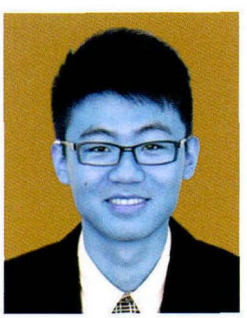
500 kV智能变电站电磁暂态的测量与分析

智能化气体绝缘开关设备（Gas Insulated Switchgear，GIS）的发展，使得GIS设备上集成了大量电子装置，设备不同位置处的不同地电位升将作用在这些电子系统上，导致严重的电磁兼容问题。为了有效解决智能化GIS设备由于地电位升所产生的电磁兼容问题，必须首先对GIS实际运行中的地电位升特性具有充分的了解。在山东某500 kV智能变电站开展了试验研究。研究结果显示，该站内的地电位升幅值水平有2 400 V左右，汇控柜CT端口处的骚扰电压不超过500 V。

李　沐/国网山东省电力公司经济技术研究院设计中心　赵鹏程/国网智能电网研究院　刘骁繁/国网江苏省电力公司经济技术研究院



李　沐/助理工程师

关键词/Keywords

GIS·
地电位升·
试验研究·
CT端口·
骚扰电压·

0　引言

在气体绝缘开关设备（Gas Insulated Switchgear，GIS）隔离开关合闸和分闸的操作过程中，隔离开关触头间隙会发生重复击穿。隔离开关触头间隙的每一次击穿，都将产生陡的行波。行波在GIS内部传播、折反射和叠加，形成GIS内部的特快速暂态过电压（Very Fast Transient Overvoltage，VFTO）。当行波传播到GIS壳体存在不连续点的位置时，如高压出线套管和盆式绝缘子，在GIS壳体上将耦合行波，并在GIS壳体上传播，折反射和叠加，由此形成GIS的特快速暂态地电位升（Ground Potential Rising，GPR）[1-8]。

智能化GIS设备的发展，使得GIS设备上集成了大量电子装置，如电子式互感器、状态传感器、操作控制器和集中单元等，GIS设备不同位置处的不同GPR将作用在这些电子系统上，导致严重的电磁兼容问题。在现有的电磁兼容标准的试验检验中，没有充分考虑这种由GPR所导致的特殊电磁兼容问题[9-12]。

为了有效解决智能化GIS设备由于GPR所产生的电磁兼容问题，必须首先对GIS实际运行中的GPR特性具有充分的了解，包括典型结构GIS设备上GPR的幅值分布特性和频率分布特性[13-22]。为此，在山东某500 kV智能变电站开展了隔离开关操作试验，测录隔离开关分合操作在GIS外壳、汇控柜组件CT端口上产生的电磁暂态，获得了其时频域特性。

国家电网公司科技项目“220 kV、500 kV变电站地电位升高对智能组件的危害及防护措施研究”（项目编号SGRI－BB－71－13－003）。

1　测试设备

测量系统主要由带有屏蔽层的导线、高压探头、数据处理控制系统、UPS、屏蔽盒、屏蔽箱、光纤控制系统和在线显示与控制系统构成。测量系统中的高压探头选择中国台湾品致（Pintech）公司生产的P6039A型号高压探头；示波器选择日本横河（Yokogawa）公司生产的DLM2054型号示波器。高压探头和示波器主要性能指标如表1所示。测量系统可以测量电压不高于40 kV、最高频率低于80 MHz的暂态电压信号，分压比为1 000∶1。测试现场测量系统照片如图1所示。

2　测试位置与测试步骤

2.1　测试位置

测录隔离开关50532旁GIS外壳地电位升（GPR），测点位置如图2a所示，

表1　高压探头和示波器主要性能指标

设备名称	性能指标
品致（Pintech）高压探头 P6039A	衰减倍数：1 000：1 输入阻抗：900 MΩ 输入电容：2.0 pF 最大值－交流电压峰值：40 kV CAT II 最大交流电压有效值：28 kV CAT II 带宽：DC～220 MHz 上升时间：1.6 ns
横河（Yokogawa）示波器 DLM2054	采集通道：4 模拟带宽：20～500 MHz可调 单通道最大存储深度：125 Mpts/ch 最大采样速度：2.5 GS/s

