
中华人民共和国电力行业标准

DL/T xxxx-202x

海上柔性直流换流站设计规程 (征求意见稿)

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

国家能源局发布

前 言

根据《国家能源局关于下达 2021 年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知》（国能综通科技[2021]92 号文）的要求，标准编制组经广泛调查研究，总结了近年来我国风电工程海上柔性直流换流站的设计经验，收集、整理和分析海上柔性直流换流站的实践经验及应用成果，并在广泛征求有关单位意见的基础上，制订本标准。

本标准共 16 章，主要内容包括：总则、术语和定义、站址及建造基地选择、交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求、电气一次、电气二次、通信、平台布置、结构、给排水、冷却系统、供暖通风及空调、消防、逃生及救生设施设计、施工组织、环境保护。

本标准由国家能源局负责管理，由.....提出，由.....负责日常管理，由中国电力工程顾问集团中南电力设计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，请寄送.....（地址：.....，邮政编码：.....）。

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：中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司、电力规划总院有限公司。

参编单位：中国南方电网超高压输电公司、南方电网能源发展研究院有限责任公司、国网经济技术研究院有限公司、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和定义.....	2
3	站址及建造基地选择.....	4
3.1	站址选择.....	4
3.2	建造基地选择.....	5
3.3	站址勘测要求.....	5
4	交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求.....	7
5	电气一次.....	8
5.1	电气主接线.....	8
5.2	主要电气设备选型.....	8
5.3	过电压保护、绝缘配合及防雷接地.....	10
5.4	电气设备布置.....	11
5.5	站用电系统.....	13
5.6	电缆选型及敷设.....	14
5.7	照明和导航.....	14
6	电气二次.....	15
6.1	监控系统.....	15
6.2	直流控制系统.....	15
6.3	直流系统保护.....	16
6.4	交流系统保护及安全自动装置.....	18
6.5	调度自动化.....	18
6.6	阀冷却控制保护系统.....	19
6.7	直流及交流不间断电源系统.....	19
6.8	辅助二次系统.....	20
6.9	二次设备布置.....	21

7	通信.....	23
8	平台布置.....	25
	8.1 布置原则.....	25
	8.2 舱室布置.....	27
	8.3 通道布置.....	28
	8.4 应急集合站布置.....	错误!未定义书签。
	8.5 登临设施布置.....	错误!未定义书签。
	8.6 其他.....	28
9	结构.....	30
	9.1 一般规定.....	30
	9.2 荷载.....	32
	9.3 材料.....	34
	9.4 主体结构.....	35
	9.5 基础.....	36
	9.6 附属设施.....	37
	9.7 结构防腐.....	38
	9.8 结构监测.....	38
10	给排水.....	40
	10.1 给水系统.....	40
	10.2 排水系统.....	40
11	冷却系统.....	42
12	供暖通风及空调.....	44
	12.1 一般规定.....	44
	12.2 供暖.....	44
	12.3 通风.....	44
	12.4 空调.....	45
13	消防.....	48

13.1	火灾自动报警系统.....	48
13.2	灭火系统.....	49
13.3	防火分区及分隔.....	53
13.4	防火门窗.....	55
14	逃生与救生设施.....	57
14.1	脱险通道.....	57
14.2	逃生与救生设备.....	57
15	施工组织.....	58
15.1	施工交通运输.....	58
15.2	主体工程施工.....	59
15.3	施工总布置.....	59
16	环境保护.....	61
16.1	一般规定.....	61
16.2	环境保护.....	61
	本标准用词说明.....	63
	引用标准名录.....	64
	附：条文说明.....	66
3	站址及建造基地选择.....	66
3.1	站址选择.....	66
3.2	建造基地选择.....	66
3.3	站址勘测要求.....	66
5	电气一次设计.....	67
5.1	电气主接线.....	67
5.2	主要设备和导体选择.....	68
5.3	过电压保护、绝缘配合与接地.....	68
5.5	站用电系统.....	69
6	电气二次.....	69

6.1	监控系统.....	69
6.2	直流控制系统.....	69
6.3	直流系统保护.....	70
6.4	交流系统保护及安全自动装置.....	70
6.5	调度自动化.....	70
6.8	辅助二次系统.....	71
7	通信.....	72
8	平台布置.....	72
8.1	布置原则.....	73
8.2	舱室布置.....	73
8.6	其他.....	73
9	结构.....	74
9.1	一般规定.....	74
9.2	荷载.....	75
9.3	材料.....	76
9.4	主体结构.....	76
9.5	基础.....	77
9.6	附属设施.....	77
10	给排水.....	77
10.1	给水系统.....	77
10.2	排水系统.....	78
13	消防.....	78
13.1	火灾探测报警系统.....	78
13.2	灭火系统.....	78
14	逃生与救生设施设计.....	79
14.1	脱险通道.....	79
14.2	逃生与救生设备.....	79

1 总 则

1.0.1 为规范海上柔性直流换流站设计，贯彻国家法律、法规，执行国家的建设方针和技术经济政策，符合安全可靠、技术先进、运行维护方便、经济合理、环境保护的要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于固定式海上柔性直流换流站的设计。

1.0.3 海上柔性直流换流站设计应结合工程特点，采用具备应用条件的新技术、新设备、新材料、新工艺。

1.0.4 海上柔性直流换流站的设计除应执行本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和定义

术语和定义部分除本规范规定的内容外，还可参考其他规范、电工术语、直流术语等。

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

一种三相桥式接线的全控型换流器,由集中的直流电容器或换流器各桥臂内的多个分散式直流电容器提供平滑的直流电压。

2.0.2 电压源换流阀 voltage source converter valve (VSC 阀)

在电压源换流器中实现交直流变换的完整可控电力电子装置。

2.0.3 海上柔性直流换流站 offshore VSC-HVDC converter station

建设于海上，采用柔性直流输电技术，用于实现交、直流变换的电力工程设施。包括上部组块及用于支撑上部组块的基础，一般用于海上风电场电能汇集、升压，并将交流变换为直流后，向陆地输送电能。

2.0.4 上部组块 topside

海上柔性直流换流站基础以上的结构、设备和设施的总称。一般包括阀厅、直流场、交流场、柔直变压器，配套的控制系統、厂用电系統、冷却系統、消防系統、暖通系統等辅助设施，及相应的结构、舾装、逃生与救生设施。

2.0.5 浮托安装方法 floatover installation method

先将海上柔性直流换流站的基础固定于海床，再将海上柔性直流换流站的上部组块置于特种船舶上，上部组块及船舶组合体利用落潮及加水压载的方法下沉，将上部组块精确、平稳的搁置于基础上，船舶与上部组块分离，并最终将上部组块与基础固定的安装方法。简称浮托法。

2.0.6 无人值班换流站 unattended converter station

站内不设置固定运行、维护值班人员，运行监测、主要控制操作由远方控制端进行，设备采取定期巡视维护的换流站。

2.0.7 集中监控中心 the centralized monitoring and control center

完成对风电机组、海上升压站、海上柔性直流换流站、陆上柔性直流换流站、海缆等设备的远方集中监视、控制及调度管理的控制中心。

3 站址及建造基地选择

3.1 站址选择

3.1.1 海上柔性直流换流站站址选择应符合海洋功能区划、海岛保护规划、海洋生态红线以及海洋环境保护规划的要求，并应与其他用海规划相协调。

3.1.2 海上柔性直流换流站应避开海洋生态环境敏感区。当不能避开时，应进行专题论证。

3.1.3 海上柔性直流换流站不宜压覆重要矿产资源。

3.1.4 海上柔性直流换流站应避开军事用海区，且应符合国防安全的要求。

3.1.5 海上柔性直流换流站应与已有海底管道、光缆、电缆、海上平台等海洋工程设施保持安全防护距离。应综合考虑进出线方向，并与附近海域已有或规划海底电缆、管线相协调，避免海底电缆、光缆、管线相交。

3.1.6 海上柔性直流换流站应与锚地和航路保持安全距离，同时应避免对附近航路船舶的磁罗经、雷达、甚高频通信 (VHF)、船舶自动识别系统 (AIS)、岸基雷达站以及海岸电台等信号造成影响，满足雷达探测的要求。当不能避免时，应进行专题论证。

3.1.7 海上柔性直流换流站不应选在海底滑坡、发震断裂地带以及地震基本烈度为 9 度以上的地震区，并宜避开海底地形复杂区域。

3.1.8 海上柔性直流换流站选址应根据海洋水文、灾害性气候条件和不良地质条件等不利因素进行分析站址可行性。

3.1.9 海上柔性直流换流站站址选择应考虑所汇集的多个风电场的位置、交流海缆路由以及直流海缆路由情况，以便于电力的汇集和送出。

3.1.10 海上柔性直流换流站站址及附近海域应有足够水深，满足海上柔性直流换流站运输、安装对水深的要求。

3.1.11 当有直升机起降需求时，海上柔性直流换流站周边还应具备直升机起降必要的净空条件。

3.2 建造基地选择

3.2.1 海上柔性直流换流站上部组块安装和导管架施工应在码头船坞上进行组装，组装完工和验收合格后进行整体运输，组装厂家及船坞的选择应满足上部组块建造、安装、舾装、运输、试验、调试的要求，且宜靠近海上柔性直流换流站站址。

3.2.2 建造基地选择应结合周边岸线条件、交通运输条件、建造企业既有的施工设施，钢结构加工能力、电气设备安装能力、建造场地面积和出运码头条件等条件综合考虑。

3.2.3 建造基地选择应结合海上柔性直流换流站尺寸和重量、出运条件、运输航线及换流站海域的海洋水文条件、气象条件等，比选确定合理的建造基地。

3.2.4 建造基地的码头应满足海上柔性直流换流站上部组块及运输船舶的通航条件。

3.3 站址勘测要求

3.3.1 海上柔性直流换流站工程勘察应在收集资料的基础上，查明建造基地至站址区域的航道和站址范围内的水文、气象和工程地质条件，分析评价站址区域主要工程地质问题。工程勘测工作深度、勘测周期和勘测工作量应与相应设计阶段的工作要求相适应。

3.3.2 海上柔性直流换流站工程勘测的工作范围应包括海上柔性直流换流站各建构物相关的区域。

3.3.3 应根据海上柔性直流换流站所在区域的水文、气象、地形地质条件和设计要求，采用工程地质测绘、工程物探、工程钻探、岩土试验和原位测试相结合的勘探方法。

3.3.4 海洋水文基本资料应包括海岸、河口概况及海底地貌等、潮汐、海流、

波浪资料等；

3.3.5 海上柔性直流换流站站址勘测应满足《海上风力发电场勘测标准》GB 51395 相关规定。

4 交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求

4.0.1 交流系统基本条件应包括下列内容：

- 1 海上柔性直流换流站交流母线稳态电压，应包括额定运行电压、正常连续运行电压范围和极端运行电压范围。
- 2 海上柔性直流换流站交流母线电压频率，应包括额定频率、正常连续运行频率波动范围、事故时频率变化范围和故障清除后频率变化范围。
- 3 海上柔性直流换流站交流母线短路电流水平。
- 4 故障清除时间。

4.0.2 海上柔性直流输电系统的性能要求应符合下列规定：

- 1 海上柔性直流输电系统的额定参数应包括额定直流输送功率、额定直流电流和额定直流电压。
- 2 海上柔性直流输电系统的功率反送能力应满足风电场启动或检修要求。
- 3 海上柔性直流输电系统具有有功和无功四象限运行能力，无功提供能力应根据海上风电场系统的要求确定。
- 4 海上柔性直流换流站的损耗应包括 VSC 阀、柔直变压器、桥臂电抗器和站用电系统等的损耗。
- 5 海上柔性直流换流站的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》GB 12348 和《声环境质量标准》GB 3096 的有关规定。
- 6 海上柔性直流输电系统的动态和暂态性能应根据系统研究确定。
- 7 海上柔性直流输电系统应避免与陆上交流电网间，或与海上风电交流系统间的谐波谐振。
- 8 海上柔性直流输电系统可靠性的设计目标值应根据工程实际情况研究确定。

5 电气一次

5.1 电气主接线

5.1.1 海上柔性直流换流站的电气主接线应满足可靠性、灵活性和经济性的基本要求。

5.1.2 海上柔性直流换流站的电气主接线应根据接入系统要求及建设规模确定，应包括柔直变压器接线、换流器接线、直流场接线和交流场接线。

5.1.3 海上柔性直流换流站可采用对称单极接线或对称双极接线形式。

5.1.4 当采用对称单极接线时，宜配置不少于 2 台容量相同、互为备用的并联柔直变压器，且柔直变压器网侧和阀侧应配置断路器。

5.1.5 换流器接线应采用三相六桥臂结构，每个桥臂由多个子模块串接构成的 VSC 阀和桥臂电抗器串联构成，桥臂电抗器宜设置在 VSC 阀的直流侧。

5.1.6 交流场接线应符合《220kV~750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218、《35kV~110kV 变电站设计规范》GB 50059 的有关规定。

5.1.7 直流接地点宜设置在陆上柔性直流换流站。

5.1.8 海上柔性直流换流站不宜设置直流电抗器、启动电阻和耗能装置。

5.2 主要电气设备选型

5.2.1 海上柔性直流换流站的主要设备和导体选择应遵循下列原则：

- 1 在无人值班条件下可靠运行；
- 2 适应海上柔性直流换流站的运行环境；
- 3 适应海上柔性直流换流站在运输、安装及运行期间的倾斜、摇晃及振动。

5.2.2 海上柔性直流换流站的室内主要电气设备的防护等级不应小于 IP4X，防腐等级不宜小于 C4；当电气设备布置在室外时，室外主要电气设备的防护等级不应小于 IP56，防腐等级不应小于 CX。电气设备防腐应符合现行国家标准《色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护》GB/T 30790 的有关规定。

5.2.3 柔直变压器、桥臂电抗器等电气设备的噪声水平应满足换流站的总体噪声控

制要求。

5.2.4 VSC 阀选择应符合下列规定：

- 1 VSC 阀宜采用空气绝缘、水冷却、户内支撑式或悬吊式结构；
- 2 VSC 阀宜采用模块化设计，子模块冗余度应采用如下原则确定：在不小于 12 个月的运行周期内，如果在此运行周期开始时没有损坏的功率模块，要求在运行期间内不因冗余模块全部损坏而进行任何功率模块更换。
- 3 VSC 阀的连续运行额定值和过负荷能力应根据系统要求确定；
- 4 VSC 阀应能承受各种暂态电流，且有足够的裕度，暂态电流及持续时间应由系统要求确定；
- 5 VSC 阀应能承受各种过电压，且有足够的裕度；
- 6 VSC 阀本体及其控制保护装置的设计应保证阀能承受由于阀触发系统误动以及站内外各种故障所产生的电气应力。

5.2.5 柔直变压器的选择应符合下列规定：

- 1 柔直变压器容量应结合直流系统输送容量要求确定。柔直变压器容量宜考虑冗余，当 1 台柔直变压器故障退出运行时，剩余柔直变压器容量不宜低于海上柔性直流换流站额定直流输送功率的 70%；
- 2 柔直变压器宜采用三相一体油浸式变压器；
- 3 柔直变压器的冷却方式宜选用水冷，当采用其他冷却方式时进行技术经济比较确定；
- 4 柔直变压器应具有一定的直流偏磁耐受能力；
- 5 柔直变压器的套管宜采用电缆套管或油气套管；
- 6 柔直变压器应设置集油及排油装置。

5.2.6 桥臂电抗器的选择应符合下列规定：

- 1 桥臂电抗器宜选择干式空心电抗器；
- 2 桥臂电抗器的选择应考虑二倍频环流抑制、电流响应速度、故障电流抑制及无功提供能力等要求；
- 3 桥臂电抗器应能承受谐波电压和冲击电流产生的电气和机械应力；

