



中华人民共和国国家标准

GB/T 25309—2010

高压直流转换开关

High-voltage direct current transfer switches

2010-11-10 发布

2011-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 正常和特殊使用条件 4

5 额定值 4

6 技术要求 6

7 试验 7

8 运输、储存、安装、运行和维修规则 10

9 安全性..... 11

附录 A（资料性附录） 直流系统过负荷电流 12

附录 B（资料性附录） 直流转换开关的选用导则 13

附录 C（资料性附录） 直流转换开关分设备的试验要求 16

前 言

本标准结构编制依据 GB/T 1.1。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 均为资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国高压开关设备标准化技术委员会(SAC/TC 65)归口。

本标准负责起草单位：西安高压电器研究所、南方电网技术研究中心。

本标准参加起草单位：机械工业北京电工技术经济研究所、国家电网特高压建设部直流处、西安西电高压开关有限责任公司、河南平高电气有限公司、新东北电气(沈阳)高压开关有限公司。

本标准主要起草人：任军辉、黎小林、朱静、苟锐锋、李福成。

本标准参加起草人：饶宏、张万荣、郭丽萍、游一民、高文、田恩文、杨晓辉、杜海燕、王天祥、王宇驰、阎关星、徐光辉、王学范、王琦、李岩、张化良、李宾宾、郭贤珊、王晶。

引 言

直流转换开关是高压直流输电系统中的重要设备。在我国,高压直流输电技术发展迅速,而现行国家标准、国际标准等均未涉及高压直流转换开关的内容,为使高压及特高压直流输电系统用直流转换开关的设计、制造、试验有所遵循,迫切需要制定高压直流转换开关国家标准。

本标准提出的直流转换开关的技术条件和试验要求是基于有关 ± 800 kV 电压等级直流输电系统用直流转换开关的科研结论并参考国内外高压直流输电工程直流转换开关的设计、运行及试验经验制定的。

高压直流转换开关

1 范围

本标准规定了高压直流转换开关的术语和定义、使用环境条件、额定值、技术要求、型式试验、例行试验、特殊试验、现场试验等。

本标准适用于 ± 800 kV 及以下电压等级直流输电系统用直流转换开关,其中包括金属回线转换开关、大地回线转换开关、中性母线开关和中性母线接地开关。

本标准也适用于这些转换开关的操动机构及其辅助设备。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 1094.1—1996 电力变压器 第1部分 总则(eqv IEC 60076-1:1993)

GB 1984—2003 高压交流断路器(IEC 62271-100:2001,MOD)

GB/T 2900.20—1994 电工术语 高压开关设备(neq IEC 60050(441)、IEC 60056 等)

GB/T 5273—1985 变压器、高压电器和套管的接线端子(neq IEC 60518:1975)

GB/T 7354—2003 局部放电测量(IEC 60270:2000,IDT)

GB 10229—1988 电抗器(eqv IEC 60289:1987)

GB/T 11022—1999 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求(IEC 60694:1996,MOD)

GB/T 11024.1—2001 标称电压1 kV 以上交流电力系统用并联电容器 第1部分:总则 性能、试验和定额 安全要求 安装和运行导则(eqv IEC 60871-1:1997)

GB 11032—2000 交流无间隙金属氧化物避雷器(eqv IEC 60099-4:1991)

GB/T 12022—2006 工业六氟化硫(IEC 376:1971,IEC 376A:1973,IEC 376B:1974,MOD)

GB/T 13498—2007 高压直流输电术语(IEC 60633:1998,IDT)

GB/T 13540 高压开关设备和控制设备的抗震要求(GB/T 13540—2009,IEC 62271-2:2003,MOD)

GB/T 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分:一般试验要求(eqv IEC 60060-1:1989)

3 术语和定义

GB/T 2900.20、GB 1984 和 GB/T 13498 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

直流转换开关

3.1.1

直流转换开关 DC transfer switch

用于将高压直流输电系统中的直流运行电流从一个运行回线转换到另一个运行回线的开关装置。

3.1.2

有源型直流转换开关 active DC transfer switch

带有充电装置的直流转换开关。

3.1.3

无源型直流转换开关 passive DC transfer switch

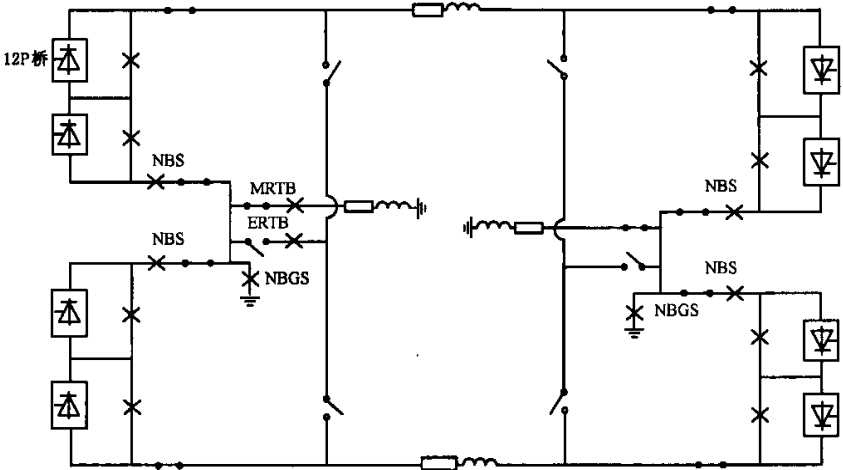
不带充电装置的直流转换开关。

3.1.4

金属回线转换开关(MRTB) metallic return transfer breaker (MRTB)

将直流电流从大地回线通路转换到金属回线通路的开关设备,见图 1。

[GB/T 13498—2007,定义 9.12]。



MRTB——金属回线转换开关;
ERTB——大地回线转换开关;
NBS——中性母线开关;
NBGS——中性母线接地开关。

图 1 直流转换开关在高压直流输电系统中的位置

3.1.5

大地回线转换开关(ERTB) earth return transfer breaker (ERTB)

将直流电流从金属回线通路转换到大地回线通路的开关设备,见图 1。

注: 改写 GB/T 13498—2007,定义 9.13。

3.1.6

中性母线开关(NBS) neutral bus switch (NBS)

安装在换流站站内地线上,用于把停运的换流桥与中性母线断开的开关设备,NBS 还应能把直流极线故障所产生的故障电流转换到由接地极及其引线构成的接地回路中,见图 1。

3.1.7

中性母线接地开关(NBGS) neutral bus grounding switch (NBGS)

安装在换流站站内地线上,用于提供站内临时接地的开关设备,见图 1。NBGS 最重要的作用是作为一个快速合闸开关;另外,在 NBS 转换失败(开断不成功)时,NBGS 也可以提供暂时的大地回线通路。

