大,使用时要有足够大的作业空间;合金钢虽然和钛合金的机械性能相近,但合金钢的比重是钛合金的1.8倍,故合金钢不可取;钛合金的密度是铝合金的1.6倍,但强度却是铝合金的2倍,做成的卡具尺寸及总体重量较铝合金要小。

表4 主要材料性能比较

材料	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	密度 / [kg·(m ³) ⁻¹]
合金钢	980	780	8.1
铝合金	490	412	2.85
钛合金	902	824	4.55

经过比选,由于钛合金具有强度高和重量轻的特点,考虑高空作业的难度,选取钛合金材料作为制作卡具的材质。

4.3 卡具研制

闭式卡(如图5所示)用于更换耐张串中间任意一片绝缘子,结合端部卡(如图6、图7所示)可以更换任意一片瓷瓶。横担端部卡卡在牵引板 QY-64S 上,导线端部卡在平行挂板和三变二联板之间。

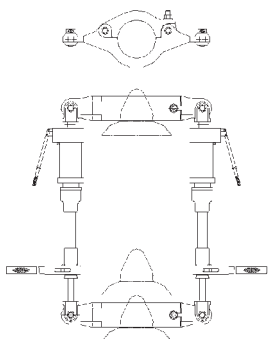


图5 耐张闭式卡整体图

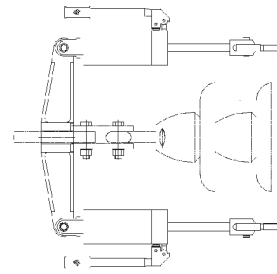


图6 横担端部卡

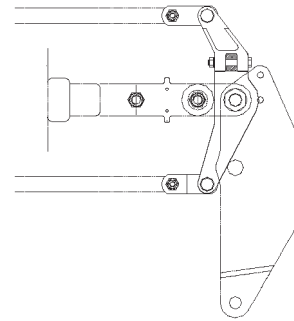


图7 导线端部卡

三联串卡具和两联串卡具均采用钛合金材料研制。以三联串闭式卡为例,对卡具整体和耳片部位进行截面强度校验。对于卡具整体,在卡具中心截面处将产生最大弯矩,此处的截面结构如图8所示。该截面的抗弯截面模量为 72 782.182 2 mm³,施加于该截面上的弯矩为 20 625 000 N·mm,该截面上的弯曲应力为 283.37 MPa,安全系数取 2.5 时仍然小于钛合金材料的最大允许弯曲应力 824 MPa,该截面强度足够。

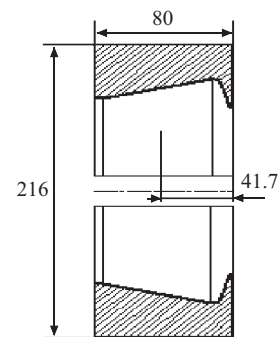


图8 卡具中心截面示意图

对于卡具两端的耳片,此处截面容易发生剪断,截面如图9所示。该处剪切面积 390 mm²,剪切力 75 000 N,故剪切应力为 192.3 MPa,安全系数取 2.5 时仍然小于钛合金的最大允许剪切应力 230.72 MPa,该截面的强度足够。

4.4 托瓶架研制

在超高压线路更换耐张单片绝缘子作业中仅使用卡具即能完成作业。根据特高压直流线路绝缘子盘径大、质量重、高空人员不好控制、容易高空掉落等特点,为提高现场作业的安全性,研制了适用于更换单片绝

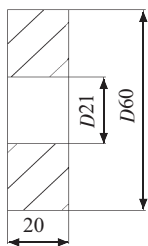


图9 耳片截面

缘子卡具的托瓶架。托瓶架选用铝合金管加工而成,具有重量轻、强度高、可灵活调节、安装简便等特点。在更换单片绝缘子前先将托瓶架安装在耐张卡具的正下方,待卡具与金具连接完好后,收紧机械丝杠和液压缸使单片绝缘子松弛,通过取销器将需更换的绝缘子摘开,此时绝缘子已被托瓶架托住;安装时新绝缘子时,先将新绝缘子吊上托瓶架,然后再进行安装连接。

5 试验验证及现场应用

根据优化设计后的加工图对工器具进行试制,并按照规程要求进行了出厂试验,试验结果工器具无目视可见裂纹、无残余变形或超过设计许可的变形、无漏气漏液、整套系统安全可靠、操作便捷。同时委托第三方进行了型式试验,结果符合要求。2013年3月,江苏省电力公司检修分公司输电运检中心组织检修人员在锦苏线上进行试用,现场完成了更换单V串绝缘子、

更换双V串绝缘子、更换耐张塔单片绝缘子工作,结果达到预期目标。

6 结束语

研制的±800 kV 锦苏线检修的液压缸式六线提线器、大刀卡、闭式卡和绝缘拉棒等工具,其机械荷载满足设计要求,经在±800 kV 锦苏线江苏段上检修现场应用,取得了良好的效果。该检修关键工器具的研制成功,为全面提升±800 kV 锦苏线特高压直流线路检修工作水平打下了基础。

参考文献:

- [1] 刘建坤,胡亚山,赵静波,等. 特高压接入对江苏电网的影响展望[J]. 江苏电机工程,2010,29(1):1-3.
- [2] 胡毅,刘凯,胡建勋,等. ±800 kV 特高压直流线路带电作业安全防护用具的分析[J]. 高电压技术,2010,36(10):2357-2361.
- [3] 胡川,向文祥,沈晓龙,等. ±800 kV 特高压直流输电线路带电作业工器具研制及应用[J]. 湖北电力,2010,34(5):1-3.

作者简介:

鲁永生(1980),男,河南杞县人,工程师,从事输电线路运行与检修工作;

康宇斌(1978),男,四川西昌人,高级工程师,从事输电线路运行与检修工作;

张云翔(1971),男,河南睢县人,高级工程师,从事输电线路运行与检修工作。

The Development of Key Maintenance Apparatus for ±800 kV UHV Jin-Su Project

LU Yongsheng, KANG Yubin, ZHANG Yunxiang

(Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper proposes maintenance operation modes for replacing wires hanging straight tower V-strings and string tension tower tension insulator with the consideration of characteristics of equipment of ±800 kV UHV Jin-Su project. Also, for meeting the need of replacing insulators, some working apparatus, such as six-thread lift conductor, titanium fixtures for insulation and replacement boom-string are developed. The field application of the developed operation modes and working apparatus in ±800 kV UHV Jin-Su project shows that the maintenance operation modes and working apparatus are safe and easy to operate.

Key words: ±800 kV UHV; Maintenance; Working apparatus

成思危:未来十年中国能源需保持5%的增长

经济学家成思危说,中国经济发展将对能源产生巨大需求,未来十年如果我国经济要保持7%的年增长率,能源大概就得每年增长5%。

成思危说,从2000年到2010年,世界经济增长率是3.2%,能源的增长率是2.2%,弹性系数大概为0.7%,如果世界经济在今后十年中保持平稳4%的增长率,能源年增长率要达到2.8%左右,而中国更是对能源的依赖程度更大。“如果把经济比做一个人的话,资金就是他的血液,能源就是他的粮食,没有粮食这个人肯定是活不下去的?”他表示,从全球来看,能源的供应往往是掌握在少数国家的手里,而这些国家出于各种原因,对能源供应的控制比较严格。

另外,成思危说,能源的价格波动也对消费国的经济产生很大影响。但是,受到金融市场上过度投机等因素的影响,能源价格的波动远远超过了供求关系所决定的水平。他说,“以石油为例,近几年它的全球需求量的波动也就是±5%~10%,但是石油价格的波动却达到了±50%,甚至个别情况下达到了±100%。我国前两年进口量大概是2亿t,这样大的价格波动给经济带来很大的影响。”

摘自《国家电力信息网》

基于MAS服务的有序用电信息发布研究与应用

张斌, 厉文婕, 尹飞

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211102)

摘要: 过去的迎峰度夏(冬)用电高峰时期, 有序用电应急指挥只能采用负控喊话、负控中文信息和电话通知的方式。为提高电力营销管理服务水平, 加强与用户的沟通, 采用基于MAS服务的现代化通信手段, 运用多种主流框架技术研发了“有序用电信息发布系统”。该系统实现了以方便、灵活、快捷的方式将有序用电指令及时送达电力客户, 从而达到用户能及时调整用电方案, 合理安排用电的目的。

关键词: 有序用电; 信息发布; 负控; 二进制短信

中图分类号: TM769

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0026-04

随着炎炎夏日的到来, 气温不断上升, 电网负荷大幅攀升, 多个省级电网用电负荷创历史新高, 电网进入夏季用电高峰时期, 而部分地区灾害性天气还将延续, 电力保障各项工作面临巨大压力。为防止电力供应出现大面积、长时间紧张的局面, 国家提出必须采取有序用电、节约用电措施, 千方百计保障经济社会平稳运行。且有序用电成为迫切所需。过去每当迎峰度夏(冬)用电高峰时期, 负荷控制管理中心经常是采用对终端下发中文信息的方式。但现在配电房多为无人值守, 且用户不一定能随时注意终端的中文信息提示, 造成监控信息不能及时地直达用户, 使用户不能随时随地了解有序用电实时监控状况。为进一步提高电力营销管理服务水平, 加强与用户的沟通, 有效利用现代化的通信手段, 通过建设有序用电信息发布系统, 采用手机短消息的方式通知负控用户对其的监控状况, 将客户负荷等相关信息发给客户, 有利于客户了解掌握自身的用电状况, 以使用户能及时调整用电方案, 合理用电。

本文研究对 II 型负荷控制终端批量下发二进制短信功能, 按照负荷管理通信规约, 生成二进制命令, 对多个终端同时进行短信激活, 达到负荷控制的目的。系统利用短信这一大众化的通信方式^[1], 为电力企业与客户之间的双向互动以及公司内部工作交流提供迅速、方便、有效的服务手段。

1 系统架构和功能设计

1.1 系统架构

系统主要分为 2 个部分, 主要的业务服务部署在电力信息安全内网, 包括应用服务器、采集服务器、数据库服务器等, 通过强隔离装置进行安全隔离, 通过位于公共外网的短信发送机控制运营商提供的 MAS 服务器进行短信发送。系统架构图如图 1 所示。

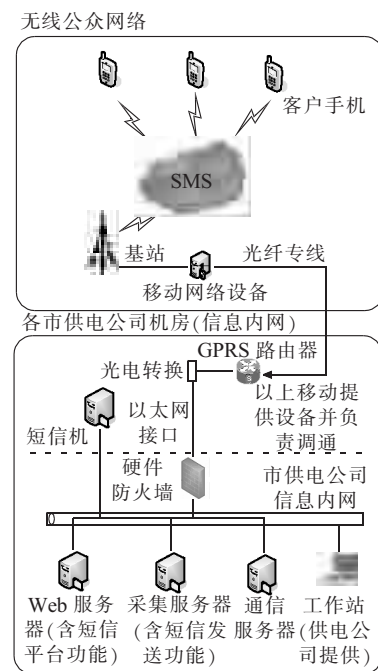


图 1 系统架构图

1.2 MAS 服务

MAS 是部署在运营商客户侧与客户现有业务系统耦合的, 提供统一通信能力、实现运营商客户应用移动化, 以及特定应用的服务^[1]。是运营商为管理运营的需要, 从解决企业移动信息化建设的需求出发而提出的一种模式。可以为运营商客户应用系统提供包括短信、彩信、USSD、WAP、WEB 和 LBS 等在内的统一通信能力。MAS 服务将运营商客户 IT 系统的应用环境扩展到移动网络, 从而实现移动化的客户应用^[2]。MAS 服务提供的应用相对独立, 或是由于移动网络环境而衍生出的新的业务系统, 这些应用也属于客户应用系统的范畴, 并与其他客户应用系统共同使用 MAS 服务所提供的接入和移动化支撑功能。MAS 短信功能类型:

(1) 自动触发类。MAS 与 IT 系统数据库进行对接后, 根据客户需求, 可配置相关服务, 设定服务运行策

略,可将客户关心的数据按设定周期发送到客户手机上。例如生日祝福,工资发放自动通知,每日生产数据通知,事件告警,监控告警等。

(2) 信息订阅类。MAS 与 IT 系统数据库对接后,根据客户需求,可提供若干信息服务。客户如需享受这类服务,则上行短信定制,MAS 将根据该服务策略为客户提供信息服务。例如天气预报,每日新闻等。

(3) 信息查询类。MAS 与 IT 系统数据库对接后,可开放信息查询服务^[3]。客户如需获取相关信息,可直接通过设定的查询方式向 MAS 系统发送查询指令,MAS 通过判别查询指令,到 IT 系统中获取相关信息,发送给查询人。例如客户信息查询,通讯录查询,水电煤气费查询。

1.3 系统设计

系统按照应用功能总体分为 4 个主要模块。系统应用结构图如图 2 所示。

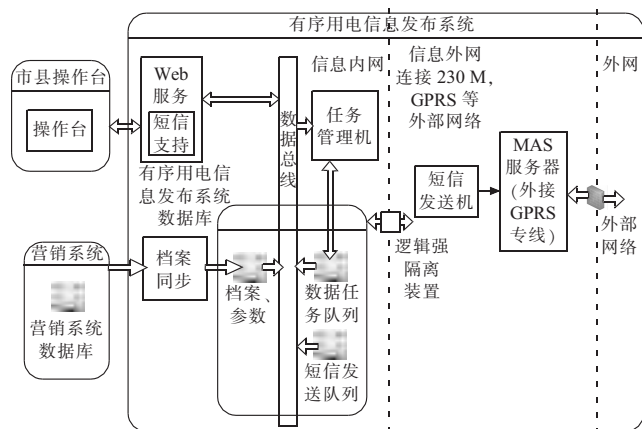


图 2 系统应用结构图

(1) Web 应用展示平台。响应操作台的短信相关访问请求,短信通知列表导入、有序用电短信通知生成、二进制短信命令生成、短信通知入库、短信查询(收件箱、发件箱、草稿箱、回收站)、通讯录、运行工况、发送统计等功能。系统预留 Webservice 接口和电力营销系统进行定期档案同步,获取有序用电客户信息。

(2) 系统数据库。保存待发送短信队列、短信发送历史、接收短信、短信发送状态等。

(3) 短信发送机。控制 MAS 服务器、发送短信至 MAS 服务器、接收短信状态、接收短信、存取短信队列等功能。

(4) MAS 服务器。将发送的短信提交到运营商短信网关,执行短信的发送与接收,与短信发送机交互数据。

有序用电信息发布系统将遵循以下原则进行建设:

(1) 一体化原则。采用统一的技术平台,实现与电力营销系统及其它应用的信息共享、紧密集成,实现电力企业信息资源的综合利用。

(2) 适用性原则。具备良好的扩展性、可配置性,通过灵活配置应可以适应业务处理流程和处理逻辑的变化。满足现有有序用电业务需求并充分考虑未来业务和管理发展的需要。

(3) 先进性与实用性相结合原则。选择符合发展趋势的业界主流的技术架构以及软硬件平台,保证投资的有效保护和延续性。

1.4 MAS 开发框架

MAS 服务的开发库里面有很多接口,在做移动增值开发的时候,主要用到的有 2 个:SMSendTask 和 SMReceived。

以 SMSendTask 为例。SMSendTask 是短信发出任务接口,调用此接口,如果条件符合,那么 MAS 服务会立即发出该条信息,发出成功后会从任务队列中自动删除。该接口的参数名称以及主要作用如表 1 所示。

1.5 工作流程

短信发送工作流程如图 3 所示。

(1) 通过操作台导入有序用电短信通知列表文件(短信通知列表可由负控等系统批量生成,并导出成 Excel 文件)或通过用户操作批量生成短信通知,经 Web 服务存入短信发送队列。如图 4 所示。

(2) 短信发送机将发送队列中短信发送到 MAS 服务器中,并从 MAS 服务器中返回短信发送状态,存入短信队列。

(3) MAS 服务器将发送短信提交移动短信网关,执行短信发送,返回短信状态,并具备失败重发机制。

(4) 最后通过操作台可查询短信发送状态结果、短信历史等。

1.6 系统功能

(1) 短信发送:包括有序用电信息发送、通用发送、定制发送、II 型终端批量短信激活功能,用于发送各类短信。为了确保短信发送稳定性,设计考虑短信发送自动故障迁移、短信发送流量自动均衡等功能。

(2) 信箱管理:发件箱、收件箱、草稿箱、回收站,实现短信的全生命周期管理。

(3) 统计:运行工况、发送统计,提供用户各类统计报表、考核数据,以及系统运行信息。

(4) 通信录:包括公共通信录、个人通信录等,支持 Excel、文本导入等多种联系人添加方式。

系统管理:用户管理、日常用语、运营商及归属地管理、敏感词过滤、在线帮助等,系统的基础管理维护模块。

2 系统实现技术

系统主要基于 JAVA 语言开发,分布式架构设计,用户通过 Internet Explorer 6+浏览器访问系统。应用发

表 1 SMSendTask 接口参数说明

参数名	说明
ID	主键,任务的 ID 号,自动增加字段
CreatorID	创建者 ID
TaskName	任务名称当 SMTType 为 3 或 4 时,表示企业代码 spld
SmSendedNum	该任务已经发送的数量,初始值为“0”暂停的实现也需要这里支持。
OperationType	标识是移动办公;WAS;业务定制;SPS
SuboperationType	对应移动办公 WAS 中的常用业务的类型,取值 50—99;sps 中配置的业务,取值 0—49。便于扩展定制化的业务类型。和小类别的统计
SendType	1 为普通短信;2 为群发短信;3 为点点通;4 为常用业务;5 为 wap-push 短信
OrgAddr	主叫标识号码,源地址
DestAddr	(1)目的地址手机号码,当为 SPS 业务和 WAS 的单发任务时为手机号码用空格分隔;(2)当目的地址为文件时,目前为一条消息一个文件号码,不支持多个文件;(3)当 SMTType 为 3 或 4 时,表示使用用户标识 destUserId
SM_Content	消息内容,当 SMTType 为 3 或 4 时,表示计费用户类型 feeUserId
SendTime	短信要求下发时间
NeedStateReport	是否需要状态报告;0 为不要状态报告;1 为要状态报告
ServiceID	业务代码
FeeType	该短信的资费类型
FeeCode	资费代码(以分为单位)
MsgID	从网关返回的消息 ID,用于匹配状态报告
SMTType	默认值为 0 表明该短信的类型 0 为普通短信;1 为播短信;3 为反向订购消息;4 为反向取消订购消息;5 为正向消息应答
MessageID	默认值为 0;SMTType 为 0,本字段为 0; SMTType 为 1,本字段为 LindID; SMTType 为 2,本字段为 TransactionID (CMPP3 的版本支持);当 SMTType 为 3 或 4 时,表示事务 ID 号 transactionID
DestAddrType	0 为真实的手机号码;1 为伪码
SubTime	消息被提交到待发表中的时间
TaskStatus	该任务是否已经被取出,没有被取出为 0;取出后为 1
SendLeve	普通发送级别,0 级最高,依次类推,现在分为最高 0,高 1,中 2,低 3,4 级。Sps 的都为 0 级,was 的使用后面 3 级。
SendState	短信发送任务的状态分为:发送 0;暂停 1;取消 3;暂停转发送,如果该任务已经被加载到内存即(TaskStatus=1)设为 2;如果还没有加载到内存即(TaskStatus=0),设为 0。
TryTimes	重发次数
Count	任务的总条数
SuccessID	任务发送进度,表示发送到任务的第几条短信

布子系统设计为 B/S 结构,开发平台采用企业模块 J2EE 开发工具,使用面向对象,简单,可移植,高效,动态的解释性开发语言 JAVA,运用多种主流框架技术(如 Struts2, Spring 等)提高优化应用发布系统性能。页面显示层采用 AJAX 技术,通过异步模式,优化了浏览器和服务器之间的传输,减少不必要的数据库往返,减少

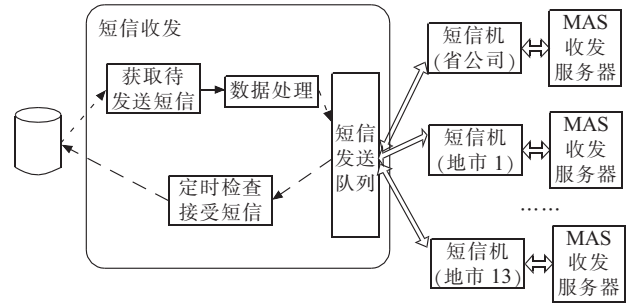


图 3 短信收发业务逻辑图

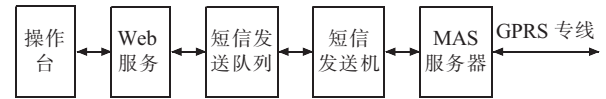


图 4 短信发送流程图

了带宽占用,提升了用户体验。数据库平台采用可以跨多种软硬件平台、具有大型数据综合管理能力、高效稳定的通用数据库管理系统,IBM DB2 8.2,以保证数据的安全性、完整性、可恢复性。系统包括有序用电信息交互管理的所有功能,包括管理、任务、处理、考核 4 大部分,采用全局的视角,统一规划设计,增强模块之间的联系;运用 FLEX 技术,加入更多的可视化方式,准确直观的显示数据,提高易用性、效率以及可维护性。系统运用细粒度的权限控制方式,防止恶意代码注入和访问攻击,增强系统安全稳定性。

2.1 技术架构说明

系统总体上采用轻量级框架的多层结构设计,具体的技术上采用 Extjs+Struts2+Spring+iBatis (jdbc) 框架。结构上可以分为界面表示层、业务逻辑层和数据持久层。

(1) 界面表示层采用 ExtJS 框架架构。ExtJS 是一个 Ajax 框架,用 javascript 编写,用于在客户端创建丰富多彩的 Web 应用程序界面。ExtJS 通过 JSON 字符串的方式与 struts2 的 action 进行数据交互,action 与业务逻辑层进行交互,业务逻辑层通过数据持久层实现对数据库的访问。

(2) 业务逻辑层采用 Struts2 和 Spring 框架,高效地处理页面层传递的任务命令,并进行处理封装,包括本系统的业务逻辑组件、公共服务组件。业务逻辑组件是具体的业务逻辑实现,总体上包括短信发送、运行工况、业务报表等业务处理逻辑。公共服务框架组件包括日志处理、事务处理、安全处理、异常处理等系统支撑组件。

(3) 数据持久层提供多种 O/R 映射工具(Ibatis, Jdbc), 以来可以减少开发出错概率和提高开发效率,同时提高了系统应对数据结构变更的能力,并且使得系统数据层易于维护。

2.2 面向服务的业务组件设计

系统的各项具体功能应用分为界面控制组件、业务逻辑组件,进行了业务逻辑封装。所有的业务应用功能按照业务耦合程度被分解为基本的处理单元,通过组件的组合、装配适应业务的动态变化和业务伸缩需要。具体的业务组件可采用 Web 服务的方式为其他应用提供标准的服务接口,其他应用系统可以通过标准的服务获得相关的组件服务信息,包括服务调用信息、数据规约等,根据具体需要通过 Web 服务实现相应功能,并整合到其应用中。

2.3 基于 Java EE 的技术实现

按照江苏省电力公司统一框架程序建设的不要求和信息技术发展趋势,系统的业务应用采用满足技术先进性与成熟性相结合的基于 Java EE 的多层技术构架,以提高系统的灵活性、可扩展性、安全性以及并发处理能力,同时通过企业服务总线连接数据交换平台、应用集成和企业门户,实现与统一框架的全面集成。系统采用多层架构支持系统采用组件技术将界面控制、业务逻辑和数据映射分离,实现系统内部的松耦合,以灵活、快速地响应业务变化对系统的需求。

2.4 安全管理

系统实行操作权限管理,按工作性质对每个用户赋予不同权限等级,系统登录、操作等应进行权限查核;系统所有重要操作,如登录、退出、发送短信、处理问题确认等,均应有操作记录,系统可对操作记录进行查询和统计。系统保存的所有重要数据,包括用户信息、操作记录、日志等,不可人为删除和更改。具有必要的网络安全保护,保证系统数据和信息不被窃取和破坏。系统具有抗击计算机病毒和非法入侵的能力。

3 应用情况

有序用电信息发布系统于 2010 年建成并投入运行,系统运行稳定可靠,在迎峰度夏(冬)时期,系统日

均发送短信量逾 50 000 条。系统运行三年时间内,累计发送有序用电短信 300 万余条,涉及电力用户 20 万户,短信发送速度约为 20 条/s。在有序用电信息化建设中发挥了积极有效的作用,更好地实现了迎峰度夏突发应急预案,应对地区负荷紧张情况,确保有序用电计划的及时送达,便于电力客户及时调整用电方案,合理安排用电,实现有序用电及时高效的服务,提高有序用电应急指挥的效率。

4 结束语

随着现代通信技术的发展,短信业务在很多行业中都得到了很好的应用。短信业务是通过存储转发,实时监测的机制,提供可靠的、低开销的无线数据业务,可以满足系统的应用要求。基于 MAS 服务的有序用电信息发布系统成功解决了供电公司与电力客户通过短消息进行沟通的问题,全面实现系统与移动电话之间的短信息交流方式。具有及时、迅速、方便、投入小、使用成本低等优势,提供及时、有效的信息服务,从而让“有序用电信息化”沟通变得可靠可行,提高了办事效率,丰富和延伸电力企业的服务功能和服务范围。

参考文献:

- [1] 万燕涛. 信息技术在电费管理中的应用[J]. 电力需求侧管理, 2008(4):66-68.
- [2] 吴 斌,胡跃青,谈 韵. 短信平台促进信息化深化应用[J]. 华东电力,2009,37(9):1559-1561.
- [3] 王汝江. 信息推送技术的实现方式[J]. 科技文献信息管理, 2007(2):32-35.

作者简介:

张 斌(1973),男,江苏江阴人,高级工程师,研究方向为电力行业信息化;

厉文婕(1982),女,江苏南京人,工程师,从事电力行业软件研发工作;

尹 飞(1978),男,安徽和县人,工程师,从事电力行业软件研发工作。

An Orderly Power-Use Information Distribution System Based on MAS

ZHANG Bin, LI Wenjie, YIN Fei

(Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Telephone and terminal message are two major tools used by electricity emergency center to control power load during the summer (winter) power peak period in the past. For improving the service of power marketing management and enhancing the communication with customers, an Orderly Power-Use Information Distribution System is developed based on several Java frameworks and MAS service based modern communication technologies. The system is capable to conveniently, flexibly, and efficiently delivery signal of orderly using of power to customers, which can help customers to adjust their power-use timely and to arrange power-use reasonably.

Key words: orderly using of electricity; information distribution system; load control; MAS service

基于EMS的地区电网合环风险评估系统

罗玉春, 龚成明, 王毅, 李雷, 葛亮亮
(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京 211106)

摘要:传统的基于电力系统离线分析软件进行电网合环风险分析,由于无法保证电网模型及电网运行方式的实时性,采用近似计算,缺乏及时有效正确的分析手段。文中提出一种基于能量管理(EMS)系统的地区电网合环风险评估分析软件系统,在调度控制中心实现实时的电网合环风险评估。该系统从EMS系统读取实时电网模型、运行方式,综合利用全网模型量测信息,实现电网热稳定、静态安全及遮断容量校核,减小了电网实际合环操作前分析的工作量,该评估系统已经在深圳电网主站系统中得以应用,具有良好的实用性。

关键词:能量管理系统;合环;潮流计算;静态安全分析;遮断容量;冲击电流

中图分类号:TM743

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0030-04

为了对电网风险进行辨识和预控,给调度运行提供理论分析支持,合环风险评估作为一项重要的内容被电网调度运行管理部门所重视。传统合环风险分析方法根据经验或者离线分析,能适应特定的运行方式或者电网规模较小的情况,不适用于日益复杂的大电网合环风险分析^[1-8]。但目前在我国很多地区,依然是凭调度人员的经验进行合环操作,在发生合环失败的情况再进行分析计算^[9],这样所进行的分析计算不可避免存在以下几个方面的局限:

(1) 电网模型的时效性。一般运方人员在进行合环分析时,进行离线近似计算,其过程繁琐且无法保证其模型是否能够完整准确地表述电网当前运行情况,直接影响了计算分析的数据基础。

(2) 合环暂态电流计算的准确性。现有传统的合环操作风险分析方法,由运方人员画出环路路径并将合环路径上的支路阻抗进行累加作为合环阻抗,该方法无法考虑多环等复杂情况,使得计算得到的环路阻抗不甚准确,基于此值求解的合环电流稳态分量和自由分量均存在误差,由此可能导致分析结论的错误。

(3) 缺乏实用的分析机制。现有传统的合环操作风险分析方法,是在计算前手动建立等值近似模型,依靠手工运用潮流分析程序得出需要的指标,步骤较为复杂,在一定程度上影响了合环操作风险分析的实用性。

(4) 计算结果缺乏实用性。以往对电磁环网进行分析和评判只是简单孤立地分析冲击电流、稳态潮流,没有形成一个综合的评价指标来直接指示合环风险等级。

本文提出一种基于能量管理(EMS)系统的地区电网合环风险评估系统,基于EMS系统建立的全网模型和实时数据断面基础上,在控制中心实现实时在

线合环风险分析,建立合环冲击电流校验、支路热稳定校验、静态安全分析校验、短路电流水平校验等风险指标,实现合环路径的搜索检验及拓扑展示,突破传统合环分析方法存在的局限性,有助于提高合环风险分析水平,该系统已在深圳电网投入运行。

1 基于EMS的合环风险评估系统

目前EMS系统已经能获得电网的实时运行方式,因此电网在采用电磁环网运行方式前可以通过EMS系统的功能对合环后电网的稳态潮流、N-1静态安全和断路器的遮断容量做预先的分析,获得合环操作风险等级,从而为实际合环操作做指导。

1.1 合环风险评估模型和风险指标

合环操作后电网会出现某些特殊状态,包括线路过流、主变过载、母线短路电流过大等。目前电力系统风险分析一般是从经济损失的角度考虑事故后果,本文从电网安全方面结合地区电网实际情况,综合电网安全因素进行合环风险评估分析。由于合环风险计算分析具有强解耦性,合环操作风险可以按照每一类安全性问题、每一起事故或者每一个元件进行计算,因此可以将对合环操作整体风险评估分解为对各类安全性问题的评估,计算不同类型考核项的风险指标值,以反映系统安全问题的不同方面,根据相应的权重可以达到整体评估合环操作风险的目的。对于合环风险评估系统,将合环产生的后果定义为合环操作暂态过程中及合环操作后考核指标的严重度函数值,这样求出的风险指标为具体数值,可以直观地得到系统相应部分对应的风险大小。合环操作风险指标定义为合环操作时事故发生的概率 \times 合环产生的后果。该指标用来反映合环操作风险综合程度,定量的抓住决定风险等级的因素:合环操作相应产生结果的可能性以及其相应结果的严重性^[10-12]。定义合环风险综合指标计算公式为:

$$R = \sum_i \omega_i P_i(X) S_i \quad (1)$$

式(1)中: i 为合环操作风险评估项目; S_i 为合环操作风险评估单项的风险水平; $P_i(X)$ 为合环操作风险评估单项的出现概率; ω_i 为合环操作风险评估单项的权重; R 为合环操作风险指标值。

1.2 合环冲击电流风险指标

定义合环冲击电流风险指标:合环操作时由于合环端口电压矢量差引起的合环冲击电流大小决定该合环冲击电流风险严重度函数的取值。

合环冲击电流风险指标反映的是合环端口电压矢量差引起的合环冲击电流大小的严重度。合环冲击电流的大小和保护定值决定合环冲击电流严重度函数取值。当合环冲击电流未引起设备保护动作时,其合环操作风险严重度函数取值为0;当合环冲击电流引起设备保护动作时,其合环操作风险严重度函数取值为1。定义合环冲击电流风险指标的计算公式:

$$R_{CLF} = S_{CLF} \quad (2)$$

式(2)中: S_{CLF} 为合环冲击电流风险严重度; R_{CLF} 为合环冲击电流风险指标。

1.3 支路热稳定合环风险指标

支路(包括线路和变压器)的热稳定电流是支路传输容量的一个绝对限制条件。定义支路合环风险指标:环网运行方式下流经支路的电流(或者功率)大小决定该支路合环风险严重度函数的取值。

支路合环风险指标反映的是电磁环网运行方式下系统中运行的支路传输功率重载和过载的危害严重度。每条支路的负载率大小决定该支路合环风险严重度函数取值。对于合环风险评估系统,重点考虑合环引起的新的越限支路情况,兼顾考虑合环操作前已经越限和重载的支路,对于新引起的越限,支路合环风险严重度函数取值为合环操作引起新的越限支路总数,对于合环前已经越限的支路,其风险严重度与重载风险严重度取均值。定义支路合环风险指标的计算公式:

$$R_{BCH} = \sum P_i(X) \times S_i = \frac{\sum_{alm} S_{alm} + \sum_{ove} S_{ove}}{n_{alm} + n_{ove}} + \sum S_{ovenew} \quad (3)$$

式(3)中: S_i 为某一条运行支路对应的合环风险严重度; n_{alm} 、 n_{ove} 为重载/越限支路条数; S_{alm} 、 S_{ove} 为重载/越限支路风险严重度; S_{ovenew} 为合环操作后新引起的越限支路风险严重度; R_{BCH} 为环网运行方式下整个系统所有支路合环风险。

1.4 N-1 合环风险指标

在高低压电磁环网方式下,必须保证在任何事故后情况下,通过低一级电压等级支路的电流低于其热

稳定电流。如果高一级电压支路断开后,潮流转移到低一级电压支路,极易超过低压支路的热稳定极限,因而在合环风险分析时需要考虑环网情况下的N-1静态安全水平。定义N-1合环风险指标:环网运行方式下对环路支路设备(线路、变压器)做N-1安全分析时引起电力设备过载的严重函数程度。N-1合环风险指标反映的是电磁环网运行方式下合环路径上运行的变压器/线路开断运行时对电网的危害严重度。合环支路开断运行时引起的越限设备数决定该支路合环风险严重度函数取值。当合环支路开断运行引起的越限设备数为0时,其合环风险严重度函数取值为0;把不能满足N-1安全准则要求的环路元件总数作为N-1合环风险严重度,进行N-1安全校核的元件包括线路、变压器。定义N-1合环风险指标的计算公式:

$$R_{N-1} = \sum P_i(X) \times S_i \quad (4)$$

式(4)中: S_i 为环路某一支路开断时合环风险严重度; R_{N-1} 为环网运行方式下合环支路开断合环风险。

1.5 母线短路电流水平合环风险指标

在各种类型的短路中,最常见的是单相短路。三相短路发生的概率虽然较低,但它却是各种短路故障中最严重的一种,对系统的危害最大,而且随着中性点接地变压器的大量适用,使得单相短路容量增长迅速,有些厂站母线的单相短路容量甚至超过三相短路容量。因此,在制定母线短路电流合环风险指标中需考虑单相短路电流和三相短路电流。

定义母线短路电流水平风险指标:环网运行方式下母线发生短路故障时短路电流和断路器额定开断电流决定该母线短路故障合环风险严重度函数的取值。

短路电流合环风险指标合环风险指标反映的是电磁环网运行方式下合环路径上母线发生短路故障时遮断容量重载和过载(相比于断路器额定开断电流)的危害严重度。母线短路电流的负载率大小决定合环风险短路电流水平严重度函数取值。由于母线发生短路故障,往往是触发电网大事故的元凶,母线短路电流权重在合环风险各项中权重需设置较高,当环路母线短路电流越限时,此时可认为合环短路电流风险很大。定义母线短路电流合环风险指标的计算公式:

$$R_{FLT} = \frac{\sum P_i(X) \times S_{i_flt}}{n} = \frac{\sum P_i(X) \times S_{i_alm}}{n_{alm}} + \sum S_{i_ove} \quad (5)$$

式(5)中: S_{i_flt} 为环路某一条母线短路电流合环风险严重度; n 为合环路径上重载/越限线路的母线条数; S_{i_alm} 和 S_{i_ove} 为重载/越限母线短路电流水平风险严重度; R_{FLT} 为环网运行方式下环路母线短路电流水平合环风险。

1.6 基于 EMS 的合环风险评估软件实现

合环风险评估系统软件基于 EMS 平台, 采用服务器 / 客户端的消息机制, 基于 EMS 通用关系表数据库系统和层次库结构。使用人员在客户端侧进行操作, 由客户端发送相应的报文至服务器侧, 由服务器侧主进程根据报文中的信息进行分析和计算, 并将结果写入数据库并返回结果报文至客户端, 整个过程由消息报文进行控制, 流程如图 1 所示。合环风险评估软件嵌入在 EMS 系统高级应用软件的调度员潮流模块中, 共享调度员潮流模块的数据和功能, 可以同时由不同的使用者在不同的研究模式下进行操作, 不同的使用者之间相互不影响。

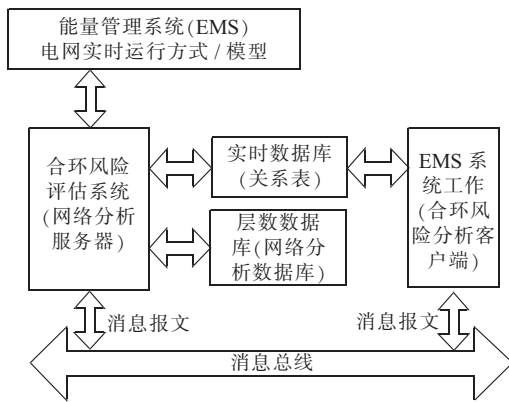


图 1 合环风险评估系统软件框架

2 工程应用

某地区电网某合环前 / 后电网运行方式如图 2、图 3 所示, 合环线路为 110 kV 安汤线。选取 220 kV 坪山站、宏图站、简龙站、110 kV 汤坑站、安良站区域电网, 在正常运行方式下, 安汤线 1360 处于充电状态, 汤坑站侧安汤线 1360 开关处于分位。

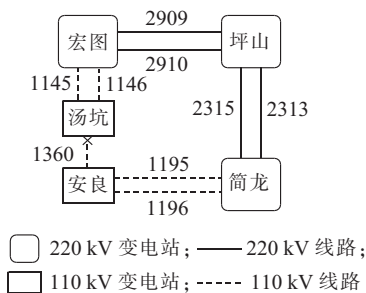


图 2 开环运行方式示意图

合环风险分析评估系统模拟分析计算结果和电网实际合环操作 SCADA 量测值如表 1 所示。

本系统直接从地区电网调度控制中心 EMS 系统中获取实时电网模型和状态估计数据, 无需另行进行设备参数维护和建立等值计算模型。基于全网模型和实时拓扑分析结果, 自动搜索合环路径, 基于全网导纳

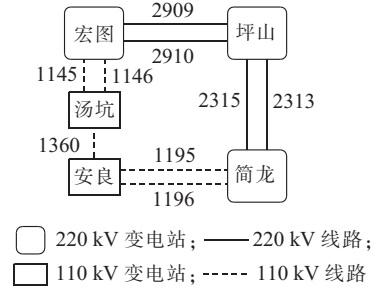


图 3 合环运行方式示意图

表 1 合环风险评估系统计算结果和实际合环量测

计算项	计算结果	实际合环操作量测
首端节点电压 /kV	114.23 ∠ -4.07°	114.5
末端节点电压 /kV	114.64 ∠ -6.07°	114.6
端口阻抗 /Ω	1.38+j13.20	—
合环冲击电流最大值 /A	425.5	—
合环稳态电流 /A	247.3	242.6
基态潮流非初始越限数	0	—
环路 N-1 越限数	0	—
环路母线短路电流越限数	0	—

阵进行和合环端口电压计算合环冲击电流, 并基于全网模型计算合环后稳态潮流、N-1 静态安全分析、环路母线短路电流水平。合环操作风险评估系统分析得出的此断面运行方式下合环风险总水平及其分项风险评估水平如表 2 所示, 基于广度搜索算法得到的环路拓扑如图 4 所示。

表 2 合环风险评估水平

计算项	风险水平
冲击电流风险水平	0
稳态潮流风险水平	6.93
N-1 安全分析水平	0
母线短路电流水平	8.33
合环风险总水平	15.26

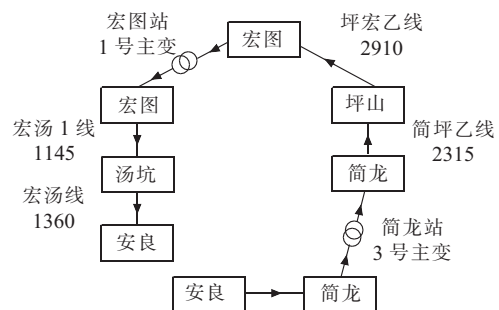


图 4 案例合环路径拓扑

在本系统确立了 4 种合环操作安全性问题, 从地区电网安全的不同角度对系合环操作进行了风险描述并建立了不同类型的风险指标, 通过对不同项指标的整合对合环操作进行了合环风险水平的评估。

应该指出合环分析计算结果依赖于EMS系统的状态估计结果,随着变电站装置的改造,状态合格率随着调度控制中采集的SCADA数据质量改善也在不断提高,另外随着地区电网外网等值接入功能的加入,电网计算模型也日趋完整,这些为合环风险分析软件提供了更准确的基础数据。经测试表明,合环风险分析软件能够满足地区电网的分析需求。

3 结束语

本文针对传统地区电网合环分析的缺点做了深入的分析,提出并开发了基于EMS系统的在线合环风险分析系统,克服了传统分析方法的缺点,基于EMS系统实现了合环分析的实时性、准确性和便利性。可以为大规模地区电网合环风险分析提供决策支持,从而有效提高电网调度和运行人员对电网的控制能力和对电网事故的处理能力,减少电网事故造成的损失。

参考文献:

- [1] 叶清华,唐国庆,王磊,等.配电网合环操作环流分析系统的开发和应用[J].电力系统自动化,2002,26(22):66-69.
- [2] 钱兵,程浩忠,杨镜非,等.电网合环辅助决策软件研究[J].电力自动化设备,2002,22(3):8-11.
- [3] 夏翔,熊军,胡列翔.地区电网的合环潮流分析与控制[J].电网技术,2004,28(22):76-80.
- [4] 胡伟.2004~2005年江苏电网分层分区运行分析[J].华东电力,2003(8):14-17.

