

中华人民共和国能源行业标准

NB/T XXXXX—XXXX

混合式高压直流断路器

Hybrid HVDC circuit breaker

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2019-06)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家能源局

发布

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
3.1 高压直流断路器组件	2
3.2 特性参量	3
4 正常和特殊使用条件	6
5 额定值	6
5.1 概述	6
5.2 额定直流电压 (U_{dN})	6
5.3 额定绝缘水平	6
5.4 额定直流电流 (I_{dN})	7
5.5 最大持续运行电流	7
5.6 额定开断电流	7
5.7 辅助和控制回路的额定电源电压	7
5.8 辅助和控制回路的额定电源频率	7
5.9 绝缘和/或开合用的额定充入水平	7
5.10 无线电干扰电压水平 (RIV)	7
5.11 额定操作顺序	7
6 设计与结构	7
6.1 概述	7
6.2 混合式高压直流断路器中液体的要求	8
6.3 混合式高压直流断路器中气体的要求	8
6.4 抗震能力	8
6.5 端子机械负荷	8
6.6 辅助和控制设备	8
6.7 冷却设备 (如有)	8
6.8 铭牌	8
6.9 外壳提供的防护等级	9
6.10 爬电比距	9
6.11 火灾危险 (易燃性)	9
6.12 电磁兼容性 (EMC)	9
6.13 X 射线发射 (适用时)	9
6.14 腐蚀	9

6.15	冗余度	9
6.16	快速机械开关装置	9
6.17	主支路/转移支路电力电子阀组	9
6.18	强迫换流组件	10
6.19	能量吸收装置	10
6.20	供能设备	10
7	型式试验	10
7.1	总则	10
7.2	绝缘试验	11
7.3	无线电干扰试验	12
7.4	主回路电阻的测量	12
7.5	最大持续运行直流电流试验	13
7.6	短时耐受电流试验	13
7.7	防护等级验证	13
7.8	密封试验	13
7.9	电磁兼容性 (EMC) 试验	13
7.10	常温下的机械操作试验	13
7.11	端子静负载试验	13
7.12	关合和开断试验	13
7.13	真空灭弧室的 X 射线试验程序	14
7.14	抗震试验	14
7.15	通信一致性测试	14
7.16	冷却设备试验	14
7.17	能量吸收支路试验	14
7.18	供能设备试验	14
8	出厂试验	15
9	混合式高压直流断路器的选用导则	15
9.1	概述	15
9.2	混合式高压直流断路器额定值的选择	15
10	查询、投标和订货时提供的资料	15
11	运输、储存、安装、运行和维护规则	15
12	安全	15
13	产品对环境的影响	15
14	产品随行文件	15
附录 A (资料性附录)	混合式高压直流断路器典型拓扑形式	17
附录 B (资料性附录)	混合式高压直流断路器开断试验回路	23
参考文献	24

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

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：南京南瑞继保电气有限公司、西安高压电器研究院有限责任公司

本标准起草人：

本标准为首次制定。

引 言

高压直流断路器是柔性直流电网的重要支撑设备。根据工作原理不同，高压直流断路器可分为机械式、混合式和电力电子式三种。混合式高压直流断路器主要由快速机械开关和电力电子器件构成，其核心特点是依靠快速机械开关承载电流，通过电力电子器件开断和关合电流。包括主支路、转移支路和能量吸收支路。

目前，GB/T XXXXX—20XX《柔性直流系统用高压直流断路器的共用技术要求》对柔性直流系统用高压直流断路器提出了共用的技术规范，NB/T 42107—2017《高压直流断路器》主要规范了机械式高压直流断路器的设计、试验及运行等方面的要求。本标准的制定是为了填补混合式高压直流断路器标准方面的空白，规范混合式高压直流断路器的设计、试验及运行等，与其他标准共同搭建我国高压直流断路器的标准体系。

本标准所提出的针对混合式高压直流断路器的技术条件和试验要求，均基于柔性直流输电系统用高压直流断路器的科研成果，并参考了国内外高压直流输电工程的设计、运行及试验经验。

混合式高压直流断路器

1 范围

本标准规定了混合式高压直流断路器的使用环境条件、术语和定义、额定值、技术要求、型式试验、出厂试验、检验规则、标志、包装、运输及储存等。

本标准适用于直流系统1.5 kV及以上电压等级的混合式高压直流断路器，作为其设计、制造、试验、使用和检验的依据。

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 762 标准电流等级（GB/T 762—2002，IEC 60059：1999，IDT）

GB/T 1984—2014 高压交流断路器（IEC 62271-100：2008，MOD）

GB/T 2900.20 电工术语 高压开关设备和控制设备（IEC 60050(441)：1984，MOD）

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

GB/T 11022—2011 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求（IEC 62271-1：2007，MOD）

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

GB/T 14598.27—2017 量度继电器和保护装置 第27部分：产品安全要求（IEC 60255-27：2013，IDT）

GB/T 16927 高电压试验技术（所有部分）

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）

GB/T 21419—2013 变压器、电抗器、电源装置及其组合的安全 电磁兼容（EMC）要求（IEC 62041：2010，IDT）

GB/T 22389—2008 高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器导则

GB/T 25091—2010 高压直流隔离开关和接地开关

GB/T 25309—2010 高压直流转换开关

GB/T 35702.1—2017 高压直流系统用电压源换流器阀损耗 第1部分：一般要求（IEC 62751-1：2014，MOD）

GB/T 35702.2—2017 高压直流系统用电压源换流器阀损耗 第2部分：模块化多电平换流器（IEC 62751-2：2014，IDT）

GB/T 1094.1-2013 电力变压器通用部分

ISO/IEC导则25 校准和检测实验室能力的通用要求（General requirements for the competence of calibration and testing laboratories）

3 术语和定义

GB/T 2900.20、GB/T 1984—2014、GB/T 22389—2008和GB/T 13498—2017界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 高压直流断路器组件

3.1.1

高压直流断路器 HVDC circuit-breaker

能够关合、承载和开断直流运行电流，并能在规定时间内关合、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。

[GB/T XXXX-20XX，定义3.1]

3.1.2

混合式高压直流断路器 hybrid HVDC circuit-breaker

混合式高压直流断路器主要由快速机械开关和电力电子器件构成，其核心特点是依靠快速机械开关承载电流，通过电力电子器件开断和关合电流。主要包括主支路、转移支路和能量吸收支路。

注1：典型拓扑原理图见附录A。

3.1.3

主支路 main branch

由快速机械开关、电力电子阀组（如有）、强迫换流组件（如有）串联构成，主要用于承载直流系统额定电流、短时过负荷电流和故障电流。

3.1.4

转移支路 transfer branch

由电力电子阀组、强迫换流组件（如有）构成，并依靠电力电子器件实现直流系统电流的开断和关合。

3.1.5

能量吸收支路 energy dissipation branch

一般由金属氧化物避雷器串、并联组成，用于吸收储存在系统中的能量，并限制开断过电压。

3.1.6

快速机械开关 high-speed mechanical disconnecter

主要用于承载系统额定电流、短时过负荷电流和故障电流，并耐受混合式高压直流断路器瞬态开断电压和系统额定电压。在某些拓扑结构中，还需在一定的电压下开断强迫换流组件产生的电流。