5.2.7 直流绝缘子和套管选择应符合现行国家标准《柔性直流输电换流站设计标

准》GB/T 51381 的有关规定。

5.2.8 直流电压和电流测量装置选择应符合现行国家标准《柔性直流输电换流站设计标准》GB/T 51381 的有关规定。

5.2.9 直流隔离开关应满足各种工况下的直流工作电流及短路电流的要求。

5.4.10 海上柔性直流换流站的交流开关设备宜采用气体绝缘封闭开关设备（GIS），气体绝缘封闭开关设备（GIS）宜采用电缆或气体绝缘输电线路（GIL）进出线方式；直流开关设备采用敞开式设备，在设备制造能力具备的条件下，宜采用气体绝缘封闭开关设备（GIS）。

5.2.11 站内导体应结合回路通流、电场效应、无线电干扰、可听噪声和机械强度要求进行选择。硬管母线的动稳定和挠度应根据现行行业标准《换流站导体和电器选择设计规程》DL/T 5584 的规定进行校核。

5.2.12 交流设备的选择应符合现行行业标准《导体和电器选择设计技术规定》DL/T 5222 和《220kV~750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218 的有关规定。

5.3 过电压保护、绝缘配合及防雷接地

5.3.1 海上柔性直流换流站过电压保护、绝缘配合应符合现行国家标准《绝缘配合 第 2 部分：高压输变电设备的绝缘配合使用导则》GB/T 311.2、《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、《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB/T 50064 以及现行行业标准《高压直流换流站绝缘配合导则》DL/T 605 的有关规定。

5.3.2 海上柔性直流换流站接地应符合现行国家标准《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065 的有关规定。

5.3.1 海上柔性直流换流站的过电压保护和避雷器配置应符合下列规定：

- 1 交流侧产生的过电压应由交流侧的避雷器加以限制；
- 2 直流侧产生的过电压应由直流侧的避雷器加以限制；
- 3 换流站的重要设备应由其邻近的避雷器保护；
- 4 避雷器可采用多柱并联结构避雷器，也可采用多支避雷器并联分散布置方式。

5.3.4 海上柔性直流换流站绝缘配合应符合下列规定：

- 1 海上柔性直流换流站交、直流侧均可不考虑雷电过电压的影响；
- 2 海上柔性直流换流站设备额定耐受电压应采用绝缘配合的确定性法确定；
- 3 避雷器直接保护的设备额定耐受电压与避雷器保护水平的最小裕度系数

宜符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 设备额定耐受电压与避雷器保护水平的最小裕度系数

设备类型	裕度系数		
	操作	雷电	陡波
交流开关站和其他常规设备	1.20	1.25	1.25
柔直变压器网侧	1.20	1.25	1.25
柔直变压器阀侧	1.15	1.20	1.25
VSC 阀	1.10~1.15	1.10~1.15	1.15~1.20
直流阀厅设备	1.15~1.20	1.15~1.25	1.25

5.3.5 海上柔性直流换流站宜设置避雷针及金属结构物作为接闪器进行直击雷保护，并通过接地引下线和平台自身钢结构，与海底基础钢管桩连接。平台顶部和侧面外露的通信天线、充油设备外壳、暖通设备等的直击雷防护宜采用电气几何法进行校核。

5.3.6 海上柔性直流换流站的接地装置应充分利用平台钢管桩作为全站接地极，平台上设置专用的接地干线和设备接地线，将所有设备和平台钢结构连接成均压接地网。

5.3.7 海上柔性直流换流站的接地电阻和地电位升应保证对换流站内一、二次设备的反击电压不超过其耐压水平，换流站平台上的接触电位差、跨步电位差应不超过人身安全允许值的要求。

5.4 电气设备布置

5.4.1 海上柔性直流换流站电气设备总布置应符合以下规定：

- 1 与平台安装及运输方式相适应。当采用浮托法安装时，电气设备布置应能适应浮托船尺寸；
- 2 满足平台整体重心控制的要求；
- 3 满足交、直流海缆路由接入要求，避免海缆重叠和交叉；
- 4 考虑全站电气回路连接顺畅，减少电缆通道和气体绝缘封闭开关设备（GIS）分支母线交叉；
- 5 考虑设备安装、检修更换、试验等要求，应预留运维检修通道。

5.4.2 阀厅及阀厅内设备布置应符合下列要求：

- 1 阀厅及阀厅内设备布置应按运行期间不进人的原则设计；
- 2 阀厅内不宜设置带油设备，伸入阀厅的交、直流穿墙套管宜采用充气式或干式套管；
- 3 阀厅内宜设置便于搬运和小车出入的检修用通道，门和通道的设置应考虑紧急疏散的需要。

5.4.3 柔直变压器布置应符合下列要求：

- 1 当采用风冷型变压器时，宜采用变压器本体与散热器分离的布置方式，变压器本体布置在户内，散热器户外布置；当采用水冷型变压器时，冷却器宜靠近变压器本体，变压器本体与散热器均布置在户内；
- 2 当变压器采用高压电缆进出线时，变压器布置应考虑高压电缆及其终端头的安装和检修更换要求；当变压器采用气体绝缘输电线路（GIL）进出线时，变压器布置应综合考虑变压器油气套管与气体绝缘输电线路（GIL）的对接位置和安装、检修更换要求，且变压器油气套管、气体绝缘输电线路（GIL）、交流开关设备（GIS）之间的连接处应能适应换流站在运输、安装及运行过程中的振动环境的要求；
- 3 变压器宜布置在平台上部，便于变压器的吊装和检修更换。
- 4 变压器的布置应满足消防要求。

5.4.4 桥臂电抗器和直流场的布置应符合下列要求：

- 1 桥臂电抗器和直流场宜按极对称布置；
- 2 当桥臂电抗器采用干式电抗器时，桥臂电抗器宜采用支撑式。桥臂电抗器

的布置宜满足防磁距离和对周边钢结构、电缆桥架、通风管道等影响的要求，当不满足要求时应采用相应的控制措施；当桥臂电抗器采用油浸式电抗器时，桥臂电抗器的布置应满足消防要求；

3 直流场的布置应预留运维检修通道。直流开关设备采用敞开式时，直流场的布置宜按运行期间不进人的原则设计；

4 直流场的布置应便于直流海缆的引接及敷设。

5.4.5 交流开关场布置应符合下列要求：

1 交流开关场布置应便于交流海缆的引接和敷设；

2 交流开关场布置应符合国家现行标准《35~110kV 变电站设计规范》GB 50059、《220~750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218 和《风电场工程 110kV~220kV 海上升压站变电站设计规范》NB/T 31115 的有关规定。

5.5 站用电系统

5.5.1 海上柔性直流换流站应设置 2 回站用正常工作电源和一回应急电源。每一回正常工作电源容量应能满足全站最大计算负荷。

5.5.2 海上柔性直流换流站的站用工作电源可从柔直变压器的第三绕组引接，也可设置专用的高压站用变压器从交流侧配电装置母线引接，工程中应进行综合技术经济比较后确定。

5.5.3 海上柔性直流换流站应配置专用柴油发电机组作为站内应急电源，柴油发电机组应符合下列要求：

1 柴油发电机组应考虑冗余配置；

2 柴油发电机组的容量除满足站内通信、监控、事故照明、事故通风、消防火灾、逃生、导航等应急负荷外，还应满足海上柔性直流输电系统启动和海上柔性直流换流站停运检修工况下的重要负荷需求。应急负荷连续供电时间不应少于 18h。标示建筑物外轮廓的信号灯、障碍灯及声响信号在应急工况时供电持续时间不小于 4d，国际海事避碰规则要求的航行灯、信号灯、声响信号在应急工况时供电持续时间不小于 4d。

3 柴油发电机组应采用船用型。柴油机的冷却方式应采用闭式循环水冷却。发电

机宜采用快速反应的励磁系统，发电机的接线采用星形连接，中性点应能引出。

5.5.4 站用电系统中压开关柜宜选用六氟化硫（SF₆）气体绝缘开关柜。

5.5.5 海上柔性直流换流站的低压配电系统应符合国家现行标准《风电场工程 110kV~220kV 海上升压变电站设计规范》NB/T 31115 的有关规定。

5.5.7 站用电系统设计尚应符合现行行业标准《换流站站用电设计技术规定》DL/T 5460 的有关规定。

5.6 电缆选型及敷设

5.6.1 海上柔性直流换流站的高低电压电缆和电缆终端的选型及敷设原则应符合国家现行标准《电力工程电缆设计标准》GB 50217 有关规定。

5.6.2 海上柔性直流换流站站内的电缆应采用阻燃型电缆，连接到外部的海底电缆的站内段加设阻燃措施。消防、应急系统及其相关回路的电缆应采用阻燃耐火型电缆。

5.6.3 1kV 及以下的电缆宜采用船用电缆。

5.6.4 10kV 及以上的电力电缆应独立分层或分开敷设。

5.6.5 电缆通道或电缆夹层的设置应根据电缆进出线回路数量、方向确定。电缆通道的尺寸应满足电缆施工和运行时的转弯半径要求。

5.6.6 电缆桥架、支架及相关附件应采用防腐、耐火型材料。电缆桥架宜采用梯架或托架的型式，设置在阳光直射区域的电缆桥架应配置保护盖板。

5.7 照明和导航

5.7.1 海上柔性直流换流站的照明系统应符合国家现行标准《发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T 5390 的有关规定。

5.7.2 海上柔性直流换流站的导航系统应满足海事管理的要求。有直升机起降需求时，还应满足航空管理的要求。

6 二次系统

6.1 监控系统

6.1.1 海上柔性直流换流站应按无人值班设计，监控系统的设计应符合现行行业标准《换流站二次系统设计技术规程》DL/T 5499 的规定。

6.1.2 海上柔性直流换流站监控系统宜采用分层、分布式的网络结构，由站控层、控制层及就地层设备组成。

6.1.3 海上柔性直流换流站监控系统的主要功能应包括：

1 海上柔性直流换流站监控系统应具有监视控制功能，通过站 LAN 网接收运行人员、集控中心、调度中心对海上柔性直流换流站正常的运行监视和操作指令、故障或异常工况的监视和处理，并完成全站事件顺序记录和事件报警、直流控制系统参数的调整、历史数据归档、换流站文档和程序管理，还应实现换流站直流系统的手动紧急停运。

2 海上柔性直流换流站监控系统应具有数据采集功能，数据采集范围包括直流场、交流场以及所有辅助系统的全部模拟量、开关量，并可通过站间通信与陆上换流站交互运行信息。

3 海上柔性直流换流站监控系统应具有数据通信的功能，将相应信息送至陆上柔性直流换流站、相关调度中心和集中监控中心。

6.1.4 海上柔性直流换流站监控系统的站控层设备可与陆上柔性直流换流站统筹考虑，也可独立配置。监控系统的站 LAN 网、系统服务器宜双重化配置。

6.2 直流控制系统

6.2.1 直流控制系统应符合现行国家标准《柔性直流输电换流站设计标准》GB/T 51381 和《柔性直流输电系统成套设计规范》GB/T 35703 的规定。

6.2.2 直流控制系统按功能宜划分为系统级控制层、换流器级控制层（极控制层）、阀级控制层。直流控制系统分层结构是按功能层次由高到低进行划分，较高层次

的控制设备异常或失效不宜对较低层次设备的运行产生不利影响，较低层次控制设备异常或失效也不宜影响健全部分或整个直流系统的正常运行。

6.2.3 直流控制系统的功能配置应符合下列规定：

1 系统级控制层执行远方调度中心和监控系统的控制指令，并实现运行方式控制、模式选择、顺序控制等功能。当采用多端直流时，还应实现多端协调控制功能。

2 换流器级控制层（极控制层）主要实现对单极的控制功能，主要控制功能包括：外环控制、内环控制、附加控制功能等。

3 阀级控制层主要实现换流器子模块电容电压平衡控制、桥臂环流控制、子模块状态监视等功能。

6.2.4 直流控制系统设备应采用双重化冗余设计，各冗余设备同时运行，冗余范围应包括测量二次线圈、I/O 单元、通信回路、极控、站控和所有相关的直流控制装置。任意一重设备因故障、检修或其他原因完全退出时，不应影响另一重设备，且不影响整个系统的正常运行。

6.2.5 直流控制系统宜配置站间通信通道。站间通信通道应按极双重化独立配置，宜采用光纤通信通道，信号的传输延时满足直流输电系统的动态响应要求。

6.3 直流系统保护

6.3.1 直流系统保护的设计应符合现行国家标准《柔性直流输电换流站设计标准》GB/T 51381 和《柔性直流输电系统成套设计规范》GB/T 35703 的规定。

6.3.2 直流系统保护的配置原则应符合下列规定：

1 直流系统保护应满足可靠性、选择性、灵敏性、速动性的基本要求。

2 直流系统保护应按保护区域设置，每一个保护区应与相邻保护的保护区重叠，不应存在保护死区。

3 直流系统保护宜采用三重化的冗余设计，冗余范围应包括测量回路、通信回路、保护装置本体、出口回路；任一重保护故障或退出不应影响保护系统的正常运行。三重化配置的保护宜采用“三取二”跳闸逻辑，“三取二”装置应冗余配置。

6.3.3 直流系统保护的分区应包括：柔直变压器保护区、交流连接线区、换流器区、

极区、直流线路区。各保护区域的划分应符合下列规定：

- 1 柔直变压器保护区：柔直变压器网侧引线至柔直变压器阀侧套管、柔直变压器第三绕组引出线（如有）之间的区域。
- 2 交流连接线保护区：柔直变压器阀侧套管至换流器网侧之间的区域。
- 3 换流器保护区：换流器网侧至换流器直流侧之间的区域。
- 4 直流极保护区：换流器直流侧至直流线路阀侧之间的极母线、隔离开关等设备。
- 5 直流线路保护区：换流站间的直流输电海缆全长。

6.3.4 直流系统保护的功能配置应符合下列规定：

- 1 柔直变压器保护区：柔直变压器本体及引线差动保护（大差保护）、柔直变压器本体差动保护（小差保护）、柔直变压器引线差动保护、柔直变压器开关过流保护、柔直变压器网侧过流保护、柔直变压器零序过流保护、过励磁保护保护、柔直变压器绕组差动保护、零序差动保护、柔直变压器非电量保护等功能。
- 2 交流连接线保护区：交流连接线差动保护、交流连接线过流保护、换流变阀侧零序过电压保护。
- 3 换流器保护区：桥臂差动保护、桥臂过流保护、桥臂电抗器差动保护、换流器差动保护、桥臂电抗器谐波保护、直流过电压保护、直流低电压保护。
- 4 直流极保护区：直流过电压保护、直流低电压保护、极差动保护、直流谐波保护、直流电压不平衡保护等。
- 5 直流线路保护区：电压突变量保护、直流线路低电压保护、直流线路低压过流保护、直流线路纵联差动保护。

6.3.5 直流系统保护的動作结果应主要包括：报警、闭锁、交流断路器跳闸、交流断路器锁定。

6.3.6 直流系统保护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。

6.3.7 直流保护应配置站间通信通道。每套直流保护的站间通信通道应双重化独立配置，宜采用光纤通信通道，信号的传输延时应满足保护系统的要求。

6.4 交流系统保护及安全自动装置

6.4.1 交流系统保护、安全自动装置、保护及故障信息管理子站、暂态故障录波系统的设计应符合现行国家标准《继电保护和安全自动装置技术规程》GB/T 14285 的规定。

