

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 51200 – 2016

高压直流换流站设计规范

Code for design of HVDC converter station

2016 – 10 – 25 发布

2017 – 07 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1343 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《高压直流换流站设计规范》的公告

现批准《高压直流换流站设计规范》为国家标准,编号为 GB/T 51200—2016,自 2017 年 7 月 1 日起实施。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 10 月 25 日

前 言

根据住房城乡建设部《关于印发〈2011 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2011〕17 号)的要求,编制组经广泛调查研究,认真总结了我国已投运的 $\pm 660\text{kV}$ 、 $\pm 500\text{kV}$ 和背靠背直流输电工程换流站关键技术和设计成果以及建设与运行经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规范。

本规范共 12 章和 2 个附录,主要技术内容包括:总则,术语,站址选择,交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求,电气一次,控制和保护,调度自动化及通信,土建,采暖、通风和空气调节,水工,消防,噪声控制和节能。

本规范由住房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,请寄送中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司(地址:武汉市武昌区中南二路 12 号;邮政编码:430071)。

本规范主编单位、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

参 编 单 位:电力规划设计总院

中国电力工程顾问集团有限公司

中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司

主要起草人:曾 静 梁言桥 许 斌 王丽杰 李 苇

李 倩 杜明军 袁翰笙 饶 冰 陈传新

毛永东 王国兵 谢 龙 杨金根 张巧玲

陈 俊 邹荣盛 高 湛 邓长红 颜士海

	乐党救	苏	炜	张谢平	王向平	张庆伟
	徐 勇	陈	波	周 战	巢 琼	李克白
	郑培钢	陈	健			
主要审查人:	李宝金	黄	勇	田春林	吴方勖	郅 鑫
	李 岩	王	静	吴克芬	陈志蓉	杨国富
	张玉明	余	波	蒲 皓	吴小颖	肖国峰
	张爱民					

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	站址选择	(3)
4	交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求	(5)
4.1	交流系统基本条件	(5)
4.2	直流输电系统的性能要求	(5)
5	电气一次	(9)
5.1	电气主接线	(9)
5.2	过电压保护、绝缘配合及防雷接地	(11)
5.3	污秽水平及直流外绝缘	(12)
5.4	主要设备和导体选择	(13)
5.5	电气设备布置	(15)
5.6	站用电系统	(17)
6	控制和保护	(18)
6.1	一般规定	(18)
6.2	监控系统	(18)
6.3	直流控制系统	(19)
6.4	直流系统保护	(19)
6.5	交流保护和安全自动装置	(20)
6.6	辅助二次系统	(21)
6.7	二次设备布置	(22)
7	调度自动化及通信	(23)
7.1	调度自动化	(23)
7.2	通信	(23)

8	土 建	(25)
8.1	站区总平面及竖向布置	(25)
8.2	建筑	(28)
8.3	结构	(30)
9	采暖、通风和空气调节	(34)
9.1	采暖	(34)
9.2	通风和空调	(34)
10	水 工	(36)
10.1	给水系统	(36)
10.2	排水系统	(36)
10.3	阀冷却系统	(36)
11	消 防	(38)
11.1	火灾探测报警系统	(38)
11.2	灭火系统	(38)
12	噪声控制和节能	(40)
12.1	噪声控制	(40)
12.2	节能	(40)
	附录 A 交流系统谐波干扰指标	(41)
	附录 B 直流线路等效干扰电流计算	(43)
	本规范用词说明	(45)
	引用标准名录	(46)
	附:条文说明	(49)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Site selection for converter station	(3)
4	Basic conditions of AC system and performance requirements for DC transmission system	(5)
4.1	Basic conditions of AC system	(5)
4.2	Performance requirements for DC transmission system	(5)
5	Primary Electrical	(9)
5.1	Main circuit of converter station	(9)
5.2	Over voltage protection,insulation coordination,lightning protection and grounding of converter station	(11)
5.3	Design for external insulation of equipment in converter station	(12)
5.4	Selection of the major equipment	(13)
5.5	Auxiliary power system	(15)
5.6	Layout of electrical equipment in converter station	(17)
6	Control and protection	(18)
6.1	General requirements	(18)
6.2	Computer monitoring system	(18)
6.3	DC control system	(19)
6.4	DC protection system	(19)
6.5	AC protection system	(20)
6.6	Auxiliary system	(21)
6.7	Layout of control and protection equipment in	

converter station	(22)
7 Dispatching automation and communication	(23)
7.1 Dispatching automation	(23)
7.2 Communication	(23)
8 Construction	(25)
8.1 General plane layout and vertical arrangement	(25)
8.2 Construction	(28)
8.3 Structures	(30)
9 Heating, ventilation and air conditioning system	(34)
9.1 Heating system	(34)
9.2 Ventilation system	(34)
10 Water supply and drainage system	(36)
10.1 Water supply system	(36)
10.2 Water drainage system	(36)
10.3 Valve cooling system	(36)
11 Fire detection and fire suppression system	(38)
11.1 Fire detection system	(38)
11.2 Fire suppression system	(38)
12 Noise control and energy conservation measures of converter station	(40)
12.1 Noise Control measures	(40)
12.2 Energy conservation measures	(40)
Appendix A AC system harmonic disturbance indexes	(41)
Appendix B Equivalent interference current calculation of DC transmission line	(43)
Explanation of wording in this code	(45)
List of quoted standards	(46)
Addition; Explanation of provisions	(49)

1 总 则

1.0.1 为规范高压直流换流站设计,使换流站的设计符合国家的有关政策、法规,达到安全可靠、先进适用、经济合理、环境友好的要求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于 $\pm 660\text{kV}$ 及以下每极采用一个12脉动阀组接线的两端高压直流输电系统换流站和背靠背换流站工程的设计。

1.0.3 高压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 高压直流换流站的设计应采取切实有效的措施节约用地、保护环境、满足劳动安全要求。环境保护、水土保持及劳动安全卫生设施应与主体工程同步设计。

1.0.5 高压直流换流站的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。

2 术 语

2.0.1 换流器 converter

换流站中用以实现交、直流电能相互转换的设备,也称换流阀组。通常由换流阀连接成一定的回路进行换流。换流器采用一个或者多个三相桥式换流电路(也称为 6 脉动换流器或 6 脉动换流阀组)串联或并联构成。两个相差 30° 的 6 脉动换流器串联可构成一个 12 脉动换流器,或称 12 脉动换流阀组。改变换流阀的触发相位,换流器既可运行于整流状态,也可运行于逆变状态,其中将交流电转换成直流电的称为整流器,将直流电转换成交流电的称为逆变器。整流器与逆变器设备基本相同,统称为换流器。本规范中出现的“阀组”如无特殊说明则专指 12 脉动换流阀组。

2.0.2 直流保护 DC protection

为换流站直流侧提供的保护,其保护区域为换流阀组、极区设备(包括极母线、中性母线、直流线路)以及双极区设备(包括双极中性线连接区、接地极引线区)。

2.0.3 直流系统保护 DC system protection

为换流站直流系统提供的保护,包括换流站的直流保护、换流变压器保护、直流滤波器保护和交流滤波器保护。

2.0.4 背靠背换流单元 back to back converter unit

背靠背换流站站内实现交流-直流-交流两次换流转换的设备连接组成的基本单元。由整流和逆变两侧换流器及与其配套的换流变压器、平波电抗器、保护和开关设备以及其他必要的辅助设备等连接所构成。

3 站 址 选 择

3.0.1 站址选择除应符合现行行业标准《220kV~750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218 有关站址选择的规定外,还应结合高压直流换流站的工艺特点,根据电力系统规划、城乡规划、污秽情况、水源、交通运输、土地资源、环境保护和接地极极址等的要求,通过技术经济比较分析确定。

3.0.2 站址选择应满足换流站在电力系统中的地位和作用。整流站宜靠近电源中心,逆变站宜靠近负荷中心。当同一地区有多个换流站时,站址选择应分析各换流站之间的电气距离、共用接地板及外力破坏等因素对电力系统的影响。

3.0.3 站址应避开各类严重污染源。当完全避开严重污染源有困难时,换流站应处于严重污染源的主导风向上风侧,并应对污染源影响进行评估。

3.0.4 站址选择地质条件应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。

3.0.5 站址应与邻近设施、周围环境相互协调,站址距飞机场、导航台、卫星地面站、军事设施、通信设施以及易燃易爆设施等的距离应按国家现行有关标准的规定执行。

3.0.6 当换流阀外冷却方式采用水冷却时,站址附近应有可靠水源,其水量及水质应满足换流站生产用水、消防用水及生活用水要求。供水水源应避免或减少与其他用水发生矛盾,当采用地表水作为供水水源时,其设计枯水流量的保证率不应低于 97%,并应保证水质的稳定性。

3.0.7 站址宜选择在铁路、公路和水路等交通线路附近,交通运输条件应满足换流变压器及平波电抗器等大件设备的运输

要求。

3.0.8 站址选择应考虑邻近已有工程接地极对换流站的影响。
本工程接地极选择应与换流站站址相协调。

4 交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求

4.1 交流系统基本条件

- 4.1.1 交流系统基本数据应包括下列内容：
- 1 换流站交流母线电压和频率变化范围；
 - 2 换流站交流侧短路电流水平；
 - 3 负序工频电压及背景谐波电压；
 - 4 故障清除时间及单相重合闸时序。
- 4.1.2 直流输电系统研究所需的等值交流系统应包括下列内容：
- 1 用于 AC/DC 仿真模拟研究的等值系统；
 - 2 用于 AC/DC 系统电磁暂态特性研究的等值系统；
 - 3 用于无功投切和工频过电压研究的等值系统；
 - 4 用于交流滤波器性能计算的等值阻抗。

4.2 直流输电系统的性能要求

- 4.2.1 直流输电系统的额定参数应包括额定功率、额定电流和额定电压。
- 4.2.2 直流输电系统的过负荷能力应包括连续过负荷能力、短时(2h)过负荷能力和暂态过负荷能力。
- 4.2.3 直流输电系统允许的最小直流电流宜按额定电流的 10% 选取。
- 4.2.4 在不额外增加无功补偿容量的前提下,直流输电系统任一极应具备降低直流电压运行的能力。降压运行电压值宜为额定电压 70% 及以上。
- 4.2.5 两端高压直流输电系统的功率倒送的输送容量应根据系

统要求确定。背靠背换流站应同时具备功率正送和功率倒送的能力。

4.2.6 两端高压直流输电系统应具备下列基本运行方式：

- 1 双极运行方式；
- 2 单极大地回线运行方式；
- 3 单极金属回线运行方式。

4.2.7 无功补偿及电压控制应符合下列规定：

1 整流站宜充分利用交流系统提供无功的能力，不足部分应在站内安装无功补偿设备；逆变站的无功功率宜就地平衡；当直流小负荷运行方式因投入交流滤波器引起容性无功过剩时，可利用交流系统的无功吸收能力和直流低负荷无功优化策略。

2 无功补偿设备应根据换流站接入的交流系统强弱，选择采用并联电容器、静止无功补偿器、静止无功发生器等；当采用并联电容器作为无功补偿设备时，应与交流滤波器统一设计。

3 无功补偿设备宜分成若干个小组，在额定工况下应至少有一小组备用。

4 无功补偿设备分组容量除应满足无功平衡的要求外，还应符合下列要求：

- 1) 投切单组无功补偿设备引起的稳态和暂态交流母线电压变化率，应在系统可承受范围内；
- 2) 任一小组无功补偿设备的投切，不应改变直流控制模式或直流输送功率，不应引起换相失败，不应引起邻近的同步电机自励磁。

5 无功补偿设备的额定无功容量宜按不低于交流系统的长期运行电压计算。

4.2.8 直流输电系统不应与邻近的发电机产生次同步谐振。

4.2.9 交流系统谐波干扰指标及滤波应符合下列规定：

1 换流站交流母线上谐波干扰指标可采用单次谐波的畸变率、总有效谐波畸变率和电话谐波波形系数来表征。交流系统谐

波干扰指标定义应符合本规范附录 A 的规定,谐波次数应计算到 50 次。对 220kV 及以上的交流系统,交流母线上谐波干扰指标应符合下列规定:

- 1) 单次谐波畸变率,奇次不宜大于 1.0%,其中 3 次和 5 次可不大于 1.25%,偶次不宜大于 0.5%;
- 2) 总有效谐波畸变率不宜大于 1.75%;
- 3) 电话谐波波形系数不宜大于 1.0%。

2 交流滤波器配置应根据换流站产生的谐波和交流系统的背景谐波以及谐波干扰指标确定。

4.2.10 直流系统谐波干扰指标及滤波应符合下列规定:

1 直流系统谐波干扰指标可采用直流线路等效干扰电流来表征;直流线路等效干扰电流计算应符合本规范附录 B 的规定,谐波次数应计算到 50 次;

2 采用架空线输电的两端高压直流输电系统,应在换流站的直流侧配置直流滤波器;直流系统谐波干扰指标及直流滤波器配置应根据直流线路沿线通信线路实际情况和通信干扰杂音电动势标准确定;

3 当直流系统中存在非特征谐波激励源和谐振点时,应采取相应限制措施。

4.2.11 换流站产生的电力线载波干扰应符合现行国家标准《单边带电力线载波系统设计导则》GB/T 14430 的规定。

4.2.12 换流站损耗确定应符合现行国家标准《高压直流换流站损耗的确定》GB/T 20989 的规定。

4.2.13 换流站可听噪声应符合现行国家标准《高压直流换流站的可听噪声》GB/T 22075 的规定。

4.2.14 两端高压直流输电系统可靠性设计目标值应符合下列规定:

- 1 强迫能量不可用率不宜大于 0.5%;
- 2 计划能量不可用率不宜大于 1.0%;

- 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 0.1 次/年。
- 4.2.15 背靠背换流站可靠性设计目标值应符合下列规定：
- 1 强迫能量不可用率不宜大于 0.5%；
 - 2 计划能量不可用率不宜大于 1.0%；
 - 3 背靠背换流单元强迫停运次数不宜大于 6 次/年。
- 4.2.16 直流输电系统的动态和暂态性能应根据系统研究确定。

5 电 气 一 次

5.1 电气主接线

5.1.1 换流站的电气主接线应根据换流站的接入系统要求及建设规模确定。两端高压直流输电系统换流站的电气主接线应包括换流器单元接线、交/直流开关场接线、交流滤波器和无功补偿设备接线以及站用电接线。背靠背换流站的电气主接线应包括换流器单元接线、交流开关场接线、交流滤波器和无功补偿设备接线以及站用电接线。

5.1.2 两端高压直流输电系统换流站和背靠背换流站的换流器应采用 12 脉动阀组接线。

5.1.3 换流器单元的接线应根据晶闸管的额定参数、换流变压器的制造水平及运输条件通过综合技术经济比较后确定。换流器单元宜采用下列接线方式：

1 三台单相双绕组换流变压器与一个三相桥式 6 脉动整流电路联接形成 6 脉动换流器单元，两个 6 脉动换流器单元串联构成一个 12 脉动换流器单元的接线方式；

2 三台单相三绕组换流变压器与一个三相桥式 12 脉动整流电路联接形成 12 脉动换流器单元的接线方式。

5.1.4 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现行行业标准《220kV～750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218 的规定。

2 直流开关场接线应按极组成，极与极之间应相对独立。接线中应包括平波电抗器、直流滤波器、直流极线、中性母线、接地极线和金属回线等。

3 直流开关场接线应具有下列功能：

- 1) 直流开关场接线应满足双极、单极大地回线、单极金属回线等基本运行方式；
- 2) 换流站内任一极检修时应能对其进行隔离和接地；
- 3) 直流线路任一极检修时应能对其进行隔离和接地；
- 4) 在单极金属回线运行方式下，检修直流系统一端或两端接地极及其引线时，应能对其进行隔离和接地；
- 5) 在双极平衡运行方式下，检修直流系统一端或两端接地极及其引线时，应能对其进行隔离和接地；
- 6) 双极中的任一极运行时，单极大地回线方式与单极金属回线方式之间的转换，不应中断直流功率输送，且不宜降低稳态直流输送功率；
- 7) 故障极的切除和检修不应影响健全极的功率输送。

4 平波电抗器宜串接在每极直流极母线上。当采用干式平波电抗器时，也可分置串接在每极直流极母线和中性母线上。

5.1.5 交流滤波器接线应符合下列要求：

- 1 交流滤波器接线除应满足直流系统要求外，还应满足交流系统接线以及交直流系统对交流滤波器投切的要求；
- 2 交流滤波器宜采用大组的方式接入换流器单元所联接的交流母线；
- 3 交流滤波器的高压电容器前应设接地开关。

5.1.6 站用电系统接线应符合下列规定：

- 1 站用电源宜按三回相对独立电源设置，且至少有一回应从站内交流系统引接；
- 2 站用电系统宜采用两级降压；高压站用电系统宜采用 10kV 电压，低压站用电系统电压宜采用 380V/220V；
- 3 高压站用电系统宜采用单母线分段接线；全站宜设置两段工作母线和一段专用备用母线，每段母线均应由相对独立的电源供电，工作母线和备用母线之间应设置分段开关；
- 4 两端高压直流输电系统换流站的低压站用电系统宜按极

设置；背靠背换流站的低压站用电系统宜按背靠背换流单元设置。每个极或背靠背换流单元的低压站用电系统宜采用单母线单分段接线，两段工作母线应分别由不同的高压站用工作母线供电，两段母线之间应设置分段开关。

5.2 过电压保护、绝缘配合及防雷接地

5.2.1 换流站过电压保护和绝缘配合应符合现行国家标准《绝缘配合 第2部分：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 以及现行电力行业标准《高压直流换流站绝缘配合导则》DL/T 605 的有关规定。

5.2.2 换流站接地设计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。

5.2.3 换流站过电压保护和避雷器配置应符合下列要求：

- 1 交流侧产生的过电压应由交流侧避雷器限制；
- 2 直流侧产生的过电压应由直流侧避雷器限制；
- 3 换流站的重要设备应由其邻近的避雷器保护；
- 4 换流变压器的阀侧绕组可由保护其他设备的避雷器联合保护；
- 5 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；

6 直流侧中性母线应装设冲击电容器。

5.2.4 其他过电压保护措施应符合下列要求：

- 1 晶闸管应配备保护性触发功能；
- 2 换流变压器交流侧断路器应装设合闸电阻或选相合闸装置；
- 3 交流滤波器和电容器小组断路器应装设选相合闸装置或合闸电阻。

5.2.5 直流甩负荷、接地故障清除和“孤岛”运行产生的过电压应

专题研究。

5.2.6 换流站绝缘配合应符合下列规定：

1 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；

2 避雷器直接保护的设备额定操作耐受电压、雷电耐受电压和陡波前耐受电压与避雷器保护水平的最小裕度系数应符合表 5.2.6 的规定。

表 5.2.6 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
交流开关场(包括母线及户外绝缘和其他常规设备)	1.20	1.25	1.25
交流滤波器元件	1.15	1.25	1.25
换流变(油绝缘设备)			
网侧	1.20	1.25	1.25
阀侧	1.15	1.20	1.25
换流阀	1.10~1.15	1.10~1.15	1.15~1.20
直流阀厅设备	1.15	1.15	1.25
直流开关场设备(户外)包括直流滤波器和平波电抗器	1.15	1.20	1.25

5.3 污秽水平及直流外绝缘

5.3.1 换流站交流侧设备外绝缘爬电比距应根据站址污秽等级，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 第1部分：定义、信息和一般原则》GB/T 26218.1、《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第2部分：交流系统用瓷和玻璃绝缘子》GB/T 26218.2 以及《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第3部分：交流系统用复合绝缘子》GB/T 26218.3

