



中华人民共和国国家标准

GB/T 38328—2019

柔性直流系统用高压直流断路器的 共用技术要求

Common specifications of high-voltage direct current circuit-breakers for
high-voltage direct current transmission using voltage sourced converters
(VSC-HVDC)

2019-12-10 发布


2020-07-01 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	V
引言	VI
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
5.1 概述	4
5.2 额定直流电压(U_{dN})	4
5.3 额定绝缘水平	5
5.4 额定直流电流(I_{dN})	5
5.5 额定预期短路电流	5
5.6 额定截断电流	5
5.7 辅助和控制回路的额定电源电压	5
5.8 辅助和控制回路的额定电源频率	5
5.9 绝缘和/或开合用的额定充入水平	6
5.10 无线电干扰电压水平(RIV)	6
6 设计与结构	6
6.1 概述	6
6.2 直流断路器中液体的要求	6
6.3 直流断路器中气体的要求	6
6.4 抗震能力	6
6.5 端子机械负荷	6
6.6 辅助和控制设备	6
6.7 动力操作	6
6.8 储能操作	6
6.9 冷却设备	6
6.10 铭牌	7
6.11 位置指示	7
6.12 外壳提供的防护等级	7
6.13 爬电比距	7
6.14 气体和真空的密封	7
6.15 液体的密封	8

6.16	火灾危险(易燃性)	8
6.17	电磁兼容性(EMC)	8
6.18	X射线发射	8
6.19	腐蚀	8
7	型式试验	8
7.1	概述	8
7.2	绝缘试验	9
7.3	无线电干扰试验	10
7.4	主回路电阻的测量	10
7.5	最大持续运行直流电流试验	10
7.6	短时耐受电流试验	10
7.7	防护等级验证	10
7.8	密封试验	10
7.9	电磁兼容性(EMC)试验	10
7.10	常温下的机械操作试验	10
7.11	端子静负载试验	11
7.12	关合和开断试验	11
7.13	真空灭弧室的X射线试验程序	12
7.14	抗震试验	12
7.15	通信一致性测试	12
7.16	冷却设备试验	12
8	出厂试验	12
8.1	概述	12
8.2	主回路的绝缘试验	13
8.3	辅助和控制回路的试验	13
8.4	主回路电阻的测量	13
8.5	密封试验	13
8.6	设计和外观检查	13
8.7	机械操作试验	13
9	直流断路器的选用导则	13
9.1	概述	13
9.2	直流断路器额定值的选择	13
9.3	直流断路器型式选择	13
10	查询、投标和订货时提供的资料	15
10.1	概述	15
10.2	询问单和订单的资料	15
10.3	标书的资料	15

11 运输、储存、安装、运行和维护规则	15
11.1 概述	15
11.2 运输、储存和安装的条件	16
11.3 安装	16
11.4 运行	16
11.5 维修	16
12 安全	16
13 产品对环境的影响	16
附录 A (资料性附录) 国内某柔性直流输电系统用高压直流断路器的参数值	17
附录 B (资料性附录) 直流断路器试验回路和试验电流波形	19
参考文献	20
	
图 1 机械式直流断路器	14
图 2 电力电子式直流断路器	14
图 3 混合式直流断路器	14
图 B.1 直流断路器试验回路示意图	19
图 B.2 直流断路器开断试验波形示意图	19
表 1 爬电比距与相应盐密	7
表 2 型式试验项目	8
表 3 试验方式	11
表 A.1 国内某个±500 kV 柔性直流输电系统用直流断路器的主要技术参数	17
表 A.2 国内某个±160 kV 柔性直流输电系统用直流断路器的主要技术参数	17
表 A.3 国内某个±10 kV 柔性直流输电系统用直流断路器的主要技术参数	18

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

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。

本标准起草单位:西安高压电器研究院有限责任公司、西安西电开关电气有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、ABB(中国)有限公司、南京南瑞继保电气有限公司、全球能源互联网研究院有限公司、西安交通大学、清华大学、平高集团有限公司、新东北电气集团高压开关有限公司、华仪电气股份有限公司、西安西电电力系统有限公司、中国电力科学研究院有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、国网陕西省电力公司电力科学研究院、伊顿电气有限公司。

本标准主要起草人:颜莉萍、陈志彬、陈名、刘平、胡治龙、邢娜、冯武俊、张子骁、邓娜、王景、杨兵、刘彬、丁骁、陈龙龙、刘志远、王振兴、屈鲁、王向克、韩桂全、张浩、赵麟、宗世煜、李新春、焦振江、封磊、张振乾、黄忠庭、李振军、杨韧、陈洪飞。



引 言

高压直流断路器是柔性直流系统中的重要设备。国内外开展技术研究和应用的直流断路器有三种类型：机械式直流断路器、电力电子式直流断路器和混合式直流断路器。这三类直流断路器开断原理不同，使用条件、技术参数、结构、试验和运行等方面存在共性因素。为使柔性直流系统用高压直流断路器的研发、设计、制造、试验、运行有所遵循，制定此共用技术标准。