- [5] 张勇,姚建光,俞晓荣,等.具备快速合解环功能的备自投分析[J].江苏电机工程,2012,31(1):61-63.
- [6] 应夏曦,纪良.常州电网分区运行对地区配网跨区合解环操作的影响及其对策[J].电力设备,2008,09(1):65-68.
- [7] 秦跃进,汪勇,胡广.2005年湖北电网电磁环网问题研究[J].华中电力,2002,15(6):15-17.
- [8] 葛少云,李晓明.基于戴维南等值的配电网合环冲击电流计算[J].电力系统及其自动化学报,2007,19(6):124-127.
- [9] 胡宏波,孟清谱,刘高飞,等.一起10kV配电网合环倒电引起线路跳闸的事故分析[J].江苏电机工程,2011,30(3):15-18.
- [10] 陈霄,王磊,李扬.配电网合环冲击电流的分析[J].电力自动化设备,2005,24(5):40-42.
- [11] 刘新东,江全元,曹一家,等.基于风险理论和模糊推理的电力系统暂态安全风险评估[J].电力系统自动化设备,2009,29(2):15-20.
- [12] 潘轩,张建华.基于风险理论的电力系统安全评估方法应用[J].中国电力教育,2008(S1):219-222.

作者简介:

- 罗玉春(1984),男,江苏涟水人,工程师,从事电网调度自动化系统高级应用软件开发工作;
 龚成明(1977),男,江苏响水人,高级工程师,从事电网能量管理系统研发、管理工作;
 王毅(1980),男,甘肃会宁人,工程师,从事电网调度自动化分析与控制技术研究工作;
 李雷(1978),男,安徽淮南人,工程师,从事电网调度自动化分析与控制技术研究工作;
 葛亮亮(1984),男,江苏如东人,工程师,从事电网调度自动化系统仿真研究工作。

A Closing Loop Operation Risk Evaluation System Based on EMS

LUO Yuchun, GONG Chengming, WNAG Yi, LI Lei, GE Liangliang

(NARI Technology Development Limited Company, Nanjing, 211106, China)

Abstract: Due to lack of the capacity of real-time updating power network's model information and operational mode, traditional off-line analysis software for power system grid closing loop operation risk analysis only can provide an approximate result. An Energy Management System (EMS) based regional power grid risk analysis software for closing loop operation analysis is presented. The proposed software is capable to provide a real-time closing loop operation risk evaluation. It collects real-time data of power network model and its operational mode from EMS, which makes it possible to achieve thermal stability analysis, $N-1$ analysis and circuit breaker interrupting capacity checking of electromagnetic loop network grid. The utilization of EMS in the proposed software reduces risk analysis computational complexity. The proposed system has been successfully applied into the Shenzhen power grid.

Key words: EMS; Close Loop Operation; Power Flow Calculation; Contingency Analysis; Circuit Breaker Interrupting Capacity; Impact Current

广告索引

中国华电集团公司江苏分公司	封一	《江苏电机工程》协办单位	前插4
江苏省电力设计院	封二	南京苏逸实业有限公司	(黑白)文前
南瑞科技股份有限公司	前插1	江苏南瑞帕威尔电气有限公司	封三
《江苏电机工程》协办单位	前插2、3	远东电缆有限公司	封四

继电保护装置远方修改定值模式研究

李德文¹, 刘进², 刘伟¹, 侯先栋¹, 周进¹

(1.南京南瑞继保电气有限公司,江苏南京 211102;2.南方电网超高压输电公司安宁局,云南昆明 650217)

摘要:研究归纳了继电保护装置支持远方修改定值的2种模式,在此基础上提出了基于预备定值区的继电保护装置远方修改定值新模式。具备预备定值区的继电保护装置可支持远方不切换定值区号的情况下,快速可靠地修改定值,减少安全隐患,提高供电效益。

关键词:预备定值区;远方修改定值;继电保护

中图分类号:TM743

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0034-03

继电保护装置定值的正确性和适应性对其正确动作及电网的安全运行有着非常重要的作用。随着国民经济的发展,电力系统的规模在不断扩大。与此同时新能源发电、直流输电等新技术的广泛应用也使实际电网结构变得更加复杂。一般情况下,系统供电方式的改变、设备检修、新设备的投运等常常会引起保护配置和定值的相应改变。若仍依靠传统现场手工更改定值的方式,必然大量增加运行维护人员工作量,降低工作效率。

随着智能电网的全面建设,远方调控一体化的条件已经逐步成熟^[1,2]。作为调控一体化最基础的部分,继电保护装置亟需支持远方修改定值、切换定值区、投退软压板、复归信号等远方操作的通信接口。目前继电保护装置已经基本支持这些远方操作功能。其中由于装置定值内容的牵涉面较广,远方修改定值操作所需的交互信息比切换定值区、投退软压板要复杂得多,且存在着各种各样的风险^[3-7]。因此,本文从继电保护装置的角度,研究归纳了远方修改定值的2种工作模式,并在此基础上提出了基于预备定值区的快速、可靠的远方修改定值新模式。

1 继电保护装置远方修改定值模式分析

随着变电站通信规约 IEC 60870-5-103 规约(以下简称 IEC 103)的成熟应用,目前现场运行的继电保护装置大都支持远方直接修改当前运行区定值功能。即在继电保护装置不停电的情况下,可支持远方调度自动化主站或者故障信息主站经由站内远动装置或者故障信息子站修改装置运行区的定值内容。最近几年,智能变电站大量投运,站内采用 IEC 61850 通信规约的应用经验也在逐渐积累。IEC 61850 规约定值服务的编辑区概念使继电保护装置能够支持远方修改任意区定值功能。为描述方便,本文中继电保护装置简称为装置或者保护装置;远方调度自动化主

站、故障信息主站或者远动装置、故障信息子站等通过通信规约方式修改继电保护装置定值的客户端,统称为远方或者远方自动化系统。

1.1 基于运行区定值远方修改模式

远方直接修改当前运行区定值,称为基于运行区定值远方修改模式。一般情况下,仅传统 IEC 103 通信会采用本模式。IEC 103 规约的通用分类服务可实现当前区定值的读写^[8],详细流程如图 1 所示。

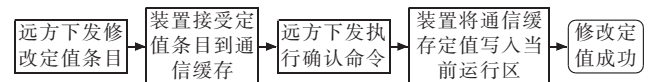


图 1 基于运行区定值远方修改模式流程图

(1) 远方通过通用分类服务写命令将待写的定值条目的值下发给装置,装置收到远方通用分类服务写命令后,将定值条目暂存到内部通讯缓存区;

(2) 远方通过通用分类服务带执行的写命令,向装置确认定值写入操作,装置收到带执行的写命令后,将内部通信缓存定值条目回写到当前运行定值固化区中,在此过程中,继电保护装置以及保护功能短暂闭锁。

运行区定值远方修改模式具有操作简单、装置闭锁时间短的特点,且不需要更换定值区号。但是由于直接修改当前区定值,不具备回读校核功能,如果中间通信环节出错或者保护装置内部通信缓存区域定值出错,都不能及时反馈给远方,可能导致错误定值投入,从而使继电保护装置误动或者拒动。

1.2 基于编辑区定值远方修改模式

远方首先修改非运行区定值,核对成功后,然后再通过切换定值区号把非运行区定值投入运行,称为基于编辑区定值远方修改模式。采用 IEC 61850 通信规约定值服务实现^[9]。详细流程如图 2 所示。

(1) 远方下发 SelectEditSG 服务将 IEC 61850 编辑定值区写为待整定目标区号;(2) 保护装置将待整定定值区内容从定值固化区拷贝至通信缓存的编辑定值区;(3) 远方通过 SetEditSGValues 服务下发修改定值

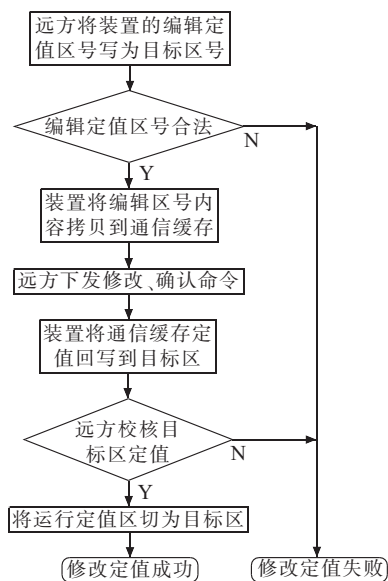


图2 基于编辑区定值远方修改模式流程图

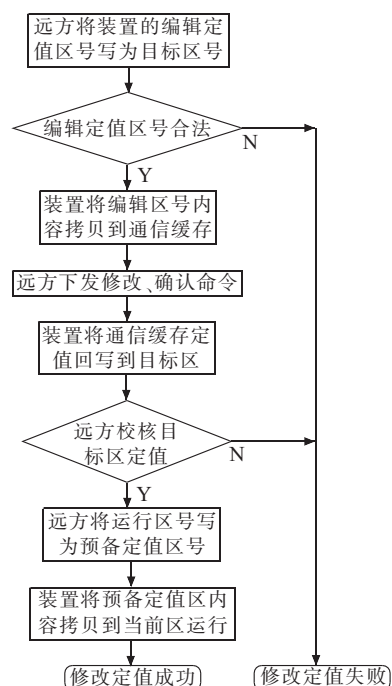


图3 基于预备定值区远方修改模式流程图

命令、通过 ConfirmEditSGValues 确认写命令;(4) 保护装置接收到 ConfirmEditSGValues 确认写命令后将通信缓存的编辑定值区定值回写到定值固化区,整定过程不闭锁装置;(5) 远方通过 GetSGValues 服务读取编辑定值区的定值,核对定值正确性;(6) 核对无误后,远方通过 SelectActiveSG 将运行定值区号写为上述整定目标区区号,则保护装置切换到新的目标定值区运行,在此过程中,继电保护装置以及保护功能短暂闭锁。

编辑区定值远方修改模式装置闭锁时间短,相较于运行区定值远方修改模式,还具有定值核对无误后才投入运行的优点,可减少定值整定出错的风险。但是该模式的缺点也很明显,就是运行定值区号发生了改变,在电网运行方式变化频繁的情况下,需要不停地切换定值区号,会给运行维护人员带来很大困扰。

2 基于预备定值区远方修改新模式

“预备定值区”是装置在定值固化区中专门辟出的一段区域,用于存放即将投入运行的定值,此区不能直接投入运行,但可以用专门的命令将此区拷贝到运行区投入运行,此时装置的运行区号不变。预备定值区号可约定为装置没有使用的区号,如 254。远方可以通过访问定值区号 254 来读写预备定值区。

2.1 远方通过 IEC 61850 修改定值

通过 IEC 61850 修改具备预备定值区的保护装置在上述的第二种模式基础上做出改进,主要是把编辑定值区号设为预备定值区号。流程如图 3 所示。

(1) 远方下发 SelectEditSG 服务将 IEC61850 编辑定值区改为预备定值区区号;(2) 保护装置将当前预备定值区内容拷贝至通信缓存的编辑定值区;(3)

远方通过 SetEditSGValues 服务下发修改定值命令、通过 ConfirmEditSGValues 确认写命令;(4) 保护装置接收到 ConfirmEditSGValues 确认写命令后将通信缓存的编辑定值区定值回写到预备定值区固化,整定过程不闭锁装置;(5) 远方通过 GetSGValues 服务读取预备定值区的定值,核对定值正确性;(6) 核对无误后,远方通过 SelectActiveSG 将运行定值区写为预备定值区区号;(7) 保护装置将预备定值区内容拷贝到当前运行定值区,在拷贝过程中,继电保护装置以及保护功能短暂闭锁。

2.2 远方通过 IEC 103 修改定值

借鉴 IEC 61850 编辑定值区概念,通过 IEC 103 修改具备预备定值区的保护装置,需要在定值区号通用分类服务组里来扩展定义编辑定值区号条目,用于指定当前编辑定值区指向的定值存储区。扩展后的定值区号组包括运行定值区号和编辑定值区号,如表 1 所示。

表 1 IEC 103 扩展定义的定值区号组

条目号	描述	数据类型
0	定值区号	字符串
1	运行定值区号	无符号整数
2	编辑定值区号	无符号整数

远方通过 IEC 103 对具备编辑定值区号组的装置进行定值的读写,是对编辑区定值进行的操作。当编辑定值区号设定为预备定值区号时,接下来的定值读写均是对预备定值区的操作。通过 IEC 103 修改定值和通过 IEC 61850 修改定值流程类似,可参考图 3。其具

体过程:(1) 远方通过通用分类服务写命令将装置的编辑定值区号设定为预备定值区号;(2) 保护装置将预备定值区内容拷贝至通信缓存的编辑定值区;(3) 远方通过通用分类服务写命令将待写的定值条目的值下发给装置,通过通用分类服务带执行的写命令向装置确认定值写入;(4) 保护装置接收到带执行的确认写命令后将通信缓存的编辑定值区定值回写到预备定值区固化,整定过程不闭锁装置;(5) 远方通过通用分类服务读取预备定值区的定值,核对定值正确性;(6) 远方通过通用分类数据写命令将运行定值区号写为预备定值区号;(7) 保护装置将预备定值区内容拷贝到当前定值区运行,区号不变,在拷贝过程中,继电保护装置以及保护功能短暂闭锁。

2.3 优缺点比较

通过上面的分析可知,基于预备定值区远方修改新模式在编辑区定值修改模式基础上,扩展一个预备定值区,在装置不闭锁的情况下,用于定值的预先整定和校核,校核通过后,再把预备定值区内容拷贝至当前运行区。新模式能够同时适应 IEC 103 和 IEC 61850 2 种通信方式,具有装置闭锁时间短、定值核对无误后才投入运行的特点。相较于编辑区定值远方修改模式,具有不改变运行定值区号的优点,既能够适应电网运行方式频繁变化的定值调整要求,也有利于系统运行人员的常规管理。该模式和前 2 种模式的优缺点比较如表 2 所示。

表 2 继电保护装置远方修改定值模式优缺点比较

远方修改定值模式	通信规约	闭锁时间	核对定值	区号改变
基于运行区定值	IEC 103	短暂	不核对	不改变
基于编辑区定值	IEC 61850	短暂	核对	改变
基于预备区定值	IEC 103/ IEC 61850	短暂	核对	不改变

3 结束语

基于预备定值区的继电保护装置远方修改定值模式能够在不切换装置运行定值区号的情况下,快速、安全、可靠地修改定值,对于调控一体化的推广具有重要

研究意义。该模式在不影响现有装置保护逻辑的前提下,对管理程序进行升级即可实现,配合远方切换定值区号、远方投退软压板等功能,具有较强的操作性。目前已经在广东地区部分变电站试点实施,实践表明,该模式可大大减少运行操作人员维护工作量,提高供电经济效益。

参考文献:

- [1] 葛立青,杨凡. 智能变电站信息集成及二次安全防护方案[J]. 江苏电机工程,2012,31(4):24-26.
- [2] 汤震宇,梁雯,代小翔,等. 远动程序化操作若干问题的分析[J]. 江苏电机工程,2013,32(1):47-49.
- [3] 林传伟,卓枕警,周健,等. 福建电网远方不停电修改及核查定值系统的设计[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(5):107-110.
- [4] 黄坚明,黄春红. 微机保护不停电整定配置的功能及其应用[J]. 电力系统自动化,2008,32(10):104-107.
- [5] 宋海涛. 微机保护定值管理及远方不停电整定技术和系统的研究[D]. 济南:山东大学,2009.
- [6] 华煌圣,刘育权,王莉,等. 远方修改继电保护定值的控制模型及其应用[J]. 电力系统自动化,2012,36(16):1-6.
- [7] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 14285—2006 继电保护和安全自动装置技术标准[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [8] IEC 61850-7-2 Communication Networks and System in Substations: Part 7-2 Basic Communication Structure for Substations and Feeder Equipment-abstract Communication Service Interfaces (ACSI)[S]. 2003.
- [9] IEC 60870-5-103 Telecontrol Equipment and System: Part 5-103 Transmission Protocols-companion Standard for the Informative Interface of Protection Equipment[S]. 1997.

作者简介:

- 李德文(1982),男,山东成武人,工程师,从事电力系统自动化的研究工作;
- 刘进(1983),男,湖南攸县人,工程师,从事特高压直流运行维护管理工作;
- 刘伟(1977),男,安徽合肥人,工程师,从事电力系统自动化的研究工作;
- 侯先栋(1984),男,江苏丰县人,工程师,从事电力系统自动化的研究工作;
- 周进(1987),男,江苏东台人,助理工程师,从事电力系统自动化的研究工作。

Research on the Modes of Setting Group Remote Modification in Relay Protection

LI Dewen¹, LIU Jin², LIU Wei¹, HOU Xiandong¹, ZHOU Jin¹

(1. Nanjing NARI-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China;

2. Anning Bureau, CSG EHV Transmission Company, Kunming 650217, China)

Abstract: Based on the analysis of two modes of setting group remote modification in the relay protection equipment, a new mode with prepared setting group section is proposed. The new mode can rapidly and reliably modify the setting value with setting group section unchanged, which reduces potential safety hazard and improves the efficiency of power supply.

Key words: prepared setting group section; setting group remote modification; relay protection

超高压输电系统中磁可控电抗器保护配置与实现

熊 蕙,程 骁,文继锋,李 力,陈松林
(南京南瑞继保电气有限公司,江苏南京 211102)

摘 要:文中分析了高压交流输电系统中的磁可控电抗器运行的各种工况,介绍了其保护配置,针对性地提出了自动跟踪补偿额定电流的磁可控电抗器差动保护、基于时域平移平衡差动原理的磁可控电抗器匝间保护和控制绕组电压差动保护,并给出了验证这些保护原理的数字仿真、动模试验和现场运行结果。

关键词:磁可控电抗器;差动保护;匝间保护;时域平移平衡差动;电压差动保护

中图分类号:TM47

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0037-03

随着超高压长距离输电工程在我国的建设和发展,对连续可调的可控电抗器的需求日益迫切,相关学者正在积极进行通过可控电抗器提高特高压电网输电能力的研究^[1]。目前超高压可控高抗的应用主要分2个方向:分级式可控高抗和磁控式可控高抗。其中根据磁饱和原理工作的磁饱和式可控电抗器近年来得到了重视,研究表明,磁饱和式可控电抗器控制方式灵活,不仅可以平滑调节系统的无功功率、限制工频电压升高和潜供电流的生长,提高系统的输电能力和稳定性、且有大幅度限制操作过电压的功能^[2]。2007年荆州换流站投运了我国首套500 kV磁饱和式可控电抗器。

1 磁可控电抗器的工作原理

磁可控电抗器的绕组线圈主要分为交流绕组和控制绕组2个部分,交流绕组由2个独立线圈绕组组成,同时这2个绕组上还分别绕制了控制绕组线圈。为了实现可控,在控制绕组的2个线圈注入直流电流,并且方向相反,使得2个交流绕组线圈分别工作在正方向饱和和反方向饱和状态,如图1、图2所示。左侧的正向饱和绕组在正向电压的激励情况下,阻抗很小,使得电流主要从左侧的正向饱和绕组中流过;同样右侧的反向饱和绕组在反向电压的激励情况下,阻抗很小,使得电流主要从右侧的反向饱和绕组中流过。因此2个交流绕组将分别流过正半周波和负半周波电流,而通过调节控制绕组中直流电流的大小就可以改变铁心的磁饱和度,从而影响到通过交流绕组线圈的电流大小,达到调节电抗器容量的目的^[3-5]。

理论分析磁可控电抗器正常运行过程中2个交流绕组的电流波形以及总电流波形如图3所示。

由于铁心的饱和特性,实际可控电抗器2个分支的电流中不可避免会出现谐波分量,可控电抗实际运行时的电流波形如图4所示。

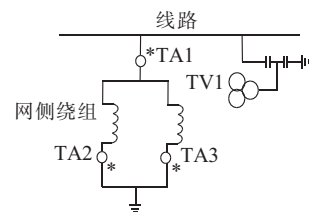


图1 可控电抗器交流绕组单相接线示意图

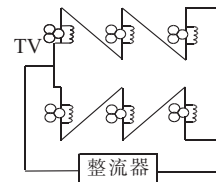
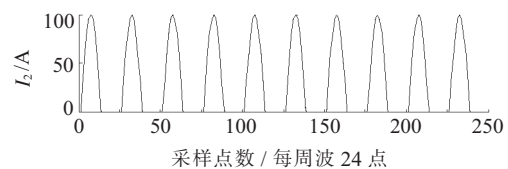
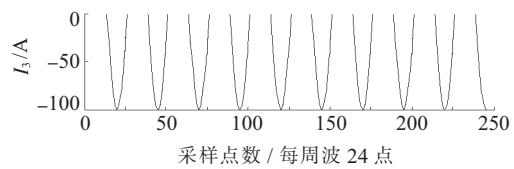


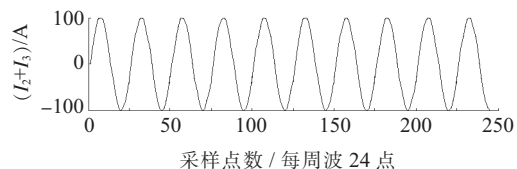
图2 可控电抗器控制回路接线示意图



(a) 1分支电流



(b) 2分支电流



(c) 2个分支的和电流

图3 理想情况下的磁可控电抗器波形

2 可控电抗器的保护原理及配置

2.1 可控电抗器的运行方式及其影响

(1)由于可控电抗器负荷电流会发生较大的幅度变化(在可控容量从5%至120%动态调节时),导致以电

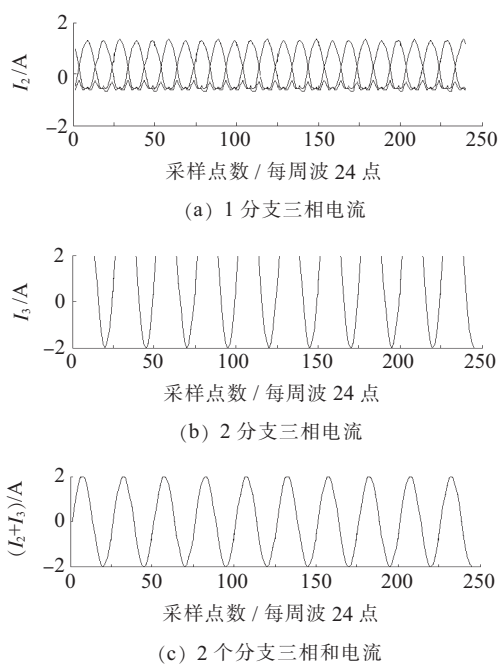


图4 实际的磁可控电抗器波形

抗器额定电流为基准的差动保护在不同工况下的灵敏度相差很远,甚至出现不能满足差动保护需要的情况,所以必须对可控电抗器的差动保护进行相应研究,以保证差动保护的灵敏度和可靠性。

(2) 由于电力电子技术的引入,可控电抗器的匝间故障特征与普通电抗器截然不同,在正常运行情况下磁可控电抗的2个绕组分别流过正负半个周波电流,发生匝间故障时流过可控电抗的故障电流将为半波电流,如何在这种故障特征情况下可靠的切除故障,也是电抗器保护原理中一个全新的研究课题。

(3) 由于控制绕组线圈中流过直流电流,该电气量不能被传统的继电保护装置所采集,在控制绕组线圈发生故障时,可控电抗的交流侧绕组差动保护的灵敏度较低,如何能够在此时快速切除故障,也是电抗器保护中前所未有的难题。

2.2 磁可控电抗器的保护配置

2.2.1 差动保护

磁可控电抗器的差动保护同样基于电流的基尔霍夫定律:其高端电流和低端电流之和在内部无故障情况下为0,但是由于受到控制绕组直流电流及左右分支绕组磁饱和的影响,可控电抗器额定电流会在较大的范围内发生变化。不同的额定电流情况下,如果采用固定的启动定值将使差动保护的灵敏度在不同工况下灵敏度发生较大的变化。

保护装置中设有电流跟踪元件,实时的跟踪可控电抗器电流的变化,并自适应的调整装置中的差动保护基准电流,可以使差动保护的灵敏度不受可控电抗运行工况的影响。由于磁可控电抗器的短路阻抗比较大,在内部发生接地故障后电流一般变化不大,尤其是

经过渡电阻接地时,差电流很小,这就要求差动保护有很高的灵敏度来检测这些故障。为了提高差动保护灵敏度,采用可控电抗的低端电流作为差动保护的制动电流,在区外故障时保证了较大的制动量,而在区内故障时,它会不同程度的减小,金属性接地时更是会降为零,保证了区内故障的快速切除。

2.2.2 匝间保护

由于左右2个分支的饱和作用,2个分支中分别流过半个周波的电流,在发生轻微匝间故障时,只有一个分支的电流会表现出故障特征,另一个分支电流基本不变,使得可控电抗的匝间故障表现出较为独特的故障特征,因此传统的零序功率方向原理的匝间保护不适用于磁可控电抗器。从磁可控电抗的特殊接线方式可设计出一种独特的匝间保护方案。如果把左侧分支与移相 180° 的右侧分支波形进行差动计算,在正常运行情况下,2个波形基本相同;发生匝间故障之后,由于故障分支电流出现变化,导致了其与另外一个分支的电流对比出现差异,因此可以设计基于差动保护原理的磁可控电抗器匝间保护。其动作方程如下:

$$\begin{cases} I_d > I_{cdqd} \\ I_d > K_b I_r \\ I_r = \max\{|I_2|, |I_3|\} \\ I_d = |I_2 + I_3| \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: I_2 和 I_3 为交流侧左右2个分支的电流(I_3 已经移相 180°); I_{cdqd} 为匝间保护启动定值; K_b 为匝间保护制动系数。

由于磁可控电抗器的匝间保护是一种平衡差动保护,而不是真正意义上的基于电流基尔霍夫定律的差动保护,所以需要充分考虑各种可能导致可控电抗2个分支电流可能出现不对称的情况。例如在磁可控电抗器在磁饱和情况下交流励磁的过程中,其电流的波形如图5所示。

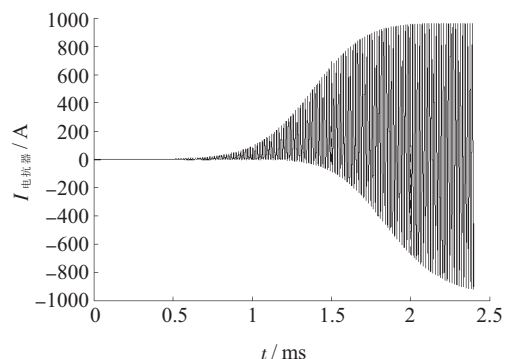


图5 控制过程中的交流绕组电流波形

在整个电抗器上电过程中,磁可控电抗器的电流存在一段较长时间的偏置,导致左右2个分支电流不可能满足平衡差动保护原理,需要在此类情况下对匝

间差动保护采取相关制动措施来防止保护误动。在可控电抗器的控制系统调节过程中,交流侧 2 个分支电流都会出现短时的不平衡状态,这些情况同样需要匝间差动保护进行相应的处理。在动模实验室物理模型上模拟可控电抗器交流侧绕组发生匝间故障时,2 个并联绕组电流波形如图 6 所示。故障分支电流发生了较小的变化,非故障分支电流基本不发生变化。

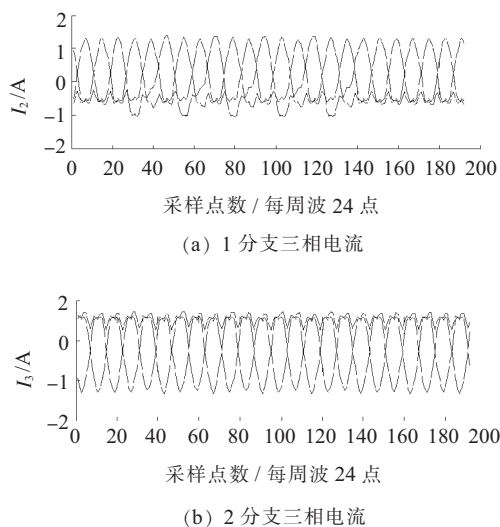


图 6 交流绕组匝间故障波形

2.2.3 差电压保护

控制绕组线圈中主要流过了控制系统输出的直流励磁电流,并且在控制绕组发生匝间故障的情况下,交流侧绕组的匝间差动保护的灵敏度很低,需要为控制绕组的匝间故障配置专用的保护。即使在磁饱和情况下,控制绕组两侧电压依然包含了交流绕组感应过来的工频交流电压,在稳定工作情况下,控制绕组的 2 个分支上的工频电压也是平衡的,且可以和交流绕组的匝间差动保护一样,设置控制绕组的差电压保护。在动模实验室物理模型上模拟磁可控电抗器控制绕组发生匝间故障后,2 个控制绕组分支上的电压波形如图 7 所示。故障分支电压由于匝间故障的存在而有一定的减小,非故障分支电压基本不发生变化。

控制绕组的 2 个线圈和交流侧绕组线圈相互耦合,正常运行情况下,交流侧 2 个支路电压平衡,控制绕组 2 个分支电压也是平衡的,如果控制绕组中发生接地、相间故障或匝间故障,控制绕组 2 个分支上的电压将出现差异,根据这个原理可以在控制绕组侧配置电压差动保护。保护动作方程:

$$\begin{cases} U_d > U_{cdqd} \\ U_d > K_b U_r \\ U_r = \max\{|U_2|, |U_3|\} \\ U_d = |\dot{U}_2 + \dot{U}_3| \end{cases} \quad (2)$$

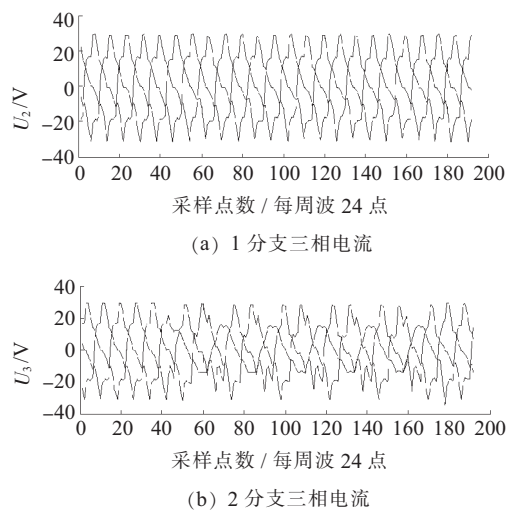


图 7 控制绕组匝间故障波形

式(2)中: U_2 和 U_3 为控制绕组 2 个分支电压; U_{cdqd} 为控制绕组平衡差动保护启动定值; K_b 为平衡差动保护制动系数。

2.2.4 后备保护

可控电抗器配置了过流保护作为内部相间故障及控制绕组侧旁路断路器位置异常的后备保护;配置零序过电流保护作为可控电抗器内部接地短路故障和匝间短路故障的后备保护;设置了过负荷报警功能来反映电抗器的过热状态。为了防止系统不对称运行或故障情况下在控制绕组侧产生较大的零序电压可能造成阀的损坏,增加了与阀并联的间隙,间隙保护监测间隙击穿后流过的交流电流,对阀形成保护。

2.2.5 动模试验与现场运行

在动模 380 V 物理模型上,2007 年 6 月进行了磁可控电抗器各种工况与故障情况下的动模试验,包括正常运行不同励磁情况下发生区内接地故障、交流绕组匝间故障、控制绕组匝间故障以及空投到接地故障、匝间故障,其保护均可可靠动作,保护最小可以检测 1% 的接地故障,1% 交流绕组匝间故障和 4% 控制绕组匝间故障,并在各种区外故障,例如线路跳开,重合等各种过程不误动作。2007 年 10 月在经过现场调试以及区外人工故障验证后,我国首套 500 kV 磁可控电抗器湖北在荆州换流站顺利投入运行。

