ICS

中国南方电网有限责任公司企业标准

Q/CSG XXXXX—2015

|  |
| --- |
|  |

柔性直流输电换流器技术规范

Technical specification of converters for high-voltage direct current (HVDC) transmission using voltage sourced converters (VSC)

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国南方电网有限责任公司 发布

目  次

[前言 III](#_Toc435452834)

[1 范围 1](#_Toc435452836)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc435452837)

[3 术语和定义 1](#_Toc435452838)

[3.1 额定直流电流 rated direct current 1](#_Toc435452839)

[3.2 最大直流电流 maximum direct current 2](#_Toc435452841)

[3.3 短时过载（过负荷）直流电流 short time overload direct current 2](#_Toc435452843)

[3.4 额定直流电压 rated direct voltage 2](#_Toc435452847)

[3.5 额定直流功率 rated direct power 2](#_Toc435452848)

[4 文字符号和缩略语 2](#_Toc435452849)

[4.1 文字符号 2](#_Toc435452850)

[4.2 缩略语 2](#_Toc435452853)

[5 使用条件 2](#_Toc435452854)

[5.1 一般使用条件的规定 2](#_Toc435452855)

[5.2 特殊使用条件的规定 3](#_Toc435452856)

[6 技术参数和性能要求 3](#_Toc435452867)

[6.1 总则 3](#_Toc435452868)

[6.2 换流器电气结构 3](#_Toc435452888)

[6.3 阀设计 5](#_Toc435452889)

[6.4 机械性能 6](#_Toc435452890)

[6.5 电气性能 6](#_Toc435452891)

[6.6 冗余度 7](#_Toc435452892)

[6.7 阀损耗的确定 7](#_Toc435452919)

[6.8 阀冷却系统 7](#_Toc435452931)

[6.9 防火防爆设计 8](#_Toc435452932)

[6.10 阀控制保护设计 8](#_Toc435452933)

[7 试验 8](#_Toc435452934)

[7.1 试验总则 8](#_Toc435452935)

[7.2 型式试验 8](#_Toc435452936)

[7.3 例行试验 10](#_Toc435452937)

[7.4 长期老化试验 11](#_Toc435452938)

[7.5 现场试验 11](#_Toc435452939)

[8 其它要求 11](#_Toc435452940)

[8.1 质量及使用寿命 11](#_Toc435452941)

[8.2 尺寸和重量 11](#_Toc435452942)

[8.3 铭牌 12](#_Toc435452943)

[8.4 包装和运输 12](#_Toc435452944)

[8.5 安装 12](#_Toc435452945)

[8.6 备品备件 12](#_Toc435452946)

[8.7 专用工具和仪表 12](#_Toc435452947)

[附　录　A （资料性附录） 换流器技术参数表 13](#_Toc435452948)

[附　录　B （资料性附录） 换流器及其附属设备损耗表 15](#_Toc435452949)

前  言

本标准参照了IEC62747《基于电压源换流器的高压直流系统术语》及IEC62501《高压直流输电用电压源换流器阀-电气试验》，规定了柔性直流输电用换流器的使用条件、技术性能和参数要求。该技术规范的适用范围、规范化引用文件、符号和缩写、术语和定义在规范中进行了描述。

本标准的附录A为资料性附录。

本标准由公司设备部、南方电网科学研究院有限责任公司提出。

本标准起草单位：南方电网科学研究院有限责任公司。

本标准主要起草人：

本标准在执行过程中的意见或建议可反馈至\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

柔性直流输电换流器技术规范

1. 范围

本标准规定了柔性直流输电用模块化多电平换流器阀（以下简称阀）设计的基本要求。

本标准适用于水冷却、空气绝缘、户内安装的阀。

1. 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，仅所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 3859.1 半导体变流器 基本要求的规定（GB/T 3859.1-1993，eqv IEC 60146-1-1:1991）

