



中华人民共和国国家标准

GB/T 20995—2007

输配电系统的电力电子技术 静止无功补偿装置用晶闸管阀的试验

Power electronics for electrical transmission and distribution systems—
Testing of thyristor valves for static VAR compensators

(IEC 61954:2003, MOD)



2007-06-21 发布

2008-02-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
输配电系统的电力电子技术
静止无功补偿装置用晶闸管阀的试验
GB/T 20995—2007

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

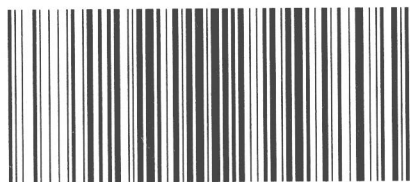
*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 56 千字
2007 年 11 月第一版 2007 年 11 月第一次印刷

*

书号: 155066 · 1-30062 定价 26.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 20995-2007

前 言

本标准修改采用 IEC 61954:2003《输配电系统的电力电子技术 静止无功补偿装置用晶闸管阀的试验》(英文版)。

本标准与 IEC 61954:2003 的主要差异内容为:在几次试验波形为波形 1,即接近典型熄灭波形的 $20\ \mu\text{s}/200\ \mu\text{s}$ 波形时,均增加注释对试验波形进行说明。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国电力电子学标准化技术委员会(SAC/TC 60)归口。

本标准负责起草单位:中国电力科学研究院、西安电力电子技术研究所。

本标准参加起草单位:北京网联直流工程技术有限责任公司、西安高压电器研究所、西安西电电力整流器有限责任公司。

本标准主要起草人:汤广福、陆剑秋、郑劲、荀锐锋、王修德、潘艳、赵贺、张文涛、张占省、周观允、蔚红旗。

引 言

高压直流输电在我国电网建设中,对于长距离送电和大区联网有着非常广阔的发展前景,是目前作为解决高电压、大容量、长距离送电和异步联网的重要手段。根据我国直流输电工程实际需要和高压直流输电技术发展趋势开展的项目在引进技术的消化吸收、国内直流输电工程建设经验和设备自主研制的基础上,研究制定高压直流输电设备国家标准体系。内容包括基础标准、主设备标准和控制保护设备标准。项目已完成或正在进行制定共 19 项国家标准:

- (1)《高压直流系统的性能 第一部分 稳态性能》
- (2)《高压直流系统的性能 第二部分 故障与操作》
- (3)《高压直流系统的性能 第三部分 动态性能》
- (4)《高压直流换流站绝缘配合程序》
- (5)《高压直流换流站损耗的确定》
- (6)《交变变压器 第二部分 高压直流输电用换流变压器》
- (7)《高压直流输电用油浸式换流变压器技术参数和要求》
- (8)《高压直流输电用油浸式平波电抗器》
- (9)《高压直流输电用油浸式平波电抗器技术参数和要求》
- (10)《高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器导则》
- (11)《高压直流输电用并联电容器及交流滤波电容器》
- (12)《高压直流输电用直流滤波电容器》
- (13)《高压直流输电用普通晶闸管的一般要求》
- (14)《输配电系统的电力电子技术静止无功补偿装置用晶闸管阀的试验》
- (15)《高压直流输电系统控制与保护设备》
- (16)《高压直流换流站噪音》
- (17)《高压直流套管技术性能和试验方法》
- (18)《高压直流输电用光控晶闸管的一般要求》
- (19)《直流系统研究和设备成套导则》

