

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 50789 – 2012

$\pm 800\text{kV}$ 直流换流站设计规范

Code for design of $\pm 800\text{kV}$ DC converter station

2012 – 10 – 11 发布

2012 – 12 – 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

中华人民共和国国家标准

±800kV 直流换流站设计规范

Code for design of ±800kV DC converter station

GB/T 50789 - 2012

主编部门:中 国 电 力 企 业 联 合 会

批准部门:中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期:2 0 1 2 年 1 2 月 1 日

中国计划出版社

2012 北 京

中华人民共和国国家标准
±800kV 直流换流站设计规范

GB/T 50789-2012

☆

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

北京世知印务有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 3.5 印张 89 千字

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

☆

统一书号: 1580177 · 972

定价: 21.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1501 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《±800kV 直流换流站设计规范》的公告

现批准《±800kV 直流换流站设计规范》为国家标准，编号为GB/T 50789—2012，自 2012 年 12 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

2012 年 10 月 11 日

前 言

本规范根据住房和城乡建设部《关于印发〈2008 年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标[2008]105 号)的要求,由中国电力工程顾问集团公司会同有关单位共同编制完成。

本规范在编制过程中,进行了广泛的调查研究,认真总结了我国已投运的±800kV 直流输电工程换流站关键技术和设计成果,参考了我国超高压直流换流站的设计、建设和运行经验。

本规范共 10 章和 2 个附录,主要包括:总则、术语、换流站站址选择、交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求、换流站电气设计、换流站控制和保护设计、换流站通信设计、换流站土建、换流站辅助设施、换流站噪声控制和节能。

本规范由住房和城乡建设部负责管理,由中国电力企业联合会负责日常管理,由中国电力工程顾问集团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,请随时反馈给中国电力工程顾问集团公司(地址:北京市西城区安德路 65 号,邮政编码:100120),供今后修订时参考。

本规范主编单位:中国电力工程顾问集团公司

中国南方电网有限责任公司

中国电力企业联合会

本规范参编单位:国家电网公司

中国电力工程顾问集团西南电力设计院

中国电力工程顾问集团华东电力设计院

中国电力工程顾问集团中南电力设计院

中国电力工程顾问集团西北电力设计院

中国电力工程顾问集团东北电力设计院

中国电力工程顾问集团华北电力设计
院工程有限公司

广东省电力设计研究院

本规范主要起草人员:汪建平 李品清 刘泽洪 李宝金
胡劲松 方 静 陈 兵 高理迎
孟 轩 王 静 邓长红 冯春业
乐党救 谢 龙 张正祥 赵大平
余 波 许玉香 申卫华 饶 冰
陈传新 徐昌云 郑培钢 汪 伟
刘庆欣 戴 波 聂 伟 苏 炜
张劲松 俞 正 俞敦耀 颜士海
梁 波 曾 静 张玉明 马 桐
王春成 刘宗辉 孙帮新 龚天森
黄 勇 卢理成 丁一工
本规范主要审查人员:梁言桥 郭贤珊 尚 涛 印永华
杜澍春 谷定燮 黄 成 马为民
杨国富 张谢平 张亚萍 李 苇
黄晓明 穆华宁 吴小颖

目 次

| | | |
|-----|----------------------------|--------|
| 1 | 总 则 | (1) |
| 2 | 术 语 | (2) |
| 3 | 换流站站址选择 | (5) |
| 4 | 交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求 | (6) |
| 4.1 | 交流系统基本条件 | (6) |
| 4.2 | 直流输电系统的性能要求 | (6) |
| 5 | 换流站电气设计 | (9) |
| 5.1 | 电气主接线 | (9) |
| 5.2 | 电气设备布置 | (11) |
| 5.3 | 换流站过电压保护、绝缘配合及防雷接地 | (12) |
| 5.4 | 换流站设备外绝缘设计 | (14) |
| 5.5 | 主要设备选择 | (15) |
| 6 | 换流站控制和保护设计 | (18) |
| 6.1 | 一般规定 | (18) |
| 6.2 | 计算机监控系统 | (18) |
| 6.3 | 直流控制保护系统 | (19) |
| 6.4 | 直流线路故障测距系统 | (21) |
| 6.5 | 直流暂态故障录波系统 | (21) |
| 6.6 | 阀冷却控制保护系统 | (22) |
| 6.7 | 站用直流电源系统及交流不停电电源系统 | (22) |
| 6.8 | 图像监视及安全警卫系统 | (23) |
| 6.9 | 全站时间同步系统 | (23) |
| 7 | 换流站通信设计 | (24) |
| 7.1 | 换流站主要通信设施 | (24) |

| | | |
|------|--------------------|------|
| 7.2 | 系统通信 | (24) |
| 7.3 | 站内通信 | (25) |
| 7.4 | 通信电源、机房和接口要求 | (25) |
| 8 | 换流站土建 | (26) |
| 8.1 | 总平面及竖向布置 | (26) |
| 8.2 | 建筑 | (30) |
| 8.3 | 结构 | (35) |
| 9 | 换流站辅助设施 | (39) |
| 9.1 | 采暖、通风和空气调节 | (39) |
| 9.2 | 阀冷却系统 | (41) |
| 9.3 | 供水系统 | (43) |
| 9.4 | 火灾探测与灭火系统 | (43) |
| 10 | 换流站噪声控制和节能 | (45) |
| 10.1 | 换流站噪声控制 | (45) |
| 10.2 | 节能 | (45) |
| 附录 A | 交流系统谐波干扰指标 | (46) |
| 附录 B | 直流线路等效干扰电流计算 | (48) |
| | 本规范用词说明 | (50) |
| | 引用标准名录 | (51) |
| | 附:条文说明 | (53) |

Contents

| | | |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | General provisions | (1) |
| 2 | Terms | (2) |
| 3 | Site selection for converter station | (5) |
| 4 | Basic conditions of AC system and performance requirements for DC transmission system | (6) |
| 4.1 | Basic conditions of AC system | (6) |
| 4.2 | Performance requirements for DC transmission system | (6) |
| 5 | Electrical design of converter station | (9) |
| 5.1 | Main circuit of converter station | (9) |
| 5.2 | Layout of electrical equipment in converter station | (11) |
| 5.3 | Over voltage protection, insulation coordination, lightning protection and grounding of converter station | (12) |
| 5.4 | Design for external insulation of equipment in converter station | (14) |
| 5.5 | Selection of the major equipment | (15) |
| 6 | Control and protection design of converter station | (18) |
| 6.1 | General provisions | (18) |
| 6.2 | Computer monitoring system | (18) |
| 6.3 | DC control and protection system | (19) |
| 6.4 | Fault location system of DC transmission line | (21) |
| 6.5 | DC transient fault recorder system | (21) |
| 6.6 | Valve cooling control and protection system | (22) |
| 6.7 | DC power supply systems and AC UPS (uninterruptible power system) | (22) |

| | | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 6.8 | Image surveillance and security guard system | (23) |
| 6.9 | Time synchronization system of converter station | (23) |
| 7 | Communication design of converter station | (24) |
| 7.1 | Major communications facilities of converter station | (24) |
| 7.2 | System communication | (24) |
| 7.3 | Communication system in converter station | (25) |
| 7.4 | Power supply of communication system, requirements of communication room and interface | (25) |
| 8 | Construction of converter station | (26) |
| 8.1 | General plane layout and vertical arrangement | (26) |
| 8.2 | Construction | (30) |
| 8.3 | Structures | (35) |
| 9 | Auxiliary facilities of converter station | (39) |
| 9.1 | Heating, ventilation and air conditioning system | (39) |
| 9.2 | Valve cooling system | (41) |
| 9.3 | Water supply system | (43) |
| 9.4 | Fire detection and fire suppression system | (43) |
| 10 | Noise control and energy conservation measures of converter station | (45) |
| 10.1 | Noise control measures | (45) |
| 10.2 | Energy conservation measures | (45) |
| Appendix A | AC system harmonic disturbance indexes | (46) |
| Appendix B | Equivalent interference current calculation of DC transmission line | (48) |
| | Explanation of wording in this code | (50) |
| | List of quoted standards | (51) |
| | Addition; Explanation of provisions | (53) |

1 总 则

1.0.1 为规范 $\pm 800\text{kV}$ 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 $\pm 800\text{kV}$ 两端直流输电系统换流站工程的设计。

1.0.3 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 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 $\pm 800\text{kV}$ 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 换流阀 converter valve

直流输电系统中为实现换流所用的三相桥式换流器中作为基本单元设备的桥臂,又称单阀。现代直流输电采用的半导体换流阀是半导体电力电子元件串(并)联组成的桥臂主电路及其合装在同一个箱体中的相应辅助部分的总称。

2.0.3 二重阀 double valve unit

对于一个12脉动阀组接线,12脉动阀组由2个6脉动阀组串联组成,一个6脉动阀组每相又由2个换流阀臂构成,结构上每相2个阀臂紧密连接在一起组成的阀塔称为二重阀。

2.0.4 四重阀 quadruple valve unit

对于一个12脉动阀组接线,12脉动阀组由2个6脉动阀组串联组成,一个6脉动阀组每相又由2个换流阀臂构成,结构上每相4个阀臂紧密连接在一起组成的阀塔称为四重阀。

2.0.5 晶闸管阀 thyristor valve

由晶闸管元件及其辅助设备组成的半导体换流阀。

2.0.6 阀厅 valve hall

安装换流阀的建筑物。它是换流站中的主要建筑物。换流站阀厅布置一般以 12 脉动换流器单元为单位,一个阀厅布置一个换流器单元的换流桥和相关设备。

2.0.7 高端阀厅 high voltage valve hall

当换流站极由 2 个 12 脉动换流器单元串联而成时,安装靠近极线换流器单元的换流桥和相关设备的建筑物。

2.0.8 低端阀厅 low voltage valve hall

当换流站极由 2 个 12 脉动换流器单元串联而成时,安装靠近中性线换流器单元的换流桥和相关设备的建筑物。

2.0.9 换流站辅助设施 auxiliary equipments of converter station

保证换流站主设备正常工作所需的其他设施,主要包括站用电系统、换流阀冷却系统、阀厅空调系统、消防设施和接地网等。

2.0.10 旁路开关回路 by-pass breaker circuit

在每极多阀组串联方式中,用于将与其并接的 12 脉动阀组的退出和投入的电气回路,通常由 1 台旁路断路器及其两侧的检修用隔离开关、与旁路断路器并联的 1 台旁路隔离开关所组成。

2.0.11 运行控制模式 operational control mode

为使换流站运行参数保持在预期的值而对换流器单元、极或换流站采取的控制模式。

2.0.12 附加控制模式 additional control mode

为有助于与换流站相连的交流系统运行参数保持在预期的值而对换流器单元、极或换流站采取的控制模式。

2.0.13 主导站/从控站 master station/slave station

两端直流输电系统的一个换流站被定义为主导站,与主导站相对的另一个换流站被定义为从控站。主导站的控制系统接收调度或站内运行人员下达的控制指令,并将该指令通过直流远动系

统传送至从控站,通常选择整流站为主导站。主导站/从控站可以在直流远动系统完好条件下进行转换。

2.0.14 直流远动系统 telecontrol system

用于在两端换流站之间交换的直流系统控制信号、保护信号、运行信号和监视信号进行信号传输和数据处理的系统。

2.0.15 极控制 pole control

用于换流站一个极的控制、监视的设备,通常情况包括控制系统主机、I/O 单元以及现场总线等。

2.0.16 换流阀组控制 converter valve unit control

在极控制和阀基电子设备之间按阀组独立设置的控制监视设备。

3 换流站站址选择

3.0.1 站址选择除应符合现行行业标准《220kV~500kV 变电所设计技术规程》DL/T 5218 有关站址选择的规定外,还应结合±800kV 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,通过技术经济比较和经济效益分析确定。

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、共用接地极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,并应对污染源的影响进行评估。

3.0.4 站址选择应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

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符合国家现行有关标准的规定。

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。所选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%,并应保证所供水源质量的稳定性。

3.0.7 站址宜选择在铁路、公路和河流等交通线路附近,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。

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 负序工频电压和背景谐波电压。
 - 4 故障清除时间和单相重合闸时序。
- 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不宜大于额定电流的 10%。
- 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都应具备降低直流电压运行的能力。降压运行的电压值宜为额定电压的 70%~80%。
- 4.2.5 直流输电系统的功率倒送能力应根据系统要求确定。
- 4.2.6 双极直流输电系统应具备下列基本运行方式：

- 1 完整双极运行方式。
- 2 不完整双极运行方式。
- 3 完整单极大地返回运行方式。
- 4 完整单极金属回线运行方式。
- 5 不完整单极大地返回运行方式。
- 6 不完整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。

2 无功补偿设备应根据换流站接入的交流系统的强弱，选择采用并联电容器、静止补偿器和同步调相机。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小组，且分组中应至少有一小组是备用。

4 无功补偿设备分组容量除应满足无功平衡的要求外，还应符合下列规定：

- 1) 投切单组无功补偿设备引起的稳态交流母线电压变化率应在系统可以承受的范围之内，且不应导致换流变压器有载调压开关动作；
- 2) 任一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 无功补偿设备的无功容量宜按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,单次谐波的畸变率,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%;总有效谐波畸变率不宜大于 1.75%;电话谐波波形系数不宜大于 1.0%。

2 交流滤波器的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的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直流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方案应根据具体工程直流线路沿线通信线路的实际情况、通信干扰杂音电动势的标准、直流滤波器制造技术水平及设备费用确定。

3 当直流系统中存在非特征谐波的激励源和谐振点时,应采取相应的限制措施。

4.2.11 换流站损耗的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 的有关规定。

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

4.2.13 直流输电系统可靠性的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 换流器单元平均强迫停运次数不宜大于 2 次/(单元·年)。
- 4 单极强迫停运次数不宜大于 2 次/(极·年)。
- 5 双极强迫停运次数不宜大于 0.1 次/年。

4.2.14 直流输电系统的动态和暂态性能应根据系统研究确定。

5 换流站电气设计

5.1 电气主接线

5.1.1 换流站的建设规模应通过系统论证确定。换流站建设规模应包括直流输电的额定功率、额定电压、直流单极和双极接线、交流侧电压、滤波器容量及组数、交流系统的连接方式和出线规模。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。换流站电气主接线应包括换流器单元接线、交/直流开关场接线、交流滤波器及无功补偿设备接线以及站用电接线。

5.1.2 换流器单元接线应符合下列规定：

1 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。

2 换流器单元宜采用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。

3 换流站每极宜采用两个 12 脉动换流器单元串联的接线方式。

4 每个 12 脉动换流器单元应设置旁路断路器和旁路隔离开关，任意一个 12 脉动换流器单元的切除、检修和再投入运行，不应影响健全部分的功率输送。

5.1.3 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~500kV 变电所设计技术规程》DL/T 5218 的有关规定。