确定。

5.3.2 换流站直流侧设备外绝缘爬电比距应根据站址污秽水平预测的研究结果确定。

5.3.3 换流站直流侧设备外绝缘设计应符合下列要求：

1 直流侧设备的爬电比距应根据换流站的污秽水平以及直流绝缘子和套管的耐污特性选择，还应计及直径对爬电距离的影响；

2 直流侧设备的外绝缘应根据污秽特征选择合适的伞形结构；

3 直流侧设备干闪距离应通过研究确定；

4 高海拔地区换流站的外绝缘设计应根据海拔对外绝缘闪络特性的影响，进行高海拔修正。

5.4 主要设备和导体选择

5.4.1 换流站交流设备和导体的选择应符合现行国家标准《电力设施抗震设计规范》GB 50260 和现行行业标准《导体和电器选择设计技术规定》DL/T 5222 的有关规定。

5.4.2 换流阀选择应符合下列规定：

1 换流阀宜采用户内悬吊式、空气绝缘、水冷却；

2 换流阀触发方式可采用电触发方式或光触发方式；

3 换流阀应为组件式，晶闸管冗余度不宜小于 3%；

4 换流阀连续运行额定值和过负荷能力应满足系统要求；

5 换流阀浪涌电流取值不应小于阀的最大短路电流；

6 换流阀应能承受各种过电压，并应有足够的安全裕度；

7 换流阀本体及其控制、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。

5.4.3 换流变压器选择应符合下列规定：

1 换流变压器容量应满足直流系统额定输送容量及过负荷要求；

2 换流变压器型式应结合容量、设备制造能力以及运输条件等经技术经济比较后确定；

3 换流变压器阻抗除应满足交直流系统要求外，还应满足换流阀的浪涌电流能力要求；

4 有载调压范围应满足交直流系统运行工况；

5 调压开关分接头级差应与无功分组的投切协调；

6 换流变压器耐受直流偏磁电流的能力不宜低于单相 10A；

7 换流变压器的噪声水平应满足换流站的总体噪声控制要求。

5.4.4 平波电抗器选择应符合下列要求：

1 平波电抗器的型式可根据工程具体要求选择油浸式或空芯干式；

2 平波电抗器额定电流应按直流系统额定电流选定，并应考虑各种运行工况下的过电流能力；

3 平波电抗器电感值应能满足在最大直流电流到最小直流电流之间总体性能的要求，并应避免直流侧发生低频谐振；

4 平波电抗器应能承受由于短路冲击电流产生的机械应力；

5 平波电抗器的噪声水平应满足换流站的总体噪声控制要求。

5.4.5 交流滤波器选择应符合下列规定：

1 交流滤波器可采用单调谐型、双调谐型、三调谐型等类型，结合不同频次的谐波可组成多种型式；

2 同一个换流站内交流滤波器型式不宜超过 3 种；

3 交流滤波器各元件的额定参数应根据换流器产生的谐波电流和电压以及背景谐波所产生的谐波电流和电压确定；

4 交流滤波器电抗器宜采用低噪声电抗器，交流滤波器电容器应采用低噪声结构。

5.4.6 直流滤波器选择应符合下列要求：

1 直流滤波器宜采用双调谐或三调谐无源滤波器；

2 直流滤波器元件额定参数应根据直流电压分量和换流器产生的谐波电压确定。

5.4.7 直流避雷器配置和参数选择应根据换流站过电压计算和绝缘配合结果确定。

5.4.8 金属回线转换开关和大地回线转换开关应具备在直流输电系统允许的短时过负荷电流工况下的转换能力。

5.4.9 直流中性母线低压高速开关和中性母线临时接地开关的电流转换能力不宜小于直流输电系统允许的短时过负荷电流。

5.4.10 直流隔离开关应满足各种工况的直流工作电流的要求。直流滤波器回路的高压直流隔离开关应具有带电投切直流滤波器的能力。

5.4.11 直流电压和电流测量装置选择应符合下列要求：

1 用于极线和中性母线的直流电压分压器宜采用阻容分压器；

2 极线和中性母线上的直流电流测量装置可选用电子式电流互感器或零磁通直流电流测量装置；

3 直流电压和电流测量装置应具有良好的暂态响应和频率响应特性，并应满足直流控制保护系统的测量精度要求。

5.4.12 直流绝缘子、套管选择应符合下列规定：

1 直流绝缘子和套管应根据等值盐密与积污特性关系、运行电压和伞裙对积污的影响、闪络特性及闪距选择；

2 直流极母线设备的套管宜采用复合绝缘型；

3 直流极母线支柱绝缘子宜采用瓷质型或涂防污涂料瓷质型支柱绝缘子，也可选用瓷质芯棒复合绝缘型或玻璃钢芯棒复合绝缘型；

4 复合绝缘型直流设备套管或绝缘子的最小爬电比距可按瓷质直流套管或绝缘子爬电比距的 75% 选择。

5.5 电气设备布置

5.5.1 换流站的交流开关场布置应结合交流滤波器和无功补偿设

备、阀厅、换流变压器以及换流建筑物布置,通过技术经济比较确定,并应符合现行行业标准《高压配电装置设计技术规程》DL/T 5352 的有关规定。

5.5.2 交流滤波器及无功补偿设备布置应符合下列要求:

1 交流滤波器及无功补偿设备宜集中或分区集中布置,整体布局设计还应满足换流站厂界的噪声标准要求;

2 当小组交流滤波器及无功补偿设备分散接入主母线时,宜与交流配电装置的布置统筹考虑;

3 交流滤波器和并联电容器的高压电容器宜采用单塔布置,当单塔高度不满足噪声控制要求时可采用双塔布置。

5.5.3 直流开关场布置应符合下列要求:

1 极母线设备宜采用户外布置,当站址污秽条件较严重时经过技术经济比较,可采用户内布置;

2 直流开关场布置应符合现行国家标准中对于静电感应场强等电磁环境的有关规定;

3 直流开关场宜按极对称分区布置,布置方式应便于设备的巡视、操作、搬运、检修和试验。

5.5.4 阀厅及阀厅内设备布置应符合下列要求:

1 两端高压直流输电系统换流站应按极设置极 1 和极 2 阀厅;背靠背换流站应按背靠背换流单元设置阀厅;

2 换流阀布置方式宜根据换流变压器型式选择二重阀布置或四重阀布置。当采用单相双绕组换流变压器时,宜采用二重阀布置;当采用单相三绕组换流变压器时,宜采用四重阀布置。

5.5.5 换流变压器及平波电抗器布置应符合下列要求:

1 换流变压器及平波电抗器布置应符合换流站总体布置需要;

2 换流变压器阀侧套管宜采用插入阀厅布置,插入阀厅布置的阀侧套管应采用充气式或干式套管;

3 两端高压直流输电系统换流站极母线的平波电抗器宜布

置在阀厅和直流滤波器高压侧之间,当采用油浸式平波电抗器时,阀侧套管宜插入阀厅布置;

4 两端高压直流输电换流站直流开关场采用户内布置时,平波电抗器的布置应根据技术经济比较确定;

5 背靠背换流站的平波电抗器当采用油浸式平抗时,阀侧套管宜插入阀厅布置;

6 换流变压器及平波电抗器的布置应满足搬运、安装及更换的场地要求;

7 备用换流变压器和备用平波电抗器布置位置应考虑搬运和替换的要求;

8 换流变压器和油浸式平波电抗器布置应满足消防要求。

5.6 站用电系统

5.6.1 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。

6 控制和保护

6.1 一般规定

- 6.1.1 高压直流换流站的控制和保护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 直流控制和保护应能既适用整流运行,也适用逆变运行。
- 6.1.3 直流控制和保护应相互独立配置。
- 6.1.4 直流控制系统和直流系统保护应采用国际标准的通信体系。

6.2 监控系统

- 6.2.1 高压直流换流站内交、直流系统应采用统一平台的计算机监控系统。
- 6.2.2 监控系统宜按有人值班设计。系统应能实现对换流站可靠、合理、完善的监视、测量、控制,并具备遥测、遥信、遥调、遥控等全部的远动功能,具有与调度通信中心计算机系统交换信息的能力。
- 6.2.3 监控系统宜采用分层、分布式的网络结构,由站控层、控制层、就地层设备组成。
- 6.2.4 监控系统应采用国际标准的通信体系,宜符合现行行业标准《变电站通信网络和系统》DL/T 860 的规定。
- 6.2.5 监控系统的监控范围应包括换流阀组、直流场设备、平波电抗器、换流变压器、交流场设备、交流滤波器组、站用电源系统、阀冷却系统和站内其他辅助系统等。
- 6.2.6 监控系统的监测范围应符合现行国家标准《电力装置的电测量仪表装置设计规范》GB/T 50063 的有关规定。

6.3 直流控制系统

6.3.1 直流控制系统应按完全双重化原则设计,并应具备自动系统选择和主备切换功能。

6.3.2 两端高压直流输电系统换流站的直流控制系统应按极独立配置;背靠背换流站的直流控制系统应按换流单元独立配置。

6.3.3 两端高压直流输电系统换流站的直流控制系统宜划分为双极控制、极控制和阀组控制层;背靠背换流站的直流控制系统宜划分为背靠背换流单元控制层、单侧换流单元控制层和换流阀控制层。

6.3.4 直流控制功能应配置到较低的控制层次,双极控制层功能宜集成在极控制层设备中,也可在直流站控设备中实现。

6.3.5 两端高压直流输电系统的基本控制模式宜包括双极功率控制、独立极功率控制、同步极电流控制、无功功率控制、应急极电流控制、极线路开路试验、潮流反转控制、直流全压/降压运行控制、低负荷无功优化控制;背靠背直流输电系统的基本控制模式宜包括功率运行控制、电流运行控制。

6.4 直流系统保护

6.4.1 直流系统保护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 的有关规定,并应符合下列要求:

1 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电路的保护区重叠,不应存在保护死区;

2 对每一保护区域内设备的短路、开路、过电压或接地故障及异常运行方式,宜配置相应的主、后备保护;

3 直流系统保护应冗余配置,各保护装置的测量回路、通道及辅助电源等应相互独立。

6.4.2 两端高压直流输电系统换流站的直流保护应按极独立配

置；背靠背换流站的直流保护应按换流单元独立配置。

6.4.3 直流滤波器保护宜按极集成在直流保护中，也可按直流滤波器小组双重化独立配置。

6.4.4 换流变压器电量保护宜双重化独立配置，也可集成在直流保护中；非电量保护宜独立配置。

6.4.5 交流滤波器保护宜按交流滤波器大组双重化独立配置，也可按滤波器小组为单元配置双重化的滤波器大组母线保护和小组滤波器保护。

6.4.6 两端高压直流输电系统换流站的直流系统暂态故障录波宜按极、换流变压器、交流滤波器组分别独立配置；背靠背换流站的直流系统暂态故障录波宜按换流单元、换流变压器、交流滤波器组分别独立配置。

6.4.7 两端高压直流输电系统直流线路故障测距装置宜单套配置。

6.5 交流保护和安全自动装置

6.5.1 高压直流换流站交流线路保护、交流断路器保护、交流母线保护、联络变压器保护、无功补偿设备保护和安全自动装置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 和《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》GB/T 50062 的有关规定。

6.5.2 换流站交流系统暂态故障录波装置的设计应符合现行行业标准《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》DL/T 5136 和《电力系统动态记录装置通用技术条件》DL/T 553 的规定。

6.5.3 对大于 80km 的长线路或路径地形复杂、巡检不便的交流线路，应配置交流故障测距装置。

6.5.4 高压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子站。保护及故障信息管理子站与监控系统、保护及故障录波系统的通信应采用标准的网络接口和通信协议，并将信息上

传到调度中心。

6.6 辅助二次系统

6.6.1 两端高压直流输电系统换流站的阀冷却控制保护系统应按极双重化配置；背靠背换流站的阀冷却控制保护系统宜按阀组双重化配置。阀冷却控制保护系统应能对阀冷却系统进行控制、保护和监视，并应适应高压直流系统的各种运行工况。

6.6.2 高压直流换流站站用直流电源系统的设计应符合现行行业标准《电力工程直流电源系统设计技术规程》DL/T 5044 的规定。两端高压直流输电系统换流站直流电源系统宜按极、站公用或交流场分别独立设置；背靠背换流站直流电源系统宜按换流单元、站公用或交流场分别独立设置。直流电源系统的标称电压可采用 110V，也可采用 220V。

6.6.3 高压直流换流站交流不间断电源系统的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 的规定。交流不间断电源宜集中设置，主机应双重化配置。

6.6.4 高压直流换流站应配置公用的时间同步系统，时钟源应双重化配置。对时范围应包括站内所有需要对时的控制、保护、监视和智能设备等。

6.6.5 高压直流换流站宜配置独立的谐波监视系统，也可将其功能集成在换流站监控系统。

6.6.6 高压直流换流站宜配置独立的接地极监视系统，也可将其功能集成在换流站其他二次系统。

6.6.7 高压直流换流站图像监视及安全警卫系统的设计应符合现行国家标准《工业电视系统工程设计规范》GB 50115 的有关规定。监视范围宜包括换流站大门、阀厅、控制楼各功能房间、就地继电器小室、交/直流配电装置、换流变压器、平波电抗器和换流站围墙等。

6.6.8 高压直流换流站设备状态监测宜采用统一后台分析系统。

设备状态监测的范围宜为换流变压器、油浸式平波电抗器、500kV及以上电压等级高压站用/联络变压器、高压并联电抗器等。

6.7 二次设备布置

6.7.1 高压直流换流站控制楼的位置应与阀厅相邻布置,宜按规划设计容量一次建成。对于双回直流换流站和多换流单元的背靠背换流站宜增设辅控楼。

6.7.2 二次设备的布置应结合工程远景规模规划,充分考虑分期扩建的便利,布置宜功能明确、紧凑成组,并应合理设置预留和备用屏位。

7 调度自动化及通信

7.1 调度自动化

7.1.1 调度自动化系统的设计应符合现行行业标准《电力系统调度自动化设计技术规程》DL 5003 的有关规定。

7.1.2 直流远动系统及其通道应双重化配置,并按极间和站间分别设置远动通道。

7.1.3 高压直流换流站应配置交、直流系统共用的电能量远方终端。电能量计量系统的设计应符合现行国家标准《电力装置的电测量仪表装置设计规范》GB/T 50063 的有关规定。

7.1.4 同步相量测量装置的设计应符合现行行业标准《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》DL/T 5136 的规定。

7.1.5 调度数据网络接入设备的设计应符合现行行业标准《电力调度数据网络工程初步设计内容深度规定》DL/T 5364 的规定。

7.2 通 信

7.2.1 换流站主要通信设施应符合下列要求:

- 1 换流站的通信系统应包括系统通信和站内通信;
- 2 换流站主要通信设施可包括光纤通信设备、载波通信设备、调度行政交换机、调度数据网设备、综合数据网设备、会议电视终端设备、通信电源、动力和环境监测子站设备、综合布线设施和控制保护的接口设备等。

7.2.2 系统通信应符合下列要求:

- 1 换流站与其电网调度机构之间应至少设立两个独立的调度通信通道或两种通信方式;
- 2 系统通信电路应满足传输电力调度、生产行政、继电保护、

安全自动装置、调度自动化等业务的需求；

3 换流站间交换信息应包括直流控制及保护信息、线路故障定位装置站间交换信息、换流站监控系统交换信息等；

4 换流站至各调度端传输信息应包括远动信息、电能计费信息、故障录波信息、继电保护及安全稳定装置信息、远方用户电话等；

5 换流站宜提供至运行管理单位之间的通信通道。

7.2.3 站内通信应符合下列要求：

1 换流站内宜设一台用户数量为 48 门~128 门的数字程控调度交换机，并宜兼作站内行政通信；调度交换机的组网宜采用 Qsig 信令及 2Mbit/s 数字中继方式，分别从两个不同的方向就近与上级汇接中心连接；

2 行政交换机可就近接入当地市话网。

7.2.4 通信电源、机房和接口应符合下列要求：

1 换流站内应设两套独立的、互为备用的直流 48V 电源系统；每套电源系统宜配置一个开关电源和一组 48V 免维护蓄电池，开关电源和蓄电池的容量宜根据远期设备负荷确定并留有裕度；

2 换流站控制楼及相关的辅助建筑物内的通信网络可采用综合布线方式；

3 通信机房技术要求应符合现行行业标准《220kV~500kV 变电站通信设计规程》DL/T 5225 的有关规定；

4 与控制保护的接口设备应符合 2Mbit/s G. 703 同向型接口要求。

8 土 建

8.1 站区总平面及竖向布置

8.1.1 站区总平面及竖向布置应符合现行行业标准《变电站总布置设计技术规程》DL/T 5056 及《220kV~750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218 的有关规定。

8.1.2 阀厅、控制楼等重要建(构)筑物以及换流变压器、平波电抗器等大型设备,宜布置在地质条件较好的地段。

8.1.3 换流站建(构)筑物的火灾危险性分类及耐火等级不应低于表 8.1.3 的规定:

表 8.1.3 建(构)筑物火灾危险性分类及耐火等级

序号	建(构)筑物名称		火灾危险性类别	耐火等级	
1	一、主要生产建(构)筑物	阀厅	丁	二级	
2		控制楼	戊	二级	
3		继电器小室	戊	二级	
4		站用电室	戊	二级	
5		屋 内 配 电 装 置 室 (楼)、户内 直流场	单台设备充油量 60kg 以上	丙	二级
			单台设备充油量 60kg 及以下	丁	二级
			无含油电气设备	戊	二级
6		屋 外 配 电 装 置	单台设备充油量 60kg 以上	丙	二级
			单台设备充油量 60kg 及以下	丁	二级
			无含油电气设备	戊	二级
7	气体或干式变压器室	丁	二级		

续表 8.1.3

序号	建(构)筑物名称		火灾危险性类别	耐火等级
1	二、辅助生产建(构)筑物	事故油池	丙	一级
2		综合水泵房、取水泵房、深井泵房	戊	二级
3		空冷器室	戊	二级
4		水池	戊	二级
1	三、附属生产建(构)筑物	综合楼	戊	三级
2		检修备品库、专用品库	丁	二级
3		车库	丁	二级
4		雨淋阀间、泡沫消防间、消防小室	戊	二级
5		警传室	戊	二级

注:控制楼、继电器小室当不采取防止电缆着火后延燃的措施时,火灾危险性应为丙类。

8.1.4 换流站内建(构)筑物及设备的防火间距不应小于表 8.1.4 的要求,并应符合下列规定:

1 建(构)筑物防火间距应按相邻两建(构)筑物外墙的最近距离计算,当外墙有凸出的燃烧构件时,应从其凸出部分外缘算起;

2 相邻两座建筑外墙均为不燃烧性墙体,无外露可燃性屋檐,每面外墙上的门、窗、洞口面积之和各不大于外墙面积的 5%,且门、窗、洞口不正对开设时,其防火间距可按表 8.1.4 减少 25%;

3 相邻两座建筑较高一面的外墙为防火墙,或相邻两座高度相同的一、二级耐火等级建筑中任一侧外墙为防火墙且屋顶的耐火极限不低于 1.00h 时,其防火间距可不限;相邻较低一面建筑外墙为防火墙、屋顶无天窗、屋顶耐火极限不低于 1.00h,或较高一面外墙的门、窗等开口部位设置甲级防火门、窗时,其防火间距不应小于 4.0m;

表 8.1.4 换流站内建(构)筑物及设备的防火间距(m)

