

团 体 标 准

T/CSEE 0280—2021

中压柔性直流配电网成套设计规范

Specification of system design for middle voltage direct current
(MVDC) distribution network using voltage sourced converters(VSC)



2021-09-17发布

2021-12-01实施

中国电机工程学会 发布

团 体 标 准
中压柔性直流配电网成套设计规范

T/CSEE 0280—2021

*

中国电力出版社出版、印刷、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2022年5月第一版 2022年5月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 2印张 64千字

*

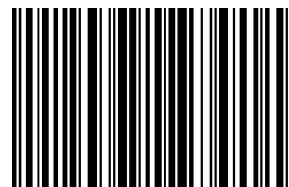
统一书号 155198·4183 定价 50.00元

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



中国电机工程学会官方微信



155198.4183

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
4.1 系统设计	2
4.2 相关设备或子系统技术规范	3
5 设计条件	3
5.1 环境条件	3
5.2 系统条件	4
6 设计要求	4
6.1 额定值	4
6.2 稳态性能要求	4
6.3 柔性直流配电网运行方式和控制模式的设计	4
6.4 动态性能要求	5
6.5 无功补偿和电压控制	6
6.6 谐波性能要求	6
6.7 通信系统干扰	7
6.8 可听噪声	7
6.9 设计损耗	7
6.10 可用率和可靠性	7
7 过电压与绝缘配合	8
7.1 概述	8
7.2 避雷器配置的基本原则	8
7.3 暂时过电压要求	8
7.4 过电压的确定	9
7.5 避雷器性能要求	9
7.6 绝缘水平	9
7.7 空气间隙	10
7.8 爬电比距	10
8 一次设备参数及要求	10
8.1 柔性直流换流器	10
8.2 桥臂电抗器	10
8.3 换流变压器	10
8.4 直流电抗器	10
8.5 直流变压器（如有）	10
8.6 测量装置	11
8.7 启动电阻	11

T/CSEE 0280—2021

8.8	接地相关设备	11
8.9	避雷器	12
8.10	直流开关设备	12
8.11	交流开关设备	12
9	换流站控制保护系统	13
9.1	概述	13
9.2	运行人员控制系统	13
9.3	直流控制保护系统	14
9.4	换流站主时钟系统	20
9.5	调度自动化和直流远动系统	20
9.6	换流站故障录波系统	20
9.7	电能量计量系统终端	20
9.8	可靠性要求	20
9.9	接口要求	21
9.10	换流站控制保护系统试验要求	21
10	与低压直流电网的接口	22
10.1	概述	22
10.2	一般要求	22
10.3	控制要求	22
10.4	保护要求	22
10.5	能量管理（如有）	22
11	辅助系统要求	23
11.1	站用电系统	23
11.2	阀冷却系统	23
11.3	消防系统	23
11.4	采暖、通风和空气调节	24
附录 A（资料性）	柔性直流配电网控制保护设备典型系统架构	25
附录 B（资料性）	动态性能指标	26
附录 C（资料性）	柔性直流配电网典型保护分区	27
参考文献		28

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》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直流输电与电力电子专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：南方电网科学研究院有限责任公司、广东电网有限责任公司珠海供电局、南方电网电力科技股份有限公司、深圳供电局有限公司、贵州电网有限责任公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、清华大学、浙江大学、华南理工大学、北京四方继保自动化股份有限公司、南京南瑞继保电气有限公司、许继电气股份有限公司、特变电工西安电气科技有限公司、山东泰开高压开关有限公司、思源电气股份有限公司、广东必达电器有限公司、珠海瓦特电力设备有限公司。

本文件主要起草人：韦甜柳、陈建福、刘尧、陈锐、李岩、李巍巍、许树楷、简翔浩、游涛、赵宇明、余占清、徐习东、韩永霞、许烽、张效宇、屈鲁、宋强、董华梁、谢晔源、高仕龙、郭博宁、张超树、阮绵晖、谭喆、刘仁亮、杨昆、孙文星、岑义顺、张志成、何洪亮、陈勇、徐玉韬、喻松涛、何智鹏、陈夏、涂小涛、王静、刘云栋、郑文博、刘韬、张磊、裴星宇、李建标、杨锐雄、肖国锋、徐中亚、李颖、李文晖、魏强。

本文件为首次发布。

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）。

中压柔性直流配电网成套设计规范

1 范围

本文件规定了 $\pm 1.5\text{ kV}\sim\pm 50\text{ kV}$ 中压柔性直流配电网成套设计的总体要求、设计条件、设计要求、过电压与绝缘配合、一次设备参数及要求、换流站控制保护系统、与低压直流电网的接口和辅助系统要求。

本文件适用于基于模块化多电平换流器结构的柔性直流配电网的系统研究与成套设计，不包括直流线路和接地极线路设计的内容，其他拓扑结构的柔性直流配电工程可参考执行。对于某些工程特殊的要求，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。

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 311.1 绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则
- GB/T 311.2 绝缘配合 第2部分：使用导则
- GB/T 311.3 绝缘配合 第3部分：高压直流换流站绝缘配合程序
- GB/T 1984 高压交流断路器
- GB/T 1985 高压交流隔离开关和接地开关
- GB 3096 声环境质量标准
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB/T 13498 高压直流输电术语
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 17248.3 声学 机器和设备发射的噪声 采用近似环境修正测定工作位置和其他指定位置的发射声压级
- GB/T 20989 高压直流换流站损耗的确定
- GB/T 26218（所有部分）污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定
- GB/T 34118 高压直流系统用电压源换流器术语
- GB/T 35702.1 高压直流系统用电压源换流器阀损耗 第1部分：一般要求
- GB/T 35703—2017 柔性直流输电系统成套设计规范
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
- GB 50140 建筑灭火器配置设计规范
- GB 50229 火力发电厂与变电站设计防火标准
- GB 50974 消防给水及消火栓系统技术规范
- DL/T 1563 中压配电网可靠性评估导则

3 术语和定义

GB/T 13498 和 GB/T 34118 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性直流配电网 VSC-DC distribution network

采用柔性直流方式实现与用户及电气设备交换电能的配电网，主要拓扑可分为环状结构、放射状结构与两端配电结构。

3.2

直流变压器 DC transformer

基于电力电子变换技术，实现中压柔性直流配电网中不同直流电压变换的电力设备。

3.3

直流谐波 DC harmonics

在恒定的直流电压或电流中叠加的交流成分。

3.4

直流开关站 DC switching station

一般是由上级换流站直供、出线配置带保护功能的直流断路器或负荷开关、隔离开关，对功率进行再分配的直流配电设备及土建设施的总称，相当于换流站直流母线的延伸。

3.5

直流配电站 DC substation

用直流变压器将两个或多个不同电压等级直流系统连接起来的配电站。

3.6

能量管理系统 energy management system

提供了使柔性直流配电网有效运行的功能，以保证用最小的成本提供足够安全的电能的硬件和软件系统。

[来源：T/CSEE/Z 0064—2017，3.6]

4 总体要求

4.1 系统设计

柔性直流配电网成套设计应将柔性直流配电网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。系统设计应主要完成以下工作：

- a) 主回路设计：
 - 1) 确定换流站功率运行曲线；
 - 2) 确定柔性直流配电网的接线方式和运行方式；
 - 3) 制定柔性直流配电网基本运行控制策略并进行主回路参数计算；
 - 4) 关键设备负载能力研究。
- b) 暂态性能设计：
 - 1) 过电压和绝缘配合计算；
 - 2) 暂时过电压和铁磁谐振过电压计算；
 - 3) 暂态电流计算。
- c) 系统性能设计：
 - 1) 接入交流系统潮流稳定及附加控制研究；
 - 2) 动态性能研究，以确定换流器的控制功能和控制参数；
 - 3) 换流站损耗计算；
 - 4) 系统过负荷能力研究；
 - 5) 可用率和可靠性计算；

