

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.04.034

一种高参数的12 kV小型化开关柜设计

孔祥冲, 李政军, 刘立东, 张世晓, 彭凤娟
(益和电气集团股份有限公司, 山东 青岛 266500)

摘要: 针对高海拔、频繁发生温湿风、易出现冷凝现象及污秽地区等环境使用要求,笔者开发出一种12 kV小型化开关柜。该开关柜设计基于KYN28A-12型开关柜结构,依据IEC、GB等有关标准,对断路器室、母线室、电缆室等主要功能单元及内部零部件进行改进设计或创新,经过多次摸底试验,解决其中的绝缘、温升、内部燃弧等关键问题。新设计的开关柜柜宽650 mm,相对地、相间及断口间雷电冲击耐压达95 kV,在西安高压电器研究院通过型式试验验证(包括内部燃弧),具有体积小、绝缘水平高、接地关合及抗内部燃弧能力强等特点。设计中采取的提高绝缘、增强内部燃弧能力等措施,为今后高海拔地区中压开关设备的设计提供参考。

关键词: 开关柜; 小型化; 绝缘; 内部燃弧; 试验验证

Design of a High Parameter 12 kV Miniaturization Switchgear

KONG Xiangchong, LI Zhengjun, LIU Lidong, ZHANG Shixiao, PENG Fengjuan
(Yihe Electric Group Co., Ltd., Shandong Qingdao 266500, China)

Abstract: A 12 kV miniaturization switchgear is developed, which is used in the regions with high altitude, frequent humid air, easily to appear condensation phenomenon and impurity. Based on the structure of KYN28A-12 type switchgear, according to the IEC, GB and other relevant standards, the main function units and internal components of the compartment (such as circuit-breaker, busbar, cable etc.) are improved or innovated. The key problems of insulation, temperature rise, internal arc etc, are resolved after a lot of tests. The new designed switchgear can realize the 650 mm switchgear width and the lightning impulse withstand voltage of phase-to-earth, phase-to-phase and the isolating distance reaches 95 kV, and have been passed the verification by the type testing in the XIHARI (including the arc test). The switchgear has the characteristics of small volume, high insulation level, strong capability of earthing switch making and breaking, withstanding internal arc etc. The measures to improve the insulation and enhance the internal arc capacity will supply the reference for medium voltage switchgear design in high altitude areas.

Key words: switchgear; miniaturization; insulation; internal arc; verification

0 引言

中压开关设备对供电设备的控制与保护是不可或缺的,因其应用范围广泛,安全运行直接影响整个变电站供电可靠性。从近几年的行业数据统计分析,目前空气绝缘金属铠装移开式开关柜仍是中压领域的主体产品,随着社会的发展需求,产品技术逐渐向小型化、高可靠性、智能、环保等方向发展^[1-4]。

从环境适应性来看,在高海拔、频繁发生温湿风、易出现冷凝现象及污秽地区适用的产品,与常规产品相比,对绝缘、温升、灭弧、机械性能、绝缘材料等电气性能的要求更高^[5-6]。笔者结合公司的一批适用在高海拔、频繁发生温湿风、易出现冷凝现象及污秽地区12 kV开关柜订单产品技术要求:柜宽为650 mm,额定雷电冲击电压达95 kV等,在现有产品基础上依据IEC、GB等有关标准,进行技术改进及创新,自主开发设计出一种高参数12 kV开关柜,来满足高海拔、频繁发生温湿风、易出现冷凝现象及污秽地区等特殊环境使用等要求。以下对

该开关柜的设计做一介绍。

1 整体结构及额定参数

基于 KYN28A-12 型开关柜的结构基础,对断路器室、母线室、电缆室、接地开关、出线套管、绝缘护套等产品主要零部件和功能单元进行了重新开发及创新,设计出一种柜宽为 650 mm 的小型化 12 kV 开关柜,产品主体结构 with 常规产品类似,主要由柜体和可抽出部件(即手车)2 大部分组成,整体结构分为仪表室、断路器室、母线室、电缆室及电压互感器室等 5 大功能单元,见图 1。产品主要额定技术参数见表 1。

