

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.09.030

## 换流站直流场避雷器带电测试抗干扰研究

卢文浩<sup>1</sup>, 陈斌<sup>2</sup>, 蔺思源<sup>2</sup>, 黎卫国<sup>1</sup>, 刘婉莹<sup>1</sup>, 祝嘉喜<sup>2</sup>

(1. 中国南方电网超高压输电公司检修试验中心, 广州 510663; 2. 西安西电避雷器有限责任公司, 西安 710200)

**摘要:** 直流避雷器在正常运行电压下漏电流较小, 为微安级别, 难以准确采集, 且极易受外界条件干扰, 目前国内对直流避雷器带电测试抗干扰研究工作开展较少。文中通过实验室开展直流避雷器在持续电压下的漏电流试验, 研究漏电流受直流电压波动、温度和表面污秽等因素的干扰情况, 并提出相应抗干扰措施, 有利于排除直流避雷器开展带电测试过程中的干扰因素, 准确判断直流避雷器运行状态。结论如下: ①大幅值的直流电压波动会对直流场避雷器带电测试造成干扰, 但在直流系统电压波动允许的 $\pm 3\%$ 范围内, 漏电流变化量与电压波动呈线性关系, 带电测量直流避雷器漏电流时, 必须记录当时的直流系统电压, 以便对漏电流进行换算; ②在直流避雷器正常运行温度范围内, 漏电流的最大变化量不超过 $5\mu\text{A}$ , 漏电流受避雷器内部温度影响较小, 可忽略不计; ③表面污秽对避雷器漏电流测试结果干扰比较严重, 在直流避雷器表面潮湿且存在污秽的条件下, 开展带电测试时必须加装屏蔽环, 加装位置可以选择在避雷器低压端距法兰2-3个伞裙处。

**关键词:** 直流避雷器; 带电测试; 抗干扰

## Anti-interference Research on Live Test of DC Arresters in Converter Station

LU Wenhao<sup>1</sup>, CHEN Bin<sup>2</sup>, LIN Siyuan<sup>2</sup>, LI Weiguo<sup>1</sup>, LIU Wanying<sup>1</sup>, ZHU Jiayi<sup>2</sup>

(1. Maintenance & Test Center, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510663, China;

2. Xi'an XD Arrester Co., Ltd., Xi'an 710200, China)

**Abstract:** The leakage current of DC arresters under CCOV is too low to catch, and it is easily to be interfered by external conditions. There is seldom anti-interference research on live test of converter station DC arresters in domestic. This article tests the leakage current of DC arresters under CCOV in laboratory, and analyzes the influence of DC voltage fluctuation, temperature and surface contamination on leakage current. The anti-interference measures are also proposed. The conclusions are as follow: ①High amplitude DC voltage fluctuation will influence the live test results of DC arresters. But within the range of  $\pm 3\%$  that is permitted in DC system, the relationship between leakage current and voltage fluctuation is linear. The temperature must be recorded in order to convert the leakage current; ②Within the normal temperature range of arrester, the maximum variation of leakage current is less than  $5\mu\text{A}$ . The leakage current is not affected by the internal temperature of the arrester; ③The interference of surface contamination on the leakage current test result is serious. In the condition of surface contamination on DC arresters, shield ring must be added when carrying out live test. The installation position can be selected at two to three umbrellas distant from the flange in low voltage end of the arrester.

**Key words:** DC arresters; live test; anti-interference

## 0 引言

高压直流输电系统由于雷击、操作、故障或其它原因而产生各种波形的过电压, 需装设过电压保护装置, 对过电压进行限制, 为换流站内设备提供

保护, 从而达到提高系统可靠性, 降低设备成本的目的。由于无间隙金属氧化物避雷器(MOA)具有非线性特性好、灭弧能力强、通流能量大、稳定性好、残压低、无续流等优点<sup>[1]</sup>, 在超、特高压换流站过电压防护得到广泛的应用。目前, 换流站内设备的主

