

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.014

高压串联电抗器独立子站应用研究

崔文俊¹, 刘生²

(1. 中国南方电网有限责任公司, 广州 510623; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 随着电力系统规模不断扩大, 电网短路电流问题日益突出。通过在电网上加装高压串联电抗器可以有效降低近区电网短路电流, 现有技术中的串联电抗器均布置在变电站侧, 前提是变电站外围有可用征地区, 若变电站外围无可用征地区, 布置就成了问题。本文针对变电站外围无可用征地区的情况, 首次提出了一种独立子站的技术方案, 该方案可以简化一次设计、站用电设计、二次设计和通信设计, 减少投资和占地, 并已成功应用于已投产工程, 具有较高的参考价值。电网加装串联电抗器项目多为后期扩建, 如果已投产变电站的外围无可用征地区, 本文提出的独立子站方案能够很好的解决串联电抗器的布置问题。

关键词: 高压串联电抗器; 短路电流; 独立子站

中图分类号: TM471

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)04-0071-06

Application Research on Independent High-Voltage Series Reactor Station

CUI Wenjun¹, LIU Sheng²

(1. China Southern Grid Co., Ltd., Guangzhou 510623, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: As the power system grows larger and larger, the short-circuit current is becoming a prominent problem. The fault current can be reduced by adding high-voltage series reactors in the system. High voltage series reactor can be arranged by the side of the substation on condition that space is available, otherwise it is a problem. This paper focuses on the condition when space is limited by the side of substation and carries out a scheme of setting an independent series reactor station in the power grid. The scheme can simplify the primary design, auxiliary power system design, secondary circuit design and communication design, and reduce investment and occupation. The scheme has been applied in projects. Most series reactors are added after the construction of substations. If space is limited, the independent series reactor station scheme can be a viable solution towards the problem.

Key words: high-voltage series reactor; short-circuit current; independent series reactor station

广东电网作为南方电网最大的受端系统, 具有负荷密度高、主网架联系紧密的特点, 随着系统规模不断扩大, 短路电流问题日益突出。“十二五”后期广东电网纵江、宝安、鹏城等部分枢纽变电站 500 kV 母线短路水平将超过现有断路器遮断容量, 必须采取措施限制短路电流以确保电网的安全可靠

运行。

合理的网络结构是降低短路电流水平的最有效、最基本的方法。此外, 还可能在特定的条件下采取一些必要的措施以降低短路电流, 在线路上安装串联电抗器就是其中的一种。串联电抗器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分支的短路电流。输电线路装设串联电抗器等于增加了输电线路的距离, 增大了线路阻抗, 能限制通过该线路的短路电流。

现有技术中的串联限流电抗器及配套设备主要包括限流电抗器、耦合电容器、隔离开关和避雷器等, 均布置在变电站的线路侧, 前提是变电站外围有可用征地区, 若变电站外围无可用征地区, 则不

收稿日期: 2017-10-23

基金项目: 中国能建广东院科技项目: 1 000 kV 级交流特高压并联电抗器保护原理与应用研究(KB-2009-52)

作者简介: 崔文俊(1973), 男, 广东茂名, 高级工程师, 学士, 主要从事电力系统电网规划管理及输变电工程项目管理工作(e-mail) cuiwj@csg.cn。

适用。本文针对变电站外围无可征地的情况，首次提出了一种独立子站的技术方案，并且该方案已成功应用于已投产工程，具有较高的参考价值。

1 概述

1.1 系统背景

广东电网内环网尤其是深圳、东莞地区由于结构过于紧密，各变电站整体短路电流水平较高。2014年，500 kV 纵江站投产后，深、莞地区短路电流问题较为突出，500 kV 电网全接线运行条件下，宝安、鹏城、深圳、等变电站短路水平超过63kA，纵江、紫荆短路电流水平也较高。2015年，莞深地区500 kV 母线短路电流进一步提升^[4]。