- 6) 换流站可听噪声计算;
 - 7) 电磁干扰研究;
 - 8) 交流谐波特性计算;
 - 9) 直流谐波特性计算;
 - 10) 无功功率和电压控制。
- d) 滤波器设计 (如有)。
- e) 控制保护系统设计:
- 1) 分层结构, 根据电压等级可选择双重化设计;
 - 2) 控制功能配置及参数优化设计;
 - 3) 附加控制功能和参数优化要求;
 - 4) 柔性直流保护的分区、配置、冗余设计及保护定值研究;
 - 5) 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。

根据具体工程的要求可增减相关的研究设计项目。

4.2 相关设备或子系统技术规范

在上述系统设计的基础上完成相关设备或子系统技术规范, 包括但不限于:

- a) 一次设备:
- 1) 柔性直流换流器 (含阀控);
 - 2) 桥臂电抗器;
 - 3) 换流变压器;
 - 4) 直流电抗器;
 - 5) 直流变压器 (如有);
 - 6) 测量设备;
 - 7) 启动电阻;
 - 8) 接地设备;
 - 9) 避雷器;
 - 10) 开关设备。
- b) 二次设备:
- 1) 换流站运行人员控制系统;
 - 2) 直流控制系统;
 - 3) 交、直流站控系统;
 - 4) 直流保护系统;
 - 5) 暂态故障录波系统;
 - 6) 保护信息管理子站;
 - 7) 电能量计费系统终端设备;
 - 8) 调度自动化和直流远动系统;
 - 9) 换流站主时钟系统;
 - 10) 辅助系统 (包括站用电系统、阀冷却系统和暖通系统)。

5 设计条件

5.1 环境条件

气象条件、污秽水平、地震和水文地质数据应符合 GB/T 35703—2017 中 5.1 的规定。

5.2 系统条件

5.2.1 系统概况

根据交流、直流系统的不同运行方式，需要明确交流、直流系统的概况。对系统的描述应明确柔性直流配电网投产年、设计水平年及远景年的系统情况，主要包括：

- 交流、直流系统投产计划；
- 柔性直流配电网接入交流配电网的状况（本期和远期），包括线路规模、线路参数长度、与交流配电网和直流系统相关的电源和负荷。

5.2.2 系统数据

交流系统数据应符合 GB/T 35703—2017 中 5.3 的规定。

给出直流负荷、直流线路数据，直流线路数据包括起止点、电压等级、回路数、额定电流、线路长度等。直流线路数据应符合 GB/T 35703—2017 中 5.4.2 的规定。

6 设计要求

6.1 额定值

柔性直流配电网的连续运行及主回路参数计算应符合 GB/T 35703—2017 中 6.1 的规定。

6.2 稳态性能要求

6.2.1 功率运行曲线

柔性直流换流站的输出功率受到功率器件通流能力、配电网负荷与调制范围的约束，在不同系统条件下表现出不同的功率输出能力。应根据极端系统条件绘制换流站功率运行曲线，明确换流站运行功率范围。

6.2.2 最大无功功率输出能力

在中压柔性直流配电网传输额定功率的情况下，换流站可输出的最大无功功率为换流站在正常系统条件下运行应保障的基本无功功率输出能力，基本无功功率输出应考虑交流配电网无功调节需求。

6.3 柔性直流配电网运行方式和控制模式的设计

6.3.1 运行方式

根据工程的具体要求在以下方式进行组合确定。

- a) 按照功率传输方向分为：
 - 1) 功率正向传输方式；
 - 2) 功率反向传输方式；
 - 3) 静止同步补偿（STATCOM）运行方式。
- b) 按运行接线方式可分为：
 - 1) 单端带负荷运行；
 - 2) 双端运行；
 - 3) 多端联网运行。

6.3.2 运行控制模式及基本运行控制策略

6.3.2.1 一般要求

为了使柔性直流配电网具有规定的动态性能，系统设计基本要求应符合 GB/T 35703—2017 中 6.3.2.1 的规定，同时应考虑即插即用等特殊设备的控制保护功能，如直流变压器、直流开关设备的控制保护功能等，并进行优化，以满足规定的响应特性。

6.3.2.2 运行控制模式

6.3.2.2.1 直流电压控制

直流电压控制应符合 GB/T 35703—2017 中 6.3.2.2.1 的规定。

6.3.2.2.2 有功功率/无功功率控制

有功功率/无功功率控制应符合 GB/T 35703—2017 中 6.3.2.2.2 的规定。

6.3.2.2.3 交流电压/频率控制

交流电压/频率控制应符合 GB/T 35703—2017 中 6.3.2.2.3 的规定。

6.3.2.2.4 交直流备自投控制

交直流备自投控制利用交直流混合配电网协调控制策略，当某一端交流变电站的低压侧交流母线全部失压时，各换流站同步切换直流系统运行方式与控制模式，实现柔性直流配电网给失电交流母线快速供电的目的。

6.3.3 柔性直流配电网启动方式及要求

6.3.3.1 柔性直流配电网启动方式

设计的启动方式要求包括：

- a) 柔性直流配电网启动时，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；
- b) 柔性直流配电网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直流侧充电启动；
- c) 柔性直流配电网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）；
- d) 柔性直流配电网的整体启动可采用一键顺控的自动启动。

6.3.3.2 启动控制要求

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

6.4 动态性能要求

6.4.1 直流系统响应

6.4.1.1 响应要求

各控制器响应要求应符合 GB/T 35703—2017 中 6.4.1.1 的规定。

6.4.1.2 交流系统故障后响应

交流系统故障后中压柔性直流配电网的响应符合 GB/T 35703—2017 中 6.4.1.2 的规定。

6.4.1.3 配电网直流线路故障响应

直流线路故障响应包括以下内容：

- a) 在直流线路单极故障情况下，保护应能给出定位的故障线路编号并给出故障告警或跳闸信号；
- b) 在直流线路极间故障情况下，保护应满足快速准确性要求，保护出口应与换流阀闭锁、直流断路器开断动作时序实现协调配合，可靠、快速地实现故障选线与切除；
- c) 在直流线路高阻接地故障情况下，应能定位故障线路并给出告警信号。

6.4.2 直流系统响应性能的验证

直流系统响应性能的验证应符合 GB/T 35703—2017 中 6.4.2 的规定。

6.5 无功补偿和电压控制

无功补偿和电压控制功能应符合 GB/T 35703—2017 中 6.5 的规定。

6.6 谐波性能要求

6.6.1 交流侧谐波要求

交流侧谐波要求应符合 GB/T 35703—2017 中 6.6.1 的规定。

6.6.2 直流侧谐波要求

6.6.2.1 等效干扰电流值

直流侧谐波等效干扰电流值应符合以下要求：

- a) 直流线路采用架空线，直流侧谐波等效干扰电流值要求应符合 GB/T 35703—2017 中 6.6.2 的规定；
- b) 直流线路采用电缆，不需要考虑直流侧谐波等效干扰电流值。

6.6.2.2 直流谐波要求

为与工频相对应，按工频及其倍数分为 1 次谐波、2 次谐波、……、 k 次谐波。为衡量电压或电流谐波含量，定义第 h 次谐波含有率 HRA_h 、谐波含量 A_H 、谐波总畸变率 THDA 等指标，其表达式如式 (1) 所示。

$$\left\{ \begin{array}{l} HRA_h = \frac{A_h}{A_d} \times 100\% \\ A_H = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} (A_h)^2} \\ THDA = \frac{A_H}{A_d} \end{array} \right. \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- A_h ——第 h 次谐波电压或电流方均根值；
- A_d ——直流母线电压或电流方均根值；
- A_H ——谐波含量，建议谐波次数计算到 100 次。

参考 GB/T 14549，换流站直流侧电压及电流畸变限值标准一般选用的典型范围： HRA_h 一般为 0.5%~1.5%，典型值为 1%。根据系统背景谐波情况，可对不同次数的谐波采用不同的要求，如奇次谐波、低次谐波（3 次、5 次）采用较高的值等。THDA 一般为 1%~3%。