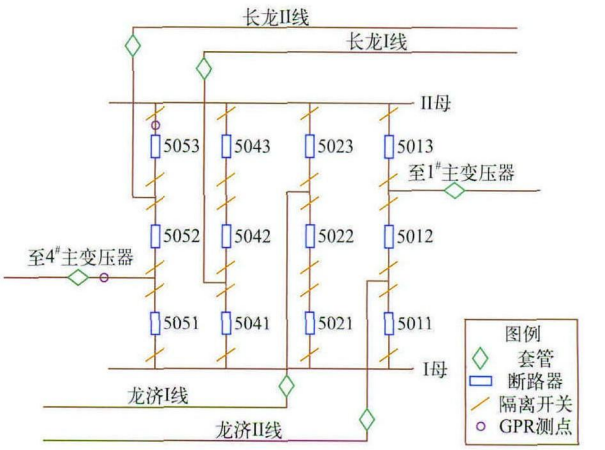
图1　测量系统现场照片

包括隔离开关50532 C相旁盆式绝缘子螺栓，如图2b所示，测试接线照片如图2c所示。

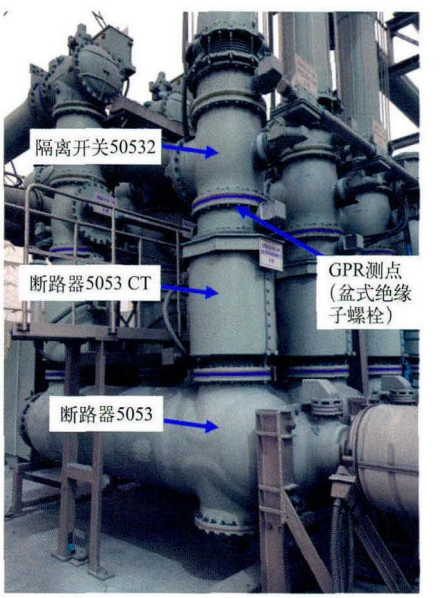
测录断路器5053电流互感器在汇控柜端子排上的端口瞬态电压，所测电流互感器为断路器5053上的CT，其端子排上测点如图3a所示，被测量包括C相对地骚扰电压和N相对地骚扰电压。这里的地指的是汇控柜接地铜排。所测端子排位于5053开关汇控柜内，如图3b所示。