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 型式试验、出厂试验和选项试验的一般要求 2

4.1 试验一览 2

4.2 试验对象 3

4.3 型式试验和选项试验导则 4

4.4 试验条件 4

4.5 型式试验中允许故障的元件数量 6

4.6 试验结果的文档 6

5 TCR 和 TSR 阀的型式试验 6

5.1 阀端对地间的绝缘强度试验 6

5.2 阀间绝缘强度试验(仅适用于多重阀单元) 7

5.3 阀端间绝缘强度试验 8

5.4 运行试验 10

6 TSC 阀的型式试验 12

6.1 阀端对地绝缘强度试验 12

6.2 阀间绝缘强度试验(仅适用于多重阀单元) 14

6.3 阀端间绝缘强度试验 16

6.4 运行试验 18

7 电磁干扰(EMI) 21

7.1 试验目的 21

7.2 试验步骤 21

8 出厂试验 22

8.1 外观检查 22

8.2 连接检查 22

8.3 均压/阻尼回路检查 22

8.4 耐受电压检查 22

8.5 辅助设备检验 22

8.6 触发检查 22

8.7 冷却系统压力检查 23

9 TCR 和 TSR 阀的选项试验 23

9.1 过电流试验 23

9.2 恢复期间瞬时正向电压试验 24

9.3 非周期触发试验 24

10 TSC 阀的选项试验 25

10.1 恢复期间瞬时正向电压试验 25

10.2 非周期触发试验 26

输配电系统的电力电子技术

静止无功补偿装置用晶闸管阀的试验

1 范围

本标准规定了晶闸管阀的型式试验、出厂试验和选项试验。这些晶闸管阀适用于输配电系统用静止无功补偿装置(SVC)的组成部分即晶闸管控制电抗器(TCR)、晶闸管投切电抗器(TSR)和晶闸管投切电容器(TSC)。本标准的要求既适用于单个阀单元(单相),也适用于多重阀单元(多相)。

本标准第4章至第7章详述型式试验,即用以检验阀设计是否满足规定要求的试验。第8章概述出厂试验,即用以判定制造质量的试验。第9章和第10章详述选项试验,即型式试验和出厂试验以外的附加试验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包含勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准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标准。

GB 311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合(neq IEC 60071-1:1993)

GB/T 311.2—2002 绝缘配合 第2部分:高压输变电设备的绝缘配合使用导则(eqv IEC 60071-2:1996)

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

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

GB/T 16927.2—1997 高压试验技术 第二部分:测量系统(eqv IEC 60060-2:1994)

GB/T 20990.1—2007 高压直流输电晶闸管阀 第1部分:电气试验(IEC 60700-1:1998,IDT)

3 术语和定义

本标准采用下述术语和定义。

3.1

晶闸管级 thyristor level

晶闸管阀的组成部分,由一个晶闸管或者多个同向或反向并联的晶闸管构成,包括其邻近的辅助电路和电抗器(如有)。

3.2

晶闸管(串联)串 thyristor(series)string

构成晶闸管阀单向串联连接的晶闸管。

3.3

阀电抗器 valve reactor

组合在某些阀中用于限制应力的电抗器。试验时,它们被视为阀的一个组成部分。

3.4

阀组件 valve section

由数个晶闸管和其他组件构成的电气组合,能用于试验。它呈现与完整阀相同的电气特性,但只具有其部分电压阻断能力。

3.5

晶闸管阀 thyristor valve

晶闸管级的电气和机械联合组合体,配有所有连结、辅助部件和机械结构,它可与 SVC 每相的电抗器或电容器相串联。

3.6

阀结构 valve structure

将阀与地电位或阀与阀之间的绝缘保持在适当的水平上的机械结构。

3.7

阀基电子单元 valve base electronics; VBE

处在 地电位的电子单元,它是 SVC 控制系统与晶闸管阀之间的接口。

3.8

多重阀单元 multiple valve unit; MVU

几个阀组装在同一个机械结构之中,不允许分开试验(如三相阀)。

3.9

冗余晶闸管级 redundant thyristor levels

晶闸管阀中可从外部或内部被短接的最大晶闸管级数,且应由型式试验证明其短接后不会影响阀的安全运行。如果故障晶闸管级数超过这个值,则应使阀停止工作,更换故障晶闸管,否则就要承受故障增大的风险。

3.10

电压击穿保护 voltage breakover (VBO) protection

晶闸管的一种过电压保护方法,当过电压达到预定电压值时使之开通。

4 型式试验、出厂试验和选项试验的一般要求

4.1 试验一览

表 1 列出了所有试验项目。

表 1 试验项目

试 验	条 号		试验对象
	TCR/TSR	TSC	
阀端对地绝缘强度试验			
交流电压试验	5.1.1		阀
交流一直流电压试验		6.1.1	阀
雷电冲击试验	5.1.2	6.1.2	阀
阀间绝缘强度试验(仅对多重阀单元)			
交流电压试验	5.2.1		多重阀单元
交流一直流电压试验		6.2.1	多重阀单元
雷电冲击试验	5.2.2	6.2.2	多重阀单元
阀端间绝缘强度试验			
交流电压试验	5.3.1		阀
交流一直流电压试验		6.3.1	阀
操作冲击试验	5.3.2	6.3.2	阀

