

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.04.033

一起500 kV GIS断路器局部放电数据异常的分析与处理

杜鑫

(中国南方电网公司调峰调频发电公司天生桥水力发电总厂, 贵州 兴义 562400)

摘要: 局部放电测试是对于气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)十分有效的一种状态监测方法,标准要求GIS大修后耐压过程中必须开展局部放电检测。文中详细介绍了某500 kV GIS断路器在交流耐压试验过程中发现的局部放电数据异常事件,最终检查发现为断路器灭弧室绝缘支撑筒底部紧固螺栓松动产生金属粉末引起,进行了有针对性的检查处理,并就设备检修项目的完善提出建议,对同类设备的检修和试验工作具有较强的参考意义。

关键词: GIS; 局部放电; 异常; 螺栓; 松动

Analysis and Treatment of Abnormal Partial Discharge Data in a 500 kV GIS Circuit Breaker

DU Xin

(Tianshengqiao II Hydropower Station of CSG Power Generation Company, Guizhou Xingyi 562400, China)

Abstract: Partial discharge test is a very effective method of state monitoring method for gas insulated metal enclosed switchgear (GIS), in the standard, the partial discharge detection must be carried out during the process of GIS overhaul. This paper introduces the partial discharge data of a 500 kV GIS circuit breaker abnormal events found in AC voltage test process, the final examination showed interrupter insulating support tube bottom fastening bolt loosening caused by metal powder, carries on the inspection, and puts forward some suggestions to perfect the equipment maintenance project. This provides a good reference for the maintenance and test of the same kind of equipment.

Key words: GIS; partial discharge; abnormal; bolt; looseness

0 引言

气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)因绝缘性能优良、可靠性高、占地面积小、维护工作量少等优点在电力系统中被广泛应用^[1-3]。但也正因为其全封闭结构的原因,对GIS内部设备状态的评估手段较少,常规的GIS回路电阻测试、SF₆气体检测等方法仅对有异常之后设备的状态数据进行检测,对于设备隐患的发现作用有限。而随着电力系统电压等级和容量的不断增加,GIS设备的数量剧增,其故障暴露也随之增多。当GIS发生故障时,维修复杂,修复时间长,影响面积大,后果严重。统计研究表明,GIS设备故障以绝缘故障为主,而设备内部的局部放电往往是绝缘性故障的表现形式及其先兆^[4]。目前国际上普遍认为通过局部放电检测的方式来评

估GIS内部状态是有效的,局部放电会逐渐腐蚀、损坏绝缘材料,使放电区域不断扩大,最终导致整个绝缘击穿。随着技术的发展,局放检测已成为减少GIS设备故障的有效手段^[5-9]。中国电力行业以及设备检修相关规程都要求在设备安装和大修完毕后,要结合交流耐压试验开展局部放电检测^[10-14]。

1 事件情况

某电站500 kV GIS型号为500-GNS-MS50,额定电压为550 kV,额定电流为3 150 A,额定短路电流为50 kA(3 s)。在进行5023开关开盖大修工作后,依据标准要求进行交流耐压以及局部放电检测。交流耐压波形见图1。考虑到该GIS投运时间超过20年,为老旧设备,交流耐压值选取为1.1U₁,耐压结束后降至317 kV(U₁)进行局部放电测量。

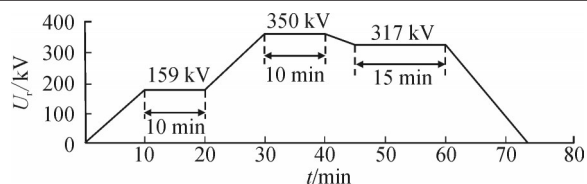


图1 5023开关交流耐压波形

Fig. 1 AC voltage waveform of 5023

试验过程中A、B、C相交流耐压均顺利通过,但试验单位检测显示B、C相局部放电图谱峰值为4 dB左右,而A相局部放电图谱峰值为20 dB左右,较B、C相明显偏高。电厂使用自备局部放电测试仪(超声波)进行测试以对比分析,发现A相局部放电量约为20 mV左右,B、C相约为5 mV左右,分别见图2、3。