建(构) 筑物名称	丙、丁、 戊类生产 建筑(一、 二级耐火 等级)	屋外 配电 装置	换流变压 器/平波 电抗器 (油浸式)	事故 贮油池	站内辅助、 附属建筑 耐火等级		站内道路 (路边)	围墙
					二级	三级		
丙、丁、戊类生 产建筑(一、二级 耐火等级)	10	10	10	5	10	12	无出口 1.5,有出口 无车道 3.0; 有出口有车 道 6.0~8.0	见注 2
屋外配电装置	10	—	—	5	10	12	1.5	—
换流变压器 平波电抗器 (油浸式)	10	—	—	—	25	30	—	—
事故贮油池	5	5	5	—	10	12	1	1
站内辅 助、附属建 筑耐火等级	二级	10	10	25	10	6	无出口 1.5,有出口 无车道 3.0	见注 2
	三级	12	12	30	12	7		见注 2
站内道路(路 边)	出口 1.5,有出 口无车 道 3.0; 有出口 有车道 6.0~8.0	1.5	—	1	无出口 1.5,有出 口无车 道 3.0		—	1
围墙	见注 2	—	—	1	见注 2	见注 2	1	—

注:1 表中未规定最小间距“—”者,该间距可根据工艺布置确定;

2 继电器小室布置在屋外配电装置场地内时,其间距由电气专业确定,围墙与丙、丁、戊类生产建筑物和站内辅助、附属建筑的间距在满足消防要求的前提下不限。

4 建筑物外墙距屋外油浸式变压器和可燃介质电容器设备外廓 5m 以内,该墙在设备总高度加 3m 的水平线以下及设备外廓两侧各 3m 内,不应设有门窗和通风孔;

5 当继电器小室布置在屋外配电装置场内时,其与电气设备及导线的距离应由电气专业确定。

8.1.5 换流变压器的运输道路宽度不宜小于 6m,道路交叉口转弯半径应满足选定的超限货物运输车辆最小转弯半径要求,平波电抗器的运输道路宽度不宜小于 4.5m,转弯半径不宜小于 15m;环形消防道路的宽度不应小于 4m,转弯半径不宜小于 9m;其余道路宽度不宜小于 3m,转弯半径不宜小于 7m。

8.1.6 换流站进站道路路面宽度不宜小于 6m,平曲线半径不宜小于 30m,最大纵坡不宜大于 6%。

8.1.7 换流变压器、平波电抗器搬运轨道的布置,在满足安装、检修要求情况下宜短捷、紧凑,搬运轨道宜与站内道路重叠布置,以节约站区用地。

8.1.8 运输轨道轨顶标高宜保持一致。换流变广场宜沿长轨道方向设置零坡,沿长轨道垂直方向设置不大于 0.3%的排水坡;其他场地的排水坡度不宜小于 0.5%。

8.1.9 站区一般地段围墙宜采用 2.2m~2.8m 的实体围墙;有降噪要求的地段,应根据降噪计算的结果和噪声防护标准的要求,确定围墙高度和结构形式。

8.2 建 筑

8.2.1 换流站站区建筑物应包括阀厅、控制楼、站用电室、继电器小室、综合水泵房、取水泵房(或深井泵房)、雨淋阀间(或泡沫消防间)、综合楼、检修备品库、专用品库、车库、警传室等。户内直流场、屋内配电装置室(楼)等建筑物设置与否应根据工艺方案确定。

8.2.2 换流站建筑设计应符合现行行业标准《换流站建筑结构设计技术规程》DL/T 5459 的有关规定。

8.2.3 换流站建筑物屋面防水设计应符合现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345 的有关规定,阀厅、控制楼、户内直流场、屋内配电装置室(楼)、站用电室、继电器小室、综合楼的屋面防水等级应为Ⅰ级,其他建筑物的屋面防水等级宜为Ⅱ级。

8.2.4 阀厅与控制楼应采用联合布置;当设有户内直流场时,户内直流场与阀厅宜采用联合布置。

8.2.5 阀厅与控制楼的室内零米地坪标高应一致,室内外地面高差不应小于 300mm。

8.2.6 阀厅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。

8.2.7 阀厅零米层出入口宜为两个,其中一个出入口应通往室外,另一个出入口宜与控制楼连通。

8.2.8 阀厅内部应设置架空巡视走道。巡视走道宜通至阀塔上部屋架区域,且应与控制楼相衔接。巡视走道通往控制楼的门应向控制楼方向开启,采用满足 1.50h 耐火性能(耐火隔热性和耐火完整性)、40dB 隔声性能指标要求的电磁屏蔽门。

8.2.9 阀厅外墙不应设置采光窗。当阀厅外墙设置通风百叶窗或排烟风机时,应采取可靠的电磁屏蔽、气密及防水措施,百叶窗或风机的叶片应设自动启闭装置。

8.2.10 阀厅与换流变压器、油浸式平波电抗器之间应采用耐火极限不低于 3.00h 的防火墙进行分隔。

8.2.11 阀厅墙上开孔封堵应满足围护系统的整体电磁屏蔽、气密、防火、防水、隔热、隔声、防涡流等性能要求。

8.2.12 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。

8.2.13 控制楼的出入口设置、水平及垂直交通组织应符合安全疏散的要求,且应为生产管理创造良好条件。

8.2.14 控制楼首层宜设置阀厅安装检修用升降机停放位,相关通道的宽度及布置应满足安装检修用升降机的出入和转弯要求。

8.2.15 控制楼内应配备起吊设施,宜结合建筑层数、安装检修要求设置吊物孔(含单轨吊)或电梯。

8.2.16 户内直流场零米层出入口不应少于两个,其中应有一个出入口通往室外并与站区主要道路相衔接。

8.2.17 户内直流场外墙宜设置固定式采光窗。当户内直流场外墙设置通风百叶窗时,百叶窗的叶片应设自动启闭装置。

8.2.18 当户内直流场内布置有干式平波电抗器等较重设备时,宜设置起吊运输设施。

8.2.19 户内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。

8.2.20 当阀厅、户内直流场、屋内配电装置室(楼)等建筑物屋面采用复合压型钢板围护系统时,外层压型钢板应采用 360°咬口锁边连接方式,屋面排水坡度不宜小于 5%,且应采取可靠的抗风、防水措施。

8.3 结 构

8.3.1 建(构)筑物的设计使用年限、结构安全等级应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的有关规定。换流站建(构)筑物的设计使用年限、结构安全等级、结构重要性系数应按表 8.3.1 确定,建筑物中各类结构构件使用阶段的安全等级宜与整个结构的安全等级相同。

**表 8.3.1 换流站建(构)筑物的设计使用年限、
结构安全等级、结构重要性系数**

建(构)筑物名称	设计使用年限(年)	结构安全等级	结构重要性系数
阀厅、控制楼、户内直流场、屋内配电装置室(楼)、交(直)流场构架	50	一级	1.1
其他建(构)筑物	50	二级	1.0

8.3.2 换流站建筑物楼(地)面均布活荷载标准值及其组合值系数、准永久值系数和折减系数的取值,不应小于表 8.3.2 的规定。
 当在生产使用和安装检修时,由设备和运输工具等产生的局部荷载大于表中数值时,应按实际荷载进行设计。

表 8.3.2 换流站建筑物楼(地)面均布活荷载标准值及其组合值系数、准永久值系数和折减系数

序号	类 别	标准值 (kN/m ²)	组合值 系数 Ψ_c	准永久值 系数 Ψ_q	计算主梁、柱及 基础的折减系数
1	主控制室、控制保护设备室、 交流配电室、通信机房、继电器 小室	4.0	0.9	0.8	0.7
2	直流屏室、阀冷却设备间、空 调设备间、安全工具间、二次备 品及工作间	5.0	0.9	0.8	0.7
3	蓄电池室、不停电检修电源室	8.0	0.9	0.8	0.7
4	会议室、办公室、餐厅、资料 室、浴室、厕所、盥洗室	2.5	0.7	0.5	0.85
5	走廊、门厅、楼梯: 1)控制楼 2)综合楼	4.0 2.5	0.7	0.6	0.85
6	上人屋面	2.0	0.7	0.5	1.0
7	不上人屋面: 1)混凝土屋面 2)压型钢板屋面	0.7 0.5	0.7	0.0	1.0

续表 8.3.2

序号	类 别	标准值 (kN/m ²)	组合值 系数 Ψ_c	准永久值 系数 Ψ_q	计算主梁、柱及 基础的折减系数
8	地面:				
	1) 阀厅、户内直流场、屋内配 电装置室(楼)、检修备品库	10.0	—	—	—
	2) 其他建筑物	4.0			

8.3.3 换流站建(构)筑物的基本风压应采用按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的方法确定的 50 年重现期的风压,但不得小于 0.3kN/m^2 。对风荷载比较敏感的独立塔架、避雷针、门式刚架等结构,基本风压的取值应适当提高。

8.3.4 阀厅及防火墙的结构设计应满足下列要求:

1 阀厅主体结构宜采用钢-钢筋混凝土混合结构、钢结构、钢筋混凝土结构;

2 阀厅屋面结构宜采用钢结构有檩屋盖结构体系,围护结构宜采用复合压型钢板进行围护,在受台风影响地区,可采用以压型钢板为底模的钢-混凝土板组合结构;墙面围护系统的选材宜与主体结构相适应;

3 阀厅与换流变压器和油浸式平波电抗器之间、换流变压器之间、油浸式平波电抗器之间应设置防火墙,防火墙结构形式宜采用现浇钢筋混凝土框架填充墙结构或现浇钢筋混凝土墙结构。

8.3.5 控制楼主体结构宜采用钢筋混凝土框架结构或钢结构;楼、屋面宜采用现浇钢筋混凝土板;墙面围护系统的选材宜与主体结构相适应。

8.3.6 户内直流场主体结构宜采用钢排架结构体系或钢筋混凝土排架结构体系;屋面宜采用钢结构有檩屋盖体系、复合压型钢板轻型屋面围护结构;墙面围护系统的选材宜与主体结构相适应。

8.3.7 换流站建(构)筑物的抗震设计除应符合现行国家标准《建

筑抗震设计规范》GB 50011、《电力设施抗震设计规范》GB 50260和《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的有关规定外,还应符合下列要求:

1 阀厅、控制楼、户内直流场、屋内配电装置室(楼)、站用电室、继电器小室为换流站的主要生产建筑物,其抗震设防类别应为重点设防类(简称乙类);

2 其他建(构)筑物抗震设防类别应为一般设防类(简称丙类)。

9 采暖、通风和空气调节

9.1 采 暖

9.1.1 采暖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 的有关规定。

9.1.2 换流站采暖方式宜采用分散电采暖。

9.2 通风和空调

9.2.1 通风和空调设计应符合国家现行标准《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019、《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229、《建筑设计防火规范》GB 50016 和《220kV～750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218 的有关规定。

9.2.2 阀厅降温可采用空调或通风方案,通风或空调设计应符合下列规定:

1 室内温湿度等的设计参数应根据换流阀的要求确定,无明确要求时,阀厅室内温度夏季不应超过 50°C ,冬季不应低于 10°C ;相对湿度范围宜为 $10\%\sim 60\%$,并应保证阀体表面不结露;

2 每个阀厅通风或空调系统宜独立设置,通风或空调设备应 100% 备用;

3 进入阀厅的空气应设置不少于两级过滤,过滤等级应满足工艺要求;

4 阀厅内应保持微正压状态,正压值宜为 $5\text{Pa}\sim 10\text{Pa}$;当利用新风降温时,室内正压值不应超过 30Pa 。

9.2.3 户内直流场可采用空调或通风方案,通风或空调设计应符合下列要求:

1 室内温湿度等的设计参数应根据电气设备的要求确定,并

应保证电气设备表面不结露；

2 进入户内直流场的空气宜设置初效过滤；

3 每个户内直流场的通风或空调系统宜独立设置，通风或空调设备应 100% 备用。

9.2.4 控制楼宜设置集中空调系统，空调设计应符合下列规定：

1 集中空调系统的制冷设备以及空气处理设备宜按照设计冷负荷及风量的 $2 \times 100\%$ 或 $3 \times 50\%$ 配置；

2 采用变制冷剂流量(VRV)空调系统时，控制保护设备室、阀冷控制设备室、通信机房、主控制室等重要房间的空调设备应 100% 备用。

9.2.5 阀冷却设备室应设置机械通风，当室内布置有电气设备或通风方式不能满足设备运行要求时，可设置空调装置。冬季室内温度不宜低于 10°C ，夏季室内温度不宜高于 35°C 。

9.2.6 换流变压器设置隔声罩时，宜设置机械通风系统。事故排风量每小时不应少于 12 次换气次数，事故风机可兼作平时排热通风机。

9.2.7 阀厅应设置事故后机械排烟系统，排烟风量宜按每小时 0.25 次~0.5 次计算。

10 水 工

10.1 给 水 系 统

10.1.1 换流站应有可靠的水源,水源宜采用自来水,也可采用地表水或地下水,但其水质、水量的变化不应影响换流站的安全运行。

10.1.2 当换流阀外冷却采用水冷却方式时,换流站宜有两路可靠的水源。当仅有一路水源时,换流站应设置容积不小于 3d 生产用水量的储水池。

10.1.3 换流站内生产用水和生活用水以及消防给水管网宜分开设置。

10.2 排 水 系 统

10.2.1 换流站的排水系统设计应符合国家现行标准《室外排水设计规范》GB 50014、《220kV~750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218 的有关规定。

10.2.2 换流站的排水系统宜采用分流制排水系统。

10.3 阀冷却系统

10.3.1 换流阀内冷却应满足下列要求:

1 换流阀内冷却应采用闭式单循环冷却水系统,每极阀厅应独立设置,背靠背换流站宜按整流侧和逆变侧分别设置;

2 内循环介质水应满足换流阀对水质、水压、流速及水温的要求;最低流速应满足阀体内防止电腐蚀的最低允许速度的要求;

3 内循环介质水回路应设置去离子水旁路,离子交换器的处理水量宜按 2h 将内循环介质水系统容积水量处理一遍确定;

4 循环水泵、离子交换器、补水泵、过滤装置应 100% 备用。

10.3.2 换流阀外冷却应满足下列规定：

1 换流阀外冷却宜采用水冷却方式，在水资源缺乏、取水困难或年平均气温低的地区可采用空冷方式或空冷加其他辅助冷却的方式；

2 当采用水冷却方式时，计算蒸发型冷却塔传热量的大气湿球温度应取当地极端最高湿球温度；当采用空冷方式时，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；

3 采用蒸发型冷却塔时，应为喷淋水设置缓冲水池，水池容积应满足水冷却系统安全运行的需要；

4 蒸发型冷却塔喷淋水的补充水量应按冷却塔蒸发损失、飘逸损失及排污损失之和计算，安全系数应取 1.10~1.15；

5 应采取防止冷却塔换热盘管外表面结垢的措施；

6 应采取抑制冷却塔喷淋水及缓冲水池内壁微生物生长的措施；

7 蒸发型冷却塔应设置一台备用，且每台冷却塔应独立配置喷淋水泵；水处理设备、喷淋水泵应 100% 备用；

8 空冷器宜采用干式，换热盘管应设置不少于一片（组）的备用，且换热面积冗余应达到 15%~20%；

9 寒冷地区，室外设备冬季停运期间应采取防冻措施。

10.3.3 换流阀散发到内循环介质水中的热量应取换流阀在各种运行工况下的最大值。

10.3.4 阀冷却系统应设置就地和集中监控系统对水温、电导率、水压、流量等进行自动监测。

11 消 防

11.1 火灾探测报警系统

11.1.1 高压直流换流站火灾探测报警系统应符合现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116 和《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229 的规定。

11.1.2 高压直流换流站全站应设置火灾探测报警系统。

11.1.3 阀厅应配置吸气式感烟探测系统。

11.2 灭 火 系 统

11.2.1 换流站消防给水系统设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定。

11.2.2 换流变压器、油浸式平波电抗器和单台容量为 $125\text{MV} \cdot \text{A}$ 及以上的联络变压器应设置水喷雾灭火系统、泡沫喷雾灭火系统或其他经消防主管部门审查许可的固定式灭火装置,同时应设置室外消火栓、推车式灭火器和沙箱。

11.2.3 水喷雾灭火系统设计应符合现行国家标准《水喷雾灭火系统设计规范》GB 50219 的有关规定;泡沫喷雾系统设计应符合现行国家标准《泡沫灭火系统设计规范》GB 50151 的有关规定。

11.2.4 控制楼应设置室内和室外消火栓。

11.2.5 阀厅、户内直流场和屋内配电装置室(楼)应设置室外消火栓。

11.2.6 辅助建筑物如综合楼、检修备品库等,应根据火灾危险性和耐火等级按照现行国家标准《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229 和《建筑设计防火规范》GB 50016 的要求设置室内和室外消火栓。

11.2.7 各建筑物内灭火器的设置应符合现行国家标准《建筑灭火器配置设计规范》GB 50140 的规定。阀厅、户内直流场、屋内配电装置室(楼)和检修备品库等室内除配置手提式灭火器外,还宜配置推车式灭火器。

12 噪声控制和节能

12.1 噪声控制

12.1.1 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 的规定。产生高噪声的生产设施宜相对集中布置,其周围宜布置对噪声较不敏感、高大、朝向有利于隔声的建(构)筑物。

12.1.2 设备选型应通过技术经济比较选用低噪声设备。

12.1.3 当设备噪声水平不能满足控制标准时,可采用隔声、吸声、消声和隔振等降低噪声传播的措施。

12.2 节 能

12.2.1 换流站的无功和滤波装置的配置应符合减少电能损耗的要求。

12.2.2 换流站的设备应选择低损耗的设备。

12.2.3 持续运行的阀冷却、空调等站内辅机系统应采用高效率、低能耗的设备。

12.2.4 换流站应根据环境条件和技术经济比较采用建筑物节能技术。

附录 A 交流系统谐波干扰指标

A.0.1 交流系统谐波干扰指标计算应符合下列规定：

1 单次谐波的畸变率，可按下式计算：

$$D_n = \frac{E_n \times 100\%}{E_{ph}} \quad (\text{A.0.1-1})$$

2 总有效谐波畸变率，可按下式计算：

$$D_{\text{eff}} = \left[\sum_{n=2}^{n=50} (E_n/E_{ph})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 100\% \quad (\text{A.0.1-2})$$

3 电话谐波波形系数，可按下列公式计算：

$$THFF = \left[\sum_{n=1}^{n=50} (k_n p_n E_n/E_{ph})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 100\% \quad (\text{A.0.1-3})$$

$$k_n = \frac{n \times 50}{800} \quad (\text{A.0.1-4})$$

$$p_n = \frac{\text{CCITT 噪声加权系数}}{1000} \quad (\text{A.0.1-5})$$

式中： E_n ——换流器谐波电流产生的 n 次谐波相对地电压均方根值；

E_{ph} ——相对地工频电压均方根值；

n ——谐波次数。

A.0.2 CCITT 噪声加权系数见表 A.0.2。

表 A.0.2 CCITT 噪声加权系数

n	$f(\text{Hz})$	$CCITT$	n	$f(\text{Hz})$	$CCITT$
1	50	0.71	26	1300	955
2	100	8.91	27	1350	928
3	150	35.5	28	1400	905
4	200	89.1	29	1450	881
5	250	178	30	1500	861
6	300	295	31	1550	842
7	350	376	32	1600	824
8	400	484	33	1650	807
9	450	582	34	1700	791
10	500	661	35	1750	775
11	550	733	36	1800	760
12	600	794	37	1850	745
13	650	851	38	1900	732
14	700	902	39	1950	720
15	750	955	40	2000	708
16	800	1000	41	2050	698
17	850	1035	42	2100	689
18	900	1072	43	2150	679
19	950	1109	44	2200	670
20	1000	1122	45	2250	661
21	1050	1109	46	2300	652
22	1100	1072	47	2350	643
23	1150	1035	48	2400	634
24	1200	1000	49	2450	625
25	1250	977	50	2500	617

