

ICS 29.020
F 24
备案号: 53947-2016

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1526 — 2016

柔性直流输电工程系统试验规程

Specification of system test for VSC-HVDC project

2016-01-07 发布

2016-06-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 3

5 换流站试验 3

6 端对端系统试验 8

7 人工短路试验（选项试验） 17

8 黑启动试验 18

9 试运行 18

附录 A（资料性附录） 柔性直流输电系统典型主接线 19

附录 B（资料性附录） 动态性能指标 22

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电能质量及柔性输电标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：全球能源互联网研究院、国网湖北省电力公司电力科学研究院、国网甘肃省电力公司电力科学研究院、南京南瑞继保电气有限公司、许继直流输电系统公司、国网新疆电力公司电力科学研究院、国家电网公司、山东泰开电力电子有限公司、国网山东省电力公司电力科学研究院、山东迪生电气股份有限公司、国网上海市电力公司检修公司。

本标准主要起草人：庞辉、康健、秦睿、卢宇、康建爽、于永军、张文亮、樊得平、刘民、孙士民、刁冠勋、赵岩、杨杰。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

柔性直流输电工程系统试验规程

1 范围

本标准规定了柔性直流输电工程系统试验的试验项目、试验方法及评价要求。

本标准适用于功率可双向传输的单极对称、单极非对称和双极对称柔性直流输电工程（参见附录 A），其他柔性直流输电工程可参照执行。

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 13498—2007 高压直流输电术语

GB/T 30553—2014 基于电压源换流器的高压直流输电

GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

DL/T 276 高压直流设备无线电干扰测量方法

DL/T 664 带电设备红外诊断应用规范

DL/T 722 变压器油中溶解气体分析和判断导则

DL/T 1193—2012 柔性输电术语

DL/T 5234—2010 $\pm 800\text{kV}$ 及以下直流输电工程启动及竣工验收规程

JB/T 10088 $6\text{kV}\sim 500\text{kV}$ 级电力变压器声级

3 术语和定义

GB/T 13498—2007、GB/T 30553—2014、DL/T 5234—2010、DL/T 1193—2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 30553—2014、DL/T 1193—2012 中的某些术语和定义。

3.1

电压源换流器型高压直流输电 **high voltage direct current transmission based on voltage source converter; VSC-HVDC**

采用电压源换流器的高压直流输电方式，又称为柔性直流输电（参见附录 A）。

[DL/T 1193—2012，定义 4.1.11]

3.2

换流 **conversion**

变流

利用功率半导体器件将交流电能转换为直流电能，或将直流电能转换为交流电能，或者二者的组合。

注：在柔性输电领域内，“换流”为惯用术语；在电力电子领域，更多的是使用术语“变流”。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.1]

3.3

换流器 **converter**

由换流模块及其辅助装置构成，能实现完整换流功能的电气装置。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.5]

3.4

电压源换流器 voltage source converter; VSC

由具有关断能力的器件，如绝缘栅双极晶体管（IGBT）组成的换流器。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.8]

3.5

两电平电压源换流器 two-level VSC

桥臂输出电压（相对于直流电容器中点）中具有两个不同直流电平的电压源换流器。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.12]

3.6

模块化多电平换流器 modular multi-level converter; MMC

每个电压源换流器阀由一定数量的独立单相电压源换流器串联组成的多电平换流器。

[GB/T 30553—2014，定义 3.4.7]

3.7

接口变压器（连接变压器） interface transformer

连接于换流器与交流电网之间，在换流器与交流电网间传输电能的变压器。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.10]

3.8

接口电抗器 interface reactor

连接于换流器与交流电网之间，为换流器与交流电网间电能传输提供通路的电抗器。

[DL/T 1193—2012，定义 3.3.11]

3.9

阀电抗器（桥臂电抗器） converter valve reactor (converter arm reactor)

位于换流器桥臂上，能够起到抑制换流器输出电流谐波以及限制暂态和故障电流作用的电抗器。

3.10

静止同步补偿器 static synchronous compensator; STATCOM

一种由并联接入系统的电压源换流器构成，其输出的容性或感性无功电流连续可调且在可运行系统电压范围内与系统电压无关。当用于配电系统中时，又称为配电静止同步补偿器（D-STATCOM）。

[DL/T 1193—2012，定义 4.1.2]

3.11

单极对称系统 monopolar symmetry system

利用两根导线构成直流侧的单极回路，两根高绝缘导线回路的电压幅值相同、极性相反。

3.12

单极非对称系统 monopolar asymmetric system

利用两根导线构成直流侧的单极回路，其中一根低绝缘导线代替高绝缘导线回路。为了固定直流侧的对地电压，低绝缘导线的一端接地，其不接地端的最高运行电压为最大有功功率时的线路压降。

3.13

双极对称系统 bipolar symmetry system

直流侧接线是由两个可独立运行的单极金属回线方式组成，两极在金属回线中的电流方向相反。

3.14

多端柔性直流输电系统 multi-terminal VSC-HVDC

两个以上换流站在直流侧通过一定方式连接起来的柔性直流输电系统。

3.15

换流站试验 converter station test

在分系统试验完成并合格的基础上，换流站相关一次设备已具备带电条件，在各换流站内检查换流

站功能的试验。

3.16

端对端系统试验 end to end system test

在两端换流站试验完成并合格的基础上，两端换流站加直流线路的联合试验。

3.17

小功率试验 low-power testing

单极直流额定功率 50%以下进行的试验内容。

3.18

闭锁 blocking

阻止可控阀或换流器继续开通的操作。

3.19

解锁 de-blocking

通过解除可控阀或换流器的闭锁，允许其开通的操作。

3.20

主机 CPU 负荷率 load rate of host CPU

主机 CPU 在规定时间（日、月、年）内的平均负荷与最大负荷之比的百分数。

3.21

黑启动 black start

当电力系统发生重大事故，导致系统瓦解后，通过系统中具有自启动能力电源的启动，逐步扩大电力系统的恢复范围，最终实现整个电力系统的恢复过程。

3.22

数据采集与监视控制系统 supervisory control and data acquisition; SCADA

可实现数据采集与监视的计算机控制系统。

4 总则

4.1 系统试验是全面验证工程是否满足工程技术规范书要求的重要手段，是保证工程安全、可靠运行的关键环节。直流输电工程在投入商业运行之前，应进行系统试验。

4.2 系统试验方案应以国家及行业已颁布的相关标准为依据。

4.3 工程系统试验范围以工程启动验收委员会（简称“启委会”）批准的试验方案为准。

4.4 系统试验应在各设备单体试验及分系统试验完成并验收合格后进行。

4.5 在系统试验过程中，应对换流站的稳态数据、动态数据和暂态数据等进行跟踪监测。系统和设备的功能和性能指标均应满足工程技术规范书的要求。

4.6 对于某些柔性直流输电工程所要求的特殊功能/性能试验，可按其工程技术规范书的要求，增加相应试验项目。

5 换流站试验

5.1 换流站试验应具备的条件

5.1.1 换流站应具备以下条件：

- a) 换流站试验方案、调度方案已获启委会批准。
- b) 交流开关场已具备带电条件。
- c) 站辅助电源系统已运行。
- d) 消防工程已通过消防部门验收，消防设施齐全，具备投入使用条件。