2014年底广东省500 kV 电网地理接线示意图见图1，圆环内为高短路电流水平的深圳、东莞地区。

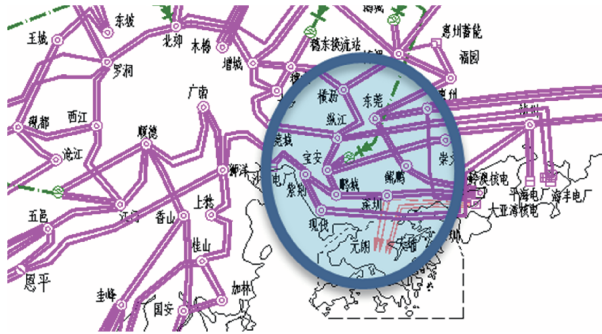


图1 2014年底广东省500 kV 电网地理接线示意图
Fig. 1 500 kV geographical circuit diagram of Guangdong by the end of 2014

2014年夏大深圳、东莞地区短路电流值(全接线)如表1所示。

表1 短路电流值

Tab. 1 Short-circuit current value

500 kV 母线	三相	单相
纵江	58.5	60.5
宝安	61.3	69.1
鹏城	65.2	71.9
深圳	55.9	53.5
紫荆	58.7	60.2
莞城	49.1	46.6
沙角电厂	52.8	54.7

1.2 限制短路电流相关措施

短路电流超标有以下解决措施。

1.2.1 调整电网结构

一般采用线路出串、断线等调度措施通过调整电网结构来限制短路电流，如图2所示，但这样可能牺牲主网结构的完整性，不利于电网安全可靠运行。

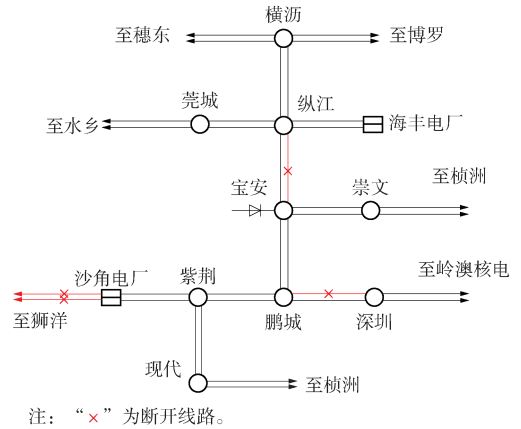


图2 运行方式调整示意图

Fig. 2 Diagram of operation mode adjustments

1.2.2 加装串抗

通过在线路上串联接入限流电抗器，以增加系统联系阻抗，降低电网的紧密程度，从而减小变电站母线分支的短路电流。输电线路装设串联电抗器等于增加了输电线路的距离，增大了线路阻抗，能限制通过该线路的短路电流，但同时会增加网损，降低系统的稳定性。系统加装串抗示意如图3所示。

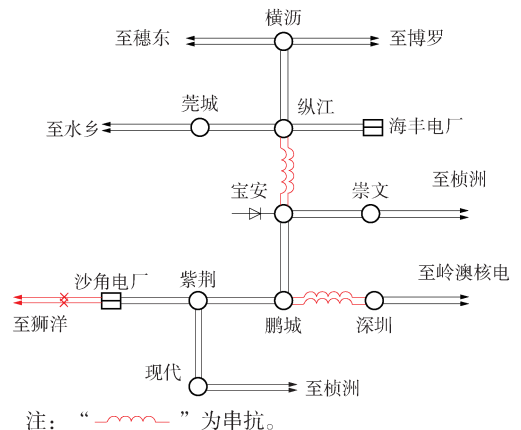


图3 系统加装串抗示意图

Fig. 3 Diagram of adding serial reactor in the system

纵江—宝安、鹏城—深圳线路加装串抗有效的抑制了短路电流，同时避免了采取拉停开关、线路断线等临时措施，保持了良好的主网结构，增强了系统的抗风险能力，提高了运行方式的灵活性^[4]，