本标准提出的直流断路器的技术条件和试验要求是基于柔性直流系统用直流断路器的科研成果并参考国内外高压直流工程的设计、试验及运行等相关技术资料制定的。

柔性直流系统用高压直流断路器的 共用技术要求

1 范围

本标准规定了柔性直流系统用高压直流断路器的使用环境条件、术语和定义、额定值、设计与结构、型式试验、出厂试验、选用导则等。

本标准适用于直流 6 kV 及以上电压等级柔性直流系统用的户内、户外安装的机械式高压直流断路器、电力电子式高压直流断路器和混合式高压直流断路器。

本标准不适用于在与直流断路器有关的产品标准中另有规定的特定类型直流断路器。

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—2012 绝缘配合 第 1 部分:定义、原则和规则

GB/T 1984—2014 高压交流断路器

GB/T 2900.20—2016 电工术语 高压开关设备和控制设备

GB/T 7354—2018 高电压试验技术 局部放电测量

GB/T 11022—2011 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

GB/T 13498—2017 高压直流输电术语

GB/T 13540—2009 高压开关设备和控制设备的抗震要求

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第 1 部分:一般定义及试验要求

GB/T 20990.1—2007 高压直流输电晶闸管阀 第 1 部分:电气试验

GB/T 25091—2010 高压直流隔离开关和接地开关

GB/T 30425—2013 高压直流输电换流阀水冷却设备

GB/T 34139—2017 柔性直流输电换流器技术规范

IEC 61850-10:2012 变电站内通信网络和系统 第 10 部分:一致性测试(Communication networks and systems in substations—Part 10: Conformance testing)

3 术语和定义

GB/T 2900.20—2016、GB/T 1984—2014 和 GB/T 13498—2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 通用

3.1.1

高压直流断路器 **high-voltage direct current circuit-breaker**

能够关合、承载和开断直流运行电流,并能在规定的时间内关合、承载和开断异常回路条件(如短路条件)下的电流的开关装置。

注 1: 直流断路器一般包括:主通流支路、电流转移支路和能量吸收支路。主通流支路用于承载直流运行电流,并在转移支路配合下,具有开断主通流支路电流的能力;电流转移支路用于将主通流支路电流转移至能量吸收支路;能量吸收支路用于吸收系统中储存的能量。

注 2: 直流断路器按照开断元件的类型,可分为机械式直流断路器、电力电子式直流断路器和混合式直流断路器。直流断路器按照运行电流方向,可分为单向直流断路器和双向直流断路器。

3.1.2

机械式直流断路器 **mechanical DC circuit-breaker**

为机械开关装置提供人工过零振荡电流,从而实现直流电流开断的直流断路器。

注: 典型结构为:主通流支路为机械开关装置,电流转移支路为电感和电容(有源或无源),能量吸收支路为避雷器。见图 1。

3.1.3

电力电子式直流断路器 **power electronic DC circuit-breaker**

完全利用电力电子器件实现直流电流开断的直流断路器。

注: 典型结构为:主通流支路和电流转移支路是由电力电子器件组成的同一支路,能量吸收支路为避雷器。见图 2。

3.1.4

混合式直流断路器 **hybrid DC circuit-breaker**

结合机械开关装置和电力电子器件实现直流电流开断的直流断路器。

注: 典型结构为:主通流支路含有机械开关装置,电流转移支路为电力电子器件,能量吸收支路为避雷器。见图 3。

3.1.5

单向直流断路器 **unidirectional DC circuit-breaker**

用于断开预定(并标明)方向的直流电流的断路器。

3.1.6

双向直流断路器 **bidirectional DC circuit-breaker**

用于断开从任一(并标明)方向的直流电流的断路器。

注: 双向断开能力宜在关合和开断试验进行验证。

3.1.7

主通流装置 **main conduct device**

直流断路器中用于承载和分合主通流支路中电流的装置。

3.1.8

电流转移装置 **current transfer device**

直流断路器中用于将主通流支路电流转移到能量吸收支路中的装置。

3.1.9

能量吸收装置 **energy absorption device**

直流断路器中用于吸收系统中储存的能量的装置。

3.1.10

剩余电流开断装置 **residual current interrupting device**

用于开断剩余电流的开断装置(如有)。

注 1: 该装置通常具有关合功能。

注 2: 剩余电流包含:避雷器残余电流,电流转移装置中的振荡电流等。

3.1.11

供能装置 **power to potential device**

用于给主通流装置、电流转移装置供能的装置。

3.1.12

触发装置 trigger device

用于导通电流转移支路的装置(如有)。

3.1.13

冷却设备 cooling equipment

用于冷却直流断路器组件,以保证直流断路器正常运行的设备(如有)。

3.1.14

控制装置 control device

与直流断路器相关的控制、测量、保护及调节功能的装置。

3.2 特性参量

3.2.1

截断时间 cut-off time

从直流断路器收到分闸指令开始时刻,至达到瞬态开断电压峰值时刻的时间间隔。

3.2.2

开断时间 break time

从直流断路器收到分闸指令开始时刻,到主回路电流降到剩余电流时刻的时间间隔。

注: 改写 GB/T 1984—2014, 定义 3.7.135。

3.2.3

关合时间 make time

处于分闸位置的直流断路器,从接到合闸指令时刻到主回路中电流出现时刻的时间间隔。

注 1: 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 2: 改写 GB/T 1984—2014, 定义 3.7.137。