- e) 调度通信自动化系统、安全自动装置以及相应的辅助设施均已安装齐全，试验整定合格。
- f) 水冷系统已具备投运条件。
- g) 照明、通信、采暖、通风、防潮等设施按设计要求安装试验完毕，已投入正常使用。
- h) 换流站站内以及与相关调度机构之间的通信已畅通。
- i) 站内所有设备及其控制、保护（包括通道）、测量、监控装置以及相应的辅助设施均已安装齐全，设备已标识并核对无误。
- j) 站内电气设备及分系统的各项试验全部完成且合格，有关记录齐全完整，竣工预验收和质监检测已经完成。
- k) 测量、计量装置，符合设计要求并经校验合格。
- l) 与试验相关的建筑工程和生产区域的全部设备和设施，站内外道路，上下水、防火、防洪工程等均已按设计完成并经验收检查合格。
- m) 生产区域的场地平整，道路畅通，平台栏杆和沟道盖板齐全，脚手架、障碍物、易燃物、建筑垃圾等已经清除。
- n) 待试验区域的接地线已全部拆除，箱柜已关好并上锁。施工临时设施不满足带电要求的已全部拆除。待试验区域与其他区域之间已有明显隔离、指示标志。
- o) 监控系统未出现影响站系统试验的报警信号。
- p) 换流站试验的组织机构已满足 DL/T 5234—2010 的要求。
- q) 新设备启动投运申请已获调度部门许可。
- r) 相关试验人员已熟悉换流站试验方案和调度方案，并根据调度方案将试验项目操作票准备就绪。
- s) 参加试验的施工、生产运行、调度、试验单位已将有关标准、制度、系统图表、方案、记录表格、安全用具等准备好。
- t) 试验人员已就位，各种试验记录表格已齐备，试验设备已调整完毕。
- u) 检修和负责抢修的人员已到位，必需的备品备件及抢修工器具已备齐。
- v) 工程启委会主任委员已下达换流站试验的命令。

5.1.2 输电线路应具备以下条件：

- a) 线路（电缆）安装已完成，影响线路安全运行的问题已处理完毕。
- b) 线路（电缆）交接试验已完成并合格。
- c) 线路的运行杆塔号、极性已标识。
- d) 设计规定的有关防护设施等已经验收合格。
- e) 线路（电缆）上的障碍物与临时接地线（包括两端变电站）已全部拆除。
- f) 项目法人或建设单位主持的竣工预验收和电力建设质量监督站的质监检查已经完成。
- g) 工程质量监督机构质量检查提出的在换流站试验前必须要完成的整改项目已完成。
- h) 按照设计规定的线路保护（包括通道）和自动装置已具备投入条件。
- i) 已确认线路（电缆）上无人作业，危及人身安全和安全运行的一切活动已停止，已向沿线发布带电运行通告，启动试运行前的检查维护工作已完成。
- j) 承担线路试运行巡视及维护的人员已配备并持证上岗，启动试运行组已将试验（试运）方案向参加试验的人员进行交底。
- k) 线路（电缆）工程的各种图纸、资料、试验报告齐全；运行所需的标准、制度、档案、记录齐全。
- l) 各种工器具、备品备件齐全。

5.1.3 接地极及接地极线路应具备以下条件：

- a) 接地极及接地极线路安装已完成，影响接地极和接地极线路安全运行的问题已处理完毕。
- b) 被施工破坏的地形地貌已修复。
- c) 接地极及接地极线路防护设施完好无损，安全标志清晰。

- d) 影响接地极及接地极线路正常运行的临时设施已清除。
- e) 项目法人或建设单位主持的竣工预验收和电力建设质量监督站的质监检查已经完成。
- f) 工程质量监督机构质量检查提出的在换流站试验前必须要完成的整改项目已完成。
- g) 已确认线路（电缆）上无人作业，危及人身安全和安全运行的一切活动已停止，已向沿线发布带电运行通告。
- h) 启动试运行前的检查维护工作已完成。
- i) 承担接地极和接地极线路试运行巡视及维护的人员已配备并持证上岗，启动试运行组已将试验（试运）方案向参试人员交底。
- j) 接地极和接地极线路工程的各种图纸、资料、试验报告齐全；运行所需的标准、制度、档案、记录齐全。
- k) 各种工器具、备品备件齐全。

5.2 换流站试验项目及要求

5.2.1 不带电顺序操作试验

5.2.1.1 试验要求

不带电顺序操作试验项目在换流站交流场不带电条件下进行。不带电顺序操作试验可在有站间通信或无站间通信下进行检验。

5.2.1.2 连接方式

不带电顺序操作的连接方式通常有下列几种：

- a) 检修方式。
- b) 极隔离方式。
- c) 接口变压器连接方式。
- d) 运行方式。

5.2.1.3 不带电顺序操作方式

不带电顺序操作方式包括：

- a) 本站。在本站运行人员工作站进行不带电顺序操作。
- b) 远方。在调度机构进行不带电顺序操作。

5.2.1.4 不带电顺序操作控制模式

应分别在手动控制模式和自动控制模式下进行不带电顺序操作试验：

- a) 手动控制模式。在换流站执行单步操作。正确的操作应能执行，错误的操作应被拒绝。
- b) 自动控制模式。以综合指令的方式自动执行不带电顺序操作。正常时，应能按规定的顺序完成操作。当不能按顺序完成时，应有相应的报警信息，且相应设备应能手动退回上一个有定义的状态，或进入下一个有定义的状态。

5.2.2 最终跳闸试验

5.2.2.1 试验要求

最终跳闸试验在接口变压器和直流场不带电情况下进行。

5.2.2.2 最终跳闸试验类型

最终跳闸试验类型包括：

- a) 接口变压器保护跳闸。接口变压器保护包括电量保护和非电量保护。从接口变压器保护跳闸出口端子施加跳闸信号。每个保护的跳闸回路应能正确跳开接口变压器网侧相应交流断路器和协调直流控制保护停运柔性直流输电系统，并正确地发出对应信号和事件记录。
- b) 直流保护跳闸。从直流保护系统保护跳闸出口端子施加跳闸信号，停运柔性直流输电系统，跳开相应接口变压器网侧交流断路器。对于每套保护的跳闸类型，跳闸程序被正确地执行；闭锁换流阀，跳开两侧接口变压器网侧交流断路器，并发出对应信号和事件记录。
- c) 控制台手动紧急跳闸。手动按下主控室的紧急停运按钮，正确的跳闸程序被执行。停运柔性直流输电系统、跳开接口变压器网侧交流断路器。柔性直流输电系统应能可靠闭锁、接口变压器网侧交流断路器正确跳开，并发出对应的信号和事件记录。

5.2.2.3 保护出口行为

保护出口行为通常包括：

- a) 报警；
- b) 切换；
- c) 闭锁；
- d) 跳交流侧断路器；
- e) 锁定交流侧断路器；
- f) 启动交流侧断路器失灵保护。

5.2.3 干扰验证

5.2.3.1 步话机/手机通话

在换流站一次设备未带电，该极二次设备盘柜全部运行的状态下，在盘柜前/后门正前方 20cm 处，在开门和关门两种状态下，手持站内通信步话机/手机通话。步话机发射的功率在 3W~5W 范围内。

该极任何二次设备盘柜不应由于干扰而出现异常。

5.2.3.2 切/合空母线（选项试验）

直流系统一次设备不带电、二次设备盘柜全部运行的状态下，利用隔离开关切/合空母线。

测量有关二次传导回路的干扰电压或电流。

任何二次设备盘柜不应由于干扰而出现误动和异常。

5.2.4 接口变压器和换流器充电试验

5.2.4.1 接口变压器充电试验

接口变压器充电试验按照以下顺序进行：

- a) 充电试验应具备的条件。检查接口变压器分接头挡位置在二次电压最小位置，冷却系统正常运行。
- b) 充电试验。接口变压器与换流器连接隔离开关断开，合接口变压器网侧交流断路器，向接口变压器充电，充电次数应不少于 5 次，其中一次充电保持时间应不小于 1h，前次断电到下次充电的间隔时间不小于 15min。
- c) 分接头控制功能试验。接口变压器带电状态下，进行分接头手动控制功能试验。

d) 测量项目:

- 1) 开关投、切空载接口变压器试验过程中励磁涌流峰值、操作过电压测量。接口变压器充电时的励磁涌流峰值和操作过电压应在预期的限制值之内,其谐振应被充分阻尼,接口变压器相关保护不应误动作。
- 2) 额定电压下冲击合闸试验后接口变压器油中溶解气体色谱分析测试。按 GB 50150 和 DL/T 722 的规定进行。
- 3) 油箱表面的温度分布及引线接头的温度测量。按 DL/T 664 的规定进行。
- 4) 空载下的噪声测量。空载声功率级按 JB/T 10088 的规定进行。

5.2.4.2 换流器充电试验

在换流器处于闭锁状态且与直流线路隔离开关断开,充电电阻旁路开关断开情况下,合接口变压器网侧交流断路器,向接口变压器和换流器同时充电。在换流站试验期间,换流器充电次数应不少于 2 次,前次断电到下次充电的间隔时间不小于 15min。

检查启动回路(包括启动电阻等)是否过热。检查阀电抗器网侧电压相序及大小,阀控装置回报模块电压和状态信号,检查直流侧电压极性和变比,在预定充电时间后,模块电压和直流电压应符合设计要求。

换流器阀控系统能正常工作,预检功能正确,换流器相关保护不应误动作。如有异常或故障应能正确报警,保护正确动作。

5.2.5 换流器空载输出试验

在换流器与直流线路隔离开关断开,充电电阻旁路开关断开情况下,合接口变压器网侧交流断路器,向接口变压器和换流器同时充电;充电完成后,合充电电阻旁路开关,解锁换流器。

解锁前后,换流器阀控系统应能正常工作,预检功能正确,换流器相关保护不应误动作。

检查阀电抗器网侧电压波形、相序、幅值及电平数,空载逆变输出电压波形应符合设计要求。

5.2.6 开路试验

5.2.6.1 不带直流线路的开路试验

不带直流线路的开路试验包括:

- a) 手动模式。受试端换流站正、负极直流母线与直流线路断开;在手动控制模式下解锁该换流器;将直流电压由最小可运行电压升至预期的目标值,或分为几个台阶升至预期的目标值,保持时间至少为 0.5h;再将直流电压降至最小可运行电压,闭锁换流器。

试验中阀厅及直流场设备应无放电现象;交、直流保护不应误动作,升/降直流电压平稳。

试验后检查阀避雷器及直流场避雷器动作情况。

- b) 自动模式。受试端换流站正、负极直流母线与直流线路断开;在自动控制模式下解锁换流器;将直流电压按预定速率由最小可运行电压升至预期的目标值,保持至少 1min 时间;再自动降至最小可运行电压,闭锁换流器。

直流电压升/降过程与预设计的过程相符。

试验中阀厅及直流场设备应无放电现象;交、直流保护不应误动作,升/降直流电压平稳。

试验后检查阀避雷器及直流场避雷器动作情况。

5.2.6.2 带直流线路的开路试验

带直流线路的开路试验时,受试端换流站正、负极直流母线与直流线路连接,对侧换流站正、负极直流母线与直流线路断开。试验包括:

- a) 手动模式。在手动控制模式下解锁该换流器；将直流电压由最小可运行电压升至预期的目标值，或分为几个台阶升至预期的目标值，保持至少 0.5h；再将直流电压降至最小可运行电压，闭锁换流器。

试验中阀厅及直流场设备及直流线路应无放电现象；交、直流保护不应误动作，升/降直流电压平稳。试验后检查阀避雷器及直流场避雷器动作情况。

- b) 自动模式。在自动控制模式下解锁该换流器；直流电压按预定速率由最小可运行电压升至预期的目标值，保持至少 1min 时间；再自动降至最小可运行电压，闭锁换流器。

直流电压升/降过程应与设计的过程相符。

试验中阀厅及直流场设备及直流线路应无放电现象；交、直流保护不应误动作，升/降直流电压平稳。试验后检查阀避雷器及直流场避雷器动作情况。

5.2.7 STATCOM 运行方式试验

5.2.7.1 无功控制

以 STATCOM 运行方式启动换流站，启动前，控制系统控制方式设置为定无功功率控制方式，有功功率定值设置为零，解锁换流器，依次设置无功功率参考值从最小值到额定值中的数个典型数值，每阶段保持 15min 进行试验。最后按预设速率降低无功功率并闭锁换流器。

系统解/闭锁过程中冲击小，功率升/降过程应平稳。

试验中测量网侧交流电压、网侧交流电流、阀侧交流电压、阀侧交流电流、桥臂电流、无功功率。检查实际运行的无功功率值与整定值的差别，其误差宜在 3% 以内。

5.2.7.2 定交流电压控制

以 STATCOM 运行方式启动换流站，控制系统控制方式设置为定交流电压控制方式，依次设置电压参考值低于或高于系统运行电压的数个典型数值，使柔性直流输电系统自动调整无功。

系统解/闭锁冲击小，功率升/降过程应平稳。

试验中，测量网侧交流电压、网侧交流电流、阀侧交流电压、阀侧交流电流、桥臂电流、无功功率。检查实际交流电压值与整定值的差别，其误差宜在 0.5% 以内。

5.2.8 站用电源切换试验

采用模拟方法进行站用电源切换试验已完成，结果符合设计要求。站用电源切换试验包括：

- a) 电源切换试验。切除任何一回站用电源进线断路器时，站用电系统另一回进线电源自动投入（分别对各路进线断路器进行此项试验）。电源自动切换功能正确。
- b) 备自投试验。切/合站内各电压等级母线电源。测试各级电源备自投功能，切除某一工作电源，备用电源自动投入，备自投功能正确。站用电源切换时不应导致单、双极闭锁情况发生。
- c) 交流辅助电源切换。定功率控制模式系统稳态运行工况下，分别在两站依次手动断开/合上站用变压器一路进线开关。

断开站用变压器一路进线开关，相应母线联络开关应自动合上；柔性直流输电系统传输功率应不受扰动。

6 端对端系统试验

6.1 试验应具备的条件

端对端系统试验应具备的条件：

- a) 端对端系统试验应具备的基本条件与换流站试验中换流站、线路（电缆）接地极及接地极线路应具备的条件相同；
- b) 两端换流站试验已完成，且试验结果满足要求；
- c) 端对端系统试验的组织机构已满足 DL/T 5234—2010 的要求；
- d) 端对端系统试验方案、调度方案已获启委会批准；
- e) 相关试验人员已熟悉试验调度方案，试验操作票准备就绪；
- f) 端对端系统试验申请已获调度部门许可；
- g) 工程启委会主任委员已下达端对端系统试验的命令。

6.2 端对端系统试验项目及要求

6.2.1 小功率试验

6.2.1.1 初始运行试验

初始运行试验包括：

- a) 启、停试验。系统解锁前，核实两端换流站均已进入热备用状态。试验按照以下顺序进行：
 - 1) 在系统层控制模式下进行柔性直流输电系统解锁和闭锁试验。在该控制模式下，一端换流站采用定直流电压控制模式，对端换流站采用定直流功率或定频率控制模式。解锁后，柔性直流输电系统平稳建立直流电压、直流输送功率按照预设速率升至预设值；预设值一般应不超过额定值的 10%；启动闭锁后，柔性直流输电系统先按照预设速率降至零功率，然后闭锁。柔性直流输电系统解锁和闭锁过程中，无任何交、直流保护误动作。

在校核运行人员工作站上校核相关监视数据显示是否正常；直流系统解锁和闭锁时序应正确。

- 2) 在站层控制模式下进行柔性直流输电系统解锁和闭锁试验。在该控制模式下，一端换流站采用定直流电压控制模式，对端换流站采用定直流功率或定频率控制模式；首先完成定直流电压换流站解锁，待直流电压升至预设值后，完成定直流功率或定频率换流站解锁。