3.2

直流转换开关的分设备

3.2.1

开断装置 interrupter

直流转换开关中用以开断电流的装置。

注: 在工程应用中一般用交流断路器代替。

3.2.2

辅助回路 auxiliary circuit

直流转换开关中与开断装置并联的电路。无源型直流转换开关的辅助回路通常包括电容器、电抗器和避雷器。有源型直流转换开关的辅助回路还包括单极合闸开关和充电装置。辅助回路的作用是产生振荡电流,使流过开断装置的电流产生过零点。

3.2.3

单极合闸开关 one-pole closing switch

有源型直流转换开关中连接电容器和电抗器的开关装置,用于在规定时刻关合电抗器与已充电的电容器的回路以产生振荡。

3.2.4

绝缘平台 insulated platform

在直流转换开关中,满足一定对地绝缘水平,用于支撑直流转换开关辅助回路设备的平台。

3.2.5

充电装置 charging device

在有源型直流转换开关中给辅助回路中的电容器充电的装置。

3.3

特性参量

3.3.1

分闸时间 opening time

[GB 1984—2003,定义 3.7.133]。

3.3.2

燃弧时间 arcing time

从电弧起始时刻到电弧熄灭时刻的时间间隔。

注:改写 GB 1984—2003,定义 3.7.134。

3.3.3

开断时间 break time

[GB 1984—2003,定义 3.7.135]。

3.3.4

合闸时间 closing time

处于分闸位置的开断装置,从合闸回路带电时刻起到触头接触时刻的时间间隔。

注:合闸时间包括开断装置合闸必需的、并与开断装置构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

注:改写 GB 1984—2003,定义 3.7.136。

3.3.5

关合时间 make time

处于分闸位置的开断装置,从合闸回路带电时刻到主回路中电流出现时刻的时间间隔。

注:关合时间包括开断装置合闸必需的、并与开断装置构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。关合时间可能随预击穿时间的变化而不同。

注:改写 GB 1984—2003,定义 3.7.137。

3.3.6

电弧耐受能力 arcing withstand capability

能够耐受的最长燃弧时间。

3.3.7

运行电压 operating voltage

直流系统运行时,直流转换开关端子对地的直流电压。

3.3.8

运行电流 operating current

直流系统运行时,流过直流转换开关的直流电流。

3.3.8.1

过负荷运行电流 overload current in operation

直流系统以超过系统额定输送功率方式运行时流过直流转换开关的电流。过负荷运行电流由直流系统的过负荷能力确定。

注:附录 A 中列举了国内两个高压直流输电工程系统过负荷电流。

3.3.8.2

最大持续运行电流 maximum continuous current in operation

直流系统持续过负荷运行时流过直流转换开关的电流。最大持续运行电流由直流系统的持续过负荷能力确定。

3.3.9

转换电流 current to transfer

在直流转换开关分闸时刻,流过该直流转换开关的直流电流。

3.3.10

断口间最大设计恢复电压 maximum design recovery voltage across the interrupter

计算模拟出的,电流转换到辅助回路中的电容器和避雷器后开断装置断口间可能出现的最大恢复电压。

4 正常和特殊使用条件

GB/T 11022—1999 中的第 2 章适用。

5 额定值

5.1 额定运行电压

额定运行电压从下列值中选取(直流,kV):

10,25,50,100。

5.2 额定运行电流

额定运行电流从下列值中选取(直流,A):

3 150,4 000,5 000(4 500)。

5.3 额定转换电流

直流转换开关需转换的直流电流由下列值中选取(A):

200¹⁾,1 250,2 500,3 150,4 000,5 000。

5.4 最大持续运行电流

最大持续运行电流一般为额定运行电流的 1.05 倍~1.25 倍。

1) 如只要求 NBGS 转换双极运行的不平衡电流,NBGS 的额定转换电流将远小于直流系统的额定运行电流。

5.5 额定操作顺序

直流转换开关的额定操作顺序分别为：
MRTB：分- t 合， $t <$ 电弧耐受能力；
ERTB：分- t 合， $t <$ 电弧耐受能力；
NBS：合-0.1 s-分- t 合， $t <$ 电弧耐受能力；
NBGS：分- t 合， $t <$ 电弧耐受能力。

5.6 绝缘水平

直流开关的额定绝缘水平应从表 1 给定的数值中选取。

表 1 额定绝缘水平

额定直流电压/kV	60 min 直流耐受电压/kV	额定雷电冲击耐受电压/kV	
		对地	断口间
10	15	145	145
25	38	250	250
50	75	450	450
100	150	450	450
		550	550

5.7 额定时间参量

对于 MRTB、ERTB 和 NBS：
——合闸时间：小于 100 ms；
——分闸时间：小于 30 ms。
对于 NBGS：
——合闸时间：小于 55 ms；
——分闸时间：小于 30 ms。

5.8 机械操作次数

2 000 次。

5.9 开断最大直流电流时的电弧耐受能力

150 ms。

5.10 断口间最大设计恢复电压

端口间最大设计恢复电压从下列值中选取(直流,kV)：
60,145。

5.11 额定短时耐受电流

GB/T 11022—1999 中的 4.5 适用。

5.12 额定峰值耐受电流

GB/T 11022—1999 中的 4.6 适用。

6 技术要求

6.1 电气要求

——辅助电源

- 合闸和分闸回路控制电压:110 V(DC)或 220 V(DC);
- 操作机构电动机驱动电源电压:380 V/220 V(AC),50 Hz;
- 加热电源电压:220 V(AC),50 Hz。

——110 V(DC)辅助接点额定电流:5 A;或 220 V(DC)辅助触点额定电流:2.5 A;

——噪音水平:距开关及操动机构直线距离 2 m、对地高度 1.5 m 处,非连续性噪声不大于:

分闸:96 dB;

合闸:90 dB。

——套管要求:

应满足实际工程污秽等级要求。

采用复合外套时,最小公称爬电比距应不低于瓷质外套的 75%,爬电系数不宜大于 4.0。

——绝缘介质:

- SF₆ 气体:含水量不大于 150 μL/L;
- SF₆ 年漏气率小于 0.5%;
- SF₆ 新气应符合 GB/T 12022 的要求。

——投切要求

- 在开关主触头之间不允许重击穿。
- 串联主触头(如果适用)之间的分闸同期性不大于 2.5 ms。

6.2 结构与性能要求

6.2.1 一般要求

每台开关应装设机械式位置指示器,其安装部位应清晰可见。

开关应在规定的各种工况下达到开断性能而不发生拒动或误动。对于安装有压力释放阀的,其排放方向应不会造成人员或设备伤害。SF₆ 型开关应有气体取样阀和充气点。SF₆ 型开关要配有 SF₆ 气体密度继电器,并能在发生事故时报警及闭锁操作机构。

