



第四届长三角科技论坛

The Forth Yangtze River Delta Science & Technology Forum

长三角电力科技分论坛 论文集

浙江省电力学会

上海市电机工程学会

江苏省电机工程学会



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



第四届长三角科技论坛

The Forth Yangtze River Delta Science & Technology Forum

长三角电力科技分论坛 论文集

浙江省电力学会
上海市电机工程学会
江苏省电机工程学会

作者简介

行发，通出书通出式由国中

(in .moo .qpo .www \ \ ,qini 1100001 号 9 例例三三三北)

图印工图印感丰九北

曹强海牛平海强春

编印为一带京北月01 平 7005 编一带月01 平 7005

平于 533 求印 01 本 71 31 米 0031×米 088

55 00 37 付发

管 理 者



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本论文集收录了“长三角电力科技分论坛”近年来的优秀论文篇，内容涉及电力系统规划和设计，电力系统运行、保护和控制，特高压技术，清洁能源，热能技术，电力系统综合自动化，电力市场和营销，电能质量，综合管理等专业。每篇论文均具有一定的技术水平和实用价值，可供相关专业人员查阅和参考。

图书在版编目(CIP)数据

长三角电力科技分论坛论文集/浙江省电力学会
编. —北京: 中国电力出版社, 2007
ISBN 978-7-5083-6210-6

I. 长… II. 浙… III. 电力工业-科学技术-文集
IV. TM-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 162297 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 10 月第一版 2007 年 10 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 16 印张 552 千字

定价 78.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



浙江省电力学会、上海市电机工程学会、江苏省电机工程学会长期以来,努力实践服务电力科技事业的宗旨,积极开展高水平的大型学术活动,组织撰写学术论文、搭建学术交流平台、致力于普及、提高广大专业技术人员的理论水平。取得了可喜的成绩。

当前,电力资源的清洁、高效、安全开发利用,电网、电源的快速发展正成为电力技术发展的又一亮点。特高压电网建设和运行、全国大电网、超超临界发电、实现节能减排、发展循环经济、建设和谐电力等又对我们提出了新的课题和要求。进行学术交流,共促和谐发展,这是我们举办《长三角电力科技分论坛》以及编写此论文集的目的所在。

本论文集所收录的论文,是近年来广大电力科技工作者在新形势下对电力科技发展的思索和探讨,涵盖了广泛的学科范围,包括电力系统、高压技术、锅炉、汽机、化学与环保和信息安全等内容。

最后,向所有投稿的论文作者,致以由衷的敬意。学会这片园地需要大家不断耕耘,使之结出更加丰硕的成果。

编者

二〇〇七年十一月



前言

电 气

调度 SCADA 系统在检修中的运用	张永强 (3)
调度自动化系统与监控系统结合网络架构探讨	陈 强 曹军华 (6)
浙江 500kV 电网短路电流控制措施展望	毛雪雁 (9)
浅析燃机在电网黑启动中的地位	俞立凡 方 炜 (12)
基于 GIS 分区和开闭所布点的城市 10kV 配网规划方法	张 鹰 周敬嵩 徐惠强 (15)
离子膜烧碱整流装置直流传感器异常现象的判断和处理	陈跃充 姚 剑 (17)
基于 GIS 的城市配电网规划与网络优化系统的应用	张肖青 王 珂 王天华 (19)
基于改进遗传算法的电力系统无功优化	陈韶昱 江冰清 (24)
110kV 复杂地区电网的“第二母联”问题及继电保护整定对策研究	刘 军 王春芸 (27)
220kV 三相 V/V 接线一体化牵引变压器的研究及应用	张 弘 宁康红 虞海泓 (30)
基于数学形态学的串补输电线路行波法测距研究	朱 亮 何 冰 卢 刚 许蓬莱 (33)
电缆隧道热场分析	杨文威 孟 毓 夏 聪 胡金强 (37)
论 35kV 630mm ² 单芯电缆在市南地区的应用	颜旭昊 (43)
引入日负荷典型曲线的变电站无功补偿分析系统	周小波 张俊敏 汤晓伟 许 敏 (47)
变电站监控系统数据通信实时监听及分析	叶海明 (51)
地县电能量采集系统建设构想	戚 军 (55)
变电站自动化系统串口通信对时网络的时延分析	王金岩 (57)
数字化变电站核心技术及在江苏的应用	李 澄 严行健 王 澄 (60)
基于多种人工智能方法的变压器诊断专家系统	周瞻昕 顾临峰 董 明 严 璋 (63)
新型低功率互感器技术及其应用	施祖铭 (67)
推广节能的新型非晶合金变压器难点及其对策	严行健 (70)
节能型新产品——磁控式可变电抗器	李顺宗 李振宇 王志永 (73)
变电站微机五防系统在隔离开关检修中的应用	王铭民 (76)
屋顶光伏并网发电系统接入系统方案的探索	宋志毅 (79)
采用单相配电技术降低线损	姚 铿 郭建伟 金文龙 韩宝家 (83)
500kV 江都变电所改造工程技术分析	陈 强 (86)
基于高速通讯的快速保护型配电自动化模式的研究	周天雷 邹永正 夏燕东 (90)
电流互感器电气性能的现场自动测试与分析	程晓东 黄晓明 (93)
不同盐密、灰密下 XP-160 绝缘子串交流闪络特性研究	梅冰笑 叶自强 (97)
分流式立体过滤在线净油装置在有载调压变压器的应用	沈一平 何 勇 (101)
新技术在 SF ₆ 断路器检漏、探伤处理中的综合应用	陈超杰 (104)
电气制动在乌溪江电厂的应用实践	周新有 (106)

热 机

1000MW 超超临界燃煤机组锅炉爆管原因分析与措施	莫耀伟 孔庆甫 (113)
----------------------------------	---------------

超临界锅炉低负荷下水冷壁壁温超温特性试验研究	王达峰 陆 莹 姚文伟 刘舟平 王光华	(116)
煤粉锅炉富氧点火技术研究 ... 杨立隆 李文华 赵 阳 陈永辉 翁善勇 杨建国 凌柏林 赵 虹		(119)
锅炉运行节能降耗工作的管理与实践	贺国胜	(122)
600MW 汽轮机一次调频油管路振动研究与应用	张良军 杨丰年 俞基安	(125)
百万千瓦级 SIEMENS 汽轮机安装探讨	祁民强 俞杏梅	(129)
9FA 重型燃气轮发电机组若干重大缺陷原因分析与处理措施	杨 帆 孔庆甫	(132)
浅析圆顶阀之充气式柔性密封结构	黄 华 吕浩艮	(136)
GE 燃机一次调频试验研究	项 谨	(138)
西门子 PROFI 机组协调和温度控制在宁海电厂的应用	吴永存	(141)
浙江省电厂 DCS 系统接地现状分析及建议	陈 波 丁永君 陈小强	(145)
215MW 机组 DCS 故障分析及维护措施	崔振武	(148)
长兴#3 炉等离子点火系统及与新华 DCS 接口设计	许洪升	(150)
顺控逻辑设计及典型保护问题的处理	王革新	(153)
国产 600MW 机组控制逻辑优化	杜劲松 段 伟	(156)
识别转动设备轴承金属温度异常的真伪, 正确进行轴承故障诊断	倪 定	(159)