3.1.7

电力电子单元 power electronics module

由电力电子器件及辅助部件串并联组成的基本单元。

3.1.8

主支路电力电子阀组 power electronics valve in main branch

由一个或者多个电力电子单元构成的组件，主要用于承载长期直流系统电流和短时故障电流，同时通过闭锁将电流换流到转移支路。

3.1.9

强迫换流组件 forcing commutation component

一般由耦合电抗器、储能电容、触发装置等部件构成，用于实现将电流从主支路向转移支路转移的组件。

3.1.10

转移支路电力电子阀组 power electronics valve in transfer branch

由一个或者多个电力电子单元构成的组件，能够承受故障短时大电流和关断过电压。

3.1.11

控制保护装置 control and protect device

由控制保护单元、测量单元、高电位触发与监控单元等构成，完成混合式高压直流断路器的控制和保护。

3.1.12

供能设备 power supply device

为混合式高压直流断路器相关设备提供能量，可由隔离变压器及取能磁环等构成。

3.1.13

冷却系统 cooling equipment

用于冷却混合式高压直流断路器组件，以保证直流断路器正常运行的设备（如有）。

[GB/T XXXX-20XX，定义3.2.7]

3.1.14

混合式高压直流断路器支架 hybrid HVDC circuit breaker support

用于安装混合式高压直流断路器的所有组件及结构件，起到机械支撑和对地电气绝缘作用的支撑结构。

3.2 特性参量

3.2.1

额定直流电流 rated DC current

在规定的性能条件下，混合式高压直流断路器能够连续承载的电流。

3.2.2

额定直流电压 rated DC voltage

混合式高压直流断路器所在直流系统的最高运行电压。

3.2.3

截断时间 cut-off time

从混合式高压直流断路器收到分闸指令开始时刻，到瞬态开断电压峰值时刻的时间间隔。

[GB/T XXXX-20XX, 定义3.3.1]

3.2.4

开断时间 break time

从混合式高压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。

[GB/T XXXX-20XX, 定义3.3.2]

3.2.5

关合时间 make time

从混合式高压直流断路器收到合闸指令开始时刻，到主支路导通的时间间隔。

3.2.6

重合闸时间 reclosing time

从混合式高压直流断路器转移支路开断时刻，到再次收到合闸指令的时间间隔。

3.2.7

瞬态开断电压 transient interruption voltage

混合式高压直流断路器开断电流过程中，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。

[GB/T XXXX-20XX, 定义3.3.4]

3.2.8

瞬态开断电压峰值 peak transient interruption voltage

混合式高压直流断路器开断电流过程中，断路器端子间产生的最大电压值。

[GB/T XXXX-20XX, 定义3.3.5]

3.2.9

恢复电压 Recovery voltage

混合式高压直流断路器开断电流后端间承受的系统电压。

3.2.10

过负荷运行电流 overload operating current

直流系统以超过系统额定输送功率方式运行时，流过混合式高压直流断路器的电流。过负荷运行电流由直流系统的过负荷能力确定。

3.2.11

最大持续运行电流 maximum continuous operating current

直流系统持续过负荷运行时流过混合式高压直流断路器的电流。最大持续运行电流由直流系统的持续过负荷能力确定。

3.2.12

短路电流 short-circuit current

电路故障或错误接线引起短路而导致的电流。

3.2.13

截断电流 cut-off current

混合式高压直流断路器截断瞬间的电流值。

3.2.14

额定开断电流 rated break current

在规定的使用和性能条件下，混合式高压直流断路器能够开断的最大截断电流。

3.2.15

剩余电流 residual current

在混合式高压直流断路器开断后，端间承受恢复电压期间流过混合式高压直流断路器的电流值。

3.2.16

额定关合电流 rated making current

在规定的使用性能条件下，混合式高压直流断路器关合正常运行线路能够承载的最大电流。

3.2.17

额定短路关合电流 rated short-circuit making current

在规定的使用性能条件下，混合式高压直流断路器关合故障线路能够承载的最大电流。

3.2.18

短路电流上升率 rising rate of rated 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。

[GB/T XXXX-20XX, 定义3.3.11]

3.2.19

额定吸收能量 rated absorbed energy

混合式高压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。

[GB/T XXXX-20XX, 定义3.3.13]

3.2.20

通流损耗 rated power consumption

处于关合状态下的混合式高压直流断路器，当额定电流通过时直流断路器的功率损耗（额定功率为额定电流和额定压降的乘积）。

4 正常和特殊使用条件

GB/T XXXX-20XX的第2章适用，并做如下补充：

不同的元件可参照其相关标准，但任一元件均不应暴露在符合其它元件的运行条件而处于该元件额定性能以外的条件下。

5 额定值

5.1 概述

混合式高压直流断路器的额定值应从下列各项中选取（适用的）：

- c) 额定直流电压；
- d) 额定绝缘水平；
- e) 额定直流电流；
- f) 最大持续运行电流；
- g) 额定开断电流；
- h) 截流时间；
- i) 额定操作顺序；
- j) 辅助和控制回路的额定电源电压；
- k) 辅助和控制回路的额定电源频率；
- l) 绝缘和/或开合用的额定充入水平；
- m) 无线电干扰电压水平。

应规定混合式高压直流断路器的额定值以确保在这些规定的额定值内操作设备，不会使任一元件暴露在其额定性能以外的条件下。

注：组成混合式高压直流断路器的元件可以有符合其相关标准的其它独立的额定值。

5.2 额定直流电压 (U_{dN})

额定直流电压从下列值中选取，单位为千伏（kV）：

1.5, 6, 10, 25, 35, 50, 100, 160, 200, 320, 400, 535, 800, 1100。

5.3 额定绝缘水平

GB/T XXXX-20XX的4.3适用，并作如下补充：

混合式高压直流断路器的操作冲击耐受电压值及雷电冲击耐受电压值均应超过保护水平的10%。

5.4 额定直流电流 (I_{dN})

额定直流电流推荐从下列数值中选取，单位为安 (A)：

156, 250, 500, 625, 750, 1000, 1250, 1560, 2000, 2500, 3000, 3300, 4750, 5000, 6250。

5.5 最大持续运行电流

最大持续运行电流一般为额定直流电流的1.05-1.1倍。

5.6 额定开断电流

混合式高压直流断路器额定开断电流推荐从下列数值中选取，单位为千安 (kA)。

2, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 45。

5.7 辅助和控制回路的额定电源电压

GB/T XXXX-20XX的4.7适用。

5.8 辅助和控制回路的额定电源频率

GB/T XXXX-20XX的4.8适用。

5.9 绝缘和/或开合用的额定充入水平

GB/T XXXX-20XX的4.9适用。

5.10 无线电干扰电压水平 (RIV)

