

断路器/开关

1.1 适用范围

本作业指导书适用于 750kV 及以下断路器的试验项目，规定了断路器交接验收、预防性试验、检修过程中的常规电气试验的引用标准、仪器设备要求、试验程序、试验结果判断方法和试验注意事项等。制定本作业指导书的目的是规范试验操作、保证试验结果的准确性，为设备运行、监督、检修提供依据。

2.2 引用文件

下列文件中的条款通过本作业指导书的引用而成为本作业指导书的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单或修订版均不适用于本作业指导书，然而，鼓励根据本作业指导书达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业指导书。

《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》GB 50150—2016

《电力设备预防性试验规程》DL/T 596-1996

《现场绝缘试验实施导则 第 1 部分：绝缘电阻、吸收比和极化指数试验》DL/T 474.1-2006

《现场绝缘试验实施导则 第 3 部分介质损耗因数 $\tan \delta$ 试验》DL/T 474.3-2006

《现场绝缘试验实施导则 第 4 部分：交流耐压试验》DL/T 474.4-2006

3.3 检测项目

3.3.1 断路器常规试验包括以下试验项目

- (1) 测量绝缘电阻；
- (2) 测量每相导电回路的电阻；
- (3) 交流耐压试验；
- (4) 断路器均压电容器的试验；
- (5) 测量断路器的分、合闸时间，测量分、合闸的同期性，测量合闸时触头的弹跳时间；
- (6) 测量断路器的分、合闸速度；
- (7) 测量断路器合闸电阻的投入时间及电阻值；
- (8) 测量断路器分、合闸线圈绝缘电阻及直流电阻；
- (9) 断路器操动机构的试验；
- (10) 测量断路器内 SF₆ 气体的含水量；
- (11) 密封性试验；
- (12) 气体密度继电器、压力表和压力动作阀的检查。

3.3.2 试验程序

应在试验开始之前详细记录试品的铭牌参数，检查、了解试品的状态及其历史运行有无异常情况，并进行记录。

应根据交接或预试等不同的情况依据相关规程规定，从上述项目中确定本次试验所需进行的试验项目和程序。

一般情况下，应按先低电压试验后高电压试验、先直流后交流的顺序进行试验。应在绝缘电阻测量无异常后再进行耐压试验。交流耐压试验后还应重复测量绝缘电阻，以判断耐压试验前后试品的绝缘有无变化。

3.4 试验方法及标准

3.4.1 测量绝缘电阻

设备清单和要求

温度湿度计；

电动兆欧表。

测试方法

将断路器处于分闸状态，分别测量各相断口间绝缘电阻。将断路器处于合闸状态分别测量各相相间及对地绝缘电阻。

试验步骤

- (1) 测量前应对断路器进行隔离，小车式断路器应用专用车拉出来，对于 GIS 断路器应在最近的隔离断口处测量，尽可能避免外部的影响。
- (2) 根据被试品的绝缘等级选择电动兆欧表电压，一般 3.6kV-12kV 的用 2500V 兆欧表，12kV 以上的用 5000V 兆欧表。
- (3) 测量并记录环境温度和湿度。
- (4) 将断路器处于分闸状态，分别测量三相断口间绝缘电阻，记录 1min 的绝缘电阻值。

