

GIS 设备局部放电缺陷诊断分析

李娟¹, 李明², 金子惠³

(1. 甘肃省电力公司电力交易中心, 兰州 730050; 2. 甘肃省电力公司电力科学研究院, 兰州 730050;

3. 甘肃省电力公司定西供电公司, 甘肃 定西 743000)

摘要: 局部放电检测对发现 GIS 设备内部潜在缺陷发挥着重要作用, 为更好地开展 GIS 设备运行分析及现场故障诊断工作, 笔者结合开展多年局放检测的实际经验, 通过对两起典型 GIS 局放缺陷案例的阐述和分析, 提出了一些开展局放检测的方法和经验, 以供相关专业技术人员参考。

关键词: GIS; 局部放电; 诊断分析

中图分类号: TM56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2014)10-0085-06

Some Methods for Diagnosis of GIS Partial Discharge Defects

LI Juan¹, LI Ming², JIN Zihui³

(1. Gansu Electric Power Company Power Trading Center, Lanzhou 730050, China;

2. Electric Power Research Institute of Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730050, China;

3. Gansu Electric Power Company Dingxi Power Supply Company, Gansu Dingxi 743000, China)

Abstract: Some methods for diagnosing partial discharge defects in GIS equipment are presented on the basis of analysis on two typical cases of GIS partial discharge defects and the authors' work experience. These methods may benefit operation analysis of GIS equipment and spot diagnosis of partial discharge faults.

Key words: GIS; partial discharge; fault diagnosis

0 引言

由于 GIS 组合电器具有占地面积小、运行维护量小、结构可靠等优点, 近年来 GIS 设备在全国各电压等级变电站中的应用不断增加。及时准确地对 GIS 设备运行情况进行分析判断就成为了确保变电站安全稳定运行的必要条件。局部放电是反映 GIS 设备运行状态的重要参数之一, 通过检测 GIS 局部放电量能发现其内部早期的绝缘缺陷, 以便于及时采取措施, 避免缺陷的进一步发展^[1-12]。笔者在辨析超声波法和超高频法各自特点的基础上, 结合现场工作经验, 给出了利用超声波局放检测法发现、分析 GIS 设备内部故障的实例^[13-17]。

1 局部放电综述

1.1 局部放电产生的原因

主要有以下几种情况: ①绝缘体内部存在自由

移动的金属颗粒; ②绝缘体内或高压导体存在尖端突出物; ③制造原因在绝缘表面可能存在的固定微粒; ④附近存在悬浮电位体; ⑤绝缘体内部或者表面存在的气隙裂纹等。

1.2 缺陷的分类

根据对国内外多起 GIS 局放案例的研究, 总结得出 GIS 绝缘中最主要的缺陷有以下几种类型, 见图 1: ①接地或带电部分上的凸起; ②自由移动或固定颗粒; ③毛刺、突起; ④电位悬浮、机械松动的屏蔽^[18-24]。

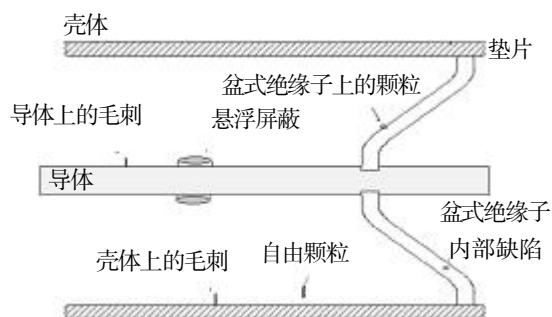


图 1 缺陷的分类

Fig. 1 Classification of defects

收稿日期: 2014-03-22; 修回日期: 2014-04-26

2 局部放电主要测试方法对比

2.1 监测原理

2.1.1 超声波法

GIS 内部发生局放时分子间剧烈碰撞并在宏观上瞬间形成一种压力,产生超声波脉冲,类型包括纵波,横波和表面波,见图 2。GIS 中沿 SF₆ 气体传播的只有纵波,这种超声纵波以某种速度以球面波的形式向四面传播。由于超声波的波长较短,因此它的方向性较强,从而它的能量较为集中,可以通过设置在外壁的压敏传感器收集超声放电信号并对信号进行分析。