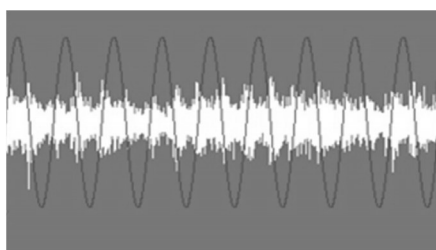


图2 5023 A相局放测试波形

Fig. 2 Test waveform of 5023 A phase

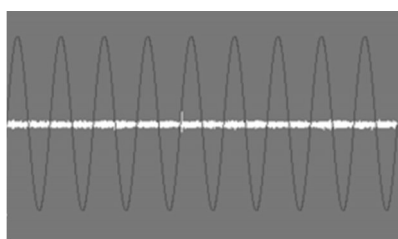


图3 5023 B、C相局放测试波形

Fig. 3 Test waveform of 5023 B、C phase

将电压从0开始升压,跟踪观察,发现大约至190 kV时A相局部放电量出现明显增量,电压升至317 kV时局部放电量约为20 mV左右。现场立即组织进行开盖检查,未发现尘埃及颗粒状杂物和其他杂物;安装时螺栓的紧固记号均未发现错位现象,未发现松动迹象;气室内各金属部件表面均未发现有划痕、毛刺或其它脏污、尘埃。完成检查工作并重新注气静置24 h后,再次进行耐压及局放测试,发现与上一次试验类似,升至190 kV时局部放电量出现明显增量,至317 kV时局部放电量约为20 mV左右,升至350 kV时局部放电量约为20 mV左右,测量相邻气室局部放电量约为4 mV左右。但是,在耐压通过后降压至317 kV进行测量,发现局部放电量增大至约为50 mV左右,较350 kV时增大。其后再进行试验,局放量不再变化,测试波形图见图4。

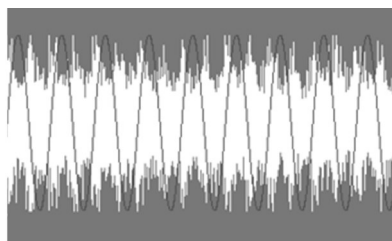


图4 第二次试验5023 A相局放测试波形

Fig. 4 Second test waveform of 5023 A phase

发现局放数据异常后,电厂、GIS生产厂家(日本三菱)和试验单位现场技术人员进行分析,由于第2次试验过程中出现317 kV局放量较350 kV要高的情况,虽然采用了试验单位以及电厂两方的设备,并且使用了超声波及超高频2种检测方法均证实了5023开关A相局放数据异常。但是厂家对检测结果仍然持怀疑态度,要求使用日方的测试方法和检测设备进行测试。在具备试验条件后,日方进行了测试,结果表明放电点仍然存在,放电量约为1 000 pC左右,为悬浮放电,位置位于5023 A相中部偏左的位置,检测结果及放电点(五角星处)见图5。

