**UDC**

中华人民共和国国家标准

**P GB50×××—201×**

**柔性直流成套设计标准**

**System design standard for VSC-HVDC system**

(征求意见稿)

201×－××－××发布201×－××－××实施

中华人民共和国住房和城乡建设部

联合发布

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

中华人民共和国国家标准

**柔性直流成套设计标准**

**System design standard for VSC-HVDC system**

**GB/T XXXXX – XXXX**

主编部门：国网经济技术研究院有限公司

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

实施日期：201×年××月××日

中国计划出版社

20XX 北 京

前  言

本标准根据住房和城乡建设部《关于印发2016年工程建设标准规范制定、修订计划的通知》（建标函[2015]274号）的要求，由国网经济技术研究院有限公司会同有关单位共同编制完成。

本标准在编制过程中，编制组进行了广泛调研，认真总结了实践经验，进行了必要的专题研究和技术研讨，经广泛征求意见和多次讨论修改，最后经审查定稿。

本标准共14章，主要内容包括：总则、术语、总体要求、设计条件、设计要求、电气主接线设计、主回路参数计算、过电压和绝缘配合、暂态电流计算、通信系统干扰、噪声要求、可靠性和可用率、换流站一次设备参数要求和换流站控制保护系统要求。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由中国电力企业联合会负责日常管理，由国网经济技术研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请及时反馈给国网经济技术研究院有限公司（地址：北京市昌平区未来科技城北区国家电网公司办公区，邮编102209），供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

**主编单位：**国网经济技术研究院有限公司

**参编单位：**

**主要起草人：**

**主要审查人：**

目  次

[1 总则 1](#_Toc508140252)

[2 术语 2](#_Toc508140253)

[3 总体要求 3](#_Toc508140270)

[4 设计条件 5](#_Toc508140271)

[4.1 环境条件 5](#_Toc508140272)

[4.2 大件运输条件 6](#_Toc508140276)

[4.3 交流系统条件 6](#_Toc508140277)

[4.4 直流输电线路和接地极参数 8](#_Toc508140278)

[5 设计要求 10](#_Toc508140279)

[5.1 额定值 10](#_Toc508140280)

[5.2 柔性直流系统运行方式和控制模式设计 10](#_Toc508140281)

[6 电气主接线设计 13](#_Toc508140282)

[7 主回路参数计算 15](#_Toc508140284)

[7.1 主设备参数计算 15](#_Toc508140285)

[7.2 PQ运行区间计算 15](#_Toc508140286)

[7.3 运行特性计算 15](#_Toc508140287)

[8 过电压和绝缘配合 17](#_Toc508140288)

[8.1 研究内容 17](#_Toc508140289)

[8.2 绝缘配合的基本原则 17](#_Toc508140290)

[8.3 过电压要求 17](#_Toc508140291)

[8.4 避雷器的性能要求 18](#_Toc508140292)

[8.5 绝缘水平 18](#_Toc508140293)

[8.6 爬电比距 18](#_Toc508140294)

[9 暂态电流计算 19](#_Toc508140565)

[10 通信系统干扰 20](#_Toc508140566)

[11 噪声要求 21](#_Toc508140567)

[12 可靠性和可用率 22](#_Toc508140568)

[13 换流站一次设备参数要求 24](#_Toc508140569)

[13.1 VSC阀 24](#_Toc508140570)

[13.2 联接（换流）变压器 24](#_Toc508140571)

[13.3 桥臂电抗器 25](#_Toc508140572)

[13.4 直流电抗器 25](#_Toc508140573)

[13.5 启动电阻 25](#_Toc508140574)

[13.6 接地装置 26](#_Toc508140576)

[13.7 直流开关 27](#_Toc508140577)

[13.8 避雷器 28](#_Toc508140578)

[13.9 测量装置 28](#_Toc508140580)

[14 换流站控制保护系统 31](#_Toc508140581)

[14.1 概述 31](#_Toc508140582)

[14.2 换流站控制保护系统总体要求 31](#_Toc508140583)

[14.3 运行人员控制系统 31](#_Toc508140584)

[14.4 交直流站控系统 32](#_Toc508140585)

[14.5 直流控制系统 33](#_Toc508140586)

[14.6 直流保护系统 34](#_Toc508140587)

[14.7 远动通信系统 36](#_Toc508140588)

[14.8 站主时钟系统 36](#_Toc508140589)

[14.9 直流线路故障定位系统 36](#_Toc508140590)

[14.10 故障录波系统 37](#_Toc508140591)

[14.11 保护故障录波信息管理子站 38](#_Toc508140592)

[14.12 其他二次子系统 38](#_Toc508140593)

[14.13 试验要求 3](#_Toc508140594)8

[本标准用词说明 40](#_Toc508140595)

[引用标准名录 4](#_Toc508140596)1

[附：条文说明 4](#_Toc508140596)2

Contents

[1 General provisions 1](#_Toc508140252)

[2 Terms 2](#_Toc508140253)

[3 General requirements 3](#_Toc508140270)

[4 Design conditions 5](#_Toc508140271)

[4.1 Environmental conditions 5](#_Toc508140272)

[4.2 Oversize-cargo transportation 6](#_Toc508140276)

[4.3 AC system conditions 6](#_Toc508140277)

[4.4 Parameters of HVDC transmission lines and earth electrodes 8](#_Toc508140278)

[5 Design requirements 10](#_Toc508140279)

[5.1 Rated value 10](#_Toc508140280)

[5.2 Design of operating modes and control modes of VSC-HVDC system 10](#_Toc508140281)

[6 Single line diagram design 13](#_Toc508140282)

[7 Main circuit parameters calculation 15](#_Toc508140284)

[7.1 Main equipment parameters calculation 15](#_Toc508140285)

[7.2 PQ operating zone calculation 15](#_Toc508140286)

[7.3 Operating characteristic calculation 15](#_Toc508140287)

[8 Overvoltage and insulation coordination 17](#_Toc508140288)

[8.1 Study content 17](#_Toc508140289)

[8.2 Basic principles of insulation coordination 17](#_Toc508140290)

[8.3 Overvoltage requirements 17](#_Toc508140291)

[8.4 Performance requirements of arresters 18](#_Toc508140292)

[8.5 Insulation levels 18](#_Toc508140293)

[8.6 Creepage distance 18](#_Toc508140294)

[9 Transient current calculations 19](#_Toc508140565)

[10 Communication system interference 20](#_Toc508140566)

[11 Noise requirements 21](#_Toc508140567)

[12 Reliability and availability 22](#_Toc508140568)

[13 Parameter requirements of converter station primary equipments 24](#_Toc508140569)

[13.1 VSC valves 24](#_Toc508140570)

[13.2 Connected (converter) transformers 24](#_Toc508140571)

[13.3 Bridge arm reactors 25](#_Toc508140572)

[13.4 DC reactors 25](#_Toc508140573)

[13.5 Starting resistances 25](#_Toc508140574)

[13.6 Grounding devices 26](#_Toc508140576)

[13.7 DC switches 27](#_Toc508140577)

[13.8 Arresters 28](#_Toc508140578)

[13.9 Measuring equipments 28](#_Toc508140580)

[14 Control and protection systems of converter stations 31](#_Toc508140581)

[14.1 Introduction 31](#_Toc508140582)

[14.2 General requirements of control and protection systems of converter stations 31](#_Toc508140583)

[14.3 Operating crew control systems 31](#_Toc508140584)

[14.4 AC/DC station control systems 32](#_Toc508140585)

[14.5 DC control systems 33](#_Toc508140586)

[14.6 DC protection systems 34](#_Toc508140587)

[14.7 Telecontrol communication systems 36](#_Toc508140588)

[14.8 Station main clock systems 36](#_Toc508140589)

[14.9 DC transmission line fault location system 36](#_Toc508140590)

[14.10 Fault recording systems 37](#_Toc508140591)

[14.11 Protection fault recording information management substation 38](#_Toc508140592)

[14.12 Other secondary subsystem 38](#_Toc508140593)

[14.13 Test requirements 38](#_Toc508140594)

Explaination of wording in this standard [40](#_Toc508140595)

[List of quoted standards 41](#_Toc508140596)

Addition[: Explanation of provisions 42](#_Toc508140596)

1. 总则

1.0.1 为使柔性直流成套设计贯彻国家的基本建设方针和技术经济政策，做到安全可靠、先进适用、经济合理、环境友好，同时为适应我国柔性直流工程建设发展的需要，统一柔性直流成套设计技术要求，提高成套设计质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于柔性直流系统成套设计，不包括直流线路和接地极线路设计的内容。对于某些工程的特殊要求，可根据具体的功能规范在此标准的基础上进一步研究确定。其中柔性直流系统适用于基于模块化多电平换流器的柔性直流系统，以及基于两电平、三电平换流器结构的柔性直流系统。

1.0.3 本标准规定了柔性直流工程的系统设计和设备成套的工作范围、程序、技术要求和深度规定。

1.0.4 柔性直流成套设计除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

1. 术语

2.0.1 电压源换流器voltage-sourced converter (VSC)

直流电压由集中于直流侧电容或者分布在换流桥臂内的直流电容提供的全控型电力电子交/直流换流器。

2.0.2 模块化多电平换流器 modular multi-level converter （MMC）

每个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。

2.0.3 直流电容器 DC capacitor

电压源换流器中承受直流电压的电容器。

2.0.4 调制比 modulation index

换流器交流相电压基波峰值与换流器直流端电压的一半的比值。

2.0.5 两端柔性直流系统 two-terminal VSC-HVDC system

由两个直流输电换流站和连接它们的直流线路组成的柔性直流系统。

2.0.6 多端柔性直流系统 multi-terminal VSC-HVDC system

由多于两个独立的直流换流站和连接它们的直流输电线路组成的柔性直流系统。

2.0.7 背靠背柔性直流系统 back-to-back VSC-HVDC system

在同一地理位置的交流母线间传输能量的柔性直流系统（无直流输电线路）。

2.0.8 启动电阻 pre-insertion resistor

换流站不控充电过程中为减少VSC阀充电电流而投入的电阻。

2.0.9 桥臂电抗器 arm reactor

位于桥臂上和VSC阀串接的电抗器。

2.0.10 直流电抗器 DC reactor

换流站的直流侧串联在换流器与直流线路之间的电抗器（如有）。主要起限制短路电流和避免直流回路谐振的作用。

2.0.11 PQ运行区间PQ operating range

指定交、直流电压下，换流站向交流系统注入有功功率和无功功率的能力。

2.0.12 接地方式earthing mode

换流站接地点位置和连接方式，可选择交流侧接地方式或直流侧接地方式。

2.0.13 换流站额定功率 rating power of converter station

在最高环境温度下，所有冷却设备可用但备用冷却不投入运行时，交直流电压在稳态运行范围内，换流站交流母线流向本站的最大设计有功功率。

2.0.14 直流电压控制模式 DC voltage control mode

控制目标为换流站直流电压的控制模式。

2.0.15 有功/无功功率控制模式 active power/reactive power control mode

控制目标分别为换流站有功/无功功率的控制模式。

2.0.16 交流电压/频率控制模式 AC voltage/frequency control mode

控制目标分别为换流站交流母线电压/频率的控制模式。

1. 总体要求

3.0.1 柔性直流成套设计应将柔性直流系统作为一个整体进行系统设计，以实现柔性直流系统整体性能的优化。系统设计应至少完成以下工作：

1 接地方式研究；

2 主接线设计；

3 主回路参数计算；

4 过电压和绝缘配合计算；

5 暂态电流计算；

6 直流系统性能设计；

7 联接（换流）变压器直流偏磁电流的计算；

8 研究并确定联接（换流）变压器有载调压开关控制功能和参数；

9 直流控制保护系统设计。

3.0.2 主接线设计应包括下列内容：

1 确定柔性直流系统的接线型式；

2 确定柔性直流系统的运行方式。

3.0.3 主回路参数计算应包括下列内容：

1 主设备参数计算；

2 PQ运行区间计算；

3 运行特性计算。

3.0.4 过电压和绝缘配合计算应包括下列内容：

1 应进行绝缘配合方案的比选；

2 应进行暂态过电压计算。

3.0.5 直流系统性能设计应包括下列内容：

1 直流系统动态性能：包括直流系统控制响应、交流系统故障下的故障穿越、直流附加控制、特殊运行方式等，其中特殊运行方式应包括孤岛运行方式研究（如有）、交直流并联系统性能研究（如有）、多回直流相互影响研究（如有）等；

2 通信干扰要求：包括无线电干扰、对电力系统载波和通信明线的干扰；

3 噪声要求：包括换流站可听噪声计算等；

4 换流站损耗计算；

5 可靠性和可用率。

3.0.6 直流控制保护系统设计应满足以下要求：

1 一般要求：包括分层结构、控制双重化、保护三重化（或双重化）等设计要求。

2 技术要求：成套设计应提出控制保护系统各设备的具体配置要求，以及功能、性能和接口技术要求，并应包括但不限于运行人员控制系统、交直流站控系统、直流控制系统、直流保护系统、通信系统、站主时钟系统、直流线路故障定位系统、保护故障录波信息管理子站、其他二次子系统、试验要求等。