3 结束语

本文分析了磁可控电抗器的基本工作原理,分析了其特殊结构对保护的影响,介绍了其保护原理及配置,提出了自动跟踪电流的差动保护、基于差动原理的匝间保护和控制绕组差电压保护原理。目前,应用上述保护原理的磁可控电抗器保护装置已在荆州换流站可靠运行超过 5 年。

(下转第 43 页)

采用可控负荷平滑光伏发电功率波动的需求响应策略

李卫良,黄堃,陈璐,杨永标

(国网电力科学研究院,江苏南京 210008)

摘要:针对以储能来消减屋顶光伏为主的区域微电网的功率波动这一常用方法,提出以需求响应资源来平滑微电网功率波动的实现,以期在高渗透率情况下,实现少用储能甚至不用储能来平滑微电网联络线节点对配网造成的功率波动。该方法包括日前计划和实时调节两个层次,也就是在日前预测间歇性光伏发电的情况,拟定好日前计划,设定好可调节负荷的功率曲线,以适应光伏发电的变化波动;实时调节就是在实时的情况,利用可中断负荷来响应光伏功率的瞬间突变,在实时调节过程中,主要处理好实时调节的测量时间精度。通过可调节负荷的日前计划安排和可中断负荷的实时调节,充分利用需求响应技术,从2个层面平滑光伏发电功率的缓慢变化和瞬间突变引起的功率波动。

关键词:联络线功率控制;微电网;需求响应;平滑波动;可控负荷

中图分类号:TM615

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0040-04

目前,在弥补间歇性能源发电缺点方面,主要通过电源侧和负荷侧角度来考虑。电源侧角度主要通过储能的存储和释放,在间歇性能源发电高峰时进行储存,低谷时进行释放^[1];通过其他能源补偿的方式,如常规发电资源(如水电、火电、核电、柴机等)和间歇性能源互补(如风光互补)等。负荷侧角度主要是利用各种不同特性负荷作为需求响应资源,动态实现“虚拟储能”或“虚拟电厂”^[2]。其中储能建设成本高、运行维护难;其他能源互补方式,受地域条件限制;需求响应方式是一种成本低廉而且可行的办法。以建筑暖通负荷、热水器、电冰箱等为代表的热力学可控负荷在城市建设中占有较大比重,且具有良好的“储能特性”,是有效的需求响应资源。从国内外需求响应研究情况来看,主要涉及:(1)从需求侧出发研究大规模风电消纳的问题,文献[3]考虑融入用电激励、可中断负荷、电价响应等用电调度方式,在传统发电调度模式中融入用电调度,提供了并网备用资源。(2)通过在用电设备上增加新型控制器,实时监控、响应,平衡供需,文献[4]提出了控制居民制热泵的开启来响应间歇性发电的波动,进行了仿真分析。

1 光伏发电

光伏阵列输出特性曲线具有强烈的非线性,随太阳光照强度和环境温度改变而变化,尤其在多云天气,发电功率会出现快速剧烈变化。某地光伏发电在某天输出有功功率曲线如图1所示。从07:00—12:00为光伏功率上升期,变化趋势较明显,而在12:00—15:00为相对稳定期(由于云朵移动,会有瞬间剧烈波动)。这些剧烈波动,一旦其渗透率达到一定范围,会对区域电网甚至整个电网造成频率和电压不稳定^[5]。

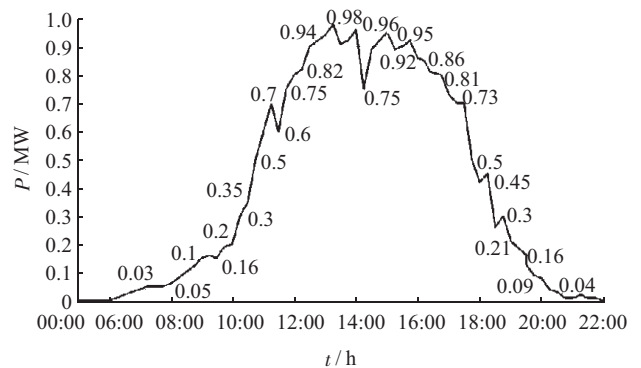


图1 光伏发电功率曲线

光伏发电波动特征比较复杂,波动的时间尺度可从ms级延伸到h级甚至更长,存在缓慢变化过程和瞬间特变现象^[6,7]。某20kW光伏逆变器的输出功率波动的频率特性曲线如图2所示。由该图可见光伏发电的功率波动主要集中在0.1Hz以下,且以0.01Hz以下的功率波动幅值最大。不同频率范围的波动,按变化的频率范围可分为3个部分:低频区(0.01Hz及以下)、高频区(1Hz及以上)和中频区(0.01~1Hz)。

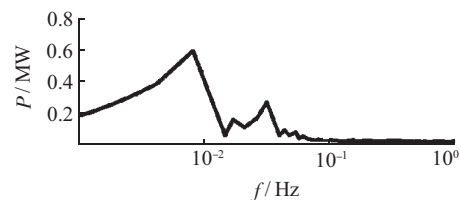


图2 光伏功率波动的频率特性

2 负荷资源的需求响应特性

2.1 城市负荷特性

由于抑制可再生能源的波动跟随主要表征系统的运行特征,适合采用激励型的需求响应(DR)技术。其中直接负荷控制(DLC)方法是一种重要的激励型DR技术,它是指在由执行机构借助高级通信、量测系统以及

智能控制终端,操作关闭或者开启被控用户用电设备,并给予用户一定的电价激励补偿。DLC算法一般适用于控制居民或小型的工商业用户负荷,如典型的具有热能储存能力的温控设备(家居电热泵、电空调和电热水器)等。

(1)城市居民。通过对城市居民负荷使用情况的调研,约77%的居民用户愿意参与需求响应,其中可转移的用电设备有洗衣机、空调、电饭煲、电热水器、电暖器等,如图3所示。

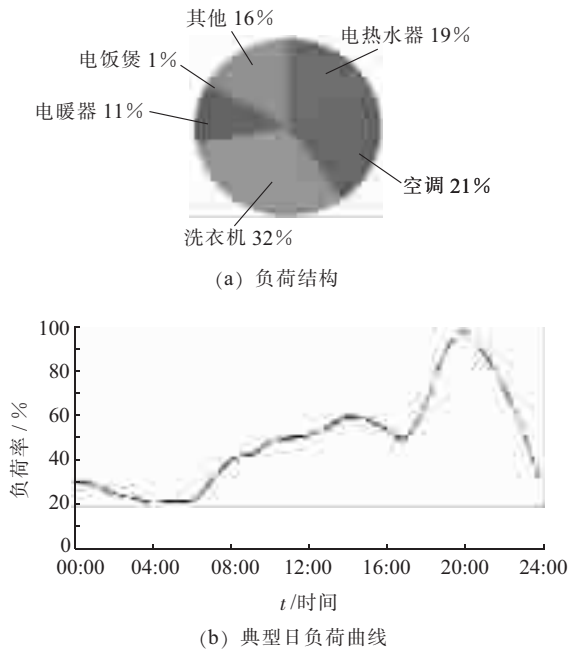


图3 居民住宅的负荷结构和日负荷曲线

(2)商业用户。一家中等城市商业用户的调研情况数据其主要用电设备:(1)集中式空调2台,每台额定功率1406 kW,提前24 h通知可削减;(2)荧光灯4000盏,总功率144 kW。商业大楼的负荷结构和日负荷曲线如图4所示。

该商业用户春、夏季日负荷特性如图5所示。图5中显示春、夏季典型日负荷曲线相似,8:00到20:00为用电高峰时段,夏季峰段负荷水平高于春季。8月18日最大负荷1120 kW出现在11:00,最小负荷192 kW出现在23:00,峰谷差为928 kW,峰谷差率82.8%;4月21日最大负荷690 kW出现在19:00,最小负荷280 kW出现在03:00,峰谷差为470 kW,峰谷差率59.4%。

2.2 城市负荷特性与光伏发电特性的一致性

从上述城市商业、居民负荷曲线来看,主要大容量负荷还是以空调系统为主,而且光伏发电特性曲线基本与城市商业用户的日负荷曲线相似,存在一致性。从调研来看,如果通过提前通告,商业用户是可以按照需求响应机制来调节控制中央空调的。城市居民负荷和商业照明作为一种可直接中断负荷,通过需求响应手段和响应补偿机制是可以实现负荷转移的。

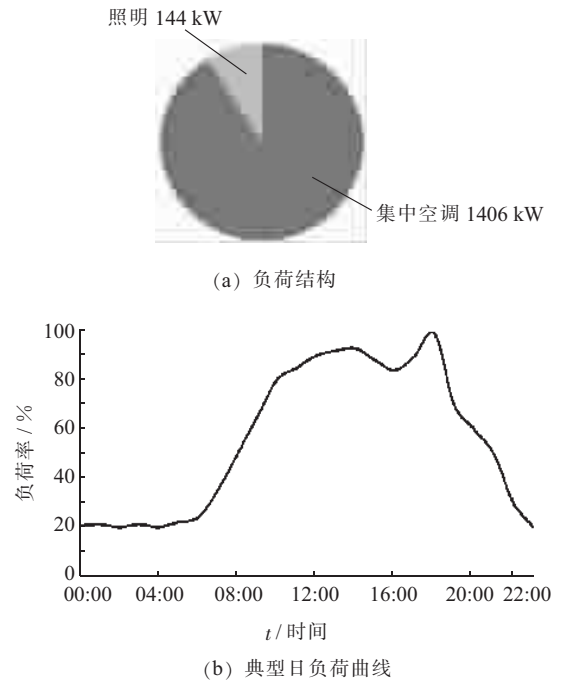


图4 商业大楼的负荷结构和日负荷曲线

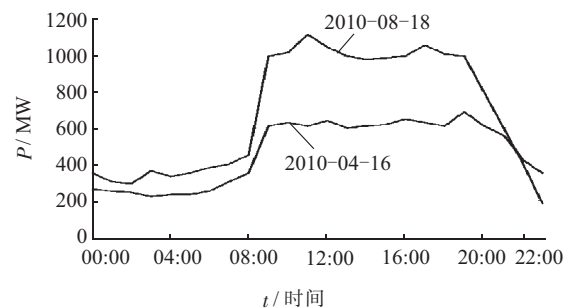


图5 春季和夏季日负荷曲线

3 利用可控负荷资源动态响应策略

根据以上所述,基于光伏发电特性与城市商业、居民负荷特性的相似性,提出一种利用可控负荷(包括可调节负荷和可中断负荷。可调节负荷是指那些可以通过技术手段来改变功率大小的负荷,但不包括直接切除的负荷;可中断负荷是指可以在需要的情况下直接切断供电的负荷)。解决光伏发电波动的方法策略,消减光伏引起的联络线功率波动,且可以利用城市商业中的大量中央空调和居民用户中的电热、照明等负荷,采用需求响应机制是可以实现光伏发电的优化利用的。整个实现过程满足功率差的约束条件:

$$P_{pv} - P_L \in \delta \quad (1)$$

式(1)中: P_{pv} 为光伏发电功率; P_L 为局部区域微电网负荷; δ 为当地配电网允许微电网功率波动置信区间。

响应控制流程图如图6所示。从图6中可以看出,利用可控负荷实现消减微电网功率波动的方法,包括2个层次,日前计划和实时调节。

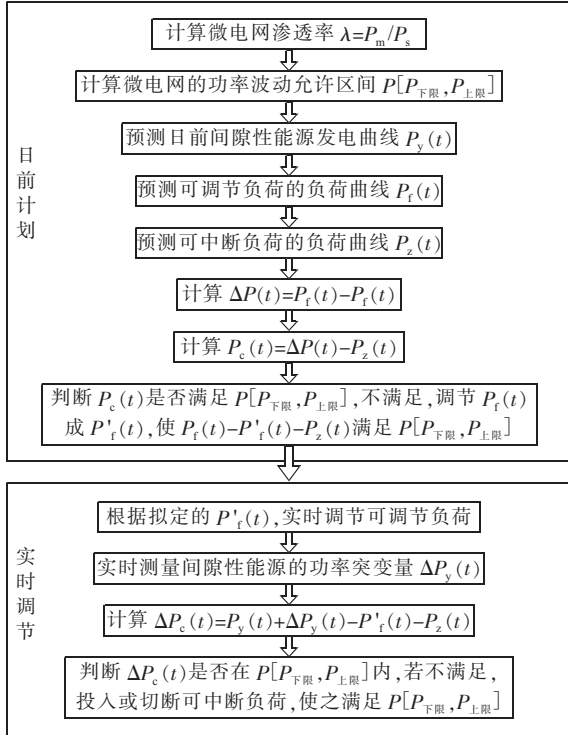


图6 响应控制流程

4 仿真分析

一包含大型光伏的商业楼宇、公共机构的微电网结构如图7所示。通过并网点接入城市配电网。结合上一节介绍的控制策略和控制流程，对图7所示的含光伏和集中空调的微电网进行控制策略的仿真。图7所示的光伏微电网的仿真分析图如图8、图9所示。主要依据大型商业楼宇和大型公共机构的屋顶光伏的计划发电曲线以及商业楼宇的公共机构的集中空调的历史负荷曲线，相减得到盈余/缺口额，如果此时时刻节点盈余/缺口额不在功率置信区间，调整集中空调的控制温度和策略，使优化过后的集中空调的计划负荷曲线，功率波动处于可控范围内。实施调节中，为了应对光伏的瞬间波动(大比例扰动)，引起此时的盈余/缺口额大于功率置信区间，就采用可中断的电热负荷和照明负荷，来动态跟随此刻的瞬间扰动。

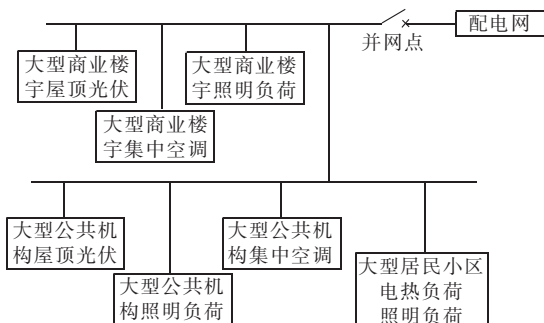


图7 微电网结构

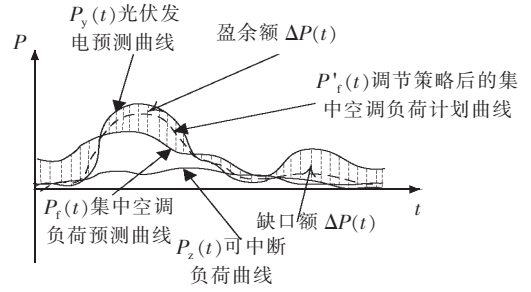


图8 日前计划

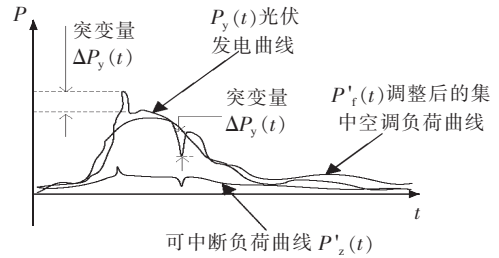


图9 实时调节

通过图8、图9所示的仿真结果显示，且通过集中空调的计划调节和可中断负荷的实时调节，是可以使光伏功率波动得到有效抑制的，这样的结果是基于负荷的需求响应来实现的，但本文没有对需求响应的价格、补偿机制做研究。

5 结束语

本文提出的方法和策略，主要针对高渗透率情况下的太阳能功率波动问题，在不采用储能或其他间歇性能源互补的情况，如何采用适合电力市场行为的价格或激励方式，提出负荷调节方式，依据太阳能发电预测功率和预测变化率，调节集中空调的负荷系数和电热、照明等可中断负荷的开停系数，动态响应太阳能发电曲线，使负荷曲线趋同于发电曲线，将微电网联络线功率波动控制在功率波动置信区间内。要实现这样的策略或方式，本文提出需要解决的几个关键问题，如突变率、功率波动置信区间以及需求响应模型等。本文没有对这几个技术问题展开，但最终目的仍是希望通过这样的研究，以期针对当前大量以屋顶光伏为主的区域微电网发展而造成配网功率波动，提出以需求响应资源来平滑微电网联络线功率波动的控制策略，实现少用储能甚至不用储能来消减高渗透率的分布式电源对配网造成的功率波动。

参考文献：

- [1] 李宁峰,于国才. 屋顶太阳能光伏发电系统的设计[J]. 江苏电机工程,2012,31(3):43-45.
- [2] 尹寿堃,翟毅,吴昊,等. 基于柔性直流输电技术的分布式发电在城市电网中的应用[J]. 江苏电机工程,2013,32(4):9-12.
- [3] 陈璐,杨永标,姚建国,等. 基于电力积分的需求响应激励机制设计[J]. 电力系统自动化,2013,37(18):82-87.
- [4] 王成山,刘梦璇,陆宁. 采用居民温控负荷控制的微网联络线

- 功率波动平滑方法[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(25): 36-43.
- [5] DATTA M, SENJYU T, YONA A, et al. A Coordinated Control method for Leveling PV Output Power Fluctuations of PV-Diesel Hybrid Systems Connected to Isolated Power Utility [J]. IEEE Trans. Energy Conversion, 2009, 24(1): 153-162.
- [6] 阎立伟. 微电网中光伏发电动态特性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010: 50-51.
- [7] 石磊, 伍阳, 刘皓明. 独立运行微电网平抑有功差额波动研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(3): 1-5.

作者简介:

李卫良(1968), 男, 浙江嵊州人, 研究员级高级工程师, 研究方向为电力系统自动化、配电网和微电网技术;

黄堃(1985), 男, 江苏南京人, 工程师, 研究方向为智能用电、需求响应;

陈璐(1987), 女, 江苏溧阳人, 工程师, 研究方向为智能用电、需求响应;

杨永标(1978), 男, 江苏盐城人, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化、智能用电、需求响应。

Demand Response Strategies for Smoothing Power Fluctuation of Interconnecting ties in the Micro-Grid with Controllable Load

LI Weiliang, HUANG Kun, CHEN Lu, YANG Yongbiao

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210008, China)

Abstract: Energy storage technology is the principal tool to smooth power fluctuation produced by roof PV in regional micro-grid. In this paper, demand-side resource is taken as a tool to smooth power fluctuation in microgrid, so as to decrease the energy-storage capacity in a high PV penetration rate situation. The method includes two levels which are day-ahead plan and real-time control. The day-ahead plan includes prediction of intermittently photovoltaic power generation and presetting power curve of controllable load such as central air conditioners and other loads with slow rate of power change. It is for handling the change of photovoltaic power generation. The real-time control is to use the interruptible load to response to instant fluctuation of photovoltaic power. The measuring precision is the critical factor in the real-time control process. Through the day-ahead plan for controllable load and the real-time control on interruptible load, the power fluctuation caused by slow change or instant change of photovoltaic power generation could be effectively eliminated with taking the full advantages of demand response technology.

Key words: tie-line power control; demand response; micro-grid; controllable load; smoothing fluctuations

(上接第 39 页)

参考文献:

- [1] 董宸, 周霞, 李威, 等. 提高特高压电网输电能力的方法[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5): 1-4.
- [2] 陈维贤, 陈禾. 并联电抗器的可控调节[J]. 高电压技术, 2000, 26(5): 11-13.
- [3] 田铭兴, 励庆孚. 磁饱和式和变压器式可控并联电抗器[J]. 高电压技术, 2003, 29(7): 26-27.
- [4] 田铭兴, 励庆孚. 磁饱和式可控电抗器的等效电路及仿真分析[J]. 电工技术学报, 2003, 18(6): 64-67.
- [5] 田铭兴, 励庆孚, 刘曙鸿. 磁饱和式可控电抗器的等效物理模型及其数学模型[J]. 电工技术学报, 2002, 17(4): 18-21.
- [6] 屠黎明, 苏毅. 微机可控高压并联电抗器保护的研制[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(24): 94-98.

作者简介:

熊蕙(1977), 女, 湖北武汉人, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

程骁(1978), 男, 河南安阳人, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

文继锋(1978), 男, 江西萍乡人, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

李力(1970), 男, 江苏南京人, 研究员级高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护;

陈松林(1969), 男, 福建福州人, 研究员级高级工程师, 研究方向为电力系统保护。

Magnetically Controlled Reactor Protection in HVAC Transmission System

XIONG Hui, CHENG Xiao, WEN Jifeng, LI Li, CHEN Songlin

(NARI Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper analyses various operation conditions of magnetically controlled reactor in HVAC transmission system, and introduces the protection configuration of reactor. Especially, reactor differential protection with automatic tracing and compensating rated current, reactor inter-turn fault protection based on time domain translation balance differential protection, and voltage differential protection of control winding are proposed. The results of digital simulation test, dynamic simulation test and field operation validate the proposed protections.

Key words: magnetically controlled reactor; differential protection; inter-turn fault protection; time domain translation balance differential protection; voltage differential protection

异构系统间数据远程调阅的方法与实现

史金伟¹, 杨启京¹, 肖艳炜², 吴静¹, 严亚琦², 吴昊¹

(1. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京 210061; 2. 浙江省电力公司, 浙江杭州 310007)

摘要:在智能电网大运行体制背景下, 上级调度需要获取大量下级调度乃至变电站的数据信息, 用于分析监视整个电网调度监控系统应用现状。由于异构系统间客观存在的数据壁垒, 当上下级调度采用异构系统时, 数据的共享实现非常困难。文中介绍了一整套关于异构系统间数据远程调阅的方法及实现方案, 解决了异构系统间数据调阅的难题, 减轻上级调度系统的压力, 有利于大运行模式地监视。

关键词:智能调度; 异构系统; 数据远程调阅; CIM/G

中图分类号: TM73

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0044-04

随着电力行业的发展, 智能电网成为电力行业的发展趋势。电网智能化要求将电力流, 信息流, 业务流进行高度的融合。为了提高电网的可靠性, 使得电网能够安全, 经济, 高效地运行, 在日常工作中遇到突发事件时, 上级电力调度对下级调度单位的系统运行状况需要获得直观、清晰、全面地了解。当前上下级调度监控系统往往采用不同厂家的系统或是同一厂家不同版本的系统, 系统间的架构, 平台等都不相同。在这种情况下, 很难满足上级调度对下级调度的监视需求。本文介绍了异构系统间数据远程调阅的方法与实现, 是在大运行体系技术支撑建设要求下, 以解决在大运行体制下上级浏览下级调度监控系统(地调^[1]或变电站)数据的一种新的数据接入方式。它提供了一套完整的上级调度对下级调度数据远程调阅的解决方法和实现方案, 对实现系统间特别是异构系统间数据调阅进行了有益的探索。

1 电力调度监控系统应用现状

目前, 各级调度系统特别是省地间的调度系统大多采用的是异构系统。它们异构性主要体现在以下几方面: (1) 平台的异构, 即数据所依赖的应用系统, 数据库管理系统或操作系统的不同。(2) 模式的异构, 如数据的存储结构, 组织结构不同。(3) 语义的异构, 如数据的描述, 表达方式或是内容上的不同。以上3个方面异构的特性造成了异构系统间数据调阅的难题。国内当前针对异构系统间数据交互, 主要采用了模型拼接, 数据接口, 远方终端等模式实现异构系统间的数据调阅。但对于模型拼接来说比较适合于上下级调度间的深度应用, 鉴于其对上下级调度系统模型维护要求高, 操作繁琐的特点, 并不适合于调度间数据实时监视, 浏览这类频繁, 偶发性的轻度应用。而接口方式则开发成本很高, 特别是针对不同的异构系统

都需要开发特殊的接口程序, 这显然是不能接受的。此外上级调度中心通过部署远方终端的方式来调阅下级调度系统数据的方式, 对于网络带宽有着较高要求, 一般来说需要 10 M 以上的带宽。部署远方终端方式相当于下级调度系统的监控终端延伸到了上级调度中心, 因此远方终端设备只能是下级调度监控系统中同系统的设备。而实际中各下级调度监控系统设备型号种类繁多, 因而增加了设备投资成本和自动化的维护成本。

在这种情况下提出一种安全, 经济, 高效解决异构系统间数据的远程调阅方法就显得尤为必要了。本文介绍的数据远程调阅的方法, 不需要增加硬件设备, 屏蔽了系统间的异构性, 上级调度中心可以在任何时间浏览当地下级站端系统中的实时画面, 对下级站端系统运行状况、潮流走向、设备位置、光字信号等进行直观了解。上级调度系统并不需要提前做好画面, 做到了随看随开的状态, 减轻上级调度系统的压力, 有利于大运行模式地监视。

2 异构系统间远程调阅实现思想

本文中数据远程调阅的调阅方上级调度中心与被调阅方下级调度中心分别被定义为客户端与服务端。作为服务端的下级调度系统提供数据转换, 数据刷新, 数据响应服务。上级调度中心作为客户端可对所需数据进行召唤, 调阅。远程调阅结构图如图 1 所示。

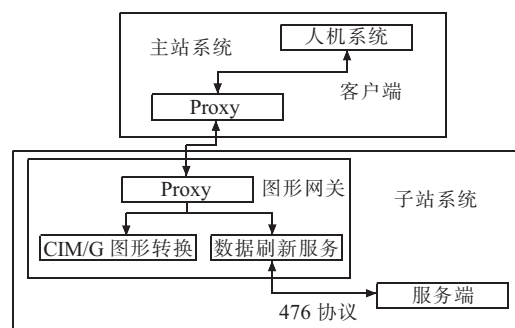


图 1 远程调阅结构图

上级调度中心远程调阅中所召唤的数据主要包含了2个方面内容,即图形文件和图形相关的实时数据。图形文件是远程调阅中数据信息的主要载体。通过接线图如厂站图,潮流图等可以直观,全面地反应出电网的完整运行情况。图形相关的实时数据则准确,实时地反应了设备的运行和量测情况。图形与所展示的数据是互为依存的关系。为屏蔽异构系统间的差异性,在开发设计服务端与客户端服务时,针对图形转换和数据交换分别采用电力系统图形描述规范 CIM/G 和电力系统实时数据通信应用层协议 DL 476-92 进行开发。

3 异构系统间远程调阅中标准的应用

3.1 图形数据的标准 CIM/G

图形数据的交互和标准化是异构系统间远程调阅技术的重要组成部分。当前,调度中心各系统中的图形(如厂站接线图)都是由各厂家自己定义的电力设备图元,相互之间不能进行互操作,因此如何实现图形的共享,已成为异构系统间远程调阅的一个重要问题。

CIM/G 是在 IEC 61970-453 基于 CIM 的图形交换基础上,针对 SVG 文本较大且网络传输较慢这个问题所发展起来的专门为电力系统服务的一种新型高效的图形描述语言。中国向 IEC 提交 CIM/G 智能调度技术支持系统国际标准提案已获准立项并将转化为 IEC 的国际标准^[2,3]。在国内 CIM/G 图形标准也已广泛应用于各大智能调度支持系统中。因此 CIM/G 作为图形数据交互标准具有广泛的适应性。

CIM/G 包括两大类,一类是系统公有信息,包括电压等级定义、图元、间隔、菜单等,类似于 C 语言的头文件,交换频率较低。另一类是某幅具体图形的描述,采用类似于 C 语言中函数调用的方式引用头文件。这样可以大大降低图形文件交换的数据量。因此以 CIM/G 作为数据交互标准具有高效性。

本文中介绍的异构系统间的远程调阅技术为了适应工程上的相关需求,对于 CIM/G 也做了适度的扩充定义和意义的延伸。

(1) 设备的电压等级着色定义。在交互的 CIM/G 图形文件中扩充了绘图元素的电压等级定义,对于图形文件中动态图元都有“volType”属性,该属性填写了设备的电压等级名称,只要改名称填写正确,调阅的系统即可根据该电压等级显示本系统的颜色。图形中的连接线根据所连设备的电压等级着色。

(2) 图形绘图风格的规范化。远程调阅中图形数据的绘制采用了 CIM/G 中对于基本图形要素绘制风格建议,内容包括填充风格和画笔风格等进行了详细的规范,避免了不同系统间因风格差异造成的显示效果差异。

3.2 数据通信的 DL 476-92 规约

DL 476-92 规约^[4]为电力系统行业标准,其中定义了电力系统实时数据通信应用层协议,描述了数据格式、控制序列及服务原语。该规约主要适用于电力系统控制中心之间的实时数据通信,属于网络通信规约。DL 476-92 规约除了可以传输“遥信、遥测、遥调和遥控”四遥数据外,还可以方便扩展使用 ASCII 码传输用户自定义命令字段,DL 476-92 规约因此具有良好的可扩展性。相对于其他规约而言,DL 476-92 规约结合网络技术,使得数据传输安全可靠,传输速率快,特别是 DL 476-92 规约自身的一些机制特点。如传输数据单帧信息量大、序列号确认等,使得目前国内采用 DL 476-92 规约通信的系统越来越普遍。基于上述优点此本方案中关于数据交换部分采用了 DL 476-92 规约进行开发。

4 远程调阅方案

4.1 远程调阅流程

主站系统中的人机(Man-Machine Interface),通过本地图形网关^[5]和站端系统(下级调度监控系统)图形网关,向站端系统发送请求 G 文件命令,在获取 G 文件后根据该图中使用的图元依次请求符合 G 规范的图元文件(简称 G 图元)后转换成主站系统中私有图形文件格式,最后主站系统中人机从 G 文件中生成数据请求,发送数据请求命令,站端系统响应请求命令并周期上送主站系统数据。站端系统根据数据刷新周期进行增量数据发送。远程调阅过程如图 2 所示。

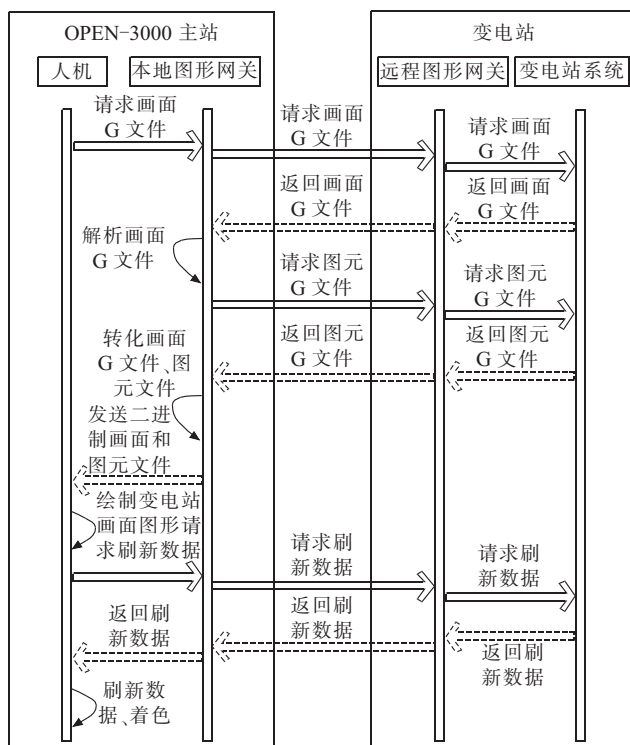


图 2 交互流程图

4.2 数据交互具体流程

主站系统通过扩展的 DL 476-92 协议与站端系统交互访问数据^[6]。为了设计和实现的统一性,通信交互的简便性,定义使用“请求图形文件”、“请求画面刷新数据”、“停止画面数据刷新”3 种不同命令字段区分,进行数据交互。命令字段如下:

请求图形文件 SOA://ftp (gfilename=G 文件名, update_mode=1, time=文件时间)

请求刷新数据 SOA://display (gfilename=G 文件名, period=1)

停止画面数据 SOA://stopdata (gfilename=G 文件名)

远程调阅仍然使用标准 DL 476-92 规约中块类型“变化测量量实型块(BID=8)”和“变化状态量块(BID=9)”传输图形画面遥测与遥信数据。

使用扩充的数据类型块(BID=39)传输上级请求命令字段内容和(BID=42)传输 G 文件属性数据内容,以提高远程调阅效率。

在电力系统实际生产运行中,数据质量的好坏,影响以此为依据的决策正确性和科学性,尤其在对突发事件应急处理过程中。远程调阅过程中由于上级调度所有信息来源只是通过 G 文件中对于下级调度系统中设备的描述,对于下级调度系统中的数据质量并不能有全面了解,由于标准 DL 476-92 规约对于数据质量不够丰富,所以为了能有全面的数据质量信息,远程调阅功能扩展了标准 DL 476-92 规约,新增了块类型^[7,8]“BID=103”描述遥测状态信息、“BID=104”描述遥信状态信息。状态信息数据格式(数据索引表号为所在画面的编号)如图 3 所示。

数据块类型 BID=103/104	第 1 个 8 位位组
数据索引表号	第 2 个 8 位位组
数据块长度(低)	第 3 个 8 位位组
数据块长度(高)	第 4 个 8 位位组
数据项	第 n 个 8 位位组

图 3 状态信息报文格式

状态信息包含“状态信息是否有效”、“闪烁位”、“带电位”、“采集异常位”、“更新位”、“告警抑制位”、“封锁位”。遥信状态信息除了上述信息,还可表示图形形状信息,而遥测状态信息也包含上述信息,还包含“遥测越限”信息。在远程调阅过程中,有了数据状态信息的辅助,上级调度系统的值班人员可获得全面、正确的信息,在日常生产运行中,应对突发事件时,依据远程调阅获取的数据作出正确的判断处理。远程调阅技术也因此智能电网调度中得到更好地应用。

数据传输时,为了避免数据包分片,考虑到以太网 MTU(最大传输单元)的影响,主站系统与站端系统间

数据传输时每帧数据包不超过 1024 字节。一般因 G 文件大小都远大于 1024 字节,数据需进行分包处理。

主站系统中本地通信代理通过收发本地系统人机的消息,发送给站端系统不同的命令字段。在与站端系统建立 TCP 链接后,首先发送“请求图形文件”命令,G 文件的时间属性作为是否上送新的 G 文件判据,若站端系统中 G 文件的时间属性与主站系统的 G 文件时间不一致,则主站系统接收站端系统发送的 G 文件,否则利用本地缓存的 G 文件,这在一定程度上节约的网络资源,使得数据刷新处理的时间得到了提高;对 G 文件中使用的图元文件同样处理。接收完 G 文件及 G 图元后,进行相应转化,待图形画面在图形浏览器中绘制成功后,发送站端系统请求刷新数据命令字段,图形浏览器根据 G 文件中的 G 图元的 id 刷新画面数据。站端系统在上送一次 G 文件中的所有数据后,周期发送变化数据,数据包含“变化遥测”、“变化遥信”、“变化遥测状态”、“变化遥信状态”4 种类型。直到收到人机发送的“画面停止数据”命令字段或在 G 图形刷新数据周期时间内未收到人机发送的心跳数据,则主站系统中人机将停止画面刷新数据,中断与站端系统的 TCP 连接。数据流程图如图 4 所示。

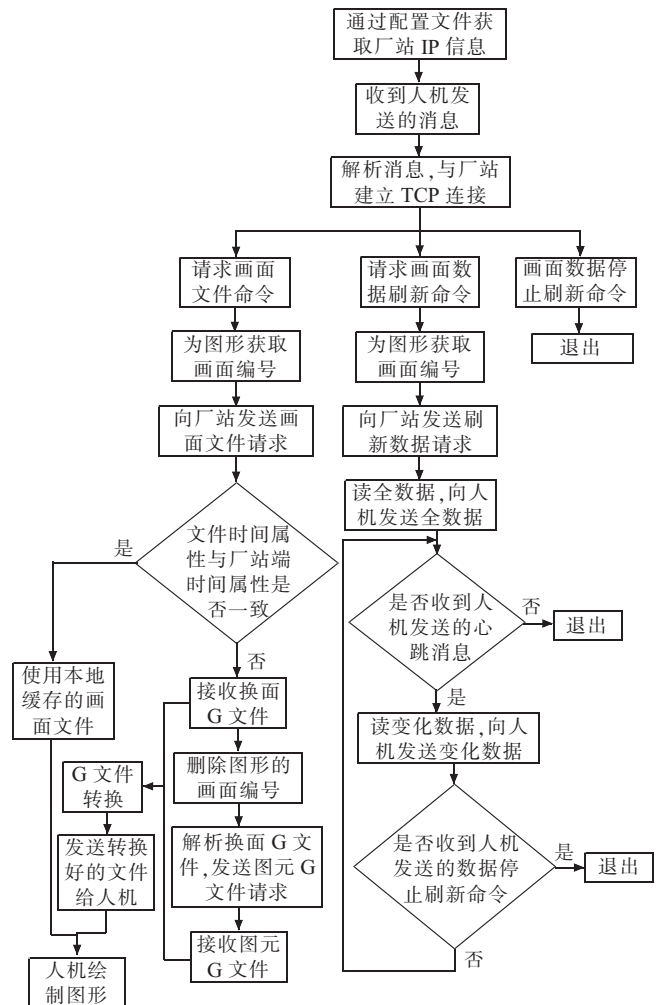


图 4 数据流程图

4.3 数据处理机制

传统的 EMS 系统中画面数据刷新显示是按厂站进行分类,即设备按厂站区分建模,每个厂站的设备具有惟一性,不论在某个厂站所属的任一幅图形中。而本文介绍的远程调阅方法图形数据刷新以单个图形浏览窗口为单位,以单个图形中单个 G 图元作为数据传输最小单位,如此每幅图形数据的刷新相当于传统 EMS 系统中的 1 个厂站通信时建立使用的通信通道(TCP 方式或者专线通道方式)。由于异构系统间进行数据远程调阅不依赖双方建立的已知模型,为了使得上级调度系统区分与不同下级调度系统进行通信,通信时对“请求图形文件”、“请求画面刷新数据”、“停止画面数据刷新”3 种不同命令字段中 G 文件名进行了特殊的定义。G 文件名称中使用特殊符号作为分隔符,区分不同的下级调度系统。如图形名称:“ACB_一次接线图.fac.pic.g”,是以“_”作为分隔符,分隔符的使用需要上下级调度系统间统一。

由于实际使用中,同一浏览器窗口需打开多幅图形,一般每打开一幅图形就会有 1 个 TCP 连接。为了在同一连接中支持多画面的数据传输,主站系统在发送命令时对请求画面进行编号,对不同画面进行编号,画面编号和画面名相关联。编号从 1 开始,在同一连接中打开的画面编号不能重复。同一连接中编号可以复用,即编号为 n 的画面关闭后,再有新画面打开时可以复用 n 作为新画面的编号。

4.4 图形图元的自动更新机制

在实际使用中,存在图形或图元改变,那么为了避免在异构系统间远程调阅数据时,频繁地传输文件或图元,利用自定义扩展的命令字段中的“文件时间”描述 G 文件是否为最新,方便上级调度监控系统根据下级系统上送 G 文件的时间属性,决策是否召唤 G 文件。在一定程度上节约了网络资源,提高了远程调阅的效率,优化了调阅方案。

目前,通过本文介绍的异构系统间数据远程调阅方法的系统已在湖北省调,四川成都、眉山,浙江宁波、嘉兴等地区调度监控系统中得到应用,运行效果良好。

5 结束语

本文阐述的异构系统间的远程调阅技术适用范围很广,它不仅适用于异构系统,对于同构系统同样可以采用本方案。本方案经过大量系统的工程实践,在智能电网调度监控系统中得到很好地应用,实现了省地调远程调阅变电站以及省调远程调阅地调的功能,并收到了良好的效果。远程调阅技术为电网调度监控系统提供了一种新的数据接入方式,具有普遍的适用性。

参考文献:

- [1] 陈艳. 地县一体化系统厂站监控信息的无缝接入[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(3): 65-66.
- [2] 曹阳, 杨胜春, 姚建国, 等. 智能电网核心标准 IEC 61970 最新进展[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 1-4.
- [3] 吴维宁, 辛耀中, 姚建国, 等. IEC TC57 2011 年会和 SAC/TC82 工作近况[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(1): 1-5.
- [4] DL 476-92. 电力系统实时数据通信应用层协议[S]. 1992.
- [5] 笃竣, 祁忠. 基于 IEC 61850 的变电站新型远动网关机[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(2): 112-115.
- [6] 谭文恕. 远动的无缝通信系统体系结构[J]. 电网技术, 2001, 25(8): 7-10.
- [7] 潘海萍, 谢狄辉, 储乾旭. 基于 IEC 61850 变电站辅助设备信息综合监管系统[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(1): 65-67.
- [8] 王巍, 金耘岭, 李忠. PQDIF 和 IEC 61850 标准在电能质量数据传输中的应用[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(3): 81-84.

