

ICS 29.240.01

CSS K45

CES

中 国 电 工 技 术 学 会 团 体 标 准

T/CES XXXX-XXXX

**海上风电柔性直流送出控制与保护系统
技术规范**

Technical specification for control and protection systems of
VSC-HVDC for offshore wind power

(征求意见稿)

(20210624)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国电工技术学会

发 布

目 次

前 言.....	3
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	5
4 系统构成.....	5
5 技术要求.....	6
6 试验方法.....	17
7 检验规则.....	24
附 录 A (资料性) 海上风电柔性直流送出直流保护分区及故障点图.....	23

前　　言

本文件按照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》的规则起草。

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。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会归口。

本文件起草单位：许继集团有限公司、哈尔滨电工仪表研究所有限公司、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司、西安端怡科技有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院等。

本文件主要起草人：曹森、郝俊芳、吴庆范、涂仁川、宋延涛、范雪峰、刘献成、刘继权、杨林刚、王霄鹤、司喆、李少华、许烽。

海上风电柔性直流送出控制与保护系统技术规范

1 范围

本文件规定了海上风电柔性直流送出控制与保护系统（简称“系统”）的系统构成、技术要求、试验方法及检验规则。

本文件适用于两端换流站的海上风电柔性直流送出工程的设计、制造、试验和使用。

多端及多回海上风电柔性直流送出控制保护系统可参照执行。

2 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 2423.17—2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
GB/T 4208—2017	外壳防护等级(IP代码)
GB/T 7261—2016	继电保护和安全自动装置基本试验方法
GB/T 13498—2017	高压直流输电术语
GB/T 13730—2002	地区电网调度自动化系统
GB/T 14598.24—2017	量度继电器和保护装置 第24部分：电力系统暂态数据交换(COMTRADE)通用格式
GB/T 17626.6—2017	电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
GB/T 17626.9—2011	电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
GB/T 17626.18—2016	电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验
GB/T 18700(所有部分)	远动设备和系统
GB/T 20840.7—2007	互感器 第7部分：电子式电压互感器
GB/T 20840.8—2007	互感器 第8部分：电子式电流互感器
GB/T 22390.1—2008	高压直流输电系统控制与保护设备 第1部分：运行人员控制系统
GB/T 22390.2—2008	高压直流输电系统控制与保护设备 第2部分：交直流系统站控设备
GB/T 22390.3—2008	高压直流输电系统控制与保护设备 第3部分：直流系统极控设备
GB/T 22390.6—2008	高压直流输电系统控制与保护设备 第6部分：换流站暂态故障录波装置
GB/T 25931—2010	网络测量和控制系统的精确时钟同步协议
GB/T 30790.2—2014	色漆和清漆-防护涂料体系对钢结构防腐蚀保护-第2部分：环境分类
GB/T 33591—2017	智能变电站时间同步系统及设备技术规范
GB/T 35703—2017	柔性直流输电系统成套设计规范
GB/T 35745—2017	柔性直流输电控制与保护设备技术要求
GB/T 37015.1—2018	柔性直流输电系统性能 第1部分：稳态
GB/T 37015.2—2018	柔性直流输电系统性能 第2部分：暂态
GB/T 51381—2019	柔性直流输电换流站设计标准
DL/T 860(所有部分)	变电站通信网络和系统
DL/T 1193—2012	柔性输电术语

3 术语和定义

GB/T 13498—2017、DL/T 1193—2012确定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海上风电柔性直流送出控制与保护系统 control and protection system of VSC-HVDC for offshore wind power

实现海上风电柔性直流送出工程中所需的直流控制与保护功能的二次设备。

注：包括除换流阀控制层以外的控制设备、保护设备、故障录波设备以及其他辅助设备，当电气主接线采用对称双极拓扑时，可配置独立的直流站控二次设备。

3.2

直流海缆 DC submarine cable

由导电线芯、绝缘层和外护层等构成，实现海上换流站和陆上换流站间传输电力的一次回路。

3.3

直流耗能设备 DC chopper

由串联或并联连接的耗能组件和多个开关模块构成，配置在与接入交流电网连接的换流站中直流侧正负极母线之间，实现盈余能量的消耗。

3.4

装置 device

由多个印制板插件安装在一个标准机箱内，以实现某特定功能的硬件。

3.5

设备 equipment

由多个装置组成用于实现更为复杂的系统功能的硬件组合。

4 系统构成

系统采用分层分布式结构，根据功能和控制级别划分为：运行人员控制层、控制层、现场层，各层间及同层的不同设备通过网络总线相互连接。系统构成见图1。系统各层构成：

- a) 运行人员控制层主要包括远动工作站、运行人员工作站及服务器等设备，实现运动通信功能和运行人员控制功能；
- b) 控制层主要包含交流站控、直流站控、极控、联接变保护、极保护和辅助二次设备，实现控制功能、保护功能、辅助二次系统功能、内部接口与通信；
- c) 现场层主要包含测控设备，实现外部接口与通信等。