对比如图4所示。

通过在线路上加装高压串联电抗器, 既抑制了短路电流, 又保持了良好的主网结构, 提高了运行方式的灵活性。

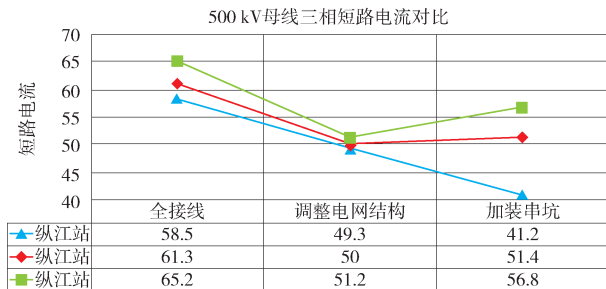


图4 抑制短路电流效果对比图

Fig. 4 Comparison graph of inhibition on short circuit current

2 变电站外合建方案

目前国内已投产的串抗类工程, 包括上海泗泾至黄渡线路加装串抗工程、湖北江陵至林江线路加装串抗工程、广东深圳至鹏城线路加装串抗工程、江苏石牌至常熟线路加装串抗工程, 均采用变电站外合建方案, 即将串联电抗器及配套设备布置在变电站的线路侧。

2.1 电气接线

变电站外合建方案电气接线如图5所示。

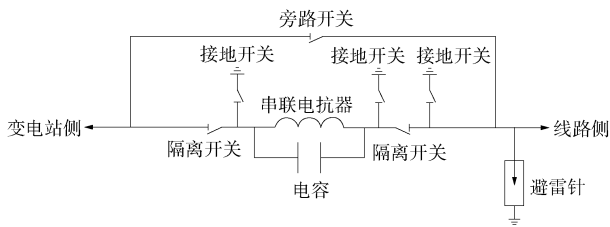


图5 上海泗泾至黄渡线路加装串联电抗器电气接线图

Fig. 5 Electrical circuit of serial reactor of Sijing-Huangdu transmission line

串联限流电抗器两端设有隔离开关, 隔离开关带接地开关, 用于设备的检修接地。为限制过电压, 在线路侧安装了避雷器。

串联限流电抗器还设置了一组旁路开关, 用于在串联限流电抗器退出的情况下可以通过闭合旁路开关将线路恢复带电运行, 旁路开关的投切需线路短时停电。

串联限流电抗器投入后, 两侧变电站母线侧断路器断口恢复电压将超过其介质绝缘恢复强度, 断

路器可能不能迅速开断短路电流, 从而使故障时间延长, 甚至造成断路器自身的损坏, 为保证断路器可靠开断, 经过电压计算后在电抗器两端并联了电容^[1]。

2.2 电气平面布置

2.2.1 一字型布置方案

一字型布置方案以上海泗泾站加装串抗工程作为案例, 其平面布置如图6所示。

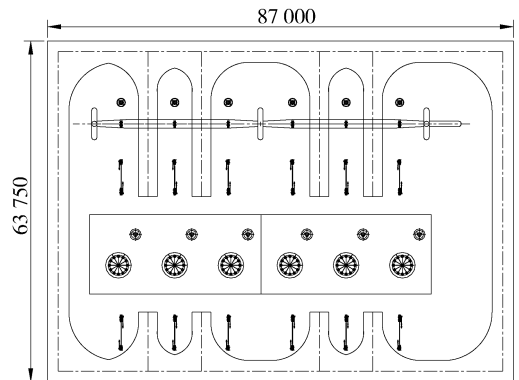


图6 一字型布置方案示意图

Fig. 6 Diagram of "Straight" arrangement scheme

泗泾站现有2回至黄渡出线为低架横穿向北出线, 原有500 kV配电装置北侧即为1条3.5 m检修道路和围墙, 为布置新增串抗, 需要在北侧围墙外增加征地。每个串抗间隔新增1跨24 m高28 m宽出线架构, 旁路隔离开关布置在架构下方, 通过跨线与跨线下方的串抗间隔并接。原有的线路侧避雷器、电容式电压互感器保留, 阻波器则移至串抗间隔线路侧, 并在线路侧增加电容式电压互感器和避雷器。在2组串抗周围设3.5 m检修道路。

