

ICS 29.240.01

F 20

备案号: 62424-2018

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1794—2017

柔性直流输电控制保护系统 联调试验技术规程

Technical specification on control and protection integration
test of VSC-HVDC

2017-12-27 发布

2018-06-01 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 一般要求..... 2

5 试验系统要求..... 3

6 试验内容及试验方法..... 5

附录 A（规范性附录） 典型柔性直流换流站主接线..... 15

附录 B（规范性附录） 直流保护配置、试验项目及动作行为..... 17

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》给出的规则起草。

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（DL/TC 40）归口。

本标准起草单位：国网北京经济技术研究院、全球能源互联网研究院、南京南瑞继保电气有限公司、许继柔性输电系统公司、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司汕头供电局、南方电网科学研究院、广东电网电力科学研究院、国网福建省电力有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司、国网福建省电力有限公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：马玉龙、荆平、吴延坤、丁久东、俎立峰、厉璇、陈堃、黄辉、蔡林海、李岩、陈锐、冯学敏、谢敏华、陆翌、乔敏、邓超平。

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）。

柔性直流输电控制保护系统联调试验技术规程

1 范围

本标准规定了柔性直流输电（以下简称“柔直”）控制保护系统联调试验的一般要求、试验系统要求、试验内容及试验方法等。

本标准适用于在实验室进行的、额定直流电压在 $\pm 30\text{kV}$ 及以上的双端、多端以及背靠背柔性直流输电工程的控制保护系统联调试验。 $\pm 30\text{kV}$ 以下的柔直工程、静止同步补偿器工程的控制保护联调试验可参照执行。

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 2887—2011 计算机场地通用规范

GB/T 9361—2011 计算机场地安全要求

GB/T 13498—2017 高压直流输电术语

DL/T 1193—2012 柔性输电术语

3 术语和定义

DL/T 1193—2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

联调 integration test

组成柔性直流输电各子系统之间的集成测试，主要验证各子系统之间接口及系统整体功能的正确性。

3.2

控制保护系统 control and protection system

实现对主要的站设备，如断路器、阀、接口变压器及其分接开关的控制、监测及保护功能的所有二次设备组合，包括直流控制保护设备、阀基电子单元、故障录波设备、安稳设备以及其他辅助设备。

3.3

直流控制保护设备 DC control and protection equipment

以完成直流输电系统正常功率传输和一次设备控制为目标的控制和保护设备，包括运行人员监控系统、交直流站控设备、双极/极/换流器控制设备、双极/极/换流器保护设备、模拟量和开关量接口设备等。

3.4

阀基电子单元 valve base electronics; VBE

提供地电位控制设备与阀电子电路或阀装置之间接口的电子设备，又称阀接口电子设备。

[DL/T 1193—2012，定义 3.2.13]

3.5

实时数字仿真系统 real time digital simulation system

利用数学模型在数字计算机上进行电力系统实时仿真的系统。

3.6

物理仿真系统 physical simulation system

以等比缩小的物理系统模拟电力系统特性的仿真系统。

3.7

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的无功功率补偿装置。

[DL/T 1193—2012，定义 4.1.2]

3.8

有功无功区间 active and reactive power region

根据换流器发出或吸收有功、无功功率的极限运行边界条件绘制的功率区间。

3.9

对称单极系统 symmetrical monopolar system

由一个三相电压源型换流器及接口变压器等设备组成的柔性直流输电系统，其两条直流正负极线的电位为对称的正负电位，其典型主接线见附录 A 中图 A.1。

3.10

双极系统 bipolar system

具有两个对地处于相反极性的极的柔性直流输电系统，其每个极由一个独立的三相电压源型换流器及接口变压器等设备组成，其典型主接线见附录 A 中图 A.2。

注：改写 GB/T 13498—2017，定义 8.7。

3.11

接口变压器 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]

4 一般要求

4.1 试验需要具备的条件

参加联调试验的柔性直流输电控制保护系统应已完成工厂试验，并且下列技术资料已准备齐全：

- a) 成套设计文件；
- b) 设备技术规范；
- c) 直流系统功能规范；
- d) 厂内试验报告，包括型式试验、例行试验和出厂试验；
- e) 通过评审的联调试验大纲，内容包括但不限于试验地点、试验计划、试验项目、试验方法、被试设备和试验接线图纸。

4.2 试验一般要求

联调试验实施过程应满足但不限于以下要求：

- a) 试验应在室内进行，其环境条件要求如下：
 - 1) 实验室环境温度为 $+10^{\circ}\text{C}\sim+30^{\circ}\text{C}$ ；
 - 2) 相对湿度为 $+25\%\sim+90\%$ ；
 - 3) 场地安全要求应符合 GB/T 9361—2011 中 B 类的规定；
 - 4) 接地电阻应符合 GB/T 2887—2011 中 4.8 的规定；

- 5) 洁净度应符合 GB/T 2887—2011 中 4.6.2 的规定。
- b) 联调试验实施单位应负责保存完整的试验记录，需试验委托方见证的试验由其在试验记录上签字。
- c) 柔性直流输电控制保护系统的设备配置、接口要求应尽可能与工程现场保持一致，所有软件应为出厂版本。
- d) 全部联调试验完成后，应冻结软件版本并确定版本号。

4.3 试验报告要求

联调试验报告应包括但不限于以下内容：

- a) 试验依据的标准；
- b) 被试设备的名称、型号、数量和标识；
- c) 试验日期、试验地点；
- d) 试验环境条件，包括温度、湿度、试验电源等；
- e) 试验设备及仿真系统的相关技术参数；
- f) 试验目的、试验内容、试验步骤、试验判据和试验初始状态等；
- g) 试验结果，包括试验数据、波形和结论等；
- h) 试验过程中异常现象的描述、处理方法和测试；
- i) 试验者和审批者的签名。