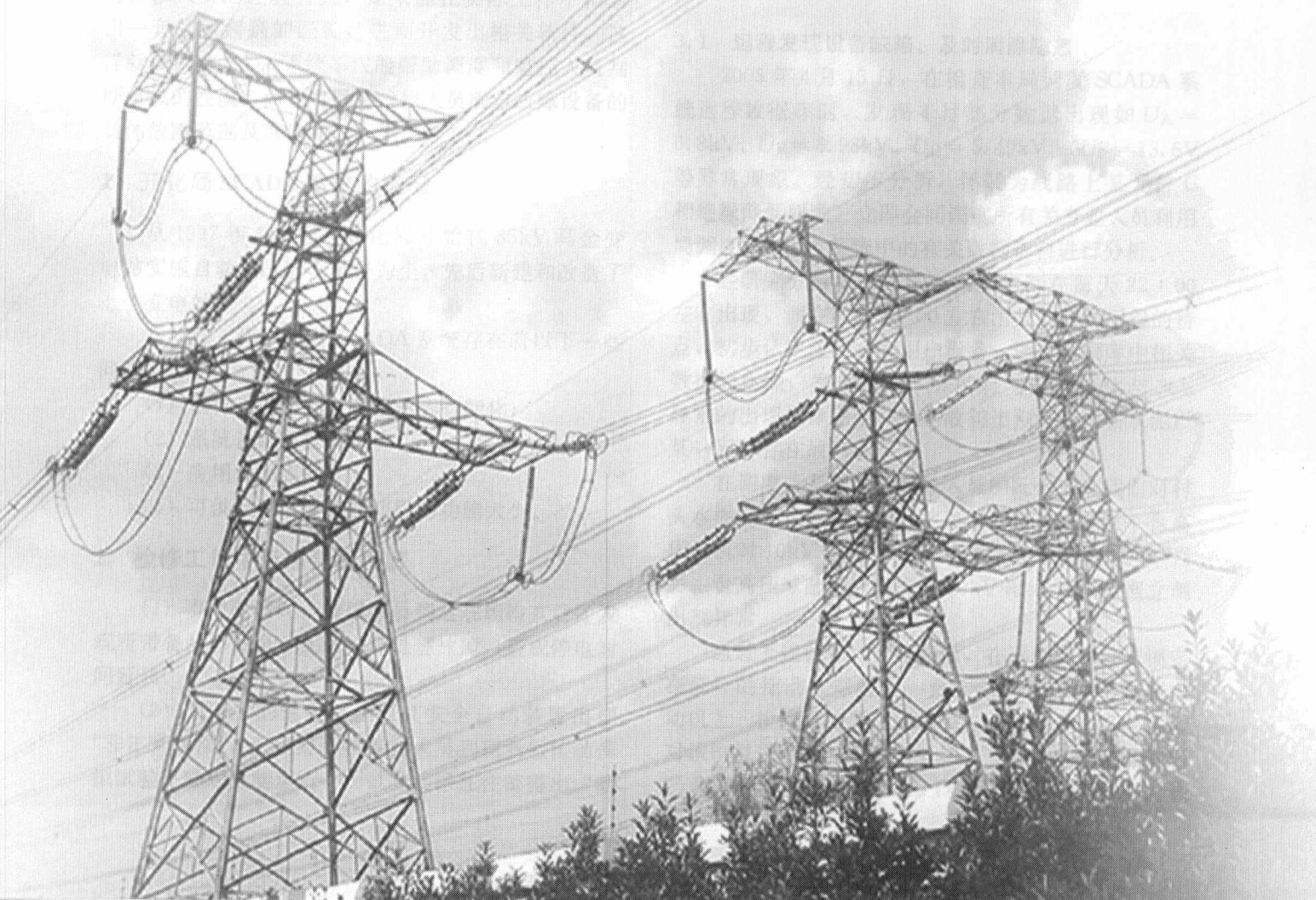
综 合

宁海电厂脱硫装置防腐蚀分析	陈尚兵 张孝程 姜广森 舒国铭	(165)
500kV 静安(世博)输变电站工程大规模超深基坑开挖环境控制与保护技术	许建华	(168)
火电厂 SCR 法脱硝及控制系统阐述	郑安明	(171)
烟气脱硝装置及对锅炉的影响分析	李志坚	(175)
温州电力信息安全风险及对策浅析	谢 宾	(179)
P3 项目管理软件实施难点剖析及解决方案	严永禾 卢海文	(182)
基于 AS/400 的 Domino 应用系统数据备份解决方案之探讨	孔晓昀 陈正奎	(184)
浅析火电厂施工电源的规范配置	汪卫斌 李阳春	(187)
软土地基真空联合堆载预压加固试验研究	毛志兴 杨雷霞 安春秀 黄达余 周勇发	(189)
ASTM A572 GR. 65 高强钢在 220kV 江东变电所钢构架应用的焊接技术研究	戴刚平 王淑红	(192)
220kV 吴泾大跨越工程动力飞行伞展放导引绳的优化施工	张永隆 吴庆新	(195)
发展带电作业, 为建设国际一流电力企业作新贡献	王之珮 俞汝川	(198)
乌溪江电厂的机组状态监测与故障诊断系统	王建义 姜方红	(201)
浙江电力 SDH 网络同步时钟优化	黄红兵	(205)
电力调度数据网通过光传输网承载问题的分析	程 平	(208)
黄浦小区数字化电网 DSCADA 系统的实现	冯 璇	(210)
投资管理系统的建设与实践	石华军 陶家铜 朱 筠 毛丽娜 范敏杰	(214)
浙江省电力基建企业“走出去”研究	蒋城颖 叶丽洁	(218)
浙江电网“三公”调度的实践和面临的挑战	李继红 张 锋 郭 锋	(221)
石膏砌块—脱硫石膏综合利用的新方向	林闽城 杨立隆	(225)
加强电力企业专家队伍建设的实践和探索	祝银仙	(228)
县级供电企业大信息化规划战略的实践应用	孔晓峰 叶代亮	(231)
用电形势缓和状态下的电力需求侧管理	徐文红	(234)
着力技术创新——精心培育和提升企业核心竞争力	徐志瑛	(237)
浙江电力消费市场分析 & 电力营销策略研究	俞诗建 蔡忠法	(239)
电力市场下的嘉电	王章生	(242)
浙江电网 2006 年夏季用电负荷实测分析	卜佩征	(245)
学会在创新型省份建设中的角色	张 红	(248)