6.4.2 安全自动装置应根据安全稳定计算结论合理配置。

6.4.3 保护及故障信息管理子站的设计应符合下列规定：

1 海上柔性直流换流站可与陆上柔性直流换流站共用一套保护及故障信息管理子站，也可独立配置。子站的组网设计应结合设备性能和通信通道情况确定。

2 保护及故障信息管理子站应实时采集交流系统保护、直流系统保护、交/直流暂态故障录波装置的信息，与监控系统、保护和故障录波装置的通信应采用标准的网络接口和通信协议。

3 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。

6.4.4 暂态故障录波系统的设计应符合下列规定：

1 海上柔性直流换流站的交直流暂态故障录波系统可共组独立的录波网。海上柔性直流换流站的录波网可与陆上柔性直流换流站的录波网统筹考虑，也可独立设置，相应的组网设计应结合设备性能和通信通道情况确定。

2 暂态故障录波系统宜按区域配置独立的录波装置。直流暂态故障录波系统宜按阀厅和直流场区域、柔直变压器区域分别配置独立的录波装置。交流暂态故障录波系统宜按交流串间隔或母线段分别配置独立的录波装置。

3 直流暂态故障录波系统采集的信号应包括但不限于柔直变压器网侧交流电压、柔直变压器阀侧电流、直流极线电流、直流极线电压、启动电阻电流（如有）、桥臂电流以及直流控制保护主机的状态信号。

6.5 调度自动化

6.5.1 海上柔性直流换流站调度自动化的设计应符合现行行业标准《地区电网调度自动化设计技术规程》DL/T5002、《电力系统调度自动化设计技术规程》DL/T5003 的规定。

6.5.2 海上柔性直流换流站应根据接入系统的审查意见，确定是否为独立调度点。

6.5.3 海上柔性直流换流站电能计量系统的设计应符合现行行业标准《电能量计量系统设计技术规程》DL/T 5202 的规定。

6.5.4 海上柔性直流换流站可与陆上柔性直流换流站共用一套同步相量测量系统，也可独立配置，系统的组网设计应结合设备性能和通信通道情况确定。海上柔性直流换流站同步相量测量系统采集的信息应包括并不限于：交流母线电压、交流线路电压电流、柔直变压器交流侧电压电流、直流线路电压电流等。

6.5.5 海上柔性直流换流站二次系统安全防护设计应符合现行国家标准《电力监控系统网络安全防护导则》GB/T 36572、行业的相关最新规定。

6.6 阀冷却控制保护系统

6.6.1 海上柔性直流换流站应为每组换流器配置阀冷却控制保护系统，实现阀冷却系统的控制、保护和监视。

6.6.2 阀冷却控制保护系统应按换流器冗余配置。动作于跳闸的阀内冷水系统传感器应三重化配置。

6.6.3 阀冷却控制系统应实现对阀冷却系统的主循环水泵、喷淋水泵、冷却风扇、电动阀门等重要设备的监控；应实现对阀冷却水进阀温度、出阀温度、流量、电导率、压力、水位和阀厅、室外环境温度等参数的监测。

6.6.4 阀冷却保护系统应配置阀进出口水温度异常保护、主水流量异常保护、泄露保护、电导率高保护、膨胀箱压力异常保护、膨胀箱水位异常保护等。

6.6.5 阀冷却控制保护系统应能与直流控制系统通信，通信接口数量应满足直流控制系统的冗余要求，交换的信息应能适应海上柔性直流换流站各种运行工况下的控制需求。

6.7 直流及交流不间断电源系统

6.7.1 直流电源系统的设计应符合国家现行标准《电力工程直流电源系统设计技术

规程》DL/T 5044 的规定。

6.7.2 海上柔性直流换流站的直流电源系统宜根据建设规模、设备布置等要求，按站公用设备、极设备分别独立设置。

6.7.3 交流不间断电源系统的设计应符合国家现行标准《电力工程交流不间断电源系统设计技术规程》DL/T 5491 的规定。

6.7.4 直流电源系统及交流不间断电源系统应具有与监控系统的通信功能。

6.8 辅助二次系统

6.8.1 时间同步系统的设计应符合下列规定：

1 海上柔性直流换流站应配置独立、公用的时间同步系统，对时范围应包括站内所有需要对时的控制、保护、监视和辅助设备。

2 时间同步系统的时钟源应双重化配置。时间同步信号输出单元应能提供脉冲、IRIG-B 时码、串行口时间报文和网络时间报文等多种不同的对时信号。

6.8.2 视频监视及安全警卫系统的设计应符合下列规定：

1 视频监视及安全警卫系统的设计应符合国家现行标准《安全防范工程技术规范》GB50348 的规定。

2 视频监视及安全警卫系统应对主要电气设备、通道、出入口等重要部位以及海上柔性直流换流站平台周围海域进行有效的监视、记录与回放，满足通航、安全运行、防火、防盗的要求。

3 海上柔性直流换流站可与陆上柔性直流换流站共用一套视频监视系统，也可独立配置。共用时，海上柔性直流换流站应设置视频分控站，陆上柔性直流换流站应设置主控站。

4 视频监视及安全警卫系统宜具有与火灾自动报警系统和监控系统联动的功能，并可在监视后台自动切换出火灾区域和操作设备的视频画面。

6.8.3 设备状态监测系统的设计应符合下列规定：

1 海上柔性直流换流站可与陆上柔性直流换流站共用一套设备状态监测系统，

也可独立配置。系统的组网设计应结合设备性能和通信通道情况确定。

2 海上柔性直流换流站的换流阀、桥臂电抗器宜配置红外测温系统。

3 海上柔性直流换流站宜配置海缆在线监测系统，系统宜包括海缆温度监测子系统、海缆扰动监测子系统、海缆埋深监测子系统、海事船舶自动识别子系统、综合监控平台等。

6.8.4 通风空调监控系统的设计应符合下列规定：

1 通风空调监控系统应采用自动控制与远方控制相结合的方式，宜在设备现场设置现地控制箱，实现对设备的就地操作和监视，同时宜在海上柔性直流换流站控制保护室和陆上柔性直流换流站主控室设置控制主机，实现对设备的远方监视及控制。

2 通风空调监控系统的控制主机与各现地控制单元宜采用星形以太网连接。

3 通风空调监控系统应具备与监控系统的接口，重要的开关量和模拟量信息应上送监控系统。

6.8.5 智能巡视系统的设计应符合下列规定：

1 海上柔性直流换流站宜配置一套智能巡视系统，巡视范围宜包括换流变、直流场等区域的重要设备。

2 智能巡视系统主要设备宜包括巡视主机、智能分析主机、机器人、摄像机、声纹监测等，其中摄像头、拾音器等前端设备的配置宜与视频监视系统统筹考虑，并应满足换流站的智能巡视要求。

3 智能巡视系统宜具备数据采集、自动巡视、智能分析、实时监控、智能联动、远程操作等功能。

6.9 二次设备布置

6.9.1 二次设备的布置应结合工程最终规模规划，应遵循功能统一明确、布置简洁紧凑的原则，并宜合理设置预留屏位。

6.9.2 二次设备房间和通信机房宜合并设置。

6.9.3 蓄电池室宜独立设置，并紧邻直流屏布置的房间。

6.9.4 阀冷设备室宜靠近阀冷设备设置。

7 通信

7.0.1 海上柔性直流换流站与陆上柔性直流换流站、海上升压站之间应利用海底电缆建设海底光电复合缆，每条电缆纤芯数量应满足业务需求、留有适当余量，且不应少于 72 芯。

7.0.2 海上柔性直流换流站系统通信应符合国家现行标准《柔性直流输电换流站设计标准》GB/T51381 的规定。海上柔性直流换流站为独立调度点且系统通信设备集中布置在陆上柔性直流换流站时，宜与陆上柔性直流换流站共用系统光通信电路及设备；海上柔性直流换流站和陆上柔性直流换流站为一个调度点时，应合用系统光通信电路、系统通信设备。

7.0.3 海上柔性直流换流站应建设两条独立的场内光通信电路至陆上柔性直流换流站、海上升压站，电路容量应满足海上风电场内部业务传输的需求。为便于运维管理，该电路与系统光通信电路设备宜分开配置。

7.0.4 海上柔性直流换流站宜建设甚小口径卫星终端（VSAT）卫星通信电路，作为应急通信。

7.0.5 海上柔性直流换流站应配置电话，由陆上柔性直流换流站语音电话系统统一放号，实现对内及对外生产调度、行政电话通信。

7.0.6 根据运维管理需求，海上柔性直流换流站可配置一套视频会议终端，实现与陆上柔性直流换流站、运行维护单位之间召开视频会议。

7.0.7 海上柔性直流换流站应配置一套广播系统，作为陆上柔性直流换流站广播系统的一个分控制区，实现广播呼叫功能。

7.0.8 海上柔性直流换流站与船舶、风机机组作业人员、直升机（有直升机起降要求时）之间的语音通信以及海上应急通信应符合国家现行标准《风电场工程 110kV~220kV 海上升压变电站设计规范》NB/T 31115 的有关规定。

7.0.9 海上柔性直流换流站可配置一套无线局域网设备。

7.0.10 海上柔性直流换流站宜配置一套公网移动通信基站，用于运维人员间的手机语音通信。

7.0.11 海上柔性直流换流站通信动力环境监控应与换流站环境及视频监视系统、交直流一体化电源监控系统统一考虑。根据运维管理需求，海上柔性直流换流站可配置通信动力环境监控系统，监视信息应能接至相应的通信运维管理部门。

7.0.12 海上柔性直流换流站应配置两套独立的-48V 直流电源系统，每套直流电源系统由高频开关电源、蓄电池组组成。每套电源系统配置的蓄电池组单独供电时间不应小于 4 小时。

7.0.13 海上柔性直流换流站通信设备应与控制、保护、远动等设备合并房间布置，并应相对集中；宜设置独立的通信蓄电池室，靠近通信设备区域。

8 平台布置

8.1 布置原则

8.1.1 海上柔性直流换流站应根据平台所在海域的水文气象条件、使用及安全要求，确定平台的位置和朝向，同时应符合下列要求：

- 1 避开附近的其他海上设施；
- 2 进出海缆顺畅，避免海缆重叠和交叉。
- 3 波浪和海流对结构的不利作用较小。
- 4 便于运维船安全靠泊。
- 5 有直升机起降需求时，应满足直升机起降通道的要求。

8.1.2 海上柔性直流换流站的布置应考虑如下因素和要求：

- 1 满足安全、防火、消防、人员逃生和救生的需要；
- 2 满足电力生产的需要；
- 3 满足维修及事故处理的需要；
- 4 满足结构合理性，如空间布置、建造便利性等的需要；
- 5 满足海上施工的需要；
- 6 导管架之间尺寸与平台尺寸相互协调，并满足平台运输船舶通行要求。

8.1.3 海上柔性直流换流站除辅助设施外的主要设备应采用室内布置方式应采用室内布置方式。当辅助设备布置在室外时，应考虑海洋环境对设备使用寿命的影响，并便于维护、检修和更换。

8.1.4 海上柔性直流换流站布置应满足工艺流程、设备布置及功能要求，且应便于施工安装和运行维护。

8.1.5 海上柔性直流换流站宜采用多层布置方式。检修时需要整体搬运的大件设备宜放置在上层，并设置屋顶吊物孔吊装；当放置在下层时，宜设置水平搬运通道和吊装平台。

8.1.6 海上柔性直流换流站电缆布置应与设备布置、消防管路、暖通管路统一规划，减少管线交叉，便于敷设和检修维护。

8.1.7 为保证海上柔性直流换流站平台的重心平衡，重量较重的设备应均衡布置。

8.1.8 海上柔性直流换流站应设置运行检修用起重机和吊装平台，以便于设备、工器具的搬运和吊装。起重机的起重能力应满足日常维护时设备部件和常规工器具起吊的要求。

8.1.9 换流站底层甲板上表面高程应符合以下公式：

$$T \geq H + \frac{2}{3} H_b + \Delta + H_t$$

式中：T—底层甲板上表面高程（m）；

H—100年一遇极端高水位（m）；

H_b—100年一遇的最大波高（m）；

Δ—气隙，不小于1.5m；

H_t—底层甲板包括梁在内的结构高度（m）。

8.1.10 海上柔性直流换流站起重设备的安装位置应避免对现场人员的伤害，防止因吊件运动或晃动导致的安全事故。

8.1.11 对于设置有直升机甲板的海上柔性直流换流站，直升机甲板宜布置在火灾危险性较小的区域。

8.1.12 当海上柔性直流换流站有人值守时，宜设置生活配套设施。生活配套设施宜独立设置，独立设置的生活配套设施与海上柔性直流换流站平台的距离不应小于15m，且应符合国家现行标准对于劳动安全卫生和节能环保的相关规定。

8.1.13 当海上换流站无人值守时，可不设置生活配套设施，应设置避难室。避难室布置应结合换流站的逃生路线进行布置。当换流站顶部设有救援直升机停机坪时，避难室宜布置在距离停机坪较近的位置；当换流站未设置直升机停机坪时，避难室宜设置在下层甲板区域，且临近救生筏的位置。避难室内应配备必要的应急救援设施。

8.2 舱室布置

8.2.1 海上风电柔性直流换流站的舱室房间按功能划分，主要包括电气及通信设备用房、水工设备用房、暖通设备用房、阀冷却设备用房、辅助功能用房等。

(1) 电气及通信设备用房：主要包含阀厅、直流场、柔直变压器室、高压站用变室、站用电室、GIS室、电缆夹层、柴油机房、二次设备室、蓄电池室、主控室等；

(2) 水工设备用房：包含海水淡化间、事故油罐室、消防设备间、泡沫储罐室等；

(3) 暖通设备用房：包含平台冷却设备间、水冷冷水机组室、次氯酸发生器室、空调设备间、通风机房等；

(4) 阀冷却设备用房：包含阀冷设备间、阀冷控制设备室等；

(5) 辅助功能房间：包含备品间、避难室、休息室、急救室、卫生间、电梯、楼梯、走道等。

8.2.2 海上柔性直流换流站舱室布置应根据舱室设备重要等级、防火要求进行分区布置。

8.2.3 海上柔性直流换流站舱室布置应为平台分区建造提供便利条件。

8.2.4 设备舱室长度尺寸大于 7m 时，宜设置两个出入口，至少有一个出入口作为运输通道通往室外并与室外主要搬运通道衔接，其净空尺寸应设备的搬运要求。

8.2.5 设备舱室的出入口应采用向疏散方向开启的，直通室外的门还应满足风雨密性能要求。

8.2.6 当位于风浪较大、大气腐蚀性较强的地区时，阀厅通往室外的出入口应设置门斗。

8.2.7 设备舱室外舱壁不应设置采光窗。当外舱壁设置通风百叶窗或排烟风机时，应采取气密及防水措施，有屏蔽要求的舱室还应采取电磁屏蔽措施、百叶窗或排烟风机应设置自动启闭装置。

8.2.8 露天甲板区、走道和甲板开口的边缘均应设置安全防护栏杆，防护栏杆高度不低于 1.2m，高度超过 2.5m 的直梯应设安全防护笼或其他安全装置。甲板、平台、通道、楼梯、楼梯扶手和挡板的设计应设置防滑倒、绊倒、跌落和防夹伤措施，且易于排水和清洁。

8.2.9 海上柔性直流换流站上直升机甲板的设置应按照国家相关规定执行，甲板通道边上应设置安全标志牌。

8.3 通道及设施布置

8.3.1 海上柔性直流换流站应根据甲板尺寸大小、生产作业和人员逃生的需要设置甲板通道和梯道。

8.3.2 海上柔性直流换流站至少应设有两个尽可能远离的便于到达露天甲板和救生艇登艇甲板的脱险通道。每个脱险通道应便于通过并且没有障碍，沿通道的所有出口的门应易于开启。