作者简介:

- 史金伟(1982),男,江苏南京人,工程师,研究方向为电力系统调度及其自动化研究;
- 杨启京(1982),男,江苏南京人,工程师,研究方向为电力系统调度及其自动化研究;
- 肖艳炜(1982),男,浙江衢州人,工程师,研究方向为调度自动化及设备监控管理;
- 吴静(1983),女,河北衡水人,工程师,研究方向为电力系统调度及其自动化研究;
- 严亚琦(1990),男,浙江杭州人,助理工程师,研究方向为电力系统调度及自动化监控;
- 吴昊(1982),男,江苏南京人,工程师,研究方向为电力系统调度及其自动化研究。

Method and Implementation of Data Remote Access Between Heterogeneous Systems

SHI Jinwei¹, YANG Qijing¹, XIAO Yanwei², WU Jing¹, YAN Yaqi², WU Hao¹

(1. NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 210061, China;

2. Zhejiang Power Company, Hangzhou 310007, China)

Abstract: In the environment of smart grid, for analyzing entire power systems' state, and the scheduling of a superior level needs a lot of data and information from the lower level, as well substations. Due to the existing data barriers between heterogeneous systems adopted by superior and lower levels, data sharing between them is very difficult. This paper proposes a method for remote data access in heterogeneous systems, as well as its implementation scheme. The proposed method solves the problem of data access between heterogeneous systems, reduces the pressure of superior dispatching, and benefits the system's monitor.

Key words: intelligent dispatch; heterogeneous system; remote viewing; CIM/G

基于WEB的省级能效管理平台的设计与应用

孙虹,李昆明,王林,孙彬,周春蕾
(江苏方天电力技术有限公司,江苏南京 211102)

摘要:为规范节能产业的基础技术和基础数据,建立统一的能效数据中心,设计了省级能效管理平台,实现了能效项目筛选、方案设计、合同签订、监测展示、统计分析、考核评价等功能。平台基于WebLogic应用服务器、DB2数据库管理器,利用Flex, AMF等技术进行开发,并在江苏省13个地市进行了推广应用。应用结果表明,平台有效地促进了能效项目管理工作的规范化、专业化、常态化。

关键词:能效;能效管理平台;WebLogic; DB2; Flex; AMF

中图分类号: TP311

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0048-04

为提高电力工业能源使用效率,减少环境污染,促进能源和电力结构调整,确保电力系统安全、可靠、高效运行,实现电力工业的可持续发展,2010年国家有关部门先后下发了一系列节能减排等政策文件^[1-3],以期能加速节能服务产业的发展。为响应国家节能减排政策,推行合同能源管理、发展节能服务产业,规范节能产业的基础技术和基础数据,建立统一的能效数据中心,江苏率先设计开发了省级能效管理平台。本平台的建立一方面为江苏对全省52个电力能效小组能效工作的管理及考核提供业务平台,为江苏电力节能服务公司以合同能源管理方式对用能企业开展节能服务提供全流程管理;另一方面为获取全面的节能服务行业数据,为节能行业发展提供数据支撑和技术保障,对节能项目进行监测和节能服务机构进行评估,为国家和各级政府机构节能政策提供支撑,促进和推动节能行业向有序化、规范化、标准化方向发展。

1 系统开发环境

系统开发环境采用Windows, J2EE, WebLogic, DB2集成配置方案,结合MVC模式的Struts2框架,开展系统平台研发工作,有效提高了软件研发效率。WebLogic是Bea公司提供的一款基于J2EE规范的应用服务器,用于开发、集成、部署和管理大型分布式Web应用、网络应用和数据库应用。其优异的容错性、高度的灵活性、安全性以及强大集群功能为企业应用提供了优秀的解决方案。DB2是IBM公司研发的、目前支持平台最广泛的商用关系型数据库,具有优秀的查询优化和网络支持能力,对大数据处理更表现出优良的性能。MVC模式将一个应用分成3个部分,即模型(Model)、视图(View)和控制器(Controller),这3个部分以最少的耦合协同工作,从而提高应用的扩展性及可维护性^[4]。

2 系统结构和功能设计

2.1 技术架构

系统总体上采用轻量级多层结构设计,采用Struts2, Spring和Ibatis技术整合研发。系统技术架构如图1所示。

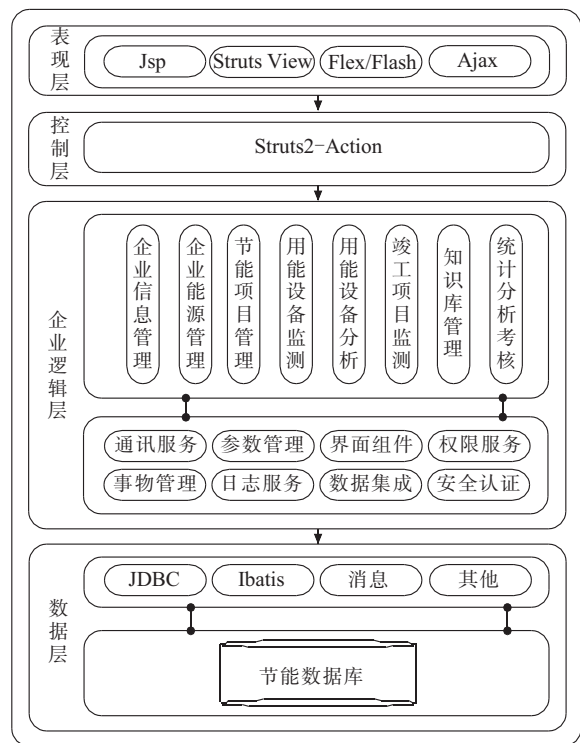


图1 系统技术架构

(1) 表现层。用户通过表现层与系统进行交互。表现层通过JSP + Struts2 + EXTJS实现,主要由各种页面构成,例如登录、管理、监控、查询、报表等页面。表现层通过JSON方式与控制层进行数据交互。

(2) 控制层。Struts2-Action承担了控制层任务,主要负责将表现层请求分派到业务层处理,以及将业务层数据格式化,转换为表现层可接受的JSON格式展现数据。以系统登录为例,当登录请求发生时,Struts 2会根

据 struts.xml 里的 Action 映射集 (Mapping) 实例化登录 Action 类,并调用其 execute()方法,并向表现层返回登录成功或失败等信息。

(3) 业务层。Spring 是一款强大的轻量级框架,采用 IoC 容器方式提供了业务对象管理的一致方法,允许业务组件以一定耦合度组装起来,对使用它的应用提供一种面向服务的编程模式的实现。同样以系统登录为例,控制层执行 execute 方法时,execute 方法执行逻辑层业务处理,实现用户登录认证、权限加载等逻辑控制。

(4) 数据层。数据层实现数据库数据的存取操作。系统采用 Ibatis 和 JDBC 相结合方式,提供对数据的持久化支持。Ibatis 作为一款半自动 O-R Mapping 框架,隔离了对不同数据库的实现,能够很好的实现对业务功能的良好支持。

2.2 业务功能

平台由运营总览、指标考核、项目管理、小组活动、竣工项目监测、辅助分析工具、知识库管理、统计分析考核共 8 个模块来组成。平台功能的总体结构如图 2 所示。

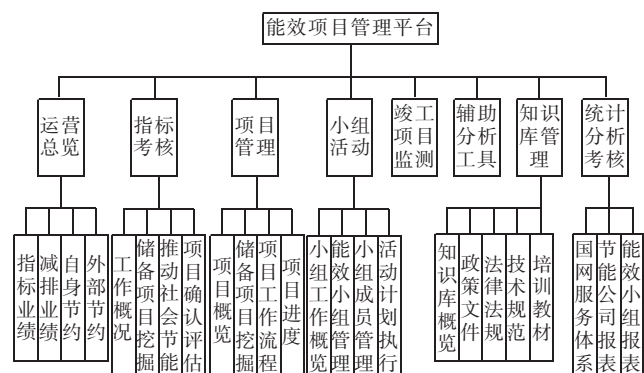


图 2 系统功能结构

(1) 运营总览。以柱状图、折线图等直观的数据表达工具,全景式地集中展现全省在不同地区、不同行业、不同月份的节约电力电量实际情况、指标情况、完成占比及能源转换等数据;提供对节能服务项目完成情况和潜在项目分析;提供能效小组组织架构和各小组机构节能量统计分析。

(2) 指标考核。各能效小组根据指标要求走访记录企业用电结构来进行初步能效分析,推动社会企业实施节能改造,并且通过图形、表格等形式展示取得的业绩。

(3) 项目管理。节能服务公司用户对审核后储备项目及节能服务公司自己录入的储备项目进行甄选、诊断、立项、定案、实施、总结及归档操作并对项目进度进行把控。

(4) 小组活动。能效服务网络活动信息发布。通过

发布能效服务网络的活动信息,为节能服务公司的市场开拓提供支撑。

(5) 竣工项目监测。展示节能项目设备改造前后电量、负荷对比,以图表方式展示。该图表分为两部分:左侧展示电量对比,包括改造前电量、改造后电量、改造前后电量差值,数据为总计值;右侧展示负荷对比,包括改造前负荷、改造后负荷,显示 15 min 曲线数据。

(6) 辅助分析工具。提供快速查找目前正在推广的主要节电技术,并介绍各个节电技术原理、主要性能特点及适用范围。

(7) 知识库管理。搜集国内能效相关政策文件,建立节能政策文件库;搜集国内能效相关法律法规,建立节能法律法规库;汇集、跟踪国内外先进节能技术信息,通过平台的先进节能技术产品库、通用节能技术库、行业节能分析库、典型节能项目案例库、节能标准数据库、培训教程库,从节能知识的各个方面为节能服务公司及企业等进行节能服务。

(8) 统计分析考核。根据节能服务体系建设要求,建立节约电力电量汇总、公司自身及推动社会项目信息、节能服务公司项目合同信息、节能服务公司项目投运信息、节能服务公司经营情况、能效网络小组成员信息等统计报表通过对各能效小组上报的储备项目信息提供展示能效小组重点储备项目信息、展示各能效小组录入的已签署合同的项目信息、展示全省地市项目数量、展示节能服务公司对能效小组上报的项目的跟踪响应信息、展示节能公司对全省地市上报项目状态的项目数量信息进行统计报表。

2.3 数据存储

系统数据存储在为 DB_NXGL 的数据库中,主要的业务数据表包括:企业信息、能效小组信息、企业用能设备信息、能效项目信息等档案数据表;节能政策文件、节能技术、节能标准等知识库;企业节约电力电量指标数据等统计分析数据表。

系统采用视图技术、存储过程技术,实现数据组合检索和业务逻辑处理封装。数据库设计时,总体上遵循 3NF 标准化和规范化设计方式,在数据冗余、数据库性能、扩展性和完整性方面寻求平衡;对于项目管理流程等模块,采用数据驱动而非硬编码方式,增强系统的灵活性和扩展性^[5]。

3 系统开发与实现

系统采用基于 B/S 模式的 Web 异步架构,页面数据的动态刷新利用传统的 Ajax 技术完成数据请求,这种技术的最大优点就是能在不更新整个页面的前提下维护数据,这使得客户端浏览器能更为迅捷地回应用户动作^[6]。页面数据的图形化展示则采用目前流行的

Flex 技术实现, Flex 组件采用 AMF 协议与 J2EE 服务器进行信息交互;对于大容量视频文件,则采用 HTTP 协议上传至服务器,以文件形式进行存储和查询。

3.1 Flex 与 Java 通信

传统上采用的 XML-over-HTTP 技术在 Flex 客户端和服务端之间传输数据虽然简单,但需要大量数据抽象层编码与维护工作,数据序列化和反序列化过程也会占用大量资源,导致应用性能和开发效率下降。因此,系统选用 Remote Object 方式,使用 AMF (Action Message Format) 二进制格式协议进行通讯,相比较传统的 XML-over-HTTP 方式,这种方式是最高效的通信方式。通过使用 Remote Object, Flex 可以直接访问后台对象,而不用将对象数据转换成 XML 格式,从而节省了大量的文件转换时间。此外,使用 Remote Object 能较大程度提高数据在网络上的传输速度,数据本身被序列化为二进制的格式,从而减小了网络上传数据的大小,进而减少客户端内存消耗,并缩短处理时间^[7]。

3.2 Flex 图表组件

为更好地进行数据展示,系统引入了具有丰富表现力的 Flex 图表组件,如线型图、条状图、饼状图、仪表图等。此外,作为 Flex 系统的客户端运行环境,Flash Player 可以利用客户端计算资源进行运算来完成各种显示效果的渲染,使数据的交互更为直观^[8]。图表中的颜色、图标、符号、图例、标题、提示等也都可以进行个性化定制^[9]。

基于 Flex 提供的图表控件,系统还设计实现了一些混合型图表和自定义图表,如线型图条形图混合图、气泡图、扇形图等。以扇形图组件为例,该组件以 Flex 的条状图控件为基础,通过新增扇形绘制方法 redrawSectorChart 和扇形中数据序列绘制方法 drawSector,实现了从条状图(如图 3 所示)到扇形图(如图 4 所示)的扩展。

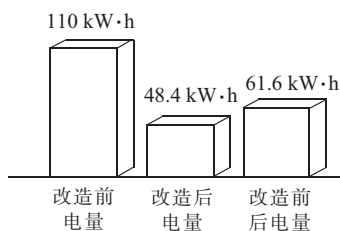


图 3 条状图控件示意图

图 3 展示了“竣工项目监测”功能通过条状图控件实现设备改造前后电量使用情况和削减情况的对比。图 4 是“运营总览”功能界面中采用自定义的扇形图表组件,通过左右两侧的半圆形分别表达了全省不同节电方式下年度节约电量、节约电力占各自总量的百分比,节约电量、节约电力总量显示在每个扇形的上方。

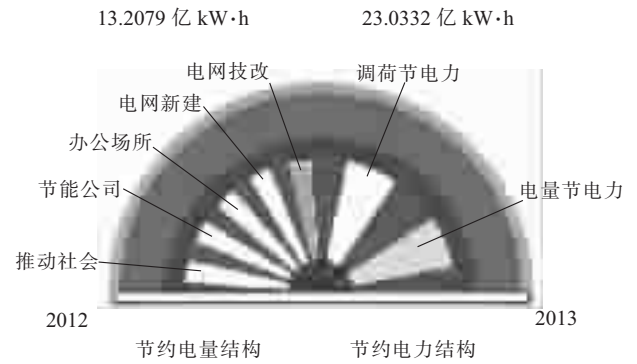


图 4 扇形图控件示意图

3.3 视频文件上传

系统在小组活动等功能中需要将小组活动的视频文件及其他资料上传到服务器。在 Struts2 中通过将 form 标签的属性“enctype”设置成“multipart/form-data”,并定义类型为“file”的 input 标签实现文件上传功能。

form 标签将文件上传请求提交到服务端后,由控制层的 Struts-Action 调用视频文件上传方法将文件转换为二进制字节流格式保存到服务器。视频文件上传过程的处理流程如图 5 所示。

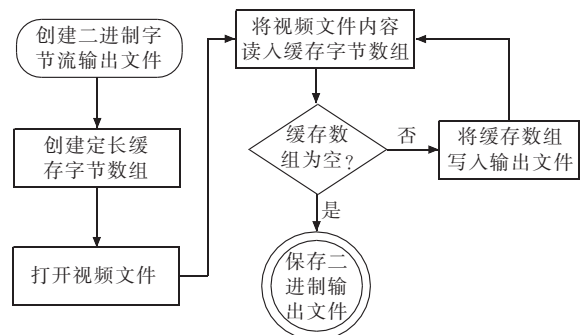


图 5 视频文件上传处理流程

3.4 安全控制机制

用户登录密码采用 MD5 加密技术以密文的形式存储,不保存明文,有效地避免了密码泄露问题;在登录时采用验证码机制,防止程序自动登录造成的性能安全问题,并使用 Session 会话实现用户身份验证保存。通过 Servlet 的过滤器机制,防止用户直接输入 Url 访问非授权功能和数据,即使未注册用户企图绕过登录页面直接进入系统其他页面,本系统也能判断此用户没有合法会话进程而跳转至登录页。采用 Spring 的拦截器技术进行权限控制,保证业务数据的安全。

4 系统应用实例

基于本文提出的设计方案和实现技术,选用 IBM3850M3 服务器,以 WebLogic 9.2 为 Web 服务器、IBM DB2 9.0 为数据库管理器、JDK1.5 为开发环境,完成了软件系统的开发、测试和部署工作。系统于 2012

年初投入运行,并在江苏全省13个地市进行了推广使用,迄今已实现对全省52个能效小组的能效工作考核。系统基于Remote Object方式建立Flex与J2EE服务器之间的通信,页面中各图表组件可以独立、并行地发出数据请求、接收返回信息、更新显示数据,而无需重新加载整个页面和Flex。这种页面异步请求和局部更新的方式,有效降低了网络数据流量和网站访问速度,极大地改善了用户体验。

5 结束语

采用WebLogic和DB2开发的、基于Web的省级能效管理平台,具有技术新、安全性好、运行稳定等特点。本文对该平台在具有特殊保密要求的环境下运行容易出现的问题进行了梳理,并分别给出了解决方案。平台具有良好的扩展性,在开发过程中预留了扩展系统功能的程序接口,便于系统升级。平台对数据分析、提炼,并通过充分共享其他相关系统的信息,实现智能化查询、统计、分析和预测,使管理层能够及时全面地了解接入系统内各用能用户情况,为能效工作人员挖掘节能潜力用户提供数据支撑。

参考文献:

- [1] 国务院办公厅. 关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展的意见[Z]. 2010.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 关于进一步加强中小企业节能减排工作的指导意见[Z]. 2010.

- [3] 中华人民共和国国务院. 关于进一步加大工作力度确保实现“十一五”节能减排目标的通知[Z]. 2010.
- [4] 李刚. Struts2权威指南——基于WebWork核心的MVC开发[M]. 北京:电子工业出版社,2009:2-6.
- [5] DB2 Information Center Online. DB2 Database Product Documentation [EB/OL]. <http://www-1.ibm.com/support/docview.wss?rs=71&uid=swg27009474>.
- [6] 薛蕾. 能量管理系统服务子系统WebS的设计[J]. 江苏电机工程,2011,30(4):48-51.
- [7] 胡毓励. 基于Flex的企业协作平台及其用户使用挖掘的设计与实现[D]. 杭州:浙江大学计算机科学与技术学院,2010.
- [8] 汪林林,胡德华,王佐成,等. 基于Flex的RIA WebGIS研究与实现[J]. 计算机应用,2008,28(12):3257-3260.
- [9] Adobe Help Resource Center. Flex 3 Developer's Guide [EB/OL]. http://livedocs.adobe.com/flex/3/html/help.html?content=Part2_DevelopApps_1.html.

作者简介:

- 孙虹(1971),男,江苏泰兴人,高级工程师,研究方向为发电侧节能减排技术;
- 李昆明(1985),男,黑龙江安达人,助理工程师,研究方向为发电侧节能减排软件开发;
- 王林(1982),男,江苏盐城人,助理工程师,研究方向为发电侧节能减排技术;
- 孙彬(1981),男,山东济南人,助理工程师,研究方向为电侧节能减排软件开发;
- 周春蕾(1973),女,江苏无锡人,工程师,研究方向为发电侧节能减排软件开发。

Design and Application of Provincial Energy Efficiency Management Platform Based on WEB

SUN Hong, LI Kunming, WANG Lin, SUN Bin, ZHOU Chunlei

(Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: In order to standardize the basic technology and data of energy-saving industry and to establish a unified energy efficiency data center, a provincial energy efficiency management platform is designed. It achieves the functions of filtering energy efficiency project, project design, contract signing, monitoring and display, statistical analysis, assess and evaluation, and so on. Based on WebLogic application server and DB2 database management studio, a platform is developed with the technologies of flex and AMF, and is applied in all thirteen cities of Jiangsu Province. The application shows that the platform effectively promotes the standardization, specialization and normalization of the energy efficiency management.

Key words: energy efficiency; management platform; WebLogic; DB2; Flex; AMF

江苏2014年前两月工业用电增长7.7%

江苏省2014年前两个月用电量等“先行指标”3月10日出炉:1—2月全省工业用电量同比增长。同期,规模以上工业增加值同比增长11%左右。

数据显示,今年前两个月,江苏省用电总量及增速均保持略快的优势,其中工业用电增速快于广东0.6、山东8.6个百分点。从工业看,制造业20个行业中18个用电增速上升,交通运输电气电子设备制造、通用设备制造成为对用电量贡献度最大的子行业。在第三产业中,交通运输仓储和邮政业、计算机服务和软件业、金融商务服务业用电同比分别增长8.4%、10.6%、9.4%。今年以来,该省新增用电报装容量8390 MW,同比增长19%,其中工业领域报装容量占1/3,表明经济发展后劲较强。

智能变电站网络交换机在线监测设计与实现

徐勇¹, 陆玉军², 张雷¹

(1. 宿迁供电公司, 江苏 宿迁 223800; 2. 江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要:文中根据当前智能变电站中交换机使用和管理现状,分析了变电站交换机实现在线监测的对象和采集数据及数据处理方法,提出了兼容不同厂家、不同类型交换机私有变量、端口数量跨网络的多设备防阻塞并行采集设计方案,并以此开发了交换机在线监测网络管理程序,实现了变电站交换机的在线监测应用。

关键词:交换机在线监测;防阻塞并行采集;网络管理

中图分类号: TM73

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0052-04

通信技术是变电站自动化系统信息传输的基础,所采用的技术必须满足变电站内通讯网络传输时间的要求。在以 IEC 61850 标准为基础实现的智能变电站中,过程层通讯网络传输采样值 SV 报文和通用变电站事件 GOOSE 报文信息关系到二次设备的正确采集、处理及控制输出,影响到一次设备的正确动作和安全运行,信息传输的可靠性、实时性和安全性要求非常高^[1]。

根据前述要求,在网络交换机应用方面,往往优先采用性能优越、高可靠性的品牌工业交换机,因是网络核心设备,其可靠性将影响到与网络交换机连接的多个保护设备正常运行,部分现场甚至不惜重金大量采用。在当前应用中,由于缺少交换机及网络性能的在线监测手段,无法及时获知交换机内部状态、接口通讯、网络流量等实时信息,难以发现交换机和网络的异常征兆、无法预估交换机何时会出现故障而影响系统运行安全。虽由交换机或网络故障引起的保护误动或拒动的情况不多,但从获知的智能变电站内交换机和网络异常事件看,开展交换机性能及网络实时监测将有助于帮助发现运行中的潜在缺陷,并及时采取正确地处理措施。针对异常进行改进,达到优化设计、改善性能、减少冗余、简化配置的目标。

1 变电站交换机使用与管理现状

1.1 交换机的设备配置

为保证过程层信息传输的实时性、可靠性、安全性,在智能变电站内一般是将站控层和过程层分网传输。并且在过程层网络设备的选用上,只考虑工业级、高性能的可网管交换机,而普通的交换机因为不能实现网管的配置应用,即使在智能变电站的站控层中也很少有应用。目前应用较多的交换机品牌有 HIRSC-HMANN(赫斯曼)、RuggedCom(罗杰康)、MOXA(摩莎)等。

变电站网络在设计中一般采用双网、或双网双套、或冗余交换机配置,当一个网络出现故障时,依靠另一网络的投入保证网络的可靠运行。

1.2 交换机的管理方式

(1) 串口管理:通过串口线,主机与交换机提供的菜单控制台界面或命令行界面进行交互操作。

(2) Web 管理:在主机浏览器中输入交换机管理 IP 访问,但部分网管交换机不支持 Web 管理。

(3) 网管软件管理:通过局域网,利用主机上安装的网管软件访问交换机。网管软件有通用型和厂家为自身产品定制的专用型网管软件,如赫斯曼公司的 Hivision、思科公司的 Cisco works、华为 3Com 的 IMC 等软件均为专用型。

1.3 交换机的管理现状

一般按网络规模、设备配置和数据传输要求,采用报文过滤、环网冗余技术配置交换机;运行中根据网络或交换机设备是否有异常,检查设备状态或调取故障信息分析;缺陷处理或网络设备校验时,使用工具软件查看内部状态信息或针对故障查找设备内部缺陷^[2]。

2 变电站交换机网络管理分析

目前的网络管理方法是一种被动的管理策略,往往等缺陷暴露后才能发现问题,易对系统运行造成不利的影 响。本文提出采用一种主动的管理方法即实现对交换机运行状态、网络通讯流量等信息的采集,建立对交换机的在线监测,通过对数据的分析处理,判定是否存在网络异常或故障、分析定位故障发生的设备节点或导致缺陷的缘由,及时提醒监控运行维护人员采取主动处理措施的管理方式,防范因设备瘫痪或网络缺陷而引起的事故。

2.1 监测对象

根据 ISO/IEC 7498-4 中的定义,网络管理的功能主要分故障管理、计费管理、配置管理、性能管理、安全管理 5 个方面。而变电站交换机网络管理从网络性能监

测、交换机状态监测角度采集信息,通过分析处理,实时获取交换机和网络性能的状态,侧重性能管理、故障管理。例如通过对通讯数据处理可获得:带宽占用率高、流量突变、通讯异常等信息。

(1) 网络性能监测的信息:交换机端口通讯连接状态、输入输出流量、带宽占用率、输入丢包率、输入错误率,输出丢包率、输出错误率。

(2) 交换机性能监测信息:CPU 负荷率、内存利用率、内部模块自检状态、电源工作状态、工作温度、交换机风扇状态,交换机重启(故障或失电引起)及其他自定义异常事件。

2.2 采集信息

上述需要监测的信息位于交换机信息库 MIB 中,通过仔细分析 MIB 的数据存储结构,发现变电站交换机性能监测的信息主要分布在:端口通讯变量、系统信息变量、内部状态变量、及故障异常变量等部分^[3]。

(1) 端口通讯信息。位于交换机 MIB 库的 Interfaces 子节点下 ifTable 的表对象中,对象标识 OID 为 1.3.6.1.2.1.2,这部分包含:端口一般信息,如标记 ifIndex、描述 ifDescr、类型 ifType、速率 ifSpeed;端口状态信息,如端口管理状态 up 或 down,端口工作状态 linkup 或 linkdown;端口流量信息,如输入和输出流量的累计数据。

(2) 系统信息。位于交换机 MIB 库中的 System 子节点下,OID 为 1.3.6.1.2.1.1,这部分含有:交换机描述、交换机 ID、交换机上电时间等信息。如根据上电时间可发现交换机是否有宕机或失电现象。

(3) 内部状态信息。位于 MIB 库中的 private-enterprises 子节点下,OID 为 1.3.6.1.4.1,这部分为厂家私有 MIB 信息,需要关注的部分内部信息有:交换机系统时间、程序版本、电源状态,交换机温度、CPU 负荷率、风扇工作状态等信息。由于是设备的内部专有信息,需通过厂商的技术资料才能进行解读。

(4) trap 事件信息。交换机的故障异常信息一般通过 trap 命令由网管交换机主动发给管理主机,SNMPv1 协议中描述部分故障异常信息:交换机重启、端口通讯中断与恢复、及交换机自定义故障异常事件。

2.3 通讯数据处理

前述端口通讯信息为统计数据,需要处理才可以获得网络性能的指标信息。如通过 2 次轮询的数据除以轮询间隔时间,则可得到一段时间的流量信息^[4,5]。与网络通讯相关的统计指标有:

(1) 端口流量。以 2 次采集的输入/出字节数之差反映一段时间内端口流量:

$$\text{输入流量} = \frac{\Delta B_{in}}{\Delta T} \quad (1)$$

$$\text{输出流量} = \frac{\Delta B_{out}}{\Delta T} \quad (2)$$

$$\text{总流量} = \frac{\Delta B_{in} + \Delta B_{out}}{\Delta T} \quad (3)$$

式(1—3)中: ΔB_{in} 为 2 次输入字节数差值; ΔB_{out} 为 2 次输出字节数差值; ΔT 为采集间隔时间。

(2) 端口带宽占用率。以端口速率和流量获得一段时间带宽占用率:

$$\text{占用率} = \frac{\Delta B_{in} \times 8 + \Delta B_{out} \times 8}{S_{pt} \times \Delta T} \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中: S_{pt} 为端口速率。

(3) 端口通讯包数。反应一段时间内的数据包数:

$$\Delta P_{in} = \Delta P_{iu} + \Delta P_{inu} \quad (5)$$

式(5)中: ΔP_{in} , ΔP_{iu} , ΔP_{inu} 为输入包数、输入单播包数、输入非单播包数,同样可获得输出包数。

(4) 端口错误率。反应一段时间内的数据包的出错率:

$$R_{ic} = \frac{\Delta E_{in}}{\Delta P_{in} + \Delta E_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

式(6)中: ΔE_{in} 为输入错误包,同样可获得输出错误率。

(5) 端口丢包率。反应一段时间内的数据包的丢包率:

$$R_{id} = \frac{\Delta D_{in}}{\Delta P_{in} + \Delta D_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

式(7)中: ΔD_{in} 为输入丢包数,同样可获得输出丢包率。

2.4 交换机信息处理

根据采集的交换机信息及设定的异常阈值处理,判断硬件设备的异常,如电源异常、温度高异常、CPU 利用率、内存占用率高异常等指标信息均是交换机设备异常的反映。

(1) 获取时间信息。采集获取交换机的上电时间是自上电后运行至当前时间的累计,不能直观反应上电时刻,可通过下式获得:

$$T_{up} = T_{dev} - T_{sec} \quad (8)$$

式(8)中: T_{up} 为上电时间; T_{dev} 为交换机时间; T_{sec} 为交换机上电的秒数。

交换机端口变位时间是相对系统启动时间的 10 ms 数据,通过下式获得端口连断时间:

$$T_{pt} = T_{up} - T_{lc} \quad (9)$$

式(9)中: T_{pt} 为端口连/断时间; T_{lc} 为端口变位时间。

如交换机时间与当前时间相差较大,则应以当前时间做依据,否则无法准确获知端口变位时刻。

2.5 信息处理及告警上传

整站交换机的监测信息量已不少,如不筛选信息来上传,过多的告警将使运行人员判别处理困难,难以

区分真实的异常。应用采集到的数据进一步处理,以设备告警信息、设定阈值越限来判定是否产生网络异常或故障、通过分析定位故障发生的环节,以状态信息或告警事件向管理人员或变电站监控系统发送,提醒运行人员采取主动的处理措施。由交换机在线监测系统(或监控软件)筛选处理后需上传的信息如表 1 所示。

表 1 交换机监控上传信息

信号	信号意义
交换机重启	交换机产生重启事件
交换机 SNMP 监测离线	交换机 SNMP 通讯中断、不受管理主机监视
交换机设备异常总告警	CPU 负荷率高、内存利用率高、温度高、电源异常等告警
端口通讯断链总告警	所有正常连接的端口发生断链时告警
端口通讯异常总告警	端口占用率高、流量突变、连接后超时无数据、端口通讯异常
交换机连接端口数	交换机当前有连接的端口数,如有设备断开,该信号发生变化

3 变电站交换机监测管理设计

变电站实际使用中的交换机由不同厂家、端口数量不一、多个不同架构的网络组成,站内统一监测需能实现上述全部设备的状态监视,同时含能够对采集数据分析处理、事件或日志查询等网络管理应用需要,建立的变电站交换机网络管理系统具备以下功能模块:交换机配置管理、通讯采集、数据处理、状态和数据监视、告警事件、日志或数据查询等模块,如图 1 所示。

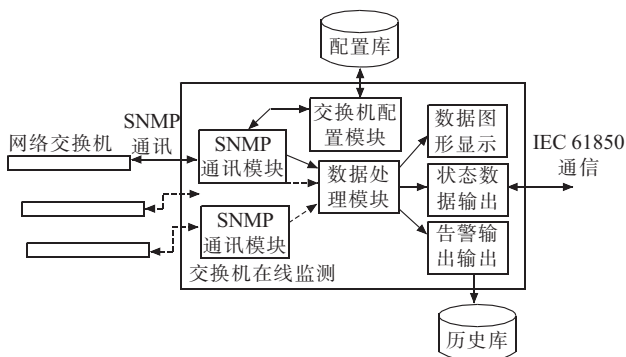


图 1 交换机监测功能模块

(1) 交换机配置管理模块。针对满足不同交换机类型、不同厂家、不同接口数量、不同接口设备、不同网络结构的交换机进行配置管理的需要,建立交换机统一配置管理模块,主要实现交换机类型管理、交换机所在网络管理、交换机通讯信息采集管理、接口数量及不同接口设备的属性管理、实现不同交换机 MIB 对象信息管理,特别是交换机厂家私有变量信息的管理。

(2) SNMP 通讯模块。交换机的信息均通过 SNMP 轮询和 trap 事件采集获得,通讯采集时需兼顾

多台设备的同时通讯及阻塞等问题,因此需为每台受监控的交换机建立“轮询+trap”的独立线程管理,使交换机的采集通讯相互独立,互不影响,保证了信息采集的实时性。实现方法是启动交换机通讯采集时创建线程,停止采集时关闭创建的线程。

(3) 采集数据处理模块。根据采集的交换机系统信息、端口流量数据、内部状态信息进行处理,获得与网络通讯相关的统计指标、与交换机设备异常相关的事件告警、超限告警信息,输出可直接观测和便于理解的信息。

(4) 数据图形显示模块。将交换机的采集数据、处理后的数据、告警信息事件分类进行显示,以数据及表格、状态图、趋势图、告警事件等方式进行展示。

(5) 状态数据输出模块。对处理后的交换机及端口信息,建立监控信息上传表,实现告警数据上传,便于实现监控统一管理。支持以 IEC61850MMS 或 IEC104 协议输出。输出的每台交换机状态信息数据可查询、可监视。

(6) 告警输出模块。对所有的操作、通讯事件提供带时标的详细告警信息,并按类别、分窗口显示,告警事件按建立的日志文件可实现多条事件的自动实现存储,可控制存储文件大小、和控制日志文件保存的天数。输出的告警事件文件可方便查看。告警事件支持选中清除。

4 变电站交换机在线监测实现

4.1 变电站交换机监测系统介绍

根据前述交换机监测分析设计,基于 VS2005 开发套件开发了以 SNMP 通讯协议实现信息采集、支持多个厂家、不同型号交换机设备、可实现变电站内多台交换机的同时网管在线监测软件。根据变电站交换机在线监测的需要,为交换机监测配备了专用的变电站网络在线监测设备,监测设备具有丰富的网络接口和强大的功能,支持多路以太网和光纤的接入,可实现变电站内多个不同网络的同时接入监测,避免了不同网络的级联。监测的交换机数量和网络均可通过配置实现,监测软件可适用于任意规模的变电站交换机的在线监测,具有通用性。

鉴于变电站内监控设备的丰富及另安装专用监测设备的麻烦,本监测程序也可运行于基于 Windows 平台的变电站监控后台,或网络报文记录分析装置中。也可作为一个网络状态的检查分析工具,在现场用调试笔记本进行交换机实时状态信息的检查维护。

程序采用多线程防阻塞的设计方案,为每台交换机创建独有的“SNMP 轮询+SNMPtrap”通讯线程,控制交换机 MIB 信息数据采集,避免了单台交换机管理

通讯中断引起的阻塞问题,保证了数据采集、程序处理的实时性和准确性,同时监控上传信息的通讯也采用独立的线程进行管理。程序采用多文档框架窗口设计,每台交换机画面由单独子框架窗口管理,子框架视图采用多画面分类显示采集信息、处理信息、告警状态、输出信号,并依据告警信息类型实现分类管理和综合存储,方便查看。支持交换机接口界面的自适应布置,可实现显示界面的端口布局与实际设备一致。

4.2 变电站交换机监测应用

本项目在苏北某 110 kV 智能变电站现场实现了交换机的监测接入,共有站控层 3 台和过程层 2 台交换机在运行中实现了监测。现场 1 台过程层交换机的连接监测的端口数据、流量等变化状态信息如图 2、图 3 所示。

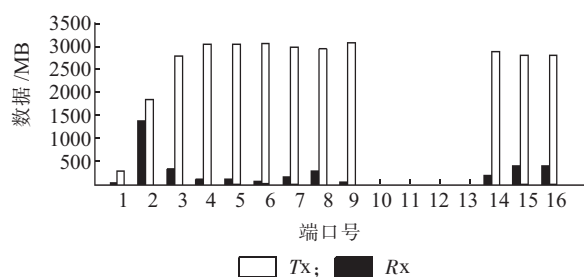


图2 某一时刻交换机端口数据

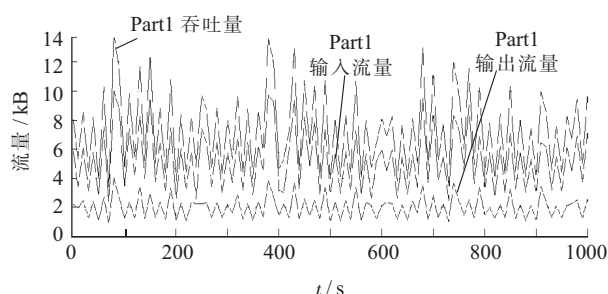


图3 交换机监测的端口流量

图2中显示交换机自上电运行以来16个端口各自的接收(Rx)和发送(Tx)数据字节数,纵坐标为兆字节数(MB),横坐标为端口标记。

图3显示在监测的1000s时间内的流量结果,端口1的平均输入流量为5.3kB、输出流量为2.0kB、端口总流量<8kB,带宽占用率为0.06%(<0.1%)。

通过现场的实际监测,发现现场运行的交换机存在以下问题:

(1) 交换机运行时间较短,且多台交换机上电时间一致,判断为设备在运行中曾发生过电,可能存在直流电源异常,或误操作。

(2) 根据监测端口的上电时间信息,获知个别端口连接设备存在通讯中断现象,需进一步排查。

(3) 个别交换机的时间不准确,需进行对时。

交换机端口通讯及内部状态监测显示站控层交换机和过程层GOOSE交换机的端口数据流量均较小,交换机性能显示正常,变电站的交换机设置和配置未发现缺陷。

5 结束语

尽管目前变电站内采用的交换机可靠性高、出现异常的概率低,但无法彻底避免存在的运行风险,通过开展本项目可以初步掌握变电站网络交换机运行中存在的问题,为今后改进网络设计、提高网络性能、规避网络风险提供一种有益的工具。

参考文献:

- [1] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2008:93-100.
- [2] 张小飞. 智能变电站网络应用及测试技术研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(4):34-38.
- [3] 杜凯. 基于SNMP的网络性能监测系统的实现[J]. 计算机与数字工程, 2007, 35(2):96-100.
- [4] 汪升泉. 基于SNMP的网络性能数据异常检测技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学硕士学位论文, 2008.
- [5] 毛卉. 基于SNMP的网络性能监测系统的设计[J]. 湖北电力, 2011, 35(2):28-30.