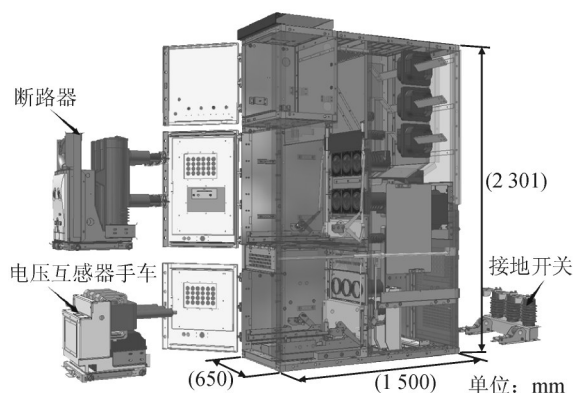


图1 开关柜整体结构

Fig. 1 Overall structure of the switchgear

表1 开关柜额定参数

Table 1 Rated parameters of the switchgear

项目	参数值
额定电压/kV	12
额定频率/Hz	50
额定电流/A	800/1 250
额定短路开断电流/kA	31.5
1 min 工频耐受电压/kV	对地、相间 42
雷电冲击耐受电压/kV	对地、相间 95
断口	48
断口	95

2 主要技术

该产品整体性能的实现,主要依据国内外相关标准,结合产品要实现的技术要求,采用复合绝缘、增大爬距、合理设计泄压网板等措施逐渐解决各功能单元内零部件绝缘、温升、内部燃弧等关键问题展开研究设计^[7-21]。

2.1 母线室结构设计

母线室结构见图 2。室内安装上支排和主母线排,为满足产品多个方案通用性的技术要求,主母

排安装结构为竖直一字型排列,主母线穿越柜体处用具有自主知识产权技术的绝缘套管固定支撑,分支母线通过螺栓与主母线和静触头盒连接,全部母线套热缩管,母线搭接处安装具有自主知识产权技术的环氧树脂材料绝缘护套,绝缘护套根据需要设计多种结构形式,母线室内充分利用复合绝缘技术来提高产品的整体绝缘性能。绝缘套管结构示意图见图 3,绝缘护套结构示意图见图 4。

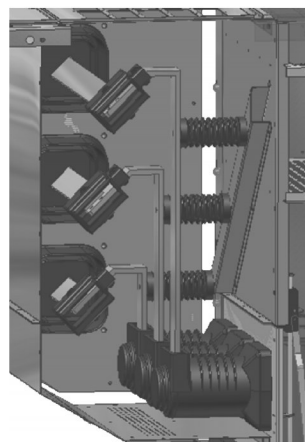


图2 母线室结构

Fig. 2 Busbar compartment structure



图3 绝缘套管结构示意图

Fig. 3 The schematic diagram of insulation casing

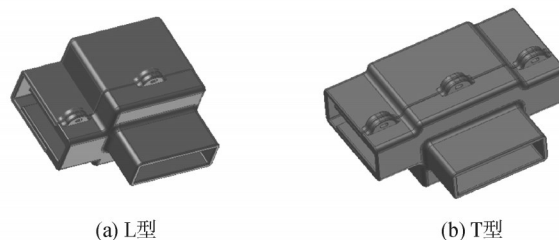


图4 绝缘护套结构示意图

Fig. 4 The schematic diagram of insulating sheath

2.2 断路器结构设计

根据多次的绝缘摸底试验,断路器存在静触座对护翼放电,下端绝缘件对壳体放电等现象,针对该问题,对断路器的绝缘筒、与之配套使用的触头盒等零部件结构进行了创新设计。

2.2.1 断路器绝缘筒设计

根据雷电冲击耐压要达到95 kV的技术要求,在现有绝缘筒的基础上内外增加伞裙来增大爬电距离的同时,将绝缘筒实现一体化设计,避免了搭接面的绝缘泄漏;绝缘筒的端盖设计为半圆形,能有效加快散热,降低温升;改进工艺设计,易碎部位进行加厚处理;实现标准化通用性设计,与固封式尺寸一致;并采用高精度环氧树脂材料,最先进的自动压力凝胶成型设备加工。绝缘筒结构示意图见图5。