5 试验系统要求

5.1 试验系统构成

柔性直流输电控制保护联调试验系统需能够模拟工程现场的交流系统和一次主设备等运行环境，具备有效测试相关控制保护功能、性能以及接口特性的条件，其主要由实时仿真系统、被试设备组成。柔性直流输电控制保护系统联调试验系统的一般构成见图 1。

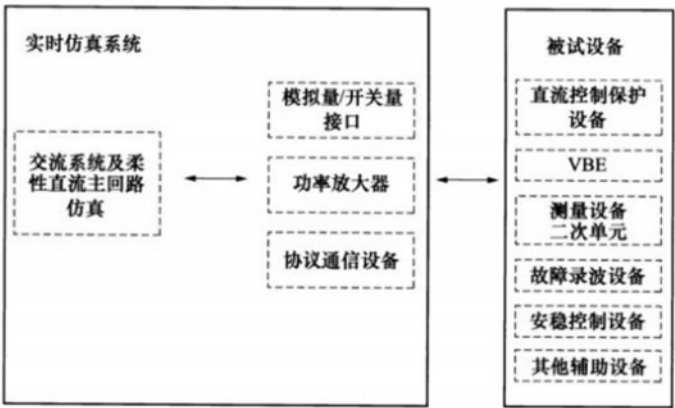


图 1 柔性直流输电控制保护系统联调试验系统的一般构成

5.2 实时仿真系统

5.2.1 概述

实时仿真系统应能模拟工程现场直流系统运行特性，包括实时数字仿真系统和物理仿真系统。联

调试验可选择实时数字仿真系统和物理仿真系统中的一种进行。

5.2.2 实时数字仿真系统

5.2.2.1 实时数字仿真系统建模

5.2.2.1.1 实时数字仿真系统应建立模拟柔直工程一次系统的模型，模型主要包括：

- a) 与柔直输电系统直接连接的交流系统；
- b) 接口变压器，包含分接开关；
- c) 启动电阻；
- d) 桥臂电抗器；
- e) 换流阀；
- f) 直流电抗器；
- g) 直流线路；
- h) 接地装置，如电抗器、电阻等；
- i) 断路器、隔离开关、避雷器等其他一次设备。

5.2.2.1.2 仿真建模应采用与工程一致的参数，并具备模拟交、直流系统中的各类短路、开路等典型故障的能力。

5.2.2.2 实时数字仿真系统步长要求

实时数字仿真系统对柔直主回路和换流阀的仿真可采用大小步长相结合的方法，主回路部分的仿真步长宜控制在 $50\mu\text{s}$ 以内，换流阀部分的仿真步长宜控制在 $5\mu\text{s}$ 以内。

5.2.2.3 实时数字仿真系统接口

5.2.2.3.1 与直流控制保护设备的接口

实时数字仿真系统与直流控制保护设备之间的接口包括：

- a) 开关量接口，包括：
 - 1) 实时数字仿真系统接收的断路器的分合命令和接口变压器分接开关调节命令等；
 - 2) 实时数字仿真系统发出的断路器分合状态，接口变压器分接开关挡位状态等。
- b) 模拟量接口，包括：
 - 1) 接口变压器网侧和阀侧交流电压、电流等交流模拟量；
 - 2) 正负极直流电压电流和桥臂电流等直流模拟量。

5.2.2.3.2 与 VBE 的接口

实时数字仿真系统与 VBE 之间的接口信息包括子模块触发脉冲、电容电压和子模块状态等。在子模块数较多的情况下，为简化接口，可采用光纤协议通信方式。

5.2.3 物理仿真系统

5.2.3.1 物理仿真系统模型要求

5.2.3.1.1 换流阀宜采用与工程现场参数一致的模型，各主要设备的参数应考虑物理仿真系统容量、工程现场容量、电压等级等按模拟比确定，尽可能真实地模拟换流阀在各种工况下的电压、电流特性。

5.2.3.1.2 功率模块应包含功率器件、直流电容、放电电阻、旁路断路器、供电电源、驱动板和控制板

等主要元件。

5.2.3.1.3 接口变压器和启动电阻应采用与工程现场同拓扑的微缩模型，直流线路应通过电阻、电感和电容的配置实现对实际线路的模拟。

5.2.3.1.4 物理仿真系统应具备模拟交、直流系统中短路、开路等典型故障的能力。

5.2.3.2 物理仿真系统接口

5.2.3.2.1 物理仿真系统与直流控制保护设备之间接口信号的种类、数量与 5.2.2.3.1 相同。

5.2.3.2.2 物理仿真系统与 VBE 之间的接口宜采用与工程现场一致的通信方式。

5.3 被试设备

被试设备主要包括：

- a) 直流控制保护设备；
- b) VBE；
- c) 测量设备二次单元，包括测量设备合并单元、远端模块等；
- d) 故障录波设备；
- e) 安稳控制设备；
- f) 其他辅助设备，包括时钟同步设备、通信接口设备等。

6 试验内容及试验方法

6.1 控制试验

6.1.1 控制试验类别

根据柔直工程的主回路结构，柔直控制保护系统联调的控制试验可分为单极、双极和多端三类。单极控制试验主要针对对称单极柔直工程或双极柔直工程的一个极。双极控制试验针对双极柔直工程的两个极。多端控制试验指多个换流站联网运行的试验项目。试验项目应覆盖所有换流站。直流控制试验简表见附录 A 中表 A.1。