作者简介:

徐勇(1970),男,江苏沭阳人,高级工程师,从事电力系统二次技术管理及应用研究工作;

陆玉军(1972),男,江苏句容人,高级工程师,从事变电站综合自动化系统的开发及工程应用工作;

张雷(1980),男,江苏沭阳人,工程师,从事电力科技信息管理工作。

Design and Realization of Switches Monitoring in Smart Substation

XU Yong¹, LU Yujun², ZHANG Lei¹

(1. Suqian Power Supply Company, Suqian 223800, China;

2. Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: According to current situation of use and management of switch in smart substation, measured objects of switches, data acquisition, and data procession are analyzed. Based on the analysis, an anti-blocking parallel data acquisition scheme which is compatible for multi-vendor and multi-type switches is designed. Also, a corresponding substation switch monitor program is developed. The proposed scheme and program makes on-line monitoring possible.

Key words: switch online monitor; anti-block parallel data acquisition; network administration

江苏电网省地县一体化电量智能采集系统研究

熊政¹, 彭栋², 仲春林¹

(1.江苏方天电力技术有限公司,江苏南京 211103;2.江苏电力调度控制中心,江苏南京 210024)

摘要:文中提出的江苏电网省地县一体化电量智能采集系统,以省集中的建设模式实现了江苏电网“发、输、变”各环节电量信息的全覆盖准实时自动采集,接入全省全部各类电厂、35 kV及以上变电站共3000余座。并对采集的电量原始数据按照可定义的公式规则准实时计算出各线路电量、电厂结算电量、各市县供电量、网损等各类电网运行数据。系统已成为江苏电网电量信息的准实时数据中心,在电网电量管理业务中发挥重要作用。

关键词:电网;一体化;电量;采集系统

中图分类号: TM732

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0056-04

江苏电网电量计量管理模式的发展经历了3个阶段。最初在上世纪90年代末,某些市县试验性建设了小型孤立的电量采集系统,小范围的取代人工抄表的工作,但应用功能单一且孤立系统之间无任何联系。后来在地市层面将这些孤立系统统一起来,形成了“13+1”的分区系统模式,采集范围得到扩展,但系统主站分地区设立,建设和运行维护成本高,数据存储和应用功能分散,数据难以共享,系统之间转发数据消耗大量资源,数据及时性和一致性很难保证。当今随着电力通信网络的全面覆盖、计算机技术的快速发展,使得建设全省集中的一体化电量采集系统成为可能^[1],一体化系统主站全省惟一,建设与运行维护成本较低;数据全省集中存储,便于共享,有利于充分挖掘数据价值;丰富统一的功能模块在全省推广应用,促进标准化工作开展,便于省地县公司之间人力和技术资源共享;统一权限控制,有效防止失密。

本文提出的江苏电网省地县一体化电量智能采集系统,以实现“四化”为系统建设目标。(1) 一体化:建设全省集中模式的省地县一体化电量系统,为发展方式的转变提供技术支持;(2) 实时化:建立高性能、高可靠的准实时系统,满足日报统计和电厂结算的实时性、准确性要求,提高安全生产保障能力;(3) 智能化:实现设备故障智能定位、电量智能修补替代、和计量差错智能校核;(4) 规范化:依托一体化系统推行统一的电量采集技术标准,规范电网电量管理工作。

1 系统架构

系统按照“采集分布、数据集中、应用集成”的建设原则,实现对全省电厂上网关口、35 kV及以上变电站全部电能表的自动采集、计算与分析。系统总体结构如图1所示。

(1) 主站端:主站部分由省调二区主站、省调三

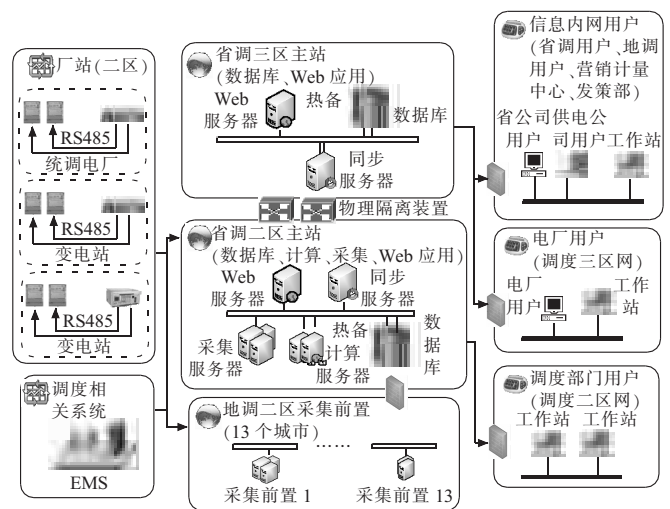


图1 系统总体结构

区主站以及地调二区采集前置组成。

(2) 厂站端:厂站端设备有采集设备、电能表及网络设备组成,主要运行于二区网络。

(3) 用户端:由于系统的用户涉及较广,有调度部门用户,主要在二区工作;有营销、发策部门用户,主要在信息内网工作;有电厂的查询用户,主要在三区使用,因此系统的二区主站和三区主站同时提供功能相同的应用服务,数据与指令通过物理安全隔离装置进行跨区传输。

2 系统主站设计

从系统业务功能角度,全省一体化电量系统可以分为8个功能子系统,如图2所示。

2.1 数据库子系统

数据库子系统是整个系统的核心。由于全省只有一套数据库系统,因此对数据库的可靠性、安全性、高可用性、高效性都提出了更高要求。本数据库子系统的设计上采用DB2 9.7大型商用数据库,硬件架构采用双小机加双存储的高可用架构,如图3所示。由于本系统需要

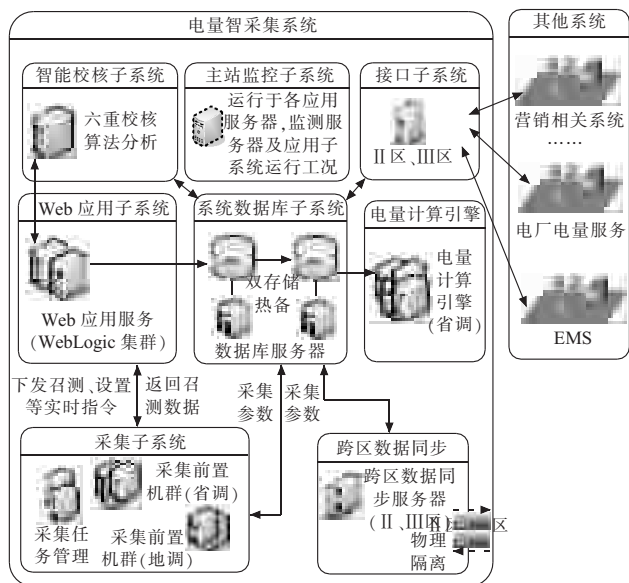


图2 主站子系统组成

同时构建二区和三区的完整应用。数据库在二区和三区进行完全相同的部署，再通过正向和反向物理隔离装置进行数据库的双向数据同步，这样虽然只用一个数据库，但一份数据同时保存在4个磁盘阵列中，数据的完全可以保证安全可靠。

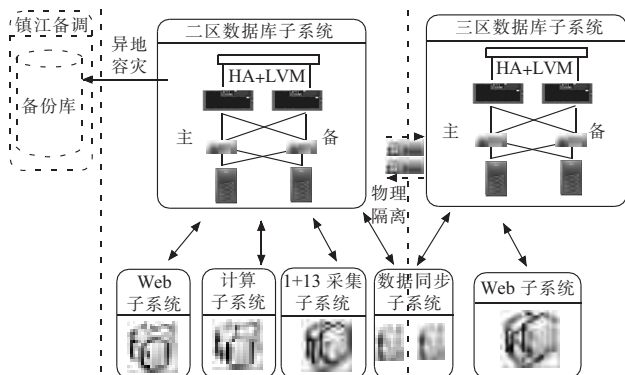


图3 数据库子系统结构

2.2 采集子系统

采集子系统负责将现场数据自动采集并存储到系统数据库中。数据采集全省统一任务管理，采集前置分布在各省市，以提升系统采集容量，减少省地间数据的交互环节，保证数据的一致性、准确性与实时性，如图4所示。

(1) 采集任务统一生成与管理功能：采集任务管理全省集中，全省任务生成14个任务队列，通过灵活的任务配置规则，可定义采集周期、采集对象、采集数据项等，可实现失败任务自动补采、失败任务重试，执行情况统计。

(2) 采集任务分布式并发执行功能：采集机实现多机热备与积木式平行扩展，保证采集可靠性与高性能，每台采集机的任务调度线程从任务队列检索任务，

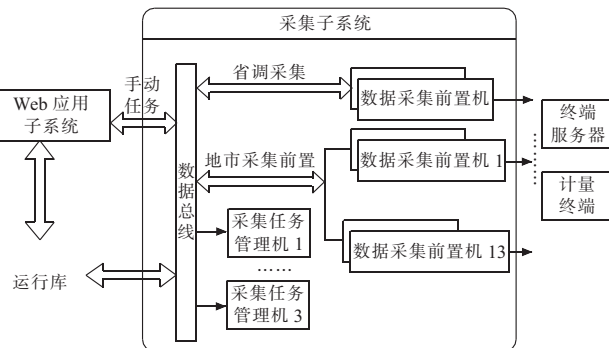


图4 采集子系统结构

以通讯信道互斥、优先级、时间点为主线调度采集线程并发执行，动态管理并发线程数，采集到数据进行内存缓存后批量提交，提高入库效率，减轻数据库压力，采用组件化设计，可灵活更新规约插件、调度逻辑、执行规则、通信组件。

(3) 省地互备、广域分布的集群采集技术：采集前置分布在各市调，分担数据采集信道压力，各前置间采用自动负载均衡与故障自动转移技术，保障数据采集可靠性；地调采集前置可接替省调前置工作，省调采集前置也可接替地调前置工作，实现省地采集互备。

(4) 设备故障智能定位功能：采集子系统设计了完善的通信过程监控功能，包括厂站设备的Ping状态，网络端口状态，通信报文的详细记录与自动分析功能，通信采集失败时系统将记录此次通信的完整过程，智能的判断故障环节。

2.3 计算子系统

为了实现计算过程可控的目的，计算引擎在设计上采用了基于计算计划队列管理模式；另外，从计算效率的角度考虑，计算引擎必需具备多任务并行处理的能力，所以，在设计上采用基于任务队列的计算调度模式。计算引擎将定时计算要求、事件相关及用户干预都最终解释为计算计划并按照优先级排序进行处理。引擎根据优先级逐一执行计算计划，将待执行的计算计划分解为计算任务。为进一步提升计算引擎的性能、充分利用硬件资源、提升系统可扩展性，计算引擎采用并行计算与数据库存储过程计算相结合的计算架构。数据库存储过程对于计算算法相对简单但数据吞吐量较大的计算类型有较高的效率，采用存储过程计算方式，计算在数据库服务器上执行，省去了数据库到计算服务器之间的传输大量数据的网络传输时间，同时也充分利用了数据库小机的强大计算能力。

2.3.1 电量公式计算功能

系统支持用户自定义计算公式的计算方法。所谓公式，是指由变量（计量点增量、子公式运算结果等）、运算符（如+、-、×、÷等）、函数（如MAX、ABS等）以及逻辑判断（if...else、for循环等）组成的表达式。系统根

据表达式的定义,自动获取输入分量,按照预定的运算符、函数、逻辑判断,将运算完成的结果和质量标记,保存至结果数据库中。典型的公式定义:

$$E=\max((A+B)-(C+D),0) \quad (1)$$

式(1)中: E 为某电厂上网电量; A 为镇厂镇龙 5211 线正向有功电量; B 为镇厂龙江 5212 线正向有功电量; C 为镇厂镇龙 5211 线反向有功电量; D 为镇厂龙江 5212 线反向有功电量。计算涉及 2 项关键性技术:公式解析和历史公式。其中,公式解析是指如何根据公式定义的表达式,分解为可被计算引擎运算的可执行程序;公式解析所涉及的变量分解、运算符识别、函数运算、逻辑判断等技术都是公式计算所必须解决的技术性问题。另外一项关键性技术“历史公式”,是指对公式存在生命周期的处理能力,如表 1 所示。

表 1 公式定义的历史形态

公式段	有效时段	公式表达式	备注
1	2012-01-01 至 2012-05-31	$a+b$	a, b, c 代表某个电量,如某条线路的正向有功或反向有功等
2	2012-06-01 至 2013-05-31	$a+c$	
3	2013-06-01 至今	$a+b+c$	

表 1 所示的公式,在不同的历史时期具有不同的表达式,如在 2012 年 6 月 1 日至 2013 年 5 月 31 日期间,公式使用“ $a+c$ ”作为其运算表达式。而在此时间段之前或之后,公式都有不同的定义(表达式)。所谓“历史公式”,就是需要能够记录公式在不同时期的表现形态,并能够根据这些时期的公式定义计算结果并保存。在系统重现计算时,计算引擎应能够自动获取公式在各个时期的表达式及分量输入,计算结果需要还原公式的历史情况。

(1) 计算表达式是为实现对复杂公式计算,支持常用数学表达式及逻辑运算,计算引擎在架构上选择使用动态语言作为公式计算的解析和执行单元。动态语言(如 Python, Ruby, Groovy 等)是相对于编译语言(如 C, C++, Java 等)而言的,动态语言不需要编译,就能够根据给定的表达式执行运行。目前,动态语言的技术已经非常成熟并且有着广泛的应用。将动态语言运用于电量公式计算,可以最大限度地获得表达式的灵活性,甚至说可以支持任意复杂度地公式计算需求。但由于动态语言本身是一套完整的编程系统,支持文件操作、硬件资源访问、打开网络等底层调用,如果不加以限制,可能对计算引擎的运行的稳定性造成影响,甚至,恶意的代码可能造成更加严重的后果。所以,计算引擎在引入动态语言的同时对其进行了限制,只开放满足于公式计算的部分功能。这种限制表现在多个层次,首先,在表达式定义时需要表达式的合法性进行

验证,过滤允许范围内的关键字;其次,在表达式执行前,再次进行关键字过滤,防止通过其他途径录入非法表达式;最后,公式执行部分运行于“沙箱”中,从运行环境(Runtime)层面屏蔽表达式访问禁止的资源。

(2) 支持的函数是因计算引擎主要用于电量相关的数学计算,则目前计算引擎的公式表达式提供对常用数学函数的支持,如 $\min(a, b)$, $\max(a, b)$, $\text{abs}(a)$, $\sin(a)$, $\cos(a)$, $\log(a)$, $\text{sqrt}(a)$ 等。

2.3.2 电量智能修补替代功能

计算引擎在设计和实现过程中,充分发挥智能计算理念,利用智能化处理手段分析解决数据处理过程中常见问题,尽量减少系统运行过程中的人工干预,降低系统运维人员的工作量。(1) 电量自动替代。对于偶发的采集故障情况数据未能及时采集入库,为了能及时得到相对准确的电量数据,系统引入了电量替代机制,电量替代包括辅表电量自动替代、EMS 功率积分电量替代、线路对端电量替代。(2) 电量智能修补。电量智能修补与电量自动替代的区别是智能修补的电量是准确的而自动替代的电量是近似准确的。电量智能修补包括智能自动置数和旁路代电量修补。

智能自动置数主要用于解决底码缺失情况下的电量计算。由于前一时间点底码缺失导致增量缺失的情况,如果存在当前底码,需要向前查找到上一次正常采集的底码值。根据缺失前后采集数据底码差值,计算缺失期间增量(增量=(采集点底码-前次采集点底码) \times TA 变比 \times TV 变比);将增量按一定比率(平均、辅表电量曲线、EMS 功率曲线或对端电量曲线等)摊派到缺失计量点增量。

2.4 智能校核子系统

系统设计了多重电量智能校核算法:母线平衡监视、主变平衡监视、发电机出口平衡监视、EMS 电量校核、线路对端电量校核。通过数据智能校核功能可以自动及时的发现计量故障与异常。从而确保电力系统计量关口电量数据的准确性、计量装置的可靠性;减少由于计量误差、计量故障等因素导致的电量数据缺失、计量失真等情况,为关口计量管理工作提供技术支撑,提高关口管理水平。

(1) 主辅平衡校核。电力系统计量关口通常有多块电能表同时运行,用以确保数据的连续性和稳定性。其中主表为计费电能表,以主表计量信息为计费依据,以辅表信息来比对主表计费的合理性。通过主辅表间的电量校验,判断表计是否运行正常。计算公式为:

$$R=(A-B)/A \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中: R 为平衡率; A 为主表电量; B 为辅表电量。

(2) 线路对侧平衡校核。根据关口电能表和线路对侧电能表的电量平衡关系,实时考察计量表计、线路

运行工况和厂网间输电线路线损情况。利用所采集的电能量数据,通过计算分析确定线损是否异常,判断是否存在计量装置故障、失准、窃电等。计算公式为:

$$R=(A-B)/A \times 100\% \quad (3)$$

式(3)中: R 为线损率; A 为关口侧电量; B 为线路对侧电量。

(3) 母线平衡校核。根据能量守恒定律输入母线的电量与输出母线的电量加上传输转换过程损耗的电量应该是一致的。通过输入母线前电量数据和输出母线的电量数据进行校验,可以判断关口的整体运行状况。计算公式为:

$$R=(A-B)/A \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中: R 为母线平衡率; A 为输入母线电量; B 为输出母线电量。

(4) 发电机出口与主变高压侧平衡校验。与上同理,发电机出口电量、厂用电量与主变高压侧电量之间存在平衡关系。计算公式为:

$$R=(A-B-C)/A \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中: R 为发电平衡率; A 为发电量; B 为主变高压侧输出电量。

(5) 积分电量校验。表计计量电量数据同 EMS 功率积分电量进行校核。计算关口表计数据和 EMS 功率积分电量在同一时段内运算的结果比较,可通过偏差值判断表计计量出现异常。计算公式为:

$$R=(A-B)/A \times 100\% \quad (6)$$

式(6)中: R 为积分校验率; A 为表计计量电量; B 为功率积分电量。

2.5 跨区数据同步子系统

生产控制区(二区)与信息管理区(三区)通过电力专用物理隔离装置(正、反向)实现数据跨安全区同步,利用数据库触发器功能^[1],通过正、反向隔离装置的文件摆渡通道实现数据量较小的档案数据双向同步;利用业务数据的增量变化规则,通过正向隔离装置的单向 Socks 连接通道实现大数据量的采集与计算数据二区到三区的单向同步。这 2 种方式结合的方案既满足二、三区完整应用的需求又保证了数据传输的高效。

2.6 Web 应用子系统

Web 子系统采用多层架构、全局视角设计,统一规划设计各项业务功能,提高易用性与可维护性。Web 子系统分区部署,二、三区同时发布,满足二、三区不同用户使用需要,并面向全省电厂发布数据,通过 F5 实现服务器集群,保证系统高可用性并均衡访问负载。Web 应用与后台采集、计算等子系统业务紧耦合、软件松耦合设计,Web 页面实现与现场设备间的实时数据召测与通信,实现图形化的公式定义与即时计算。

Web 总体上采用轻量级框架的多层结构设计,具

体的技术上采用 ExtJS+Struts2+Spring+iBatis (JDBC) 的集成混合架构。结构上可以分为界面表示层、业务逻辑层和数据持久层。界面表示层上采用流行的用户体验较好的 ExtJS 框架+JSP 页面,流畅的页面功能,强大的页面控件,精美的页面展示,为用户打造动态易用的页面。业务逻辑层采用 Struts2 和 Spring 框架,高效的处理页面层传递的任务命令,并进行处理封装。数据持久层采用了 iBatis 轻量级半自动类型框架,可以灵活的和数据库通信,且和数据库类型无关。

2.7 接口子系统

接口子系统通过统一的 Web Service 方式,为交易中心、发策部、营销部、运检、信通等多个部门提供二十余类数据接口。根据 Web 系统配置权限,可实现不同用户通过调用不同的方法,获取自己被授权的数据,并且可以根据登陆服务器的 IP 地址限制访问用户。接口通过负载均衡器(F5)实现服务器集群,保障接口可靠性,并可分担访问压力。

2.8 主站监控子系统

主站监控子系统实时监测系统主站设备运行状态,包括服务器、应用程序、Web 应用服务、数据库、存储、通信通道、现场终端等的运行工况,诊断主站设备健康状态,监视系统各子系统运行情况,通过对采集、计算、校核等工况的分析,及时发现故障,诊断故障原因,快速定位,形成在线监测及故障诊断专家系统^[2],对于异常事件,根据等级通过事件告警机制(页面推送、短信、内部邮件等)通知值班人员,保障系统稳定运行。

3 厂站端设计

厂站端的采集结构统一采用终端服务器直采电表的方式,终端服务器的主要作用是将网络通信转化为 RS485 串口通信,相当于建立了一个采集前置到电表的直达网络连接,由主站直接通过相应的电表通信规约读取电表内存储的电能示数曲线数据,如图 5 所示。此方案的优点在于造价较低、运维费用低、可靠性较高,省去了复杂且造价较贵的厂站电能量采集终端,简化了厂站端采集结构,终端服务器结构简单、功能通用,复杂的电表规约解析由主站采集前置实现,对于新增的电表规约只需升级主站前置采集规约库即可,厂站端设备不需升级、维护简便。

4 系统特点

本系统可以对全省电厂及变电站进行发、输、变各环节的电能量信息实时采集与电量计算分析。

(1) 准确性。数据采集与计算准确,采用技术手段对数据进行校核,确保数据准确性。

(2) 可靠性。软硬件全冗余全热备,通过负载均

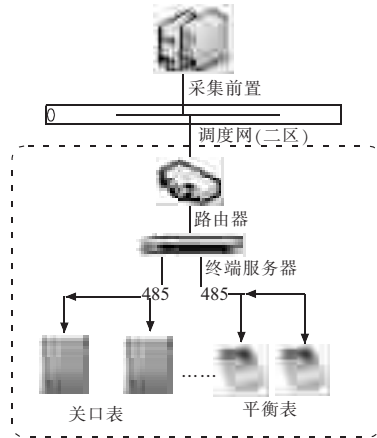


图5 厂站端采集结构

衡、故障转移等技术,确保系统稳定可靠。

(3) 实时性。系统采集范围量大面广,运用并行与集群技术,提升处理效率,满足实时性要求。

(4) 安全性。对权限及网络进行安全控制,系统运行于调度二区网络,通过物理隔离装置实现了系统在二、三区的应用,满足系统高安全性要求。

5 结束语

本文提出的江苏电网省地县一体化电量智能采集系统,实现了“省地县一体化”的电量采集系统建设和

运行管理模式,有效提升了集约化管理与精细化运行水平,能够灵活适应“大运行”体系对技术支持系统的要求。系统目前已建成全覆盖“发—输—变”各环节电量信息的江苏电网电量综合信息系统,接入全省全部统调电厂、非统调电厂、35 kV 及以上变电站共 3300 余座。系统已成为江苏电网电量信息的准实时数据中心,可提供电厂上下网结算电量、供电量、网损等重要电网运行数据,在电网电量管理业务中发挥重要作用。本系统以后还将进行电网电量数据全采集覆盖后的大数据深入挖掘分析与应用功能扩展进行深化研究。

参考文献:

- [1] 尹飞. 基于物理隔离技术的触发式数据库同步方案[J]. 江苏电机工程, 2010, 29(1): 35-37.
- [2] 金逸. 智能变电站状态监测技术及应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(2): 12-15.

作者简介:

熊政(1976),男,江西南昌人,工程师,从事电能计量及采集通信监控相关系统研发工作;

彭栋(1973),男,江苏无锡人,高级工程师,从事调度自动化控制相关系统研发与管理工作;

仲春林(1981),男,江苏泰州人,工程师,从事采集通信相关自动化系统研发工作。

A Multi-municipal Unified Smart Electricity Acquisition System for Jiangsu Power Grid

XIONG Zheng¹, PENG dong², ZHONG Chunlin¹

(1. Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China;

2. Power Dispatch Center of Jiangsu Power Grid, Nanjing 210024, China)

Abstract: This paper proposes a multi-municipal unified smart electricity acquisition system for Jiangsu power grid. The smart electricity acquisition system gathering electricity information from generation side, transmission side, and transformation side of Jiangsu power grid which includes all kinds of power plant and 3000 35 kV and above level substations. According to predefined calculation formula, the electricity of transmission lines, clear electricity of power plants, total electricity supplied to cities/counties, power losses and so on are calculated. The proposed acquisition system is taking a key role in electricity information collection and management in Jiangsu power grid.

Key words: Power grid; Multi-municipal unified; Electricity; Acquisition system

下 期 要 目

- 基于 EPON 和工业以太网的新型配网通信混合组网方案
- 660 MW 机组送风机降速改造与变频改造的分析研究
- 电动变桨系统超级电容后备电源测试装置设计
- 智能变电站中低压母线保护设计
- 基于 CIM 的配电自动化系统信息交互
- 高性能的新一代母线保护装置的研究和应用
- 智能变电站图模一体化设计软件实现方案
- 大容量直流融冰系统在 500 kV 康定变的保护

一起 SVC 一相可控硅全部击穿的原因分析

胡建农

(上海梅山钢铁股份有限公司能源环保部,江苏 南京 210039)

摘要:静止型动态无功补偿(SVC)装置在钢铁企业已得到广泛使用,稳定运行尤其重要。本文对两大类典型触发装置在电气设备放电时的抗干扰性能分析,找到 SVC 一相可控硅全部击穿的原因。建议一般工业用户注意电气设备放电对触发装置的影响。

关键词:集中脉冲触发;单阀脉冲触发;污闪现象;可控硅阀的部分开通

中图分类号: TN34

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0061-03

上海梅山钢铁股份有限公司于 2001 年引进的第二套静止型动态无功补偿(SVC)系统,系国外的第三代产品,型号为 LVVR 30/244,用于对 25 MV·A 炼钢精炼炉(LF 炉)的谐波治理。安装在 LF 炉电源 30 kV 母线,采用晶闸管控制的电抗器(TCR)+谐波滤波器(FC)组合而成的静止型动态无功补偿装置,由一组容量为 22 Mvar 的可控硅控制电抗器和 22 Mvar 两组滤波电容器组成。其中可控硅采用双向可控硅型号为 5STB 1365N。使用一段时间后经常发生穿墙套管的户外侧有放电现象,在采取现场清洗手段后继续投运,某日突然发生“过流保护速断”动作,检测后发现有一相可控硅全部击穿(ca 相)。

1 SVC 在钢铁企业中的重要性

静止型动态无功补偿(SVC)装置是电力系统用于电网谐波治理有效手段,钢铁企业主要用于对热轧机组、炼钢精炼炉和炼钢电弧炉进行动态无功补偿。补偿前炼钢精炼炉所对应的上级变电站 110 kV 母线的实际检测数据为:短时间电压闪变 P_{σ} 最大值三相分别为 1.594 p.u., 1.531 p.u., 1.496 p.u., 超过允许值,测试期间 A 相 5 次超标, B 相 4 次超标, C 相 3 次超标。长时间电压闪变 $P_{1hA}, P_{1hB}, P_{1hC}$ 三相别为 0.938 p.u., 0.875 p.u., 0.844 p.u., 超过允许值。而三相谐波电压总畸变率分别为 0.72%, 0.75%, 1%, 低于标准 2%, 各次谐波电流均未超过限值。由此可见炼钢精炼炉产生的高次谐波对电网影响小,主要是精炼炉负载产生的大量无功引起电压闪变,频繁电压闪变对电网的污染很大。

谐波治理在过去普遍认为是对电网有利,是解决用户产生的谐波对电网的污染问题,以及消除由于高次谐波引起的发热和能耗^[1]。但在上海梅山钢铁股份有限公司的实际生产中发现谐波和闪变会对计算机控制系统产生严重影响,造成批量废品。在计算机控

制系统普遍使用的今天,谐波治理更是产品质量的重要保证。

2 可控硅相关技术要求

2.1 可控硅的关键参数

供电系统与一般电机拖动系统所使用的可控硅装置有所不同,供电系统使用的可控硅装置的特点是电压高、电流大、外部干扰源多而且复杂的特点。可控硅是 SVC 的关键部件,可控硅的关键参数有 $U_{DRM}, U_{RRM}, dV/dt, di/dt$ 。其中可控硅触发特性非常关键,当门极加入触发电流后,元件首先在门极的附近逐渐形成导通区,并且随着时间的增长导通区逐渐扩大直至全部结面变成导通,如在结面还没有全导通时电流已升到很大,大的电流密度可能在门极的附近的结部发生过热使元件损坏^[2]。所以规定通态临界电流上升率 di/dt 极限值。

2.2 可控硅触发装置

可控硅触发是在门极加上大于 1.2 V 的触发信号,经过 8~30 μs 的时间使可控硅全导通^[2],通常采用脉冲触发。目前一般有 2 类典型触发装置,一类装置的结构是集中脉冲触发,如图 1 所示。

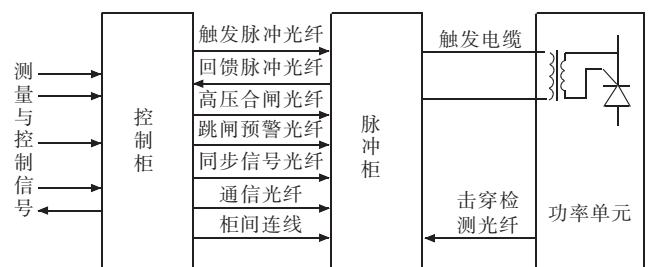


图 1 集中脉冲触发系统图

集中脉冲触发装置基本原理:脉冲柜接收到控制柜给出的晶闸管触发光信号后,驱动脉冲触发光电转换板,将光信号转换成电信号送给脉冲形成单元。脉冲形成单元是整个脉冲柜的核心部分。在这个单元里,脉冲形成器接收光电转换单元送来的电信号,通过输入

脉冲前置放大、前沿脉冲控制、前沿脉冲形成、脉冲控制、振荡、逆变等电路模块,将其放大形成 T_{ab+} , T_{ab-} , T_{bc+} , T_{bc-} , T_{ca+} , T_{ca-} 6路方波脉冲信号。6路强触发脉冲通过阻抗匹配电路使脉冲变压器 T_1 , T_2 的次级感应出一个脉冲(如图2所示),再通过脉冲电缆接到可控硅门极,触发可控硅。

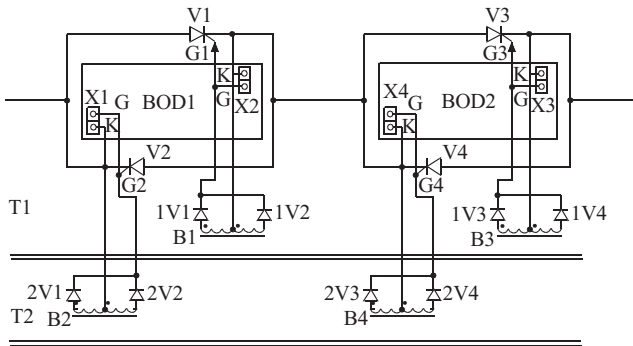


图2 集中脉冲触发原理图

另一类装置的结构是单阀脉冲触发,如图3所示。

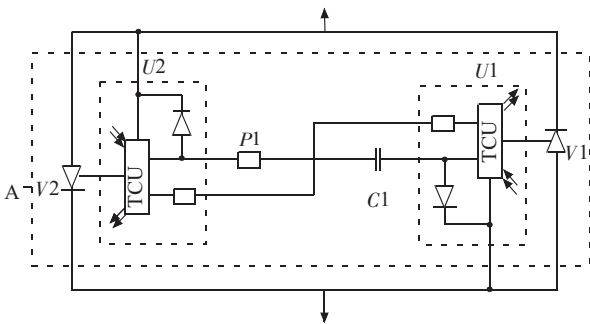


图3 单阀脉冲触发原理图

单阀脉冲触发装置基本原理:为每个可控硅阀配一个独立的触发装置TCU。触发装置TCU的工作电源直接从可控硅阀取用,与外部的联络只有2根光纤FP,IP,将脉冲形成单元、触发控制逻辑单元、紧急触发回路和触发脉冲检测回路集成在一起,与可控硅阀装在一块电路板上或一个框架上,极短的触发脉冲输出线直接与可控硅阀的门极连接。触发装置接收到控制柜给出的晶闸管触发光信号后,FP将光信号转换成电信号,通过触发控制逻辑单元输出触发脉冲,触发可控硅开通,如图4所示。