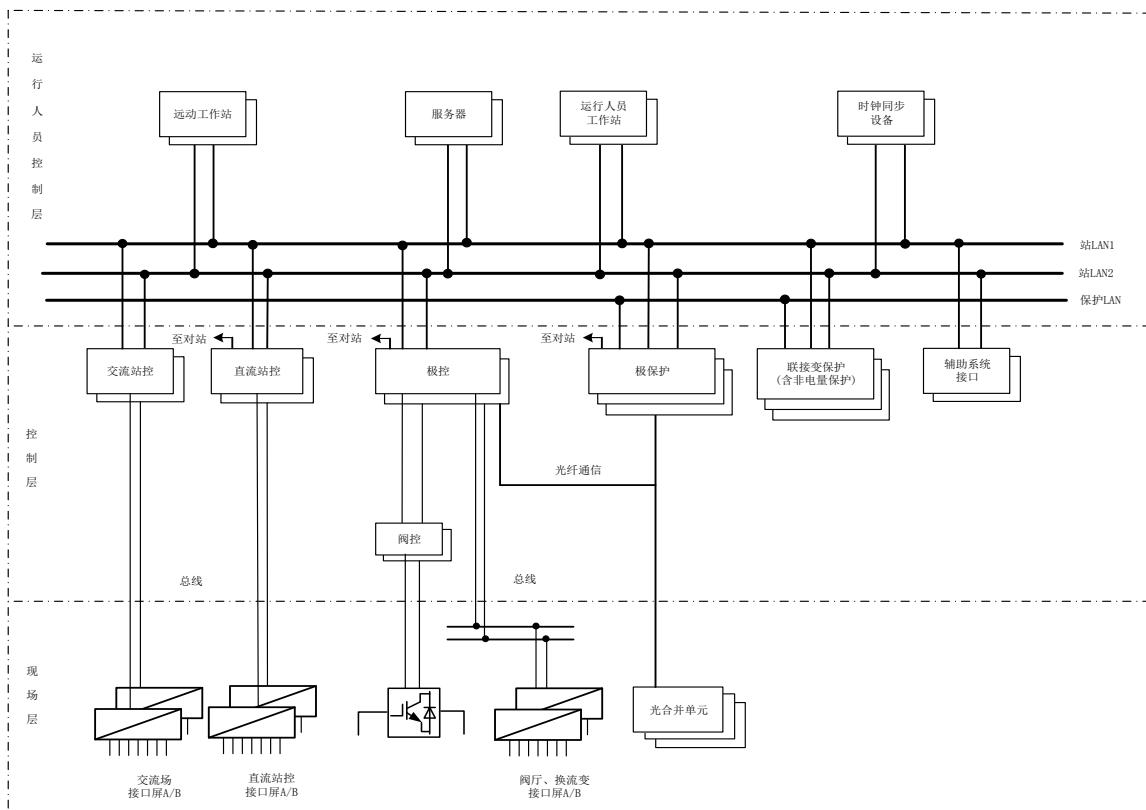


图1 系统结构示意图

5 技术要求

5.1 系统功能要求

5.1.1 远动工作站

远动工作站仅在陆上换流站配置，应具备以下功能：

- a) 能完成 GB/T 22390.1—2008 的信号传输要求；
- b) 具有模拟量越限优先传送、开关量变位优先传送和全数据传输功能；
- c) 支持 IEEE 802 系列局域网协议；
- d) 支持传输控制协议 (TCP) 和网际协议 (IP)；
- e) 支持异步传递方式 (ATM) 协议；
- f) 支持网络管理协议 (SNMP)；
- g) 远动工作站应提供符合与远动网络连接和实现点对点专线传输所必须的接口，对不同类型的接口应提供备用接口；
- h) 应提供与换流站运行人员控制系统中事件顺序记录相同的内容，时标应为事件产生时的时刻；
- i) 远动工作站在失电恢复或软件故障后应能自动重启动；
- j) 远动工作站应具备与站时钟系统对时的功能；
- k) 远动工作站应具备就地监视功能，包含运行情况显示、记录及打印功能；
- l) 远动工作站应具备远方配置组态功能；
- m) 远动工作站应用软件支持各调度中心和运行人员同时对换流站不同区域进行控制操作，每个控制区域都有各自独立的控制权限，同一区域的控制操作权限只属于其中一个操作方(运行人员、远方调度、就地控制)，不同区域的控制操作可以在同一时间被具有控制权限的操作方操作。

n) 远动工作站对各调度中心的遥控操作应具有返送校核功能。

5.1.2 运行人员控制设备

运行人员控制设备应具备以下功能:

- a) 监视功能;
- b) 数据处理、运算和存储;
- c) 控制调节功能;
- d) 人机界面功能;
- e) 顺序事件记录;
- f) 用户权限管理功能;
- g) 基本防误操作功能;
- h) 系统的维护和自诊断功能;
- i) 换流站文档管理。

运行人员控制设备功能应符合 GB/T 35745—2017 中 5.1.3 的规定。

5.1.3 控制设备功能

5.1.3.1 通用要求

海上换流站应按无人值守设计，在陆上换流站或监控中心中实现直流送出系统的统一监控。系统控制设备应能接收来自运行人员或远方调度的控制命令，协调交流电网与直流输电系统的控制关系，协调多端各换流站之间的控制关系，并完成相应的交、直流场开关、刀闸的操作以及直流系统的顺序控制、辅助系统的控制等操作。

应符合以下要求:

- a) 采用分层分布式结构，完成直流系统的系统级控制、站级控制、换流器级控制等功能;
- b) 采用双重化冗余配置，任意一重设备因故障或其它原因退出运行及检修时，不应影响整个直流系统的正常运行。

控制设备功能应符合 GB/T 35745—2017 中 5.1.4、GB/T 35703—2017 中 10.3 和 GB/T 51381—2019 中 6.3 的规定。

5.1.3.2 系统级与站级控制功能

5.1.3.2.1 多回直流协调控制功能

采用多回拓扑方式的海上风电送出工程应配置多回直流协调控制功能。

在正常状态下应选择某一回直流作为主导回。主导回直流承担多回直流功率协调控制功能，接收各回直流相关状态及功率实际值等信息，完成各回直流功率协调计算，并将功率协调指令通过多回直流通信分发给各回直流。

在异常情况下，原主导回直流退出运行后，其余各回直流中应有一个可以自动转为主导回，承担多回直流功率协调控制功能。

5.1.3.2.2 多端直流协调功能

采用多端拓扑方式的海上风电送出工程应配置多端直流协调功能。

在正常工况下宜选择定直流电压控制站为主站，其他换流站配合平衡直流网络的输入和输出功率，保证直流系统的电压、功率稳定性。在异常情况下，定直流电压控制的换流站退出运行后，其他换流站中应有一个换流站可以自动转为定直流电压控制，保障整个直流系统的电压稳定。

5.1.3.2.3 双极控制功能

当电气主接线采用对称双极拓扑设计时，应配置双极控制功能，在表1中规定的控制模式下实现双极协调。

双极控制功能的实现方式可采用以下两种：

- a) 由独立配置的双极控制设备实现，如直流站控；
- b) 将双极控制功能集成在极控制设备（换流器控制设备）实现。

表1 换流站控制模式

控制分类	换流站	控制模式
有功功率类控制	海上换流站	交流频率控制
	陆上换流站（单端）	直流电压控制
	陆上换流站（多端）	直流电压控制/有功功率控制
无功功率类控制	海上换流站	交流电压控制
	陆上换流站	无功功率控制/交流电压控制

5.1.3.2.4 控制位置的选择

应符合以下要求：

- a) 系统控制设备的所有控制功能应在远方调度中心、换流站主控室或就地控制位置完成；
- b) 控制功能的优先级依次为：就地控制位置、换流站主控室、远方调度中心。
- c) 应配置控制位置切换逻辑功能，保证系统控制设备在任何时刻只能选择同一控制位置产生的命令。

5.1.3.2.5 控制模式转换控制

控制模式应符合表1的规定，控制模式转换可在运行人员工作站上启动，转换过程应平滑。

5.1.3.2.6 联锁功能

应符合以下要求：

- a) 能禁止任何可能引起不安全运行的控制操作，以保证设备的正常和运行人员的安全。
- b) 联锁可由系统级或站级设备的软件实现。
- c) 联锁范围应包含直流开关场、联接变压器、换流器及阀厅、交流开关场、辅助系统。
- d) 应配置投/退联锁功能。

5.1.3.2.7 顺序控制

应为直流系统中换流站站内或站间协调运行所需的开关（刀闸）的分/合操作、换流阀的解锁/闭锁、运行方式的转换、控制方式的转换等操作提供自动执行功能。

应具备以下功能：

- a) 直流系统正常顺序控制的动态过程中，联锁应避免除保护外的其他操作或顺序控制的可能性；
- b) 顺序控制失败或系统处于非正常状态时，联锁应中止顺序控制，停止后续操作；
- c) 顺序控制中止后，控制系统应可以允许运行人员手动进行后续操作，暂停后，可选择返回顺控初始状态或在一定时间后，确认系统恢复正常，继续完成后续操作。

5.1.3.2.8 启动控制

应具备以下功能：

- a) 陆上换流站应采用交流侧启动，换流器与交流系统之间通过启动电阻相连，以抑制充电瞬间的过电流，进行子模块充电后，通过开关设备将启动电阻旁路；
- b) 陆上换流站应采用定直流电压控制模式解锁，直流电压自当前值斜坡上升至额定值；
- c) 海上换流站应采用直流侧启动，通过直流海缆对海上换流器子模块进行直流充电；
- d) 海上换流站采用定交流电压/交流频率控制模式解锁，交流电压自零斜坡上升至额定值；
- e) 风机并网并输送功率。