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、中性母线和直流极线等。

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、单极大地返回、单极金属回线等基本运行方式；
- 2) 当换流站内任一极或任一换流器单元检修时应能对其进行隔离和接地；
- 3) 当直流线路任一极检修时应能对其进行隔离和接地；
- 4) 在完整单极或不完整单极金属回线运行方式下，当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) 在完整双极或不完整双极平衡运行方式下，当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) 当双极中的任一极运行时，大地返回方式与金属回线方式之间的转换不应中断直流功率输送，且不宜降低直流输送功率；
- 7) 故障极或换流器单元的切除和检修不应影响健全极或换流器单元的功率输送。

4 平波电抗器的设置应根据平波电抗器的制造能力、运输条件和换流站的过电压水平确定，可串接在每极直流极母线上或分置串接在每极直流极母线和中性母线上。

5.1.4 交流滤波器接线应符合下列规定：

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。

5.1.5 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电压。高压站用电系统宜采用

10kV 电压,低压站用电系统宜采用 380/220V 电压。

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 低压站用电系统宜按换流器单元设置。每个换流器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 电气设备布置

5.2.1 交流开关场的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的布置,通过技术经济比较确定,并应符合现行行业标准《220kV~500kV 变电所设计技术规程》DL/T 5218 和《高压配电装置设计技术规程》DL/T 5352 的有关规定。

5.2.2 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。

5.2.3 直流开关场的布置应符合下列规定:

1 极母线设备采用户外或户内布置应根据站址环境条件和设备选型情况确定。

2 换流器旁路开关设备宜布置在阀厅外。

3 直流开关场的布置应符合国家现行有关标准中对于静电感应场强等电磁环境的有关规定。

4 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。

5.2.4 阀厅内设备的布置应符合下列规定:

1 换流阀的布置方式宜根据换流变压器的形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。

2 阀厅应按换流器单元分别设置高端阀厅和低端阀厅,其位置关系应根据换流站总体布置需要确定。

5.2.5 换流变压器及平波电抗器的布置应符合下列规定：

1 换流变压器及平波电抗器的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 当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采用户内或户外布置。干式平波电抗器宜采用支撑式布置。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。

4 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。

5 换流变压器和油浸式平波电抗器的布置应满足消防要求。

5.2.6 控制楼和继电器小室的布置应符合下列规定：

1 换流站宜设主控制楼和辅助控制楼。主、辅控制楼应按规划容量设计并一次建成。

2 控制楼的位置应方便运行并节省电缆。控制楼与阀厅宜相邻布置并采用联合建筑。

3 全站宜设置若干个继电器小室，将部分控制保护设备下放至继电器小室。

5.3 换流站过电压保护、绝缘配合及防雷接地

5.3.1 换流站过电压保护应符合国家现行标准《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 和《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、《高压直流换流站绝缘配合导则》DL/T 605 和《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》DL/T 620 的有关规定。换流站的直击雷防护与接地设计应符合现行行业标准《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》DL/T 620 和《交流电气装置的接地》DL/T 621 的有关规定。

5.3.2 换流站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 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。最高电位的换流变压器阀侧绕组高压端也可由紧靠它的避雷器直接保护。

5 避雷器的配置可采用多柱并联结构的避雷器,也可采用多支避雷器并联分散布置的方式。

- 6 直流侧中性母线应装设冲击电容器。

5.3.3 其他过电压保护措施应符合下列规定：

- 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合闸电阻或选相合闸装置。大组断路器可装设分闸电阻。

5.3.4 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。

5.3.5 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耐受电压与避雷器保护水平的最小裕度系数应符合表 5.3.5 的规定。

表 5.3.5 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 |

续表 5.3.5

| 设备类型 | 裕度系数 | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 操作 | 雷电 | 陡波 |
| 换流变压器(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 |

5.3.6 对直流场和交流滤波器区域的直击雷防护应采用电气几何法进行校核。

5.4 换流站设备外绝缘设计

5.4.1 换流站交流侧设备外绝缘爬电比距应根据污区分布图确定的站址污秽等级,按照现行国家标准《高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准》GB/T 16434 中的有关规定确定。

5.4.2 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。

5.4.3 换流站直流侧设备外绝缘设计应符合下列规定:

1 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。

2 直流极母线设备的套管宜采用复合绝缘型,爬电比距可按瓷质套管爬电比距的 75% 选择。

3 换流站直流侧极母线支柱绝缘子可选用瓷质芯棒复合绝缘型、玻璃钢芯棒复合绝缘型或涂防污涂料瓷质型支柱绝缘子。

4 直流侧设备干闪距离应通过研究确定。

5 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。

5.5 主要设备选择

5.5.1 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 换流阀阀本体及其控制、保护装置的设计应保证阀能够承受由于阀的触发系统误动以及站内外各种故障所产生的电气应力。

5.5.2 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 换流变压器形式应结合容量、设备制造能力以及运输条件确定。
- 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 换流变压器应具有耐受一定直流偏磁电流的能力。
- 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。

5.5.3 平波电抗器选择应符合下列规定:

- 1 平波电抗器可选择空芯干式或油浸式。
- 2 平波电抗器额定电流应按直流系统额定电流选定,并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谐波电流和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。

5.5.4 交流滤波器选择应符合下列规定:

1 交流滤波器有单调谐型、双调谐型、三调谐型等形式,结合不同频次的谐波可组成多种形式。

2 同一个换流站内交流滤波器的形式不宜超过 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及电压和背景谐波所产生的谐波电流及电压确定。

4 交流滤波器电抗器宜采用低噪声电抗器,高压电容器宜采用双塔布置。

5.5.5 直流滤波器选择应符合下列规定:

1 直流滤波器宜采用双调谐或三调谐无源滤波器。

2 直流滤波器各元件的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。

5.5.6 直流避雷器的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。

5.5.7 旁路断路器的额定电流不应小于直流输电系统短时过负荷电流,其转换能力应与控制系统相配合。

5.5.8 金属回路转换断路器和大地回路转换开关宜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。

5.5.9 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。

5.5.10 直流隔离开关应满足各种工况的直流工作电流及过负荷电流的要求。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。

5.5.11 直流电压测量装置和直流电流测量装置选择应符合下列规定：

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直流光纤传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。

5.5.12 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,还应计及直径大小对爬电距离的影响。

2 直流绝缘子和套管应根据等值盐密与积污特性的关系、运行电压和伞裙对积污的影响、闪络特性及闪距进行选择。

5.5.13 直流导体应结合电场效应、无线电干扰和可听噪声进行选择。硬管母线的动稳定、微风振动和扰度应根据现行行业标准《导体和电器选择设计技术规定》DL/T 5222 的有关规定进行校核。

5.5.14 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 的有关规定。

6 换流站控制和保护设计

6.1 一般规定

6.1.1 换流站的控制和保护设计原则应根据换流站的建设规模、电气主接线、换流站的运行方式和控制模式确定。

6.1.2 换流站的控制和保护系统应包括计算机监控系统、直流控制保护系统、交流控制保护系统、阀冷却控制保护系统等。

6.1.3 换流站内的交、直流系统应合用一个统一平台的运行人员监控系统。

6.2 计算机监控系统

6.2.1 换流站计算机监控系统除应符合现行行业标准《220kV~500kV 变电所计算机监控系统设计技术规程》DL/T 5149 的有关规定外,还应满足本规范的要求。

6.2.2 计算机监控系统宜由站控层、控制层和就地层组成,并宜采用分层、分布式的网络结构。

6.2.3 交流和直流操作员工作站宜合建,且宜按双重化配置。

6.2.4 计算机监控系统应能实现数据采集和处理功能,数据范围应包括直流场、交流场以及所有辅助系统的全部模拟量、开关量。

6.2.5 计算机监控系统控制操作对象应包括交、直流系统各电压等级的断路器、电动操作的隔离开关及接地刀闸、换流变压器及其他变压器有载调压分接头、阀组的解锁/闭锁、站内其他辅助系统的启动/停运等。

6.2.6 换流站的顺序控制宜包括换流器单元交流侧充电/断电、换流站阀组的连接/隔离、旁路断路器的投退、换流站极的连接/隔离、阀组/极/双极的启动与停运、运行方式转换、直流滤波器投切、

交流滤波器投切、线路开路试验、阀组开路试验、潮流反转、直流线路故障恢复顺序。

6.2.7 换流站的调节控制应包括对直流电流、直流电压、直流输送功率、无功功率以及换流变压器和联络变压器有载调压分接头的调节。

6.2.8 阀厅大门与阀厅内接地开关之间、滤波器围栏场地的网门与滤波器高压电容器高压侧的接地开关之间应具有相关联锁。

6.2.9 计算机监控系统的安全防护设计应满足“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的原则，应设置相应的隔离和认证措施。

6.3 直流控制保护系统

6.3.1 直流控制保护系统的结构应符合下列规定：

1 直流控制系统宜按功能划分为站控制、双极控制、极控制和阀组控制。

2 直流控制保护系统应按冗余的原则进行配置，且控制系统应具有自动的系统选择与切换功能。

3 当换流站为双极接线时，两个极的控制保护系统功能应完全独立。当每极采用两个阀组接线时，两个阀组的控制保护系统功能应相对独立。

4 两个极的直流远动系统应完全独立，每个极的直流远动系统应双重化配置。

5 控制和保护系统宜相对独立。

6 直流控制保护系统应满足整流运行和逆变运行的要求。

6.3.2 直流控制保护系统的硬软件系统应符合下列规定：

1 直流控制保护系统的硬件及软件系统应具有稳定性、可靠性、安全性、可扩展性和易维护性，并应具有较强的抗干扰能力。

2 直流控制保护系统的硬件设备应选用工业标准的产品，软

件系统应支持分层分布、模块化结构的设计。

6.3.3 直流控制系统的设计应符合下列规定：

1 直流控制系统的基本控制模式可包括双极功率控制模式、独立极功率控制模式、同步极电流控制模式、无功功率控制模式、应急极电流控制模式、极线路开路试验模式、潮流反转控制模式、直流全压/降压运行控制模式和低负荷无功优化控制模式。

2 直流控制系统的基本控制功能宜包括主导站/从控站的选择、功率指令及双极功率定值的计算、直流功率传输方向的选择、双极电流平衡控制、无功功率控制、直流电流控制、直流电压控制、触发角/熄弧角控制、换流阀触发相位控制、换流变压器分接头控制、高压直流系统启动/停运控制、故障策略控制、过负荷控制以及低压限流功能等。

3 直流控制系统的附加调制控制功能应由系统研究确定，可包括功率提升、功率回降、异常交流电压和频率控制、阻尼次同步振荡以及附加调制信号等。

4 直流控制系统的基本控制功能应能满足各种可能的运行方式，并应有相应的控制策略。

5 直流控制系统输入/输出信号宜包括直流控制系统与直流保护系统之间交换的信号、两侧换流站直流控制系统之间交换的信号、交流开关场信号、直流开关场信号、换流器及阀厅信号和阀冷却系统信号等。

6 极控制系统应配置保护性监控功能。保护性监控功能可包括换相失败预测、晶闸管结温监视、大角度监视、线路开路试验监视等。

6.3.4 直流保护系统的设计应符合下列规定：

1 直流保护应按保护区域设置，每一个保护区应与相邻的保护区重叠，不应存在保护死区。保护区域宜分为交流滤波器/并联电容器保护区、换流变压器保护区、换流器保护区、直流极母线保护区、直流滤波器保护区、直流接地极线路保护区、直流线路保护

区、极中性母线保护区、双极中性母线保护区等。

2 每一个保护区的保护应至少为双重化配置。

3 与故障极或双极有关的保护在双极运行中禁止误跳另一极。

4 阀组区保护应具有独立性,退出运行的阀组不应剩余阀组的正常运行产生影响。

5 对于每一个保护区域内设备的短路、闪络、接地故障等宜配置相应的主、后备保护。

6 是否设置最后交流断路器保护功能应根据工程实际情况研究确定。

6.3.5 直流远动系统的设计应符合下列规定:

1 直流远动系统及通道宜按极双重化配置。

2 用于两端换流站直流控制保护系统信息交换的高压直流远动系统功能宜集成到直流控制保护系统中,用于两端换流站监控系统信息交换的高压直流远动系统功能可集成到换流站计算机监控系统。

3 直流远动系统信号的传输延时应满足直流系统动态响应要求。直流远动系统应优先采用光纤通信系统作为信号传输的主通道。

6.4 直流线路故障测距系统

6.4.1 每侧换流站均应配置直流线路故障测距装置。

6.4.2 直流线路故障测距装置的测距误差不应超过 $\pm 0.5\text{km}$ 或一个档距。

6.5 直流暂态故障录波系统

6.5.1 每个阀组应独立配置直流暂态故障录波系统,每个交流滤波器大组宜独立配置直流暂态故障录波系统,直流控制保护装置内部宜配置故障录波功能。

6.5.2 交、直流暂态故障录波系统宜共用一个保护信息管理工作站。

6.6 阀冷却控制保护系统

6.6.1 每个阀组的阀冷却控制保护系统应独立并冗余配置。

6.6.2 阀冷却控制保护系统应能对主水泵、冷却风扇、电动阀门等重要设备进行监控,并应适应高压直流系统的各种运行工况。

6.7 站用直流电源系统及交流不停电电源系统

6.7.1 站用直流电源系统的设计应符合下列规定:

1 站用直流电源系统的接线方式、网络设计、负荷统计、设备选择和布置、保护和监控等设计应符合现行行业标准《电力工程直流系统设计技术规程》DL/T 5044 的有关规定。

2 换流站宜按阀组或极、站公用设备、交流场设备分别设置独立的直流电源系统。交流场设备用直流电源系统可集中或分散设置。

3 站用直流电源系统标称电压宜采用 110V 或 220V。全站交流电源事故停电时间应按 2h 计算。

6.7.2 站用交流不停电电源系统的设计应符合下列规定:

1 负荷统计、保护和监测、设备布置等设计应符合现行行业标准《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》DL/T 5136 的有关规定。

2 全站公用的交流不停电负荷宜配置 1 套交流不停电电源。换流站直流控制和保护系统的交流不停电电源供电可按阀组或极各配置 1 套。

3 每套交流不停电电源宜采用主机双套冗余配置。

4 交流不停电电源系统的直流电源应直接由站内直流系统引接,不应单独配置蓄电池组。

5 交流不停电电源系统应采用单相、辐射状供电方式。

6.8 图像监视及安全警卫系统

6.8.1 换流站宜配置一套图像监视及安全警卫系统。

6.8.2 图像监视系统的监视范围应包括阀厅内的换流设备、换流站大门、配电装置以及继电器小室、主控楼内的主要设备间。

6.8.3 换流站围墙宜配置电子围栏,也可采用红外对射装置。

6.8.4 图像监视系统所配置的各种摄像机应适应换流站的电磁干扰环境。

6.9 全站时间同步系统

6.9.1 换流站应设置全站统一的时间同步系统,其时钟源应双重化配置。

6.9.2 时间同步系统宜采用两套全球卫星定位系统标准授时信号进行时钟校正,同时宜具备接收上级调度时钟同步的能力。

6.9.3 用于相角测量装置的时间同步系统的测量误差不应大于 $1\mu\text{s}$ 。

7 换流站通信设计

7.1 换流站主要通信设施

7.1.1 换流站的通信系统应包括系统通信和站内通信。

7.1.2 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、动力和环境监测子站设备、综合布线设施和与控制保护的接口设备等。