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

GB/T 17741 工程场地地震安全性评价

GB/T 20989 高压直流换流站损耗的确定（GB/T 20989-2007，IEC 61803:1999,IDT）

GB 26218.1-2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分：定义、信息和一般原则

GBT 29629-2013 静止无功补偿装置水冷却设备

GBT 30425-2013 高压直流输电换流阀水冷却设备

GB/T30553 基于电压源换流器的高压直流输电

GB/T XXXX-XXXX 高压直流输电用电压源变流器（VSC）阀--电气试验(IEC 62501：2014 ,IDT)（待发布）

GB 50260-2013 电力设施抗震设计规范

IEC 62271-2 高压开关设备和控制设备.第2部分:额定电压72.5kV及以上的地震特性

IEC 62747：2014 用于高压直流输电的电压源换流器术语[Terminology for voltage-sourced converters (VSC) for high voltage direct current(HVDC) systems]

IEC 62751-1：2014 用于高压直流输电的电压源换流器损耗的确定 第1部分：基本要求[Power losses in voltage sourced converter(VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems-part 1:General requirements]

IEC 62751-2: 2014 用于高压直流输电的电压源换流器损耗的确定 第2部分：模块化多电平换流器[Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems-part 2:Modular multilevel converters]

1. 术语和定义

GB/T 13498和IEC 62747界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

* 1. 额定直流电流 rated direct current

按规定的运行条件下，换流器允许长期向负载连续输出的直流电流。

* 1. 最大直流电流 maximum direct current

在规定的运行条件下，换流器长期向负载连续输出的直流电流最大值。

* 1. 短时过载（过负荷）直流电流 short time overload direct current

在规定的运行条件下，换流器短时（如3 s）向负载连续输出的直流电流最大值。

1. 一般在不同冷却媒质和环境温度下有不同值。
   1. 额定直流电压 rated direct voltage

在规定的运行条件下，换流器输出的直流电压。

* 1. 额定直流功率 rated direct power

额定直流电压与额定直流电流之积。

1. 文字符号和缩略语
   1. 文字符号

下列符号适用于本文件。

**功率模块电容放电时间常数

*ΔT* 阀进出水温差

*C* 冷却液的比热常数

*F*r  单桥臂中串联功率模块冗余度

*k*d 单桥臂总电压分布系数

*k*dm  设计余量系数

*N*t  单桥臂中串联功率模块总数

*N*r  单桥臂中串联功率模块冗余数

*P*T  阀总损耗

*P*AV 功率器件的稳态损耗

Δ*P* 功率器件的瞬态损耗与稳态损耗之差

*q* 冷却液流量

*R*jc 功率器件的结壳热阻

*R*ja 功率器件的总热阻

Tmin 功率模块电容放电时间

* 1. 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IGBT 绝缘栅双极型晶体管

IEGT 注入增强栅型IGBT

1. 使用条件
   1. 一般使用条件的规定
      1. 抗震要求

阀设计应考虑换流站站址的地震条件，按照IEC 62271-2、GB 50260-2013、GB/T 17741的要求设计。

* + 1. 阀的正常使用环境条件

阀设计应考虑环境条件，包括以下方面：

1. 阀厅一般按海拔1000 m设计（海拔高于1000 m时，应根据相关标准修正设计）；
2. 阀厅正常温度范围为10℃～50℃；
3. 相对湿度最大值为60％；
4. 污秽等级为户内，爬电比距一般为14mm/kV；
5. 阀厅应保持微正压。
   * 1. 阀控制保护设备的环境条件

阀控制保护设备设计应考虑环境条件，包括以下方面：

1. 户内，带通风和空调，需控制湿度和空气温度以防止发生凝露；
2. 正常温度范围为5℃～45 ℃；
3. 相对湿度为25～60%；
   1. 特殊使用条件的规定

超出5.1条款规定使用条件为特殊使用条件，特殊使用条件的规定应该询价和订货时说明，并在工程技术规范中提出，制造商在设计时充分考虑。

1. 技术参数和性能要求
   1. 总则

换流器必须结构合理、运行可靠、维护方便。换流器不仅应具有承受正常运行电压和电流的能力，而且还应具有承受由于站内各部分故障或交流系统故障造成的冲击电压和电流的能力。换流器必须设计成故障容许型。在两次计划检修之间的运行周期内，阀元部件的故障或损坏不会造成更多元部件级的损坏。