GB/T XXXX-20XX的4.10适用。

5.11 额定操作顺序

混合式高压直流断路器的额定操作顺序为：

重合闸：0-t-C-t'-0。

对于快速机械开关装置，额定操作顺序为：

分合：0-t-C。

其中0为分闸，C为合闸，t为分-合时间，推荐不大于300ms，t'为合-分时间。

6 设计与结构

6.1 概述

结合快速机械开关和电力电子器件实现直流系统电流开断和关合的混合式高压直流断路器，包含主支路、转移支路和能量吸收支路。其中主支路由快速机械开关、主支路电力电子阀组（如有）和强迫换流组件（如有）串联构成，主要用于承载直流系统电流；转移支路主要由转移支路电力电子阀组和强迫换流组件（如有）构成，并依靠电力电子器件实现直流系统电流的开断和关合；能量吸收支路用于限制混合式高压直流断路器转移支路闭锁电流时产生的过电压并吸收储存在系统中的能量，一般由金属氧化物避雷器串、并联组成。

应设计混合式高压直流断路器以保证可以安全地进行正常的运行、检查和维护。

混合式高压直流断路器的设计应考虑不同元件以及对其进行内部连接的部件的性能之间可能的相互作用（如：电气、机械和热）。除应考虑串联部件间的电压不均匀分配及并联部件间的电流不均匀分配外，还应特别注意非线性因素对电力电子器件耐压能力的影响。

对构成混合式高压直流断路器的元件及内部连接，应在符合其各自的标准的基础上，满足本标准的要求。主要元件需符合的标准如下：

- 快速机械开关装置 GB/T 25091-2010 中对直流隔离开关的要求；
- 电力电子元件 GB/T XXXX《柔性直流输电用电力电子器件技术规范》；
- 避雷器 GB/T 22389—2008；
- 供能设备 GB/T 1094。

混合式高压直流断路器的相关典型拓扑见附录A。

6.2 混合式高压直流断路器中液体的要求

GB/T XXXXX-20XX的6.2适用。

6.3 混合式高压直流断路器中气体的要求

GB/T XXXXX-20XX的6.3适用。

6.4 抗震能力

GB/T XXXXX-20XX的6.4适用。

6.5 端子机械负荷

GB/T XXXXX-20XX的6.5适用。

6.6 辅助和控制设备

GB/T XXXXX-20XX的6.6适用，并做如下补充：

通过高电位触发与监控单元实现电力电子元件的控制和状态监测，并将状态信息通过地电位光电转换设备回报给控制保护装置。

应具备过流保护、组部件冗余保护以及辅助系统保护。

应具备系统电流、电压测量功能和录波功能。

6.7 冷却设备（如有）

GB/T XXXXX-20XX的6.9适用。

6.8 铭牌

GB/T XXXXX-20XX的6.10适用，并做如下补充：

混合式高压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。混合式高压直流断路器的总铭牌至少应包含如下信息或参数：

- a) 高压直流断路器类型及型号；
- b) 制造厂名称或标识；
- c) 出厂日期；
- d) 额定直流电压；
- e) 额定直流电流；
- f) 最大持续运行直流电流；

- g) 额定开断电流;
- h) 截流时间;
- i) 额定吸收能量。

6.9 外壳提供的防护等级

GB/T XXXXX-20XX的6.12适用。

6.10 爬电比距

GB/T XXXXX-20XX的6.13适用。

6.11 火灾危险（易燃性）

GB/T XXXXX-20XX的6.16适用，并做如下补充：

- a) 所用非金属材料应是阻燃材料，并具有自熄灭性能；
- b) 应采用无油化设计；
- c) 推荐使用阻燃材料将电力电子元件与其他部件完全隔离。

6.12 电磁兼容性（EMC）

GB/T XXXXX-20XX的6.17适用。

6.13 X射线发射（适用时）

GB/T XXXXX-20XX的6.18适用。

6.14 腐蚀

GB/T XXXXX-20XX的6.19适用。

6.15 冗余度

GB/T 34139-2017的6.4.4适用，并作如下补充：

主支路及转移支路电力电子器件的冗余数量应不少于总数的5%。

6.16 快速机械开关装置

快速机械开关装置应具备分合能力，分合的间隔时间应满足混合式高压直流断路器的重合闸要求。快速机械开关装置的分闸时间宜小于5 ms。对于多断口串联的快速机械开关装置，各串联断口分闸不同期性应小于分闸时间的20 %。

在某些拓扑结构中，快速机械开关装置需在一定的电压下开断强迫换流组件产生的电流。

考虑快速机械开关无弧和有弧开断工况。有弧开断的快速机械开关分合闸次数，需按照电寿命与机械寿命进行考核，有弧开断具有一定的熄弧能力；无弧开断的快速机械开关分合闸次数需按照机械寿命进行考核。

6.17 主支路/转移支路电力电子阀组

电力电子阀组中电力电子单元之间或者器件串并联后的不均压和不均流系数不超过 $\pm 5\%$ 。

电力电子器件在关断过程中或断态下的最高耐受电压应不超过其额定电压，并至少留有10%的裕度。

电力电子单元故障应能被可靠隔离或者处于短路状态。

6.18 强迫换流组件

强迫换流组件的最大电流转移能力应至少为直流断路器额定开断电流的 1.2 倍；

强迫换流组件应满足直流断路器重合闸操作顺序的电流转移、开断和关合需求。

强迫换流组件中耦合电抗器线圈一次侧、二次侧的绝缘耐压设计应能耐受直流断路器最大瞬态恢复电压。

强迫换流组件失去供能后恢复供能前，强迫换流组件不应该动作。

6.19 能量吸收装置

能量吸收装置的保护水平推荐为系统电压的 1.5~1.7 倍，其额定吸收能量应不低于混合式高压直流断路器在重合闸操作过程中两次开断所需要吸收的能量之和。

能量吸收装置应采用免维护设计，宜整体密封在绝缘外套中，推荐采用复合绝缘外套。

能量吸收装置各并联单元间电流分布系数应不大于 1.05。

6.20 供能设备

供能设备应具备取能状态监测功能，以确保当取能设备发生异常时向混合式高压直流断路器控制保护装置发送报警信号。

供能设备应具备不间断工作的能力。

对地绝缘宜采用干式变压器或充气式变压器。

7 型式试验

7.1 总则

GB/T XXXX-20XX 的 7.1 适用，并作如下补充：

原则上，应在典型的、完整的混合式高压直流断路器上，根据其中包含的组件和内部连接线的各相关标准对其进行试验，如果这些组件和内部连接线已按其各自的产品标准通过了型式试验，且与本标准中规定施加的试验条件一致，则不要求重复这些试验。