7.2 系 统 通 信

7.2.1 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。

7.2.2 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。

7.2.3 换流站间交换信息应包括下列内容：

- 1 直流控制及保护信息。
- 2 线路故障定位装置站间交换信息。
- 3 换流站监控系统交换信息。

7.2.4 换流站至各调度端传输信息应包括下列内容：

- 1 远动信息。
- 2 电能计费信息。
- 3 故障录波信息。
- 4 继电保护及安全稳定装置信息。
- 5 远方用户电话。

7.2.5 换流站宜提供至运行管理单位之间的通信通道。

7.3 站 内 通 信

7.3.1 换流站内宜设一台数字程控调度交换机,该交换机宜兼作站内行政通信,用户数量宜为 48 门~128 门,中继端口数量应根据调度和生产管理关系确定。调度交换机的组网宜采用 Qsig 信令及 2Mbit/s 数字中继方式,宜分别从两个不同的方向就近与上级汇接中心连接。数字程控调度交换机应具备组网、路由选择、优先等待等特殊功能,并应附设调度控制台和能够自动及手动启动的录音装置。

7.3.2 站内交换机可就近接入当地市话网。

7.4 通信电源、机房和接口要求

7.4.1 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。

7.4.2 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。

7.4.3 通信机房技术要求应符合现行行业标准《220kV~500kV 变电所通信设计技术规定》DL/T 5225 的有关规定。

7.4.4 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 换流站土建

8.1 总平面及竖向布置

8.1.1 总平面布置除应符合现行行业标准《变电站总布置设计技术规程》DL/T 5056、《220kV~500kV 变电所设计技术规程》DL/T 5218 的有关规定外,还应符合下列规定:

1 换流站建筑物、构筑物火灾危险性分类及耐火等级不应低于表 8.1.1 的规定。

2 换流站的油罐区设计应符合现行国家标准《石油库设计规范》GB 50074 的有关规定,油泵房的设置应根据绝缘油的输送方式确定。

3 阀厅、主(辅)控制楼等重要建筑物、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。

4 换流变压器的运输道路宽度不宜小于 6m,转弯半径应根据运输方式确定;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宜小于 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。

5 进站道路的路径应根据站址周围道路现状,结合远景发展规划和站区平面、竖向布置综合确定;路面宽度和平曲线半径应满足超限运输车辆内转弯半径的要求,换流站进站道路路面宽度不宜小于 6m,转弯半径不宜小于 24m,最大纵坡不宜大于 8%。

表 8.1.1 建筑物、构筑物火灾危险性分类及耐火等级

| 序号 | 建筑物、构筑物名称 | 火灾危险性类别 | 最低耐火等级 |
|---------------|----------------|---------|--------|
| 一、主要生产建筑物、构筑物 | 1 阀厅(含高、低端阀厅) | 丁 | 二级 |
| | 2 控制楼(含主、辅控制楼) | 戊 | 二级 |
| | 3 继电器小室 | 戊 | 二级 |
| | 4 站用电室 | 戊 | 二级 |

续表 8.1.1

| 序号 | | 建筑物、构筑物名称 | | 火灾危险性类别 | 最低耐火等级 |
|---------------|---|--------------------------|------------------|---------|--------|
| 一、主要生产建筑物、构筑物 | 5 | 电缆夹层 | 全部采用阻燃电缆时 | 丁 | 二级 |
| | | | 采用非阻燃电缆时 | 丙 | 二级 |
| | 6 | 气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室、户内直流场 | 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 |
| | | | 无含油电气设备 | 戊 | 二级 |
| | 7 | 屋外配电装置 | 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 |
| | | | 无含油电气设备 | 戊 | 二级 |
| | 8 | 油浸变压器室 | | 丙 | 一级 |
| | 9 | 气体或干式变压器室 | | 丁 | 二级 |
| 二、辅助生产建筑物、构筑物 | 1 | 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 | 露天油罐、油泵房 | | 丙 | 二级 |

续表 8.1.1

| 序号 | | 建筑物、构筑物名称 | 火灾危险性类别 | 最低耐火等级 |
|---------------------------|---|------------|---------|--------|
| 三、附属 生产建 筑物、 构筑物 | 1 | 综合楼 | 戊 | 三级 |
| | 2 | 换流变压器检修车间 | 丁 | 二级 |
| | 3 | 检修备品库 | 丁 | 二级 |
| | 4 | 车库 | 丁 | 二级 |
| | 5 | 雨淋阀间、泡沫消防间 | 戊 | 二级 |
| | 6 | 警卫传达室 | 戊 | 二级 |
| | 7 | 锅炉房 | 丁 | 二级 |
| | 8 | 水池 | 戊 | 二级 |
| | 9 | 消防小室 | 戊 | 二级 |

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

8.1.2 换流站内建筑物、构筑物及设备最小间距应符合表 8.1.2 的规定，并应符合下列规定：

1 两座建筑相邻两面的外墙为非燃烧体，且无门窗洞口、无外露的燃烧屋檐时，其防火间距可按表 8.1.2 减少 25%。

2 当两座建筑相邻较高一面的外墙如为防火墙时，其防火间距可不限（包括事故油池），但两座建筑物门窗之间的净距不应小于 5m。

3 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 的范围内不应设有门窗和通风孔；当建筑物外墙距设备外廓 5m~10m 时，在外墙可设防火门，并可在设备总高度以上设非燃烧性的固定窗。

4 屋外配电装置与其他建筑物、构筑物的间距除注明者外，均以构架外边缘计算，屋外配电装置与道路路边的距离不宜小于 1.5m，在困难条件下不应小于 1m。

表 8.1.2 建筑物、构筑物及设备最小间距 (m)

| 建筑物、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) | 露天 油罐 | 事故 贮油 池 | 站内辅助、 附属建筑 | | | 站内道路 (路边) | 围墙 |
|-------------------------|-------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|----------|---------------|---------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|------|
| | | | | | | 耐火等级 | 二级 | 三级 | | |
| | | | | | | | | | | |
| 丙、丁、戊类生产建筑(一、二级耐火等级) | 10 | 10 | 10 | 12 | 5 | 10 | 12 | 12 | 无出口时 1.5,有出口,但无车 道时 3.0;有出口,有车 道时 6.0~8.0 | 见注 2 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 屋外配电装置 | 10 | — | — | 25 | 5 | 10 | 12 | — | 1.5 | — |
| 换流变压器 平波电抗器 (油浸式) | 10 | — | — | 25 | — | 25 | 30 | — | — | — |
| 露天油罐 | 12 | 25 | 25 | — | 15 | 15 | 20 | — | 5 | 5 |
| 事故贮油池 | 5 | 5 | 5 | 15 | — | 10 | 12 | — | 1 | 1 |
| 站内辅助、 附属建筑 | 二级 | 10 | 25 | 15 | 10 | 6 | 7 | 无出口时 1.5,有出口 时 3.0 | 见注 2 | 见注 2 |
| | 三级 | 12 | 30 | 20 | 12 | 7 | 8 | | | |
| 站内道路(路边) | 无出口时 1.5,有出口,但无车 道时 3.0;有出口,有车 道时 6.0~8.0 | | | | | 1.5 | 无出口时 1.5,有出口 时 3.0 | | — | 1 |
| | 见注 2 | | | | | — | 5 | 1 | 见注 2 | — |

注: 1 建筑物、构筑物防火间距按相邻两建筑物、构筑物外墙的最近距离计算, 如外端有凸出的燃烧构件时, 则从其凸出部分外缘算起;

2 当继电器小室布置在屋外配电装置场内时, 其间距由工艺确定。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。

8.1.3 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、《220kV～500kV 变电所设计技术规程》DL/T 5218 的有关规定。

8.2 建 筑

8.2.1 换流站建筑物应包括阀厅(含高、低端阀厅)、控制楼(含主、辅控制楼)、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、车库、警卫传达室等。其他建筑物如户内直流场、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室、油泵房、换流变压器检修车间等是否设置应根据工艺方案确定。

8.2.2 换流站建筑物应根据站址所在地区的气候条件进行平面布置和朝向选择。建筑体型系数、围护结构传热系数、窗墙面积比应符合现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 的有关规定。

8.2.3 换流站建筑物屋面防水等级应符合下列规定：

1 阀厅屋面防水等级应为Ⅰ级。

2 控制楼、户内直流场、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室、站用电室、继电器小室、综合楼、综合水泵房、检修备品库、车库等其他建筑物屋面防水等级宜为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 阀厅应采取六面体电磁屏蔽措施。

8.2.6 阀厅应具有优良的气密性能，所有孔隙均应封堵密实。

8.2.7 阀厅零米层的出入口设置应符合下列规定：

1 每极阀厅应至少设置两个出入口，一个出入口应直通室外并与站区主要道路衔接，另一个出入口宜与控制楼连通。

2 每极阀厅应有一个出入口作为运输通道，其净空尺寸应满足阀厅内最大设备的搬运和换流阀安装检修用升降机的出入要求。

3 阀厅各出入口应采用向室外或控制楼方向开启的、满足40dB隔声性能指标要求的钢质电磁屏蔽门,与控制楼连通的门还应满足1.20h耐火极限的要求。

8.2.8 阀厅内部应设置架空巡视走道,巡视走道的设置应符合下列规定:

- 1 巡视走道的临空侧和顶部均应采用钢丝网进行封闭。
- 2 巡视走道宜通至阀塔上部屋架区域,且宜靠近阀塔布置。
- 3 当阀厅内设有膨胀水箱时,巡视走道宜通至该区域。

4 巡视走道应与控制楼相衔接,联系门应采用向控制楼方向开启的满足1.20h耐火极限和40dB隔声性能指标要求的钢质电磁屏蔽门。

8.2.9 阀厅与控制楼之间应设置固定式观察窗,观察窗的位置和尺寸应便于工作人员对阀厅内部进行观察,观察窗应满足电磁屏蔽、1.20h耐火极限及40dB隔声性能指标要求。

8.2.10 阀厅外墙不应设置采光窗。

8.2.11 阀厅外墙设置的通风百叶窗或排烟风机应采取可靠的电磁屏蔽、气密和防水措施,百叶窗或风机的叶片应设自动启闭装置。

8.2.12 阀厅与换流变压器、油浸式平波电抗器之间应采用防火墙进行分隔,防火墙的耐火极限不应低于3.00h。阀厅其他部位梁、柱和屋盖等承重构件可采用无防火保护的钢结构。

8.2.13 当设备或管线穿过阀厅墙面时,开孔部位应待安装工作完毕后实施封堵,开孔封堵除应满足围护系统的整体电磁屏蔽、气密、防水、隔热、隔声等性能要求外,还应符合下列规定:

1 阀厅防火墙上的换流变压器、油浸式平波电抗器套管开孔应待套管安装完毕后采用复合防火板进行封堵,复合防火板应满足3.00h耐火极限、防电涡流、结构强度和稳定性等要求。

2 阀厅与控制楼之间墙体上的管线开孔与管线之间的缝隙应采用满足3.00h耐火极限要求的防火封堵材料封堵密实。

3 阀厅其他无防火要求墙体上的设备或管线开孔与设备或管线之间的缝隙宜采用非燃烧或难燃烧材料进行封堵。

8.2.14 控制楼内的功能用房应包括主控制室、控制保护设备室、交流配电室、直流屏室、交流不停电电源室、电气蓄电池室、通信机房、通信蓄电池室、阀冷却设备间、安全工器具间、二次备品及工作间、交接班室、会议室、办公室、资料室、卫生间等。是否设置空调设备间、换流变压器接口屏室等其他设备用房应根据工艺要求确定。

8.2.15 控制楼宜采用两层或三层布置,各楼层的布置应符合下列规定:

1 交流配电室、电气蓄电池室、阀冷却设备间、换流变压器接口屏室等宜布置在首层,其中电气蓄电池室宜靠外墙布置,阀冷却设备间应靠外墙且与阀外冷却装置毗邻布置。

2 主控制室、交接班室、控制保护设备室、通信机房、会议室、办公室等宜布置在第二层或第三层,其中主控制室、会议室、办公室宜靠外墙布置,交接班室宜靠近主控制室布置。

3 主控制室、交接班室、会议室、办公室所在的楼层应设置卫生间。

4 控制保护设备室、交流配电室、直流屏室、交流不停电电源室、换流变接口屏室、通信机房、蓄电池室等电气、通信设备用房内部不应布置给排水管道,且不应布置在卫生间及其他易积水房间的下层。

8.2.16 控制楼的出入口、走道及楼梯设置应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 和《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229 的有关规定,且应符合下列规定:

1 首层出入口布置应满足控制楼的安全疏散要求,主出入口应与站区主要道路衔接。

2 控制楼各楼层的功能用房与楼梯之间应通过走道进行联系,走道布置应满足运行、巡视、检修、安全疏散等要求。

3 控制楼各楼层之间应通过楼梯进行联系,楼梯数量应根据

各楼层建筑面积确定。建筑面积不大于 500m²的楼层可设置 1 部楼梯,建筑面积大于 500m²的楼层应设置不少于 2 部楼梯,楼梯间应设置外墙采光通风窗。

4 控制楼内位于相邻两部楼梯之间的功能用房的门至最近楼梯的距离不应大于 35m,位于袋形走道尽端的功能用房的门至楼梯的距离不应大于 20m。

5 控制楼各出入口、走道、楼梯等部位应设置灯光疏散指示标志和消防应急照明灯具。

6 布置工艺设备的屋面应设置通往该屋面的楼梯,无工艺设备的屋面宜设置带安全护笼的屋面巡视及检修钢爬梯。

8.2.17 控制楼各建筑构件的燃烧性能和耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定,各功能用房的内部装修材料应符合现行国家标准《建筑内部装修设计防火规范》GB 50222 的有关规定,且应符合下列规定:

1 与阀厅相邻的控制楼墙体应为满足 3.00h 耐火极限要求的防火墙,该墙上的门窗应采用满足 1.20h 耐火极限要求的甲级防火门窗,管线开孔封堵应符合本规范第 8.2.13 条的相关规定。

2 控制保护设备室、交流配电室、直流屏室、交流不停电电源室、电气蓄电池室、通信机房、通信蓄电池室、阀冷却设备间、空调设备间、换流变压器接口屏室等设备用房和楼梯间的墙体耐火极限不应低于 2.00h,楼板耐火极限不应低于 1.50h,各设备用房的门应采用向疏散方向开启的、满足 0.90h 耐火极限要求的乙级防火门。

3 电缆、管道竖井在各楼层的楼板处以及与房间、走道等相连通的孔洞部位均应采用防火封堵材料封堵密实;电缆、管道竖井壁的耐火极限不应低于 1.00h,井壁上的检查门应采用向竖井外侧开启的、满足 0.60h 耐火极限要求的丙级防火门。

4 主控制室、控制保护设备室、交流配电室、直流屏室、交流不停电电源室、电气蓄电池室、通信机房、通信蓄电池室、阀冷却设备间、空调设备间等设备用房和楼梯间的楼地面、内墙面、顶棚及