* + 1. 额定直流电压等级

额定直流电压（kV）可在下列数值中选取，具体值由业主和制造商确定。

60，160，320，400，500，640，700，1000。

* + 1. 额定直流电流等级

额定直流电流（A）可在下列数值中选取，具体值由业主和制造商确定。

156，250，312.5，500，625，750，1000，1250，1429，1560，2000，2500，3000。

以上额定值是参考GB/T 3859.1的要求，结合已有直流工程的电压、电流等级在R10数系中选取的。

* 1. 换流器电气结构
     1. 概述

柔性直流输电系统多采用模块化多电平换流器拓扑结构。单个换流器一般由三相、六个桥臂组成。每相桥臂包含若干个阀塔。每个阀塔一般分层布置有多个阀段，每个阀段由多个功率模块串联组成。

* + 1. 功率模块

最小换流电路单元，具备完整的交直流变换功能。主要（至少）由两个开关器件（IGBT、IEGT等全控型电力电子器件）和一个直流电容器构成。功率模块（半桥型）的典型结构如图1所示。

* + 1. 阀段

阀段由若干个相同的功率模块串联组成，每个阀段所承受的电压为功率模块数乘以每个功率模块的工作电压。阀段结构示意如图1所示。

* + 1. 阀塔

阀塔由若干个阀段组成，采用独立的支撑/悬吊结构。

* + 1. 桥臂

若干个阀塔与一个桥臂电抗器构成一个桥臂。桥臂结构示意如图1所示。

* + 1. 相单元

每相的上、下桥臂构成一个相单元。相单元结构示意如图1中方框内所示。

* + 1. 换流器

通常由3个相单元构成。换流器结构示意如图1所示。



1. 换流器拓扑结构
   1. 阀设计
      1. 一般要求

阀的设计应满足柔性直流输电工程技术规范的要求，能够承受正常运行以及由于设备故障或系统故障引起的应力。

在规定的运行周期和冗余范围内，应保证阀在某些部件发生故障或损坏时，仍具有正常的运行能力。

阀设计时应考虑以下基本技术要求（但不限于）：

1. 阀塔类型；
2. 阀组成元件的类型和数量，包括功率器件、直流电容器等；
3. 阀保护类型；
4. 阀电压应力，包括过电压水平等；
5. 阀电流应力，包括故障电流、过载等；
6. 阀冷却系统形式和相关技术参数。
   * 1. 功率模块各组件选型设计
        1. IGBT/IEGT

IGBT/IEGT的选型需考虑集电极-发射极直流电压、集电极连续电流、集电极重复峰值电流、结温、封装形式、裕度等。

* + - 1. 二极管（如有）

二极管的选型应考虑正向直流电流、正向重复峰值电压、正向重复峰值电流、*I*2*t*、裕度等。

* + - 1. 电容器

电容器主要确定如下几个方面的参数：

1. 容值, 应满足功率模块电压波动的要求。
2. 额定工作电压，通常大于1.1倍的功率模块额定工作电压。
3. 额定工作电流，可根据工程设计需求，并考虑一定裕度选取。
   * + 1. 放电电阻

电容器应配置放电电阻。放电电阻值的选择应综合考虑功率模块静态均压、放电时间及运行损耗要求。静态均压指的是在不依赖于控制系统情况下阀的自然均压能力。放电时间一般取4-5倍放电时间常数，且考虑在放电结束时功率模块电容器残压小于安全操作电压。运行损耗选择时需要考虑模块直流电压波动的影响，可以选取1.1倍功率模块额定直流电压。

* + - 1. 取能电源

主要考虑取能电源正常工作的输入电压范围，满足最低启动电压、最高耐受电压要求，需考虑其局部放电、温升、绝缘、抗电磁干扰能力等。

* + - 1. 旁路开关

主要考虑旁路开关的动作时间（一般小于5ms）、操作功率以及和功率模块参数的配合（如耐受电流、额定电压等）。

* + - 1. 旁路晶闸管（如有）

主要考虑晶闸管伏安特性与二极管伏安特性的匹配，以及额定电流和*I*2*t*参数。系统故障后，晶闸管经受的电流能量累积不应超过其承受能力。

* + - 1. 控制电路

应考虑在阀带电情况下可靠实现规定的控制保护和测量功能。包括但不仅限于：触发控制、旁路控制、阀过电流保护等。

* + - 1. 电容电压测量传感器

电容电压测量传感器应遵循以下几点：

1. 测量范围、准确度及精度应满足功率模块测量需要；
2. 测量输出不易受到外界因素干扰；
3. 测量接口可匹配板卡设计需要；
4. 绝缘强度能够满足工程应用等。
   1. 机械性能