3.0.7 根据具体工程的要求可增减系统设计中相关的研究设计项目。

3.0.8 在上述研究、设计的基础上应完成相关设备或子系统技术规范：

1 VSC阀；

2 联接（换流）变压器；

3 直流断路器（如有）；

4 桥臂电抗器；

5 直流电抗器（如有）；

6 联接电抗器（如有）；

7 启动电阻；

8 开关设备；

9 接地装置（接地电阻、接地电抗器等）；

10 测量设备；

11 避雷器；

12 套管；

13 绝缘子；

14 换流站运行人员控制系统；

15 直流控制系统；

16 交、直流站控系统；

17 直流保护系统；

18 暂态故障录波系统；

19 保护故障录波信息管理子站；

20 电能量计费系统终端设备；

21 直流线路故障定位系统；

22 换流站主时钟系统等。

1. 设计条件
   1. 环境条件

4.1.1 在开展柔性直流成套设计时，应取得换流站的详细环境资料或数据：

1 气象数据；

2 污秽水平；

3 地震烈度或动峰值加速度；

4 海拔高度；

5 换流站区、接地极区、沿直流输电线路和接地极线路路径的大地电导率，换流站区地下水深度及站区土壤电阻率。

4.1.2 换流站的气象数据应包括下列内容：

1 气温；

2 气压：多年平均气压；

3 湿度；

4 风向、风速；

5 降水量；

6 其他气象数据。

4.1.3 气温数据应包括下列内容：

1 极端最高气温；

2 极端最低气温；

3 年均气温；

4 最热月的月平均气温；

5 最热日的日平均气温。

4.1.4 湿度数据应包括下列内容：

1 平均相对湿度；

2 最小相对湿度。

4.1.5 风向、风速数据应包括下列内容：

1 多年平均风速；

2 50年或100年一遇离地面10m高的10min平均最大风速；

3 经常性风向。

4.1.6 降水量数据应包括下列内容：

1 年降雨量；

2 最大月降雨量；

3 24h最大降雨量。

4.1.7 其他气象数据应包括下列内容：

1 累年最大积雪深度；

2 太阳辐射率；

3 平均雷暴天数；

4 最大雷暴天数；

5 设计覆冰。

4.1.8 污秽水平应符合下列要求：

1 应取得换流站的自然积污水平（ESDD，单位mg/cm2）。对于承受直流电压的设备，污秽水平应用直流电压作用下设备外绝缘自然积污水平表示。

2 对于无法直接获得直流电压作用下设备外绝缘自然积污水平的地区，可通过测量交流电压作用下设备外绝缘自然积污水平推算直流电压下的积污水平，但应选择适当的直交流积污比系数。

3 应针对设备耐受的电压，并综合考虑不同伞形、绝缘材质、布置方式等因素确定具体的爬电比距。

* 1. 大件运输条件

4.2.1 应取得大件设备到换流站的运输条件。

4.2.2 大件运输条件应包括运输方式、距离以及对设备最大尺寸和重量的限制等。

* 1. 交流系统条件

4.3.1 应取得相关交流系统的概况。

4.3.2 对交流系统的描述应明确本柔性直流工程投产年、设计水平年及远景年的系统情况，包括：

1 本直流工程投产计划；

2 换流站所在区域电网与主网的联系；

3 换流站的接入系统方案（含本期、远期）：包括出线规模、线路参数长度、与换流站相关的电站的装机进度计划（机组功率、台数）等。

4.3.3 应取得以下交流系统数据，作为主回路参数计算以及校验直流系统各种性能的输入条件：

1 换流母线电压变化范围：换流站交流母线稳态电压变化范围，包括额定持续运行电压、正常连续运行电压范围、极端连续运行电压范围；

2 换流母线频率变化范围：系统正常及扰动后的频率变化范围，包括换流站母线频率的正常波动范围、事故时频率变化范围、故障清除后波动范围的上下限；

3 负序和背景谐波电压；

4 换流母线短路电流水平；

5 故障清除时间；

6 单相重合闸时序。

4.3.4 负序和背景谐波电压应满足下列要求：

1 应提供交流系统背景负序工频电压和背景谐波电压。

2 交流系统背景谐波电压可通过实际测量后经系统谐波潮流计算得到。使用时3次谐波电压应认为全部是正序，其他各次谐波电压可认为是正序、负序或正负序，但算术和应相等。交流系统背景地电压相对于正序工频电压的相角应选取适当的值，使在换流站交流母线上的谐波电压幅值最大。

4.3.5 换流母线短路电流水平应满足下列要求：

1 应提供换流站交流母线短路电流水平，包括最大三相、最大单相、最小三相短路电流、对应的短路容量（包括计算短路容量的基准电压水平）以及系统电抗和电阻的比值。对于分阶段建设的工程，换流母线的短路电流水平应根据不同阶段分别明确。

2 短路电流最小值计算方式宜为：直流投产期系统小方式下，考虑对换流站短路电流贡献最大的1回出线检修，也可同时考虑系统中与换流站相邻节点1回出线检修。

4.3.6 应取得交流系统故障时考虑主保护动作时的正常清除时间以及考虑后备保护动作时的清除时间。

4.3.7 应取得交流线路故障单相重合闸时序，可包括故障开始时刻、切除故障相时刻、故障相重合时刻以及重合不成功跳三相时刻。应根据系统的实际情况，确定用于暂态稳定研究的交流系统故障清除时间。

4.3.8 需要在等值交流系统上进行仿真分析时，应对等值系统的适用范围作出明确的界定，每种等值系统应仅用于指定的研究项目。

4.3.9 用于AC/DC仿真研究的等值系统和模型，应满足下列要求：

1 AC/DC仿真研究的等值系统所考虑的运行方式应综合本直流工程投产年、设计水平年的各种典型运行方式选取。

2 AC/DC系统仿真研究用的等值系统可通过静态等值方法得到。应对等值系统与原始网络的保留部分进行如下校核，以保证等值系统与原始网络在关心的换流站附近范围内具有相同或相近的特性，并满足下列要求：

1) 有功及无功潮流结果与原网误差应不超过5%；

2) 等值系统内保留节点的电压水平与原网误差应不超过5%；

3) 保留范围内各母线短路电流与原网误差应基本一致；

4) 换流站近区交流系统故障时，换流母线动态电压恢复特性与原网应基本一致。

3 等值系统中宜使用电阻、电抗和电容元件组成静态等值电路表示被等值的系统，等值电路的谐波阻抗应以等值前全系统100%的发电机次暂态电抗和100%的变压器漏抗为基础计算得到。等值系统的正序阻抗应能正确地表示所选定的运行方式下系统的工频阻抗；等值系统的谐波阻抗应能正确地表示从指定的母线观察到的系统谐波阻抗，包括幅值和相位，其频率范围宜为50Hz~500Hz。

4 AC/DC系统仿真的等值系统可用于下列几方面的研究：

1) 对柔性直流控制和保护的功能进行评价；

2) 对柔性直流系统在不同控制模式下的AC/DC系统性能进行评价；

3) 对直流侧发生故障（如换流站闭锁、极闭锁、直流线路故障、阀侧绕组故障等）时的柔性直流系统性能进行评价；

4) 验证柔性直流系统的响应是否符合规定的响应；

5) 研究扰动时柔性直流系统和当地发电机组之间的相互作用；

6) 对实际现场控制系统的子系统进行试验；

7) 对交流系统发生严重故障并引起交流母线电压下降及发生畸变时的柔性直流系统性能进行评价；

8) 交流侧和直流侧操作过电压和铁磁谐振等现象的研究；

9) 由交流系统不对称故障引起的直流侧瞬态过电压研究；

5 AC/DC系统仿真的等值系统不应用于下列几方面的用途：

1) 工频电压研究；

2) 交流系统静态电压调节原则的验证。

4.3.10 用于工频过电压研究的等值系统，应满足下列要求：

1 工频过电压研究可采用等值系统进行，可采用以下方法得到等值网络：采用网络等值程序得到等值系统从各保留母线看进去的戴维南等值阻抗，并通过比较采用等值系统和全系统的稳定模型计算得到的换流站母线电压变化来验证等值的有效性。换流站交流母线的电压可通过调整电压源的电压来得到，但应保持在4.3.3-1规定的极端连续运行电压范围内，所保留的其余真实母线电压也必须保持在极端连续运行电压范围内。

2 用于工频过电压研究的等值可用于：验证与柔性直流系统设计方案相关联的由甩负荷引起的最大过电压值。

3 本条所述的静态等值模型不应用于确定过电压控制设备的热容量。

* 1. 直流输电线路和接地极参数

4.4.1 在开展柔性直流成套设计时，应取得直流输电线路的起止点、电压等级、回路数、额定电流、线路长度等，并应取得下列参数：

1 架空线路参数

2 电缆线路参数

3 杆塔尺寸参数

4 直流输电线路沿线大地电导率

4.4.2 架空线路参数应满足下列要求：

1 架空线路极导线结构参数应包括但不限于：

1) 导线型号；

2) 符合标准；

3) 结构：含极导线铝、钢部分各自的根数/直径（mm）；

4) 截面积（mm2）：含极导线铝、钢部分各自的截面积和总截面积；

5) 外径（mm）；

6) 单位质量（kg/km）；

7) 计算拉断力（N）；

8) 20℃下的直流电阻（Ω的直流）。

9) 还应指明每极导线分裂根数及子导线分裂间距、架空线线路上使用的地线型号及具体参数。

2 地线结构参数应包括但不限于：

1) 地线型号；

2) 符合标准；

3) 结构：根数/直径（mm）；

4) 截面积（mm2）；

5) 外径（mm）；

6) 单位质量（kg/km）；

7) 计算拉断力（N）（适用于架空线路）。

3 OPGW地线参数应包括但不限于：

1) 光缆型号；

2) 光缆符合标准；

3) 光缆外径（mm）；

4) 光缆中光纤波导根数；

5) 光纤型号；

6) 1550nm时的最大衰减系数（dB/km）；

7) 1300nm时的最大衰减系数（dB/km）；

8) 最大分散度[ps/（mms/度）]；

9) 1500nm时的横场直径（µ的）；

10) 临界波长（nm）。

4.4.3 电缆线路参数应包括但不限于：

1 电缆型号；

2 符合标准；

3 额定电压（kV）；

4 正常运行时导体最高允许温度（℃）；

5 导体截面积（mm2）；

6 外径（mm）；

7 单位质量（kg/km）；

8 计算拉断力（N）；

9 20℃下的直流电阻（Ω的直流）。

4.4.4 对于平原、丘陵及山区等地形，应分别取得杆塔尺寸和铁塔接地电阻值，以及避雷线的保护角、一定的平均温度下的导线平均高度、地线平均高度。

4.4.5 应取得沿直流输电线路路径范围的大地电导率数据。

4.4.6 如有接地极，则应取得下列参数：

1 极址位置：推荐的接地极极址距换流站的距离和方位。

2 土壤参数：接地极极址土壤电阻率。

3 接地极参数：包括接地极的电阻等。

4.4.7 接地极线路参数应包括但不限于：

1 导线数据；

2 接地极线路杆塔数据；

3 接地极线路的绝缘配合：应包括接地极线路的绝缘配合措施。

4.4.8 接地极线路的导线数据应包括接地极线路的结构、导线型号、子导线分裂间距，及导线在杆塔上的安装方式、采用的地线型号。接地极线路导线参数应满足4.4.2和4.4.3的规定。

4.4.9 接地极线路杆塔数据应满足4.4.4的规定。

1. 设计要求
   1. 额定值

5.1.1 柔性直流输电系统的额定值应包括额定功率、额定电流和额定电压。

5.1.2 柔性直流系统的设计应按规定的额定功率进行，同时还应满足过负荷（如有）和降压运行（如有）的要求。

5.1.3 对于连续运行应满足下列要求：

1 柔性直流系统换流站的额定功率在下列条件下应能得到保证：

1) 各端换流站交流母线电压处于规定的正常变化范围之内；

2) 各端交流系统频率处于正常频率变化范围之内；

3) 换流站所有的环境温度条件下；

4) 所有备用设备退出运行。

2 在所有运行方式下，远距离柔性直流系统正常运行直流电压在考虑所有设备公差和控制误差后，不宜超过额定电压的±所有运行方式。

3 对于两端柔性直流系统，系统的额定直流功率和额定直流电压宜定义为送端换流站的额定功率和额定电压。对于功率单向传输的两端柔性直流系统，受端换流站的额定直流功率和额定直流电压计算，应考虑每极直流线路的最小电阻。对于功率双向传输的柔性直流系统（含背靠背直流系统），可采用对称设计，受端可具有与送端相同的额定值。

4 对于多端柔性直流系统， 确定标称直流电压后，应通过扫描各种运行工况获取各站直流侧电压范围。

5 对于换流站交流母线电压和频率的变化，柔性直流系统的额定值应满足以下要求：

1) 在换流站交流母线的极端频率变化范围内，柔性直流系统和直流换流设备输送能力不应下降。

2) 在换流站交流母线电压极端连续运行范围和频率的极端偏差范围内，柔性直流系统应能安全地启动并能连续运行。对于电压和频率超出正常范围的情况，柔性直流系统性能可有所下降。

3) 当换流站交流母线电压低于正常最低连续运行电压，但不低于极端最低连续运行电压时，直流双极或单极运行方式下的输送能力（以额定功率为基值的标么值）应不小于两端交流母线实际运行电压与对应的正常最低连续运行电压的最小比值。

5.1.4 对于过负荷应满足下列要求：

1 如果环境温度低，或投入备用冷却设备条件下，柔性直流系统可具有一定的过负荷能力。

2 按连续运行额定值设计的柔性直流系统，在最高环境温度和备用冷却设备投入的条件下，其过负荷能力宜根据VSC阀的过负荷能力确定，且不明显增加造价。

5.1.5 柔性直流系统可通过减少投入运行的子模块个数或者降低子模块工作电压以实现降压运行。

* 1. 柔性直流系统运行方式和控制模式设计

5.2.1 对于柔性直流系统运行方式的设计应满足下列要求：

1 对于两端柔性直流系统的运行方式，可根据工程的具体要求在下列各种方式中进行组合确定。

1) 按功率传输方向划分的运行方式：包括功率正向传输和功率倒送；

2) 对于采用双极接线的柔性直流系统可选择的方式包括双极大地运行方式、单极金属回线运行方式、单极大地回路运方式、通过站内地网临时接地运行方式、双极线并联大地返回运行方式、STATCOM运行方式；