3 穿墙套管的闪络与污闪现象

在电力系统线路和设备上发生放电、闪络是常见现象,多数是在外部条件发生变化时,原来绝缘状态正常的设备产生放电现象,当外部环境一旦改变,放电现象随之消失。也有发展迅速直至闪弧导致相间短路的故障发生。上海梅山钢铁股份有限公司有一个新建的35 kV变电站,由于一次设备是按半敞开式设计的,10 kV绝缘子选用户内型绝缘子,在一次狂风暴雨中,20 min内从闪络发展到闪弧再到三相短路事故的发生。

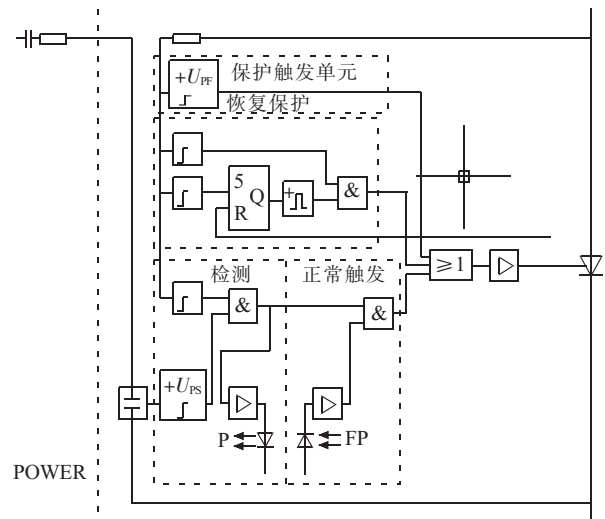


图4 TCU原理图

在重污染区域,电气设备经常发生放电、闪络现象,由于空气中污染介质很不稳定,往往不容易及时准确判断。在有关文献中对绝缘子的沿面局部电弧爬电所导致的局部电弧贯通,因无法解释绝缘子表面无痕的闪络现象,归为不明闪络。造成绝缘子极间空气间隙绝缘强度下降的原因,是由于绝缘子周围空间的电荷衍生电场改变了空气间隙内的场强分布,将绝缘子极间空气间隙击穿。当绝缘子附近空间内,由于污染注入空间电荷电量达到一定数量级时,将发生绝缘子极间空气间隙击穿,也可称为污闪现象。这些与钢铁企业的部分重污染区域,电气设备经常发生的闪络现象很吻合,应引起高度重视。

4 事故分析

4.1 设备的选型

SVC的稳定器TCR的额定容量为22 Mvar,TCR控制系统采用国外厂商自行研制的MACH2模拟控制系统,SVC的晶闸管阀塔采用单阀脉冲触发,为当时普遍采用的成熟技术,其晶闸管元件的门极为“电触发”。含BOD保护,即晶闸管正向电压超过设计值时的强迫安全导通。晶闸管阀塔与触发控制及在线监测系统之间采用光纤通信,防止触发信号在传输过程中受到电磁干扰的问题。晶闸管阀塔采用纯水冷却,占地面积很小。装置FC额定容量为22 Mvar,由3次和5次2组单调谐滤波器构成,3次滤波支路容量9 Mvar,5次滤波支路容量13 Mvar。

双向可控硅型号为5STB-1365N, V_{RM} (U_{DRM}) = 5600 V, V_{SM} = 6500 V (最大断态浪涌峰值电压), I = 1390 A (70 °C), di/dt = 24 kA/8.3 ms,每相有16片串联使用。穿墙套管爬电距离为室外1000 mm,室内380 mm。闪络距离为室外467 mm,室内330 mm。

从主要设备的选型来看,可控硅的各项参数都能

满足工况要求。但穿墙套管选型低于用户要求的重污染环境最小爬电距离,不满足重污染环境穿墙套管户外绝缘子的最小爬电距离应为 1255 mm 的要求。导致在正常使用条件下发生放电现象,同时闪络距离室外为 467 mm,在重污染环境下易产生污闪现象。

4.2 dV/dt 的增大

由于在穿墙套管固定的底板上有一似焊点的痕迹,厂商认为发生了拉弧现象,由于拉弧造成 dV/dt 的迅速增加导致。一般认为爬电拉弧其能量应该是相当大的,同时应在绝缘子的表面留下爬电拉弧痕迹。另外如发生过拉弧就应该有 2 个灼烧点,另 1 个灼烧点应是带电的部分及套管端部的铝制均压罩,与底板的灼烧程度来比,铝制均压罩上应该留下更重的灼烧痕迹(因为铝比铁的熔点低)。但实际情况是,铝制均压罩均无灼烧痕迹,穿墙套管的表面也未发现爬电闪络痕迹。其故障时所发生的闪络应该是污闪现象,污闪现象一般不会产生很大的 dV/dt 。

在工厂中大量使用可控硅变流设备和电源装置,设备上时常发生污闪现象,也没有发生导致击穿可控硅阀的事故的记录。此套设备中使用的穿墙套管其闪络距离 467 mm(室外),在重污染地区发生了污闪现象是必然的,但不应该是造成一相可控硅全部击穿的直接原因。

4.3 di/dt 的上升

外商另判定在开状态下,由于闪络引起 di/dt 上升,导致可控硅阀全部损坏。一般闪络现象都发生在接近于相电压最大值的瞬间,相电压的突然降低而引起的回路等效放电电容电流,其特点是衰减快且共振频率高达数千赫,可产生很高的 di/dt 。但由于本系统中有大容量的补偿电抗器,对放电电容电流有遏制作用, di/dt 不会迅速上升,造成一相可控硅全部击穿的可能性不大。

4.4 可控硅触发装置的结构

将损坏的可控硅阀打开后,其所拍摄的照片来看,可控硅阀均在门极附近烧坏。外商也怀疑是触发脉冲不正常导致可控硅阀部分开通,使可控硅阀全部击穿。但事故后对所有可控硅触发单元进行测试,各单元的性能均正常。

前面分析中将目前国内、国外常用的可控硅触发系统归纳为两大类典型触发装置,一类是集中脉冲触发,另一类是单阀脉冲触发。单阀脉冲触发在进口设备中广泛使用,本套 SVC 系统中的可控硅触发装置是单阀脉冲触发。

单阀脉冲触发有着多方面的优点,特别是脉冲触发器输出与门极之间的距离极短,每个可控硅阀的触发器输出连接线完全一致,使得输出的触发脉冲抗电

磁干扰性强,触发的同步控制精度高。而“集中脉冲触发”装置从脉冲柜输出的触发脉冲,先经过屏蔽电缆接到可控硅阀组处的脉冲变压器原边,再从脉冲变压器的付边分别接到每个可控硅阀的门极(有长度差),对触发的同步控制精度有影响,抗电磁干扰性相对较差。

2 种触发装置的供电方式存在较大差异,集中脉冲触发装置是由脉冲柜中独立的电源装置供给电源,电源装置的输出电压稳定。同时装置中的前沿脉冲控制、前沿脉冲形成、脉冲控制、振荡、逆变等电路模块都是在稳定的电压下工作,高压主回路的波形异常对脉冲触发不会产生影响。在脉冲形成到触发脉冲输出前,每相上的脉冲触发是同一的(如 T_{ab+})。而单阀脉冲触发装置的每个 TCU 单独取电源,由于电源直接取自可控硅阀两端,高压回路的波形受各种因素的影响,必然对 TCU 的工作电源产生影响。如果在可控硅阀附近的局部放电、闪络,本相的电压突然降低,或瞬间为零,必然会对 TCU 的输出触发脉冲产生影响,是有可能引发可控硅全部击穿的。

分析 TCU 的工作原理,TCU 模块中含正常触发、检测、恢复保护、保护触发单元。正常触发时由检测单元产生的电压,在 FP 光控信号的控制下,输出一个触发电压 U_c ,宽度约 50 μs 的方波脉冲波形触发可控硅开通,可控硅阀的开通面积 S 达 100%,可控硅阀的通流能力为额定电流 I_d 。可控硅阀组正常工作。如果出现另一种情况,可控硅阀在触发脉冲的前沿触发下开始逐渐打开,此时穿墙套管正好产生污闪现象,由于穿墙套管在可控硅阀附近,TCU 的工作电源电压与闪络电压一样突然降低或瞬间为 0,从而引起输出方波脉冲波形变窄的不正常脉冲。

失去持续触发电压的可控硅阀导通区面积 S 无法逐渐扩大,导致可控硅阀没有全部开通,可控硅阀的部分开通使阀的通流能力达不到额定电流 I_d 。但可控硅阀一旦打开后,外部负载电流由工况确定,仍保持很大的数值,通流能力的不足使可控硅阀在门极附近烧坏。由于保护单元的脉冲波形是同一工作电源,同时受到污闪引起高压回路的波形变化干扰,不能使可控硅阀继续打开,无法起到保护作用。这应该是造成一相可控硅全部击穿的真正原因。

5 结束语

通过以上事障原因分析,建议工业用户在 SVC 选型和使用过程中,注意对重污染环境下,设备的相关参数合理确定,特别是距离阀组较近的穿墙套管等要提高防污等级。对触发系统是单阀脉冲触发装置的 SVC,不能在污闪状态下继续使用,以防同类事故的发生。

区域电网电缆—架空线混合线路故障区间判别方法及实现

李园园,沈军,朱晓彤,王耀,刘革新
(南京南瑞继保电气有限公司,江苏南京 211102)

摘要:针对电缆—架空线混合线路故障区间定位困难的问题,文中提出了一种面向区域电网的电缆—架空线混合线路故障区间判别方法,该方法主要基于柔性光学电流互感器(TA)和智能变电站技术。具体介绍了区域电网故障区间判别整体方案、装置实现、检修和异常处理机制。实际运行经验表明,该方案在区域电网内发生故障后可快速准确识别出故障区间,实现故障的快速定位和检修,加快故障后系统恢复供电。

关键词:电缆—架空线混合线路;区域电网;故障区间;故障区间识别;柔性光学TA

中图分类号:TM755

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0064-05

受城市空间和规划的限制,电缆—架空线混合线路在大中城市中的应用越来越广泛。由于架空线故障以瞬时性故障居多,一般需要启动重合闸,而发生在电缆的故障,则往往是永久性故障,如电缆绝缘破损、电缆中间接头故障等,再次重合会对电缆产生较大的损伤,对系统也会造成二次故障冲击,因此一般要求闭锁重合闸。当电缆—架空线混合线路发生故障时,必须先由检修人员找出故障点,查明故障点是位于架空线还是电缆段,只有找到故障点,确定为架空线故障时,才能下达手合故障线路命令,这对检修人员提出了很高要求,同时要耗费大量的人力与物力。

目前对于电缆—架空线混合线路的研究主要集中在保护方面的研究,对快速定位故障区间的研究则比较少^[1-3]。文献[4]提出了一种适用于架空线—电缆混合线路的新型电抗继电器,该方法可以在线区分电缆故障和架空线故障,但该方法必须基于差动保护原理和通道,对无通道保护而言并不适用。文献[5]提出了一种超高压架空线—电缆混合线路故障测寻方法,但该方法为基于录波器数据的离线计算,且计算方法复杂,不能满足在线判断的要求。另外,由于受限于传统电磁式电流互感器(TA)安装体积及造价等原因,现有的识别架空线—电缆混合线路故障区间的方法,大都是利用现有的保护测量回路,在现有的保护装置中进行功能修改,增加相关判据和定值实现。这些方法在短线或多级混联线路应用时难以整定,误差很大。同时由于这些方法是集成在线路保护装置中,一方面增加了保护装置的复杂性,另一方面故障定位信息分散,不利于运行和检修人员的集中分析。

光学TA具有绝缘结构简单、体积小、重量轻,转变特性好,安装简单等特点,在电力系统变电站,特别是智能化变电站中取得了越来越广泛的应用。其中,柔性光学TA的出现则使得光学互感器的安装和维

护更加方便,可任意弯曲的光缆可适应于任意形状的导体,特别适合于变电站改造、安装空间狭小、不停电安装检修等应用场合^[6]。基于光学互感器技术,以及智能变电站技术^[7-10]的发展,本文提出了一种面向区域电网的识别电缆—架空线混合线路故障区间的新方法。

1 系统整体方案架构

一个包含4个变电站的小型区域电网如图1所示。中心变电站(在110 kV系统中,一般为主供电源变电站)与其他变电3个站之间分别有线路1、线路2、线路3三条输电线路相连,其中线路1为两段式架空线—电缆混合线路,线路2为三段式架空线—电缆混合线路(架空—电缆—架空线路),线路3全线均为架空线。传统的方法是在中心变电站和站1、站2、站3分别配置6台保护装置,由各保护装置采集安装点故障信息,完成故障点的判断。

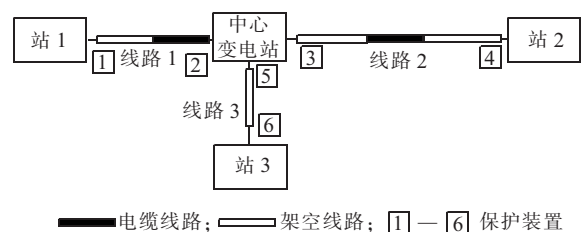


图1 传统判别方案示意图

有别于传统以单一线路为对象的方法,本文提出的方法是以整个区域电网为检测对象,区域电网内包含多个变电站,以及变电站间的多条架空线—电缆混合线路。本方案在区域电网中选定一个变电站作为中心变电站(无特别要求,在110 kV系统中,一般为主供电源变电站),仅在中心变电站内配置一台集中式的故障区间判别装置(与保护装置独立的单独装置),由该装置将区域电网内所有输电线路的电气量信息进行集中汇总处理,实时完成区域电网中任一段线路发生故障时的故障区间定位。

本方案数据采集系统是基于光学互感器,特别是柔

性光学互感器技术。本方案根据区域电网的网络拓扑,在图1所示的区域电网中各线路的两端以及电缆—架空线交接处(如图2中“○”所示)分别安装光学互感器(特别是柔性光学互感器)和就地数据采集装置(合并单元)。为方便叙述,将所述互感器安装点定义为测量点,两相邻测量点之间的输电线路定义为一个故障区间。光学互感器负责一次电流的采集,数据采集装置完成数据的采集和转换后,通过光纤将数据传送给中心变电站的集中式故障区间判别装置。本方案整体示意图如图2所示。

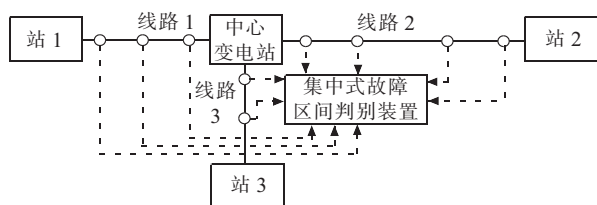


图2 故障区间判别方案示意图

由于各个测量点的合并单元均为就地安装,其与中心变电站的距离大多都超过2 km,多模光纤的数据传输可靠性无法得到保证,故本方案采用单模光纤将采样数据送到中心变电站的集中式故障区间判别装置。通道连接方式如图3所示,可选择专用光纤或复用通道。

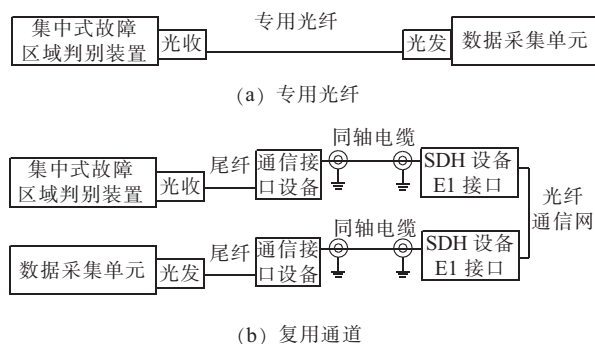


图3 通道连接方式

中心变电站的故障区间判别装置采用集中式设计,即仅由1台装置完成整个区域电网所有线路的故障区间定位。故障区间判别装置接收区域电网内所有测量点的数据,进行综合分析处理,并在故障后识别出故障区间,实现故障的快速定位和检修,加快故障后系统恢复供电的能力。

2 故障区间判别方法

基于上述的系统平台架构,集中式故障区间判别装置可以实时获取区域电网内各个测量点的故障电流采样值。由于本方案在电缆—架空线交接处都安装了柔性光学互感器,故通过分析各测量点的故障电流特征,就可以很方便地判别出故障发生的区间。

对于单电源供电线路,当发生区内故障时,故障区间电源侧相间电流主要表现为较大的故障电流,而负荷侧由于无电源提供短路电流,其相间电流主要是少量分流的正序和负序故障电流,以及负荷电流的叠加,电源侧和负荷侧两者相间电流的数量级别差异明显。根据上述故障电流特征,在故障区间判别装置中对每个测量点设置一个可整定的电流定值,在区域电网内发生故障后,故障区间判别装置按线路依次扫描各测量点故障相间电流,若满足一侧相间电流大于整定的电流定值,而另一侧相间电流小于整定的电流定值,则判断为该区间内发生故障。

对于双电源或多电源供电线路,采用电流差动原理实现故障区间的判断。故障区间判别装置按线路依次计算各故障区间的两侧相电流和,若该值大于整定值,则判断为该区间内发生故障。由于差动方案涉及两侧数据同步等技术,则在本文中不做详细叙述。

3 集中式故障区域判别装置

上述方案中,设在中心变电站的集中式故障区间判别装置是为本方案专门研发的新装置,该装置接收所有测量点的故障数据,完成整个区域电网的故障区间判别逻辑。为了兼容不同规模的区域电网,以及不同的架空线—电缆混合段数,集中式故障区间判别装置硬件采用即插式标准插件,软件采用模块化设计。这种设计方法可实现按照区域电网的输电线路出线数实例化插件和故障判断模块,按照每条输电线路的测量点数实例化数据接收和处理模块,线路出线数和测量点数均可采用参数整定实现,从而可灵活适用于各种不同网络拓扑的区域电网。如图4所示,故障区间判别装置整体结构由电源插件,判别CPU插件(可扩展),人机接口插件,光耦插件组成,可根据区域电网的规模和网络拓扑灵活扩展插件。判别CPU插件通过光口接收各测量点来的数据,并进行处理,在系统发生故障时,依次扫描2个相邻测量点的数据,完成故障区间的判断。光耦插件主要实现对时、打印、投检修态、信号复归等开入命令的采集。人机接口插件完成显示、录波、打印、报文等人机通信功能。

判别CPU插件根据区域电网的线路条数进行扩展,每个CPU插件的光口数根据各条混合线路上的测量点数进行配置。考虑到一般情况下系统中最多是三段线路混合,本方案中以4光口插件作为标准配置。仍以图1所示的区域电网为例,说明装置的实际配置实现过程。如图5所示,首先根据线路条数实例化3个标准CPU插件,分别实现线路1至线路3的故障区间判别;然后根据每条线路的测量点数分别在线路1至线路3插件中实例化3,4,2个数数据接收和处理模块。

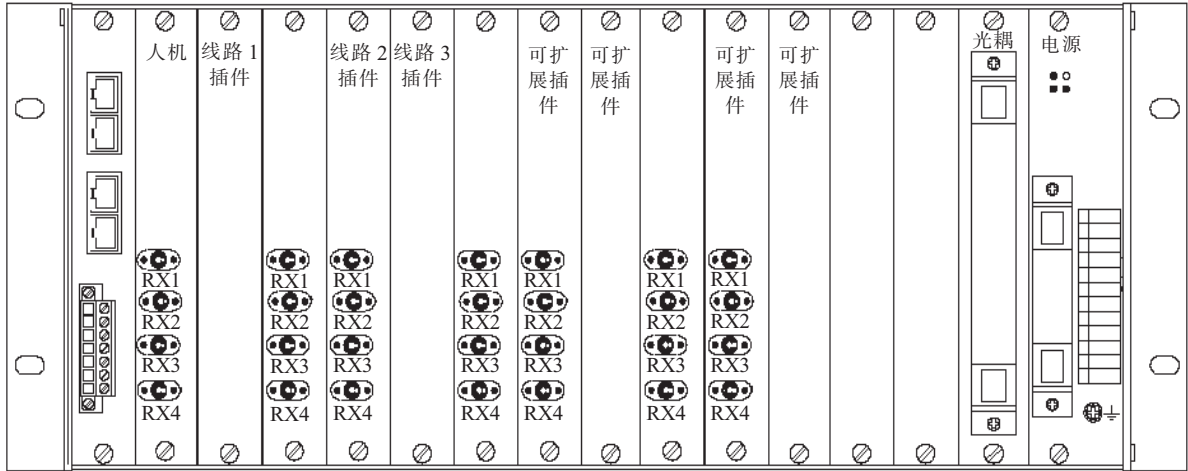


图 4 故障区间判别装置的典型配置图

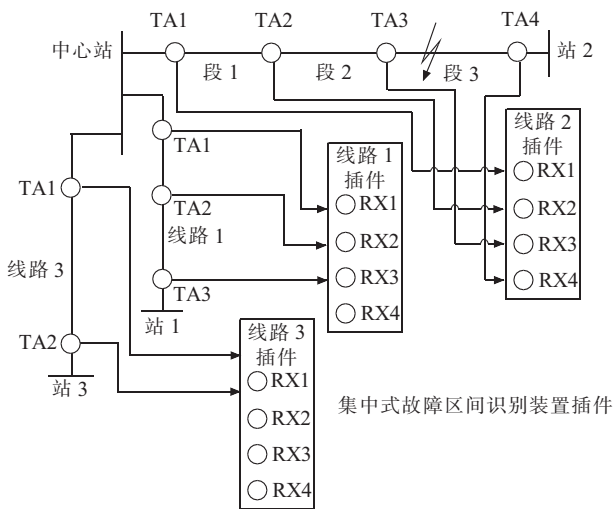


图 5 故障区间判别装置实际系统配置图

对于单电源供电线路,当发生区内故障时,如图5中线路2发生区内故障,在线路2的TA1,TA2,TA3测量点均流过较大的故障电流,其相间电流均大于整定的电流定值,而TA4测量点位于故障点的负荷侧,其相间电流小于整定的电流定值,则判断为线路2的TA3,TA4测量点间的段3发生故障。

对于双电源或多电源供电线路,当发生区内故障时,如图5中线路2发生区内故障,线路2的段1和段2流过的电流均为穿越电流,其两侧TA的分相电流和均为0,而段3的两侧TA分相电流相加,其和很大,故判断为线路2的TA3,TA4测点间的段3发生故障。

4 现场检修及异常情况处理机制

由于本方案是面向区域电网,采用集中式装置实现,系统中任一次设备检修或故障,或装置的某一测量点数据故障将可能导致这个方案失效,故必须考虑灵活的系统检修及异常情况处理机制,将局部因素对整体方案的影响降到最小。

4.1 现场检修机制

集中式故障区间判别装置对每个数据接口均独立设置SV接收软压板,若SV接收软压板置退出位置,则装置自动退出与该TA有关的所有采样、自检、逻辑功能,其他均不受影响。

现场任一线路的检修不影响区域电网其他线路逻辑判断的正常运行。如图5线路1检修需退出运行时,将线路1的CPU插件上RX1~RX3对应的SV接收软压板均置退出状态即可,线路2和线路3的CPU插件可继续运行。线路上任一TA或光学互感器的检修不影响整条线路的运行。如图6所示线路2上的TA2检修,仅需将线路2的CPU插件上TA2对应的RX2的SV接收软压板置退出状态,则RX2对应的所有采样、自检、逻辑均退出。装置自动按照实际有效的TA1,TA3,TA4测量点重新进行故障区间划分,将TA1~TA3视为段1,TA3~TA4视为段2。在图6所示处发生短路故障,装置报“线路2段2故障”。

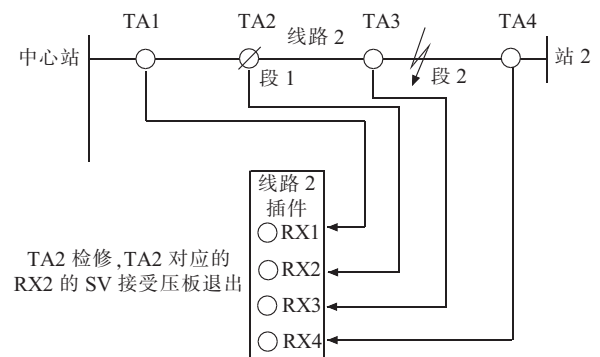


图 6 TA2检修

4.2 装置异常处理机制

安装于中心变电站中的集中式故障区间判别装置任一CPU插件的故障不影响其他CPU插件的正常运行。如线路1的CPU插件故障,仅自动退出线路1的判断功能,线路2和线路3的功能不受影响。集中式故

障区间判别装置任一光纤接收口故障不影响整条线路的运行。如图7所示,线路2的CPU插件上的RX2接收故障,若暂时无法更换插件,仅需将该插件上RX2对应的SV接收软压板置退出状态,则RX2对应的所有采样、自检、逻辑均退出。装置自动将TA1~TA3视为段1,TA3~TA4视为段2。在图7所示处发生短路故障,装置报“线路2段2故障”,即处理结果类似于TA2检修。

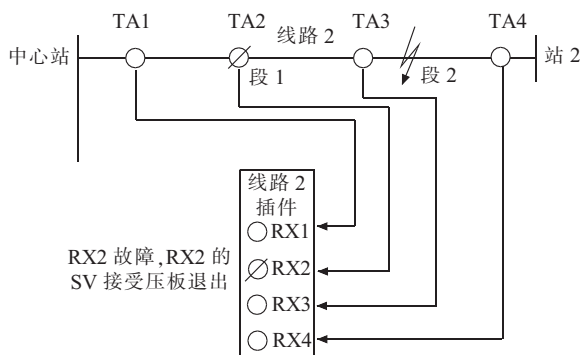


图7 RX2故障

如图8所示,线路1的CPU插件,其光纤接收口有冗余的情况,若该插件上的RX3接收故障,若暂时无法更换插件,可将TA3的采样光纤接入RX4,同时将RX3对应的SV软压板置退出状态,将RX4对应的SV接收软压板置投入状态,则RX3对应的所有采样、自检、逻辑均退出,RX4逻辑投入。装置自动将RX2~RX4对应于TA2~TA3,装置仍将TA1~TA2视为段1,TA2~TA3视为段2不变。

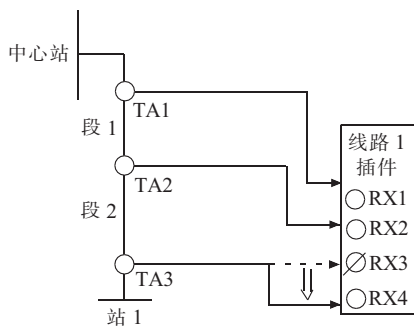


图8 RX3故障

5 柔性光学 TA 及现场应用方案

光学 TA 是一种新型的光学计量技术,是基于法拉第(Faraday)磁光效应测量一次电流的互感器。光学 TA 采用光纤作为 Faraday 传感材料,一次端无需供电,抗电磁干扰能力强,且不存在磁饱和及铁磁谐振等问题;采用反射式光纤 Sagnac 干涉技术实现对光信号的测量^[7],精度高;通过光纤互易结构,使外界的温度、压力等影响能互相抵消,降低了互感器受环境温度、振动等干扰因素的影响,提高了互感器的精度和稳定性。

柔性光学 TA 是一种特殊安装形式的光学互感器,与普通光学 TA 的区别是:柔性光学互感器的一次传感部分仅仅为一根带反射镜的光纤,该传感光纤采用了特殊的工艺处理后制成非铠装传感光缆,传感光缆没有固定的形状,可以灵活地盘绕在绝缘电缆外围形成光纤传感环。柔性光学的 TA 各主要器件如图9所示。

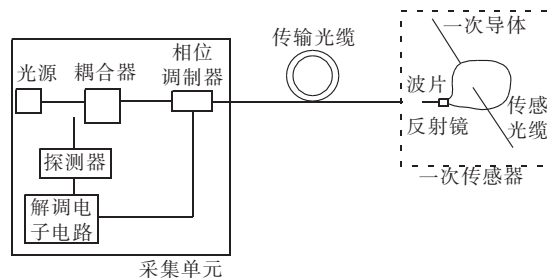


图9 柔性光学 TA 结构图

柔性光学 TA 现场安装时只需将传感光缆灵活缠绕在一次导体周围即可,安装方式灵活,其传感光缆能适应任意尺寸的导体,可以现场绕制和熔接,安装和维护方便,尤其适用于变电站的改造或系统新增测量点等工程中。柔性光学互感器传感光缆可缠绕在绝缘电缆的外围,处于低压侧,安装过程中对绝缘电缆没有损伤,因此在安装过程中无需停电,可达到不停电加装 TA 的目的。典型的柔性光学互感器的带电安装方式如图10所示,图中传感光缆可在绝缘电缆带电情况下进行缠绕。



图10 柔性光学互感器典型传感缆安装方式

6 结束语

本方案已经在试点工程获得实施,依据本方案研发的故障区间判别装置、柔性光学互感器、数据采集单元也已经投入运行。工程投运以来,经历了多次故障的考验,运行情况表明,区域电网内故障时,故障区域判别装置能够实时给出正确的故障区段指示,区域电网外的故障,装置不会误判别。

(1) 实现故障的实时定位,架空线瞬时故障可快速恢复供电;减轻了故障寻线工作量,加快了永久故障检修和系统恢复供电的速度。

(2) 将整个区域电网的故障定位功能集中在中心变电站的1台装置中,实现了故障信息的集中获取和同步分析,装置占用屏柜少,投资省,经济实用。

(3) 柔性光学互感器体积小,重量轻,抗电磁干扰能力强,可灵活适应于各种现场条件,实现不停电安装和检修,现场施工简单。

(4) 检修机制简单,异常情况处理智能化,使用及维护工作量小。

本方案对于架空线—电缆混合线路较多的城市电网来说,具有较大的推广使用价值。

参考文献:

- [1] 江少成,岳亚丽,潘震宇,等. 架空线—电力电缆混合线路特性及保护配置探讨[J]. 四川电力技术,2009,32(6):42-44.
- [2] 许晓慈. 架空—电缆混合线路的自适应保护方案[J]. 华东电力,2005,33(9):58-60.
- [3] 范春菊,宋蓓华,郁惟镛. 电缆—架空混合线路相间距离保护方案研究[J]. 供用电,2006,23(5):33-36.
- [4] 沈 军,李超群,朱晓彤,等. 高压电缆—架空线混合线路重合闸新判据[J]. 电力系统自动化,2012,36(13):97-100.
- [5] 吴承恩,郇能灵,郁惟镛. 超高压电缆—架空线混合线路故障

测寻方法[J]. 供用电电力系统自动化,2005,29(10):26-29.

- [6] 王晓菁. 光学电流互感器的研究方向与现状[J]. 电力科学与工程,2008,24(2):34-36.
- [7] 吴 罡,李 琳,李 翔. 110 kV 智能变电站设计方案初探[J]. 江苏电机工程,2011,30(2):31-35.
- [8] 张沛超,高 翔. 智能变电站[J]. 电气技术,2010(8):4-10.
- [9] 金 逸,刘 伟,查显光,等. 智能变电站状态监测技术及应用[J]. 江苏电机工程,2012,31(2):12-15.
- [10] 许小兵,董丽金,袁 栋. 智能变电站小电流接地选线装置的研究与实现[J]. 江苏电机工程,2013,32(5):55-58.

作者简介:

- 李园园(1974),女,河南济源人,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 沈 军(1975),男,江苏南通人,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 朱晓彤(1976),男,江苏常州人,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 王 耀(1980),男,安徽合肥人,工程师,研究方向为一次设备;
- 刘革明(1980),男,湖北武汉人,工程师,研究方向为电力系统继电保护及控制系统。

Faulty Zone Discrimination Method and Realization for Cable-overhead Mixed Lines in Regional Power Grid

LI Yuanyuan, SHEN Jun, ZHU Xiaotong, WANG Yao, LIU Geming
(NARI-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper proposes a new method to discriminate the faulty zone for cable-overhead mixed lines in regional power grid based on Flexible Optical Current Transducer (FOCT) and smart substation technology. The overall scheme of the new method, as well as the device realization, maintenance and error handling are discussed in details. The practical application of the method indicates that it is effective to discriminate the faulty zone in regional power grid.

Key words: cable-overhead mixed line; regional power grid; faulty zone; faulty zone discrimination; flexible optical current transducer (FOCT)

(上接第63页)

参考文献:

- [1] 杨志新,杨世海. 基于串联补偿的间谐波抑制技术研究[J]. 江苏电机工程,2013,32(2):38-42.
- [2] 赵殿甲. 可控硅电路[M]. 北京:冶金工业出版社.1986:2-79.

作者简介:

胡建农(1958),男,安徽芜湖人,高级工程师,从事高压电气设备能源设备技术管理工作。

Analysis of SVC Single-Phase SCR Breakdown

HU Jiannong

(Energy&Environment Department of Shanghai Meishan Iron&Stell Co.Ltd., Nanjing 210039, China)

Abstract: Static Var Compensation (SVC) device has been widely used in iron and steel enterprises. For enterprises' safe production, it is critical to keep SVC operated in a state. In this paper, the anti-jamming performance of two kinds of typical trigger device in the environment of electrical equipment discharge is analyzed, and the reason of causing SVC single-phase SCR breakdown is obtained. Based on the study, we suggest general industrial users to pay attention to the impact of electrical equipment discharge on trigger device.

