



中华人民共和国国家标准

GB/T 28541—2012

±800 kV 高压直流换流站 设备的绝缘配合

Insulation co-ordination for equipments of ±800 kV high voltage direct
current converter stations

2012-06-29 发布

2012-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布





目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	5
5 使用条件	5
5.1 正常环境条件	5
5.2 标准参考大气条件	5
5.3 温度校正	6
5.4 海拔校正	6
6 ±800 kV 直流换流站设备的绝缘配合的基本原则	7
6.1 设备的绝缘配合	7
6.2 设备上的作用电压	7
6.3 设备最高电压 U_m 的范围	7
6.4 设备的绝缘性能考核	7
7 ±800 kV 直流换流站过电压及避雷器保护方式	8
7.1 ±800 kV 高压直流换流站过电压类型	8
7.2 ±800 kV 直流换流站设备的避雷器保护方式	9
8 ±800 kV 直流换流站设备的绝缘配合方法	11
8.1 概述	11
8.2 确定要求耐受电压 (U_{rw})	11
8.3 确定额定耐受电压	12
9 ±800 kV 直流换流站设备绝缘水平	12
9.1 设备最高电压	12
9.2 直流换流站设备绝缘水平	12
附录 A (资料性附录) ±800 kV 直流换流站绝缘配合例子	16

前 言

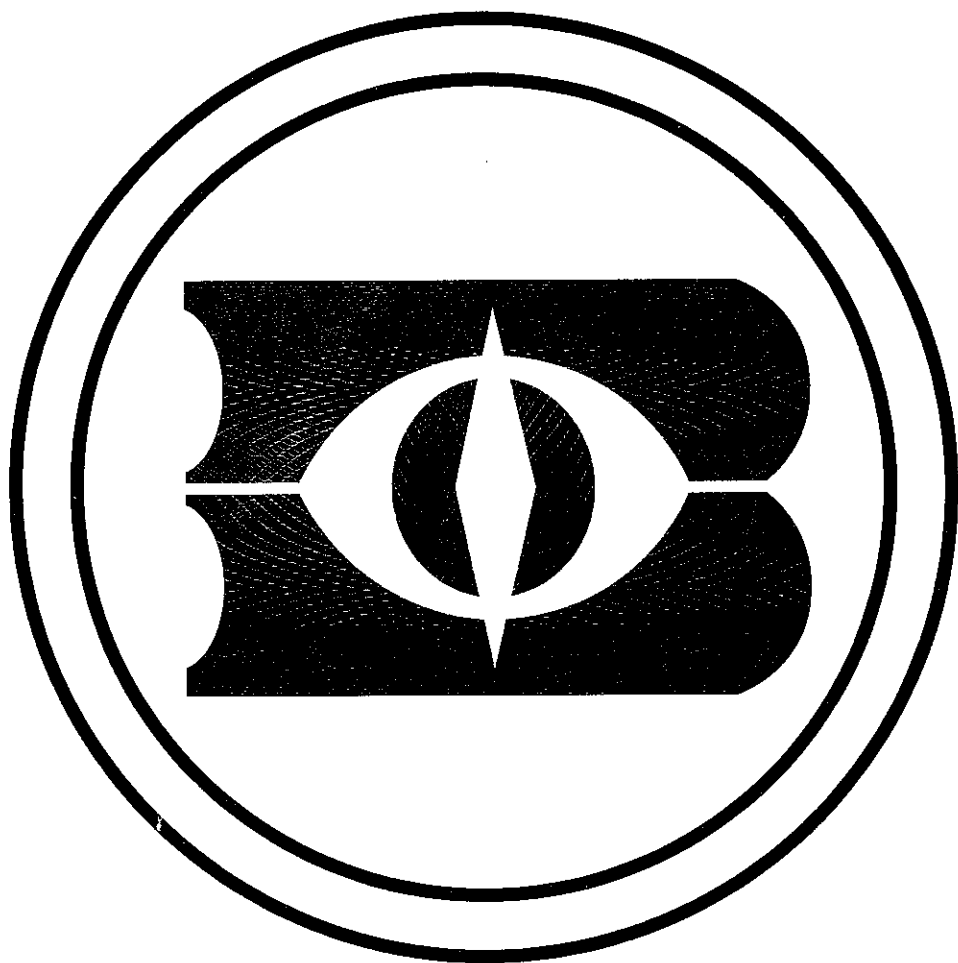
本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国高压直流输电设备标准化技术委员会(SAC/TC 333)归口。

本标准起草单位：西安高压电器研究院有限责任公司、南方电网技术研究中心、西安西电避雷器有限责任公司、西安西电电力系统有限公司、西安电力电子技术研究所、西南电力设计院电网分公司、新东北电气(锦州)电力电容器有限公司、新东北电气(沈阳)高压开关有限公司。