柔性直流输电系统在闭锁过程中，首先完成定频率或定直流功率换流站闭锁，然后完成定直流电压控制站闭锁。

在解锁及功率升降过程中，柔性直流输电系统应能平稳建立直流电压、直流输送功率按照预设速率完成直流功率升降；系统解锁和闭锁过程中，无任何交、直流保护误动作。

柔性直流输电系统解锁，在输送直流功率进入稳态后进行电流、电压二次回路检验，校核运行人员工作站上相关检测数据显示是否正常。

有关二次回路接线应正确，控制保护系统采集到电压、电流等参量误差应满足系统规范书要求。

- b) 紧急停运试验。柔性直流输电系统小功率运行，在有站间通信和无站间通信两种方式下，分别在两端换流站手动启动紧急停运。

在有站间通信情况下，紧急停运时序应正确，交、直流保护不误动作，交、直流侧不应产生异常过电压；在无站间通信情况下，手动启动紧急停运后，对应其他站保护系统应能正确检测到紧急停运需求，并启动跳闸功能。

在紧急停运过程中，交、直流保护应不误动作和拒动。

- c) 控制系统手动切换试验。柔性直流系统解锁稳定运行后，手动将主值控制系统切换为备用系统，再将切换后的备用系统切换为主值控制系统。

备用系统应自动响应切换命令转为主值系统，整个切换过程不对系统传输的直流功率及直流电压产生扰动，依据无功控制模式不同，整个切换过程不对系统无功功率、交流电压产生扰动。

试验中监测柔性直流输电系统直流电流、有功功率、无功功率和换流站端交、直流电压。

6.2.1.2 控制系统自检与系统故障切换试验

控制系统自检与系统故障切换试验包括：

- a) 主值控制系统电源故障切换试验。断开主值控制系统直流供电电源，备用控制系统应自动切换为主值系统；恢复原主值控制系统直流供电电源，使其进入备用状态；再断开现主值控制系统直流供电电源，进入备用状态的原主值控制系统应自动进入主值控制系统。

备用系统应能转为主值系统，整个切换过程不应应对系统的传输直流功率及直流电压产生扰动，依据无功控制模式不同，整个切换过程中系统应能正常运行。

试验中监测柔性直流输电系统直流电流、有功功率、无功功率和换流站端交、直流电压。

- b) 主值系统处理器故障切换试验。模拟主值控制系统处理器故障，备用控制系统应自动切换为主值控制系统；恢复原主值控制系统，使其进入备用状态，再人工制造现主值控制系统处理器故障，进入备用状态的原主值控制系统应自动进入主值控制系统。

备用系统应能转为主值系统，整个切换过程不应应对系统的传输直流功率及直流电压产生扰动，依据无功控制模式不同，整个切换过程中系统应能正常运行。

试验中监测柔性直流输电系统直流电流、有功功率、无功功率和换流站端交、直流电压。

- c) 主值控制系统总线故障切换试验。该项试验包括传输模拟量和开关量的数据总线故障。

断开一条主值控制系统的现场总线，备用控制系统应自动切换为主值控制系统；恢复原主值控制系统的现场总线，再断开现主值控制系统的一条现场总线，进入备用状态的原主值控制系统应自动进入主值控制系统。

备用系统应能转为主值系统，整个切换过程不应应对系统的传输直流功率及直流电压产生扰动，依据无功控制模式不同，整个切换过程中系统应能正常运行。

试验中监测柔性直流输电系统直流电流、有功功率、无功功率和换流站端交、直流电压。

6.2.1.3 控制模式切换试验

在直流系统稳态运行过程中，应能进行如下控制模式切换，且整个切换过程中，直流系统应无扰动。控制模式切换试验包括：

- a) 有功功率控制模式切换：

系统稳态运行过程中，在定有功功率控制模式换流站启动有功功率控制模式切换后，控制系统应能够正确地由有功功率控制模式切换到定频率控制模式。整个切换过程中，直流系统无扰动。

系统稳态运行过程中，在定频率控制模式换流站，启动有功功率控制模式切换后，控制系统应能够正确地由定频率控制模式切换到定有功功率控制模式。整个切换过程中，直流系统无扰动。

试验中监测柔性直流输电系统各有关参量。

- b) 无功功率控制模式切换：

系统稳态运行过程中，在定交流电压控制模式下启动无功功率控制模式切换后，控制系统应能够正确地由定交流电压控制模式切换到定无功功率控制模式。整个切换过程中，直流系统无扰动。

系统稳态运行过程中，在定无功功率控制模式下启动无功控制模式切换后，控制系统应能够正确地由定无功功率控制模式切换到定交流电压控制模式。整个切换过程中，直流系统无扰动。

6.2.1.4 水冷系统切换试验

系统稳态运行过程中，进行水冷系统的主从水泵的切换试验。切换过程中功能正常，监视冷却水回路的压力和流量应无异常。

系统稳态运行过程中，进行水冷系统的主从控制系统的切换试验。切换过程中功能正常，监视冷却水回路的压力和流量应无异常。

6.2.1.5 功率升降试验

功率升降试验包括：

- a) 有功功率升降试验。在定有功功率控制换流站，以设定的速率升降有功功率；在有功功率升降过程中，试验“暂停”功能。

有功功率升/降应是平稳的；当下令“暂停”时，有功功率保持在下令“暂停”时刻的数值上。

- b) 有功功率升降过程中控制系统切换试验。在有功功率升降过程中，在定有功功率控制换流站手动将当前主值控制系统切换为备用系统，再将经过切换后主值系统切换为备用系统。

切换过程中，备用系统应正确跟踪原主值系统的定值。

- c) 通信故障对有功功率升降影响。在功率升降过程中，切断两站间全部通信通道，观察通信故障对功率升/降影响。

通信故障对功率升/降应无影响。

- d) 有功功率反转试验。定有功功率控制稳态运行工况下，整定功率反转速率和反转后直流功率定值；手动启动有功功率反转顺序控制功能，在直流有功功率达到反向稳定传输值后，再次启动有功功率反转顺序控制功能。

有功功率输送方向和反转时序应是正确的；直流电流、直流功率的变化应平稳。

- e) 无功功率升降试验。在定无功功率控制换流站，以设定的速率升/降无功功率；在无功功率升降过程中，试验“暂停”功能。

无功功率升/降应是平稳的；当下令“暂停”时，无功功率保持在下令“暂停”时刻的数值上。

- f) 无功功率升降过程中控制系统切换试验。在无功功率升降过程中，在定无功功率控制换流站手动将当前主值控制系统切换为备用系统，再将经过切换后主值系统切换为备用系统。

切换过程中，备用系统应正确跟踪原主值系统的定值。

6.2.1.6 定交流电压控制试验

定交流电压控制试验稳态运行工况下，调整交流电压参考值。检查实际运行的值与整定值的差别，其误差宜在 0.5% 以内。

柔性直流输电系统调整无功功率输出值，交流电压应有相应响应。

6.2.1.7 分接头控制试验

在分接头控制试验中，至少应包含一次正负挡位之间的转换。试验包括：

- a) 分接头手动控制模式。手动控制模式下，允许对单相分接头调节。分接头进入最高/最低挡位时，控制系统发出告警信号给数据采集与监视控制系统(SCADA)，同时禁止分接头最高/最低调节。
- b) 分接头自动控制模式。自动控制模式下，调节分接头位置，使得换流器调制比位于规定范围内。分接头每改变一档，所引起的调制比变化应在技术规范书要求的范围内。