3.2.4

瞬态开断电压 transient interruption voltage

在直流断路器开断电流过程中,直流断路器端子间产生的瞬态电压。

注: 该电压取决于回路和直流断路器的特性。

3.2.5

瞬态开断电压峰值 peak transient interruption voltage

直流断路器开断电流过程中,直流断路器端子间产生的最大电压值。

3.2.6

最大持续运行直流电流 maximum continuous direct current in operation

直流系统持续过负荷运行时流过直流断路器的直流电流值。最大持续运行直流电流由直流系统的持续过负荷能力确定。

注: 改写 GB/T 34139—2017, 定义 3.2。

3.2.7

短时过载(过负荷)直流电流 short-time overload direct current in operation

直流系统短时(如 3 s)以超过系统额定输送功率方式运行时,流过直流断路器的直流电流值。过负荷运行直流电流由直流系统的过负荷能力确定。

注 1: 改写 GB/T 34139—2017, 定义 3.3。

注 2: 直流断路器短时过载(过负荷)直流电流能力的验证包含于短时耐受电流型式试验中。

注 3: 国内典型柔性直流输电工程的过负荷电流参见附录 A。

3.2.8

预期短路电流 prospective short-circuit current

电路故障或错误接线引起短路,且直流断路器被一个阻抗可以忽略不计的导体代替时,电路中可能流过的电流。

注: 改写 GB/T 2900.20—2016,定义 3.7。

3.2.9

截断电流 cut-off current

直流断路器开断过程中达到的最大瞬时电流值。

3.2.10

剩余电流 residual current

在直流断路器开断后,剩余电流开断装置闭合条件下流过直流断路器的电流值。

3.2.11

短路电流上升率 rising rate of short-circuit current

截断电流与短路起始时刻电流的差值和相应时间间隔的比值。

3.2.12

瞬态开断电压上升率 rising rate of transient interruption voltage

80%瞬态开断电压峰值与20%瞬态开断电压峰值的差值和相应时间间隔的比值。

3.2.13

额定吸收能量 rated absorbed energy

直流断路器开断额定截断电流时能量吸收装置吸收的能量。

注: 额定截断电流见 5.6。

4 正常和特殊使用条件

GB/T 11022—2011 的第 2 章适用。

5 额定值

5.1 概述

制造厂规定的直流断路器的通用额定值应从下列各项中选取(适用的):

- a) 额定直流电压;
- b) 额定绝缘水平;
- c) 额定直流电流;
- d) 额定预期短路电流;
- e) 额定截断电流;
- f) 辅助和控制回路的额定电源电压;
- g) 辅助和控制回路的额定电源频率;
- h) 绝缘和/或开合用的额定充入水平;
- i) 无线电干扰水平。

注: 可能需要其他额定值,它们将在相关的产品标准中规定。

5.2 额定直流电压(U_{dN})

在规定的运行条件下,直流断路器正常连续运行的直流电压,单位为千伏(kV)。

额定直流电压从下列值中选取：

6 kV, 10 kV, 25 kV, 35 kV, 50 kV, 100 kV, 160 kV, 200 kV, 320 kV, 400 kV, 535 kV, 800 kV。

注 1：以上额定值是参考 GB/T 34139—2017，结合已有柔性直流输电工程的电压等级给出的。

注 2：对于直流电压有特殊要求时，由供需双方协商确定。

5.3 额定绝缘水平

直流断路器的额定绝缘水平由实际工程提供。

绝缘水平应包括直流耐受电压(1 min 直流耐受电压 $U_{dl\ min}$ 、3 h 直流耐受电压 U_{d3h} 、1 h 直流耐受电压 U_{dlh})，额定雷电冲击耐受电压 U_p 及额定操作冲击耐受电压 U_s 。

其中，耐受电压适用于 GB/T 311.1—2012 中规定的标准参考大气[温度(20 °C)、压力(101.3 kPa)和湿度(11 g/m³)]条件。这些耐受电压包括了正常运行条件下(见 GB/T 11022—2011 的 2.2)规定的最高海拔 1 000 m 时的海拔修正。对于特殊适用条件，应根据 GB/T 11022—2011 的 2.3 进行耐受电压修正。

注 1：对于额定绝缘水平有特殊要求时，由供需双方协商确定。

注 2：国内某柔性直流输电工程的额定绝缘水平参见附录 A。

5.4 额定直流电流(I_{dN})

在规定的运行条件下，直流断路器长期连续运行的直流电流的平均值，单位为安(A)。

额定直流电流可在下列数值中选取：

156 A, 250 A, 500 A, 625 A, 750 A, 1 000 A, 1 250 A, 1 560 A, 2 000 A, 2 500 A, 3 000 A。

注 1：以上额定值是参考 GB/T 34139—2017，结合已有柔性直流输电工程的电流等级给出的。

注 2：对于直流电流有特殊要求时，由供需双方协商确定。

5.5 额定预期短路电流

在规定的使用和性能条件以及规定的电压下，直流断路器开断端子处短路时的预期电流稳态值，单位为千安(kA)。

直流断路器额定预期短路电流由下列值中选取：

8 kA, 10 kA, 12.5 kA, 16 kA, 20 kA, 25 kA, 31.5 kA, 40 kA, 50 kA, 63 kA。

注 1：以上电流是在 GB/T 762—2002 中规定的 R10 系列中选取的。

注 2：对于额定预期短路电流有特殊要求时，由供需双方协商确定。

5.6 额定截断电流

在规定的使用和性能条件以及规定的电压下，直流断路器在额定预期短路电流下开断时的最大瞬时电流值，单位为千安(kA)。

额定截断电流由下列值中选取：

4 kA, 5 kA, 6.3 kA, 8 kA, 10 kA, 12.5 kA, 16 kA, 20 kA, 25 kA, 31.5 kA。

注 1：以上电流是在 GB/T 762—2002 中规定的 R10 系列中选取的。

注 2：对于额定截断电流有特殊要求时，由供需双方协商确定。

5.7 辅助和控制回路的额定电源电压

GB/T 11022—2011 的 4.9 适用。

5.8 辅助和控制回路的额定电源频率

额定电源频率的标准值为交流 50 Hz 或直流。

5.9 绝缘和/或开合用的额定充入水平

GB/T 11022—2011 的 4.12 适用。

5.10 无线电干扰电压水平(RIV)

在施加最高试验电压时,无线电干扰电压水平不超过 2 000 μV 。

6 设计与结构

6.1 概述

在直流系统中,直流断路器常采用几个并联支路完成开断任务。一般情况下直流断路器由三个部分组成:

- a) 主通流支路;
- b) 电流转移支路;
- c) 能量吸收支路。

对于本标准中所描述的机械式、电力电子式和混合式直流断路器各自有不同的拓扑结构和不同的技术特点,在 9.3 中对这三种直流断路器的典型拓扑结构给予了描述。

6.2 直流断路器中液体的要求

GB/T 11022—2011 的 5.1 适用(适用时)。

6.3 直流断路器中气体的要求

GB/T 11022—2011 的 5.2 适用(适用时)。

6.4 抗震能力

在可能出现地震的地区,用户应按 GB/T 13540—2009 来规定设备的抗震水平。

6.5 端子机械负荷

对于户外使用的直流断路器,接线端子机械载荷适用 GB/T 1984—2014 的 6.101.6。户内和其他不同电压等级下的接线载荷应满足实际工况的要求。

6.6 辅助和控制设备

GB/T 11022—2011 的 5.4 适用,并作如下补充:

对采用强制风冷或水冷的直流断路器,应考虑相应控制设备的相关要求。

6.7 动力操作

GB/T 11022—2011 的 5.5 适用(适用时)。

6.8 储能操作

GB/T 11022—2011 的 5.6 适用(适用时)。

6.9 冷却设备

GB/T 34139—2017 的 6.7 适用(适用时)。

6.10 铭牌

GB/T 11022—2011 的 5.10 适用,并作如下补充:

直流断路器的各组件上的铭牌应符合相应产品标准的要求。直流断路器的总铭牌至少应包含如下信息或参数:

- 型号;
- 直流断路器类型;
- 额定直流电压;
- 额定直流电流;
- 额定预期短路电流(可选);
- 最大持续运行直流电流;
- 额定雷电冲击耐受电压;
- 额定直流耐受电压;
- 额定截断电流;
- 额定吸收能量;
- 供应方名称;
- 出厂日期。

6.11 位置指示

GB/T 11022—2011 的 5.12 适用(仅适用于机械开关装置)。

注:对于位置指示有特殊要求时,由供需双方协商确定。

6.12 外壳提供的防护等级

GB/T 11022—2011 的 5.13 适用,并作如下补充:

外壳提供的防护等级根据工程(户外、户内)确定。

6.13 爬电比距

GB/T 25091—2010 的 5.3 适用。根据直流断路器用支柱绝缘子防污性能及承受机械力的要求,绝缘子可以分为瓷质、表面涂层及复合绝缘子。

根据已有直流工程的数据,阀厅内设备的爬电比距为 14 mm/kV;户内直流开关场的爬电比距为 25 mm/kV;户外瓷质绝缘子,其爬电比距与相应的盐密见表 1。

表 1 爬电比距与相应盐密

盐密 mg/cm ²	瓷质绝缘子的最小爬电比距 mm/kV
0.03	50
0.06~0.07	54
注:对于爬电比距有特殊要求时,由供需双方协商确定。	

6.14 气体和真空的密封

GB/T 11022—2011 的 5.15 适用(适用时)。

6.15 液体的密封

GB/T 11022—2011 的 5.16 适用(适用时)。

6.16 火灾危险(易燃性)

GB/T 11022—2011 的 5.17 适用。

6.17 电磁兼容性(EMC)

GB/T 11022—2011 的 5.18 适用。

6.18 X 射线发射

GB/T 11022—2011 的 5.19 适用(适用时)。

6.19 腐蚀

GB/T 11022—2011 的 5.20 适用。

7 型式试验

7.1 概述

GB/T 11022—2011 的 6.1.1 适用,并作如下补充:

直流断路器的各元件应符合各自标准的要求,并按这些要求进行试验。当主通流装置和电流转移装置中的关键元件的参数、结构发生重大改变时,应做相应的型式试验。表 2 列出了第 7 章给出的型式试验项目。

表 2 型式试验项目

型式试验项目	章条号	试品
绝缘试验	7.2	整机
无线电干扰试验	7.3	整机
主回路电阻的测量	7.4	主通流支路装置
最大持续运行直流电流试验	7.5	主通流支路装置
短时耐受电流试验	7.6	主通流支路装置
防护等级验证	7.7	元件
密封试验	7.8	元件
电磁兼容性(EMC)试验	7.9	元件
常温下的机械操作试验	7.10	机械开断装置(如有)
端子静负载试验	7.11	元件
关合和开断试验	7.12	整机
真空灭弧室的 X 射线试验程序	7.13	真空灭弧室(如有)
抗震试验	7.14	整机
通信一致性测试	7.15	控制设备

表 2 (续)

型式试验项目	章条号	试品
冷却设备试验	7.16	冷却设备(如有)
注 1: 如果需要附加的型式试验项目,则在有关的产品标准中规定。 注 2: 如果由于实验室条件限制无法实施整机试验时,可由供需双方协商确定。		

7.2 绝缘试验

7.2.1 试验时周围的大气条件

GB/T 11022—2011 的 6.2.2 适用。

7.2.2 雷电冲击耐压试验

GB/T 11022—2011 的 6.2.7.3 和 6.2.8.4 适用,并作如下补充:端间试验时,能量吸收支路的避雷器仅装设避雷器外套,或断开避雷器连接。

7.2.3 操作冲击耐压试验

GB/T 11022—2011 的 6.2.8.3 适用,并作如下补充:端间试验时,能量吸收支路的避雷器仅装设避雷器外套,或断开避雷器连接。

注:宜进行干试,对户外直流断路器还可进行湿试。

7.2.4 直流电压耐受试验

直流断路器应进行端间及端对地的直流电压耐受试验,GB/T 16927.1—2011 的第 5 章以及 GB/T 20990.1—2007 的 8.3.1 适用,并作如下修改:

- a) 端间直流电压耐受试验:在试品两个主端子之间从不大于 1 min 试验电压 U_{d1min} 的 50% 开始升压,在 10 s 内电压升至 U_{d1min} ,保持 1 min,再降至 1 h 试验电压 U_{d1h} ,保持 1 h 后降至零。用相反极性电压重复上述试验。试验时能量吸收支路的避雷器仅装设避雷器外套,或断开避雷器连接。
- b) 端对地直流电压耐受试验:在试品短接的主端子与地之间从不大于 1 min 试验电压 U_{d1min} 的 50% 开始升压,在 10 s 内电压升至 U_{d1min} ,保持 1 min,再降至 3 h 试验电压 U_{d3h} ,保持 3 h 后降至零。用相反极性电压重复上述试验。