要保护装置均为氧化锌避雷器。

避雷器性能的优劣直接决定电气设备能否安全运行。由于过电压作用而产生劣化或者密封不严引起内部受潮等原因将导致避雷器性能下降,一方面无法对站内设备提供保护,另一方面可能引起避雷器击穿甚至爆炸,导致换流站发生站内短路接地,影响系统的安全运行。因此,必须对运行中的避雷器进行严格有效的检测手段,包括停电预试和带电测试。停电预试周期长,无法及时发现避雷器内部缺陷,带电测试避雷器阻性电流是判断避雷器是否正常的重要手段和方法。

交流避雷器带电测试技术已经比较成熟,中国电力行业标准 DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》<sup>[2]</sup>规定交流避雷器带电测试应在每年雷雨季节来临前开展,可代替避雷器停电试验。目前交流避雷器带电测试主要以阻性电流、谐波电流、全电流和参考电压等参量为主,其中阻性电流因能够灵敏反映避雷器早期老化而备受关注。对于直流避雷器,由于直流漏电流小,为微安级别,难以正确获取,且极易受外界条件干扰,目前国内暂无相关单位开展直流避雷器带电测试工作。因此,研究换流站直流场避雷器受直流电压波动、电阻片温度和表面污秽等因素的干扰情况,提出相应抗干扰措施,有助于直流避雷器带电测试的开展,可靠评价直流避雷器的运行状态<sup>[3-10]</sup>。

## 1 直流避雷器漏电流干扰因素分析

直流避雷器的漏电流是指在避雷器持续运行电压下,通过避雷器电阻片的电流。漏电流数值的正常与否反映氧化物避雷器是否受潮或有其他绝缘问题,是判断避雷器好坏的重要手段。一般来讲,在正常工作状态下,避雷器可以当作绝缘体,漏电流很小,然而随着避雷器工作时间的增加,再加上系统过电压的作用,避雷器内部电阻片性能会有所下降,此时避雷器的漏电流值就会变大。在某种程度上漏电流值反映了避雷器的绝缘程度,也是在电压运行状态下判断避雷器性能的极为重要的1个参数。周围带电设备对被试避雷器的影响以及避雷器自身存在的干扰是目前遇到的最大困扰<sup>[11-16]</sup>。对于直流避雷器,现场带电测试的干扰因素主要有直流电压波动、温度和表面污秽。

### 1.1 直流电压波动的影响

直流场避雷器的漏电流随着所承受电压的增加而缓慢增大,在接近或达到持续运行电压后,避

雷器漏电流则会迅速增大。由于在实际情况中,电力系统的运行情况在不断变化,施加在避雷器两端的电压不可能完全稳定,避雷器漏电流便会因为电压波动而产生变化,干扰对带电测试结果的判断。因此,通过试验研究直流电压波动对避雷器漏电流的影响具有重要意义。

### 1.2 温度对漏电流的影响

在避雷器漏电流的测量过程中,其漏电流值会因为温度的不同而有所差异,这种差异在冬夏两季更为明显,因此温度的变化对于漏电流的测量会带来一定的干扰。另外,由于金属氧化物电阻片在小电流区域具有负温度系数<sup>[3]</sup>,同时避雷器内部空间较小,散热条件较差,加之功耗产生的热量会使电阻片的温度升高,这也就导致了避雷器漏电流的增大。相反当环境温度降低时,通过散热,避雷器内部温度会下降,避雷器的漏电流也会相应的减少。因此在带电测试时,应该充分考虑环境温度对避雷器漏电流测量带来的干扰。

### 1.3 表面污秽的影响

在避雷器表面存在污秽时,避雷器漏电流值会明显上升,带电测试的结果由于避雷器表面污秽的影响,导致漏电流测量时出现较大偏差,影响对避雷器运行状态的判断<sup>[4]</sup>。因此,需要通过试验研究直流避雷器在不同污秽状态下,表面漏电流对避雷器带电测试的影响,并制定合理的解决方案。