包括以下方面：

1. 阀的机械结构应简单而坚固，能承受6.1.1规定的抗震要求及检测人员到阀体上工作时产生的应力。阀宜设计为组件式，便于安装、检修和更换；
2. 阀中的各种金属构件应具有耐腐蚀特性，以保证阀的设计寿命；
3. 阀中的各种非金属构件应具有耐电弧特性，避免因放电而导致快速老化；
4. 阀中与冷却水接触的各种材料，应具有耐受表面腐蚀和老化的能力，以保证阀的设计寿命；
5. 阀中的光纤布置应便于光纤通道内相关部件的更换；
6. 阀的冷却设计应避免在运行期间出现冷却水泄漏或堵塞，并保证在发生冷却水少量泄漏时，阀仍能运行，并发出报警信号。阀的结构设计应考虑保证泄漏出的液体自动沿沟槽流出，离开带电部件；
7. 阀的机械结构设计应考虑在一根支撑（或悬吊）绝缘子损坏的情况下，剩余支撑（或悬吊）绝缘子承受的负荷不超过其额定机械强度的50％。
   1. 电气性能
      1. 阀电压耐受能力

阀的绝缘性能设计应考虑阀和阀支架耐受交直流电压、操作、雷电、陡波前冲击电压的能力，并能满足规定范围内电晕及局放要求。

阀的过电压能力设计中应考虑足够的安全系数，并能承受各种过电压的要求。安全系数的确定除考虑电压不均匀分布、过电压保护水平的分散性外，还应考虑阀内非线性因素对阀耐压能力的影响。

结合工程的实际情况，考虑适宜的绝缘裕度系数，在假定所有冗余功率模块都损坏的情况下，确定阀的绝缘裕度。

需计算功率器件在各种故障下的耐受能力，以确定功率模块的试验电压。计算时，耐受各种电压的功率模块数为*N*t-*N*r。

由于串联电路电压分配的不均匀性，阀电压设计应考虑在各种情况下的电压分布系数*k*d。*k*d的大小与阀的均压回路、功率器件、冷却水路等的设计有关。

为了得出运行中功率器件的最大耐受电压值，应考虑设计余量系数*k*dm。*k*dm的选择与电压应力形式有关。

* + 1. 阀电流耐受能力

阀电流耐受能力设计时应考虑阀各部件（功率器件、电容器等）承受正常运行电流和暂态过电流的水平，包括幅值、持续时间、周期数、电流上升率等，同时还应考虑足够的安全裕度。阀暂态过电流与故障类型、交流系统短路容量、直流系统电压、功率模块数、模块电容值以及桥臂电抗值等有关。

交流系统故障（三相短路、相间短路及接地故障）和直流系统故障（极间短路、桥臂短路及接地故障）等都会产生暂态过电流。

在某些工况下，暂态过电流远远超出阀各部件（功率器件、电容器等）的过电流能力，如桥臂短路时（不经桥臂电抗器，相当于电容器经故障回路放电），若未采取措施，将产生幅值非常大的暂态过电流，远远超出阀各部件本身过电流能力，势必会对功率模块造成破坏。阀设计应考虑此种工况。

阀设计时主要考虑直流极间短路故障下暂态过电流对阀各部件的影响，此时的暂态过电流相当于交流系统三相短路电流和功率模块电容器放电电流的叠加。

短时过载电流取决于阀的损耗、冷却条件、环境条件、功率器件等部件的温度限值，依据工程技术规范对短时过载电流的要求，设计阀各部件（主要包括功率器件、电容器等）及冷却系统。

* 1. 冗余度

在单阀中，除了耐受规定试验电压的功率模块串联数，还应考虑冗余模块数。规定的冗余度*F*r应保证在两次计划检修之间的运行周期内，单桥臂模块损坏数量不应超过冗余模块数。