长三角电力科技分论坛

论文集

电 气



调度 SCADA 系统在检修中的运用

张永强

(开化供电局, 浙江 衢州 324300)

摘 要: 对数据采集与监视控制 (SCADA) 系统进行了介绍, 并就在检修工作中如何运用该系统以达到远程诊断故障、缩短检修时间、节省人力、物力列举了相应的例子, 并对要使 SCADA 系统更方便检修人员的使用应如何改进提出了自己的设想。

关键词: SCADA 系统; 检修; 运用

0 前言

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 系统, 即数据采集与监视控制系统, 是变电所无人值班所必须的一个系统。目前 SCADA 系统的服务对象主要是调度值班、变电监控人员, 所开发的软件也是针对他们的需要而开发的, 可供检修人员使用的只是一些零星的数据及信息, 需要检修人员通过对数据的整合、分析才能初步判定故障的大致范围, 然后准备相关的抢修材料。因此, 对 SCADA 系统的数据进行分析并作出故障的判断就与检修人员的经验有关, 如果能在实际工作中摸索出一套故障判别的经验, 进而开发出相关软件, 这样就使得 SCADA 系统不仅能帮助调度和监控人员判断事故的性质, 而且可以为检修人员确定故障设备的具体故障范围及部位。

1 开化局 SCADA 系统的概况

从 1997 年 4 月起, 开化局开始在 35kV 马金变电站实施自动化改造, 至今为止, 先后新建和改造了七个变电站。

在检修工作中利用 SCADA 系统存在着以下一些问题:

- (1) 系统功能不强, 远未达到智能化;
- (2) 系统基础数据欠准确;
- (3) 应用水平不高;
- (4) 可供检修人员直接使用的功能太少。

2 检修工作中所遇到的困惑

(1) 事故抢修时, 检修人员到达现场检查后才发现所带备品不齐全, 无法立即处理故障, 造成停电时间延长。

(2) 变电所的继电保护及其安全自动装置出现“非正常动作”, 必须经保护专业人员到现场做传动模拟试验正确后方能运行, 而试验结果往往都得出“动

作正确”的结论, 既浪费人力、运力, 还总会造成不必要的停电。

是否有方法使得检修人员在出现场前就能大致确定故障性质、故障部位和判断保护的动作正确性呢? 如果有, 那么出现场前所准备的备品就将较为完备, 部分“可疑保护动作”完全可以在远程定性。经过几年的摸索, 笔者利用现有的调度 SCADA 系统中的部分功能, 基本解决了上述难题, 经实践证明是行之有效的方法。

3 SCADA 系统及其 Web 技术在检修工作中的运用实例

3.1 远程发现设备缺陷、及时消除隐患

2003 年 4 月 15 日, 在检查本局调度 SCADA 系统远程数据库时, 发现 4 月部分数据出现如 $U_A = 6.8\text{kV}$ 、 $U_B = 6.98\text{kV}$ 、 $U_C = 5.49\text{kV}$ 、 $3U_0 = 13.6\text{V}$ 等异常现象。经初步分析, 怀疑为线路上某元件 C 相绝缘降低所致。立即会同调度所有关专业人员利用局调度 SCADA 系统中的有关数据资料进行分析。

经研究分析, 根据该现象基本都在每天 22:00 左右出现, 而在次日 8:00 左右消失的避峰用谷的特点, 初步认定应为一大用户设备。通过数据库中相关数据的比照, 发现村泥 192 的有功数据变化与 $3U_0$ 异常的出现规律完全一致, 故初步判定为村头水泥厂某一元件存在故障。

在调度所及营销科有关人员的配合下, 我们对村头水泥厂相关设备进行开、停操作, 在运转第一台高压电机时 10kV 母线 $3U_0$ 没有发生变化 (图略), 当另一台高压球磨机启动同时 10kV 母线 $3U_0$ 数据立刻出现异常。

通过上述试验, 经分析后, 在远程将故障点锁定在该厂的拖动此球磨机一台 380kW 的 10kV 高压电动机上。检修班与调度所相关专业人员立即赶赴现场对该电机进行了测试, 试验结果表明该电机绝缘电阻严重超标: 只有 $0.274\text{M}\Omega$ (规程规定 $\geq 300\text{M}\Omega$)。该

电机经返厂吊芯检查,发现C相高压绕组匝间短路引发对地绝缘降低,如再继续运行将随时可能发生重大设备事故。

3.2 利用 SCADA 系统中的数据为事故分析提供有力的佐证,以判断重合闸装置的动作及证明事故分析的正确性

3.2.1 判断重合闸装置的动作正确性

开化电网径流小水电站多,装机容量分布不均,且基本T接在10kV农村配电线路上,线路负荷轻。部分线路在故障跳闸后由于小水电自保,会造成重合闸检无压不成而装置不动作。

常规的继电器式保护,在设备保持原有运行状态不变的情况下,当小水电甩负荷后重合闸装置能将开关自动合上。而目前本系统内变电所基本采用南瑞的RCS-9000系列的10kV线路保护。由于该系列的线路保护设定为保护动作后10s整组复归,因此出现小水电自保现象时如果小水电负荷在10s内没有甩掉就会造成重合闸装置不动作,即所谓“拒动”,而实际上这种“拒动”对RCS-9000系列线路保护原理来说应是正确动作。

以前为了判别上述装置动作正确与否,必须由专业人员带着保护校验仪到现场,通过对保护装置做模拟试验才能得出结论。自从利用SCADA系统及Web技术判别故障以来,保护专职人员只需在办公室打开电脑,查找出Web网页中SCADA系统所记录的保护动作的时间与在相应线路故障前5min内的有功功率(进行比较,如果保护动作前有功是送进的则可判断装置为正确动作,反之则可能是装置原因造成的拒动)。

3.2.2 为综合性事故原因的分析提供佐证

以“4.6”马金变故障解列动作情况为例(分析报告略)

检修、调度、操作相关人员到现场对连接片(压板)及接线进行了检查,一切正常。调看SCADA系统信息,金达140线路电压1:05分时为12kV(显示值已溢出,实际值应大于此值),而此前金达140的有功是倒送的。由此分析可能是由于金达140线小水电自保持所引起。