其他部位均应采用 A 级不燃性装修材料;安全工器具间、二次备品及工作间、交接班室、会议室、办公室、资料室、门厅、走道的内墙面、顶棚应采用 A 级不燃性装修材料,楼地面及其他部位应采用不低于 B1 级的难燃性装修材料。

8.2.18 控制楼内应设置起吊设施。采用两层布置的控制楼宜设置吊物孔和单轨吊,采用三层布置且主控制室位于第三层的控制楼宜设置客货两用电梯。

8.2.19 控制楼的地下电缆夹层应满足建筑防火、疏散、通风、排烟、防水、排水、防潮、防小动物等要求。

8.2.20 控制楼各楼层层高应根据设备安装、管道布置、结构尺寸及室内空间尺度等因素确定。

8.2.21 主控制室室内背景噪声级(A 声级)不应大于 50dB(A)。

8.2.22 主控制室、控制保护设备室、通信机房、交流配电室、直流屏室等房间应照度均匀,灯具布置应避免在屏面产生眩光。

8.2.23 当控制楼采用中央空调系统时,工艺设备用房顶棚上的风口布置应避免空调冷凝水聚集并滴落到设备和屏柜表面。

8.2.24 户内直流场出入口不应少于两个,其中应有一个出入口作为运输通道直通室外并与站区主要道路衔接,其净空尺寸应满足户内直流场内最大设备的搬运要求。

8.2.25 当户内直流场内布置有单台设备充油量 60kg 及以上的含油电气设备时,应设置防止火灾蔓延的阻火隔墙,局部梁、柱、屋盖和墙体等建筑构件的燃烧性能和耐火极限应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定。

8.2.26 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。

8.2.27 当阀厅、户内直流场、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室、控制楼等建筑物屋面采用压型钢板围护系统时,屋面坡度不应小于 10%,且应采取整体防水、抗风技术措施。

8.2.28 阀厅、户内直流场、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)

室、检修备品库等体量较大的建筑物屋面应设置巡视及检修钢爬梯,钢爬梯与主体结构之间应连接牢固,全梯段均应设置安全护笼。

8.2.29 阀厅、户内直流场、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室、控制楼等建筑物的室内地坪饰面材料应符合下列规定:

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

2 户内直流场、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室地坪应采用耐磨、抗冲击、不起尘、易清洁的饰面材料。

3 控制楼楼(地)面饰面材料应与各房间或部位的使用功能要求相匹配。主控制室、控制保护设备室、通信机房楼面应采用耐磨、抗静电、光滑、不起尘、易清洁的饰面材料,交流配电室、直流屏室、交流不停电电源室、蓄电池室、阀冷却设备间、空调设备间、走道楼(地)面应采用耐磨、光滑、不起尘、易清洁的饰面材料,卫生间楼面应采用防水、防滑、易清洁的饰面材料。

8.3 结 构

8.3.1 换流站建筑物、构筑物的结构重要性系数应根据建筑物、构筑物的使用年限、结构安全等级确定。换流站建筑物、构筑物的使用年限、结构安全等级、结构重要性系数应符合表 8.3.1 的规定。

表 8.3.1 换流站建筑物、构筑物的使用年限、
结构安全等级、结构重要性系数

| 建筑物、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 | 50 | 一级 | 1.1 |
| 其他建筑物、构筑物 | 50 | 二级 | 1.0 |

注:1 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,对其中部分结构构件的安全等级可根据其重要性适当调整,但不得低于三级;

2 阀厅、户内直流场钢屋架结构重要性系数宜采用 1.15。

8.3.2 控制楼和阀厅的楼面、地面活荷载标准值、组合值系数、准永久值系数和折减系数不应小于表 8.3.2 所列的数值。如果设备及运输工具的实际荷载超过表 8.3.2 所列的数值,应按实际荷载进行设计。

表 8.3.2 控制楼和阀厅的楼面、地面活荷载标准值、
组合值系数、准永久值系数和折减系数

| 序号 | 项 目 | 活荷载标准值 (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 | 4 | 0.9 | 0.8 | 0.7 |
| 2 | 直流屏室、阀冷却设备间、空调设备间、安全工器具间、二次备品及工作间 | 5 | 0.9 | 0.8 | 0.7 |
| 3 | 交流不停电电源室、蓄电池室 | 8 | 0.9 | 0.8 | 0.7 |
| 4 | 交接班室、会议室、办公室、进餐室、卫生间、楼梯 | 2.5 | 0.7 | 0.5 | 0.85 |
| 5 | 资料室 | 2.5 | 0.7 | 0.8 | 0.85 |
| 6 | 门厅、过厅、走道 | 4 | 0.7 | 0.7 | 0.85 |
| 7 | 屋面: | | | | |
| | (1)上人屋面 | 2.0 | 0.7 | 0.5 | 1.0 |
| | (2)不上人屋面 | 0.7 | — | 0 | — |
| 8 | 阀厅地面 | 10 | — | — | — |

注:1 当采用压型钢板轻型屋面时,屋面竖向均布活荷载的标准值(按水平投影面积计算)取 0.5kN/m²;

2 对受荷水平投影面积大于 60m² 的刚架或屋架构件,屋面竖向均布活荷载的标准值取不小于 0.3kN/m²。

8.3.3 换流站建筑物、构筑物的基本风压取值应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。阀厅、户内直流场应按 100 年一遇标准取值,其余建筑物、构筑物应按 50 年一遇标准取值,但不得小于 0.3kN/m^2 。

8.3.4 换流站主要建筑物、构筑物的结构形式应满足下列规定:

1 阀厅结构布置宜结合换流变压器防火墙结构布置,阀厅主体承重结构宜采用钢-钢筋混凝土框架(或钢-钢筋混凝土框架剪力墙)混合结构,也可采用钢-钢筋混凝土墙混合结构、钢结构框排架结构和钢筋混凝土框架结构。

2 阀厅、户内直流场屋面结构体系宜采用钢结构有檩屋盖结构体系,屋盖宜采用复合压型钢板屋面板和冷弯薄壁型钢檩条;在风荷载较大地区,也可采用以压型钢板为底模的钢-混凝土板组合楼板结构。墙面围护结构宜选用与主体结构相适应的墙面材料。

3 阀厅屋盖支撑体系的布置、钢结构柱间支撑的布置和钢筋混凝土框架结构的刚度布置应满足结构的整体刚度和稳定性要求。钢结构节点设置应满足构造简单、施工方便的要求。

4 阀厅、换流变压器、油浸式平波电抗器之间的防火墙宜采用现浇钢筋混凝土框架填充墙结构,也可采用现浇钢筋混凝土墙结构。钢筋混凝土防火墙受力钢筋的混凝土保护层厚度除应满足混凝土结构的要求外,还应符合防火要求。

5 控制楼主体结构宜采用钢筋混凝土框架结构,楼、屋面宜采用现浇钢筋混凝土板。控制楼墙面围护宜采用砌块填充墙。

6 气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室主体结构宜采用门式刚架轻型钢结构,屋面宜采用钢结构有檩屋盖体系,屋盖宜采用复合压型钢板屋面板和冷弯薄壁型钢檩条。墙面围护结构宜选用与主体结构相适应的墙面材料。

8.3.5 当阀厅、户内直流场、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室等建筑物采用钢结构且节点采用螺栓连接时,其承重结构的连接宜采用摩擦型高强螺栓连接;钢结构的防腐宜采用有机防腐涂

料体系防腐或冷喷锌防腐。

8.3.6 换流站建筑物、构筑物的抗震设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定,并应符合下列规定:

1 换流站建筑物、构筑物的抗震设防烈度应按照国家规定的权限审批、颁发的文件(图件)确定。抗震设防烈度可采用中国地震烈度区划图规定的地震基本烈度;对已编制抗震设防区划的地区,可按批准的抗震设防烈度或设计地震动参数进行抗震设防。

2 阀厅、控制楼、户内直流场、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室、站用电室、继电器小室为换流站主要生产建筑物,其抗震设防类别应为乙类,地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求;当抗震设防烈度为6度~8度时,抗震措施应符合本地区抗震设防烈度提高一度的要求,当为9度时,抗震措施应进行专题论证;地基基础的抗震措施应符合抗震设计国家现行相关标准的有关规定。

3 辅助生产及附属建筑物、构筑物抗震设防类别应为丙类,地震作用和抗震措施均应符合本地区抗震设防烈度的要求。

9 换流站辅助设施

9.1 采暖、通风和空气调节

9.1.1 阀厅降温可采用空调或通风方案,阀厅温度和相对湿度应根据换流阀的要求确定。空调或通风方案应符合下列规定:

1 阀厅室内温度夏季不应超过 50°C ,冬季不应低于 10°C 。阀厅室内相对湿度范围宜为 $10\%\sim 60\%$,并应保证阀体表面不结露。

2 空调方案可在合适的室外气象条件下大量使用新风以节省能源,室外新风应过滤。

3 通风方案应采用机械进风、机械排风。

4 风管保温材料应采用非燃烧材料,穿越防火墙的空隙应采用非燃烧材料填塞。

5 通风或空调设备应设 100% 备用。

6 各个阀厅的通风或空调系统宜独立设置。

7 阀厅通风或空调系统过滤等级应根据换流阀的要求确定。进入阀厅的空气应至少设置两级空气过滤,过滤等级应满足工艺要求。

9.1.2 阀厅应设置灾后机械排烟系统,换气次数宜按 $0.25\text{次/h}\sim 0.5\text{次/h}$ 确定。

9.1.3 阀厅内应保持微正压状态,正压值宜为 5Pa 。当大量使用新风时,正压值不应超过 50Pa 。

9.1.4 控制楼内主控制室、极控制保护设备室、站公用设备室和通信机房等应设置全年性空气调节系统。主控制室宜按舒适型空气调节设计,极控制保护设备室、站公用设备室和通信机房的室内设计参数应根据工艺要求确定。

9.1.5 控制楼空调宜采用集中式空调系统,集中式空调系统的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。

9.1.6 控制楼内的主控制室、极控制保护设备室、站公用设备室和通信机房等重要房间的排烟方式宜选用独立的机械排烟系统。当利用空调系统进行排烟时,空调系统应设有将空气调节功能自动或手动切换为排烟功能的装置。

9.1.7 采暖或空调有压水管不应穿过控制楼内电气设备间。

9.1.8 当控制楼内配电室设有散热量较大的干式变压器时,室内环境设计温度不宜高于 35°C ,并应设置事故排风。当符合下列条件之一时,通风系统宜采取降温措施:

1 夏季通风室外计算温度不小于 30°C 。

2 夏季通风室外计算温度小于 30°C ,但不低于 27°C ,且最热月月平均相对湿度宜不小于 70% 。

9.1.9 站用直流及交流不停电电源室宜设置空气调节装置。

9.1.10 蓄电池室应根据设备形式和当地气象条件确定设置机械通风或空气调节系统。

9.1.11 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 。

9.1.12 阀厅和户内直流场通风或空调系统及控制楼集中空调系统应设置自动控制系统。

9.1.13 继电器小室应设置空气调节装置和检修换气通风。

9.1.14 水泵房应设置夏季排除余热措施。在采暖地区采暖可按维持室内温度不低于 5°C 设计。

9.1.15 综合楼可根据当地的气象条件,设置分散式空调或独立的集中空调系统。

9.1.16 户内直流场可采用空调或通风方案,空调或通风方案应符合下列规定:

- 1 户内直流场的空气环境应保证电气设备表面不结露。
 - 2 空调方案可在合适的室外气象条件下大量使用新风,通风方案应采用机械进风、机械排风。进风应过滤。
 - 3 各个户内直流场的通风或空调系统宜独立设置。
 - 4 户内直流场应设置灾后机械排烟系统。
- 9.1.17 气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)室应设置机械通风。

9.2 阀冷却系统

9.2.1 换流阀内冷却应符合下列规定:

- 1 换流阀内冷却应采用闭式冷却水循环系统,每极的高、低端阀厅均应独立设置。
- 2 内循环介质水系统的管道、阀门、去离子设备及循环水泵、过滤器、冷却塔或空气冷却器内的换热盘等应采用不锈钢材料。喷淋水管、喷淋水泵、阀门、过滤器及喷淋水软化处理装置等宜采用不锈钢材料。
- 3 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流速的要求。
- 4 内循环介质水回路应设置去离子旁路。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。
- 5 当内循环介质水通过共用集管进入换流阀时,换流阀进水管宜设置流量平衡阀或截止阀保证流入每组换流阀的流量相等。
- 6 内循环介质水回路应设置定压补水装置,装置应满足换流阀对水质含氧量的要求。
- 7 内循环介质水回路的补水应采用纯净水或蒸馏水。
- 8 进入换流阀的内循环介质水的最低水温应保证换流阀表面不产生凝露。
- 9 内循环介质水回路及其去离子处理旁路均应设置过滤装置,滤网孔径不应大于换流阀允许通过最大颗粒的尺寸。

10 内循环介质水管路系统高点应设置自动排气装置,冷却介质水管路系统及喷淋水管路系统低点均应设置排水措施。

11 内循环介质水循环水泵、去离子装置、去离子水循环水泵、喷淋水泵及喷淋补充水软化处理装置应 100% 备用,密闭式蒸发型冷却塔或空气冷却器容量的冗余度不应小于 50%。

12 除氧装置应根据换流阀对水质含氧量的要求设置,必要时应采用氮气置换除氧方式。

13 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、流量进行自动监测。

9.2.2 换流阀外冷却应符合下列规定:

1 换流阀外冷却宜采用水冷却方式,在水资源缺乏和北方地区也可采用空冷方式或水-空冷冷却方式。

2 当换流阀外冷采用水冷方式时,计算闭式蒸发冷却塔的最高冷却水温的气象条件应采用极端最高湿球温度和与之对应的气压及湿度;当采用空冷方式时,计算空冷塔的最高冷却水温的气象条件应采用极端最高干球温度。

3 室外密闭式蒸发型冷却塔或空气冷却器的布置应通风良好,远离高温或有害气体,并应避免飘溢水和蒸发水对环境和电气设备的影响。

4 当采用密闭式蒸发型冷却塔时,应设置室外缓冲水池储存喷淋水,水池容积应保证水冷却系统安全运行;水池容积应保证喷淋水泵一定的吸水压头;水池最小容积不宜小于 50m^3 。

5 室外密闭式蒸发型冷却塔应采取防止喷淋水系统结冰的措施。

6 密闭式蒸发型冷却塔喷淋水的补充水量应按冷却塔蒸发损失、风吹损失及排污损失之和计算,安全系数应取 1.10~1.15。

7 密闭式蒸发型冷却塔喷淋水的补充水应结合水质情况选择合适的水软化处理措施。

8 冷却塔喷淋水系统及缓冲水池内壁应采取抑制微生物生

长的措施。

9.2.3 冷却水带走的热量应取换流阀在额定工况、连续过负荷或暂态过负荷中的较大值。

9.3 供水系统

9.3.1 换流站应有可靠的水源,水源宜选用自来水或地下水。在水源条件受限地区,水源也可采用地表水。水源的水质、水量变化不应影响换流站的安全运行。

9.3.2 当换流阀外冷却采用水冷方式时,换流站宜有两路可靠水源。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。