6.1.2 单极控制试验

6.1.2.1 顺序控制和联锁试验

6.1.2.1.1 顺序控制试验

顺序控制试验包括进行柔直系统接地/不接地、带电/断电、隔离/连接、停运/运行等操作；根据主接线结构进行直流输电和 STATCOM 等运行方式变换的操作。

在顺序控制试验过程中，系统应能够按照顺控设置的次序完成命令执行流程，各断路器、隔离开关、接地刀闸的分合顺序符合设计要求。

6.1.2.1.2 联锁试验

联锁试验包括但不限于断路器/隔离开关联锁、运行方式联锁、控制模式联锁试验。

分别在满足和不满足断路器/隔离开关联锁的条件下，进行分、合操作，对于满足联锁条件的操作应能执行，不满足联锁条件的操作应被拒绝。

分别在满足和不满足运行方式和控制模式的联锁条件下，进行切换运行方式和控制模式的操作，

对于满足联锁条件的操作应能执行，不满足联锁条件的操作应被拒绝。

6.1.2.2 启动和停运试验

6.1.2.2.1 启动试验

合交流进线断路器，对接口变压器和处于闭锁状态的换流阀进行充电。先解锁直流电压控制站，再解锁其他直流功率控制站。

合交流进线断路器前，交流侧的启动电阻应自动投入到充电回路中，待建立起稳定的直流充电电压且满足其他必要联锁条件后，旁路启动电阻，完成充电过程。启动过程中，各测点的电压、电流应力应满足设备规范书要求。

6.1.2.2.2 停运试验

将功率降至零，先闭锁有功功率控制站，再闭锁直流电压控制站。换流器闭锁后，断开交流进线断路器。停运过程中，电压、电流应平稳，不出现大的过冲。

6.1.2.2.3 紧急停运试验

执行紧急停运操作，换流阀闭锁并断开交流进线断路器。

6.1.2.3 开路试验

6.1.2.3.1 不带直流线路手动模式开路试验

柔直系统接线方式满足不带直流线路开路试验要求，选择手动控制开路试验模式，解锁换流器；输入最高为额定直流电压的若干直流电压指令值，直流电压应按预定速率升至指令值。

6.1.2.3.2 不带直流线路自动模式开路试验

柔直系统接线方式满足不带直流线路开路试验要求，选择自动控制开路试验模式，解锁换流器后直流电压应按预定速率升至额定值，然后自动降压并闭锁停运。

6.1.2.3.3 带直流线路手动模式开路试验

柔直系统接线方式满足带直流线路开路试验要求，具体步骤和要求参照 6.1.2.3.1。

6.1.2.3.4 带直流线路自动模式开路试验

柔直系统接线方式满足带直流线路开路试验要求，具体步骤和要求参照 6.1.2.3.2。

6.1.2.4 分接开关调节试验

6.1.2.4.1 分接开关手动控制试验

接口变压器分接开关为手动控制模式，升高或降低分接开关挡位的指令应能被执行，柔直系统应保持稳定运行。

6.1.2.4.2 分接开关自动控制试验

分接开关手动控制模式下，调节分接开关使调制比或接口变压器阀侧电压超出正常运行范围。将分接开关控制方式切换到自动模式，分接开关应自动调挡，直至调制比或接口变压器阀侧电压回到正

常运行范围内。

6.1.2.5 控制模式切换试验

6.1.2.5.1 有功类控制模式切换试验（如有）

在线切换直流电压的控制站，柔直系统应保持稳定运行。

6.1.2.5.2 无功类控制模式切换试验

将无功类控制模式从定无功功率切换成定交流电压控制，系统稳定后再切换为定无功功率控制。

在无功类控制模式切换的过程中，切换应快速且不对交流系统造成冲击，柔直系统应保持稳定运行。

应在直流输电和 STATCOM 两种运行模式下验证上述功能。

6.1.2.6 功率升降及反转试验

6.1.2.6.1 有功功率升降试验

有功功率控制模式下，设定有功功率指令值与升降速率，系统应能按照设定的速率升高或降低有功功率至目标值。

6.1.2.6.2 有功功率反转试验

设定与当前有功功率方向相反的指令值，系统应能按照设定的速率反转有功功率至目标值。

6.1.2.6.3 无功功率升降试验

无功功率控制模式下，设定无功功率指令值与升降速率，具体步骤和要求参照 6.1.2.6.1。应分别在直流输电和 STATCOM 两种运行模式下进行。

6.1.2.6.4 无功功率反转试验

设定与当前无功功率方向相反的指令值，具体步骤和要求参照 6.1.2.6.2。应分别在直流输电和 STATCOM 两种运行模式下进行。

6.1.2.6.5 功率升降及反转暂停试验

在 6.1.2.6.1～6.1.2.6.4 中，应同时验证功率升降及反转的暂停功能。暂停指令下发后，柔直系统应保持为当前状态。

6.1.2.7 功率区间及过负荷试验

6.1.2.7.1 功率区间试验

接口变压器分接开关为自动控制，交流系统电压在正常范围内。

输入有功功率指令为功率区间正送最大值，待有功功率升降完成后，输入换流站无功功率指令为可输入的最大容性无功功率；待无功功率升降完成后，改变有功功率指令至功率反送的最大值，并在有功功率升降阶段记录功率运行区间上的有功功率、无功功率。重复上述过程，但输入换流站无功功率指令为可输入的最大感性无功功率，记录功率运行区间上的有功功率、无功功率。