(5)将断路器处于合闸状态，分别测量各相相间及对地绝缘电阻，测量其中一相时其余两相应短接并接地，记录 1min 的绝缘电阻值。

试验结果判断依据

测量断路器的绝缘电阻值：整体绝缘电阻值测量，应参照制造厂规定。若有被试品出厂试验报告时应对照出厂数据，无明显差异。若有被试品历年试验数据时应对照数据无明显差异。

3.4.2 测量每相导电回路的电阻

设备清单和要求

温度湿度计；

回路电阻测试仪。

测试方法

将断路器处于合闸状态。测量每相导电回路电阻，对于 GIS 断路器应在其最近隔离断口处测量。

测量时应保证电流线接线位于电压线接线外侧，尽量减少测量误差。

试验步骤

测量并记录环境温度和湿度。

用回路电阻测试仪测量每相导电回路电阻值，作好记录。

试验结果判断依据

每相导电回路的电阻值测量，宜采用电流不小于 100A 的直流压降法。测试结果应符合产品技术条件的规定。

3.4.3 交流耐压试验

设备清单和要求

- (1) 温度湿度计；
- (2) 电动兆欧表；
- (3) 满足试验电压要求的耐压装置，包括调压器、工频试验变压器、交流分压器。

测试方法

- (1) 根据相关标准和规程及断路器的额定电压确定试验电压，并根据试验电压选择合适电压等级的工频耐压机及交流分压器。
- (2) 应在断路器合闸及分闸状态下进行交流耐压试验。
- (3) 当在合闸状态下进行时，试验电压应符合表 1 的规定。。
- (4) 当在分闸状态下进行时，真空灭弧室断口间的试验电压应按产品技术条件的规定，如产品技术文件没有特殊规定时，试验电压应符合表 1 的规定。

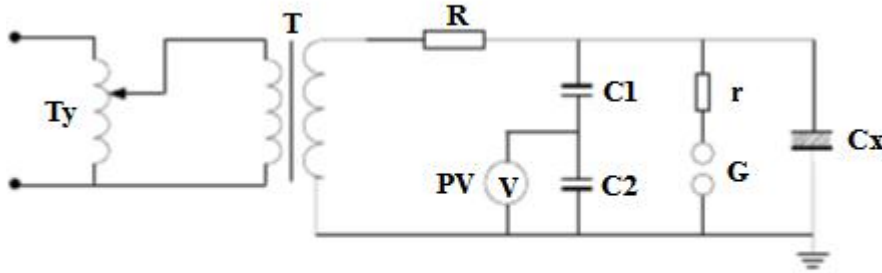
额定电压 (kV)	1min 工频耐受电压 (kV) 有效值			
	相对地	相间	断路器断口	隔离断口
3.6	25/18	25/18	25/18	27/20
7.2	30/23	30/23	30/23	34/27
12	42/30	42/30	42/30	48/36
24	65/50	65/50	65/50	79/64
40.5	95/80	95/80	95/80	118/103
72.5	140	140	140	180
	160	160	160	200

表 1：真空断路器的交流耐受电压

试验原理接线图

试验原理接线如图 1 所示。

高压试验变压器回路接线图：



Ty - 调压器； T - 试验变压器； R - 限流电阻；
C₁、C₂ - 电容分压器高、低压臂； PV - 电压表；
r - 球隙保护电阻； G - 球间隙； C_X - 被试品电容

图 1

试验步骤

- (1) 将断路器处于分闸状态。
- (2) 将试验仪器准备就位。
- (3) 记录环境温度和湿度。
- (4) 试验仪器接线，确认一切正常后开始空升加压至试验电压以检查试验设备绝缘是否良好、接线是否正确。
- (5) 将断路器三相上触头短接接至试验变压器高压侧，三相下触头短接接地，断路器本体接地。从零开始升压至试验电压，停留 1 min，观察被试品有无放电现象，试验电压有无波动。
- (6) 试验完毕，将电压降为零，切断电源。
- (7) 将断路器处于合闸状态，每一相上下触头短接。将试验变高压侧接至其中一相，其余两相短接接地。从零开始升压至试验电压，

停留 1 min，观察被试品有无放电现象，试验电压有无波动。试验完毕后将电压降为零，切断电源。作好记录，其余两相同理依次进行。

(8) 安全措施

(9) 为保证人身和设备安全，要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护防止无关人员误入。试验时试验人员与看守人员通信要通畅，没有试验人员的命令看守人员不能乱动。负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