本标准主要起草人：苟锐锋、程晓绚、吕金壮、黄莹、杨晓辉、何计谋、田方、王瑚、田恩文、黄超、楼晓峰、周德才、张化良、戈兴茹、李福成。



±800 kV 高压直流换流站 设备的绝缘配合

1 范围

本标准规定了设备绝缘水平选择原则,给出了具有代表性的耐受电压值,在制定各设备标准时,应根据本标准的要求,确定设备的绝缘水平。

本标准适用于±800 kV 直流换流站换流设备和直流场设备的绝缘配合。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合

GB/T 311.2—2002 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 311.3—2007 绝缘配合 第3部分:高压直流换流站绝缘配合程序

GB 11032—2010 交流无间隙金属氧化物避雷器

GB/T 13498—2008 高压直流输电术语

GB/T 22389—2008 高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器导则

IEC 60700-1:2008 高压直流输电系统晶闸管阀 第1部分:电气试验

IEC 60721-2-2 电气工程环境条件分类 第2部分 第2节 降水和风

3 术语和定义

GB/T 311.3—2007、GB 11032—2010、GB/T 13498—2008 和 GB/T 22389—2008 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 311.3—2007、GB/T 22389—2008 中的某些术语和定义。

3.1

直流系统电压 DC system voltage

最高的对地平均电压或平均运行电压,不包括谐波和换相过冲。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.1]

3.2

持续运行电压最大峰值(PCOV) peak value of continuous operating voltage

在换流站直流侧设备上持续运行电压的最高峰值,包括换相过冲。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.2]

3.3

持续运行电压幅值(CCOV) crest value of continuous operating voltage

在换流站直流侧设备上持续运行电压的最高峰值,但不包括换相过冲。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.3]

3.4

过电压 overvoltage

单相导体对地或相-相导体之间超过交流系统最高运行电压的峰值或直流换流站直流侧的持续运

行电压峰值(PCOV)的电压。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.4]

3.4.1

暂时过电压(TOV) temporary overvoltage

持续时间相对较长的工频过电压。

注：在某些工况下该电压的频率可能比工频高或低几倍。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.4.1]

3.4.2

缓波前过电压 slow-front overvoltage

瞬态过电压,通常是单极性的,到峰值的时间为 $20 \mu\text{s} < T_1 < 5000 \mu\text{s}$,半峰值时间 $T_2 < 50 \text{ms}$ 。

注：在绝缘配合中,缓波前过电压是根据波形来分类,与来源无关。尽管实际系统中产生的波形与标准波形有大的偏差,但在多数情况下,本部分以过电压分类和峰值来描述是足够的。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.4.2]

3.4.3

快波前过电压 fast-front overvoltage

由于雷电放电或其他原因,在绝缘配合中按类似于雷电冲击试验标准波形来考虑。

瞬态过电压,通常是单极性的,到峰值的时间为 $0.1 \mu\text{s} < T_1 < 20 \mu\text{s}$,半峰值时间 $T_2 < 300 \mu\text{s}$ 。

注：在绝缘配合中,缓波前和快波前过电压是根据波形来分类,与来源无关。尽管实际系统中产生的波形与标准波形有大的偏差,但在多数情况下,本部分以此过电压类别分类和峰值描述是足够的。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.4.3]

3.4.4

极快波前过电压 very fast-front overvoltage

瞬态过电压,通常是单极性的,到峰值的时间为 $1 \text{ns} < T_1 < 10 \text{ns}$,半峰值时间 $T_2 < 1 \text{ms}$,其叠加振荡频率为 $30 \text{kHz} < f < 100 \text{MHz}$ 。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.4.4]

3.4.5

陡波前过电压 steep front overvoltage

瞬态过电压,属于快波前过电压,达到峰值时间为 $3 \text{ns} < T_1 < 1.2 \mu\text{s}$,用于试验的陡波前冲击电压定义如 IEC 60700-1:2008 的图 1。

注：波前时间由系统研究决定。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.4.5,修改过]

3.4.6

联合过电压(暂时、缓波前、快波前、极快波前) combined overvoltage

由同时施加于相间(或纵)绝缘的两个端子和地之间的两个电压分量组成的过电压。以峰值较高者来确定过电压类型。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.4.6]

3.5

代表性过电压 representative overvoltages

该过电压对绝缘电介质效应等同于系统在运行时由于不同原因产生的某一给定类型的过电压。

注：在本部分中,一般的代表性过电压都是通过假定或实测的最大值来表征。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.5]

3.5.1

代表性缓波前过电压(RSLO) representative slow-front overvoltage

设备端子间具有标准的操作冲击波形的电压。

[GB/T 311.3—2007, 定义 3.5.1]