8.3.3 脱险梯道应从顶层甲板依次延伸向下至下层甲板，并与下部支撑结构（如，导管架）上的脱险梯道相通，直至接近水面的人员着落处。

8.3.4 海上柔性直流换流站平台布置时应考虑在失火时，至少有一个到登船位置和救生艇筏处的脱险通道可免于受到热辐射危害。

8.3.4 升降机不应作为脱险通道。

8.3.5 应急集合站应布置在失火危险较小的区域并靠近救生艇筏的登乘站。

8.3.6 应易于从生活区和工作区到达，且应急集合站应有足够的甲板空间以容纳指定在该站集合的所有人员。

8.3.7 登临设施的布置（个数、位置、朝向等）应考虑海上柔性直流换流站平台所在海域的水文气象条件和船舶靠泊方式。

8.3.8 登临设施应考虑必要的安全防护措施，登船平台宜考虑设置防撞设施以避免对平台主体结构的损坏。

8.4 建筑要求

8.6.1 阀厅及二次控保舱室应采取六面体电磁屏蔽措施，其建筑围护系统应具有优良的气密性能，所有缝隙均应采取严密的封堵措施。

8.6.2 舱壁设备套管、阀冷却水管、空调送/回风管、通风排烟装置、电缆及光缆等设备和管线开孔应待安装工作完毕后实施封堵，孔洞封堵除应满足围护系统的整体电磁屏蔽、气密、防水、隔热、隔声等性能要求。

8.6.3 海上柔性直流换流站各功能舱室及部位的饰面材料应与其使用功能相匹配，且应符合下列要求：

1 二次控保室等设备舱室应采用耐磨、抗静电、光滑、不起尘、易清洁的饰面材料。

2 高压站用变室、柔直变压器室、站用电室、GIS室、蓄电池室、阀冷设备室、阀冷控制设备室、空调设备室等设备舱室，以及门厅、过厅、走道等应采用耐磨、光滑、不起尘、易清洁的饰面材料。

3 阀厅室内地坪应采用耐磨、抗冲击、抗静电、不起尘、防潮、光滑、易清洁的饰面材料。

4 直流场室内地坪应采用耐磨、抗冲击、不起尘、易清洁的饰面材料

5 卫生间应采用防水、防滑、易清洁的饰面材料。

9 结构

9.1 一般规定

9.1.1 海上柔性直流换流站结构设计应与总体布置、工艺条件、施工组织等相适应，符合安全可靠、经济合理、环境友好、工艺先进、运维简便的原则，在结构设计工作年限内满足预定功能和耐久性要求。

9.1.2 除疲劳设计外，海上柔性直流换流站的结构设计宜采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法。疲劳设计宜采用容许应力法。

9.1.3 海上柔性直流换流站的结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

9.1.4 承载能力极限状态应包括：

- 1 结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承载；
- (2) 整个结构或其一部分作为刚体失去平衡；
- (3) 结构转变为机动体系；
- (4) 结构或结构构件丧失稳定；
- (5) 结构因局部破坏而发生连续倒塌；
- (6) 地基丧失承载力而破坏；
- (7) 结构或结构构件发生疲劳破坏

9.1.5 正常使用极限状态应包括：

- (1) 影响外观、使用舒适性或结构使用功能的变形；
- (2) 造成人员不舒适或结构使用功能受限的振动；
- (3) 影响外观、耐久性或结构使用功能的局部损坏。

9.1.6 结构设计应按下列设计状况进行区分：

- 1 持久设计状况：适用于结构正常使用时的情况；
- 2 短暂设计状况：适用于结构施工和维修等临时情况；
- 3 偶然设计状况：适用于结构遭受火灾、爆炸、非正常撞击等罕见情况；
- 4 地震设计状况：适用于结构遭受地震时的情况。

9.1.7 结构或结构构件按承载能力极限状态设计时，应符合下列规定：

1 对于结构或结构构件发生疲劳破坏的承载能力极限状态设计可按下列公式计算：

$$DFF \cdot D_c \leq 1$$

式子中： DFF ——疲劳安全系数；

D_c ——疲劳损伤。

2 对于除了第 1 条之外的承载能力极限状态设计可按下列公式计算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m}$$

式子中： S_d ——荷载效应组合的设计值；

R_d ——结构构件抗力的设计值；

R_k ——结构构件抗力标准值；

γ_m ——结构构件抗力系数，按本规范第 9.2.10 条取值；

γ_0 ——结构重要性系数。

9.1.8 结构或结构构件按正常使用极限状态设计时，应符合下列规定：

$$S_k \leq C$$

式子中： S_k ——荷载效应组合的标准值；

C ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值。

9.1.9 海上柔性直流换流站桩、导管架及上部组块的主体结构的安全等级应为一类，次要结构的安全等级应不小于二类。

1 对于偶然设计状况和地震设计状况， γ_0 应取 1.0。

2 对于持久设计状况和短暂设计状况，一级和二级的结构重要性系数 γ_0 应分别为 1.1 和 1.0。

9.1.10 海上柔性直流换流站结构设计工作年限不应低于 50 年。

9.1.11 海上柔性直流换流站的抗震设防类别应为乙类（重点设防类）。对抗震设防烈度为 9 度的海上柔性直流换流站，应进行专门的抗震研究。

9.2 荷载

9.2.1 海上柔性直流换流站结构上的荷载和作用宜为下列四类：

- 1 永久荷载。主要包括结构自重、固定设备自重、管线自重、舾装自重、土重、土压力、静水压力、浮力等。
- 2 可变荷载。主要包括活荷载、风荷载、雪荷载、冰荷载、波浪荷载、海流荷载、吊装荷载、船舶正常靠泊荷载、直升机正常起降荷载等。
- 3 偶然荷载。主要包括船舶意外撞击荷载、直升机意外坠落荷载、短路电力等。
- 4 地震作用。

9.2.2 海上柔性直流换流站永久荷载的确定，应符合下列规定：

- 1 结构自重的标准值可按结构构件的设计尺寸、材料单位体积自重计算确定。当有海生物附着可能时，尚应计入附着物自重，其采用附加质量法计算时宜根据工程场区及周边区域调查资料，确定海生物生长轮廓线。
- 2 固定设备自重、管线自重、舾装自重应按照实际重量及作用位置计算确定。固定设备自重应包括设备及设备基础、支架等的自重；管线自重应包括管道、线缆、支架、桥架等的自重；舾装自重应包括涂装、铺装、防火绝缘及装饰装修设施等的自重。
- 3 水、土压力和水浮力荷载可结合相应潮位计算。

9.2.3 海上柔性直流换流站可变荷载的确定，应符合下列规定：

- 1 活荷载应根据对应功能及作用位置计算。活荷载应包括正常使用条件下甲板面的设备搬运荷载、设备正常操作荷载、人群荷载及施工期可能的临时堆放荷载等。
- 2 风荷载、波浪荷载、海流荷载可执行现行标准《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法—荷载抗力系数设计法(增补 1)》SY/T 10009 的有关规定。
- 3 雪荷载、吊车荷载和直升机荷载等荷载的计算应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。
- 4 风、浪、流、冰、雪等极端环境荷载的设计基准期不应低于 100 年。

9.2.4 海上柔性直流换流站的永久荷载、波浪荷载、海流荷载计算时，应计入海生

物附着的影响。

9.2.5 海上柔性直流换流站偶然荷载的确定，应符合下列规定：

1 船舶意外撞击荷载、直升机意外坠落荷载应符合现行标准《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法—荷载抗力系数设计法(增补 1)》SY/T 10009 的有关规定。

2 短路电动力由设备厂家根据运行条件计算，应采用荷载标准值作为代表值。

9.2.6 海上柔性直流换流站地震作用宜进行地震安全性评价确定。

9.2.7 对于承受动力荷载的结构，在计算强度和稳定性时，应计入动力系数；计算疲劳和变形时，可不计入动力系数。动力系数的取值应符合下列规定：

1 对近岸有掩护海区吊装时，对吊点和直接与吊点连接的构件可取 1.5，对其他传力构件可取 1.15；

2 在无掩护的海域吊装时，对吊点和直接与吊点连接的构件可取 2.0，对其他传力构件可取 1.35。

9.2.7 按承载能力极限状态设计时，应采用荷载效应的基本组合，必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合；按正常使用极限状态设计时，应采用荷载效应的标准组合。计算疲劳时，应采用荷载效应的标准组合，并可不计入偶然荷载。

9.2.8 荷载效应基本组合时的荷载分项系数，应符合下列规定：

1 当永久荷载对结构不利时，永久荷载分项系数不应小于 1.3；当永久荷载对结构有利时，永久荷载分项系数不应大于 1.0；

2 当可变荷载对结构不利时，可变荷载分项系数不应小于 1.5；当可变荷载对结构有利时，可变荷载分项系数应取 0；

9.2.9 荷载效应标准组合时的永久荷载、可变荷载分项系数，均应取 1.0。

9.2.10 抗力系数应符合下列规定：

1 基础结构承载力极限状态下的抗力系数应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 和《混凝土结构设计规范》GB50010 等确定；

2 桩基承载力极限状态下的抗力系数可执行现行标准《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法—荷载抗力系数设计法(增补 1)》SY/T 10009 的有关规定。

3 疲劳设计的抗力系数应取 1.0；

4 偶然设计状况和正常使用极限状态抗力系数应取 1.0。地震设计状况抗力系数取 0.8。

9.3 材料

9.3.1 海上柔性直流换流站主体结构宜采用碳素结构钢（Q235）、低合金高强度结构钢（Q355、Q390、Q420、Q460）、船舶及海洋工程结构用钢（DH36、EH36、DH40、EH40、DH420、EH420、DH460、EH460）等钢材，且不应采用沸腾钢。

9.3.2 碳素结构钢、低合金高强度结构钢、船舶及海洋工程结构用钢等钢材质量性能应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《船舶及海洋工程用结构钢》GB 712 的规定。

9.3.3 钢管桩、导管架、柱、梁、斜撑等主体结构及其节点用的钢材质量等级，应按下列规定采用：

1 当采用 Q235、Q355、DH36、EH36 钢材时，其质量等级不应低于 B 级；当工作温度不高于 0℃但高于-20℃时其质量等级不应低于 C 级；当工作温度不高于-20℃时，其质量等级不应低于 D 级；

2 当采用 Q390、Q420、Q460、DH40、EH40、DH420、EH420、DH460、EH460 钢材时，其质量等级不应低于 C 级；当工作温度不高于 0℃但高于-20℃时其质量等级不应低于 D 级；当工作温度不高于-20℃其质量等级不应低于 E 级。

9.3.4 厚度大于 40mm 以及厚度大于 25mm 且厚度方向受力的钢材宜采用 Z 向性能钢材。Z 向性能钢材应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T5313 的规定。

9.3.5 海上柔性直流换流站采用的焊条应符合下列要求：

1 手工焊接采用的焊条型号应与主体金属力学性能相适应。用于主要受力结构焊接的焊条，宜采用低氢型焊条。

2 自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和相应的焊剂应与主体金属力学性能相适用。

9.3.6 海上柔性直流换流站结构连接用的灌浆材料应符合下列要求：

1 应具有早强、高强特性，满足结构连接要求所需的抗压、抗拉、抗弯、抗剪切、抗疲劳等力学性能。

2 应具有耐腐蚀性能和耐久性；

3 应采用无收缩、无泌水材料，并与钢材间有较好的粘结性。

4 力学性能试验方法应符合现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》GB/T 17671、《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 和《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的有关规定；耐久性测试试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的有关规定。

9.4 主体结构

9.4.1 海上柔性直流换流站应根据其结构状态的不同，分别进行在位状态分析和施工状态分析。

1 在位状态分析时，应建立一个包括上部组块、下部结构、地基共同作用的完整的结构模型；

2 施工状态分析时，可只建立相应组成部分的模型，并包括临时的施工措施。

3 不同状态下，结构分析内容应包括结构稳定分析、强度分析、变形分析和动力性能分析等。

9.4.2 在位状态结构分析包括极端工况、正常运行工况、疲劳工况和地震工况；施工状态结构分析包括装船工况、运输工况、吊装工况或浮托安装工况。

9.4.3 海上柔性直流换流站结构分析的内容应包括结构稳定、强度、刚度及动力性能分析，并应符合下列要求：

1 结构分析模型应能准确的反映结构中各构件的实际受力情况。

2 结构分析模型应包括所有对结构设计有贡献的构件，应包括构件的截面特性、材料特性，并且能够充分体现结构自重、浮力、稳定性、刚度以及环境载荷特性。

3 结构分析模型应能反映相应计算工况时的全部荷载。

9.4.4 抗震设防烈度为 6 度及以上海上柔性直流换流站应进行水平地震作用计算，抗震设防烈度为 8 度及以上海上柔性直流换流站还应计算竖向地震作用。

9.4.5 海上柔性直流换流站的地震分析可采用振型分解反应谱法或时程分析法。

9.4.6 海上柔性直流换流站的地震作用计算时，对平台结构最不利的主轴方向取荷

载的100%，与此主轴相垂直的水平方向取100%，对于与水平面垂直的方向取50%。用这三个方向的地震引起的惯性力与永久荷载和相应活荷载组合，同时作用在结构上，作为静力问题对平台结构进行分析。

9.4.7 海上柔性直流换流站上部组块设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的相关规定。

9.4.8 当海上柔性直流换流站上部组块采用浮托法安装时，其结构型式应满足施工期和运行期的结构支撑体系要求。

1 施工期支撑结构体系应与所用浮托船相适应，并能够承担装船、运输、安装期间上部组块的全部荷载；

2 运行期支撑结构体系应与基础相配套，避免与浮托施工相干涉，并能够承担运行期的荷载。

9.4.9 海上柔性直流换流站运行期上部结构最大变形应满足表 9.4.9 的规定。设备基础的变形限制可根据供货厂家资料执行。

表 9.4.9 海上柔性直流换流站上部结构变形限值

序号	类型	变形部位	限值
1	整体变形 ¹	上部组块整体倾斜	5‰
2	梁的挠曲变形 ²	板的加劲肋	1/150
3		次梁	1/250
4		主梁	1/400

注：1 整体变形分纵横两个方向，均应满足限值要求。其计算方法为上部组块第一层最外侧基础连接柱的竖向位移差除以基础连接柱的间距，最外侧有多个连接柱时取最大值。

2 梁的挠曲变形计算方法为梁最大竖向挠度除以跨度。

9.5 基础

9.5.1 海上柔性直流换流站基础宜采用导管架型式，经充分论证后也可以采用其他类型的基础型式。

9.5.2 导管架基础设计应符合下列规定：

1 导管架基础可采用先桩法或后桩法设计；

2 桁架式导管架斜撑宜采用 X 形连接方式；

3 桁架式导管架不宜再浪溅区、海冰作用区内设置水平杆件和斜撑；

4 桩基与导管架基础的连接可采用灌浆连接；

5 钢结构设计应符合现行标准《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法—荷载抗力系数设计法(增补 1)》SY/T 10009 的有关规定。

9.5.3 当上部组块采用浮托法安装时，基础结构布置应满足进退船的净空要求。

9.5.4 海上柔性直流换流站的导管架基础结构，可根据现场海洋水文条件、地质条件、施工条件等因素，采用整体式导管架基础结构或分体式导管架基础结构。

9.5.5 海上柔性直流换流站的桩基础宜采用钢管。钢管桩桩长与桩径之比不宜超过 60；桩径与桩壁厚之比不宜超过 100，也不宜小于 20。

9.5.6 桩土相互作用模型可采用 P-Y 曲线法，P-Y 曲线的参数取值应根据地质勘察和桩基试验成果调整。

9.5.7 海上柔性直流换流站桩、导管架、上部结构之间的现场连接，应满足长期运行条件下结构强度、变形的要求，连接方式应便于现场施工。上部结构与基础的连接，可采用灌浆、焊接、螺栓等方式连接；导管架与桩的连接，可采用灌浆方式。