6.7 通信系统干扰

6.7.1 概述

应提供必要的设备，确保不因干扰影响而发生系统误动作，损坏或危及任何设备，保障系统和人身安全。

6.7.2 无线电干扰

无线电干扰应符合 GB/T 35703—2017 中 6.8.2 的规定。

6.7.3 电视干扰性能指标要求

电视干扰性能指标要求应符合 GB/T 35703—2017 中 6.8.3 的规定。

6.7.4 对电力载波通信和通信明线的干扰指标要求

对电力载波通信和通信明线的干扰指标要求应符合 GB/T 35703—2017 中 6.8.4 的规定。

6.8 可听噪声

6.8.1 限值要求和依据

换流站和直流线路的声环境限值应满足 GB 3096、GB 12348 的规定。

6.8.2 测量设备及布置

换流站和直流线路的声环境测量设备的技术指标及布置方式按照 GB 3096、GB 12348 和 GB/T 17248.3 等相关标准执行。

在换流站设计过程中应进行噪声预测，如不能满足要求，应对设计方案进行调整，将设备布置设计和设备设计相结合控制噪声水平。对设备的噪声控制指标应反映到招标规范书中，从设备的招标、设计、制造、安装、试验各方面控制噪声水平。

6.8.3 设备的噪声技术要求

整体实现换流站噪声达标，需从源头对设备可听噪声进行有效控制，根据国家标准和以往柔性直流工程的设备规范，提出主要设备的噪声技术要求。

6.9 设计损耗

设计损耗按照 GB/T 35703—2017 的规定执行，其中换流阀的损耗按照 GB/T 35702.1 的规定进行计算，换流站其余设备的损耗按照 GB/T 20989 的规定进行计算。

6.10 可用率和可靠性

6.10.1 可靠性指标

可靠性指标应符合 DL/T 1563 的要求。

可靠性设计目标指标参考如下：

- a) 强迫能量不可用率 (FEU): $\leq 1\%$;
- b) 计划能量不可用率 (SEU): $\leq 1\%$;
- c) 系统平均停电频率期望值 (SAIFI): ≤ 2 次/(用户·年);
- d) 系统平均供电可靠性期望值 (ASAI): $\geq 99.9\%$ 。

6.10.2 可靠性参数

6.10.2.1 系统基础参数

柔性直流配电网可靠性评估中需要的系统基础参数如下：

- a) 拓扑结构，包括母线、线路、交直流变换器、直流变压器、直流断路器、熔断器、隔离开关、联络开关等各个设备之间的拓扑连接关系；
- b) 负荷点数据，包括负荷容量、负荷类型、用户数、负荷级别、负荷接入位置。

6.10.2.2 负荷可靠性参数

用于设计评价和用于实际柔性直流配电网性能评价的任何停运持续时间，将建立在以下基础上：

- a) 母线：故障停运率、平均故障修复时间；
- b) 线路：故障停运率、平均故障修复时间；
- c) 隔离开关：故障停运率、平均故障修复时间、平均故障定位隔离时间；
- d) 联络开关：平均故障停电联络开关切换时间；
- e) 直流断路器或熔断器：故障停运率、平均故障修复时间、平均动作时间；
- f) 交直流变换器或直流变压器：功能故障停运率、绝缘故障停运率、平均功能故障修复时间、平均绝缘故障修复时间。

注 1：交直流变换器和直流变压器的故障类型可分为功能故障和绝缘故障，区别在于控制系统故障导致电力电子设备发生功能故障时，可通过隔离开关直接将故障隔离；而当电力电子设备发生绝缘故障时，需要先断开上级断路器，再隔离故障。

注 2：交直流变换器和直流变压器发生功能故障导致负荷点停运超过 60 s 时认为该负荷点停运一次。

6.10.2.3 可靠性评估

可靠性评估流程和可靠性评估方法应符合 DL/T 1563 的要求。

7 过电压与绝缘配合

7.1 概述

成套设计应包括换流站内所有设备总体的绝缘配合，提出所有必要的保护措施。保护措施包括无间隙氧化锌避雷器、特殊的控制功能和其他形式的保护。

成套设计的主要内容有换流站避雷器的配置、过电压的确定、避雷器要求、设备的绝缘水平、空气间隙要求、爬电比距及开关场雷电保护要求等。

7.2 避雷器配置的基本原则

换流站避雷器配置的基本原则应符合 GB/T 35703—2017 中 8.2 的规定。

7.3 暂时过电压要求

换流站直流换流设备和换流阀的暂时过电压要求应符合 GB/T 35703—2017 中 8.3 的规定。

7.4 过电压的确定

7.4.1 概述

成套设计应通过数字模拟进行详细的过电压研究，以确定系统中可能出现的最大过电压。

确定绝缘耐受水平、避雷器配置、保护水平及能量额定值的依据应包括 7.3 中给出的暂时过电压和下述过电压。

7.4.2 交流侧的操作过电压和暂时过电压

换流站交流侧应考虑的操作过电压和暂时过电压应符合 GB/T 35703—2017 中 8.4.2 的规定。

7.4.3 直流侧的操作过电压和故障引起的暂时过电压

换流站直流侧应考虑的操作过电压和故障引起的暂时过电压应符合 GB/T 35703—2017 中 8.4.3 的规定。

7.4.4 雷电过电压和陡波前冲击过电压

换流站应考虑雷电过电压和陡波前冲击过电压应符合 GB/T 35703—2017 中 8.4.4 的规定。

7.5 避雷器性能要求

换流站的避雷器性能要求应符合 GB/T 35703—2017 中 8.5 的规定。

7.6 绝缘水平

交流设备的绝缘配合按照 GB/T 311.1 的规定执行。

换流站设备的绝缘配合按照 GB/T 311.3 的规定执行，设备配合耐受电压的最小绝缘裕度从提高设备可靠性和经济性的角度考虑，见表 1，配合裕度仅适用于由紧靠的避雷器直接保护的设备。

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）的比值不应大于 0.83。所有计算出的试验水平应靠至高一级的标准试验水平。

对于安装在海拔高于 1000 m 地区的设备，应考虑海拔修正。

表 1 换流站设备采用的最小绝缘裕度

设备		陡波前冲击耐受电压/陡波前冲击保护水平	雷电冲击耐受电压/雷电冲击保护水平	操作冲击耐受电压/操作冲击保护水平
换流阀/直流变压器		20%	15%	15%
换流变压器网侧		25%	25%	20%
换流变压器阀侧		25%	20%	15%
换流器内其他设备		25%	20%	15%
直流断路器	混合式/固态式	15%	15%	15%
	机械式	25%	20%	15%

当不考虑换流变压器阀侧雷电侵入波过电压时，可根据换流变压器厂家的制造和运行经验来确定换流变压器阀侧操作冲击耐受电压/雷电冲击耐受电压的比值，一般为 0.83~0.97。根据国内外换流变压器和交流变压器的运行经验，较高的比值可能会导致换流变压器故障率增加，较低的比值也会带来制造困难和成本的增加。根据综合考虑确定的雷电冲击耐受电压选择保护避雷器的雷电冲击保护水平和配合电流。

7.7 空气间隙

7.7.1 交流开关场

交流设备在安排和布置时，最小空气间隙应按照 GB/T 311.1 的规定执行。

7.7.2 直流开关场

直流开关场内的最小空气间隙应按照 GB/T 311.2、GB/T 35703—2017 等相关标准确定。

7.8 爬电比距

7.8.1 概述

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。

对于安装在海拔高于 1000 m 地区的设备，应考虑海拔影响。

7.8.2 交流开关场

所有户外交流设备的爬电比距可按照 GB/T 26218（所有部分）的规定执行。一般按不小于 25.0 mm/kV 考虑，在特殊环境条件下需结合实际情况考虑。

7.8.3 阀厅和直流开关场

阀厅和直流开关场的统一爬电比距可按照 GB/T 35703—2017 中 8.8.3 的规定执行。

8 一次设备参数及要求

8.1 柔性直流换流器

成套设计应提出与柔性直流换流器相关的系统运行参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.1 的规定执行。

8.2 桥臂电抗器

成套设计应提出与桥臂电抗器有关的系统运行参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.2 的规定执行。