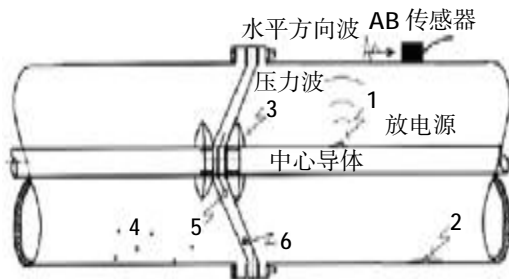


图 2 超声波法的原理

Fig. 2 The principle of the ultrasonic method

2.1.2 超高频法

在 GIS 发生局部放电时,伴随着一个很陡的电流脉冲并向周围辐射电磁波。超高频法就是利用传感器接受局部放电所激发的电磁波,并对电磁波进行分析的一种方法。

2.2 监测特点分析

2.2.1 超声波法

超声诊断法就是在 GIS 外部安放传感器,传感器的谐振范围为 20~100 kHz。对于移动中的颗粒,比传统的局放测量法和 UHF 法优越,灵敏度高。

2.2.2 超高频法

其下限频率在 300 MHz 以上,因而可把电晕放电引起的干扰排除掉,其抗干扰性能是最优越的。UHF 测量一般要求在 GIS 上安装内部耦合器,因为 UHF 信号最好从内部耦合器取出。利用此方法必须在 GIS 制造过程中就予以考虑,因而主要用于重要变电站 GIS 设备在线实时监测^[23-27]。

3 应用超声波法的现场案例分析

3.1 案例 1

3.1.1 情况简介

某新建 330 kV 变电所国产 ZF6-126 型 GIS 设备在进行交流耐压试验时进行了超声波局部放电的检测。发现 I 段母线第 14 号测点 C 相局放量峰值

和有效值偏大,其 14 号测点(整个 I 段母线共 23 个测点)位置见图 3。



图 3 14 号测试点位置示意图

Fig. 3 No.14 test point location diagram

测试结束后现场技术人员对 I 段母线第 14 号测点的有效值、峰值及各项统计参数结合 14 号测点所在气室结构进行了认真仔细的研究分析。

在对 14 号测点所在气室进行局放测试中,见图 4 和表 1,A 点检测有效值为 15.0 mV,峰值为 60.0 mV,用专用橡胶锤对壳体敲击后 A 点检测有效值和峰值有明显增长现象(有效值为 20.0 mV,峰值为 106.0 mV),同时对 B 点敲击后检测有效值和峰值也有明显增长。

3.1.2 试验数据分析

在连续测量模式下,存在 50 Hz 即(频率 1)相关信号,表示存在有局部放电。图 5 中出现 100 Hz(频率 2)分量则表示放电在工频电压的两个半波出现,且幅值较大,说明放电水平高,见图 5、6。

不同噪声源在 GIS 中的传播见图 7。根据噪声信号传播方向,如果噪声源在导体上“α 点”则信号最大值会出现在一个大范围的区域“1”中。如果噪声源在壳体上“β 点”则信号最大值出现在一个特定点“2”。根据现场测试结果信号最大值在图 4 中的“A 点”,因此可以确定噪声源在 GIS 设备外壳上。



图 4 14 号测点 A、B 两点示意图

Fig. 4 No.14 measuring points A, B two schematic diagram

表 1 敲击前后检测结果

Tab. 1 Percussion before and after the test results mV

时间	测试点	A-B、C 及地		B-A、C 及地		C-A、B 及地	
		有效值	峰值	有效值	峰值	有效值	峰值
初测	14 号 A 点	0.13	0.60	0.12	0.60	14.00	56.00
	14 号 A 点 敲击前	0.14	0.60	0.11	0.70	15.00	60.00
复测	14 号 A 点 敲击后	0.12	0.60	0.14	0.60	20.00	106.00
	14 号 B 点 敲击前	0.14	0.60	0.15	0.80	0.20	0.80
	14 号 B 点 敲击后	0.15	0.70	5.00	12.00	1.20	5.00