## 2 试验研究及数据分析

本节针对上述影响直流避雷器漏电流测试的几种干扰因素,开展相应的试验验证,并且对试验数据进行了比较和分析,提出相应抗干扰措施。

选取典型复合外套金属氧化物避雷器4只,分别编号为1、2、3、4号试品。试品额定电压为320 kV,持续运行电压为272 kV,直流参考电压为320 kV。

### 2.1 直流电压波动对漏电流的影响

分别对4只避雷器试品,施加95% $U_c$ 、 $U_c$ 、105% $U_c$ 、110% $U_c$ 和115% $U_c$ 的直流电压,对应的直流电压幅值分别为258、272、286、299、313 kV。测试避雷器在相应电压下的漏电流见表1和图1,不同电压波动产生的漏电流变化量见表2和图2。

由表1和图1可以看出,避雷器漏电流幅值在不同直流电压波动下的变化情况,所有避雷器试品在持续运行电压 $U_c$ 下的漏电流平均幅值为4.6  $\mu$ A,最大值为5.1  $\mu$ A,最小值为4.2  $\mu$ A。电压降到258 kV时,即电压波动-5%时,避雷器在该电压下的漏电流

表 1 不同电压下漏电流值

Table 1 Leakage current in different voltage  $\mu\text{A}$

| 直流电压/kV    | 1号    | 2号    | 3号    | 4号   | 平均值   |
|------------|-------|-------|-------|------|-------|
| $95\%U_c$  | 2.7   | 2.9   | 3.6   | 2.7  | 3.0   |
| $U_c$      | 4.4   | 4.6   | 5.1   | 4.2  | 4.6   |
| $105\%U_c$ | 7.8   | 8.1   | 8.5   | 8.6  | 8.3   |
| $110\%U_c$ | 30.2  | 35.8  | 21.6  | 24.5 | 28.0  |
| $115\%U_c$ | 135.6 | 118.1 | 100.4 | 120  | 118.5 |

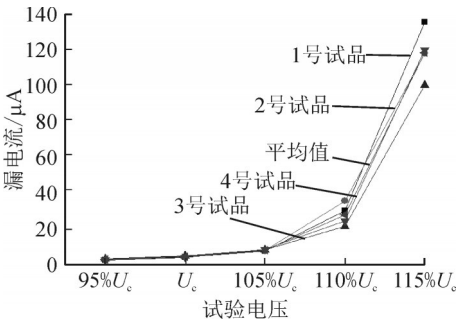


图 1 不同电压下漏电流变化趋势

Fig. 1 Leakage current trend in different voltage

表 2 电压波动产生的漏电流变化量(与  $U_c$  下比较)

Table 2 Variation of leakage current on voltage fluctuation(compared with  $U_c$ )  $\mu\text{A}$

| 直流电压/kV    | 1号    | 2号    | 3号   | 4号    | 平均值   |
|------------|-------|-------|------|-------|-------|
| $95\%U_c$  | -1.7  | -1.7  | -1.5 | -1.5  | -1.6  |
| $105\%U_c$ | 3.4   | 3.5   | 3.4  | 4.4   | 3.7   |
| $110\%U_c$ | 25.8  | 31.2  | 16.5 | 20.3  | 23.5  |
| $115\%U_c$ | 131.2 | 113.5 | 95.3 | 115.8 | 114.0 |

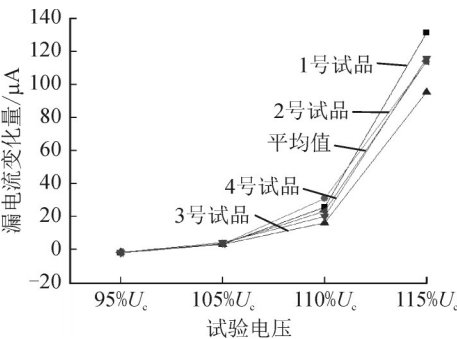


图 2 电压波动产生的漏电流变化量(与  $U_c$  下比较)

Fig. 2 Variation of leakage current on voltage fluctuation (compared with  $U_c$ )

