T/CSEE XXXX—YYYY

团体标准

发 布

中国电机工程学会

20XX—XX—XX实施

20XX—XX—XX发布

海上风电柔性直流送出控制保护系统联调试验技术规程

Technical specifications on control and protection integration test of offshore wind power VSC-HVDC system

（征求意见稿）

ICS 19.020

CCS K85

目 次

[前 言 II](#_Toc192009526)

[1 范围 1](#_Toc192009527)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc192009528)

[3 术语和定义 1](#_Toc192009529)

[4 一般要求 2](#_Toc192009530)

[5 联调试验系统要求 2](#_Toc192009531)

[6 试验内容及方法 5](#_Toc192009532)

[附　录　A（资料性） 海上风电柔直换流站主接线示意图 12](#_Toc192009533)

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准化管理办法》、《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会海上风电标准专业委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：国网经济技术研究院有限公司、中电普瑞电力工程有限公司、国网智能电网研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司、中电普瑞科技有限公司、南京南瑞半导体有限公司等。

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：http：//www.csee.org.cn，邮箱：[cseebz@csee.org.cn](mailto:cseebz@csee.org.cn)）。

海上风电柔性直流送出控制保护系统联调试验技术规程

1. 范围

本文件规定了海上风电经柔性直流送出（以下简称“海上风电柔直”）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。

本文件适用于在实验室进行的、额定直流电压在±320kV及以上的双端海上风电柔直工程的控制保护系统联调试验。

1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 40865 柔性直流输电术语

DL/T 1193 柔性输电术语

DL/T 1794—2017 柔性直流输电控制保护系统联调试验技术规程

NB/T 31047.2—2022 风电调度运行管理规范 第2部分：海上风电

1. 术语和定义

GB/T 40865、DL/T 1193、DL/T 1794-2017界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

联调试验 integration test

海上风电柔性直流各二次系统之间的集成测试，主要验证各二次系统之间接口及二次系统整体功能的正确性。联调试验是直流控制保护设备出厂试验后和现场调试前的必要环节。

[来源：DL/T 1794—2017，3.1，有修改]

换流变压器控制柜 transformer electronic control/programmable logic control cabinet：TEC/PLC

用于控制换流变压器冷却系统和有载分接开关运行，经过对换流变压器运行温度、负荷和冷却器的 状态计算处理，结合直流控制系统命令对换流变压器的启停或者有载分接开关进行控制，并将冷却器运 行状态送至直流控制保护系统。

海上风电场能量管理系统 energy management system for offshore wind power plant

对海上风电场能量进行综合管理与配置调度并自动闭环控制海上风电场有功功率和无功功率的系统。

海上风电场 offshore wind power plant

指在沿海多年平均大潮高潮线以下海域开发建设的风电场，由一批风力发电机组或风力发电机组群（包括机组单元变压器）、汇集线路、主升压变压器、交流海缆或柔性直流输电及其他设备组成的发电站。

[来源：NB/T 31047.2—2022，3.1，有修改]

耗能阀 chopper valve

用于在受端交流故障时泄放柔直送出盈余功率的系统设备，连接于陆地站的正负极直流母线之间。

耗能阀控设备 chopper valve based control device

实现耗能阀本体的控制与保护功能的二次设备。

2. 一般要求

联调试验输入条件

参加联调试验的海上风电柔直控制保护系统应符合DL/T 1794的4.1相关要求，并已经准备齐全控制保护系统网络安全检测报告。

联调试验环境要求

联调试验应在室内进行，且实施过程应符合DL/T 1794的4.2 a)相关要求。

联调试验报告要求

联调试验报告应符合DL/T 1794的4.3相关要求。

联调试验管理要求

联调试验管理应符合DL/T 1794的4.2 b）~d）相关要求。

1. 联调试验系统要求

联调试验系统构成

海上风电柔性直流送出控制保护联调试验系统需能够模拟工程现场的交流系统、海上风电场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。海上风电柔性直流送出控制保护联调试验系统的一般构成见图1。