3) 试验运行方式：包括空载加压试验运行方式等。

2 对于多端柔性直流系统，可分为下列运行接线方式：

1) 全接线方式；

2) 非全接线方式。

5.2.2 对于控制模式及控制策略的设计应满足下列要求：

1 系统设计应满足下列一般要求使得柔性直流系统具有规定的动态性能：

1) 应为直流控制系统配置有功类控制、无功类控制等，以及换流变压器抽头控制等功能，以满足柔性直流系统的各种运行控制要求，并应使运行性能达到最优；

2) 应设计特殊的控制和保护功能，包括负序电压控制、环流抑制控制、功率盈余控制（如有）的功能等，并应进行优化，以满足规定的响应特性；

3) 应调整各换流站的控制特性，在直流电流和直流电压响应之间达到最佳协调，以满足规定的响应要求；

4) 应针对主设备通信系统上的最大通信延时设计满足规定性能要求的柔性直流系统控制设备；

5) 设计的直流控制系统在规定的运行方式下，皆应满足规定的性能要求。

2 对于控制模式的设计，应满足下列要求：

1) 应根据所接入的交流系统条件和工程的具体要求，正确制定柔性直流系统的基本运行控制模式。

2） 每个换流站的运行控制模式可选用有源HVDC方式、无源HVDC方式、STATCOM方式，在启动或试验时可采用空载加压方式。

3） 每个换流器都可实现对一个有功类目标和一个无功类目标的控制。有功类目标可为有功功率、直流电流、直流电压、交流系统频率等，无功类目标可为无功功率、交流电压等。

4）有功功率控制宜包括双极功率控制和单极功率控制。

3 对于启动控制策略的设计，应满足下列要求：

1) 柔性直流输电系统启动时，可采用在充电回路中串接启动电阻，通过交流侧或直流侧对直流电容充电的方式。

2) 柔性直流系统整体启动应包括：各站分别通过各自交流侧充电启动、部分站通过其他站的交流侧充电启动。

3) 柔性直流系统运行时新并网站启动应包括：新并网站通过其交流侧充电启动、新并网站通过其直流侧充电启动（需启动电阻）。

4) 启动控制应通过控制方式和辅助措施使柔性直流系统的直流电压在预期时间内上升到额定电压。在柔性直流系统的启动过程中，应采取适当的过电压和过电流抑制策略。

4 对于附加控制的设计，应满足下列要求：

1) 应充分利用直流系统快速可控的特点进行直流功率的各种调制，帮助交流系统提高运行的暂态和动态稳定性。

2) 附加控制可包括：功率回降和提升、频率控制、交流电压控制、阻尼次同步振荡、阻尼低频振荡等。

3) 进行功率回降和提升附加控制设计时，应通过系统研究得到功率的回降和提升水平。

4) 进行频率控制设计时，应根据需要设计频率控制功能，在稳态条件下实现连续的交流系统频率控制，也可当交流系统的频率越限时，执行交流系统频率控制。

5) 进行阻尼次同步振荡附加控制设计时，应进行系统研究，分析直流控制系统对直流输电系统与交流系统中的同步发电机之间发生次同步振荡的可能性，并提出有效阻尼措施。

6) 进行阻尼低频振荡附加控制设计时，可利用柔性直流系统的功率调制功能抑制振荡。

7) 进行交流电压控制设计时，应提出策略将电网电压的突然变化限制在一个可接受的范围内。

1. 电气主接线设计

6.0.1 柔性直流系统电气主接线可选择对称单极或双极接线方案。

6.0.2 电气主接线应满足实现各种运行方式的要求，同时还应满足下列要求：

1 每极或每个换流站可采用一个换流器，并可考虑多个换流器串联或并联的接线方式；

2 应能实现为检修而对换流站内柔性直流系统的一极或一个换流单元进行隔离并接地；

3 应能实现为检修而对一极的直流线路进行隔离并接地；

4 若非绝对需要并且不危及所连系统的稳定时，切除故障极、换流器进行检修，应不影响健全极、换流器的输送功率；

5 当存在单极金属和单极大地接线运行方式，若非绝对需要并且不危及所连系统的稳定时，单极金属和单极大地两种运行切换中不应中断或降低直流输送功率。从切换开始到完成的时间应满足运行安全要求；

6 为了检修而对旁路开关（如果有）进行隔离及接地，不宜中断或降低直流输送功率；

7 可根据系统要求实现其他特殊接线方式：包括融冰接线方式等。

6.0.3 电气主接线应包括换流器接线、联接（换流）变压器接线、交/直流开关场接线以及站用电接线。

6.0.4 换流器接线应符合下列规定：

1 在满足系统要求的前提下，换流器接线应根据VSC阀的制造能力，结合直流系统电压等级和输送容量情况，通过综合技术经济比较后确定。

2 柔性直流输电工程可选择下列换流器接线：

1） 由单电压源换流器基本单元构成的对称单极或双极系统接线；

2） 由电压源换流器基本单元串并联构成的双极系统接线。若采用串联接线，每个换流器宜根据系统要求设置旁路回路；

3 每个换流桥臂宜设置桥臂电抗器，桥臂电抗器可位于VSC阀的交流侧或直流侧。

6.0.5 联接（换流）变压器接线应符合下列规定：1 若直流系统通过联接（换流）变压器阀侧中性点接地，阀侧中性点应设置接地装置。

2 应根据接地方式、站用电配置、零序电流隔离、暂态电流等要求，并经技术经济比较后确定最终的联接（换流）变压器联结方式。

6.0.6 交/直流开关场接线应符合下列规定：

1 交流开关场接线应符合国家现行标准《220kV～750kV变电站设计技术规程》DL/T 5218和《1000kV变电站设计规范》GB 50697的规定。

2 若采用交流侧启动方式，宜在联接（换流）变压器的交流侧或直流侧设置启动电阻；若采用直流侧启动方式，宜在直流极线或中性线配置启动电阻。

3 启动电阻应设置并联旁路装置，且并联旁路装置可根据具体旁路要求选用断路器或隔离开关。

4 若联接（换流）变压器第三绕组需要提供站用电，联接（换流）变压器阀侧应配置隔离开关。

5 直流开关场接线应按极组成，极与极之间应相互独立，接线中包括直流极线设备和中性母线设备。

6 对于背靠背柔性直流系统若无STATCOM方式运行要求，直流侧可不配置隔离开关。

7 对于双极接线方案，应根据运行方式转换的要求在直流侧配置中性母线开关、金属回线转换开关、大地回路转换开关和高速接地开关。

8 直流断路器的设置应根据系统要求和VSC阀设备型式确定。

9 直流开关场接线可具有下列功能：

1） 可实现双极、单极和STATCOM等基本的运行功能；

2） 双极柔性直流输电系统换流站内任一极换流器检修时能进行隔离及接地；

3） 双极柔性直流输电系统直流极线任一极检修时能进行隔离及接地；

4） 在双极平衡运行方式下，接地极线路或金属回线检修时能进行隔离及接地。

6.0.7 站用电系统接线应符合下列规定：

1 换流站站用电系统设计应符合现行行业标准《换流站站用电设计技术规定》DL/T 5460的要求。

2 换流站宜设置三回站用电源，并从站内、站外各引接一回，另一回引接点根据技术经济比较后确定。

6.0.8 应根据所接入的交流系统条件、直流电气主接线、经济效益以及其他具体工程要求，综合各种因素影响选取正确的接地方式。

6.0.9 测量装置的配置应满足如下要求：

1 为VSC阀的阀控采集信息的电流测量装置应布置在穿墙套管阀侧。

2 电流测量装置可采用套管式，若其测量精度不满足要求可选用其他型式。

3 极线线路保护的电流测量装置应布置在限流电抗器（如有）的线路侧。

3 启动电阻、中性母线开关（如有）、中性母线接地开关（如有）宜串联电流测量装置。

4 联接（换流）变压器阀侧、直流极母线和直流中性母线宜配置电压测量装置。

6.0.10 配套故障测距的一次设备的配置应满足如下要求：

1 配套故障测距的一次设备应配置在限流电抗器（如有）的直流线路侧。

2 配套故障测距的一次设备宜充分利用限流电抗器（如有）的电感。

6.0.11 金属回线（如有）和接地极引线（如有）宜配置两根平行线路，且两根线路在走廊中不交叉。

1. 主回路参数计算
   1. 主设备参数计算

7.1.1 主设备参数计算应包括下列内容：

1 VSC阀参数：包括开关器件的电压/电流等级选择、子模块的平均工作电压、桥臂级联子模块数量、直流电容器的电容值；

2 联接（换流）变压器参数：包括额定容量、额定变比、短路阻抗、分接头档位范围；

3 桥臂电抗器的电感值；

4 启动电阻的电阻值；

5 直流电抗器的电感值（如有）；

6 接地电阻的电阻值（如有）；

7 接地电抗器的电感值（如有）；

8 联接电抗器的电感值（如有）；

9 直流断路器的参数：包括持续运行电流、过负荷电流、额定开断电流、短时耐受电流等。

* 1. PQ运行区间计算

7.2.1 PQ运行区间计算的限制条件应包括下列内容：

1 联接（换流）变压器容量限制；

2 调制比的限制；

3 直流功率限制；

4 桥臂电流的有效值限制；

5 交流母线电压稳态限制；

6 直流电压的稳态限制（如有）。

7.2.2 某交流系统电压下的PQ运行区间应为该电压下各分接头档位下的PQ运行区间的并集。不同交流系统电压下的PQ运行区间应为一个曲线簇。为简化处理，宜取换流器的PQ运行区间为各交流系统电压下PQ运行区间的交集。

* 1. 运行特性计算

7.3.1 运行特性计算应考虑换流站交流母线、直流母线稳态电压的最大值和最小值、额定功率、过负荷功率（如有）、降压运行（如有）条件下的典型运行方式。

7.3.2 运行特性计算应在给定条件下计算主回路中的各项运行参数，并应包括下列内容：

1 直流电压；

2 直流电流；

3 流入换流站交流母线的有功和无功功率；

4 各换流器的调制比；

5 换流器输出的交流电压滞后换流站交流母线电压的相位。

6 联接（换流）变压器的档位；

7 联接（换流）变压器阀侧相间交流电压，以及阀侧交流电流。

8 桥臂电流的直流分量和交流分量；

9 换流器输出的交流电压；

10 换流器输出的交流电流；

11 接地电抗器消耗的无功功率（如有）；

7.3.2 计算直流电压时，应包括下列内容：

1 各换流站的直流端口电压；

2 各换流站的直流母线对地电压。

7.3.3 计算直流电流时，应包括下列内容：

1 直流母线电流；

2 直流线路电流。

1. **过电压和绝缘配合**
   1. 研究内容
      1. 过电压和绝缘配合的内容至少应包括：换流站避雷器的配置、过电压的计算、设备绝缘水平的计算、决定空气间隙绝缘水平的计算、决定爬电比距电压的计算及开关场雷电保护要求的确定等。
      2. 柔性直流换流站绝缘配合宜按以下步骤进行：

1 根据直流回路的结构配置避雷器；

2 计算分析换流站交流系统和直流系统各种过电压及其交直流系统相互影响，确定不同的代表性过电压及避雷器的保护水平、配合电流和能量；

3 通过对避雷器参数与设备绝缘水平的反复调整，优化绝缘配合设计。

* 1. 绝缘配合的基本原则
     1. 联接（换流）变压器网侧的过电压应由装在该侧的避雷器保护，联接（换流）变压器阀侧和VSC阀直流侧的过电压应由联接（换流）变压器阀侧和VSC阀直流侧的避雷器单独或组合加以限制。
     2. 母线或设备可直接由连接于被保护设备两端点之间或设备对地之间的避雷器保护。
     3. 换流设备的关键部件应由与该部件紧密相连的避雷器直接保护。
     4. 避雷器的配置应考虑柔性直流换流站的结构和直流系统回路的形式，并从运行可靠性、设备耐受能力以及绝缘配置成本等方面综合评价。
  2. 过电压要求
     1. 换流站设备应能够承受交流侧和直流侧的暂时过电压、缓波前过电压（操作）、快波前过电压（雷电）以及特快波前过电压（陡波）。应通过仿真计算进行过电压研究，以确定系统中可能出现的代表性过电压。
     2. 交流侧的操作过电压和暂时过电压应考虑：