6.2.1.8 环流抑制试验

投入相间环流抑制功能前后，应监测相间环流。

以相间环流作为反馈量，通过调整调制波，达到减少相间环流分量目的。

投入相间环流抑制功能后，相间环流分量应满足工程技术规范书要求。

6.2.1.9 动态性能测试

直流动态性能测试包括：

- a) 有功功率阶跃试验。柔性直流输电系统运行，当直流功率输送水平处于相应的最小功率至额定

功率之间时进行有功功率阶跃试验。

有功功率阶跃试验通过改变直流有功功率设定值的方式进行。

阶跃量为当前有功功率控制目标设定值 $\pm 1\% \sim \pm 3\%$ 时,响应时间不大于 80ms,超调量不大于阶跃量的 30%。或其动态性能指标(参见附录 B)满足技术规范书要求。

b) 无功功率阶跃试验。直流系统在设计的无功功率和额定无功功率之间的任意功率水平下运行时进行无功功率阶跃试验。

无功功率阶跃试验以通过改变无功功率设定值的方式进行。

阶跃量为当前无功功率控制目标设定值 $\pm 1\% \sim \pm 3\%$ 时,响应时间不大于 80ms,超调量不大于阶跃量的 30%。或其动态性能指标满足技术规范书要求。

c) 直流电压阶跃试验。对应直流系统所有可能运行方式下,进行直流电压阶跃试验。

直流电压阶跃试验以通过改变直流电压设定值的方式进行。

阶跃量为额定电压 $\pm 1\% \sim \pm 2\%$ 时,响应时间不大于 90ms,超调量不大于阶跃量的 30%,或其动态性能指标满足技术规范书要求。

d) 交流电压阶跃试验。对应直流系统所有可能运行方式下,进行交流电压阶跃试验。

交流电压阶跃试验以通过改变交流电压设定值的方式进行。

阶跃量为额定电压 $\pm 0.5\% \sim \pm 1\%$ 时,无功响应时间不大于 90ms,超调量不大于阶跃量的 30%,或其动态性能指标满足技术规范书要求。

6.2.1.10 站用直流电源故障试验

定功率控制系统稳态运行工况下,分别在两个站依次手动断开/合上 220V 或 110V 直流一路电源。

丢失/恢复 220V 或 110V 直流一路电源,对直流功率传输应无影响。

6.2.1.11 附加功能试验

控制保护系统应具备以下附加功能,以提高整个交直流联网系统稳定性。

a) 功率提升/功率回降功能。定功率控制稳态运行工况下,分别在两个站整定各个级别功率提升/功率回降速率和功率定值;激活功率提升/功率回降功能,并依次模拟向控制系统发出功率提升/功率回降指令,观察直流功率变化。

直流功率应按照对应级别的功率提升/功率回降速率和功率定值变化。

b) 异常交流电压控制。定无功功率控制稳态运行工况下,分别在两个站模拟交流电压高于/低于预设值,观察无功功率变化。

在整流侧,交流电压变化高于/低于预设值,无功功率减少/增加一个预设值;在逆变侧相同。

c) 异常频率控制。定功率控制稳态运行工况下,分别在两个站模拟交流系统频率高于/低于预设值,观察直流功率变化。

在整流侧,交流系统频率高于/低于预设值,直流传输功率增加/减少一个预设值;在逆变侧则反之。

d) 附加调制信号。定功率控制稳态运行工况下,分别在两个站激活功率调制功能,模拟向控制系统发出功率调制指令,观察直流功率变化。

直流功率应按照整定速率跟随功率调制指令变化。

6.2.1.12 主机 CPU 负荷率测试

在直流系统稳态运行状态下,以及升/降直流功率、紧急停运、系统切换、故障试验等系统调试过程中,对相关直流控制保护系统各主机 CPU 负荷率进行监测。

各主机 CPU 负荷率应满足工程技术规范书规定的限制值。

6.2.1.13 就地/远方控制试验

就地/远方控制试验包括：

a) 就地控制试验包括：

- 1) 就地启/停试验。在控制主值系统屏柜面板上，对直流系统进行启/停操作。直流系统应能平稳地启/停。
- 2) 就地功率升/降试验。在控制主值系统屏柜面板上，对直流系统进行功率升/降操作；在功率升/降过程中进行手动“暂停”操作。直流系统的功率升/降应是平稳的。在功率升/降过程中，当手动要求“暂停”时，直流功率应停留在“暂停”指令发出时刻数值上。
- 3) 就地交流电压控制试验。在控制主值系统屏柜面板上，重新整定交流电压参考值。交流电压应按照预设速率稳定在预设值。

b) 远方控制试验包括：

- 1) 远方启/停试验。将控制点切换到远方调度中心；在远方调度中心对直流系统进行启/停操作。直流系统应能平稳地启/停。
- 2) 远方控制功率升降试验。将控制点切换到远方调度中心；在远方调度中心对直流系统进行功率升/降操作；并在功率升/降过程中进行手动“暂停”操作。将主控站转移到对端站，重复此试验。直流系统的功率升/降应是平稳的。在功率升/降过程中，当手动要求“暂停”时，直流功率应停留在“暂停”指令发出时刻数值上。
- 3) 远方交流电压控制试验。将控制点切换到远方调度中心；在远方调度中心分别对两个站重新整定交流电压参考值。交流电压应按照预设速率稳定在预设值。

6.2.2 大功率试验

6.2.2.1 有功功率升降试验

直流输电模式稳态运行工况下，定有功功率站整定好有功功率升/降的功率定值和变化速率；有功功率指令从最小值，按试验方案慢速升至额定值，稳定 5min 之后，再以同样的方法从额定值返回最小值。在额定有功功率下，在两个站分别校核模拟量输入信号，将主控权转移到对站，重复功率升降过程。

有功功率升/降应是平稳的。在有功功率升/降过程结束后，有功功率都应达到其指令值。检查实际运行的功率值与整定值的差别，其误差宜在 1% 以内。其他交/直流保护不应误动作。

6.2.2.2 无功功率升降试验

直流输电模式稳态运行工况下，定无功功率站整定好无功功率升/降的功率定值和变化速率；无功功率指令从最小值，按试验方案慢速升至额定值，稳定 5min 之后，再以同样的方法从额定值返回最小值。

无功功率升/降应是平稳的。在无功功率升/降过程结束后，无功功率都应达到其指令值。检查实际运行的功率值与整定值的差别，其误差宜在 3% 以内。其他交/直流保护不应误动作。

6.2.2.3 定直流电压控制试验

直流输电模式稳态运行工况下，定直流电压站直流电压设定在额定值。按试验方案将直流电压升高，稳定 5min 之后，再将直流电压降低。

在直流电压变化的每一个过程结束后，直流电压都应达到其指令值，能够跟踪其变化率；在每一个直流电压水平上，换流站有功功率的稳态输出在达到功率圆图限值时应自动限幅；其他交/直流保护不应误动作。

6.2.2.4 定交流电压控制试验

直流输电模式稳态运行工况下，定交流电压站交流电压设定在额定值。按试验方案将交流电压升高，稳定 5min 之后，再将交流电压降低。

在交流电压每一个变化过程结束后，交流电压控制应能根据换流站交流出口处母线电压调整换流站无功功率输出，以平稳系统电压；换流站无功功率的稳态输出达到功率圆图限值时应自动限幅，且直流电压、电流应无明显扰动。

6.2.2.5 热运行试验

在热运行试验前后，按照 DL/T 722，对接口变压器、阀电抗器（油浸式）、平波电抗器（油浸式）以及充油型套管（当有疑问时）中的油样进行色谱分析，检测乙炔等气体含量的变化。

6.2.3 额定负荷试验

6.2.3.1 试验条件

试验条件包括：

- a) 满足额定有功功率稳定运行条件；
- b) 备用冷却不投运。

试验按照以下顺序进行：

- a) 关闭接口变压器、阀电抗器（油浸式）、平波电抗器（油浸式）和换流阀的冗余冷却系统；
- b) 在直流输电模式下，将有功功率升至额定值，持续运行至少 2h。

