



中华人民共和国国家标准

GB/T 20990.1—2020
代替 GB/T 20990.1—2007, GB/T 28563—2012

高压直流输电晶闸管阀 第 1 部分: 电气试验

Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission—
Part 1: Electrical testing

(IEC 60700-1:2015, MOD)

2020-12-14 发布

2021-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 绝缘配合术语 1

 3.2 阀结构术语 2

 3.3 型式试验术语 2

 3.4 产品试验术语 3

4 一般要求 3

 4.1 型式试验导则 3

 4.2 大气修正 4

 4.3 冗余的处理 4

 4.4 型式试验成功的判据 4

5 型式试验列表 5

6 阀支架绝缘试验 7

 6.1 试验目的 7

 6.2 试品 7

 6.3 试验要求 7

7 多重阀单元(MVU)绝缘试验 8

 7.1 试验目的 8

 7.2 试品 8

 7.3 试验要求 9

8 阀端子间绝缘试验 11

 8.1 试验目的 11

 8.2 试品 11

 8.3 试验要求 11

 8.4 阀非周期触发试验 15

9 周期性触发和关断试验 16

 9.1 试验目的 16

 9.2 试品 16

 9.3 试验要求 16

10 恢复期暂态正向电压试验 20

 10.1 试验目的 20

10.2	试品	20
10.3	试验要求	20
11	阀故障电流试验	21
11.1	试验目的	21
11.2	试品	21
11.3	试验要求	22
12	阀抗电磁干扰试验	23
12.1	试验目的	23
12.2	试品	24
12.3	试验要求	24
13	特殊功能试验及故障容许试验	24
13.1	试验目的	24
13.2	试品	25
13.3	试验要求	25
14	产品试验	25
14.1	概述	25
14.2	试验目的	25
14.3	试品	26
14.4	试验要求	26
14.5	例行试验——最低要求	26
15	确定损耗的方法	27
16	型式试验结果描述	27
附录 A (规范性附录)	试验安全系数	28
附录 B (规范性附录)	局部放电测量	32

前 言

GB/T 20990《高压直流输电晶闸管阀》拟发布如下部分：

- 第1部分：电气试验；
- 第2部分：术语；
- 第3部分：基本额定值(限值)和特性。

本部分为 GB/T 20990 的第1部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 20990.1—2007《高压直流输电晶闸管阀 第1部分：电气试验》和 GB/T 28563—2012《±800 kV 特高压直流输电用晶闸管阀电气试验》。

本部分与 GB/T 20990.1—2007 相比，主要技术变化如下：

- 修改了规范性引用文件(见第2章,2007年版的第2章)；
- 删除了术语“内绝缘与外绝缘”“阀支架”“阀结构”和“冗余晶闸管级”(见2007年版的第3章)；
- 将“电介质试验”修改为“绝缘试验”(见3.3.1、4.3.1、第6章、第7章、第8章,2007年版的3.3.1、4.3.1、第6章、第7章、第8章)；
- 将“试验对象”修改为“试品”(见4.1.2、6.2、8.2、8.4.2、9.2、10.2、11.2、12.2、13.2、14.3,2007年版的4.1.2、6.2、8.2、8.4.2、9.2、10.2、11.2、12.2、13.2、14.2)；
- 修改了“大气修正”中列项“气压”的内容(见4.2,2007年版的4.2)；
- 将2007年版的4.4、9.3.1、9.3.3、12.3、第14章中的悬置段分别改为4.4.1、9.3.2.1、9.3.4.1、12.3.1、14.1“概述”，其后面的条的编号顺延(见4.4、9.3.2、9.3.4、12.3、第14章,2007年版的4.4、9.3.1、9.3.3、12.3、第14章)；
- 修改了型式试验期间允许的故障晶闸管级数量(见表1,2007年版的表1)；
- 修改了型式试验项目表(见表2,2007年版的表2)；
- 删除了“阀支架交流电流试验”中的“试验之前，应将阀支架短路接地至少2 h”要求(见2007年版的6.3.2)；
- 增加了“阀支架的陡波前冲击试验”一条(见6.3.6)；
- 修改了多重阀单元交流电压试验要求(见7.3.2,2007年版的7.3.2)；
- 增加了“多重阀(MVU)的陡波前冲击试验”(见7.3.5)；
- 增加了“阀的湿态直流电压试验”一条(见8.3.2)；
- 修改了阀交流电压试验要求(见8.3.3,2007年版的8.3.2)；
- 将“ V_{DSM} ——额定的晶闸管正向浪涌电压非重复峰值”修改为“ V_{DSM} ——额定的晶闸管断态不重复峰值电压”(见8.3.4,2007年版的8.3.3)；
- 增加了“阀的湿态操作冲击试验”(见8.3.6)；
- 修改了“阀陡波前冲击试验”中，耐受电压的表达式(见8.3.8,2007年版的8.3.6)；
- 将“ U_{v0max} ——变压器阀侧最高稳态空载相间电压”修改为“ U_{v0max} ——变压器阀侧最高稳态空载线电压”(见9.3.2.1,2007年版的9.3.1)；
- 将“最大持续触发电压试验”“最大持续恢复电压试验”“热运行试验”相关表达式中的“ α_{max} ”“ μ_{max} ”“ γ_{max} ”分别修改为“ α ”“ μ ”“ γ ”(见9.3.2.2~9.3.2.4,2007年版的9.3.1.1~9.3.1.3)；
- 修改了“最大恢复电压试验”中，恢复阶跃电压的表达式(见9.3.2.3,2007年版的9.3.1.2)；

- 修改了“最小关断角试验”中,恢复阶跃电压的表达式(见 9.3.4.3,2007 年版的 9.3.3.2);
- 将“ U_{v0max} ——变压器阀侧的稳态最高空载相间电压”修改为“ U_{v0max} ——变压器阀侧的最高稳态空载线电压”,将“延迟角”修改为“触发角”(见 9.3.3,2007 年版的 9.3.2);
- 将“最小交流电压试验”电压表达式中的“ n_t ”“ n_v ”分别修改为“ N_{tut} ”“ N_t ”,“ U_{v0min} ——变压器阀侧的稳态最低空载相间电压”修改为“ U_{v0min} ——变压器阀侧稳态最低空载线电压”(见 9.3.4.1,2007 年版的 9.3.3);
- 将“最小触发角试验”相关表达式中的“ α_{min} ”修改为“ α ”(见 9.3.4.2,2007 年版的 9.3.3.1);
- 修改了最小关断角试验要求(见 9.3.4.3,2007 年版的 9.3.3.2);
- 修改了暂态欠电压试验要求(见 9.3.5,2007 年版的 9.3.4);
- 修改了断续直流电流试验要求(见 9.3.6,2007 年版的 9.3.5);
- 增加了“保护性触发连续运行试验”(见 9.3.7);
- 增加了“阀损耗验证”(见 9.3.8);
- 修改了恢复期暂态正向电压试验的试验目的(见 10.1,2007 年版的 10.1);
- 修改了恢复期暂态正向电压试验要求(见 10.3,2007 年版的 10.3);
- 修改了阀故障电流试验的试验目的(见 11.1,2007 年版的 11.1);
- 修改了再加正向电压的单波故障电流试验要求(见 11.3.2,2007 年版的 11.3.1);
- 修改了阀抗电磁干扰试验的试验目的(见 12.1,2007 年版的 12.1);
- 修改了特殊功能试验及故障容许试验的试验目的(见 13.1,2007 年版的 13.1);
- 修改了运行试验安全系数的值(见 A.3,2007 年版的 A.5);
- 修改了局部放电测量要求(见 B.1,2007 年版的 B.1);
- 删除了附录 C(见 2007 年版的附录 C)。

本部分与 GB/T 28563—2012 相比,主要技术变化如下:

- 删除了术语“内绝缘与外绝缘”“阀支架”“阀结构”“冗余晶闸管级”“晶闸管级”“阀组件”“多重阀单元”“高(压)端 12 脉波换流桥”和“低(压)端 12 脉波换流桥”(见 2012 年版第 3 章);
- 修改了“大气修正”中列项“气压”的内容(见 4.2,2012 年版的 4.2);
- 修改了型式试验中允许损坏的晶闸管级数量(见表 1,2012 年版的表 1);
- 修改了“多重阀单元(MVU)绝缘试验”中“试品”的规定(见 7.2,2012 年版的 7.2);
- 将“多重阀单元操作冲击试验”电压表达式中的“SIPLm”修改为“ U_{SIPLm} ”(见 7.3.3,2012 年版的 7.3.3);
- 将“多重阀单元雷电冲击试验”电压表达式中的“LIPLm”修改为“ U_{LIPLm} ”(见 7.3.4,2012 年版的 7.3.4);
- 修改了阀交流电压试验要求(见 8.3.3,2012 年版的 8.3.3);
- 将“ V_{DSM} ——额定的晶闸管正向浪涌电压非重复峰值”修改为“ V_{DSM} ——额定的晶闸管断态不重复峰值电压”(见 8.3.4,2012 年版的 8.3.4);
- 删除了“阀冲击试验”中的列项 f)(见 2012 年版的 8.3.4);
- 修改了“周期性触发和关断试验”中“试品”的规定(见 9.2,2012 年版的 9.2);
- 修改了周期性触发和关断试验的“总则”(见 9.3.1,2012 年版的 9.3.1);
- 将“延迟角”修改为“触发角”(见 9.3.2.2,2012 年版的 9.3.2.2);
- 修改了断续直流电流试验的要求(见 9.3.6,2012 年版的 9.3.6);
- 修改了恢复期暂态正向电压试验试验目的(见 10.1,2012 年版的 10.1);
- 修改了阀故障电流试验的目的(见 11.1,2012 年版的 11.1);

- 修改了“阀故障电流试验”的“一般要求”(见 11.3.1, 2012 版的 11.3.1);
- 在“阀电磁兼容试验”中“试验目的”的第 2 段末尾增加了“这是因为, 在换流站正常运行时, 这些试验所等效的工况可能会出现, 这些工况不会导致换流站跳闸。”(见 12.1);
- 修改了“产品试验”的“概述”(见 14.1, 2012 年版的 14.1);
- 将条标题“例行试验的目的”修改为“例行试验——最低要求”(见 14.5, 2012 年版的 14.5);
- 将“附录 A”修改为“附录 B”(见附录 B, 2012 年版的附录 A);
- 将“附录 B”修改为“附录 A”(见附录 A, 2012 年版的附录 B)。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 60700-1:2015《高压直流输电晶闸管阀 第 1 部分: 电气试验》。

本部分与 IEC 60700-1:2015 相比, 在结构上增加了 6.3.6、7.3.5、8.3.2、8.3.6、9.3.7、9.3.8, 并将原 8.3.2~8.3.4、8.3.5、8.3.6 分别调整为 8.3.3~8.3.5、8.3.7、8.3.8。

本部分与 IEC 60700-1:2015 的技术性差异(这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示)及其原因如下:

- 关于规范性引用文件本部分做了具有技术性差异的调整, 以适应我国的技术条件, 调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中, 具体调整如下:
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 311.1 代替了 IEC 60071-1;
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 7354 代替了 IEC 60270;
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 11032 代替了 IEC 60099-4;
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16927(所有部分)代替了 IEC 60060(所有部分);
 - 用修改采用国际标准的 GB/T 16927.1 代替了 IEC 60060-1;
 - 用等同采用国际标准的 GB/T 20989-2017 代替了 IEC 61803;
 - 用等同采用国际标准的 GB/T 27025 代替了 IEC 17025;
 - 增加引用了 GB/T 13498—2017;
 - 删除了术语“内绝缘与外绝缘”“阀支架”“阀结构”“冗余晶闸管级”“晶闸管级”“阀组件”和“多重阀单元”(见 IEC 60700-1:2015 的 3.1、3.2);
 - 删除了“型式试验术语”和“产品试验术语”中的“注”(见 IEC 60700-1:2015 的 3.3、3.4);
 - 删除了“型式试验成功判据”的“概述”中的部分内容(见 IEC 60700-1:2015 的 4.4.1);
 - 在表 2 中增加了脚注, 区分可选项(见表 2);
 - 将“最高试验电压的 50%”修改为“1 min 试验电压的 50%”(见 6.3.2、6.3.3、7.3.1 和 8.3.1, IEC 60700-1:2015 的 6.3.2、6.3.3、7.3.1 和 8.3.1);
 - 将“最高试验电压的 50%”修改为“15 s 试验电压的 50%”(见 8.3.3, IEC 60700-1:2015 的 8.3.2);
 - 将阀直流电压试验电压表达式“ $U_{tdv} = \pm U_{dn} \pm k_7$ ”更正为“ $U_{tdv} = \pm U_{dn} \times k_7$ ”(见 8.3.1, IEC 60700-1:2015 的 8.3.1);
 - 将“ V_{DSM} ——晶闸管非重复正向浪涌峰值电压额定值”更正为“ V_{DSM} ——晶闸管断态不重复峰值电压额定值”(见 8.3.4, IEC 60700-1:2015 的 8.3.4);
 - 增加了对冷却剂的要求:“冷却剂应反映实际运行工况。特别是流量和温度, 应设置成试验所考虑的最不利的值。”(见 9.2);
- 本部分做了下列编辑性修改:
- 将“断续直流电流试验”列项 b) 中的“见 9.3.4.1”更正为“见 9.3.4.2”(见 9.3.6, IEC 60700-1:2015 的 9.3.6)。