表 1 (续)

试 验	条 号		试验对象
	TCR/TSR	TSC	
运行试验			
周期触发及熄灭试验	5.4.1		阀或阀组件
过电流试验		6.4.1	阀或阀组件
最小交流电压试验	5.4.2	6.4.2	阀或阀组件
温升试验	5.4.3	6.4.3	阀或阀组件
电磁干扰			
操作冲击试验	7.2.1	7.2.1	阀
非周期触发试验	7.2.2	7.2.2	阀
出厂试验			
外观检查	8.1	8.1	
连接检查	8.2	8.2	
均压/阻尼回路检查	8.3	8.3	
耐压检查	8.4	8.4	
辅助设备检验	8.5	8.5	
触发检查	8.6	8.6	
冷却系统压力检查	8.7	8.7	
选项试验			
过电流试验	9.1		阀或阀组件
恢复期间瞬时正向电压试验	9.2	10.1	阀或阀组件
非周期触发试验	9.3	10.2	阀

4.2 试验对象

所描述的试验适用于阀(或阀组件)、阀结构以及分布在阀结构之内或者连接在阀结构与地之间的冷却系统、触发和监控电路。为了展示阀的正确功能,其他设备如阀控制保护和阀基电子单元在阀试验中是必须的,但它们自身不是试验对象。

4.2.1 绝缘强度试验

规定了下列绝缘应力试验:

- 交流电压;
- 交流和直流叠加电压(仅对 TSC);
- 冲击电压。

考虑到与其他设备的标准化,试验包括阀端对地以及多重阀单元相间的雷电冲击试验。对于阀端之间则只规定了操作冲击试验。

4.2.1.1 阀结构试验

规定了阀(其阀端短接)对地以及多重阀单元的阀间电压耐受能力要求的试验。

试验必须验证:

- 有足够的距离防止闪络;
- 阀结构,包括冷却管路、光导以及脉冲传输及分配系统的其他绝缘部件,没有击穿放电;

——在交流和直流情况下,局部放电的起始和熄灭电压应大于阀结构在稳态运行中出现的最高电压。

4.2.1.2 阀端间试验

此项试验是为了验证设计的阀端子之间耐受过电压的能力。试验必须验证:

- 足够的内部绝缘使阀能够耐受规定的电压;
- 在交流和直流情况下,局部放电的起始和熄灭电压应大于阀在稳态运行中出现的最高电压;
- 过电压保护触发系统(如有)可按预定值动作;
- 在运行条件下晶闸管有足够的 du/dt 能力(在大多数情况下,规定的试验足以满足要求,但在某些例外情况下可要求附加试验)。

4.2.2 运行试验

此项试验是为了验证阀的设计在正常和异常重复情况以及在暂态故障情况下,耐受电压电流联合应力的能力。试验必须验证,在规定的条件下:

- 阀运行正常;
- 开通、关断时电压电流应力都在晶闸管和其他内部电路允许范围内;
- 冷却量供应适宜,无元件过热;
- 阀有足够的过电流耐受能力。

4.2.3 电磁干扰试验

此项试验是为了验证阀对于来自阀的内部和阀的外部电磁干扰所具有的抗干扰能力。一般来说,对电磁干扰的抗干扰能力可在其他试验过程中通过对阀的监测来验证。

4.2.4 出厂试验

试验的目的在于检验制造正确性,出厂试验必须验证:

- 用于阀体的全部材料、部件和分立组件装配正确;
- 阀设备的预期功能和预定的参数都在可接受范围之内;
- 晶闸管级和阀或阀组件具备必要的电压耐受能力;
- 产品达到统一性和一致性。

4.2.5 选项试验

选项试验是按买卖双方协议进行的附加试验,目的与 4.2.2 相同。

4.3 型式试验和选项试验导则

采用以下原则:

- 按照规定,型式试验至少在一个阀或在适当数量的阀组件上进行,以验证阀设计满足规定的要求。所有型式试验应在相同阀或阀组件上进行;
- 如果可证明阀与以前试验的阀相似,供应商可提交任一份以前经证实的型式试验报告(至少要等同于合同规定要求)以取代型式试验;
- 某些型式试验既可在完整阀上也可在阀组件上进行,见表 1;
- 对于在阀组件上进行的型式试验,试验的晶闸管级总数不少于一个阀中晶闸管级的数量;
- 用于型式试验的阀或阀组件应先通过全部出厂试验。在全部型式试验完成后,阀和阀组件应按出厂试验的标准再次检验;
- 试验选样应是随机的;
- 绝缘强度试验按照 GB/T 16927.1—1997 和 GB/T 16927.2—1997 中适用的部分进行;
- 单项试验可按任意顺序进行。