直流转换开关各组成设备均应具有抗腐蚀性或经过抗腐蚀处理。

6.2.2 抗震能力

本设备应能承受三周正弦波水平加速度和垂直加速度同时加于支持结构最低部分时在共振条件下所发生的动态地震应力,并且安全系数应大于 1.67。

6.2.3 端子机械负荷

开关应配用平板式的接线端子板,机械负荷应不小于:

水平纵向:2 000 N;

横向:1 500 N;

垂直:1 500 N;

弯矩:400 N·m。

静态安全系数应不小于 2.75~3.5(当破坏应力的 3σ 值不大于 0.75 时可选用 2.75),事故状态下安全系数不小于 1.67。开关端子型式和尺寸应满足 GB/T 5273 中的有关规定。

6.3 辅助和控制设备

GB/T 11022—1999 中的 5.4 适用。

6.4 动力操作

GB/T 11022—1999 中的 5.5 适用。

6.5 储能操作

GB/T 11022—1999 中的 5.6 适用。

6.6 外壳的防护等级

GB/T 11022—1999 中的 5.13 适用,并作如下补充:

外壳防护等级应不低于 IP33D。

6.7 铭牌

GB/T 11022 中的 5.10 适用,并作如下补充:

铭牌上的技术参数至少应包括如下参数:

- 额定运行电压;
- 额定运行电流;
- 额定转换电流;
- 最大持续运行电流;
- 额定操作顺序;
- 额定雷电冲击耐受电压;
- 额定直流耐受电压;
- 合闸时间;
- 分闸时间;
- 机械操作次数;
- 开断最大直流电流时的电弧耐受能力;
- 断口间最大设计恢复电压;
- 额定短时耐受电流;
- 额定峰值耐受电流。

6.8 电磁兼容性(EMC)

GB/T 11022—1999 中的 5.18 适用。

7 试验

7.1 概述

直流转换开关的各分设备应通过附录 C 中规定的各项试验。

7.2 型式试验

7.2.1 雷电冲击电压试验

GB/T 11022—1999 中的 6.2.6.2 适用,并作如下补充:

直流转换开关处于合闸位置时,应在端子和地之间施加对地雷电冲击耐受电压。

直流转换开关处于分闸位置时,应施加断口间耐受电压。试验方法为:在一个端子施加断口间雷电冲击耐受电压,另一个端子施加一个极性相反的电压,电压大小等于完成电流转换后开断装置断口间出现的最大设计恢复电压。也可使用一个等效同步交流电压代替。

7.2.2 直流电压耐受试验,湿态

直流转换开关应进行直流电压湿耐受试验,GB/T 16927.1—1997 中的第 5 章适用,并作如下补充:

试验时直流转换开关应处于合闸状态,试验电压加在端子与地之间。试验持续 60 min。

7.2.3 主回路电阻的测量

GB/T 11022—1999 中的 6.4 适用。

7.2.4 温升试验

GB 1984—2003 中的 6.5 适用,并作如下补充:

试验电流应采用直流转换开关的最大持续运行电流或等效的 50 Hz 的交流电流。

7.2.5 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

GB/T 11022—1999 中的 6.6 适用。

7.2.6 防护等级验证

GB 1984—2003 中的 6.7 适用。

7.2.7 密封试验

GB/T 11022—1999 中的 6.8 适用。

7.2.8 电磁兼容性(EMC)试验

GB/T 11022—1999 中的 6.9 适用。

7.2.9 周围空气温度下的机械操作试验

GB 1984—2003 中的 6.101.2 适用。

试验时直流转换开关可以不接辅助回路,只对开断装置进行机械操作试验。

7.2.10 端子静负载试验

端子受力应满足 5.2.3 的要求,参照 GB 1984—2003 中的 6.101.6 进行试验。

7.2.11 直流转换开关的电流转换试验

本试验的目的是检验直流转换开关是否具备转换规定的直流转换电流的能力。

通过本试验检验直流转换开关能够成功转换额定转换电流范围内的直流电流,并且开断装置能够耐断口间出现的恢复电压上升率(RRRV)。

试验回路应能等效该类型直流转换开关的实际运行条件。

转换试验至少应包括以下 4 次连续转换：

- 转换额定直流转换电流 50% 水平 1 次；
- 转换额定直流转换电流水平 3 次。

若其中 1 次未成功转换，则应重复上述试验，若连续 4 次转换成功，则视为通过该项型式试验。否则，视为未通过试验。

7.2.12 抗震试验

试验按 GB/T 13540 中的规定进行。

7.3 例行试验

例行试验通过对直流转换开关各分设备的例行试验进行验证。直流转换开关各分设备的例行试验应参考附录 C 进行。

7.4 特殊试验

制造厂和用户通过协商，可以考虑增加下述特殊试验项目：直流转换开关的连续转换试验。

7.4.1 直流转换开关的连续转换试验

在进行电流转换试验中可以考虑进行连续转换试验。连续转换试验仅对 MRTB 和 ERTB 进行。本试验是为了验证直流转换开关的连续转换能力。

按照电流转换试验的试验要求，先进行一次分合操作，在距第一次分闸操作 60 s 内再进行一次分闸操作。在连续转换电流试验中，直流转换开关应能成功转换该开关的额定转换电流范围内的直流电流。

7.5 现场试验

现场试验的目的在于检查直流转换开关及其辅助设备没有因运输和储存而损坏，并验证组装好的直流转换开关的整体性能。

现场试验包括对直流转换开关分设备以及直流转换开关整体的检查和试验。

7.5.1 直流转换开关分设备的检查和试验

7.5.1.1 开断装置和单极合闸开关的检查和试验

开断装置和单极合闸开关的现场试验按普通交流断路器的现场试验程序进行。

GB 1984—2003 中的 10.2 适用。

7.5.1.2 绝缘平台的验收试验

如直流转换开关中有专用的绝缘平台，则应做如下检查：

- 在安装前检查各绝缘子是否完好；
- 安装完成后，在安装其他附加设备前对绝缘平台进行外观检查，并检查其是否稳固；
- 测量绝缘电阻，绝缘电阻值应不低于 500 M Ω 。

7.5.1.3 电抗器的验收试验

- 测量电抗器的直流电阻，实测直流电阻值与同温下出厂试验值相比，应无明显差别；
- 测量电抗器的电感值，实测电感值与同温下出厂试验值相比，应无明显差别；
- 如直流转换开关中没有专用的绝缘平台，需检测电抗器的对地绝缘电阻，绝缘电阻值应不低于