注:宜进行干试,对户外直流断路器还可进行湿试。

7.2.5 局部放电试验

GB/T 20990.1—2007 的 8.3.1 适用,并作如下补充:

局部放电试验在进行对地直流电压试验时规定的 3 h 试验的最后 1 h 按 GB/T 7354—2018 测量局部放电,超过 300 pC 的局部放电的次数要按照 GB/T 20990.1—2007 附录 B 的规定记录。用相反极性电压重复上述试验。

整个记录期间,平均 300 pC 以上的脉冲每分钟不超过 15 次;其中,500 pC 以上的脉冲每分钟不超过 7 次,1 000 pC 以上的脉冲每分钟不超过 3 次,2 000 pC 以上的脉冲每分钟不超过 1 次。

注:若观察到局部放电的数量或等级有增加的趋势,可以由供需双方协商延长试验时间。

7.2.6 状态检查试验

如果在关合和开断试验后,直流断路器端间的绝缘性能不能充分可靠地用目测检查来核实,且相关的产品标准中没有其他规定,可进行端间直流电压耐受试验,试验电压为 1 min 直流耐受电压 U_{d1min} 的 80%,保持 1 min。或由供需双方协商确定其他检测方法。

7.3 无线电干扰试验

适用于额定直流电压 6 kV 及以上的直流断路器。

试验应按照 GB/T 11022—2011 中 6.9.1.1 的规定进行,通过下述程序进行:

对试品施加 U_{dN} 的电压,至少维持 5 min。随后把电压逐级下降至 $0.3U_{dN}$,再逐级上升至初始值,最后逐级下降至 $0.3U_{dN}$ 。在每级电压上,应进行无线电干扰的测量,并应画出最后一个电压下降系列中记录的无线电干扰电平对外施电压的曲线;这样得出的曲线就是试验设备的无线电干扰特性。电压级差约为 $0.1U_{dN}$ 。

如果在 $1.1U_{dN}$ 下无线电干扰电平不超过 5.10 中规定的值,应认为试品通过了试验。

7.4 主回路电阻的测量

适用于主通流支路的机械开关,GB/T 11022—2011 的 6.4 适用。

7.5 最大持续运行直流电流试验

GB/T 11022—2011 的 6.5 适用,并作如下补充:

在主通流支路上进行最大持续运行直流电流试验,试验电流为不低于直流断路器应用系统可能出现最大连续直流电流或等效的 50 Hz 的交流电流。试验结果应满足 GB/T 11022—2011 中 4.5 的要求,且试验完成后不应发生部件损坏或失效。

7.6 短时耐受电流试验

在主通流支路上进行短时电流耐受试验,试验电流应分为两个阶段,第一阶段为短时过载(过负荷)电流,持续 1 min;第二阶段为额定截断电流,持续 60 ms。

试验过程,不准许发生部件损坏或失效,整个过程中电力电子器件(如有)的结温不超过设备最大结温。

注:对于试验电流及试验时间有特殊要求时,由供需双方协商确定。

7.7 防护等级验证

GB/T 11022—2011 的 6.7 适用。

7.8 密封试验

GB/T 11022—2011 的 6.8 适用(适用时)。

7.9 电磁兼容性(EMC)试验

GB/T 11022—2011 的 6.9 适用(适用时)。

7.10 常温下的机械操作试验

GB/T 1984—2014 的 6.101.2 适用(适用时)。

7.11 端子静负载试验

端子受力应满足 6.5 的要求,参照 GB/T 1984—2014 的 6.101.6 进行试验。

7.12 关合和开断试验

7.12.1 概述

本试验的目的是检验直流断路器是否具备关合和开断电流的能力(参照 GB/T 1984—2014)。

试品为完整的直流断路器整机,并应包含所有冷却设备(如有)、控制装置以及供能装置,确保所有设备的布置皆与运行时相同。

冷却设备(如有)应与实际运行工况一致,每项试验前需达到热平衡(在 5 min 内出阀冷却介质温度变化不超过 1 K)。

关合和开断试验至少应包括以下要求:

推荐的试验方式见表 3 所示。

表 3 试验方式

试验方式	试验电流值	试验操作顺序	试验次数 ^a
1	短时过载直流电流	合闸	6
2	小电流 ^b	分闸	6
3	额定直流电流	分闸	6
4	30%的额定截断电流	分闸	6
5	60%的额定截断电流	分闸	6
6	100%的额定截断电流	分闸	6
7	100%的额定截断电流	重合闸 ^c	2

注:由于试验室容量无法模拟直流断路器在系统中开断短路电流时吸收的能量,避雷器的额定吸收能量通过随机抽取避雷器试品进行测试,试验方式由供需双方协商进行。

^a 双向直流断路器试验方式 1~6 在每个方向各进行 3 次,试验方式 7 在每个方向各进行 1 次。

^b 小电流开断值推荐为 5%的额定直流电流值。

^c 重合闸为 O-t-Ct'O,其中 O 为分闸,C 为合闸,t 为分-合时间,推荐为不大于 300 ms,t' 为合-分时间,由供需双方协商确定;一分截断电流为 100%额定截断电流,二分截断电流可由供需双方协商确定。