检查内容包括：

- a) 记录柔性直流输电系统运行参数，如接口变压器分接头位置、交流母线电压、阀侧电流、直流电压、直流电流和有功功率等；
- b) 柔性直流输电系统运行参数应与设计值相符；
- c) 检查主回路参数，监测阀冷却系统进出水温度，接口变压器本体温度，阀电抗器本体温度，平波电抗器本体温度，交、直流场和阀厅的母线本体温度，夹线接头温度，隔离开关主触头温度，测量按 6.2.3.2 给出的要求进行；
- d) 两端换流站阀冷却系统进出水的温度应在技术规范规定的范围内；
- e) 两端换流站交、直流场和阀厅母线、接头线夹、导线、设备等的温度值都应在技术规范允许的范围内；
- f) 记录两端换流站接口变压器（含套管）油温和线圈温度，运行温度应在技术规范规定的范围内；
- g) 记录两端换流站桥臂/平波电抗器（油浸式）油温和线圈温度，运行温度应在技术规范规定的范围内。

6.2.3.2 额定功率运行下的专项测量

额定功率运行下的专项测量包括：

- a) 直流电流谐波测量。测量两端换流站直流线路出口处直流电流中的 1 次～50 次谐波。按技术规范规定的算法计算等效干扰电流。计算出的等效干扰电流应不大于工程技术规范规定的数值。
- b) 交流电压谐波测量。测量两端换流站交流母线电压中的 2 次～50 次谐波。按工程技术规范规定的算法，计算各次谐波畸变率、总谐波畸变率、电压谐波波形系数。计算出的各次谐波畸变率、总谐波畸变率、电压谐波波形系数应不大于技术规范规定的数值。
- c) 无线电干扰测量。按 DL/T 276 的相关规定进行测量。测得的无线电干扰数值应不大于技术规

范规定的数值。此项测试容许在工程投运 3 个月后再进行。

- d) 电磁场强测量。对换流站内、外的电磁场强进行测量。测量值应符合环评的要求。
- e) 可听噪声测量。按照工程技术规范规定的条件进行测量。测得的可听噪声数值应不大于工程技术规范规定的数值。
- f) 站辅助系统功率损耗测量。测量两换流站站用电负载功率。各换流站站用电负载功率应不大于设计值。

6.3 双极系统试验

6.3.1 双极小功率试验

6.3.1.1 双极启停试验

双极启停试验包括：

a) 双极非同时启/停试验。该试验包括：

- 1) 一极定单极功率控制，另一极定单极功率控制启/停。一极在定单极功率控制模式下稳态运行，另一极在定单极功率控制模式下进行接口变压器充电、极解锁/闭锁、接口变压器断电操作，观察运行极对非运行极的影响。
- 2) 一极定单极功率控制，另一极定双极功率控制启/停。一极在定单极功率控制模式下稳态运行，另一极在定双极功率控制模式下进行接口变压器充电、极解锁/闭锁、接口变压器断电操作，观察运行极对非运行极的影响。
- 3) 一极定单极功率控制，另一极定频率控制启/停。一极在定单极功率控制模式下稳态运行，另一极在定频率控制模式下进行接口变压器充电、极解锁/闭锁、接口变压器断电操作，观察运行极对非运行极的影响。
- 4) 一极定双极功率控制，另一极定单极功率控制启/停。一极在定双极功率控制模式下稳态运行，另一极在定单极功率控制模式下进行接口变压器充电、极解锁/闭锁、接口变压器断电操作，观察运行极对非运行极的影响。
- 5) 一极定双极功率控制，另一极定双极功率控制启/停。一极在定双极功率控制模式下稳态运行，另一极在定双极功率控制模式下进行接口变压器充电、极解锁/闭锁、接口变压器断电操作，观察运行极对非运行极的影响。
- 6) 一极定双极功率控制，另一极定频率控制启/停。一极在定双极功率控制模式下稳态运行，另一极在定频率控制模式下进行接口变压器充电、极解锁/闭锁、接口变压器断电操作，观察运行极对非运行极的影响。

以上试验对两极分别进行。

后投运极的启/停应是平稳，且不对已运行极的传输功率产生扰动。

- b) 双极同时启/停试验。双极均在双极功率控制模式下进行解锁/闭锁操作。解锁时，两极应能同时解锁。闭锁时，两极应能同时闭锁。

6.3.1.2 双极功率升降试验

双极功率升降试验包括：

- a) 手动双极功率升降试验。两极均在双极功率控制模式下稳态运行。手动启动双极直流功率升/降指令，在功率升/降过程中，分别在两站对各极进行控制系统切换操作。两极功率应同步升/降；控制系统切换对双极功率升/降应无扰动。
- b) 自动双极功率升降试验。两极均在双极功率控制模式下稳态运行。整定负荷曲线，将功率控制

模式由手动改为自动。双极功率应跟随负荷曲线平稳变化。

6.3.1.3 双极平衡控制

控制系统双极功率平衡控制功能投入运行。两极在双极功率控制模式下稳态运行时，流入中性线的直流电流应小于技术规范规定的限制值。

6.3.1.4 双极功率补偿试验

双极功率补偿试验包括：

- a) 控制模式切换的补偿试验。两极均在双极功率控制模式下稳态运行，将其中一极由双极功率控制模式依次改为定单极功率控制模式、定频率控制模式。在此项试验过程中，双极直流传输功率应始终保持不变。对两极均进行同样试验。
- b) 极跳闸的补偿试验。两极均在双极功率控制模式下稳态运行，将其中一极手动紧急停运。一极紧急停运，其功率应能在技术规范规定的时间内转移到另一极；双极稳态直流传输功率应保持不变。对两极均进行同样试验。

6.3.1.5 双极功率反转试验

两极均在双极功率控制模式下稳态运行，进行双极功率反转操作。
双极功率应按设计要求同步反转。

6.3.2 双极大功率试验

两极均在双极功率控制模式下解锁；分阶段慢速升高直流功率至双极额定功率，在每个功率水平至少停留 5min，到达双极额定功率后保持 2h；测量直流谐波含量、交流谐波含量；进行无线电干扰测量、可听噪声测量、站辅助系统功率损耗测量。

系统运行应是稳定的。

系统运行评价标准参见 6.2.2。

6.3.3 过负荷试验

6.3.3.1 试验要求

当工程设计有过负荷能力时，应进行过负荷试验。过负荷的限制值应满足工程技术规范书要求。

6.3.3.2 单极短时过负荷试验

两极均在双极功率控制模式下稳定运行，双极功率整定值稍大于一极短时过负荷能力。手动紧急停运一极。迫使另一极进行短时过负荷运行。

进入短时过负荷极的直流功率水平、过负荷时间应满足技术规范规定的要求。

6.3.3.3 双极过负荷试验

两极均在双极功率控制模式下进行过负荷试验，测量直流谐波含量、交流谐波含量、无线电干扰水平、可听噪声等。

两极运行参数，如交流母线电压、接口变压器二次电压、阀侧电流、接口变压器分接头位置、直流电压、直流电流、直流功率、调制比等均应与设计值相符。

接口变压器（含套管）、平波电抗器工作无异常。

阀冷却水温度应在技术规范规定的范围内。

换流站直流场、交流场和阀厅、母线、接头线夹、导线、设备等的温度值均应在技术规范允许的范围内。

双极过负荷试验包括：

- a) 短时过负荷试验。在控制软件中，模拟满足短时过负荷启动条件。直流功率应迅速升至柔性直流系统相应的短时过负荷水平，并保持技术规范规定的过负荷时间。
- b) 2h 过负荷试验。手动启动 2h 过负荷运行。进行 6.3.3.3 相关款项测量。直流功率应升至直流系统的 2h 过负荷水平，并保持 2h 稳定运行。
- c) 长期过负荷试验。将直流功率指令值设为稍高于当时环境温度下柔性直流系统的固有过负荷能力，并升功率到规定值。直流功率应被限制在当时环境温度下柔性直流系统的固有过负荷水平。