9.3.3 换流站内生活用水、工业用水及消防水管网宜分开设置。

9.4 火灾探测与灭火系统

9.4.1 火灾探测报警系统的设置应符合下列规定:

1 阀厅内各阀塔上部周围区域,阀厅主要送、回风口,电缆沟应设置吸气式感烟探测器,阀厅内还应设置火焰探测器。

2 主控制室、计算机室、控制保护设备室、配电室、通信设备室、继电器小室、阀冷却设备室应设置感烟探测器,设置火灾探测的区域应包括天花板内以及活动地板下的空间。

3 蓄电池室应设置防爆型感烟探测器。

4 电缆隧道、夹层、竖井应设置线性感温探测器,也可采用感烟探测器或吸气式感烟探测器。

5 换流变压器和油浸式平波电抗器应设置可恢复式缆式线型差定温探测器或热探测器。

9.4.2 火灾自动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 的有关规定。

9.4.3 灭火系统的设置应符合下列规定:

1 阀厅和户内直流场室内宜配置推车式灭火器,室外应设置

消火栓。

2 主控制楼应设置室外和室内消火栓,室内消火栓箱内应配置直流/水雾两用水枪,并应配置自救式消防水喉。

3 换流变压器、油浸式平波电抗器应设置水喷雾灭火系统或其他经消防主管部门审查许可的灭火系统,同时应设置室外消火栓、推车式灭火器和砂箱。

9.4.4 水喷雾灭火系统的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。

9.4.5 消火栓灭火系统的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。

9.4.6 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 的有关规定。

10 换流站噪声控制和节能

10.1 换流站噪声控制

10.1.1 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 的有关规定。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筑物、构筑物。

10.1.2 设备选型应通过技术经济比较选用低噪声设备。

10.1.3 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。

10.1.4 当站内噪声水平超标时,应对工作人员采取职业保护措施。

10.2 节 能

10.2.1 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。

10.2.2 换流站的设备应选择低损耗的设备。

10.2.3 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。

10.2.4 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可按下列公式表征：

$$D_n = \frac{E_n \times 100\%}{E_{ph}} \quad (\text{A. 0. 1-1})$$

$$D_{\text{eff}} = \left[\sum_{n=2}^{n=50} (E_n/E_{ph})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 100\% \quad (\text{A. 0. 1-2})$$

$$THFF = \left[\sum_{n=1}^{n=50} \left(\frac{n \times 50}{800} \times \frac{CCITT}{1000} \times E_n/E_{ph} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 100\% \quad (\text{A. 0. 1-3})$$

式中： D_n ——单次谐波的畸变率；

D_{eff} ——总有效谐波畸变率；

$THFF$ ——电话谐波波形系数；

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；

$CCITT$ ——噪声加权系数，应符合表 A. 0. 1 的规定。

表 A. 0. 1 噪声加权系数

| n | $f(\text{Hz})$ | $CCITT$ | n | $f(\text{Hz})$ | $CCITT$ |
|-----|----------------|---------|-----|----------------|---------|
| 1 | 50 | 0. 71 | 7 | 350 | 376 |
| 2 | 100 | 8. 91 | 8 | 400 | 484 |
| 3 | 150 | 35. 5 | 9 | 450 | 582 |
| 4 | 200 | 89. 1 | 10 | 500 | 661 |
| 5 | 250 | 178 | 11 | 550 | 733 |
| 6 | 300 | 295 | 12 | 600 | 794 |

续表 A.0.1

| n | $f(\text{Hz})$ | CCITT | n | $f(\text{Hz})$ | CCITT |
|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|
| 13 | 650 | 851 | 32 | 1600 | 824 |
| 14 | 700 | 902 | 33 | 1650 | 807 |
| 15 | 750 | 955 | 34 | 1700 | 791 |
| 16 | 800 | 1000 | 35 | 1750 | 775 |
| 17 | 850 | 1035 | 36 | 1800 | 760 |
| 18 | 900 | 1072 | 37 | 1850 | 745 |
| 19 | 950 | 1109 | 38 | 1900 | 732 |
| 20 | 1000 | 1122 | 39 | 1950 | 720 |
| 21 | 1050 | 1109 | 40 | 2000 | 708 |
| 22 | 1100 | 1072 | 41 | 2050 | 698 |
| 23 | 1150 | 1035 | 42 | 2100 | 689 |
| 24 | 1200 | 1000 | 43 | 2150 | 679 |
| 25 | 1250 | 977 | 44 | 2200 | 670 |
| 26 | 1300 | 955 | 45 | 2250 | 661 |
| 27 | 1350 | 928 | 46 | 2300 | 652 |
| 28 | 1400 | 905 | 47 | 2350 | 643 |
| 29 | 1450 | 881 | 48 | 2400 | 634 |
| 30 | 1500 | 861 | 49 | 2450 | 625 |
| 31 | 1550 | 842 | 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：

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

$$I_e(x) = \left[\sum_{n=1}^{n=50} (I(n, x) \times \frac{CCITT}{1000} \times H_f)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B. 0. 1-2})$$

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；

$CCITT$ ——噪声加权系数，见本规范表 A. 0. 1；

n ——谐波次数；

H_f ——耦合系数，应符合表 B. 0. 1 的规定。

表 B. 0. 1 耦合系数

| n | 频率(Hz) | H_f | n | 频率(Hz) | H_f |
|-----|--------|-------|-----|--------|-------|
| 1 | 50 | 0.70 | 6 | 300 | 0.70 |
| 2 | 100 | 0.70 | 7 | 350 | 0.70 |
| 3 | 150 | 0.70 | 8 | 400 | 0.70 |
| 4 | 200 | 0.70 | 9 | 450 | 0.70 |
| 5 | 250 | 0.70 | 10 | 500 | 0.70 |

续表 B. 0. 1

| n | 频率(Hz) | H_f | n | 频率(Hz) | H_f |
|-----|--------|-------|-----|--------|-------|
| 11 | 550 | 0.75 | 31 | 1550 | 1.56 |
| 12 | 600 | 0.80 | 32 | 1600 | 1.60 |
| 13 | 650 | 0.85 | 33 | 1650 | 1.64 |
| 14 | 700 | 0.90 | 34 | 1700 | 1.68 |
| 15 | 750 | 0.95 | 35 | 1750 | 1.71 |
| 16 | 800 | 1.00 | 36 | 1800 | 1.75 |
| 17 | 850 | 1.04 | 37 | 1850 | 1.78 |
| 18 | 900 | 1.08 | 38 | 1900 | 1.82 |
| 19 | 950 | 1.11 | 39 | 1950 | 1.85 |
| 20 | 1000 | 1.15 | 40 | 2000 | 1.88 |
| 21 | 1050 | 1.19 | 41 | 2050 | 1.92 |
| 22 | 1100 | 1.23 | 42 | 2100 | 1.95 |
| 23 | 1150 | 1.26 | 43 | 2150 | 1.98 |
| 24 | 1200 | 1.30 | 44 | 2200 | 2.02 |
| 25 | 1250 | 1.34 | 45 | 2250 | 2.05 |
| 26 | 1300 | 1.38 | 46 | 2300 | 2.08 |
| 27 | 1350 | 1.41 | 47 | 2350 | 2.12 |
| 28 | 1400 | 1.45 | 48 | 2400 | 2.15 |
| 29 | 1450 | 1.49 | 49 | 2450 | 2.18 |
| 30 | 1500 | 1.53 | 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
《建筑设计防火规范》GB 50016
《岩土工程勘察规范》GB 50021
《石油库设计规范》GB 50074
《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
《公共建筑节能设计标准》GB 50189
《水喷雾灭火系统设计规范》GB 50219
《建筑内部装修设计防火规范》GB 50222
《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229
《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
《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
《高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准》GB/T 16434
《高压直流换流站损耗的确定》GB/T 20989
《高压直流换流站可听噪声》GB/T 22075
《高压直流换流站绝缘配合导则》DL/T 605
《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》DL/T 620
《交流电气装置的接地》DL/T 621
《电力工程直流系统设计技术规程》DL/T 5044

《变电站总布置设计技术规程》DL/T 5056

《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》DL/T 5136

《220kV~500kV 变电所计算机监控系统设计技术规程》
DL/T 5149

《220kV~500kV 变电所设计技术规程》DL/T 5218

《导体和电器选择设计技术规定》DL/T 5222

《220kV~500kV 变电所通信设计技术规定》DL/T 5225

《高压配电装置设计技术规程》DL/T 5352

中华人民共和国国家标准

±800kV 直流换流站设计规范

GB/T 50789 - 2012

条文说明

制 订 说 明

《±800kV 直流换流站设计规范》GB/T 50789—2012,经住房和城乡建设部 2012 年 10 月 11 日以第 1501 号公告批准发布。

本规范编制遵循的主要原则是:贯彻国家法律、法规和电力建设政策;坚持科学发展,落实“安全可靠、先进适用、经济合理、环境友好”的原则;广泛深入调研,吸取电力建设工程实践经验,以±800kV 云南至广东和向家坝至上海特高压直流示范工程关键技术研究、设计研究成果为基础;广泛征求相关单位意见。

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 | 换流站站址选择 | (59) |
| 4 | 交流系统基本条件及直流输电系统的性能要求 | (60) |
| 4.1 | 交流系统基本条件 | (60) |
| 4.2 | 直流输电系统的性能要求 | (60) |
| 5 | 换流站电气设计 | (63) |
| 5.1 | 电气主接线 | (63) |
| 5.2 | 电气设备布置 | (64) |
| 5.3 | 换流站过电压保护、绝缘配合及防雷接地 | (67) |
| 5.4 | 换流站设备外绝缘设计 | (73) |
| 5.5 | 主要设备选择 | (77) |
| 6 | 换流站控制和保护设计 | (84) |
| 6.2 | 计算机监控系统 | (84) |
| 6.3 | 直流控制保护系统 | (84) |
| 6.4 | 直流线路故障测距系统 | (88) |
| 6.5 | 直流暂态故障录波系统 | (89) |
| 6.6 | 阀冷却控制保护系统 | (89) |
| 6.7 | 站用直流电源系统及交流不停电电源系统 | (90) |
| 6.9 | 全站时间同步系统 | (90) |
| 7 | 换流站通信设计 | (91) |
| 7.1 | 换流站主要通信设施 | (91) |
| 7.2 | 系统通信 | (91) |
| 7.3 | 站内通信 | (91) |
| 8 | 换流站土建 | (92) |
| 8.2 | 建筑 | (92) |

| | |
|----------------------|-------|
| 8.3 结构 | (94) |
| 9 换流站辅助设施 | (97) |
| 9.1 采暖、通风和空气调节 | (97) |
| 9.2 阀冷却系统 | (97) |
| 9.3 供水系统 | (98) |
| 9.4 火灾探测与灭火系统 | (98) |
| 10 换流站噪声控制和节能 | (100) |
| 10.1 换流站噪声控制 | (100) |
| 10.2 节能 | (100) |

3 换流站站址选择

3.0.3 在大气严重污秽地区和严重盐雾地区不宜建设换流站,主要是考虑耐污设备的生产条件、运行安全和建设投资等因素。

3.0.6 换流站生产用水对水质要求比变电站高,而且用水量比变电站大。因此,在确定换流站水源时,其稳定性和可靠性是重点考虑的因素。考虑到 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流换流站的输送功率大,在电网中地位和作用相当重要,参考现行行业标准《火力发电厂设计技术规程》DL 5000 的规定,设计枯水流量的保证率取 97%。

3.0.7 选站时要考虑充分利用现有的交通运输条件。良好的交通运输条件便于设备器材的运输和对换流站的管理,也方便职工生活,可减少工程投资和运行管理费用。换流站大型设备较多,对运输条件要求较高。因此,应该尽量选择交通运输条件较好的站址。

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 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。

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。

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。

故障清除时间包括正常和后备(保护)清除故障时间。

4.1.2 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 高压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。

高压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。

高压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期连续运行的

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具备规定的暂态过负荷能力。

4.2.3 本条所给出的最小直流电流参考目前国内 $\pm 500\text{kV}$ 和 $\pm 800\text{kV}$ 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。

4.2.4 对于每极两个 12 脉动换流器单元串联的接线方式,当任一极只有一个换流器单元运行时,该极不再考虑降压运行方式。

4.2.6 本条所给出的双极直流输电系统的基本运行方式适用于每极两个 12 脉动换流器单元串联接线方式。

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。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。我国 $\pm 800\text{kV}$ 云南至广东特高压直流输电工程要求各种运行方式下的直流线路等效干扰电流不大于 2000mA , $\pm 800\text{kV}$ 向家坝至上海特高压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 3000mA 和 6000mA 。

4.2.13 本条所给出的直流输电系统可靠性的设计目标值适用于每极两个 12 脉动换流器单元串联接线方式。

4.2.14 直流输电系统的动态性能研究应该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该针对正常投切和故障两部分进行。

5 换流站电气设计

5.1 电气主接线

5.1.2 高压大容量直流输电工程均采用 12 脉动换流器单元接线, $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站可供选择的换流器单元接线有: 每极一个 12 脉动换流器单元接线, 每极两个 12 脉动换流器单元串联接线, 每极两个 12 脉动换流器单元并联接线。

单个 12 脉动阀组的最大制造容量和换流变压器的制造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, $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站宜采用每极两个 12 脉动换流器单元串联的接线方式。

5.1.3 直流开关场接线原则应该满足当一极或一个换流器单元发生故障或检修时应不影响另一极或者换流器单元的运行, 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该保证具备条文中所列的各项功能。

5.1.4 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, 则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母线的接线方式。

5.1.5 考虑到 $\pm 800\text{kV}$ 特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,另外一回宜从站外引接;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 电气设备布置

5.2.2 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,所以在布置设计时要同时考虑上述设备的噪声影响。

5.2.3 本条是关于直流开关场布置的规定。

1 由于直流场的空气间隙形状和电压各不相同,目前普遍采用的方式是根据系统成套计算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规定,各承包商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,要进行部分间隙的真型试验,以便积累数据为工程所用。

2 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,国内也仅政平换流站一例。

3 $\pm 800\text{kV}$ 换流站的旁路断路器回路是在一个 12 脉动阀组退出和投入时使用,为了便于日常的维护和需要时的正常使用,建议将旁路断路器回路设备布置在阀厅外。

4 直流开关场的布置宜采用两极对称式布置,布置上要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。

5.2.4 本条是关于阀厅布置的规定。

1 空气绝缘的晶闸管换流阀布置在阀厅内,阀厅要密封防尘,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。阀厅采用微正压是为了防止灰尘进入,保持阀厅内空气洁净。

2 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—上海直流输电工程和天生桥—广州直流输电工程采用的是单相三绕组换流变压器配四重阀,±500kV、3000MW 的三常、三广、三沪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、II 回直流输电工程采用的是单相双绕组换流变压器配四重阀。±800kV 云广和向家坝—奉贤高压直流工程采用的单相双绕组换流变压器配二重阀。