8.3 换流变压器

成套设计应提出与换流变压器有关的系统运行参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.3 的规定执行。

根据工程实际需要，考虑配电网换流变压器的接线方式。

8.4 直直流电抗器

成套设计应提出与直直流电抗器有关的系统运行参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.4 的规定执行。

8.5 直流变压器（如有）

成套设计应提出与直流变压器有关的系统运行参数和主要性能参数，包括但不限于下述内容：

- 损耗；
- 一次额定直流电流；
- 二次额定直流电流；
- 一次额定直流电压；
- 二次额定直流电压；
- 过负荷电流及短时过电流。

8.6 测量装置

8.6.1 直流电压测量装置

成套设计应提出与直流电压测量装置有关的系统运行参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.5.1 的规定执行。

8.6.2 直流电流测量装置

成套设计应提出与直流电流测量装置有关的系统运行参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.5.2 的规定执行。

8.6.3 交流电压互感器

成套设计应提出交流电压互感器的额定参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.5.3 的规定执行。

8.6.4 交流电流互感器

成套设计应提出交流电流互感器的额定参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.5.4 的规定执行。

8.7 启动电阻

成套设计应提出与启动电阻有关的系统运行参数和主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.6 的规定执行。

8.8 接地相关设备

8.8.1 要求

柔性直流配电换流站有多种接地方式，接地相关设备包括但不限于电阻器、电抗器和电容器，成套设计应根据不同接地方式提出相关设备的主要性能参数。

8.8.2 接地电抗器

成套设计应对接地电抗器的主要性能参数提出要求，按照 GB/T 35703—2017 中 9.7.2 的规定执行。

8.8.3 接地电阻器

成套设计应对接地电阻器的主要性能参数提出要求，按照 GB/T 35703—2017 中 9.7.3 的规定执行。

8.8.4 接地电容器

成套设计应对接地电容器的主要性能参数提出要求，按照 GB/T 35703—2017 中 9.7.4 的规定执行。

8.9 避雷器

成套设计应对避雷器的主要性能参数提出要求，按照 GB/T 35703—2017 中 9.8 的规定执行。

8.10 直流开关设备

8.10.1 直流断路器（如有）

在换流站直流母线上如安装直流断路器，成套设计应提出直流断路器的主要性能参数，包括但不限于下述内容：

- 额定直流电流；
- 额定直流电压；
- 过负荷电流；
- 最大连续直流电流；
- 直流电流通流方向；
- 开断时间；
- 清除时间；
- 瞬态开断电压峰值；
- 额定开断电流；
- 直流耐受电压；
- 冲击耐受电压；
- 分闸不同期性（如有）；
- 断口位置。

8.10.2 直流母线隔离开关

在换流站直流母线上应安装极母线隔离开关，便于极母线设备退出运行和检修，该隔离开关应为电动和手动操作。成套设计应提出直流隔离开关的主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.11.2 的规定执行。

8.10.3 阀厅内接地开关

在阀厅穿墙套管的阀厅侧应安装阀厅内接地开关，以保证阀厅内阀组设备检修时的安全；该接地开关应为电动和手动操作。该接地开关应具备机械联锁功能。成套设计应提出接地开关的主要性能参数，按照 GB/T 35703—2017 中 9.11.3 的规定执行。

8.10.4 直流旁路开关（如有）

与直流旁路开关有关的主要性能参数要求按照 GB/T 35703—2017 中 9.11.4 的规定执行。

8.10.5 直流转换开关（如有）

与直流转换开关有关的主要性能参数要求按照 GB/T 35703—2017 中 9.11.5 的规定执行。

8.11 交流开关设备

交流开关设备的设计要求和主要参数应满足 GB/T 1984、GB/T 1985 等相关标准的规定。

9 换流站控制保护系统

9.1 概述

9.1.1 控制保护系统的组成

柔性直流配电换流站的控制保护系统应包括运行人员控制系统、站级直流控制保护系统、换流站主时钟系统、交流及直流暂态故障录波系统、交流保护系统、调度自动化系统、电能量计量系统、站辅助系统的控制保护及上述系统与通信系统的接口。

柔性直流配电网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，保证柔性直流配电网的安全稳定运行，并满足系统可用率的要求。柔性直流配电换流站的控制保护系统应采用分层分布式结构，配置方案推荐采用附录 A 中图 A.1 所示典型系统架构，或其他同等功能的设计。

按照控制保护功能，将柔性直流配电网控制保护设备分为最优控制、统一控制与分布自治控制三个层次，包括：

- a) 最优控制层，包括能量优化，多源、多时空优化，管理优化调度等。
- b) 统一控制层，包括监控系统和柔性直流配电网协调控制主站设备，实现全网设备的监控、柔性直流配电网的启停控制、柔性直流配电网运行方式的切换、交直流电网协调控制、交直流故障穿越等区域控制。
- c) 分布自治控制层，包括柔性直流配电网各端的控制保护站控设备和装置级控制器（如分布式电源），其中控制保护站控设备实现柔性直流配电网的分布状态采集、分布控制、保护功能等。装置级控制器主要实现装置级的控制模式切换、电流环控制、直流电压环控制、环流抑制、装置级保护等。

对于具体的柔性直流配电网工程所要求的特殊设计，应根据该工程技术规范要求，在本文件的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。

9.1.2 控制保护系统的原则和要求

柔性直流配电换流站的控制保护系统宜采用控制保护一体化设计，控制保护系统宜采用双重化设计。

各层级控制保护功能的实际硬件配置，可根据工程具体情况而定，不同层级控制保护功能可在同一物理设备中实现，同一层级控制保护功能也可在不同物理设备中实现。交直流协调控制功能根据工程具体情况选择是否配置，通常含有可控源和储能的柔性直流配电网，可纳入交流配电网的能量管理之中，柔性直流配电网与交流配电网的交换功率、柔性直流配电网中可控源和储能的运行状态，均可作为交直流协调控制的对象。

设备应通过国家级质量检验检测中心型式试验，并在出厂试验中完成功能和性能试验，试验结果满足设计要求。

9.2 运行人员控制系统

9.2.1 功能设计要求

9.2.1.1 控制功能

控制功能应包括以下各方面的选择：

- a) 控制位置的选择。控制位置的选择应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.2.1 的规定。

- b) 系统状态的选择。系统状态的选择应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.2.1 的规定。
- c) 柔性直流配电网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。
- d) 柔性直流配电网运行控制方式的选择。柔性直流配电网运行控制方式的选择应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.2.1 的规定。
- e) 试验方式的选择。试验方式的选择应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.2.1 的规定。
- f) 启/停方式的选择。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，可采用柔性直流配电网的一键整体启停；保证系统在启停过程中平稳。

9.2.1.2 监视功能

监视功能按照 GB/T 35703—2017 中 10.2.2.2 的规定执行，同时增加直流变压器、微源设备、即插即用设备的状态和运行参数的监视内容。

9.2.1.3 人机接口

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。人机界面的软件编制应便于修改和扩展。

9.2.1.4 顺序事件记录

顺序事件记录按照 GB/T 35703—2017 中 10.2.2.4 的规定执行。

9.2.1.5 其他

包括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。

9.2.2 基本配置及性能要求

换流站基本配置及性能要求如下：

- a) 运行人员工作站、工程师工作站、站长工作站。运行人员工作站、工程师工作站、站长工作站的要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.3 的规定。
- b) 培训工作站。培训工作站的要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.3 的规定。
- c) 辅助系统监控工作站。辅助系统监控工作站的要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.3 的规定。
- d) 直流控制屏操作界面。站内直流控制屏操作界面的要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.3 的规定。
- e) 站内局域网。站内局域网的要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.3 的规定。
- f) 系统服务器。系统服务器的要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.3 的规定。
- g) 换流站文档管理系统。换流站文档管理系统的要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.3 的规定。
- h) 网络打印机。网络打印机的要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.2.3 的规定。