附录 B 直流线路等效干扰电流计算

B. 0. 1 直流线路等效干扰电流应按下列公式计算：

$$I_{eq}(x) = [I_e(x)_R^2 + I_e(x)_i^2]^{\frac{1}{2}} \quad (B. 0. 1-1)$$

$$I_e(x) = \left\{ \sum_{n=1}^{n=50} [I(n,x) \times p(n) \times H_f]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (B. 0. 1-2)$$

式中： $I_{eq}(x)$ ——沿输电线路走廊的任何点，噪声加权至 800Hz 的等效干扰电流；

$I_e(x)_R$ ——由整流站换流器谐波电压源产生的等效干扰电流分量幅值；

$I_e(x)_i$ ——由逆变站换流器谐波电压源产生的等效干扰电流分量幅值；

x ——沿线路走廊的相对位置；

$I(n,x)$ ——沿线路走廊位置，“ x ”处的 n 次谐波残余电流的均方根值；

$p(n)$ —— n 次谐波的噪声加权系数，见附录 A 中表 A. 0. 2 噪声加权系数；

n ——谐波次数；

H_f ——耦合系数，见表 B. 0. 1。

表 B. 0. 1 耦合系数

n	频率(Hz)	H_f	n	频率(Hz)	H_f
1	50	0. 70	5	250	0. 70
2	100	0. 70	6	300	0. 70
3	150	0. 70	7	350	0. 70
4	200	0. 70	8	400	0. 70

续表 B.0.1

n	频率(Hz)	H_f	n	频率(Hz)	H_f
9	450	0.70	30	1500	1.53
10	500	0.70	31	1550	1.56
11	550	0.75	32	1600	1.60
12	600	0.80	33	1650	1.64
13	650	0.85	34	1700	1.68
14	700	0.90	35	1750	1.71
15	750	0.95	36	1800	1.75
16	800	1.00	37	1850	1.78
17	850	1.04	38	1900	1.82
18	900	1.08	39	1950	1.85
19	950	1.11	40	2000	1.88
20	1000	1.15	41	2050	1.92
21	1050	1.19	42	2100	1.95
22	1100	1.23	43	2150	1.98
23	1150	1.26	44	2200	2.02
24	1200	1.3	45	2250	2.05
25	1250	1.34	46	2300	2.08
26	1300	1.38	47	2350	2.12
27	1350	1.41	48	2400	2.15
28	1400	1.45	49	2450	2.18
29	1450	1.49	50	2500	2.22

本规范用词说明

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”,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

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《室外排水设计规范》GB 50014
- 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》GB/T 50062
- 《电力装置的电测量仪表装置设计规范》GB/T 50063
- 《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
- 《工业电视系统工程设计规范》GB 50115
- 《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116
- 《建筑灭火器配置设计规范》GB 50140
- 《泡沫灭火系统设计规范》GB 50151
- 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
- 《构筑物抗震设计规范》GB 50191
- 《水喷雾灭火系统设计规范》GB 50219
- 《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229
- 《电力设施抗震设计规范》GB 50260
- 《屋面工程技术规范》GB 50345
- 《绝缘配合 第2部分: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
- 《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

《继电保护和安全自动装置技术规程》GB/T 14285
《单边带电力线载波系统设计导则》GB/T 14430
《高压直流换流站损耗的确定》GB/T 20989
《高压直流换流站的可听噪声》GB/T 22075
《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分：
定义、信息和一般原则》GB/T 26218.1
《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第2部分：
交流系统用瓷和玻璃绝缘子》GB/T 26218.2
《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第3部分：
交流系统用复合绝缘子》GB/T 26218.3
《电力系统动态记录装置通用技术条件》DL/T 553
《高压直流换流站绝缘配合导则》DL/T 605
《变电站通信网络和系统》DL/T 860
《电力系统调度自动化设计技术规程》DL 5003
《电力工程直流电源系统设计技术规程》DL/T 5044
《变电站总布置设计技术规程》DL/T 5056
《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》DL/T 5136
《220kV~750kV 变电站设计技术规程》DL/T 5218
《导体和电器选择设计技术规定》DL/T 5222
《220kV~500kV 变电站通信设计规程》DL/T 5225
《高压配电装置设计技术规程》DL/T 5352
《电力调度数据网络工程初步设计内容深度规定》DL/T 5364
《换流站建筑结构设计技术规程》DL/T 5459
《换流站二次系统设计技术规程》DL/T 5499
《换流站站用电设计技术规定》DL/T 5460

中华人民共和国国家标准

高压直流换流站设计规范

GB/T 51200 - 2016

条文说明

编制说明

《高压直流换流站设计规范》GB/T 51200—2016,经住房和城乡建设部 2016 年 10 月 25 日以第 1343 号公告批准发布。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,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规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

3	站址选择	(55)
4	交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求	(56)
4.1	交流系统基本条件	(56)
4.2	直流输电系统的性能要求	(56)
5	电气一次	(61)
5.1	电气主接线	(61)
5.2	过电压保护、绝缘配合及防雷接地	(63)
5.3	污秽水平及直流外绝缘	(67)
5.4	主要设备和导体选择	(71)
5.5	电气设备布置	(79)
6	控制和保护	(84)
6.1	一般规定	(84)
6.2	监控系统	(84)
6.3	直流控制系统	(85)
6.4	直流系统保护	(86)
6.6	辅助二次系统	(88)
6.7	二次设备布置	(91)
7	调度自动化及通信	(92)
7.1	调度自动化	(92)
8	土 建	(93)
8.1	站区总平面及竖向布置	(93)
8.2	建筑	(95)
8.3	结构	(100)
9	采暖、通风和空气调节	(101)

9.1	采暖	(101)
9.2	通风和空调	(101)
10	水 工	(103)
10.1	给水系统	(103)
10.3	阀冷却系统	(103)
11	消 防	(105)
11.1	火灾探测报警系统	(105)
11.2	灭火系统	(105)
12	噪声控制和节能	(106)
12.1	噪声控制	(106)
12.2	节能	(106)

3 站址选择

3.0.5 换流站、接地极的站址选择过程中涉及的邻近设施涵盖各行各业的设施,如:石油管道、天然气管道、供水管道、铁路、公路、机场(军用或民用)、导航台、卫星地面站、军事设施、通信设施(军用或民用)、炸药库以及易燃易爆设施、文物、风景名胜区、自然保护区、水源保护区等。换流站、接地极选址时应充分调查以上设施与站址、极址相互之间的方位和距离关系,并应满足国家现行有关标准所要求的安全保护或防护距离,当存在未明确的规定时,应进行专题研究和专家论证。

为便于使用,此处列出工程中主要涉及的标准,当出现特殊要求时,尚应查阅参照相关的标准、规范和规程,或进行专题研究和专家论证:

《输油管道工程设计规范》GB 50253;

《输气管道工程设计规范》GB 50251;

《石油天然气工程设计防火规范》GB 50183;

《航空无线电导航台(站)电磁环境要求》GB 6364;

《民用机场飞行区技术标准》MH 5001;

《军用机场净空规定》国务院、中央军委文件(国发〔2001〕29号);

《民用爆破器材工程设计安全规范》GB 50089;

《高压直流换流站可听噪声》GB/T 22075;

《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。

4 交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求

4.1 交流系统基本条件

4.1.1 交流系统基本数据。

1 换流站交流母线电压变化范围包括正常运行电压、正常连续运行电压范围和极端连续运行电压范围。换流站交流母线频率变化范围包括正常波动范围、事故时波动范围和故障清除后波动范围的上下限。

2 换流站交流侧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。

3 交流系统负序工频电压一般可取正序工频电压的1%。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。

4 故障清除时间包括正常和后备(保护)清除故障时间。

4.1.2 等值交流系统。每种等值交流系统仅用于指定的研究项目。

4.2 直流输电系统的性能要求

4.2.1 直流输电系统的额定功率是指在规定的环境温度及交流系统条件下(交流电压和交流频率在正常变化范围内),全部设备均投入运行(不包括冗余设备)时所能连续输送的直流有功功率。

直流输电系统的额定电流是指在所有规定的环境条件下能连续无时间限制传送的直流电流平均值。

直流输电系统的额定电压是指按额定电流传输额定功率时所需要的直流电压的平均值。

4.2.2 连续过负荷能力是指直流输电系统能够长时间连续运行的过负荷能力。连续过负荷能力可以规定为备用冷却设备投运或不投运两种情况。

短时(2h)过负荷能力是指直流输电系统在 2h 内可连续运行的过负荷能力。短时(2h)过负荷能力可以规定为备用冷却设备投运或不投运两种情况。直流系统在最小功率至连续过负荷之间的任意功率水平连续运行后仍应具备规定的短时(2h)过负荷能力。

暂态过负荷能力是指直流输电系统在数秒中内的过负荷能力。为满足交流系统的需要,暂态过负荷能力可规定为 3s、5s 或 10s。直流系统在最小功率和短时(2h)过负荷之间的任意功率水平连续运行后仍应具备规定的暂态过负荷能力。

表 1~表 3 给出的是我国几个已投运的高压直流工程过负荷能力要求。

表 1 宁东-山东±660kV 高压直流输电工程过负荷能力

最高户外 环温/最高 阀厅温度	过负荷时间	冗余冷却设备不运行		冗余冷却设备运行	
		功率(p. u.)	功率(MW)	功率(p. u.)	功率(MW)
40℃/50℃	3s	1.4	5600	1.4	5600
	2h	1.1	4400	1.13	4520
	长期	1.0	4000	1.05	4200

表 2 贵广Ⅰ回和贵广Ⅱ回±500kV 直流输电工程过负荷能力(p. u.)

过负荷 时间	最 高 环 温		最 低 环 温	
	冗余冷却设备运行	冗余冷却设备不运行	冗余冷却设备运行	冗余冷却设备不运行
长期	1.10	1.00	1.20	1.20
2h	1.15	1.10	1.25	1.20
10s	1.20	1.20	1.35	1.35
5s	1.30	1.30	1.40	1.40
3s	1.40	1.40	1.50	1.50

表 3 三峡-常州±500kV 直流输电工程过负荷能力

最高环境 温度	过负荷 时间	冗余冷却设备不运行		冗余冷却设备运行	
		功率(p. u.)	功率(MW)	功率(p. u.)	功率(MW)
41.4℃ (龙泉站) 40.0℃ (政平站)	3s	1.40	4200	1.50	4500
	5s	1.33	3990	1.50	4500
	10s	1.24	3720	1.41	4230
	2h	1.10	3300	1.13	3390
	持续	1.00	3000	1.05	3150
34℃	3s	1.45	4350	1.50	4500
	5s	1.38	4140	1.50	4500
	10s	1.33	3990	1.41	4230
	2h	1.15	3450	1.19	3570
	持续	1.06	3180	1.10	3300
20℃	3s	1.50	4500	1.50	4500
	5s	1.50	4500	1.50	4500
	10s	1.41	4230	1.41	4230
	2h	1.27	3810	1.31	3930
	持续	1.15	3450	1.16	3480

4.2.3 本条所给出的最小直流电流参考目前国内±500kV 和±660kV直流输电工程对直流输电系统允许的最小直流电流水平值确定。

4.2.5 直流输电的潮流方向和输送功率的大小可由控制系统来进行控制。因此,直流输电输送功率的大小和方向均是可控的,分为功率正送和功率倒送。直流输电的功率倒送也称潮流反转。功率倒送需要改变两端换流站或背靠背换流站两侧换流器的运行工况,将运行于整流状态的整流站或换流器变为逆变运行,而运行于逆变状态的逆变站或换流器变为整流运行。

按工程对功率倒送的要求不同,可分为以下几种类型:

(1) 不需要功率倒送的直流输电工程。如从孤立的电厂向电网或负荷点送电以及从电网向孤立的负荷点送电等情况。

(2) 要求正、反两方向具有同样输送能力的直流输电工程,如背靠背换流站工程。

(3) 要求工程具有正、反两方向送电的功能,正向输送额定直流功率,对反向输送能力无明确要求,或规定反向输送能力应以不额外增加设备投资为原则。一般而言,如果无功补偿设备的配置不是限制条件,不足的无功可由交流系统提供,其反向输送能力可达到正向输送能力的 90% 左右;如果无功受限,则其反向输送能力可降到正向输送能力的 50%~80%。

4.2.6 本条文所给出的两端高压直流输电系统的基本运行方式适用于每极一个 12 脉动换流器的接线方式。

4.2.7 本条中的直流低负荷无功优化策略,又简称 QPC,是一种后备无功控制功能,作为无功控制功能的功率控制(Q-control)的辅助功能,用于在低功率水平下通过增大换流器的触发角或熄弧角来增加换流器的无功消耗,将换流站与交流电网的无功交换控制在无功控制功能的功率控制(Q-control)设定的范围内。

4.2.9 目前我国对 220kV 及以上交流系统的谐波干扰指标并无相应规定,每个直流工程都应结合工程具体情况确定合适的谐波干扰指标。本条所给出的交流系统谐波干扰指标参考 IEC 及 IEEE 相关标准编写,仅用于交流滤波器设计,不作为电能质量考核依据。

4.2.10 直流系统谐波干扰指标的选择是一个复杂的工程问题,应综合直流线路沿线通信线路的实际情况和通信干扰杂音电势的标准确定。例如,我国±500kV 三峡-常州、三峡-广东等直流输电工程要求双极和单极运行方式下的直流线路等效干扰电流分别不大于 500mA 和 1000mA;贵广 I 和 II 回±500kV 直流输电工程要求不大于 250mA(双极)和 500mA(单极);宁东-山东±660kV 直流输电工程要求不大于 1500mA(双极)和 3000mA(单极)。直

流系统谐波通常在两端换流站直流出线几十公里范围内较大,该范围内的直流系统谐波对直流线路沿线通信线路干扰最大,当直流线路采用电缆,或者该范围内的架空输电线路周围没有通信明线时,可通过研究确定是否取消直流滤波器。

4.2.14 本条文所给出的直流输电系统可靠性的设计目标值适用于每极一个 12 脉动换流器接线方式的两端高压直流输电系统。

4.2.15 本条文所给出的直流输电系统可靠性的设计目标值适用于每个背靠背换流单元为一个 12 脉动换流器接线方式的背靠背换流站。

4.2.16 直流输电系统的动态性能研究应包括直流系统的响应、换流器在交流系统故障期间的运行以及直流回路的谐振等内容。直流输电系统的暂态性能研究应针对正常投切和故障两部分进行,通常在换流站成套设计中采用 EMTDC/PSCAD 进行研究。

5 电 气 一 次

5.1 电气主接线

5.1.1 两端高压直流输电系统换流站的典型接线示例见图 1。

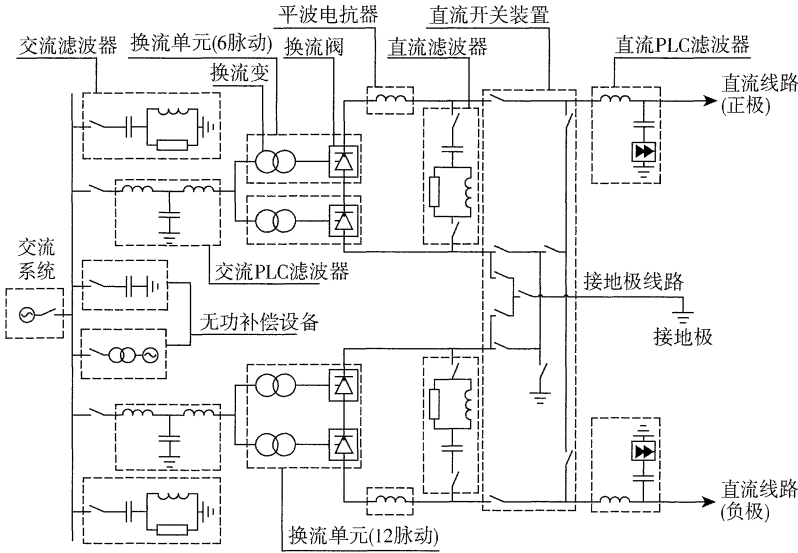


图 1 两端高压直流输电系统换流站典型接线示例

关于交流 PLC 滤波器和直流 PLC 滤波器的说明：

换流器在运行过程中会在交流侧和直流侧产生由低次到高次的各种频率的谐波，其中在电力线载波（PLC）频率范围内的谐波将对电力线载波通信造成干扰，影响通信质量。

当换流站的交流系统或与换流站交流出线相连的变电站采用电力线载波通信时，通常需要在换流变的网侧加装交流 PLC 滤波器以滤除交流侧相应频段的谐波电流；当换流站的交流系统或与

换流站交流出线直接相连的变电站不采用电力线载波通信时,经专题研究一般可取消交流 PLC 滤波器。

当换流站的直流系统采用电力线载波通信时,通常需要在换流变的极线加装直流 PLC 滤波器,其作用有二:一是滤除电力线载波(PLC)频率范围内的直流侧谐波,二是兼作直流极线故障定位装置。目前换流站直流侧均采用光纤通信,因此取消了直流 PLC 滤波器的功能,可不装设直流 PLC 滤波电抗器,但是直流极线故障定位装置需要保留直流 PLC 滤波电容器。

背靠背换流站的典型接线示例见图 2。

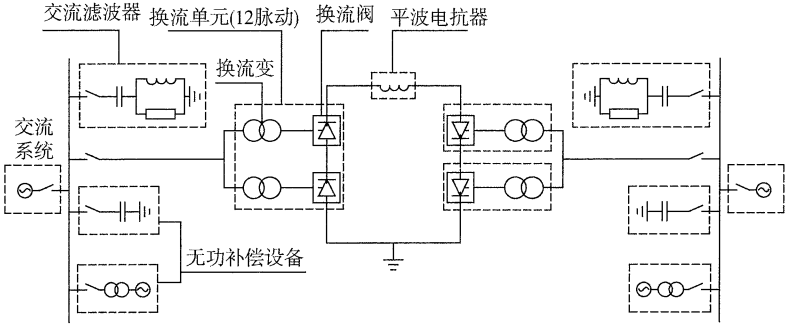


图 2 背靠背换流站典型接线示例

5.1.3 单个 12 脉动阀组的最大制造容量和换流变压器的制造能力及运输限制是确定每极换流器单元接线的决定性因素。根据目前换流设备的制造能力及运输限制,换流变的主要型式有单相双绕组和单相三绕组,换流阀的主要型式有二重阀或四重阀。

5.1.4 两端高压直流输电系统直流开关场接线原则应满足当一极发生故障或检修时不应影响另一极的运行,在各种运行方式之间切换时不应中断直流功率输送,且不宜降低直流输送功率。为满足此要求,直流开关场接线设计中应保证具备条文中所列的各项功能。

5.1.5 当交流滤波器组数较多时,若交流滤波器以小组的方式接入母线,由于小组交流滤波器断路器操作频繁,某一小组交流滤波器断路器故障将造成主母线故障。交流滤波器以大组的方式接入母线后,任一小组交流滤波器断路器故障不会造成主母线故障。目前国内高压直流工程多采用交流滤波器大组接入交流母线接线方式。