2.2　测试步骤

测试步骤如下。



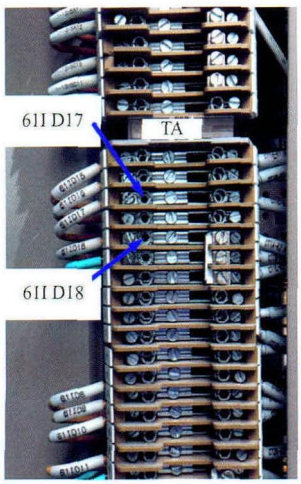
(a) GPR测点示意图



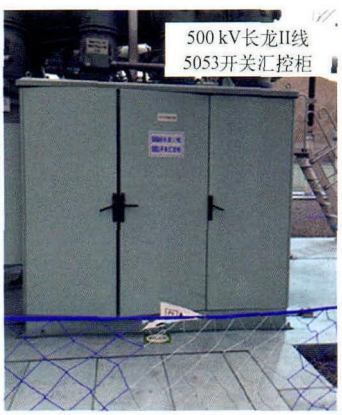
(b) 隔离开关50532旁GPR测点

(c) 隔离开关50532旁GPR测点接线图

图2　投切隔离开关50532 GPR测试示意图



(a) CT端口瞬态电压测点



(b) CT端口瞬态电压测试接线汇控柜

图3 汇控柜CT端子排测点示意图

1）拉开断路器5053、5052。

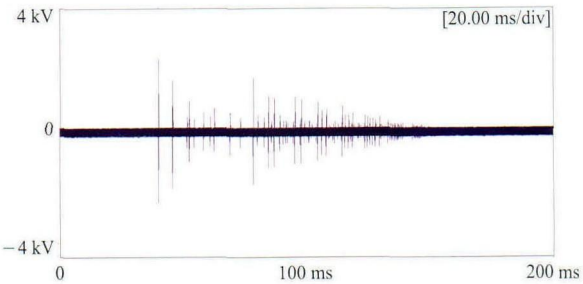
2）合分隔离开关50532，合分操作共计10次。测录隔离开关合分操作中各测点的电磁暂态过程。

3）依次合上隔离开关及断路器50532、50531、5053、50521、50522和5052。

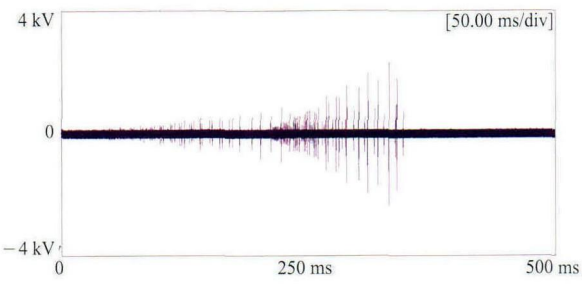
3 试验结果及分析

3.1 GPR测试结果

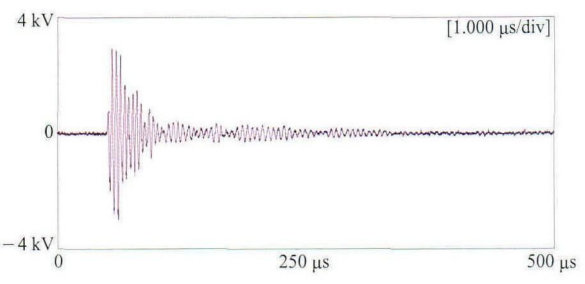
本次测试共记录了隔离开关50532 C相盆式绝缘子处GPR 4次，其中分合闸各2次。图4a和图4b为其宏脉冲波形，图4c为其微脉冲波形。图5为该骚扰电压的频谱图。测量数据的时域频域结果如表2所示。



(a) GPR合闸宏脉冲波形



(b) GPR分闸宏脉冲波形



(c) GPR微脉冲波形

图4 隔离开关50532操作GPR时域波形

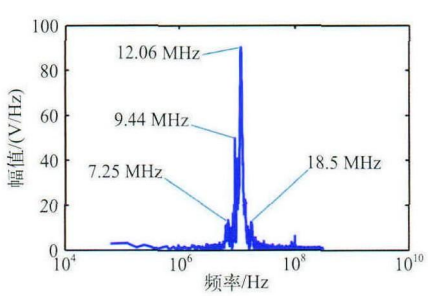


图5 隔离开关50532操作GPR频谱图

从以上图表中可以看到：

表2 隔离开关50532操作GPR时域参数

测点	项目	操作类型	最大峰值平均值/V	宏脉冲持续时间/ms	微脉冲个数	微脉冲持续时间/μs	上升沿/ns
隔离开关50532 C相盆式绝缘子	GPR	合闸	2 382.5	111.7	187	5.29	24.3
		分闸	2 355.6	321.3	277	5.68	22.4