值平均幅值为  $3.0\ \mu\text{A}$ ,最大值为  $3.6\ \mu\text{A}$ ,最小值为  $2.7\ \mu\text{A}$ 。电压波动 5% 时,避雷器在该电压下的漏电流值平均幅值为  $8.3\ \mu\text{A}$ ,最大值为  $8.6\ \mu\text{A}$ ,最小值为  $7.8\ \mu\text{A}$ 。电压升高到  $110\%U_c$  时,避雷器漏电流值大幅增加,平均幅值达  $28.0\ \mu\text{A}$ ,最大值为  $35.8\ \mu\text{A}$ ,最小值为  $21.6\ \mu\text{A}$ 。当直流电压继续升高至  $115\%U_c$  时,避雷器在该电压下的漏电流值急剧增加,平均幅值为  $118.5\ \mu\text{A}$ ,最大值为  $135.6\ \mu\text{A}$ ,最小值为  $100.4\ \mu\text{A}$ 。

通过表 1 和图 1 还可以看到,当直流电压波动在持续运行电压 5% 范围内时,其漏电流的平均值和最大值都没有超过  $10\ \mu\text{A}$ ,而超过 5% 后,避雷器漏电流值会有明显的上升,持续运行电压波动 10% 时,漏电流的平均值  $28\ \mu\text{A}$ ,最大值超过  $30\ \mu\text{A}$ ;持续运行电压波动 15% 时,漏电流的平均值和最大值都超过  $50\ \mu\text{A}$ ,不符合国家标准《GB/T 22389—2008 高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器导则》的要求<sup>[17-18]</sup>。

直流输电系统对直流电压波动的控制策略为:如果直流线路电压大于  $1.02\ \text{p.u.}$ ,将禁止高低分接开关;如果直流线路电压大于  $1.03\ \text{p.u.}$ ,将直接发出升高分接开关的命令,将直流电压限制在  $1.03\ \text{p.u.}$  以内。即正常运行条件下,直流电压波动应小于  $\pm 3\%$ 。

由以上分析可知,在  $\pm 3\%$  电压波动范围内,漏电流变化量与电压波动呈线性关系,必要时,可对漏电流进行换算。因此,对于直流电压波动,带电测量漏电流时,必须记录当时的直流系统电压,即避雷器持续运行电压,并且尽量选择在电压波动小于  $\pm 3\%$  时刻测量。

2.2 温度对漏电流的影响

试品选用避雷器中的 3 个电阻片,标记为 5、6、7 号试品,其直流  $1\ \text{mA}$  参考电压分别为  $4.90$ 、 $4.91$ 、 $4.90\ \text{kV}$ ,持续电压分别为  $4.165$ 、 $4.173$ 、 $4.165\ \text{kV}$ 。对试品施加持续运行电压,分别测量试品在  $30$ 、 $40$ 、 $50$ 、 $60\ ^\circ\text{C}$  温度下的漏电流。试验结果见表 3 和图 3,与  $30\ ^\circ\text{C}$  比较时,不同温度下漏电流变化量见表 4 和图 4。

表 3 不同温度下漏电流值

Table 3 Leakage current in different temperature  $\mu\text{A}$

| 温度/ $^\circ\text{C}$ | 5号  | 6号  | 7号  |
|----------------------|-----|-----|-----|
| 30                   | 4.7 | 4.7 | 4.5 |
| 40                   | 5.3 | 5.2 | 5.1 |
| 50                   | 5.8 | 5.9 | 5.7 |
| 60                   | 6.3 | 6.2 | 6.1 |

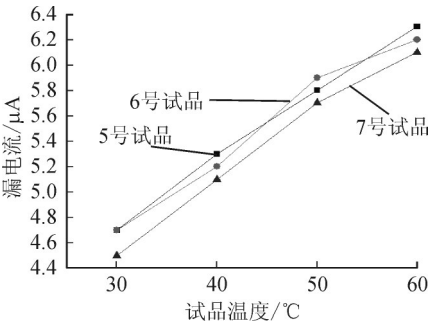


图 3 不同温度下漏电流变化趋势

Fig. 3 Leakage current trend in different temperature

表4 不同温度下漏电流变化量(与30℃比较)