3 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要充分考虑检修工具的出入和巡视的方便。

4 特高压换流站每极有高端和低端阀厅各一个,全站有四个阀厅,阀厅的布置和换流区域及全站的整体布局密切相关。各站的实际情况不一,阀厅布置的形式选择也有所不同。目前根据初

步研究可供选择的阀厅布置可以分为“一字形”(全站阀厅呈一字形排开)、“面对面”(每极高低压阀厅面对面布置,换流变压器布置在两个阀厅之间)和“平行型”(全站阀厅平行布置,每个阀厅的换流变压器布置在阀厅两侧)。在建的高压直流工程采用“一字形”布置和“面对面”布置两种形式。

5.2.5 本条是关于换流变压器及平波电抗器布置的规定。

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要根据总体布置要求,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 由于采用干式平波电抗器工程往往需要多个串联实现,为了降低工程造价,可以采用极线和中性母线分置干式平波电抗器的方式实现。一般布置在旁路开关和直流滤波器之间的极线和中性母线上。

4 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要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

波电抗器要布置在适当的位置,以减少轨道系统的长度。更换换流变压器和平波电抗器时要尽量避免拆除已安装好的电气设备。更换任一 12 脉动阀组的换流变压器时不影响其他 12 脉动阀组的正常运行。

5.2.6 本条是关于控制楼和继电器小室的规定。

特高压换流站换流建筑物区域面积较大,阀厅和控制单元是 $\pm 500\text{kV}$ 换流站的 2 倍,为了合理布局和节省电缆和各类管线,宜考虑全站设立 1 个主控制楼和多个辅助控制楼,主控制楼布置运行控制室、通信设备等,辅助控制楼可以按阀组单元设置,布置对应阀组的站用低压配电系统、阀冷单元设备以及其他辅助系统设备等。控制楼与阀厅相邻布置可使得从阀厅到控制楼的光缆最短。在我国已建的高压直流输电工程中,换流站控制楼均布置在两极阀厅之间,与换流站的两极阀厅连成一体。控制楼处在站中心区域,在控制楼内可以观察到两极阀厅和交、直流开关场,便于运行,同时电缆也最省。在建的特高压直流工程中采用了 1 个主控制楼(布置在换流建筑物的中间)和多个辅助控制楼(布置在对应阀厅的边上)的设计方案。

5.3 换流站过电压保护、绝缘配合及防雷接地

5.3.2 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 1。图 1 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。

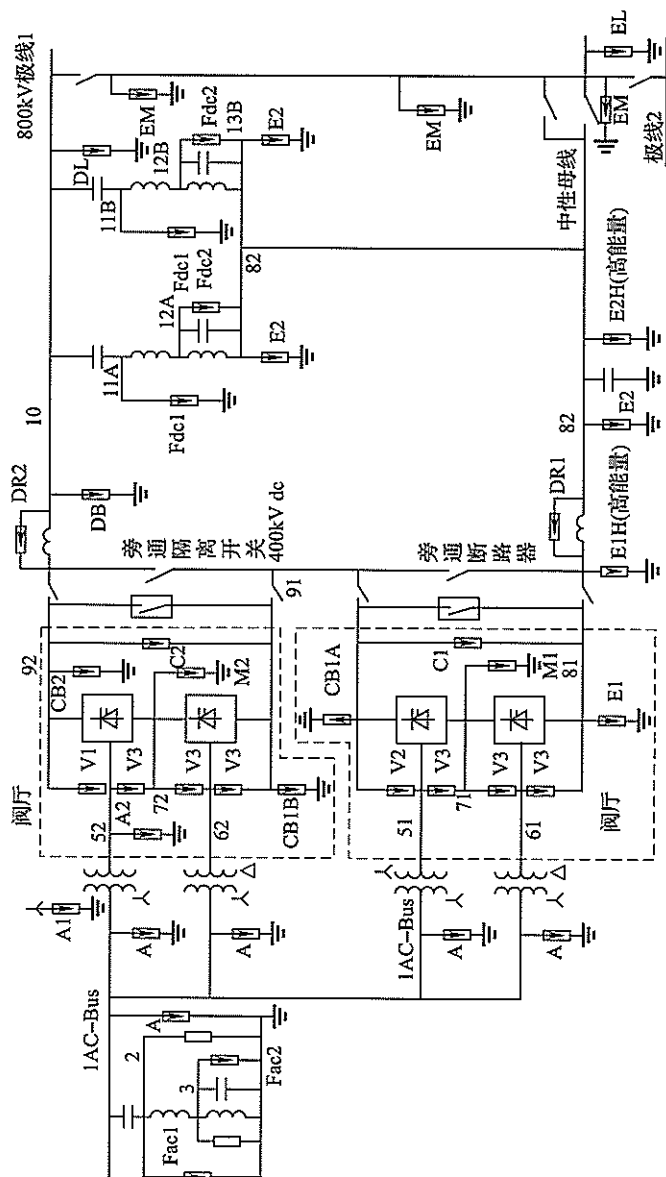


图 1 换流站单极交流侧和直流侧典型的避雷器布置

Fac1 和 Fac2 避雷器——用于保护交流滤波器内部元件。

A 避雷器——装于每台换流变压器网侧、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。

A1 避雷器——换流变压器网侧中性点避雷器,用于保护处于最高电位的换流变压器阀侧 Y 绕组中性点,与换流变压器网侧 A 避雷器操作波保护水平按换流变压器变比转移到阀侧的 A' 避雷器串联,保护换流变压器阀侧 Y 绕组高压端子,为可选择的避雷器。当三台单相换流变压器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,可在远离接地点端装中性点避雷器。

A2 避雷器——用于保护处于最高电位的换流变压器阀侧 Y 绕组高压端,为可选择的避雷器。

V1、V2 和 V3 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。

M2 避雷器——装于上组 12 脉动换流器单元的 6 脉动换流桥,保护上组两个 6 脉动换流桥间的直流母线,同时与 V3 型避雷器串联保护上组高电位换流变压器阀侧 Y 绕组。当阀导通时保护直流极母线设备;M2 避雷器装于阀厅内,为可选择的避雷器。

M1 避雷器——装于下组 12 脉动换流器单元的 6 脉动换流桥,保护下组两个 6 脉动换流桥间的直流母线,同时与 V3 型避雷器串联保护下组高电位换流变压器阀侧 Y 绕组,为可选择的避雷器。

CB1 避雷器——装于直流母线中点,用于保护上下组 12 脉动换流器单元之间的直流母线设备,包括旁路断路器、隔离开关和穿墙套管等;限制上组 12 脉动换流器单元旁路断路器合闸或旁通对投入的操作过电压和下组 12 脉动换流器单元单独运行时直流极母线的操作和雷电过电压;CB1 与 V3 型避雷器串联保护上组换流变压器阀侧 Δ 绕组。CB1 有两种选择方案:一个是装“CB1B”和“CB1A”分别保护上、下组之间的直流母线,另一个是仅装 CB1A。

C2 和 C1 避雷器——装于上、下组 12 脉动换流器单元,上、下 400kV12 脉动换流器单元单独运行工况下,保护上、下组额定电压为 400kV 的 12 脉动换流器单元。C1 避雷器的保护功能与 CBI 相同,为可选择的避雷器。

CB2 避雷器——装于直流极母线,保护直流极母线设备,包括穿墙套管、旁路断路器和隔离开关等,为可选择的避雷器。

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

DR2 避雷器——跨接于直流极母线平波电抗器两端,用于雷电和操作波保护。若选用户外型干式空芯电抗器时,因单台电抗器的电抗值小,可能需装 4 台,则 2 台可装在中性母线上。若使用油浸式平波电抗器时,因上组换流器单元旁通开关和隔离开关装于户外,油浸式平波电抗器套管不再插入阀厅,也可安装 DR2 避雷器。DR2 避雷器为可选择的避雷器。

DR1 避雷器——跨接于直流中性母线平波电抗器两端,用于来自中性母线的雷电和操作波保护,为可选择的避雷器。

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

E2H 避雷器——装于中性母线,用于吸收双极和单极运行方式下线路或阀厅内接地故障下的操作冲击能量。可设计 E2H 避雷器伏安特性曲线低于 EM、EL 和 E2 避雷器。E2H 为高能量避雷器,由多个避雷器并联,在制造和出厂试验时需保证多个并联的避雷器特性一致。

Fdc1 和 Fdc2 避雷器——用于保护直流滤波器内部元件。

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。

E2 避雷器——装于中性母线,主要用于中性母线的雷电侵入

波保护。可根据雷电侵入波计算结果确定数量和安装在中性母线上的位置。如在两组直流滤波器底部各装一只,限制经直流滤波器传递到中性母线上的雷电过电压。该避雷器在操作过电压下不动作,仅用于雷电波保护;也可选 E2 避雷器的伏安特性与 EM、EL 和 E2H 一样。

E1H 避雷器——中性母线装有平波电抗器时,接于中性母线平波电抗器阀侧,用于保护阀的底部设备并与 V3 型避雷器串联保护下组换流变压器阀侧 Δ 绕组。E1H 型避雷器为高能量避雷器,由多个避雷器并联,装在阀厅外,在制造和出厂试验时需保证多个并联的避雷器特性一致。

E1 避雷器——中性母线平波电抗器阀侧,其伏安特性曲线高于 E1H(高能量)型避雷器,用于雷电侵入波和接地故障下的陡波保护,为可选择的避雷器。

5.3.3 本条是关于其他过电压保护措施的规定。

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压器变比传递到阀侧。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,直流系统也将很快恢复。

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。

±800kV 直流系统大组滤波器的容量比±500kV 直流系统大,滤波器大组断路器需开断很大的容性电流,在换流站双极闭锁甩负荷后产生的工频过电压下,要求大组断路器紧急开断更大的容性电流。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。

5.3.4 换流站控制系统的交流暂时过电压控制的基本原则如下:

控制策略要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;

控制策略要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时间;

控制策略要避免自励磁过电压;

控制策略一般先切除电容器组,后切除滤波器组;

控制策略要满足切除滤波器组后的谐波限值要求;

雷电和操作过电压不要影响控制策略。

5.3.5 表 5.3.5 中的裕度系数考虑了绝缘配合系数 K_{ed} 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。而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地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 SSIWV/SIPL、SLIWV/LIPL 和 SSFIWV/STIPL 可在 1.10~1.15、1.10~1.15、1.15~1.20 范围内经技术和经济比较选取。

5.4 换流站设备外绝缘设计

5.4.2 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,通过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了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了站址区的污秽等级。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,国际大电网会议(CIGRE)第 22 03 工作组公布了这一曲线(见图 2),该曲线存在一定的盲目性,主要体现在如下几个方面:

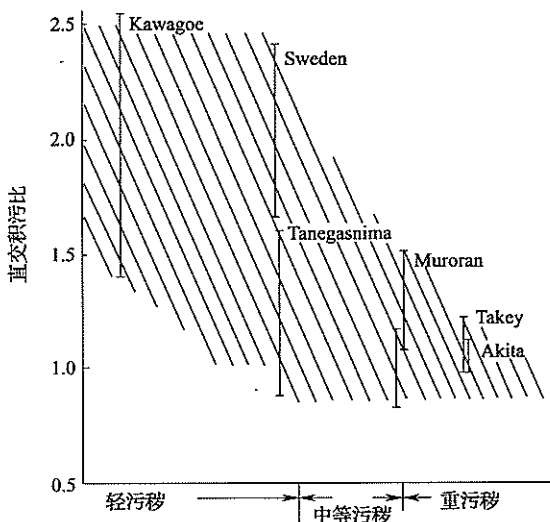


图 2 直交积污比

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气象条件的影响。

近年来, 国内也在不同地区进行了对“直交积污比”的试验研究, 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, 站址周边污染源、气象条件变化后的污秽水平, 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。

5.4.3 本条是关于换流站直流设备外绝缘设计的规定。

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距离；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要考虑预留的适当裕度。当具体工程需要时要进行人工污秽试验，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形主要有两种：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；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 -0.33 次方的幂函数关系进行折算。

除此之外,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)。

式(4)是在灰密($NSDD$)为 $0.07\text{mg}/\text{cm}^2 \sim 0.10\text{mg}/\text{cm}^2$ 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。

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

式中: $NSDD$ ——灰密,指非溶性沉积物密度(mg/cm^2)。

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。

5.5 主要设备选择

5.5.1 本条是关于换流阀的规定。

1 一般规定。

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 SF_6 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 4 种形式,详见表 1。

表 1 阀的绝缘方式和冷却方式之间的配合形成及比较

| 项目 | 空气绝缘 风冷却 | 空气绝缘 水冷却 | 油绝缘 油冷却 | SF_6 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 1

| 项目 | 空气绝缘 风冷却 | 空气绝缘 水冷却 | 油绝缘 油冷却 | SF ₆ 绝缘 氟里昂冷却 |
|------|----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 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, 后逐渐被水冷却晶闸管阀取代 | 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, 故须采用户内式布置。

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, 分散性要尽量限制到最小范

围,光接口装置的光损耗也要尽量小,以降低触发功率损耗,安全快速地触发晶闸管元件。

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-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 晶闸管阀不仅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,而且还要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 晶闸管阀要能承受各种不同的过电压,阀的耐压设计要考虑保护裕度,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它阀内非线性因素对阀应力的影响,保护裕度应该足够大。

5.5.2 本条是关于换流变压器的规定。

1 换流变压器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,直流系统要具备一定的过负荷能力,换流变压器要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。

换流变压器形式选择要根据直流工程的容量、换流阀组及换流变压器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。在现有制造水平的基础上,用于大容量的直流输电工程的换流变压器的形式有单相三绕组换流变压器和单相双绕组换流变压器两种形式。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压器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,要优先采用;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要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。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% 。

±800kV 上海奉贤换流站工程经初步计算,当 $U_k=16\%$ 时, 阀侧短路电流约为 45.5kA, 当 $U_k=16.7\%$ 时, 约为 44kA, 当 $U_k=18\%$ 时, 约为 40.9kA, 从以上结果可以看出, 当 U_k 较小时, 虽对换流站系统运行有利, 但阀侧短路电流过大, 对设备制造不利。目前云广工程 $U_k=18\%$ (送端)、 $U_k=18.5\%$ (受端), 向家坝—上海奉贤工程 $U_k=18\%$ (送端)、 $U_k=16.7\%$ (受端)。

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而决定。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。

5.5.3 本条是关于平波电抗器的规定。

1 平波电抗器具有两种形式: 空芯干式和油浸式。这两种形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: 对地绝缘简单; 无油, 消除了火灾危险和环境影响; 潮流反转时无临界介质场强; 负载电流与磁链呈线性关系; 暂态过电压较低; 可听噪声低; 重量轻, 易于运输; 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,该方案结合了两种形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 平波电抗器的额定值选择要满足直流系统各种运行工况。

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: I_{dlj} ——容许的最小直流电流限值;

V_{d0} ——换流器的理想空载电压。

2)限制故障电流的上升率,其简化计算公式为:

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

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(触发)超前角;