现场检查后确认,巨远公司的电压频率异常切机装置已损坏。据电站负责人说:“该装置是此次雷击时损坏的。”但其上一熔丝座内并无熔芯,据该站负责人说此熔芯已取掉多日,可以确定该装置不能出口跳闸。也就等于没有电压频率异常切机功能。电站的电压异常只能由各机组自带的电压保护来跳闸,而该电压保护整定值为相电压323V,换算至10kV侧线电压(以变压器0.4/10.5)应为14.685kV。故当金达140开关跳闸后,发电机飞车持续了近5min,直到电压达到整定值才分闸,造成自保。

3.3 用于初步判断故障设备的故障范围,出现场前就能做到心中有数并尽可能地带齐所需的备品、备件

××变电所一台断路器(开关)遥控不能合闸(该变电所为老站改造的变电所,用的还是常规保护和控制回路),接到抢修命令后,我们首先打开SCADA系统查看该断路器遥合瞬间所采集到的信息,发现什么遥信变位也没有,只在第一次合断路器时有一个“熔丝监视”信号动死在那里,这样就可初步判定出故障应该在电气回路部分,根据控制回路原理图分析有:因为如果是机构问题则每次合闸,只有机构动作“熔丝监视”信号动作、恢复各一次,而没有断路器位置变化,就是说明断路器辅助接点未动,这也就说明机构还未启动,只能是合闸回路的问题了:①控制熔丝熔断;②辅助接点接触不好;③合闸熔丝熔断;④合闸接触器线圈断线。由于熔丝现场都有,所以就只带了一个合闸接触器线圈,到现场一查,果然是合闸接触器线圈断线。如果要区分断路器拒动是自动化部分设备(三次设备)的问题还是一、二次设备的问题,只要看分、合闸指令发出后有没有出现“熔监动作”信号,如果“熔监动作”信号动作则说明遥控继电器已动作,遥控通道及回路是好的,则应该是检修部门的事,反之则是自动化的事。只要其中一个班组赶赴现场即可。

自从采用SCADA系统来查找、判断故障以来,每次在接到事故抢修命令后,我们总是查看SCADA系统中的相关数据,通过分析、判断初步确定故障性质、故障范围、可能损坏的部件,以便准备好相应的备品备件后再赶往事发现场,减少了往返取备品的可能。如果是保护或安全自动装置的可疑动作,通过分析,判断出动作是否正确,我们再决定是否需要去现场、可否立即送电,不仅节省了大量的人力、物力,减少了不必要的停电,为用户提供了更为“可靠的能源”、更为“可信的服务”,减少了因不必要的停电而给用户造成的经济损失。

根据笔者近年来的工作经验,SCADA系统在检修中的应用范围归纳如下:

- (1) 远程判别继电保护及自动装置动作的正确与否;
- (2) 远程判定一次辅助设备故障部位及可能损坏的元件;
- (3) 为综合性事故原因的查找和分析提供有力佐证,以达到事故追忆的功能;
- (4) 可远程检查现场个别电流互感器有无开路(通过检查母线功率是否平衡或有无“TA报警”信号);
- (5) 可远程判别电压互感器高低压熔丝以及断路器合闸、控制熔丝熔断(指在没有装设熔断指示器的条件下,通过间接信号来判别)等。

而实际上 SCADA 系统在检修中的应用范围很广,任何故障发生时 SCADA 实时系统都会得到很多的遥信、遥测量,每一个量都包含了一个故障信息,事故抢修出现场前先查看这些信息,对故障设备的尽快恢复送电总是有利的。

4 今后工作中应如何更好地应用 SCADA 系统

4.1 加大投入,系统升级

企业应高起点规划设计,把原来功能单一的系统升级,找有实力、专业的开发商合作开发新的功能强大的电力调度 SCADA 系统。并借助已有的供电数据库,综合多学科专业人员开发调度决策系统和各项供电指标的分析系统,增强系统功能。选择可靠的控制设备,完善远程控制系统,保障供电,增强对突发事件的反应能力。

4.2 重视人才,培养人才

4.3 针对检修人员使用所应做的改进

(1) 加强对 SCADA 系统应用的培训,了解其实时采集数据、信息的意义。

(2) 联系厂家开发相关软件:使故障设备故障前后 1min 内的遥信、遥测及 SOE 事件能分厂站、分电气联结,分别在一个界面上显示出来,通过对采集的

异常数据进行分析,能够给出可能的故障范围,以利于检修人员能迅速分析并判断出故障所在。

(3) 充分调动运行人员、继保专业人员、检修人员的工作积极性和责任心,提高运行维护管理、增强自动化系统的安全措施,保证其所采集到实时数据信息的正确性。

5 结束语

自近几年利用 SCADA 系统查找故障以来,我们的工作率有了很大的提高,电网的安全运行也得到了更有力的保障,同时也因此得到了局里的充分重视和好评,但是我们只是利用了 SCADA 系统中的很少一部分功能,今后该如何更好的利用现有的现代化技术来为我们的工作服务,这就需要我们不断的总结、实践、再总结、再实践,充分发挥大家的主观能动性、创造性,在工作中不断完善,改进工作方法,与时俱进,更好地提高工作效率!

参考文献

- [1] 谈竹奎. SCADA 系统简介.
- [2] 刘锋. 电网建设改造与安全运行实用手册. 北京: 中国建材工业出版社, 1999.

作者简介

张永强 (1972—), 男, 浙江开化, 工程师, 开化供电局检修班班长, 从事变电设备检修维护工作 (继电保护) 13 年。

调度自动化系统与监控系统结合网络架构探讨

陈 强，曹军华

(江阴供电公司，江阴市 214400)

摘 要：调度自动化系统与监控系统对电网生产的重要性日益突出，两者系统的侧重点及应用对象也更加专业，文中论述了两者在共享系统资源的情况下，如何合理规划网架结构，注重核心环节，充分发挥服务器软硬件功能，确保两者的功能独立，提高性能，提出了行之有效的方案。

关键词：调度自动化系统；监控系统；网络架构；探讨

0 引言

根据目前各级调度和变电运行单位实际生产工作需要，并从节约资金、共享资源的角度出发，采用调度自动化系统与监控系统合一。但是随着电网不断壮大，电网运行数据的需求日益提高，监控系统的特点与调度自动化系统特点的相对独立性越来越明显，功能要求也越来越专业。为确保在一套系统基础上，使两者有机结合，并能达到功能独立，系统运行高效，专业人员生产运行人员和研究开发人员必须予以思考和讨论。

1 系统特点

监控系统和调度自动化系统共同之处：通过变电所自动化系统“四遥”功能，监视和控制电网实时运行，要求数据的准确性、实时性和执行响应快速性。

监控系统和调度自动化系统的相对不同之处：监控系统侧重遥信信息的丰富性和更高的实时性，重点关注的是具体变电所内的全盘监视，追求变电所发生遥信变位后的告警机制（准确判断以及合理的提醒机制）。而调度自动化系统侧重遥测信息的准确性和可靠性以及部分涉及电网运行状态的重要遥信信息，重点关注的是基于变电所及以上的电网结构状态运行的大概念，追求电网运行方式的可靠性，线路潮流分布的合理性和经济性，以及对发生电网事故后，运行方式变化的快速和正确。