——纳入了 IEC 60700-1:2015/Cor1:2017 勘误的内容。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电力电子系统和设备标准化技术委员会(SAC/TC 60)归口。

本部分起草单位:中国电力科学研究院有限公司、西安高压电器研究院有限责任公司、西安西电电力系统有限公司、国网四川省电力公司电力科学研究院、全球能源互联网研究院有限公司、国网上海市电力公司电力科学研究院、西安电力电子技术研究所、南京南瑞继保电气有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、许继电气股份有限公司、国网经济技术研究院有限公司、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院。

本部分主要起草人:张晋华、周会高、蔚红旗、马为民、杨晓辉、马元社、刘隆晨、周建辉、孙健、高凯、李小鹏、董添华、唐金昆、胡治龙、梁家豪、傅闯、林志光、李强、孙梅、徐子萌、陈忠、王明新、姜彦涛、李凌飞、范彩云、冯宇、侯婷、常忠廷、黄永瑞、张腾、李媛、魏伟、王高勇。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 20990.1—2007;

——GB/T 28563—2012。

高压直流输电晶闸管阀

第 1 部分:电气试验

1 范围

GB/T 20990 的本部分规定了阀的型式试验和产品试验的项目、要求及判据。

本部分适用于高压直流输电使用的或作为背靠背系统一部分的电网换相换流器中的晶闸管阀,在阀两端直接连接有金属氧化物避雷器。本部分只限于电气型式试验和产品试验。

本部分规定的试验以空气绝缘阀为基础。其他类型的阀也可参照本部分的要求和验收标准。

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/T 311.1 绝缘配合 第 1 部分:定义、原则和规则(GB/T 311.1—2012,IEC 60071-1:2006,MOD)

GB/T 7354 高电压试验技术 局部放电测量(GB/T 7354—2018,IEC 60270:2000,MOD)

GB/T 11032 交流无间隙金属氧化物避雷器(GB/T 11032—2010,IEC 60099-4:2006,MOD)

GB/T 13498—2017 高压直流输电术语(IEC 60633:2015,MOD)

GB/T 16927(所有部分) 高电压试验技术(IEC 60060)

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分:一般定义及试验要求(GB/T 16927.1—2011,IEC 60060-1:2010,MOD)

GB/T 20989—2017 高压直流换流站损耗的确定(IEC 61803:2011,IDT)

GB/T 27025 检测和校准实验室能力的通用要求(GB/T 27025—2019,ISO/IEC 17025:2017,IDT)

3 术语和定义

GB/T 13498—2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 绝缘配合术语

3.1.1

试验耐受电压 test withstand voltage

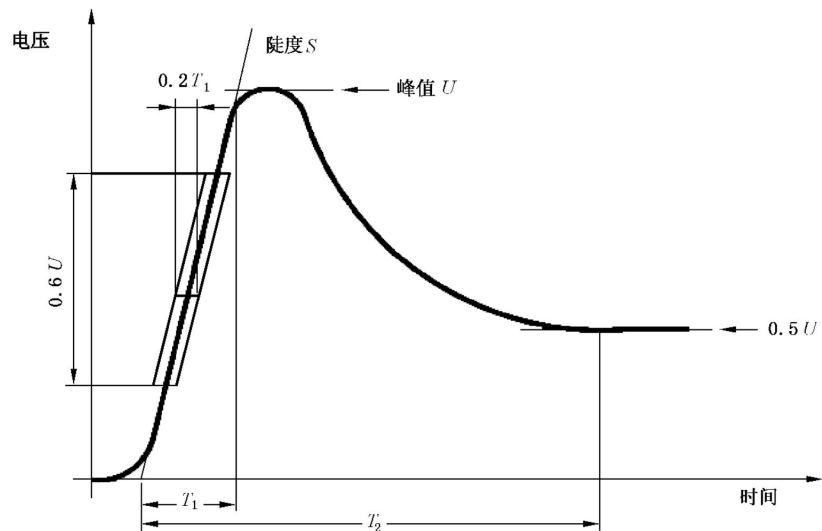
标准波形试验电压。一个未损坏的完整新阀在规定条件下,以规定的施加次数或规定的持续时间经受该试验电压时,不出现任何击穿放电,并符合特定试验要求的所有其他验收判据。

3.1.2

陡波前冲击 steep front impulse

达到峰值的时间比标准雷电冲击短,但不比 GB/T 311.1 中定义的极快波前电压短的快波前电压冲击。

注：对于本部分，试验用的陡波前冲击电压见图 1。



说明：

U ——规定的陡波前冲击试验电压的峰值，单位为千伏(kV)；

S ——规定的陡波前冲击试验电压的陡度，单位为千伏每微秒(kV/ μ s)；

T_1 ——视在波前时间 = U/S ，单位为微秒(μ s)。

应满足下列条件：

- a) 记录的试验电压的峰值为 $(1 \pm 3\%)U$ 。该允差与 GB/T 16927.1 中的标准雷电冲击相同。
- b) 在电压偏移不小于 $0.6U$ 的整个范围内，记录的试验电压上升部分完全处于与陡度 S 平行、时间位移为 $0.2T_1$ 的两条线之内。
- c) 在 T_2 时刻的试验电压值不低于 $0.5U$ 。 T_2 为起始点到电压降低至系统研究得到的波形峰值一半的时刻之间的时间间隔。然而，充分保证能检测出晶闸管的非正常的 du/dt 开通。

图 1 陡波前冲击试验电压

3.1.3

阀保护性触发 valve protective firing

在预定的电压下触发晶闸管，防止其过电压的保护方法。

3.2 阀结构术语

3.2.1

阀基电子设备 valve base electronics

处于地电位，作为换流器控制系统与晶闸管阀之间接口的电子单元。

注：改写 GB/T 13498—2017，定义 6.15。

3.3 型式试验术语

3.3.1

绝缘试验 dielectric test

检验阀的高电压特性而进行的试验。

3.3.2

运行试验 operational test

检验阀的导通、关断以及与电流有关的特性而进行的试验。

3.4 产品试验术语

3.4.1

例行试验 routine test

在所有的阀、阀段或阀部件上进行的产品试验。

3.4.2

抽样试验 sample test

从一批阀、阀段或阀部件中随机抽取少量产品进行的产品试验。

4 一般要求

4.1 型式试验导则

4.1.1 替代证明

阀的每一种设计都应通过本部分规定的型式试验。如果确实与以前试验过的阀类似,供方可提交以前的型式试验报告代替型式试验供买方考虑。这种情况应单独提供报告,详述设计的差异,并论述引用的型式试验如何满足本次设计的型式试验目的。

4.1.2 试品

试品应符合如下要求:

- a) 某些型式试验可在整个阀或阀段上进行(见表 2)。对于在阀段上进行的那些型式试验,受试的阀段总数应不少于一个完整阀中的阀段数量。
- b) 使用相同的阀段应进行所有型式试验,另有规定的除外。
- c) 在型式试验开始之前,阀、阀段和/或它们的部件已经通过了产品试验,以确保制造正确。

4.1.3 试验顺序

规定的型式试验可按任意顺序进行。

注:如果在绝缘试验程序结束时进行局部放电测量,可增加其可信度。

4.1.4 试验程序

试验应按照 GB/T 16927(所有部分)的规定进行。检测和校准实验室的能力应符合 GB/T 27025 的规定。

4.1.5 试验环境温度

试验应在试验设施的正常环境温度下进行,另有规定的除外。

4.1.6 试验频率

交流绝缘试验可在 50 Hz 或 60 Hz 下进行。运行试验对频率的特殊要求在相关条款中给出。

4.1.7 试验报告

型式试验完成后,供方应按照第 16 章提供型式试验报告。

4.2 大气修正

当相关条款规定时,应按照 GB/T 16927.1 对试验电压进行大气修正。进行修正的参考条件如下:

a) 气压:

- 如果晶闸管阀受试部分的绝缘配合采用 GB/T 311.1 给出的额定耐受电压的标准值,海拔超过 1 000 m 时应进行大气修正。因此,如果设备安装地点的海拔 $a_s \leq 1\,000\text{ m}$,使用标准大气压($b_0 = 101.3\text{ kPa}$),无需进行海拔修正。如果 $a_s > 1\,000\text{ m}$,应按 GB/T 16927.1 中的标准程序进行海拔修正,但参考大气压 b_0 替换为海拔 1 000 m 处的大气压 $b_{1\,000\text{ m}}$ 。
- 如果晶闸管阀受试部分的绝缘配合未采用 GB/T 311.1 给出的额定耐受电压的标准值,GB/T 16927.1 中的标准程序与参考大气压 b_0 ($b_0 = 101.3\text{ kPa}$)一起使用。

b) 温度:设计的阀厅空气最高温度($^{\circ}\text{C}$)。

c) 湿度:设计的阀厅最小绝对湿度(g/m^3)。

供方应规定所用的值。

4.3 冗余的处理

4.3.1 绝缘试验

对于阀端子间的所有绝缘试验,应短路冗余的晶闸管级,但阀非周期性触发试验(见 8.4)可能除外。晶闸管级短路的位置应由买方和供方协商确定。

注:可根据设计限制短路晶闸管级的分配。例如,一个阀段中短路的晶闸管级数量可能有上限。

4.3.2 运行试验

对于运行试验,不应短路冗余的晶闸管级。适用时,试验电压应使用式(1)确定的比例因子 k_n 调整:

$$k_n = \frac{N_{\text{tut}}}{N_t - N_r} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

N_{tut} ——试品中串联晶闸管级的数量;

N_t ——阀中串联晶闸管级的总数;

N_r ——阀中冗余的串联晶闸管级的总数。

4.4 型式试验成功的判据

4.4.1 概述

下面所列的型式试验成功的判据允许型式试验时有少量的晶闸管级故障,前提是这种故障极少,且没有表明任何典型的设计缺陷。

4.4.2 晶闸管级的适用判据

下列判据适用于晶闸管级:

- a) 如果在第 5 章列出的某项型式试验后,有一个以上晶闸管级(或者,超过一个完整阀中串联晶闸管级数量的 1%)短路,认为该阀未通过型式试验。
- b) 如果某项型式试验后,有一个晶闸管级(或更多,但仍不超过 1%)短路,应修复故障级,重复该项型式试验。

- c) 如果在所有型式试验期间,短路的晶闸管级数量累计超过一个完整阀中串联晶闸管级数量的3%,认为该阀未通过型式试验。
- d) 当进行阀段型式试验时,由于受试阀段的数量不少于整个阀段的阀段数量[见 4.1.2 a)],上述判据仍适用。
- e) 每项型式试验后,应检查阀或阀段,以判断是否有晶闸管级短路。某项型式试验期间或之后发现的故障晶闸管或辅助部件可在进一步试验前予以更换。
- f) 完成试验程序后,阀或阀段应经过一系列检查,至少包括:
 - 检查晶闸管级正向和反向电压耐受;
 - 检查触发电路(适用时);
 - 检查监测电路;
 - 施加高于及低于保护定值的暂态电压,检查晶闸管级的保护电路(适用时);
 - 检查均压电路。
- g) 检查期间发生短路的晶闸管级数应计入上面定义的验收判据。除短路的晶闸管级外,在型式试验和随后的检查中发现的,显示出故障但未导致晶闸管级短路的晶闸管级总数,不得超过一个完整阀中串联晶闸管级数量的3%。如果这样的晶闸管级总数超过3%,则应审查故障的性质及其成因,且买方与供方商定采取附加措施(如果有)。
- h) 当采用百分比判据确定允许的短路晶闸管级的最大数目和允许的出现故障但未导致晶闸管级短路的晶闸管级的最大数目时,通常的做法是将所有分数舍入到下一个最大整数,如表 1 所示。