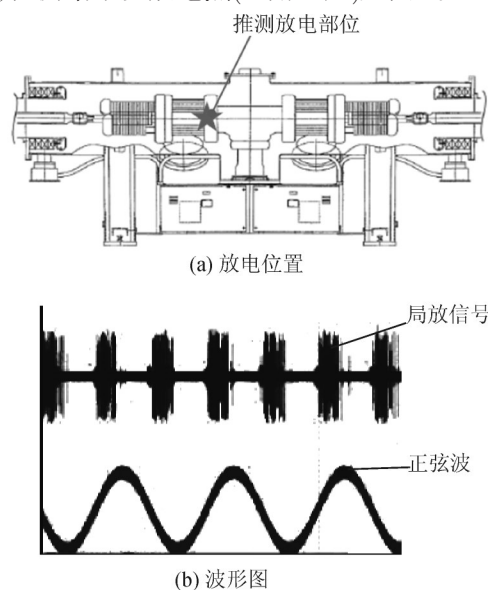


图5 日方5023 A相局放测试结果

Fig. 5 The test results of Japanese 5023 A phase

2 解体检查情况

由于多方、多种方法的局放检测结果均表明该断路器内部的确存在局部放电数据异常,但是在第1次开盖检查时并未发现异常,现场再次开盖进行检查,并针对日方检测结果中局放部位重点进行了摸查,仍未发现异常。查阅相关资料,结合试验结果,综合分析认为该断路器气室内部在耐压过程中的确存在放电,并且应为悬浮放电^[15-20]。故最终决定对断路器灭弧室吊出进行解体检查。

1)对5023 A相灭弧室各部件螺栓紧固情况进行检查确认,均无松动,达到厂家规定力矩值。

2)拆下5023 A相灭弧室断口合闸电阻组件(包括有灭弧静触头、主静触头、合闸电阻、电阻器静触头、导电杆)、均压罩、吹气筒组件(包括有喷嘴、活塞、活塞杆、灭弧动触头、主动触头、吹气筒)、均压电容,对左侧断口各部位部件进行检查,未发现异常,见图6。

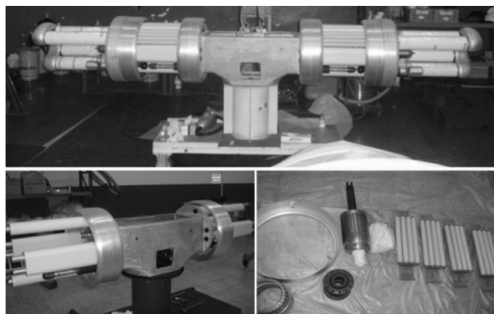


图6 灭弧室吊出解体情况

Fig. 6 Disintegration of arc extinguishing chamber

3)对5023 A相内部的绝缘操作棒进行检查,发现表面较脏;进一步对断路器气室内部的灭弧室绝缘支撑筒进行检查,发现其内部底部发黑,有黑色斑点,见图7。

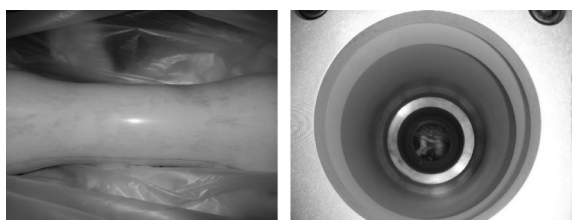


图7 绝缘杆及支撑筒内部检查

Fig. 7 Internal inspection of the insulation rod and support cylinder

4)在拆除绝缘支撑筒过程中,发现其底部密封滑块装置内部的密封面上存在有大量的金属粉末,而与绝缘支撑筒固定螺栓接触的地方有螺栓在长期运行中振动挤压留下的印痕,见图8。检查绝缘支撑筒12颗固定螺栓,发现有11颗未达到规定力矩值,明显松动,明显偏移原定位线,仅1颗满足力矩要求。