2 网络结构的重要性

根据系统合成并要实现相互功能独立，并从提高数据处理效率的前提出发，网络结构合理性，涉及变电所上送的实时数据的流转、分发和两者系统处理数据量的多少，是确保系统可靠高效运行的基础。

针对有普遍性的大型县调机构（以江阴供电公司调度机构为例），容量 128 个厂站，实际接入超 100 个厂站，数据服务器 2 台，前置服务器 2 台，监控工作站 4 台，调度工作站 4 台，维护工作站 2 台，高级

应用软件 2 台工作站，WEB 发布服务器 1 台，其对电网运行和监控功能独立需求更为突出，作详细论述，系统结构见图 1（主要示意服务器、工作站和网络结构）。

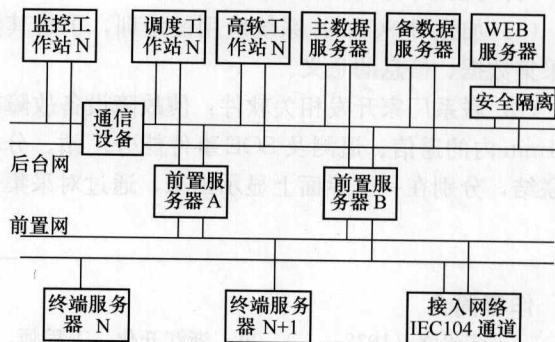


图 1 普通模式

3 现网络结构分析

硬件方面：主备数据服务器配置最高，前置服务器配置稍高于监控和调度工作站，工作站配置较低。

软件方面：一套数据库（包含所有厂站记录），监控中心分区监视所管辖变电所，与调度应用共在后台网，主数据服务器转发绝大部分数据报文，不分工作站所属性质的不同。

在目前这种形式应用比较广泛的网络结构下，当厂站接入达到一定数量，数据库中记录数量较为庞大和工作站节点增加一定数量后，将引发问题导致系统性能下降。

3.1 前置功能

前置服务器主要功能完成规约转换以及实时数据的预处理，但是因为厂站及数据库记录的不断增多，处理任务重，性能下降。但是在传统重视主备数据服务器、轻前置服务器的情况下，硬件配置通常都低于运行需要，造成后果 CPU 负载率居高不下，转换时延加大，严重时程序某个进程崩溃，对应缓冲区溢出，甚至引起系统各应用程序因资源不够，产生资源

竞争,造成进程锁死,遥测遥信数据丢失或遥信误发等。

3.2 后台功能

后台网络主要是基于 TCP/IP 协议和 UDP 协议传输,重要业务如变位遥信和遥控报文等,为确保可靠性,采用的是传输效率较低但可靠的 TCP 协议。遥测变化数据和全遥信报文等考虑其业务次要性,采用传输效率较高的 UDP 协议。数据流向是前置完成预处理后,正常情况下传输至数据服务器,随后数据服务器作为唯一数据源根据业务需要采用不同协议发给网上各节点,此举是确保数据的一致性。

但随着后台网络上的节点数量变多,以及通信设备的通道性能的特性和数据实时传输的特性,引起网络传输效率降低,网络可靠性降低。

3.2.1 数据刷新

变化数据刷新速度变慢,因为整个电网数据是实时变化的,在后台网上一直有变化数据(变化遥测或变位遥信或全数据)报文在传输,网络空闲较少。同时目前网络都是基于 CSMA/CD(冲突检测/载波侦听),在一个时间片上只能有一台主机(服务器或工作站)发出报文。结合以上两者,其中有一台工作站在获得主数据服务器如是 TCP 点对点传输,则时间肯定是 14 个单位时间片,这其中尚不考虑前置机发给主数据服务器报文,以及数据量大小组成 TCP 包的数量,以及丢包后等待与重传时间,以及冲突检测后的延时。

3.2.2 网络交换

网络设备的性能影响整个网络的性能,目前焦点是在后台网,在调度端采用是 100M 交换,关键处采用 1000M 交换,由于监控工作站设在异地的监控中心,如是采用全光纤传输,则可认为带宽无损。但目前电力通信设备提供 QOS 质量保证尚不能达到电信级,另外带宽许多实际只能达到 10M,或是 2M/10M。随着监控中心的增加,主数据服务器与工作站网络交换速度因受通信设备带宽则会更加明显,数据传输可靠性降低,网络等待时间加长。当有大量数据频繁交换时,则会引起交换速度以指数级降低,主数据服务器许多信息积压,如果大量数据发生的时间持续较长,则会导致主数据服务器内存溢出,引起功能崩溃。

3.2.3 工作站运行

工作站的主要功能是接收主数据服务器数据,进行后续处理如画面显示或报警处理等。随着工作站的不断增加,如果机子性能较低,另外主数据服务器在数据报文不是分责任区,而是全网数据全发给每台不同监控中心工作站,由各工作站提取所辖变电所数据,屏蔽不是所辖变电所数据的处理方式的情况下,工作站的压力也很大。引起后果负载率

高,数据刷新慢,网络处理延时,另一方面引起网络交换速度慢。

3.3 数据服务器

主数据服务器、各工作站以及网络通道性能不能相互补充,任何一点的瓶颈都影响整个系统。由于不能很好的规范数据交互,不能根据业务的需要,减少网络流量,合理分配各环节节点的处理能力,以及系统性能分解在每个节点合理分担,不能充分发挥数据服务器资源的高性能,造成系统性能不平衡,运行不稳定。

以上三点在系统容量不断扩大的情况下,影响日益凸现,使调度自动化系统性能特别是实时性和稳定性不能充分满足生产运行需要。

4 网络结构优化

优化现状网络结构,主要从提高两者系统性能,同时节省费用出发,暂不考虑灾备功能可采取以下措施,见图 2。

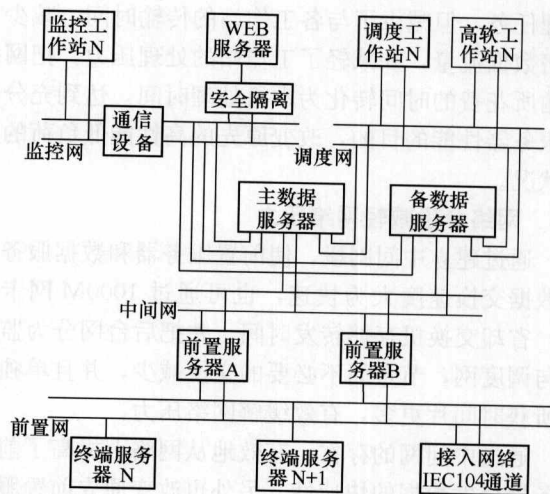


图2 优化模式

硬件方面:主备数据服务器和前置服务器配置最高,且应采用中档企业级服务器以上,监控和调度工作站可保持,工作站配置高低不同。中间网采用 1000M 网通信,服务器均采用 1000M 网卡,交换机采用带有 1000M 模块的交换机,至少确保单网的 1000M 接入服务器。