根据工程实际需要，站长工作站、工程师工作站、培训工作站及换流站文档管理系统、辅助系统监控工作站等可选择配置。

9.3 直流控制保护系统

9.3.1 总体要求

直流控制保护系统的设计应根据换流站主接线及参数的设计、主设备的应力、测量设备配置，并根据交直流配电系统的运行性能进行。保护区域应覆盖完全，并能保护区域内的各种故障。测量设备的配置位

置、性能也应满足控制保护系统的基本要求。

直流控制保护系统通常包括换流变压器和柔性直流配电网各设备的保护。直流控制保护系统应满足可靠性、选择性、灵敏性、速动性的基本要求，并据此进行保护原理的设计与合理的冗余配置。任一单一元件故障都不应引起保护误动或拒动。在任何运行工况下都不应使某一设备或区域失去保护。

9.3.2 控制功能设计

9.3.2.1 换流站控制系统

换流站控制系统功能通常包括：

- a) 顺序控制功能。顺序控制功能是指柔性直流配电网全网或某个节点的相关设备按照一定顺序实现相关状态转换的操作，换流站控制系统应能及时、准确接收相关指令，并传至被控设备，按接地/不接地、隔离/连接、备用/闭锁、闭锁/解锁、停运/运行等操作，顺序执行交流/直流断路器、隔离开关、接地开关的断开、闭合操作指令以及换流器等电力电子设备的解闭锁时序。根据系统状态要求、运行方式要求和控制保护动作要求，所设计的交/直流开关场顺序控制的基本流程应确保设备安全。
- b) 启动、停运控制功能。启停功能包括换流器和柔性直流配电网的启动与停运。换流器的启动是指换流器从断电状态到解锁状态的操作过程，换流器的停运是指换流器从解锁状态到断电状态的操作过程。柔性直流配电网的启动与停运，是指柔性直流配电网在断电状态与某一设定运行方式状态间的操作过程。
 - 1) 换流器启动时，闭合交流进线断路器和直流出线断路器，对处于闭锁状态的换流器进行充电。闭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，充电过程完成后解锁换流器，建立直流电压。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。
 - 2) 换流器停运时，首先应将功率降至零，闭锁换流器后，断开交流进线断路器和直流出线断路器，停运过程中，电压、电流应平稳，不出现大的过冲。此外，换流器停运还包括紧急停运，执行紧急停运操作时，换流器应立即闭锁并断开交流进线断路器和直流出线断路器。
 - 3) 多端柔性直流配电网的直流电压控制可采用主从控制、对等下垂控制等策略，对于采用主从控制的柔性直流配电网，启动过程应依次解锁直流电压控制端、有功功率控制端，停运过程应依次闭锁有功功率控制端、直流电压控制端。
 - 4) 对于采用其他直流电压控制策略的柔性直流配电网，其启停过程应按照设计要求执行。
- c) 运行方式在线转换功能。运行方式的在线转换，是指通过柔性直流配电网各换流端投退、直流变压器投退、直流线路投切以及交直流负荷、分布式电源、储能等设备的即插即用，来实现柔性直流配电网的运行方式转换，在不停运柔性直流配电网的情况下，在线实现。运行方式在线转换功能包括但不限于以下内容：
 - 1) 换流端并/离网。在柔性直流配电网稳态运行的情况下投入/退出某个换流端，交流进线断路器和直流出线断路器应正确动作，柔性直流配电网潮流不发生越限，系统应维持平稳运行。对于采用主从控制的柔性直流配电网，若退出站为直流电压控制站，则应由在运的其他换流端接管直流电压控制权。
 - 2) 直流线路投切。在柔性直流配电网稳态运行的情况下投入/切除某段直流线路，控制保护设备应能操作直流线路断路器正确动作，柔性直流配电网潮流不发生越限，且不因线路投切的暂态过电流和过电压导致系统停运。
- d) 柔性直流配电网的故障穿越、隔离与恢复功能。柔性直流配电网的控制保护设备应具备有效的故障穿越、恢复功能。

- 1) 当交流系统故障时, 根据工程的实际运行需求, 应保证直流系统中关键电力电子设备(如电压源换流器和直流变压器)不会永久闭锁, 柔性直流配电网中的一次设备不会因电气过应力而损坏。
- 2) 当柔性直流配电网直流侧发生接地故障时, 控制保护系统应能确定故障位置, 并通过跳开相应故障线路两侧开关进行有效隔离, 控制保护系统根据系统拓扑结构变化切换至新的运行方式。故障清除后, 控制保护系统应根据故障定位信息快速恢复供电。
- e) 柔性直流配电网的直流电压协调控制功能。柔性直流配电网的直流电压协调控制功能主要有两种实现方式, 即分布控制(如电压裕度梯度、电压下垂控制等)和主从控制, 无论采用何种方式, 都应保证在任何情况下柔性直流配电网的直流电压控制在设计指标内。
- f) 交直流系统协调控制功能。柔性直流配电网的控制保护设备应具备与柔性直流配电网所连交流电网的调度系统或能量管理系统通信的接口, 并能接收、执行调度系统或能量管理系统下发的设备控制命令、运行参数调节指令等。通信应采用符合电力行业标准的接口与协议。
- g) 能量管理功能。能量管理功能应根据柔性直流配电网内分布式电源、负载、储能等设备的运行状态, 基于一定的运行约束条件, 在不同运行方式下, 按照设定的优化目标, 对能量调度指令进行实时调整, 并下发至各受控设备, 实现柔性直流配电网运行稳定性与经济性的提升。指令执行后的系统电压分布、分布式电源输出功率和储能荷电状态均应维持在可行域范围内。
- h) 直流变压器的控制功能(如有)。直流变压器的控制功能至少应包括高低压侧的定电压控制以及功率控制功能。
- i) 变压器的分接开关控制功能(如有)。变压器的分接开关控制功能应符合 GB/T 35703—2017 中 10.3.2.1 的规定。
- j) 空载加压试验。空载加压试验应符合 GB/T 35703—2017 中 10.3.2.1 的规定。
- k) 监视功能。监视功能应符合 GB/T 35703—2017 中 10.3.2.1 的规定。
- l) 直流远动功能。直流控制系统中应完成各端换流站之间控制、保护信号的通信接口功能。确定各端交换信号的内容, 以及信号的传输速度和分组要求。
- m) 联锁功能。联锁功能应符合 GB/T 35703—2017 中 10.3.2.1 的规定。
- n) 自检功能。应具有自检功能, 包括设备硬件损坏、功能失效和二次回路异常运行状态的自检。自检回路应能发出告警或异常信号, 并给出有关信息指明损坏元件的所在部位, 应将故障定位至最小可更换单元。
- o) 数据采集。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。
- p) 改善系统动态性能的其他控制功能。根据系统性能要求, 还应具有暂态调压功能、暂停触发脉冲等功能要求。

9.3.2.2 换流器控制功能

换流器控制功能应符合 GB/T 35703—2017 中 10.3.2.2 的规定。

9.3.2.3 控制性能要求

直流控制保护系统的控制性能要求如下:

- a) 稳定性能要求。在规定的交流系统电压及频率变化、分布式可再生能源发电以及负荷功率波动范围内, 柔性直流配电网应具有维持稳定地传送功率的能力, 以及保持稳定运行的能力。控制保护设备在任何条件下, 都不应激发交流系统振荡。
- b) 控制精度要求。控制系统的设计应能达到稳定、无漂移的运行要求, 并能在全部稳态运行范围内, 实现被测有功、无功功率值的误差保持在额定功率的 $\pm 1\%$ 范围之内, 被测直流电压值的误差保持在额定电压的 $\pm 1\%$ 范围之内, 被测电流值的误差保持在额定电流的 $\pm 1\%$ 的范围内。

配电网暂态过程的直流电压允许偏差应满足工程运行需求。

- c) 动态性能要求。应根据柔性直流配电网的运行要求，对功率控制器、电压控制器、电流控制器等进行优化，实现系统的阶跃响应、运行方式在线转换，其他动态性能（见附录 B）应满足设计要求。其中，直流电压的阶跃响应时间不超过 80 ms，超调量不超过 30%；有功功率的阶跃响应时间不超过 80 ms，超调量不超过 30%；无功功率的阶跃响应时间不超过 20 ms，超调量不超过 30%。