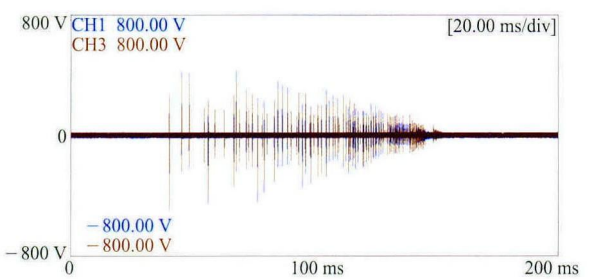
1）该站内的地电位升幅值水平可达2 400 V左右。

2）地电位升主要频率基本在20 MHz以内，这可能是因为测点位置对地距离较大，测量引线和接地线不得不较长，使得高频的分量在传输中衰减。

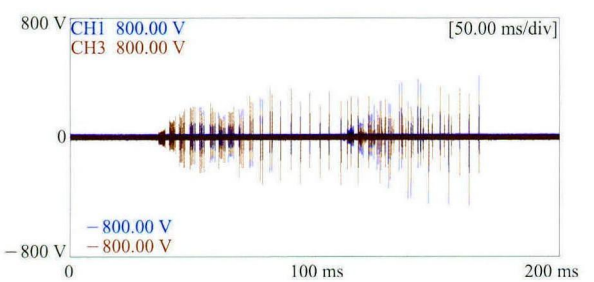
3）分闸操作产生的地电位升宏脉冲持续时间较合闸长，微脉冲个数更多，微脉冲持续时间更长，这与前期试验研究的结果相同。

3.2 端口瞬态骚扰电压测试结果

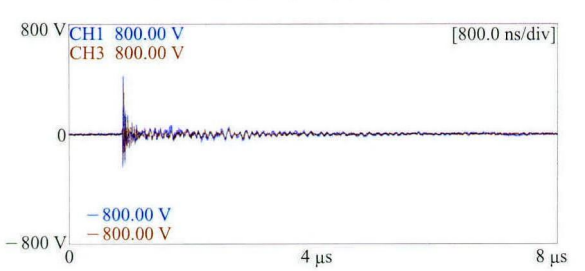
本次测试共记录了断路器5053电流互感器CT1在汇控柜端子排上C相端口瞬态电压 10次，被测量包括C相对地骚扰电压和N相对地骚扰电压，并计算得到了组件端口的共模骚扰电压和差模骚扰电压。图6a和图6b为其宏脉冲波形，图6c为其微脉冲波形。图7为该骚扰电压的频谱图。测量数据的时域频域结果如表3所示。