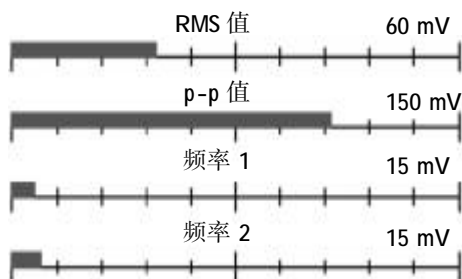


图 5 连续测量模式瞬态记录

Fig. 5 Continuous measurement mode transient recorder

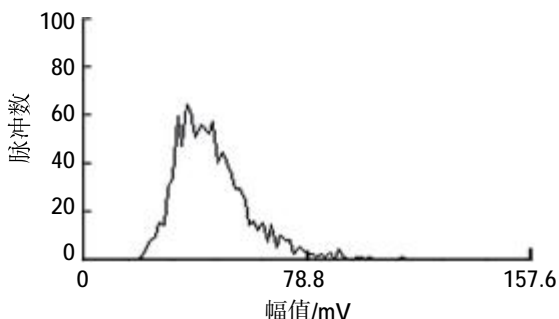


图 6 峰值统计图

Fig. 6 Peak chart

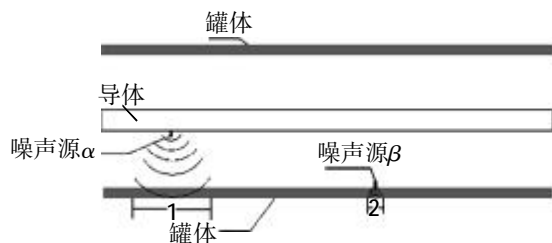


图 7 不同噪声源在 GIS 中的传播

Fig. 7 The spread of different noise sources in the GIS

对罐体敲击后图 4 中的“B 点”信号明显增大,说明罐体底部也存在噪声源。由于信号最大点附近无绝缘支撑件,且距盆式绝缘子较远(约有 80 cm),因此认为罐体壁上存在有引起较高放电信号的颗粒杂质或尖端毛刺,建议对此气室解体检查。

3.1.3 气室解体检查结果

测试结束后,对气室进行了解体检查,发现紧靠 14 号测点的手孔盖内有杂质堆积,同时罐体底部也有杂质,见图 8、9。

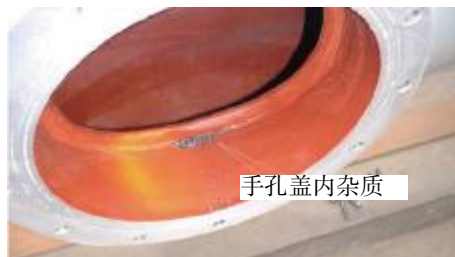


图 8 现场解体后手孔内积有杂质

Fig. 8 The scene disintegrated hole area with impurities



图 9 14 号测点处吸附剂壳体表面杂质

Fig. 9 No.14 measured at the point of adsorbent shell surface impurities

3.1.4 处理情况

根据现场解体情况,此次发现的缺陷是由于固定吸附剂壳体干燥过热所产生的氧化物碎屑引起的。经与其他厂家吸附剂活化和安装工艺的比较,建议在安装前的活化工序应只对吸附剂进行活化加热,对盛装吸附剂的壳体不宜在高温下加热,如需处理宜采用无水酒精或丙酮进行必要的清洁。气室处理后,再次对 I、II 段母线各点进行了局放检测,检测结果无异常,设备顺利投运。

3.2 案例 2

3.2.1 情况简介

2010 年 1 月 29 日下午,在使用 AIA 局放测试仪对新投运 7 天的 750 kV 兰州东变电站 70916 东官二线间隔 75221 A 相隔离开关(测试部位分布图见图 10)进行局部放电测试时,发现局部放电数值较其相邻隔离开关明显偏高,最高峰值达到了 20 mV,为背景噪声的 20 倍。2 月 3 日晚,在对 75221 A 相隔离开关进行同一部位的复测时,发现其局放信号峰值电压达到了 48 mV。现场具体测试数据见表 2。

3.2.2 试验数据分析

根据表 2 测试数据可以看出,75221 A 相隔离开关内部存在局部放电现象,在短短 5 天的时间内,

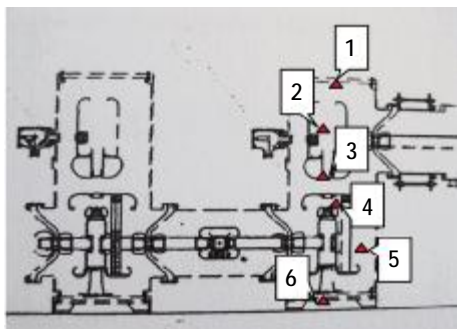


图 10 测试点分布

Fig. 10 Distribution of test points

表 2 各个点的测试结果

Tab. 2 Distribution of test points mV

测试点	2010-01-29	2010-02-03
1 号	峰值	70.0
	有效值	24.0
2 号	峰值	52.0
	有效值	17.0
3 号	峰值	48.0
	有效值	16.5
4 号	峰值	35.0
	有效值	13.0
5 号	峰值	32.0
	有效值	12.0
6 号	峰值	25.0
	有效值	10.5