1 联接（换流）变压器、交流线路或其他设备的单一操作或任意组合操作所引起的过电压；

2 由于换流站交流母线或临近换流站交流母线发生故障及故障清除所引起的过电压；

3 换流站按规定的功率水平运行直至额定值时，输送功率的突然降低或甩负荷所引起的过电压；

4 在运行中因交流断路器的误动作迫使换流站从交流系统解列所引起的过电压。

* + 1. 联接（换流）变压器阀侧及直流侧的操作过电压和暂时过电压应考虑：

1 通过联接（换流）变压器由交流侧感应到直流侧的过电压；

2 直流极线发生接地故障引起的过电压；

3 阀厅内和直流母线发生接地故障和短路引起的过电压；

4 极线对地故障在中性母线（如有）上引起的过电压；

5 接线方式转换操作引起的过电压；

6 直流开关操作过电压（如有）。

* + 1. 雷电和陡波冲击应考虑：

1 在直流线路、接地极线路或连接在换流站的任何交流线路上发生绕击和反击所引起的雷电冲击；

2 当屏蔽失效时，换流站直接雷击所引起的雷电冲击；

3 阀厅发生闪络或故障，或联接（换流）变压器阀侧绕组对地闪络所引起的陡波冲击。

* 1. 避雷器的性能要求
     1. 避雷器的参数选取应遵循下列原则：

1 交流避雷器的持续运行电压应考虑系统最大交流电压叠加系统可能出现的最大谐波电压值。

2 直流避雷器的持续运行电压应考虑严酷工况下的最大运行电压以及谐波。

3 交流避雷器额定电压和直流避雷器参考电压的选择应综合考虑荷电率、最大持续运行电压、暂时过电压、雷电冲击和操作冲击保护水平以及避雷器的能量等因素。

4 每支避雷器应能承受最严重故障或干扰条件下的电流和能量应力。

* + 1. 避雷器的参数应和换流器使用的功率器件匹配，经避雷器的电流不应使通路中功率器件的性能降低或损坏。
  1. 绝缘水平
     1. 交流设备的绝缘配合宜按照现行国家标准《绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则》GB 311.1的规定执行。
     2. 换流站设备的绝缘配合宜按照现行国家标准《绝缘配合 第3部分：高压直流换流站绝缘配合程序》GB/T 311.3的规定执行
     3. 油浸式绝缘设备的基本操作冲击耐压水平（BSL）与基本雷电冲击耐压水平（BIL）的比值应不大于0.83。所有计算出的试验水平应靠至高一级的IEC标准试验水平。
     4. 对安装在海拔高于1 000 m地区的设备，应考虑海拔修正。
  2. 爬电比距
     1. 对安装在海拔高于1 000 m地区的设备，爬电比距应考虑海拔影响。
     2. 所有户外交流设备的统一爬电比距可按照现行国家标准《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定》GB/T 26218的规定执行。
     3. 直流侧的爬电比距应以换流站在正常运行条件下对地的最高直流运行电压计算。
     4. 阀厅内设备（包括阀的外绝缘和套管）爬电比距宜不小于14mm/kV。
     5. 户外瓷质支柱绝缘子和垂直套管的最小爬电比距宜根据积污以及绝缘子直径等条件，经外绝缘设计得出。
     6. 合成或裸瓷加涂RTV的户外套管的爬电比距不宜小于可能用在同一设备上的瓷质套管爬电比距的75%。
     7. 当积污水平较高时，可考虑采用户内直流开关场。

1. 暂态电流计算

9.0.1 暂态电流计算应计算换流站设备承受的最大电流应力，包括暂态电流峰值和电流平方时间积（如需要）。

9.0.2 暂态电流计算应提供下列设备的电流应力：

1 桥臂电抗器电流应力；

2 VSC阀电流应力；

3 直流极母线设备的电流应力；

4 直流断路器（如有）的耐受电流及开断电流；

5 直流电抗器（如有）的电流应力。

9.0.3 暂态电流计算应考虑柔性直流系统运行过程中的极端故障，应包括但不限于：

1 交流相间短路：

1) 联接（换流）变网侧两相短路；

2) 联接（换流）变网侧三相短路；

3) 联接（换流）变阀侧两相短路；

4) 联接（换流）变阀侧三相短路；

5) 桥臂电抗器阀侧两相短路；

6) 桥臂电抗器阀侧三相短路。

2 直流侧短路故障：正负极间短路故障。

3 接地短路：

1) 联接（换流）变阀侧单相接地故障；

2) 上、下桥臂电抗器阀侧单相接地故障；

3) 极线接地故障。

9.0.4 暂态电流计算时应考虑交直流系统的极端运行方式，可采用解析计算方法或仿真计算方法，并留有适当裕度。

9.0.5 根据设备耐受暂态电流峰值的能力、系统对换流站的故障穿越要求以及直流断路器的开断能力，可配置限流电阻或（和）电抗器。

9.0.6 根据设备耐受电流平方时间积的能力可在电流衰减回路中配置电阻，且电阻不应带来换流站损耗的明显增加。

1. 通信系统干扰

10.0.1 应根据工程需要提供必要的抗干扰设备。

10.0.2 当直流系统以不同功率输送方式和功率水平运行时，由换流站产生的电磁幅射所引起的无线电干扰水平（RIL）在下列规定的位置和轮廓线处，以及在下列规定的频率范围内，应不超过40 μV/m。

1 规定的位置为：在距换流站围墙450 m周边，从450 m周边距交直流线路最近一相（极）导线150 m至换流站5 km处距同一导线40 m的直线段处进行选点测量（图10.0.2中的轮廓线）。

2 在阀厅外面不另设屏蔽的条件下，在0.5 MHz到20MHz的所有频率上，RIL应满足这一指标。测量装置应设定为准峰值模式进行。如果出现低重复率型噪声，应将检测装置设定为峰值方式进行附加测量。



图10.0.2无线电干扰测量轮廓线示意图

10.0.3 电视干扰水平（TVIL）在10.0.2条规定的地点或轮廓线处，应不超过10μV/m。

10.0.4 电力载波通信和通信明线的干扰限值应满足表10.0.4的规定。

表10.0.4 电力载波通信和通信明线的干扰限值

|  |  |
| --- | --- |
| 地 点 | 限 值 |
| 换流站交流母线 | 30 kHz为0 dBm，线性减少到50 kHz时的-10 dBm和100 kHz时的-20 dBm并且保持在-20 dBm直到500 kHz |
| 直流极线 | 30 kHz为10 dBm，线性减少到50 kHz时的5 dBm和100 kHz时的0 dBm并且保持在0 dBm直到500 kHz。 |
| 接地极线路 | 30 kHz为10 dBm，线性减少到50 kHz时的5 dBm和100 kHz时的0 dBm并且保持在0 dBm直到50 0kHz。 |

1. 噪声要求

11.0.1 换流站噪声应符合现行国家标准[《工业企业厂界环境噪声排放标准》](http://www.baidu.com/link?url=wGQ-cbMJvnz0L86R2AwmgnI66qP1fbrzp9m64MPF7oDToS9xmV8EbFk1g2RADs1m5KlbJyQgHCJGdZwSbLodEFBu9UuMrDNXicJyw33pnxm)GB 12348、《声环境质量标准》GB 3096、[《声环境功能区划分技术规范》](http://www.baidu.com/link?url=8eWRV4V18VbZv66L7LTZBu-9noaZGuivKH1QDSNWC73DomJIIz91Q4sVpFfOCIIuFTZwcBQ_bBNeQnytgNn8J_)GB/T 15190的规定。

11.0.2 换流站设备噪声限制水平应根据审定的工程环境影响评价报告提出的厂界噪声标准确定。

11.0.3 换流站噪声控制措施应按照换流站布置设计和设备设计相结合的原则考虑。换流站布置设计应合理安排主要的噪声发声设备的布置，尽量利用自然地形或换流站设备和其它建筑物的屏蔽效应来阻止噪声向声音敏感方向传递。

11.0.4 换流站设备噪声限制措施应根据噪声限制水平经计算确定。

1. 可靠性和可用率

12.0.1 柔性直流系统的设计应能防止由于设备故障、误动作或运行人员错误而引起的错误的功率反转。

12.0.2 柔性直流系统换流站辅助系统和相关的控制和保护系统设计应保证单个元件故障不引起直流输送功率减少。所有的冷却系统中冷却泵、冷却风扇和热交换器应留有足够的备用容量，允许冷却系统中任何单一设备损失时不减少柔性直流系统功率输送容量。为了满足这些要求，必要时应将冷却泵、冷却风扇和热交换器双重化。

12.0.3 双极柔性直流系统在正常平衡的双极运行条件下，单一故障应不引起设备强迫停运而导致直流输送功率的减小大于一个极的额定功率。

12.0.4 双极柔性直流系统换流站的设计应允许一个极（或单元）维修而另一极（或单元）运行。每极的计划检修每年不应多于一次。换流站设计应保证不因维修而引起全站停电。

12.0.5 对于双极柔性直流系统，直接与系统输送功率相关的控制和保护设计应保证元件的常规故障不引起直流输送容量的减小大于一个极的额定容量。

12.0.6 柔性直流系统二次回路设计应遵循下列原则：

1 应用最简单的设计实现所需要的功能；

2 宜采用被证明是可靠的元件；

3 宜利用设计经验并采用冲击保护，滤波和接口缓冲器，以保证消除敏感元件和电路因外部电缆和接线感应的电压和电流引起的损坏和干扰；

4 宜采用某些元件故障后仍能正常工作的设计和自检设计；可通过双重化或三重化，采用备用元件、设备控制电缆和回路等措施，同时在任何需要的地方利用自动转换装置满足可靠性和可用率要求。