（a）CT端口骚扰电压合闸宏脉冲波形

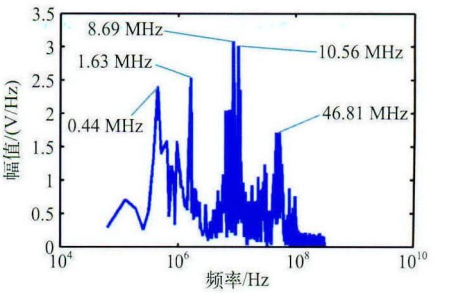


（b）CT端口骚扰电压分闸宏脉冲波形

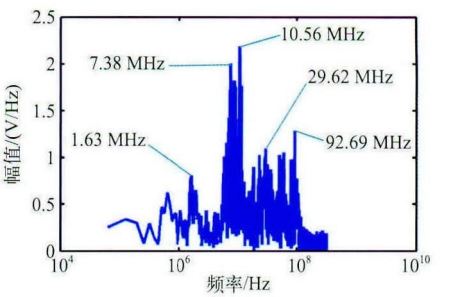


（c）CT端口骚扰电压微脉冲波形

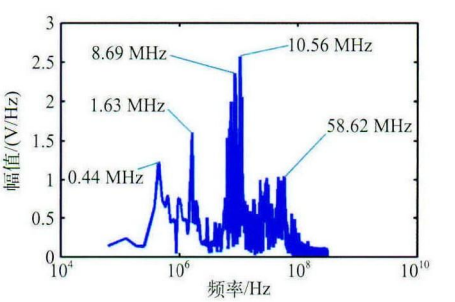
图6　隔离开关50532操作CT端口骚扰电压时域波形



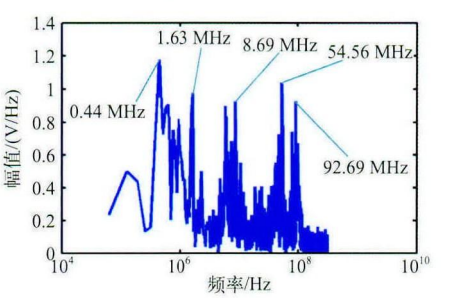
（a）C相对地骚扰电压频谱图



（b）N相对地骚扰电压频谱图



（c）共模骚扰电压频谱图



（d）差模骚扰电压频谱图

图7　隔离开关50532操作CT端口骚扰电压频谱图

从上述图表中可以看出：

1）汇控柜CT端口上骚扰电压幅值在500 V以内。

2）汇控柜CT端口上骚扰电压主要频率在100 MHz以内。

3）各项骚扰电压中，分闸操作的宏脉冲持续时间较合闸长，微脉冲个数更多，微脉冲持续时间更长。

4）共模骚扰电压幅值较差模骚扰更高，宏脉冲持续时间、微脉冲个数和微脉冲持续时间也

表3 隔离开关50532操作端口骚扰电压时域参数

测点	项目	操作类型	最大峰值平均值/V	宏脉冲持续时间/ms	微脉冲个数	微脉冲持续时间/μs	上升沿/ns
断路器5053电流互感器CT1	C相对地	合闸	482.88	105.2	131	7.90	5.1
		分闸	473.06	317.2	171	8.21	6.4
	N相对地	合闸	438.67	106.6	139	7.32	3.8
		分闸	419.00	369.0	189	7.89	6.4
	共模骚扰	合闸	360.35	106.2	131	8.62	5.1
		分闸	330.75	318.6	183	11.75	6.4
	差模骚扰	合闸	200.23	100.0	94	7.35	3.8
		分闸	192.88	307.5	120	7.80	3.2

更大。

综上，该站内的地电位升幅值水平有2 400 V左右，汇控柜CT端口处的骚扰电压不超过500 V。这里有两点因素需要考虑：其一是出线套管距离隔离开关50532较远，使得电磁泄漏较小而并没有反映出站内可能出现的严重情况；其二是汇控柜距离传感器较近，这可能使得传感器和汇控柜两端的地电位差并不大。

4 结束语

为研究500 kV典型结构GIS设备上GPR的幅值特性和频率特性，在山东某500 kV智能变电站开展了试验研究。研究结果显示，该站内的地电位升幅值水平有2 400 V左右，汇控柜CT端口处的骚扰电压不超过500 V。

参考文献

[1] 崔翔．2002年国际大电网会议系列报道——电力系统电磁兼容研究进展 [J]．电力系统自动化，2003，27 (4)：1-5.

[2] 陈维江，颜湘莲，王绍武，等．气体绝缘开关设备中特快速瞬态过电压研究的新进展 [J]．中国电机工程学报，2011，31 (31)：1-11.

[3] Shah V K，Patel N A，Suthar N B．Development experience of designing electronic devices for substation environment with emphasis on electromagnetic field and interference suppression [C]．2008.

[4] 李清泉，李彦明，牛亚民．变电站开关操作引起的瞬变电磁场及其防护 [J]．高电压技术，2001，27 (4)：35-37.

[5] 张重远，梁贵书，崔翔，等．GIS隔离开关操作对二次设备的影响 [J]．高电压技术，2002，28 (2)：5-7.

[6] 卢斌先，王泽忠，李成榕，等．500 kV变电站开关操作瞬态电场测量与研究 [J]．中国电机工程学报，2004，24 (4)：137-142.