根据试验数据，作出有功功率、无功功率区间，换流站的功率区间应符合设计要求。

6.1.2.7.2 过负荷试验（如有）

使直流系统处于不同的过负荷水平，在相应的过负荷时间内，柔直系统应保持稳定运行，超过过负荷时间后，柔直系统应自动降功率。

6.1.2.8 阶跃响应试验

6.1.2.8.1 直流电压指令阶跃试验

模拟直流电压指令阶跃，其响应时间和超调量均应满足技术规范的要求。应分别在直流输电和 STATCOM 两种运行模式下进行。

6.1.2.8.2 有功功率指令阶跃试验

有功功率指令阶跃试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.8.1。

6.1.2.8.3 无功功率指令阶跃试验

无功功率指令阶跃试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.8.1。

6.1.2.8.4 交流电压指令阶跃试验

交流电压指令阶跃试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.8.1。

6.1.2.9 稳态参数校核试验

在柔直系统有功、无功区间内选取典型功率点，记录系统的直流电压、直流电流、调制比等参数，各量值应与设计结果相符。

6.1.2.10 自监视和切换试验

在冗余的直流控制保护设备、VBE 和测量装置的二次部分上模拟故障，故障包含但不限于数据总线故障、电气量测量故障、主机间通信故障、主机电源故障。故障应能被检测到，报送相应事件，并按照事件的严重等级告警、切换系统、跳闸等。

6.1.2.11 无源交流系统试验（如有）

模拟柔直系统接入无源交流系统，控制保护系统应能通过一端交流系统对柔直系统充电、解锁、输送功率，平稳控制无源交流系统的电压和频率。

6.1.2.12 无源/有源交流系统转换试验（如有）

6.1.2.12.1 无源交流系统向有源交流系统转换试验

换流站处于接入无源交流系统的状态，模拟交流系统接入外部有源电网，控制保护系统应能自动将频率控制切换为有功功率控制，实现无源向有源交流系统的平稳转换，并保持交直流系统的稳定运行。

6.1.2.12.2 有源交流系统向无源交流系统转换试验

换流站处于接入有源交流系统的状态，在有功功率控制站和直流电压控制站分别模拟交流系统电源的丢失，控制保护系统应能自动切换为频率控制、交流电压控制，实现有源向无源交流系统的平稳

转换，并保持交直流系统的稳定运行。

6.1.2.13 交流系统故障穿越试验

6.1.2.13.1 单相接地故障穿越试验

模拟交流系统单相接地故障，在技术规范规定的电压跌落幅值和持续时间内，柔直系统应保持稳定运行，故障结束后恢复正常运行状态。应分别在直流输电和 STATCOM 两种运行模式下进行。

6.1.2.13.2 两相短路故障穿越试验

模拟交流系统两相短路故障，具体步骤和要求参照 6.1.2.13.1。

6.1.2.13.3 两相接地故障穿越试验

模拟交流系统两相接地故障，具体步骤和要求参照 6.1.2.13.1。

6.1.2.13.4 三相接地故障穿越试验

模拟交流系统三相接地故障，具体步骤和要求参照 6.1.2.13.1。

6.1.2.13.5 三相短路故障穿越试验

模拟交流系统三相短路故障，具体步骤和要求参照 6.1.2.13.1。

6.1.2.14 就地控制试验

6.1.2.14.1 就地控制选择试验

将控制位置选为“就地”，运行人员监控系统的控制位置应显示为“就地”。

6.1.2.14.2 遥控试验

将控制位置选为“就地”，参照 6.1.2.1 进行顺序控制和联锁试验。

6.1.2.14.3 遥调试验

将控制位置选为“就地”，参照 6.1.2.2 进行启动和停运试验，参照 6.1.2.5 进行控制模式切换试验，参照 6.1.2.6 进行功率升降及反转试验。

6.1.2.15 无站间通信试验

6.1.2.15.1 无站间通信的启动和停运试验

模拟站间通信异常，具体步骤和要求参照 6.1.2.2。

6.1.2.15.2 无站间通信的功率升降试验

模拟站间通信异常，具体步骤和要求参照 6.1.2.6。

6.1.2.16 直流线路故障扰动试验（如有）

对于直流线路含有架空线的柔直系统，模拟直流线路的瞬时接地故障，柔直系统应采取临时闭锁、重合直流断路器等措施以消除故障，扰动过后柔直系统应能恢复稳定运行。

6.1.3 双极控制试验（如有）

6.1.3.1 顺序控制和联锁试验

6.1.3.1.1 顺序控制试验

根据主接线结构，参照 6.1.2.1.1 进行单极金属回线、双极大地回线、双极金属回线等运行方式转换的操作。

6.1.3.1.2 联锁试验

联锁试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.1.2。

6.1.3.2 启动和停运试验

6.1.3.2.1 双极启动试验

双极启动试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.2.1；针对两极处于双极功率控制、极功率控制及其组合，两极解锁后其功率分配应与其控制模式一致。应分别在直流输电和 STATCOM 两种运行模式下进行。

6.1.3.2.2 双极停运试验

双极停运试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.2.2。

6.1.3.2.3 一极退出试验

一极退出试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.2.2；针对两极处于双极功率控制、极功率控制及其组合，退出一极后另一极的功率水平应与其控制模式一致。

6.1.3.2.4 另一极投入试验

另一极投入试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.2.1；针对两极处于双极功率控制、极功率控制及其组合，投入一极后另一极的功率水平应与其控制模式一致。

6.1.3.3 控制模式切换试验

6.1.3.3.1 双极/单极功率控制模式切换试验

在双极中的任一个极进行双极功率和单极功率控制模式切换，柔直系统应保持稳定运行，两极有功功率和无功功率的分配应与其控制模式一致。应分别在直流输电和 STATCOM 两种运行模式下进行。