5.1.3.2.9 停运控制

应具备以下功能：

- a) 风电场逐渐降功率并脱网；
- b) 海上换流站闭锁；
- c) 陆上换流站闭锁。

5.1.3.2.10 与稳控系统的配合

控制设备应具备与稳控系统的协调配合功能，实现电网异常工况下与电网的协调配合。

5.1.3.2.11 交流系统故障穿越控制

海上发生交流系统故障，应由交流断路器等切除故障设备，在此期间若海上换流站不触发保护闭锁，控制系统应能够将交流电压幅值稳定在风场低电压穿越允许的范围内，保证风电机组不脱网连续运行实现海上交流故障穿越。

陆上发生交流系统故障，应控制 DC Chopper 投入实现直流过电压的抑制，不触发保护闭锁，实现陆上交流故障穿越。

5.1.3.2.12 DC Chopper 控制

当接入交流电网发生故障或因其他原因，要对直流系统与电网交换功率进行限制时，应配置相应策略控制 DC Chopper 投入和切出，以消耗风场的盈余出力。

5.1.3.2.13 控制系统冗余切换

各层控制系统应为完全冗余的双重化系统。双重化的控制系统之间可以进行系统切换。

双重化的控制系统应能独立完成自身监视和相互监视，自动实现故障监视后的处理，保证不会因为系统自身故障而误动。应对故障级别进行划分，并将监视信息显示在运行人员工作站上。

5.1.3.3 换流器级控制功能

5.1.3.3.1 上层控制

上层控制应包括：

- a) 直流电压控制；
- b) 有功功率控制；
- c) 无功功率控制；
- d) 交流电压控制；
- e) 控制模式切换功能。

5.1.3.3.2 底层控制

底层控制应包括：

- a) 锁相环控制

应在内环控制中配置锁相环控制功能，实现换流器控制与交流系统电压的同步，锁相环的输出为基

于时间的相角值。

b) 电流内环控制

电流内环控制应接收来自外环控制的有功、无功电流指令，根据当前的交流电流、电压采样值计算得到换流器的每相参考电压指令。

c) 环流抑制控制

环流抑制功能一般由换流阀控制系统实现，也可在换流器级底层控制中配置环流抑制功能，实现换流阀内部环流的快速有效抑制。

5.1.4 保护设备

5.1.4.1 通用要求

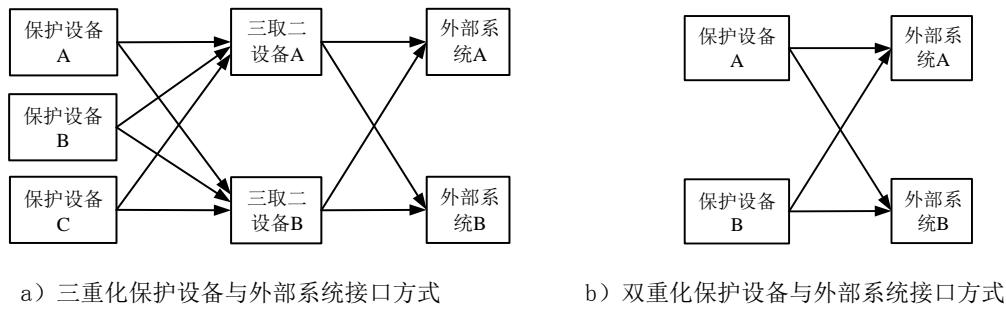
系统保护设备应能为联接变保护区、交流连接线保护区、换流器保护区、直流极保护区、双极保护区和直流线路保护区提供保护功能，保护分区见附录 A。

保护分区应符合以下要求：

- a) 联接变保护区应包括联接变压器、变压器网侧与交流开关场相连的交流断路器之间区域的所有设备；
- d) 交流连接线保护区应包括联接变阀侧套管至桥臂网侧互感器之间的所有设备；
- e) 换流器保护区应包括桥臂网侧互感器与换流阀直流侧出口电流互感器之间的所有设备；
- f) 直流极保护区应包括换流阀直流侧出口互感器至直流线路出口互感器区域之间的所有设备，陆上换流站包含直流耗能区域的设备；
- g) 双极保护区应包括双极公用连接区域、金属回线以及其中的开关设备；
- h) 直流线路保护区应包括直流输电线路相关设备。

系统保护设备应符合以下要求：

- a) 系统保护设备的配置应符合保护区域之间重迭，不存在保护死区，并应自动适用直流系统的各种运行方式，保证其安全性、可靠性、选择性和快速性；
- b) 联接变保护区可配置独立的联接变保护设备。交流连接线保护区、换流器保护区、直流极保护区、双极保护区和直流线路保护区应集成配置在极保护设备。当电气主接线采用对称双极拓扑设计时，每极配置独立的极保护设备。多端直流时，直流线路区应配置独立的线路保护设备；
- c) 根据工程需要，可采用三重化配置或“双重化”配置。三重化设计时保护动作信号通过三取二装置出口，应配置两套独立的硬件“三取二”装置，同时在控制系统中配置软件“三取二”功能。保护动作信号同时送硬件“三取二”装置和控制系统软件“三取二”模块。双重化设计时每重保护应采用“起动+动作”逻辑，每重保护跳闸均可出口；
- d) 每重系统保护设备设备在物理上和电气上应完全独立，应配置独立的电源回路、测量互感器的二次回路、信号输入/输出回路、跳闸回路、通信回路和主机。任意一重保护因故障、检修或其他原因而完全退出时，不应影响其他各重系统保护设备设备和直流系统的正常运行；
- e) 系统保护设备设备的定值应采用一次值或标幺值；
- f) 系统保护设备设备与外部系统的接口应采用“交叉冗余”方式，三重化或完全双重化配置的保护设备与外部系统的接口应与图 2 相符。



保护设备功能应符合 GB/T 35745—2017 中 5.2.2、GB/T 35703—2017 中 10.3 和 GB/T 51381—2019 中 6.4 的规定。

5.1.4.2 联接变区保护

对于联接变区主设备，应根据工程需要选择配置以下保护：

- a) 引线差动保护：检测联接变引线相间、接地故障，反映从网侧开关 CT 到网侧首端套管 CT 间区域的相间和接地故障；
- b) 联接变及引线差动保护：检测联接变及引线区内的相间、接地等故障，反映从网侧开关 CT 到阀侧首端套管 CT 间区域的相间和接地故障；
- c) 联接变差动保护：检测联接变的相间、接地、匝间故障，反映从网侧首端套管 CT 到阀侧首端套管 CT 间区域的相间和接地故障；
- d) 联接变绕组差动保护：检测联接变相间、接地故障，反映换联接变各个绕组的相间或接地故障；
- e) 联接变过流保护：反映换联接变的内部故障，作为外部相间短路引起的联接变过流和联接变内部相间短路的后备保护，包括开关过流保护和网侧过流保护；
- f) 联接变零序过流保护：反应联接变的接地故障，作为联接变中性点接地运行时接地故障的后备保护；
- g) 联接变过电压保护：防止联接变因交流系统过电压而损坏；
- h) 联接变过负荷保护：防止联接变长期处于过负荷状态而引起的损坏；
- i) 联接变过励磁保护：防止联接变长期处于过励磁状态而引起的损坏，如过电压和低频；
- j) 相间阻抗保护：防止联接变短路故障造成的损坏，反映联接变内部绕组或引出线故障；
- k) 联接变零序差动保护：检测联接变的接地故障；
- l) 联接变饱和保护：检测联接变网侧中性点直流电流的大小，防止联接变饱和；
- m) 联接变非电量保护：防止联接变受到内部故障的损坏。