500 M Ω 。

7.5.1.4 避雷器的验收试验

GB 11032—2000 中的 9.2 适用。

7.5.1.5 电容器组的验收试验

内容包括：

- 应对每一台电容器、每一个电容器桥臂和整组电容器的电容量进行测量，实测电容量应符合设计规范书的要求；
- 测量每台电容器端子对外壳的绝缘电阻，实测绝缘电阻值应与出厂试验值无明显差别；
- 对装有内置放电电阻的电容器，进行端子间电阻的测量，测量结果与出厂值相比应无明显差别；
- 如直流转换开关中没有专用的绝缘平台，需检测支柱绝缘子的绝缘电阻，绝缘电阻值应不低于 500 M Ω ；
- 检查有无发生泄漏。

7.5.1.6 充电装置的验收试验

7.5.1.6.1 安装过程中的外观检查

内容包括：

- 检查设备是否发生泄漏；
- 检查接线是否正确。

7.5.1.6.2 设备试验

只有绝缘平台上的其他工作完成后才能使充电装置带电。试验时应将直流转换开关与直流场其他设备隔离，直流转换开关两端接地。试验内容包括：

- 接通交流或直流辅助电源，使充电装置带电。
 - 检测输出电压和极性。
- 进行充电装置的起动和功能试验
 - 起动；
 - 充电电流的设定；
 - 就地控制电压限值；
(充电装置的远端控制试验在子系统试验时进行)
 - 检验充电时间。

7.5.2 整个直流转换开关的安装检查

内容包括：

- 检查各设备位置是否正确；
- 检查各设备间的接线是否正确、可靠；
- 检查各设备间的绝缘距离；
- 测量直流转换开关导电回路电阻。

8 运输、储存、安装、运行和维修规则

GB/T 11022—1999 中的第 10 章适用，并作如下补充：

8.1 运输、储存和安装的条件

GB/T 11022—1999 中的 10.1 适用。

8.2 安装

GB/T 11022—1999 中的 10.2.1~10.2.4 适用。

直流转换开关完成现场安装后,推荐按照 6.4 的要求进行现场试验。

8.3 运行

制造厂给出的说明书应当包括以下资料:

- 设备的一般说明,要特别注意它的特性和运行的技术说明,使用户充分了解所涉及的主要原理;
- 设备安全性能的说明;
- 和运行有关的,为了对设备进行操作、隔离、接地、维修和试验所采取的行动的说明。

8.4 维修

维修的有效性主要取决于制造厂编写的说明书的内容和用户贯彻执行说明书的程度。

8.4.1 对制造厂的建议

制造厂应提供包括以下资料的维修手册:

- a) 维修的范围和频度;
- b) 维修工作的详细说明;
- c) 对维修至关重要的开关设备和控制设备细节的全套图样,图样上要有总装、分装和重要零件的清晰标志;
- d) 极限值和允许偏差,如果偏出,要进行必要的校正;
- e) 辅助维修材料的规格,包括对已知的不相容材料的警告;
- f) 专用工具、起吊和维修用设备的清单;
- g) 维修后的试验项目;
- h) 推荐的备件(说明、代号、数量)和存储建议;
- i) 有效计划维修时间的估计;
- j) 在设备操作寿命终了时,记及环境的要求,怎样对设备进行处理。

8.4.2 对用户的建议

如果用户希望自行维修,其工作人员应对相应的开关设备和控制设备有详尽的了解。

用户应做好设备在使用中的运行和维修记录。

9 安全性

GB/T 11022—1999 中的第 11 章适用,并做如下补充:

任何已知的化学危害和环境危害应在使用手册中说明。

附 录 A
(资料性附录)
直流系统过负荷电流

A.1 概述

直流系统过负荷水平与环境温度以及换流变压器、换流阀、油浸式平波电抗器的冗余冷却设备是否投入有关。

A.2 国内某个±500 kV 直流系统过负荷电流

见表 A.1。

表 A.1 国内某个±500 kV 直流系统过负荷电流

过负荷持续时间	环境温度(20 ℃)		最高环境温度(约 40 ℃)	
	冗余冷却设备 投入运行	冗余冷却设备 不投入运行	冗余冷却设备 投入运行	冗余冷却设备 不投入运行
连续	3 586 A	3 552 A	3 213 A	3 045 A
2 h	4 115 A	3 972 A	3 484 A	3 381 A
10 s	4 480 A	4 480 A	4 480 A	3 867 A
5 s	4 817 A	4 817 A	4 817 A	4 187 A
3 s	4 817 A	4 817 A	4 817 A	4 443 A
注 1: 直流系统额定直流电流为 3 000 A; 注 2: 冗余冷却设备是指换流阀、换流变压器等主设备的冗余冷却设备。				

A.3 国内某个±800 kV 直流系统过负荷电流

见表 A.2。

表 A.2 国内某个±800 kV 直流系统过负荷电流

过负荷持续时间	环境温度(25 ℃)		最高环境温度(约 40 ℃)	
	冗余冷却设备 投入运行	冗余冷却设备 不投入运行	冗余冷却设备 投入运行	冗余冷却设备 不投入运行
连续	3 795 A	3 461 A	3 461 A	3 125 A
2 h	3 965 A	3 795 A	3 795 A	3 461 A
3 s	4 892 A	4 892 A	4 539 A	4 539 A
注: 直流系统额定直流电流为 3 125 A。				

附录 B

(资料性附录)

直流转换开关的选用导则

B.1 概述

为使直流转换开关适合于指定的运行任务,应按负载条件和故障条件所要求的各个额定值进行选择。

本标准适用于 ± 800 kV 及以下电压等级直流输电用直流转换开关,其中 MRTB、ERTB、NBS、NBGS,不包括旁路开关。直流转换开关的额定参数推荐值见第 4 章。

B.2 直流转换开关额定值的选择

B.2.1 额定运行电压的选择

直流转换开关一般位于直流系统的中性母线侧,因此其额定运行电压都不高。

直流输电系统一般采用逆变站接地方式,由于输电线路存在电压降,所以整流站中性母线设备的额定运行电压一般高于逆变站。

直流转换开关的额定运行电压可以从 4.1 中选取。

B.2.2 额定运行电流的选择

直流转换开关的额定运行电流由直流工程的额定运行电流确定。

直流转换开关的额定运行电流可以从 4.2 中选取。

B.2.3 额定转换电流

直流转换开关的转换电流就是指经过分流后,在直流转换开关分闸前刻,流过该直流转换开关的直流电流。各直流转换开关由于其功能和所处位置不同,对其转换电流的能力的要求也不同。下面对各直流转换开关的转换电路进行说明。