6.3.3.4 电网安全稳定试验

当柔性直流输电系统与交流系统有协调运行和安全稳定控制要求时，在柔性直流输电系统试验完成后，还应进行柔性直流输电系统与交流系统协调及系统安全稳定控制有关的试验，试验项目及内容、评判标准按系统安全稳定控制设计及有关标准和规程进行。

6.4 多端系统试验

对于多端系统，完成两端系统试验内容后，进行三端及以上的多端系统试验。

多端系统下的启/停试验，功率升降试验，直流动态性能试验按照端对端试验的要求进行。

多端柔性直流输电系统在直流输电模式稳态运行工况下，定直流电压站直流电压设定在额定值。当定直流电压站闭锁，预期的下一个换流站能正常进入定电压模式。

当多端柔性直流输电系统与交流系统有协调运行和安全稳定控制要求时，在多端柔性直流输电系统试验完成后，还应进行柔性直流输电系统与交流系统协调及系统安全稳定控制有关的试验，试验项目及内容、评判标准按系统安全稳定控制设计及工程技术规范进行。

7 人工短路试验（选项试验）

7.1 交流系统人工短路试验

当与柔性直流输电系统相连接的交流系统发生故障后，直流系统应能精确响应，以便控制装置正确动作。在试验中，对控制及保护装置的功能、动作协调性、交直流系统内全部元件的限定值进行校核。通常情况下，为维持系统稳定，直流输电系统的输送功率从故障切除瞬间起到恢复故障前输送功率的 90% 的时间应满足技术规范要求。

直流输电模式稳态运行工况下，在交流侧进行人工单相对地瞬时故障。

交流侧保护应能正确动作。

直流功率应在技术规范规定的时间内恢复到故障前的稳态值；恢复期间不允许出现直流电流和直流电压的持续振荡。

7.2 直流系统人工短路试验

在直流系统各种可能的运行方式下，进行人工单线对地瞬时故障试验时，保护应能正确动作。

当设计有重启运行功能时，应能安全、可靠地完成重启过程。

对于未设计故障重启功能或重启功能停用时，控制保护系统应保证在系统要求范围内可靠地闭锁柔性直流输电系统。

8 黑启动试验

8.1 一般要求

柔性直流输电系统具有黑启动控制功能。当电力系统发生重大事故，导致系统全停或瓦解时，可通过柔性直流输电系统作为电力系统恢复的电源。当一端电网全部失电情况下，能够通过外接电源完成对失电端换流站启动，使电力系统逐步恢复运行。

具有黑启动功能的换流站应配置独立的站用电源后备电源。

8.2 一般步骤

8.2.1 直流侧充电

在两端换流器与直流线路隔离开关闭合，两端接口变压器与换流器连接隔离开关断开的情况下，合有源端接口变压器网侧交流断路器，通过直流线路向无源端换流器充电。

充电时，无源端换流器阀控系统应能正常工作，预检功能应正确，换流器相关保护不应误动作。

检查阀控装置回报模块电压和状态信号，检查直流侧电压极性变比，按预定充电时间后模块电压和直流电压应符合设计要求。

8.2.2 启动

在直流侧充电完成后，依次解锁有源端换流阀和无源端换流阀，闭合无源端交流断路器。

无源端阀侧和网侧电压和电流的幅值、相位、相序正确，频率稳定在预期范围内。

9 试运行

9.1 系统试验完成后，将柔性直流输电系统投入正常工作状态，考核其运行稳定性、可靠性和系统设计所规定的功能和性能。

9.2 试运行应在端对端系统试验已完成，发现的缺陷和异常情况已处理后进行。

9.3 柔性直流输电系统连续带电试运行时间不应少于 168h。

9.4 如果柔性直流输电系统在试运行期间出现故障而被迫退出运行，须待故障或异常处理后重新进行。

9.5 试运行期间，应实时监测有关设备各部分的温升。

9.6 试运行开始前和结束后，应对充油设备取油样进行色谱分析。

9.7 试运行完成后，应对设备做一次全面检查，处理试运行期间出现的缺陷和异常情况。对暂时不具备处理条件而又不影响安全运行的项目，由启委会决定负责处理的单位和完成时间。

9.8 由于设备制造质量缺陷而不能达到规定要求时，由建设项目法人或总承包商通知供货商负责消除设备缺陷，施工单位应积极配合处理，并做出记录。消缺后视具体情况，由建设项目法人决定是否重新进行有关试验进行验证。