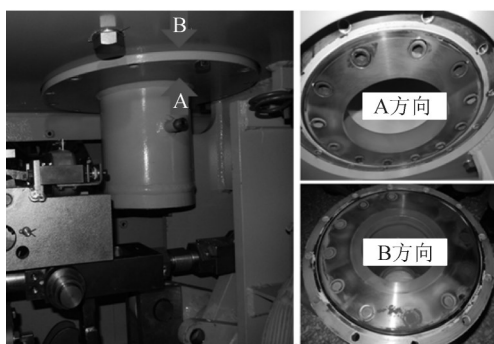


图8 滑动密封处检查情况

Fig. 8 Inspection of sliding seal

5)拆下绝缘支撑筒检查,发现其底部附着有黑色物质,局部有爬电痕迹,见图9。



图9 绝缘支撑筒检查情况

Fig. 9 Inspection of support cylinder

3 异常原因分析

电厂每半年定期对500 kV GIS进行一次离线超声波局放检测,在之前的检测过程中,5023 A相灭弧室的数据并没有异常,而此次检修一开始仅为开盖内检,检查灭弧室内部各部位状态、螺栓紧固情况以及清扫等,检修过程未发现异常。但在封盖回装之后试验过程中就出现局放异常的情况,在最终解体结果出来前,各方人员对于设备内部是否真的存在放电点是不确定的。查阅相关文献也未发现过同类情况,一般情况下,悬浮放电的故障表现是较为明显的^[19-21]。

5023断路器灭弧室示意图见图10。通过对解体检查结果的分析,可以推测,5023 A相灭弧室支撑绝缘筒底部固定螺栓松动,运行过程中与下部绝缘拉杆的滑动密封内表面摩擦产生金属粉末;由于滑动密封装置的存在,螺栓松动后与法兰面接触而不会脱落,摩擦产生的大部分金属粉末落在滑动密封法兰面上,一部分则被压在绝缘支撑筒下部,可能有极少量进入了断路器气室,故正常运行过程中并未引起局放数据异常。

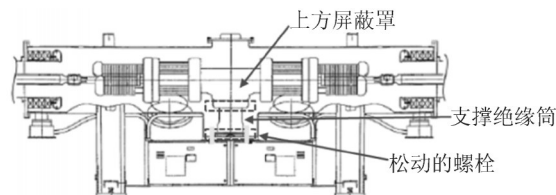


图10 5023断路器灭弧室示意图

Fig. 10 Schematic diagram of 5023 circuit breaker interrupter

在断路器开盖检修完毕后,由于进行了抽真空、注SF₆气体的工作,抽真空将原本被封闭在绝缘支撑筒下部和滑动密封盖法兰面内的一部分金属粉末吸入绝缘支撑筒内部,而由于绝缘支撑筒内部

也是一个相对密闭的空间,金属粉末无法进入灭弧室其他地方,同时考虑到局放超声波传播过程中,若有障碍物阻挡,通常会极大影响检测结果^[4-5],所以并没有造成气室内局放检测的大范围异常。

针对该断路器灭弧室绝缘支撑筒紧固螺栓为什么会出现松动的情况,GIS生产厂家从断路器设计、选材、装配、运输和长期运行操作等方面进行了分析。分析情况见表1。

表1 可能的原因分析
Table 1 Possible cause analysis

序号	可能的原因	分析结果
1	设计错误:如果所用螺栓的承受力矩小于紧固力矩,可能会导致螺栓松动。	①断路器通过了指定的型式试验(2 000次操作)。 ②通过分析螺栓的紧固力矩显示,紧固力度相对于操作震动来说有很大的裕度。
2	材料缺陷:如果材料缺陷致使螺栓变形,同样会导致螺栓松动。	①所有螺栓没有异常,外观上没有发现伸缩或破损。 ②原材料记录中没有发现任何缺陷。
3	工厂装配不当(螺栓紧固不足):如果安装时紧固力矩不足,操作震动可能会引起螺栓松动。	①调查了三份原始记录表(工厂装配检查表、工厂试验检查表、工厂见证报告),表明当初经3人3次检查确认设备的健全性,并且记录中没有异常描述。 ②绝缘支撑筒上部的相同螺栓是按照要求正确紧固的。 ③所有螺栓上都有紧固标记。
4	运输:在设备的运输途中,如果外界冲击力大于紧固螺栓的紧固力矩,可能会导致螺栓松动。	①带回日本进行分析的部分内部导体上发现有运输阶段的震动痕迹,对送回工厂分析的压气缸进行检查,合闸位置沿圆周方向的表面有震动痕迹。 ②在部分严峻的运输条件下(累次加速冲击)螺栓的紧固程度可能会下降,从而导致螺栓松动。
5	设备长期运行(频繁操作):如果断路器频繁操作超过2 000次但又不作维护,可能会引起螺栓松动	断路器实际操作次数不足200次,远小于2 000次的设计值。