6.1.3.3.2 双极定有功功率和定频率控制模式切换试验

进行双极定有功功率和定频率控制模式切换，柔直系统应保持稳定运行，有功功率无明显扰动。

6.1.3.3.3 双极定无功功率和定交流电压控制模式切换试验

进行双极定无功功率和定交流电压控制模式切换，柔直系统应保持稳定运行，无功功率无明显扰动。应分别在直流输电和 STATCOM 两种运行模式下进行。

6.1.3.4 运行方式在线转换试验

对于配置有直流侧接地点、金属回线的对称双极系统，在双极平衡运行的方式下进行双极金属回线、双极大地回线等运行方式转换的操作，柔直系统应保持稳定运行。

6.1.3.5 功率升降及反转试验

6.1.3.5.1 双极有功功率升降试验

双极有功功率升降试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.6.1，两个极分别为双极功率控制、单极功率控制模式及其组合，设定有功功率指令值与升降速率，双极应能按照设定的速率升高或降低有功功率至目标值，功率水平应与其控制模式一致。

6.1.3.5.2 双极有功功率反转试验

双极有功功率反转试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.6.2，设定与当前有功功率方向相反的指令值，双极应能按照设定的速率反转有功功率至目标值。

6.1.3.5.3 双极无功功率升降试验

双极无功功率升降试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.6.3，两个极分别为双极功率控制、单极功率控制模式及其组合，设定无功功率指令值与升降速率，双极应能按照设定的速率升高或降低无功功率至目标值，功率水平应与其控制模式一致。

6.1.3.5.4 双极无功功率反转试验

双极无功功率反转试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.6.4，设定与当前无功功率方向相反的指令值，双极应能按照设定的速率反转无功功率至目标值。

6.1.3.5.5 功率升降及反转暂停试验

在 6.1.3.5.1~6.1.3.5.4 中，应同时验证功率升降暂停功能。

6.1.3.6 双极功率区间及过负荷试验

6.1.3.6.1 功率区间试验

两极均为双极功率控制模式，具体步骤和要求参照 6.1.2.7.1。

6.1.3.6.2 过负荷试验（如有）

两极均为双极功率控制模式，具体步骤和要求参照 6.1.2.7.2。

6.1.3.7 双极就地控制试验

6.1.3.7.1 控制位置切换试验

双极控制位置切换试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.14.1。

6.1.3.7.2 遥控试验

双极遥控试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.14.2。

6.1.3.7.3 遥调试验

双极遥调试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.14.3。

6.1.4 多端系统控制试验（如有）

6.1.4.1 多端系统启动和停运试验

6.1.4.1.1 多端系统启动试验

多端系统启动试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.2.1，顺次合各换流站的交流进线断路器，再依次解锁直流电压控制站、有功功率控制站。

6.1.4.1.2 多端系统停运试验

多端系统停运试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.2.2，顺次闭锁有功功率控制站、直流电压控制站，断开各换流站交流进线断路器。

6.1.4.2 稳态参数校核试验

稳态参数校核试验的具体步骤和要求参照 6.1.2.9，对多端系统可能的运行方式进行参数校核。

6.1.4.3 多端系统单站投入和退出试验

6.1.4.3.1 换流站投入试验

根据设计要求，在其他换流站运行的情况下投入某一换流站，柔直系统应保持稳定运行。

6.1.4.3.2 换流站退出试验

根据设计要求，在不停运多端系统的情况下退出某一换流站，柔直系统应保持稳定运行。若退出站为直流电压控制站，应由在运的其他换流站接管直流电压控制权。

6.1.4.4 多端系统无站间通信试验

6.1.4.4.1 多端系统无站间通信的启动/停运试验

模拟多端系统无站间通信，具体步骤和要求参照 6.1.2.15.1。

6.1.4.4.2 多端系统功率升降过程中失去站间通信试验

模拟多端系统功率升降过程中失去站间通信试验，具体步骤和要求参照 6.1.2.15.2。

6.1.4.4.3 多端系统失去站间通信，换流站投入试验

模拟站间通信异常，在其他换流站运行的情况下手动投入某一换流站，柔直系统应保持稳定运行。

6.1.4.4.4 多端系统失去站间通信，换流站退出试验

模拟站间通信异常，在不停运多端系统的情况下手动退出某一换流站，柔直系统应保持稳定运行。若退出站为直流电压控制站，应由其他换流站接管直流电压控制权。

6.1.5 VBE 功能试验

6.1.5.1 换流阀状态监视试验

在换流阀监视系统后台应能调取、查看各桥臂及其子模块的状态信息。

6.1.5.2 环流抑制试验

在柔直系统功率运行区间内，各桥臂电流二倍频及高倍频谐波的含量不应超过技术规范要求。

6.1.5.3 子模块均压控制试验

VBE 应具有良好的子模块电容电压控制功能，正常运行过程中各子模块电容电压应在设计的运行电压范围内。

6.1.5.4 子模块冗余不足跳闸试验

模拟子模块故障，子模块故障数量不超过系统冗余时，系统继续运行；子模块故障数量超过系统冗余时，发出跳闸请求。

6.1.5.5 电气量保护试验

模拟子模块或桥臂的过电流故障，超过 VBE 过电流保护定值时保护应能动作，并采取闭锁、发送跳闸请求等清除故障。对于 VBE 配置的其他保护，也应通过实时仿真系统的故障模拟等方式进行试验。