局放信号明显增大,并呈现出恶化趋势,继续发展下去,有可能影响到设备的正常运行。表 2 中测试点 5 的连续模式及相位模式图谱见图 11、12, 由图谱可见, p-p 值和 RMS 值抖动较大, 据此可以排除放电为毛刺放电。50、100 Hz 相关性分量均出现且 50 Hz 分量小于 100 Hz 分量,可断定隔离开关内部存在弱局放。初步判断放电原因可能为罐体内存在悬浮电位。

2 月 3 日晚,根据上述判断,为了进一步诊断局放的性质,定位局部放电位置,确定了以下测试方案:第 1 步断开 7522 断路器,由东官二线对 75221 隔离开关带电,其整体有电压、无电流流过,该状态

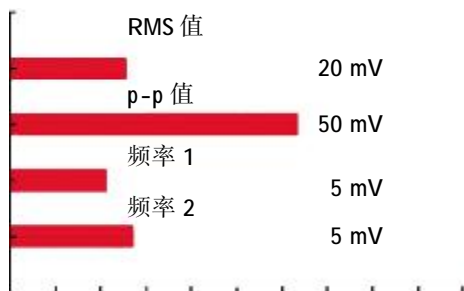


图 11 连续模式图谱

Fig. 11 Continuous mode map

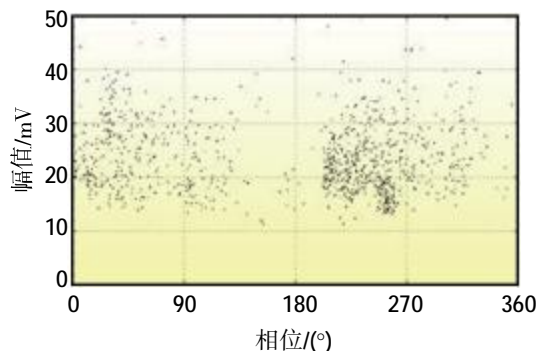


图 12 相位模式图谱

Fig. 12 Instrument test interface phase mode map

下局放测试结果与有电流流过隔离开关时相差无几,验证了隔离开关内部存在的局放不是由于电动力产生的机械振动;第 2 步东官二线暂时停运,7522 断路器断开,用 7520 断路器对 75221 隔离开关下部进行充电,未发现局放信号,可断定局部放电部位存在于 75221A 相隔离开关动触头侧或者是在于 7522A 相断路器的连接处。

3.2.3 气室解体检查结果

2010 年 3 月 11 日,厂家人员对该隔离开关进行了解体检查,发现 75211 A 相隔离开关动触头侧绝缘支撑件金属底座与动触头侧支架连接处有放电痕迹,具体情况见图 13-15。图 13 放电部位 1 为绝缘支撑件金属底座与支架连接处,两金属件之间近似形成一个平板电容;图 14 放电部位 2 为隔离开关动触头侧绝缘支撑件金属底座与动侧支架连接。



图 13 放电部位 1

Fig. 13 Discharge site 1

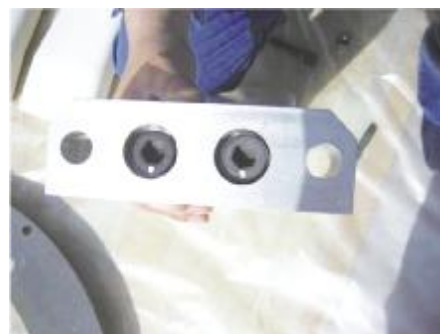


图 14 放电部位 2

Fig. 14 Discharge site 2



图 15 隔离开关动侧绝缘支撑件支架上残余的 SF₆ 气体放电分解产物

Fig. 15 The isolation switch movable side the insulating support bracket on the residual SF₆ gas discharge decomposition products

3.2.4 处理情况

根据现场解体情况,此次发现的缺陷是绝缘支撑件金属底座与动触头侧支架由于加工工艺不良或者装配不当形成不均匀电场,在二者之间形成“电容”,从而发生平板电容放电。经过对该隔离开关整体进行更换后,再次进行了局放检测,检测结果无异常,该间隔设备顺利投运。