9.9 试运行过程中，应对各项运行数据和设备的运行情况做出详细记录。由试验指挥组编写试运行报告。

附 录 A
(资料性附录)
柔性直流输电系统典型主接线

A.1 两电平换流器

A.1.1 两电平换流器拓扑结构

两电平换流器拓扑结构见图 A.1。

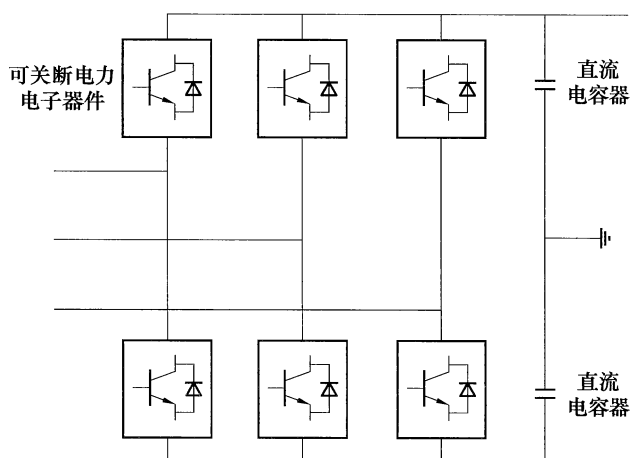


图 A.1 两电平换流器拓扑结构

A.1.2 主要组件

A.1.2.1 可关断电力电子器件

可控制开通和关断的电力电子器件。

A.1.2.2 直流电容器

两电平换流器的两个直流端连接的电容器组，用作储能和滤波。

A.2 模块化多电平换流器

A.2.1 模块化多电平换流器拓扑结构

模块化多电平换流器拓扑结构见图 A.2。

A.2.2 主要组件

A.2.2.1 可关断电力电子器件

可控制开通和关断的电力电子器件。

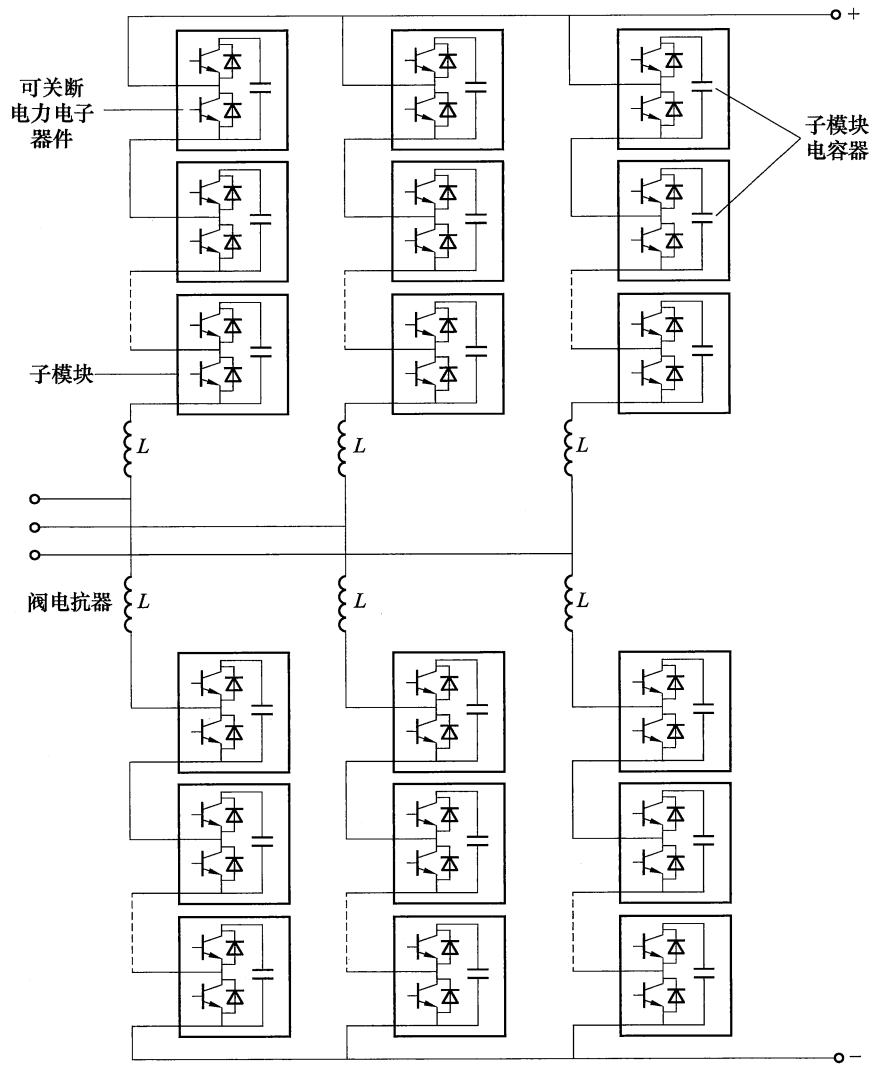


图 A.2 模块化多电平换流器拓扑结构

A.2.2.2 子模块电容器

作为模块化多电平换流器阀级的一部分而使用的电容器，作为直流储能电源使用。

A.2.2.3 子模块

交直流转换过程中按照一定控制方式切入/切出的基本功率单元，它由可关断电力电子器件和直流储能电容器组成。

A.2.2.4 阀电抗器

电气上，和模块化多电平换流器阀臂串联连接的电抗器；功能上，既能与接口变压器漏抗一起提供换相电抗，也能抑制桥臂故障电流上升率。

A.3 柔性直流输电系统典型直流侧接线方式

A.3.1 单极对称系统

单极对称系统直流侧接线方式见图 A.3。

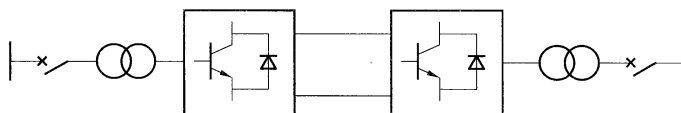


图 A.3 单极对称系统直流侧接线方式

A.3.2 双极对称系统直流侧接线方式

双极对称系统直流侧接线方式见图 A.4。

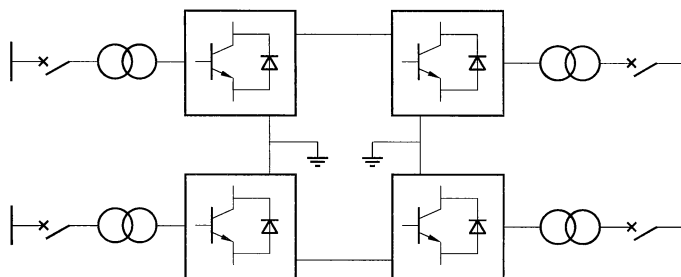
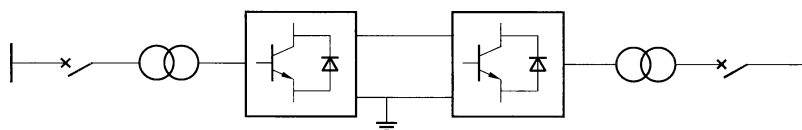


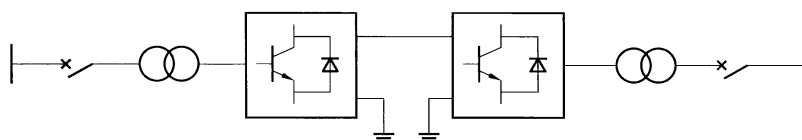
图 A.4 双极对称系统直流侧接线方式

A.3.3 单极非对称系统

单极非对称系统直流侧接线方式见图 A.5。



a) 单极非对称金属回线系统直流侧接线方式



b) 单极非对称大地回线系统直流侧接线方式

图 A.5 单极非对称系统直流侧接线方式

A.3.4 双换流器并联系统

双换流器并联系统直流侧接线方式见图 A.6。

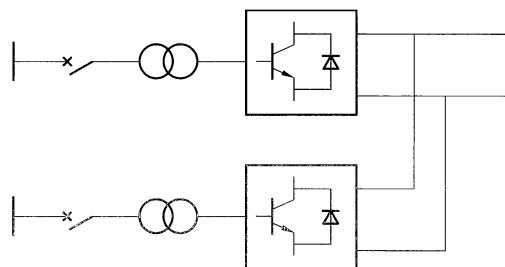


图 A.6 双换流器并联系统直流侧接线方式

附录 B
(资料性附录)
动态性能指标

B.1 动态性能指标定义

动态性能指标的定义见图 B.1。

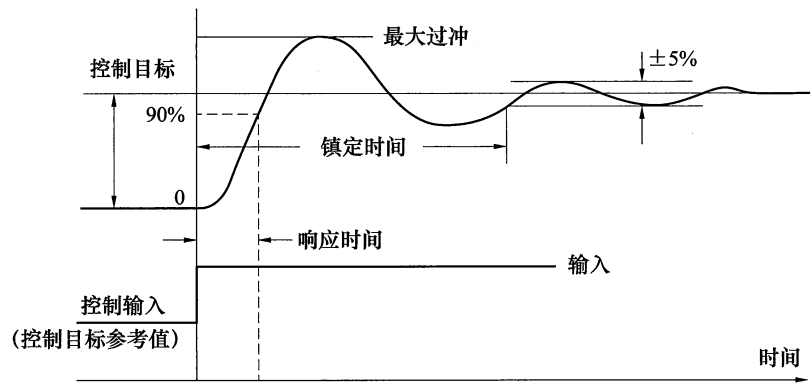


图 B.1 动态性能指标定义

B.2 响应时间

当输入阶跃控制信号后，柔性输电装置输出电气量从 0%目标值达到 90%目标值所用的时间，且期间没有产生过冲。

B.3 镇定时间

当输入阶跃控制信号后，柔性输电装置输出电气量达到目标值的 $\pm 5\%$ 范围内所用的时间。

B.4 超调量

当输入阶跃控制信号后，柔性输电装置输出电气量超出稳态值的最大偏移量与稳态值之比。

B.5 最大过冲

当输入阶跃控制信号后，柔性输电装置输出电气量第一个波峰值。

DL/T 1526—2016

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
柔性直流输电工程系统试验规程
DL/T 1526—2016

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京传奇佳彩数码印刷有限公司印刷

*

2016年7月第一版 2016年7月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.5印张 45千字
印数 001—200册

*

统一书号 155123·3112 定价 13.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

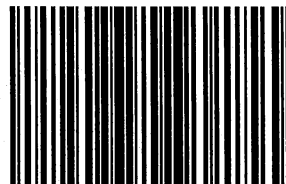
版 权 专 有 翻 印 必 究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.3112