冗余度*F*r的计算，见式（1）：

*F*r= *N*r/(*N*t－*N*r) ……………………………………………(1)

* 1. 阀损耗的确定

阀损耗由功率器件的损耗和阀内辅助系统元件或设备的损耗组成，主要包括：阀通态损耗、阀开关损耗、放电电阻损耗、电容器损耗、控制板等其他电路板卡的损耗。阀的总损耗即为以上损耗之和。

阀各部分损耗计算按GB/T 20989、GB/T 30553、IEC 62751-1和IEC 62751-2的规定进行。

* 1. 阀冷却系统

阀冷却系统是阀的重要组成部分，分为内冷却系统和外冷却系统。内冷却系统又称为一次循环水系统，主要用来吸收功率器件及其辅助元件产生的热量。外冷却系统的主要功能是对一次循环水系统进行冷却。

阀冷却系统应满足《GBT 30425-2013 高压直流输电换流阀水冷却设备、GBT 29629-2013 静止无功补偿装置水冷却设备》的要求。

阀的进、出口冷却水的温差按式（5）计算：

…………………………………………………(6)

式中：

△*T*——阀冷却水进、出口温差（K）；

*P*T ——阀总损耗（W）；

*q* ——冷却水流量（kg/s)；

*C* ——冷却水的比热常数[J/（kg·K）]。

* 1. 防火防爆设计

为了减小火灾的风险，阀在设计上应尽可能消除导致火灾的任何因素，将火灾在阀内蔓延的可能性降至最低。设计应遵守以下原则：

1. 阀内的非金属材料宜是阻燃的，并具有自熄灭性能；
2. 避免电子元件超过其耐受的热应力；
3. 减少电接触点的数量，所有电接触点使用螺栓紧固；
4. 应采用无油元件；
5. 减小绝缘部分的电势差，避免在污染和潮湿环境下产生较大的泄漏电流；
6. 功率模块结构设计应考虑各组件爆炸的可能性，不得使模块内部事故范围扩大。
   1. 阀控制保护设计
      1. 基本要求

阀控制保护应设计为完全冗余系统，并具有完善的自检功能和符合规范要求的接口，用于触发和监测阀。阀控制保护的故障不应造成阀损坏。

* + 1. 功能设计

阀控制保护应能接收上级控制保护系统发送的控制信号，将其转换为控制脉冲后分配给功率模块控制器，对功率模块的状态进行监测并上报至上级控制保护系统。

功率模块控制板实现功率模块单元的控制、电容电压监测和功率模块状态监测，并将电容电压、模块状态等信息回报给阀控制保护系统。

任一功率模块损坏时，阀控制保护应发出报警信号。如果功率模块损坏数超过冗余数，应向上级控制保护系统发出跳闸请求。

* + 1. 接口设计

阀控制保护应具备（但不限于）与上级控制保护系统、时钟同步系统、故障录波系统和测量系统的通讯接口。

1. 试验
   1. 试验总则

试验应按照本标准以及GB/T XXXX-XXXX《高压直流输电用电压源换流器（VSC）阀--电气试验》的规定进行，并提供完整的试验报告，要求进行的试验应完全包括但不局限于本标准规定的试验项目。

* 1. 型式试验
     1. 总则

阀的每一种设计都应以本标准规定的型式试验为依据。若阀确实与以前试验过的类似，卖方可提交以前的型式试验报告替代进行型式试验供买方考虑。同时应提出一个独立的报告详述设计的差异并论证参照的型式试验如何能满足所设计试品的试验目的。