Table 4 Variation of leakage current on temperature fluctuation (compared with 30℃)  $\mu\text{A}$ 

| 温度/℃ | 5号  | 6号  | 7号  | 平均值  |
|------|-----|-----|-----|------|
| 40   | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.57 |
| 50   | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.17 |
| 60   | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.57 |

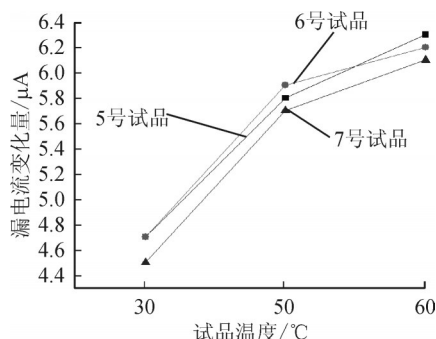


图4 不同温度下漏电流变化量(与30℃比较)

Fig. 4 Variation of leakage current on temperature fluctuation (compared with 30℃)

由以上数据可以看出,电阻片行在持续运行电压下,随着温度的升高,漏电流呈增加趋势,增幅不较小。在40℃时,漏电流值相比较室温30℃下的变化量最大值为0.6  $\mu\text{A}$ ,平均值0.57  $\mu\text{A}$ ;50℃时,漏电流值相比较室温30℃下的变化量最大值为1.2  $\mu\text{A}$ ,平均值1.17  $\mu\text{A}$ ;60℃时,漏电流值相比较室温30℃下的变化量最大值为1.6  $\mu\text{A}$ ,平均值1.57  $\mu\text{A}$ 。在避雷器正常运行温度即30~60℃时,漏电流的最大变化量与平均变化量均不超过5  $\mu\text{A}$ ,漏电流变化较小。因此,开展直流避雷器带电测试时可忽略温度影响。

## 2.3 表面污秽的影响

### 2.3.1 试品准备

根据不同污秽等级,按GB/T 4585—2004《交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验》<sup>[19]</sup>中固体层法配制不同污秽等级的污液,污液成分主要由水、高岭土和适量的NaCl混合而成。采用固体层法进行涂污。污液体积电导率与污层电导率见表5<sup>[20]</sup>。

表5 试品污秽度

Table 5 Contamination degree of test product

| 试品编号 | 附盐密度/( $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) | 体积电导率/( $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ ) |
|------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1    | 0.40                                    | 16.2                                   |
| 2    | 0.20                                    | 8.1                                    |
| 3    | 0.10                                    | 4.2                                    |
| 4    | 0.05                                    | 2.0                                    |

完成污液配制后,对4只试品分别进行不同污秽等级的污液喷涂。喷涂后,依次对涂污后的4只

试品进行持续运行电压下的漏电流测量。最后对4只试品进行外部屏蔽处理;再次对4只试品进行持续运行电压下的漏电流测试。最后对试验数据进行分析。

### 2.3.2 试验结果分析

对上述4支试品在涂污前和涂污后分别开展持续运行电压下的漏电流试验,结果见表6和图5。

表6 涂污前后避雷器漏电流值

Table 6 Leakage current before and after contamination spray  $\mu\text{A}$ 

| 试品状态 | 1号    | 2号    | 3号   | 4号   |
|------|-------|-------|------|------|
| 涂污前  | 4.4   | 4.6   | 5.1  | 4.2  |
| 涂污后  | 220.4 | 116.3 | 34.8 | 16.5 |
| 变化量  | 216.0 | 111.7 | 29.7 | 12.3 |