联接变非电量保护可根据工程需要选择配置以下保护：

- 1) 重瓦斯；
- 2) 轻瓦斯；
- 3) 压力释放；
- 4) 油位低；
- 5) 油温高；
- 6) 绕组温度高；
- 7) 油流继电器；

- 8) 冷却系统故障(含风扇、泵等故障);
- 9) 有载调压分接头故障等。

5.1.4.3 交流连接线区保护

交流连接线保护区主设备应根据工程需要选择配置以下保护:

- a) 交流连接线差动保护: 检测联接变压器到阀之间的交流连接区的接地故障;
- b) 交流连接线过流保护: 检测交流连接线和换流阀的接地、短路故障;
- c) 高频谐波保护: 检测联接变阀侧高频谐波过高的异常工况;
- d) 阀侧零序过电压保护: 检测交流连接线接地故障的异常工况;
- e) 阀侧中性点过流保护: 检测因接地故障引起中性点流过大电流的异常工况, 仅陆上换流站;
- f) 接地电阻过负荷保护: 检测因接地故障电流过大引起的接地电阻过热, 仅陆上换流站;
- g) 接地电阻过流保护: 检测因接地故障引起接地电阻过流, 仅陆上换流站;
- h) 接地电抗过负荷保护: 检测因接地故障电流过大引起的接地电抗过热, 仅陆上换流站;
- i) 接地电抗过流保护: 检测因接地故障引起接地电抗过流, 仅陆上换流站;
- j) 启动电阻过负荷保护: 检测因启动时间过长或电流过大引起的启动电阻过热, 仅陆上换流站;
- k) 启动电阻过流保护: 检测因接地或短路故障引起的启动电阻过流, 仅陆上换流站。

5.1.4.4 换流器区保护

换流器区主设备应根据工程需要选择配置以下保护:

- a) 桥臂差动保护: 检测换流器接地故障;
- b) 桥臂过流保护: 检测换流器及直流接地短路故障;
- c) 桥臂电抗差动保护: 检测电抗器及相连母线接地故障;
- d) 桥臂电抗过负荷保护: 检测因接地故障电流过大引起的桥臂电抗过热。

5.1.4.5 极区保护

极区主设备应根据工程需要选择配置以下保护:

- a) 换流器差动保护: 检测换流器接地故障;
- b) 极母线差动保护: 检测极母线区发生接地短路故障;
- c) 直流过电压保护: 检测换流器不平衡运行产生的过压以及回路断线产生的过压;
- d) 直流电压不平衡保护: 检测换流器接地故障以及其他异常情况导致的直流电压不平衡;
- e) 直流低电压保护: 检测换流器接地故障以及其他异常情况导致的直流低电压;
- f) 直流低压过流保护: 检测换流器正负极间短路故障导致的直流低电压过流;
- g) DC chopper 差动保护: 检测 DC chopper 区域发生直流接地短路故障, 仅陆上换流站;
- h) DC chopper 过流保护: 检测 DC chopper 区域发生直流接地短路故障, 仅陆上换流站;
- i) DC chopper 电阻过负荷保护: 检测因接地故障电流过大引起 DC chopper 的电阻过热, 仅陆上换流站。

5.1.4.6 双极区保护

当电气主接线采用对称双极拓扑设计时, 应配置双极区保护。

双极区主设备应根据工程需要选择配置以下保护:

- a) 双极中性线差动保护: 检测双极中性母线连接区的接地故障;
- a) 站内接地过流保护: 检测站内接地点流过较大电流;

- b) 金属回线过流保护：检测金属回线流过大电流；
- c) 金属回线纵差保护：检测金属回线的接地故障；
- d) 站内接地开关保护：检测站内接地开关无法断弧故障；
- e) 后备站内接地开关保护：检测站内接地开关无法断弧故障；
- f) 金属回线开关保护：检测金属回线开关无法断弧故障；
- g) 后备金属回线开关保护：检测金属回线开关无法断弧故障。

5.1.4.7 直流线路区保护

直流线路区主设备应根据工程需要选择配置以下保护：

- a) 直流线路纵差保护：检测直流线路接地故障；
- b) 直流线路低电压保护：检测直流线路接地故障；
- c) 直流线路行波保护：实现直流线路金属性故障的快速检测；
- d) 直流线路突变量保护：实现直流线路金属性故障的快速检测。

5.1.5 辅助设备

5.1.5.1 保护及故障录波信息管理子站

保护及故障录波信息管理子站应符合以下要求：

- a) 保护及故障录波信息管理子站应能集中管理和接收直流保护、联接变保护及交流保护的信息，具体配置应符合接入电网管理单位的要求，主机宜采用双重化配置；
- b) 保护上传的信息应包括保护动作信号、保护定值、保护装置运行状态、故障波形等，换流站运行人员应能通过保护及故障录波管理子站系统访问保护设备和故障录波设备；
- c) 保护规约应采用 DL/T 860(所有部分)规定的标准通信规约，故障录波信息文件的数据格式按照 GB/T 14598.24—2017 的相关规定；
- d) 保护及故障录波信息管理子站应符合各级调度中心的不同接口要求。

5.1.5.2 换流站暂态故障录波系统

暂态故障录波应符合以下要求：

- a) 换流站暂态故障录波系统基本功能应符合 GB/T 22390.6—2008 的要求；
- b) 各换流站的暂态故障录波系统应组网连接，应能在任一换流站内浏览各换流站录波系统上的录波文件。

5.1.5.3 时钟同步系统

时钟同步系统应符合以下要求：

- a) 换流站应配置双重化的时钟同步设备作为全站统一的时间基准，时钟同步设备应由主时钟系统和时钟信号分配装置构成，每套时钟系统应能同时接收北斗系统和全球定位系统的标准时间信号；
- b) 时钟同步设备应具备报文对时、B 码对时和脉冲对时等与站内二次设备的不同对时方式；
- c) 时钟同步设备时钟输出接口的数量应符合换流站设备的对时需要。

5.1.6 内部接口与通信功能

5.1.6.1 控制保护设备与运行人员监控系统接口

远动工作站、运行人员工作站与直流控制保护设备之间应采用站级局域网通信，单个设备均应配置两路网络接口分别与双重化的站级局域网连接，实现数据交互。

5.1.6.2 控制保护设备与时钟同步系统的接口

设备应提供与时钟同步系统的对时接口，根据设计不同，接口应符合 GB/T 25931—2010、GB/T 33591—2017 的要求。

5.1.6.3 控制与保护设备间通信接口

控制与保护设备之间的通信应采用高速控制总线或并行硬件接口。当采用并行接口时，应采取电气隔离措施。

5.1.6.4 各控制子系统间通信接口

通信接口应符合以下要求：

- a) 极控和站控等不同的控制系统之间的通信应同时具备快速和慢速两种通信通道；

注：设备之间实时配合的通信应采用高速控制总线或并行硬件接口，慢速的状态信息交换应通过站级局域网或现场总线进行。

- b) 当采用并行接口时，各控制子系统应采取电气隔离措施；
- c) 双重化控制主机之间应通过网络总线或高速控制总线进行通信；
- d) 热备用系统应实时跟随主控系统，能实现系统无扰切换。