9.3.3 保护区域的划分

9.3.3.1 概述

保护区域的划分应覆盖要求的全部范围和每一个设备，相邻保护区域之间应重叠。柔性直流配电网保护的覆盖范围应覆盖换流端阀侧交流连接线区域、关键换流设备、直流变压器与直流线路等。直流保护必须对保护区域的所有相关设备进行保护。柔性直流配电网保护宜按照下述分区进行功能配置。

9.3.3.2 换流端保护区

换流端保护区基本配置包括但不限于：

- a) 交流连接线保护区：包括换流变压器阀侧套管至桥臂电抗器网侧区域之间的所有设备；
- b) 换流器保护区：包括桥臂电抗器网侧至直流线路母线之间的所有设备；
- c) 直流极保护区：包括换流器直流侧出口母线及直流开关等设备；
- d) 换流变压器保护区：包括换流变压器、换流变压器网侧与交流开关场相连的交流断路器之间的所有设备。

9.3.3.3 直流变压器保护区

直流变压器保护区基本配置包括但不限于：

- a) 直流连接线保护区：包括直流变压器负荷侧直流引线至用户侧之间的所有设备；
- b) 直流变压器本体保护区：包括直流变压器本体及其所有附属设备；
- c) 直流极保护区：包括直流变压器直流侧出口母线及直流开关等设备。

9.3.3.4 直流线路保护区

直流线路保护区包括直流线路以及与其相连接的直流开关等。

9.3.3.5 即插即用设备保护区

即插即用设备保护区包括直流线路至即插即用设备之间的所有设备。

直流保护分区图，如附录 C 中图 C.1 所示。

9.3.4 保护功能设计

9.3.4.1 概述

保护功能应按照柔性直流配电网的主回路拓扑（对称单极接线、对称双极接线、接地方式）和运行方式进行配置，对不同保护分区的保护功能进行合理的分配，确保各保护区域相互交叉覆盖无死区，具备故障快速切除的主保护和相互配合的后备保护。应确定各项保护的覆盖范围和目的、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。

9.3.4.2 换流端保护区

- a) 交流连接线保护区。交流连接线保护区可根据系统情况选择配置以下保护功能：
 - 1) 交流连接线差动保护；
 - 2) 交流连接线过电流保护；
 - 3) 启动电阻过负荷保护；
 - 4) 启动电阻过电流保护；
 - 5) 交阀侧零序过电压保护；
 - 6) 中性点电阻过负荷保护；
 - 7) 换流变压器阀侧中性点过电流保护；
 - 8) 换流变压器网侧低电压保护；
 - 9) 换流变压器网侧过电压保护；
 - 10) 换流变压器网侧零序过电压保护；
 - 11) 换流变压器阀侧高频谐波。
- b) 换流器保护区。换流器保护区可根据系统情况选择配置以下保护功能：
 - 1) 桥臂差动保护；
 - 2) 桥臂过电流保护；
 - 3) 桥臂电抗器差动保护；
 - 4) 换流器差动保护；
 - 5) 桥臂电抗器谐波保护。
- c) 直流极保护区。直流极保护区可根据系统情况选择配置以下保护功能：
 - 1) 直流电压不平衡保护；
 - 2) 直流低电压过电流保护；
 - 3) 直流低电压保护；
 - 4) 直流过电压保护；
 - 5) 直流母线差动保护；
 - 6) 直流过电流保护。

9.3.4.3 直流变压器保护区

- a) 直流连接线保护区。直流连接线保护区可根据系统情况选择配置以下保护功能：
 - 1) 直流连接母线差动保护；
 - 2) 直流连接母线过电流保护；
 - 3) 柔性直流配电网接地过电流保护。
- b) 直流变压器本体保护区。直流变压器应配置完整的本体保护功能，包括以下保护功能：
 - 1) 直流变压器过电压保护；
 - 2) 直流变压器低电压保护；
 - 3) 直流变压器直流过电流保护。
- c) 直流极保护区。直流极保护区可根据系统情况选择配置以下保护功能：
 - 1) 直流电压不平衡保护；
 - 2) 直流低电压过电流保护；
 - 3) 直流低电压保护；
 - 4) 直流过电压保护；
 - 5) 直流母线差动保护；
 - 6) 直流过电流保护。

9.3.4.4 直流线路保护区

直流线路保护区可根据系统情况选择配置以下保护功能：

- a) 直流线路纵差保护；
- b) 直流线路电压突变量保护；
- c) 直流线路行波保护；
- d) 直流线路过电流保护。

9.3.4.5 即插即用设备保护区

即插即用设备保护区可根据系统情况选择配置以下保护功能：

- a) 直流电压不平衡保护；
- b) 直流低电压过电流保护；
- c) 直流低电压保护；
- d) 直流过电压保护；
- e) 直流过电流保护；
- f) 断路器失灵保护。

9.3.5 保护性能要求

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：

- a) 柔性直流配电网保护需满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的设计要求。
- b) 当交流系统运行在任何工况时，直流保护均应正确动作。
- c) 当柔性直流配电网运行在任何工况时，直流保护均应正确动作。
- d) 在直流线路金属性故障的情况下，保护应可靠、快速地实现故障选线与切除。
- e) 在直流线路高阻故障的情况下，应综合考虑接地方式、测量精度、辅助措施等条件，保护应提高直流线路高阻故障判别能力，可靠地实现故障选线与切除。
- f) 保护出口应与换流阀闭锁、直流断路器开断动作时序实现协调配合。
- g) 保护软件应具有正确的故障判据设计，采用模块化编制，具有保护软件闭锁功能。
- h) 保护动作包括启动、闭合或重合开关，启动断路器失灵保护，闭锁换流器，禁止解锁等。保护的策略应在保证尽快隔离故障设备的前提下，使柔性直流配电网产生的扰动最小，并使柔性直流配电网尽快恢复，即使直流输送功率的损失减至最小。
- i) 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，故障设备应在最短时间内退出，并将其对其他健全设备和系统的影响降至最小，应避免造成系统停运。

9.3.6 控制保护配置

控制保护基本配置应包括但不限于：

- a) 控制保护主机，包括控制功能、保护功能和自检功能；
- b) 具备与其他设备（阀控系统、阀冷却系统、换流变压器、直流变压器、直流断路器、对时系统、监控系统、保护信息子站、远动系统等）的接口、通信介质、通信接口及规约；
- c) 测量元件及回路；
- d) 应提供完善的保护，保证所供给的所有设备受到全面的保护而免受过应力，故障设备应在最短时间内退出运行，使其对系统及其他设备造成的扰动最小；

- e) 应确保在运行中在任何原因下都不会对某一设备或区域提供的保护（包括主、备保护和多重保护）全部失去；
- f) 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；
- g) 直流保护与直流控制的功能和参数应正确地协调配合；
- h) 应保证控制保护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；
- i) 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。

9.3.7 数据采集和传输的配置

数据采集和传输的配置应符合 GB/T 35703—2017 中 10.3.3.2 的规定。

9.4 换流站主时钟系统

9.4.1 总体要求

时钟同步系统应能接收全球定位系统（GPS）和北斗系统的标准时间信号并以此同步系统内各台计算机的时钟，柔性直流配电网中应配置双重化的时钟同步设备，作为换流站统一的时间基准。时间同步系统的分层结构设计及性能要求应满足运行控制保护，以及事件记录、故障录波及远动通信的对时要求。换流站主时钟系统应冗余配置。

9.4.2 功能设计

时钟同步系统的功能应符合 GB/T 35703—2017 中 10.5.2 的规定。

9.4.3 基本配置及性能要求

换流站主时钟系统的基本配置及性能要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.5.3 的规定。

9.5 调度自动化和直流远动系统

9.5.1 调度自动化系统

调度自动化系统应符合 GB/T 35703—2017 中 10.7.1 的规定。

9.5.2 直流远动系统

直流远动系统的总体要求、功能设计、配置及性能要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.7.2 的规定。