4 结论

1)传统的局放电测法因抗干扰性差,现场灵敏度达不到要求,不适合于现场的使用。超高频法适用于连续监测,一般须预埋传感器,数据分析起来较复杂。超声波法的实用性强,不受现场干扰的影响,能够对产生局放信号的设备内部缺陷进行准确的定位和排查分析,适合于专业人员带电巡检(定期或不定期),是目前现场检测中绝大多数采用的方法。

2)超声法局放检测对发现自由颗粒、振动、悬浮电位等 GIS 设备内部故障有较高的灵敏度,而对绝缘子内部缺陷、绝缘子表面脏污及电场异常等故障类型灵敏度较低,需要加强对后一种类型缺陷的检测手段的研究,结合超高频等手段,找到一种符合的可全面检测 GIS 设备内部故障的方法,确保 GIS 设备的安全运行。研究这些手段应用于罐式断路器及其他相关设备的可行性,充分发挥该检测设备的作用。

3)在电力系统现场工作中,应充分发挥超高频法和超声波法各自优势,对 GIS 设备进行定期检测,确保其安全稳定长周期运行。目前相关经验和缺陷判据相对较少,应在今后的工作中继续开展 GIS 设备内部故障的分析和研究,吸取国内外相关经验,为更好的开展 GIS 设备局放检测、缺陷早期发现提供科学依据。

参考文献:

- [1] 郭贤珊.高压开关设备生产运行实用技术[M].北京:中国电力出版社,2008.
GUO Xianshan. Practical technology of the production run of the high-voltage switchgear [M]. Beijing: China Electric Power Press,2008.
- [2] 国家电网公司.Q/GDW168—2008 输变电设备状态检修试验规程[S].2008.
State Grid Corporation.Q/GDW168—2008 State of the transmission and distribution equipment maintenance testing procedures[S].2008.
- [3] 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(11):92-96.
JIN Lijun,ZHANG Mingrui,LIU Weidong. GIS partial discharge fault diagnostic test research [J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2005(11):92-96.
- [4] 陈晓清,任明,彭华东,等.GIS 设备中 SF₆ 气体分解影响因素分析[J].电网与清洁能源,2010,26(7):34-38.
CHEN Xiaqing,REN Ming,PENG Huadong,et al. An analysis on affecting factors of SF₆ gas decomposition in GIS equipment[J]. Power System and Clean Energy, 2010,26(7):34-38.
- [5] 李成榕,王浩,郑书生.GIS 局部放电的超声波检测频带试验研究[J].南方电网技术,2007,1(1):41-45.
LI Chengrong, WANG Hao, ZENG Shusheng. Experiment research on ultrasonic band selection of GIS partial discharge detection [J]. Southern Power System Technology,2007,1(1):41-45.
- [6] 黄凤萍,刘开贵.超高频在线监测技术在 GIS 局部放电检测中的应用[J].南方电网技术,2013,7(3):76-80.
HUANG Fengping, LIU Kaigui. The application of online monitoring technique with UHF to detection of the GIS partial discharge [J]. Southern Power System Technology, 2013,7(3):76-80.
- [7] 罗学琛.SF₆ 气体绝缘全封闭组合电器[M].北京:中国电力出版社,1998.
LUO Xuechen.SF₆ gas insulated enclosed switchgear [M]. Beijing:China Electric Power Press,1998.
- [8] 龙锦壮,王克涛,赵鑫,等.一种工程实用的 GIS 定量检漏方法[J].电网与清洁能源,2013,29(6):67-70.
LONG Jinzhuang,WANG Ketao,ZHAO Xin,et al. A practical engineering method for gis leaking quantitative detectio[J]. Power System and Clean Energy, 2013,29(6):67-70.
- [9] 陈家斌.SF₆ 断路器实用技术[M].北京:中国电力出版社,2004.
CHEN Jiabin.Practical techniques of SF₆ circuit breaker [M]. Beijing: China Electric Power Press,2004.
- [10] GB/T 1984—2003 高压交流断路器[S].2003.