7.12.2 关合试验

关合电流为短时过载(过负荷)直流电流。

试验次数为 3 次。任何一次短时过载直流电流关合试验,直流断路器各部分均按照正确逻辑动作,没有发生误动或拒动现象。

注:双向直流断路器每个方向各进行 3 次。

7.12.3 开断试验

7.12.3.1 试验参数

开断试验分为小电流开断、额定直流电流开断、截断电流开断和重合闸试验。试验应在被试装置上

重复进行。

7.12.3.2 试验回路和试验要求

试验回路原理图及试验电流波形图参见附录 B。

任何一次开断试验,直流断路器各部分均按照正确逻辑动作,没有发生误动或拒动现象。

试品在开断试验电流后能够耐受瞬态开断电压,不应出现重击穿。

7.12.3.3 试验后装置的状态

试验完成后,试品应保证正常的机械性能和电气性能,如必要时进行相应的试验。

7.12.3.4 试验记录的数据

试验中至少应记录以下数据:

- 截断电流;
- 瞬态开断电压峰值;
- 截断时间;
- 开断时间;
- 关合时间;
- 短路电流上升率;
- 瞬态开断电压上升率等。

7.13 真空灭弧室的 X 射线试验程序

GB/T 11022—2011 的 6.11 适用(适用时)。

7.14 抗震试验

试验按 GB/T 13540—2009 的规定进行(适用时)。

7.15 通信一致性测试

变电站自动化系统和直流断路器的通信一致性测试,IEC 61850-10:2012 适用(适用时)。

7.16 冷却设备试验

试验按 GB/T 30425—2013 的规定进行(适用时)。

8 出厂试验

8.1 概述

出厂试验是为了发现材料和结构中的缺陷以及装配过程的失误。它们不会损坏试品的性能和可靠性。出厂试验应在制造厂任意合适可行的地方对每台制成的产品进行,以确保产品与已通过型式试验的设备一致。与用户协商,出厂试验可以在现场进行。

如果直流断路器在运输前不完成总装,那么应对所有的运输单元单独进行试验。在这种场合,制造厂应证明这些试验的有效性。产品出厂应附有出厂试验报告。

直流断路器的各组件应符合各自标准的要求,并按这些要求进行试验。

8.2 主回路的绝缘试验

8.2.1 雷电冲击电压试验

GB/T 11022—2011 的 6.2.7.3 和 6.2.8.4 适用,并作如下修改:

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,应在端子间施加断口间雷电冲击耐受电压。

注:试验时,断开能量吸收支路的避雷器连接。

8.2.2 直流耐受电压试验

关于直流耐受电压试验,7.2.4 适用。

8.3 辅助和控制回路的试验

GB/T 11022—2011 的 7.3 适用。

8.4 主回路电阻的测量

适用于主通流支路的机械开关,GB/T 11022—2011 的 7.4 适用。

8.5 密封试验

GB/T 11022—2011 的 7.5 适用。

8.6 设计和外观检查

GB/T 1984—2014 的 7.5 适用。

8.7 机械操作试验

GB/T 1984—2014 的 7.101 适用(适用时)。

9 直流断路器的选用导则

9.1 概述

直流断路器的额定参数推荐值见第 5 章。

为使直流断路器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。

9.2 直流断路器额定值的选择

9.2.1 额定直流电压的选择

直流断路器的额定直流电压可以从 5.2 中选取。

9.2.2 额定直流电流的选择

直流断路器的额定直流电流由直流工程的额定直流电流确定。

直流断路器的额定直流电流可以从 5.4 中选取。

9.3 直流断路器型式选择

直流断路器几种典型的方案为:机械式、电力电子式和混合式,具体如下:

- a) 机械式直流断路器一般由开断装置(CB)、换流电容器(C)、换流电抗(L)、触发装置(G)和避雷器(MOV)组成,见图1虚线框中部分;
- b) 电力电子式直流断路器一般由电力电子器件(S)和避雷器(MOV)组成,见图2虚线框中部分;
- c) 混合式直流断路器一般由快速隔离开关(FD)、辅助直流开关(FS)、主直流开关(MS)和避雷器(MOV)组成,其中主直流开关和辅助直流开关都为电力电子器件,见图3虚线框中的部分。

图1、图2和图3中的DB1和DB2均为剩余电流开断装置(如有),用于开断剩余电流。

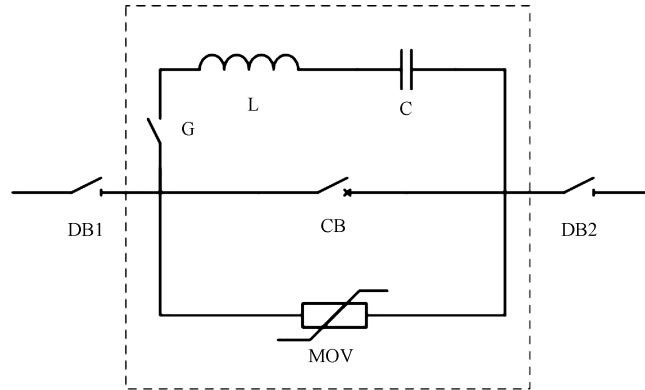


图1 机械式直流断路器

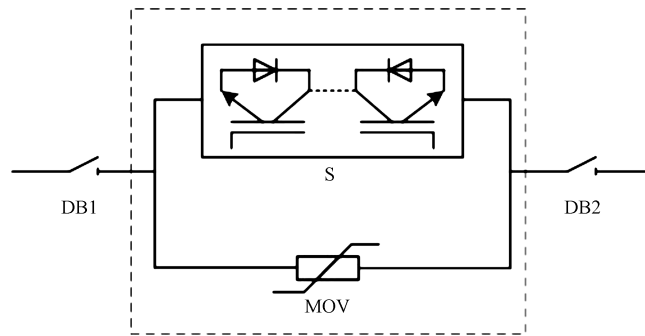


图2 电力电子式直流断路器

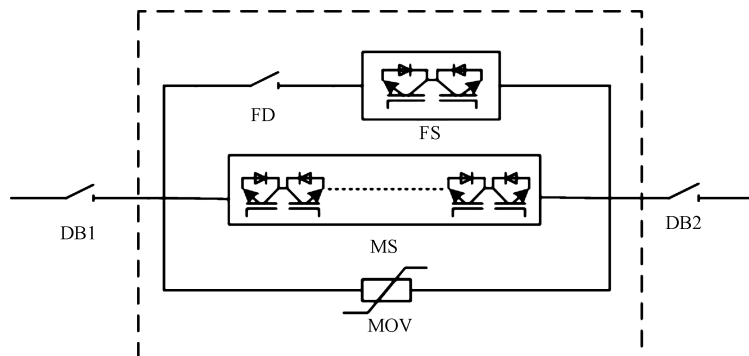


图3 混合式直流断路器

10 查询、投标和订货时提供的资料

10.1 概述

下列资料是按 GB/T 11022—2011 的要求规定的。

10.2 询问单和订单的资料

当查询或订购直流断路器时,查询者应提供下列详细资料:

- a) 系统的详细资料,包括系统额定直流电压、额定直流电流、最大持续运行直流电流、短时过负荷直流电流、短路电流、短路电流上升率等。
- b) 运行条件,包括环境温度(最低、最高日温度);超过 1 000 m 时的海拔、污秽等级、覆冰厚度、风速、相对湿度、耐受地震能力以及可能存在或出现的任何特殊条件,例如,异常暴露在水蒸气、潮气、烟雾、爆炸性气体、过度的灰尘或含盐空气中。
- c) 直流断路器的特性。应提供下列资料(如适用):
 - 安装场所:阀厅内或户内或户外;
 - 安装地点的系统最高电压;
 - 额定绝缘水平;
 - 过负荷电流(3 s,10 s,2 h 和连续);
 - 额定端子机械负荷;
 - 安装条件和高压接线;
 - 对直流断路器支撑绝缘子的要求;
 - 污秽等级;
 - 爬电比距。
- d) 相关设备特性:
 - 避雷器的能量;
 - 防护等级(若高于 6.12 的规定)。
- e) 需要用户见证的例行试验和附加的检查:

如果订单中有规定,下列检查可要求用户在场的情况下作为发运前的最后检验。这些检验对一个订货合同订购的单元数中的一个单元或其总数的 1% 进行抽样试验:

 - 防腐蚀的涂镀层(油漆、电镀层)厚度;
 - 电气控制布线检查;
 - 附件和文件(安装和使用说明书;储存和运输说明书)。
- f) 上面未包括但可能影响投标和订货所涉及的特殊条件的任何其他资料。

10.3 标书的资料

GB/T 11022—2011 的 9.3 适用。

11 运输、储存、安装、运行和维护规则

11.1 概述

GB/T 11022—2011 的 10.1 适用。

11.2 运输、储存和安装的条件

GB/T 11022—2011 的 10.2 适用。

11.3 安装

GB/T 11022—2011 的 10.3.1~10.3.4 适用。

11.4 运行

制造厂给出的说明书应包括以下资料：

- a) 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;
- b) 设备安全性能的说明;
- c) 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。

11.5 维修

11.5.1 概述

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。

11.5.2 对制造厂的建议

制造厂应提供包括以下资料的维修手册：

- 维修的范围和频度;
- 维修工作的详细说明;
- 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;
- 极限值和允许偏差,如果偏出,要进行必要的校正;
- 辅助维修材料的规格,包括对已知的不相容材料的警告;
- 专用工具、起吊和维修用设备的清单;
- 维修后的试验项目;
- 推荐的备件(说明、代号、数量)和存储建议;
- 有效计划维修时间的估计;
- 在设备操作寿命终了时,考虑环境的要求,怎样对设备进行处理。

11.5.3 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。

12 安全

GB/T 11022—2011 的第 11 章适用。

13 产品对环境的影响

GB/T 11022—2011 的第 12 章适用。



附 录 A
(资料性附录)

国内某柔性直流输电系统用高压直流断路器的参数值

国内某±500 kV、±160 kV 和 ±10 kV 柔性直流输电系统用直流断路器的主要技术参数如表 A.1、表 A.2 和表 A.3 所示。

表 A.1 国内某个±500 kV 柔性直流输电系统用直流断路器的主要技术参数

序号	参数	单位	数值	序号	参数	单位	数值
1	额定直流电压	kV	535	8	最大吸收能量 (机械式直流断路器)	MJ	>155
2	额定直流电流	A	3 000	9	额定直流耐受 电压(对地)	kV	856(1 min) 588.5(3 h)
3	最大持续运行 直流电流	A	3 300	10	额定操作冲击 耐受电压(对地)	kV	1 175
4	过负荷直流 电流(1 min)	A	4 500	11	额定雷电冲击 电压(对地)	kV	1 425
5	额定截断电流	kA	25	12	额定直流耐受 电压(端间)	kV	856(1 min) 588.5(1 h)
6	截断时间	ms	<3	13	额定操作冲击 耐受电压(端间)	kV	920
7	最大吸收能量 (混合式直流断路器)	MJ	>125	14	额定雷电冲击 电压(端间)	kV	1 104

表 A.2 国内某个±160 kV 柔性直流输电系统用直流断路器的主要技术参数

序号	参数	单位	数值	序号	参数	单位	数值
1	额定直流电压	kV	160	6	额定操作冲击 耐受电压(对地)	kV	450
2	额定直流电流	A	1 000	7	额定雷电冲击 电压(对地)	kV	550
3	额定截断电流	kA	9	8	额定直流耐受 电压(端间)	kV	252
4	截断时间	ms	≤5	9	额定操作冲击 耐受电压(端间)	kV	350
5	额定直流耐受 电压(对地)	kV	252	10	额定雷电冲击 电压(端间)	kV	450