3.5.2

代表性快波前过电压(RFAO) representative fast-front overvoltage

设备端子间具有标准的雷电冲击波形的电压。

[GB/T 311.3—2007, 定义 3.5.2]

3.5.3

代表性陡波前过电压(RSTO) representative steep-front overvoltage

波前时间小于标准雷电冲击而大于极快波前过电压的电压。

注：用于试验的陡波前冲击电压如 IEC 60700-1 中图 1 所示。波前时间是由系统研究决定。

[GB/T 311.3—2007, 定义 3.5.3]

3.6

避雷器的持续运行电压 continuous operating voltage of an arrester

高压直流换流站直流侧避雷器持续运行电压是由直流电压叠加谐波电压组成的。其持续运行电压分为三个不同的值：

a) 最大峰值持续运行电压 peak continuous operating voltage, PCOV

最大峰值持续运行电压是指包括换相过冲的最高持续运行电压峰值。

b) 峰值持续运行电压 crest value of continuous operating voltage, CCOV

峰值持续运行电压是指不包括换相过冲的最高持续运行电压峰值。

c) 等效持续运行电压 equivalent continuous operating voltage, ECOV

等效持续运行电压是指等同于在实际运行电压下产生相同功耗的电压值。

注 1：既可选用工频电压，也可选用直流电压，或者两者的组合。

注 2：电压值和功耗可采用计算方法或通过特殊试验回路的试验确定。

[GB/T 22389—2008, 定义 3.2]

3.7

避雷器配合电流 co-ordination currents of an arrester

用于系统绝缘配合，确定避雷器最大残压的电流称为配合电流。配合电流分为以下四种：

a) 陡波冲击电流 steep current impulse

按 GB 11032—2010 中 3.16 的规定。

b) 雷电冲击电流 lightning current impulse

按 GB 11032—2010 中 3.17 的规定。

c) 操作冲击电流 switching current impulse

按 GB 11032—2010 中 3.32 的规定。

d) 缓波前操作冲击电流 slow front switching current impulse

视在波前时间为 $1\ 000\ \mu\text{s} \pm 100\ \mu\text{s}$ ，半峰值时间约为波前时间 2 倍的冲击电流峰值。

[GB/T 22389—2008, 定义 3.4]

3.8

直接保护的设备 directly protected equipment

与避雷器直接并联的设备，它们之间的距离可以忽略。且任何代表性过电压等于相应的避雷器的保护水平。

[GB/T 311.3—2007, 定义 3.11]

3.9

避雷器保护水平 protective levels of an arrester

对于每一类别的电压,相应于配合电流下的避雷器两端的残压。

下述 3.12.1 到 3.12.3 定义适用高压直流换流站设备。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.12]

3.9.1

操作冲击保护水平(SIPL) switching impulse protective level

当避雷器通过操作冲击配合电流时,出现在避雷器上的残压。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.12.1]

3.9.2

雷电冲击保护水平(LIPL) lighting impulse protective level

当避雷器通过雷电冲击配合电流时,出现在避雷器上的残压。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.12.2]

3.9.3

陡波前冲击保护水平(STIPL) steep-front impulse protective level

当避雷器通过陡波前冲击配合电流时,出现在避雷器上的残压。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.12.3]

3.10

配合耐受电压 co-ordination withstand voltage

在实际运行条件下,绝缘结构满足性能指标的每类电压的耐受电压值。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.13]

3.11

要求耐受电压 required withstand voltage

在标准耐受试验中确保绝缘耐受满足实际系统运行的配合耐受电压的试验电压值。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.14]

3.12

额定耐受电压 specified withstand voltage

经过适当选择的高于或等于要求耐受电压的试验电压。

注 1: 对于交流设备,额定耐受电压标准值见 GB 311.1—1997。对于高压直流设备,额定耐受电压没有标准值,而是取舍到方便的可行值。

注 2: 设备耐受试验的标准波形及试验程序在 GB/T 16927.1—1997 和 GB 311.1—1997 中规定,但对一些直流设备(如晶闸管阀),为了能够更为真实地反映实际运行情况,其标准冲击波形可以修正。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.15]

3.12.1

额定操作冲击耐受电压(SSIWV) specified switching impulse withstand voltage

标准操作冲击波形的绝缘耐受电压。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.15.1]

3.12.2

额定雷电冲击耐受电压(SLIWV) specified lighting impulse withstand voltage

标准雷电冲击波形的绝缘耐受电压。

[GB/T 311.3—2007,定义 3.15.2]

3.12.3

额定陡波前冲击耐受电压(SSFIWV) specified steep-front impulse withstand voltage

IEC 60700-1:1998 中规定波形的绝缘耐受电压。

[GB/T 311.3—2007, 定义 3.15.3]