5 可提供在元件故障时转换到简单的运行模式的设计；

6 应提供报警、故障指示、监视和试验设备；

7 应提供清楚、易读的图纸和足够详细的手册；

8 可采用模块结构，便于快速更换有元件或组件故障的模块；

9 在可行的地方，可将备用控制电缆和电路在物理上分开。

12.0.7 双极柔性直流系统可靠性指标可参考下列要求：

1 强迫能量不可用率不宜大于1.0%；

2 计划能量不可用率不宜大于2.0%；

3 单极强迫停运次数不宜大于5次/（极×年）；

4 双极强迫停运次数不宜大于0.2次/（极×年）。

12.0.8 对称单极柔性直流系统可靠性指标可参考下列要求：

1 强迫能量不可用率不宜大于1.0%；

2 计划能量不可用率不宜大于2.0%；

3 强迫停运次数不宜大于5次/（极×年）。

12.0.9 在评价柔性直流系统设计的可靠性和可用率时，应考虑被评价的承包商职责范围内的任何设备的故障或误动作所引起的直流输送能力的减少，包括但不限于下列故障：

1 因电干扰或不正确的整定引起的控制和保护系统误动作；

2 启动换流器失败；

3 完成操作顺序失败；

4 交流系统故障或柔性直流系统故障后在规定的时间内恢复失败，而此时承包商供货范围外的系统条件不妨碍恢复；

5 柔性直流系统运行时，额定输送容量或固有负荷容量的任何减少。

12.0.10 用于设计评价和用于柔性直流系统性能评价的任何停运持续时间，应建立在下面的基础上：

1 无论任何原因发生直流输送能力低于它的额定值时，停运开始；

2 当直流输送能力返回额定值时，停运结束；

3 用于设备维护和修理的实际工作时间应包含在停运持续时间内，含确定停运原因所需的时间、投切和清除所需要的时间；

4 需要用备用的联接（换流）变压器或限流电抗器更换故障设备的停运时间将不包括在内。

5 当完成了验收试验和接收，柔性直流系统进入商业运行时，开始进行可用率和可靠性评价。

1. 换流站一次设备参数要求
   1. VSC阀

13.1.1 应提出与VSC阀相关的系统运行参数，以及VSC阀的性能参数，包括但不限于下述内容：

1 额定直流电流；

2 额定桥臂电流；

3 最大连续运行桥臂电流；

4 额定直流电压；

5 最大持续直流电压；

6 VSC阀暂态电流应力；

7 环流电流抑制要求；

8 子模块最小串联数量；

9 子模块电容值；

10 额定调制比，调制比范围；

11 极线最大暂态过电压

12 中性线最大持续直流电压（如有）；

13 子模块冗余率；

14 跨阀两端子间的操作耐受水平SIWL和雷电冲击耐受水平LIWL（适用时）；

15 直流极线阀侧高压端对地绝缘水平；

16 联接（换流）变压器阀侧对地绝缘水平；

17 中性线绝缘水平（如有）；

18 VSC阀的绝缘试验、运行特性试验等试验项目、试验方法和试验参数的要求；

19 损耗要求（如工程需要）。

* 1. 联接（换流）变压器

13.2.1 应提出与联接（换流）变压器有关的系统运行参数和性能参数要求，包括但不限于下述内容：

1 变压器型式；

2 变压器相数；

3 额定容量；

4 短路阻抗；

5 额定电压及分接头范围：包括分接头在0档位时的额定电压、稳态最大电压和最小持续电压；

6 额定电流；

7 空载电流；

8 额定频率；

9 冷却方式；

10 绝缘水平：短时工频耐受电压、雷电全波/截波冲击耐受电压（峰值）；

11 损耗：空载损耗、负载损耗和总损耗；

12 温升：平均温升、顶层油温升、铁心和结构件温升；

13 噪声水平；

14 套管：型式、额定电压、额定电流、内/外绝缘短时工频耐受电压（方均根值）、雷电全波/截波冲击耐受电压（峰值）、爬电距离。

* 1. 桥臂电抗器

13.3.1 应提出与桥臂电抗器有关的系统运行参数和性能参数要求，包括但不限于下述内容：

1 电感参数：额定电感、电感值允许误差；

2 电压参数：额定电压、最高运行电压；

3 电流参数：额定交流电流、直流电流、最大持续运行电流、过负荷电流、暂态电流、谐波电流频谱；

4 额定频率；

5 噪声水平；

6 绝缘材料耐热等级；

7 耐气候性能；

8 接线端子允许受力；

9 爬电距离：端对地、端间；

10 损耗要求：包括负载损耗和杂散损耗（谐波损耗和电磁损耗）等；

11 温升要求：包括绕组平均温升、绕组热点温升和热点温度。要求在最高环温和各种负荷情况下，电抗器应满足温升限制；

12 试验参数：包括交流耐受电压、直流耐受电压、操作冲击耐受水平、雷电冲击耐受水平等。

* 1. 直流电抗器

13.4.1 应提出与直流电抗器有关的系统运行参数和性能参数要求，包括但不限于下述内容：

1 电感参数：额定电感、电感值允许误差；

2 电压参数：额定电压、最高运行电压；

3 电流参数：额定直流电流、最大持续运行电流、过负荷电流、暂态电流、谐波电流频谱；

4 绝缘要求：端子间、端对地的工频耐受电压、操作冲击耐受电压、雷电冲击耐受电压；

5 噪声级：电抗器应在额定电流和额定电压以内的所有现场运行工况下，满足工程噪声等级要求。应结合电抗器降噪设备的安装，对其冷却器等附件提出明确的设计要求；

6 损耗要求：包括负载损耗和杂散损耗（谐波损耗和电磁损耗）等；

7 温升要求：包括绕组平均温升、绕组热点温升和热点温度。要求在最高环温和各种符合情况下，电抗器应满足温升限制；

8 爬电距离：端对地、端间；

9 绝缘材料耐热等级。

* 1. 启动电阻

13.5.1 应提出与启动电阻有关的系统运行参数和性能参数，包括但不限于下述内容：

1 额定电阻值，允许的最大电感值；

2 最大电阻偏差；

3 三相互差；

4 冷却方式；

5 电压：包括设备最高电压、额定电压、短时工频对地电压、稳态对地最大电压和长期对地最大电压；

6 额定频率；

7 峰值电流；

8 最小电流；

9 持续时间；

10 冲击能量；

11 电阻器对地1min工频耐压；

12 雷电冲击耐受水平：端对地、端间；

13 操作冲击耐受水平：端对地、端间；

14 爬电距离：端对地、端间；

15 温升要求：包括不同材料下的温升限制；

16 声级限制。

* 1. 接地装置

13.6.1 应根据具体工程要求，确定是否需要采用接地装置。接地相关设备可选用电阻器、电抗器或电容器等，应根据不同接地方式提出相关设备的性能参数。

13.6.2 应对接地电抗器的性能参数提出要求，包括但不限于下述内容：

1 电感参数：额定电感、电感值允许误差；

2 电压参数：额定电压、最高运行电压、端对地电压；

3 频率：额定频率；

4 电流参数：额定交流电流、平均直流电流，暂态电流；

5 绝缘要求：端子间、端对地的工频耐受电压、操作冲击耐受电压、雷电冲击耐受电压；

6 噪声限制；

7 损耗要求；

8 温升要求；

9 爬电距离：端间和端对地。

13.6.3 应对接地电阻的性能参数提出要求，包括但不限于下述内容：

1 额定电阻值，允许的最大电感值；

2 最大电阻偏差；

3 端子对地电压；

4 平均直流电流；

5 峰值电流；

6 暂态吸收能量；

7 最大稳态损耗；

8 绝缘水平：端子间、端对地的工频耐受电压、操作冲击耐受电压、雷电冲击耐受电压；

9 温升要求；

10 爬电距离。

13.6.4 应对接地电容器的性能参数提出要求，包括但不限于下述内容：

1 电容参数：额定电容、电容值允许误差；

2 电压参数：额定电压、最高运行电压、端对地电压；

3 频率：额定频率；

4 电流参数：额定交流电流、平均电流；

5 绝缘水平：端子间、端对地的工频耐受电压、操作冲击耐受电压、雷电冲击耐受电压；

6 损耗要求；

7 温升要求；

8 爬电距离。

* 1. 直流开关

13.7.1 在换流站直流母线上如安装直流断路器，应提出直流断路器的性能参数，包括但不限于下述内容：

1 额定直流电流、最大持续运行电流；

2 额定直流电压、最大直流电压、暂时过电压；

3 暂态电流峰值

4 短时耐受电流；

5 分断时间；

6 最大分断电流；

7 绝缘要求：端子对地的操作耐受水平和雷电耐受水平、断路器端间试验耐压水平、断路器支架耐压水平；电压分布不均匀系数（如有）；

8 可靠性要求；

9 爬电距离；

10 损耗要求。

13.7.2 在换流站直流母线上可安装极母线隔离开关，便于极母线设备退出运行和检修，该开关应为电动并手动操作。应提出直流隔离开关的性能参数，包括但不限于下述内容：

1 电流值：包括额定直流电流，额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流；

2 额定电压；

3 合闸状态下电流应力，包括暂态电流峰值，短时耐受电流；

4 断口间/对地雷电冲击耐受水平；断口间/对地操作冲击耐受水平；

5 最小直流电压耐受能力；

6 正常合分时间；

7 爬电距离；

8 操作循环。

13.7.3 在阀厅穿墙套管的阀厅侧应安装阀厅内接地开关；该接地开关应为电动并手动操作。接地开关应具备机械联锁功能。应提出接地开关的性能参数，包括但不限于下述内容：

1 电流值；

2 额定电压；

3 绝缘要求，包括端对地的工频耐受电压、操作冲击耐受电压、雷电冲击耐受电压；

4 正常合分时间。

13.7.4 在双极接线系统中，若需要配置直流旁路开关，应提出旁路开关的性能参数，包括但不限于下述所列内容。

1 开关类型；

2 断口数量；

3 额定电压；

4 最高电压；

5 额定电流；

6 额定峰值耐受电流；

7 额定合闸电流；

8 直流转换电流；

9 瞬态恢复电压 （TRV） ；

10 瞬态恢复电压上升率；

11 燃弧时间；

12 额定直流耐压（湿试）；

13 雷电冲击耐受水平；

14 操作冲击耐受水平；

15 操动机构类型；

16 主触头接触电阻；

17 绝缘介质；

18 单次储能的操作次数；

19 动作时间：包括合闸时间和开断时间；

20 复合支柱绝缘子参数：包括平均直径、最小爬距和最小干弧距离。

13.7.5 若需要配置直流转换开关，应提出直流转换开关的性能参数，包括但不限于下述所列内容。

1 额定电压；

2 合闸状态的峰值耐受电流和短时耐受电流；

3 雷电冲击耐受水平；

4 操作冲击耐受水平；

5 标称合闸时间；

6 操作循环状态。

* 1. 避雷器

13.8.1 应提出避雷器的性能参数，包括但不限于下述内容：

1 额定电压；

2 最大持续运行电压；

3 标称放电电流；

4 残压：不同配合电流下雷电冲击、操作冲击以及陡波冲击下的残压；

5 4/10 ；下短时大电流耐受能力；

6 压力释放能力；

7 避雷器外套绝缘耐受能力，包括雷电冲击、操作冲击和交直流（湿试）耐受；

8 避雷器外套爬电距离；

9 10 ms方波冲击额定能量吸收能力；

10 并联柱数及最大电流分配系数；

11 能量吸收能力；

12 最大能量耗散后阀片最大温升。

* 1. 测量装置

13.9.1 直流电压测量装置应满足下列要求：

1 应提出与直流电压测量装置有关的系统运行参数和性能参数要求，包括但不限于下述内容：

1） 电压定值：包括额定直流电压和最大持续运行电压；

2） 测量范围；

3） 隔离的A/D系统输出；

4） 标称电阻参考值；

5） 稳定性要求；

6） 测量系统的阶跃响应；

7） 标称直流电压下通过直流母线与分压抽头之间高压臂电阻的额定热电流；

8） 电阻的温度特性；

9） 采样频率；

10） 测量系统精度；

11） 分压器本体的边界频率（-3dB）

12） 试验参数：包括60min干试直流耐受试验电压、雷电冲击试验电压、1min工频耐受试验电压、无线电干扰试验电压、工频耐压水平等；

13） 悬挂式装置的绝缘外套：应提出悬挂式直流电压测量装置绝缘外套的平均直径和最小爬电距离。

2 直流电压测量装置技术规范应满足现行国家标准《高压直流输电系统直流电压测量装置》GB/T 26217的要求。

3 直流电压测量装置采样到数据传输的总延时，应确保满足柔性直流输电系统控制保护的要求。

4 直流电流测量系统应具有良好的抗干扰性能。

13.9.2 直流电流测量装置应满足下列要求：

1 应提出与直流电流测量装置有关的系统运行参数和性能参数，包括但不限于下述内容：

1） 电流定值：包括额定一次电流、最大持续过电流、以及额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流、动稳定电流；

2） 电压定值：包括接入点最大持续运行电压；

3） 测量范围；

4） 额定一次电流时互感器各部位的温升；

5） 采样频率；

6） 最小截止频率（-3dB）；

7） 输出信号数据速率；

8） 最大允许光纤传输信号衰减；

9） 频率响应；

10） 阶跃响应上升时间；

11） 采样精度；

12） 响应时间；

13） 绝缘水平；

14） 爬电距离；

15） 试验参数：包括直流耐受试验、副边绕组60s工频耐受电压和原边绕组60s工频耐受电压值、雷电冲击耐受水平和操作冲击耐受水平；

16） 悬挂式装置的绝缘外套：应提出悬挂式直流电流测量装置绝缘外套的最大平均直径和最小爬电距离。

2 直流电流测量装置技术规范应满足标准应满足现行国家标准《高压直流输电系统直流电流测量装置》GB/T 26216的要求。

3 任何用于控制的直流电流测量系统，当被测电流在最小保证值和1.5倍额定电流之间时，测量误差应不大于额定电流的±0.2%；在被测电流达到额定电流的300%时，测量误差应不大于额定电流的±10%。所有用于同一功能的多个直流电流测量系统，在被测电流为额定电流的150%及以下时应具有等于或优于±1%的配合精度；当被测电流为额定电流的150%至300%之间时，测量系统的精度应能保证设备正确动作。

4 直流电流测量装置采样到数据传输的总延时，应确保满足柔性直流输电系统控制保护的要求。

5 直流电流测量系统应具有良好的抗干扰性能。

13.9.3 应提出交流电压互感器的额定参数以及性能参数，包括但不限于以下内容：

1 频率：包括额定频率、稳态最大频率和稳态最小频率；

2 电压：包括设备最高电压、系统额定电压、系统稳态对地最大电压和系统长期对地最大电压；

3 电容：包括额定电容和电容偏差；

4 绝缘水平：包括雷电冲击耐受水平和操作冲击耐受水平；

5 工频耐受试验电压：包括原边端子对地、低压端子对地和二次绕组；

6 温度范围；

7 二次绕组数据：包括二次绕组的比率、每相额定容量、精度等级等；

8 最小爬电距离。

13.9.4 应提出交流电流互感器的额定参数以及性能参数，包括但不限于以下内容：

1 最大持续电压；

2 额定频率；

3 电流定值：包括额定原边电流、最大持续过载电流、额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流；

4 测量设备数据：包括测量范围和饱和水平；

5 精度：包括精度等级和保护等级；

6 阶跃响应时间；

7 频率响应：包括额定电流和频率时最大允许振幅误差和最大允许相位偏移量；

8 最小截止频率；

9 光纤最大衰减、总衰减和传感器和连接室间的衰减。传感器与接线端子盒箱的光纤传输损耗不宜大于2 dB，总的传输损耗不宜大于6 dB；

10 绝缘子最小外爬电距离；

11 试验电压：包括相对地试验电压、局部放电测量电压、外部电晕和RIV试验电压、最大可接受RIV水平、端子对地雷电冲击耐受试验水平及端子对地操作冲击耐受湿试验水平等。

1. 换流站控制保护系统
   1. 概述
      1. 柔性直流控制保护系统应包括换流站运行人员控制、交直流站控制、直流控制、直流保护、通信系统、换流站主时钟系统、直流线路故障定位、故障录波、保护故障录波信息管理子站、电能量计量系统及上述系统与通信系统的接口等装置。对于具体的柔直工程所要求的特殊设计，则应视该工程技术规范要求，在本标准基础上进行相关研究，经过完善和优化，最终完成换流站控制保护系统成套设计。
      2. 柔性直流输电系统的控制保护体系结构、功能配置和总体性能应与工程的主回路结构和运行方式相适应，保证柔性直流输电系统的安全稳定运行，并满足系统可用率的要求。
   2. 换流站控制保护系统总体要求
      1. 柔性直流换流站的控制系统应依据其控制对象和功能进行分层结构设计，分为系统级，站级，极级，换流器级等。对于多端柔性直流系统，可设置主控制中心，以实施各站之间的协调配合控制。主控制中心可设置在某一换流站内，也可设置在远方调度中心。
      2. 硬件配置和软件应满足以下要求：

1 柔性直流换流站控制系统应采用完全双重化设计，应确保直流系统不会因为任一控制系统的单重故障而发生停运，也不会因为单重故障而失去对换流站的监视。

2 柔性直流保护系统应采用三重化设计。

3 控制保护系统宜采用模块化、分层分布式、开放式结构。

* + 1. 控制保护系统通信应满足以下要求：

1 各分层结构内容，以及相互之间的通信规约应符合国家或国际标准。

2 通信系统应合理设计，确保不发生通信堵塞。

3 通信系统宜采用冗余配置，各独立环节应最大程度地保持其独立性，尽量减少信息交换问题引起的不可靠因素。

* + 1. 应提出柔直换流站控制保护系统的可靠性指标，包括使用寿命、无故障时间、自检能力、抗干扰能力、保密性、电源回路可靠性等。
  1. 运行人员控制系统
     1. 运行人员控制系统应满足下列总体要求：

1 运行人员控制系统功能配置应考虑柔性直流工程的特殊要求，与柔性直流输电系统的主回路结构以及运行方式相适应。

2 运行人员控制系统应具有运行操作控制、系统监视、历史和实时数据管理、基本操作培训、设计文件和控制保护软件管理等功能。

3 系统应采用标准化、网络化、维护方便的结构，并具有高度的可靠性和安全性，应具备较大信息容量和较高处理能力。

4 运行人员控制系统应具有优化的人机界面，其内容应覆盖运行人员对系统运行状态和设备的操作功能及监视要求；应具有严格的操作权限自动识别和控制；对于运行操作应有确认和防误功能。

5 运行人员控制系统应冗余配置。

* + 1. 运行人员控制系统的配置及性能应满足以下要求：

1 运行人员控制系统应由系统服务器、运行人员工作站、工程师工作站、站长工作站、培训工作站以及站级LAN网、硬件防火墙、网络隔离装置等组成。所选用的计算机产品，均应考虑可靠性、可维护性、开放性和可扩展性要求。

2 操作系统应符合相关国际标准规定，应支持主要的操作系统平台UNIX或LINUX。支撑软件应符合《地区电网调度自动化系统》GB/T 13730-2002中3.4.3的规定。