注:如在绝缘强度型式试验程序末尾进行涉及局放测量的试验,可增加试验的可信度。

4.4 试验条件

4.4.1 通则

绝缘强度试验应在组装完毕的阀上进行,而某些运行试验既可在整个阀上进行也可在阀组件上进

行。可在阀组件上进行的试验项目见表 1。

4.4.1.1 绝缘强度试验

如进行绝缘强度试验,阀应组装上除避雷器以外的全部辅助部件。除非另有规定,阀电子单元应加电。应特别说明的是,除了流速和防冻液含量可以减少外,冷却和绝缘液应处于代表运行工况(比如电导率)的条件。若阀结构外的任何对象或设备在试验中正确地反映其应力是必要的话,它也应在试验中呈现或予以模拟。对于阀结构的金属部分(或多重阀单元中的其他阀),如果不是试验的对象,应予短接在一起并接地,使之适合于所做的试验。

试验采用 GB 311.1—1997 中的交流工频和雷电冲击的标准值,并执行 GB/T 16927.1~16927.2—1997 的标准步骤。当按本标准确定非标准试验水平时,应采用现场空气密度校正系数 k_d 。按下式确定 k_d 的值:

$$k_d = \frac{b_1}{b_2} \times \frac{273 + T_2}{273 + T_1}$$

式中:

b_1 ——试验室环境大气压力,单位为牛顿每平方米(N/m²);

T_1 ——试验室环境空气温度,单位为摄氏度(°C);

b_2 ——标准大气压 101.3×10^3 Pa,校正到设备安装地点的海拔高度;

T_2 ——设计的阀厅最高空气温度,单位为摄氏度(°C)。

4.4.1.2 运行试验

在条件允许的情况下,应对整个晶闸管阀进行试验,这主要应根据晶闸管阀的设计和试验设备来确定。当要对由 5 个或更多串联晶闸管级组成的阀组件进行试验时,本标准中对试验的规定是正确的。如果试验晶闸管级数少于 5 级,则要有附加的安全系数。在任何情况下,试验阀组件的串联晶闸管级数都不能少于 3 级。

有时,运行试验可在与运行频率不同的工频下进行,例如用 50 Hz 代替 60 Hz。一些运行应力如开关损耗或短路电流的 I^2t 在试验中就会受到实际工频的影响。在这种情况下,这些试验条件必须校核并做适当的改动以保证阀耐受应力至少等同于采用实际运行频率所做试验时的应力。

冷却剂应能代表实际工况。流量和温度必须设置在最不利的值下加以考验,防冻液的配比容量应尽可能与实际运行时相当。如果试验中不具备这些条件,可由买卖双方协议采用一个修正系数。

4.4.2 试验时阀的温度

4.4.2.1 绝缘强度试验时阀的温度

除非另有规定,试验应在室温下进行。

4.4.2.2 运行试验时阀的温度

除非另有规定,试验应在实际运行中可能产生的最高元件温度条件下进行。

如果部分部件的最高运行温度需要通过一个试验验证,则同样需要在不同条件下进行。

4.4.3 冗余晶闸管级

4.4.3.1 绝缘强度试验

除非另有规定,在整个阀上进行的绝缘强度试验中,冗余晶闸管级应短接。

4.4.3.2 运行试验

在运行试验中,冗余晶闸管级不应被短接。试验电压和回路阻抗应根据比例系数 k_n 进行调整。

$$k_n = \frac{N_{\text{tot}}}{N_i - N_r}$$

式中:

N_{tot} ——被试品的总的串联晶闸管级数;

N_i ——阀的总的串联晶闸管级数;

N_r ——阀的总的冗余晶闸管级数。

注：如果阀的晶闸管级数比较少，冗余级数在总级数中占有较大比例，可能会导致阀中的某些组件承受应力过大。

这时可在运行试验中仍将冗余晶闸管级短接，但试验电压和回路阻抗不再按照比例系数 k_n 进行调整。

4.5 型式试验中允许故障的元件数量

型式试验中有限个晶闸管和辅助部件的故障是允许的。阀和阀组件每次试验前都应进行检查。在任何预先的校核试验以及每项型式试验后也应进行检查以确定在试验过程中是否有晶闸管或辅助部件发生故障。型式试验中的故障晶闸管或辅助部件应在进行另一项试验之前修复。