- GB/T 1984—2003 High-voltage AC circuit breaker [S]. 2003.
- [11] 徐国政,张节荣,钱家骊,等.高压断路器原理和应用[M].北京:清华大学出版社,2000.
XU Guozheng,ZHANG Jierong,QIAN Jiali,et al.High-voltage circuit breaker's principle and application [M]. Beijing:Tsinghua University Press,2000.
- [12] 郭程.LW21-126型SF₆断路器故障分析与处理[J].高压电器,2002,38(3):61-62.
GUO Cheng.Fault analysis and solution against to type LW-21-126 SF₆ circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2002, 38(3):61-62.
- [13] IEC 62271-203:2003 额定电压 52 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备[S].2003.
IEC 62271-203:2003 Rated voltage to 52 kV and gas-insulated metal-enclosed switchgear[S].2003.
- [14] 孙永恒,张铎.800 kV 罐式 SF₆ 断路器的研制与开发[J].高压电器,2009,45(6):1-4.
SUN Yongheng,ZHANG Duo.Research and development of 800 kV tank SF₆ circuit breaker [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(6):1-4.
- [15] IEC 62271-100:2006 高压交流断路器[S].2006.
IEC 62271-100:2006 High-voltage AC circuit[S].2006.
- [16] 张节容.高压电器原理和应用[M].北京:清华大学出版社,1989.
ZHANG Jierong.High-voltage electrical principles and application[M]. Beijing:Tsinghua University Press,1989.
- [17] 林莘.现代高压电器技术[M].北京:机械工业出版社,2011.
LIN Xin.Modern high-voltage electrical technology [M]. Beijing: Mechanical Industry Press,2011.
- [18] 王向阳.SF₆断路器故障分析[J].高压电器,2001,37(5):22-24.
WANG Xiangyang.Fault analysis of hydraulic actuator for SF₆ circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2001, 37(5):22-24.
- [19] 肖辉,吴学斌,曾祥君.LW15-252型SF₆断路器常见故障及处理[J].高电压技术,2004,30(12):60-61.
XIAO Hui, WU Xuebin, ZENG Xiangjun. Usual malfunctions and treatments for type LW15-252 SF₆ circuit breaker[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(12):60-61.
- [20] STOVING P N, BARANOWSKI J F. Interruption life of vacuum circuit breakers [C]// IEEE 19th Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum. Xi'an: IEEE, 2000:388-391.
- [21] SLADE P G. Electrical switching life of vacuum circuit breaker interrupters [C]// Proceedings of the 52rd IEEE Holm Conference on Electrical Contact. [S.l.]:IEEE, 2006: 32-37.
- [22] JUDD M D, IEEE I. Using finite difference time domain techniques to model electrical discharge phenomena [C]// 2000 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Victoria, Canada:IEEE, 2000: 518-521.
- [23] 严玉婷,王亚舟,段绍辉,等.GIS局部放电带电测试原理研究及现场缺陷分析[J].电瓷避雷器,2012(3):51-56.
YAN Yuting, WANG Yazhou, DUAN Shaohui, et al. Study on live test principle of gis partial discharge and analysis of site defects[J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(3): 51-56.
- [24] 杜念,黄建才,朱永利.基于K两端聚类的污秽绝缘子放电状态评估[J].电瓷避雷器,2011(4):23-28.
DU Nian, HUANG Jiancai, ZHU Yongli. Discharge condition assessment of polluted insulation based on K-two-end clustering[J]. Insulators and Surge Arresters, 2011(4): 23-28.
- [25] 殷勤,郭洁,严强,等.外绝缘放电电压校正方法的分析与比较[J].电瓷避雷器,2011(4):9-13.
YIN Qin, GUO Jie, YAN Qiang, et al. Analysis and comparison to correction methods of discharge voltage of external insulation[J]. Insulators and Surge Arresters, 2011(4): 9-13.
- [26] 陈温良,董燕,贾华.对金属化电容器局部放电和自愈放电性能的初步研究[J].电力电容器与无功补偿,2008,29(1):31-36.
CHEN Wenliang, DONG Yan, JIA Hua. Preliminary research on partial discharge and self-healing characteristics of metallized film capacitors[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2008, 29(1): 31-36.
- [27] 夏建中,李洪臣.对电力电容器局部放电的理解与对策[J].电力电容器与无功补偿,2009,30(2):7-9.
XIA Jianzhong, LI Hongchen. Research and countermeasure on partial discharge of power capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2009, 30(2): 7-9.
- 李娟(1980—),女,工程师,技师,长期从事电力系统调度运行与电能交易工作。
- 李明(1985—),男,助理工程师,长期从事电力系统带电检测与故障分析处理工作。
- 金子惠(1984—),女,助理工程师,长期从事电力系统管理工作。