半导体应用经验表明，即使再精细的设计，运行中半导体器件偶然的随机故障也是不能避免的。这些故障可能与应力相关，但它们应当是随机的，并且故障的原因、故障率、应力的大小是不能预测的，也不能被精确地量化。对混合式高压直流断路器或某一支路作型式试验时，短期施加的多重应力一般相当于混合式高压直流断路器在其全部寿命期间可能会承受到的少数几次最坏的应力。考虑到上述情况，一些型式试验少量的半导体器件故障，但这种故障不代表任何典型的设计缺陷。

- a) 若任何一项型式试验后，发生短路的半导体器件数大于试品半导体器件总数 1%，则认为断路器未通过该项型式试验；
- b) 若任何一项型式试验后，发生短路的半导体器件数不大于试品半导体器件总数的 1%，应修复故障并重复该试验；
- c) 若在整个型式试验期间，短路的半导体器件数量累计大于试品半导体器件总数的 3%，则认为试品未通过整体型式试验；
- d) 每项型式试验后，都应检查试品，以判断是否有半导体器件发生短路。在进一步试验前，型式试验中或试验后发现的故障半导体器件或辅助元件可以更换；
- e) 完成全部试验程序后，混合式高压直流断路器要经历一系列的检查试验，至少要包括以下几项：
 - 1) 检查半导体器件耐受电压；
 - 2) 检查门控电路；

- 3) 检查监测电路；
- 4) 检查作为整体一部分的所有保护电路；
- 5) 检查均压电路。

检查试验期间，发生的半导体器件短路应作为上面定义的验收准则的一部分计算。除了短路的半导体器件之外，在型式试验中和后期的检查试验中发生的、未导致半导体器件短路后果的故障半导体器件总数，也不得超过一个混合式高压直流断路器半导体器件总数的3%。若这样的半导体器件总数超过了3%，在购买方与供货方达成一致的情况下，对故障的性质及其成因进行复查并采取措施；

- f) 当用百分比准则来决定允许的短路半导体器件最大数目和允许的未导致短路的故障半导体器件最大数目，通常是取整数，如表1中所列举的。

表1 型式试验中允许损坏的半导体器件数量

受试断路器半导体器件总数	在任何单项型式试验中允许出现的短路半导体器件数	在全部型式试验中允许出现半导体器件短路的总数	在全部型式试验中其他的未导致短路的故障半导体器件数
33 及以下	1	1	1
34 至 67	1	2	2
68 至 100	1	3	3
其他			

7.2 绝缘试验

7.2.1 试验时周围的大气条件

GB/T XXXX-20XX的6.2.1适用。

7.2.2 雷电冲击耐压试验

GB/T XXXX-20XX的7.2.2适用，并作如下补充：
试验期间，供能设备应处于工作状态。

7.2.3 操作冲击耐压试验

GB/T XXXX-20XX的7.2.3适用，并作如下补充：
试验期间，供能设备应处于工作状态。

注：对试验电流及试验时间有特殊要求时，由供需双方协商确定。

试验用两种极性的直流电压分别进行。

7.2.4 直流电压耐受试验

GB/T XXXXX-20XX的7.2.4适用，并作如下补充：
试验应在两种极性的直流电压下分别进行。

注：对试验电流及试验时间有特殊要求时，由供需双方协商确定。

端间试验时，供能设备应处于工作状态。

7.2.5 局部放电试验

GB/T XXXXX-20XX的7.2.5适用。

7.2.6 状态检查试验

GB/T XXXXX-20XX的7.2.6适用。

7.2.7 动态冲击电压试验

试验是为了验证快速机械开关装置在收到分闸命令规定时间后,动触头仍处于运动过程时的冲击绝缘耐受能力。该时间由制造厂与用户协商。

试验可对完整的快速机械开关装置单独进行。

试验时,快速机械开关装置处于合闸位置,在接到分闸命令的规定时间后由试验控制装置发出冲击发生器点火命令,将冲击电压施加在快速机械开关装置断口间,试验原理如图1所示。

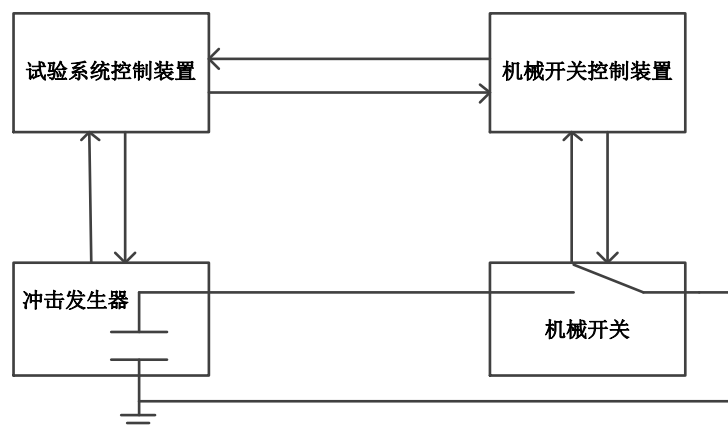


图1 动态冲击电压试验原理图

试验时施加的冲击电压为混合式高压直流断路器避雷器残压的1.1倍。

试验过程中不应发生击穿或者闪络。

7.2.8 冗余的处理

对于在混合式高压直流断路器端间的所有绝缘试验,可以短路冗余半导体器件。半导体器件短接的位置,应由购买方和供货方协商确定。

注:根据设计,短路的半导体器件的分配可能受到限制。例如,在一个半导体组件中,短路的半导体器件的数量有上限。

也可以不短路冗余半导体器件,使用的试验电压应用比例因子 k_s 调整:

$$k_s = \frac{N_t}{N_t - N_r} \quad (1)$$

式中:

N_t ——混合式高压直流断路器转移支路中半导体器件的总数;

N_r ——混合式高压直流断路器转移支路中半导体器件的总冗余数。

7.3 无线电干扰试验

GB/T XXXXX-20XX的7.3适用,并作如下补充:

适用于额定直流电压160kV及以上的混合式高压直流断路器。

7.4 主回路电阻的测量

GB/T XXXXX-20XX的7.4适用。

7.5 最大持续运行直流电流试验

GB/T XXXXX-20XX的7.5适用，并作如下补充：

冗余的半导体器件不应被短路。

7.6 短时耐受电流试验

GB/T XXXXX-20XX的7.6适用，并作如下补充：

试品的主支路如采用水冷方式，应与实际工况安装一致，试验前应达到热平衡（在5 min内出阀冷却介质温度变化不超过1K）。

试品中快速机械开关试验应满足GB/T 11022-2011的4.5的要求，且试验完成后不应发生部件损坏或失效。

冗余的半导体器件不应被短路。

试验电压应使用式（1）进行调整。

7.7 防护等级验证

GB/T XXXXX-20XX的7.7适用。

7.8 密封试验

GB/T XXXXX-20XX的7.8适用。

7.9 电磁兼容性（EMC）试验

GB/T XXXXX-20XX的7.9适用。

7.10 常温下的机械操作试验

GB/T XXXXX-20XX的7.10适用，并作如下补充：

试验可对完整的快速机械开关装置单独进行。

对于快速机械开关装置，应满足6.16的要求。

7.11 端子静负载试验

GB/T XXXXX-20XX的7.11适用。

7.12 关合和开断试验

7.12.1 概述

GB/T XXXXX-20XX的7.12.1适用，并作如下补充：

混合式高压直流断路器应进行重合闸试验。如果为双向导通，则每个方向各进行3次。

对于在单一支路上进行的试验，冗余的半导体器件应被短路。

对于在整个混合式高压直流断路器上进行的试验，冗余的半导体器件不应被短路。

试验电压应使用式（1）进行调整。

7.12.2 关合试验

GB/T XXXXX-20XX的7.12.2适用。

7.12.3 开断试验

GB/T XXXXX-20XX的7.12.3适用，并作如下补充：

试验电流的允许公差为：

- a) 额定直流电流：±20%；
- b) 5%额定开断电流：±20%；
- c) 30%的额定开断电流：±20%；
- d) 60%的额定开断电流：±10%；
- e) 100%的额定开断电流：0-+5%。

试验后数据记录补充如下：

- a) 功率半导体器件的均流系数；
- b) 功率半导体器件的均压系数；
- c) 功率半导体器件的暂态过电压；
- d) 快速机械开关各断口分断时间。

7.12.4 重合闸试验

混合式高压直流断路器开断短路故障后，系统要求快速重合，但所在线路故障未消除，断路器需再次开断短路电流的能力。

采用电容和电抗的高频脉冲放电方式进行（见附录C）。试验前，使得混合式高压直流断路器处于关合状态，随后开始对试验电容充电，充电完成后实现试验回路与充电电源隔离，经火花间隙或者晶闸管阀触发后，然后按照混合式高压直流断路器分-合-分时序，完成试验。

根据重合闸时序0-t-C-t'-0，其中0为分闸，C为合闸，t为分-合时间，t'为合-分时间。

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。

如果为双向直流断路器，则每个方向各进行3次。

混合式高压直流断路器能够可靠重合和开断，重合闸时间不超过设计最大值。任何一次关合试验，混合式高压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。

7.13 真空灭弧室的X射线试验程序

GB/T XXXXX-20XX的7.13适用。

7.14 抗震试验

GB/T XXXXX-20XX的7.14适用。

7.15 通信一致性测试

GB/T XXXXX-20XX的7.15适用。

7.16 冷却设备试验

GB/T XXXXX-20XX的7.16适用。

7.17 能量吸收支路试验

GB/T 22389—2008适用。

7.18 供能设备试验

试验可对完整的供电设备单独进行。

在外输入电压中断时，供电设备应能保持运行至少1分钟，同时，混合式高压直流断路器没有误操作及误报警，应保证任何正在执行的操作被正确完成。

8 出厂试验

GB/T XXXXX-20XX的第8章适用。

9 混合式高压直流断路器的选用导则

9.1 概述

本标准适用于1.5 kV及以上电压等级混合式高压直流断路器。混合式高压直流断路器的额定参数推荐值见本标准第5章。

为使混合式高压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 混合式高压直流断路器额定值的选择

9.2.1 额定直流电压的选择

混合式高压直流断路器的额定直流电压可以从本标准的6.2中选取。

9.2.2 额定直流电流的选择

混合式高压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。

混合式高压直流断路器的额定直流电流可以从本标准6.4中选取。

10 查询、投标和订货时提供的资料

GB/T XXXXX-20XX的第9章适用。

11 运输、储存、安装、运行和维护规则

GB/T XXXXX-20XX的第10章适用。

12 安全

GB/T XXXXX-20XX的第11章适用。

13 产品对环境的影响

GB/T XXXXX-20XX的第12章适用。

14 产品随行文件

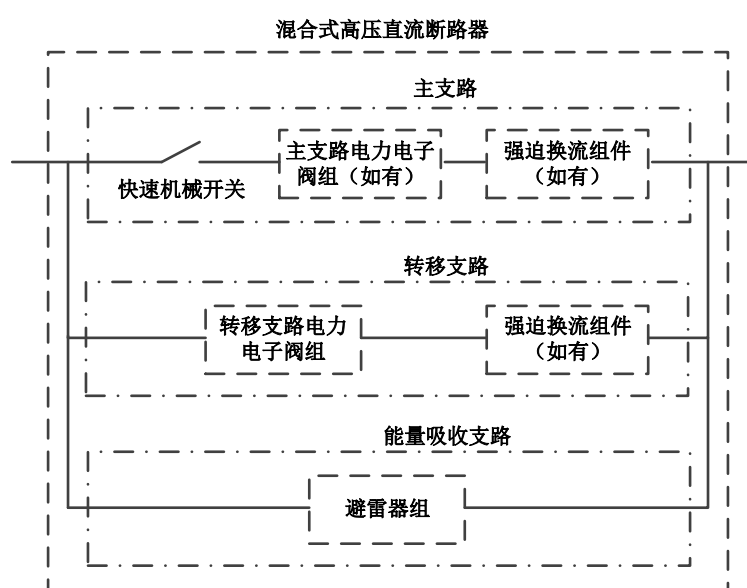
产品出厂应提供下列随行文件：

- a) 产品合格证；
- b) 产品说明书；
- c) 装箱清单；
- d) 随机备品备件清单；
- e) 产品图样及设计文件；
- f) 其他有关技术资料。

附 录 A
(资料性附录)
混合式高压直流断路器典型拓扑形式

A.1 总则

混合式高压直流断路器主要由快速机械开关和电力电子器件构成，其核心特点是依靠快速机械开关承载电流，通过电力电子器件开断和关合电流。主要包括主支路、转移支路和能量吸收支路。典型结构图如图A.1所示。



图A.1 混合式高压直流断路器典型结构图

A.2 混合式高压直流断路器拓扑一

本例中混合式高压直流断路器包含主支路、转移支路和能量吸收支路。

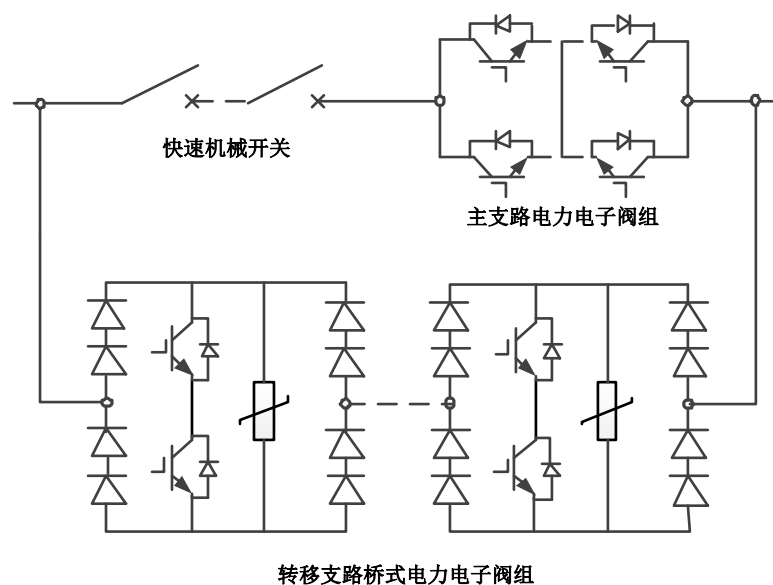
其中主支路由快速机械开关和主支路电力电子阀组构成，主要用于承载直流系统电流，其中主支路电力电子阀组由少量IGBT组成串并联构成，通过闭锁主支路强电力电子阀组将主支路电流换流到转移支路。