在任何型式试验中允许 1 个晶闸管级短路故障。如果某项型式试验项目之后发现有 1 个晶闸管级短路，则应修复失效级，并重复该项试验。整个型式试验总共只允许 2 个晶闸管级短路故障。

除短路级外，在型式试验过程中和事后检验出来的有故障但未导致该级短路的晶闸管级总数不超过 2。

在全部型式试验完成之后，短路故障晶闸管级和其他故障晶闸管级的分布应大体上是随机的，不应显示有任何设计上的缺陷。

4.6 试验结果的文档

4.6.1 试验报告

供方应提供阀或阀组件全部型式试验的鉴定性试验报告。

供方应提供常规试验结果的记录。

4.6.2 型式试验报告内容

晶闸管阀应具备型式试验报告。报告应包括：

a) 一般性数据，如：

- 被试设备的标识（如类型、额定参数、图号、制造序号等）；
- 被试品主要部件标识（如晶闸管、阀电抗器、印刷电路板等）；
- 试验场所的名称和地点；
- 必要的相关环境条件（如温度、湿度、绝缘强度试验时的大气压力等）；
- 参考的试验规范；
- 试验日期；
- 负责人姓名和签名；
- 买方监造员（如有）的签名和授权证据（如要求）。

b) 用于特别试验具体试验电源（如冲击电压发生器、直流电压源等）的描述，如制造厂名、额定参数、特性等；

c) 测量仪器说明，包括保证精度及最后校验日期等；

d) 每项试验安排的详细信息（如电路图）；

e) 试验步骤的说明；

f) 经同意的偏差或放弃意见；

g) 结果列表，包括照片、示波图及图形等；

h) 元件故障及其他不正常事件的报告；

i) 如有必要，给出结论和建议。

5 TCR 和 TSR 阀的型式试验

5.1 阀端对地间的绝缘强度试验

对这些试验，每个晶闸管级应短接。

对于多重阀单元(MVU)中的阀，同一结构中其他阀的每个晶闸管级应短接并接地。试验应对多重阀单元的每个阀分别进行，除非多重阀单元的机械结构布局使之不必要。

5.1.1 交流试验

5.1.1.1 试验目的

参见 4.2.1.1。

5.1.1.2 试验值和波形

U_{ts1} 和 U_{ts2} 为 50 Hz 或 60 Hz 的正弦波形, 取决于试验设备。根据 GB 311.1—1997 的表 2, U_{ts1} 是短持续时间工频耐受电压。 U_{ts2} 可按下式计算:

$$U_{ts2} = \frac{k_{s2} \times U_{ms2}}{\sqrt{2}}$$

式中:

U_{ms2} ——任一阀端对地之间最大稳定运行电压的峰值, 包括熄灭过冲;

k_{s2} ——试验安全系数, $k_{s2}=1.2$ 。

5.1.1.3 试验步骤

在两个互连的阀端和地之间, 按照规定的时间段施加规定的试验电压 U_{ts1} 和 U_{ts2} 。

- 调节电压从 U_{ts1} 的 50% 升到 100%;
- 维持 U_{ts1} 1 min;
- 降低电压至 U_{ts2} ;
- 维持电压 U_{ts2} 10 min, 记录局部放电水平, 然后降低电压到零;
- 假如在阀中对局部放电灵敏的部件已经单独得到试验验证, 则在上一步 d) 的最后 1 min 记录下来的周期局部放电峰值应不大于 200 pC。否则, 周期局部放电峰值应不大于 50 pC;
- 起始电压和熄灭电压的测量应按照 GB/T 7354—2003 进行。

5.1.2 雷电冲击试验

5.1.2.1 试验目的

参见 4.2.1.1。

5.1.2.2 试验值和波形

采用标准 1.2/50 μ s 波形。

试验电压的峰值是与 GB 311.1—1997 表 2 或表 3 适合绝缘水平一致的标准雷电冲击耐受电压。

5.1.2.3 试验步骤

试验应分别将 3 次正极性和 3 次负极性雷电冲击施加到被短接的阀两端与地之间。

5.2 阀间绝缘强度试验(仅适用于多重阀单元)