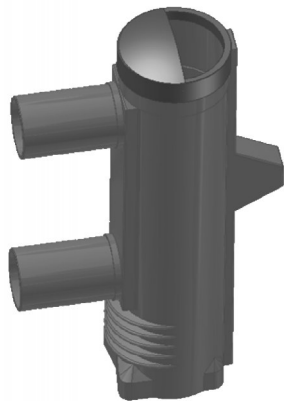


图5 绝缘筒结构示意图

Fig. 5 The schematic diagram of insulating cylinder

2.2.2 触头盒设计

在柜宽为650 mm,相间距减小的情况下,仅依靠热缩管和绝缘板等措施难以满足雷电冲击耐受电压95 kV的要求,前期设计中考虑采用三相一体式触头盒,经过分析调研三相一体式触头盒开模具费用、制造费用都相当高,且安装极为不方便,通过多次厂内摸底试验和严格的电场分析计算,不断改进设计,成功将三相一体触头盒优化为单体设计,并新设计了触头盒绝缘罩,与触头盒配套使用来提高绝缘性能,触头盒及绝缘罩结构示意图见图6。

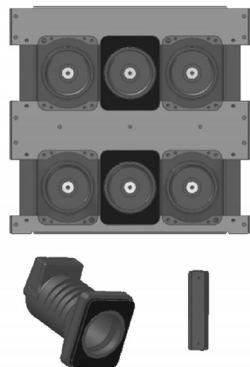


图6 触头盒及绝缘罩结构示意图

Fig. 6 The schematic diagram of contact box and insulating cover

2.3 接地开关设计

该产品所用接地开关,按标准最高要求进行了自主改进设计,接地关合能力强,已通过试验验证。另外,针对绝缘要求设计一种透明绝缘罩,实现了相邻接地排及接地排和柜体、电缆之间的绝缘防护,同时方便工作人员观察接地刀的工作情况。透明绝缘罩安装示意图见图7。

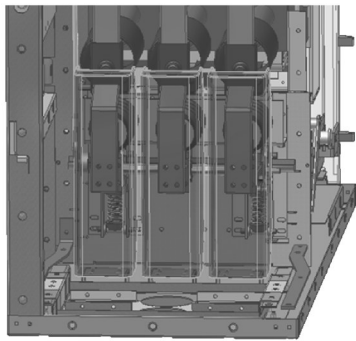


图7 透明绝缘罩安装示意图

Fig. 7 The installation diagram of transparent insulating cover

2.4 内部燃弧能力设计

在高海拔、频繁发生温湿风、易出现冷凝现象及污秽等地区,开关柜内凝露易造成内部燃弧故障,在设计散热通道解决温升问题的同时,还需考虑产品的泄压问题,确保设备和人身安全^[22-25]。该开关柜设有3处压力释放装置,分别位于断路器室、母线室和电缆室,在泄压板上焊接有泄压网板,泄压网板结构见图8。网板折成波纹状,对网孔的大小、网板厚度、孔的密度进行了合理设计,达到了既不增加泄压板整体重量,又提高了网板的强度、刚度,不易变形的目的,同时产品具备无烟道、带烟道2种设计方案,试验样机在西安某高压电器研究院顺利通过2个等级共6档1 s燃弧试验。试验样机完全工厂化,与正常合同产品完全一致。带烟道燃弧试验前后对比见图9,无烟道燃弧试验前后对比见图10。