3.13

旁路开关 bypass switch

跨接在一个或多个换流桥直流端子间的机械电力开关装置,在换流桥退出运行过程中把换流桥短路;在换流桥投入运行过程中把电流转移到换流阀中。

3.14

旁路隔离开关 bypass disconnecter

与旁路开关并联的隔离开关。

3.15

高(压)端 12 脉动换流器 HV 12-p converter bridge

由两个 6 脉波换流桥串联组成的 12 脉波换流器,且一端与高压直流极母线相连,另一端与低(压)端 12 脉波换流器相连。

3.16

低(压)端 12 脉动换流器 LV 12-p converter bridge

由两个 6 脉波换流桥串联组成的 12 脉波换流器,且一端与直流中性母线相连,另一端与高(压)端 12 脉波换流器相连。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

LIPL:雷电冲击保护水平

SIPL:操作冲击保护水平

STIPL:陡波前冲击保护水平

SLIWL:额定雷电冲击耐受水平

SSIWL:额定操作冲击耐受水平

SSFIWV:额定陡波前冲击耐受水平

5 使用条件

5.1 正常环境条件

涉及到绝缘配合的正常环境条件如下:

- a) 周围空气温度不超过 40 °C 且 24 h 内测到的平均值不超过 35 °C。最低周围空气温度,对于“-10 °C 户外”级为 -10 °C;对于“-25 °C 户外”级为 -25 °C 以及对于“-40 °C”级为 -40 °C。
- b) 海拔不超过海平面以上 1 000 m。
- c) 周围空气没有显著地被灰尘、烟雾、腐蚀性气体、蒸汽或盐雾污染。
- d) 通常会出现凝露和沉积。考虑了以露水、凝露、雾、雨、雪、冰或积霜形式出现的沉积物。

注:沉积物的绝缘特性见 GB/T 16927.1,其他特性见 IEC 60721-2-2。

5.2 标准参考大气条件

标准参考大气条件为:

- a) 温度: $t_0 = 20$ °C;

- b) 压力: $p_0 = 101.3 \text{ kPa}$;
- c) 绝对湿度: $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$ 。

本标准规定的额定耐受电压均为相应于标准参考大气条件下的数据。

5.3 温度校正

对周围环境空气温度高于 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 处的设备, 其外绝缘在干燥状态下的试验电压应取本标准的规定耐受电压值乘以温度校正因数 K_t , 见式(1):

$$K_t = 1 + 0.0033(T - 40) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

T ——环境空气温度, 单位为摄氏度($^\circ\text{C}$)。

5.4 海拔校正

根据 GB 311.1—1997 附录 B 的规定, 海拔校正因数 K_a 可根据式(2)进行计算:

$$K_a = e^{m(H-1000)/8150} \quad \dots\dots\dots (2)$$

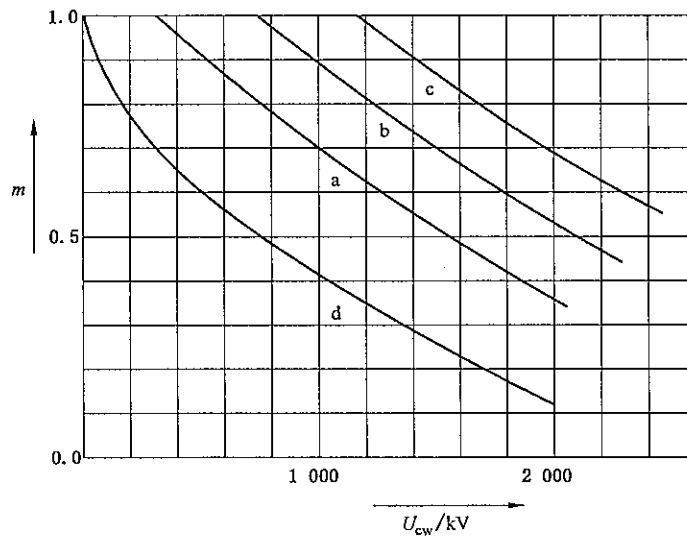
式中:

H ——设备安装地点的海拔高度, 单位为米(m)。

m 的取值如下:

- a) $m = 1.0$, 对直流耐受电压;
- b) $m = 1.0$, 对雷电冲击耐受电压;
- c) $m = 1.0$, 对空气间隙和清洁的绝缘子的短时工频耐受电压;
- d) m 按图 1, 对操作冲击耐受电压。

注: 指数 m 取决于包括在设计阶段未知的最小放电路径在内的各种参数。



说明:

- a——相对地绝缘;
- b——纵绝缘;
- c——相间绝缘;
- d——棒-板间隙(标准间隙)。

对于由两个分量组成的电压, 电压值是各分量的和。

图 1 指数 m 与配合操作冲击耐受电压 U_{cw} 的关系

对污秽绝缘子,指数 m 是探讨性的。对污秽绝缘子的长持续时间试验和短时工频耐受电压(如果要求),对于标准绝缘子 m 可低至 0.5,而对于防雾型 m 可高至 0.8。