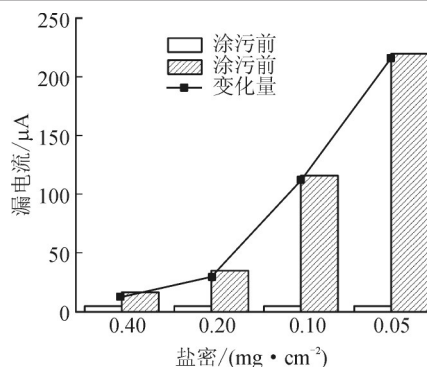


图5 涂污前后避雷器漏电流值

Fig. 5 Leakage current before and after contamination spray

由表6和图5可以看到,随着试品的附盐密度增加,漏电流的幅值也逐渐变大,图5中的折线可看出不同附盐密度下避雷器在持续运行电压下漏电流的影响程度。0.05  $\text{mg}/\text{cm}^2$ 下污秽后的漏电流为16.5  $\mu\text{A}$ ,0.1  $\text{mg}/\text{cm}^2$ 下污秽后的漏电流为34.8  $\mu\text{A}$ ,幅值均小于GB/T 22389—2008要求的50  $\mu\text{A}$ ,受到的干扰相对较小,但污秽前后的漏电流变化量分别为12.3、29.7  $\mu\text{A}$ ,漏电流的变化量还是比较明显均大于10  $\mu\text{A}$ 。0.2、0.4  $\text{mg}/\text{cm}^2$ 下污秽后的漏电流分别为116.3、220.4  $\mu\text{A}$ ,其幅值均大于GB/T 22389—2008要求的50  $\mu\text{A}$ ;而且污秽前后的漏电流变化量分别为111.7、216.0  $\mu\text{A}$ ,漏电流的变化非常明显均大于100  $\mu\text{A}$ 。

表面污秽对直流场避雷器的带电测试结果干扰比较严重,避雷器表面附着污秽后,会改变避雷器此时的绝缘状态,在避雷器外部会出现一定的电荷移动,避雷器表面漏电流增加,这与理论是相吻合的,因此,开展避雷器漏电流带电测试时,需要排除避雷器表面污秽的影响。

为排除表面污秽对避雷器漏电流的干扰,对涂

污后试品进行了屏蔽处理,即对避雷器安装屏蔽环,安装位置为避雷器低压端距法兰2~3个伞裙处,并将屏蔽环可靠接地。屏蔽前后,不同污秽等级在持续运行电压下漏电流的幅值和变化量见表7和图6。

表7 加屏蔽环前后避雷器漏电流值  
Table 7 Leakage current before and after shielding  $\mu\text{A}$

| 试品状态      | 1号    | 2号    | 3号   | 4号   |
|-----------|-------|-------|------|------|
| 涂污前不屏蔽    | 4.4   | 4.6   | 5.1  | 4.2  |
| 涂污后不屏蔽    | 220.4 | 116.3 | 34.8 | 16.5 |
| 涂污后加屏蔽    | 8.2   | 7.2   | 6.3  | 5.1  |
| 加屏蔽与不屏蔽比较 | 212.2 | 109.1 | 28.5 | 11.4 |
| 屏蔽后与涂污前比较 | 3.8   | 2.6   | 1.2  | 0.9  |

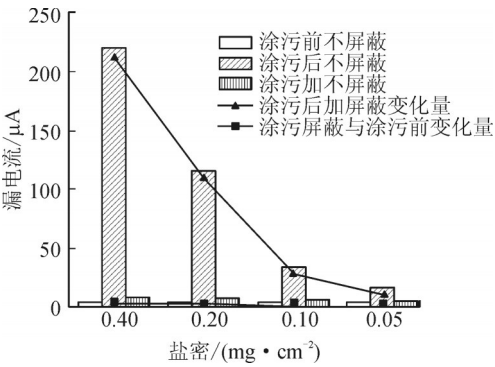


图6 加屏蔽环前后避雷器漏电流值  
Fig. 6 Leakage current before and after shielding

由表7和图6可以看到,不同污秽条件下,1~4号试品经过屏蔽后的漏电流幅值分别为8.2、7.2、6.3、5.13  $\mu\text{A}$ ,同污秽后屏蔽前持续的漏电流进行对比,变化量分别为212.2、109.1、28.5、11.4  $\mu\text{A}$ 。屏蔽后持续运行电压下的漏电流幅值均降到10  $\mu\text{A}$ 之内,屏蔽措施对不同污秽条件下的避雷器漏电流作用明显,能有效屏蔽避雷器表面污秽引起的漏电流干扰。