在这些试验中, 每个阀中的每个晶闸管级都应短接。

试验应对相同结构中任两个阀间的绝缘都进行验证, 除非多重阀单元的机械结构布局使之不必要。

5.2.1 交流试验

5.2.1.1 试验目的

参见 4.2.1.1。

5.2.1.2 试验值和波形

U_{ts1} 和 U_{ts2} 为 50 Hz 或 60 Hz 的正弦波形, 取决于试验设备。根据 GB 311.1—1997 的表 2, U_{ts1} 是短持续时间工频耐受电压。 U_{ts2} 可按下式计算:

$$U_{ts2} = \frac{k_{s2} \times U_{ms3}}{\sqrt{2}}$$

式中:

U_{ms3} ——阀间最大稳态运行电压的峰值, 包括熄灭过冲;

k_{s2} ——试验安全系数, $k_{s2}=1.2$ 。

5.2.1.3 试验步骤

在阀间,按照规定的时间段施加规定的试验电压 U_{ts1} 和 U_{ts2} 。

a) 调节电压从 U_{ts1} 的 50% 升到 100%;

b) 维持 U_{ts1} 1 min;

c) 降低电压至 U_{ts2} ;

d) 维持电压 U_{ts2} 10 min,记录局部放电水平,然后降低电压到零;

e) 假如在阀中对局部放电灵敏的部件已经单独得到试验验证,则在上一步 d) 的最后 1 min 记录下来的周期局部放电峰值应不大于 200 pC。否则,周期局部放电峰值应不大于 50 pC;

f) 起始电压和熄灭电压的测量应按照 GB/T 7354—2003 进行。

5.2.2 雷电冲击试验

5.2.2.1 试验目的

参见 4.2.1.1。

5.2.2.2 试验电压和波形

采用标准 1.2 μ s / 50 μ s 波形。

试验电压的峰值是与 GB 311.1—1997 表 2 或表 3 适合绝缘水平一致的标准雷电冲击耐受电压。

5.2.2.3 试验步骤

试验应分别将 3 次正极性及 3 次负极性的冲击电压施加到各阀之间。

5.3 阀端间绝缘强度试验

对于多重阀单元中的阀,这些试验只需在一个阀上进行。相同结构中其他阀的每个晶闸管级应短路并接地。

5.3.1 交流试验

5.3.1.1 试验目的

参见 4.2.1.2。

5.3.1.2 试验值和波形

U_{iv1} 和 U_{iv2} 为 50 Hz 或 60 Hz 的正弦波形,取决于试验设备。

试验电压值 U_{iv1} 取决于阀的保护系统,并且等于 U_{iv11} 和 U_{iv12} 中的较小者。如果 U_{iv11} 和 U_{iv12} 都不能确定,则采用 U_{iv13} 。

U_{iv11} 由阀 VBO 保护触发门槛确定。

U_{iv12} 由避雷器保护动作值确定。

U_{iv13} 由能够发生的最大瞬时过电压值确定。

U_{iv11} 、 U_{iv12} 和 U_{iv13} 按下列各式进行计算:

$$U_{iv11} = \frac{k_{s11} \times U_1}{\sqrt{2}}$$

式中:

U_1 ——在配备 VBO 保护情况下阀端之间最大瞬时电压值,且恰好不会引起 VBO 保护触发系统的动作;

k_{s11} ——试验安全系数, $k_{s11} = 0.95$ 。

$$U_{iv12} = \frac{k_{s12} \times U_2}{\sqrt{2}}$$

式中:

U_2 ——跨接在阀端间的避雷器(如配备)的保护电压;

k_{s12} ——试验安全系数, $k_{s12} = 1.1$ 。

$$U_{iv13} = \frac{k_{s13} \times U_3}{\sqrt{2}}$$

式中:

U_3 ——在给定的最严重瞬时过压条件下,阀端间最大重复电压的峰值,包括熄灭过冲;

k_{s13} ——试验安全系数, $k_{s13}=1.3$ 。

注:上述试验可能因一些阀部件的过热而不能实现。在这种情况下,按买卖双方的协议,1 min 交流耐压试验可由几个较短时间段的试验代替,其最短试验时间为规定的过电压的最大可能持续时间的 2 倍,但总试验时间不短于 1 min。