5.1.6 考虑到高压直流换流站的重要性及站用变压器轮换检修的要求,高压站用电源宜按三回电源设置。

如果换流站与交流变电站合建,从站内联络变压器第三绕组引接电源的可靠性高且投资省,应优先考虑。当站内设有两台及以上联络变压器时,宜从两台联络变压器第三绕组引接两回,另外一回从站外引接;当站内设有一台联络变压器时,宜从联络变压器第三绕组引接一回,另外两回可从站外引接,或从站外引接一回、在站内装设一台专用降压变压器,两个方案须经技术经济比较后确定。

如果换流站与交流变电站分建,宜在站内装设一台或者两台专用降压变压器,另外两回或者一回从站外引接,两个方案须经技术经济比较后确定。

5.2 过电压保护、绝缘配合及防雷接地

5.2.3 两端高压直流输电系统换流站单极交直流侧可能的避雷器类型和布置及各节点编号见图3。图中单极交直流设备均由紧靠的避雷器直接保护,可根据设备的过电压耐受能力及其他避雷器串联对该设备的过电压保护情况,省去某类型避雷器。也可根据被保护设备与避雷器之间距离对限制快波前或陡波前过电压的影响,增加某类型避雷器。

Fac1 和 Fac2 避雷器——用于保护交流滤波器内部元件。

A 避雷器——装于每台换流变网侧、换流站交流母线和交流滤波器母线,用于保护换流站交流侧设备。

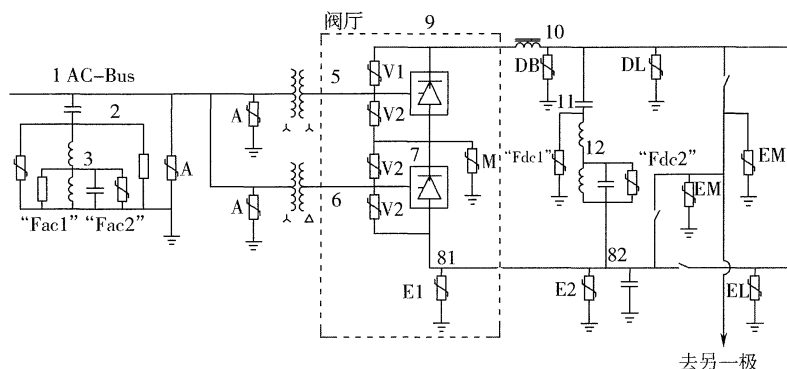


图3 换流站单极交流侧和直流侧典型的避雷器布置

换流变网侧中性点避雷器——当三台单相换流变中性点经一点接地时,考虑雷电侵入波在中性点产生的过电压,可在远离接地点装中性点避雷器。

V1 和 V2 阀避雷器——装于阀两端,直接保护阀组,同时与其他类型避雷器串并联保护换流变压器阀侧绕组;按能量大小可分为 V1、V2 和 V3 型。

M 避雷器——主要用于保护 12 脉动阀组下部的 6 脉动阀组。避雷器组合(V+M)保护 12 脉动阀组上部 6 脉动阀组换流变压器绕组的对地绝缘。避雷器 M 的持续运行电压应在 V 避雷器的基础上加上直流中性母线的电压。

DL 和 DB 避雷器——装于平波电抗器线路侧,用于直流开关场的雷电和操作波保护。根据雷电侵入波的计算选择 DB 避雷器的数量和在直流母线的布置位置。

EM 避雷器——安装在金属回线上,主要用于来自金属回线的雷电侵入波保护。根据雷电侵入波计算结果确定 EM 的数量和安装位置。

EL 避雷器——安装在接地极线回路上,主要用于来自接地极线路的雷电侵入波保护。

E 避雷器——E 避雷器用于保护直流中性线母线和与它连接

的设备。由避雷器组合(V+E)保护 12 脉动阀组下部 6 脉动阀组换流变压器绕组对地绝缘。

Fdc1 和 Fdc2 避雷器——为保护直流滤波器电感线圈的绝缘应装设 FD 避雷器。其暂态应力由高压电容器充电到最高直流电压时发生极母线接地故障的工况决定。避雷器的持续运行电压由各次谐波电压之和决定。

5.2.4 本条对其他过电压保护措施做出要求。

1 晶闸管正向保护触发和阀避雷器构成阀的过电压保护。当阀承受高于阀避雷器保护水平的快波头和陡波头过电压时,阀组内串联的晶闸管因严重的非线性电压分布导致个别晶闸管击穿,通过保护性触发晶闸管免受正向过电压损坏。

阀避雷器保护水平与保护触发水平的配合有两种不同方案。第一种方案,阀避雷器限制阀正向及反向出现的过电压,设置阀保护性触发水平高于避雷器保护水平。第二种方案,避雷器限制阀反向过电压,保护触发水平设置为阀避雷器保护水平的 90%~95%作为主要的正向过电压保护。第二种方案仅用于晶闸管的反向耐受电压高于晶闸管正向耐受电压的情况。这样通常使阀的晶闸管级的个数少于第一种方案,带来成本的减少和换流器效率的提高。

交流系统接地故障清除产生的操作过电压会按换流变变比传递到阀侧。整流站的阀在工频周期内承受正向阻断电压的时间很短,承受正向操作过电压的可能性比逆变站的阀要小得多。即使发生保护性触发,直流系统将很快恢复。

逆变站的阀在工频周期内承受正向阻断电压的时间较长,正向操作过电压引起保护性触发的可能性相对较大。如果某个阀因保护性触发而提前导通,则可能导致逆变站换相失败,且故障清除后的恢复时间将可能延长。

选择保护触发水平的原则是清除交流系统故障不会引起逆变站的阀保护性触发。因此应以故障中阀避雷器上的保护水平为选

择保护触发水平的基础。

2 换流变压器断路器装设合闸电阻或选相合闸装置限制合闸涌流和防止交流系统产生谐波谐振过电压,以及避免合闸时产生的谐波电流注入交流滤波器,导致低压侧内部元件过载。

3 交流滤波器组和电容器组的断路器配合闸电阻或选相合闸装置限制合闸涌流,降低投切操作对系统的扰动。

当换流站双极闭锁甩负荷后产生的工频过电压下,要求交流滤波器大组断路器紧急开断很大的容性电流。断路器装分闸电阻,可提高大组断路器切除容性电流的能力,也可在保护上规定工频过电压下先切小组后切大组滤波器。

5.2.5 换流站控制系统的交流暂时过电压控制的基本原则如下:

(1)控制策略应按照最少投切滤波器原则控制工频过电压持续时间以利于交直流系统的故障恢复,保护换流站设备和故障后能快速恢复传输直流功率;

(2)控制策略应考虑直流系统本身故障或因交流系统故障延迟清除或其他原因导致直流系统延迟恢复的情况下确保工频过电压尽快地降低到限值以下,其持续时间小于指定的时间;

(3)控制策略应避免自励磁过电压;

(4)控制策略一般应先切除电容器组,后切除滤波器组;

(5)控制策略应满足切除滤波器组后的谐波限值要求;

(6)雷电和操作过电压不应影响控制策略。

5.2.6 表 5.2.6 中的裕度系数考虑了绝缘配合系数 K_{cd} 和安全裕度 K_s 及外绝缘的 1000m 气象修正 K_a 。换流阀由于其中的晶闸管单元有监控装置,易于发现和更换故障晶闸管,换流阀中的晶闸管单元不存在老化问题,一般认为在每次检修后,阀的耐受电压都恢复到它的初始值。并且阀单元有阀避雷器直接保护,而阀的成本和阀的损耗近似的正比于阀的绝缘水平,降低阀的绝缘水平也降低了阀和阀厅的高度。因此换流阀的额定操作冲击耐受电压与操作冲击保护水平的比值 $RSIWV/SIPL$ 、额定雷电冲击耐受电

压与雷电冲击保护水平的比值 $RLIWV/LIPL$ 以及额定陡波前冲击耐受电压与陡波前冲击保护水平的比值 $RSFIWV/STIPL$ 最小裕度系数与其他设备相比相对较低。

5.3 污秽水平及直流外绝缘

5.3.2 换流站直流侧污秽水平预测中的测试方法如下：

(1)根据拟建站址周边区域的气象条件、工业污染源分布情况(已建、在建和规划)、输变电设备运行的有关资料,建立污染源扩散模型和绝缘子表面积污模式,通过计算机仿真计算站址地区交流盘式绝缘子积污水平,并使用站址大气质量参数的监测确定站址区的污秽等级。在此基础上,根据附近已有的直流换流站或交流变电站的积污测量数据和同类地区直、交流自然积污比预测换流站直流设备污秽水平的自然盐密值和灰密值。

(2)站址周边区域建设交直流积污站,根据积污站的实测数据确定站址直流设备的污秽水平的自然盐密值和灰密值。

在换流站污秽水平预测方法 1 中,“直交流积污比”是影响进行站址周边污秽水平预测的关键因素。而目前,在各国换流站和自然积污试验站得到的“直交流积污比”数据存在很大争议。如日本根据能登、武山等沿海自然污秽试验站得到的直交流积污试验数据结果,提出了一条“直交流积污比”随盐密增加而逐渐衰减的曲线,在补充了瑞典一组内陆数据后,CIGRE 第 22 03 工作组在“ELECTRA”[5](1992)上公布了这一曲线(见图 4),该曲线存在一定的盲目性,主要体现在如下几个方面:

1)该曲线与国内外众多的现场测量数据相矛盾,如瑞典污秽地区测得交流场自然盐密为 $0.08\text{mg}/\text{cm}^2$ 时的直交流自然盐密比为 3.4;

2)该曲线未考虑实际工程中直、交流绝缘子使用差别;

3)该曲线未考虑实际工程中站址周边污秽物性质的影响;

4)该曲线未考虑实际工程中站址周边的气象条件的影响。

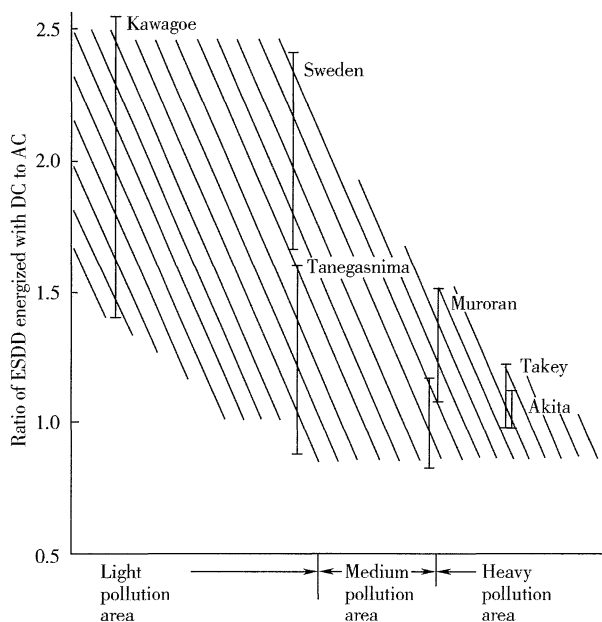


图 4 交直流积污比

而国内近年来,也在不同的地区进行了对“直交流积污比”试验研究,该数据的离散性也较大,因此,具体工程设计中建议对该值慎重选择。

而方法 2 由于受到具体工程情况的影响,有时不具备建设交直流积污站的条件或者试验的周期较短,不能真实反映拟建站址的污秽水平,同时更不能反映工程投产后,随着站址周边污染源、气象条件的变化后的污秽水平,该方法也存在一定的局限性。

对于换流站,建议采用方法 1 和方法 2 相结合进行污秽水平预测,以提高其准确性。

5.3.3 根据拟建站址和附近区域的交流输变电设备的积污状况和同类地区直、交流自然积污比,预测该地区直流换流站直流支柱绝缘子污秽水平的自然盐密值和灰密值;根据直流换流站各类设

备表面盐密与其平均直径相互关系和直流支柱绝缘子的预测值,推算其他各类直流设备套管表面的自然盐密值和灰密值,确定直流设备等价于自然污秽盐密值的人工污秽试验时使用有效盐密,在有效盐密下进行各类直流设备的人工污秽试验时,获取有效盐密和爬电比距的关系后,依据各类设备的有效盐密值确定各类设备的爬电比距;根据站址的灰密和盐密的比值、上表面和下表面盐密(含灰密)的比值,对现有的人工污秽试验数据进行灰密和上下表面积污比的修正;考虑外绝缘设计中存在诸多不确定因素以及不同试验室人工污秽试验结果的分散性,最终确定直流侧设备外绝缘时应考虑预留适当的裕度。当具体工程需要时应进行人工污秽试验,并依据人工污秽试验结果选择换流站直流设备的外绝缘。

国内外大量的试验数据表明,支柱绝缘子和垂直套管的外绝缘设计与其伞形结构密切相关,换流站使用的支柱绝缘子与垂直瓷套管伞型主要有两种。

(1)深棱形(或称防雾型,以下简称A型),标准伞间距为95mm,伞伸出与伞间距之比为1。

(2)大小伞形(以下简称C型),其伞间距在60mm~80mm范围内变化。

国内直流设备的外绝缘设计上采用如下方法:

方法1:

根据国内常规换流站的研究成果,绝缘子表面污秽度随绝缘子平均直径 D 的增加而减少,直流设备的垂直套管自然盐密修正系数 S 可按以下经验公式进行修正:

$$S=5.46D^{-0.32} \quad (1)$$

根据修正公式,可得到直流设备的垂直套管自然盐密值。

为解决自然污秽与人工污秽试验的等效性,需将自然盐密加以修正,获得等效人工污秽试验时的试验盐密(或称有效盐密)。国内大量现场测试结果表明,有效盐密修正系数在0.5~0.9范围内,具体工程根据工程实际情况进行选择。

目前,国内直流支柱绝缘子和大型瓷套管人工污秽试验数据较少,还需进一步开展试验研究工作。而日本该方面的试验数据较多也较为完整,可考虑暂时采用此试验数据。在试验盐密 $0.03\text{mg}/\text{cm}^2$ 和灰密 $0.10\text{mg}/\text{cm}^2$ 条件下,支柱绝缘子或垂直套管的爬电比距 $\lambda(\text{mm}/\text{kV})$ 分别由下式确定:

$$\lambda = AD^N \quad (2)$$

对于 A 型和 C 型支柱和套管,上式中 A 和 N 值选择不同。

不同盐密下换流站直流支柱绝缘子或瓷套管所需的爬电比距 λ 可利用耐受电压与盐密的一 0.33 次方的幂函数关系进行折算。

除此以外,在我国污秽条件下,绝缘子表面的灰密一般都大于 $0.10\text{mg}/\text{cm}^2$,需要进行灰密对修正。

最后,考虑一定裕度后,换流站户外直流设备的爬电比距设计值按下式计算:

$$\lambda_{\text{设计值}} = K\lambda(1 + 1.64\sigma) \quad (3)$$

式中:K——考虑测试条件变化等的安全系数;

λ ——灰密修正后的人工污秽试验结果;

σ ——试验结果的标准偏差,取 $\sigma = 0.045$ 。

方法 2:

采用下式计算平均直径为 250mm 的绝缘子的爬电比距:

$$L = 132 \times SDD^{0.33} \quad (4)$$

式中:L——爬电比距(mm/kV);

SDD——人工污秽等值盐密(mg/cm^2)。

对其他直径的套管/绝缘子爬电比距采用下式换算:

$$\frac{L_{\text{Cr1}}}{L_{\text{Cr2}}} = \left(\frac{D_{\text{m1}}}{D_{\text{m2}}} \right)^{0.3} \quad (5)$$

式中: L_{Cr1} ——平均直径 1 设备的爬电比距(mm/kV);

L_{Cr2} ——平均直径 2 设备的爬电比距(mm/kV);

D_{m1} ——平均直径 1(mm);

D_{m2} ——平均直径 2(mm)。

公式(4)是在 $NSDD$ 为 $0.07\text{mg}/\text{cm}^2 \sim 0.1\text{mg}/\text{cm}^2$ 条件下进行试验得到的结果。如果规定的 $NSDD \geq 5 \times SDD$, 则需按给定的 $NSDD$ 由下式校正设备的爬电比距。

$$\frac{L_1}{L_2} \approx \left(\frac{NSDD_2}{NSDD_1} \right)^{0.15} \tag{6}$$

方法 3:

根据人工污秽试验的 50% 污闪电压试验电压数据结果选择单位长度的污闪电压, 根据高压直流设备的污耐压要求进行外绝缘设计。

方法 2 中未对直流设备的伞形结构提出相关的设计要求, 因此, 对于外绝缘设计存在一定的缺陷; 而方法 3 需要大量的试验, 目前还不具备工程采用条件。

5.4 主要设备和导体选择

5.4.2 本条对换流阀的选择做出规定。

(1) 换流阀的结构设计与冷却方式和绝缘方式有关。从绝缘方式看, 换流阀有空气绝缘、油绝缘和 SF6 绝缘。从冷却方式分, 换流阀有水冷却、风冷却、油冷却、氟利昂冷却等。阀的绝缘方式和冷却方式之间的配合主要有四种形式, 详见表 4。

表 4 阀的绝缘方式和冷却方式之间的配合形成及比较

	空气绝缘风冷却	空气绝缘水冷却	油绝缘油冷却	SF6 绝缘 氟利昂冷却
优点	检修方便, 结构简单, 可靠性高	冷却效果好, 利于降低阀的单位容量占有体积, 损耗小, 检修方便	绝缘特性好, 冷却效果较好, 抗震能力强, 电磁屏蔽好	可大大减小阀的体积, 提供可靠性

续表 4

	空气绝缘风冷却	空气绝缘水冷却	油绝缘油冷却	SF6 绝缘 氟利昂冷却
缺点	风冷系统庞大， 噪声大，冷却效果 不佳	存在设备腐蚀 及泄漏隐患	检修不便，元件 冗余度要求高，杂 散电容大，均压回 路设计困难	检修复杂，存在 冷却介质与绝缘 介质互漏隐患
安装 要求	需设空调阀厅	需设空调阀厅	可户外布置，全 部元件装在油 箱中	可户外布置，装 在铁箱中
工程 实例	早期直流工程 如温哥华岛、伊尔 河、CU 等工程采 用，后逐渐被水冷 晶闸管阀取代	20 世纪 80 年 代后投产的几乎 所有直流输电工 程采用，设计制造 和运行经验已非 常成熟	仅新信浓变频 站、卡布拉巴萨、 因加一沙巴等极 少数工程使用	试验装置投入 运行

可以看出，空气绝缘水冷却阀是近代直流工程换流阀的主流，冷却效果理想，检修维护方便，制造技术成熟，运行经验丰富。

空气绝缘水冷却阀对空气的温度和净化有一定要求，故需采用户内式布置。

世界上已投运的直流输电工程，阀的触发方式主要有光电转换触发和光直接触发两种。

光电转换触发是目前使用最普遍的触发方式，已用于大多数直流工程，光电转换触发把由阀控系统来的触发信号首先传达到阀基电子设备(VBE)，将触发指令扩大为每个阀的晶闸管数并转换为光信号，通过光缆传送到每个晶闸管级，在门极控制单元把光

信号再转换成电信号,经放大后触发晶闸管元件。这种触发方式为了保证使上百个晶闸管同时触发,对元件的要求非常严格,各发光管、光接受器及光缆的特性要一致,分散性应尽量限制到最小范围,光接口装置的光损耗也要尽量小,以降触发功率损耗,安全快速触发晶闸管元件。

光电转换触发利用了光电器件和光纤的优良特性,实现了触发脉冲发生装置和换流阀之间的低电位和高电位的隔离,同时也避免了电磁干扰,减小了各元件触发脉冲的传递时差,使均压阻尼回路简化 and 小型化,使能耗减少、造价降低,是当今直流输电工程的主流。