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要避免与直流滤波器、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要基本维持不变。

5.5.4 减少交流滤波器类型有利于降低交流滤波器投资,同时减少了备品备件。目前国内工程中已采用的几种交流滤波器的形式见图 3。

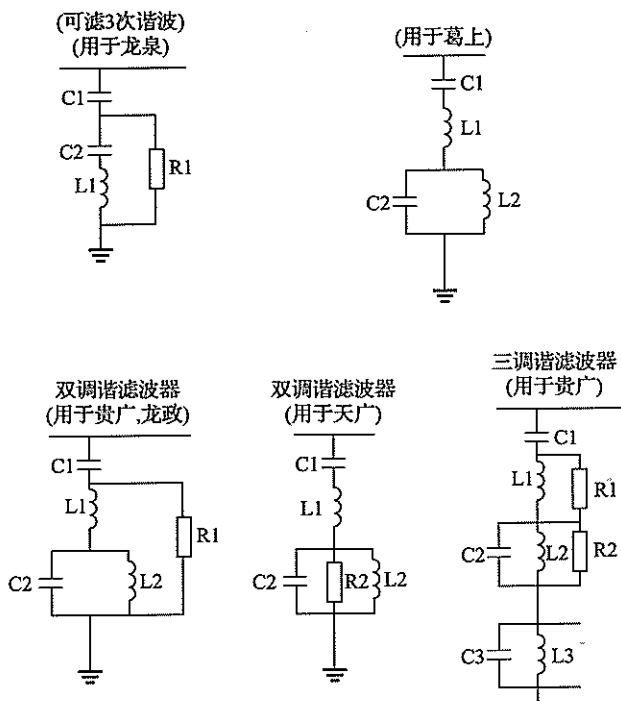


图 3 交流滤波器的形式

5.5.11 阻容分压器的电阻要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要超过 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,测量精度要小于额定直流电压的 0.2%;该测量装置的量程要满足测量直流电压 1.5 标幺值的要求,测量精度要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,测量误差要不大于额定电流的 $\pm 0.5\%$;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,测量误差要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 $\pm 10\%$ 。

6 换流站控制和保护设计

6.2 计算机监控系统

6.2.2 本条是对换流站计算机监控系统所采用的网络系统及现场总线的基本要求。

6.2.3 交、直流系统合建操作员工作站便于运行,从换流站控制保护系统可靠性要求的角度考虑,操作员工作站要双重化配置,同时还能满足运行人员安全、可靠、方便地操作。

6.2.6 $\pm 800\text{kV}$ 换流站与 $\pm 500\text{kV}$ 换流站的直流侧接线相比多了旁路断路器,因此在换流站的顺序控制中增加了旁路断路器的投退。

高压直流系统运行方式的转换包括单极大地回路/单极金属回线运行、极全压/降压运行、功率控制模式/电流控制模式之间的切换。本条是对双端双极高压直流输电工程自动顺序控制的基本要求,但考虑到某些工程,如背靠背工程不需要满足全部的自动顺序控制功能,因此本条的用词采用“宜”。

6.2.8 从安全角度出发,阀厅大门钥匙的状态是直流控制系统顺序控制的一个重要环节,只有阀厅接地刀闸闭合,阀厅大门钥匙才能解锁,反之亦然。

6.2.9 国家电力监管委员会发布的《电力二次系统安全防护规定》,要求于 2005 年 2 月 1 日起施行,因此,换流站计算机监控系统也要满足该规定的要求,尤其是要采用相关的硬件设备和软件措施,以防止由于各类计算机病毒侵害造成系统内各存储器的数据丢失或其他原因对系统造成的损害。

6.3 直流控制保护系统

6.3.1 本条是关于直流控制保护系统结构设计的规定。

1 根据现行国家标准《高压直流输电术语》GB/T 13498 对 HVDC 控制系统的分层结构作出了定义,即 HVDC 控制系统功能上可分为:AC/DC 系统层,区域层,HVDC 双极控制层,HVDC 极控制层,换流器单元控制层。其中,AC/DC 系统层是与交、直流系统协调控制有关的功能;区域层是协调整个 HVDC 系统运行的控制功能,相当于主站控制。对于 $\pm 800\text{kV}$ 换流站,参照了现行国家标准《高压直流输电术语》GB/T 13498 对控制系统的分层结构的定义,推荐采用四层结构,且直流控制功能要尽可能地配置到较低的控制层上。

2 因为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,因此在直流控制保护系统的设计中均强调了至少双重化配置的原则,双重化的范围包括:信号输入/输出回路,电源回路、通信回路、所有的控制保护装置等,且双重化系统互为热备用,备用子系统的数据库随工作子系统的数据库自动更新。另外,工作的子系统和备用子系统间的切换要既可以手动,也可以自动进行。子系统间状态转换不影响高压直流系统的正常运行。一个子系统出现故障,不影响其他子系统的运行。

3 若换流站为双极接线,则当一个极的装置检修时,不会对继续运行的另外一极的运行方式产生任何限制,也不会导致另一极任何控制模式或功能失效,更不会引起另一极停运。当每极采用两个阀组串联接线时,将有很多种运行方式,因此要求每个阀组的检修或投退均不会对继续运行的其他阀组的运行产生任何限制。

4 从高压直流系统的实际运行情况来看:直流控制保护系统是一个密切联系、不可分割的整体,但从国内的运行维护习惯以及从减轻控制系统负载率角度考虑,控制和保护系统宜具备一定的独立性,这种相对独立性通常可以是指板卡独立、电源独立、测量回路独立或整个控制/保护机箱独立。

5 目前两端长距离高压直流输电工程的功率方向基本上是

可以双方向的,因此要求每个换流站的直流控制保护系统既能适用整流运行,也能适用逆变运行。

6.3.3 本条是关于直流控制系统设计的规定。

1 双极功率控制模式是按运行人员给定的双极功率指令进行调节,并按两个极直流电压将直流电流分配给每个极,且使极间不平衡电流最小的控制模式;独立极功率控制模式是按运行人员给定的本极功率指令进行调节,并按本极的直流电压计算本极直流电流的控制模式;同步极电流控制模式是直接按运行人员下达的极电流指令进行调节以确定传输功率,且两站将自动协调电流指令,以免丧失电流裕度的控制模式。

2 $\pm 800\text{kV}$ 换流站的运行方式有两大特点:多样性和部分阀组运行。因此高压直流系统的基本控制功能要能满足各种运行方式。

6.3.4 本条是关于直流保护系统设计的规定。

1 目前,国内外高压直流保护均至少双重化配置,冗余配置的高压直流保护装置采用不同原理,测量器件、通道及辅助电源等独立配置。另外,由于现代高压直流控制系统的鲁棒性,对于一些交、直流系统异常运行状态,高压直流保护动作不会直接停运高压直流系统。控制系统可以采取很多的控制策略以维持高压直流系统运行,因此,防止高压直流保护系统单一元件故障造成高压直流系统停运是对高压直流保护系统的重要要求,而多重化高压直流保护系统易于构成满足此要求的保护出口逻辑。但是,随着高压直流保护系统硬、软件系统功能的不断强大,通过采取一些可行的措施,如测量传感器的监视、数据传输路径的监视、PCI板的监视、处理器插线板的监视、测量值的校核等方法,高压直流保护系统双重化配置也是可以满足要求的,目前在建的贵广二回高压直流输电工程,以及三峡至上海高压直流输电工程中的高压直流保护系统均采用双重化配置。 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电系统的大容量输送及其在电网中地位的重要性,对运行可靠性提出了更高的要求,也就

对直流控制保护系统的可靠性提出了更高的要求。为了达到更高的系统可用率和可靠性,其保护系统也可采用三取二的保护配置方式。

2 根据±800kV 换流站的接线特点,换流器区保护分高端阀组区保护和低端阀组区保护,还增加了阀连接母线区的保护。

本规范推荐的各区域保护配置如下:

1)交流滤波器/并联电容器保护区通常配置滤波器组联线保护、滤波器组过电压保护、滤波器小组断路器失灵保护、滤波器小组差动保护、高压电容器(交流滤波器,并联电容器)不平衡保护、过流保护、零序过流保护、多调谐滤波器内电抗器、电阻器支路过负荷保护、交流滤波器失谐监视等保护。

2)换流变压器保护区通常配置换流变压器联线差动保护、换流母线过电压保护、换流变压器差动保护、换流变压器过流以及过负荷保护、换流变压器零序差动保护、换流变压器零序电流保护、换流变压器中性点偏移保护、换流变压器过激磁保护、换流变压器饱和保护、换流变压器本体保护,包括瓦斯保护、压力释放、油温和绕组温度异常保护以及换流变压器冷却系统故障保护等。

3)换流器通常配置晶闸管元件异常保护、晶闸管元件过电压保护、阀阻尼回路过应力保护、换流器触发系统故障保护、阀短路保护、阀组过流保护、误触发和换相失败保护、直流过电流保护、直流电压异常保护、换流变压器阀侧至阀厅区域的接地故障保护、换流变压器阀侧绕组的交流电压异常保护等。

4)直流开关场通常配置极母线差动保护、极中性母线差动保护、双极中性线差动保护、阀连接母线区的保护、高速直流开关保护、油绝缘平波电抗器本体保护,包括瓦斯保护,油温过高,油压异常,油位过低,压力释放和冷却系统故障等保护。

5)直流滤波器通常配置直流滤波器差动保护、过流保护及过负荷保护、高压容器不平衡保护、直流滤波器失谐状态的监视等保护。

6)直流接地极线路通常配置地极引线差动保护、地极引线过流保护、地极引线不平衡保护,地极引线过压(开路)保护、站内直流接地过流保护等。

7)直流线路保护通常配置直流线路行波保护、直流线路差动保护、直流线路低电压保护等。

6.3.5 本条是关于直流远动系统设计的规定。

1 从目前国内工程的情况来看,直流控制保护系统信号均通过两站直流控制保护系统之间的传输通道进行传送。传送站监控系统信号有两种方式:第一种是通过两站局域网之间通信传送,第二种是通过两站直流控制保护系统之间的传输通道进行传送。

2 直流远动系统信号传输的延时要包括通信系统传输信号的延时。另外,对于所采用的通信系统,各工程均有所不同,天广高压直流输电工程采用的是 PLC,贵广高压直流输电工程采用 OPGW,三常和三广高压直流输电工程均采用 OPGW。从实际运行情况来看,无论是 PLC 还是 OPGW 系统,均能满足直流控制保护系统的传输速率要求。考虑到光纤通信系统在各大网已得到较广泛的应用,因此,要尽可能采用光纤通信系统作为传输主通道,以便提高传输可靠性。如果通道安排有可能的情况下,采用独立的 2M 传输通道将减少中间通信设备环节,更有助于提高可靠性,尤其是在传输大量更完整的对侧换流站控制保护信息的情况下。

6.4 直流线路故障测距系统

6.4.1 长距离高压直流线路的长度均较长,且经常跨越山区和复杂地形区域,因此,每侧换流站配置可靠的直流线路故障测距装置非常必要。从目前收资情况来看:葛洲坝至上海的高压直流输电系统曾采用的直流线路故障测距系统由于没有考虑到 PLC 中继站的因素,其测距效果不太理想,因此,如果高压直流输电线路中有 PLC 中继站时,必须在 PLC 中继站同样配置直流线路故障测

距系统,并以 PLC 中继站为界,分别进行故障测距。

6.5 直流暂态故障录波系统

6.5.1 根据 $\pm 800\text{kV}$ 换流站的阀组配置特点,本规范提出了按阀组配置直流暂态故障录波系统。

三常和三广高压直流输电工程的直流暂态故障录波是集成在高压直流控制保护系统中的,三沪高压直流输电工程的直流暂态故障录波既有集成在高压直流控制保护系统中的,也有独立外置的,天广和贵广高压直流输电工程的直流暂态故障录波均是独立外置,因此,本条对这两种配置方式均表示认可,推荐采用独立外置配置方式。

6.6 阀冷却控制保护系统

6.6.1 由于阀冷却系统是换流站的重要辅助系统,其运行状态的好坏将直接影响到高压直流输电系统的运行状态,因此,需要为阀冷却系统配置可靠、有效的控制保护系统。另外,考虑到水冷却阀应用比空气冷却多,本条规定主要针对水冷却系统进行说明。

根据 $\pm 800\text{kV}$ 换流站的阀组配置特点,每组阀组都可独立投退,因此要按阀组设置阀冷却控制保护系统。

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要具有对其硬件、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,要自动切换到备用系统,其切换过程不要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,要发出跳闸命令至高压直流控制保护系统以停运高压直流系统。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,该系统不要对运行系统产生任何影响。

6.6.2 通过对这些重要设备的监控,可提供运行所需要的冷却容量,以避免阀过应力。

6.7 站用直流电源系统及交流不停电电源系统

6.7.1 本条是关于站用直流电源系统设计的规定。

1 换流站直流电源系统除配置方式、交流电源事故停电时间等不同于常规 500kV 变电站外,其系统接线方式、网络设计、直流负荷统计、蓄电池及充电装置等设备选择和布置、保护和监控等设计原则仍可执行现行行业标准《电力工程直流系统设计技术规程》DL/T 5044 的有关规定。

2 根据 $\pm 800\text{kV}$ 换流站中的每个阀组的控制保护系统要完全独立的原则,本规范提出每个阀组的直流电源系统也可分别独立设置。每套直流系统均由 2 组蓄电池、3 套充电装置及相应的直流屏等组成。

6.7.2 本条是关于站用交流不停电电源系统设计的规定。

1 换流站交流不停电系统除系统配置、接线方式和交流电源事故停电时间等不同于常规 500kV 变电站外,其系统的负荷统计、保护和监测、设备布置等设计原则上仍可执行现行行业标准《火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程》DL/T 5136 的有关规定。

2 根据 $\pm 800\text{kV}$ 换流站的接线特点及重要性,本规范提出除配置 1 套交流不停电电源对全站公用的交流不停电负荷供电外,当换流站直流控制和保护系统采用交流不停电电源供电时,按阀组配置交流不停电电源。每套交流不停电电源采用主机双套冗余配置。

6.9 全站时间同步系统

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,并具有主/备时钟源自动切换的功能。对全站的所有智能设备统一对时。

7 换流站通信设计

7.1 换流站主要通信设施

综合布线可按实际工程情况及业主要求考虑;运行条件允许时,通信机房可不设置专门的动力和环境监测系统,要由全站视频安全监视系统统一考虑。

根据系统通信设计方案,确定换流站内光纤通信和载波通信的设备配置。

调度数据网、综合数据网和会议电视终端要根据整个网络的配置要求来进行设计和配置。换流站之间和换流站至调度端之间的主备用通信通道宜采用光纤通信,换流站之间仅以迂回光纤通道作为备用通道时,可考虑在新建输电线路上同杆架设第二条光缆或租用公网及其他运营商的光纤,也可采用另外一种通信方式(如载波通信)作为备用通道。