软件方面:一套数据库(包含所有厂站记录),但区分记录所属不同监控中心和调度应用。分网络结构为调度网和监控网,监视所管辖变电所,与调度应用不共用网络。主数据服务器处理前置数据报文,并接管原先前置至工作站的数据报文,根据必要性进行转发,同时改变原先全发方式,分流调度和监控的不同管辖内容后,分发各自网段的不同报文。在各个工作站应用系统启动时,只载入所属工作站处理辖区的数据库记录,调度工作站软件模块与监控工作站软件

模块严格按照侧重点不同,只加载对应应用系统必须的程序进程,数据流转处理及结果按照侧重点进行。

优化结构是基于分解系统性能各个环节的合理分布,包括服务器、网络通道和工作站的相互补充,把相互间的制约减少到最小地步。重点突出服务器,充分发挥其高性能处理能力的优势,系统的大量工作由服务器承担,工作站作为终端数据处理要求较低。

4.1 服务器核心作用

在前置服务器提高性能后,解决了厂站接入多和数据库容量多引起的问题。只要不是应用软件设计有缺陷而导致的运行效率低,面对以上的处理任务应是足够,正常运行负荷率低于30%,在一定的情况下,还能增加CPU和内存均能使服务器负载率降低。

而主备数据服务器上,通过设立各监控工作站和调度工作站的所需内容后,在接收到前置服务器分传来的数据后,判断应发给那个工作站,就打包只发给对应网段和对应工作站,而不把此数据发给与其无关的网段和工作站,起到合理分流的作用。虽然增加了处理任务,但减少了与各工作站的传输时间,减少了网络数据流量,并减轻了工作站的处理压力。把网络传输所花费的时间转化为本机处理时间,达到充分发挥服务器性能的目的,改变原先的高性能低负荷的异常状况。

4.2 网络分段减轻网络压力

通过建立中间网段,使前置服务器和数据服务器的数据交换速度大为快速,也可通过1000M网卡直联,省却交换机存储转发时间。并把后台网分为监控网与调度网,节点间不必要的交换减少,并且单独节点所获时间片更多,有效缓解网络压力。

通过中间网的存在,有效地从网络上提高了前置服务器分发数据的快速性。另外也改变原先前置服务器在后台网的占用时间,把与工作站的报文交换完全转为主数据服务器承担,虽然增加了任务,但比在网络花去的时间,还是减少了许多。

通过把后台网分为监控网和调度网,在软件设计合理的情况下,充分利用操作系统多任务调度和硬件资源,在两个网上时间大为降低。一方面使调度网完全在高速网络中交换数据,去除了受监控中心工作站网络通道的牵制,同时只有调度数据在网络中传输,使网络使用效率更高。另一方面监控工作站独立成网

后,节点数量减少,同时只有监控数据在网络中传输,并且主数据服务器只把相应数据传输至对应工作站,两者结合使网络流量有了很大的下降,从而使发送冲突机会减少,传输的有效性得到提高,使传输的丢失和重传减少,确保了数据达到工作站的时效。

4.3 减轻工作站处理压力

通过在主数据服务器的数据分流和网络分段,降低对工作站的处理要求,减轻处理压力,提高处理速度,使工作站面对的处理报文数量大量减少,从而有效提高工作站应答速度。工作站根据所属性质需求建立任务表,减少各个作业任务,缓解了因性能较低引起的各种反应。确保工作站有足够的资源和性能去处理其带有较强的监控特点或是调度特点的后续工作,提高工作站运行的高效性和稳定性。

4.4 系统软件特点高效应用

通过对各个环节的性能合理分配后,为各工作站实现各自特点的功能打下了坚实基础。使各自软件系统数据处理和流转从用户出发,改变原先软件设计为了通用性而导致许多功能不能完全发挥,使程序专业性更强,更加高效和贴近用户,系统的特点更加突出。

5 结束语

在对目前系统模式的研究分析下,提出了优化方案,突出了两者系统的独立性和专业性,强调服务器软硬件在系统中的核心作用。对当前各供电公司面临调度自动化和监控系统日益庞大后升级,厂家开发系统的网络架构设计,以及从节约经费的前提下较好地完成功能,是一种新颖、合理和高效的网络模式。

参考文献

- [1] 杨心强等.数据通信与计算机网络.北京:电子工业出版社,1998.4.
- [2] 张惠刚等.变电站综合自动化原理与系统.北京:中国电力出版社,2004.12.
- [3] 邵佩英等,SYBASE数据库系统知识,北京:中国水利出版社,2001.10.
- [4] OPEN-2000能量管理系统技术说明书.国电南瑞科技股份有限公司.2003.10.

作者简介

陈强(1974—),男,助理工程师,长期从事调度自动化工作,13182730080@e165.com, tel: 13182730080.

曹军华(1972—),男,助理工程师,长期从事调度自动化工作,13093100121@e165.com, tel: 13093100121.

浙江 500kV 电网短路电流控制措施展望

毛雪雁

(浙江省电力试验研究院, 浙江 杭州 310014)

摘 要:近年来,浙江电网采取多种措施,对 220kV 电网的短路电流进行了有效的控制,但 500kV 电网的短路电流水平仍日益升高。本文就浙江 500kV 电网可能采取的短路电流控制措施进行展望。

关键词:短路电流;网络结构;串联电抗器;高阻抗变压器

1 现状与问题

自 20 世纪 90 年代末以来,浙江电网迅速发展,目前已拥有 500kV 变电站 21 座,截至 2007 年 7 月 31 日,最大统调负荷(非整点)30500MW。在浙江经济迅猛发展、电网不断增强的同时,系统短路电流水平也急剧上升,500kV 变电站母线最大短路电流超过设备承受能力的问题日益严重。

近几年,浙江电网中采取了 220kV 电网分层分区、500kV 变电站 220kV 母线分段运行、500kV 变电站的自耦变压器中性点经小电抗接地、采用较高阻抗的降压变压器等多种措施,有效控制、降低了 500kV 变电站 220kV 母线的短路电流水平^[1]。但随着浙江 500kV 电网的规模扩大,接入 500kV 电网的电源不断增加,各 500kV 母线的短路电流快速上升,已先后有瓶窑、兰亭、王店等多个变电站的 500kV 母线三相短路电流水平超过或即将超过设备允许值。