光直接触发是换流阀的另一种触发方式,其工作原理是在晶闸管元件门极区周围,有一个小光敏区,当一定波长的光被光敏区吸收后,在硅片的耗尽层内吸收光能而产生电子一空穴对,形成注入电流使晶闸管元件触发。这种触发方式对光控晶闸管元件的光源有严格的波长、能量、寿命、效率等要求,以降低触发能量的损耗。与光电触发方式相比,光直接触发省去了控制单元的光电转换、放大环节及电源回路,简化了阀的辅助元件,改善了阀的触发特性,能提高可靠性。

(2)晶闸管阀应能承受额定运行工况、连续过负荷及短时过负荷工况下的直流电流,这是由直流系统正常运行方式所决定的,而且还应具有一定的暂态过电流能力,这是由系统故障条件提出的要求。

(3)晶闸管阀应能承受各种不同的过电压,阀的耐压设计应考虑保护裕度,考虑到电压的不均匀分布、过电压保护水平的分散性,以及其他阀内非线性因素对阀应力的影响,保护裕度必须足够大。

5.4.3 本条是对换流变压器选择的规定。

(1)换流变的额定功率是最高环境温度和额定冷却条件下允许的长期连续负载功率,由温升试验验证。为适应直流输电多种

运行方式的需要,发挥直流输电具有功率调节和紧急支援功能的优势,直流系统应具备一定的过负荷能力,换流变压器应具有与直流系统相协调的过负荷的能力。换流变压器的过负荷能力分为固有过负荷能力和强迫过负荷能力两种。前者是当环境温度低于最高环境温度或当备用冷却器投入运行时变压器能承受的长期过负荷,此时变压器热点温度不超过设计允许值;后者是在前者的基础上强迫做短时过负荷(规定过负荷值、过负荷时间和周期),以牺牲变压器寿命为代价。

换流变压器型式选择应根据直流工程的容量、换流阀组及换流变的生产制造能力以及换流变压器的运输尺寸限制情况等综合考虑。在现有制造水平基础上,用于大容量的直流输电工程的换流变压器的型式有单相三绕组换流变和单相双绕组换流变两种型式。运输条件受限制或单相容量较大时,选用单相双绕组换流变压器。运输条件不受限制或单相容量较小时,选用单相三绕组换流变压器。由于单相三绕组换流变压器较单相双绕组换流变具有接线布置较简单、投资较省等特点,在运输及制造条件许可的前提下,应优先采用;若受制造能力或运输尺寸的限制,则采用单相双绕组变压器。

(2)换流变压器短路阻抗值的选择应基于以下几方面的考虑:

- 1)限制短路电流;
- 2)使谐波分量减至最小;
- 3)优化阀、滤波器和其他相关换流设备的设计。

短路阻抗值的选择还会直接对变压器的重量、尺寸和费用产生影响。短路阻抗值大会带来以下影响:

- 1)较高的额定功率;
- 2)增加换流器运行中的无功损耗;
- 3)减少了换流器带来的谐波分量;
- 4)减小了阀侧短路电流值。

短路阻抗值的选择还与换流变压器绕组的接线、变压器绝缘

水平和调压抽头的排列及结构有关。

换流变压器的短路阻抗 U_k 一般根据换流阀短路电流耐受水平来确定,葛上、天广工程 $U_k = 15\%$,三常、三沪、贵广工程 $U_k = 16\%$,国际上直流工程 Z_k 一般在 $12\% \sim 16\%$ 之间,最大达 19% ,最小为 11% 。

(3)换流变压器分接头范围与交流母线电压变化、直流电流范围、换相阻抗,直流电压范围和运行角范围有关。通常,分接头范围的负抽头上限由最小交流母线电压下的全负荷或者有时是过负荷的运行决定。分接头范围的正抽头上限由最大交流母线电压下最小运行电流方式决定。当要求换流器具备在直流降压情况下的运行能力时,也需要扩大正抽头范围,降压运行需要更多的正抽头级数且是决定因素。

(4)换流变压器可听噪声应按国家标准规定的方法测量,当冷却设备不投入运行时,在距离设备 0.3m 处测量,噪声水平不应大于 80dB(A) 。如果换流变压器的噪声水平不满足要求时,应采用降噪措施,如安装隔声罩(BOX - IN)或隔声屏障。

(5)换流变压器耐受直流偏磁能力。换流变压器中的直流电流将导致变压器交流励磁偏磁,即使交流励磁的零轴产生偏移,从而导致换流变压器的温度升高,噪声增加和振动加剧等问题,在换流变压器运行中必须引起注意。

导致换流变压器直流偏磁电流的原因主要有四个:

- 1)触发角不平衡;
- 2)在换流器交流母线上的正序二次谐波电压;
- 3)由交流输电线在直流输电线中感应的基频交流电压;
- 4)在单极大地回线运行期间,由于电流注入接地极,引起换流站地电位相对远方地电位升高。

为了确定直流偏磁对换流变压器的影响,首先需要计算直流偏磁电流,然后将计算得到的直流偏磁电流叠加到交流励磁电流上,计算总励磁电流的有效值。该有效值将用于验证换流

变压器铁芯材料和磁通密度的设计。当流过换流变压器中性点的直流偏磁电流超过变压器的耐受能力时,应采取合适的限流或隔直装置。

5.4.4 本条是对平波电抗器选择的要求。

1 平波电抗器具有两种型式:空芯干式和油浸式。这两种型式的平波电抗器在高压直流工程中均有成功的运行经验。

与油浸式平波电抗器比较,空芯干式平波电抗器具有下列优势:

- 1)对地绝缘简单;
- 2)无油,消除了火灾危险和环境影响;
- 3)潮流反转时无临界介质场强;
- 4)负载电流与磁链呈线性关系;
- 5)暂态过电压较低;
- 6)可听噪声低;
- 7)重量轻,易于运输;
- 8)没有辅助运行系统,基本上是免维护的,运行、维护费用低。

油浸式平波电抗器具有与空芯干式平波电抗器几乎相反的特点,其主要优势为:

- 1)油浸式平波电抗器由于有铁芯,要增加单台电感量很容易;
- 2)油浸式平波电抗器的油纸绝缘系统很成熟,运行也很可靠;
- 3)油浸式平波电抗器安装在地面,因此重心低,抗震性能好;
- 4)油浸式平波电抗器采用干式套管穿入阀厅,取代了水平穿墙套管,解决了水平穿墙套管的不均匀湿闪问题。油浸式平波电抗器的垂直套管也采用干式套管,使其发生污闪的概率降低。国外直流工程中也有采用干油混合式的平波电抗器,该方案结合了两种型式平波电抗器的优点,但运行维护不方便,备品多,价格贵,一般不推荐这种方案。

2 平波电抗器的工作电流取值包括额定电流、连续过负荷电流、短时过负荷电流和暂态过负荷电流,此外,在设备规范书中还应给出平波电抗器的谐波等效电流。平波电抗器的温升试验的电

流应按最大连续过负荷电流加上谐波等效电流考虑。由于油浸式平波电抗器通常采用风冷,因此其过负荷电流取值还应考虑备用冷却是否投入的影响。

3 平波电抗器电感值由下列公式计算:

(1) 防止直流低负荷时电流间断,其计算公式为:

$$L_d = \frac{V_{d0} \times 0.023 \sin \alpha}{\omega I_{dlj}} \quad (7)$$

式中: V_{d0} ——换流器的理想空载电压;

I_{dlj} ——容许的最小直流电流限值。

(2) 限制故障电流的上升率,其简化计算公式为:

$$L_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \Delta t = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \frac{\beta - 1 - \delta_{\min}}{360 \times f} \quad (8)$$

式中: V_d ——直流电压下降量,一般选取一个单桥的额定直流电压;

I_d ——不发生换相失败所容许的电流增量;

t ——换相持续时间;

β ——逆变阀的额定越前触发角;

δ_{\min} ——不发生换相失败的最小熄弧角;

f ——交流系统的额定频率。

平波电抗器电感量的取值应避免与直流滤波器、直流线路、中性点电容器、换流变压器等设备在 50Hz、100Hz 低频发生谐振。

平波电抗器电感值会随着流过的直流电流值变化,为满足直流系统性能要求,平波电抗器电感值在最大直流电流到最小直流电流之间,应基本维持不变。

5 平波电抗器可听噪声应按国家标准规定的方法测量,油浸式平波电抗器可听噪声应小于 80dB(A),空芯干式平波电抗器应为 60dB(A)~70dB(A)。如果平波电抗器的噪声水平不满足要求时,应采用降噪措施,如安装隔声罩。

5.4.5 减少交流滤波器类型有利于降低交流滤波器投资,同时减少备品备件。目前国内工程中已采用的几种交流滤波器的型式如图 5。

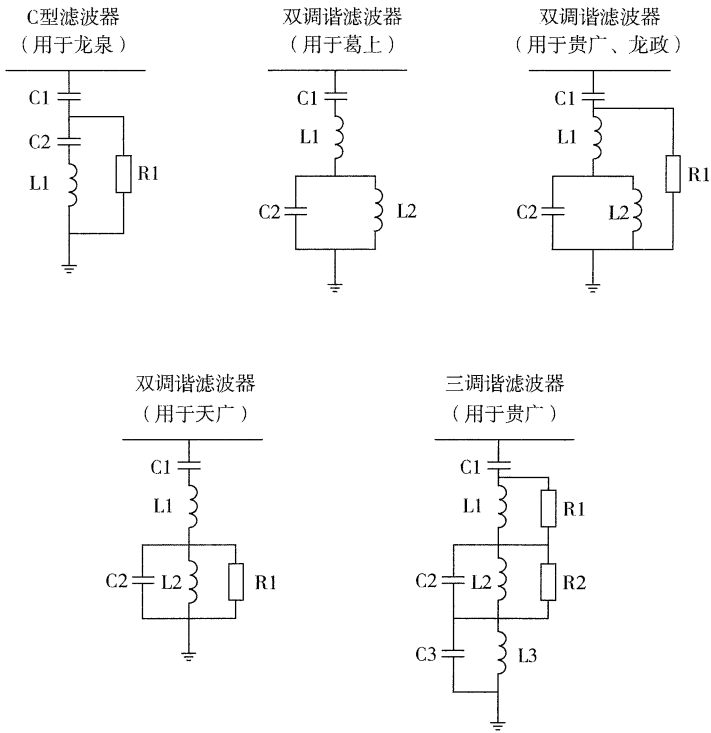


图 5 交流滤波器的几种主要类型

5.4.10 当直流滤波器发生故障退出运行或直流滤波器检修完成投入运行时,为不影响直流功率输送,需要进行带电投切。由于流过直流滤波器的电流是谐波电流,幅值较小,并且需要进行带电投切的次数较少,为提高工程的经济性,通常采用高压直流隔离开关进行直流滤波器的带电投切操作。直流隔离开关没有灭弧装置,需明确带电切除的电流限制值,当工作电流超过电流限制值时不

允许带电切除直流滤波器,否则可能烧坏直流隔离开关的触头。直流滤波器一般采用多调谐方案,高压电容器的电容量较大,带电投入操作可能对设备带来损害,因此部分工程对直流滤波器带电投入功能不作强制规定。

5.4.11 阻容分压器的电阻应具有足够的热稳定性,以保证在规定的环境温度范围内,该装置的测量精度变化不应超过 0.5%;当被测电压在零至最大稳态高压直流电压之间变化时,测量精度应小于额定直流电压的 0.2%;该测量装置的量程应满足测量直流电压 1.5 标么值的要求,测量精度应小于额定高压直流电压的 0.5%。

用于控制的高压直流电流测量系统,当被测电流在最小保证值和 2h 过负荷运行电流之间时,测量误差应不大于额定电流的 $\pm 0.5\%$;用于保护的高压直流电流测量系统,当被测电流低于 2h 过负荷电流时,测量误差应不大于该测量装置额定电流的 $\pm 2\%$;当被测电流达到额定电流的 300% 时,测量误差不能超过测量装置额定电流的 $\pm 10\%$ 。

5.5 电气设备布置

5.5.2 本条是交流滤波器及无功补偿设备布置的要求。

1 由于交流滤波器和无功补偿设备中的电容器和电抗器对换流站场界的噪声水平影响较大,所以在布置设计时应同时考虑上述设备的噪声影响。

2 交流滤波器和并联电容器组的具体布置方式应结合分组数量、滤波器组型式、布置场地等因素综合考虑,并经技术经济比较后确定。通常可采用以下两种布置方式:

“一字型”布置方式:大组内交流滤波器和并联电容器小组单列式布置在交流滤波器组母线的一侧,布置示意图见图 6。

“田字型”布置方式:大组内交流滤波器和并联电容器小组布置在交流滤波器组母线的两侧,布置示意图见图 7。

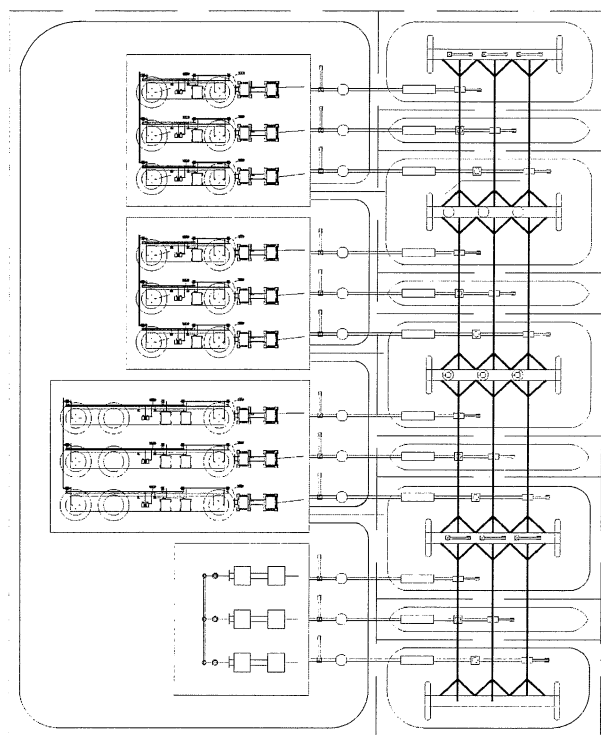


图 6 交流滤波器组“一字型”布置方案

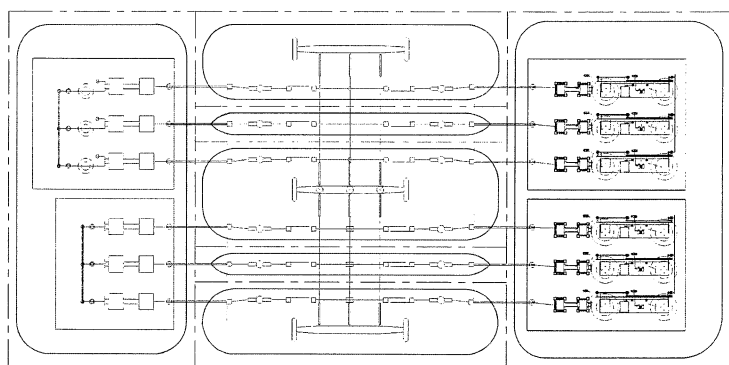


图 7 交流滤波器组“田字型”布置方案

5.5.3 本条是对直流开关场布置的要求。

(1)由于目前直流场的空气间隙形状和过电压值各不相同,目前普遍采用的方式是根据系统成套计算出的设备绝缘水平进行理论计算,有关的计算裕度和取值也没有明确的规定,设计普遍采用经验值和部分真型试验结果进行间隙值的选取。在工程实施的初期如果有条件应进行部分间隙的真型试验,以便积累数据为工程所用。

(2)直流开关场的布置宜采用两极对称式布置,布置上应尽量保持两极的相对独立性,以保证在一极检修或故障停运的情况下不影响另一极的运行。一般两极的高压直流母线和直流滤波器分别布置在直流开关场两侧,中性母线及转换设备布置于直流开关场中间。高压直流母线与中性母线在布置上尽量减少空间交叉。

(3)国内外的自然积污试验及实际运行经验的结果均证明:直流电压下的绝缘子积污要明显高于交流电压下的积污,防污型直流电气设备制造难度大且价格高,在大气严重污秽地区当采用户外直流开关场设备难以选择时可考虑采用屋内型直流开关场。目前,国内外的直流工程中采用户内开关场布置的工程较少,运行经验也不多,国内仅宁东、政平、木家、格尔木换流站极母线设备采用户内布置。

5.5.4 本条是对阀厅布置的要求。

(1)两端直流输电换流站阀厅按极设置,目前国内单回两端直流输电换流站阀厅布置均采用“一字型”(全站阀厅呈一字型排开)布置;对于双回两端直流输电工程,全站有四个阀厅,可供选择的阀厅布置有“一字型”和“面对面”(阀厅面对面布置,换流变布置在2个阀厅之间),溪洛渡电站送电广东同塔双回直流输电工程阀厅采用“面对面”布置。背靠背换流站阀厅按换流单元设置,整流侧和逆变侧两组换流阀单元布置在同一阀厅内。

(2)空气绝缘的晶闸管换流阀布置在阀厅内,阀厅应密封防尘,有必要的金属屏蔽措施,空气保持一定的温度和湿度,使换流

阀有一个良好的运行环境。阀厅采用微正压防止灰尘进入,保持阀厅内空气洁净。

(3)单相三绕组或双绕组换流变压器配四重阀还是二重阀,主要取决于换流变压器阀侧和换流阀之间接线和布置的难易程度。当采用单相三绕相换流变压器时,三台单相三绕组换流变压器对应三个四重阀塔,接线方便且节约占地,故宜采用四重阀布置。在我国目前投运的直流输电工程中,葛洲坝-上海直流输电工程、天生桥-广州直流输电工程、高岭背靠背换流站和灵宝背靠背换流站采用的是单相三绕组换流变压器配四重阀,±500kV 三常、三广、三沪Ⅰ回、三沪Ⅱ回、呼辽等直流输电工程采用的是单相双绕组换流变压器配二重阀,贵广Ⅰ回、贵广Ⅱ回、德宝、溪洛渡电站送电广东同塔双回等直流输电工程采用的是单相双绕组换流变压器配四重阀。

(4)阀厅内不仅有换流阀还有其他电气设备和阀冷却系统管道等。运行单位对巡视检修换流阀及其相关设备的工具设施的要求越来越高,因此阀厅内的通道以及门窗的应充分考虑检修工具的出入和巡视的方便。

5.5.5 本条是对换流变压器及平波电抗器布置的要求。

(1)换流变压器及平波电抗器是换流站的核心电气元件,是连接交直流系统的重要设备。换流变压器及平波电抗器的布置直接影响到交流开关场和阀厅的布置,因此换流变压器及平波电抗器的布置应根据总体布置要求,力求达到进出线方便、接线简单和布置清晰。

(2)换流变压器插入阀厅布置和换流变压器与阀厅脱开的布置各有优缺点。换流变压器插入阀厅布置优点是:可利用阀厅内良好的运行环境减小换流变压器套管的爬距,防止换流变压器套管不均匀湿闪,节省单独的穿墙套管;缺点是:增加了换流变压器制造难度,增大了阀厅面积,换流变压器的运行维护条件较差,备用换流变压器的更换较难。换流变压器与阀厅脱开的布置的优缺

点正好与之相反。两种布置方式应结合具体工程的地理情况及环境条件,通过技术经济比较确定。由于国内目前污秽水平普遍较高,新建工程均采用了换流变压器插入阀厅布置。

(3)为提高直流输电系统的可靠性和可用率,换流站的换流变压器和平波电抗器通常都设备用。每种规格的换流变压器和平波电抗器每站各备 1 台。因此换流变压器及平波电抗器的布置应考虑能方便地搬运和更换。换流站宜设有轨道系统以便于搬运和更换换流变压器和油浸式平波电抗器。备用换流变压器和油浸式平波电抗器应布置在适当的位置,以减少轨道系统的长度。更换换流变压器和平波电抗器时应尽量避免拆除已安装好的电气设备。更换任一极阀组(或换流单元)的换流变压器时应不影响另一极阀组(或换流单元)的正常运行。