同污秽前持续运行电压下的漏电流进行对比,变化量分别为3.8、2.6、1.2、0.9  $\mu\text{A}$ ,其变化量均小于5  $\mu\text{A}$ 。在带电测试避雷器的漏电流时,采用外套表面安装屏蔽环的措施,测量得到持续运行电压下的漏电流,与干净状态下避雷器漏电流基本相同。

因此,在直流避雷器表面存在污秽的条件下,开展带电测试时必须加装屏蔽环,加装位置可以选择在避雷器低压端距法兰2~3个伞裙处。

3 结论

直流避雷器漏电流幅值小,极易受外界条件干扰,造成直流避雷器带电测试结果无法正确反映设备状态。文中研究了换流站直流场避雷器受直流

电压波动、电阻片温度和表面污秽等因素的干扰情况,提出相应抗干扰措施,结论如下:

1)大幅值的直流电压波动会对直流场避雷器带电测试造成干扰,但在直流系统电压波动允许的 $\pm 3\%$ 范围内,漏电流变化量与电压波动呈线性关系,带电测量直流避雷器漏电流时,必须记录当时的直流系统电压,以便对漏电流进行换算。

2)在避雷器正常运行温度即30~60  $^{\circ}\text{C}$ 时,漏电流的最大变化量不超过5  $\mu\text{A}$ ,漏电流受避雷器内部温度影响较小。因此,开展直流避雷器带电测试时可忽略温度影响。

3)表面污秽对避雷器漏电流测试结果干扰比较严重,在直流避雷器表面存在污秽的条件下,开展带电测试时必须加装屏蔽环,加装位置可以选择在避雷器低压端距法兰2~3个伞裙处。

参考文献:

[1] 常 越,钱家骊. 几种检测氧化物避雷器阻性漏电流方法的分析[J]. 电瓷避雷器,2014(4):120-121.  
CHANG Yue, QIAN Jiali. The analyze of some leakage current measurement methods[J]. Insulators and Surge Arresters, 2014(4):120-121.

[2] 电力设备预防性试验规程[S]. 北京: 中华人民共和国电力工业部,1996.  
Preventive test code for electric power equipment: DL/T 596—1996[S]. Beijing: Ministry of Power Industry of the PRC, 1996.

[3] 毛慧明,刘 兵. 金属氧化物避雷器带电检测方法综述[J]. 高电压技术,2000,26(3):15-16.  
MAO Huiming, LIU Bing. A summary of detection method of in service[J]. High Voltage Engineering, 2000, 26(3):15-16.

[4] 孙鹏举. 金属氧化物避雷器泄漏电流在线测试分析[J]. 电瓷避雷器,2008,14(4):30-32.  
SUN Pengju. Online measurement on leak current of MOA[J]. Insulators and Surge Arresters, 2008, 14(4):30-32.

[5] 祝 铭,邹 彬,万善良,等. 采用测量阻性电流提高避雷器状态监测的可行性研究[J]. 电瓷避雷器,2007(6):31-36.  
ZHU Ming, ZOU Bin, WAN Shanliang, et al. Study on feasibility of monitoring MOA with measurement of resistive current[J]. Insulators and Surge Arresters, 2007(6):31-36.

[6] 邵 涛,周文俊,闫光华,等. 电压谐波对金属氧化物避雷器泄漏电流及其阻性分量的影响[J]. 电网技术,2004,28(8):56-59.  
SHAO Tao, ZHOU Wenjun, YAN Guanghua, et al. Influence of voltage harmonics on leakage current and it's resistive component of MOA[J]. Power System Technology, 2004,