对降低 500kV 母线的短路电流而言,前述的 220kV 电网分层分区、500kV 变电站主变分母运行、500kV 变电站的自耦变压器中性点经小电抗接地、采用较高阻抗的降压变压器等多种措施均无明显效果。虽然 2004 年起 500kV 瓶窑变已实施分裂运行的方式,但分裂后该变电站出线的潮流分布极不均匀,三台主变负载也极不均匀,给电网运行带来较大困难。因此,控制、降低浙江 500kV 电网的短路电流水平已成为目前浙江电网规划、设计、运行时需首先考虑的重要问题之一。

2 控制 500kV 电网短路电流的措施

2.1 形成合理的网络结构

合理的网络结构是电网安全可靠运行的保障,也是控制电网短路电流最有效、最直接的方法。许多国外电网都遵循了建设合理的电网结构这一基本原则,在满足运行要求的同时保持了较低的短路电流水平。英国国家电网(National Grid Company,)^[2]与浙江电网有一定的可比性。在英国国家电网中,短路电流控

制的主要手段有:调整电网结构、分母运行、安装限流电抗器等。其中调整电网结构是控制短路电流的根本手段。NGC 的主要送受电通道都为双回线结构,但在双回线通道中的变电站,有很多仅有一回线环入。虽然其可靠性比双线环入有所下降,但短路电流水平也因此下降了很多,从而可以降低对设备的要求。

事实上,浙江电网中 500kV 变电站的断路器分断能力并不低,除最早投产的瓶窑、兰亭和双龙三个变电站,其 500kV、220kV 的断路器分断能力均为 50kA 外,其余 500kV 变电站中,500kV 的断路器分断能力为 63kA,220kV 的断路器分断能力为 50kA。

如果网络结构过于紧密,系统的短路电流将无法控制在合适的水平,带来一系列的问题。据了解,东京电力公司(其所辖电网与浙江电网有较强可比性)的 500kV 变电站出线回路数一般控制在 8 回以内,大部分为 4~6 回。大于、等于 10 回出线的只有开关站。而浙江电网的瓶窑、王店两个 500kV 变电站,位于华东主环,并且出线回路数达到或超过了 10 回,造成其母线的短路电流水平居高不下。为此,需优化、调整网络结构,通过增大 500kV 变电站总容量,增大线路输送能力,减少线路回路数等手段,控制电网短路电流。

2.2 采用大容量变压器和大截面、耐热导线

简化电网结构首先体现在减少变电站的数量。如前所述,东京电力公司 2001 年的负荷水平远大于浙江电网目前的负荷水平,接近浙江电网 2020 年的预计负荷。以东京电力公司现有数目的变电站,要满足如此之大的电力负荷,其变电站规模需比浙江电网的大得多。据东京电力公司的资料,其 500kV 变电站的标准设计为:地上变电站 4 台主变,地下变电站 3 台主变。500kV/275kV 的变压器容量为 1500MVA,500kV/275kV 的变压器容量为 1500MVA,500kV/154kV 的变压器容量为 750MVA。与东京电力公司相比,浙江电网的单台变压器容量小,变电站数量多。随着我国工业制造水平的提高,大容量主变逐渐

增多,为变电站扩大规模创造了条件。同时,减少变电站个数,不仅是简化电网结构、提高主变利用率的需要,也是土地资源的日趋紧张形势下的必由之路。

简化电网结构还必须减少变电站和电厂的出线。浙江电网中短路电流过高的瓶窑变、王店变的 500kV 出线都达到或超过了 10 回。而根据东京电力提供的资料,其绝大部分 500kV 变电站的 500kV 出线不超过 8 回,且 500kV 变电站也有采用 T 接接入电网的方式。对于大型电厂,东京电力尽可能减少送出线路回路数,如柏崎核电站 7 台机组、8212MW 容量,仅采用了 4 回 500kV 线路送出。为此,该电网使用的耐热导线与普通导线的数量之比约为 2:1,新投产的线路都用耐热导线。在相同的导线截面下,耐热导线的持续极限输出电流是普通导线的 1.6 倍以上。

在国内 220kV 电网和 500kV 电网,耐热导线已有不少应用实例^[3],其中国产耐热铝合金导线在 220kV 电网中的应用已有 10 年;在各地改造工程中发挥了很大的作用。此外,提高导线允许温度、增加线路输送容量的研究也在华东电网获得较大成功,取得了明显的经济效益。

浙江电网正在开展耐热导线与大截面导线的应用工作,随着这项工作的推广,单位面积输电走廊的输送容量必将得到明显的提高。

2.3 采用高阻抗升压变压器

使用高阻抗变压器对控制系统短路电流有明显的作用^{[4]、[5]}。东京电力公司关于升压变压器的阻抗标准见表 1。

表 1 东京电力公司升压变压器阻抗标准

电压 (kV)	标准阻抗 (%)	高 阻 抗 (%)
500	14.0	火力、核电: 15.0
275	14.0	火力、核电: 20.0
154	11.0	火力、核电: 22.0 or 16.0

目前浙江电网中 300MW 以上发电机升压变的短路阻抗约为 13%~20%,老机组升压变的短路阻抗较小,新投产大机组(600MW 以上)的变压器短路阻抗一般为 18%~20%。

根据资料^[4],当升压变阻抗值选用 14%和 18%时,单机额定容量为 1000MW 的机组,每台发电机所提供的短路电流分别约为 3.7kA 和 3.33kA,差值约为 0.37kA;单机额定容量为 600MW 的机组,每台发电机所提供的短路电流分别约为 2.25kA 和 2kA,差值约为 0.25kA。笔者对浙江电网的机组进行计算也有相近的结果。尽管单台机组提供的短路电流差别不是很大,但当电网中绝大多数机组的变压器采用高阻抗变压器时,对系统短路电流的控制有明显的作用。

对比东京电力的数据,可以进一步研究变压器短路阻抗对短路电流的影响,找出适合浙江电网的变压器高阻抗范围。

2.4 采用串联电抗器等短路电流限制器

应用串联电抗器限制系统短路电流的技术比较成熟,国外在超高压系统中已有成功的应用,其本质是通过增加系统联系阻抗,降低电网的紧密程度,从而减小变电站母线某些分支的短路电流^{[4]、[6]}。

据计算^[4],在 2020 年远景电网规划中,如在浙江至上海的双回联络线中分别串入 28Ω 的电抗器,可将浙北 500kV 电网中某些变电站的短路电流水平由 63kA 以上控制到 60kA 以下。

考虑到北美电网已有较多应用串联电抗器的实例,如美国 PJM 电网的串联电抗器,其主要目的是潮流控制,同时兼具限制短路电流的功能,可以将其作为浙江电网控制 500kV 短路电流的技术措施进行准备。目前华东电网已开展较多这方面的技术研究。