图1 海上风电柔直控制保护系统联调试验系统的一般构成

实时仿真系统

* + 1. 概述

实时仿真系统应能模拟工程现场海上风电柔直系统运行特性，包括实时数字仿真系统和物理仿真系统。

* + 1. 实时数字仿真系统
       1. 实时数字仿真系统建模
          1. 实时数字仿真系统应建立模拟海上风电柔直工程一次系统的模型，海上风电柔直换流站主接线示意图见附录A中图A.1。模型主要包括：

a）海上风电场；

b）交流电网系统；

c）联接变压器；

d）启动电阻：

e）桥臂电抗器；

f）换流阀；

g) 耗能阀；

h) 平波电抗器；

i) 直流线路；

j) 接地装置，如电抗器、电阻等；

k) 刀闸、避雷器等其他一次设备。

* + - * 1. 模型参数应按设计规范要求进行校核，具备开展联调试验的条件，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。
        2. 交流电网系统的仿真可采用等值阻抗系统的方式，应在联调试验开始前确定等值阻抗系统在大、小方式下的等值阻抗参数。
      1. 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50μs以内，换流阀、耗能阀部分的仿真步长宜控制在10μs以内。

* + - 1. 实时数字仿真系统接口
         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联接变压器分接开关挡位调节命令等；

2)实时数字仿真系统发出的断路器分合状态和联接变压器分接开关挡位状态等。

b) 模拟量接口，包括：

1)联接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交直流模拟量。

* + - * 1. 与阀控设备的接口

实时数字仿真系统与阀基控制设备之间的接口信息包括子模块触发脉冲、子模块电容电压和子模块状态等。实时数字仿真系统与阀控设备采用光纤接口。

* + - * 1. 与耗能阀控设备的接口

实时数字仿真系统与耗能阀控设备之间的接口信息包括正负极电压、支路电流、子模块触发脉冲、子模块电容电压和子模块状态等。实时数字仿真系统与耗能阀控设备采用光纤接口。

* + - * 1. 与测量装置的接口

实时数字仿真系统与测量装置之间的接口信息包括电压、电流模拟量。

* + - * 1. 与安稳装置的接口

实时数字仿真系统与安稳装置控制系统之间的接口信息包括直流控制模式、换流器运行状态、直流功率速降指令等，为简化接口可采用光纤通信方式。

* + - * 1. 与其他设备的接口

实时数字仿真系统与其他设备（包含但不限于开关、刀闸等）接入可采用继电器开入/开出或数字化开入/开出等形式的接口。

* + 1. 物理仿真系统
       1. 物理仿真系统模型要求
          1. 换流阀/耗能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/耗能阀在各种工况下的电压、电流特性。
          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。
          3. 联接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、电容或电缆的配置实现对实际线路、海缆的模拟。
          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。
       2. 物理仿真系统接口
          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。
          2. 物理仿真系统与阀控设备之间的接口宜采用与工程现场一致的通信方式。
          3. 物理仿真系统与耗能阀控设备之间的接口宜采用与工程现场一致的通信方式。

被试设备

被试设备主要包括：

1. 直流控制保护设备；
2. 阀控设备；

c）耗能阀控设备；

d）阀冷控制保护设备；

e）测量设备二次单元，包括测量设备合并单元等；

f）故障录波设备（按需）；

g) 安稳控制设备；

h) 海上风电机组控制保护设备；

j) 其他设备，包括时钟同步设备、通信接口设备等。

1. 试验内容及方法

控制试验

* + 1. 直流控制试验
       1. 顺序控制和联锁试验
          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，并根据主接线结构进行运行方式变换的操作。对于双极直流系统，还应进行单极运行、双极运行等顺控操作。对于多端直流系统，还应进行单站的投退等操作。

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。

* + - * 1. 联锁试验

联锁试验包括但不限于断路器/刀闸联锁、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/刀闸联锁条件下，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。

* + - 1. 起动和停运试验
         1. 起动试验

合陆上站交流进线断路器，对联接变和处于闭锁状态的换流阀进行充电。先解锁陆上换流站，再解锁海上换流站，再进行风机并网的相关操作。对于多端直流系统，应按照设计顺序进行各换流站的起动。

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。

* + - * 1. 停运试验

将风电场功率降至零，先闭锁所有海上换流站，再闭锁陆上换流站。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。

* + - * 1. 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。对于双极系统和多端系统，可以实现故障极或故障换流站的单独紧急停运，健全极和健全换流站不受影响。紧急停运信号应传至安控等系统或通过风电场孤岛控制等功能实现风机停运。