- 28(8):56-59.
- [7] 邵慧丽. 电压谐波对 MOA 泄漏电流检测方法影响分析[J]. 电瓷避雷器, 2012(1):94-98.  
SHAO Huili. Effect of voltage harmonics on test method of MOA leakage current[J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(1):94-98.
- [8] 李顺尧. 金属氧化物避雷器测试方法对比与分析[J]. 高压电器, 2010, 46(3):94-97.  
LI Shunyao. Comparison and analysis of MOA test methods[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(3):94-97.
- [9] 蔡伟贤, 陈 蓓. 提高氧化物避雷器带电测试准确性的探讨[J]. 电瓷避雷器, 2011(8):63-67.  
CAI Weixian, CHEN Bei. Discussion on improving accuracy of MOA live testing[J]. Insulators and Surge Arresters, 2011(8):63-67.
- [10] 申忠如, 郭福田, 丁 晖. 氧化锌避雷器泄漏电流在线检测的研究[J]. 西安交通大学学报, 1996, 30(12):21-26.  
SHEN Zhongru, GUO Futian, DING Hui. Study of the Instruments for monitoring the state of the zinc oxide surge arresters on line[J]. Journal of Xian Jiaotong University, 1996, 30(12):21-26.
- [11] 杨殿成. 金属氧化物避雷器带电测试干扰分析[J]. 高压电器, 2009, 45(5):130-132.  
YANG Diancheng. Metal-oxide surge arresters live test interferences analyze[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(5):130-132.
- [12] 郭 洁, 朱 跃. 温度对避雷器电阻片主要电气性能的影响[J]. 电瓷避雷器, 2002(2):28-30.  
GUO Jie, ZHU Yue. The interference of temperture for MOA main behaviour of electricity[J]. Insulators And Surge Arresters, 2002(2):28-30.
- [13] 钟定珠, 樊灵孟, 李 谦. 避雷器表面污秽对其影响[C]//2006 年学术年会论文集. 乌鲁木齐: 中国电机工程学会高电压专业委员会过电压及绝缘配合学组, 2006: 55-58.  
ZHONG Dingzhu, FAN Lingmeng, LI Qian. The arresters' surface pollution and the interference[C]//The Proceedings of the Annual academic meeting. Urumqi: Overvoltage and Insulation Coordination Section of the High Voltage Professional Committee of the Chinese Association of Electrical Engineering, 2006: 55-58.
- [14] 殷雄开, 邵 涛, 高 翔, 等. 金属氧化物避雷器检测方法的现状与发展[J]. 高电压技术, 2002, 28(6):34-36.  
YIN Xiongkai, SHAO Tao, GAO Xiang, et al. Present state and future of detecting methods of MOA[J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(6): 34-36.
- [15] 邓 维, 刘卫东, 傅志扬, 等. 避雷器泄漏电流网络化在线监测系统[J]. 高电压技术, 2003, 29(9): 22-23.  
DENG Wei, LIU Weidong, FU Zhiyang, et al. The network model on-line monitoring system of leakage current of ZnO surge arresters[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(9): 22-23.
- [16] 王永强, 律方成, 张 柯, 等. 考虑电网谐波影响的避雷器在线检测方法[J]. 高电压技术, 2003, 29(9):24-25.  
WANG Yongqiang, LYU Fangcheng, ZHANG Ke, et al. On-line monitoring of MOA considering the influence of harmonic voltage in power system[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(9): 24-25.
- [17] 高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器导则: GB/T 22389—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
Guidelines of metal oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations: GB/T 22389—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [18] 交流无间隙金属氧化物避雷器: GB 11032—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.  
Metal-oxide surge arresters without gaps for a. c. systems: GB 11032—2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [19] 交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验: GB/T 4585—2004[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.  
Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on AC systems: GB/T 4585—2004[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [20] 贺国平, 邵 涛, 周文俊. 表面污秽对避雷器在线检测的影响[J]. 高电压技术, 2003, 29(6):27-28.  
HE Guoping, SHAO Tao, ZHOU Wenjun. Influence of external pollution on MOA online detection[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(6):27-28.
- 卢文浩(1986—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事高电压试验、过电压与绝缘配合研究工作。

## 版权声明:

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我编辑部上述声明。

《高压电器》编辑部