* + 1. 阀级适用的判据

阀级适用的判据如下：

1. 第5章所列出的某项型式试验，有一个以上的阀级（若更多，且超过受试阀级的1%）发生短路或开路，则认为该阀未通过型式试验；
2. 若下面的某项型式试验中，有一个阀级（或更多，若仍在1%限制之内）发生短路或开路，则应修复故障级并重复该项型式试验；
3. 若在所有型式试验期间，短路或开路的阀级数量累计大于受试阀级的3%，则认为该阀未通过型式试验；
4. 每个型式试验后应检查阀或阀组件，以判断是否有阀级发生短路或开路。在进一步试验前，型式试验中或型式试验后发现的故障IGBT/二极管或辅助元件可以更换；
5. 完成试验程序后，阀或阀组件应经历一系列检查试验，至少应包括如下几项：
   1. 检查阀级的电压耐受能力；
   2. 检查门极电路；
   3. 检查监测电路；
   4. 检查阀各组成部分的所有保护电路；
   5. 检查均压电路。
6. 检查试验期间发生短路的阀级数量应作为上面定义的验收判据的一部分。除了短路的级之外，在型式试验程序和后来的检查试验中发生的，未导致阀级短路后果的故障阀级总数，无论多么少，也不得超过在绝缘和运行试验中受试阀级数的3%。若这样的级数超过了3%，应对故障的性质及其成因进行复查，若需进一步采取措施，买方与卖方应达成一致；
7. 当用百分比准则来决定允许的短路或开路阀级最大数目和允许的未导致短路或开路的故障阀级最大数目，通常是向上取整，如表2所示。
8. 型式试验中允许损坏的阀级数量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 受试的阀级的数量 | 在任一单项型式试验中允许出现的短路或开路阀级数 | 在全部型式试验中允许出现的短路或开路阀级总数 | 在全部型式试验中其它的未导致短路或开路的故障阀级数 |
| 33及以下 | 1 | 1 | 1 |
| 34～67 | 1 | 2 | 2 |
| 68～100 | 1 | 3 | 3 |
| 其它 |  |  |  |

全部型式试验完成后，短路或开路的阀级和其它故障阀级分布基本上应是随机的，不呈现能说明设计缺陷任何规律。

* + 1. 整体阀的适用判据

阀的多个阀级互联的公共电气设备不允许击穿或外部闪络，或者构成阀结构的绝缘材料部分、冷却水管、光导或脉冲传输及分配系统不允许有破坏性放电。

元件、导体表面连同相应载流结点和联接件的温度，以及相邻物体表面的温度在任何时候均应保持在设计允许的范围内。

* + 1. 型式试验项目

表2列出了本标准规定的型式试验项目（包括但不限于）。

1. 型式试验项目

|  |  |
| --- | --- |
| 试验类型 | 试品 |
| 最大连续运行负荷试验 | 阀或阀组件 |
| 最大暂态过负荷运行试验 | 阀或阀组件 |
| 最小直流电压试验 | 阀或阀组件 |
| 阀支架直流电压试验 | 阀支架 |
| 阀支架交流电压试验 | 阀支架 |
| 阀支架操作冲击试验 | 阀支架 |
| 阀支架雷电冲击试验 | 阀支架 |
| 多重阀单元对地直流电压试验 | 多重阀单元 |
| 多重阀单元交流电压试验 | 多重阀单元 |
| 多重阀单元操作冲击试验 | 多重阀单元 |
| 多重阀单元雷电冲击试验 | 多重阀单元 |
| 阀交流-直流电压试验 | 阀（或阀组件，若买方与卖方达成一致） |
| 阀操作冲击试验 |
| 阀雷电冲击试验 |
| IGBT过电流关断试验 | 阀或阀组件 |
| 短路电流试验 | 阀或阀组件 |
| 阀抗电磁干扰试验 | 阀（或阀组件，若买方与卖方达成一致） |

* 1. 例行试验
     1. 总则

包括部件总装的试验，这些部件是阀、阀组件或它们的保护、控制和检测辅助电路的一部分。本章不包括阀、阀支架和阀结构中使用的独立部件的试验。

例行试验的目的是为了通过验证下述几种情况，来证明制造的正确性：

1. 阀中所用的所有部件和组件已按照设计正确安装；
2. 阀设备的预期功能和参数在规定的验收范围内；
3. 阀组件和IGBT-二极管对级（视情况而定）具有足够的电压耐受能力；
4. 实现了产品的一致性和均匀性。
   * 1. 试品