6 控制和保护

6.1 一般规定

6.1.2 两端长距离高压直流输电系统一般均有功率反送的需求，其换流站既可作为整流站运行，也可作为逆变站运行，因此，要求每个换流站的直流控制和保护既能适用整流运行，也能适用逆变运行。

6.1.3 目前国内已投运的高压直流输电工程中，SIEMENS 技术路线的 SIMADYN D、SIMATIC TDC 直流控制保护系统中，直流保护和直流控制系统均独立配置，不仅采用不同的主机，还分别组屏；ABB 技术路线的 MACH2、DCC800 直流控制保护系统中，除早期的三常、三广直流输电工程的直流控制保护系统采用一体化设计，并共用主机外，三沪 I 回直流输电工程等的直流控制保护系统虽然采用一体化设计，但控制和保护均是采用不同的主机，且工程中有仍共同组屏也有分别组屏的。

根据国内的运行习惯和要求，直流保护已逐渐从直流控制保护共用主机中分离出来，单独配置保护主机和控制主机，并分别单独组屏。直流保护装置与直流控制系统独立配置，可极大方便运行和检修。

6.2 监控系统

6.2.3 目前国内已运行的换流站工程中，采用 ABB 技术路线的监控系统由站控层、间隔层组成，采用 SIEMENS 技术路线的监控系统由站控层、控制层和就地层三部分组成。两种技术路线监控系统的站控层设备组成基本相同；SIEMENS 技术路线的控制层设备包括直流极控、交流站控、直流站控系统，就地层设备指的是

就地继电器室内的交/直流测控设备,而 ABB 技术路线的间隔层设备包括直流极控、交流站控主机和相应的 I/O 板卡,但控制主机之间的数据传输仍是采用单独的站 CAN 网,实际也是包含了控制主机层和就地 I/O 层。因此本条监控系统仍然建议由站控层、控制层和就地层三部分组成。

6.2.4 目前国内已运行的换流站工程中,虽然 ABB 技术路线和 SIEMENS 技术路线的监控系统均采用的是国际标准的通信体系和分层分布式结构,但由于其系统设计上的差异,选取的硬件平台和通信协议也各不相同,这直接导致了监控系统的开放性和兼容性的降低。随着现行行业标准《变电站通信网络和系统》DL/T 860 系列标准的逐步推广,国内的直流控制保护成套供货商在换流站监控系统中逐步采用了现行行业标准《变电站通信网络和系统》DL/T 860 系列标准的通信规约,如南瑞继保自主研发的 PCS9550 系统,其监控系统的通信就采用了 DL/T 860 系列标准的通信规约,且在溪洛渡、天广直流控制保护改造等工程中运行情况良好。

6.3 直流控制系统

6.3.1 高压直流换流站的可靠运行对整个电力系统将产生重大影响,因此,在直流控制系统的设计中均强调了双重化配置的原则,双重化的范围包括:信号输入/输出回路,电源回路、通信回路、所有的控制装置等,且双重化系统互为热备用,备用系统的数据随工作系统的数据自动更新,另外,工作系统和备用系统间的切换应既可以手动,也可以自动进行,其切换不应影响高压直流系统的正常运行。一个系统出现故障,不影响其他系统的运行。

6.3.4 对于 SIEMENS 技术路线和 ABB 技术路线的换流站,其直流控制功能的分层相同,但由于设计理念的差异,SIEMENS 技术路线中设置有独立的直流站控装置,双极控制层功能由直流站控装置实现,ABB 技术路线中没有设置独立的直流站控装置,双

极控制层功能由极控装置实现。

6.4 直流系统保护

6.4.2 本条规定了直流保护应按极、按换流单元独立配置的要求,但未明确直流保护冗余度的配置要求,主要是考虑到直流保护的冗余度基于不同技术路线可双重化配置或三重化配置,两种配置方式均有成熟的工程实践应用。

6.4.3 目前国内已投运的高压直流输电工程,SIEMENS 技术路线的直流控制保护系统中,贵广 I 回、II 回、三沪 II 回直流输电工程的直流滤波器保护均为双重化独立配置;ABB 技术路线的直流控制保护系统中,三常、三广、三沪 I 回直流输电工程的直流滤波器保护均是集成在极保护内,不单独配置;南瑞继保公司提供的 PCS 9500 系列直流控制保护系统中,呼辽、德宝直流输电工程的直流滤波器保护均为双重化独立配置,PCS9550 系列直流控制保护系统中,溪洛渡、天广高压直流输电工程的直流滤波器保护也均为双重化独立配置。

上述工程中,直流滤波器保护有集成在直流保护内也有独立配置的,集成式和独立配置的直流滤波器保护功能一致,仅在硬件构成和动作出口方式上略有不同。集成式直流滤波器保护均集成于直流保护内,其功能由直流保护主机实现,即与直流保护共用主机,其动作出口也与直流保护共用。独立配置的直流滤波器保护,其硬件和动作出口均独立。

考虑到直流滤波器组布置在直流场,其故障闭锁直流系统,因此推荐直流滤波器保护集成在直流保护中。直流滤波器保护是否独立配置,可综合考虑管理要求和运行习惯确定。

6.4.4 目前国内已投运的高压直流输电工程中,SIEMENS 技术路线的直流控制保护系统中,换流变压器电量保护均为双重化独立配置;ABB 技术路线的直流控制保护系统中,除早期的三常、三广直流输电工程的换流变压器电量保护功能集成在直流保护中

外,三沪Ⅰ回等直流输电工程的换流变压器电量保护均是双重或三重化独立配置的。

上述工程中,换流变电量保护有集成在直流保护内也有独立配置的,集成式和独立配置的换流变压器电量保护功能一致,仅在硬件构成和动作出口方式上略有不同。集成式换流变压器电量保护均集成于直流保护内,其功能由直流保护主机实现,即与直流保护共用主机,其动作出口也与直流保护共用。独立配置的换流变压器电量保护,其硬件和动作出口均独立。

考虑到换流变压器保护功能复杂,测点较多,逻辑运算量较大,因此推荐换流变压器电量保护独立配置。换流变压器电量保护是否独立配置,可综合考虑管理要求和运行习惯确定。

对于换流变压器的非电量保护,其功能实现方式和设备配置方案包括:(1)配置单套非电量保护装置实现,本体非电量跳闸接点配设1副,目前南网的工程基本采用这种方案;(2)配置双套非电量保护装置实现,可采用独立的保护装置或采用极控主机+I/O单元的方式实现,同时为提高非电量保护动作可靠性,本体非电量跳闸接点需配设3副,由双重化非电量保护装置或极控主机实现“三取二”逻辑出口,目前国网的工程基本采用这种方案。

6.4.5 目前国内已投运的高压直流输电工程中,南方电网公司现已投运的天广、贵广Ⅰ回、贵广Ⅱ回直流输电工程的交流滤波器保护为按交流滤波器大组和其中的每个小组分别独立配置;国家电网公司现已投运的三常、三广、三沪Ⅰ回直流输电工程的交流滤波器保护为按每个交流滤波器大组分组配置,交流滤波器保护的经营范围包括滤波器大组母线和其中的每个滤波器小组,呼辽、德宝、三沪Ⅱ回直流输电工程为按交流滤波器大组和其中的每个小组分别独立配置。

上述工程中,交流滤波器保护有按大组配置的,也有按小组和母线分别配置的,两种方式下的交流滤波器保护功能一致,仅在硬件构成和动作出口方式上略有不同。按大组配置的交流滤波器保

护,大组滤波器的所有功能由 1 台保护主机实现,保护动作后需要考虑跳交流断路器和停直流的出口。按小组和母线分别配置的交流滤波器保护,其硬件由独立的各小组保护和大组母线保护构成,小组保护动作后除了需要考虑跳本小组断路器外,还需要考虑至大组母线保护的失灵联跳回路,大组母线保护动作后需要考虑跳交流断路器和停直流的出口。

考虑到交流滤波器保护按大组配置可以简化二次回路接线,且保护分区也比较独立,因此推荐交流滤波器保护按大组配置。交流滤波器保护采用哪种配置方式,可综合考虑管理要求和运行习惯确定。

6.6 辅助二次系统

6.6.1 由于阀冷却系统是高压直流换流站的重要辅助系统,其运行状态的好与坏将直接影响到直流输电系统的运行状态,因此,阀冷却系统应按双重化原则配置。冗余的阀冷却控制保护系统采用互为热备用方式,且其在硬件上是彼此独立的。冗余的阀冷却控制保护系统应具有对其硬件、软件以及通信通道进行自检的功能,并在有效系统发生故障时发出告警信号至站 SCADA 系统,同时自动切换到备用系统,其切换过程不应引起高压直流输电系统输送功率的降低,如果备用系统不能投运,应发出跳闸命令至直流控制保护系统以停运直流系统。当冗余的阀冷却控制保护系统有一个系统处于检修状态时,该系统不对运行系统产生任何影响。

根据两端高压直流输电系统换流站的运行方式,换流阀按极配置,且每极均能独立投退,因此应按极设置阀冷却控制保护系统。

对于背靠背换流站,换流阀包括整流侧和逆变侧阀组,每个阀组均相对独立,可采用不同型式和不同厂家的产品。当一个换流单元整流侧和逆变侧阀组采用不同厂家的换流阀时,整流侧和逆变侧的阀冷却控制保护系统需要各自独立配置;当一个换流单元

整流侧和逆变侧阀组采用同一厂家的换流阀时,整流侧和逆变侧的阀冷却控制保护系统可共同设置一套。考虑到实际工程中换流阀采购流程的不确定因素,本规范推荐背靠背换流站阀冷却控制保护系统按阀组配置,具体配置方案,可综合考虑换流阀供货情况、管理要求和运行习惯确定。

6.6.2 两端高压直流输电系统换流站的直流控制保护系统按极独立配置,背靠背换流站的直流控制保护系统按换流单元独立配置。鉴于上述配置特点,换流站的站用直流电源系统也采用了按区域分散设置的方式。现有高压直流工程中,换流站的站用直流电源系统通常按极(或换流单元)、站公用和交流场区域来分散设置。

6.6.3 在已建成或在建的高压直流换流站实际工程中,需要交流不间断电源供电的负荷主要有以下几部分:

(1)运行人员操作设备如交直流操作员工作站等各种工作站、站 LAN 网服务器、站 LAN 网组网设备、远动设备、数据网接口设备及二次安全防护设备。

(2)控制保护组网设备、电能计费设备及在线监测系统设备。

控制楼其中第(1)项负荷都集中在控制楼内,第(2)项负荷分布在各个继电器小室及辅控楼(如果有)内。换流站的交流不间断电源负荷主要为第(1)项设备,第(2)项负荷较少,因此推荐采用全站集中设置方式。在第(2)项负荷较多的情况下,也可采用按区域分散设置方式。

换流站内计算机监控系统主机、控制保护设备及网络设备一般均为双重化配置,且供电可靠性要求高,因此交流不间断电源系统主机也应采用双重化配置。

6.6.4 为保证系统运行的可靠性,时间同步系统的时钟源采用完全的双重化配置,应能同时接收北斗卫星导航系统和 GPS 全球卫星定位系统的对时源,并具有主/备时钟源自动切换的功能。

6.6.5 目前国内已投运的高压直流输电工程,SIEMENS 技术路

线的直流控制保护系统中,贵广Ⅰ回、Ⅱ回、三沪二回等直流输电工程的谐波监视系统均是独立配置的;ABB技术路线的直流控制保护系统中,三常、三广直流输电工程是将谐波监视系统功能集成在换流站监控系统中实现,三沪Ⅰ回、呼辽等直流输电工程谐波监视功能是与直流线路故障定位、接地极阻抗监视共用1台主机实现。上述配置方式在工程中均有成熟的运行经验。

6.6.6 换流站接地极监视系统包括接地极线路和本体监视两部分。其中接地极线路监视系统是常规配置,接地极本体监视系统则是近几年来,随着接地极运行可靠性对直流输电工程的影响越来越大而提出的新要求。

对于接地极线路监视系统,目前国内已投运的高压直流输电工程,SIEMENS技术路线的直流控制保护系统中,贵广Ⅰ回、Ⅱ回、三沪二回等直流输电工程的接地极线路监视系统均是独立配置的;ABB技术路线的直流控制保护系统中,三沪Ⅰ回、呼辽等直流输电工程接地极线路监视功能是与直流线路故障定位、谐波监视共用1台主机实现,该主机与站LAN相连,将所有信息送至站内监控系统。上述配置方式在工程中均有成熟的运行经验。

对于接地极本体监视系统,目前尚没有投运的工程,但国网和南网两大电网公司均有工程在实施中。该系统对接地极运行安时数、入地电流、土壤温度等接地极本体主要运行参数进行监视,并通过远程通信的方式与换流站内的监控系统或独立的工作站通信,实现在换流站内对接地极状态的监视。

6.6.8 随着通信技术的发展以及各种设备在线监测技术的成熟,对高压直流换流站内的各种设备在线监测系统整合,建立一个统一的数据分析平台,实现全站在线监测信息的统一监视、分析和维护是必然的发展趋势。这样一方面减少了在线监测后台的数量,提高了设备利用率,减轻运行人员巡视工作量,节约了设备成本与人力成本;另一方面可为设备状态评估提供全方面的状态监测数据,及时发现设备缺陷和异常征兆,确保设备安全运行,从而

提高供电可靠性。

换流变压器和油浸式平波电抗器,500kV 及以上电压等级的变压器、并联电抗器宜监测油中溶解气体、油中含水量。变压器(包括换流变压器)可根据需要选择监测铁芯接地电流。换流变压器阀侧套管宜监测 SF₆ 气体密度。

6.7 二次设备布置

6.7.1 根据高压直流换流站的建设规模和布置特点,对于单回直流换流站,仅需设置 1 个控制楼,位于极 1、极 2 阀厅之间,对于双回直流换流站,宜为第二回直流设置辅控楼。对于背靠背换流站,当有 1 个或 2 个换流单元时,仅需设置 1 个控制楼,当有 3 个及以上换流单元时,宜增设辅控楼。

7 调度自动化及通信

7.1 调度自动化

7.1.2 直流远动系统的通道配置依赖于直流控制保护系统的分层和冗余结构设计。站间通信通道包括极控、极保护和站间SCADA,还包括直流线路故障定位装置。ABB技术路线的直流控制保护系统中极控与极保护一般为共用站间通道,SIEMENS技术路线的直流控制保护系统中极控、极保护均配置独立的站间通道。当直流控制系统配置有直流站控,且直流站控中含有极/双极层功能时,还可为直流站控配置独立的站间通信通道。

8 土 建

8.1 站区总平面及竖向布置

8.1.2 阀厅、主控制楼区域为换流站的核心功能区,站区的主要生产设备换流变压器、换流阀和阀厅、控制楼均位于此区域,且换流变压器为超重型设备、阀厅和控制楼为体量较大的建筑,对地基承载力的要求较高,为降低地基处理费用,在站址选择时考虑此因素的前提下,进行站区布置时,换流区的布置应选择地质条件较好的地段布置,以达到降低全站综合造价的目的。

8.1.4 根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016—2014 第 3.4.1 条关于“厂房的防火间距”的强制性规定和换流站内建筑的房屋类别和防火等级,将其列为本规范的条文。

本条主要依据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229 的相关规定制定,但考虑到换流站的特殊性,本条对站内丙、丁、戊类生产建筑距离站区围墙的距离要求进行了调整。现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 第 3.4.12 条规定“厂区围墙与厂内建筑物之间的距离不宜小于 5m”是出于考虑存在相邻企业或建筑的情况下,为满足企业间建筑防火间距的要求而确定的;现行国家标准《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229 对站内建筑与围墙的间距未做规定。

根据换流站的特性,一般建设在远离市区、居民稀少的地带,且根据环境保护的要求,站区周边 100m~200m 范围内基本为环境保护的拆迁范围,所以,换流站基本远离相邻企业或其他民用建筑,因此,对换流站而言,规定站内建筑与围墙的间距已无实际意义,其距离可以不限。

8.1.6 换流站进站道路的路径应根据站址周围社会公路网位置,结合站区近期和远期规划及站区总平面和竖向布置要求综合确定;路面宽度和平曲线半径应满足超限运输车辆通行的要求,由于换流站的换流变压器最终段的运输基本为公路,且运输重量较重,基本采用桥式运输车组、轴线车等大型设备运输车辆运输,进站道路与社会公路连接处应满足桥式运输车组转弯半径、桥式梁的扫空半径或轴线车的转弯半径要求,路线的平曲线半径也应满足桥式运输车组、轴线车的曲线半径要求;换流变采用桥式车组运输时,桥式梁长度为 36m~39m,当道路转弯半径为 30m、转向角 90°时,桥式梁偏出道路内边线的距离约 6.1m,因此,道路平曲线内侧应考虑扫空净空面的宽度,宽度的取值应根据道路宽度、转向角、桥式梁长度、轴线车轴数等因素计算确定。

8.1.7 换流变压器和平波电抗器的运输轨道由于其荷载较大,基础的工程量很大,平面位置占用较大,但其使用率却很低,因此在布置上应尽量短捷,以节省投资及用地。

对于采用±660kV 及以下直流电压等级的为流换流站工程,换流变压器(单相双绕组)和油浸式平波电抗器运输和搬运通道的宽度宜按表 5 设置。

表 5 轨道中心线两侧宽度

<div>指标</div> <div>项目</div>	轨道中心线两侧宽度 (m)	
	中心线至就位侧	中心线至配电装置侧
换流变压器	12	13
油浸式平波电抗器	16	17

注:采用干式平波电抗器时,不存在搬运轨道通道宽度限制要求,但应考虑超长大件车辆运输通行宽度和转弯半径的要求。

8.1.8 换流变广场排水坡度采用 0.3%，主要根据换流变搬运轨道的纵坡要求结合广场排水的需要确定的。换流变为超重设备，搬运较为困难，在轨道上主要采用牵引方式，轨道纵坡采用零坡最有利于换流变的搬运。因换流变广场为面积较大的硬化地面，降雨时场地内不存在雨水被渗透的情况，在地面没有坡度的情况下，容易造成换流变广场渍水。对比铁路部门对站场轨道布置纵坡的限制要求，以及场地排水的最小坡度要求，综合考虑，在换流变广场的长轨道方向采用零坡布置，垂直长轨道方向采用 0.3% 的场地坡度。

8.1.9 对于换流站工程，由于噪声源主要为换流变压器、换流变压器冷却风扇、平波电抗器、降压变压器、交流滤波器场中的电容器和电抗器、阀冷空调设备等。因声能量一般随着与声源距离的增加而衰减，所以，最有效和经济的方法，是将站区选择在远离环境敏感点的地点；在与环境敏感点的距离不能满足的条件下，就应在站区采取降噪措施。一般对换流变压器可采用 BOX-IN 或隔声屏方式处理。交流滤波器一般靠近围墙布置，交流滤波器场产生的噪声容易在围墙外的一定范围内传播引起噪声超标，在交流滤波器场的附近围墙地段增加围墙的高度，可起到降低围墙外噪声的作用，此地段的围墙高度应根据噪声计算结果确定，围墙结构、基础形式进行相应的处理。