6.2 保护试验

6.2.1 保护分区和保护配置

保护分区和保护配置是进行保护试验的主要依据。柔性直流换流站典型的保护分区和保护配置见附录 B 中图 B.1。

6.2.2 试验方法

在仿真系统中，按照附录 B 中图 B.2 所示的故障点模拟电气故障。保护试验项目及各种故障下的动作行为见表 B.1。

直流保护应在各种工况条件下都正确动作，应重点验证以下条件下保护能否正确动作：

- a) 不同运行方式，如直流输电或 STATCOM 方式；
- b) 不同功率水平；
- c) 不同的控制模式，如双极功率控制或极功率控制；
- d) 不同交流系统短路容量。

6.2.3 保护动作结果

直流保护动作后，应通过闭锁、跳开断路器等措施使故障区域内的所有设备退出运行，并且报送相应的事件。

6.3 接口试验

6.3.1 试验原则

对于存在接口的两种不同厂家的设备，如果该接口未在以往工程中应用或协议发生改变，则应在

联调试验期间测试其接口。

6.3.2 直流控制保护设备与 VBE 接口

6.3.2.1 直流控制保护设备下发信号检查

在 VBE 侧检查直流控制保护设备下发的调制波、控制命令等信号，其状态应正确。

6.3.2.2 VBE 上送信息检查

在直流控制保护设备侧检查 VBE 上送的跳闸请求、阀桥臂电压等信号，其状态应正确。

6.3.2.3 通信故障

在 VBE 的备用系统、值班系统以及无备用系统的值班系统上分别模拟直流控制保护设备与 VBE 的各种上行、下行光纤故障，VBE 及直流控制保护设备应能正确告警、切换系统及闭锁，并报送事件。

6.3.2.4 VBE 主机断电、通电

VBE 备用系统主机的断电、通电不应值值班系统造成任何影响。若 VBE 有备用系统，值班系统主机断电时，应进行系统切换，直流系统不应有大的扰动；若 VBE 无备用系统，值班系统主机断电时，直流控制保护设备应发出跳闸命令。

6.3.3 直流控制保护设备与安稳设备接口

安稳设备应可靠识别直流控制保护设备发出的闭锁等信号，直流控制保护设备应可靠接收安稳设备发出的功率提升、回降等信号，并能正确执行。

6.3.4 测量装置合并单元接口

6.3.4.1 通道信号测试

在测量装置合并单元侧模拟交直流量信号，并在通过光纤与其连接的直流控制保护、VBE 等设备侧读取测量信号。测量信号应与原交直流量信号一致，精度应满足规范书要求。

6.3.4.2 响应特性测试（可选）

通过信号发生器给测量装置合并单元输入阶跃信号，记录合并单元的输出信号，并与原阶跃信号对照，输出信号的响应特性应满足规范书要求。

6.3.5 故障录波设备接口

与故障录波设备接口相连接的设备有直流控制保护设备、VBE 和测量装置的二次部分等。在故障录波设备上触发相应录波，各录波通道测量的信号应正确无误。

6.3.6 时钟同步设备接口

参照设备规范对时钟同步设备接口的要求进行试验。

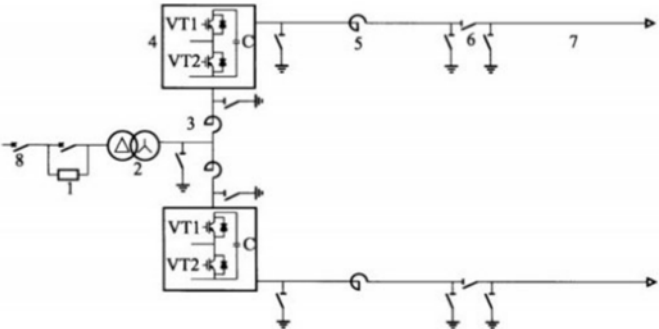
6.3.7 直流断路器接口（如有）

如果柔直系统采用了直流断路器，应按照直流断路器和直流控制保护的接口规范测试其接口。

附录 A
(规范性附录)
典型柔性直流换流站主接线

A.1 对称单极柔性直流换流站主接线和主设备

对称单极柔性直流换流站典型主接线和主设备见图 A.1。

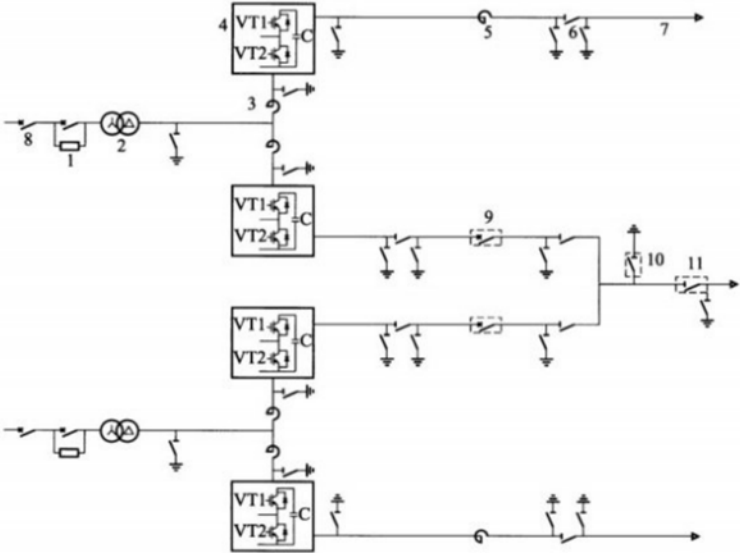


1—启动电阻；2—接口变压器；3—桥臂电抗器；4—换流阀；5—直流电抗器；
6—直流隔离开关；7—直流线路；8—交流进线断路器

图 A.1 对称单极柔性直流换流站典型主接线和主设备示意图

A.2 双极柔性直流换流站主接线和主设备

双极柔性直流换流站的典型主接线和主设备见图 A.2。



1—启动电阻；2—接口变压器；3—桥臂电抗器；4—换流阀；5—直流电抗器；6—直流隔离开关；7—直流线路；
8—交流进线断路器；9—中性母线开关（NBS）；10—中性母线接地开关（NBGS）；11—大地回线转换开关（GRTS）