6 ±800 kV 直流换流站设备的绝缘配合的基本原则

6.1 设备的绝缘配合

根据设备可能承受的过电压,并考虑设备的绝缘特性及可能影响绝缘特性的因素,从安全运行考虑和技术经济合理性两方面确定设备的绝缘水平。

6.2 设备上的作用电压

设备在运行中可能受到的作用电压,按照作用电压的幅值、波形及持续时间,可分为:

- a) 持续运行电压(其值不超过设备最高电压 U_m ,持续时间等于设备设计运行寿命);
- b) 暂时过电压(包括直流电压升高、谐振过电压);
- c) 缓波前(操作)过电压;
- d) 快波前(雷电)过电压;
- e) 陡波前过电压;
- f) 联合过电压。

6.3 设备最高电压 U_m 的范围

范围 I : $1 \text{ kV} < U_m \leq 100 \text{ kV}$;

范围 II : $100 \text{ kV} < U_m \leq 820 \text{ kV}$ 。

6.4 设备的绝缘性能考核

6.4.1 耐受电压试验的类型

设备绝缘性能的考核包括以下几类绝缘试验:

- a) 直流耐压试验;
- b) 交流工频耐压试验;
- c) 操作冲击试验;
- d) 雷电冲击试验;
- e) 陡波前冲击试验;
- f) 联合电压试验;
- g) 极性反转试验。

6.4.2 耐受电压试验类型的选择

6.4.2.1 范围 I 的设备

范围 I 的设备在持续直流电压、暂时过电压和操作过电压下的相对地绝缘性能,一般用直流耐压试验考核。

6.4.2.2 范围 II 的设备

范围 II 的设备在持续直流电压、暂时过电压和操作过电压下的绝缘性能用不同类型的试验考核。在持续直流电压及暂时过电压下,设备对老化和污秽的适应性宜用直流耐压试验考核。具体的持续时

间在相关设备标准中规定。

在操作过电压下设备的绝缘性能用操作冲击试验考核。

在雷电过电压下设备的绝缘性能用雷电冲击试验考核。

注 1: 开关设备的纵绝缘,按不同的电压范围,选用不同的绝缘试验类型:

a) 范围 I 的开关设备的纵绝缘性能用直流耐压试验和雷电冲击电压试验考核。

b) 范围 II 的开关设备的纵绝缘性能用雷电、操作冲击电压和直流耐压试验考核。

设备在陡波前过电压下的绝缘性能用陡波前冲击电压试验检验。

注 2: 换流阀单阀需完成陡波前冲击电压试验。

直流转换开关采用操作冲击电压和转换电压的联合电压试验,以及雷电冲击电压和转换电压的联合电压试验检验。

7 ±800 kV 直流换流站过电压及避雷器保护方式

7.1 ±800 kV 高压直流换流站过电压类型

7.1.1 概述

高压直流输电设备在运行期间,有可能承受由于系统遭受雷击、操作、故障或其他原因而产生的各种波形的过电压,根据波头形状的不同,可分为:

7.1.2 交流缓波前和暂时过电压

交流系统以最高电压运行,交流系统缓波前过电压和暂时过电压。该类型过电压确定了高压直流换流站交流侧的过电压保护水平和绝缘水平,同时影响到阀的绝缘配合。

交流母线避雷器承受的应力与交流网络中暂态现象有关。引起暂态现象以及相应应力的主要因素是交流滤波器的投切和换流变励磁饱和。清除换流变一侧的单相或三相接地故障将在换流母线上引起严重的暂态过电压。换流站附近发生单相接地故障,换流变绕组可能会完全放电,此时故障清除将引起暂态过电压。详细情况参见 GB/T 311.3—2007 的 6.4.1。

相对于±500 kV 直流系统而言,±800 kV 直流输送功率较大,其所需的无功补偿容量也相应显著增加,因此其直流甩负荷和接地故障清除等工况产生的暂时过电压的幅值更高,持续时间更长,并可能叠加谐波引起谐振过电压。

7.1.3 直流暂态过电压

7.1.3.1 直流系统运行方式

±800 kV 直流输电系统直流暂态过电压研究通常考虑下列运行方式(功率正送及功率反送下):

- a) 双极全压运行方式;
- b) 双极半压运行方式;
- c) 双极-极全压-极半压运行方式;
- d) 单极全压金属回线方式;
- e) 单极全压大地回路方式;
- f) 单极半压金属回线方式;
- g) 单极半压大地回路方式。

7.1.3.2 直流缓波前(操作)过电压

形成±800 kV 直流换流站缓波前(操作)过电压的故障工况包括:

- a) 直流侧接地、短路和开路。例如高(压)端 Y/Y 换流变阀侧绕组对地闪络;双极对称或不对称运行时,一极接地故障,在健全极产生感应过电压;地极线、金属回线开路故障等。
- b) 直流控制和保护系统失灵。例如全电压启动、阀连续丢失脉冲故障、逆变电站闭锁而旁通对未解锁、阀误导通、换流站失去交流电源等。
- c) 交流侧故障在直流侧产生的过电压。例如交流线路单相或三相接地和清除故障通过换流变压器传递至阀上,并且通过阀的串联联接,在阀侧产生对地附加过电压。
- d) 直流侧开关操作过电压。例如高、低(压)端 12 脉波换流器旁路开关合闸和分闸;投切直流滤波器;单极金属回线与单极大地回线运行方式转换时直流转换开关操作等。

7.1.3.3 快波前(雷电)和陡波前过电压

7.1.3.3.1 概述

高压直流换流站的不同区域应使用不同的方法评估快波前和陡波前过电压。

7.1.3.3.2 从交流线路到换流变压器网侧端的交流开关场区域

交流开关场的出线较多,并接有大量的交流滤波器、电容器和电力载波滤波器(PLC 滤波器)等设备,对侵入的过电压有衰

7.1.3.3.3 从直流线路到换流变压器阀侧端的直流场区域

直流开关场接有直流滤波器、平波电抗器等阻的设备及直流线路、金属回线、接地极线、极线和中性极线避雷器,雷电过电压一般不严重。

7.1.3.3.4 从换流变压器网侧端到换流器阀侧端的换流器区域

阀厅交流侧有换流变压器网侧 PLC 滤波器、极线及中性母线平波电抗器对雷电波的屏蔽,通过它幅值最低,波形类似于缓波前过电压。因此将其作为

7.1.4 交流滤波器过电压

交流滤波器设备绝缘水平可通过高压端对地故障研究决定,当故障地点发生在近地点时,高压端设备承受的过电压波形类似于快波前过电压。因为高压端电容和电感的阻尼作用,低压端设备基本不承受快波前过电压。

7.1.5 直流滤波器过电压

直流滤波器设备绝缘水平可通过高压端对地故障研究决定,当故障地点发生在近地点时,高压端设备承受的过电压波形类似于快波前过电压。因为高压端电容和电感的阻尼作用,低压端设备基本不承受快波前过电压。

7.2 ±800 kV 直流换流站设备的避雷器保护方式

7.2.1 概述

换流站设备可以采用避雷器直接保护或几种避雷器串联的方式保护,重要设备尽可能地由靠近的避雷器直接保护。最终采用的设备保护方式将在完成过电压和绝缘配合研究,获得系统最佳避雷器布置方式后确定。

±800 kV 高压直流换流站可能采用的避雷器及其布置见图 2。

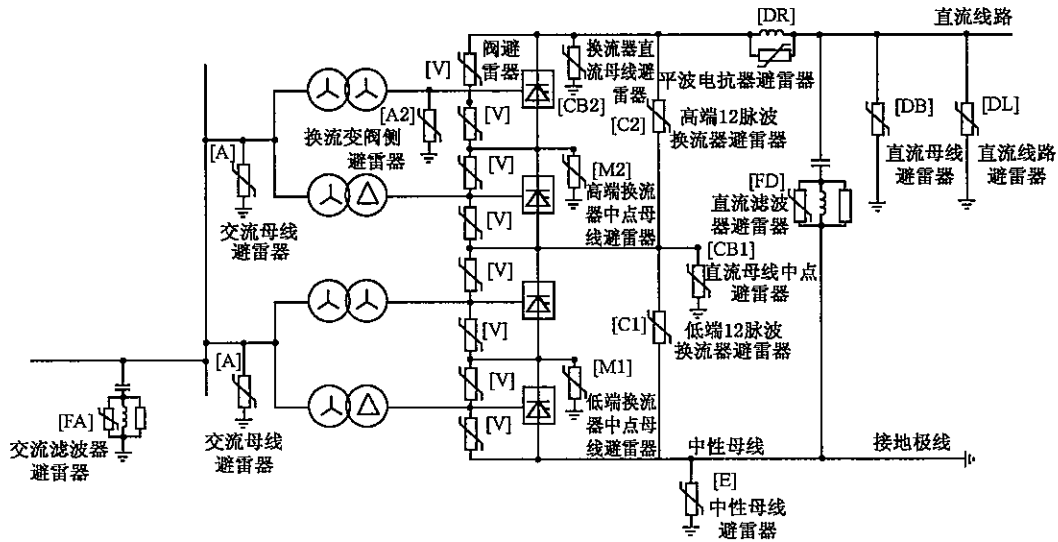


图 2 ±800 kV 高压直流换流站避雷器位置

换流站设备典型的避雷器保护方式如下所述。

7.2.2 换流阀、6 脉波换流桥和 12 脉波换流器

换流阀端子间由阀避雷器 V 直接保护，阀避雷器与晶闸管的正向保护触发配合构成阀的过电压保护(参见 GB/T 311.3—2007 的 9.4.4)，用于保护阀免受过电压的损坏。