表 1 型式试验期间允许的故障晶闸管级数量

一个完整阀中,晶闸管级数 与冗余的级数之差($N_i - N_r$)	任一项型式试验中,允 许的短路晶闸管级数	全部型式试验中,允许 的短路晶闸管级总数	全部型式试验中,出现故障但 未导致短路的晶闸管级追加数
33 及以下	1	1	1
34~67	1	2	2
68~100	1	3	3
101~133	2	4	4
其他			

全部型式试验结束时,短路的和出现其他故障的晶闸管级的分布基本上是随机的,不呈现任何可能表明设计不当的规律。

4.4.3 阀作为整体的适用判据

与阀中多于一个晶闸管级关联的公共电气设备不允许击穿或外部闪络,构成阀结构的绝缘材料以及冷却水管、光导或脉冲传输和分配系统其他绝缘件不允许有破坏性放电。

任何时候,部件和导体表面温度,相关的载流节点和联接件的温度,以及相邻安装表面温度均应保持在设计允许的范围內。

5 型式试验列表

表 2 列出了第 6 章~第 13 章给出的型式试验。

表 2 型式试验

试验项目	章条号	试品
阀支架直流电压试验	6.3.2	阀支架
阀支架交流电压试验	6.3.3	阀支架
阀支架操作冲击试验	6.3.4	阀支架
阀支架雷电冲击试验	6.3.5	阀支架
阀支架的陡波前冲击试验 *	6.3.6	阀支架
多重阀单元对地直流电压试验	7.3.1	多重阀单元
多重阀单元交流电压试验	7.3.2	多重阀单元
多重阀单元操作冲击试验	7.3.3	多重阀单元
多重阀单元雷电冲击试验	7.3.4	多重阀单元
多重阀(MVU)的陡波前冲击试验 *	7.3.5	多重阀单元
阀直流电压试验	8.3.1	阀
阀的湿态直流电压试验	8.3.2	阀
阀交流电压试验	8.3.3	阀
阀操作冲击试验	8.3.5	阀
阀的湿态操作冲击试验 *	8.3.6	阀
阀雷电冲击试验	8.3.7	阀
阀陡波前冲击试验	8.3.8	阀
阀非周期触发试验	8.4	阀
最大持续运行负载试验	9.3.2	阀或阀段
最大暂态运行负载试验($\alpha=90^\circ$)	9.3.3	阀或阀段
最小交流电压试验	9.3.4	阀或阀段
暂态欠电压试验	9.3.5	阀或阀段
断续直流电流试验	9.3.6	阀或阀段
保护性触发连续运行试验	9.3.7	阀或阀段
阀损耗验证	9.3.8	阀或阀段
恢复期暂态正向电压试验	10	阀或阀段
再加正向电压的单波故障电流试验	11.3.2	阀或阀段
无再加正向电压的多波故障电流试验	11.3.3	阀或阀段
阀抗电磁干扰试验	12	阀或阀段
特殊功能试验及故障容许试验	13	阀或阀段
* 可选		

6 阀支架绝缘试验

6.1 试验目的

这些试验的主要目的是：

- a) 检验阀支架、冷却水管、光纤的绝缘以及其他与阀支架相关的绝缘部件的耐受电压能力。如果存在阀支架外的对地绝缘,则需要附加的试验。
- b) 验证局部放电的起始和熄灭电压高于阀支架上出现的最高运行电压。

注：根据应用情况,经过买方和供方协商,可取消阀支架的某些试验。

6.2 试品

用于试验的阀支架可是一个有代表性的单独试品,包括阀邻近部分的代表,或者可构成用于单阀或
多重阀单元试验装置的部分。它应装配所有的辅助部件,并且恰当的表示相邻地电位表面。为了达到
试验目的,冷却剂应处于代表最严酷运行条件的状态。

6.3 试验要求

6.3.1 总则

下面给出的所有试验水平都要进行 4.2 中描述的大气修正。

6.3.2 阀支架直流电压试验

阀的两个主端子应短接在一起,然后将直流电压加在已短接的两个端子与地之间。起始电压不大
于 1 min 试验电压的 50%,电压应在大约 10 s 的时间上升至规定的 1 min 试验电压,保持 1 min 恒定,
然后降低至规定的 3 h 试验电压,保持 3 h 恒定,最后降电压至零。在规定的 3 h 试验的最后 1 h,局部
放电量超过 300 pC 的脉冲数应按附录 B 中的规定予以记录。

整个记录期间,平均每分钟 300 pC 以上的脉冲数不应超过 15 个。其中：

- 平均每分钟 500 pC 以上的脉冲数不应超过 7 个；
- 平均每分钟 1 000 pC 以上的脉冲数不应超过 3 个；
- 平均每分钟 2 000 pC 以上的脉冲数不应超过 1 个。

注 1：如果发现局部放电的幅值或出现的频次有上升的趋势,可由买方与供方共同协商延长试验时间。

试验应在相反极性的电压下重复进行。

注 2：在相反极性重复试验前,阀支架可短路并接地几个小时。在直流电压试验结束时进行同样的程序。

阀支架直流试验电压 U_{tds} 按照式(2)计算：

$$U_{tds} = \pm U_{dms} \times k_1 \times k_t \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- U_{dms} —— 出现在阀支架上的稳态运行电压直流分量的最大值；
- k_1 —— 试验安全系数:1 min 试验, $k_1=1.6$;3 h 试验, $k_1=1.3$;
- k_t —— 大气修正系数:1 min 试验, k_t 按照 4.2 中的规定取值;3 h 试验, $k_t=1.0$ 。

6.3.3 阀支架交流电压试验

进行试验时,阀的两个主端子应短接在一起,交流试验电压加在阀已短接在一起的两端与地之间。
起始电压不大于 1 min 试验电压的 50%,电压应以大约 10 s 上升至规定的 1 min 试验电压 U_{tas1} ,保持 |

1 min 恒定,然后降低至规定的 30 min 试验电压 $U_{\text{tas}2}$,保持 30 min 恒定,最后降电压至零。在规定的 30 min 试验期间的最后 1 min,应监测和记录局部放电的水平。如果局部放电水平不大于 200 pC,此设计可完全接受。如果大于 200 pC,则应对试验结果进行评估(见附录 B 的 B.4)。

阀支架交流试验电压 U_{tas} 的方均根值,按照式(3)计算:

$$U_{\text{tas}} = \frac{U_{\text{ms}}}{\sqrt{2}} \times k_2 \times k_t \times k_r \dots\dots\dots (3)$$

式中:

U_{ms} ——稳态运行期间,施加在阀支架的最大重复运行电压的峰值,包括换相过冲量;

k_2 ——试验的安全系数:1 min 试验, $k_2=1.3$;30 min 试验, $k_2=1.15$;

k_t ——大气修正系数:1 min 试验, k_t 按照 4.2 中的规定取值;30 min 试验, $k_t=1.0$;

k_r ——瞬时过电压系数:1 min 试验, k_r 由系统研究确定;30 min 试验, $k_r=1.0$ 。

6.3.4 阀支架操作冲击试验

在阀的两个主端子对公共地之间施加 3 次正极性和 3 次负极性操作冲击电压。

应采用符合 GB/T 16927.1 的标准操作冲击电压波形。

试验电压应按照高压直流(HVDC)换流站的绝缘配合选取。

6.3.5 阀支架雷电冲击试验

在阀的两个主端子对公共地之间施加 3 次正极性和 3 次负极性雷电冲击电压。

应采用符合 GB/T 16927.1 的标准雷电冲击电压波形。

试验电压应按照高压直流(HVDC)换流站的绝缘配合选取。

6.3.6 阀支架的陡波前冲击试验

在阀的两个主端子对公共地之间施加 3 次正极性和 3 次负极性陡波前冲击电压。

应采用符合 3.1.2 所定义的陡波前冲击电压波形。

试验电压应按照高压直流(HVDC)换流站的绝缘配合选取。

注:如果采用了未经实际运行经验验证的新型绝缘材料,或如果用户认为有必要通过陡波前冲击试验验证阀支架性能,则应考虑增加陡波前冲击试验。

7 多重阀单元(MVU)绝缘试验

7.1 试验目的

这些试验的主要目的是:

- a) 检验多重阀单元外绝缘性能,考虑它的环境,尤其是在极电位上连接的阀;
- b) 验证多重阀单元结构中各个单阀之间的耐受电压能力;
- c) 验证局部放电水平在规定的限值内。

注:根据实际应用情况,如果供方与买方达成一致,可取消部分多重阀单元试验项目。

7.2 试品

阀和多重阀单元有多种可能的设计结构。目前试验应考虑的是,选取试品应尽可能准确地反映阀运行的布置和试验所考核的要求。试品应是完整配备的,除非能够证明一些部件可模拟或忽略,而不会

对试验结果造成实质的影响。

基于多重阀单元结构和试验目的,某些单个的阀可能需要被短路。例如,对于最普通的四个同样的、垂直堆放的阀(四重阀)结构,应将位于导致最严苛工况位置的那个阀短路。

当多重阀单元的低压端未接到直流中性电位时,就要注意在试验中恰当端接多重阀单元低压端来正确地模拟此端子上出现的电压。应使用地电位面,其间距由与其他阀和地电位表面的接近程度决定。

注:当多重阀单元的低压端未接到直流中性电位时,接下来这种试验方法可作为替代;当多重阀单元内部的电压耐受能力已被其他试验项目多次验证(例如阀端子试验),且多重阀单元低压端有足够的对增长的电压应力的耐受能力。在这种情况下,多重阀单元绝缘试验可在其短路状态下进行。

试验电压应加在多重阀单元短路端与地之间。

7.3 试验要求

7.3.1 多重阀单元对地直流电压试验

直流试验电压应加在多重阀单元最高电位的直流端子与地之间。

起始电压不应大于 1 min 试验电压的 50%,电压应在大约 10 s 的时间上升至规定的 1 min 试验电压,保持 1 min 恒定,然后降低至规定的 3 h 试验电压,保持 3 h 恒定,最后降电压至零。

在规定的 3 h 试验的最后 1 h,局部放电量超过 300 pC 的脉冲数应按附录 B 中的规定予以记录。

整个记录期间,平均每分钟 300 pC 以上的脉冲数不应超过 15 个。其中:

- 平均每分钟 500 pC 以上的脉冲数不应超过 7 个;
- 平均每分钟 1 000 pC 以上的脉冲数不应超过 3 个;
- 平均每分钟 2 000 pC 以上的脉冲数不应超过 1 个。

注 1:若观察到局部放电的数量或频次有增加的趋势,可由买方与供方共同协商延长试验时间。

试验应在相反极性的电压下重复进行。

注 2:用相反极性重复试验前,MVU 可短路并接地几个小时。在直流电压试验结束时进行同样的程序。

多重阀单元的直流试验电压 U_{tdm} 按照式(4)计算:

$$U_{tdm} = \pm U_{dmm} \times k_3 \times k_t \dots\dots\dots (4)$$

式中:

U_{dmm} ——出现在多重阀单元高压端子对地间的稳态运行电压直流分量的最大值;

k_3 ——试验安全系数:1 min 试验, $k_3=1.6$;3 h 试验, $k_3=1.3$;

k_t ——大气修正系数:1 min 试验, k_t 按照 4.2 中的规定取值;3 h 试验, $k_t=1.0$ 。

7.3.2 多重阀单元交流电压试验

如果多重阀单元在任何两个端子之间承受了交流或交直流复合电压,但其承受能力未被其他试验充分证明,那么就有必要在多重阀单元的这些端子间进行交流电压试验。

进行这个试验,试验电压源应接于待考核的多重阀单元端子对上。根据试验电路布置安排接地点。起始电压不大于 1 min 试验电压的 50%,电压在约 10 s 左右升至规定的 1 min 试验电压,保持 1 min,然后降至 30 min 电压,保持 30 min 后降至零。

在规定的 30 min 试验期间的最后 1 min,应监视并记录局部放电的水平。若局部放电值低于 200 pC,此设计可完全接受。若局部放电值超过 200 pC,则需要评价试验结果(见 B.4)。

多重阀单元交流试验电压 U_{tam} 的方均根值按照式(5)计算:

$$U_{tam} = \frac{U_{mm}}{\sqrt{2}} \times k_4 \times k_r \times k_t \dots\dots\dots (5)$$

式中:

U_{mm} ——稳态运行期间,多重阀单元端子之间出现的最大重复运行电压的电压峰值,包括换相过冲量;

k_4 ——试验安全系数:1 min 试验, $k_4=1.3$;30 min 试验, $k_4=1.15$;

k_r ——暂态过电压系数:1 min 试验值, k_r 由系统分析确定的;30 min 试验, $k_r=1.0$;

k_t ——大气修正系数:在 1 min 试验中, k_t 按照 4.2 中的规定取值;30 min 试验, $k_t=1.0$ 。

7.3.3 多重阀单元操作冲击试验

采用 GB/T 16927.1 中的标准操作冲击电压波形。

多重阀单元操作冲击试验电压应加于多重阀单元高压端子与地之间。

试验由 3 次施加正极性和 3 次施加负极性的规定幅值的操作冲击电压组成。

多重阀单元操作冲击试验电压 U_{tsm} 按照式(6)确定:

$$U_{tsm} = \pm U_{SIPLm} \times k_5 \times k_t \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

U_{SIPLm} ——考虑到多重阀单元高压端子与地之间避雷器时,由绝缘配合所决定的操作冲击保护水平;

k_5 ——试验安全系数, $k_5=1.15$;

k_t ——大气修正系数,按照 4.2 中的规定取值。

如果上述规定的试验中,在多重阀单元所有端子间未能充分地进行操作冲击耐受电压试验,那么就要考虑进行额外试验检查其绝缘性能。

注:在买方同供方协商一致的情况下,可不进行多重阀单元操作冲击试验,如果用其他方法可表明:

- a) 到其他阀及到地的外部空气间距能充分满足要求的操作冲击耐受电压水平;
- b) 多重阀单元任意两端子间的操作冲击耐受能力由其他试验所证明。

7.3.4 多重阀单元雷电冲击试验

采用 GB/T 16927.1 中的标准雷电冲击电压波形。

多重阀单元雷电冲击试验电压应加于多重阀单元高压端与地之间。

试验由 3 次施加正极性和 3 次施加负极性的规定幅值的雷电冲击电压组成。

多重阀单元雷电冲击试验电压 U_{tlm} 由式(7)确定:

$$U_{tlm} = \pm U_{LIPLm} \times k_6 \times k_t \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

U_{LIPLm} ——考虑到多重阀单元高压端子与地之间避雷器时,由绝缘配合所决定的雷电冲击保护水平;

k_6 ——试验安全系数, $k_6=1.15$;

k_t ——大气修正系数, k_t 按照 4.2 中的规定取值。

如果不能证明上述规定的试验,充分地试验了在多重阀单元所有端子间的雷电冲击耐受电压,那么就要考虑额外进行试验检查其绝缘性能。

注 1:在买方同供方达成一致的情况下,可不进行多重阀单元雷电冲击试验,如果用其他方法可表明:

- a) 到其他阀及到地的外部空气间距能充分满足要求的雷电冲击耐受电压水平,并且
- b) 多重阀单元任意两端子间的雷电冲击耐受电压由其他试验所充分证明。

注 2:在某些情况下,考虑进行独立的陡波前冲击电压试验补充阀的陡波前冲击电压试验(见 8.3.8)。

7.3.5 多重阀(MVU)的陡波前冲击试验

本试验包括在多重阀单元(MVU)的高压端和地之间施加 3 次正极性和 3 次负极性陡波前冲击电压。

应采用符合 3.1.2 定义的陡波前冲击电压波形。

试验电压的选择应符合换流站绝缘配合的研究结果,电压峰值应达到多重阀单元(MVU)的陡波前冲击耐受水平。

注:如果用户认为有必要通过陡波前冲击试验验证多重阀性能,可与供方协商增加该项试验。

8 阀端子间绝缘试验

8.1 试验目的

这些试验用来验证阀设计的各种类型过电压(直流、交流、操作冲击、雷电冲击及陡波前冲击过电压)相关的电压特性。这些试验应证明:

- a) 阀能够承受规定的过电压;
- b) 每一个内部过电压保护回路都是有效的;
- c) 在规定的试验条件下,局部放电处于规定的限值之内;
- d) 内部的直流均压电路有足够的额定功率;
- e) 阀电子单元不受干扰影响且功能正确;
- f) 阀能够在规定的过电压条件下触发而避免损坏。

需要注意,本条款所描述的试验,是基于为试验高压交流系统和部件开发的标准波形和标准试验方法。这个途径为工业化提供了有利条件,因为它可将很多现有的高压试验技术移植到高压直流(HVDC)阀的质量控制。另一方面,应承认特殊的高压直流应用,可导致波形不同于标准的波形,在这种情况下,有必要改进试验,以实际地反映预期的条件。

8.2 试品

试品应是全部辅助部件一起组装的整个阀,阀避雷器除外。阀可构成多重阀单元的一部分。对于所有的冲击试验,除非另有规定,阀的电子单元都应加电。对于交流和直流电压试验,阀电子单元不需要加电。

冷却剂除了可减少流量外,应处于能反映工作状况的条件下。如果结构外的任何试品对于试验期间正确地表现作用是必要的,那么在试验中就要包括或模拟该试品。应采用接地电位面,其间距应由与其他临近阀和地电位面的接近程度决定。

用于阀绝缘试验的试品,其试验电压通常不允许使用大气修正系数,以免在晶闸管或其他内部部件上造成电过应力。由于这个原因,任何阀端子之间的绝缘试验都未引入大气修正系数。供方要充分论证大气条件对阀内部耐受电压的影响是完全允许的。具体问题具体分析,以验证具有该能力。

8.3 试验要求

8.3.1 阀直流电压试验

直流试验电压源应接在阀的一个主端子与地之间,而阀的其他主端子接地。

起始电压不大于 1 min 试验电压的 50%,电压应在大约 10 s 的时间上升至规定的 1 min 试验电压,保持 1 min 恒定,然后降低至规定的 3 h 试验电压,保持 3 h 恒定,最后降电压至零。在规定的 3 h

试验的最后 1 h,局部放电量超过 300 pC 的脉冲数应按附录 B 中的规定予以记录。

整个记录期间,平均每分钟 300 pC 以上的脉冲数不应超过 15 个。其中:

- 平均每分钟 500 pC 以上的脉冲数不应超过 7 个;
- 平均每分钟 1 000 pC 以上的脉冲数不应超过 3 个;
- 平均每分钟 2 000 pC 以上的脉冲数不应超过 1 个。

注 1: 若观察到局部放电的幅值或出现频次有增加的趋势,可由买方与供方共同协商延长试验时间。

试验应在相反极性的电压下重复进行。

注 2: 在相反极性重复上述试验之前,阀端子可短接并接地几个小时。在直流电压试验结束时进行同样的程序。

阀直流试验电压 U_{tdv} 按照式(8)计算:

$$U_{tdv} = \pm U_{dn} \times k_7 \dots\dots\dots (8)$$

式中:

U_{dn} ——六脉动桥额定电压;

k_7 ——试验安全系数:1 min 试验, $k_7=1.6$;3h 试验, $k_7=0.8$ 。

8.3.2 阀的湿态直流电压试验

应模拟在阀结构顶部的一个组件发生冷却水泄漏的情况下重复进行。

泄漏量至少应为 15 L/h,在施加直流试验电压时和在此之前至少 1 h 内泄漏量应保持恒定,液体的电导率应比引发电导率报警定值至少高 5%。

合闸电压不大于最高试验电压的 50%,电压上升到规定的试验电压(同 8.3.1 中的 1 min 试验电压值)保持恒定并维持 1 min,然后降低到规定的试验电压(同 8.3.1 中的 3 h 试验电压值),保持恒定并维持 5 min 后降到零。

然后,试验应在相反极性的电压下重复进行。每个极性电压试验结束后要将主端子短路并接地数小时。

8.3.3 阀交流电压试验

进行该试验时,试验电压应接在阀的两个端子上。接地点与试验电路布置有关。起始电压不大于 15 s 试验电压 50%,在大约 10 s 的时间里将电压升至规定的 15 s 试验电压,保持 15 s,降至规定的 30 min 试验电压,保持 30 min,然后降至零。在规定的 30 min 试验期间的最后 1 min 内,应监测并记录局部放电水平。局部放电值不应超过 200 pC(见附录 B)。

阀的 15 s 试验电压 U_{tav1} 按式(9)和式(10)计算:

$$U_{tav1r} = \sqrt{2} U_{v0max} \times k_r \times k_c \times k_8 \dots\dots\dots (9)$$

和

$$U_{tav1d} = \sqrt{2} U_{v0max} \times k_r \times k_8 \dots\dots\dots (10)$$

式中:

U_{tav1r} ——15 s 反向试验电压峰值;

U_{tav1d} ——15 s 正向试验电压峰值;

U_{v0max} ——变压器阀侧最大稳态空载相间电压;

k_r ——暂态过电压系数,由系统研究确定的值;

k_c ——反向换相过冲系数,用来计算甩负荷过电压峰值($\alpha=90^\circ$)的恢复,包括由晶闸管反向恢复电荷引起的增加。 k_c 应考虑并联阀避雷器的限制作用;

k_8 ——试验安全系数, $k_8=1.10$ 。

注：由于 U_{tav1r} 大于或等于 U_{tav1d} ，15 s 试验可用一个对称的交流试验电压方均根值等于 $U_{\text{tav1r}}/\sqrt{2}$ 或采用能满足两项要求的交直流叠加的组合试验电压完成。

30 min 试验电压 U_{tav2} 的方均根值应按照式(11)计算：

$$U_{\text{tav2}} = \frac{U_{\text{ppv}}}{2\sqrt{2}} \times k_9 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

U_{ppv} ——跨接在阀上的稳态运行电压峰对峰最大值，包括换相过冲；

k_9 ——试验安全系数， $k_9 = 1.15$ 。

当 U_{tav2} 超过阀运行电压最大方均根值 U_{vrms} 15% 以上，可采用以下试验步骤：

施加试验电压 U_{tav1} ，保持 15 s，然后将试验电压 U_{tav2} ，保持 10 min。10 min 试验过程的最后 1 min 局部放电水平不应超过 200 pC。

在 10 min 电压试验结束后，降低试验电压至 U_{tav3} 并保持 30 min，其中 U_{tav3} 按式(12)计算：

$$U_{\text{tav3}} = k_9 \times U_{\text{vrms}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

注： U_{vrms} ——最苛刻连续运行工况下阀电压最大方均根值。

8.3.4 阀冲击试验(综合)

阀冲击试验应符合以下要求：

a) 本部分允许考虑应用成本最低原则从两个阀冲击试验方案中选择一种。

在第一个方案中，对含有晶闸管的阀进行雷电和操作冲击试验的试验安全系数是 1.1，陡波前冲击试验是 1.15，当晶闸管被绝缘部件代替，分别加到 1.15 和 1.2。

在第二个方案中，对含有晶闸管的阀进行雷电和操作冲击试验的试验安全系数是 1.15，陡波前冲击试验是 1.2。

详细说明在附录 A 中给出。

b) 如果采用了阀保护性触发，施加的正向冲击试验电压仅是预期值。需要证明任何这样的保护触发回路动作是预期的。

c) 除非另有规定，阀的电子单元应带电。

d) 需要证实冲击起始时，阀两端的电压满足下列关系：

$$-0.01 \times V_{\text{DSM}} \times (N_t - N_r) \leq \text{阀电压} \leq +0.01 \times V_{\text{DSM}} \times (N_t - N_r)$$

式中：

V_{DSM} ——额定的晶闸管断态不重复峰值电压；

N_t ——阀中串联的晶闸管级的总数；

N_r ——阀中冗余的串联晶闸管级的总数。

e) 在冲击试验期间，监测阀在电磁干扰下行为是否正确(见第 12 章)。为了实现这一点，阀基电子单元的那些必需与试验的阀正确交换信息的部分一定要包括在内。

8.3.5 阀操作冲击试验

采用 GB/T 16927.1 中的标准操作冲击电压波形。

试验应由施加 3 次正极性和 3 次负极性规定幅值的操作冲击电压组成，阀电子单元初始加电。

正极性试验应在阀电子单元初始状态不加电下重复进行。

在正向试验期间运行，若阀带正向过电压保护，应施加 3 次附加的预定幅值正向操作冲击，不应导致阀触发。对于这些附加试验，阀电子单元应加电。

阀操作冲击试验耐受电压 U_{tsv} 按式(13)计算:

$$U_{tsv} = \pm U_{SIPLV} \times k_{10} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