5.1.6.5 站间通信接口

直流站控、极控和直流保护应配置独立的站间通信通道：

- a) 直流站控设备的站间通信通道应按站配置；
- b) 极控和直流保护的通信通道应采用按站、按极中的一种方式进行配置。

注：按站配置和按极配置的站间通信通道均应双重化设计。

5.1.7 外部接口与通信功能

5.1.7.1 与一体化监控系统接口

设备应预留与一体化监控系统的通信接口，通信协议应符合 DL/T 860 的相关要求。

5.1.7.2 远动工作站与远方监控中心接口

远动工作站与远方监控中心之间的通信应通过数据网或点对点通信等方式实现，接口和通信应采用 IEC 104 等标准的规约。

5.1.7.3 与阀控设备接口

控制设备与阀控制系统应采用“一对一”通信方式，不应采用交叉冗余方式。

所有信号应采用光纤连接方式，数据上下行通信接口应符合 GB/T 20840.8—2007 相关要求。

5.1.7.4 与安稳设备接口

控制设备与安稳设备应采用无源硬接点或光纤通信两种方式接口，光纤标准接口应符合 GB/T 20840.8—2007 相关要求。

5.1.7.5 与互感器接口

控制保护设备与电磁式互感器应采用模拟式接口，控制保护设备与电子式互感器或纯光原理互感器采用标准的数字通信接口。数字标准接口应符合 GB/T 20840.7—2007、GB/T 20840.8—2007 相关要求。

5.1.7.6 与一次设备接口

控制保护设备与交直流场开关汇控柜或端子箱应采用无源接点接口。

控制保护设备与联接变压器就地控制箱开关量应采用无源接点接口，模拟量应采用 4 mA～20 mA 模拟量接口。

5.1.7.7 与辅助系统接口

控制保护设备与辅助系统应采用无源硬接点和通信两种方式接口。开关量采用无源接点接口，模拟量采用 1A 或 4mA~20mA 模拟量接口。

注：控制保护设备与辅助系统包括阀冷系统、空调系统、火灾报警系统、站内水处理系统、图像监视及安全警卫系统、辅助电源系统等

5.2 系统性能要求

5.2.1 通用性能

5.2.1.1 外部环境

正常工作大气条件应符合以下要求：

- a) 环境温度: $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 大气压力: $80\text{ kPa} \sim 110\text{ kPa}$;
- c) 相对湿度: $5\% \sim 95\%$ (内部既不应凝露，也不应结冰)。

5.2.1.2 贮存环境

系统设备贮存环境应符合以下要求：

- a) 运输短时贮存条件：
 - 1) 温度: $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - 2) 相对湿度 $\leq 95\%$ 。
- b) 长期贮存室内条件：
 - 1) 温度： $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - 2) 相对湿度 $\leq 80\%$;
 - 3) 不应含有腐蚀性、易燃性及易爆性物质。

5.2.1.3 机械环境条件

5.2.1.3.1 摆摆

在驳船运输过程中揆摆、倾斜应符合以下要求：

- a) 橫揆： 20° ， 10 s (周期);
- b) 纵揆： 10° ， 10 s (周期)。

5.2.1.3.2 加速度

在装船过程中加速度应符合以下要求：

- a) 水平加速度： 0.2 g ;
- b) 坚向加速度： 0.2 g 。

5.2.1.3.3 振动与倾斜

海上平台在正常运行、极端运行、靠船工况下应符合以下要求：

- a) 正常运行期，水平振动加速度应 $\leq 0.1\text{g}$ ，海上换流站平台倾斜角应 $\leq 0.35\%$ ，顶面水平位移应 $\leq 100\text{mm}$;
- b) 极端运行期，水平振动加速度应 $\leq 0.2\text{g}$ ，海上换流站平台倾斜角应 $\leq 0.5\%$ ，顶面水平位移应 $\leq 150\text{mm}$;
- c) 靠船工况下，水平振动加速度应 $\leq 0.2\text{g}$ 。

5.2.1.4 电气性能

5.2.1.4.1 工作电源

交、直流工作电源应符合下列要求:

- a) 交流电源额定电压: 220 V, 允许偏差: -15%~15%;
- b) 交流电源频率: 50 Hz, 允许偏差: ±1.0 Hz;
- c) 直流电源额定电压: 110 V、220 V, 允许偏差: -20%~15%;
- d) 直流电源纹波系数: ≤5%。

5.2.1.4.2 抗扰度

设备应符合抗电磁场干扰及静电影响的要求,在雷击过电压及操作过电压发生及一次设备出现短路故障时,均不应误动作。应符合 GB/T 22390.3—2008、GB/T 35745—2017 等提出的电磁兼容和抗扰度的规定。

5.2.1.5 防腐及防护

设备的外壳、连接部件、裸露金属部分、与大气长时间直接接触部分等应进行防腐蚀特殊处理,该处理应符合 GB/T 2423.17—2008、GB/T 4208—2017、GB/T 30790.2—2014 中的以下要求:

- a) 防腐等级不应低于 C4;
- b) 防护等级不应低于 IP42。

5.2.1.6 结构与外观

应符合以下要求:

- a) 海上换流站设备屏柜预留火探管灭火系统的接口及安装位置;
- b) 设备的金属零件应经过防腐蚀处理;
- c) 所有零件应完整无损,设备外观应无划痕及损伤;
- d) 设备零部件、元器件应安装正确、牢固,并实现可靠的机械和电气连接。

5.2.2 远动工作站性能

应符合以下要求:

- a) 数据传输实时性要求为:从 I/O 测控设备监测到数据变化时开始,到远动 LAN 网的时延:模拟量<2 s, 状态量<1 s;
- b) 系统可用率≥99.99%;
- c) 遥信正确率≥99.9%;
- d) 遥控正确率=100%;
- e) 遥调正确率=100%;
- f) 遥信变位传送时间≤2 s;
- g) 遥测越死区传送时间≤3 s;
- h) 遥控传送时间≤2 s;
- i) SOE 分辨率≤1 ms;
- j) 远动通道切换时间≤10 s;
- k) MTBF>17000 h。

5.2.3 运行人员控制设备性能

运行人员控制系统性能要求应符合 GB/T 22390.1—2008 中 4.5 的规定。

5.2.4 控制设备性能

应根据系统设计要求,对电压控制器、频率控制器等进行优化,以符合直流系统的阶跃响应及其他相关性能要求。

稳态性能应符合 GB/T 37015.1—2018 的规定,暂态性能应符合 GB/T 37015.2—2018 的规定。

5.2.5 保护设备性能

直流保护应符合下列性能规定:

- a) 在直流系统运行中所有可能出现的稳态工况下都应符合速动性、可靠性、灵敏性和选择性的要求;
- b) 应保证所有一次设备受到全面的保护而免受过应力,或所受应力在保护动作后降至最低;
- c) 应保证发生故障的一次设备在保护动作后退出运行;
- d) 不应发生由保护装置本身故障而导致的直流系统停运;
- e) 当故障区域断电并隔离后,停运设备区的保护系统不应影响其他系统的正常运行;
- f) 自检覆盖率应达到 100%,即自检应能覆盖从测量二次回路开始,包括信号输入、输出回路、通信回路、主机和其他所有相关设备。所有自检的报警、闭锁、退出运行等信号,应分别传递给运行人员控制系统和直流保护故障录波系统;
- g) 在冗余配置的直流保护设备的其中一个系统上进行维护工作时,不应影响其他保护装置的运行,不应对传输功率产生任何扰动;
- h) 模拟量测量综合误差应 $\leq 1.0\%$;
- i) 模数转换分辨率应 ≥ 14 位;
- j) 保护动作误差应 $\leq \pm 5\%$ 。

5.2.6 辅助设备性能

辅助二次系统设备应符合下列性能要求:

- a) 故障录波采样率应 ≥ 50 kHz;
- b) 时钟系统与标准时钟的误差应 ≤ 1 us;
- c) 控制保护设备内部时钟与标准时钟的误差 ≤ 1 ms。

6 试验方法

6.1 系统功能试验

6.1.1 模拟试验平台

构建控制保护系统与 RTDS 或 RT-LAB 的闭环仿真试验平台,控制保护系统应包括:远动通信、运行人员控制、直流站控、交流站控、极控、极保护、联接变保护和辅助二次系统,对于现场 I/O 设备,可采用实际装置,也可采用仿真模拟设备代替实际装置进行,动模仿真试验平台示意图见图 3。

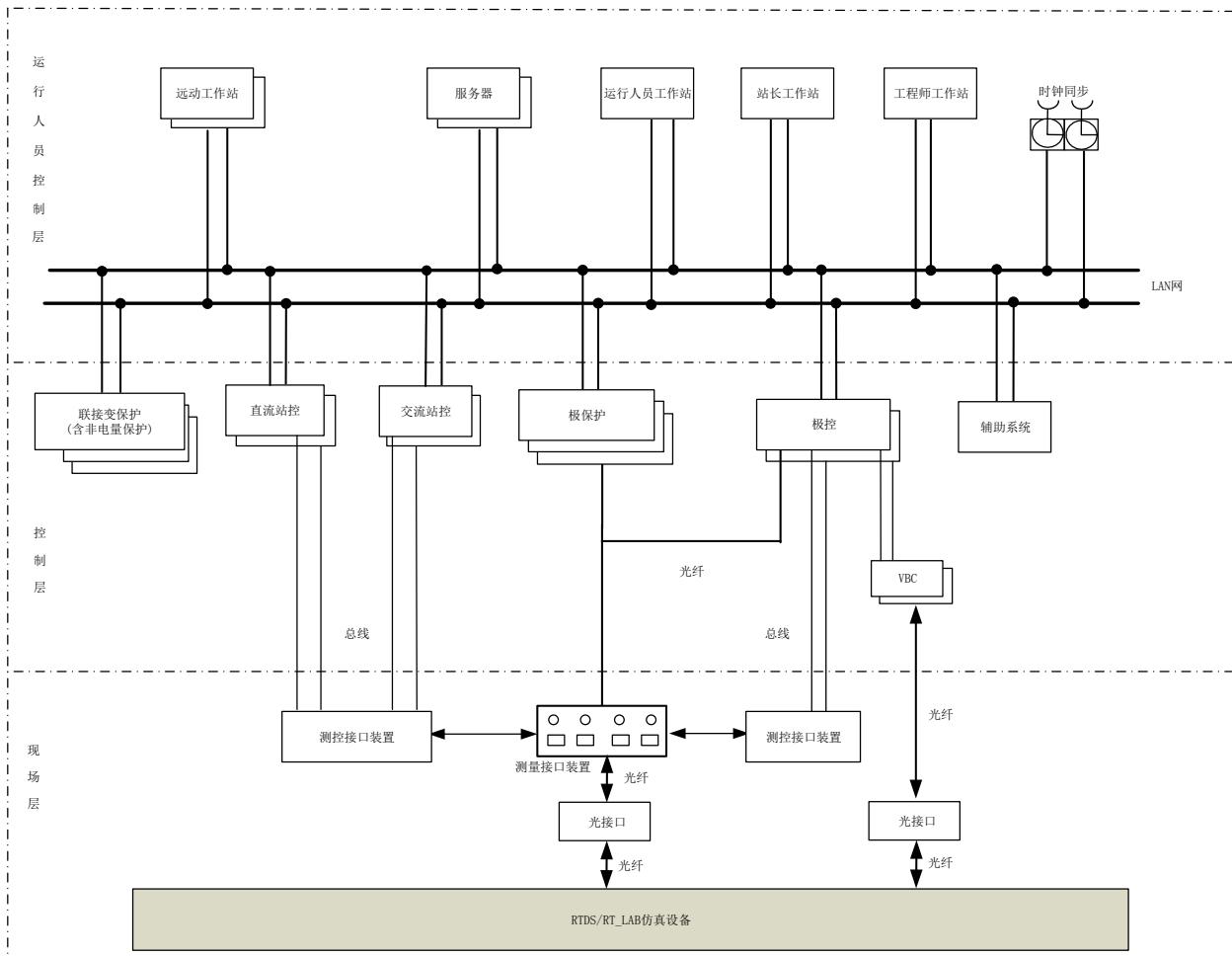


图 3 动模仿真试验平台示意图

6.1.2 远动工作站

按 GB/T 18700.6-2005 规定的方法进行。

6.1.3 运行人员控制设备

按 GB/T 13730—2002 中 7.1 规定的方法进行。

6.1.4 控制设备功能

6.1.4.1 通用要求

按 GB/T 22390.2—2008、GB/T 22390.3—2008 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2 系统级与站级控制功能

6.1.4.2.1 多回直流协调控制功能

按 GB/T 35745—2017 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.3 双极控制功能

按 GB/T 22390.3—2008 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.4 控制位置的选择

按 GB/T 22390.2—2008 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.5 控制模式转换控制

按 DL/T 1526—2016 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.6 联锁功能

按 GB/T 22390.2—2008 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.7 顺序控制

按 GB/T 22390.2—2008 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.8 启动控制

按 DL/T 1526—2016 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.9 停运控制

按 DL/T 1526—2016 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.10 与稳控的配合

按 GB/T 22390.3—2008 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.11 交流系统故障穿越控制

按 DL/T 1526—2016 中 7.1 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.12 DC Chopper 控制

按 DL/T 1526—2016 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.2.13 控制系统冗余切换

按 GB/T 22390.3—2008 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.4.3 换流器级控制功能

6.1.4.3.1 上层控制

按 DL/T 1526—2016 中第 6 章中相关的方法进行。

6.1.4.3.2 底层控制

按 DL/T 1526—2016 中第 6 章中相关的方法进行。

6.1.5 保护设备功能

6.1.5.1 通用要求

按 GB/T 7261—2016 规定的方法进行。

6.1.5.2 联接变区保护

按 GB/T 35745—2017 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.5.3 交流连接线区保护