±800 kV 直流换流器由两个 6 脉波换流桥串联组成一组 12 脉波换流器，高压端两个 6 脉波换流桥间的连接母线由高端 12 脉波换流器中点母线避雷器 M2 直接保护，或者采用阀避雷器 V3 串联直流母线中点避雷器 CB1 的方式保护。低压端两个 6 脉波换流桥连接母线由低端 12 脉波换流器中点母线避雷器 M1 直接保护。

±800 kV 直流系统中当双 12 脉波换流器中的一组独立运行时，高(压)端 12 脉波换流器避雷器 C2 保护高端 400 kV 12 脉波换流器，低(压)端 12 脉波换流器可以由低端 12 脉波换流器避雷器 C1 直接保护，也可以采用直流母线中点避雷器 CB1 串联中性母线避雷器 E 保护。

7.2.3 换流变压器

换流变压器网侧套管由交流母线避雷器 A 保护。

高(压)端 Y/Y 换流变压器阀侧套管及套管 CT 根据避雷器布置方式有两种保护方法，其一为采用高(压)端 Y/Y 换流变阀侧避雷器 A2 直接保护，另一种方式为高(压)端 12 脉波换流器中点母线避雷器 M2 串联阀避雷器 V3 保护。采用前者更有利于阀厅内设备的布置，但后者采用的方式更直观可靠。

高(压)端 Y/Δ 换流变压器阀套管及套管 CT 由阀避雷器 V3 串联直流母线中点避雷器 CB1 保护。

低(压)端 Y/Y 换流变压器阀侧套管及套管 CT 由阀避雷器 V3 串联低端 12 脉波换流器中点母线避雷器 M1 保护。

低(压)端 Y/Δ 换流变压器阀套管及套管 CT 由阀避雷器 V3 串联直流中性母线避雷器 E1H 保护。

7.2.4 平波电抗器

±800 kV 直流输电系统采用了干式平波电抗器，布置于极线的平波电抗器可以采用在平波电抗器两端跨接平波电抗器避雷器 SR 的方式进行保护，在某些工程中，因为换流器直流母线避雷器 CB2 和直

流母线避雷器 DB 已为该电抗器提供了充分的保护,可不安装该避雷器,此时极线平波电抗器线路侧端子由直流母线避雷器 DB 保护,阀侧端子由换流器直流母线避雷器 CB2 或直流母线中点避雷器 CB1 串联高端 12 脉波换流器避雷器 C2 保护;中性母线平波电抗器由中性母线避雷器保护。

7.2.5 极线设备

位于极线的设备包括极线穿墙套管、极线隔离开关、极线电压测量装置、极线电流测量装置、一端接于极线的旁路开关、一端接于极线的旁路隔离开关等。由于避雷器保护的距離效应,极线上的设备由不止一只的避雷器保护。包括直流母线避雷器 CB2、DB 及直流线路避雷器 DL(安装于直流线路入口处)。

极线穿墙套管和位于平波电抗器阀侧的极线电压测量装置和极线电流测量装置,当双 12 脉波换流器均投入运行时,可以由换流器直流母线避雷器 CB2 保护,也可以采用直流母线中点避雷器 CB1 串联高端 12 脉波换流器避雷器 C2 保护。当高端 12 脉波换流器独立运行时,可以由中性母线避雷器 E 串联高端 12 脉波换流器避雷器 C2 保护。

位于平波电抗器线路侧的极线电压测量装置、极线电流测量装置、极线隔离开关、一端接于极线的旁路开关、一端接于极线的旁路隔离开关均由直流母线避雷器 DB、DL 保护。

7.2.6 高、低端 12 脉波换流器之间的母线设备

位于高、低端 12 脉波换流器之间的电压测量装置、电流测量装置、隔离开关和接地开关、穿墙套管等设备由直流母线中点避雷器 CB1 保护。

7.2.7 中性母线设备

中性母线设备分别由靠近各设备的中性母线避雷器 E 保护。

7.2.8 交流滤波器

由交流滤波器避雷器 F_{ac} 保护滤波器内各元件。

7.2.9 直流滤波器

由直流滤波器避雷器 F_{dc} 保护滤波器内各元件。

8 ±800 kV 直流换流站设备的绝缘配合方法

8.1 概述

±800 kV 直流换流站设备的绝缘配合方法采用确定性法(惯用法),原则是在惯用过电压(即可接受的接近于设备安装点的预期最大过电压)与耐受电压之间,按设备制造和电力系统的运行经验选取适宜的配合系数。