对于第2次试验过程中出现由350 kV降压至317 kV时局放量增长,后期又稳定的情况。分析认为,金属颗粒在气室内部悬浮引起放电,过程中金属颗粒的漂移引起了放电量的变化。

4 后续检查情况

通过对5023断路器A相局放异常的检查、处理以及原因分析,认为对于电厂500 kV GIS断路器来说,如果曾经进行过开盖检修,抽过真空,并且目前运行中局放数据检测没有异常,说明其不存在绝缘支撑桶紧固螺栓松动并产生大量金属粉末的问题。而对于尚未进行过开盖检修和抽真空的断路器(5011、5031、5041、5042、5043共计5台),则不能排除,所以在后续的断路器开盖检修过程中,在不吊出灭弧室的情况下,增加灭弧室绝缘支撑筒紧固螺栓检查的内容。其检查结果见表2。

表2 5台断路器绝缘支撑桶紧固螺栓检查情况
Table 2 Inspection of five insulation support barrel fastening bolt

断路器 编号	螺栓紧 固情况	开关操 作次数
5011	A相 3颗未达到紧固力矩	437
	B相 9颗未达到紧固力矩,7颗手可 拧动	437
	C相 未见异常	430
5031	A相 未见异常	407
	B相 6颗未达到紧固力矩,1颗手可 拧动	413
	C相 未见异常	401
5041	A相 未见异常	352
	B相 12颗(全部)未达到紧固力矩	330
	C相 未见异常	336
5042	A相 未见异常	361
	B相 未见异常	358
	C相 未见异常	359
5043	A相 未见异常	276
	B相 未见异常	332
	C相 未见异常	329

从检查结果可以看出,螺栓的松动以及松动程度与断路器操作次数之间有一定关系(成正比),但由于统计量太少,并不明显。就所检查灭弧室的数量整体而言,松动的比例是很高的,达到了4/15。从松动螺栓的检查情况来看,尚没有形成大量金属粉末和进入灭弧室的情况发生,松动情况不严重,这与电站断路器动作次数较少有关。但是考虑到螺栓松动会导致灭弧室动作过程中震动加大,而震动过大又引起螺栓进一步松脱和摩擦,恶性循环,最终将造成事故。所以,对全部螺栓进行检查和紧固是很有必要的,在此之前,应用局放监测手段对断路器进行状态检查也是必需的。

5 结论

文中着重对现场某断路器局放数据异常的检查、处理、原因分析以及后期的检修策略进行说明,聚焦于工程实际,因篇幅所限,未对GIS局放检测的相关原理和测试方法进行阐述,得到以下结论:

1)GIS的离线局放检测技术已经相对成熟,如果多台设备都检测出设备局放数据异常,排除检测方法及操作错误,则基本可以确定设备内部的确存在局部放电。

2)断路器内部灭弧室的结构较为紧凑、复杂,而局放的定位受障碍物影响较大,不可局限于仪器检测结果判断的故障位置进行内部检查,应尽快安排进行解体全面排查。

3)对于断路器灭弧室而言,其全部重量都集中在绝缘支撑筒上,操作过程中所产生的各个方向上的震动、偏移等最终都将作用在支撑筒底部紧固螺栓上。鉴于该部位螺栓松动可能带来的严重后果,建议各运行单位在进行断路器开盖检修过程中,对灭弧室绝缘支撑筒紧固螺栓进行抽检,着重检查动作次数较多,开断过大电流的断路器,依据检查结果确定是否扩大范围。同时,建议相关标准中也增加该抽检项目,以全面掌握设备状态,消除隐患。

参考文献:

- [1] 邱毓昌. GIS装置及其绝缘技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,2007.
QIU Yuchang. GIS devices and insulation technology[M]. Xi'an:Xi'an Jiaotong University, 2007.
- [2] 王昌长,李福祺,高胜友. 电力设备的在线监测与故障诊断[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
WANG Changchang, LI Fuqi, GAO Shengyou. Online monitoring and diagnosis for power equipment[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [3] CIGRE Working Group 33/32-12. Insulation coordination of GIS:Return of experience, on site tests and diagnostic techniques[J]. Electra, 1998, 176(2):67-95.
- [4] 邱昌容,王乃庆. 电工设备局部放电及其测试技术[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
QIU Changrong, WANG Naiqing. Partial discharge and measurement technology of the electrical equipment[M]. Beijing:China Machine Press, 1994.
- [5] 成永红,谢小军,陈玉,等. 气体绝缘系统中典型缺陷的超宽频带放电信号的分形分析[J]. 中国电机工程学报,2004,24(8):99-102.
CHENG Yonghong, XIE Xiaojun, CHEN Yu, et al. Study on the fractal characteristics of ultrawide typical defects[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(8):99-102.
- [6] SRIVASTAVA K D. A review of some critical aspects of insulation design of GIS/GIL systems[C]//Transmission and Distribution Conference and Exposition. Atlanta, GA, USA: Power & Energy Society, 2001:787-792.
- [7] 肖燕,胡浩,郁惟镛. 基于ARTNN的GIS绝缘故障识别新方法[J]. 高电压技术,2007,33(12):75-79.
XIAO Yan, HU Hao, YU Weiyong. New artnn based algorithm for pattern recognition of insulation defect in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(12):75-79.
- [8] 李继胜,赵学风,杨景刚,等. GIS典型缺陷局部放电测量与分析[J]. 高电压技术,2009,35(10):2440-2445.
LI Jisheng, ZHAO Xuefeng, YANG Jinggang, et al. Measurement and analysis of partial discharge on typical defects in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(10): 2440-2445.
- [9] 肖燕,郁惟镛. GIS中局部放电在线监测研究的现状与展望[J]. 高电压技术,2005,31(1):47-50.
XIAO Yan, YU Weiyong. Present status and prospect of research of online partial discharge monitoring system in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(1): 47-50.
- [10] 电力设备预防性试验规程:DL/T 596—1996[S]. 1996.
Preventive test code for electric power equipment:DL/T 596—1996[S]. 1996.
- [11] 气体绝缘金属封闭开关设备现场耐压及绝缘试验导则:DL/T 555—2004[S]. 2004.
Guide for withstand voltage and insulated test of gas-insulated metal-enclosure switchgear on site:DL/T 555—2004[S]. 2004.
- [12] 气体绝缘金属封闭开关设备技术条件:DL/T 617—2010[S]. 2010.
Specification for gas-insulated metal-enclosed switchgear: DL/T 617—2010[S]. 2010.
- [13] 贾志杰,陈少卿,陈洪波,等. 超声波局部放电检测在GIS耐压试验的应用[J]. 中国电力,2013,46(12):29-32
JIA Zhijie, CHEN Shaoqing, CHEN Hongbo, et al. Application of ultrasonic partial discharge detection in GIS withstand voltage test[J]. Electric Power, 2013, 46(12):29-32.
- [14] 李秀卫,陈玉峰,王庆玉. 提高GIS现场交流耐压试验标准探讨[J]. 山东电力技术,2011(2):22-26.
LI Xiuwei, CHEN Yufeng, WANG Qingyu. Discussion on improving AC withstand voltage test standard of gas-insulated metal-enclosure switchgear on site[J]. Shandong Electric Power, 2011(2):22-26.
- [15] 吴张建,李成榕,齐波,等. GIS局部放电检测中特高频法与超声波法灵敏度的对比研究[J]. 现代电力,2010, 27(3):31-36

(下转第226页)

- 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,滕乐天,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。