试验电压 U_{iv2} 应取 U_{iv1} 和 U_{iv21} 中的较小者。 U_{iv21} 由下式确定:

$$U_{iv21} = \frac{k_{s2} \times U_{mv2}}{\sqrt{2}}$$

式中:

U_{mv2} ——最严重稳态运行条件下,阀端间最大重复电压的峰值,包括熄灭过冲;

k_{s2} ——试验安全系数, $k_{s2}=1.2$ 。

5.3.1.3 试验步骤

在给定的时间段内,在阀两端施加规定的试验电压。阀的一端可接地。

- 调节电压从 U_{iv1} 的 50% 升到 100%;
- 维持 U_{iv1} 1 min;
- 降低电压至 U_{iv2} ;
- 维持电压 U_{iv2} 10 min,记录局部放电水平,然后降低电压到零;
- 假如在阀中对局部放电灵敏的部件已经单独得到试验验证,则在上述 d) 的最后 1 min 记录的周期局部放电峰值应不大于 200 pC。否则,周期局部放电峰值应不大于 50 pC;
- 起始电压和熄灭电压的测量应按照 GB/T 7354—2003 进行。

若有 VBO 触发保护,它应在此项试验中不动作。

5.3.2 操作冲击试验

5.3.2.1 试验目的

参见 4.2.1.2。试验的另一个目的是检验阀对电磁干扰的不敏感度(参见第 7 章)。

5.3.2.2 试验值和波形

波形 1:采用接近典型熄灭波形的 20 μ s/200 μ s 波形,或用系统研究所得的近似波形代替。

注:如果设计者或用户已经研究过该参数及系统产生的操作波的波形,应按研究结果进行,包括仿真研究或模型测试以及运行经验的波形数据。

波形 2:采用标准的 250 μ s/2 500 μ s 波形。

a) 试验 1

试验验证阀保护触发系统(如果装有阀保护)在电压值达到试验电压时不动作。

波形 1 和波形 2 的试验电压值 U_{tsv1} 可按下式计算:

$$U_{tsv1} = k_s \times U_{pf}$$

式中:

U_{pf} ——在运行条件下,阀不发生保护触发系统动作时所必须耐受的冲击电压值;

k_s ——试验安全系数, $k_s=1.05$ 。

b) 试验 2

试验验证阀绝缘水平和阀保护触发系统(如果装有阀保护)的正确动作。

1) 采用避雷器保护的阀

波形 1 和波形 2 的预期试验电压值 U_{tsv2} 可按下式计算:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms}$$

式中:

U_{cms} ——避雷器保护水平;

k_s ——试验安全系数, $k_s = 1.1$ 。

2) 采用 VBO 保护的阀

波形 1 和波形 2 的预期试验电压值 U_{tsv2} 可按下式计算:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{VBO}$$

式中:

U_{VBO} ——当冗余晶闸管级一起运行时的最大 VBO 保护电压水平;

k_s ——安全试验系数, $k_s = 1.1$ 。

制造商应说明冗余晶闸管级一起运行时保护 VBO 触发范围的上下限, 并且检查触发电压确在此上下限门槛之内。

在阀电子单元没有初始储能的情况下重复此项试验。

注: 如果阀的触发电路不从主电路取能, 则不需要进行上述附加试验。

c) 试验 3

验证既不用避雷器也不用 VBO 保护时的阀绝缘水平。

波形 1 和波形 2 的试验电压值 U_{tsv2} 可按下式计算:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms}$$

式中:

U_{cms} ——按 GB 311.1—1997 预计的操作冲击电压或由绝缘配合研究确定的电压;

k_s ——试验安全系数, $k_s = 1.3$ 。

阀应能承受试验电压而不发生通断或绝缘击穿。

5.3.2.3 试验步骤

对于上述任何试验, 阀的一端接地, 在阀端间分别施加正负极性操作冲击各 3 次。

如不改变冲击发生器的极性, 也可用单极性冲击发生器, 而通过改变阀端位置来完成。

上述三个试验根据设计确定。特定的附加条件如下:

a) 试验 1

当试验电压低于保护触发水平情况下, 若阀中装有避雷器, 阀保护触发系统的运行应考虑阀避雷器的作用。

此项试验中任何保护或控制系统都不应使阀触发。

b) 试验 2

试验电压高于保护触发水平情况下(如适用), 阀保护触发系统运行, 此时 VBO 触发按检测到的单个晶闸管级电压动作, 试验应在冗余晶闸管级运行的情况下进行。

5.4 运行试验

5.4.1 周期触发和熄灭试验

5.4.1.1 试验目的

验证阀在升高电压和电流情况下, 周期开通和关断过程中的开关能力。此项试验也验证均压/阻尼电路是否正常运行以保证电压均匀分布。

如果阀设计允许单个保护触发(如 VBO)连续运行, 此项试验也用来判断保护触发电路自身的可靠性以及阻尼电路对所作用晶闸管级运行的可靠性。

5.4.1.2 试验值和波形

应验证阀耐受由短时间过电压产生的联合电压电流应力。因此, 试验条件应对应于阀实际运行中最严重的时变过电压情况(负荷周期), 同时 SVC 必须处于运行中, 且考虑到它的控制和保护特性。特

别要验证的是在负荷周期作用下产生最高晶闸管结温时,阀能够闭锁最高电压(包括熄灭过冲)的能力。

在触发和熄灭过程中,阀和阀组件所承受的电流和电压波形应尽可能接近它们的实际电流和电压,对于最严重的情况在下面规定。主要关心的是在触发初期 $10\ \mu\text{s}\sim 20\ \mu\text{s}$,以及熄灭电流过零前 $0.2\ \text{ms}$ 到过零后 $1\ \text{ms}$ 之间。

特别是对以下各种情况的考核应比实际运行更为严格:

- 开通和关断时的电压幅值;
- 开通时电流过零前至少 $0.2\ \text{ms}$ 时 di/dt ;
- 晶闸管结温。

还应考虑以下因素:

- 阀端间杂散电容的存在;
- 使晶闸管结达到全面积导通所需要的是够幅值和持续时间的电流。

5.4.1.3 试验步骤

试验应采用合适的试验电路来完成,以给出相当于运行情况的开通和关断应力,如工频电源通过一个电抗器串联到阀组件上,或一个适当的合成试验电路。

在如下所述特定运行(如强迫触发)期间,所有的影响阀运行行为的辅助系统应投入运行。

理想情况下,试验必须重现规定的时变电源电压。为了实用,采用以下修正方法:

- a) 建立最大稳态电压电流条件,维持此情况直至达到热平衡;
- b) 按照过负荷特性升高电源电压到最大值或达到相角控制可确保的最大值,试验安全系数为 1.05;
- c) 保持触发角接近 90° 恒定不变,直到在规定的暂态过电压周期产生的晶闸管结温达到最大值;
- d) 回到稳态运行情况。

应测量并核实 TCR 应最高阶跃恢复电压的熄灭过冲,保证其低于设计值。如果阀的设计允许单个晶闸管级的 VBO 保护触发连续运行,这种性能应在稳态工况下进行试验,通过长时间闭锁一个晶闸管的正常触发信号足够长的时间而使受应力部件达到热平衡状态。

注: TSR 阀的短时过载周期将是电流过载而不承受电压应力。为了达到试验目的,紧随过载之后的稳态运行应是闭锁状态,这将说明过热晶闸管能够承受闭锁电压的能力。

5.4.2 最小交流电压试验

5.4.2.1 试验目的

验证 TCR 阀的触发系统在规定的最小交流电压和运行条件下能否正常运行。

5.4.2.2 试验步骤、试验值和波形

这项试验应在一个完整的阀或阀组件上进行。试验过程如下:

- a) 加上最小短时欠电压于 TCR,它必须保持可控并持续时间为规定短时欠电压时间的 2 倍;
- b) 在 $\alpha_{\min}$ 和 $\alpha_{\max}$ 间改变控制角 α ;
- c) 重复 b),降低(连续或逐级)电压到零(或保护动作水平),以验证这种情况下不会对阀造成危害。

注:根据阀的设计,在每个欠电压步骤以后,为了补充门极功率,应返回最小稳态交流电压值。

5.4.3 温升试验

5.4.3.1 试验目的

此项试验主要目的在于说明最主要的发热部件所造成的温升仍在规定范围内,证明元件和材料在不同的稳态运行情况中都不处于过热状态,并且冷却系统也是充裕的。

5.4.3.2 试验过程

这项试验应在一个完整的阀或阀组件上进行。

对于最严酷的冷却条件,阀应承受的电压电流应力产生的损耗比规定的实际工况下的损耗大 5%。