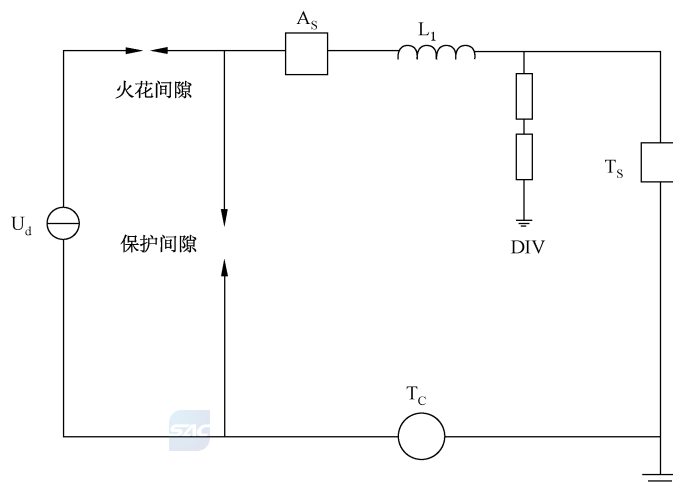
表 A.3 国内某个±10 kV 柔性直流输电系统用直流断路器的主要技术参数

序号	参数	单位	数值	序号	参数	单位	数值
1	额定直流电压	kV	10	7	截断时间	ms	≤3
2	额定直流电流	A	500	8	额定直流耐受电压(对地)	kV	30
3	最大持续运行直流电流	A	550	9	额定操作冲击耐受电压(对地)	kV	50
4	过负荷直流电流(10 s)	A	650	10	额定直流耐受电压(端间)	kV	30
5	过负荷直流电流(5 s)	A	750	11	额定操作冲击耐受电压(端间)	kV	25
6	额定截断电流	kA	10				

附录 B
(资料性附录)

直流断路器试验回路和试验电流波形

图 B.1 和图 B.2 给出了直流断路器的开断试验回路示意图和开断试验波形示意图。



说明：

- U_d —— 试验电源；
- A_s —— 辅助开关；
- DIV —— 分压器；
- L_1 —— 电感；
- T_c —— 电流互感器；
- T_s —— 试品。

图 B.1 直流断路器试验回路示意图

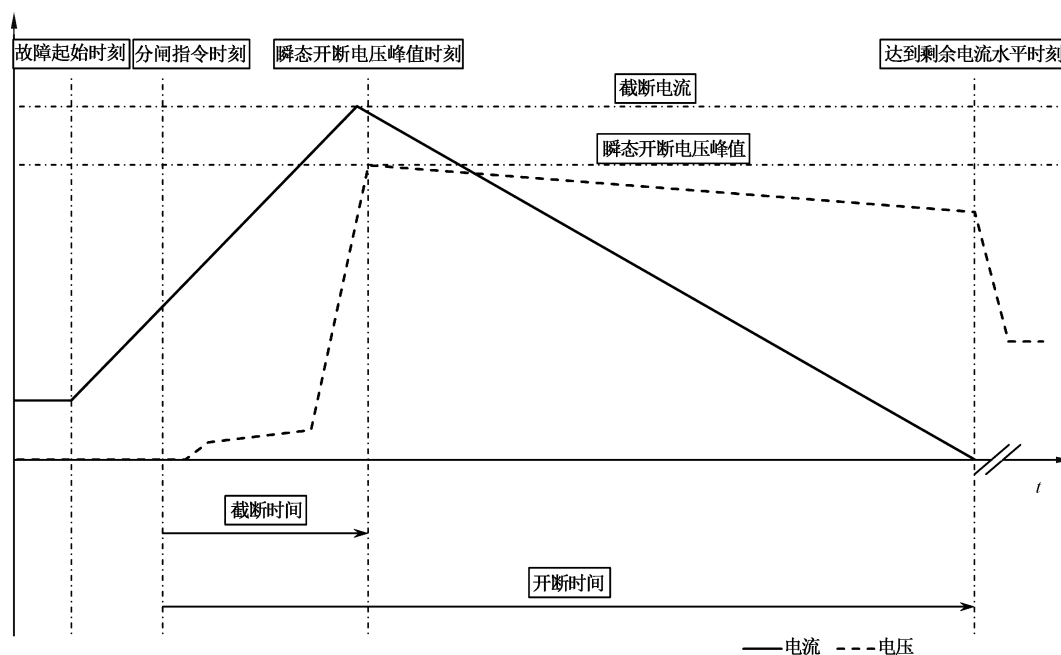


图 B.2 直流断路器开断试验波形示意图

参 考 文 献

- [1] GB/T 762—2002 标准电流等级
 - [2] GB/T 5273 高压电器端子尺寸标准化
 - [3] GB/T 11032—2010 交流无间隙金属氧化物避雷器
 - [4] GB/T 11604—2015 高压电气设备无线电干扰测试方法
 - [5] GB/T 12022—2014 工业六氟化硫
 - [6] GB/T 25309—2010 高压直流转换开关
 - [7] GB/T 25890.2—2010 轨道交通 地面装置 直流开关设备 第2部分:直流断路器
 - [8] GB/T 33348—2016 高压直流输电用电压源换流器阀 电气试验
 - [9] DL/T 5222—2005 导体和电器选择设计技术规定
 - [10] JB/T 8168—1999 脉冲电容器及直流电容器
 - [11] IEC 60050-411 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) —Part 411: Rotating machinery
 - [12] IEC 60700-1:2015 Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission—Part 1: Electrical testing
 - [13] IEC 62501:2009 Voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission—Electrical testing
 - [14] IEC 62543:2008 High-voltage direct current (HVDC) power transmission using voltage sourced converters (VSC)
 - [15] IEC 62751-1: 2014 Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems—Part 1: General requirements
 - [16] IEC 62751-2:2014 Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems—Part 2: Modular multilevel converters
 - [17] CIGRE JWG A3/B4.34 工作组 Technical Requirements And Specifications Of State-Of-The-Art HVDC Switching Equipment
-