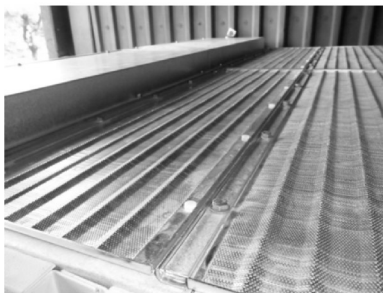


图8 泄压网板结构

Fig. 8 The structure of pressure release otter plate

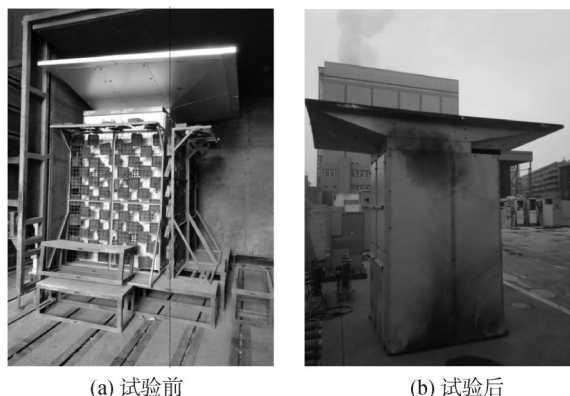


图9 带烟道燃弧试验前后对比

Fig. 9 Before and after of the arc test with a deflector

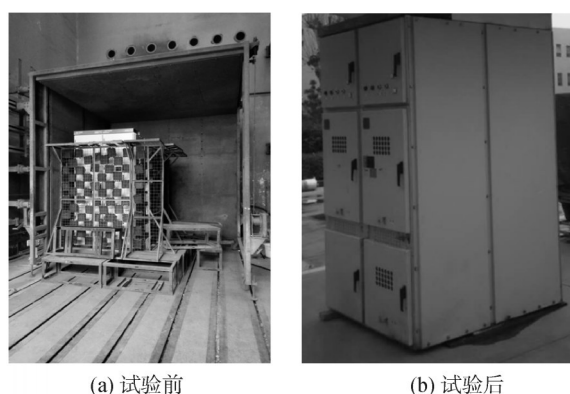


图10 无烟道燃弧试验前后对比

Fig. 10 Before and after of the arc test without a deflector

另外,设计一种高强度门锁,通过门锁的转动带动滑板上下运动实现开关门,打开门体简便,锁合强度较高,在柜体内部出现燃弧的时候,门板炸不开,可减少操作人员的人身和设备安全事故的发生,并且间隙可以控制在0.5 mm以内,通过了全套燃弧试验验证。门锁结构示意图见图11。

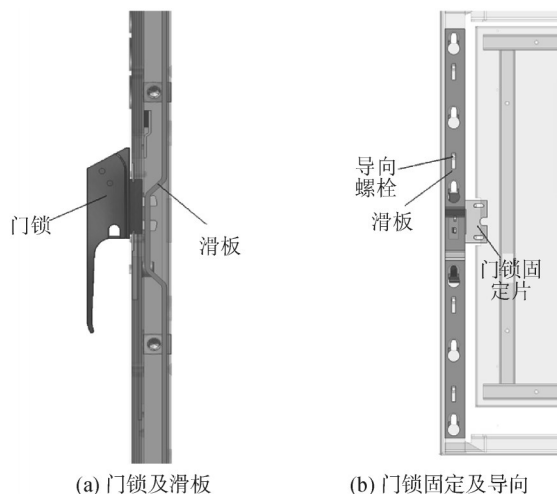


图11 门锁结构示意图

Fig. 11 The schematic diagram of door lock

2.5 联锁结构设计

目前,开关柜“五防”功能日趋完善^[26],该产品具备常规产品的一切联锁功能外,新增加了二次插头与中门之间的闭锁,结构示意图见图12。

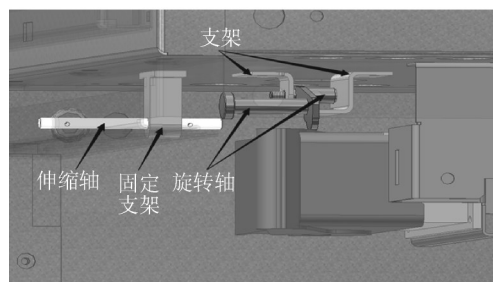


图12 二次插头与中门之间的闭锁结构示意图

Fig. 12 The schematic diagram of locking device between secondary plug and medial door