按 GB/T 35745—2017 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.5.4 换流器区保护

按 GB/T 35745—2017 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.5.5 极区保护

按 GB/T 35745—2017 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.5.6 双极区保护

按 GB/T 35745—2017 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.5.7 直流线路区保护

按 GB/T 35745—2017 和 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.1.6 辅助二次系统设备功能

6.1.6.1 保护及故障录波信息管理子站

按 GB/T 35745—2017 和 DL/T 860 规定的方法进行。

6.1.6.2 换流站暂态故障录波装置

按 GB/T 22390.6—2008 规定的方法进行。

6.1.6.3 时钟同步系统

按 GB/T 22390.1—2008 和 GB/T 3359—2017 规定的方法进行。

6.1.7 内部接口与通信功能

6.1.7.1 控制保护设备与运行人员监控系统接口

按 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.7.2 控制保护设备与时钟同步系统的接口

按 GB/T 35745—2017 和 GB/T 30790.2—2014 第 18 章规定的方法进行。

6.1.7.3 控制与保护设备间通信接口

按 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.7.4 各控制子系统间通信接口

按 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.7.5 站间通信接口

按 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.8 外部接口与通信功能

6.1.8.1 与一体化监控系统接口

按 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.8.2 远动工作站与远方监控中心接口

按 GB/T 22390.1—2008 和 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.8.3 与阀控设备接口

按 GB/T 22390.3—2008 和 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.8.4 与安稳装置接口

按 GB/T 22390.3—2008 和 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.8.5 与互感器接口

按 GB/T 20840.8 和 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.8.6 与一次设备接口

按 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.1.8.7 与辅助系统接口

按 GB/T 35745—2017 规定的方法进行。

6.2 系统性能试验

6.2.1 通用性能

6.2.1.1 外部环境

按 GB/T 7261—2016 规定的方法进行。

6.2.1.2 贮存环境

按 GB/T 2423.17—2008 规定的方法进行。

6.2.1.3 机械环境

按 GB/T 4208—2017 规定的方法进行。

6.2.1.4 电气性能

按 GB/T 17626.6—2017、GB/T 17626.9—2011、GB/T 17626.18—2016 规定的方法进行。

6.2.1.5 防腐及防护

按 GB/T 2423.17—2008 规定的方法进行。

6.2.1.6 结构与外观

按 GB/T 4208—2017 规定的方法进行。

6.2.2 远动工作站性能

按 GB/T 18700.6—2005 规定的方法进行。

6.2.3 运行人员控制设备性能

按 GB/T 13730—2002 中 7.1 规定的方法进行。

6.2.4 控制设备性能

按 GB/T 13730—2002 规定的方法进行。

6.2.5 保护设备性能

按 GB/T 7261—2016 第 19 章规定的方法进行。

6.2.6 辅助设备性能

按 GB/T 22390.6—2008、GB/T 3359—2017、DL/T 860.5 规定的方法进行。

7 检验规则

7.1 检验分类

试验分为型式试验、出厂试验和现场试验。

有下列情况之一时，设备应进行型式检验：

- a) 新设备的定型鉴定；
- b) 正式生产后，如结构、材料、元器件、工艺等有较大改变，可能影响设备性能时；
- c) 设备长期停产后，恢复生产时；
- d) 出厂试验结果与上次试验有较大差异时。

7.2 检验项目

各阶段试验目的、被试设备及试验内容应符合 GB/T 35745—2017 第 6 章的相关规定，各阶段检验项目见表 2。

表2 检验项目

序号	试验项目	检验分类			技术要求	试验方法
		型式试验	出厂试验	现场试验		
1	远动工作站功能试验	○	●	●	5.1.1	6.1.2
2	运行人员控制设备功能试验	○	●	●	5.1.2	6.1.3
3	控制设备功能试验	○	●	●	5.1.3	6.1.4
4	保护设备功能试验	○	●	●	5.1.4	6.1.5
5	辅助设备功能试验	○	●	●	5.1.5	6.1.6
6	内部接口与通信功能试验	●	●	●	5.1.6	6.1.7
7	外部接口与通信功能试验	●	●	●	5.1.7	6.1.8
8	通用性能试验	●	○	○	5.2.1	6.2.1
9	远动工作站性能试验	●	●	○	5.2.2	6.2.2

10	运行人员控制设备性能试验	●	●	○	5. 2. 3	6. 2. 3
11	控制设备性能试验	●	●	●	5. 2. 4	6. 2. 4
12	保护设备性能试验	●	●	○	5. 2. 5	6. 2. 5
13	辅助设备性能试验	●	●	○	5. 2. 6	6. 2. 6

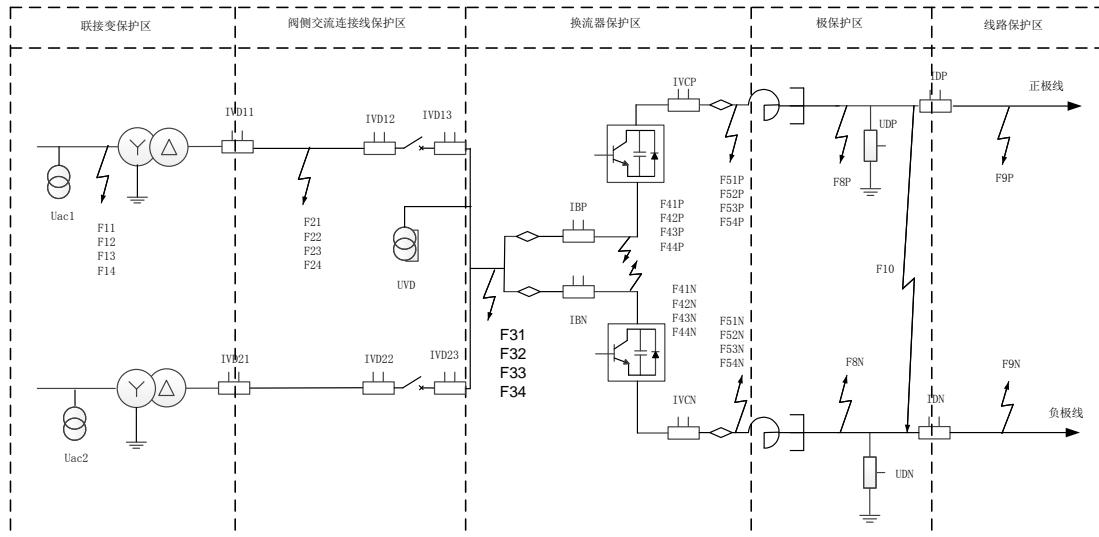
注: ●表示需要进行试验, ○表示不用进行试验

附录 A

(资料性)