9.6 换流站故障录波系统

换流站故障录波系统的总体要求、功能设计、配置及性能要求应符合 GB/T 35703—2017 中 10.8 的规定。

9.7 电能量计量系统终端

电能量计量系统终端按照 GB/T 35703—2017 中 10.10 的规定执行。

9.8 可靠性要求

9.8.1 一般要求

控制保护系统的可靠性设计要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.11.1 的规定。

9.8.2 可靠性分析要求

控制保护系统的可靠性分析要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.11.2 的规定。

9.9 接口要求

9.9.1 总体要求

控制保护系统的接口总体要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.12.1 的规定。

9.9.2 换流站内各控制保护分系统间的接口

换流站内各控制保护分系统间的接口要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.12.2 的规定。

9.9.3 控制保护系统与主设备的接口

控制保护系统与换流站主设备的接口主要包括：

- a) 与测量装置的接口，包括与交流电压互感器、交流电流互感器、直流电压互感器、直流电流互感器的接口；
- b) 与阀控系统的接口；
- c) 与直流变压器（如有）的接口；
- d) 与直流断路器（如有）的接口；
- e) 与变压器就地控制系统（控制箱）的接口；
- f) 与电抗器就地控制系统（控制箱）的接口；
- g) 与交流断路器就地汇控柜的接口；
- h) 与交流隔离开关、接地开关就地汇控箱的接口；
- i) 与直流接地开关就地端子箱的接口。

9.9.4 控制保护系统与辅助系统的接口

换流站控制保护系统与各辅助系统的接口要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.12.4 的规定。

9.10 换流站控制保护系统试验要求

9.10.1 一般要求

换流站控制保护系统试验包括型式试验、例行试验、工厂系统试验、出厂见证试验及联调试验。

上述试验将完成对控制保护系统软硬件的设计、装配、功能、性能的全面检验。试验应符合各相关标准的要求。

9.10.2 型式试验

型式试验要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.13.2 的规定。

9.10.3 例行试验

例行试验要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.13.3 的规定。

9.10.4 工厂系统试验

工厂系统试验要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.13.4 的规定。在完成所有试验后，供应商应提

T/CSEE 0280—2021

供经过试验验证的跳闸逻辑清册。

9.10.5 出厂见证试验

出厂见证试验要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.13.5 的规定。

9.10.6 换流站控制保护系统联调试验

换流站控制保护系统联调试验要求应满足 GB/T 35703—2017 中 10.13.6 的规定。

10 与低压直流电网的接口

10.1 概述

低压直流电网用于低压直流负荷、可再生能源、储能等接入，可以是能独立运行的直流微电网。中压柔性直流配电网与低压直流电网可采用的接口设备包括直流变压器、能量路由器等。

10.2 一般要求

与低压直流电网接口的一般要求如下：

- a) 接口设备的中低压之间应进行电气隔离；
- b) 接口设备的功率方向要求：纯发电或纯负载可单向流动，直流微电网应具备双向流动能力；
- c) 接口设备在中压直流电网故障时应具备自我保护能力且不向系统提供短路能量；
- d) 可根据接口设备对中压直流故障的处理能力及自身故障的保护能力考虑是否配置快速直流断路器；
- e) 接口设备应具备一定的低/高电压穿越能力；
- f) 接口设备向中压直流电网注入的纹波，有效值应小于 $\pm 0.5\%$ ，纹波峰值应小于 $\pm 1\%$ ；
- g) 接口设备应具备与电网调度机构之间进行数据通信的能力；
- h) 接口设备接入电网前，应明确计量点。

10.3 控制要求

与低压直流电网接口的控制要求如下：

- a) 接口设备的控制应与中压直流电网的控制协调配合，以确保设备和电网的安全；
- b) 接口设备在计划性退出时应减小对中压直流电网的冲击，若低压是直流微电网，则应保持微电网的持续运行；
- c) 接口设备在计划性投入时应减小对中压直流电网的冲击，若低压是直流微电网，则应保持微电网的持续运行；
- d) 在中压直流电网故障或接口设备本体故障导致接口设备非计划性退出时，若低压是直流微电网，则应保持微电网的持续运行。

10.4 保护要求

与低压直流电网接口的保护要求如下：

- a) 接口设备的保护应符合可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求；
- b) 接口设备的保护应与中压直流电网的保护协调配合，以确保设备和电网的安全；
- c) 接口设备未配置直流断路器时，接口设备的轻微故障应避免联跳中压直流电网。

10.5 能量管理（如有）

与低压直流电网接口的能量管理按照以下规定执行：

- a) 接口设备的最大交换功率值应能由中压直流电网进行限制；
- b) 接口设备的低压若是直流微电网，则其能量管理可与中压直流电网的能量管理进行互动。

11 辅助系统要求

11.1 站用电系统

11.1.1 站用电源

换流站和开关站站用电宜从站外引接两回独立电源，直流配电站宜从站外引接一回独立电源。每回站用电源均应满足全站站用负荷供电的要求。

11.1.2 站用电接线

站用电电压等级应根据低压设备绝缘水平确定选用一级或两级。

站用电采用两级电压时，应优先采用 10 kV 和 380 V/220 V。当有两回站用电源时，应具有备用电源自动投入功能，同时应设置母线故障闭锁备自投逻辑。

故障时辅助电源应具有的性能要求，以及具有冗余设备的供电要求，应符合 GB/T 35703—2017 中 11.1.2 的规定。

11.1.3 站用直流电源系统

站用直流电源系统应符合 GB/T 35703—2017 中 11.1.3 的规定。

11.1.4 站用交流不间断电源（UPS）系统

站用交流不间断电源（UPS）系统应符合 GB/T 35703—2017 中 11.1.4 的规定。

11.2 阀冷却系统

每个阀组独立设置阀冷却系统，每套阀冷却系统包括内冷系统和外冷系统。内冷系统采用密闭式循环水冷却系统，密闭式循环水采用去离子水；外冷系统应根据密闭式循环水进换流阀温度要求、环境温度、水源条件等综合因素采用蒸发型水冷却、空气冷却或空水组合冷却。阀冷却系统的冷却能力应满足换流阀散热容量的需求。阀冷却系统的部件以及监控和保护系统设计应符合 GB/T 35703—2017 中 11.2 的规定。

阀冷却系统应对流量、压力、液位、设备故障等进行监测并报警，内冷系统的电导率、进阀温度、膨胀罐液位等出现异常故障信息时还应向控制保护系统发出跳闸信号。

11.3 消防系统

11.3.1 火灾探测、报警、控制系统

火灾探测、报警、控制系统应符合 GB/T 35703—2017 中 11.3.1 的规定。

11.3.2 灭火系统的设置

中压柔性直流配电换流站消防给水和灭火系统设计应按 GB 50016 的有关规定执行，消防给水及消防栓给水系统应按 GB 50974 的有关规定执行，灭火器配置应按 GB 50140 和 GB 50229 的有关规定执行。

11.4 采暖、通风和空气调节

11.4.1 总要求

换流站、直流开关站和直流配电站的供暖、通风和空气调节设计应遵守 GB 50019 和 GB 50229 的有关规定。

11.4.2 空调系统

空调系统应符合以下要求：

- a) 换流站阀厅采用空调降温，已采用微正压保证阀体表面不凝露，空调设备应设 $N+1$ 备用，宜设置远程控制功能，阀厅设置不少于 12 次/h 的事故后通风系统。
- b) 其他工艺房间通风空调系统应根据工艺要求采用合适的温湿度控制方式。其中控制室、直流配电室、继电器室及通信设备室等工艺房间宜采用空调降温，同时设置不少于 6 次/h 的事故后通风系统。中低压配电室等房间宜采用通风降温，且通风量满足不少于 12 次/h 的事故后通风要求。
- c) 阀厅及主控室应设置温湿度监控，并提供告警信号。

附录 A (资料性)