[7] Okabe S，Takami J，Nojima K．Circuit models of gas insulated switchgear elements for electromagnetic wave leakage analysis [J]．IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation，2008，15 (5)：1439-1448.

[8] Rao M M，Thomas M J，Singh B P．Electromagnetic field emission from gas-to-air bushing in a GIS during switching operations [J]．IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility，2007，49 (2)：313-321.

[9] 黄益庄．变电站智能电子设备的电磁兼容技术 [J]．电力系统保护与控制，2008，36 (15)：6-9.

[10] 史保壮，李智敏，张文元，等．超高压 GIS 中快速暂态过电压造成危害的原因分析 [J]．电网技术，1998，22 (1)：1-3.

[11] Wiggins C M，Thomas D E，Nickel F S，et al．Transient electromagnetic interference in substations [J]．IEEE Transactions on Power Delivery，1994，9 (4)：1869-1884.

[12] Rao M M，Thomas M J，Singh B P．Transients induced on control cables and secondary circuit of instrument transformers in a GIS during switching operations [J]．IEEE Transactions on Power De-

livery，2007，22 (3)：1505-1513.

[13] 嵇建飞，袁宇波，庞福滨．智能变电站就地智能设备电磁兼容抗扰度实验分析 [J]．电工技术学报，2014 (增刊1)：454-462.

[14] 刘骁繁，崔翔，吴恒天，等．GIS设备开关操作对其传感器和智能组件端口骚扰电压的模拟试验研究 [J]．智能电网，2015 (1)：67-73.

[15] 刘骁繁，崔翔，吴恒天，等．500 kV气体绝缘变电站开关操作对智能组件电流互感器端口电磁骚扰的实测及分析 [J]．高电压技术，2015 (5)：1709-1718.

[16] 杨凌辉，张嘉旻．500 kV GIS隔离闸刀操作过电压的研究 [J]．华东电力，2004，32 (1)：37-41.

[17] 邬雄，孙竹森，张广州，等．500 kV变电站电磁骚扰测量研究 [J]．高电压技术，2002，28 (11)：34-35.

[18] 侯俊，王建国，饶章权，等．500 kV隔离开关操作时电流互感器二次侧干扰信号的测试与分析 [J]．电测与仪表，2005，42 (6)：41-43.

[19] Okabe S，Kan M，Kouno T．Analysis of surges measured at 550 kV substations [J]．IEEE Transactions on Power Delivery，1991，6 (4)：1462-1468.

[20] Russell B D，Kotheimer W C，Lialewski R．Substation electromagnetic interference part 2：susceptibility testing and EMI simulation in high voltage laboratories [J]．IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems，1984，PAS-103 (7)：1871-1878.

[21] 李小建，钟尧，王任，等．超高压系统隔离开关操作电磁骚扰的时频特性 [J]．高电压技术，2012，38 (11)：2889-2898.

[22] 张卫东，陈沛龙，陈维江，等．特高压GIS变电站VFTO对二次电缆骚扰电压的实测与仿真 [J]．中国电机工程学报，2013，33 (16)：187-196.

（收稿日期：2016－03－15）EA

广告 | AD

全新改版

色彩丰富 凸显主题

2017《电气应用》以鲜明色彩和新颖版式呈现精彩内容，力求赏心悦目。

栏目设置 独具风格

坚持继承与开拓并举，以丰富内涵充实经典栏目，持续深化面对面、专家访谈、EA经理人等栏目，密切关注电气技术的发展和应用。

专家点评 精辟深刻

每期都将围绕一个热点话题，隆重推出一场专题讨论的盛宴，共邀知名专家、产品用户和生产厂家汇聚一堂，针对焦点问题作出评析。

行业案例 生动丰富

关注电力、建筑、石化和冶金等电气行业应用，以典型深刻的案例分析、方案设计构建技术互动的空间，促进应用经验交流。

国内邮发代号：82-341 国外发行代号：M1409

每期定价：15.00元 全年定价：360.00元