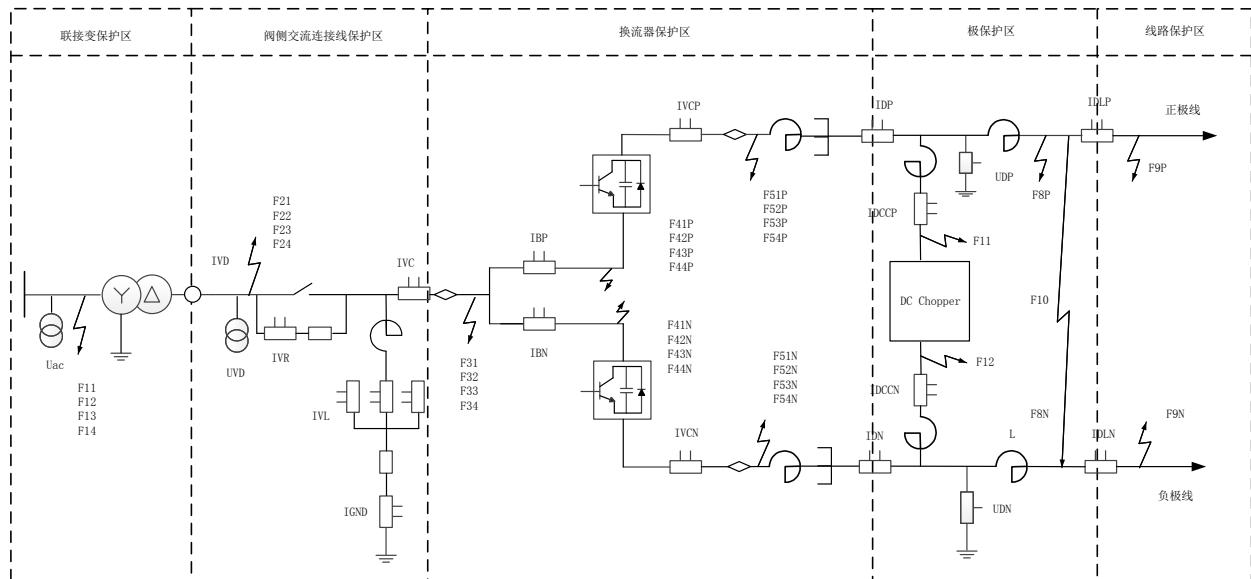
海上风电柔性直流送出直流保护分区及故障点图

A. 1 海上风电柔性直流送出（对称单极）海上换流站直流保护分区及故障点见图 A. 1。



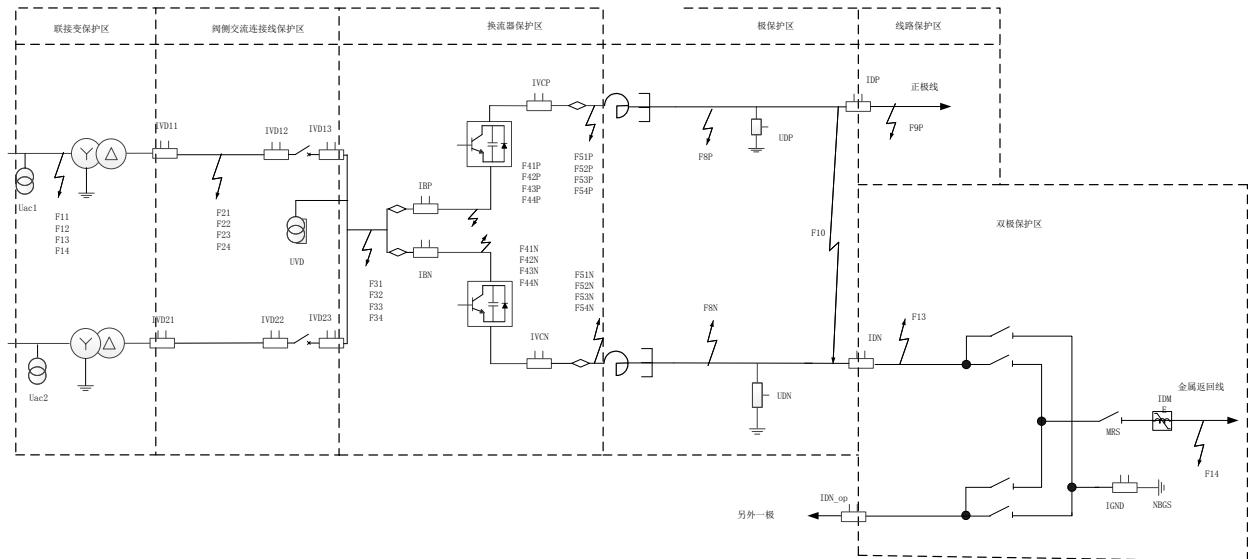
图A. 1 海上换流站直流保护分区及故障点图（对称单极）

A. 2 海上风电柔性直流送出（对称单极）陆上换流站直流保护分区及故障点见图 A. 2。



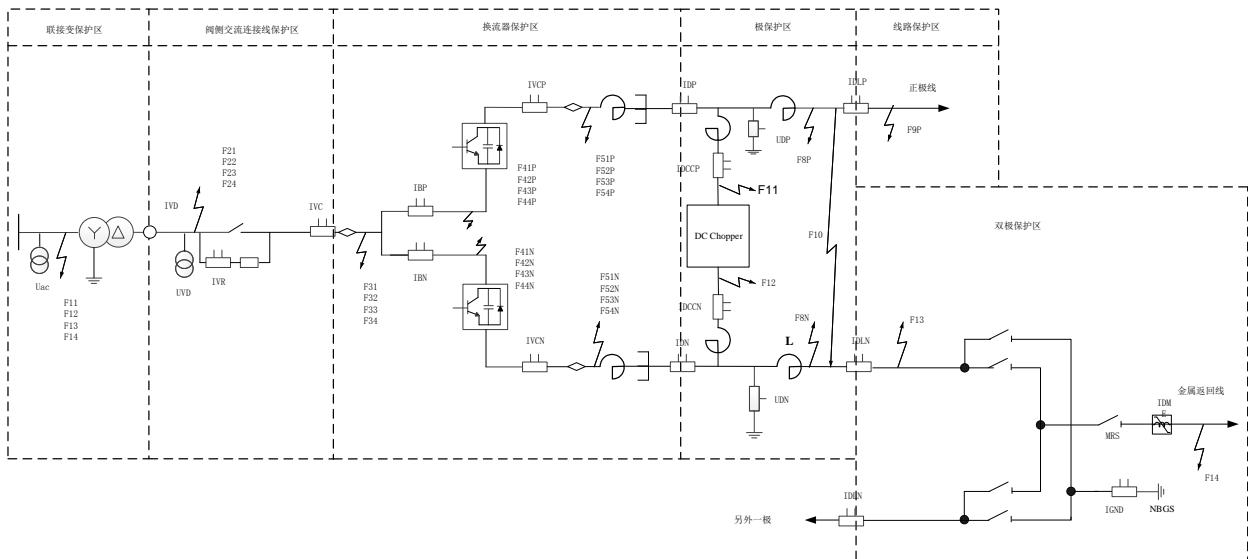
图A. 2 陆上换流站直流保护分区及故障点图（对称单极）

A.3 海上风电柔性直流送出（对称双极）海上换流站直流保护分区及故障点见图 A.3。



图A.3 海上换流站直流保护分区及故障点图（对称双极）

A.4 海上风电柔性直流送出（对称双极）陆上换流站直流保护分区及故障点见图 A.4。



图A.4 陆上换流站直流保护分区及故障点图（对称双极）