B.2.3.1 MRTB

MRTB 位于接地极引线电路中。MRTB 的作用是将单极大地回线运行时的电流转换到单极金属回线中。在转换过程中,首先闭合 ERTB。当单极运行系统重新达到稳态时,断开 MRTB,也就是说,电流由接地极引线和极线两路分流状态转为只从极线流过的单路状态。MRTB 的等效转换电路如图 B.1 所示。

B.2.3.2 ERTB

ERTB 接在接地极引线和极线之间。ERTB 的作用是将单极金属回线运行时的电流转换到单极大地回线运行回线。在转换过程中,首先先闭合 MRTB。当单极运行系统重新达到稳态时,断开 ERTB,也就是说,电流由接地极引线和极线两路分流状态转为只从接地极引线流过的单路状态。ERTB 的等效转换电路如图 B.1 所示。

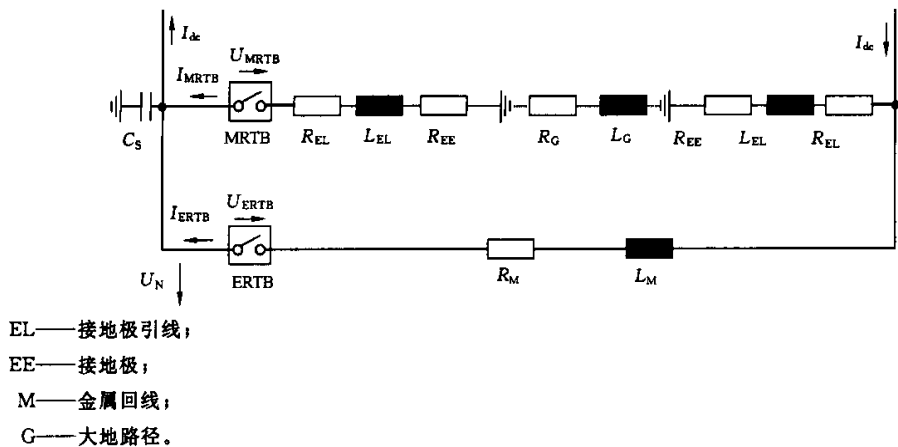


图 B.1 MRTB 和 ERTB 的等效转换电路

B.2.3.3 NBS

双极运行,发生单极换流器内部接地故障时,故障极在投入旁通对情况下闭锁。这时 NBS 的作用是将由正常运行极产生的、流经短路点和闭锁极的直流电流转换到接地极引线。NBS 的等效转换电路见图 B.2 所示。

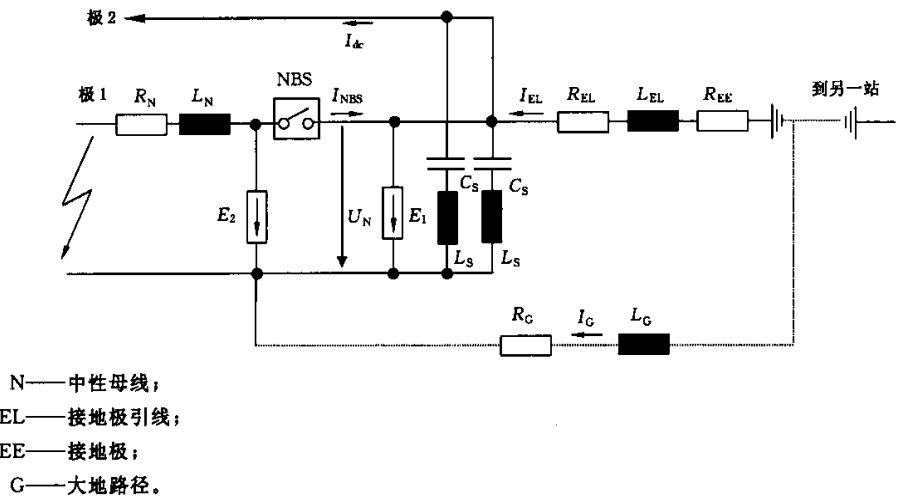
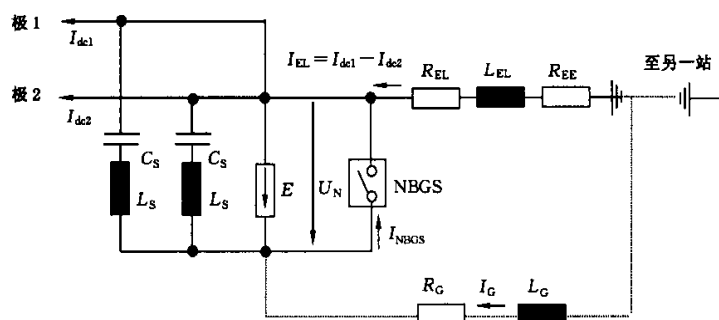


图 B.2 NBS 的等效转换电路

B.2.3.4 NBGS

使用 NBGS 的主要目的是防止双极停运闭锁以提高 HVDC 传输系统的可靠性。在接地极引线断开的情况下,不平衡电流将使得中性母线上的电压增加,NBGS 合闸为换流站提供临时接地,通过站内的接地系统重新连接到大地回线,这样就可以继续双极运行。当接地极引线可以重新使用时,NBGS 要能够将电流从站接地转换为接地极引线接地。NBGS 的等效转换电路见图 B.3 所示。



N——中性母线；
EL——接地极引线；
EE——接地极；
G——大地路径。

图 B.3 NBGS 的等效转换电路

B.3 直流转换开关型式选择

直流转换开关一般可分为两类：有源型和无源型。无源型直流转换开关一般由开断装置(B)、转换电容器(C)和避雷器(R)组成，有时还有电抗器(L)。有源型直流换开关设备还包括单极关合开关(S1)和充电装置，见图 B.4。

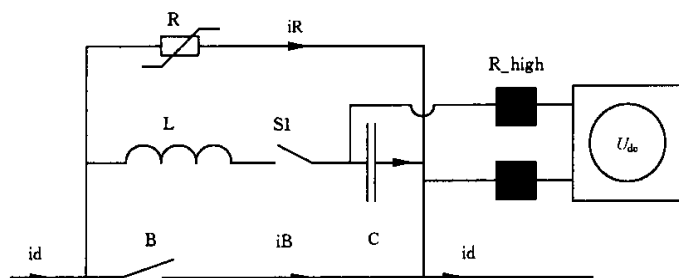


图 B.4 带充电装置的(有源型)直流转换开关

由于有源型直流转换开关中的电容器可以预先充电，因此有源型直流转换开关的直流电流转换能力较强。无源型直流转换开关也可以转换较大幅值的直流电流，而由于不带充电装置，其运行维护更加方便。

附录 C

(资料性附录)