转移支路主要由至少一个转移支路电力电子单元串联构成，并依靠电力电子器件实现直流系统电流的开断和关合。转移支路电力电子单元为二极管阀串、IGBT阀串构成的大H桥结构。

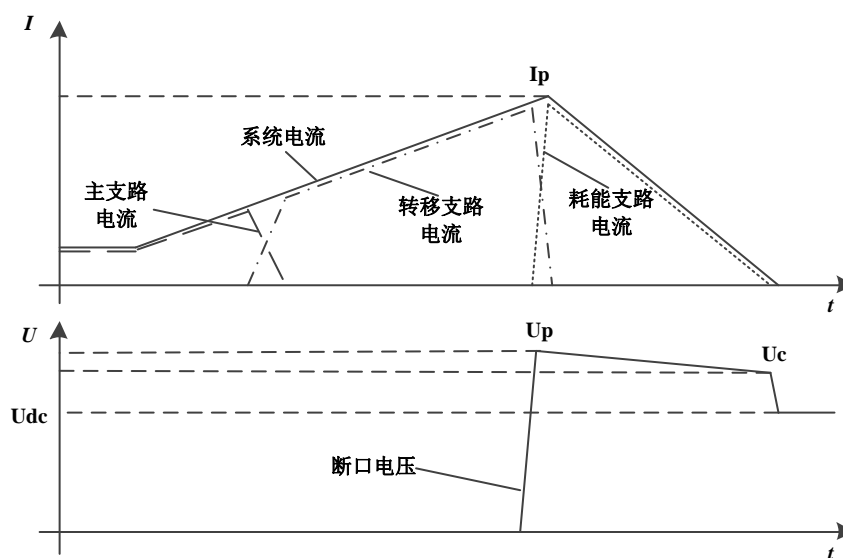
转移支路根据电流方向选择不同方向的二极管阀组导通，确保IGBT阀组的电流方向仅需要按照单向设计。

耗能支路采用多级避雷器串联构成。

拓扑结构与时序图分别见图A.2与图A.3。



图A.2 混合式高压直流断路器拓扑结构一



图A.3 混合式高压直流断路器拓扑结构一时序图

A.3 混合式高压直流断路器拓扑二

本例中混合式高压直流断路器包含主支路、转移支路和能量吸收支路。

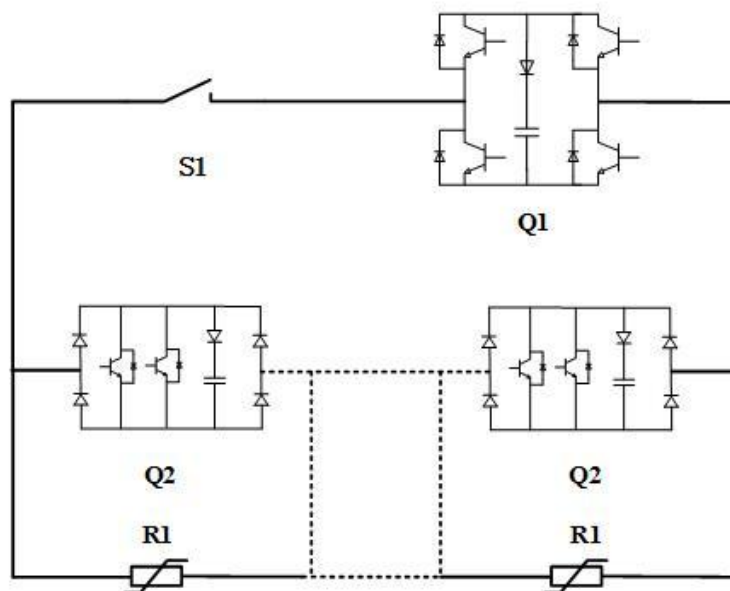
其中主支路由快速机械开关和主支路电力电子阀组构成，主要用于承载直流系统电流。其中主支路电力电子阀组由少量IGBT组成串并联构成，通过闭锁主支路电力电子阀组将主支路电流换流到转移支路。

转移支路主要由转移支路电力电子阀组构成，并依靠电力电子器件实现直流系统电流的开断和关合。转移支路电力电子阀组由至少一个转移支路电力电子单元串联构成，其中转移支路子单元为4个二

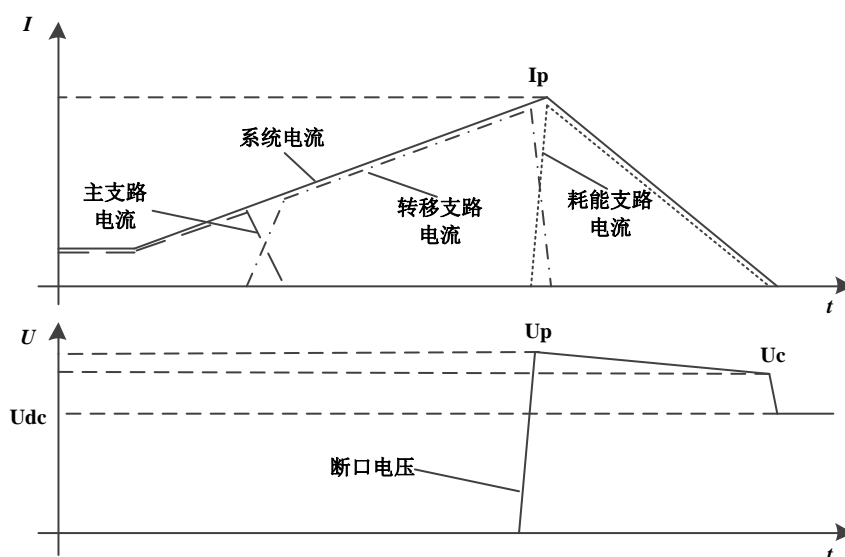
极管、1个IGBT构成H桥结构。转移支路根据电流方向选择不同方向的二极管阀组导通，确保IGBT阀组的电流方向仅需要按照单向设计。