除了常规的串联电抗器以外,国际上提出的短路电流限制器还有很多方案。其中,非超导型的串联谐振型短路电流限制器从技术上和经济上较为合理,西门子提出的基于 TPSC 技术(可控硅保护型的串联补偿装置的短路电流限制器(SCCL))就属于此类^[7]。它采用电感电容串联的电路拓扑结构,依据串联谐振的原理,使限制器在系统正常情况下呈现零阻抗,在系统短路时通过导通晶闸管迅速旁路电容器,使限制器呈现感性,从而达到对短路电流的抑制。前几年 SCCL 的关键技术装置 TPSC 已在美国多个 500 kV 变电站实际投运,并且长期正常运行。目前 SCCL 也有了成功的例子^{[8]、[9]}。

此外,为避免更换设备,巴西已经在超高压电网中实现了在开关站之间采用空心限流电抗器(CLR)或将限流电抗器与输电线路串联^[10],从而将故障电流水平降至现有设备的额定水平。

2.5 结合潮流控制采用移相变压器降低短路电流

由于电网控制潮流方向、提高现有输电线路的输送容量等需要,北美、欧洲及日本的电网中移相器的应用越来越多。在华东,线路走廊极为紧张,新线路的建设日益困难。限于电网的结构,潮流自然分布有时不能满足要求。而采用移相变压器可以有效地改善潮流分布,技术也比较成熟。同时移相变压器改变了网络阻抗,对短路电流也有一定控制作用^[11]。

2.6 在规划设计选择主接线方式时考虑短路电流的影响

东京电力对不同地区的变电站的考虑了不同标准的主接线。在架空线地区的 500kV 变电站高、低压母线的主接线均采用双母线分段接线,电缆使用区的 500kV 变电站高、低压母线的主接线均采用 3 个单母线接线,但每个单母线之间通过联络线进行连接。这

样, 东京电力就能根据系统运行需要及时对变电站的母线进行分区调整, 从而控制短路电流。

目前, 浙江电网 500kV 变电站主接线均采用 3/2 接线, 这种接线方式可靠性较高, 但难以实现母线分段运行。如前所述, 瓶窑变为控制 500kV 母线短路电流, 在分段时只能将 500kV 母线强行解开, 代价较大, 运行也出现不少问题。参考东京电力的方法, 浙江电网在规划设计新建 500kV 厂站时, 可以论证、选择双母线分段的主接线方式, 在满足运行技术要求的前提下, 为今后控制 500kV 电网短路电流留有余地。

3 关于短路电流计算的方式

在东京电力公司, 短路电流是针对电网实际情况每天进行在线计算的, 当计算得到的短路电流超过设备允许值时, 立即调整电网运行方式, 使之满足要求。

英国的短路电流计算有详细的要求, 其标准规定^[2]短路电流计算需基于潮流, 且需分别计算母线的单相和三相短路电流水平。为校核变电站断路器的开断容量, 需计算短路电流峰值、开断电流对称分量有效值、开断电流直流分量、开断电流峰值等。设备所有者根据国家电网公司的计算结果, 逐一校核设备的容量, 且一个回路中的所有设备、甚至变电站架构均需满足要求。

浙江电网的短路电流水平计算按年度确定, 且是按所有装机的机组全开机进行计算, 得到的计算结果往往偏大。这种计算方法在国内使用甚广, 并非浙江独有, 但偏大的结果存在一些弊病, 可能因此造成难以计算的浪费。

怎样衡量设备是否满足短路电流的要求, 满足哪一类短路电流的要求, 决定了大量资金是否投入, 也决定了系统中大量原有设备的去留, 包括变电站设备是否需要改造, 对电网运行影响重大。应逐步将短路电流校核计算方法和标准由粗放型向精细型转变。目前省内已经有了一些有益的尝试, 如短路电流在线计算校核^[12], 通过访问 EMS 系统实时数据库获得网络结构等实时数据, 并根据网络的结线方式、开关开/合状态、变压器的接线方式和变压器中性点的接地与否形成零序计算网络, 再从数据库中读取发电机、并联补偿和支路等静态信息, 实时计算各种短路

情况下流过断路器的短路电流, 根据相关标准与开关的遮断容量相比较, 如有越限, 及时向运行人员显示告警信息, 以便采取相应措施。

4 结束语

综上所述, 浙江 500kV 电网短路电流控制措施可以首先考虑调整、简化电网结构, 使用大截面导线、耐热导线和大容量变压器; 使用高阻抗变压器; 在适当的地点选用线路上的串联电抗器等, 这些都已经有许多成功的经验。同时, 电网建设还应具有超前意识, 适当增大设备裕度, 以免在设备投产一段时间后再行更换。另外, 应积极开展短路电流计算标准的研究, 使计算结果更加符合实际, 避免浪费。

参考文献

- [1] 梁绍斌, 李继红, 毛雪雁. 浙江电网控制系统短路电流的探索与实践. 华东电力, 2006. 8.
- [2] 吕文杰. 英国国家电网的短路电流控制技术. 华东电力, 2005. 9.
- [3] 国家电网公司基建部. 电网建设新技术. 中国电力出版社. 2005. 8.
- [4] 叶幼君, 鲍爱霞, 程云志. 浙江 500kV 电网短路电流的控制. 华东电力, 2006. 3.
- [5] 庄侃沁, 胡宏, 励刚, 黄志龙. 控制和降低短路电流水平措施在华东电网的应用. 华东电力, 2005. 12.
- [6] 祝瑞金, 蒋跃强, 杨增辉, 高凯. 串联电抗器限流技术的应用研究. 华东电力, 2005. 5.
- [7] 王晓辉, 杨增辉, 余颖辉. 基于 TPSC 技术的短路电流限制器在华东电网中的应用研究. 华东电力, 2005. 5.
- [8] 周彦. 基于 TPSC 技术的短路电流限制器. 华东电力, 2005. 5.
- [9] 赵学强. 用于高压系统的基于 FACTS 的新型短路电流限制器 SCCL. 华东电力, 2006. 8.
- [10] J Amon F., P. C. Fernandez, E. H. Rose, A. D' AjUZ, A. Castanheira, 巴西在将限流电抗器用于短路流限制方面取得的成功经验, 电气应用, 2006. 1.
- [11] 赵学强, 郭明星. 华东电网安装移相变压器的研究. 华东电力, 2006. 11.
- [12] 罗为, 邱家驹, 魏路平. 电力系统断路器遮断容量实时校核. 华东电力, 2004. 4.

作者简介

毛雪雁 (1959—), 女, 教授级高级工程师, 从事电网分析计算与研究工作。电话: 51211265。