2.2.2 品字形布置方案

品字形布置方案以湖北江陵站加装串抗工程作为案例, 其平面布置如图7所示。

为限制林江1、2回线路短路电流在63kA水平以下, 在林江1、2回出线加装串联电抗器。扩建不改变站内接线及设备, 新上设备均在前期围墙外进行。配电设备自出线构架向出线方向依次布置进线侧隔离开关、串联电抗器、出线侧隔离开关、旁路隔离开关及新上出线门型架、避雷器。出线构架宽26 m, 导线相距7 m, 边相导线与构架柱中心距离6 m。出线构架挂线点高22 m。围绕并联电抗器及进线侧隔离刀设4 m宽消防道路, 电抗器出线侧

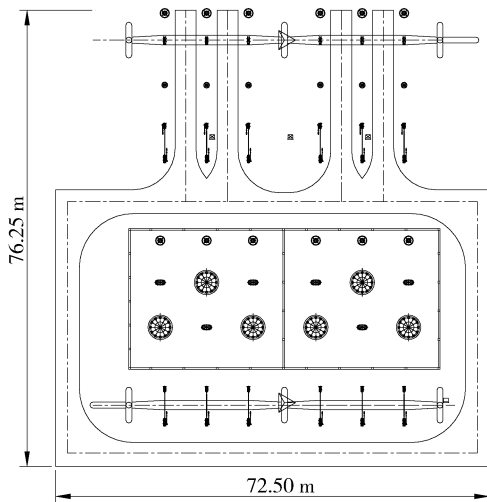


图7 品字型布置方案示意图

Fig. 7 Diagram of "Triangle" arrangement scheme

设备设 3.5 m 宽相间道路。

3 独立子站方案

变电站外合建方案的前提是变电站外有足够的空间可供扩建,当变电站外没有足够的空间时,可以考虑独立子站方案,将高压串联电抗器及配套设备组合为一个完整的子站,灵活布置在线路下方的合适位置,线路解口接入即可。独立子站因为远离变电站,所以其电气接线方案和电气平面方案可考虑与变电站外合建方案有所不同。

3.1 电气接线

独立子站电气接线方案如图8所示。

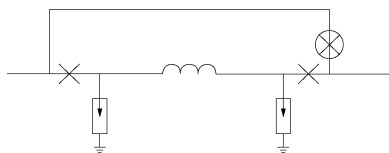


图8 独立子站电气接线

Fig. 8 Electrical circuit of independent station

考虑到串联电抗器故障率很低,且串联电抗器的投退需要线路停电,可仅将串联电抗器串接于线路中,在两侧安装线路避雷器,当串联电抗器需投退时,可将线路短时停电,然后将串联电抗器与线路的接线解开,恢复线路连通,在施工过程中,通过在两侧 500 kV 线路挂地线的方式来保障接地安全。

由于串抗装设在线路中部,在两侧线路电容作用下,断路器瞬态恢复电压的陡度一般不会超

过线路断路器的开断能力要求,通过计算验证后可以取消并联电容器设备。如广东纵江至宝安线路加装串抗工程通过系统暂态计算后取消了并联电容器^[12]。

本方案考虑到独立子站位于线路中间,远离变电站,完全无人值班,且日常巡视不便,同时考虑到串抗的故障率低,改接线工作量也小,具备人工改接线的条件,所以可以取消隔离刀闸和检修刀闸,节省了投资,缺点是串抗的投退需要人工改接线,灵活性略差。

3.2 电气平面布置

如果变电站围墙外没有空间,本项目提出了一种独立子站方案,即将串抗及配套设备布置在远离变电站的线路下方,这种布置方案目前在行业内尚属首例,下面以 500 kV 纵宝线路加装串抗工程作为案例进行分析。

500 kV 纵宝线路加装串抗工程的站址位于东莞和深圳的交界处,距离 500 kV 纵江变电站约 6.5 km。本站站址位于 500 kV 纵宝线 269#至 270#一档的线行下方,在高压线行保护区范围内。