柔性直流配电网控制保护设备典型系统架构

柔性直流配电网控制保护设备典型系统由能量管理层、监控层、主站控制层、子站控制保护层、设备级控制层组成，能量管理层实现最优控制，监控层和主站控制层实现统一控制，子站控制保护层和设备级控制层实现分布自治控制，如图 A.1 所示。

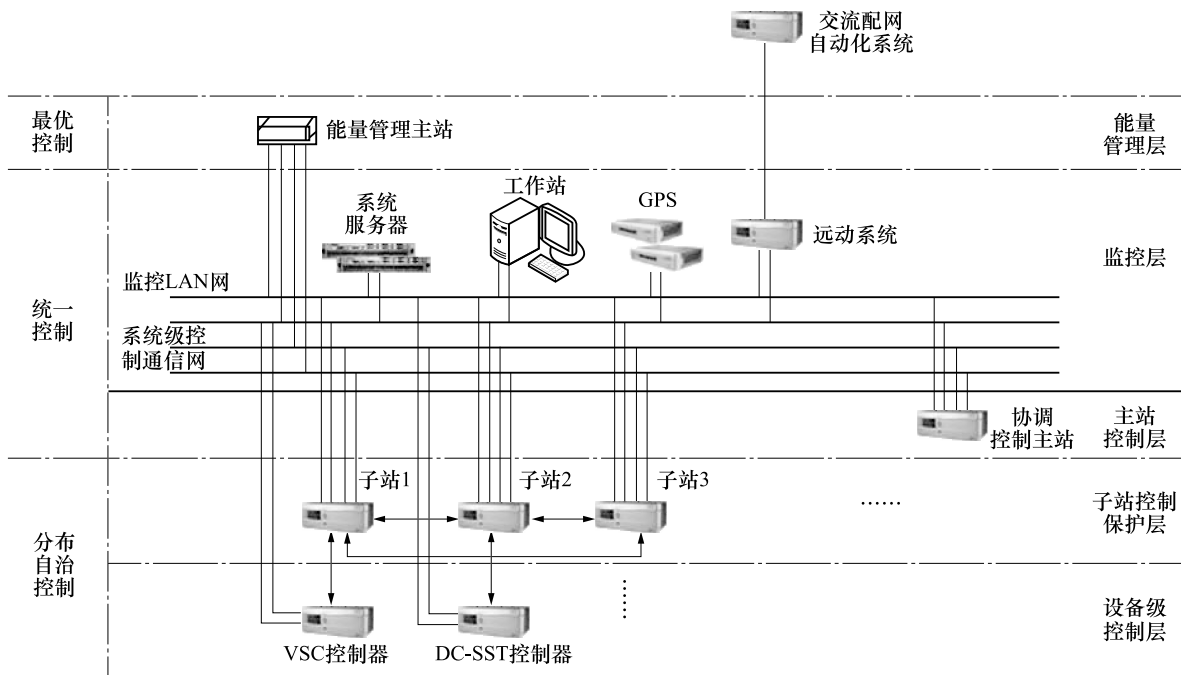


图 A.1 柔性直流配电网控制保护设备典型系统架构示意图

注 1：VSC 为电压源换流器，DC-SST 为直流变压器。

注 2：根据系统的成本与可靠性要求，VSC 控制器、DC-SST 控制器等可与子站进行一体化设计。

附录 B
(资料性)
动态性能指标

B.1 动态性能指标定义

动态性能指标定义如图 B.1 所示。

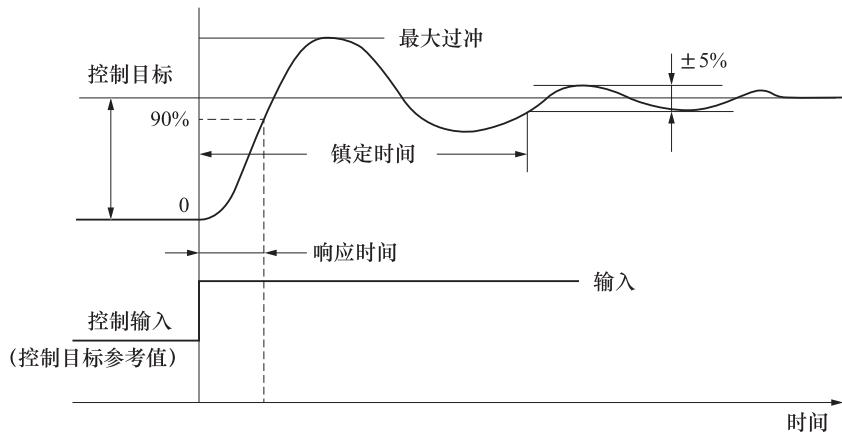


图 B.1 动态性能指标定义

B.2 响应时间

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

B.3 镇定时间

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

B.4 超调量

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

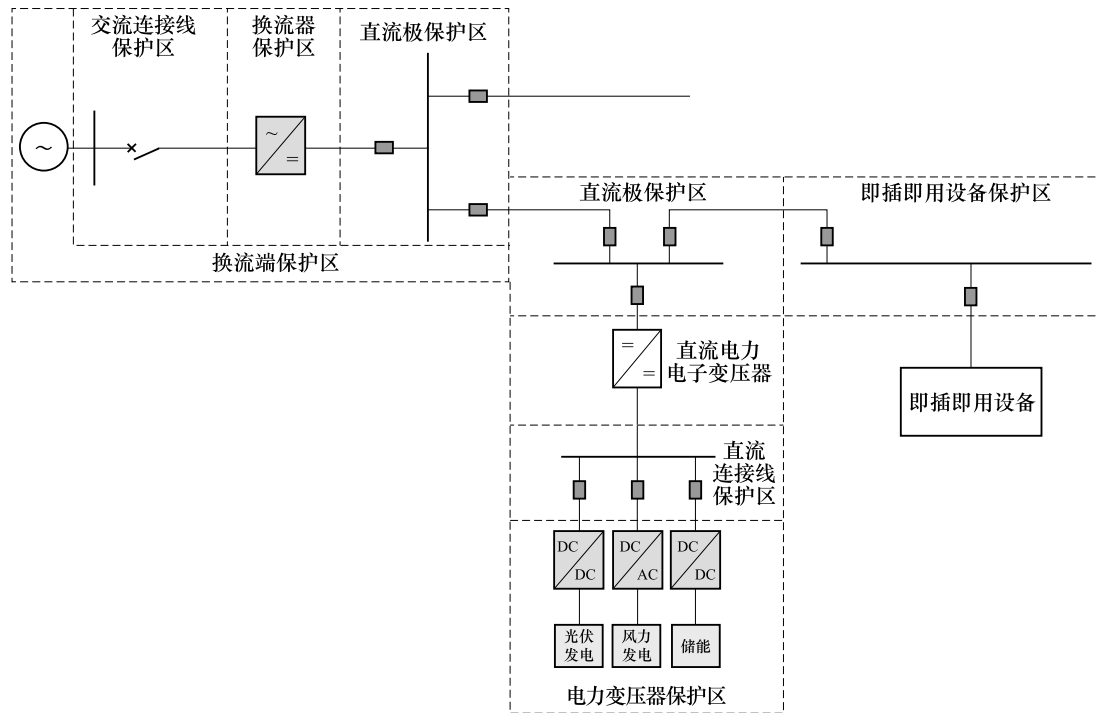
B.5 最大过冲

当输入阶跃控制信号后，柔性配电装置输出电气量第一个波峰值。

附录 C
(资料性)

柔性直流配电网典型保护分区

柔性直流配电网典型保护分区示意图如图 C.1 所示。



说明:







-  —— 柔性直流换流器;
-  —— 直流电力电子变压器;
-  —— DC/AC 变换器;
-  —— DC/DC 变换器;
-  —— 直流断路器;
-  —— 交流断路器。

图 C.1 柔性直流配电网典型保护分区示意图

参 考 文 献

- [1] GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
 - [2] GB/T 35727 中低压直流配电电压导则
 - [3] T/CSEE/Z 0064 直流配电网用直流控制与保护设备技术要求
-