图 A.2 双极柔性直流换流站的典型主接线和主设备示意图

A.3 直流控制试验简表

直流控制试验简表见表 A.1。

表 A.1 直流控制试验简表

序号	试验类别	试 验 名 称	试验顺序 ^a
1	单极控制试验	顺序控制和联锁试验	①
2		启动和停运试验	①
3		开路试验	②
4		分接开关调节试验	③
5		控制模式切换试验	④
6		功率升降及反转试验	③
7		功率区间及过负荷试验	③
8		阶跃响应试验	②
9		稳态参数校核试验	①
10		自监视和切换试验	③
11		无源交流系统试验	③
12		无源/有源交流系统转换试验	③
13		交流系统故障穿越试验	③
14		就地控制试验	③
15		无站间通信试验	③
16		直流线路故障扰动试验	③
17	双极控制试验	顺序控制和联锁试验	①
18		启动和停运试验	①
19		控制模式切换试验	②
20		运行方式在线转换试验	②
21		功率升降及反转试验	②
22		双极功率区间及过负荷试验	②
23		双极就地控制试验	②
24	多端系统控制试验	多端系统起停试验	①
25		稳态参数校核试验	①
26		多端系统单站投入和退出试验	②
27		多端系统无站间通信试验	②
28	VBE 功能试验	换流阀状态监视试验	①
29		环流抑制试验	①
30		子模块均压控制试验	①
31		子模块冗余不足跳闸试验	②
32		电气量保护试验	②