500 kV 纵宝线路加装串抗工程电气平面断面如图9、图10和图11所示。

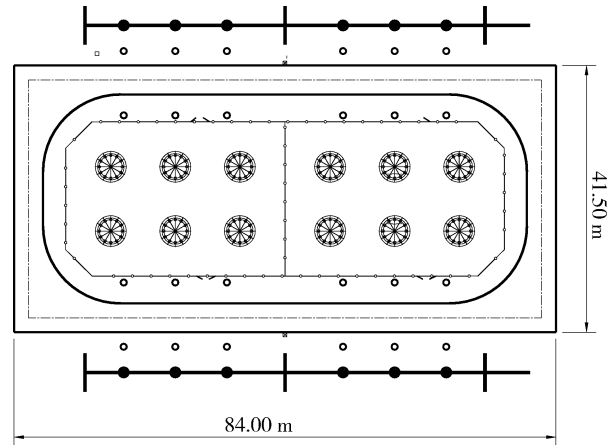


图9 独立子站电气平面图

Fig. 9 Electrical plane drawing of independent station

站区由西至东依次布置有避雷器、电抗器和避雷器。电抗器采用干式空心电抗器。进站道路从站区西面进入本站。从方便制造和运输的角度考虑,每相电抗参数采用两台电抗器串联的方案。通过电磁场计算,同相电抗器和不同相电抗器之间距离按 10 m 设计。考虑到电抗器的漏磁,在电抗器四周设置了非磁性围栏防止运行人员进入漏磁区。

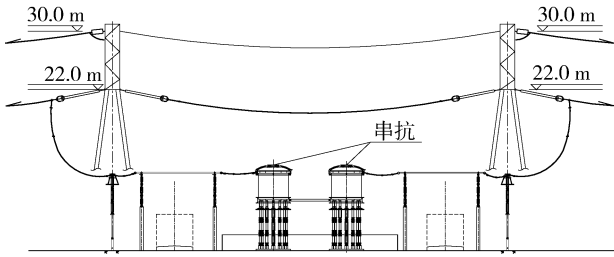


图 10 独立子站电气断面图(线路带串抗运行)

Fig. 10 Electrical sectional drawing of independent station (Transmission line with serial reactor)

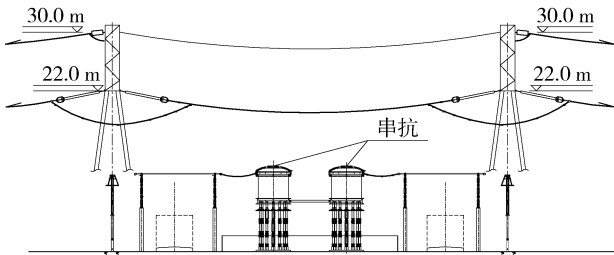


图 11 独立子站电气断面图(线路不带串抗运行)

Fig. 11 Electrical sectional drawing of independent station (Transmission line without serial reactor)

在串抗间隔两侧各设置 1 跨 22 m 高 31 m 宽构架, 用于纵宝线路解口后的进出线。在串抗周围设 4.5 m 检修道路^[10]。

通过图 9 与图 6 和图 7 的比较可知, 独立子站方案的占地在垂直线路方向与变电站外合建方案相当, 但是在平行线路方向, 由于减少了设备, 占地尺寸减少至少 20 m。

4 方案比较

变电站外合建方案和独立子站方案比较如表 2 所示。通过比较可知独立子站方案的优点如下:

1) 简化了一次设计, 取消了并联电容器、电抗器两侧的隔离开关和旁路开关共 4 项设备, 减少了投资, 也减少了占地。

2) 简化了站用电设计, 由于取消了开关设备, 供电对象只有照明和检修等小容量负荷, 可从附近的 10 kV 或 380 V 电源就近引接, 供电方式灵活。

3) 简化了二次设计, 只需要考虑电抗器的温度监控即可。

4) 简化了通信设计, OPGW 光缆解口接入独立子站即可。

表 2 方案比较表

Tab. 2 Scheme comparison table

比较项	变电站外合建方案	独立子站方案
投资	包括电抗器、电容器、隔离开关和避雷器, 投资较大	包括电抗器和避雷器, 无电容器和隔离开关, 投资较少
占地	因设备多, 横向和纵向占地尺寸较大	因设备少, 平行线路方向占地尺寸减少至少 20 m
站用电设计	供电对象为二次设备、照明和检修负荷, 容量较大, 接入前期站用电系统时需核对有无足够备用回路	供电对象只有照明和检修负荷, 容量较小, 可从附近的 10 kV 或 380 V 电源就近引接, 供电方式灵活
二次设计	包括电抗器温度监控, 隔离开关二次回路等, 内容较多	仅设计电抗器温度监控即可, 简化了二次设计
通信设计	需同时考虑二次设备的通信设计和光缆接入	仅考虑光缆接入即可

5 结论

变电站外合建方案的前提是变电站外围有可用征地, 若变电站外围无可用征地, 可采用在线路中间建站的独立子站方案, 增加建站便利性。

独立子站方案可以简化一次设计、站用电设计、二次设计和通信设计, 减少了投资和占地。

该方案已成功应用于广东纵江至宝安线路加装串抗工程, 具有较高的参考价值。

参考文献:

[1] 薛敏. 泗泾站装设 500 kV 高压串联电抗器的过电压分析 [J]. 华东电力, 2007, 35(6): 44-46.
XUE M. The overvoltage analysis of adding 500 kV serial reactor in Jingsi Substation [J]. East China Electric Power, 2007, 35(6): 44-46.

[2] 殷可, 高凯. 应用串联电抗器限制 500 kV 短路电流分析 [J]. 华东电力, 2004, 32(9): 7-10.
YIN K, GAO K. Analysis of impact of serial reactor on 500 kV short-circuit current [J]. East China Electric Power, 2004, 32(9): 7-10.

[3] 王延伟, 覃芸. 应用串联电抗器限制广东 500 kV 主网短路电流适应性分析 [J]. 电子世界, 2014(24): 104-104.
WANG Y W, QIN Y. Adaptability analysis of impact of serial reactor on 500 kV short-circuit current of main grid in Guangdong [J]. Electronic World, 2014(24): 104-104.

[4] 韩国邦. 500 kV 纵江-宝安线路串联电抗器的作用与维护 [J]. 科技资讯, 2014(34): 96-97.

参考文献:

- [1] 李国尧,刘盛,徐峰,等. 柔性直流换流站阀厅设备温度监测[J]. 电力建设, 2013, 34(6): 92-94.
LI G Y, LIU S, XU F, et al. Temperature monitoring of valve hall in flexible DC converter station [J]. Electric Power Construction, 2013, 34(6): 92-94.
- [2] 周立辉,张永生,孙勇,等. 智能变电站巡检机器人研制及应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(19): 85-88+96.
ZHOU L H, ZHANG Y S, SUN Y, et al. Development and application of equipment inspection robot for smart substations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(19): 85-88+96.
- [3] 朱静,孙德利,孙艳鹤. 阀厅智能巡检机器人系统的红外成像设备定位[J]. 电子设计工程, 2016, 24(19): 152-154+158.
ZHU J, SUN D L, SUN Y H. Infrared imaging equipment positioning in the intelligent inspection robot of valve hall [J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(19): 152-154+158.
- [4] 王超,丁志林. ±500 kV换流站阀厅智能巡检监控系统研究与设计[J]. 工业控制计算机, 2015, 28(3): 61-63.
WANG C, DING Z L. Intelligent inspecting and monitoring system in valve hall of ±500 kV convert-station [J]. Industrial Control Computer, 2015, 28(3): 61-63.
- [5] 王元友,王惠芳,崔鹏伟. 智能巡检机器人系统设计与实现[J]. 青海电力, 2015, 34(4): 1-3+7.
WANG Y Y, WANG H F, CUI P W. Design and realization of intelligent inspector robot system [J]. Qinghai Electric Power, 2015, 34(4): 1-3+7.
- [6] 张志飞. 变电站机器人智能巡检系统应用研究[D]. 保定:华北电力大学, 2015.
- [7] 毛琛琳,张功望,刘毅. 智能机器人巡检系统在变电站中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(9): 30-32+36.
MAO C L, ZHANG G W, LIU Y. Application of intelligent robot iterative inspection system in substation [J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25(9): 30-32+36.
- [8] 范希文. 电力设备智能巡检系统的设计与实现[D]. 大连:大连理工大学, 2016.
- [9] 麦洪,何胜红,霍丹,等. 基于红外测温技术的变电站测温系统的设计与实现[J]. 广东技术师范学院学报(自然科学版), 2015, 36(2): 31-35.
MAI H, HE S H, HUO D, et al. Design and realization of substation temperature measuring system based on infrared temperature measurement technology [J]. Journal of Guangdong Polytechnic Normal University (Natural Science Edition), 2015, 36(2): 31-35.
- [10] 田俊梅,刘民凯,付文华. 变电站实时全景红外智能测温系统研究[J]. 电学学报, 2014, 29(4): 309-312.
TIAN J M, LIU M K, FU W H. Real-time panoramic infrared intelligent temperature measuring system research of the substation [J]. Journal of Electric Power, 2014, 29(4): 309-312.
- [11] 岳增坤,杨帆. 基于换流站的智能辅助控制系统研究[J]. 南方能源建设, 2015, 2(3): 118-121.
YUE Z K, YANG F. Research on intelligent auxiliary control system based on convertor station [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(3): 118-121.

(责任编辑 高春萌)

(上接第75页 Continued from Page 75)

- HAN G B. Effect and maintenance of serial reactor of 500 kV Zongjiang-Baoan transmission line [J]. Science & Technology Information, 2014(34): 96-97.
- [5] 尹元明,谢天喜,周志成,等. 500 kV线路安装串联电抗器后断路器 TRV 分析[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(6): 45-47.
YIN Y M, XIE T X, ZHOU Z C, et al. TRV analysis on circuit breaker after installation of 500 kV serial reactor [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(6): 45-47.
- [6] 贾磊,蔡汉生,胡上茂,等. 500 kV 串联电抗器对线路断路器开断能力的影响研究[J]. 南方电网技术, 2014, 8(6): 7-11.
JIA L, CAI H S, HU S M, et al. Analysis of impact of 500 kV serial reactor on breaking capacity of circuit breaker [J]. Southern Power System Technology, 2014, 8(6): 7-11.
- [7] 王向平. 带串联电抗的线路保护配置方案[J]. 电力建设, 2009, 30(11): 17-20.
WANG X P. Configuration scheme of transmission line protection on transmission line with serial reactor [J]. Electric Power Construction, 2009, 30(11): 17-20.
- [8] 徐宁,王莹,许文超,等. 高压串联电抗器在南京 220 kV 电网中的应用分析[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(5): 34-36.
Xu N, Wang Y, Xu W, Application analysis of serial reactor in 220 kV power grid in Nanjing [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(5): 34-36.
- [9] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 高压配电装置设计技术规程: DL/T 5352—2006 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
People's Republic of China national development and Reform Commission. The design regulation of high voltage power distribution device: DL/T 5352—2006 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [10] 国家能源局. 220 kV~750 kV 变电站设计技术规程: DL/T 5218—2012 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
National Energy Administration. The design regulation of 220 kV~750 kV substations: DL/T 5218—2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [11] 国家能源局. 500 kV 干式空心限流电抗器使用导则: DL/T 1284—2013 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
National Energy Administration. The using guide of 500 kV dry-type air core current-limiting reactor: DL/T 1284—2013 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2014.
- [12] 项祖涛. 500 kV 纵宝线路串联电抗关键电气技术条件及电磁暂态研究[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2013.

(责任编辑 郑文棠)