3 试验验证

试验样机经过反复的摸底试验验证和改进优化设计^[27-30],性能不断完善提高。

2016年初,根据 IEC 62271-200—2011、IEC 62271-100—2012 等国际标准,试验样机在德国 TUV 国际认证机构和有关专家的共同见证下,在西安高压电器研究院一次性顺利通过了全部型式试验(包括内部燃弧)。其中,额定雷电冲击通过95 kV的绝缘验证,接地开关满足5次接地关合(国网要求为2次),在5次接地关合试验中,含4次峰值(标准要求2次即可),无烟道和带烟道方案样机均通过2个等级共6档1 s燃弧试验,试验参数水平国内也是较高的。

4 结语

基于现有产品的结构,依据 IEC、GB 等有关标准,经过多次的摸底试验及反复的设计改进或创新,开发设计出一种12 kV小型化开关柜,该开关柜通过了型式试验验证,实现柜宽为650 mm,额定雷电冲击耐压达95 kV,接地开关满足5次接地关合,具有无烟道和带烟道内部燃弧方案,产品个别技术参数在国内外同行居同类前列。该产品突出的优点是体积小,绝缘水平高,接地关合能力强、抵抗内部燃弧水平强,不仅满足户内三相50 Hz、12 kV的电力系统使用,同时还满足国外15 kV和17.5 kV系统使用要求,是一种适用于高海拔、频繁发生温湿风、易出现冷凝现象及污秽地区的开关设备,产品耐气候性强,使用范围较广。在设计过程中采取的提高绝缘、增强内部燃弧能力等措施,为今后高海拔地区中压开关设备的设计提供参考。

参考文献:

- [1] 王晋根. 国网公司电科院探讨中压开关柜的现状与发展趋势[J]. 电器工业, 2007(2): 10-13.
WANG Jingen. State Power Grid Development Co., Ltd. and Electric Power Research Institute discuss the latest development trend of medium voltage switch[J]. China Electrical Equipment Industry, 2007(2): 10-13.
- [2] 张 平. 高压开关柜的发展与现状分析[J]. 中国科技信息, 2007(24): 89.
ZHANG Ping. High voltage switch cabinet development and present situation analysis[J]. China Science and Technology Information, 2007(24): 89.
- [3] 苏 明, 关德华. 高压开关柜运行情况分析[J]. 河北电力技术, 2011, 30(2): 35-36.
SU Ming, GUAN Dehua. Analysis on high voltage switch panel circs[J]. Hebei Electric Power, 2011, 30(2): 35-36.
- [4] 崔成恕, 高 华. 金属封闭开关设备的发展简析[J]. 高压电器, 2003, 39(2): 18-22.
CUI Chengshu, GAO Hua. Development of metal enclosed switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(2): 18-22.
- [5] 赵宇明, 黎小林, 吕金壮, 等. 高海拔地区外绝缘参数海拔修正方法研究[J]. 南方电网技术, 2011, 5(2): 59-63.
ZHAO Yuming, LI Xiaolin, LYU Jinzhuang, et al. Study on the altitude correction method for external insulation parameters in high altitude areas[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(2): 59-63.
- [6] 范立军. 高海拔地区大气参数对电气设备外绝缘影响的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2002.
FAN Lijun. Research on influence of atmospheric parameters on the effects of parameters on electric equipment outer insulation in high elevation zone[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2002.
- [7] 何国平. 高海拔地域中压开关柜的设计[J]. 科技传播, 2011, 5(2): 37.
HE Guoping. High altitude design of regional medium voltage switchgear[J]. Public Communication of Science & Technology, 2011, 5(2): 37.
- [8] 钟家喜, 金李鸣, 徐 彬, 等. 国产12 kV铠装式金属封闭开关柜技术隐患分析与对策[J]. 高压电器, 2007, 43(3): 232-235.
ZHONG Jiayi, JIN Liming, XU Bin, et al. Analysis and countermeasures of the technical potential problems in domestic 12 kV metalclad switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(3): 232-235.
- [9] 潘长明, 刘 刚, 熊 炬, 等. 高压开关柜绝缘事故的分析及防范措施[J]. 高压电器, 2011, 47(7): 90-93.
PAN Changming, LIU Gang, XIONG Ju, et al. High voltage switchgear insulation accident's analysis and countermeasures[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(7): 90-93.
- [10] 郑庆伟. 高压开关柜绝缘故障原因分析[M]. 北京: 电气设备装备出版社, 2010.
ZHENG Qingwei. High voltage switch cabinet insulation breakdown reason analysis[M]. Beijing: Electrical Equipment and Equipment Press, 2010.
- [11] 崔玉珏. 高海拔中压断路器及开关柜的研究探讨[J]. 自动化技术与应用, 2013, 32(4): 91-93.
CUI Yujue. Study on medium-voltage circuit breaker and switchgear at a high altitude[J]. Techniques of Automation and Applications, 2013, 32(4): 91-93.
- [12] 李小松. 浅谈10 kV高压开关柜设计的几点体会[J]. 电气开关, 2003(5): 11-13.
LI Xiaosong. Talking about a few words about design of 10 kV high voltage switch cubicle[J]. Electric Switchgear, 2003(5): 11-13.
- [13] 李海峰, 王帮田, 孙鹏程, 等. 高海拔地区中压成套开关设备设计与选型[J]. 机电工程, 2015, 32(7): 995-999.
LI Haifeng, WANG Bangtian, SUN Pengcheng, et al. Design and type selection of medium voltage switchgear in high altitude areas[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 32(7): 995-999.
- [14] 黄 强, 陈贵亮, 张维静, 等. 变电站高压开关柜防潮除湿方法及治理措施[J]. 安徽电力, 2012, 29(3): 37-39.
HUANG Qiang, CHEN Guiliang, ZHANG Weijing, et al. Treatment measures of moisture proof and dehumidification methods to high[J]. Anhui Electric Power, 2012, 29(3): 37-39.
- [15] 3.6 kV~40.5 kV金属封闭开关设备和控制设备: GB 3906—2006[S]. 2006.
Alternating-current metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltage above 3.6 kV and up to and including 40.5 kV: GB 3906—2006[S]. 2006.
- [16] 高压开关设备和控制设备标准通用技术要求: GB/T 11022—2011[S]. 2011.
Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards: GB/T 11022—2011[S]. 2011.
- [17] High-voltage switchgear and controlgear—Part 1: Common specifications: IEC 62271-1—2011[S]. 2011.
- [18] High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements: IEC 60060-1—2010[S]. 2010.
- [19] Insulation co-ordination—Part 1: Definitions, principles and rules: IEC 60071-1—2011[S]. 2011.
- [20] Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions. Definitions, information and general principles: IEC 60815-1—2009[S]. 2009.
- [21] Degrees of protection provided by enclosure(IP code): IEC 60529—2001[S]. 2001.
- [22] 熊泰昌. 内部电弧故障试验情况下中压开关柜强度计算[J]. 高压电器, 2002, 38(4): 42-44.