* + - 1. 分接开关调节试验（如有）
         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档位的指令应能被执行，柔直系统应保持稳定运行。

* + - * 1. 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成自动模式，分接开关应自动调档，直至调制比或接口变压器阀侧电压回到正常运行范围内。

* + - 1. 控制模式切换试验
         1. 有功类控制模式切换试验

对于多端直流系统，在线切换具备直流电压控制的换流站，柔直系统应保持稳定运行。

* + - * 1. 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。

* + - 1. 功率升降试验
         1. 有功功率升降试验

有功功率控制模式下，增加风电场输出的有功功率，柔直系统应能按照风电场输入功率输出至陆上交流系统。

* + - * 1. 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，系统应能按照设定的速率升高或降低无功功率至目标值。

* + - * 1. 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，系统应能按照设定的速率升高或降低无功功率至目标值。

* + - 1. 功率区间及过负荷试验
         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。

调整风电场功率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。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，记录功率运行区间上的有功、无功。

根据试验数据，作出有功无功区间，换流站的功率区间应符合设计要求。

* + - * 1. 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，柔直系统应通过安控等措施降低风电场功率至额定值。

* + - 1. 阶跃响应试验
         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。

* + - * 1. 有功功率阶跃试验

模拟风电场功率阶跃，柔直的响应时间和超调量均应满足技术规范的要求。

* + - * 1. 无功功率指令阶跃试验

模拟陆上站无功功率指令阶跃，其响应时间和超调量均应满足技术规范的要求。

* + - * 1. 交流电压指令阶跃试验

分别模拟海上站和陆上站交流电压指令阶跃，其响应时间和超调量均应满足技术规范的要求。

* + - 1. 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。

* + - 1. 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、主机间通讯故障、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。

* + - 1. 就地控制试验

将控制位置选为“就地”，进行顺序控制和联锁试验、启动和停运试验、控制模式切换试验、功率升降及反转试验，就地控制应能顺利实现上述功能。

* + - 1. 无站间通信试验

模拟站间通信异常，进行起动和停运试验、功率升降试验。站间通讯异常情况下，海上风电柔直系统应能实现起动、停运、功率升降。

* + - 1. 交流故障及功率盈余试验

模拟交流系统单相、相间、两相接地、三相接地故障，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。

故障穿越期间，耗能应在必要时投入实现盈余功率消耗，使直流电压不超过设计值。

* + 1. 换流阀控制试验
       1. 换流阀状态监视

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。

* + - 1. 环流抑制

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。

* + - 1. 子模块均压控制

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。

* + - 1. 子模块冗余不足跳闸

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。

* + - 1. 电气量保护试验

模拟子模块或桥臂的过流故障，超过VBE过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。

保护试验

* + 1. 一般要求

对于存在接口的两种不同厂家的设备，则应在联调试验期间进行接口试验。

* + - 1. 根据海上风电柔性直流送出系统的主回路结构，通过故障仿真试验，检测直流保护动作行为。故障模拟试验应涵盖以下工况的多种组合：

a）不同的柔性直流功率水平，应至少包括0.1p.u.、1.0p.u.；

b）不同的接线和运行方式，包括双极方式运行（如有）、单极方式运行（如有）、陆上站单/多变压器运行、海上单/多变压器运行、陆上站STATCOM运行、陆上站孤岛运行（如有）；

c）不同的运行功率方向，包括风电场功率外送、风电场充电启动等；

d）站间通讯状态，包括通讯正常和通讯异常。

* + - 1. 联调试验故障模拟应考虑交流系统强弱对保护功能及动作灵敏度的影响。
      2. 柔性直流保护装置在联网运行、空载加压运行、STATCOM运行以及陆上站孤岛运行（如有）下均应能可靠动作。
      3. 除非特殊说明，联调试验过程中应投入全部保护功能；检测后备保护时，应退出主保护功能。
      4. 直流保护系统动作结果应满足直流控制保护设备设计要求，且动作后应满足直流系统成套设计要求和相关设备设计要求。
    1. 联接/换流变保护区试验方法