(10) 试验设备的布置应紧凑、连接线短，宜用屏蔽导线，接地线应牢固可靠。

(11) 试验过程中，如发现有放电现象或试验电压波动异常时，应立即降低电压断开电源停止试验，然后再进行检查。

试验结果判断依据

试验电压为相关标准的规定电压。

升到试验电压计时后，试验电压不应有显著的波动。

试验过程中应无异常放电现象。

注意事项

- SF6 断路器应在 SF6 气压为额定值时进行，试验电压按出厂试验电压的 80%。
- 110kV 以下电压等级的 SF6 断路器应进行合闸对地和断口间耐压试验。

- 罐式断路器应进行合闸对地和断口间耐压试验，在 $1.2U_r/\sqrt{3}$ 电压下，应进行局部放电检测。
- 500kV 定开距瓷柱式断路器进行合闸对地和断口耐压试验。对于有断口电容器时，耐压频率应符合制造厂的要求。

3.4.4 测量断路器的分、合闸时间，测量分、合闸的同期性，测量合闸时触头的弹跳时间

设备清单和要求

温度湿度计。

断路器动特性分析仪。

测试方法

用断路器动特性分析仪测量断路器的分、合闸时间，测量分、合闸的同期性，测量合闸时触头的弹跳时间。

试验步骤

- 将断路器动特性分析仪“分、合闸控制线”接至断路器分、合闸线圈引出线处。
- 将断路器动特性分析仪“时间测量通道线”接至断路器三相上口，三相下口短接并接地。
- 将仪器开机后根据面板提示依次测量分、合闸时间，测量分、合闸的同期性，测量合闸时触头的弹跳时间，作好记录。

安全措施

断路器分、合闸时内部弹簧会动作，试验人员不要站在断路器正

面，避免事故伤人。

试验结果判断依据（或方法）

- 断路器分、合闸时间实测数值应符合产品技术条件的规定。
- 合闸过程中触头接触后的弹跳时间，40.5kV 以下断路器不应大于 2ms，40.5kV 及以上断路器不应大于 3ms；对于电流 3kA 及以上的 10kV 真空断路器，弹跳时间如不满足小于 2ms，按照产品技术条件的规定。
- 分、合闸的同期性一般不应高于 2ms。

注意事项

测量应在断路器额定操作电压或气压条件下进行。

3.4.5 测量断路器的分、合闸速度

设备清单和要求

温度湿度计。

断路器动特性分析仪。

测试方法

将传感器直接紧固安装于开关的提升杆上，或水平连杆上，或其它传动杆上。

试验步骤

- (1) 将断路器动特性分析仪“分、合闸控制线”接至断路器分、合闸线圈引出线处。
- (2) 将断路器动特性分析仪“时间测量通道线”接至断路器三相上口，

三相下口短接并接地。

(3) 将仪器开机后根据面板提示依次测量分、合闸速度并进行记录。

试验结果判断依据

实测数值应符合产品技术条件的规定。

注意事项

现场无条件安装采样装置的断路器，可不进行本试验。

测量应在断路器额定操作电压条件下进行。

3.4.6 测量断路器合闸电阻的投入时间及电阻值

设备清单和要求

温度湿度计；

断路器动特性测试仪。

测试方法

用断路器动特性测试仪进行测试。

试验步骤

- (1) 将断路器动特性分析仪“分、合闸控制线”接至断路器分、合闸线圈引出线处。
- (2) 将断路器动特性分析仪“时间测量通道线”接至断路器三相上口，三相下口短接并接地。
- (3) 开机后，操作断路器合闸，仪器自动测出合闸电阻的投入时间及电阻值，作好记录。

试验结果判断依据

应符合产品技术条件的规定。

3.4.7 测量断路器分、合闸线圈绝缘电阻及直流电阻

设备清单和要求

温度湿度计；

电动兆欧表、万用表。

测试方法

测量绝缘电阻时采用 500V 兆欧表，分别测量分、合闸线圈的绝缘电阻。

用万用表测量分、合闸线圈的直流电阻。

试验步骤

- (1) 用 500V 兆欧表分别测量分、合闸线圈引出线的绝缘电阻。
- (2) 当断路器处于分闸状态并已储能后用万用表测量合闸线圈直流电阻，当断路器处于合闸状态后测量分闸线圈的直流电阻。