8.2 建 筑

8.2.1 从目前已建成投运的两端直流换流站和背靠背换流站来看，阀厅、控制楼、站用电室、继电器小室等主要生产建筑物，以及综合水泵房、取水泵房（或深井泵房）、雨淋阀间（或泡沫消防间）、综合楼、检修备品库、专用品库、车库、警传室等辅助、附属生产建筑物是各站都有的常规配置。

当站址所在地区的污秽水平较高时，为了避免直流场电气设备受到污秽环境的影响，工艺专业可能会考虑将直流场主要电气

设备布置于户内,从而设置户内直流场;当土地资源比较紧张时,为了有效压缩交流配电装置区电气设备布置的用地面积,工艺专业在做换流站总平面布置方案时,可能会考虑采用气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)替代常规敞开式电气开关设备(AIS),当气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)采用户内布置时,则设置屋内配电装置室(楼)。

8.2.3 现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345—2012 对于建筑物屋面防水等级和设防要求,在原规范(2004 版)的基础上作了较大修订:原规范将建筑屋面防水等级划分为四级,其中Ⅰ级(特别重要或对防水有特殊要求的建筑)和Ⅳ级(非永久性建筑)在现行规范中予以删除,现行规范将建筑屋面防水等级分为两个等级:Ⅰ级(重要建筑和高层建筑)和Ⅱ级(一般建筑),设防要求分别按两道防水设防(合理使用年限为 20 年)和一道防水设防(合理使用年限为 10 年)。

按照现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345—2012 对建筑屋面防水等级的划分规定,本规范根据换流站建筑物的类别、重要程度和使用功能要求,将换流站建筑物屋面防水等级划分为两个等级,其中:阀厅、控制楼、户内直流场、屋内配电装置室(楼)、站用电室、继电器小室属于主要生产建筑,综合楼属于重要附属生产建筑物,这些建筑物的屋面若出现漏水现象对生产的影响很大,严重时会导致停产事故,其屋面防水等级应按Ⅰ级考虑;综合水泵房、取水泵房(或深井泵房)、雨淋阀间(或泡沫消防间)、检修备品库、专用品库、车库、警传室等其他辅助、附属生产建筑物的屋面若出现漏水现象,不会直接导致停产事故,对生产的负面影响相对较小,其屋面防水等级宜按Ⅱ级考虑。

8.2.4 本条文明确了阀厅、控制楼、户内直流场采取联合布置的原则。

(1)两端直流换流站。从已建成投运的两端直流换流站来看,阀厅与控制楼均为联合布置,具体布置参见图 8。

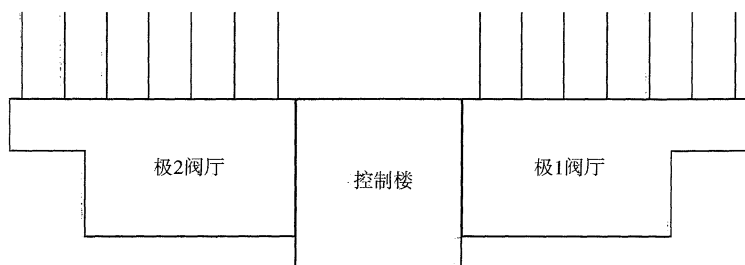


图 8 两端直流换流站阀厅、控制楼联合布置示意图

当直流场电气设备采用户内布置时,户内直流场与阀厅宜采用联合布置,具体布置参见图 9。

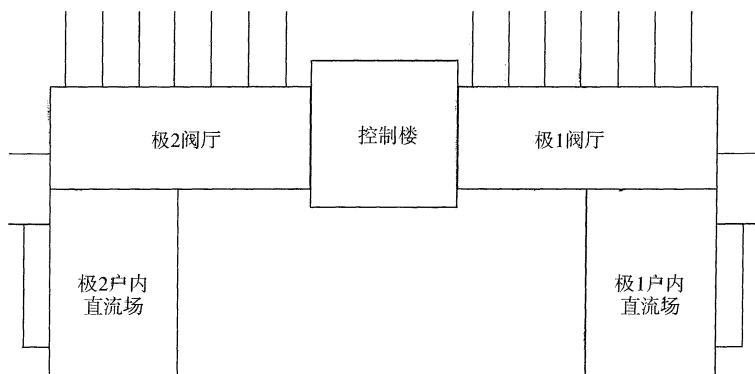


图 9 两端直流换流站阀厅、控制楼、户内直流场联合布置示意图

(2)背靠背换流站。从已建成投运的背靠背换流站来看,阀厅与控制楼均为联合布置,具体布置参见图 10 和图 11。

8.2.6 为了避免阀厅内电气设备(包括换流阀组、接地刀闸、直流电流互感器、直流电压分压器、交直流避雷器等)与周围邻近电气设备(包括换流变压器、平波电抗器、交流场电气设备、直流场电气设备等)之间形成电磁波干扰影响,工艺上要求阀厅墙面(包括设备、管道开孔等)、屋面、地面(包括电缆沟、风道等)、门窗等部位均

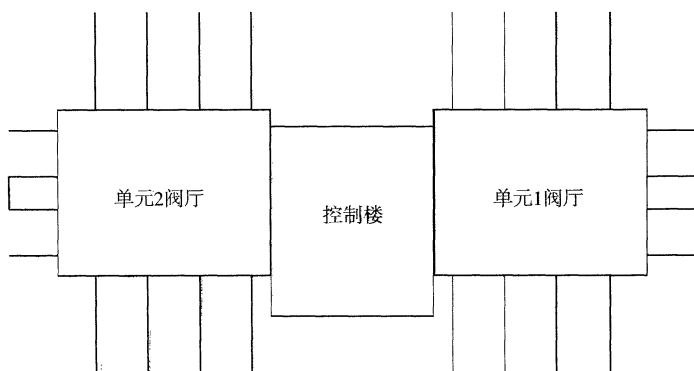


图 10 背靠背换流站阀厅、控制楼联合布置示意图(设置 2 个单元阀厅)

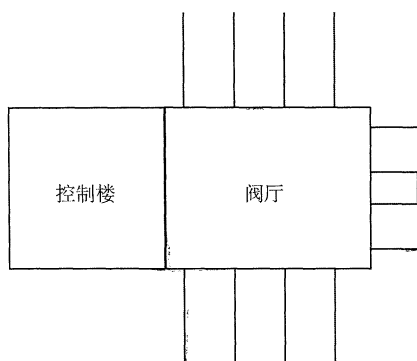


图 11 背靠背换流站阀厅、控制楼联合布置示意图(设置 1 个单元阀厅)

应进行可靠的导电连接(焊接或金属螺钉连接),使阀厅成为全封闭六面体电磁屏蔽体。

换流阀组对空气洁净度要求很高,为了保证阀组稳定运行,工艺上采用集中式空调系统将过滤处理后的空气加压送入阀厅内部,以保持阀厅室内气压略高于室外大气压力,压差约为 $+5\text{Pa}$ (微正压状态),以有效防止室外灰尘通过建筑围护系统的缝隙渗入阀厅内部,保证阀厅室内空气的洁净度。从建筑设计角度来讲,阀厅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。

8.2.9 阀厅外墙不设置采光窗,是为了避免玻璃破碎对阀厅气密性造成不利影响,以确保阀厅内部换流阀组等电气设备的安全与稳定运行。

为了阀厅事故通风及排烟的需要,工艺专业通常会在阀厅墙面设置通风百叶窗或事故排烟风机,出于对阀厅电磁屏蔽、气密及防水等功能需要的考虑,阀厅墙面围护系统与通风百叶窗或排烟风机之间应采取可靠的导电连接、密封等措施;同时,为了保证阀厅正常运行时的气密性要求,通风百叶窗或排烟风机的叶片正常情况下应处于闭合状态。

8.2.10 由于换流变压器、油浸式平波电抗器等电气设备紧靠阀厅布置,为了避免换流变压器、油浸式平波电抗器发生火灾事故时危及阀厅内部设备的安全,阀厅与上述设备之间的墙体应按防火墙设计,满足 3.00h 耐火极限要求。

8.2.15 为了满足控制楼内电气屏柜和其他较重或较大设备安装、检修时的运输需要,控制楼内应配备起吊设施。从已建成投运的换流站来看,当控制楼采用两层布置时,起吊设施通常为吊物孔和单轨吊;当控制楼采用三层布置且主控制室位于第三层时,从安装检修、工作人员使用的便利性等因素考虑,可采用客货两用电梯作为起吊运输设备。

8.2.20 从已建成投运的换流站来看,阀厅、户内直流场、屋内配电装置室(楼)等主要生产建筑物屋面均采用复合压型钢板围护系统,其类型分为两种:一种为现场复合压型钢板围护系统,另一种为工厂复合压型钢板(三明治夹芯板)围护系统。根据现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345—2012 第 4.9.1 条对金属板屋面防水等级和防水构造做法的规定,Ⅰ级防水等级屋面应采用 360°咬口锁边连接外层压型钢板和防水垫层组成的围护系统,Ⅱ级防水等级屋面可采用以紧固件连接的压型钢板围护系统,因此本规范要求阀厅、户内直流场、屋内配电装置室(楼)等主要生产建筑物

复合压型钢板屋面的“外层压型钢板应采用 360°咬口锁边连接方式”；此外，根据现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345—2012 第 4.9.7 条对咬口锁边连接压型金属板屋面排水坡度的规定，本规范做出“屋面排水坡度不宜小于 5%”的规定。

压型钢板自重较轻，在风吸力、风压力反复作用下，屋面板（特别是屋面角部、边缘带、檐口、屋脊等部位）容易被掀开，从而影响换流站的正常运行、危及设备财产安全，因此压型钢板屋面应采取可靠的抗风技术措施，以确保压型钢板与压型钢板、压型钢板与固定支座之间连接牢固，同时对屋面角部、边缘带、檐口、屋脊等重点部位进行抗风加强处理，并对压型钢板与压型钢板、压型钢板与泛水板之间所有缝隙进行严密的封堵处理。

8.3 结 构

8.3.1 阀厅、控制楼、户内直流场、屋内配电装置室（楼）和交（直）流场构架是换流站的主要生产建（构）筑物，发生结构破坏会产生很严重的后果，因此结构安全等级采用一级。

8.3.2 换流站建筑物的楼面、地面活荷载标准值、组合值系数、准永久值系数和折减系数的取值根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定和±500kV 换流站工程的工艺布置和工程设计经验确定。

8.3.4 由于阀厅屋面跨度较大，阀塔荷载较大，本规范规定阀厅屋面围护系统应尽可能采用复合压型钢板轻型屋面，对风荷载较大地区可采用以压型钢板为底模的钢-混凝土组合屋面板。

8.3.7 阀厅、控制楼、户内直流场、屋内配电装置室（楼）、站用电室、继电器小室为主要生产建筑物，本标准将这些建筑物的抗震设防类别归为乙类，地震作用和抗震措施按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关规定执行。

9 采暖、通风和空气调节

9.1 采 暖

9.1.1 关于采暖区的划分详见现行国家标准《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019 的规定以及相应的条文说明。

9.1.2 当换流站周边有可供采暖的热源,如工厂的热水或蒸汽、城市或小区供热管网,寒冷地区宜利用外部热源设置集中热水采暖。一般情况下,换流站宜采用分散式电取暖方式。

9.2 通风和空调

9.2.6 换流变压器设置隔声罩时,可设置自然进风或机械进风、机械排风系统,通风量取以下两项中的较大值,(1)事故排风量按换气次数计算应不少于每小时 12 次;(2)排除变压器散发到罩内的余热所需风量。进风口和排风口需要设置消声装置,防止变压器噪声通过风口传播到隔声罩外。

9.2.7 阀厅火灾危险性类别为丁类(建筑面积小于 5000m²),根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016—2014 第 8.5.2 条的规定,阀厅可不设置排烟设施。考虑到阀厅是换流站的核心建筑,为了方便迅速检修和恢复生产,所以规定阀厅设置灾后机械排烟系统。

户内直流场火灾危险性类别和耐火等级见表 6:

表 6 户内直流场火灾危险性分类和耐火等级

户内直流场设施	火灾危险性分类	耐火等级
单台设备充油量 60kg 及以上	丙	二级
单台设备充油量 60kg 以下	丁	二级

续表 6

户内直流场设施	火灾危险性分类	耐火等级
无含油电气设备	戊	二级

户内直流场排烟设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016—2006 第 9.1 节和 9.4 节的规定。

10 水 工

10.1 给 水 系 统

10.1.1 换流站的用水包括生活用水、生产用水(换流阀外冷却方式为水冷时)及消防用水等,可靠的水源是换流站安全运行的保障。在水源选择时,应进行技术经济比较确定。一般说来,市政自来水作为换流站的水源其运行、维护费用低,运行、维护工作量小,宜优先采用。在地下水满足换流站的用水要求并取得取水许可时,也可采用地下水。如辽宁换流站、高岭背靠背换流站采用空冷方式,其水源均为地下水;郑州换流站主水源及裕隆换流站的备用水源亦为地下水。至于地表水,从取水到水处理的工艺流程相当复杂,相当于一座小型水厂,对运行、管理和维护的水平要求很高,还需设置专门的运行维护人员,因此地表水一般不宜作为换流站水源。

考虑到地表水作为换流站水源,尤其是中小型水库,其水质、水量容易受到各种外界条件的影响而发生变化,可能造成水量不足、水质污染等情况对换流站的安全运行都有不同程度的影响,因此设计时应充分予以考虑。

10.1.2 当换流阀外冷却方式为水冷时,需要提供连续不断的生产用水,因此换流站宜有两路可靠水源,以保证不间断供水。另外实际工程中往往难以做到设置两路可靠水源,故在仅有一路水源情况下,需考虑一定的检修时间。本条规定在该水源发生故障时,至少设置 3 天的修复时间,具体时间可根据当地运行部门抢修时的技术力量确定。

10.3 阀冷却系统

10.3.2 本条是对换流阀外冷却的规定。

(1)水冷方式散热效率高,设备噪声小,但对水源的可靠程度要求高,因喷淋水需要进行处理,所以系统复杂,运行人员需要经常性加药和加盐,设备的检修维护工作量也大,还有污水排放的问题存在;空冷方式散热效率较低,设备噪声相对较大,空冷设备室外占地面积也大,但不需要耗水,系统简单,运行维护工作量较小,且为零排放。

水冷方式和空冷方式的选择应综合考虑站区的气象、水源、总布置、工业废水排放标准等,进行技术经济比较后确定。

在采取单一空冷方式无法保证冷却效果的情况下,可以采取空冷与水冷相结合的冷却方式,或辅助其他设备进行二次冷却的方式。

(2)当采用水冷方式散热时,由于冷却塔换热盘管的表面温度经常超过 50°C ,喷淋水如不进行软化处理除掉水中的钙、镁离子,长期运行就会在盘管表面形成水垢而影响换热效率,所以,必须根据补水水质状况,采取合适的水处理措施防止结垢。对喷淋补充水的水处理措施一般包括:软化处理、反渗透、投加缓释阻垢剂和杀菌灭藻剂等,需要进行技术经济比较后确定。

11 消 防

11.1 火灾探测报警系统

11.1.3 吸气式火灾感烟探测器工作原理是对建筑物内的空气进行主动吸入式采样,实时监测其空气中的烟雾浓度,从而判断是否有火灾发生。这种探测方式对于高大的建筑空间,相比于传统的烟感探测器(通常适用于层高 12m 以下的建筑),可以提供灵敏度更高的烟雾探测,有利于更早的发现火灾险情。因此,阀厅应配置吸气式火灾感烟探测器,还应配置点型紫外和/或红外火焰探测器,作为吸气式烟雾探测系统的后备,探测阀塔内产生的电弧。吸气式火灾感烟探测器主要布置于阀厅内各阀塔以及送、回风风道内。

11.2 灭 火 系 统

11.2.2 目前国内已建换流站的换流变压器和油浸式平波电抗器消防大多数采用的是水喷雾灭火系统,少数采用的是合成泡沫喷雾灭火系统如辽宁换流站、高岭背靠背换流站,对于其他的如排油注氮灭火系统等如当地消防部门审查许可也可以使用。另增加对站用变设置水喷雾系统的要求,与现行国家标准《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229 规定保持一致。

12 噪声控制和节能

12.1 噪声控制

12.1.1 从对直流换流站噪声源的分布和声功率的强弱来看,换流变压器是全站的一个十分重要的噪声源,其次是平波电抗器、交直流滤波器组的电容器和电抗器、阀冷却风扇(冷却塔)等。如果将上述声源能控制好,则高压直流换流站的噪声就能有效控制。

12.1.2 由于换流站内的设备流经数量不等的谐波电流,换流站设备的噪声水平普遍较高,为了控制厂界的噪声水平,应在设备选型时尽量考虑低噪声设备,比如低噪声电抗器和电容器等。

12.1.3 目前部分前期投产的换流站在运行过程中产生噪声水平超过控制标准,在运行后进行了噪声治理,根据工程实际的条件采用了隔声、吸声和消声等措施进行了治理,经过噪声治理基本达到控制标准,效果明显,近期建设的换流站工程已经在建设初期就开始考虑噪声控制措施,也取得了良好的预期效果。

12.2 节 能

12.2.1 高压直流输电工程运行过程中需要大量的无功补偿和滤波设备,一般情况需要配置 40%~70% 的输送容量的无功设备才能满足系统运行的条件。如何合理选择无功和滤波器装置的配置用于满足直流系统各种运行方式要求,为优化运行和优化调度创造了条件,可以有效降低全网的电能损耗。

12.2.2 换流站的主要的耗能设备有换流变压器、降压变压器、晶闸管换流阀、平波电抗器、交直流滤波器、通流导线及其金具,其中通流导线及其金具损耗占全站损耗的比例很小,可以忽略不计。通常换流站的损耗为换流站额定功率的 0.5%~1%,其中,换流变

压器和晶阀管换流阀的损耗在换流站总损耗占绝大部分(71%~88%)。因此,要降低换流站的总损耗以节省能源,降低换流变压器和晶阀管换流阀的损耗是关键。

12.2.3 换流站不同于常规变电站,站内应用冷却设备综多,如换流变压器、降压变压器、阀组冷却设备及其空调系统等。该部分的冷却系统的能耗在站用电负荷中占了60%~76%,所以能够选择效率高、能耗低的冷却设备对减少站用电损带来明显的效果。

12.2.4 近年来建筑节能技术已成为全世界关注的热点,也是当前国内外节能领域的一个热点研究课题。西方发达国家建筑能耗占社会总能耗的30%~45%。我国建筑能耗已占社会总能耗的20%~25%,正逐步上升到30%。因此建筑节能是目前节能领域的当务之急。

建筑节能可分为两部分:一、建筑物自身的节能;二、空调系统的节能。建筑物自身的节能主要是从建筑设计规划、维护结构、遮阳设施等方面考虑。空调系统的节能是从减少冷热源能耗、输送系统的能耗及系统的运行管理等方面进行考虑的。

换流站内建筑物主要由工业主厂房(阀厅、GIS室等)、办公建筑(控制楼、备班楼等)、附属建筑(综合泵房等)三大部分组成。根据国家大力发展节能建筑的通知要求,以及换流站本身的特点,满足建筑物各类用房采光、通风、保温、隔热、隔声等室内环境要求,提出的节能要求和措施。

对阀厅空调设备,由于其功率大,且长时间运行,因而用电量较大。合理确定阀厅运行环境,合理配置空调容量,将有利于减少阀厅空调系统用电,节约能源显著。

换流站照明考虑采用分层照明:正常巡视开低照度道路照明,设备维护检修开局部强光照明。照明采用高光效光源和高效率灯具以降低能耗。