* + 1. 运行人员控制系统的功能设计应满足以下要求：

1 控制功能设计应满足下列要求：

1） 对于控制位置的选择，应确定运行人员控制位置的分布和优先级关系，并具有各控制位置之间灵活、可靠的转移功能。

2） 对于系统状态的选择，应对换流站柔性直流系统的连接状态进行定义，并确定其状态的选择操作方式。

3） 对于柔性直流系统运行接线方式的选择，应根据系统性能要求，确定系统所有允许的接线方式的选择操作，并满足控制保护系统成套设计要求的运行方式转换功能。

4） 对于柔性直流系统运行控制方式的选择，应根据系统性能要求，确定系统所有允许的运行/控制方式的选择操作方式，包括其相关的运行参数的设定。

5） 对于试验方式的选择，应提出运行人员控制系统在系统投运前的调试、检修或更新改造后的系统、线路或设备的调试控制功能要求，确定操作方式。

6） 对于启/停方式选择，应结合具体工程实际，选择合理的柔性直流系统的启动、停运方式，保证系统在启停过程的平稳。

2 对于监视功能设计，监视内容应至少包括柔性直流系统实时运行方式和运行值，站内各设备的状态和运行参数，运行控制指令，事件顺序和中央报警、趋势记录、在线谐波监视等。其显示方式、数据保存方式应满足运行要求，同时应满足远方调度中心的要求。

3 对于人机接口设计，应具备友好的工作站人机界面，界面的设计满足运行监控的要求，应具备报警功能、趋势浏览、报表和打印等。人机界面软件应便于修改和扩展。

4 应满足包括顺序时间纪录、运行人员培训功能的要求、软件或参数的修改以及对站内管理等其他功能要求。

* 1. 交直流站控系统
     1. 交直流站控系统应满足下列总体要求：

1 站控系统应用于换流站内执行运行人员控制系统（包括远方调度中心）、极/换流器控制或直流保护系统的控制、保护指令。

2 应实现交、直流开关场的顺序控制、联锁和同期控制。

3 应对交、直流回路开关及辅助设备的状态及测量参数进行监视和传输。

* + 1. 交直流站控系统的配置及性能应满足下列要求：

1 基本配置应包括但不限于：

1） 控制主机及控制软件，包括控制功能和自检软件；

2） 站控系统与控制保护系统其他设备的接口、通信介质、通信接口及规约；

3） 每个交流间隔的测/控接口设备；

4） 直流场测/控接口设备；

5） 辅助系统测/控接口设备；

6） 变压器、电抗器（油浸式）本体非电量保护接口设备（如需）。

2 数据采集和传输的配置应包括但不限于：

1） 应根据控制保护设备总体配置原则和测量设备的配置情况，确定各种信息的采集传输方式、精度、速率，以及冗余的要求，以确保信息传输的可靠、准确和高速。

2） 数据采集和传输设备应包括就地I/O采集单元和就地传输总线。就地I/O单元应采用分布式、冗余配置。

3） 对于总线传输方式，应符合相关国际标准，其传输速率、传输距离、通信规约、抗干扰能力以及自检能力应满足换流站控制保护系统分布式设计的要求、控制保护分层结构的要求、冗余要求。

4） 数据采集系统应具有良好的抗干扰措施。

3 应具有以下自检功能：

1） 站控系统应具有完整的自检功能，包括硬件故障、软件故障、通信故障的自检、显示和避免系统停运的处理。

2） 应区分和显示站控主机的值班、备用、检修（测试）状态，以及各状态之间的转换原理和切换至冗余系统的条件和逻辑。

3） 应合理设计站控冗余系统切换时，其他相关的冗余设备的响应。

* + 1. 交直流站控系统的功能设计应满足下列要求：

1 应为交流场和直流场断路器、隔离开关、接地开关的断开、闭合操作设计合理的顺序控制功能，并确定软、硬件的联锁方式。

2 监视功能应包括以下要求：

1） 应采集交/直流场的断路器、隔离开关、接地开关的状态信号。

2） 应采集交/直流场、阀厅及所有辅助系统的主要设备的状态和报警信息。

3 应设计换流站交流系统的同期功能，确定同期点和同期范围。

4 应采集相关交直流回路测量设备输出的模拟量，并传输至其他相关系统。

5 在线谐波监视的分析、显示和输出功能应包括在站监控系统功能中。

6 应根据工程需要，对其他站控功能进行描述

* 1. 直流控制系统
     1. 直流控制系统应满足下列总体要求：

1 直流控制系统应进行分层配置。

2 直流控制系统应根据换流站主回路设计、主设备性能要求，以及系统动态性能研究结论，确定单极、双极控制策略及其主要控制参数范围。

3 直流控制系统应可执行换流站内运行人员控制系统（包括远方调度中心）或直流保护系统的控制、保护指令。

4 直流控制系统应具备顺序控制、协调控制、空载加压试验控制、过负荷限制、联接变压器分接开关控制、附加控制、阀解锁/闭锁顺序、自诊断等功能。

5 直流控制系统应具备向阀控系统发出控制指令功能，包括解闭锁指令、参考波指令等。

6 直流控制系统应具备对交、直流回路开关及辅助设备的状态及测量参数进行监视和传输功能。

* + 1. 直流控制系统的配置及性能应满足下列要求：

1 基本配置应包括但不限于：

1） 控制主机及控制软件。

2） 与控制保护系统其他设备的接口、通信介质、通信接口及规约。

3） 直流场极测/控接口设备。

4） 与换流阀及其阀基电子回路触发脉冲、故障信息和保护要求的接口设备。

5） 与换流器冷却系统监控接口屏。

6） 联接（换流）变压器、直流电抗器（油浸式）本体非电量保护接口设备。

7） 直流远动系统接口设备。

2 直流控制系统性能的基本要求应包括：

1） 确定控制系统动态响应特性要求。

2） 确定直流电流、直流电压、直流功率控制精度。

3） 主机负荷率应不超过50%。

4） 应合理设计软件中断结构。

5） 应合理设计控制系统的参数，避免发生柔性直流系统的谐振。

6） 控制系统应具有完整的自检功能。

7） 应区分和显示控制主机的值班、备用、检修（试验）状态，还应合理设计控制冗余系统切换时，其相关的其他冗余设备（系统）的响应。

* + 1. 直流控制系统的功能设计应满足下列要求：

1 换流站控制系统功能应包括顺序控制及联锁、有功功率/无功功率控制、交流电压/交流频率控制、控制模式选择与切换功能等功能。

2 顺序控制及联锁功能应满足下列要求：

1） 所有控制操作，应设计有安全可靠的联锁功能。

2） 联锁应包括硬件联锁和软件联锁。

3） 联锁功能应能在各个操作层次实现。

4） 为便于运行检修或紧急情况操作，应配置就地可以投/退联锁功能的手段。

3  控制模式切换过程应平滑，不应引起系统保护动作和闭锁；

4  柔性直流系统的启动和停运应避免产生过压、过流扰动。

5  应能自动控制联接（换流）变分接头位置，使得换流器调制比处于合适范围。

6  换流器应接收站控传来的功率控制方式和功率给定值，将其与反馈值进行比较，将误差经PI调节器计算，经限幅后作为有功电流及无功电流给定值。

7  换流站应接收站控传来的直流电压控制方式，以及直流电压给定值，将其与反馈值进行比较，将误差经PI调节器计算，经限幅后作为有功电流给定值。

8  内环控制环节应接收来自外环控制的有功、无功电流的参考值，并快速跟踪参考电流，实现换流器交流侧电流幅值和相位的直接控制。

9  在孤岛运行方式下，换流器应接收站控传来的电压幅值和频率指令信号，对换流器进行开环控制，得到换流器三相参考信号。

10 应对功率模块运行状态进行监视，并将运行状态数据传输至监控系统。

11 直流控制系统应能对换流站内所有设备的运行状态与操作进行全面的监视，监视信号应能上传到运行人员控制系统和远动系统；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。

* 1. 直流保护系统
     1. 直流保护系统应满足下列总体要求：

1 应根据换流站主接线及参数的设计、主设备的应力要求、测量设备配置，以及交流系统和柔性直流系统的运行性能，进行直流保护系统的设计。

2 保护区域应覆盖完全，并能保护区域内的各种故障。

3 直流保护系统应满足可靠性、选择性、灵敏性、速动性的基本要求：

1） 任一单一元件故障都不应引起保护误动或拒动；

2） 在任何运行工况下都不应使某一设备或区域失去保护。

* + 1. 直流保护系统的配置及性能应满足下列要求：

1 应满足下列基本配置原则：

1） 应保证在所有运行条件和运行方式下，直流控制、直流保护及交流保护之间的正确配合；

2） 应保证其相关测量设备的精度和动态测量范围与保护整定值或控制系统功能相匹配。直流控制和保护之间应采用相互独立的数据采集和处理单元模块；

3） 对每一个设备都应提供至少双重化的保护，其保护电路在物理上和电气上都应分开；应合理设计冗余配置的范围、接口方式，以及冗余设备之间的关系。

4） 直流保护应自动适应多种运行方式工况，不需手动进行保护定值和功能的切换。

2 各保护的基本配置应包括但不限于：

1） 保护装置及保护软件；

2） 与控制保护系统其他设备的接口、通信介质、通信接口及规约；

3） 测量元件及回路；

4） 跳闸回路；

5） 对于联接（换流）变压器、电抗器（油浸式）本体非电量保护的接口设备。

3 应在系统研究、一次成套设计及设备性能研究，以及系统暂态和动态性能研究的基础上，确定直流保护原理并保证以下性能要求：

1） 当交流系统运行在任何工况时，直流保护均应能正确动作；

2） 当柔性直流系统运行在任何工况时，直流保护均应能正确动作；

3） 保护系统应具有合理的硬件结构，即应具有运算单元区和逻辑判断单元区合理的设计方案；保护主机负载率应不高于 50%；

4） 保护软件应具有正确的故障判据设计，应采用模块化编制，具有保护软件闭锁功能；

5） 保护动作应包括启动、闭合或重合开关、启动断路器失灵保护等。

6） 保护应仅有投入、退出两种状态。保护系统应有完整的自检功能，包括硬件故障、软件故障、通信故障的自检和分类显示功能。

* + 1. 对于直流保护系统的功能设计，应确定各项保护的范围和目的、主备保护原理和动作策略、保护之间及保护和控制之间的配合要求，以及定值设置原则和定值范围，直流保护至少包括如下功能：

1 交流连接母线区保护：应包括从联接（换流）变阀侧套管到桥臂电抗器网侧间区域设备的接地或相间短路故障，启动回路过载等。

2 换流器区保护：应包括从桥臂电抗器网侧到阀厅极线侧直流穿墙套管之间设备的接地或相间短路故障、桥臂短路、换流器短路、换流器出口接地故障、换流器过应力、桥臂电抗器过应力、环流异常等。

3 直流极区保护：应包括极母线及其相关设备的接地故障、直流场开路、交流开关误跳、换流器非正常闭锁、直流控制系统故障或交流系统异常对直流系统产生的谐波扰动、中性母线开路和对地故障、中性母线开关故障等。

4 双极区保护：应包括双极公用连接区域和接地极引线的接地或开路故障、运行方式转换开关和站内接地开关故障、接地极运行监视等，如果存在双极运行并站内接地运行方式时，应具备该方式下双极产生不平衡工况下的保护功能。

5 联接（换流）变压器保护：应包括联接（换流）变压器内部故障（绕组内接地、断线等）、联接（换流）变压器网侧和阀侧的接地和相间短路故障、联接（换流）变过励磁、直流电流导致的铁芯饱和等。

6 直流线路保护：应包括直流线路金属性或高阻接地故障、开路故障、与其他直流线路或交流线路碰接的故障，金属回线的开路，接地故障等。

* 1. 远动通信系统
     1. 远动通信系统应满足下列总体要求：

1 直流远动通信系统应用于对在换流站之间进行传送的直流系统控制信号、保护信号、运行信号和监视信号进行数据处理。

2 远动通信系统设备应包括远动局域网、远动工作站、路由器等。

3 远动通信工作站宜冗余配置。

* + 1. 远动通信系统的配置及性能应满足下列要求：

1 直流远动通信系统设备的供货应满足信号通道多重化的要求，单极的直流远动单元应采用双重化冗余配置，远动设备与通信系统的接口应为冗余多重化结构。

2 直流远动通信系统应保证信号传输的可靠性，信号的残余误码率应低于10-12。

3 直流远动通信系统应满足抗干扰性要求，并不会对站内的控制保护设备、运行人员控制和监视设备产生任何电气干扰。

4 直流远动通信系统应为各种类型的远动信号提供25%的备用信号传输容量。

* + 1. 远动通信系统的功能设计应满足下列要求：

1 直流远动通信系统应具有手动切换主数据通道到备用数据通道的功能，还应具有主备用通道自动切换功能。

2 直流远动通信系统应具备误码检测功能。

3 每个远动通信通道都应具有状态指示，表明通道的接收是否正常。

4 每个冗余控制或者保护系统都对自身的远动通道进行监视，当出现故障时各冗余系统均能报警。

5 每个控制保护系统的远动系统故障时，都应发出报警事件。

* 1. 站主时钟系统
     1. 站主时钟系统应采用全球卫星定位系统作为统一的时间基准。
     2. 柔性直流换流站应配置1套时间同步系统，作为全站统一的时间基准。
     3. 时间同步系统的时钟源应双重化配置，应能同时接收北斗卫星导航系统和全球卫星定位系统的对时源。在地面时间中心存在时，也可根据需要接收地面时间中心通过网络传递来的基准时间信号。
     4. 时间同步系统对时范围应包括站内所有需要对时的控制、保护、监视和智能设备。时间信号输出单元应能满足所有设备的对时需求。
     5. 时间同步系统的主时钟宜布置在主控楼内，在各继电器小室配置相应的时钟扩展装置。
  2. 直流线路故障定位系统
     1. 直流线路故障定位系统应能通过直流保护的配合和故障信息分析正确地识别所监视线路的故障，有效地防止系统的误动和漏检。
     2. 直流线路故障定位系统的配置及性能应满足下列要求：