- XIONG Taichang. Strength calculation of medium voltage switchgear under internal arc-fault test[J]. High Voltage Apparatus, 2002, 38(4):42-44.
- [23] 于庆瑞,王思润,奚育宏. 耐受内部电弧故障级中压开关柜的研究[J]. 电气制造, 2010(8):34-36.
- YU Qingrui, WANG Sirun, XI Yuhong. Internal arc fault tolerance level study of MV switchgear[J]. Electrical Manufacturing, 2010(8):34-36.
- [24] 李玲,刘成学. 中压开关柜内部故障电弧计算机防护措施[J]. 高压电器, 2014, 50(9):131-135.
- LI Ling, LIU Chengxue. Calculation and prevention of internal fault arc in medium voltage switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(9):131-135.
- [25] 李朝顺. 开关柜内部燃弧时等效强度校验计算[J]. 东北电力技术, 2007(2):27-29.
- LI Chaoshun. Checkup calculation of equivalent strength during arch burning in the switch cabinet[J]. Northeast Electric Power Technology, 2007(2):27-29.
- [26] 吴建红,邹骏. 高压柜中一些难解决、易忽视的“五防”问题[J]. 高压电器, 2014, 50(8):124-126.
- WU Jianhong, ZOU Jun. Some difficult to resolve and easy to ignore problems of “five prevention” in high voltage switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(8):124-126.
- [27] 邱毓昌,施围,张文元. 高电压工程[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2003.
- QIU Yuchang, SHI Wei, ZHANG Wenyuan. High voltage engineering[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2003.
- [28] 张仁豫,陈昌渔,王昌长. 高电压试验技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2005.
- ZHANG Renyu, CHEN Changyu, WANG Changchang. High voltage testing technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [29] High-voltage switchgear and controlgear—Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV: IEC 62271-200—2011[S]. 2011.
- [30] High-voltage switchgear and controlgear-Part 100: Alternating-current circuit-breakers: IEC 62271-100—2012[S]. 2012.
- 孔祥冲(1976—),男,本科,工程师,主要从事高压开关设备的研发设计与试验。

(上接第220页)

- WU Zhangjian, LI Chengrong, QI Bo, et al. Partial discharge detection for GIS: A comparison of sensitivity between UHF and ultrasonic methods[J]. Modern Electric Power, 2010, 27(3):31-36.
- [16] 张纯. 局部放电试验典型放电和干扰图谱分析[J]. 电力学报, 2010, 25(1):51-55.
- ZHANG Chun. Partial discharge test and interference pattern analysis of a typical discharge[J]. Journal of Electric Power, 2010, 25(1):51-55.
- [17] CAVALLINI A, MONTANARI G C. A new methodology for the identification of PD in electrical apparatus: Properties and applications[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2005, 12(2):203-213.
- [18] 周倩,唐炬,唐铭,等. GIS内4种典型缺陷的局部放电超高频数学模型构建[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(8):100-103.
- ZHOU Qian, TANG Ju, TANG Ming, et al. Mathematical model of four typical defects for UHF partial discharge in GIS[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(8):100-103.
- [19] 李立学,腾乐天,黄成军,等. GIS局部放电超高频信号的包络分析与缺陷识别[J]. 高电压技术, 2009, 35(2):260-264.
- LI Lixue, TENG Letian, HUANG Chengjun, et al. Envelope analysis and defects identification of partial discharge UHF signals in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(2):260-264.
- [20] 金立军,张明锐,刘卫东. GIS局部放电故障诊断试验研究[J]. 电工技术学报, 2005, 20(11):88-91.
- JIN Lijun, ZHANG Mingrui, LIU Weidong. Examination and research on the partial discharge fault diagnostics in gas insulated switchgear[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(11):88-91.
- [21] 徐华,顾文涛,沈中元. GIS设备超声波局放信号异常的分析[J]. 浙江电力, 2013(12):6-8.
- XU Hua, GU Wentao, SHEN Zhongyuan. Analysis about ultrasonic wave PD signal abnormality of GIS device[J]. Zhejiang Electric Power, 2013(12):6-8.
- 杜鑫(1986—),男,工程硕士,高级工程师,主要从事电气设备检修及试验工作。