耗能支路采用多级避雷器串联构成。

拓扑结构与时序图分别见图A.4与图A.5。



图A.4 混合式高压直流断路器拓扑结构二



图A.5 混合式高压直流断路器拓扑结构二时序图

A.4 混合式高压直流断路器拓扑三

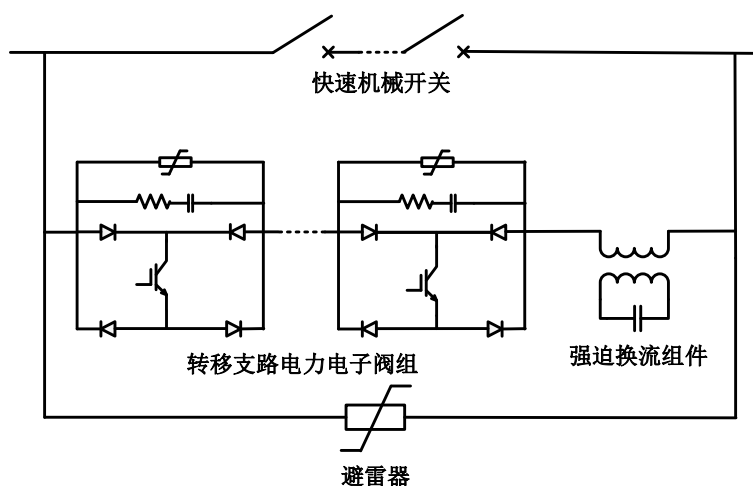
本例中混合式高压直流断路器包含主支路、转移支路和能量吸收支路。其中主支路由快速机械开关构成，主要用于承载直流系统电流。

转移支路主要由转移支路电力电子阀组和强迫换流组件构成。强迫换流组件为电感和电容等构成，通过感应振荡电流实现主支路电流换流到转移支路。最终依靠电力电子器件实现直流系统电流的开断和关合。

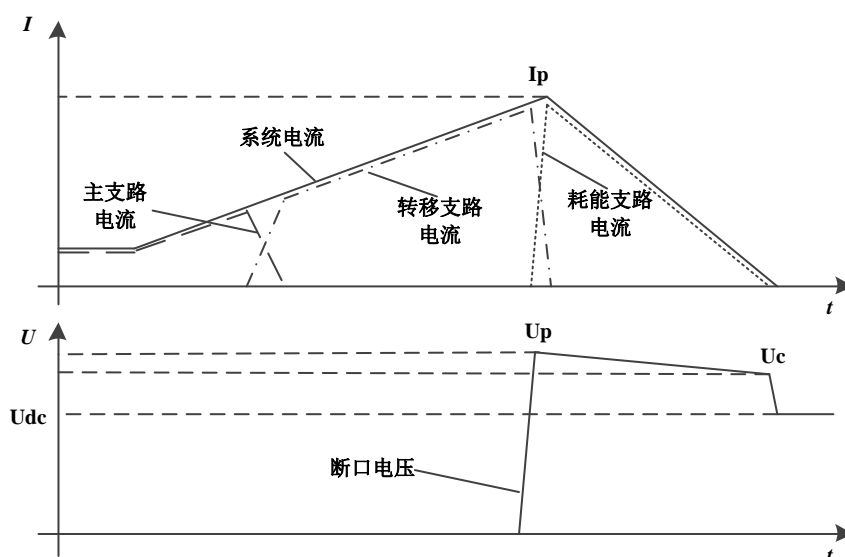
转移支路电力电子阀组由至少一个转移支路电力电子单元串联构成，其中转移支路子单元为4个二极管、1个IGBT构成H桥结构。转移支路根据电流方向选择不同方向的二极管阀组导通，确保IGBT阀组的电流方向仅需要按照单向设计。

耗能支路采用多级避雷器串联构成。

拓扑结构与时序图分别见图A.6与图A.7。



图A.6 混合式高压直流断路器拓扑结构三



图A.7 混合式高压直流断路器拓扑结构三时序图

A.5 混合式高压直流断路器拓扑四

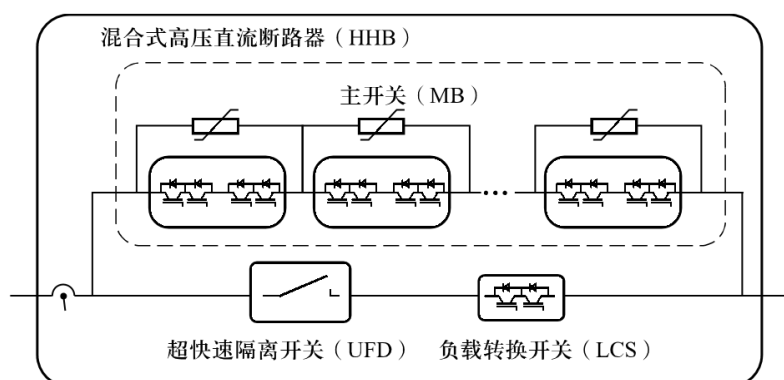
本例中混合式高压直流断路器（HHB）主要包括三个主要的功能组件：

- (1) 超快速隔离开关（ultrafast disconnecter, UFD）；

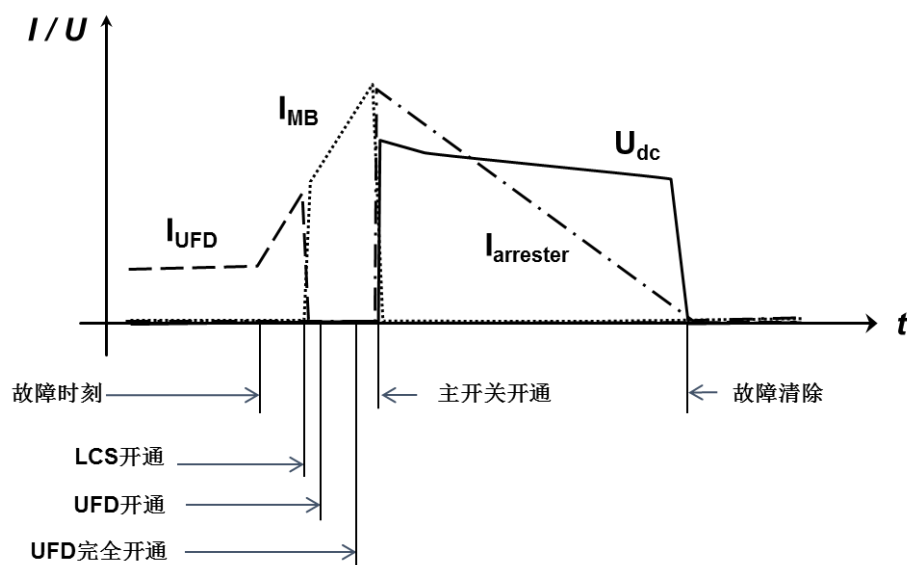
- (2) 负载转换开关 (load commutation switch, LCS);
 (3) 主开关 (main breaker, MB)。