^a 序号表示试验项目在同试验类别中的先后顺序，序号越小越优先。

附录 B
(规范性附录)
直流保护配置、试验项目及动作行为

B.1 柔性直流换流站典型保护分区及保护配置

以双极柔性直流换流站主接线为例，保护分区及保护配置见图 B.1。

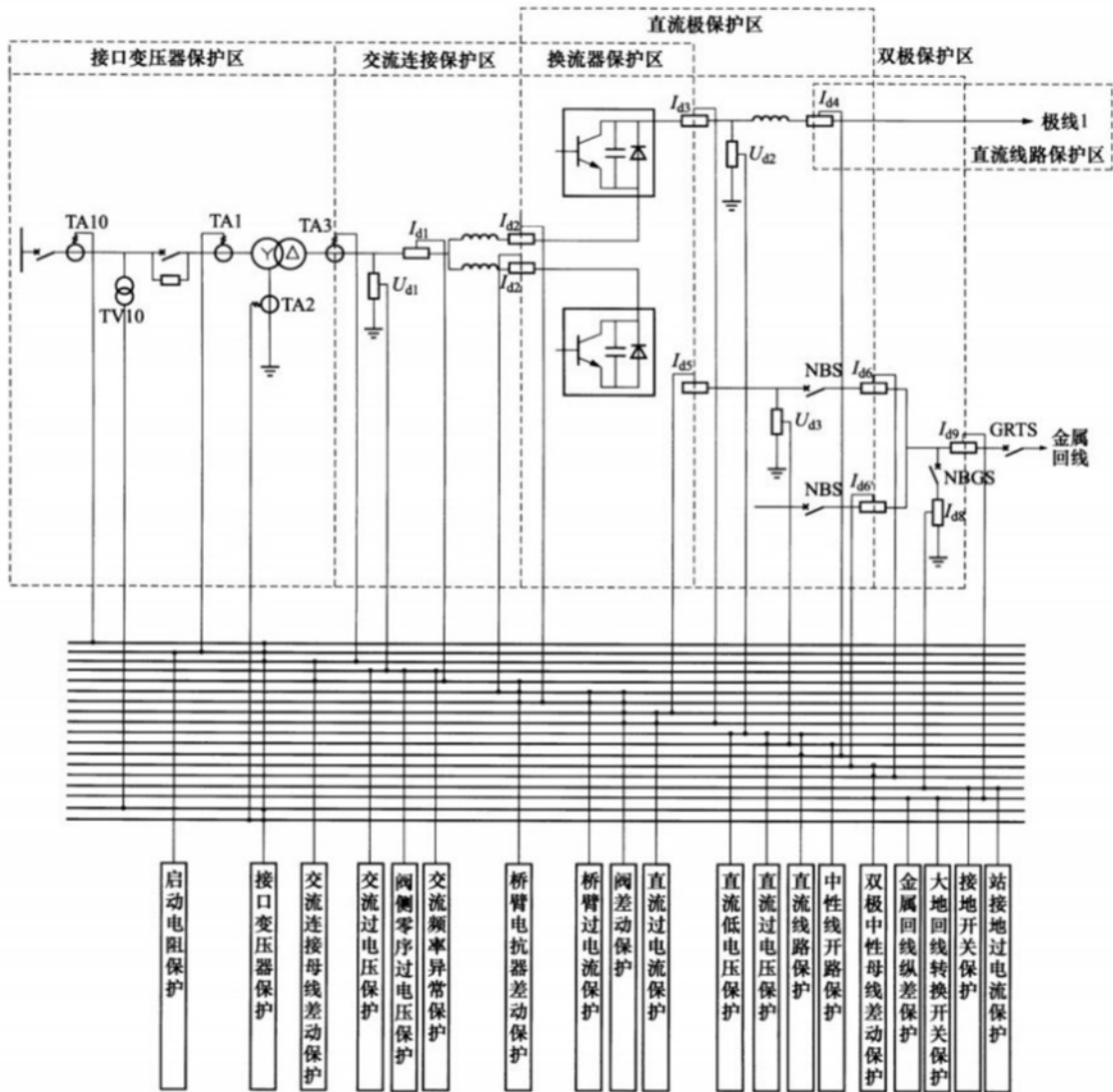
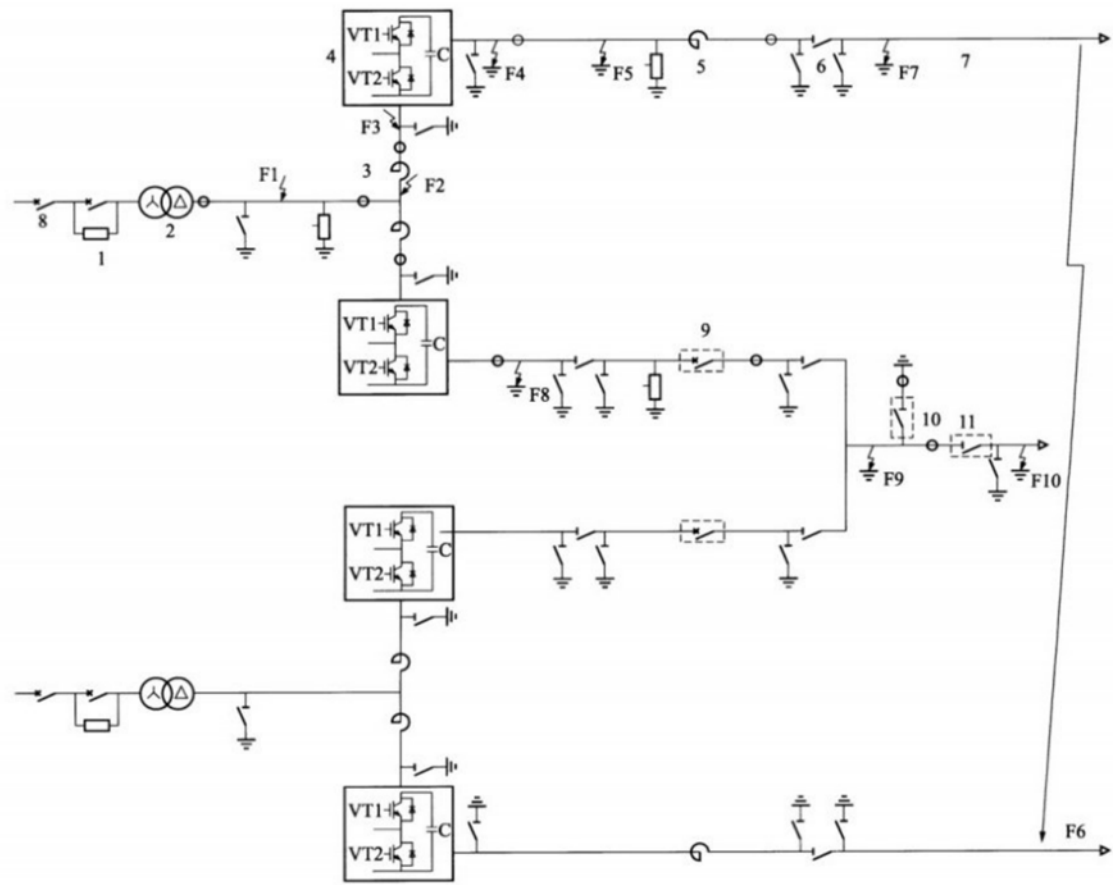


图 B.1 双极柔性直流换流站典型保护分区及保护配置

B.2 保护试验的故障位置

以双极柔性直流换流站主接线为例，保护试验的故障位置见图 B.2。



1—启动电阻；2—接口变压器；3—桥臂电抗器；4—换流阀；5—直流电抗器；6—直流隔离开关；7—直流线路；
8—交流进线断路器；9—中性母线开关（NBS）；10—中性母线接地开关（NBGS）；11—大地回线转换开关（GRTS）

图 B.2 保护试验故障位置示意图

B.3 直流保护试验项目和动作行为

直流保护典型试验项目及其动作行为见表 B.1。

表 B.1 直流保护典型试验项目及其动作行为

序号	故障点	故障名称	主保护类型
1	F1	单相接地、两相短路、两相接地、三相接地	接口变压器阀侧交流连接线差动保护
2	F2	单相接地、两相短路、两相接地、三相接地	桥臂电抗器差动保护
3	F3	单相接地	换流阀差动保护
4	F4	换流阀高端接地	换流器差动保护
5	F5	极母线接地	极母线差动保护
6	F6	正负极线短路	直流欠电压过电流保护
7	F7	直流线路接地	直流电压不平衡保护 ^a 、直流线路保护
8	F8	中性母线接地	中性母线差动保护

表 B.1（续）

序号	故障点	故障名称	主保护类型
9	F9	双极中性母线接地	双极中性母线差动保护
10	F10	金属回线接地	站接地过电流保护
* 仅适用于对称单极系统。			

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
柔性直流输电控制保护系统联调试验技术规程
DL/T 1794—2017

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>)
北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

2019年3月第一版 2019年3月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.5印张 39千字
印数 001—200册

统一书号 155198·988 定价 **22.00** 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 **最及时、最准确、最权威** 的电力标准信息



155198.988