1 柔性直流系统的每端换流站均应配置直流线路故障测距装置，其原理宜采用行波检测原理。

2 柔性直流换流站直流线路故障测距装置宜单套配置，也可双重化冗余配置。

3 故障定位系统在每极直流线路上安装的故障电气量探测设备应具有足够高的精度。

4 故障定位系统的软件应使用高级软件编写，此软件应能对各子系统的状态进行监视，并具有自检功能。

* 1. 故障录波系统
     1. 故障录波系统应满足下列总体要求：

1 为便于故障分析和事故处理，柔性直流换流站内应配置暂态故障录波装置，记录换流站一、二次设备故障或系统操作引起的暂态过程，以及直流控制保护系统在该过程中的动作行为。

2 换流站内故障录波装置宜采用分散布置。

3 换流站内交直流暂态故障录波装置应单独组网，将故障录波数据上传至保信子站。

4 暂态故障数据采集装置应有足够的抗干扰能力。

5 故障录波装置应配备必要的分析软件，以对各故障录波数据进行分析。

* + 1. 故障录波系统的配置及性能应满足下列要求：

1 应依据当时先进的计算机性能进行配置。

2 故障录波系统应对以下指标提出要求：

1） 时间精度。

2） 记录时间和采样频率。

3 交流额定电流（有效值）、交流额定电压（有效值）、直流额定电流和直流额定电压应以工程规定的额定值为标准，选择合适的线性测量范围。

4 应提出启动参量要求，对内部自启动判据提出推荐值：

1）交流各相和零序电压突变量；

2）交流电压越限；

3）直流电压突变量；

4）直流电压越限；

5）中性点电流；

6）电流变化；

7）保护跳闸信号；

8）换流阀闭锁信号；

9）手动启动信号；

10）其他指定信号。

5 如果工程有特殊要求，可按照实际情况优化设计以上性能指标。

* + 1. 故障录波系统的功能设计应满足下列要求：

1 换流站暂态故障录波装置应采用独立的设备，收集和记录全部规定的故障模拟量数据和直接改变系统状态的开关状态、保护跳闸命令、安全自动装置的操作命令等。

2 故障录波装置应考虑足够的裕度或方便扩展的接口。

3 故障录波装置应包括但不限于以下功能：

1）数据缓存；

2）启动及联合启动；

3）波形记录；

4）故障数据存储；

5）故障分析；

6）信息传输。

* 1. 保护故障录波信息管理子站
     1. 保护及故障录波信息管理子站应满足下列总体要求：

1 保护及故障录波信息管理子站（简称保信子站）主要功能应包括站内所有交流、直流保护和故障录波装置的数据采集、通信规约转换、向调度端主站系统的数据传送、远方保护定值的调用和修改、数据就地存储以及应用事故高级分析等。

2 保信子站应按照与监控系统相互独立的原则建设。

* + 1. 保护及故障录波信息管理子站的配置及性能应满足下列要求：

1 柔性直流换流站应配置交、直流系统共用的保护及故障信息管理系统子站。

2 保护及故障录波信息管理子站应采集交/直流系统保护、元件保护、交/直流系统故障录波装置的信息。

3 保护及故障录波信息管理子站与保护装置之间的通信应采用标准的网络接口和通信协议。传输速率应满足信号传输机通信接口要求。

4 保护及故障信息管理子站应能在正常和电网故障时处理各种所需信息，并将信息上传到调度中心，支持远程查询和维护。

5 遥测/遥信信息响应时间、实时数据更新周期、GPS对时精度、控制正确率应满足工程需要。

* + 1. 保护及故障录波信息管理子站的功能应满足下列要求：

1 完成信息的远动通信；

2 保护功能的投退；

3 保护的复归、保护定值的修改和管理；

4 可在保信子站，或者接受运行人员控制系统指令，进行启动故障录波系统的操作；

5 保信子站数据库及其维护；

6 故障录波分析软件功能。

* 1. 其他二次子系统
     1. 对其它二次子系统的总体要求应包括：

1 换流站控制保护系统的成套设计应对其与交流保护、电能量计量系统等其他二次子系统的接口提出要求。

2 对于工程所要求的其他二次子系统特殊设计，应根据工程技术规范要求，在本设计标准的基础上进行相关研究，完成换流站控制保护系统的最终设计方案。

* + 1. 交流保护应满足以下要求：

1 换流站站内交流保护应包括站内交流系统的换流变压器进线间隔断路器保护、进线短引线保护和站用电源保护。

2 交流保护应留有与站主时钟系统及保护故障录波信息管理子站的对时接口，以保证其时间精度。

3 所有交流保护应单独组建保护子网，通过保护子网与保护故障录波信息管理子站进行通信，并通过子站与远方调度中心通信。

* + 1. 电能量计量系统应满足以下要求：

1 换流站电能量采集终端装置应具有与换流站监控系统的通信接口，该通信接口应采用串口RS485。换流站监控系统应对电能量计量系统的运行进行监视，并可对计量数据进行查询。

2 换流站能量计量系统应留有与站主时钟系统及远方调度中心计费主站的对时接口以保证其时间精度。

* 1. 试验要求
     1. 换流站控制保护系统试验应包括型式试验、例行试验、出厂见证试验、联调试验和现场调试，通过上述试验对控制保护装置/系统的软硬件设计、装配、功能和性能进行全面检验。
     2. 型式试验和例行试验应满足下列要求：

1 型式试验应包括但不限于：环境试验、电源扰动及断电试验、机械试验、耐湿热试验、电磁兼容试验。

2 例行试验应包括但不限于：设备的功能和技术性能试验、绝缘性能试验、通信协议一致性试验、连续通电试验。

* + 1. 出厂试验应满足下列要求：

出厂试验宜在功能试验的基础上进行。应根据设计要求进行系统的功能和性能试验，以便确认以下内容，包括但不限于：设备各项功能和性能满足设计要求、所有的硬件和软件缺陷已发现并改正、设备的冗余配置功能正常、设备中各计算机CPU和网络的负荷率满足设计要求、自诊断功能有效、各接口和规约工作正常。

* + 1. 二次系统联调试验应满足下列要求：

1 为检验各二次子系统之间的软硬件接口功能、性能配合的正确性，在现场调试之前，应进行二次系统联调试验。

2 二次系统联调试验的设备应包括但不限于：直流控制保护设备、阀控设备、远动通信设备、站主时钟设备。

3 联调试验完成后，应至少进行100小时连续通电试验，以检验系统的运行稳定性。

* + 1. 现场调试应满足下列要求：

1 应检查系统的各项功能是否实现，系统的性能指标是否达到，并对各子系统间的接口、通信、自诊断等进行全面的检验。

2 现场验收试验宜分为设备调试、分系统调试、系统调试和试运行四个阶段。

本标准用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，方面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则》 GB 311.1

《绝缘配合 第3部分：高压直流换流站绝缘配合程序》GB/T 311.3

《声环境质量标准》GB 3096

《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348

《地区电网调度自动化系统》GB/T 13730-2002

《声环境功能区划分技术规范》GB/T 15190

《高压直流输电系统直流电流测量装置》GB/T 26216

《高压直流输电系统直流电压测量装置》GB/T 26217

《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定》GB/T 26218

《1000kV变电站设计规范》GB 50697

《220kV～750kV变电站设计技术规程》DL/T 5218

《换流站站用电设计技术规定》DL/T 5460

**中华人民共和国行业标准**

柔性直流成套设计标准

**GB/T×-20××**

**条文说明制订说明**

《柔性直流成套设计标准》（GB/T XXXX-20XX），经住房和城乡建设部201X年X月X日以第XXXX号公告批准发布。

本规范编制的主要原则是：贯彻国家法律、法规和电力建设政策；坚持科学发展，落实“安全可靠、先进适用、经济合理、环境友好”的原则；广泛深入调研，吸取电力建设工程实践经研院，以舟山柔直工程、厦门柔直工程、渝鄂柔直工程的成套设计研究成果为基础，广泛征求相关单位意见。

为便于广大施工、监理、设计、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目  次

[3 总体要求 45](#_Toc508189833)

[4 设计条件 46](#_Toc508189834)

[4.1 环境条件 46](#_Toc508189835)

[4.3 交流系统条件 46](#_Toc508189836)

[5 设计要求 47](#_Toc508189837)

[5.1 额定值 47](#_Toc508189838)

[5.2 柔性直流系统运行方式和控制模式设计 47](#_Toc508189839)

[6 设计要求 48](#_Toc508189840)

[8 过电压和绝缘配合 50](#_Toc508189841)

[8.1研究内容 50](#_Toc508189842)

[8.2避雷器的配置原则 50](#_Toc508189843)

8.5 [绝缘水平 51](#_Toc508189845)

[8.6 爬电比距 5](#_Toc508189846)2

[9 暂态电流计算 53](#_Toc508189847)

[10 通信系统干扰 54](#_Toc508189848)

[11 噪声要求 55](#_Toc508189849)

[12 可靠性和可用率 56](#_Toc508189850)

[13 换流站一次设备参数要求 57](#_Toc508189851)

[13.7 直流开关 57](#_Toc508189852)

[14 换流站控制保护系统 58](#_Toc508189853)

[14.2 换流站控制保护系统总体要求 58](#_Toc508140583)

[14.3 运行人员控制系统 58](#_Toc508140584)

[14.4 交直流站控系统 58](#_Toc508140585)

[14.5 直流控制系统 59](#_Toc508140586)

[14.6 直流保护系统 59](#_Toc508140587)

[14.7 远动通信系统 59](#_Toc508140588)

[14.10 故障录波系统 60](#_Toc508140591)

[14.11 保护故障录波信息管理子站 60](#_Toc508140592)

3 总体要求

3.0.2 接线型式主要指换流站内主要电气设备的连接关系和布置型式。

3.0.8 本条列举目前柔性直流系统用的主要设备，根据具体工程要求可增减相关设备。

4 设计条件

* 1. 环境条件

4.1.8 针对不同位置的设备提出具体的爬电比距，其目的是为了便于后续设备选型。

4.3交流系统条件

4.3.1 由于在系统设计中要考虑交、直流系统的不同运行方式，因此需明确相关交流系统的概况。

4.3.3 换流母线频率变化范围一般习惯用频率波动最大值的包络线表示（图1）。

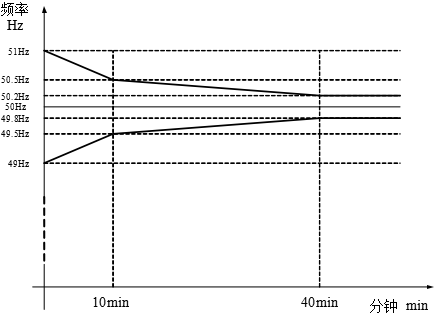


图1 交流系统频率变化范围示意图

4.3.8 通常，等值网络主要包括用于AC/DC仿真研究的等值系统、工频过电压研究的等值系统、用于AC/DC系统电磁暂态特性研究的等值系统。

4.3.10 提出本条第3款的要求，是由于静态等值不能再现整个系统的动态摇摆过程，使用等值模型计算0.2s或更长时间得到的电压值比使用全系统稳定计算模型得到的结果高得多。

5 设计要求

* 1. 额定值

5.1.5 一般柔性直流系统降压可调范围不大，且与系统调制比密切相关；如果特殊要求降压较大，则意味着调制比较低，损耗运行较大，需结合工程详细分析。

5.2 柔性直流系统运行方式和控制模式设计

5.2.2 对于本条第2款的说明：柔性直流系统最常见的运行控制模式为一端柔性直流换流站采用定直流电压控制和定无功功率控制，其他端换流站采用定有功功率控制和定无功功率控制。

对于本条第5款第3)项的说明：对于送端交流系统损失发电功率或受端交流系统甩负荷的事故，可能要求自动降低直流输送功率；当受端损失发电功率或送端甩负荷故障时，有可能要求迅速增大直流输电系统的功率。功率的回降和提升也包括功率快速反转。

对于本条第5款第4)，通过柔性直流系统对交流系统实施频率控制一般有以下几种情况：交流侧为孤岛新能源电场；孤岛水/火电厂或弱交流系统，通过柔性直流电系统与一个大交流系统互联时；交流侧为无源用电负荷；其他通过柔性直流系统互联的交流系统。

对于本条第5款第6)项的说明：电力系统中的扰动有可能引发发电机之间或局部电网之间的机电振荡。如果不采取有效措施，这些振荡会导致电网失稳和发电机失去同步，或者系统不能提供足够的阻尼，使振荡时间延长。

对于本条第5款第7)项的说明：通过柔性直流系统对交流系统实施交流电压控制一般有以下几种情况：交流侧为孤岛新能源电场；孤岛水/火电厂或弱交流系统，通过柔性直流电系统与一个大交流系统互联时；交流侧为无源用电负荷；其他通过柔性直流系统互联的交流系统。对于比较弱的交流系统，由负荷改变、倒闸操作或故障引起的无功潮流变化，会引起较大的电压波动。成套设计应提出有效的电压控制，将电网电压的突然变化限制在一个可接受的范围内。