联接/换流变保护区试验方法应包括但不限于以下内容：

a）模拟联接/换流变引线区内金属性、带过渡电阻的单相接地、两相短路、两相接地、三相接地故障；

b）模拟联接/换流变差动区内金属性、带过渡电阻的单相接地、两相短路、两相接地、三相接地故障；

c）模拟联接/换流变内部绕组匝间金属性短路故障；

d）模拟联接/换流变CT断线故障、PT断线故障、CT饱和故障试验；

e）模拟区外故障试验，包括网侧区外和阀侧区外；

f）模拟区外发展性故障，包括区外单相故障发展为区外多相故障、区外故障发展为区内故障；

g）模拟联接/换流变空投试验；

h）模拟联接/换流变合于故障试验；

i）模拟系统扰动和系统振荡影响试验。

* + 1. 换流器保护区试验方法

换流器保护区试验方法应包括但不限于以下内容：

a）模拟阀侧交流连接线启动电阻未旁路阶段，经启动电阻的单相接地、两相短路、两相接地、三相接地故障；

b）模拟阀侧交流连接线启动电阻旁路但未解锁阶段，阀侧交流连接线金属性单相接地、两相短路、两相接地、三相接地故障；

c）模拟运行后阀侧交流连接线金属性单相接地、两相短路、两相接地、三相接地故障；

d）模拟运行后接地电抗器近地侧接地故

e）模拟桥臂交流侧金属性单相接地、两相短路、两相接地、三相接地故障；

f）模拟桥臂直流侧金属性单相接地、两相短路、两相接地、三相接地故障；

g）模拟桥臂电抗器直流侧金属性接地故障；

h）模拟阀组高低压端间短路故障。

* + 1. 极保护区试验方法

极保护区试验方法应包括但不限于以下内容：

a）模拟平波电抗器直流侧金属性接地故障（如有）；

b）模拟极母线对地短路故障；

c）模拟中性母线对地短路故障；

d）模拟接地极开路故障（如有）；

e）模拟中性母线开关故障（如有）；

f）模拟直流耗能装置桥臂接地故障；

g）模拟直流耗能装置端间短路故障。

* + 1. 双极保护区试验方法（如有）

双极保护区试验方法应包括但不限于以下内容：

a）模拟双极中性母线接地故障；

b）模拟站接地过流保护动作；

c）模拟站接地开关故障；

d）模拟接地极引线接地故障；

e）模拟接地极引线过负荷故障。

* + 1. 直流线路保护区试验方法

直流线路保护区试验方法应包括但不限于以下内容：

a)模拟直流线路近端、中点、远端金属性、带过渡电阻的接地故障；

b)模拟直流线路近端、中点、远端的端间短路故障。

接口试验

* + 1. 试验原则

对于存在接口的两种不同厂家的设备，应在联调试验期间测试其通信接口及接口信号功能。

* + 1. 直流控制保护设备与阀控接口试验
       1. 直流控制保护设备下发信号检查

在阀控侧检查直流控制保护设备下发的主备用、充电、解闭锁、调制电压参考值等信号，其状态应与发送信号一致。

* + - 1. 阀控上送信息检查

在直流控制保护设备侧检查阀控上送的阀控可用、请求跳闸、暂时性闭锁（如有）、子模块电压、子模块投入数等信号，其状态应与发送信号一致。

* + - 1. 通讯故障

在阀控的备用系统、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阀控的各种上行、下行光纤故障，阀控及直流控制保护设备应能正确告警、切换系统或闭锁，并报送事件。

* + - 1. 阀控主机断电、通电

对阀控主用系统主机模拟断电，对阀控备用系统主机分别模拟断电、通电。阀控备用系统主机的断电、通电不应对值班系统造成任何影响。若阀控有备用系统，主用系统主机断电时，应进行系统切换，直流系统不应有大的扰动；若阀控无备用系统，主用系统主机断电时，直流控制保护设备应发出跳闸命令。

* + 1. 直流控制保护设备与耗能阀控设备接口试验
       1. 直流控制保护设备下发信号检查

在耗能阀控侧检查直流控制保护设备下发的主备用、充电等信号，其状态应与发送信号一致。

* + - 1. 耗能阀控上送信息检查

在直流控制保护设备侧检查耗能阀控上送的主备用、耗能阀控可用、请求跳闸、耗能阀允许动作、耗能动作、耗能阀子模块电压等信号，其状态应与发送信号一致。

* + - 1. 通讯故障

在耗能阀控的备用系统、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耗能阀控的各种上行、下行光纤故障，耗能阀控及直流控制保护设备应能正确告警、切换系统或闭锁，并报送事件。