9.5.8 灌浆连接设计应符合下列规定：

1 灌浆连接段应根据灌浆材料性能、钢管和灌浆环向空间几何形状、剪力键的设置和灌浆段长径比等条件进行设计；

2 灌浆连接段应进行承载能力和疲劳寿命计算，并应采取构造措施；

3 灌浆连接段长度不宜小于 1.5 倍连接段外径。

9.5.9 采用灌浆连接时，灌浆段长度不应小于连接构件直径的 1.5 倍，灌浆环形空间的间隙不宜小于 50mm。

9.5.10 在位分析时应计入基础泥面可能发生的冲刷的影响。当不设置冲刷防护设施时，结构分析应计入极限冲刷深度的影响。

9.6 附属设施

9.6.1 海缆套管的设置应结合海缆进出线走向、海上柔性直流换流站的基础型式、

上部组块电缆桥架布置、海缆进出线位置等因素确定。

9.6.2 上部组块采用浮托法安装时，应避免电缆套管、进水管、排水管与进退船相干涉。

9.6.3 海缆套管的内径宜为海缆外径的 1.5 倍~2.0 倍。

9.6.4 海上柔性直流换流站靠船设施应按照满足风电场运维船日常巡检靠泊的要求设计。当无风电场运维船资料时，可按照不超过 500t 级别运维船舶 0.45m/s 法向靠泊速度设计。

9.6.4 靠船部位应设置橡胶护舷，橡胶护舷的性能应根据有效撞击能量计算，并满足现行行业标准《橡胶护舷》HG/T 2866 的有关规定。船舶靠泊时的撞击力标准值应根据船舶有效撞击能量、橡胶护舷性能曲线和靠船结构的刚度确定。

9.7 结构防腐

9.7.1 海上柔性直流换流站主体结构的防腐设计工作年限不宜小于 25 年。

9.7.2 基础钢结构的防腐蚀设计应符合现行行业标准《海上风电场钢结构防腐蚀技术标准》NB/T 31006 的有关规定。

9.7.3 主要结构构件应预留一定的腐蚀裕量。腐蚀裕量不应小于海上柔性直流换流站结构设计工作年限内的预计腐蚀量，不同部位的结构构件的腐蚀裕量应符合下列规定：

- 1 大气区、水下区的单侧腐蚀裕量不宜小于 3mm。
- 2 浪溅区、水位变动区的单侧腐蚀裕量不宜小于 6mm。
- 3 泥下区的单侧腐蚀裕量不宜小于 2mm。

9.8 结构监测

9.8.1 海上柔性直流换流站应开展施工期和运行期结构监测，并符合下列规定：

- 1 施工期结构监测应从上部组块滑移开始，直至上部组块安装完成；
- 2 运行期结构监测应从上部组块安装完成后开始，直至海上柔性直流换流站退役；
- 3 施工期结构监测设施可与运行期监测设施共用，也可单独设置。

9.8.3 海上柔性直流换流站施工期结构监测项目应至少包括下列内容：

- 1 上部组块主要立柱的倾斜监测；
- 2 上部组块主要立柱、主要设备基础部位的振动监测；
- 3 上部组块典型受力部位的应力监测。

9.8.4 海上柔性直流换流站施工期结构监测系统应符合下列要求：

- 1 数据应能实时传输至船上或施工现场的控制室。
- 2 整个施工期间的监测数据应记录并保存。

9.8.5 海上柔性直流换流站运行期结构监测项目应至少包括下列内容：

- 1 基础顶部或上部组块第一层的不均匀沉降监测；
- 2 上部组块主要立柱的倾斜监测；
- 3 上部组块主要立柱、主要设备基础部位的振动监测；
- 4 上部组块典型受力部位的应力监测。

9.8.6 海上柔性直流换流站运行期结构监测系统应符合下列要求：

- 1 数据应能实时传输至陆上控制室；
- 2 监测数据通讯协议宜使用公开、通用的行业协议。

10 给排水

10.1 给水系统

10.1.1 海上柔性直流换流站应有可靠的水源，水源宜采用海水淡化方式制取的淡水；也可采用船舶供水或收集雨、废水处理回用。

10.1.2 海上柔性直流换流站补水量需满足站内生活、生产及消防补水的相关要求。生活饮用水水质应符合现行《生活饮用水卫生标准》GB5749的相关要求。

10.1.3 海上柔性直流换流站内生活用水、生产用水以及消防给水管网宜分开设置。

10.1.4 给水系统采用的设备、管道管件及相关附件均应能适应所在区域的海洋环境。所有的设备应做好固定，应具有抗倾斜、抗振动的能力。设备、管道管件及相关附件在室内设置时，防腐等级不宜小于C4；在室外设置时，防腐等级不应小于CX。防腐措施应符合现行国家标准《色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护》GB/T 30790的有关规定。

10.1.5 采用海水淡化的给水系统应设置防海生物装置，补水接头应采用国际通岸接头。海水淡化系统宜与海水冷却系统共用取水部分。

10.1.6 海上柔性直流换流站外露湿式给水管道应根据所在区域的气候情况设置保温、伴热或防结露措施。

10.2 排水系统

10.2.1 海上柔性直流换流站的排水应采用分流制，生活污水应全部收集至污水收集罐。

10.2.2 户内含油电气设备，应设置挡油设施及将事故油排至事故油罐的设施。事故油罐容积应按其接入的最大的油量及设备所需灭火水量之和确定。

10.2.3 事故油管道应设置水封，水封高度不小于250mm。

10.2.4 污废水排放管道出口处应设置自动监控仪表及排放计量仪表。污水通过装置处理、达到现行国家标准《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限制》GB 4914 或国际海事组织 IMO 相关污水排放标准方可直接排放，不能达到排放标准的污废水，应运至陆上进行处理。

11 冷却系统

11.0.1 平台各发热设备的冷却可采用空气或海水冷却，应根据环境条件、冷却负荷、冷却温度及控制要求、平台空间等，在保证系统可靠、节能、环保的前提下，通过技术经济比较确定。

11.0.2 采用海水冷却时，各设备的冷却系统宜公用，采用空气冷却时，各设备的冷却系统宜独立设置。

11.0.3 VSC 阀的空冷器选择应符合下列规定：

1 计算空冷器传热量的大气干球温度应取当地极端最高干球温度并应考虑空冷器周边热岛效应对空冷器进风温度的影响。

2 空冷器宜采用干式，其换热管束数量应按 N （最不利情况所需）+1 确定，且换热面积的冗余不应小于 20%。

3 空冷器产生的噪声对周边环境的影响，当自然衰减达不到允许噪声标准时，应采取降噪措施。

4 空冷器各部件材质应抗盐雾腐蚀，并预留足够的腐蚀余量。除了运转部件以及密封件外，其他部件的设计使用寿命不应低于平台使用年限。

11.0.4 利用海水对 VSC 阀、柔直变压器进行冷却时，冷却系统宜采用三循环冷却方式。

11.0.5 海水泵宜选用潜水式并设置垂直钢套管保护，套管应与平台固定牢靠。

11.0.6 海水取水口的布置应符合下列规定：

1 取水口的高度应结合水温及泥沙状况确定，并应位于最低潮位 1.0m 以下，距离海底不宜小于 2.0m。

2 取水口和排水口不宜布置在平台同侧，并应考虑潮水和洋流的影响，防止短流。

11.0.7 取水口处应设置除泥沙及防止海洋生物聚集的措施。

11.0.8 海水和淡水循环回路均应设置过滤装置，过滤器滤网孔径均不应大于 200 μm 。

11.0.9 淡水循环回路应设置补水定压装置，补水可采用纯净水或蒸馏水，补水流量宜取循环水量的 1%~2%。

11.0.10 淡水循环回路高点应设置排气装置，海水和淡水管路低点应设置泄水装置。

11.0.11 海水泵、淡水循环水泵及海水-淡水热交换设备宜按 N（最不利情况所需）+1 配置，其他设备应冗余配置。

11.0.12 设备和管道布置应符合工艺流程，应留有安装、操作和维修空间，且设备更换时的转运通道应通畅，大型设备应设置检修用吊装设施。

11.0.13 冷却系统排水水质应符合现行国家标准《海水水质标准》GB 3097 的相关规定。

11.0.14 寒冷地区，室外设备及管道在冬季停用期间应采取防冻措施。

11.0.15 振动设备应设置减振及隔振措施。

11.0.16 金属管路系统应实施可靠接地，保持等电位以防止电腐蚀现象发生。

11.0.17 与海水接触的设备 and 管道应采用钛合金或 2507 超级双相不锈钢，与淡水接触的设备宜采用 316 不锈钢，管道宜采用 316L 不锈钢，加药管道宜采用工程塑料。

11.0.18 换流阀内冷系统设计应符合现行国家标准《高压直流换流站设计规范》GB/T 51200 和《±800kV 柔性直流换流站设计规程》GB/T 50789 的相关规定。

11.0.19 冷却系统应设置就地和集中监控系统对水温、电导率、水压、流量及设备运行状况等进行自动监测。

12 供暖通风及空调

12.1 一般规定

12.1.1 供暖通风及空调设计应符合现行国家标准《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019、《高压直流换流站设计规范》GB / T 51200 及《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定。

12.1.2 系统设计方案应根据使用要求、室外环境条件、冷热负荷特点，并满足节能、环保和卫生标准的情况下，通过技术经济比较确定。

12.1.3 设备和管道布置应符合工艺流程，应留有安装、操作和维修空间，且设备更换时的转运通道应通畅，大型设备应设置吊装设施。

12.1.4 有压水管不应穿过电气盘柜间以及变压器、蓄电池室,空调室内机和风口不应布置在电气盘柜及变压器、蓄电池正上方。

12.1.5 设备、管道及附件均应采用抗盐雾腐蚀的材质，管道、保温材料、消声材料及粘结剂应采用非燃材料。

12.1.6 在严寒及寒冷海域，通风空调系统应考虑防冻措施。

12.1.7 设备产生的噪声对周边环境的影响，当自然衰减达不到允许噪声标准时，应设置消声器或采取其他降噪措施。

12.1.8 振动设备应设置减振及隔振措施。

12.1.9 供暖通风及空调应设置就地和集中监控系统对运行参数、设备状况等进行自动监测。

12.2 供暖

12.2.1 冬季房间供暖可利用空调制热或采用分散式电热方式，供暖设备应设置温控装置。

12.2.2 含油、爆炸性气体设备间的供暖设备应采用防爆型。

12.2.3 风管式电加热器应设无风断电、过流及接地保护。

12.3 通风

12.3.1 除有负压要求的房间外，各房间应维持正压，进入房间的室外空气应

进行除盐雾和除湿处理。房间正压值宜为 30Pa~50Pa，有易燃易爆气体或有害气体的房间，其正压值应低于相邻房间 5Pa 以上。

12.3.2 蓄电池室、柴油机室、油罐室、油箱间和次氯酸钠发生器间应独立设置负压通风系统，其平时通风量和事故通风量按表 12.3.2 确定，进入房间的室外空气应进行除盐雾处理。蓄电池室、柴油发电机房、油罐室、油箱间通风机应为防爆型。

表 12.3.2 负压通风房间最小换气次数

房间名称	换气次数（次/h）	
	平时	事故
蓄电池室（阀控式密封）	3	12
蓄电池室（防酸防爆式）	6	12
柴油机室	6	12
油罐室、油箱间	6	12
次氯酸钠发生器间	6	12

12.3.3 阀厅、直流场应独立设置灾后机械排风系统，换气次数宜按每小时 0.25~0.5 次计算。

12.3.4 电气盘柜室、变压器室以及冷却、空调、消防、海水淡化设备间等应设置火灾后的排风系统，通风换气次数不少于每小时 6 次。当利用空调风管或正压送风管进行排风时，应设置手动切换为排风系统的装置。

12.3.5 内走道长度超过 40m 时，应设置火灾时机械排烟系统，排烟风机应设置在排烟机房内。

12.3.6 设置在外墙上的进、排风口之间的距离不宜小于 4.5m，进风口宜设置在上风侧。

12.3.7 所有通风进风口、排风口应考虑防止雨水、昆虫进入室内的措施。

12.3.8 经常运行的通风机除设置手动启停装置外，宜按需设置根据房间温度设定值或时间设定值自动启停的控制装置。

12.4 空调

12.4.1 阀厅、直流场宜设置集中空调系统，其他房间可采用分体空调。

12.4.2 电气盘柜室、变压器室以及 GIS 室、蓄电池室、冷却设备间等重要的工艺设备间采用通风方式无法满足降温或湿度控制要求时，应设置空气调节装置或除湿装置。

12.4.3 各设备间室内环境标准应按照设备制造厂的要求确定，未提要求时，各房间室内设计参数宜符合表 12.4.3 的规定。

表12.4.3 各房间室内设计参数

房间名称	温度（℃）	相对湿度（%）
阀厅	10~45	10~60
直流场	-5~50	≤70
柔直变压器室	5~40	≤70
高压变压器室	5~40	≤70
站用电室	5~35	≤70
GIS 室	5~35	≤70
柴油机室	5~35	≤70
电缆夹层	5~35	/
二次设备室	19~25	30~65
蓄电池室	15~30	≤70
阀冷控制设备间	5~35	≤70
阀冷设备间	5~35	≤70
平台冷却设备间	5~40	≤70
次氯酸钠发生器间	5~40	/
空调设备间	5~40	≤70
海水淡化间	5~40	≤70
消防设备间	5~35	≤70
油罐室	≥5	/
主控制室	18~28	≤70
避难室	18~28	≤70
休息室	18~28	≤70
急救室	18~28	≤70
备品间	5~40	≤60

储藏间	≥ 5	≤ 60
-----	----------	-----------

12.4.4 集中空调系统宜采用海水冷却，制冷设备宜按照设计冷负荷的 2x100%(或 3x50%)配置，空气处理机组宜按照设计风量的 2x100%配置。

12.4.5 电气盘柜室、变压器室以及蓄电池、冷却设备等重要房间的空调设备或空调末端设备均应按设计冷负荷的 2x100%配置。

12.4.6 运行值班人员工作、休息、避难区和设备区应分别设置空调分系统或独立设置空调系统。

12.4.7 运行人员工作、休息和避难区应有满足卫生要求需要的每人 30m³/h 的新鲜空气量，室外新风应经过盐雾过滤器和空气过滤器处理后才能进入室内。

13 消防

13.1 火灾自动报警系统

13.1.1 海上柔性直流换流站火灾自动报警系统的设计应符合现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》GB50116 的规定。

13.1.2 海上柔性直流换流站的消防控制室应设置在集中监控中心。消防控制室内设置的消防设备应包括火灾报警控制器、消防联动控制器、图形显示装置等。

13.1.3 火灾自动报警系统的探测器类型应根据设置场所和火灾特性，以及探测器适应条件进行选择。火灾探测器的设置宜符合表 13.1 的规定。

表 13.1 主要房间和设备的火灾探测器类型

房间和设备	火灾探测器类型
阀厅	吸气式感烟+火焰
直流场	缆式线性感温（含油设备配置）、 吸气式感烟+ 火焰
高压站用变室、柔直变压器室	缆式线性感温、吸气式感烟、火焰
高压配电装置室	感烟、吸气式感烟
柴油机室、油罐室	感温+火焰+可燃气体
二次设备室、阀冷控制设备室、低压 配电设备室	感烟、吸气式感烟
蓄电池室	防爆感烟+可燃气体
电缆层（含活动地板下区域）和电缆 竖井	缆式线性感温、感烟、吸气式感烟
水工设备用房、暖通设备用房、阀冷 设备间、辅助功能房间	感烟、吸气式感烟