试验结果判断依据（或方法）

测量分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻值，不应低于 10M Ω ；直流电阻值与产品出厂试验值相比应无明显差别。

3.4.8 断路器操动机构的试验

设备清单和要求

温度湿度计；

断路器动特性分析仪。

测试方法

用断路器动特性分析仪进行断路器操动机构的试验。

试验步骤

- (1) 将断路器动特性分析仪“分、合闸控制线”接至断路器分、合闸线圈引出线处。
- (2) 开机后根据面板提示进行断路器低电压分、合闸试验。

试验结果判断依据

应符合附录 A 的规定。

附录 A 断路器操动机构的试验

A.0.1 合闸操作

- 1) 当操作电压、液压在表 A.0.1 范围内时，操动机构应可靠动作；

表 G.0.1 断路器操动机构合闸操作试验电压、液压范围

电 压		液 压
直 流	交 流	
(85%~110%) U_n	(85%~110%) U_n	按产品规定的最低及最高值

注：对电磁机构，当断路器关合电流峰值小于 50kA 时，直流操作电压范围为(80%~110%) U_n 。 U_n 为额定电源电压。

- 2) 弹簧、液压操动机构的合闸线圈以及电磁、永磁操动机构的合闸接触器的动作要求，均应符合上项的规定。

A.0.2 脱扣操作

1) 并联分闸脱扣器在分闸装置的额定电压的 65%~110%时（直流）或 85%~110%（交流）范围内、交流时在分闸装置的额定电源频率下，应可靠地分闸；当此电压小于额定值的 30% 时，不应分闸；

2) 附装失压脱扣器的，其动作特性应符合表 A. 0. 2-1 的规定；

表 A. 0. 2-1 附装失压脱扣器的脱扣试验

电源电压与额定电源电压的比值	小于 35%*	大于 65%	大于 85%
失压脱扣器的工作状态	铁心应可靠地释放	铁心不得释放	铁心应可靠地吸合

注：* 当电压缓慢下降至规定比值时，铁心应可靠地释放。

3) 附装过流脱扣器的，其额定电流规定不小于 2.5A，脱扣电流的等级范围及其准确度，应符合表 A. 0. 2-2 的规定。

过流脱扣器的种类	延时动作的	瞬时动作的
脱扣电流等级范围(A)	2.5~10	2.5~15
每级脱扣电流的准确度	±10%	
同一脱扣器各级脱扣电流准确度	±5%	

表 A. 0. 2-2 附装过流脱扣器的脱扣试验

注：对于延时动作的过流脱扣器，应按制造厂提供的脱扣电流与动作时延的关系曲线进行核对。另外，还应检查在预定时延終了前主回路电流降至返回值时，脱扣器不应动作。

A. 0. 3 模拟操动试验。

1) 当具有可调电源时，可在不同电压、液压条件下，对断路器进行就地或远控操作，每次操作断路器均应正确，可靠地动作，其

联锁及闭锁装置回路的动作应符合产品及设计要求；当无可调电源时，只在额定电压下进行试验；

2) 直流电磁、永磁或弹簧机构的操动试验，应按表 A. 0. 3-1 的规定进行；液压机构的操动试验，应按表 A. 0. 3-2 的规定进行。

表 A. 0. 3-1 直流电磁、永磁或弹簧机构的操动试验

操作类别	操作线圈端钮电压与额定电源电压的比值 (%)	操作次数
合、分	110	3
合闸	85 (80)	3
分闸	65	3
合、分、重合	100	3

注：括号内数字适用于装有自动重合闸装置的断路器及表 A. 0. 1 “注”的情况。

表 A. 0. 3-2 液压机构的操动试验

操作类别	操作线圈端钮电压与额定电源电压的比值 (%)	操作液压	操作次数
合、分	110	产品规定的最高操作压力	3
合、分	100	额定操作压力	3
合	85 (80)	产品规定的最低操作压力	3
分	65	产品规定的最低操作压力	3
合、分、重合	100	产品规定的最低操作压力	3