U_{SIPLV} ——阀避雷器的操作冲击保护水平;

k_{10} ——试验安全系数[见 8.3.4a)]。

8.3.6 阀的湿态操作冲击试验

应模拟在阀结构顶部的一个组件发生冷却水泄漏的情况下,重复进行。

试验电压与试验次数同 8.3.5。

泄漏量至少应为 15 L/h,在施加操作冲击试验电压时和在此之前至少 1 h 内泄漏量应保持恒定,液体的电导率应比引发电导率报警定值至少高 5%。

8.3.7 阀雷电冲击试验

采用 GB/T 16927.1 中的标准的雷电冲击电压波形。

试验应由施加 3 次正极性和 3 次负极性规定幅值的雷电冲击电压组成。

若阀带正向过电压保护,在正向试验期间运行,应施加 3 次预定幅值和波前时间的附加正向冲击,不应导致阀触发。

阀雷电冲击试验耐受的电压 U_{tlv} 按式(14)计算:

$$U_{tlv} = \pm U_{LIPLV} \times k_{11} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

U_{LIPLV} ——阀避雷器的雷电冲击保护水平;

k_{11} ——试验安全系数[见 8.3.4a)]。

8.3.8 阀陡波前冲击试验

对于陡波前冲击试验,应采用 3.1.2 中图 1 规定的电压波形。由系统研究决定最严重情况下,阀陡波前冲击电压作用的实际陡度 S 和峰值。实际陡度要由研究结果按最大 du/dt 估算,其单位为 kV/ μs ,在全部电压偏移的 60% 范围内取平均值。

在获得试验电压的时候,由系统研究得到的实际陡度和幅值均应乘以相应的试验安全系数,也就是说,视在波前时间应保持不变。

注:如果运行中可能出现波前时间短于 0.1 μs 的过电压,买方和供方可以协商采用适当的特快波前过电压试验代替上述陡波前冲击试验。

试验由施加 3 次正极性和 3 次负极性规定幅值的陡波前冲击组成。

若阀带正向过电压或正向过 du/dt 触发保护,在正向试验期间运行,就要额外进行 3 次规定幅值和波前时间的正向冲击试验,而不应导致阀触发。

阀陡波前冲击试验耐受电压 U_{tsfv} 由式(15)计算:

$$U_{tsfv} = \pm U_{STIPLV} \times k_{12} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

U_{STIPLV} ——由系统研究的配合电流所确定的阀避雷器波前保护水平;

k_{12} ——试验安全系数[见 8.3.4a)]。

8.4 阀非周期触发试验

8.4.1 试验目的

阀非周期触发试验的首要目的是检查晶闸管和关联电路,在规定的高电压情况下投入时,有关的电流和电压强度是适当的。本试验通常可作为阀操作冲击试验的一部分进行(见 8.3.5)。

8.4.2 试品

试品同 8.2 的要求。对于避雷器方式 8.4.3 的 B,试验可用阀段代替完整的阀进行。在这种情况下,供方应说明阀段试验与完整阀试验间的等价性。

如果用 12.3.2 所述的方法 1,验证多重阀单元中抗相邻阀之间耦合的电磁干扰性能,那么除了试验的阀外,在这个试验中还应当包括的一个辅助阀(或其有效的部分)。这个辅助阀是验证有关抗耦合电磁干扰的试品。电磁干扰试验的试品应根据运行的布置安排其几何位置。电磁干扰试品在阀非周期触发的触发时刻应具有正向偏置。电磁干扰试品的电子设备应加电。试验应包括与电磁干扰试品正确进行信息交换所需要的阀基电子单元的那些部分。

注:电磁干扰试品使用规定的几何布置和正向电压的幅值应一致,并以多重阀单元的设计为基础。

8.4.3 试验要求

试验由施加 3 次正向操作冲击电压及阀在冲击峰值时触发导通组成。

冲击发生器阻抗的选取,不仅应再现回路杂散电容放电引起的导通电流,而且应再现由系统研究确定的避雷器的电流最大值交换引起的导通电流。

试验应在室温下进行。

两种可用的验收方法描述如下。

A 并联电容器法 此方法中,试验阀上要并联一个电容器,它所形成的放电电流,至少应同预计值前 $10\ \mu\text{s}$ 一样严重。如果系统研究表明导通电流是振荡的,并且晶闸管的电流有关断危险,加长时间就变得重要了。

B 避雷器法 此方法中,试验的阀端子间应接一个避雷器,从一个等于换相电感的电感后施加试验电压。阀端子之间应接一个电容,其值等于运行中预计的阀端对端杂散电容最大值。当避雷器通过的电流和其上的电压达到预先规定的水平,阀就应被触发导通。

触发时阀的电压为以下几个中最低的一个:

- a) 阀避雷器的操作冲击保护水平;
- b) 阀的保护触发水平;
- c) 阀的禁止触发水平(见注 3)。

若阀被低于阀避雷器操作冲击保护水平的保护触发导通,则试验要以有冗余的晶闸管级重新进行。如果阀仍旧被低于操作冲击保护水平的保护触发导通,就要将冲击水平降至略低于保护触发起始值和用一般触发电路触发该阀,再重复试验。

注 1:电压试验安全系数至少等于阀避雷器最大允许误差和最小允许误差之间的差(典型值约 5%)已经包括在本试验中。因此没有使用单独的试验安全系数。

注 2:由于冲击发生器实际尺寸的限制,方法 B 仅适用于低额定电压的阀。因此当系统研究表明需要 $10\ \mu\text{s}$ 以上时间精确显示导通电流,就要用方法 A 进行阀非周期触发试验,并用方法 B 在阀段上的另行试验作为补充。

注 3:在一些设计中,阀高电压下的触发会被接在阀端的电压测量装置或并联的阀避雷器中的电流测量装置抑制。在这种情况下,非周期触发试验的细节就要由买方和供方协商,考虑所用的抑制电路特性。

9 周期性触发和关断试验

9.1 试验目的

周期性触发和关断试验的主要目的是：

- a) 检查一个阀中晶闸管级和相关的电路,在最严重的重复作用条件下导通与关断时,对于电流、电压和温度的应力是否合适；
- b) 证明阀在最高温度下,用最低重复电压,符合最小触发角和关断角的正确特性。

9.2 试品

试验可在整个阀或阀段上进行。选择主要取决于阀的设计和试验所使用的设备。本部分规定的试验对于五个及以上串联晶闸管级的阀段有效。如果准备进行少于五个晶闸管级的试验,应确定附加试验安全系数。任何情况下都不允许试验所用的串联级数低于 3。

试验用的阀或阀段应与全部的辅助部件组装在一起。若有要求,还应包括一个适当比例的阀避雷器。此避雷器应与试验中串联级数成比例,以提供至少与实际应用的避雷器最大特性相一致的保护水平。

冷却剂应反映实际运行工况。特别是流量和温度,应设置成试验所考虑的最不利的值。

9.3 试验要求

9.3.1 总则

试验应采用合适的试验电路进行,给出等效于相应运行条件的应力,比如两个背靠背连接的六脉动桥或适当的合成试验电路。

再现的等效运行条件在 9.3.2~9.3.6 中有规定。9.3.2、9.3.3 和 9.3.4 规定了最大持续运行的晶闸管结温下的运行工况。若较高的触发或恢复电压,或较低的触发角或关断角,可能不符合最大持续运行晶闸管结温的低负载条件,这些运行条件也应再现。出现这种情况的例子包括冬季过负荷运行,和在轻负荷条件下用换流器来限制向交流电网输出的过剩无功功率。为再现这样的条件,进行试验时试验电流和冷却剂温度应调整到反映最坏情况的热条件,以适应本试验代表的实际运行条件。

为了获得代表运行条件的电压和电流应力,试验回路中应正确地再现阀相关的总杂散电容和代表换相电抗的电感。在一个解锁的六脉动桥式电路中,每个阀具有一个等于单个阀关断状态 1.5 倍阻抗的并联阻抗。如果使用的试验电路不是六脉动桥,那么正确地反映此电路的这一特征就非常重要。

当对阀段进行试验时,试验的比例系数(k_n)应按照 4.3.2 决定。

试验电压和试验电路的电阻及电感应由实际值乘以系数 k_n 确定,而试验电路的电容应由实际值除以系数 k_n 确定。

为了正确地再现热效应,周期性触发和关断试验应在工作频率下进行。如不能做到这一点,实际工作频率与试验频率不同,则需要调整试验条件以近似补偿与同频率有关的损耗差值,有必要证实设备的正确作用。各种损耗产生机理的频率敏感性,见 GB/T 20989—2017。

试验期间,要监测关键发热部件及其相邻安装表面的温升,以验证达到的最高温度在设计允许限值内(见 4.4.3)。每种发热部件的监测数量和位置需要达成一致,而且晶闸管外壳温度、阻尼电阻器表面温度和阀饱和电抗器表面温度,每种的监测点数量不得少于 3 个。如果试品中某种类型的部件少于 3 个,则该类型的所有部件都需要监测。

9.3.2 最大持续运行负载试验

9.3.2.1 概述

试验电流应是基于最高环境温度下的最大持续直流电流。冷却剂温度不低于实际运行中最高稳态晶闸管结温对应的冷却剂温度。

试验电流包含一个 1.05 的试验安全系数。

对应六脉动换流器空载线电压的试验电压 U_{tpv1} ，由式(16)确定：

$$U_{\text{tpv1}} = U_{\text{v0max}} \times k_n \times k_{13} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

U_{v0max} —— 变压器阀侧最高稳态空载线电压；

k_n —— 按照 4.3.2 的试验比例系数；

k_{13} —— 试验安全系数， $k_{13} = 1.05$ 。

3 个最大运行负载试验的条件应满足下面 9.3.2.2、9.3.2.3 和 9.3.2.4 说明的细节。这些条件可分别或以任何组合得到满足。

注：在买方和供方达成一致的情况下，可考虑分别施加电流和电压应力，只要证明能够达到试验目的。

9.3.2.2 最大持续触发电压试验

阀或阀段以触发角 α 运行，以使阀(阀段)的触发电压 u_f 不低于下面的较大者见式(17)和式(18)：

$$u_{\text{fr}} = U_{\text{tpv1}} \times \sqrt{2} \times \sin\alpha \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$u_{\text{fi}} = U_{\text{tpv1}} \times \sqrt{2} \times \sin(\gamma + \mu) \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

U_{fr} —— 整流器阀触发电压；

U_{fi} —— 逆变器阀触发电压；

α —— 整流器运行产生最高 u_{fr} 时的稳态触发角，与运行在最大持续运行的晶闸管结温相符；

$\gamma + \mu$ —— 在逆变运行产生 u_{fi} 值最高时的稳态关断角和换相角之和，与运行在最大持续运行的晶闸管结温相符。

试验持续时间应在出口处的冷却剂温度稳定后不少于 30 min。

9.3.2.3 最大持续恢复电压试验

阀或阀段以触发角 α 运行，以使电流为零时，预期的恢复阶跃电压 u_r 不低于下面的较大者见式(19)和式(20)：

$$u_{\text{rr}} = U_{\text{tpv1}} \times \sqrt{2} \times \sin(\alpha + \mu) \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$u_{\text{ri}} = U_{\text{tpv1}} \times \sqrt{2} \times \sin\gamma \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

U_{rr} —— 整流器恢复阶跃电压(不计换相过冲)；

U_{ri} —— 逆变器恢复阶跃电压(不计换相过冲)；

$\alpha + \mu$ —— 在整流运行产生 u_{rr} 值最高时的稳态触发角和换相角之和，与运行在最大持续运行的晶闸管结温相符；

γ —— 在逆变运行产生 u_{ri} 值最高时的稳态关断角，与运行在最大持续运行的晶闸管结温相符。

试验持续时间应在出口处的冷却剂温度稳定后不少于 30 min。

9.3.2.4 热运行试验

为模拟持续运行中晶闸管和阻尼电路的最大综合损耗,阀或阀段以触发角 α 运行,以使一周期内测量的阀电压波形中的阶跃电压的平方和(不包括换相过冲)不低于[见式(21)]:

$$\sum \Delta V^2 = (1.75 + 1.5m^2) \times 2 \times U_{\text{tpv1}}^2 [\sin^2 \alpha + \sin^2(\alpha + \mu)] \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中:

m ——电磁耦合系数(见 GB/T 20989—2017 的 5.1.4);

α 和 μ ——相应于整流和逆变稳态运行条件下,使 $U_{\text{tpv1}}^2 [\sin^2 \alpha + \sin^2(\alpha + \mu)]$ 最大的值,与运行在最大持续运行的晶闸管结温相符。

若采用了两个六脉动背靠背试验电路,当执行 9.3.2.2 和 9.3.2.3 时,本试验所需条件将自动地满足。然而,应考虑十二脉动运行的不同。

试验持续时间应在出口处的冷却剂温度稳定后不少于 1 h。

9.3.3 最大暂态运行负载试验($\alpha = 90^\circ$)