直流转换开关分设备的试验要求

C.1 开断装置

C.1.1 开断装置型式试验

C.1.1.1 雷电冲击电压试验

GB/T 11022—1999 中的 6.2.6.2 适用,并作如下补充:

开断装置处于合闸位置时,应在端子和地之间施加对地雷电冲击耐受电压。

开断装置处于分闸位置时,应施加断口间耐受电压。试验方法为:在一个端子施加断口间雷电冲击耐受电压,另一个端子施加一个极性相反的电压,电压大小等于完成电流转换后开断装置断口间出现的最大设计恢复电压。也可使用一个等效同步交流电压代替。

C.1.1.2 操作冲击电压试验

GB/T 11022—1999 中的 6.2.7.2 适用。对安装在户外的开断装置应进行湿试。

试验方法作如下补充:

开断装置处于合闸位置时,应在端子和地之间施加对地操作冲击耐受电压。

开断装置处于分闸位置时,应施加断口间耐受电压。试验方法为:在一个端子施加断口间操作冲击耐受电压,另一个端子施加一个极性相反的电压,电压大小等于完成电流转换后开断装置断口间出现的最大设计恢复电压。也可使用一个等效同步交流电压代替。

C.1.1.3 辅助和控制回路试验

GB/T 11022—1999 中的 6.2.10 适用。

C.1.1.4 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

GB 1984—2003 中的 6.6 适用。

C.1.1.5 温升试验

GB 1984—2003 中的 6.5 适用,并作如下补充:

试验电流应采用最大持续运行电流或等效的 50 Hz 交流电流。

C.1.1.6 主回路电阻测量

GB/T 11022—1999 中的 6.4 适用。

C.1.1.7 环境温度下的机械操作试验

GB 1984—2003 中的 6.101.2 适用。

C.1.1.8 密封性试验

GB/T 11022—1999 中的 6.8 适用。

C.1.1.9 电磁兼容性(EMC)试验

GB/T 11022—1999 中的 6.9 适用。

C.1.2 开断装置例行试验

C.1.2.1 辅助和控制回路的耐压试验

GB/T 11022—1999 中的 7.2 适用。

C.1.2.2 主回路电阻测量

GB/T 11022—1999 中的 7.3 适用。

C.1.2.3 机械操作试验

GB 1984—2003 中的 7.101 适用。

C.1.2.4 密封性试验

GB/T 11022—1999 中的 7.4 适用。

C.1.2.5 设计和外观检查

GB 1984—2003 中的 7.5 适用。

C.2 单极合闸开关

本试验只适用于有源型直流转换开关。

C.2.1 单极合闸开关型式试验

C.2.1.1 雷电冲击电压试验

附录 C.1.1.1 适用,并作如下修改:

单极合闸开关处于分闸位置时,试验方法为:在一个端子施加断口间雷电冲击耐受电压,另一个端子施加极性相反的额定电压,也可使用一个等效同步交流电压代替。

C.2.1.2 辅助和控制回路试验

附录 C.1.1.3 适用。

C.2.1.3 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

附录 C.1.1.4 适用。

C.2.1.4 环境温度下的机械操作试验

附录 C.1.1.7 适用。

C.2.1.5 电磁兼容性(EMC)试验

附录 C.1.1.9 适用。

C.2.2 单极合闸开关例行试验

C.2.2.1 辅助和控制回路的耐压试验

附录 C.1.2.1 适用。

C.2.2.2 主回路电阻测量

附录 C.1.2.2 适用。

C.2.2.3 机械操作试验

附录 C.1.2.3 适用。

C.2.2.4 密封性试验

附录 C.1.2.4 适用。

C.2.2.5 设计和外观检查

附录 C.1.2.5 适用。

C.3 转换电容器

C.3.1 转换电容器型式试验

C.3.1.1 动作负载试验

本试验的目的是检验电容器在实际运行状态下的性能。

供货商应通过一个模拟运行情况的试验或参考其他标准绝缘和短路试验检验电容器的操作次数是否满足要求。

C.3.1.2 热稳定试验

GB/T 11024.1—2001 中的第 13 章适用。

本试验适用于有源型直流转换开关中的电容器。

本试验包括两项试验,可以是在同一台电容器单元上进行,也可以分别在两台电容器单元上进行。

被试电容器单元应能经受:

——可以产生 1.2 倍运行时最高损耗的交流电压;

—— $1.2 \cdot U_{dc}$ 直流电压, U_{dc} 是最大持续直流电压。环境温度应不低于上一试验中的平均温度。

对于全膜型电容器,因为介电损耗较低,可以任选上述一项进行,但需要进行下述试验:

对试品单元施加不小于 $1.2U_N$ 的直流电压, U_N 是电容器运行时的最大直流电压。

C.3.1.3 短路放电试验

GB/T 11024.1—2001 中的第 17 章适用。

电容器的直流充电电压为 U_{SWL}/S , 其中, U_{SWL} 为端子间操作冲击耐受水平, S 为电容器单元串联数。在试验后的 5 min 内,应对电容器单元进行一次端子间电压试验(见附录 C.3.1.2)。

在放电试验前和电压试验后均应测量电容,变化不能超过 2%。

C.3.1.4 端子与外壳之间的雷电冲击电压试验

GB/T 11024.1—2001 中的第 16 章适用。

试验电压由电容器组的雷电冲击耐受水平计算得到。试验方法按照 GB/T 11024.1—2001 中的 18.2.2 进行。

C.3.2 转换电容器例行试验

例行试验应由制造厂在交货前对每一台电容器进行。

用于有源型直流转换开关辅助回路中的转换电容器会经受一个持续运行电压,而无源型直流转换开关中的转换电容器则无持续运行电压。电容器单元等效交流额定电压(U_R)可由式 C.1 计算得到:

$$U_R = \frac{U_{LWL}}{4.3 \times S} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

U_{LWL} —— 直流转换开关断口间雷电冲击耐受水平;

S —— 串联单元数。

C.3.2.1 电容测量

GB/T 11024.1—2001 中的第 7 章适用。

C.3.2.2 端子间电压试验

GB/T 11024.1—2001 中的 9.2 适用。

每一电容器端子间均应承受直流电压试验,试验电压为 $U_t = 4.3U_R$,持续时间为 10 s。在试验期间,应既不发生击穿也不发生闪络。

注:如果电容器在出厂后再次进行试验,则第二次试验推荐采用 75% U_t 的电压。有内部元件熔丝的电容器单元,有一根或多根元件熔丝动作,尽管电容仍在允许偏差内,也仅在购买方和制造厂达成协议后方可出厂。