为工程所制造的所有阀组件或其部件都应经过例行的产品试验。试验应在阀组件或单独阀级上进行，视设计和试验条件而定。

* + 1. 例行试验项目

下面给出本标准规定的试验项目，包括但不限于：

* + - 1. 外观检查。按照产品的最新批准后的版本，检查所有材料和部件是完好的且安装正确。
      2. 连接检查。检查所有主要的载流连接正确。
      3. 均压回路检查。检查均压回路的参数，施加从直流到冲击波形的电压，从而确认电压在串联的阀级上的分配是正确的（若适用）。
      4. 控制、保护和监测回路检查。检查组成阀的主要部分的控制、保护和监测回路的功能，如IGBT门极驱动电路和任何本地保护或监测回路。如果有必要进行型式试验和熔断保护的有效性试验，应该单独对试验条件进行详细说明。
      5. 电压耐受检查。检验阀部件能耐受对阀规定的最高电压。应包括交流-直流试验电压和操作冲击试验电压（若适用）。
      6. 局部放电试验。为了检验生产正确，买方和卖方应协商哪个部件和组件是设计的关键，需要进行适当的局部放电试验。
      7. 开通/关断检查。检查每个阀级中IGBT按照开关命令正确地开通和关断。
      8. 压力试验。检查没有出现冷却液泄漏（仅适用于液体冷却的阀）。
  1. 长期老化试验

对于采用水冷却的阀，因阀结构内具有塑料或橡胶管道，换流器应进行适当的老化试验。卖方通过试验应估计温度、弯曲或变形所产生的应力和电场的影响以及这些因素的综合影响。卖方应向买方提供有关曲线，详细地描述在运行寿命期限内的劣化程度并由此判断此种材料的劣化特征，是否是线性的、指数型的或者是可以预计的。

对于功率模块的控制、监测及保护等板卡，卖方应完成严格的老化试验。

* 1. 现场试验

现场试验主要目的是检验系统与换流站内一次系统及其它设备的配合，系统的各项功能是否实现，系统的性能指标是否达到，并对各子系统间的接口、通信、切换及自诊断等进行全面的检验。

现场试验将分为设备调试、分系统调试、系统调试和试运行等四个阶段。制造商需提交与自己供货的换流器相关的设备和分系统调试大纲供买方参考。制造商应按照本规定、技术规范和订货说明的要求，

以及买方批准的设备和分系统调试大纲，配合安装单位完成设备调试和分系统调试。

制造商应密切配合买方、监理单位、安装单位、系统研究与成套设计单位、设计单位及其它相关厂家，按照买方批准的系统调试大纲完成系统调试。

1. 其它要求
   1. 质量及使用寿命

换流器及其部件应采用优质材料及先进工艺，并在各方面符合相关标准规定的质量、规格和性能。制造商应保证换流器在正确安装、正常操作和保养条件下，使用寿命满足技术规范和订货说明要求。