* + - 1. 耗能阀控主机断电、通电

对耗能阀控主用系统主机模拟断电，对耗能阀控备用系统主机分别模拟断电、通电。耗能阀控备用系统主机的断电、通电不应对值班系统造成任何影响。若耗能阀控有备用系统，主用系统主机断电时，应进行系统切换，直流系统不应有大的扰动；若耗能阀控无备用系统，主用系统主机断电时，直流控制保护设备应发出跳闸命令。

* + 1. 直流控制保护设备与阀冷控制保护设备接口试验
       1. 直流控制保护设备下发信号检查

在阀冷侧检查直流控制保护设备下发的值班信号、解锁信号、切泵命令等信号，其状态应与发送信号一致。

* + - 1. 阀冷控保上送信息检查

在直流控制保护设备侧检查阀冷控保上送的阀冷就绪状态、跳闸请求、阀冷值班状态、通讯状态等信号，其状态应与发送信号一致。

* + - 1. 通讯故障

在阀冷控保的备用系统、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阀冷控保的各种上行、下行光纤故障，阀冷控保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。

* + - 1. 阀冷控保主机断电、通电

阀冷控保备用系统主机的断电、通电不应对值班系统造成任何影响。若阀冷控保有备用系统，值班系统主机断电时，应进行系统切换，直流系统不应有扰动；若阀冷控保无备用系统，值班系统主机断电时，直流控制保护设备应发出跳闸命令。

* + 1. 直流控制保护设备与安稳设备接口试验

在安稳设备侧检查直流控制保护设备下发的闭锁信号等，其状态应与发送信号一致。在直流控制保护设备侧检查安稳设备下发的功率提升、回降等信号，其状态应与发送信号一致并能正确执行。

* + 1. 直流控制保护设备与联接/换流变控制柜（TEC/PLC）接口试验

在联接/换流变TEC/PLC侧检查直流控制保护设备下发的启停风冷等信号，其状态应与发送信号一致。在直流控制保护设备侧检查联接/换流变TEC/PLC下发的联接/换流变温度、冷却器状态等信号，其状态应与发送信号一致，并能正确响应同时发出告警事件。

* + 1. 直流控制保护设备与交流断面失电装置接口试验（如有）

在交流断面失电装置侧检查直流控制保护设备下发的控保主机信号，其状态应与发送信号一致。在直流控制保护设备侧检查交流断面失电装置下发的交流系统断面失电等信号，其状态应与发送信号一致，并能正确响应同时发出告警事件。

* + 1. 直流控制保护设备与测量装置接口试验

模拟直流分压器、光学电流测量装置、零磁通电流测量装置等测量设备二次回路故障，直流保护设备应能退出相关保护且不出现误动，直流控制主机应能可靠切换系统，且切换过程中功率不能发生较大波动。

* + 1. 直流控制保护设备与故障录波设备接口试验

应在故障录波设备上触发相应录波，检查各录波通道测量的信号，各录波通道信号应与实际值保持一致，且分辨率等应满足相关功能规范要求。

* + 1. 直流控制保护设备与时钟同步设备接口试验

检查直流控制保护设备、阀控设备、耗能阀控设备等设备接入时钟信号，时钟信号应满足相关功能规范要求。

* + 1. 直流控制保护设备与海上风电场能量管理系统接口试验（如有）

在海上风电场能量管理系统侧检查直流控制保护设备下发的控制命令等信号，其状态应与发送信号一致。在直流控制保护设备侧检查能量管理系统上送的模拟量、状态等信号，其状态应与发送信号一致。

2. （资料性）  
   海上风电柔直换流站主接线示意图
   1. 海上风电柔直换流站主接线示意图

海上柔性直流换流站典型主接线示意图见图A.1。



（a）海上风电柔直陆上站典型主接线示意图



（b）海上风电柔直海上站典型主接线示意图

图A.1 海上风电柔直换流站主接线示意图

**━━━━━━━━━━━**