6 设计要求

6.0.1 两种柔性直流系统典型接线方案示意图：对称单极接线方案（图2）、双极接线方案（图3）。



图2 柔性直流输电对称单极接线方案示意图



图3 柔性直流输电双极接线方案示意图

6.0.8 针对本条给出典型的接地方式。

（1）交流侧经并联电抗器中性点接地：如果联接变压器阀侧绕组为角型接线时，可采用并联电抗器经电阻接地方式，如图4所示。

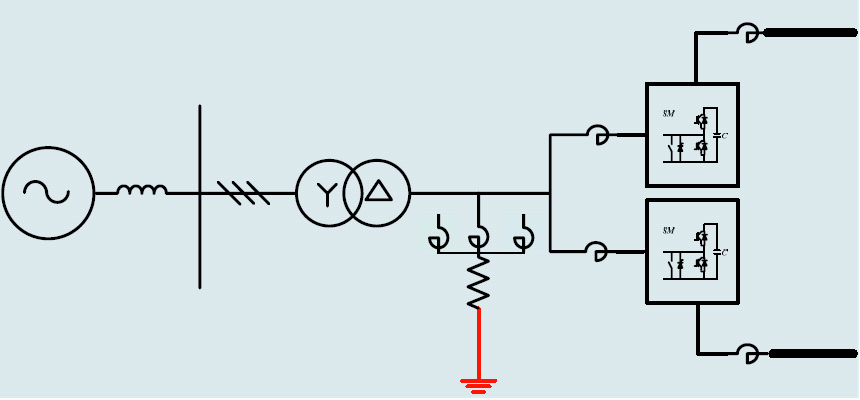


图4 通过并联电抗器中性点接地

（2）交流侧经变压器星型绕组中性点接地：如果联接变压器阀侧采用星型绕组，阀侧可通过星型绕组中性点经接地电阻接地，其接线方式如图5所示。

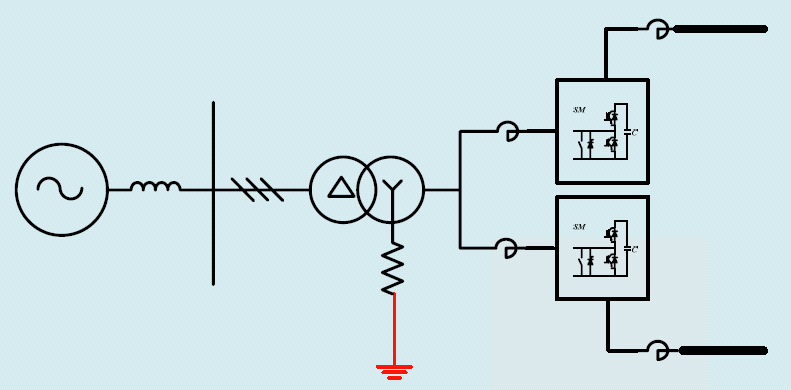


图5 联接变压器星型绕组中性点接地

（3）直流侧经中性母线连接接地极或站内地网：接线方式类似传统直流接线方式，如图6和图7。考虑到应对不同运行方式切换，通常在中性线区域设置中性母线开关（NBS），并在一端换流站的金属回流线上设置中性母线接地开关（NBGS）和接地回线转换开关（GRTS）。

8 过电压和绝缘配合

8.1研究内容

8.1.1 换流站过电压保护装置主要为无间隙金属氧化物避雷器。

8.2避雷器的配置原则

8.2.3 直流电抗器线路侧的设备通常由直流极线DL避雷器保护；阀顶区域故障通常由极母线DB避雷器保护；VSC阀与桥臂电抗间电气点及相关设备通常由LV避雷器保护；联接（换流）变压器阀侧和接地点母线通常由AV避雷器保护。图6和图7分别给出了典型的双极和对称单极柔性直流换流站的避雷器典型布置示意图。根据具体工程，可适当删减或增加某种类型的避雷器。



其中：

|  |  |
| --- | --- |
| A 典型交流侧避雷器； | LV 器型桥臂电抗阀侧避雷器； |
| AV 侧避联接（换流）变压器阀侧避雷器； | DB ）变直流极母线避雷器； |
| AR 避雷桥臂电抗端子间避雷器； | DL 子间直流线路避雷器； |
| EL/EM /E接地极线路/金属回线避雷器。 | CBN1、CBN2、E N2中性母线避雷器； |
| V0 雷器联接（换流）变压器网侧中性点避雷器； |  |

图6 双极柔性直流换流站典型的避雷器布置示意图



其中：

|  |  |
| --- | --- |
| A 流换交流侧避雷器； | LV 器换桥臂电抗阀侧避雷器； |
| AV 侧避联接（换流）变压器阀侧避雷器； | DB ）变直流极母线避雷器； |
| AR 避雷桥臂电抗端子间避雷器。 | DL 直流线路避雷器； |
| NV 雷器联接（换流）变压器阀侧中性点避雷器； |  |

图7 对称单极柔性直流换流站典型的避雷器布置示意图

1. 图6和图7符号说明

|  |  |
| --- | --- |
| 符号 | 说明 |
|  | VSC阀组 |
|  | 避雷器 |
|  | 电抗器 |
|  | 电阻器 |
|  | 双绕组联接（换流）变压器 |
|  | 接地 |

8.5 绝缘水平

8.5.2 换流站设备采用的最小绝缘裕度建议按表8.5.2选取。

表2 换流站设备采用的最小绝缘裕度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 油绝缘(阀侧) | 空气绝缘 | 极线设备 | VSC阀和中性线设备 |
| 陡波 | 25% | 25% | 25% | 25% |
| 雷击 | 25% | 25% | 25% | 20% |
| 操作 | 20% | 20% | 20% | 15% |

8.6 爬电比距

8.6.1 换流站所处位置的自然积污水平决定了绝缘子的爬电比距。

8.6.5 由于直流电压下积污较交流电压下的严重得多，因此直流设备的爬电比距也比交流设备的大得多。

9 暂态电流计算

9.0.1 暂态电流计算的目的在于确定换流站设备承受的最大电流应力，并为保护研究提供基础数据

9.0.4 暂态电流计算有两种手段：解析计算方法和仿真计算方法。解析方法的优点是计算速度快，可以实现故障工况和运行方式多种组合下的扫描计算，数学机理较清晰便于分析问题，但前期建模和数学推导较困难；仿真方法速度较慢，但在复杂系统条件下可实现建模较容易。在工程计算中通常两种方法结合来用。

10 通信系统干扰

10.0.2~10.0.4 无线电干扰的限制和要求与传统直流工程工程设计要求一致。

10.0.4 规定电平的测量是在标准频带宽度为3 kHz，通过适当的耦合回路将一个75 Ω电阻负荷跨接在输电线上，并在载波频率处调谐为最大传递功率。

11 噪声要求

11.0.1~11.0.4 噪声要求事实上是一个统筹性工程，需从换流站整体考虑。

12 可靠性和可用率

12.0.7~12.0.8 由于柔性直流工程实际运行经验较少且IGBT等核心部件较为娇贵，故柔性直流工程的可靠性和可用率整体要比传统直流工程稍差。

13 换流站一次设备参数要求

13.7 直流开关

13.7.1 目前直流断路器的技术路线有多种，所以成套设计主要从系统要求的角度提相关主设备要求。

14 换流站控制保护系统

14.2换流站控制保护系统总体要求

14.2.2 对本条第3款的说明：对软、硬件结构进行优化设计的目的是保证系统各部分的负载分布合理，运行可靠，各子系统间独立，使各层次之间的耦合关系尽量减少，避免某一部分的故障影响整个系统的运行。

14.3运行人员控制系统

14.3.2 对本条第2款的说明：具体建议参照《信息技术.便携式操作系统接口(POSIX).第1部分:系统应用程序接口(API).C语言》IEEE 1003.1-1996

14.3.3 对本条第1款第1）项的说明：在试验、验收以及紧急状况下，允许运行人员在就地控制系统或设备就地进行安全可靠的操作；控制位置可设为远方调度中心、换流站控制室或站内设备就地，如果需要，还可设有后备调度中心，或区域内具有多个换流站时确定的主控站等控制位置。

对本条第1款第4）项的说明：有功类控制采用定直流电压/定有功功率运行；无功类控制采用定交流电压/定无功功率运行；对于直流电压，可有全压和降压运行方式，降压运行值根据系统性能要求确定；如果直流工程有孤岛运行方式的特殊要求，则需要采用定交流电压幅值/频率的控制方式。

对本条第1款第5）项的说明：试验方式一般包括空载加压试验、功率/电压阶跃试验、过负荷试验等。

对本条第2款的说明：监视内容一般包括：柔性直流系统实时运行方式和运行值（交流电压、交流电流、直流电压、直流电流、联接（换流）变分接头位置、调制比等），站内各设备的状态和运行参数（换流器、变压器、桥臂电抗、阀冷却系统、站用电系统、控制保护系统等），运行控制指令（所有运行操作指令的发出、执行及完成或中断情况等），事件顺序和中央报警、趋势记录、在线谐波监视等。

对本条第4款的说明：顺序事件记录设计要求如下：运行人员控制系统的数据采集/通信、事件处理功能和显示存储等功能宜满足运行要求的事件记录、报警和趋势记录功能，历史数据的存贮能力宜满足工程需求。

14.4 交直流站控系统

14.4.2 对本条第2款的说明：需要对模拟量数据采集功能提出量值范围、误差分配、分辨率及精度、越限报警、追忆记录等设计要求。对开关量数据采集功能提出数据扫描频率、传输频率、异常报警信息等设计要求。

如果需要，数据总线可实行分网和分段，其分网和分段之间的信息通信应符合其相关硬件的特性。

数据采集系统应具有剔除数据中的奇异项、对数据的干扰进行数字滤波和平滑处理，或隔离措施的功能。

14.4.3 对本条第1款的说明：连锁方式包括运行人员操作联锁、检修钥匙联锁和设备联锁，以确保不带负荷闭合隔离开关、不带负荷拉开隔离开关、接地开关合闸时不闭合隔离开关、当母线或设备带电时不操作接地开关、人员不误入带电间隔、操作不违反顺控原则等。

对本条第5款的说明：谐波监视量包括交流母线上1次～50次谐波分量、直流线路上的等效干扰电流值。

对本条第6款的说明：如果系统控制设有主控功能，则需要接收来自交流系统或主控中心的控制命令。

14.5 直流控制系统

14.5.2对本条第2款第1）项的说明：工程中一般使用直流功率/直流电流指令阶跃变化的响应来评判控制系统动态响应特性。柔性直流系统的动态性能时间常数主要取决于控制系统、测量系统以及直流回路等部分的时间常数，在50ms～150ms的范围之内；对于不同的交、柔性直流系统条件，直流功率/直流电流指令阶跃变化的响应和影响均有区别，应对此进行详细研究，制定各种工况下直流功率变化及其变化速率的允许范围；控制系统阶跃响应的定值在综合考虑上述因素后优化确定。

对本条第2款第2）项的说明：这些精度取决于测量装置精度，以及控制系统本身各环节的精度，如定值分辨率、模数转换和系统内部计算精度等。直流电流的控制精度为±0.5% 、直流功率的控制精度为±1%。

对本条第2款第6）项的说明：一般包括硬件故障、软件故障、通信故障的自检；宜区分轻微故障、严重故障并明确显示，最大限度地避免直流系统停运。

14.6直流保护系统

14.6.4对本条第1款的说明：交流连接母线区可根据工程设计选择配置交流连接母线差动保护、交流连接母线过流保护、启动回路热过载保护、启动回路差动保护、交流连接母线接地保护、中性点电阻（如有）热过载保护、交流低电压保护、交流过电压保护等保护功能。

对本条第2款的说明：可根据工程设计选择配置桥臂过流保护、桥臂电抗器差动保护、桥臂电抗器谐波保护、换流器差动保护、换流器直流过流保护、桥臂环流保护等保护功能。

对本条第3款的说明：可根据工程设计选择选择配置以下保护功能：直流低电压保护、直流过电压保护、直流场接地过流保护、谐波保护、直流过流保护、直流中性母线差动保护、直流极差动保护、中性母线开关（NBS）保护等保护功能。

对本条第4款的说明：可根据工程设计选择配置双极中线差动保护、后备站内接地过流保护、金属回线接地保护、站内接地开关（NBGS）保护、后备站内接地开关（NBGS）保护、金属回线转换开关（MRTB）保护、后备金属回线转换开关（MRTB）保护、大地回线转换开关（GRTS）保护、后备大地回线转换开关（GRTS）保护、接地极线过流保护、接地极线不平衡等保护功能。

对本条第5款的说明：可根据工程设计选择配置联接（换流）变及引线差动保护、联接（换流）变差动保护、联接（换流）变绕组差动保护、联接（换流）变引线差动保护、联接（换流）变过流保护、联接（换流）变过压保护、联接（换流）变过激磁保护、联接（换流）变过负荷、阻抗保护、零序保护等保护功能。联接（换流）变变压器保护还应具备介绍联接（换流）变压器本体非电量保的信息和保护要求。

对本条第6款的说明：可根据工程设计选择配置直流线路行波保护、线路电压突变量保护、金属回线横差保护、金属回线纵差保护等保护功能。

14.7远动通信系统

14.7.2对本条第2款的说明：每个信号都需各自满足此可靠性水平，而非与冗余信号通道上所传输的信号比较后再达到该水平。

14.7.3对本条第2款的说明：误码检测功能是指在系统的接收端自动地对信号中的单位、多位和字句误码进行检测和计数。该功能还能监视每个独立的信号通道，并可用来进行性能检测和维修。该功能还能对接收的信息与误码信息进行计算，以监测到实际的残余误码率，并将此误码率与一个可在适当范围内进行调整的误码率基准值做出比较。

14.10故障录波系统

14.10.2对本条第2款第1）项的说明：记录的带时标的数据误差应不大于1ms。

对本条第2款第2）项的说明：记录时间和采样频率宜满足以下要求：扰动前数据记录时间≥40 ms，扰动后记录时间≥20 s，大扰动后中期数据记录时间≥0.ls；对用于故障分析和谐波分析的信号的采样频率不低10000Hz；交流录波通道的采样频率不低于5000Hz；直流录波通道的采样频率不低于10000Hz。

14.11保护故障录波信息管理子站

14.11.1对本条第2款的说明：站内每套交流、直流保护设备自身或通过接口转换装置提供一个独立的以太网口，接入以太网交换机组成专用的以太网段（保护子网）上送数据给保信子站。