13.1.4 火灾自动报警系统应能与风机、空调、消防水泵、灭火系统等联动，相应动

作信号应反馈至消防联动控制器。消防联动设备应能通过海上柔性直流换流站或集中监控中心设置的火灾报警控制器实现手动直接控制。海上柔性直流换流站的火灾报警控制器宜设置在二次设备室。

13.1.5 海上柔性直流换流站应设置消防应急广播，宜与公共广播合用，合用时应具备火灾强制切入消防广播的功能。

13.2 灭火系统

13.2.1 海上柔性直流换流站消防水宜采用淡水。换流站至少应配备 2 个符合《国际海上人命安全公约》要求的国际通岸接头。

13.2.2 海上柔性直流换流站同一时间内的火灾次数应按 1 次考虑。

13.2.3 消防用水应独立设置，采用消防水箱。水箱容积可满足最大一次灭火所需的全部水量。

13.2.4 消防系统采用的设备、管道管件及相关附件均应能适应所在区域的海洋环境。所有的设备应做好固定，应具有抗倾斜、抗振动的能力。

13.2.5 消防系统采用的设备应具有相关海事认证。

13.2.6 海上柔性直流换流站应设置灭火设施。灭火设施的设置应符合表13.2-1的规定。

表 13.2-1 灭火设施设置

序号	场所	灭火设施类型	移动式灭火器类型
1	柔直变压器	优先采用局部应用高压细水雾开式灭火系统和自动跟踪定位射流灭火系统，其次采用局部应用低倍数泡沫灭火系统	干粉、泡沫灭火器
2	其他油浸式变压器、电抗器、直流场（含油）	优先采用局部应用高压细水雾开式灭火系统，其次采用局部应用低倍数泡沫	干粉、泡沫灭火器

序号	场所	灭火设施类型	移动式灭火器类型
		灭火系统	
3	柴油机	优先采用局部应用高压细水雾开式灭火系统，其次采用局部应用高倍数泡沫灭火系统	干粉、泡沫灭火器
4	柴油油罐	优先采用局部应用高压细水雾开式灭火系统，其次采用局部应用高倍数泡沫灭火系统或局部应用干粉灭火系统	干粉、泡沫灭火器
5	GIS室、电缆夹层、蓄电池室、主控制室等电气设备房间或电缆间	优先采用全淹没应用的高压细水雾开式灭火系统，其次采用组合分配式气体灭火系统	二氧化碳、干粉灭火器
6	二次设备室、阀冷控制设备间、站用电室等电气屏柜房间	优先采用火探管式自动探火灭火装置，其次采用组合分配式气体灭火系统	二氧化碳、干粉灭火器
7	阀冷设备间、平台冷却设备间、次氯酸钠发生器间、空调设备间、海水淡化间、消防设备间、休息室、备品间、储藏间	采用全淹没应用的高压细水雾开式灭火系统	干粉、二氧化碳灭火器
8	封闭走道	采用高压细水雾闭式灭火系统	
9	直升机平台	采用低倍数泡沫消防炮	干粉、泡沫灭火器
10	阀厅、直流场（干式）、急救室、避难室、室外开放区域（无含油设施）		干粉、二氧化碳灭火器

13.2.7 气体灭火系统设计应符合下列规定：

1. 气体灭火系统设计应符合现行《气体灭火系统设计规范》GB 50370的有关规定；

2. 火探管式自动探火灭火装置宜安装在盘柜外侧或顶部，但不得影响人员通行。

3. 灭火剂应采用洁净气体灭火剂，不宜采用对设备存在影响的灭火剂。

4. 灭火系统的储存装置72小时内不能重新充装恢复工作的，应按系统原储存量的100%设置备用量。

13.2.8 细水雾灭火系统应满足下列要求：

1. 细水雾灭火系统宜采用高压细水雾灭火系统，设计应符合现行《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898的有关规定。未有规定时，应经实体火灾模拟试验确定；

2. 设有高压细水雾灭火系统的海上柔性直流换流站宜在每层设置细水雾喷枪。

3. 开式系统每个防护区均应设置分区控制阀，并配套密闭阀箱。阀箱材质应满足所处环境防腐、防水等相关要求。

4. 设置高压细水雾灭火系统的房间应设置消防排水设施，并应采取防止倒灌的技术措施。

5. 高压细水雾管道应采用冷拔法制造的奥氏体不锈钢钢管，或其他耐腐蚀和耐压性能相当的金属管道。管道宜采用专用接头或法兰连接，也可采用氩弧焊焊接。

13.2.9 泡沫灭火系统设计应符合下列规定：

1. 泡沫灭火系统设计应符合现行《泡沫灭火系统设计规范》GB 50151的有关规定；

2. 高倍数泡沫灭火系统泡沫液应选择淡水型高倍数泡沫液。

3. 直升机平台应配备1套独立的固定式泡沫灭火系统，其能力按不少于6L/(min·m²)配置，喷洒泡沫液时间不少于10min，其防护面积以直升机总长为直径的圆面积。

13.2.10 干粉灭火系统设计应符合下列规定：

1. 干粉灭火系统设计应符合现行《干粉灭火系统设计规范》GB 50347的有关规定；

2. 宜选取碳酸氢钠干粉作为灭火剂。

13.2.11 对于柔直换流变等存在爆燃风险的含油设备，宜设置自动跟踪定位射流灭火系统，应符合下列相关规定：

1. 自动跟踪定位射流灭火系统应符合现行《自动跟踪定位射流灭火系统技术标准》GB51427的相关规定；

2. 末端释放装置同时开启的数量不应少于2台，并可覆盖整个保护区，不存在死角；

3. 系统持续保护时间不应小于1h；

4. 系统需由人工确认后手动启动。

13.2.12 移动式灭火器配置应符合下列规定：

1. 移动式灭火器设计应符合现行《建筑灭火器配置设计规范》GB 50140的有关规定；

2. 各层甲板均应设置灭火器，其布置应使从甲板任何一点到达灭火器的距离不大于10m；

3. 电气设备房间应设置1具二氧化碳灭火器；

4. 每层甲板距离楼梯出口3.0m内应设置2具干粉灭火器，每台吊机应设置2具干粉灭火器；

5. 在通往直升机甲板的通道附近应配备下列灭火器：

a) 总容量不少于45kg的干粉灭火器；

b) 总容量不少于18kg的二氧化碳灭火器。

6. 灭火器应安装在箱体或托架上，顶部离地面高度不应大于1.5m。底部离地面高度不宜小于0.8m。灭火器布置在室外时，应有相应的防腐措施。

13.2.13 在直升甲板的两侧各设置一个消防软管站和水/泡沫两用炮式喷射器，保证上述设备在任何情况下足以喷射到直升机平台的任何部位。

13.2.14 消防员装备配置应符合下列规定：

1. 换流站宜配备不少于两套的消防员装备箱。当配备直升机甲板时，其中一个装备箱应设置于靠近直升机甲板的地方，并应配备一根长3m带金属钩的钩杆；

2. 每套消防员装备应包括防护服、消防靴和手套、头盔、有绝缘木柄的消防斧、连续使用 3h 的手提式安全灯以及 30min 自持式空气呼吸器一具。

13.3 防火分区及分隔

13.3.1 海上柔性直流换流站防火分区设置应符合现行国家标准《火力发电厂与变电站设计防火标准》GB 50229 和《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定，且应符合下列规定：

1 海上柔性直流换流站防火分区设置应根据各功能用房的重要等级和使用功能，宜将重要等级相同或相近、使用功能关联度高的房间划分在同一防火分区。

2 海上柔性直流换流站防火分区设置应结合结构导管架布置考虑，为平台分区建造提供便利条件。

13.3.2 海上柔性直流换流站各防火分区不同舱室之间的舱壁、甲板应采取防火分隔措施。

13.3.3 防火分隔的设置，应符合下列要求：

- (1) 根据所处的特点和对安全的重要程度，合理设置不同的耐火分隔。
- (2) 防火分隔上的所有门、窗及其他孔洞位置的设置，不应削减其防火性能。

13.3.4 海上柔性直流换流站的防火分隔可分为 A 级、B 级和 C 级，其耐火分隔应满足表 13.3.1 的规定。

表 13.3.1 海上柔性直流换流站耐火分隔性能要求

耐火级别	材料要求	耐火时间要求	隔热要求
A-60	主材应以钢或其他	应在 1h 的标准耐火	标准耐火试验下，60min 后背火面平均温升不超过 139℃，且任何一点的温升不超过 180℃
A-30			标准耐火试验下，30min 后背火面平均温升不超过 139℃，且

	等效材料制造，并具有足够的刚度。	试验下，能防止烟及火焰通过	任何一点的温升不超过180℃
A-15	隔热材料采用耐火材料		标准耐火试验下，15min后背火面平均温升不超过139℃，且任何一点的温升不超过180℃
A-0			--
B-15	--		标准耐火试验下，15min后背火面平均温升不超过139℃，且任何一点的温升不超过225℃
B-0			--
C	不满足上述规定但由耐火材料组成的其它分隔		

13.3.5 海上柔性直流换流站各处所及部位防火危险性分类，应符合表 13.3.2 的规定。

表 13.3.2 海上柔性直流换流站各处所及部位防火危险性分类

类别	处所名称	部 位
①	火灾危险性较大的设备处所	阀厅、主变压器室、柴油机室、柴油油罐室、电抗器室、事故油池室、电缆室、电缆井
②	其他设备处所	直流场、开关柜室、配电柜室、GIS室、无功补偿装置室、蓄电池室
③	控制室	中控室、继保室、通信机房、无线电室
④	失火危险性较小的服务处所	卫生间、洗衣间、救生设备间、没有储藏易燃材料的储藏室
⑤	楼梯、走廊	楼梯、走廊
⑥	开敞甲板	露天甲板

13.3.6 海上柔性直流换流站相邻处所间舱壁的耐火分隔等级，不应低于表 13.3.3 的规定要求。

表 13.3.3 海上柔性直流换流站相邻处所间舱壁的耐火分隔要求

处 所	①	②	③	④	⑤	⑥
①火灾危险性较大的设备处所	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60	A-0
②其他设备处所		A-0	A-15	A-0	A-0	A-0
③控制室			A-0	A-15	A-0	A-0
④失火危险较小的服务处所				C	A-0	A-0
⑤楼梯、走廊					C	C
⑥开敞甲板						C

13.3.7 海上柔性直流换流站相邻处所间楼板的耐火分隔等级，不应低于表 13.3.4 的规定要求。

表 13.3.4 海上柔性直流换流站相邻处所间楼板的耐火分隔要求

上层处所 下层处所	①	②	③	④	⑤	⑥
①火灾危险性较大的设备处所	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60
②其他设备处所	A-0	A-0	A-15	A-0	A-60	A-0
③控制室	A-0	A-0	A-15	A-0	A-60	A-0
④失火危险较小的服务处所	A-0	A-0	A-15	A-0	A-0	A-0
⑤楼梯、走廊	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
⑥开敞甲板	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0

13.4 防火门窗

13.4.1 海上柔性直流换流站门、窗的耐火等级应与其安装处的舱壁等效。

13.4.2 海上柔性直流换流站外部门应为钢质或等效材料，应为自闭式。

13.4.3 独立于电力生产设施层设置的人员休息处所，沿走廊舱壁的住室、公共处所、办公室和卫生处所的门，可允许在其下部开通风口，其总净面积不得超过 0.05 平方米，此开口处应设有用耐火材料制成的格栅。在构成梯道间的分隔上面的门不应设置此种开口。

14 逃生与救生设施

14.1 脱险通道

14.1.1 海上柔性直流换流站至少应设有两个尽可能远离的便于到达露天甲板和救生艇登艇甲板的脱险通道。

14.1.2 用作脱险通道的走廊，其净宽度不应小于1米。只有一端通往楼梯的袋形走廊的长度不应超过7米。

14.1.3 一般应以钢质梯道作为脱险通道，但当梯道的安装不可行时，垂直梯也可用作脱险通道。用作脱险通道的楼梯，斜度不应陡于50度，宽度不应小于800毫米，梯级高度应不大于250毫米，踏步板应为防滑型，楼梯两侧应设有安全扶手。如梯道总长度超过8米时，在中途应设置休息平台。

14.1.4 脱险梯道室内布置时，饰面材料应采用A级不燃材料，地面材料应便于人员行走。

14.1.5 脱险梯道应从顶层甲板依次延伸向下至下层甲板，并与下部支撑结构（如，导管架）上的脱险梯道相通，直至接近水面的人员着落处。

14.1.6 海上柔性直流换流站平台布置时应考虑在失火时，至少有一个到登船位置和救生艇筏处的脱险通道可免于受到火的热幅射危害。

14.1.7 每条脱险通道应便于通过并且没有障碍，沿通道的所有出口门向逃生方向开启。

14.1.8 海上柔性直流换流站用于逃生的门的净宽度不应小于700mm。

14.1.9 升降机、电梯不应作为脱险通道。

14.2 逃生与救生设备

14.2.1 海上柔性直流换流站应配备至少12人的气胀式救生筏。气胀式救生筏的制造应符合相关规定并经发证检验机构认可，气胀式救生筏的设备应满足下列要求：

- 1 气胀式救生筏应尽可能沿平台甲板边缘布置。

2 气胀式救生筏及其存放容器应存放在刚性固定式筏架上并加以固定，应急时能迅速地将救生筏抛落到水面。

3 气胀式救生筏的充气拉索长度应为从其最高存放位置到最低天文潮位水面之间高度的1.5倍，且不应小于30m。

4 应根据救生筏的存放位置，在尽量接近水面的甲板边缘设置绳梯或其他等效的登乘装置。

14.2.2 平台上应配备足够的救生圈，救生圈应符合相关规定并经发证检验机构认可，救生圈的设置应满足下列要求：

1 应至少配备2个带自亮浮灯的救生圈，4个带自亮浮灯和自发烟雾信号的救生圈。每个自带浮灯和自发烟雾信号的救生圈应配备一根可浮救生索，可浮救生索的长度应为从救生圈的存放位置至最低天文潮位水面高度的1.5倍，并不应小于30m。

2 平台救生圈应沿甲板的各边缘合理布置。

3 救生圈应存放在人员易于到达的支架上，应能随时取用，不得永久固定。

14.2.3 平台上应配备足够的救生衣，救生衣应符合相关规定并经发证检验机构认可，救生衣的设备应满足下列要求：

1 应至少按定员12人配备救生衣，救生衣的数量为定员人数的210%，其中避难室内配备100%，逃生集合站附近配备100%，平台工作区内配置10%。

2 工作区内配备的救生衣应存放在干燥、安全的柜内，该柜应位于易到达的地方，并有识别的标记。

3 寒冷地区的平台上应至少配备12套保温救生服。

14.2.4 平台上应配备1套抛绳设备，抛绳设备应存放在易于到达的地方，并随时可用。

15 施工组织

15.1 施工交通运输

15.1.1施工交通运输路线和船机设备配置应结合海上柔性直流换流站上部组块尺寸和重量、陆上建造基地的港口或码头布置和出运条件、运输航线及换流站所在海域的海洋水文、气象条件等，经比选后确定。