注： 1 括号内数字适用于装有自动重合闸装置的断路器。

2 模拟操动试验应在液压的自动控制回路能准确、可靠动作状态下进行；

3 操动时，液压的压降允许值应符合产品技术条件的规定。

3) 对于具有双分闸线圈的回路，应分别进行模拟操动试验；

4) 对于断路器操动机构本身具有三相位置不一致自动分闸功能的，应根据需要做“投入”或“退出”处理。

3.4.9 测量断路器内 SF6 气体的含水量

设备清单和要求

温度湿度计；

SF6 气体微水测试仪。

测试方法

使用 SF6 气体微水测试仪进行测试。

试验步骤

将气室与 SF6 气体微水测试仪连通后进行测试。

试验结果判断依据（或方法）

与灭弧室相通的气室，应小于 150 μ L/L。

不与灭弧室相通的气室，应小于 250 μ L/L。

注意事项

SF6 气体的含水量测定应在断路器充气 24h 后进行。

3.4.10 密封性试验

设备清单和要求

温度湿度计；

SF6 气体检漏仪。

测试方法

使用 SF6 气体检漏仪对断路器各密封部位、管道接头等处进行检测。

试验步骤

开机对仪器进行校准并预热 15-20 分钟。

开始试验记录试验数据。

试验结果判断依据

采用灵敏度不低于 1×10^{-6} （体积比）的检漏仪对断路器各密封部位、管道接头等处进行检测时，检漏仪不应报警。