* 1. 尺寸和重量

制造商应按工程要求，提供安装重量和安装尺寸。

* 1. 铭牌

换流器应有铭牌。铭牌用耐腐蚀材料制成，字样、符号应清晰耐久。铭牌的安装位置在正常运行时应明显可见。

换流器铭牌应包含以下信息：

——型号；

——额定直流电压；

——额定直流电流；

——功率模块数；

——阀塔结构型式；

——重量；

——制造商名称；

1. 出厂日期。
   1. 包装和运输

换流器的包装应满足运行重量与运输尺寸的限度要求，并采取相应的防水、防潮措施。

供应商运输钱应确定运输过程中耐受冲撞的能力，并进行运输过程中的冲撞记录。

* 1. 安装

换流器的安装将由买方根据供应商提供的技术文件和说明书的规定在买方技术人员指导下进行。

制造商在安装和启动时应根据买方的要求安排足够的技术人员提供现场安装指导服务，提出技术建议，不得影响工期进展。

完成设备安装后，买方和卖方应检查和确认安装工作，并签署安装工作证明书。

* 1. 备品备件

制造商应向买方提供技术规范和订货说明中要求的必备的备品备件。

* 1. 专用工具和仪表

制造商应向买方提供技术规范和订货说明中要求的专用工具和仪器仪表。

1. （资料性附录）  
   换流器技术参数表

以下换流器技术参数表仅适用于柔性直流输电用模块化多电平换流器阀。

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | |
| 1  功  率  模  块 | 数量（不包括冗余） |
| 功率模块冗余数量 |
| 额定电压（V） |
| 额定电流（A） |
| 过电流能力（A） |
| 1.1  开  关  器  件 | 功率模块开关类型 |
| 开关频率（Hz） |
| 额定电压（V） |
| 工作电压（V） |
| 标称电流（A） |
| 1.2反并  联二  极管 | 数量 |
| 反向阻断电压（V） |
| 1.3直  流  电  容 | 数量 |
| 额定电压（V） |
| 过压能力（V） |
| 容值 |
| 杂散电感（nH） |
| 电容器类型 |
| 桥臂间电容平衡度 |
| 1.4  放电电阻 | 技术要求 |
| 1.5  旁路开关 | 数量 |
| 额定电压（V） |
| 额定电流（A） |
| 主触点响应时间（ms） |
| 辅助触点响应时间（ms） |
| 1.6  晶  闸  管 | 数量 |
| 额定电压（V） |
| 额定电流（A） |
| 2  绝缘水平 | 换流阀端子间的操作冲击耐受水平（kV） |
| 换流阀端对地的操作冲击耐受水平（kV） |
| 换流阀端子间的雷电冲击耐受水平（kV） |
| 换流阀端对地的雷电冲击耐受水平（kV） |
| 3  谐波 | 换流站额定运行时联接变阀侧交流谐波电压(不包括背景谐波) |
| 直流电压波动 |
| 4换流阀损耗（包括水冷等阀辅助设备，kW） | |
| 5冷却方式 | |
| 6绝缘方式 | |
| 7安装方式 | |

1. （资料性附录）  
   换流器及其附属设备损耗表

制造商应计算换流阀在技术规范及订货要求中规定的各种运行工况下的损耗计算值。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 损耗类别 | 损耗功率（kW） | 损耗计算参数名称 | 数值 |
| IGBT导通损耗（PV1） |  | 阈值电压（V0T） |  |
| 斜率电阻（R0T） |  |
| T1电流平均值（IT1av） |  |
| T1电流有效值（IT1rms） |  |
| T2电流平均值（IT2av） |  |
| T2电流有效值（IT2rms） |  |
| 二极管导通损耗（PV2） |  | 阈值电压（V0D） |  |
| 斜率电阻（R0D） |  |
| D1电流平均值（ID1av） |  |
| D1电流有效值（ID1rms） |  |
| D2电流平均值（ID2av） |  |
| D2电流有效值（ID2rms） |  |
| 其他导通损耗（PV3）[[1]](#footnote-1) |  | 流经第k个串联元件电流有效值（Irms\_k） |  |
| 第k个串联元件阻值（Rs\_k） |  |
| 直流电压产生损耗（PV4）[[2]](#footnote-2) |  | 功率模块直流电压有效值（Urms） |  |
| 功率模块并联损耗电阻（Rdc） |  |
| 直流电容损耗（PV5） |  | 直流电容电流有效值（Icrms） |  |
| 直流电容串联电阻值（RESR） |  |
| IGBT开关损耗（PV6） |  | T1平均开通损耗（Eon,T1） |  |
| T2平均开通损耗（Eon,T2） |  |
| T1平均关断损耗（Eoff,T1） |  |
| T2平均关断损耗（Eoff,T2） |  |
| 二极管关断损耗（PV7） |  | D1平均关断损耗（Eoff,D1） |  |
| D2平均关断损耗（Eoff,D2） |  |
| 缓冲电路损耗（PV8）（如有） |  | 开通损耗（Esn,on） |  |
| 关断损耗（Esn,off） |  |
| 功率模块去能电源损耗（PV9） |  |  |  |
| 控制板损耗（PV10） |  |  |  |
| 桥臂电抗器损耗 |  |  |  |
| 阀冷却系统损耗 |  |  |  |
| 总损耗（PVT） |  |  |  |

计算结温：

|  |  |
| --- | --- |
| 元件 | 结温（℃） |
| T1 |  |
| T2 |  |
| D1 |  |
| D2 |  |

1. 应包含桥臂电抗、母线、铜排连接件损耗等串联元件，可分多行 [↑](#footnote-ref-1)
2. 将单个功率模块的放电电阻、冷却水管等合并为一个等效损耗电阻进行计算 [↑](#footnote-ref-2)