C.3.2.3 端子与外壳间交流电压试验

GB/T 11024.1—2001 中的第 10 章适用。

所有端子均与外壳绝缘的电容器单元,试验电压应施加在连接在一起的端子与外壳之间,历时 10 s。

每个电容器单元的工频耐受电压应根据额定雷电冲击耐受电压从表 C.1 中选取。应选取最接近并且高于额定雷电冲击耐受电压的额定雷电冲击耐受电压所对应的额定短时工频耐受电压作为试验电压。

每个电容器单元的额定雷电冲击耐受电压见式(C.2):

$$U_{Li} = U_{LWL} \times \frac{n}{S} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

U_{Li} —— 每个电容器单元的额定雷电冲击耐受电压;

U_{LWL} —— 电容器组额定雷电冲击耐受电压;

S —— 电容器组中串联单元数;

n —— 相对于外壳连接电位的串联单元数。

有一个端子固定连接到外壳上的电容器单元,不作此项试验。

试验期间应既不发生击穿也不发生闪络。

表 C.1 绝缘水平

额定雷电冲击耐受电压 (峰值)/kV	额定短时工频耐受电压 (干试与湿试)、(方均根值)/kV
40	18/25
60	23/30
75	30/42
105	40/55
125	50/65
185	80/95
注：斜线下的数据为外绝缘的干耐受电压。	

C.3.2.4 短路试验

电容器单元应承受一次直流电压放电，电压值等于 $1.7U_R$ 。
试验时应将电容器单元两端直接短接。本试验应和端子间电压试验一起进行。
在试验前后均应测量电容，变化不能超过 2%。

C.3.2.5 内部放电器件试验

GB/T 11024.1—2001 中的第 11 章适用。

C.3.2.6 密封性试验

GB/T 11024.1—2001 中的第 12 章适用。

C.4 避雷器

C.4.1 避雷器型式试验

避雷器试验应在 3 个避雷器比例单元试品上进行。进行残压试验的比例单元应由一个暴露在空气中的单个避雷器电阻片构成。
因为用于直流转换开关的避雷器没有持续运行电压，所以进行能量释放试验的比例单元可以是由至少两个暴露在空气中的电阻片串联构成单柱试品。

C.4.1.1 残压试验

应对每 1 个试品施加 1 次波前时间不小于 $250\ \mu\text{s}$ 的电流冲击，以此来确定在最大规定电流下的残压。试验电流等于规定电流除以实际并联柱数，备用并联柱除外。
应测量每 1 个试品在 $(8/20)\ \mu\text{s}$ 电流下的残压，试验电流在 $0.5\ \text{kA}\sim 10\ \text{kA}$ 范围内选取适当的电流值。
使用这些测量结果，通过下述方法计算得到整只避雷器的特性：
整只避雷器的放电电流等于测量得的电流乘以避雷器的并联柱数。
整只避雷器在 $250\ \mu\text{s}$ 电流下的额定残压见式(C.3)：

$$U_{250}=U_{8r}\times U_{250}/U_{8m}\dots\dots\dots(\text{C.3})$$

式中:

U_{8r} ——例行试验中在此电流幅值下测得的整只避雷器的额定残压;

U_{250} ——在 $250\ \mu\text{s}$ 电流下测得的比例单元试品的残压;

U_{8m} ——例行试验中在此电流幅值下测得的比例单元试品的残压。

整只避雷器的残压应在规定的范围内。

C.4.1.2 能量释放试验

本试验目的是验证避雷器的能量释放能力。

在能量释放试验之前,应完成雷电冲击电流 $(8/20)\ \mu\text{s}$ 残压试验。

本试验按照等效输电线路放电试验进行。在验证整只避雷器的能量耐受能力的时候,试品注入能量应以设计最大偏差电流与避雷器比例单元实测电流值之比进行增大。

放电时间应尽可能长,但不能超过设备规范中规定的转换时间。如果在要求的电流下一次电流冲击不足以释放总能量,则试验应选用更大的电流以满足这一要求。

对于 MRTB 和 ERTB 中配用的避雷器,能量释放试验应以 3 次冲击为一组进行。每组中各次能量冲击间隔时间不能超过 60 s,每组之间时间间隔应足够长以使试品冷却到环境温度。试验应进行 200 次。为了缩短试验时间,允许采用试验能量增大 20% 而试验次数减少一半的试验方式。

对于 NBS 和 NBGS 中配用的避雷器,应对比例单元施加 7 次能量冲击,每次施加的能量等于设备规范中规定的值。7 次冲击应单独进行,允许试品温度在两次冲击之间冷却到室温。

所有试品完成能量释放试验之后需要再进行雷电冲击残压试验。能量释放试验后所测残压与能量释放试验前所测残压水平的变化不能超过 $\pm 5\%$ 。

C.4.2 避雷器例行试验

C.4.2.1 能量耐受试验

本试验的目的是确保在组装避雷器时不使用能量不合格的电阻片。

本试验要求所有电阻片都要进行 3 个序列的大电流冲击,在各序列之间允许冷却到室温。每个序列由 3~4 个连续方波脉冲组成,每个方波宽度为 $2\ \text{ms}\sim 6\ \text{ms}$ 。

在前两个序列中,以给电阻片注入 1.65 倍额定能量来选电流。在最后一个序列中降低电流,使注入电阻片的能量为 1.25 倍额定能量。

电阻片通过试验的判据是在试验中电流幅值不增加。能量性能不足的电阻片应被拒绝。

也可以提出不同于上述方式的其他合理的试验程序来证明在生产中没有使用能量性能不合格的电阻片。

C.4.2.2 避雷器伏安特性试验

在例行试验中,应通过测量每个电阻片在 $(8/20)\ \mu\text{s}$ 冲击电流下的残压验证电阻片的残压特性,电流大小在 $0.5\ \text{kA}\sim 10\ \text{kA}$ 范围内选取。供货商应提供 $8/20\ \mu\text{s}$ 冲击电流下的特性图表和某个波前时间为 $250\ \mu\text{s}$ 冲击电流下的放电特性。

在伏安特性试验中采用 $8/20\ \mu\text{s}$ 冲击电流波形。对于在避雷器上使用的每一个电阻片,都要测量其残压,电流在 $0.5\ \text{kA}\sim 10\ \text{kA}$ 范围内选取。