以 24 小时的漏气量换算，每一个气室年漏气率不应大于 1%，750kV 电压等级的不应大于 0.5%。

注意事项

必要时可采用局部包扎法进行气体泄漏测量。以 24h 的漏气量换算，每一个气室年漏气率不应大于 0.5%

3.4.11 气体密度继电器、压力表和压力动作阀的检查

设备清单和要求

温度湿度计；

SF6 密度继电器校验仪

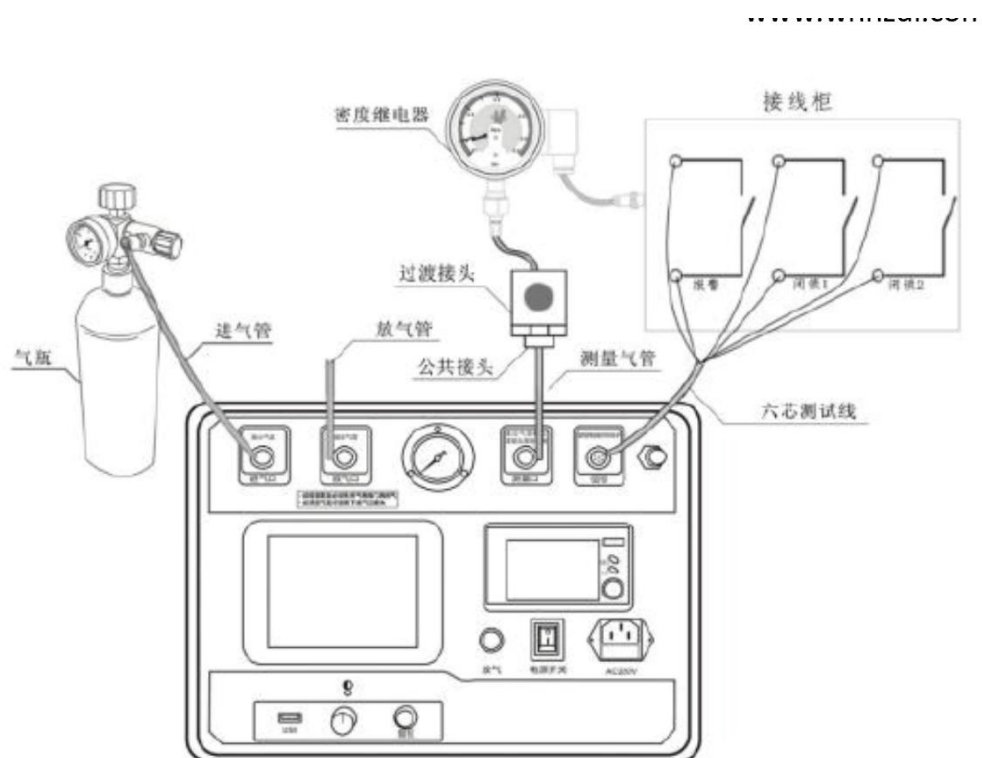
测试方法

在充气过程中检查气体密度继电器、压力表及压力动作阀的动作值

试验步骤

1. 确保设备与气瓶或者现场气室的密封可靠连接。
2. 密度继电器气体输出口与继电器可靠连接。
3. 连接设备与继电器阈值动作开关量触点。
4. 操作设置设备。

接线图



试验结果判断依据

应符合产品技术条件的规定。

注意事项

对单独运到现场的表计，应进行核对性检查。

3.4.12 六氟化硫封闭式组合电器主回路交流耐压试验

设备清单和要求

温度湿度计；

电动兆欧表；

工频串联谐振装置或变频串联谐振装置。

测试方法

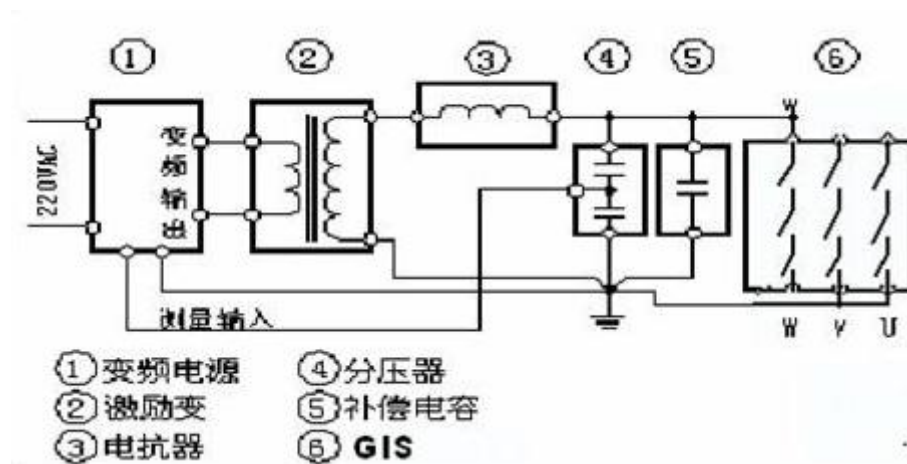
现场交流耐压试验（相对地）电压值为出厂耐压试验时施加电压值的 80%，耐压时间 1 分钟，如果用户有特殊要求时，可与制造厂协商后确定；