对应六脉动换流器的空载线电压的试验电压 U_{tpv2} ,应由式(22)确定:

$$U_{\text{tpv2}} = U_{\text{v0max}} \times k_n \times k_r \times k_{14} \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

U_{v0max} ——变压器阀侧的最高稳态空载线电压;

k_n ——按照 4.3.2 的试验比例系数;

k_r ——暂态过电压系数,其值由系统研究决定;

k_{14} ——试验安全系数, $k_{14} = 1.05$ 。

进行试验前,阀或阀段应达到 9.3.2.2 条件下的热平衡。在规定的时间内,触发角 $\alpha = 90^\circ$,运行阀或阀段,使得触发和预期的恢复电压均不低于 $U_{\text{tpv2}} \times \sqrt{2}$,阀电压波形中的阶跃电压的平方和不应低于由 9.3.2.4 中表达式所得出的值。计算时,在 $\alpha = 90^\circ$ 运行期间的电流,至少要等于由系统研究确定的 $\alpha = 90^\circ$ 时运行的最大电流值乘以试验安全系数 1.05。在 $\alpha = 90^\circ$ 运行了规定的时间之后,返回到 9.3.2.2 的相应条件,至少再保持恒定 15 min。

在 $\alpha = 90^\circ$ 时,运行的持续时间,应至少 2 倍于在此触发角下运行的正常允许时间。

根据暂态过电压控制策略,可能需要不同持续时间、不同的 k_r 值的试验。

9.3.4 最小交流电压试验

9.3.4.1 概述

选用 9.3.2 定义的试验电流和冷却剂温度。

对应六脉动换流器的空载线电压的试验电压 U_{tpv3} ,应由式(23)计算:

$$U_{\text{tpv3}} = U_{\text{v0min}} \times \frac{N_{\text{tut}}}{N_t} \times k_{15} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

U_{v0min} ——变压器阀侧稳态最低空载线电压;

N_{tut} ——试验中串联晶闸管级的数量;

N_t ——包括冗余晶闸管级在内,一个完整阀串联晶闸管级的总数;

k_{15} ——试验安全系数, $k_{15} = 0.95$ 。

9.3.4.2 最小触发角试验

阀或阀段以整流器触发角 α 运行,使得阀(阀段)的触发电压 u_{fr} 不高于[见式(24)]:

$$u_{fr} = U_{tpv3} \times \sqrt{2} \times \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

α ——稳态运行下的整流器最小触发角,与运行在最大持续运行的晶闸管结温相符。

试验持续时间应在出口处的冷却剂温度稳定后不少于 15 min。

若换流器的运行策略允许在 α 低于最小稳态值的条件下短时运行,那么在这个减小的值下运行也需要予以证明。运行在暂态 α 值的持续时间应至少为此触发角下正常允许运行时间的 2 倍。

应证明阀(阀段)在稳态和暂态 α 值下均能正常触发。

9.3.4.3 最小关断角试验

阀或阀段以逆变器关断角 γ 运行,使得在电流过零时,预期的阶跃恢复电压 u_{ri} 不高于[见式(25)]:

$$u_{ri} = U_{tpv3} \times \sqrt{2} \times \sin \gamma \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:

γ ——最小稳态关断角,与运行在最大持续运行的晶闸管结温相符。

并且,从电流过零到正向电压过零点的时间 t_{off} 不长于[见式(26)]:

$$t_{off} = \frac{\gamma}{360 \times f} \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

γ ——最小稳态关断角,与运行在最大持续运行的晶闸管结温相符;

f ——工作频率。

试验持续时间应在出口处的冷却剂温度稳定后不少于 15 min。

若换流器的运行策略允许在 γ 低于最小稳态值的条件下短时运行,那么在这个减小的值下运行也需要予以证明。运行在暂态最小 γ 的持续时间应至少为此关断角下正常允许运行时间的 2 倍。

应验证阀(阀段)在稳态或暂态最小 γ 值时都能可靠关断。

9.3.5 暂态欠电压试验

本试验的目的是检验阀设计的正确性。这些阀的触发能量取自阀端子间的电压。

进行试验前,除试验电流可以降低外,阀或阀段应运行在与 9.3.4.2(稳态最小 α)一致的条件。阀或阀段以最小暂态 α 值运行规定的时间,施加的试验电压 U_{tpv4} 应由式(27)确定:

$$U_{tpv4} = U_{v0N} \times \frac{N_{tut}}{N_t} \times k_u \times k_{16} \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中:

U_{v0N} ——变压器阀侧额定空载线电压;

N_{tut} ——试验中串联晶闸管级的数量;

N_t ——包括冗余晶闸管级在内,一个完整阀串联晶闸管级的总数;

k_u ——换流器保持可控的暂态欠电压系数(基波频率);

k_{16} ——试验安全系数, $k_{16} = 0.95$ 。

暂态欠电压运行持续时间不应少于交流系统的后备保护动作清除故障时间,包括交流系统自动重合闸产生的无电流时间。

在规定的时间内,返回与 9.3.4.2 一致的条件。

应证明阀(阀段)在整个暂态欠电压期间保持可控。

根据暂态欠电压水平和采用的试验方法,试验回路也许不能在此试验期间保持正常运行。如果发生这种情况,需要证明这是试验期间反常电压情况的固有结果,而不是阀(阀段)响应触发信号失败而导致的结果。

9.3.6 断续直流电流试验

试验在阀冷却剂最高温度下进行。在两种运行条件反复再现断续直流电流运行造成的应力:

在 $\alpha = 90^\circ$, 以最大交流电压运行, 且 $k_r = 1.0$ (见 9.3.3);

整流器在最小 α 下以最小交流电压运行 (见 9.3.4.2)。

试验的持续时间应至少为规定条件下以断续直流电流正常运行允许工作时间的 2 倍。

这些试验将证明,晶闸管能按照设计在每周期内按必需的触发次数安全导通。作为有效的证明,应使用一个可调整的断续直流电流来研究阀(阀段)的性能。断续电流的无电流持续时间,可在零到与晶闸管关断时间可比的数值范围内变化。

注:在断续直流电流运行期间,每周期阀中电流脉冲的最大数量,对于直流输电换流阀通常为 4,而对于背靠背接线中的换流阀则为 8。

9.3.7 保护性触发连续运行试验

试验中应将一个晶闸管级的正常触发功能闭锁,使该晶闸管级的保护性触发连续动作,试验参数与 9.3.2.2 中参数一致,试验时间不少于 1 h。

9.3.8 阀损耗验证

阀损耗应符合 GB/T 20989—2017 中的规定,损耗量可通过试验和已获得的试验结果进行综合计算验证。

10 恢复期暂态正向电压试验

10.1 试验目的

恢复期暂态正向电压试验的主要目的是,检查在最高温度下,阀能够在电流关断后的紧随区间承受施加的暂态正向电压。试验应证明阀能承受正向电压或能安全地导通。

第二个目的是验证,运行于最高稳态结温下,恢复期后施加暂态正向电压时,阀的保护触发水平和 du/dt 耐受能力与设计一致。

10.2 试品

见 9.2。

10.3 试验要求

除了需要一个连接于逆变阀或阀段上的冲击发生器外,试验要求与第 9 章中的周期性触发和关断试验相同。冲击发生器的触发应当与正常运行波形同步,在电流关断后的区间施加正向冲击到试验的阀或阀段。

应选取产生最大连续运行晶闸管结温的试验电流和冷却剂温度。试验阀(阀段)的运行条件应是

9.3.4.3 稳态最小 γ 规定的条件。

冲击发生器应进行设置,以使预期的正向峰值电压 U_{tvtd} 由式(28)确定:

$$U_{\text{tvtd}} = U_{\text{IMPLV}} \times k_n \dots\dots\dots (28)$$

式中:

U_{IMPLV} —— 阀避雷器的冲击保护水平,或具有操作冲击波形的保护性触发的保证不触发水平(如果更低);

k_n —— 按 4.3.2 中的比例系数。

注 1: U_{IMPLV} 在波前时间 100 μs 的波形中体现为 U_{SIPLV} ,在波前时间 1.2 μs 和 10 μs 的波形中体现为 U_{LIPLV} 。

试验应当用 3 种不同的冲击波形进行:

类型 1: 上升时间 $100(1 \pm 30\%) \mu\text{s}$;

类型 2: 上升时间 $10(1 \pm 30\%) \mu\text{s}$;

类型 3: 上升时间 $1.2(1 \pm 30\%) \mu\text{s}$ 。

从冲击的电压顶峰降至半峰值的时间不是关键,但对于冲击电压下阀没有开通的情况,施加的任何波形此时间都不应少于 10 μs 。

注 2: 设备对不同波形冲击的灵敏度是设计决定的。根据买方与供方达成的协议,倘若可表明能达到此试验的目的,可考虑试验限制为单一冲击波形。

在电流零点到反向恢复期结束的各个时段,应逐一施加每种类型的冲击不少于 5 次。在恢复期结束后,应施加每种类型的附加冲击 3 次。

注 3: 当晶闸管完全恢复关断电压和 du/dt 耐受能力时,认为恢复时期已经结束。在某些设计中这一点可用 1 个时间窗口的结束来标记,在时间窗口期间保护电路增加了灵敏度。有关的时间由供方来规定。

阀或阀段应承受冲击或安全地导通。

如果阀具有恢复期暂态正向电压保护的功能,则应证明该保护按预期动作。

在恢复期结束后施加的任何冲击,阀都不应触发,除非能证明触发是保护性触发电路在断态期间(见注 3)的合理动作。如果在恢复期结束后施加规定的波形进行保护性触发,应额外施加三次修正幅值和波前时间的正冲击脉冲,而阀未被触发。应证明不使阀触发的修正幅值和波时间与阀的保护性触发策略一致。

11 阀故障电流试验

11.1 试验目的

故障电流试验的主要目的是验证设计的阀可承受短路引起的最大电流、电压和温度。

试验验证阀的以下能力:

- a) 承受从最高结温开始出现的一个最大幅值的单波故障电流,并且能够闭锁随后出现的反向和正向电压,包括甩负荷造成的过电压;
- b) 在类似单波试验的条件下,能耐受交流断路器跳闸之前的多波故障电流,但无再加正向电压。
本试验覆盖了罕见的情况,即移相或交流系统暂态阻止了阀在第一个周波电流结束后闭锁故障需要的条件。

11.2 试品

见 9.2。

11.3 试验要求

11.3.1 一般要求

应采用尽可能再现规定的最严酷故障电流条件的试验回路进行试验。

对于单波故障电流试验,主要的要求是,在单波故障电流后的第一个再加正向半波电压峰值处,再现正向电压与晶闸管结温叠加的最不利工况。

对于多波故障电流试验,主要的要求是,再现多波故障电流倒数第二个故障电流波后,反向恢复期间反向电压与晶闸管结温相叠加的最不利工况。

单波故障电流试验的第二个要求是,验证晶闸管有充分的关断时间,能够耐受故障电流结束后在电压正向过零点重加的正向电压。从故障电流的过零点到电压正向过零点之间的时间间隔,取决于试验电路的阻尼系数和试验的电源频率。试验参数应与实际运行参数一致或通过调整获取一个具有代表性的关断间隔。若不能这样进行,供方就要用其他方法验证,晶闸管在单波故障电流过后的关断时间足够短。

在多波故障电流试验期间,为了再现正确的暂态反向电压,正确地设置阀相关的总杂散电容和回路中换相电抗是非常重要的。正确地表示六脉动桥中其他阀的有效并联阻抗,考虑假设短路的位置和过电流时采用的控制策略也是非常重要的。在故障电流最后一个波后,阀或阀段不需要承受任何恢复电压。

当进行阀段试验时,试验电压和试验回路的部件参数应与 9.3 中所描述的试品串联的晶闸管级数成比例。

注:在 11.3.2 和 11.3.3 中规定的故障电流试验,是基于一个整流阀端间短路产生的最大故障电流的最严酷条件。

若晶闸管的电压与结温的最严酷组合与整流阀端间短路造成的最大故障电流不一致,就要相应调整试验条件。

11.3.2 再加正向电压的单波故障电流试验

试验进行前,应使阀或阀段运行至最大连续运行晶闸管结温。

给阀或阀段施加规定峰值和导通时间的单波故障电流,接着重加正向电压。重加的正向电压第一个半波的峰值 u_{tfvd} 可由式(29)计算:

$$u_{\text{tfvd}} = U_{\text{v0max}} \times \sqrt{2} \times k_n \times k_r \times k_{17} \dots\dots\dots (29)$$

式中:

U_{v0max} ——变压器阀侧的最高稳态空载线电压;

k_n ——按照 4.3.2 中的试验比例系数;

k_r ——暂态过电压系数,由系统研究决定的值;

k_{17} ——试验安全系数, $k_{17} = 1.05$ 。

故障电流的峰值和持续时间应由系统研究决定,需要考虑:

——交流系统最大短路水平。

——与上述一致的交流系统最小稳态频率。

——涉及换流变压器阀侧电抗的最低允许误差。

——以下组合的最严酷工况:

- 故障起始时刻对应于阀侧最大稳态运行电压的最小触发角;
- 故障起始时刻对应于最小触发角的阀侧最小运行电压。

——交流系统和涉及换流变压器阀侧的最小阻尼系数。

——整流阀端间短路。

这样计算出来的故障电流峰值不需要减去直流电流的一半($I_d/2$),除非供方可证明此减少对于提出的控制策略是正确的。

k_r 的值应同计算故障电流所用的交流系统条件一致。直流甩负荷应是换流站额定直流功率因故障而损失的部分。

若试验电路的参数不能获得规定的故障电流幅值和导通持续时间,那么可采用一个严格等效的电流波形。需要证明,等效峰值电压作用产生的晶闸管结温,至少要和正确的电流波形产生的值一样大。

11.3.3 无再加正向电压的多波故障电流试验

试验进行前,应使阀或阀段运行至最大持续运行晶闸管结温。

给阀或阀段施加规定峰值、导通时间和故障波次数的故障电流。在各个故障电流波次之间应给阀或阀段施加反向电压,但应通过持续触发晶闸管防止阀承受正向闭锁电压。

在倒数第二个故障电流波电流过零时的反向恢复电压预期值 u_{tfr} 应由式(30)确定

$$u_{\text{tfr}} = U_{\text{v0max}} \times \sqrt{2} \sin \phi \times k_n \times k_r \times k_{18} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

U_{v0max} —— 变压器阀侧最大稳态空载线电压;

ϕ —— 用电角度表示的一个工作周期波形的一部分,它正是倒数第二个故障电流波次的电流过零点超前电压正向过零点的那一部分;

k_n —— 按照 4.3.2 中的试验比例系数;

k_r —— 暂态过电压系数,由系统研究确定的值;

k_{18} —— 试验安全系数, $k_{18} = 1.05$ 。

故障电流波的数量由用于切断换流器短路电流的主要断路器操作时间决定。操作时间应包括故障检测和信号延迟时间,以及断路器灭弧时间。

故障电流波的峰值和持续时间的确定应同 11.3.2 中定义的方式一样,除此之外,在第一个波后的所有故障波的初始触发角设为 0° 。

k_r 的值按 11.3.2 说明确定。

12 阀抗电磁干扰试验

12.1 试验目的

主要目的是验证:阀抵抗从阀内部产生的及外部强加的瞬时电压和电流引起的电磁干扰(电磁扰动)的能力。阀中敏感的部件主要是用于晶闸管级触发、保护和监测的电子电路。

通常,阀的抗电磁干扰能力可通过在其他型式试验时监测阀来检查。当然,阀冲击试验(8.3.3~8.3.5)和阀非周期触发试验(8.4)是最重要的,这是因为,在换流站正常运行时,这些试验所等效的工况可能会出现,这些工况不会导致换流站跳闸。

这些试验宜用于验证:

- a) 不会发生晶闸管误触发或导通顺序混乱;
- b) 阀上安装的电子保护电路按照预定动作;
- c) 不会发生晶闸管级故障的错误指示,阀基电子设备也不会因为从阀监测电路接收到错误信息而将错误的信号送到换流器控制和保护系统。

对于本部分,验证阀抗电磁干扰能力试验,仅适用于晶闸管阀和连接阀与地的信号传输系统部分。本部分的范围不包括验证位于地电位设备的抗电磁干扰能力和作为其他设备电磁干扰源的阀特性。

12.2 试品

通常,试品是其他试验所用过的阀或阀段。

当验证抗多重阀中邻近阀间耦合引起的电磁干扰时,可按 12.3 定义两种方法。在这种情况下,按照所采用的方法,试品应为独立的阀或阀段。

12.3 试验要求

12.3.1 概述

当验证抗多重阀中邻近阀间耦合引起的电磁干扰时,此试验要求取决于采用以下两种方法的任一种。

12.3.2 方法 1

方法 1 是作为试验方案的一部分,直接模拟电磁干扰源。这样的试验方案要求有两个及以上的阀以检查它们之间的相互影响。电磁干扰源的几何布置要考虑试验的阀,应尽可能接近实际运行布置(否则在电磁干扰上更加严重)。

8.4.2 中给出了采用方法 1 的更详细要求。

12.3.3 方法 2

方法 2 是从理论考虑或由实际测量来确定在最严重运行条件下的电磁场强度。接下来,这些电磁场由可产生正确的(或更严重的)各种频率的电磁辐射试验电路来模拟。然后将阀段置于试验干扰源产生的电磁场内。

方法 2 的基本前提是确定阀关键位置上的场强与方向。一般这可在单个阀触发试验期间,用探测线圈测量获得;或者,这个场可通过三维场模拟程序预测;然后,用一个独立的励磁线圈产生至少与预估值同样严重的场强、频谱和方向,对阀段进行试验。

被试的阀段应满足下列条件:

- 在阀段端子间应有运行电压(按比例),并且给励磁线圈充电时是正向偏置;
- 试验时,阀段的电子电路应带电;
- 也应包括阀基电子单元中与阀段正确地交换信息的部分。

12.3.4 验收标准

方法 1 和方法 2 的验收标准已在 12.1 中定义。

13 特殊功能试验及故障容许试验

13.1 试验目的

13.1.1 概述

这些试验是为了验证阀特殊设计和特殊功能。特殊功能可包括,但不限于以下两种。

13.1.2 便于正确控制、保护和监视阀的电路

一般来说,这些特殊功能可通过其他试验来验证。

13.1.3 阀中具有故障容许特性

故障容许能力可定义为：在计划停运之前，高压直流输电晶闸管换流阀，有部件、子系统故障或部件过载时依然能执行其预期功能的能力，同时不会导致其他部件出现任何不可接受的故障或扩大故障损害范围。设计中可能需要特殊功能以确保换流阀的故障容许能力。可能需要容许的故障包括但不限于：

a) 晶闸管短路

尽管短路晶闸管会把晶闸管级其他部件短路，但是在个别设计中，可能存在触发脉冲变压器过载、连接点过流（使用并联晶闸管的情况）和晶闸管压装力变化等风险。

b) 正常触发脉冲丢失引起晶闸管保护性触发持续动作（可通过 9.3.7 的试验验证）。

晶闸管保护性触发持续动作将引起受影响晶闸管级阻尼电阻和其他部件的过负荷水平超过安全限度。

c) 脉冲变压器（如果触发 2 个或更多晶闸管级）、阻尼电容、阻尼电阻或均压电容绝缘失效与晶闸管并联的任何部件绝缘失效都会引起负载电流注入该部件，导致危险情况。

d) 阀冷却液泄漏（可通过 8.3.2 和 8.3.6 的试验验证）

如果阀是液体冷却的，少量的泄漏不易检测，泄漏的冷却液可能会污染敏感部件，导致部件失效，增加绝缘损坏的风险。

买方应审查供方提供的设计，以确定某些故障的概率和可能的后果。在适当的情况下，应在型式试验程序中考虑进行特殊试验，以验证换流阀的容错能力的关键点。此类测试应由买方和供方根据具体情况达成一致。

13.2 试品

试验可在整个阀、阀段或相关的其他部分上进行。

13.3 试验要求

试验方法和验收标准的选取应注意到阀的实际设计。应验证有关的部件或电路的行为是否与预期的一样。

14 产品试验

14.1 概述

本章包括组装部件的试验，这些部件包括阀、阀段或它们的保护、控制和监测辅助电路部分。本章不包括阀、阀支架或阀结构中使用的独立部件的试验。产品试验应包含例行试验和抽样试验，本章只提供了例行试验。

注：一些情况下，除了产品试验外，在完整的组件上有必要进行同样的试验，例如生产期间在不背离其原来的型式试验设计时进行改进来验证阀及其性能。抽样试验的程序由买方和供方达成一致。

14.2 试验目的

产品试验的目的是通过检验以下几点来证明制造的正确性：

- 阀中使用的所有部件和子设备已按照设计正确的安装；
- 阀设备预期的功能和预定的参数都处在规定的验收范围内；

- 阀段和晶闸管级(适当的)有足够的电压耐受能力;
- 保证产品的一致和统一。

14.3 试品

为工程所制造的所有阀段或部件都要经过例行试验。

14.4 试验要求

不必对不同供方规定同样的产品试验。产品试验要考虑阀及其部件特殊设计的性能,在组装前进行试验的部件,有关特殊的制造规程和工艺。本条款仅给出产品试验的目标。在所有的情况中,供方都要提交经买方认可的试品产品试验流程的详细描述。

在 14.5 中列出了例行试验的最低要求。列出的试验顺序既不代表重要性的排序,也不代表试验进行的顺序。

14.5 例行试验——最低要求

14.5.1 外观检查

按照产品文件的最新核准的版本,检查所有材料和部件是完好的及安装正确。

14.5.2 接线检查

检查所有主要的载流接线正确连接。

14.5.3 均压电路检查

检查均压电路的参数,施加从直流到冲击波形的电压,从而确认电压在串联的晶闸管上的分配是正确的。

14.5.4 耐受电压检查

检验阀部件能耐受相应于对阀规定的最大值电压。检查应包括操作冲击和工频试验电压。

14.5.5 局部放电试验

为验证正确的制造,买方和供方应共同确定设计中关键部件和分组件,需要进行适当的局部放电试验。

14.5.6 辅助设备检查

验证每个晶闸管级上的辅助设备(例如监测和保护回路)和整个阀(或阀段)的那些公共部分功能正确。

14.5.7 触发检查

检验每一个晶闸管级中的晶闸管能正确地响应触发信号而导通。

14.5.8 压力检查

检验没有冷却剂泄漏(仅对液冷阀)。

15 确定损耗的方法

在 GB/T 20989—2017 中规定了确定 HVDC 晶闸管阀损耗的程序。

16 型式试验结果描述

试验报告应符合 GB/T 27025 中的要求,应包括以下信息:

- 实验室的名称和地址以及进行试验的地点;
- 委托方的名称和地址;
- 试品的明确标识,包括型号及额定值、序列编号和其他任何为了明确试品的信息;
- 试验执行的日期;
- 用于执行试验的回路和试验程序的说明;
- 参考的标准文件,与标准文件规定程序的偏差说明(如有);
- 测量设备的说明和测量不确定度的描述;
- 表格、图示、波形图及适当的照片形式的试验结果;
- 设备或部件故障的描述。

附 录 A
(规范性附录)
试验安全系数

A.1 总则

晶闸管阀的设计应耐受它们在规定的直流(HVDC)运行条件下可能遇到的应力。为了验证阀的设计,应进行绝缘和运行型式试验。型式试验水平包含的试验安全系数,可保证试验能够保守地再现最恶劣情况下的运行应力。

试验和试验水平可能有较大的经济损失,特别是当规定了一些对阀性能无益的、不必要的试验或不实际的试验水平时。本部分使用的安全系数,是由反映实际的和真实要求建立的,为保证经济的阀设计,满足预期的应用。

试验安全系数考虑了试验期间的测量不确定度,适用时也考虑保护裕度。保护裕度提供了一定的裕度应对预测最大运行应力时的不确定度和因老化引起的随着时间设备能力的下降。

如果型式试验按 GB/T 16927.1 进行,共计 3% 的测量不确定度为测量误差,另外 3% 为试验水平的允差。

预测最大运行应力的不确定度取决于很多因素和假定条件,而因老化引起的劣化是由材料和应用决定的。对于这些参数不存在普遍适用的量值系数,但根据实践确定的、由可接受的运行经验支持的数值为判定提供依据。

根据高压设备标准的实践、高压直流晶闸管阀试验的现有实践以及运行经验,并考虑特殊的晶闸管阀的特性,形成了可用的试验安全系数的合适数值。这些将在 A.2 和 A.3 中讨论。

A.2 绝缘试验的试验安全系数

A.2.1 冲击试验

A.2.1.1 基本方法

本部分所用的冲击试验安全系数基于以下假设:

- 1) 金属氧化物避雷器是主要的冲击过电压保护设备,直接接于每个阀的端子之间,使冲击影响最小;
- 2) 在试验期间,所有冗余的晶闸管均短接。

阀冗余的判据是:一个新阀,其所有的冗余晶闸管短接后,应仍满足规定的型式试验性能。规定的性能是考虑允许的运行方式及要求后通过分析研究确定的。

和其他传统的电力设备一样,阀的成本受到型式试验和相关的试验水平的影响。对于冲击试验,晶闸管阀的成本几乎直接正比于要求的冲击耐受试验水平。其次,相关的运行功率损耗也几乎直接正比于冲击试验水平。认识到优化试验水平在成本和损耗上的益处,8.3.4 阀端子间的冲击试验允许有下述选项:

- a) 雷电和操作冲击试验采用 1.10 的试验安全系数,陡波前冲击试验采用 1.15 的试验安全系数。

另外,所有的晶闸管被绝缘块取代后,重复进行的操作和雷电试验采用 1.15 的试验安全系数,陡波前冲击试验采用 1.20 的试验安全系数。

b) 雷电和操作冲击试验采用 1.15 的试验安全系数,陡波前冲击试验采用 1.20 的试验安全系数。

选项 b)反映了当今大多数工业实践,且与本部分早先版本比较,有效地提高了晶闸管和相关的晶闸管级部件的试验安全裕度。选项 a)通过限制晶闸管承受的最大电压提供了一种更加经济的设计,而保留了选项 b)的与晶闸管并联的所有绝缘的全部试验安全裕度。

两种冲击试验选项采用的试验安全系数均有阀成功运行的性能表现和计算支持,计算表明所用的试验安全系数在现有的工业知识和经验基础上给出了足够的安全裕度。

冲击试验选项的选择由购买方负责且基于特定应用成本效益方面的考虑。下面的 A.2.1.2 和 A.2.1.3 给出了背景资料。

A.2.1.2 以前的实践和经验

本部分早期版本规定,冗余的晶闸管级(最多 3%)未被短接的情况下,雷电和操作冲击试验规定的试验安全系数为 1.15。因此,阀中晶闸管冗余度 3%时有效的试验安全系数为 1.117。

回顾阀的运行性能记录和冲击试验所用的试验安全系数表明,全世界建设的大多数工程,均将冗余部分短接进行阀试验,试验安全系数为 1.15。这同上面的 A.2.1.1 的选项 b)一致。这些工程的运行经验都非常好。

回顾大量采用 3%冗余且试验安全系数为 1.15 或者降低试验安全系数,典型值为 1.10 进行试验的工程。其中一种情况,采用了 1.10 的试验安全系数并保留 3%的冗余(相应晶闸管有效试验安全系数为 1.067),这些工程的运行性能记录也非常好。

截止目前的运行经验和其他研究,晶闸管的绝缘特性在运行中并没有表现出有明显的老化趋势。另一方面,工业界已经认识到在通常情况下传统的绝缘材料的确会老化,但晶闸管阀包含常规的绝缘材料和晶闸管,因此在确定试验安全系数时应考虑到这些材料的老化效应。基于上述原因,支持晶闸管使用替代的试验安全系数 1.10,但标准应要求除了晶闸管外对所有阀元件进行雷电和操作冲击试验,其相应的雷电和操作冲击试验的试验水平采用 1.15 的试验安全系数,对陡波前冲击试验使用 1.20 的试验安全系数。这就是之前 A.2.1.1 中选项 a)的基础。

A.2.1.3 冲击试验的试验安全系数选择评估

作为一个独立的检查,为了充分覆盖对测量不确定度的已知系数和试验安全系数保护裕度的最佳估计,需要对选择的试验安全系数进行评估。

试验安全系数的合理性可通过下述方法评估:

- 与测量不确定度和保护裕度相关的所有系数在统计上应是独立的。
- 从概率的观点出发,假定所有的系数在相同的方向偏离且同时出现其最大值是不合理的。
- 假定起作用的因素可用平方和的平方根(RSS)方法组合。则应进行检查以保证满足式(A.1):

$$k_s \geq 1 + \sqrt{\sum k_n^2} \quad (\text{赋值 } n = 1 \text{ 到 } n) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

k_s ——试验安全系数;

n ——系数的个数;

k_n ——每个 n 系数的标么值(小于 1.0)。

d) 雷电和操作冲击试验考虑的系数及它们的相关值如下:

- 试验电压测量误差(0.03,按 GB/T 16927.1);
- 试验电压允差(0.03,按 GB/T 16927.1);
- 避雷器特性的测量允差(0.03,按 GB/T 16927.1);
- 避雷器的容许老化(0.05,按 GB/T 11032);
- 研究的不确定度—估计的最严重情况(0.03);
- 估计容许的非标准波形(0.30);
- 容许的绝缘老化(0.10 或者 0)。

e) 采用 c) 的 RSS 关系式,那么若假定普通材料的绝缘老化系数为 0.1,则有[见式(A.2)]:

$$1 + \sqrt{\sum k_n^2} = 1.13 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

如果规定的试验安全系数为 1.15,则任何不允许系数或允许系数误差的偶然性等于[见式(A.3)]:

$$\sqrt{0.15^2 - 0.13^2} = 0.075 \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

若绝缘没有明显的老化,比如晶闸管,那么[见式(A.4)]:

$$1 + \sqrt{\sum k_n^2} = 1.084 \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

如果规定的试验安全系数为 1.10,则任何不允许系数或允许系数误差的偶然性等于[见式(A.5)]:

$$\sqrt{0.10^2 - 0.084^2} = 0.055 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

在所做的假定的基础上,选择 A.2.1.1 中的选项 b) 对晶闸管和其他材料均提供的固有偶然性裕度为 7.5%,且没有假定对于晶闸管和传统绝缘材料涉及的不同的老化机理。

选择 A.2.1.1 中的选项 a) 会给除晶闸管外的所有材料提供 7.5% 的固有偶然裕度,假定晶闸管的老化可忽略,给晶闸管提供 5.5% 的偶然允许值。

选项 a) 的晶闸管阀设计和试验的资金成本及运行损耗大约分别比选项 b) 低 4.5%。

A.2.2 交流、直流暂时和长期电压试验

阀的型式试验不能验证阀绝缘材料的耐久性。这更适合作为单独的设计或开发试验的一部分来进行。尽管如此,交流和直流电压型式试验确实验证了阀在暂时和长时过电压的耐受能力。试验的水平和持续时间在很大程度上反映了传统绝缘材料所建立的交流和直流试验原理和实践。一个常用的绝缘性能表征参数为局部放电性能(见附录 B)。因此本部分要求在交流和直流电压试验中通过测量局部放电检查绝缘性能。

基于实际的原因,短时阀交流电压试验可以对阀部件施加过大的反向电压,在实际工作中试验应使用交流电压完成(因此有一个大的电压-时间区域),但是运行条件使得阀部件仅在短时内处于高电压(换相过冲)。基于这个原因,可以采用一个比正常实际情况较低的试验安全系数。试验安全系数 k_s 是基于电压测量误差(3%),试验电压允差(3%),浪涌避雷器特性的测量偏差(3%),避雷器老化裕度(5%),固有偶然性裕度或者其他未知效果的偏差(7.5%)。

A.3 运行试验的试验安全系数

运行试验安全系数适用于在稳态运行、规定的过负荷和故障期间发生的组合电压电流应力。试验电压和电流采用最严酷稳态运行条件下的数值。通常,试验安全系数仅需考虑测量不确定度[见式(A.6)]:

$$k_s = 1 + \sqrt{0.03^2 + 0.03^2} = 1.042, \text{向上取到 } 1.05 \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

对于最小交流电压试验,相应的试验安全系数为[见式(A.7)]:

$$k_s = 1 - \sqrt{0.03^2 + 0.03^2} = 0.957, \text{向下取到 } 0.95 \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

对于故障电流试验,不需要特别的电流试验安全系数($k_s=1.0$)。

该结论基于:

- a) 试验所用的故障电流幅值,至少要与通过计算或系统研究确定的最坏情况的电流相等,同时与 11.3.2 中列出的最坏情况下未经统计平均的系数保持一致;
- b) 对故障电流后需要施加闭锁电压,采用 1.05 的试验安全系数。

附 录 B
(规范性附录)
局部放电测量

B.1 局部放电的测量

处于最高电位的阀与地之间以及阀端子之间的阀支架绝缘质量应在交流和/或直流电压试验期间通过局部放电测量检验。高压直流阀现有的运行经验表明,其他技术如无线电干扰电压(RIV)测量对特定目的的指示性较差。

局部放电测量应按照 GB/T 7354 的规定进行。

B.2 交流试验期间的局部放电

交流电压局部放电测量的灵敏度取决于试品的电容和背景噪声的幅值。对于大多数阀,阀端子间的电容与其他设备端子之间的杂散电容相比是很大的(主要是由于存在阻尼电容器)。晶闸管阀的电容典型值为几百纳法,而其他设备通常为几十皮法。因此,可能需要特殊的测量技术满足试验要求。

对于空气绝缘的大型设备,通常可接受的测量局部放电的试验回路不区分可接受的、发生在周围空气中局部放电(电晕)和任何沿非自恢复性绝缘或穿通其的放电。因此,对整个阀设定一个局部放电的绝对限值不会单独给出可信的试验结果。对于空气绝缘阀,只要考虑对周围空气的放电,最大到 200 pC 的局部放电通常没有意义,但是,该数值超过了有机绝缘材料中的放电安全阈值。

出于这个原因,也因为整个阀或阀支架的交流绝缘试验并不施加于全部部件(例如阻尼电阻器、饱和电抗器等),建议对供方确认的所有关键部件或子部件进行局部放电测量。绝缘试验期间,在整个阀或阀支架上做局部放电测量的目的是验证独立的部件间没有不利的相互作用,空气中也没有高电平的局部放电。除 B.4 中的说明外,只要阀是空气绝缘的、且关键部件的局部放电量在部件试验验证的各自规定的限值内,整个阀或阀支架在交流试验期间的局部放电量最大值应为 200 pC。

B.3 直流试验期间的局部放电

GB/T 7354 中指出,没有可接受的在具有直流电压的试验期间确定局部放电值的一般方法。

稳态直流条件下的绝缘强度由绝缘材料的电阻率而不是介电常数决定。由于电阻率的数值很大,系统的时间常数很大,因此,直流条件下的局部放电趋于由低重复率(几秒到几分钟)下相对较高幅值(几百皮库到几千皮库)的脉冲表征。

对于本部分,具有直流电压的试验期间的绝缘质量通过记录单位时间内局部放电超过规定数值的次数检验。这意味着通常用于交流电压的试验回路和测量仪器也可用于直流电压,但是,应加装多电平脉冲计数装置。本部分给出的直流电压试验强度和持续时间以及局部放电的接受限值基于下述因素:

- 包括正常运行和故障期间的预期的运行负荷;
- 以前的运行和试验经验;
- 考虑到晶闸管阀包含很多不同的绝缘材料,这些材料的时间常数跨越了可能值的整个范围;

- 考虑到具有较高试验安全系数的短时试验不能代表那些具有短时间常数的阀部件的过负荷；
- 考虑到使用正极性时的局部放电幅值和单位时间内的次数通常高于使用负极性时的数值；
- 考虑到初始施加反极性后可能出现的局部放电比稳态直流电压负荷期间更多。选择反极性后，与时间有关的局部放电值宜减少。

B.4 交直流电压复合应力

在高压直流换流阀中的设备经常经受交流和直流分量合成的运行电压。

由于实际的困难和缺乏复合电压下测量局部放电的经验，本部分分别规定了交流和直流电压试验。这种方法的结果是，为了尽量重现正确的峰值电压应力，运行中主要承受直流分量而仅有很少的交流分量作用的那些部件，在长时间交流电压试验期间将承受比运行中遇到的高得多的峰-峰值电压摆动。由于交流电压作用的局部放电受峰-峰值电压摆动的强烈影响，规定的试验对那些运行中主要承受直流应力的情况是不实际的。

遇到这种问题的两种情况是：

- a) 当阀支架连到另一根母线而不是直流侧中性母线或较低电位的六脉动桥交流侧连接线时，跨接阀支架；
- b) 跨接多重阀的任意两个端子，其间的同一相有两个或多个阀串联。

对于以上两种情况，在长时间交流电压试验期间记录到超过 200 pC 的局部放电值不代表设计不合理。出于这个原因，若记录到超过 200 pC 的局部放电值，应由买方和供方评估试验结果，以评估得到的局部放电值可能对运行中的设备耐久性的影响(如果有)。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

高压直流输电晶闸管阀

第 1 部分：电气试验

GB/T 20990.1—2020

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2020 年 12 月第一版

*

书号: 155066 · 1-66620

版权专有 侵权必究



GB/T 20990.1—2020