Key words: concentrated pulse trigger; single valve trigger pulse; flash-over phenomenon; thyristor

特高压铝管预制式跳线接头防滑移方案研究

陈宁,陈龙元,高剑凌

(中国能源建设集团南京线路器材厂,江苏南京 210037)

摘要:在特高压输电线路中,耐张段之间通常采用刚性跳线来导流,以减少跳线风偏和弧垂,压缩杆塔结构尺寸。铝管预制式跳线为刚性跳线的一种。以往设计形式的铝管接头部分由于轴向受力过大,或施工装夹不到位等原因,曾出现铝管接头滑移现象。为此,对铝管接头滑移问题进行了深入研究,提出了内接头攻丝配螺钉和铝管端部焊法兰盘2种改进方案,简要介绍了实施步骤、注意事项和试验情况,并将2种方案进行了分析比较。结果表明,2种方案都能有效地抑制铝管接头滑移,保证跳线及整个线路安全稳定运行。

关键词:铝管预制式跳线;铝管接头;防滑移

中图分类号:TM752

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0069-03

高压输电线路的耐张段之间通常采用跳线来导流。和其他金具一样,跳线型式也随着输电线路电压等级从高压、超高压到特高压而发生变化^[1]。国内500 kV及以下电压等级一般采用软跳线型式,随着电压等级提高和技术的发展,输电线路中出现了刚性跳线型式。刚性跳线可以有效减少跳线风偏和弧垂,压缩杆塔结构尺寸。刚性跳线国内主要有2种型式,分别是鼠笼式与铝管预制式刚性跳线^[2]。铝管预制式刚性跳线是将跳线下侧一段普通软跳线用2根铝管替代,然后通过引流线连接到耐张绝缘子串上,铝管既导流又起支撑作用。铝管预制式刚性跳线在国内沈大线工程线路南雁四回路大连段等500 kV电压等级的工程中曾得到少量应用^[3],后在750 kV,±800 kV,1000 kV等电压等级的工程中得到广泛应用^[4-6]。

1 铝管接头滑移问题分析

在铝管预制式刚性跳线通用设计中,因跳线铝管设计长度较长,不便于铝管运输及现场施工,每根铝管通常分2节。2节铝管通过铝管内接头定位支撑,如图1所示。外加铝管外接头连接导流^[7,8],如图2所示。铝管对接主要靠铝管外接头对铝管的握力固定。



图1 铝管内接头

2011年7月9日10:38,重庆市电力公司检修分公司巡视发现,±800 kV复奉线#395极I跳线铝管接头发生滑移,2只铝管接头均从接头型间隔棒脱



图2 铝管外接头

落,端部滑移至支撑间隔棒,且跳线铝管有脱落危险。经现场检查初步认为有3个方面原因。

(1) 跳线接头设计存在风险。跳线铝管通过铝管接头进行对接,在铝管外侧通过连接间隔棒进行增大接头摩擦力的方式进行紧固。当作用于铝管上的轴向分力大于接头位置摩擦力的时候就会导致两端铝管产生位移。

(2) 两端的软质跳线弧度较小,张力过大,造成硬质跳线连接处受到较大的沿铝管纵向的作用力。

(3) 现场检修发现接续间隔棒、支撑间隔棒的螺栓存在不同程度的松动。

2 铝管接头防滑移方案

上述问题发生后,根据国家电网直流建设分公司要求,对铝管接头滑移问题进行深入研究,提出内接头攻丝配螺钉和铝管端部焊法兰盘2种改进方案。

2.1 内接头攻丝配螺钉方案

2.1.1 实施方案

铝管内接头上攻丝,通过螺钉端部受力,把两端铝管连接起来,增加铝管轴部受力,铝管外接头间隔棒采取双螺母方式防螺栓松动。

2.1.2 实施步骤

(1) 铝管连接端部钻孔,铝管内接头装入2节铝管内,对应于铝管端部钻孔的位置在内接头上做标记,铝管内接头两端攻螺纹。

(2) 铝管和铝管内接头通过固定螺钉连接,使螺钉不露出铝管表面,如图3所示。

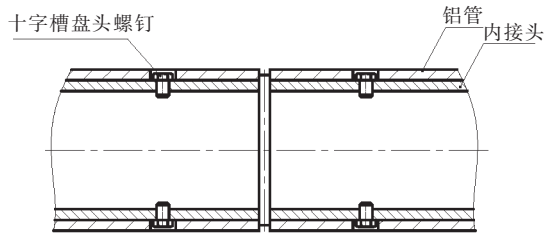


图3 铝管内接头攻丝

(3) 铝管外接头间隔棒按内接头中心对称装夹在铝管外部,2只外接头间隔棒之间通过紧固螺栓固定。为加强紧固防松作用,每只紧固螺栓上装2只螺母,如图4所示。螺栓长度不超出管母外接头圆弧面。



(a) 剖面图



(b) 示意图

图4 铝管外接头间隔棒双螺母紧固

2.1.3 注意事项

(1) 加工时,铝管内接头螺纹孔要用长钻头上下孔同时打通后攻丝。

(2) 加工时,铝管要用长钻头上下孔同时打通。

(3) 现场安装时,螺钉要拧到底,不能让螺钉露出管母线表面,以免妨碍铝管外接头间隔棒安装。

2.2 铝管端部焊法兰盘方案

2.2.1 实施方案

2 铝管端头各焊一个法兰盘,铝管外接头开槽,把2个法兰盘包入其中,并保持与铝管紧密贴合。

2.2.2 实施步骤

(1) 2分段铝管端部各焊一个圆形法兰盘。如图5所示。

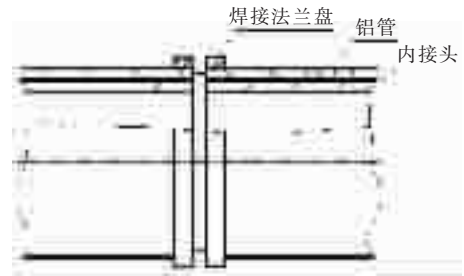
(2) 铝管外接头开槽,如图6所示。

(3) 把焊有法兰盘的2铝管端部对接,放入铝管外接头型腔内,2铝管外接头通过螺栓连接固定,采用双螺母防松,如图7所示。

2.2.3 注意事项

(1) 焊接法兰盘时,注意法兰盘的平整形,焊缝的大小影响外接头的型腔。

(2) 铝管外接头的型腔不宜加工太深,以免影响



(a) 剖面图



(b) 示意图

图5 铝管端部焊法兰盘

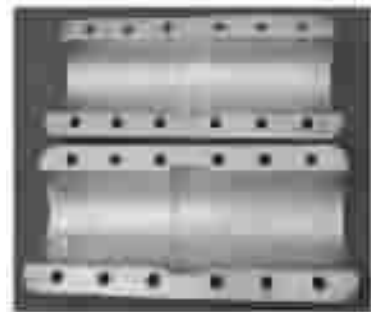


图6 铝管外接头开槽



图7 螺栓连接铝管外接头

强度。

(3) 考虑铝管外接头的导流性,其长度应合适,铝管外接头安装时不能出现与法兰盘抵死现象,保证与铝管紧密贴合。

2.3 轴向拉力试验

使用卧式拉力机对上述2种方案的铝管接头进行轴向拉力试验(试验时,方案1未加铝管外接头,方案2铝管外接头螺栓未拧紧),其试验结果当拉力为25kN时,螺钉、铝管、铝管内接头铝管法兰盘焊接部位均未发生滑移和明显变形,完全满足铝管预制式跳线的轴向受力要求。

3 2种方案比较

(1) 内接头攻丝配螺钉方案。铝管端头不需焊接,但该方案在生产制造过程中,要注意铝管内接头攻丝和铝管打孔的同轴度偏差问题,严重时会造成现场安装不上。此外,现场安装时,螺钉要拧到底,不能让螺钉露出铝管表面。

(2) 铝管端部焊法兰盘方案。不存在孔同轴度偏差问题,可达到一定的握力效果,但工厂焊接量较大,铝管外接头中间需开一槽,导流面积减少。

综合考虑各方面因素,向国家电网直流建设分公司提交了内接头攻丝配螺钉改进方案。根据现场实际情况, ± 800 kV 复奉线铝管式跳线接头滑移处理方案采用直接在接头处的外接头间隔棒盖板上钻孔,钻穿3层(铝管外接头、铝管、内衬管)后加销钉,销钉插入后底部与内衬管下部接触,顶部低于盖板5 mm,并用金属胶密封。而绵苏线等特高压工程则直接采用内接头攻丝配螺钉改进方案,钻孔等工序均在产品供货生产厂家加工完成,现场直接安装即可,减少了施工时高空作业的困难和危险。各施工单位严格按照本文第2.1节所述实施方案、实施步骤和注意事项进行安装,消除了事故隐患,确保了线路安全运行,至今未再发生跳线铝管接头滑移问题。

4 结束语

(1) 跳线铝管在仅采用铝管外接头间隔棒螺栓方式紧固的情况下,当作用于铝管上的轴向分力大于接头位置摩擦力时,易导致两端铝管滑移脱落。

(2) 内接头攻丝配螺钉方案。铝管内接头上攻丝,通过螺钉端部受力,把两端铝管连接起来,增加铝管轴部受力,铝管外接头间隔棒采取双螺母的方式防螺栓

松动。

(3) 铝管端部焊法兰盘方案。2铝管端头各焊一个法兰盘,铝管外接头开槽,把2个法兰盘包入其中,并保持与铝管紧密贴合。

(4) 2种方案各有优缺点,都能有效地抑制铝管接头滑移,保证跳线及整个线路安全稳定运行。其中,内接头攻丝配螺钉方案已成功应用于绵苏线等特高压线路工程中。

参考文献:

- [1] 邹国林,从怀贤,吕泉根.我国架空输电线路金具技术发展及应用[J].江苏电机工程,2012,31(6):82-84.
- [2] 谢梁,谷莉莉,谢雄杰,等.特高压刚性跳线电晕对比试验研究[J].高压电器,2011(1):18-21.
- [3] 孙玉堂,高平.预制式铝管跳线装置的研制与应用[J].电力设备,2005(11):49-52.
- [4] 陈建忠,李勇伟,张小力.750 kV 输电线路耐张塔刚性跳线的研究开发[J].电力建设,2006,27(10):19-22.
- [5] 李锦.软件法提高铝管式刚性跳线的施工工艺[J].江西电力,2012,36(2):23-25.
- [6] 谢梁,谷莉莉,郑怀清,等.特高压交流刚性跳线金具电晕试验[J].高电压技术,2009,35(3):9-11.
- [7] 董吉谔.电力金具手册[M].北京:中国电力出版社,2001:515-517.
- [8] 程应镗.送电线路金具的设计安装试验和应用[M].北京:水利电力出版社,1989:84-95.

作者简介:

陈宁(1963),男,江苏如皋人,高级工程师,从事电力金具研究开发和相关标准起草工作;

陈龙元(1963),男,江苏苏州人,高级工程师,从事电力金具研究开发和设计工作;

高剑凌(1978),女,江苏徐州人,高级工程师,从事电力金具产品设计、研究工作。

Research on Anti-skidding Program of Aluminum Tub Jumper Connector for Ultra High Voltage Transmission Lines

CHEN Ning, CHEN Longyuan, GAO Jianling

(China Energy Engineering Group Nanjing Line Accessories Manufacturer, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to reduce oscillation and hang-down-arc-curve of jumper conductor and to minimum the size of pole and tower, rigid jumper to conduct electric current are widely used for UH voltage transmission lines. Aluminum tub jumper is a kind of rigid jumper. Due to extra axial force on formal designed aluminum tube connector or improper constructions, aluminum tube connector slipping happens sometimes. To solve the problem, two improvement programmers are proposed in this paper. One is to tap and install the screws on inner connectors, and the other one is to weld ring flanges at the end of aluminum tube connector. The construction steps, related matters, test results, and results comparison of the two programmers are provided. The test result shows both of these two programmers can effectively prevent the skidding of aluminum tube connectors and guarantee the entire transmission lines' safety.

Key words: aluminum tube jumper; aluminum tube connector; anti-skidding

660 MW 机组基建过程中对脱硫装置的改进

张荣发

(江苏射阳港发电有限责任公司,江苏盐城 224345)

摘要:国家环保部对脱硫装置取消旁路烟道提出明确的要求,2011版《火电厂大气污染物排放标准》对SO₂排放提出了更高的标准。某电厂660 MW机组在建设过程中,积极采取措施,对相关系统进行配套优化,提高机组的可靠性和脱硫装置的性能保证值,避免机组投产后的后期改造,节约了投资成本,并保证了脱硫设施满足环保执行标准提高的需要。

关键词:燃煤机组;脱硫装置;取消旁路;提升性能;措施

中图分类号:X701.3

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0072-03

某公司三期扩建工程2×660 MW机组于2005年6月通过环境影响评价,当初规划设计时脱硫装置采用带有烟气旁路的石灰石—石膏湿法脱硫系统。在第二台机组建设过程中,国家环保部对脱硫装置取消旁路烟道提出明确的要求并对火电厂大气污染物排放标准进行了较大幅度的提高。若按原有设计进行建设,机组将面临着投产后就需要进行改造的窘境。在工程建设过程中,通过与设计方进行技术沟通,按环保部原则要求取消脱硫烟气旁路系统,在取消旁路烟气系统的同时,对相关系统进行配套优化,提高机组的整体可靠性和脱硫装置脱硫性能的保证值。

1 工程概况

三期工程锅炉选用的是东方锅炉2×660 MW超超临界直流煤粉炉,采用微油点火,平衡通风,脱硝为SCR选择性还原脱硝技术,采用静电除尘技术除尘,脱硫为石灰石—石膏法脱硫工艺,主烟道设有脱硫烟气旁路挡板,2台机组共用一座单管烟囱。脱硫装置配一台增压风机,吸收塔为三层喷淋,采用平板式除雾器。脱硫公用系统在第一台机组(5号机组)建设时同步建成。2台机组土建工程同步施工完毕,引风机基础、主烟道支架、脱硫岛烟道支架已建成。

2 提高脱硫装置的可靠性

脱硫旁路烟道的主要作用是当锅炉点火、低负荷稳燃及电除尘故障或锅炉故障,烟气通过旁路直排烟囱,避免油污、粉煤灰等造成脱硫系统浆液污染中毒以及高温烟气对脱硫系统冲击损坏脱硫设备。或当脱硫系统主要设备故障时,打开旁路烟气挡板,保证主机安全运行。取消旁路后,FGD成为主体机组不可解列的一部分,只要锅炉烟气系统运行,FGD就必须同步运行。因此分析出无旁路脱硫系统的薄弱环节,采取必要的对策措施,提高机组的可靠性。

2.1 实施引增合一

在有烟气旁路的脱硫系统中,引风机与增压风机分开设计,初衷是避免引增合并设计时,脱硫退出运行,引风机没有脱硫岛负载而存在系统适应性差和大马拉小车的问题。该公司烟气系统也是这种典型设计,引风机设计为并列2台,增压风机设计为1台,与引风机串联。取消旁路后,增压风机为单列没有备用,一旦增压风机发生故障,将会造成整套机组的解列。旁路取消后,增压风机变成累赘。因此为提高机组的可靠性,必须取消单列增压风机实施引增合一改造。通过对已投运的第一台机组运行及试验参数分析,结合第二台机组(6号机组)优化情况模拟取值,引风机出口至脱硫至烟囱的阻力取2680 Pa,引风机前压力-4872 Pa不变。锅炉尾部、空预器、静电除尘器可以安全运行,不需要加固,满足《火力发电厂燃煤系统设计计算技术规程》要求。风机参数确定后,与风机厂技术部沟通,做好风机选型优化工作,风机的流量不变,风机叶轮直径缩小,通过提速来提升风机的压头,电机功率及转速相应匹配选型。风机厂核算,已做好的风机和电机基础满足载荷要求,其他接口尺寸基本不变,电源负载也能满足要求。本次在基建过程中引增合一改造,主要是电机增容改造的费用,经测算一年即可收回投资。

2.2 实施烟道优化

增压风机取消前,主烟道与增压风机入口烟道连接后再与吸收塔连接,烟道的走向由最高点下降到最低点然后再爬升到一定标高的过程,系统结构复杂且阻力大。增压风机取消后,脱硫原烟道优化为由主烟道圆滑过渡自上而下进入吸收塔,系统减小阻力并节约烟道建设成本。在此之前,烟道支架已施工完毕,利用现有的烟道支架,核算支架的抗扭抗推载荷,对烟道支架加固和结构改造,调整标高和支撑点,满足新走向烟道的承载。2台机组共用一个烟囱,在一些特殊气候条件或运行工况下,两侧烟气会产生对冲。因此保留FGD净烟道挡板,以保证脱硫系统停会后的安全隔离。

2.3 增设事故喷淋

在取消烟气旁路的情况下,需要考虑系统的可靠性和安全性,如发生锅炉空预器故障时,造成吸收塔入口烟温超过吸收塔内部材料或构件的耐温极限的极端问题发生,事故喷淋对事故烟气进行降温处理,以保证吸收塔的设备安全^[1]。事故喷淋系统的水源按 2 路设计,由除雾水和消防水 2 路水源供给,其中除雾水水源在保安段上,消防水有柴油发电机一体机,保证其水源的可靠性。阀门采用气控装置,接入 DCS 控制,根据烟气温度的变化进行逻辑判断,达到预设的保护温度快速开启事故喷淋阀,起到降温保护的作用。

2.4 提高逻辑控制的可靠性

取消烟气旁路后,只要锅炉运行,脱硫就必须运行,可称为第四大主机。因此脱硫逻辑控制的合理性相当的重要,逻辑控制应做到主次之分。不能因为主要保护缺失,延判误判造成设备损坏。也不能因次要的逻辑控制误跳主要设备,最终传导主设备跳闸发锅炉 MFT 信号。

主保护涉及到脱硫装置设备安全问题,满足以下条件的,脱硫 DCS 向主机 DCS 发脱硫请求锅炉 MFT 信号,请求停主机。(1) 3 台吸收塔浆液循环泵同时停运;(2) FGD 入口原烟气温度 $>160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 与持续 20 min 以上;(3) FGD 入口原烟气温度 $>180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 延时 5 s。其他例如入口 SO_2 浓度超标、吸收塔浆液 pH 值持续小于 4、除雾器压差大以及相邻搅拌器停运等作为报警信号列出,进行人工复核判断,确定操作方向。对于次级保护的判断应慎重考虑,例如吸收塔浆液循环泵涉及的判断比较多,任何一点的条件不满足都可能造成循泵停运,若叠加发生,3 台循泵全停将会发 MFT 信号造成机组全停。因此在设计循泵启停逻辑时,循泵运行中涉及到的阀门信号状态变化、温度异常、液位异常转为报警信号,通过人工排查的方法确定操作方向。

3 提高脱硫装置的性能保证值

2011 版《火力发电厂大气污染物排放标准》对 SO_2 排放浓度限值进一步提高,该公司所在区域范围执行的标准是 200 mg/m^3 。从已投运的第一台机组运行情况来看,按含硫 0.8% 设计煤种,出口排施浓度控制在 100 mg/m^3 以内,若按出口排放浓度按 200 mg/m^3 控制,最高可燃用含硫量 1.2% 左右的煤种。为了控制发电成本,适应燃料市场的变化,企业更愿意采购价格相对较低的高硫煤。同时,随着环保对火力发电厂污染物排放标准的要求越来越高,区域划分要求越来越严。在第二台机组脱硫装置建设时进行性能优化,原则上在不增加投资的情况下,做好第二台脱硫装置处理能力的储备,提高脱硫装置的性能保证值,以适应环保政策

新标准提高的需要。鉴于第一台脱硫达标排放运行的情况,考虑到现场布置空间有限以及造价不增加的原则,吸收塔的塔高及喷淋的层数不变。

3.1 吸收塔喷淋系统优化

吸收塔喷淋层喷嘴的作用是将浆液充分地雾化,使浆液有足够接触面积洗涤烟气中的 SO_2 ,喷嘴的性能对脱硫率有重要影响。原设计中,喷淋层喷嘴采用螺旋式喷嘴,作用原理是随着连续变小的螺旋线体,浆液不断地经螺旋线相切后改变方向呈片状多层喷射成同心轴状锥体。这种喷嘴的特点是覆盖面积较大,需要压头较小。缺点是喷嘴对浆液的品质要求高,雾化颗粒较大,且易缠绕杂质,喷嘴容易失效。

考虑到吸收塔总高及层高维持不变,若要提高 SO_2 脱除率,需要选用适应性更强的脱硫喷嘴。有试验数据表明,喷嘴的间距、喷嘴的压降、喷淋角较大时,气液间湍流增强,传质系数增大,喷淋层传质能力有所提高。空心锥喷嘴具有喷淋角大、压降高、流量小的特点,原理是浆液从切线方向进入喷嘴的旋涡室内,然后从与入口方向成直角的喷孔喷出,形成无数雾滴组成的空心锥喷雾群,雾滴小且均匀,喷嘴的自由畅通直径大,具有自清洗能力。空心锥喷嘴满足选型条件,第二台脱硫吸收塔喷嘴由螺旋式喷嘴改为空心锥喷嘴,经选型设计,增加喷嘴密度,数量由 264 个增加到 576 个,喷嘴的密度增加,烟气的逃逸率减小,有效提高脱硫效率。

3.2 喷淋层配套优化

喷淋层喷嘴选型设计定型后,核算吸收塔循环浆液泵供浆能力和除雾器处理能力。

(1) 原选型喷嘴的单个流量由 $125\text{ m}^3/\text{h}$ 降为 $61.5\text{ m}^3/\text{h}$,雾化压力由 0.3 bar 提高至 0.7 bar,总流量由 $11\ 220\text{ m}^3/\text{h}$ 增加到 $11\ 800\text{ m}^3/\text{h}$,核算吸收塔循环泵的功率分别由 800 kW/900 kW/1000 kW 提增到 1120 kW/1250 kW/1250 kW,每台泵转速提升 10 r/min,循环泵的电机和变速箱换型^[2]。

(2) 屋脊式除雾器设计流速大,经波纹板碰撞下来的雾滴可集中流下,减轻烟气夹带雾滴现象,烟气通路面积亦即除雾面积比水平式面积相应增大,除雾效率高。因此喷淋层改用雾化颗粒相对较细的喷嘴时,需要选用屋脊式除雾器,提高吸收塔除雾性能。

3.3 吸收塔结构局部优化

脱硫吸收塔的塔体直径、吸收及除雾区域高度和氧化浆池容积决定吸收塔的烟气处理能力,对比 5 号脱硫实际处理的各项烟气参数进行流场分析,确定采用优化吸收塔入口烟道的方案,吸收塔总高不变、入口宽度不变、入口中心标高基本不变,高度压缩 1.2 m,吸收塔入口下倾 10° 。优化后,烟气入口至第一层喷

淋层距离增加 0.6 m 和浆池高度提高 0.6 m。烟气入口至喷淋层距离增加, 烟气在吸收塔内的停留时间相对加长, 相应的提高脱硫效率。吸收塔浆液池容积增大后, 增加 SO₂ 吸收、氧化、石膏结晶可靠性, 提高对烟量、SO₂ 浓度增加、石灰石品质变差时运行工况的适应性。同时, 浆液区液位提高, 相应地增加循环泵的静压, 提高循环泵的抗汽蚀能力。吸收塔入口烟气流速提高至 14.7 m/s, 烟气流动的刚性提高, 同时进入吸收塔后下压, 使烟气在吸收塔内的充满度提高, 流场分布更加均匀, 烟气接触面积增加、停留的时间加长, 提升吸收塔内的烟气与浆液的传质效果, 提升脱硫性能。

4 改造后的经济性和可靠性分析

在本次基建中实施的改造, 主要是涉及到设备的调减和增容换型。脱硫增压风机取消、引风机本体及电机增容选型、喷淋层喷嘴换型、吸收塔循环泵电机及变速箱增容换型、烟道支架加固、旁路挡板及原烟气挡板取消、挡板密封风系统取消。整体安装工程量略有减少, 设备费及安装费总体调整基本平衡, 节约了机组投产后的后期改造费用, 控制了机组的投资成本。同时, 实施引增合一改造后, 有效降低机组的厂用电率, 提高机组的经济性指标^[3]。按照机组满负荷等效时间 5500 h 计算, 第二台机组采用引、增合一后比第一台机组节电 12 117 072 kW·h, 按上网电价 0.42 元/(kW·h) 计算, 每年可节约运行费用 508.91 万元, 第一台机组与第二台机组引风系统年耗电量对比如表 1 所示。

表 1 机组烟气系统耗电量对比表

项目名称	5号机组	6号机组
机组负荷/MW	660	660
甲引风机均值/A	399	420
乙引风机均值/A	401	417
增压风机均值/A	302	—
年耗电量/(kW·h)	50 388 370	38 271 658

通过引增合一改造、增设事故喷淋、逻辑控制完善, 有效解决了无旁路系统单列设备可靠性差, 脱硫装置被迫接受高温烟气时对脱硫装置进行主动保护, 提高了机组的可靠性, 保护了脱硫装置的设备。通过吸收塔喷淋系统优化, 脱硫装置的处理能力有了进一步的提升, 提高了脱硫装置的工况适应性。第二台机组脱硫装置经过长周期满负荷考核, 脱硫性能比第一台机组明显提升。在设计煤种下, 脱硫效率稳定在 96% 以上, 出口 SO₂ 排放浓度控制在 100 mg/m³ 以内, 吸收塔入口烟尘浓度约在 50 mg/m³ 左右时, 吸收塔除尘效率在 40% 以上, 通过吸收塔洗涤, 最终烟尘排放浓度降至 30 mg/m³ 以内, 满足最新火力发电厂大气污染物排放限值要求。2 台机组脱硫运行参数对比如表 2 所示。

表 2 2 台机组脱硫运行参数对比表

内容	参数	参数	参数	参数
5 号机组脱硫运行参数摘录				
入口 SO ₂ 浓度/[mg·(m ³) ⁻¹]	2048	1906	1845	1700
出口 SO ₂ 浓度/[mg·(m ³) ⁻¹]	101	75.9	77.2	74.3
脱硫效率/%	95.1	96	95.8	95.6
入口烟尘浓度/[mg·(m ³) ⁻¹]	57.8	58.1	56.3	55.9
出口烟尘浓度/[mg·(m ³) ⁻¹]	32.2	34.1	31.4	29.5
除尘效率/%	44.2	41.3	44.2	47.2
内容	参数	参数	参数	参数
6 号机组脱硫运行参数摘录				
入口 SO ₂ 浓度/[mg·(m ³) ⁻¹]	2670	1979	2368	2402
出口 SO ₂ 浓度/[mg·(m ³) ⁻¹]	59	62	73	64
脱硫效率/%	97.8	96.9	97.0	97.3
入口烟尘浓度/[mg·(m ³) ⁻¹]	52.9	53.2	51.5	49.3
出口烟尘浓度/[mg·(m ³) ⁻¹]	30.8	28.4	26.7	28.8
除尘效率/%	41.0	46.2	47.8	41.0

5 问题及改进

带有旁路系统的脱硫装置, 公用系统设计过于单一也是脱硫装置的薄弱环节。随着大容量机组投入运行, 且公用系统越来越重要。本期工程石灰石供浆系统为 2 套脱硫共用一个石灰石供浆储罐。第一台机组运行期间, 发生过石灰石供浆储罐设备故障, 新鲜的浆液无法及时补充, 导致吸收塔工况迅速恶化, 虽经过地坑系统向吸收塔补浆, 给生产带来很大威胁。第二台机组投产后, 石灰石供浆系统将会临更大的考验。目前生产部门设计事故浆液和石灰石供浆两用箱, 提高事故浆液箱的备用系数, 同时提高供浆系统的可靠性。脱硫系统处理事故烟气时, 若事故喷淋与除雾器进行同时冲洗, 将达到最佳效果。第二台脱硫系统增设事故喷淋时, 事故喷淋水源在第二台除雾水源侧选取, 当第二台脱硫处理事故烟气时, 面临着向事故喷淋和除雾器同时供水, 造成供水流量和扬程不足的问题。2 台脱硫的事故喷淋与 2 台脱硫的除雾冲洗交叉布置, 第一台脱硫事故喷淋接在第二台脱硫除雾冲洗水源上, 可实现事故喷淋与除雾器同步冲洗, 更有利于控制高温烟气。

6 结束语

在基建过程中积极采取措施, 在不增加工程造价的前提下, 取消烟气旁路系统, 优化脱硫装置设计, 实现引增合一改造, 提高脱硫装置的性能和可靠性, 避免机组投产后的后期改造, 节约了投资成本, 提高了机组的健康水平和脱硫装置的性能保证值, 保证了脱硫设施满足环保执行标准提高的需要。

(下转第 78 页)

660 MW 汽轮机组轴瓦温度异常的分析与处理

陈华桂, 秦惠敏, 戴兴干

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211102)

摘要:针对某 660 MW 机组投产后启动出现的 1 号轴瓦温度异常的问题, 机组在运时进行了初步分析, 停运后结合揭瓦检查的情况, 确认了轴承座内存在异物从而导致轴瓦自动调整定位性能差是引起轴瓦温度高的主要原因, 对轴承座内铁锈与润滑油高温碳化物的溯源发现, 2 号机组门杆漏汽在轴封系统中接入点位置不合理, 据此提出了清除异物、刮瓦和改接门杆漏汽等消缺措施。措施实施后, 机组的轴瓦温度保持在正常水平。

关键词:汽轮机; 轴承; 瓦温; 轴封

中图分类号:TK263

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0075-04

某电厂一期工程安装了 2 台 660 MW 燃煤发电机组, 汽机型号为 N660-25/600/600, 是上海汽轮机厂生产的超超临界、一次中间再热、单轴、四缸四排汽、凝汽式汽轮机。发电机型号为 QFSN-660-2, 是上海汽轮发电机厂制造的水—氢—氢冷却三相同步汽轮发电机。汽轮机 4 个转子分别由 5 只径向轴承来支承。除高压转子由 2 个径向轴承支承外, 其余 3 个转子, 即中压转子和 2 个低压转子均只有 1 只径向轴承支承。5 个轴承均采用椭圆瓦, 分别坐落在 5 个轴承座内。2 号轴承座位于高压缸和中压缸之间, 在 2 号轴承座内装有径向推力联合轴承, 整个轴系是以此为死点向两头膨胀。

1 瓦温异常情况

机组轴系支承简图如图 1 所示。

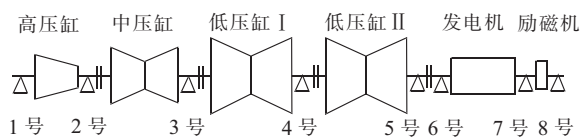


图 1 机组轴系支承简图

该型机组 1 号径向轴承由上半和下半壳体、支撑垫块和定位键等组成。轴承壳体内侧设有巴氏合金, 通过圆锥销和螺栓联结在一起。轴承金属测温元件采用热电偶。轴承安装在球形座上, 这种球面结合, 使得轴瓦能按转子的挠度和倾斜程度自动调整定位, 使轴颈与轴瓦处在较好润滑状态下工作^[1]。

2 号机组自 2012 年 2 月 9 日并网运行以来, 在供油母管润滑油温度维持在 42~46 °C 的情况下, 1 号轴承下瓦 3 个金属温度测点随着机组运行时间的推移逐步升高, 瓦温最高值由最初的 72 °C 上升至 104 °C, 并且下瓦金属温度随着机组负荷的变化出现波动, 升负荷时下瓦金属温度降低, 降负荷时下瓦金

属温度升高, 趋势如图 2 所示。到 3 月下旬, 机组负荷 660 MW 时下瓦温度高点为 77 °C, 机组负荷 330 MW 时下瓦温度高点为 104 °C, 温度变化幅度已达 27 °C, 且每次机组负荷降至 330 MW 运行时, 1 号轴承下瓦大多会出现了一次瓦温飙升后的回落, 如图 3 所示, 后期越来越频繁。与此同时, 1 号轴承处的转轴振动随着机组负荷的变化也有小幅波动, 波动幅度在 15 μm 左右, 机组高负荷时振动大, 低负荷时振动小。3 月 21 日凌晨, 2 号机组降负荷至 330 MW 左右运行时, 1 号轴承下瓦金属温度产生突变, 飙升至 107 °C, 之后又出现温度回落现象, 同时出现振幅波动。按设计文件要求, 该机组轴承金属温度高报警值整定在 107 °C, 保护动作跳闸值设定在 113 °C。下瓦金属温度过高已严重危及到机组的安全稳定运行。

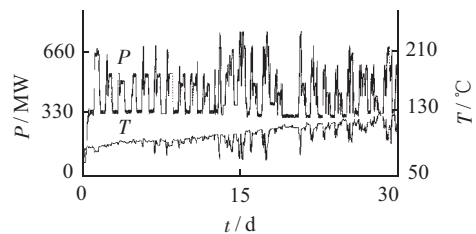


图 2 1 号轴承下瓦温度与负荷趋势

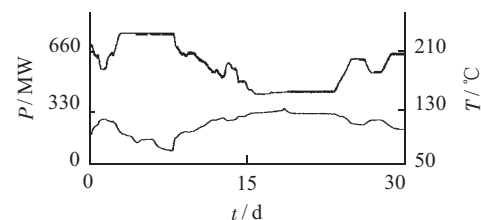


图 3 1 号下瓦温度与机组负荷趋势(24 h)

2 初步分析

机组运行过程中出现轴瓦金属温度异常, 首先应检查测温元件是否损坏、温度测量极性是否装反、温度测量补偿方法或标准是否正确、温度补偿系统是否受到外界严重干扰等, 确认轴承温度异常的真实性。经过检查

核实,温度测量系统正常,轴瓦金属温度测量值反映轴瓦的实际状况。排除了因热工测量系统异常而引起的轴瓦金属温度虚假升高和波动。根据轴承理论,引起椭圆瓦金属温度高的原因可能有轴瓦质量不良、润滑油影响、轴承载荷过大、轴瓦球面自动调整能力差等^[2],下面逐一加以分析。

(1) 轴承钨金浇铸质量不良。若轴承乌金浇铸质量不良,结合不佳,存在脱胎现象。当承受动载荷或温度变化时,结合不牢,脱胎现象将进一步加剧。仅由轴瓦质量不良所引起的轴承金属温度高,其轴瓦温度趋势通常是逐渐上升,而不会出现较大幅度的波动。据此推断轴承乌金浇注质量不良不是造成2号机组1号轴承下瓦金属温度异常的主要原因。

(2) 润滑油的影响。润滑油温度过高或过低、润滑油黏度不合格、油流量过大或过小、回油不畅、润滑油断油、油质不良或油质恶化、润滑油压力过低或过高、油流中或轴承内存在气体或杂物、顶轴油管逆止阀不严油膜压力下降等,都可使轴承温度升高。轴瓦进油温度高使得高温的润滑油不能将轴承运行过程中产生的热量及时带走,引起轴瓦温度升高。但该机组正常运行时供油温度基本稳定在42~46℃,可以排除润滑油温的影响。若润滑油中含有杂质,瓦块易被刮伤,尤其是大容量机组,其轴颈尺寸加粗,轴颈表面线速度增大,同时转子重量大、油膜薄,不仅在润滑油压力偏低时轴颈易与轴瓦间发生摩擦,而且轴颈更易受油中微小颗粒的损伤^[3]。瓦块刮伤会造成轴瓦金属温度高,这在新建成投产的机组中较为常见,但2号机组1号轴承瓦温频繁出现飙升,这种不断出现杂质的可能性不大。润滑油流量的影响,主要是机组运行过程中,由于润滑油供油系统故障,如主油泵故障、油系统泄漏、逆止阀不严密,引起润滑油供油压力降低,各轴承进油流量大幅减少。出现这一情况往往是机组所有轴瓦温度均会有一定幅度升高。而不仅仅是某一轴瓦温度升高。因润滑油异常引起的轴承温度高也可以排除。

(3) 轴承载荷的影响。转子中心偏差、轴承座温度和扬度变化、轴振动过大、转子受到向下的力过大、转速超过允许值、轴封漏汽引起轴承座标高发生变化等,都可能产生轴承载荷分配不均,引起轴承载荷过大^[4],轴瓦温度升高。尤其是受汽轮机进汽蒸汽附加力的影响,在机组负荷频繁变动时,这一温度变化往往呈现出一定的规律性。2号机组1号轴承下瓦温度与负荷负相关、上瓦温度与负荷正相关,与该厂同型号的1号机组1号轴瓦温度变化呈现出相同的规律性,尽管该型号汽轮机是两侧对称进汽,但在实际运行中,汽流对转子的附加作用力是随负荷变化的,高负荷时汽流对转子向下附加作用力减小、低负荷时向下附加作用力增

大。高负荷时转轴中心上浮,轴承负载减轻,下瓦温度降低、上瓦温度升高、工频振幅变大;低负荷时转轴中心下移,轴承负载变重,下瓦温度升高、上瓦温度降低、工频振幅变小。但同型号的1号机组负荷变化时,1号瓦温变化约有5℃。据此判断轴承载荷变化不是造成2号机组1号轴承下瓦金属温度异常的主要原因。

(4) 轴承球面自动调整能力。轴承间隙过小或过大、轴承紧力过大、轴承安装偏斜、轴承底座垫片增加的过多、轴承与轴颈扬度不一致,轴承瓦块与轴承座球面之间有杂质等,都可能使轴承球面自动调整定位能力变差。轴承载荷不能均布在整个瓦面,造成局部载荷过高,油膜过薄,从而引起轴瓦金属温度高,情况严重时甚至会出现瓦块局部磨损。瓦块自位能力变差后,需要更大的作用力瓦块才能自位。瓦温飙升,表明该过程油膜急剧变薄,同时油膜内压力也在急剧升高。情况严重时瓦块和轴颈甚至需要碰摩擦接触后才能自动调整定位,位置调整后瓦块便工作正常,瓦温下降。每次接触都会有轻微磨损,最早开始磨损的部位在外端,逐步向瓦内磨损。这一过程中,瓦温测点对应的油膜厚度越来越薄,瓦温监测到的温度数值越来越高。随着机组负荷的变化,轴瓦在相同的负荷变化条件下对应的温度变化也随之变大。这与2号机组1号轴承表现出的异常状况基本一致,由此推断轴承球面自动调整能力差是引发1号轴承金属温度异常的主要因素。

(5) 轴心位置的变化。2号机组运行一个多月以来,2号轴瓦间隙电压基本无变化。1号和2号轴瓦间隙电压具体变化数值如表1所示。

表1 1号和2号轴瓦间隙电压值对比 V

时间	1X	1Y	2X	2Y
2012-2-10 04:49	-9.5	-9.3	-8.1	-9.7
2012-3-23 01:28	-10.9	-8.9	-8.1	-9.8

对比1号轴承1X及1Y的间隙电压发现,自2012年2月10日以来,1号轴承转轴中心位置累计向下移动130 μm,向左移动160 μm,从调速器端向发电机端看,转子顺时针旋转,转轴中心正常工作位置在轴瓦中心的左下方^[2],忽略油膜厚度的变化,轴心是不可能再向左下移动,但实际轴心轨迹表明,2号机组从2月9日并网发电以来,转轴中心逐步在向左下方移动,亦即下瓦块在逐步退让,据此推断,1瓦很可能因瓦块自位能力不足而逐步磨损。

3 停运检查分析

3.1 停运检查

2012年4月7日,2号机组停运后,对1号轴承进行揭瓦检查,1号轴承下瓦乌金磨损情况如图4所示。



图4 1号轴承下瓦

从瓦胎看内侧 1/4 胎面有汽蚀点,说明这部分胎面承载过轻,没正常参与工作;另 3/4 胎面有磨痕,说明这部份承载过重。1 号轴瓦下瓦磨损状态与停机前的分析推测相吻合。从外观看瓦块属于轻微受损,不存在脱胎现象。擦洗后的 1 号轴承瓦枕情况如图 5 所示。