7.2 系 统 通 信

具体传输信息在工程实施中要由电气二次和系统二次专业确定。

7.3 站 内 通 信

当换流站设一台调度行政交换机不能满足要求时,可以考虑增设一台交换机或采用虚拟分区方式。

8 换流站土建

8.2 建 筑

8.2.3 本条根据换流站建筑物的性质、重要程度、使用功能及防水层合理使用年限,对建筑屋面防水划分相应的防水等级:阀厅是换流站最重要的生产建筑,其屋面防水等级要按Ⅰ级考虑,防水层的合理使用年限不要低于25年,可采用复合压型钢板进行防水设防或采用3道或3道以上防水设防(其中应有1道卷材);控制楼、户内直流场、GIS室、站用电室、继电器小室、综合楼、综合水泵房、检修备品库、车库等其他建筑物屋面防水等级宜按Ⅱ级考虑,防水层的合理使用年限宜为15年,可采用2道防水设防(其中应有1道卷材)或采用压型钢板进行设防。

8.2.4 为便于阀厅与控制楼之间的设备及管道联系,同时便于工作人员的巡视观察,阀厅与控制楼要采用联合布置方式,根据目前国内已投运±800kV直流换流站换流区域建筑物的布置情况,阀厅和控制楼的联合布置方案大致分为以下两种:

1 联合布置方案1:当同极高端阀厅、低端阀厅换流变压器采用“面对面”布置时,主控制楼与极1和极2低端阀厅共同组成联合建筑,2幢辅助控制楼分别与极1、极2高端阀厅组成联合建筑(见图4)。

2 联合布置方案2:当全站24台换流变压器采用“一字形”排列布置于4幢高、低端阀厅的交流场侧时,主控制楼、辅助控制楼分别布置在同极的高端阀厅和低端阀厅之间(见图5)。

8.2.6 由于换流阀对空气洁净度要求很高,为防止灰尘进入,工艺上通过空调系统对阀厅室内进行加压送风并维持5Pa~30Pa的微正压,以保持阀厅室内空气的洁净度,因此本条对阀厅的气密

性能提出了明确要求。

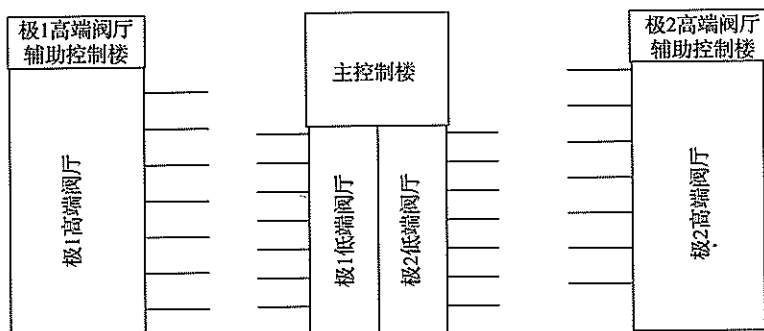


图4 联合布置方案1：“面对面”布置方案

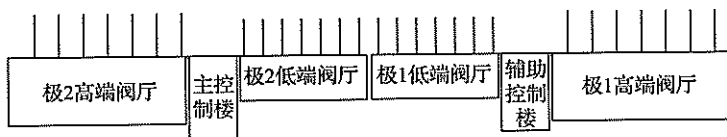


图5 联合布置方案2：“一字形”布置方案

8.2.7 根据对目前国内已投运 $\pm 800\text{kV}$ 直流换流站的阀厅建筑设计掌握的情况,同时依据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016和《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229的相关规定,本条对阀厅零米层出入口的设置、净空尺寸、门的开启方向及性能参数等作出了明确要求。

8.2.10 如果阀厅外墙设置了采光窗,太阳中的紫外线就会照射到阀厅内部。此外,采光窗的玻璃一旦破碎,阀厅的气密性能就会受到严重影响,发生上述情况将对阀厅内设备的安全和稳定运行造成极大危害,因此本条规定阀厅外墙不应设置采光窗。

8.2.12 阀厅的火灾危险性类别为丁类、耐火等级为二级,根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016对于二级耐火等级丁类厂房的规定,梁、柱和屋盖可采用无防火保护的钢结构。

8.2.17 由于阀厅与控制楼之间采用联合布置方式,同时这2幢建筑物又分属于不同的防火分区,因此本条要求与阀厅相邻的控

制楼墙体要按防火墙进行设置,满足 3.00h 耐火极限的要求,与之相适应,门窗要采用满足 1.20h 耐火极限要求的甲级防火门窗。

8.2.19 从目前国内已投运换流站的情况来看,进出控制楼的电缆有的是采用电缆沟敷设,也有的是采地下电缆夹层敷设,具体采用哪种敷设方案取决于工艺布置和运行、检修习惯。如果采用电缆沟敷设方案,需要解决的技术问题和采取的技术措施要少一些;如果采用地下电缆夹层敷设方案,则需要综合考虑建筑防火、疏散、通风、排烟、防水、排水、防潮、防小动物等技术措施。

8.2.27 根据对目前国内已投运直流换流站的调查结果来看,几乎所有换流站的阀厅、户内直流场、GIS 室等建筑物屋面均采用压型钢板围护系统,有近一半换流站的控制楼屋面也采用了压型钢板围护系统,为了有利于迅速排除屋面雨水,本条根据现行国家标准《屋面工程技术规范》GB 50345 的相关规定,要求压型钢板屋面的排水坡度不要小于 10%。由于屋面压型钢板的接缝和螺钉孔较多,同时由于压型钢板自重较轻,容易发生漏水或被风掀开事故,因此本条规定压型钢板屋面要采取可靠的整体防水、抗风技术措施。

8.3 结 构

8.3.1 阀厅、户内直流场和控制楼是换流站的主要生产建筑物,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。考虑到钢屋架跨度大,因此结构重要性系数相应提高,宜采用 1.15。

8.3.2 控制楼和阀厅的楼面、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 $\pm 800\text{kV}$ 换流站及 $\pm 500\text{kV}$ 换流站的工艺布置和工程设计经验确定。

8.3.3 阀厅、户内直流场为单层厂房,房屋高度高,跨度大,而且为重要建筑物,因此基本风压要按现行国家标准《建筑结构荷载规

范》GB 50009 规定的 100 年一遇风压采用。

8.3.4 由于±800kV 换流站阀厅靠换流变压器侧防火墙的长度约为 60m~80m,纵向长度较长(特别是高端阀厅),如采用现浇钢筋混凝土防火墙,其产生的温度应力将较大,钢筋混凝土墙施工将更加困难,因此本规范推荐防火墙采用现浇钢筋混凝土框架填充墙结构,阀厅主体结构采用钢-钢筋混凝土框架(或钢-钢筋混凝土框架剪力墙)混合结构体系。

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要尽可能采用复合压型钢板轻型屋面,对风荷载较大地区也可采用以压型钢板为底模的钢-混凝土板组合楼板结构。

换流变压器之间防火墙兼作阀厅抗侧力结构,要与阀厅防火墙结构形式一致,因此本规范规定换流变压器之间、油浸式平波电抗器防火墙宜采用现浇钢筋混凝土框架填充墙结构,也可采用现浇钢筋混凝土结构。

8.3.5 现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 规定高层建筑钢结构承重构件的螺栓连接要采用摩擦型高强度螺栓,本规范参照执行。

有机防腐涂层防护体系是一种常用的钢结构防腐蚀方法,在我国工业与民用建筑工程中得到广泛应用。对于室内无侵蚀性环境,有机防腐涂料的维护年限可达 15 年~20 年,对于室内弱侵蚀性环境,其维护年限可达 10 年~15 年。有机涂料具有节能、环保、施工方便、维护性能好的特点,缺点是维护次数相对较多,但仍能满足换流站一般建筑物钢结构的防腐要求,设计要根据房屋的使用年限要求合理选用。

热浸镀锌作为一种传统的防腐方式,其防腐蚀性能较高,有效解决了涂料防腐体系的使用寿命短等缺点,防腐年限一般可达 30 年,在输变电工程构(塔)架中得到广泛应用。但良好的防护性能的同时,带来了高污染,高能耗,国家已在逐步立法限制热浸镀锌的发展,已经不准新建热镀锌厂;同时,热浸镀锌受镀槽大小限制,运

输限制,使得很多大型构件施工起来非常不便,加上钢材受热变形、发花、镀层修复困难等问题,要求更新更好的技术来解决。另外,由于热浸镀锌高强度螺栓容易发生氢脆破坏、扭矩系数发散、钢结构摩擦面较难处理等缺点,因此限制了摩擦型连接(或承压型连接)高强螺栓的使用,而建筑物承重钢结构的连接一般采用摩擦型连接(或承压型连接)高强螺栓,因此换流站建筑物不宜采用热浸镀锌防腐。

冷喷锌的出现有效解决了有机涂料防腐体系和热镀锌防腐体系的缺陷,该技术在欧洲取得了较快发展。随着国家节能减排等措施的相继出台,热镀锌将会限制使用,冷喷锌具有节能、环保、施工方便、维护性能好、全寿命成本低等优势,且具有防腐年限长(一般达 30 年以上)、经济性好的特点,有很好的综合性价比和竞争力,对于变电构(支)架等室外构筑物宜优先采用冷喷锌,对室内建筑物,经济条件允许时,也要优先采用冷喷锌。

8.3.6 阀厅、控制楼、户内直流场、GIS 室、站用电室、继电器小室为主要生产建筑物,本规范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 的有关规定执行。

9 换流站辅助设施

9.1 采暖、通风和空气调节

9.1.2 阀厅火灾危险性类别为丁类(建筑面积小于 5000m^2),根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016—2006 第 9.1.3 条的规定,阀厅可不设消防排烟系统。为方便恢复生产,建议设置灾后机械排烟系统。

9.2 阀冷却系统

9.2.1 本条是关于换流阀内冷却的规定。

1 要控制空气中的离子和氧气进入换流阀内冷却系统。国内工程普遍采用串联氮气密封系统稳压补水或设置高位膨胀水箱稳压补水两种方式。

2 若换流阀对于阀冷却系统冷却介质电导率无特殊要求时,出于防冻考虑,可采用超纯水+乙二醇方式作为冷却介质。否则要设电加热装置,电加热装置容量要预留足够裕度,保证直流停运时阀冷却系统冷却介质温度不低于 10°C 。

9.2.2 本条是关于换流阀外冷却的规定。

1 水冷方式散热效率高,但对于水源可靠程度要求也高,有时会成为影响站址成立的重要因素;空冷方式散热效率较低,但对北方缺水及寒冷地区适应性较好。

2 由于换流阀内冷水温度较高,外冷喷淋水淋到冷却塔盘管时,大量的水被立即蒸发,如外冷水硬度高或杂质多,会在盘管表面结垢而影响换热效率,为了防止结垢,需对外冷却系统水质采取适当的软化措施。原水需先经过软化和除盐设备处理,通常可以采取的措施有反渗透、软化处理或投加水质稳定剂等。经反渗透

处理后的水质好,可以大大降低补充水量并减少排污量,但其设备投资大,对运行人员要求较高。软化处理后水质较好,运行维护简便,但占地及投资较大。投加水质稳定剂成本低,但浓缩倍率较低,补充水量及排污量大。根据工程实践,建议在来水水质较好且水质稳定的情况下,采用反渗透处理系统,可以保证反渗透膜组高效运行,不易发生堵塞、破损等威胁安全运行的情况发生。

9.3 供水系统

9.3.1 一般情况下,换流站的运行需要提供连续不断的生产用水,可靠的水源是换流站安全运行的保障。在水源选择时,不同区域差异很大。在华东、华南等地区,城市(镇)建设相对发达,市政自来水作为换流站水源运行、维护费用低,一般优先采用自来水。在西北、西南等地区,换流站站址通常靠近水(火)电电源点,大多地处偏僻,附近没有自来水管网或距离较远,此时可根据具体情况,采用深井地下水、泉水等水源。

9.3.2 当换流阀外冷却方式为水冷,以往硬性规定要两路可靠水源,实际工程中往往难以做到,因此本规范修改为:换流站宜有两路可靠水源。当仅有一路水源时,要设置容积不小于 3d 用水量的生产用水储水池,这样当该水源发生故障时,能有至少 3d 的修复时间。

9.4 火灾探测与灭火系统

9.4.1 火灾探测报警系统的设置是按现行国家标准《火力发电厂与变电站设计防火规范》GB 50229—2006 第 11.5.21 条的规定,并结合 800kV 直流换流站的实际情况而制定的,补充了阀厅的探测报警要求。

吸气式感烟探测器采用主动空气采样探测方式,即采用抽气泵不间断地把被保护区域内的空气样品抽进探测室进行探测,其探测结果和响应时间不易受环境气流的影响,可以发现由于线路

过载产生的微小烟雾,在火灾生成初期消除火灾隐患,使火灾的损失降到最小。

缆式线型差定温探测器要同时具备定温特性和差温特性,安装在设备周围提供早期火灾探测功能,探测器可设定温度报警和设定温升率报警。

9.4.3 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自动水喷雾灭火系统,而合成泡沫喷雾和排油注氮等灭火系统对于油浸式设备都具有良好的灭火效果,如当地消防部门审查许可也不排除使用。

10 换流站噪声控制和节能

10.1 换流站噪声控制

10.1.1 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、滤波器组的电容器和电抗器、阀冷却风扇(冷却塔)等。如果将上述声源控制好,则高压直流换流站的噪声就能有效控制。

10.1.2 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,要在设备选型时尽量考虑低噪声设备,如低噪声电抗器和电容器等。

10.1.3 目前部分前期投产的换流站在运行过程中产生的噪声水平超过控制标准,在运行后进行了噪声治理,根据工程实际条件采用了隔声、吸声和消声等措施,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。

10.1.4 换流站部分场合(如换流变压器、电抗器隔声罩内部、交流滤波器近场)噪声水平超标,但对外界影响小,运行人员在该区域停留时间短,这些场合应对工作人员采取职业保护措施,不必高投入降低工作场所的噪声水平。

10.2 节 能

10.2.1 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% 输送容量的无功设备才能满足系统运行的条件。合理选择无功和滤波器装置的配置能满足直流系统各种运行方式的要求,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。

10.2.2 换流站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、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。通常换流站的损耗约为换流站额定功率的 $0.5\% \sim 1\%$,其中,换流变压器和晶闸管换流阀的损耗在换流站总损耗中占绝大部分(约 $71\% \sim 88\%$)。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闸管换流阀的损耗是关键。

10.2.3 换流站不同于常规变电站,站内应用冷却设备众多,如换流变压器、降压变压器、阀组冷却设备及其空调系统等。该部分冷却系统的能耗在站用电负荷中占了 $60\% \sim 76\%$,所以选择效率高、能耗低的冷却设备对减少站用电损耗能带来明显的效果。

10.2.4 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 $30\% \sim 45\%$ 。我国建筑能耗已占社会总能耗的 $20\% \sim 25\%$,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:一是建筑物自身的节能,二是空调系统的节能。建筑物自身的节能主要是从建筑设计规划、围护结构、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,本条提出了节能要求和措施。

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。

S/N:1580177·972



9 158017 797206 >



统一书号: 1580177·972

定 价: 21.00 元