试验电压应施加到每相主回路和外壳之间，每次一相，其它相的主回路应和接地外壳相连，试验电源可接到被试相导体任一方便的位置。

老练试验应在现场耐压试验前进行，当最后施加的电压达到规定的现场耐压值 U_f 耐压 1 分钟，则老练试验可代替耐压试验。

试验原理接线图

对 GIS 的 A 相进行交流耐压试验时，试验原理接线如图 1 所示。



试验步骤

- (1) 被试品安装完毕，并充入全格的 SF6 气体，气体密度应保持在额定值，密封性试验和湿度测量合格，现场所有其他试验项目完成并合格后才可进行耐压试验；
- (2) 高压电缆、架空线、电力变压器、电抗器、避雷器必须与 GIS 断开；
- (3) 电磁式电压互感器（如采用变频电源，电磁式电压互感器经频率计算，不会引起磁饱和，也可以和主回路一起耐压，但必须经制造厂确认）；
- (4) 将试验仪器准备就位；
- (5) 记录环境温度和湿度；
- (6) 耐压试验前，应先进行绝缘测试，检查被试设备是否合格；
- (7) 规定的试验电压应施加到每相主回路和外壳之间，每次一相，其他的主回路应和接地外壳相连；
- (8) 进行断路器断口间耐压试验时，应将试验电压加到断路器和隔离开关断口间，断口的一侧与试验电源相连，另一侧与其他相导体和接地的外壳相连；
- (9) 将试验电压均匀升高，到规定的电压值下耐压 1 分钟后迅速降回到零；

安全措施

- (1) 为保证人身和设备安全，要求必须在试验设备周围设围栏并有专人监护，派专人把守防止无关人员误入试验区域，试验时试验人

员与看守人员通信要通畅，没有试验人员的命令看守人员不能乱动。负责升压的人要随时注意周围的情况，一旦发现异常应立刻断开电源停止试验，查明原因并排除后方可继续试验。

(2) 试验设备的布置应紧凑、连接线短，宜用屏蔽导线，接地线应牢固可靠。

(3) 注意试验完毕后必须充分放电。

(4) 试验过程中，如发现泄漏电流随时间急剧增长，或有绝缘烧焦气味，或冒烟，或发生响声等异常现象时，应立即降下电压断开电源停止试验，将被试品接地放电后再进行检查。

试验结果判断依据

(1) 如 GIS 的每一部件均已按选定的试验程序耐受规定的试验电压而无击穿放电，则认为整个 GIS 通过试验；

(2) 在试验过程中如果发生击穿放电，则应根据放电能量和放电引起的声、光、电、化学等各种效应及耐压试验过程中进行的其他故障诊断技术所提供的资料，进行综合判断，遇有放电情况，可采取下述步骤：

(3) 进行重复试验，如果该设备或还能经受规定的试验电压，则该放电是自恢复放电，认为耐压试验通过，如重复试验再次失败，按 b) 项程序进行；

(4) 设备解体，打开放电气室，仔细检查绝缘情况，修复后，再一次进行耐压试验。

3.4.13 户外隔离开关及电气交流耐压试验标准

可在母线安装完毕后一起进行，试验电压应符合表 3 的规定。

额定电压 (kV)	最高工作电压 (kV)	1min 工频耐受电压 (kV) 有效值 (湿试/干试)									
		电压互感器		电流互感器		穿墙套管		支柱绝缘子			
								湿试		干试	
		出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接
3	3.6	18/25	14/20	18/25	14/20	18/25	15/20	18	14	25	20
6	7.2	23/30	18/24	23/30	18/24	23/30	18/26	23	18	32	26
10	12	30/42	24/33	30/42	24/33	30/42	26/36	30	24	42	34
15	17.5	40/55	32/44	40/55	32/44	40/55	34/47	40	32	57	46
20	24.0	50/65	40/52	50/65	40/52	50/65	43/55	50	40	68	54
35	40.5	80/95	64/76	80/95	64/76	80/95	68/81	80	64	100	80
66	72.5	140	112	140	112	140	119	140	112	165	132
		160	120	160	120	160	136	160	128	185	148
110	126	185/200	148/160	185/200	148/160	185/200	160/184	185	148	265	212
220	252	360	288	360	288	360	306	360	288	450	360
		395	316	395	316	395	336	395	316	495	396
330	363	460	368	460	368	460	391	570	456		
		510	408	510	408	510	434				
500	550	630	504	630	504	630	536				
		680	544	680	544	680	578	680	544		
		740	592	740	592	740	592				
750		900	720			900	765	900	720		
		960	768			960	816				

表 3 高压电气设备绝缘的工频耐压试验电压

- 注： 1 上表中，电气设备出厂试验电压参照《绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则》GB 311.1-2012 和 IEC60694：2002-01 2.2；
- 2 该栏中斜线下的数值为该类设备的外绝缘干耐受电压。