15.1.2运输船舶应根据运输航线上的海洋水文、气象条件，结合换流站的尺寸重量及装船方式等进行对其进行稳性分析，并应满足运输过程中的安全要求。

15.1.3应根据换流站上部组块的运输和装船方式，对上部组块进行临时加固和固定。

15.2 主体工程施工

15.2.1站址区域的导管架施工应按项目主体工期安排，先于上部组块完成施工和验收。

15.2.2换流站的上部组块，宜在建造基地完成全部设备安装、调试后，采用半潜船整体运输至站址的导管架处安装就位。

15.2.3上部组块安装交叉进行时，应根据电气设备布置情况，研究结构建造与主要设备的安装工序要求，减少作业交叉和相互干扰。

15.3.4陆上建造基地应满足换流站结构制作、涂装、设备安装、调试的要求。

15.2.5换流站上部组块陆上建造完成后，可通过滑移或吊装两种方式装船。建造基地的码头应满足换流站上部组块整体出运的条件。

15.2.6主要的施工船机设备配置应根据换流站上部组块尺寸、重量等综合技术经济比较分析后确定。

15.2.7换流站的桩基施工应符合下列要求：

1 钢管桩宜在陆上工厂内整根加工制作。

2 应根据海床地质条件、桩型、桩身结构强度、桩的承载力和锤的性能，并结合施工经验试沉桩或试装情况综合分析确定打桩的装锤。

15.3 施工总布置

15.3.1施工总布置应结合建造基地周边的岸线条件、交通运输条件、建造企业的钢结构加工能力、电气设备安装能力、建造场地面积和出运码头条件等施工条件，经技术经济比选确定施工总布置方案。

15.3.2 施工组织设计应符合国家现行标准《风电场工程 110kV~220kV 海上升压变电站设计规范》NB/T 31115 的有关规定。

16 环境保护

16.1 一般规定

16.1.1 环境保护与水土保持设计应遵循国家和地方有关法律法规，并满足相关规划、功能区划的要求。

16.1.2 环境保护与水土保持设计应以建设项目环境影响评价文件和水土保持方案及其批复文件为依据，根据工程特点和环境特征确定设计方案。

16.2 环境保护

16.2.1 海水水质、沉积物环境保护应符合下列规定：

(1) 海上工程施工产生的废水排放应按现行国家标准《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》GB4914 执行。

(2) 施工和运维船舶产生的污染物应分类收集储存，处置方式应符合现行国家标准《船舶水污染物排放控制标准》GB3552的规定。

(3) 海上柔性直流换流站应配备油污水收集储存设施，就地处理排放应满足相应的限值要求，上岸处理应移交相应的资质单位。海上柔性直流换流站宜配备检修人员生活污水收集储存设施，上岸后应移交相应的资质单位处理后达标排放。

(4) 工程抛填填充物中物质成分应符合现行国家标准《围填海工程填充物质成分限值》GB 30736 的规定。

16.2.2 海上柔性直流换流站总体布置及平台基础结构形式应满足海洋水文动力、地形地貌及冲淤环境的保护要求。

16.2.3 海上柔性直流换流站海洋生态保护设计应按照避让、减缓、恢复、补偿的顺序进行，并应符合下列规定：

(1) 海上柔性直流换流站选址和海底电缆路径应避让海洋生态环境敏感区，当不能避让时，应进行专题论证；

(2) 减缓措施设计宜包括施工船舶航行时段及航线的优化和施工期、运行期船舶及海上柔性直流换流站的溢油风险控制措施等；

(3) 生态恢复措施设计直包括海上柔性直流换流站、平台基础周边和海底电缆上部海底生境保护与修复措施等；

(4) 补偿措施设计宜包括海洋生物人工增殖放流措施、增设人工鱼礁措施和生境异地补偿措施等。

16.2.4 在海洋生态敏感区宜采取具有电磁屏蔽效果的海底电缆。

16.2.5 声环境保护设计应符合下列规定：

(1) 在海洋生态环境敏感区及对水下噪声敏感程度高的海域进行工程施工时，应采取相应的减振、降噪措施；

(2) 声环境敏感目标附近的海上柔性直流换流站运行产生的环境噪声应符合现行国家标准《声环境质量标准》GB 3096 的规定。

16.2.6 固体废弃物环境保护设计应符合下列规定：

(1) 工程施工、运行维护中产生的漂浮物、塑料制品等固体废弃物不应弃置入海；

(2) 海上柔性直流换流站事故油应回收；

(3) 海上柔性直流换流站产生的油渣、油垢等危险废弃物应移交资质单位处理。

本标准用词说明

1 为便于在执行本规定条文时区别对待，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”，反面词采用“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

- 《高压直流换流站设计规范》GB/T 51200
- 《柔性直流输电换流站设计标准》GB/T 51381
- 《柔性直流输电系统成套设计规范》GB/T 35703
- 《±800kV 柔性直流换流站设计规程》GB/T50789
- 《海上风力发电场设计标准》GB/T51308
- 《绝缘配合第2部分：高压输变电设备的绝缘配合使用导则》GB/T 311.2
- 《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
- 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB/T 50064
- 《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065
- 《35kV~110kV 变电站设计规范》GB 50059
- 《供配电系统设计规范》GB 50052
- 《低压配电设计规范》GB50054
- 《柔性直流输电控制与保护设备技术要求》GB/T 35745
- 《继电保护和安全自动装置技术规程》GB/T 14285
- 《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》GB 51309
- 《建筑结构荷载规范》GB50009
- 《碳素结构钢》GB/T700
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《船舶及海洋工程用结构钢》GB 712
- 《结构用无缝钢管》GB/T8162
- 《厚度方向性能钢板》GB/T5313
- 《色漆和清漆防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护》GB/T 30790
- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《安全防范工程技术规范》GB50348
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348

《声环境质量标准》 GB 3096

《海水水质标准》 GB 3097

《生活饮用水卫生标准》 GB 5749

《建筑给排水设计标准》 GB 50015

《细水雾灭火系统技术规范》 GB 50898

《工业金属管道工程施工质量验收规范》 GB50184

《工业金属管道工程施工规范》 GB 50235

《建筑设计防火规范》 GB50016

《火力发电厂与变电站设计防火标准》 GB50229

《泡沫灭火系统设计规范》 GB 50151

《自动跟踪定位射流灭火系统技术标准》 GB 51427

《火灾自动报警系统设计规范》 GB50116

《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》 GB50019

《建筑防排烟系统技术标准》 GB51251

《风电场工程 110kV~220kV 海上升压站变电站设计规范》 NB/T 31115

《220kV~750kV 变电站设计技术规程》 DL/T 5218

《35kV~220kV 无人值班变电站设计技术规程》 DL/T 5103

《导体和电器选择设计技术规定》 DL/T 5222

《高压直流换流站绝缘配合导则》 DL/T605

《换流站站用电设计技术规定》 DL/T 5460

《发电厂和变电站照明设计技术规定》 DL/T 5390

《换流站二次系统设计技术规程》 DL/T 5499

《电力工程直流电源系统设计技术规程》 DL/T 5044

《电力工程交流不间断电源系统设计技术规程》 DL/T 5491

附：条文说明

3 站址及建造基地选择

3.1 站址选择

3.1.9~3.1.11 海上柔性直流换流站进出海缆众多，总体设计时，需规划好进出线海缆通道，避免交叉、重叠。海上柔性直流换流站的安装、运维也对海缆布置有避让要求，海缆通道规划时也需统筹考虑。

3.1.12 海上柔性直流换流站站址处水深，需与运输、安装工艺相协调，水深不能太浅；在满足运输、安装水深的条件下，则还需考虑结构安全性和经济性。若采用浮托法安装，则要考虑浮托船吃水、浮托作业时下潜深度和必要的安全裕量。

3.2 建造基地选择

3.2.1~3.2.6“先陆上后海上，先水上后水下”是一般海洋平台的施工布置原则，尽量将上部组块的制造、舾装、设备安装、调试在陆上建造基地完成，然后整体运输至海上安装，减少海上作业环节。因此陆上建造基地的选择应充分考虑海上柔性直流换流站和建造企业的各方案条件。

3.3 站址勘测要求

3.3.1 应收集、分析当地水文、气象数据，向当地水文气象专家咨询；向渔业主管部门了解渔业资源情况，海上柔性直流换流站应避开近海人工养殖区域和捕捞作业区域；现场勘察海上柔性直流换流站站址附近是否有航道、锚地、禁航区等，应避开船只航行或出入海港路径；了解站址区域是否存在军事设施、文物古迹、自然保护区或旅游风景区等。

5 电气一次设计

5.1 电气主接线

5.1.3 目前国内外海上柔性直流输电工程采用对称单极接线形式，有利于减小海上柔性直流换流站平台尺寸和重量。但是随着输送容量的增加和设备制造设备水平的提升，为提升直流输电系统的可靠性，也可采用对称双极接线形式。

5.1.4 为减小海上柔性直流换流站平台尺寸和重量，海上柔性直流换流站柔直变压器通常采用三相一体变压器，考虑故障“N-1”的要求，需考虑设置 2 台及以上容量相同、互为备用的柔直变压器。任意 1 台柔直变压器故障时，由备用的柔直变压器将风电场所发出的电能送出，可确保柔性直流输电系统不退出运行。待故障柔直变压器完成检修更换后，容量相同、互为备用的变压器恢复并联运行。

5.1.6 为实现柔直变压器的检修和隔离，柔直变压器阀侧宜配置断路器或隔离开关。

5.1.8 柔性直流输电系统通常在柔直变压器阀侧或正、负极线之间设置直流接地点，为正、负极线提供参考电压。与大容量远距离柔性直流输电工程相比，海上风电柔性直流输电工程的输电距离较短，且直流海缆出线的对地杂散参数比远距离架空线路较为均匀，可考虑仅在陆上柔性直流换流站柔直变压器阀侧或正、负极线之间设置直流接地点，海上柔性直流换流站柔直变压器阀侧或正、负极线之间可不考虑设置直流接地点。

5.1.9 直流电抗器主要用于抑制直流线路故障时的故障电流上升率，阻挡雷电波直接侵入换流站。海上柔性直流换流站通常采用直流海缆进出线，无雷电波侵入工况。同时，桥臂电抗器可分担抑制直流线路故障时的故障电流上升率的作用。为优化海上柔性直流换流站电气设备配置，海上柔性直流换流站可不设置直流电抗器。

5.1.10 海上柔性直流换流站的交流侧为风电场，不存在从海上柔性直流换流站交流侧启动整个柔性直流输电系统的情况，仅考虑从陆上柔性直流换流站对海上柔性直流换流站进行倒送电的运行工况。因此，通常不考虑在海上柔性直流换流站

设置启动回路。

5.1.11 考虑到海上柔性直流换流站对平台尺寸和重量等苛刻限制条件，在海上柔性直流换流站设置耗能装置将显著增加海上柔性直流换流站平台尺寸。因此，通常不考虑在海上柔性直流换流站设置耗能装置。

5.2 主要设备和导体选择

5.2.5 海上柔性直流换流站的柔直变压器的重量和尺寸较大，为便于变压器的安装和检修更换，宜采用三相一体变压器，并设置容量相同、互为备用的柔直变压器。

海上柔性直流换流站的柔直变压器的可采用水冷或风冷方式。若采用风冷方式，变压器的散热器尺寸较大，且柔直变压器容量越大，越不利于散热器的安装和布置，采用水冷却方式可有效减小柔直变压器的散热器尺寸。若采用水冷方式，变压器的散热器尺寸较小，但需要增加变压器水冷却系统的投资。因此，柔直变压器的冷却方式因进行技术经济比选后确定。

海上柔性直流换流站的柔直变压器的采用电缆或气体绝缘输电线路（GIL）进出线方式可极大地减小柔直变压器的整体尺寸，优化海上柔性直流换流站平台整体尺寸。

5.2.6 在设备制造能力具备的条件下，海上柔性直流换流站的桥臂电抗器也可选择油浸式电抗器。

5.3 过电压保护、绝缘配合与接地

5.3.3 换流站内一般需要布置以下 5 种避雷器：

交流母线避雷器 A：位于换流站交流母线上，用于保护换流站交流母线设备，需要尽量靠近换流变压器线路侧套管安装，用来限制换流变一次侧过电压和二次侧过电压。

换流变阀侧避雷器 A2：用于直接限制换流变阀侧绕组相-地之间的过电压，另一方面也能间接作为中性点接地电阻的保护。

中性点接地电阻避雷器 G：用于直接限制中性点接地电阻的过电压。

桥臂电抗阀侧避雷器 LV：用于保护桥臂电抗与级联子模块阀连接点处受来自于直流侧侵入波的危害。

直流侧避雷器 D：装设在换流器正负极直流出口，用于限制直流场的操作过电压，保护换流器直流侧设备和直流耗能支路。

5.3.7 安全的接地设计应保障站内设备和运行人员人身的安全，其中设备安全主要通过控制接地电阻，使接地短路故障时地电位升对站内设备的反击电压在其工频耐受电压水平以内，人身安全主要通过控制接触、跨步电位差，使其满足人体安全的要求。

5.5 站用电系统

5.5.3 在海上柔性直流换流站交流母线带电之前，为满足柔性直流输电系统的启动条件，海上柔性直流换流站的控制保护系统、阀冷却系统、平台冷却系统、暖通空调等重要负荷均需带电运行，为提高备用电源的可靠性，柴油发电机组应考虑冗余配置。

6 电气二次

6.1 监控系统

6.1.2 本条对海上柔性直流换流站监控系统结构做了规定。站控层设备主要包括系统服务器、远动通信设备、运行人员工作站、工程师工作站等，控制层设备主要包括直流极控、交流站控、直流站控（如有）和站用电控制等，就地层设备主要包括交/直流测控设备和相应的 I/O 板卡等。

海上柔性直流换流站和陆上柔性直流换流站监控系统统一设计时，可适当简化站控层设备配置。站控层设备中的系统服务器、远动通信设备、远动人员工作站、工程师工作站可仅在陆上柔性直流换流站配置，同时为满足海上柔性直流换流站调试和检修的需求，预留运行人员工作站和工程师工作站的接入接口。

6.2 直流控制系统

6.2.3 直流控制系统对于整个柔性直流输电系统的可靠、安全运行具有至关重要的作用，因此要求直流控制系统冗余配置。本条规定的冗余范围是为了保证任一子系统或单一元件故障不会同时影响两套控制系统。在双重化的控制系统中，从主用系统到备用系统的切换可以通过手动或自动实现，控制系统切换不应影响直流系统的正常运行产生影响。

6.3 直流系统保护

6.3.2 直流保护系统三重化设计时，采用三套独立保护+两套独立的“三取二”逻辑出口装置，一套保护退出时采用“二取一”逻辑出口，两套保护退出时采用“一取一”逻辑出口。

6.3.3 本节规定了柔性直流输电系统保护分区的一般原则，对于特殊接线方式可合理调整保护分区。

6.4 交流系统保护及安全自动装置

6.4.4 国内的直流系统暂态故障录波装置已具备组网功能，可与交流系统暂态故障录波装置共同组成换流站录波专网，因此海上柔性直流换流站直流系统暂态故障录波网络宜与交流系统暂态故障录波装置共同组成录波专网，通过录波专网与保护和故障信息管理子站系统通信。

6.5 调度自动化

6.5.1 海上柔性直流换流站如果和陆上柔性直流换流站按照一个调度点统筹考虑，海上柔性直流换流站的相关远动信息可通过陆上柔性直流换流站的远动装置送至相关调度。海上柔性直流换流站如按照独立调度点考虑，海上柔性直流换流站应配置远动通信装置，并建立至相关调度的通信通道，通道方式宜采用调度数据网或专线方式。

6.5.5 根据国能安全[2015]36号《电力监控系统安全防护总体方案》及《发电厂监控系统安全防护方案》要求，电力二次系统安全防护的重点是确保电力实时闭环

监控系统及调度数据网络的安全，目标是抵御黑客、病毒、恶意代码等通过各种形式对系统发起的恶意破坏和攻击，特别是能够抵御集团式攻击，防止由此导致一次系统事故或大面积停电事故，及二次系统的崩溃或瘫痪。如海上柔性直流换流站作为独立调度点时，其二次安防措施应包括：