测得的避雷器每一柱中各电阻片的残压之和就是整个避雷器的残压。

整只避雷器的残压应在规定范围内。

C.4.2.3 电阻片单元试验

C.4.2.3.1 均流试验

所有均流试验中每一柱的试验电流应在 100 A~1 000 A 范围内。

对于多柱式避雷器,在例行试验中,均流偏差 β 应在工程规定的误差范围内。

并联柱同步试验应在电阻片单元上进行,电阻片单元由适当数量的电阻片串联和实际数量的电阻片并联组成。对于采用避雷器匹配单元设计的避雷器,此试验应分别在各单元上进行。

对于没有进行单元匹配,并且其并联柱数太多不能同时进行试验的避雷器,可以进行组匹配试验。

C.4.2.3.2 并联柱同步试验

每个电阻片单元都应进行柱间均流试验,试验时同时测量通过各柱的电流,电流偏差应在工程规定范围内。

C.4.2.3.3 组匹配试验

一个组里的各柱同时进行均流试验。这一组中电流最大的柱和最小的柱分别和下一组一起进行试验,每次试验应至少有 4 个柱并联。工程规定的均流标准适用于所有进行试验的组。

C.4.2.4 避雷器单元的试验

避雷器单元定义为一个组装好的避雷器部件。

C.4.2.4.1 参考电压试验

对于每个避雷器单元都应进行交流参考电压试验,参考电流由供货商选定。供货商应在试验前确定最小参考电压。

C.4.2.4.2 内部局部放电试验

此试验的目的是证明每个避雷器单元在试验电压下的内部局部放电水平小于 20 pC,试验电压在 0.75 倍~0.85 倍最小参考电压范围内选取。测量方法依照 GB/T 7354 进行。如果需要可以提供外部光晕屏蔽,这样可以使内部放电不会被外部放电掩盖。

C.4.2.4.3 并联避雷器单元之间的均流试验

本试验仅适用于并联数为两柱及两柱以上,并且没有按照 C.4.2.3.1 所述进行同步均流试验的避雷器。

对所有避雷器单元都要测量其在最大电流下的残压水平。残压最大的避雷器单元和残压最小的避雷器单元要进行均流试验。均流试验中,在 100 A~1 000 A 范围内,残压最大的避雷器单元和残压最小的避雷器单元中电流的比值不能超过最大允许系数。

注:相同避雷器中的各柱应满足附录 C.4.2.3.1 要求。

C.5 电抗器

C.5.1 电抗器型式试验

C.5.1.1 雷电冲击电压试验

电抗器须进行雷电冲击电压试验,GB 10229—1988 中的 19.10.1 适用。

C.5.2 电抗器例行试验

C.5.2.1 绕组电阻测量

GB 1094.1—1996 中的 10.2 适用。

C.5.2.2 电感值测量

GB 10229—1988 中的 28.1.2 适用。

C.6 充电装置

C.6.1 充电装置型式试验

本试验只适用于带有充电装置的有源型直流转换开关。充电装置的型式试验中至少应包括以下几项试验。

C.6.1.1 端子对地雷电冲击电压试验

端子对地雷电冲击电压试验应采用 $(1.2/50)\mu\text{s}$ 波形。试验包括正负极性各三次全电压冲击和一次降低电压(50%)冲击,降低电压冲击波形用作参考。如果全电压下所记录的电压和电流瞬变波形图与降低电压下所记录相应的瞬变波形图无明显差异时,则此试验合格。

C.6.1.2 端子对地极性反转直流耐压试验(干试)和局放测量

进行试验前,先通过绝缘变压器将直流侧电压加到充电装置最大输出电压。试验时,正极性电压接负极端子,负极性电压接正极端子。这样做的结果是:未接线端子上的电压等于试验电压加上端子间的电压。

先给试品分压单元施加一个负极性的直流电压,持续 60 min。然后,极性转换为正极性再持续 60 min。然后,极性再转换为负极性持续 30 min。在整个试验中,局部放电的测量应依照 GB/T 7354—2003 中的第 11 章相关要求。判断试验成功与否的标准是:

最后一次极性转换完成后最后的 29 min 内,观测到的大于 1 000 pC 的局部放电脉冲不能超过 29 个;在最后 10 min 内,大于 500 pC 的局部放电脉冲不能超过 10 个。

在极性转换时出线放电现象是正常的,在完成最后一次极性转换后,在最初的 1 min 内观测到的局部放电次数应忽略不计。

C.6.1.3 端子间直流耐压试验(干试)和局放测量,60 min

判断试验成功与否的标准是:

在最后的 29 min 内,观测到的大于 1 000 pC 的局部放电脉冲不能超过 29 个;在最后 10 min 内,大于 500 pC 的局部放电脉冲不能超过 10 个。

C.6.2 充电装置例行试验

充电装置的例行试验中至少应包括以下几项试验。在整个试验过程中,应接上充电装置的低压部分并投入运行。

C.6.2.1 功能试验

充电装置在进行完高压试验之后应进行功能试验。输出数值应在规定的范围内。监控系统也应进

行试验。

C.6.2.2 端子间操作冲击试验

本试验在进行时应使用陡波前($<250\ \mu\text{s}$)和长波尾(大于 $50\ \text{ms}$)的波形。试验包括正负极性各三次全电压冲击和一次降低电压(50%)冲击,降低电压冲击波形用以参考。如果全电压下所记录的电压和电流瞬变波形图与降低电压下所记录相应的瞬变波形图无明显差异时,则此试验合格。

C.6.2.3 端子对地直流耐压试验,干试

本试验不适用于进行过型式试验的装置。

充电装置应进行 2 min 直流耐压试验,负极性。

试验时通过绝缘变压器将直流侧电压加到充电装置的最高输出电压 U_m ,试验电压施加在正极端子上。

C.6.2.4 端子间直流耐压试验,干试

本试验不适用于进行过型式试验的装置。

充电装置应在要求电压下进行 2 min 直流耐压试验,正常极性。

C.6.2.5 端子间交流耐压试验(干试)和局放测量

在充电装置的直流高压端子间施加工频耐受试验电压。试验电压从零开始上升,升压速度应尽可能的快。升到规定的端子间交流耐受电压后维持大约 1 s,然后降到零。之后对充电装置进行局部放电试验。在端子间交流耐压试验之后,通过降低电压来达到端子间局部放电交流测量电压,维持 1 min。在这个试验电压下测量局部放电水平。放电限制水平为 10 pC,测量结果应排除固有的、操作和外部噪音造成的影响。

C.6.2.6 端子对地交流耐压试验(干试)和局放测量

在充电装置端子和地之间施加工频耐受试验电压。试验时将高压直流电源输出电压增加到其额定值充电装置的额定输出电压,正负极输出端子之间接一个大约 $5\ \text{M}\Omega$ 的负荷。

试验电压从零开始尽快上升到端子对地交流耐受电压,维持约 1 s,然后降到零。之后对充电装置进行局部放电试验。在端子对地交流耐压试验之后,通过降低电压来达到端子对地局部放电交流测量电压,维持 1 min。在这个试验电压下测量局部放电水平。放电限制水平为 10 pC,测量结果应排除固有的、操作和外部噪音造成的影响。