其中, UFD 和 LCS串联连接为主支路, 此支路具有相对较小的电阻, 作为正常负载电流通路。MB 支路由若干相同的MB模块组成, 其中每个MB模块均由一个基于电力电子开关的电流转移支路和一个基于避雷器的能量吸收支路并联构成。在正常运行中, 负载电流流经UFD和LCS构成的主支路。故障清除过程中, 通过主支路LCS的关断将负载电流首先转移到MB模块的电流转移支路; 待UFD打开后, 所有MB模块的转移支路上的电力电子开关全部关断, 将故障电流最终转移到MB模块的避雷器能量吸收支路。经由这个操作序列, 能量最终通过避雷器耗散完毕。

拓扑结构与时序图分别见图A. 8与图A. 9。



图A. 8 混合式高压直流断路器拓扑结构四



图A. 9 混合式高压直流断路器拓扑结构四时序图

A. 6 混合式高压直流断路器拓扑五

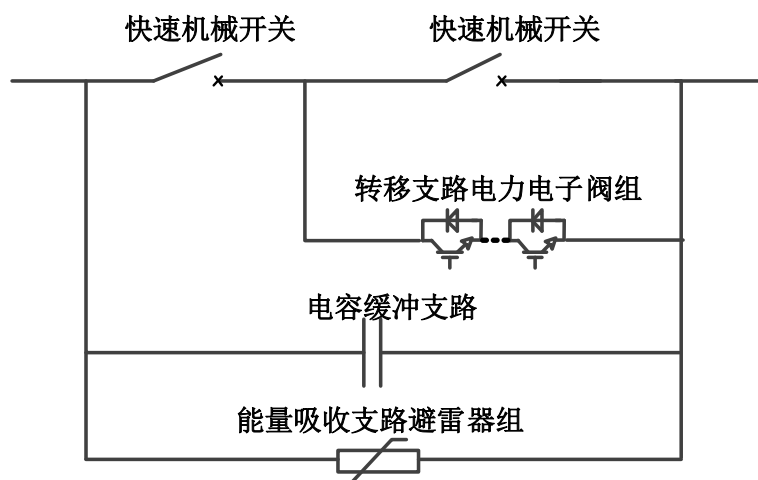
本例中混合式高压直流断路器包括主支路、转移支路、缓冲电容支路和能量吸收支路。其中主支路由两个快速机械开关串联构成, 主要用于承载直流系统电流。

转移支路主要由转移支路电力电子阀组构成，其中电力电子阀组由少量IGBT组成串并联构成。利用快速机械开关开断过程中的电弧电压将主支路电流换流到转移支路。

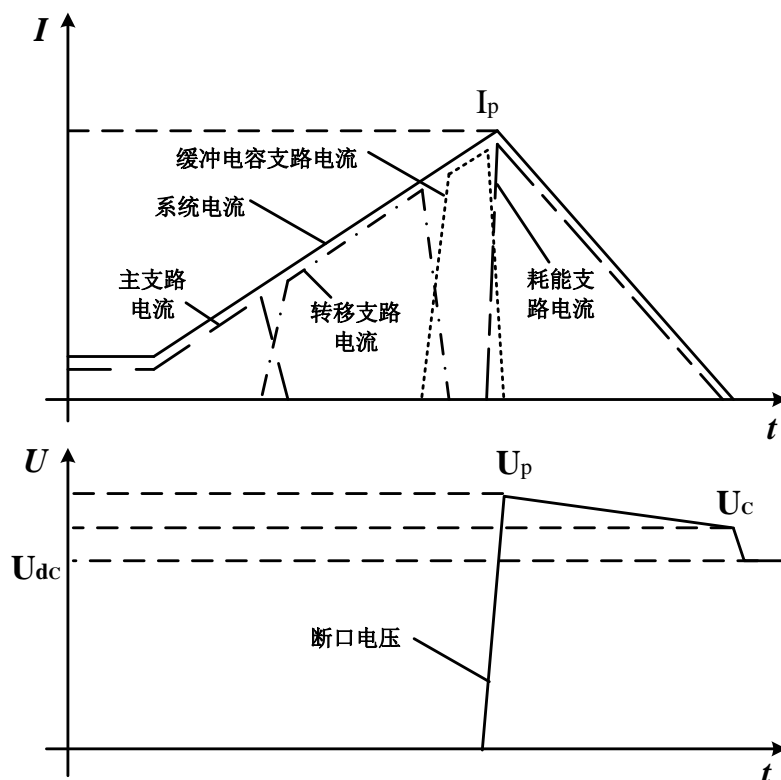
缓冲电容支路主要由多个电容器串并联构成。

能量吸收支路采用多级避雷器串联构成。

拓扑结构与时序图分别见图A.10与图A.11。



图A.10 混合式高压直流断路器拓扑结构五



图A.11 混合式高压直流断路器拓扑结构五时序图

附录 B

(资料性附录)

混合式高压直流断路器开断试验回路

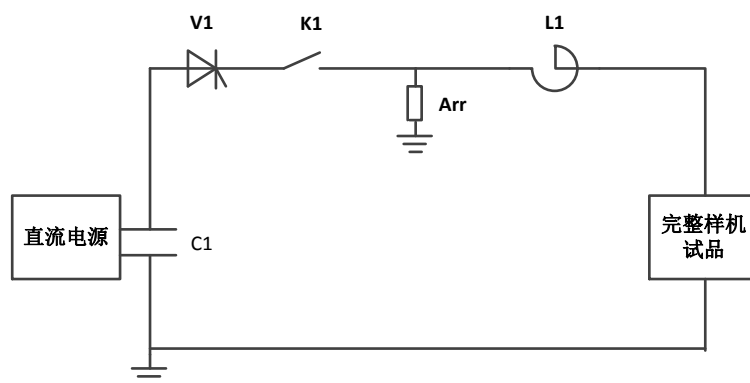
B.1 总则

混合式高压直流断路器的最关键试验项目为故障电流开断试验，通过该项试验，可有效验证混合式高压直流断路器的开断能力、开断电压耐受特性、能量吸收特性和机械开关动作特性。

B.2 混合式高压直流断路器开断试验系统拓扑

试验系统拓扑如图B.1所示，原理如下：

- 使用直流电源对电流源电容组 C1 充电；
- 断路器整机主支路处于开通状态，触发 V1 阀导通，产生试验电流；
- 断路器整机在 V1 阀导通特定时间后（控保检测时间）开断进行关断，断路器按照内部顺序动作逻辑完成试验电流关断，最终关断电流不小于试验值。



图B.1 混合式高压直流断路器电流开断试验原理图

参 考 文 献

- [1] GB/T 30425—2013 高压直流输电换流阀水冷却设备
 - [2] GB/T 33348—2016 高压直流输电用电压源换流器阀 电气试验 (IEC 62501: 2014, IDT)
 - [3] GB/T 34139—2017 柔性直流输电换流器技术规范
 - [4] IEC 60700—1: 2015 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)
 - [5] IEC 61850 变电站内通信网络和系统 (Communication Networks and Systems in Substations)
-