图5 1号轴承瓦枕

轴承座内存在大量铁锈,瓦枕上除铁锈外,还有很多黑色异物,瓦块与瓦枕之间运动阻力增加而卡涩,瓦块自位能力的丧失后瓦块表面无法保持与轴颈表面平行,出现瓦块外侧与轴颈表面间隙小、内侧与轴颈表面间隙大,导致油膜厚度轴向分布不均匀,瓦块有效的承载面积下降,瓦块外侧承载过重、油膜过薄,发生轴颈与瓦块单侧碰摩,瓦温飙升,轴颈推动瓦块重新自动调整定位后瓦温又有所下降;并且单侧磨损由外向内发展,逐步接近测温点,瓦温高点逐步升高、且瓦温波动大;随着磨损的加重,轴心逐步在向左下方移动。因此,瓦块与瓦枕之间的铁锈、黑色异物是导致 1 号轴瓦温度异常的主要原因。

经取样分析黑色异物的主要成份是碳,确认为高温状态下润滑油的碳化物,而大量铁锈表明机组运行时轴承座内充满了水汽。轴承座内造成异物的高温、铁锈的水汽因素共同指向轴封漏汽。实际运行中,2 号机组轴封压力明显偏大,高压缸前轴封存在大量蒸汽外漏(同型号的 1 号机组正常),为了防止轴封蒸汽进入轴承座,还在轴封与轴承座之间加装了临时挡汽板。

3.2 门杆漏汽接入点

由于新装机组的轴封安装间隙是严格控制的,同时机组运行过程中 2 号机组 1 号瓦未出现过机械碰摩现象,因此轴封漏汽排除了轴封间隙过大的因素。实地

勘察轴封系统发现,1 号、2 号机组门杆漏汽接入轴封母管的位置有所不同。如图 6 所示,1 号机组门杆漏汽接在轴封供汽母管末端的轴封溢流阀前,即图中 A 点位置。而 2 号机组门杆漏汽接在中低压缸轴封母管的喷水减温器前,即图中 B 点位置。

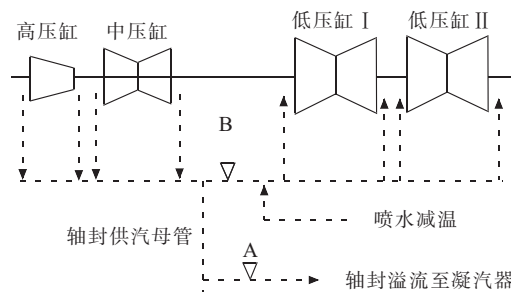


图6 门杆漏汽接入点示意图

正常运行中,机组的门杆漏汽源于主蒸汽和再热蒸汽,高中压轴封汽的主要来源是主蒸汽和再热蒸汽做功后的乏汽。因此门杆漏汽的焓明显高于高中压轴封汽,这就造成了门杆漏汽接入轴封系统 A、B 点的差异。门杆漏汽接入 A 点时流向凝汽器,基本没有影响原轴封系统的运行;而接入 B 点时流向低压轴封,由于门杆漏汽温度很高,为了满足低压轴封温度需求,必须增加大量轴封减温水,而这些喷水汽化后导致轴封系统内蒸汽质量明显增加,即便是在轴封溢流调节阀开度很大时,轴封压力仍然很高,门杆漏汽接入点不同对轴封运行参数的影响如表 2 所示。

表2 550 MW 时 1 号和 2 号机组轴封运行参数对比

机号	轴封母管压力/kPa	高压段轴封温度/℃	轴封溢流阀位/%	轴封减温水阀位/%
1	30	328	15	19
2	72	495	62	41

过高的轴封压力引起高压缸前轴封蒸汽大量外漏,高温蒸汽进入 1 号轴承座后,造成钢铁锈蚀、润滑油碳化,在瓦枕上产生大量异物。因此 2 号机组门杆漏汽接入点有必要参照 1 号机组的位置改接以降低轴封母管压力,保证高压缸前轴封蒸汽不外漏,为 1 号轴承提供良好的运行环境。

4 处理及效果

结合前面的分析和揭瓦检查情况,采取如下措施:1 号轴承下轴瓦属于轻微受损,修刮后应该可用,但要保持在轴承设计间隙要求之内;若修刮后不能保持在设计间隙要求之内,则需更换新瓦^[5]。同时对轴颈采用油石、金相砂纸表面打磨,提高轴颈表面光洁度。彻底清理瓦枕、瓦块球面上的异物。安装时轴瓦紧力按下限调整,保证瓦枕、瓦块球面结合后能活动自如^[6]。参照 1 号机组门杆漏汽接入位置对 2 号机组进行改接,消

除高压缸轴封蒸汽外漏。在瓦面修刮、清理异物、门杆漏汽改接后,机组重新起动。起动后的各阶段,轴瓦金属温度均在正常范围内。机组满负荷 660 MW 运行,2 号机组轴封系统参数数值与 1 号机组接近,高压缸前轴封已无外漏现象,1 号轴瓦的温度稳定。机组负荷在 300~660 MW 调整时润滑油供油温度自动控制在 45 °C,1 号轴承下轴瓦金属温度在 78~83 °C 波动,2 号机组运行一年来,未再出现轴瓦温度偏高或温度波动幅度过大的现象。

5 结束语

汽轮机轴承金属温度异常升高,往往是乌金磨损、碾压的前兆,在发现轴瓦温度异常现象后,应在加强运行监视,尽快寻找机会停机检查处理,避免发生汽轮机烧瓦弯轴的恶性事件。引起轴瓦金属温度高的原因很多,实践中需依据轴承原理并结合现场情况具体分析后确认原因,采取相应对策,降低轴承金属温度,确保汽轮机组的长期安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 吴仕芳. 新一代超超临界 660 MW 汽轮机的设计开发[J]. 华东电力, 2010, 38(11): 1775-1780.
- [2] 施维新. 汽轮发电机组振动与事故[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999: 491-494.
- [3] 武建军, 朱晓东, 付建国, 等. 汽轮机停机过程中轴承金属温度异常升高的分析与处理[J]. 江苏电机工程, 2007, 26(4): 17-19.
- [4] 戴其兵, 傅行军. 大型汽轮发电机组标高对轴承载荷的影响[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(2): 64-66.
- [5] 中国动力工程学会. 发电设备技术手册汽机篇[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 52-53.
- [6] 李守伦, 张清宇. 汽轮机轴瓦温度高的原因分析及处理[J]. 热力发电, 2003, 32(3): 62-63.

作者简介:

陈华桂(1978), 男, 江苏姜堰人, 高级工程师, 从事汽轮机性能优化和故障诊断工作;
秦惠敏(1967), 男, 江苏溧阳人, 高级工程师, 从事汽轮机技术监督和故障诊断工作;
戴兴干(1977), 男, 江苏兴化人, 助理工程师, 从事汽轮机及热力系统的性能试验工作。

Analysis and Solutions of Metal Temperature Anomalies in 660 MW Steam Turbine Unit

CHEN Huagui, QIN Huimin, DAI Xinggan

(Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Metal temperature anomalies occurred on NO. 1 bearing bush of one 660 MW unit during the start-up processes. Preliminary analysis, carried out during operation periods and combined with the bearing bush inspection after the unit was shut down, confirmed that the poor positioning performance of the bearing bush caused by impurity was the main reason for the high temperature. Through tracing the lubricating oil and the rust within the bearing pedestal, it was found that the location where the valve lever leakage steam of Unit 2 entered into the gland seal system was unreasonable. Defect elimination measures such as removing the foreign bodies, scraping the bush, and grafting the valve stem leakage pipeline were proposed. After implementing these measures, unit bearing temperature can be maintained at normal levels.

Key words: steam turbine; bearing; bush metal temperature; shaft seal

(上接第 74 页)

参考文献:

- [1] 边东升. 600 MW 机组湿法脱硫旁路烟道封堵及应对措施[J]. 企业技术开发, 2018(8): 119-120.
- [2] 田宏伟. 某 1025 t/h 锅炉引风机和增压风机合一技术改造[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5): 71-73.

作者简介:

张荣发(1965), 男, 江苏盐城人, 工程师, 从事火力发电厂基建管理工作。

Improvement of Desulphurization System of 660 MW Power Unit During Construction Process

ZHANG Rongfa

(Jiangsu Sheyangang Power Generation Co. Ltd., Yancheng 224345, China)

Abstract: The State Environment Protection Department has made clear requirement for removing the bypass flue in the desulfurization systems. The 2011 version of Emission Standard of Air Pollutants for Thermal Power plants has also imposed higher demand on the sulfur dioxide emissions. In the construction process of one 600 MW power unit, active measures were adopted to optimize the related systems and improve the reliability of generation units. This can ensure that no more large reform is needed in future. The investment cost is reduced, the adopted desulphurization system, however, can meet higher demand.

Key words: coal-fired power unit; desulphurization equipment; removing bypass system; performance improvement; measures

电厂开式循环水系统水藻堵塞的原因及解决措施

于强¹, 彭辉²

(1. 国电科学技术研究院, 江苏南京 210031; 2. 江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211002)

摘要:采用海水开式循环的电厂循环水系统容易受到水质的影响, 尤其是海水水藻的污染。水藻不仅影响凝汽器的换热效率, 还可能堵塞循环水系统甚至损坏系统中的相关设备。文中介绍了某电厂水藻堵塞循环水旋转滤网后采用的若干解决方法, 如增加保护逻辑, 增设拦污浮筒, 增加二次滤网连续冲洗程序, 积极联系地方水利部门等措施。通过这些措施, 大大减少了水藻带来的影响, 并顺利完成了满负荷试运行。

关键词:循环水系统; 水藻; 应对策略

中图分类号: TK228

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)02-0079-02

火力发电厂地处东海滩涂, 每年的水草繁殖期一直是循环水系统最大的薄弱点。新上的2台660 MW超超临界机组, 由于取水的严格要求及建设费用的限制, 循环水系统依然沿用前期的开式循环方式。机组分部试运期间恰逢东海海藻灾害^[1], 循环水系统无法正常运行, 成为调试的拦路虎, 经多方考证首次在电厂大面积采用浮动拦污排, 并通过试验修改设备保护定值, 修改设备运行方式等措施成功地解决了难题, 确保了机组的顺利移交。

1 循环水系统概述

某火力发电厂建设2台660 MW超超临界机组, 该工程机组冷却用水采用海水直流供水方式, 取水构筑物均位于裁弯河北岸。由于地理原因, 河水北岸流速明显大于南岸, 无论是下游海藻还是上游水草流经河道时均贴近电厂取水口的北岸。电厂采用D3024×14钢管将循环水送至主厂房供机组冷却使用, 排水由钢筋混凝土双孔排水沟道(2×3.0 m×3.0 m)排入大海。系统主要设备包括循环水泵、循泵出口液控蝶阀、旋转滤网、旋转滤网冲洗系统、拦污栅及清污机, 还包括循环水管道伸缩节、取排水构筑物、水管沟、凝汽器二次滤网等。循环水系统构成如图1所示, 主要设备参数如表1至表3所示。

2 现象及问题分析

2.1 现象介绍

循环水受水草影响最初反映在凝汽器入口的二次滤网上, 电动滤网运行不长时间即发生卡涩现象, 电机过流保护工作, 通过对滤网解体发现滤网转动部分与静止部分卡涩, 经分析设备未充分考虑到滤网压差增大后对动静间隙的影响, 设备上增大动静间隙, 增加电机的功率, 系统上增加反冲洗回水管径, 特别

收稿日期: 2013-10-17; 修回日期: 2013-12-13

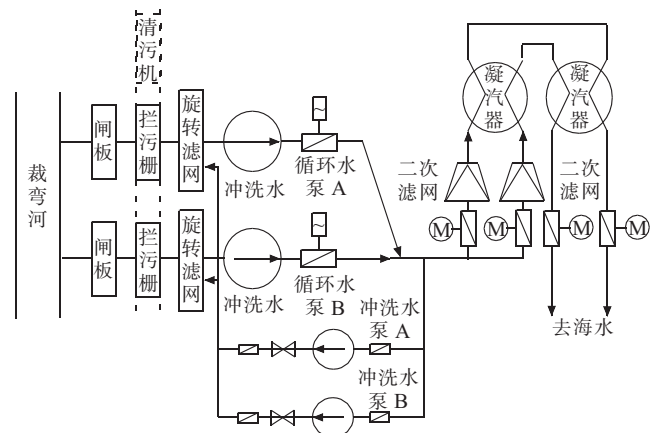


图1 循环水系统简易图

表1 循环水泵及电机主要参数

循环水泵	参数
型号	88LKXA-14
扬程/m	16.1
流量/(m ³ ·h ⁻¹)	37 440

表2 框架式侧面进水旋转滤网主要参数

侧面进水旋转滤网	参数
型号	XKC-3500
设计过网流速/(m·s ⁻¹)	0.8
网孔净尺寸/mm	6.43×6.43
滤网宽度/mm	3500

表3 凝汽器二次滤网主要参数

凝汽器二次滤网	参数
型号	EDF-2200
滤芯网孔直径/mm	5
反冲洗时间间隔/h	0~99(可调)
反冲洗压差控制值/kPa	6~12(可调)
反冲洗时间/min	0~10(可调)

是修改程控方式,在水草多的6月至9月,增加反冲洗的频率和滤网转动速度,基本得到了控制。冲管结束后已是6月底,循环水系统开始由于循环水旋转滤网经常故障频繁跳闸,就地检查后发现系水藻堵塞旋转滤网,且有破损现象,停止循环水泵处理。隔离系统并做好安全措施后,拉出旋转滤网发现几乎全部滤网网板被水藻堵塞,4块滤网钢架损坏变形,并有22块网板被撕破,系统被迫停运。

2.2 DCS历史曲线中查询原因

每当落潮至最低点左右时,旋转滤网前后液位差就会增大,差值最大可达0.6 m,如图2所示。

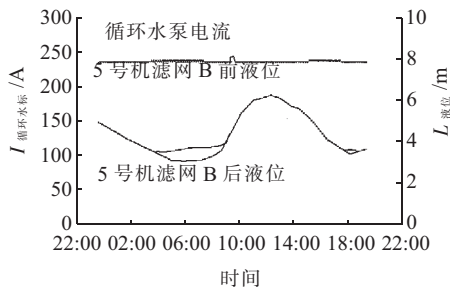


图2 旋转滤网未堵塞情况

当旋转滤网前后液位差大于1.6 m左右时就会造成旋转滤网及循环水泵的停运,如图3所示。

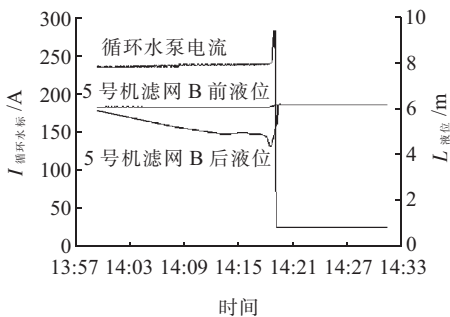


图3 旋转滤网堵塞情况

2.3 水量及水质变化方面查询原因

当时正处于梅雨季节,且事故发生前连续几天下雨,大量雨水通过裁弯河汇入海水。经项目工程部联系相关单位,得知当天在裁弯河上游的射阳河曾开闸放水。

2.4 综合分析

综合分析,其原因为事故前一段时间雨量较大,上游射阳河开闸放水中夹杂着过多水藻涌入裁弯河,被循环水泵吸在旋转滤网上。再加上当时旋转滤网在慢速档运行,附着在旋转滤网上的水藻来不及被冲洗水冲走,造成滤网前后水位差大,滤网后无水,循环水泵空转跳闸。

3 问题解决方法及措施

为保护旋转滤网,考虑到旋转滤网跳闸前水位变化情况(如图2、图3所示),增加了“滤网前后液位差

大于1.4 m时,联跳旋转滤网”逻辑。但此逻辑中采用的液位信号保护为单点保护,同时考虑到循环水的重要性及对整台机组的影响,在DCS操作屏增设“投/切”按钮,在水位信号不良或者其他特殊情况的时候,可由运行人员将该保护切除,防止造成不必要的停机及损坏。为保护循环水泵,防止旋转滤网跳闸或损坏后水藻及其他杂物进入循环水泵及管道,增加了“旋转滤网故障跳闸,联跳对应循环水泵”逻辑,同样在DCS操作屏增设“投/切”按钮。在裁弯河循环水泵吸入口增设了一圈拦污浮筒,浮筒下面悬挂有1.7 m高度的钢滤网,用于平时粗滤水中杂质及水藻。并定期派人清理滤网,将清理出的水藻及垃圾集中处理。为防止旋转滤网损坏时,水藻及其他杂质进入凝汽器,更换了二次滤网的电机,并在原来只能间隔时间冲洗的二次滤网基础上修改了逻辑,增加了连续冲洗程序,提高了凝汽器运行的安全性^[2]。积极联系地方水利部门,上游射阳河开闸放水,运行人员将及时采用旋转滤网高速运转方式。

通过以上若干措施及方法,该机组的循环水系统在调试阶段运行正常,并顺利通过了168 h满负荷运行考核,正常运行的情况如图4所示。

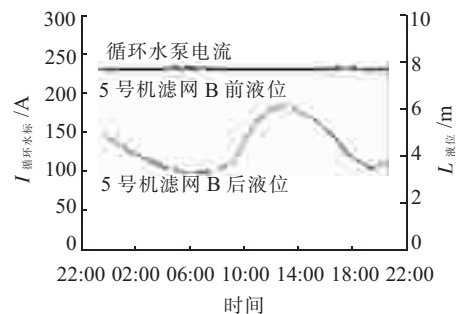


图4 正常运行的情况

4 结束语

(1) 建议厂方对拦污栅的间隙进行核算及改装,在不影响循环水额定进水流量的前提下减小间隙,以能将水藻进一步拦截;至于清污方面,可采用齿距更小或刷式清污等性能更优的清污机。

(2) 建议厂方在合适的时机改造冲洗水系统,增加一路生活水水源供水,或在满足冲洗水泵入口必需汽蚀余量的情况改至无压海水取水,以备在循环水泵停运时对旋转滤网进行冲洗。

参考文献:

- [1] 季国义. 藻类在电厂循环冷却水中的危害[J]. 水处理技术, 1987(4):255-256.
- [2] 王又武,张亮. 影响凝汽器真空的因素分析及对策[J]. 华中电力, 2002(3):59-63.

交流特高压输电线路运行维护现状综述

高嵩¹, 刘洋¹, 路永玲¹, 崔艳东²

(1.江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103;2.江苏省电力公司省检修分公司,江苏南京 211102)

摘要:结合我国首条 1000 kV 交流特高压线路的运行情况,对特高压输电线路的运行维护特点进行了归纳、分析和总结,并阐述了特高压输电线路反事故措施及关键技术的研究应用现状,为今后交流特高压线路的运维工作提供借鉴经验,文中数据可为进一步开展特高压线路运行维护技术研究提供参考,保障特高压电网安全可靠运行。

关键词:交流特高压;输电线路;运行维护;应用现状

中图分类号:TM723

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0081-04

交流特高压输电技术是解决我国电力负荷和能源分布严重不平衡,实现以清洁能源替代传统高污染能源的重要方法。根据国家电网公司特高压建设规划,到“十二五”末年,将会建成覆盖全国的特高压电网^[1]。按照此规划内容,除已投运的晋东南—荆门和刚建成的皖南—浙北特高压工程外,未来数年将有多条交流特高压线路有望开工建设,如锡盟—南京、靖边—潍坊、雅安—皖南、蒙西—长沙以及淮南—上海等工程^[2]。随着交流特高压线路投运数量的不断增多,其运行维护面临的问题将逐渐突显。因此运行维护部门有必要详细梳理我国现有特高压输电线路运维现状,及时总结其中的先进运行经验和关键技术,对今后特高压输电线路的安全可靠运行、提高运行维护检修工作效率和创新运行管理模式等具有重要指导意义。

1 交流特高压线路的总体特点

(1) 杆塔结构。为确保足够的电气间隙和间距要求,特高压输电线路设计杆塔更高、线路最低对地距离高达 26 m,绝缘子串长度一般超过 10 m,考虑一定的弧垂,水平排列的特高压线路杆塔的呼称高一般超过 50 m,三角排列的特高压线路杆塔呼称高超过 60 m,同杆并架线路杆塔一般超过 80 m。其二是杆塔强度更大。塔的结构主要受使用应力和塔高决定。由于特高压导线更重,导线高度又比较高,塔的使用应力超过 500 kV 杆塔 2 倍,高度约为 2 倍,因此交流特高压线路杆塔主材和基础的强度为常规 500 kV 线路杆塔的 4 倍以上。三是杆塔根开更大。为优化设计,节省塔材,特高压线路适当放大了杆塔根开,一般杆塔根开约为 15×15 m 水平。

(2) 导线结构。交流特高压线路导线为八分裂结构,两边相导线间水平距离在 40 m 以上,两地线间水平距离在 30 m 以上,三角排列杆塔的导线中相与边

相的垂直距离在 20 m 以上,子导线间采用阻尼间隔棒。

(3) 杆塔基础。特高压线路杆塔基础作用力比 500 kV 杆塔高 4 至 5 倍,所经地区地质、地貌条件较为复杂,可分为山区、丘陵、泥沼、河网地区等,与此相应的基础型式也具有多样化,如灌注式基础、挖孔桩原状土基础、岩石锚桩类基础、复合式微型桩基础等,相应也带来基础结构复杂、运行维护困难等特点。

(4) 绝缘子类型及组串方式。目前运行的特高压线路上所用绝缘子按形状和材质分主要有盘形瓷质绝缘子、盘形钢化玻璃绝缘子和棒形复合绝缘子 3 类。通常耐张串采用瓷质绝缘子和玻璃绝缘子组串,直线串采用复合绝缘子。组串型式有 2~4 联的 I 型串并联和 V 型双串;布置方式有垂直布置、水平布置和 V 串布置等。从绝缘子使用量上,同一铁塔上瓷或玻璃绝缘子的数量比超高压线路约多 8 倍。

(5) 特高压金具。由于特高压线路导线分裂数多、导线截面大,金具承受的荷载也随之增大,因此特高压线路金具具有结构复杂、尺寸大、工艺质量和机械强度要求高等特点。

(6) 运行可靠性要求高。1000 kV 交流特高压输电线路输送功率约为 500 kV 线路的 4 至 5 倍,一旦线路出现故障,对我国国民经济将产生巨大的影响。因此线路在可靠性方面有着很高的要求。

2 交流特高压线路的运行维护特点

2.1 环境特点

特高压线路由于输送距离大,线路长,大多贯穿南北或东西,沿线经过地区的地形、地貌复杂,气候多变,气象条件恶劣,许多地区为事故多发区(如山西、河南、湖北、湖南、江西等地均属于我国输电线路冰害和舞动的易发区,华北为污闪事故区等);加之途经的高海拔山区具有明显的立体气候特征,微地形、微气象条件复杂,在一个小范围内,由于地形变化,气候会有很大差异,从而给特高压线路部分区段带来复杂的运行工况^[3]。

2.2 故障特点

(1) 雷击故障。由于特高压线路的本身绝缘水平很高,雷击避雷线或塔顶而发生反击闪络的可能性较低^[4],但特高压输电线路杆塔高度高,导线上工作电压幅值很大,比较容易从导线上产生向上先导,相当于导线向上伸出的导电棒,从而引起避雷线屏蔽性能变差。使得雷云绕过避雷线,直击导线的概率将显著增加。理论分析和运行情况均表明,特高压输电线路雷击跳闸的主要原因是避雷线屏蔽失效,雷电绕击导线造成的。

(2) 覆冰故障。特高压线路大多经过重冰区,其导线截面较大,导线分裂数较多,覆冰重量也会较大,因此覆冰超载事故、不均匀覆冰及不同期脱冰事故容易发生,特别是脱冰引起较大幅度的跳跃对特高压线路的影响更为严重。

(3) 污闪故障。特高压线路电压等级高,且线路路径长,途经不同类型污秽地区,加之近年来,我国大气环境日趋恶劣,大范围雾霾天气时有发生,使得特高压线路防污闪问题更加突出;对于重污区、冰区重叠地带,还有可能在融冰过程中引发冰闪。因此,特高压线路绝缘子的防污闪特性提出了更高的可靠性要求。

(4) 振动故障。特高压线路具有档距大、挂点高、分裂数多、导线截面大等特点,给线路的防振、防舞带来了新的问题。虽然特高压线路分裂导线安装具有良好耗能减振作用阻尼间隔棒,但从高可靠性要求出发,对特高压线路仍需进行防振设计,当线路通过风速为6~25 m/s,覆冰厚度在3~25 mm,气温为-6~0℃,地形为平坦开阔地、江河湖面等雨淞地区时需进行防舞设计。

(5) 风偏故障。特高压线路的杆塔高度和超长的绝缘子串,使得线路发生风偏事故的可能性增加,特别是重污区的“Ⅰ”型合成绝缘子因串长、重量轻,在微气象区的影响下,发生风偏故障的可能性较大,因此在线路途经局地强风带地区时,应进行防风偏设计并采取防风偏措施。

2.3 检修特点

(1) 对检修工器具要求高。特高压架空线、杆塔、绝缘子、金具等结构尺寸大、载荷大^[5],使得现有一般电压等级线路所用的检修工具在尺寸、承载能力、安全措施等方面无法胜任其检修作业要求,需要开发研制新的检修工器具或对现有检修工具进行结构改造。

(2) 绝缘子更换难度大。特高压线路中,直线塔大多数采用V型合成绝缘子串,而且串型多、串身长,使得绝缘子串(片)的更换难度较一般电压等级线路要困难许多。解决此类问题需要研制安全、高效、可靠的垂直荷载转移方案和相应的配套工器具,保证水平荷载转移过程中不出现断线的情况;同时还须研制适用于

V型悬垂串与耐张串长度的承力检修工器具,制订合理有效的作业顺序方案等。

(3) 带电作业作为首选检修方式。为保证供电的可靠性和连续性,特高压线路的检修方式应以带电作业为主,研究试验安全有效的特高压带电作业方法(作业方式、操作规程、确定安全距离、有效绝缘长度等),制定科学、合理的安全保障措施以及研制性能优异、稳定的带电作业工具和防护用具是保证带电作业安全的重要内容。

3 交流特高压线路反事故措施应用现状

(1) 防雷措施。前苏联的交流特高压输电线路在1985年至1994年运行期间,雷击跳闸高达16次,占其总跳闸次数的84%^[6],并且主要原因是雷绕击于少数转角杆塔的导线上,因此运行特高压线路防雷的重点为防绕击。采用良好的避雷线屏蔽设计,是提高特高压输电线路耐雷性能的主要措施。同时还应该考虑到特高压输电线路导线上工作电压对避雷线屏蔽的影响。对于山区,因地形影响(山坡、峡谷),避雷线的保护可能需要取负保护角。在晋东南—荆门特高压线路综合考虑线路走廊及耐雷水平,优化塔型设计,采用负保护角,并考虑加装第三根地线的防雷设计;对地面倾斜角小于20°的平原路段,采用地线保护角小于4°猫头塔;对地面倾斜角大于20°山区,采用地线保护角小于-2°酒杯塔,使2根地线的距离不超过中相导线距离地线的4倍,其雷击跳闸率可控制在0.1次/(100 km·年)内。荆南Ⅰ线自2009年1月6日投运,未采取其他防雷保护措施,至今运行良好。

(2) 防污闪措施。目前特高压线路防污闪事故措施主要是从设计上通过增加绝缘子串长,提高泄漏距离来提高耐污闪能力^[7];在污秽严重地区采用大吨位、高强度的合成绝缘子;对空挂或运行绝缘子进行饱和盐密测量,及时制定或修订污区图、根据实际情况使用防污闪涂料、开展带电清扫技术的研究与应用;开发在线监测系统,实时掌握线路的污秽情况,及时安排状态检修等。

(3) 防微风振动措施。目前特高压线路主要采用阻尼间隔棒,防振锤等措施,但特高压线路导线平均挂点更高,从确保安全的角度出发,我国特高压线路的防振参照了超高压线路的方式进行了防振设计。此外,适用于交流特高压线路微风振动监测装置也已研制成功,能够保证装置在特高压电压等级下不产生电晕,现已投入应用。

(5) 防舞动措施。中国电力科学研究院研究建立了适用于我国特高压输电线路的防舞措施。通过研究分裂导线覆冰扭转特性及扭转振动与横向振动的耦合

问题,建立了分裂导线失谐防舞机理,设计了失谐间隔棒防舞装置;基于减轻导线覆冰不均匀性原则研制了线夹回转式间隔棒;基于舞动稳定性机理设计了双摆防舞者;并建立了相应防舞器的防舞设计方法^[8]。清华大学在建立了3自由度多档导线模型的基础上,研究了特高压输电线路覆冰厚度、脱冰量、档距大小、耐张段中档数、导线悬挂点高差、不均匀脱冰等因素对导线脱冰跳跃的影响,为特高压输电线路导线排列、铁塔选型、档距配置等提供了理论依据。

(5) 防覆冰措施。在特高压输电线路的设计中,根据线路所经过地区的特点进行了冰区的划分;对无法避免线路经过重冰区的情况下,根据导线脱冰跳跃影响进行了导线的布置方式、杆塔选型、档距配置等研究和设计。在现有防除冰技术研究的基础上加大了除冰技术、融冰方法的研究与试验,并进行在线监测系统的开发与研制。由国家电网公司提出的直流输电系统线路融冰方法,即可在不停电的情况下实现主动融冰的功能;采用这种融冰方法,可节约投资近7亿元,并有效提高了输电系统的运行可靠性。

(6) 防风偏措施。针对特高压线路绝缘子串长,易发生风偏故障的特点,目前主要从设计上对事故多发地区的线路空气间隙适当增加裕度;在可能引发强风的微地形地区,合理采用“V”型串;对运行中易产生风偏故障区域的绝缘子下方加装重锤;研制特高压直流线路塔上气象参数和风偏参数的在线监测系统,适时监测塔上风速及风向、雨量、导线风偏运行轨迹、风偏角、导线与杆塔间的风偏间隙等措施。

4 运行维护技术的研究应用现状

(1) 直升机巡线技术应用。通过在直升机上使用可见光、红外、紫外成像等巡视设备,可完成红外测温、紫外探测及可见光检查等工作,并能够判断通道、铁塔、金具、导地线、绝缘子等缺陷;判断接头过热、异常电晕、导地线内部损伤和零劣质绝缘子等缺陷等。直升机巡线技术具有迅速、快捷、效率高(每天可以完成大约80~100基塔的双侧检查任务)、质量好、不受地域影响、能快速发现线路缺陷并且安全性好等优点,目前已成功应用于超高压线路运行维护,其在特高压线路运行维护中具有广阔的应用前景。

(2) 在线监测技术应用。在线监测技术是特高压线路实施状态检修的前提条件,已经研究开发的架空线路在线监测技术和在线监测系统众多,可有效应用于特高压线路上的主要有气象参数监测、微风振动监测、温度监测、覆冰监测、绝缘子污秽监测、杆塔倾斜监测及防盗、防鸟监测系统等。目前在晋东南—荆门特高压线路上共安装微风振动、舞动、杆塔倾斜、气象和风

偏、视频、覆冰及绝缘子盐密共7类87套在线监测装置,结合特高压航测数据,可提供基于三维可视化技术的在线监测显示和控制平台。据统计,截止至2012年6月,1000 kV长南I线在线系统监测装置共获取监测数据已超过70万条,通过监控数据与运行及设计标准比对,未发现运行异常^[9]。

(3) 红外测温和紫外成像技术应用。近年来,红外精细化测温技术在晋东南—荆门特高压线路上得到大量应用,根据长南I线(山西段)全线路耐张塔红外测温结果,系统功率升至467.64 MW~4800 MW,与1 m外导线的温度相比,接续金具温升在0~5℃,耐张塔跳线与管母接头温升在0~6℃;与环境温度相比,导线温升在0~3℃,屏蔽环温升在0~4℃,引流线管母温升在0~3℃,绝缘子温升在0~4℃,均可满足运行要求。

由于紫外成像能够迅速、形象、直观地显示出线路运行的真实状态信息,较明确地给出设备中放电位置及放电程度,能方便快捷地查找出电晕放电部件。通过对长南I线(山西段)全线229基铁塔的主要电气部位进行了8次电晕放电和电弧紫外成像检测工作,共获得数据1345组,发现放电异常数据15组,经登塔检查和对数据进行分析均为均压环安装位置不同心同轴造成的对绝缘子放电。另外,在检测过程中,紫外成像的观测距离、污秽程度、气压与温度、海拔、仪器的增益都会影响到测量计数结果,还需在今后的运行中不断积累检测经验。

(4) 带电作业技术应用。在带电作业已有研究成果基础上,国网电力科学研究院2008年结合晋南荆试验示范工程进行了1:1真型试验,在国内外首次系统地开展了交流1000 kV输电线路带电作业研究,针对系统过电压水平、海拔高度的不同,试验研究确定了各工况及作业位置的最小安全距离、最小组合间隙、绝缘工具最小有效绝缘长度等。自主研究生产的绝缘工具、带电作业屏蔽服等均可以满足交流1000 kV输电线路带电作业的要求。湖北超高压输变电公司为适应特高压带电作业的需要,成功研制了获得国家自主知识产权的大吨位瓷瓶卡具、大吨位六分裂导线提线器、液压油泵丝杆、分体式绝缘拉杆等9项检修及带电作业的工器具。

5 结束语

目前我国在特高压线路运行维护技术的理论研究及实践方面已经取得了卓有成效的成果和应用,但由于特高压线路运行维护方面的经验仍相对有限,要求各属地特高压输电线路运行单位在日常维护中通过积累大量现场资料进行分析整理,结合线路所处环境制

定相应的运行维护规范,为保证特高压输电线路的安全可靠运行提供现场运行经验。随着特高压线路投运数量的增加和运行维护工作的全面开展,运行单位应加强与科研机构、大专院校合作,在大量采集现场运行维护数据的基础上进一步开展特高压线路运行维护技术的理论研究和试验,改进和完善现有运行维护方法,为我国特高压线路的安全可靠运行提供保障。

参考文献:

- [1] 蔡敏. 特高压输电线路运行维护技术的研究现状分析[J]. 湖北电力, 2011, 35(6): 1-6.
- [2] 敬海兵. 1000 kV 交流特高压输电线路防雷问题研究[D]. 成都: 西华大学, 2012.
- [3] 周大华, 陈早明, 周王新, 等. 1000 kV 交流特高压试验示范线路运行分析[J]. 湖北电力, 2009(S1): 73-74.
- [4] 李茂华. 1000 kV 级特高压输电杆塔结构可靠性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [5] 舒印彪, 胡毅. 交流特高压输电线路关键技术的研究及应用[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(36): 1-6.
- [6] 吴启进, 鲍同锋, 王朝海, 等. 1000 kV 交流特高压输电线路检修工器具研制[J]. 湖北电力, 2009(33): 70-72.
- [7] 易辉, 熊幼京. 1000 kV 交流特高压输电线路运行特性分析[J]. 电网技术, 2006, 30(15): 1-6.
- [8] 朱宽军, 刘彬, 刘超群, 等. 特高压输电线路防舞动研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(34): 12-19.
- [9] 陈海波, 王成, 李俊峰, 等. 特高压输电线路在线监测技术的应用[J]. 电网技术, 2009, 33(10): 55-58.

作者简介:

高嵩(1985),男,黑龙江牡丹江人,工程师,从事输电技术研究和状态评价工作;

刘洋(1982),男,江西景德镇人,工程师,从事高电压技术研究和管理工作;

路永玲(1988),女,甘肃白银人,硕士研究生,从事输电技术研究工作;

崔艳东(1979),男,河北衡水人,工程师,从事输电专业运行维护检修管理工作。

A Review on Operation and Maintenance of UHV AC Transmission Line

GAO Son¹, LIU Yang¹, LU Yongling¹, CUI Yandong²

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing, 211103, China;

2. Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: The operation and maintenance of UHV AC transmission line in China is reviewed in this paper. Based on the practical experience of China's first 1000 kV AC UHV transmission line, the operation characteristics of UHV transmission line are summarized. The research on and application of anti-accident measures and key technology for UHV transmission lines are also introduced. The data provided in this paper can be taken as a reference for further study of operation and maintenance technology, so as to guarantee UHV power grid's safety.

Key words: AC UHV; transmission line; operation and maintenance; present application situation

(上接第 80 页)

作者简介:

于强(1985),男,河北昌黎人,助理工程师,从事汽轮机燃机调试

及性能优化工作;

彭辉(1967),男,江苏南通人,高级工程师,从事电厂汽轮机调速系统研究及新建机组调试工作。

Analysis on Algae-blockage in Open Circulating Water Systems of Power Units and Solution Measures

YU Qiang¹, PENG Hui²

(1. Guodian Electrical Power Research Institute, Nanjing 210031, China;

2. Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Power plant circulating water systems adopting sea water cooling can be easily affected by the quality of water, especially the algae in the sea water. Algae not only influences the efficiency of condenser's heat transfer, but also can block or even break the associated gear of the circulating water systems. This paper introduces some methods aiming to solve the blocking of rotary filtering net affected by algae in some power plants, such as increasing protection logic, installing trash floats, adding secondary filter continuous flushing program, and actively contacting the local water conservancy departments and so on. With these measures, the effects of the algae were effectively suppressed, and the plant successfully completed the full load test.

Key words: circulating water system; algae; solution measures