(1) 横向边界防护

控制区（安全Ⅰ区）与非控制区（安全Ⅱ区）之间采用具有访问控制功能的网络设备、安全可靠的硬件防火墙，实现逻辑隔离、报文过滤、访问控制等功能。换流站内非控制区（安全Ⅱ区）和管理信息大区如互联应配置正反向隔离装置。

(2) 纵向边界防护

安全Ⅰ区和Ⅱ区的各系统接入电力调度数据网前应加装IP认证加密装置。

(3) 综合防护

如海上柔性直流换流站为厂端站时，其二次安防的配置应按照火力发电厂、核电站等配置。调度数据网生产控制大区配置相应的安全防护设备：包括3套入侵监测（Ⅰ区、Ⅱ区、管理大区各一台）、2台安全审计（用于Ⅱ区和管理大区）、2台恶意代码防护设备（用于Ⅱ区和管理大区）。管理大区配置1套上网行为审计系统。

(4) 网络安全监测装置

由于二次安全防护措施变化快、时效性强，变电站二次系统安全防护设计应满足国家、行业、调度的相关最新规定。

6.8 辅助二次系统

6.8.2 视频监视及安全警卫系统的配置原则应符合下列规定：

2 为满足海上柔性直流换流站无人值守要求，视频监控系统应能监视电气设备运行状态和周围环境，同时兼顾安全警卫功能。摄像头应覆盖阀厅、直流场、高压站用变室、柔直变压器室、柴油机室、二次设备室、阀冷控制设备室、低压配电设备室、蓄电池室等出入口等重要监控位置。

3 考虑到海上柔性直流换流站应按无人值班设计，主要运维地点在集中监控中心的特点，海上柔性直流换流站和陆上柔性直流换流站的视频监控应统一组网，在

海上柔性直流换流站配置分控视频工作站，视频数据在海上柔性直流换流站实现短时存储并转发至陆上柔性直流换流站，在陆上柔性直流换流站配置主控视频工作站，配置磁盘阵列，实现视频数据的长时间存储。

4 对视频监控系统提出联动要求，当发生火灾时，能够自动切换到火灾画面。

6.8.4 通风空调监控系统的配置原则应符合下列规定：

1 由于海上柔性直流换流站一般离岸较远，通常采用无人值班的方式，因此通风空调监控系统要求具备在陆上柔性直流换流站远程监视和控制的功能。同时考虑到人员在海上柔性直流换流站运维和检修的需求，应具备在海上柔性直流换流站二次设备室和设备现地监控和控制的功能。

2 考虑到海上柔性直流换流站现地控制单元分布的分散性，为了节约线缆长度，同时兼顾网络可靠性，控制机与各现地控制单元宜采用星形以太网连接，网络级联层数不宜超过三层。

3 换流站计算机监控系统应接入辅助系统中重要的开关量和模拟量信息，因此通风空调监控系统应预留与换流站计算机监控系统的接口，并将重要的开关量和模拟量信息上送到换流站计算机监控系统。

7 通信

7.0.2 海上柔性直流换流站应根据审定的接入系统设计进行系统通信方案设计。

7.0.12 海上柔性直流换流站通信区域环境监控应由换流站环境及视频监视系统统一考虑，通信电源监控应纳入换流站交直流一体化电源监控系统；海上柔性直流换流站应能向运行维护单位转发相关监视信息。

8 平台布置

8.1 布置原则

8.1.4~8.1.5 目前国内外已建海上柔性直流换流站，均为室内布置和多层布置。海上腐蚀性环境对电气设备的使用寿命影响很大，且海上检修维护成本高，为保证电气设备长时间的可靠运行，主要电气设备宜采用室内布置的方式。对于少量置于室外的设备或设备的部件（如散热器），则需考虑易于维护、易于更换。电气设备室内布置时，需要考虑设备的散热，设置辅助散热设施，如冷却系统、空调系统。多层布置主要是考虑减小上部组块尺寸，并减小重量，使上部组块适应运输、安装条件。因设备检修需要，对于小设备或拆解后的小部件，可以用设置在平台顶部的吊机吊装；对于超过平台吊机起重量且无法拆解的设备，需考虑用海工吊吊装，需要考虑吊装通道，在屋顶设置吊物孔。

8.1.7 目前国内外海上换流站的建造均在陆上建造基地完成，然后通过船只运输到站址位置进行安装，海上换流站平台重心平衡直接影响海上运输的安全性。

8.1.8 起重设备主要用于设备安装和运行检修使用，起重设备在运行时存在货物坠落风险，应考虑尽量设置在人员活动较多的场所。

8.1.11 直升机主要用于紧急情况下的安全救援，其位置的设置应尽量避免出现危险的区域。

8.2 舱室布置

8.2.2 根据舱室设备重要等级、防火要求进行分区，可以减少分区的设置数量，节约防火绝缘材料。

8.2.6 阀厅通往室外的出入口增设门斗，主要是为了增加一道“屏障”，以防止海上盐雾腐蚀环境对阀厅设备的影响，保证阀厅室内空气洁净度以及电气设备安全、稳定运行。

8.2.7 如果采光窗玻璃破碎，会严重影响配电装置舱室的气密性能，对配电装置舱室内设备的安全、稳定运行造成极大影响。

8.6 其他

8.6.1~8.6.2 为防止阀厅内换流阀运行时所产生的电磁波对阀厅外其他电气设备和邻近地区的通信系统形成干扰，同时也为防止阀厅周围的其他电气设备运行产生的电磁波对阀厅内换流阀的运行形成干扰，技术上要求对阀厅采取六面体电

磁屏蔽措施，以削弱阀厅内、外电磁波辐射的影响。根据现行行业标准《电磁屏蔽室工程及验收规范》SJ31470 的相关规定，对电磁屏蔽的设计提出具体要求，墙面、屋面、地面、门窗，以及地面电缆沟及风道、墙面设备及管道开孔等部位应进行有效的导电连接(屏蔽螺钉连接或焊接)，以形成良好的六面体电磁屏蔽导电体。

8.6.3 海上换流站各功能舱室及部位的用材应满足工艺流程，设备布置及功能需求，以及运行围护的需要，用材满足防火、电磁屏蔽、气密、保温隔热、隔声、耐磨、耐酸、防水等需要。

9 结构

9.1 一般规定

9.1.2 海洋平台结构设计方法，国外一般有荷载抗力系数法（LRFD）和工作应力法（WSD），但 2000 年后也逐步实施极限状态设计方法。国内海洋油气行业则一直沿用了国外荷载抗力系数法（LRFD）和工作应力法（WSD）这两种设计方法。

国内建筑、交通、电力、水利水电等行业都是用极限状态设计方法，国标《工程结构可靠性设计统一标准》（GB 50153）也是在工程结构领域推行极限状态设计方法。

海上风电行业早先使用国外的荷载抗力系数法(LRFD)或工作应力法(WSD)。2018 年颁布实施的《海上风电场工程风电机组基础设计规范》（NB/T 10105）明确了海上风机基础结构设计应采用极限状态设计方法，2019 年颁布实施的《海上风力发电场设计标准》（GB/T 51308）又明确了海上风机基础、海上升压站结构设计应采用极限状态设计方法，至此海上风电行业与国标接轨，结构设计统一采用极限状态设计方法。

海上柔性直流换流站的结构设计采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法，这与工程结构可靠性设计统一标准相统一，与国标海上风电场设计标准、钢结构设计标准相适应，同时也与国际上主流的结构设计方法相一致。

9.1.9 国标《海上风力发电场设计标准》（GB/T 51308）规定海上风机基础的设计工作年限为 25 年、海上升压站的设计工作年限为 50 年，国标《柔性直流输电换流站设计标准》（GB/T 51381）规定陆上柔性直流换流站设计工作年限为 50 年。综合海上柔性直流换流站的实际使用要求及海上环境的特殊性，海上柔性直流换流站设计使用年限按不低于海上升压站的原则规定，为 50 年。

9.1.10 国标《柔性直流输电换流站设计标准》（GB/T 51381）规定陆上柔性直流换流站阀厅、直流场、主控制楼、GIS 室等主要建筑物的抗震设防类别为乙类，但其辅助、附属的建筑物为丙类；国标《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223）规定 330kV 及以上的换流站、330kV 及以上的变电站的主要建筑物的抗震设防类别为乙类。综合海上柔性直流换流站的重要性及失事后的损失严重性，将海上柔性直流换流站的抗震设防类别确定为乙类（重点设防类）。

9.2 荷载

9.2.1 作用在海上柔性直流换流站结构上的荷载和作用，可分为永久荷载、可变荷载、偶然荷载和地震作用四类，这与国标荷载规范分类相同，与陆上柔性直流换流站的分类也相同。

永久荷载，在结构使用期间，其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计的荷载。主要包括结构自重、固定设备自重、管线自重、舾装自重、土重、土压力、静水压力等。

可变荷载，在结构使用期间，其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可以忽略的荷载。主要包括活荷载、风荷载、雪荷载、冰荷载、波浪荷载、海流荷载、吊车荷载、船舶正常靠泊荷载、直升机正常起降荷载等。

偶然荷载，在结构使用期间不一定出现，但一旦出现，其值很大且持续时间很短的荷载。主要包括船舶意外撞击荷载、直升机意外坠落荷载、短路电动力等。

地震作用，包括多遇地震作用和罕遇地震作用。

9.2.6 在工程中，地震作用的标准值计算，一般需要结合地震安全性评价确定。当工程前期没有相关数据的时候，可以参考 CCS 的《浅海固定平台建造与检验规范》

或《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法—荷载抗力系数设计法(增补 1)》SY/T 10009 进行设计。

9.2.7 国标《海上风电发电场设计标准》对吊装荷载计算时给出了动力系数。

9.2.8 国标《工程结构通用规范》(GB 55001-2021) 对荷载分项系作出规定,按房屋建筑工程,永久荷载分项系数 1.3,可变荷载分项系数 1.5。国标《海上风力发电场设计标准》(GB/T 51308-2019) 则规定永久荷载分项系数 1.2,可变荷载分项系数 1.4。本规范编制时主要参照了国标《工程结构通用规范》(GB 55001-2021) 的规定。

9.3 材料

9.3.1~9.3.2 本条对基础用钢材做了规定。

主体结构包括特殊结构和主要结构,其中,特殊结构指结构部件失效产生实质性破坏并且可能出现应力高度集中或易导致在厚度方向的层状撕裂,如导管架结构的节点段管、甲板构件和导管架腿柱连接、重要的主梁交叉连接以及起重吊点等;主要结构指结构部件失效产生实质性破坏,如单桩基础的桩基、高桩承台基础的桩基、导管架结构非管节点以外的管桁架、甲板主梁、直升机甲板骨架和组块支撑结构等。次要结构指结构部件失效不会产生实质性破坏。海床面以下的桩基在充分论证下,可采用低合金高强度结构用钢。

鉴于海上柔性直流换流站荷载大、钢材应力大,在海工结构常用钢材的基础上,扩展了超高强度钢的应用,将 Q460、DH420、EH420、DH460、EH460 等超高强度钢材纳入到规范中。

9.4 主体结构

9.4.3 结构分析模型应与实际情况尽量接近,尽量准确的模拟实际的荷载情况和结构承载能力。电缆套管、靠船平台、牺牲阳极等对重量或流体动力荷载作用影响不可忽略的附属物,应采用直接建立模型或以等效模型代替的形式体现。结构分析可分为整体分析和细部分析两个步聚。在整体分析模型中结构的各个组成部

分可以采用简化的单元进行模拟，整体分析后对受力复杂的部分应进行细部分析，细部分析模型可采用局部模型，细部分析模型的各个部分应包括足够的细节。整体分析可以用杆系模型，然后再对细部进行局部建模分析，细部建模可用实体或壳体模型。

9.4.16 当上部组块采用浮托法安装时，海上柔性直流换流站施工期和运行期的结构体系完全不同，结构设计时需统筹这两套结构体系，并对施工期和运行期分别计算。

施工期的支撑结构体系建造时坐落在滑道上，运输、安装时固定在船甲板上，因此施工期的支撑体系除了考虑上部结构整体受力外，还需要考虑滑道和浮托船的尺寸。施工期的支撑体系需要承受装船、运输、安装期间的全部荷载，装船期间可能存在上船时支座不同高（局部支座沉降）的情况，运输期需承受船舶的横摇、纵摇作用，安装期需承受浮托对接时的碰撞和冲击。

运行期的支撑结构坐落在基础上，应与基础建立整体模型进行结构分析。当单船浮托时，运行期的支撑在船舷两侧，支撑之间需预留合适的净空，以便浮托船的进退，并辅助浮托船的定位和摇摆。

9.5 基础

9.5.4 当采用分体式导管架基础结构时，其各个单体导管架之间的安装精度，应满足上部组块安装的要求。

9.6 附属设施

9.6.4 参考《海上风电场工程风机机组设计规范》（NB/T10105-2018），当无风电场运维船资料时，可按照不超过 500t 级别运维船舶 0.45m/s 法向靠泊速度设计，500t 为船舶排水量。

10 给排水

10.1 给水系统

10.1.4 为了保证给水系统设备及管线正常运行，需做好设备和管道固定。

10.1.5 为了避免低温导致露天管道冻结，需结合气候条件设置管道保温、防冻或防结露的措施。

10.2 排水系统

10.2.3 事故油罐容积应按照含油设备油量和设备灭火水量之和的最大值设计。

10.2.5 换流站排水必须满足相关规范的要求，存在环境污染风险的污废水需要进行处理达标后方可排放。

13 消防

13.1 火灾探测报警系统

13.1.5 考虑经济性，海上柔性直流换流站消防广播一般与公共广播合用一套，平常具备喊话广播功能，火警时候切入消防广播。

13.2 灭火系统

13.2.5 根据海上柔性直流换流站入级的要求，消防设备需具有相关的海事认证。对有国家强制性认证要求的消防设备，需同时具有强制性认证证书。

13.2.6 参考《海上风力发电场设计标准》和《风电场工程 110kV~220kV 海上升压变电站设计规范》，结合我国陆上柔性直流换流站的相关建设经验，确定的推荐灭火系统。

13.2.8 由于海上柔性直流换流站内电气房间比较多，灭火后需要尽快将积水排出，避免影响设备运行。

13.2.9 直升机平台的消防设计要求参考《海上固定平台安全规则》和《国际航运公会（ISC）-直升机/船舶协同作业指南》的相关规定。

13.2.11 由于变压器存在爆燃的风险，存在破坏自动灭火系统管路及喷头的情况，会导致自动灭火系统失效的风险。结合陆上柔性直流换流站的建设经验，设置射

流装置作为备用措施，人工确认后手动启动。

14 逃生与救生设施设计

14.1 脱险通道

14.1.9 因事故发生时电源切断，升降机和电梯无法正常工作，逃生人员易被困升降机和电梯内，因此规定升降机和电梯不能作为脱险通道。

14.2 逃生与救生设备

14.2.1 本条参考了《海上固定平台安全规则》。无人驻守平台可按定员 12 人配备气胀式救生筏，这是考虑到无人驻守平台只有运行、检修、巡视等的少量人员登入平台，同时登入平台的最大人数不会超过 12 人。若同时登入平台的人数超过 12 人时，应按最大人数配备救生筏。

救生艇较救生筏具有更好的安全性和便利性。《海上固定平台安全规则》对于有人驻守平台，规定了必须设置救生艇；对于无人驻守平台，只规定了必须设置救生筏，未要求必须设置救生艇。目前国内、国外已建的海上升压变电站，一般是只设置了救生筏，但也有设置了救生艇的。因此本条未规定应设置救生艇，但对于逃生要求更高的项目，设计时也可设置救生艇。

14.2.2 本条参考了《海上固定平台安全规则》。救生圈是为救助意外落水人员配备的，因此需在甲板的各个方向合理布置，救生索应有一定的长度。