8.2 确定要求耐受电压(U_{cw})

在 GB 311.1—1997 中推荐使用绝缘配合因数 K_c 乘以代表性过电压 U_p 获得相应的配合耐受电压,即 $U_{cw} = K_{cd} \times U_p$ (见 GB 311.1—1997 的 4.3)。对于在直流侧设备的实际计算方法中(见 GB/T 311.2—2002 的 3.3)用绝缘配合确定性因数 K_{cd} (见 GB/T 311.2—2002 的 3.3.2.1)代替 K_c 。因数 K_{cd} 考虑了以下因素:

- a) 计算过电压数据及模型的局限性和避雷器的非线性特性对配合电流的影响；
- b) 过电压波形和持续时间与标准试验波形之间的误差。

参考 GB 311.1—1997 的图 1,要求的耐受电压 U_{rw} 是通过配合耐受电压 U_{cw} 、外绝缘大气校正因数 K_a 和取决于内部及外部绝缘类型的安全因数 K_s 确定的。安全系数 K_s 考虑了下列因素：

- a) 绝缘寿命；
- b) 避雷器特性的变化；
- c) 产品质量的分散性。

绝缘配合确定法可用于换流站,根据经验对于海拔低于 1 000 m 的高压直流换流站,由避雷器保护水平乘以一个因数获得设备的要求耐受电压。这个因数考虑了上述的所有因数。如果用户或者相关设备标准没有给出具体规定,表 1 提供了用作设计目的的相应因数值。表 1 中的值适用于设备由紧靠的避雷器直接保护。反之,则应考虑距离影响,并在结果中说明增加的比率(参见 GB 311.1—1997 和 GB/T 311.2—2002 给出的配合因数和配合耐受电压)。

表 1 要求冲击耐受电压与冲击保护水平的比值

设备类型	要求冲击耐受电压与冲击保护水平比值 ^{a,c}		
	SSIWV/SIPL	SLIWV/LIPL	SSFIWV/STIPL ^b
交流开关场,包括母线,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
换流变压器(油绝缘设备)	网侧	1.20	1.25
	阀侧	1.15	1.25
换流阀	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

^a 用于一般设计的比值。最后的比值(增高或减小)根据选择的性能指标确定。
^b 阀避雷器的 STIPL。
^c 以避雷器直接保护设备为基础的比值。

8.3 确定额定耐受电压

额定耐受电压等于或高于要求耐受电压。对于交流设备,额定耐受电压在 GB 311.1 中有相应的标准值。对于高压直流设备,没有标准耐受值,额定耐受电压可取舍到方便的可行值。

9 ±800 kV 直流换流站设备绝缘水平

9.1 设备最高电压

直流换流站设备的最高电压从下列值中选取(kV):816, 408,125,100,50。

9.2 直流换流站设备绝缘水平

选取设备的绝缘水平时,应考虑操作冲击和雷电冲击作用电压,和每一设备最高电压相对应,给出

设备绝缘水平的两个耐受电压,即:

- a) 额定雷电冲击耐受电压;
- b) 额定操作冲击耐受电压。

注:对于换流阀设备还应给出陡波冲击耐受电压。

由于换流站主接线型式不同、换流站避雷器布置方式不同、所采用的避雷器型式不同以及避雷器保护原理不同等原因,表2~表7中在同样的设备额定直流电压下,同一设备有可能出现不同的绝缘水平要求。表2~表7中的绝缘水平为典型数值。

只有表2~表7中同一横行中的一组绝缘水平才能构成一组标准绝缘水平。

附录A给出了一个±800 kV高压直流换流站的绝缘配合计算例子。

表2 换流阀的绝缘水平

直流系统电压 kV	位 置	额定陡波冲击耐受电压 kV	额定雷电冲击耐受电压 kV	额定操作冲击耐受电压 kV
800	单阀	477	426	450
		474	458	458
	400 kV 12 脉波桥 低压端对地	—	555	503
		—	450	325
	800 kV 12 脉波桥 高压端对地	—	1 800	1 600
		—	1 800	1 600
	两 12 脉波桥间母 线对地	—	903	825
		—	1 175	950
	高压 12 脉波桥 中点	—	1 294	1 182
		—	1 550	1 300
	低压 12 脉波桥 中点	—	594	558
		—	750	550

表3 换流变压器的绝缘水平

直流系统电压 kV	单相双绕组换流变阀侧	额定雷电冲击耐受电压 kV	额定操作冲击耐受电压 kV
800	高压端 Y/Y	1 800	1 600
	高压端 Y/D	1 550	1 300
	低压端 Y/Y	1 300	1 050
	低压端 Y/D	950	750
		1 175	1 050

表 4 直流滤波器的标准绝缘水平

直流系统电压 kV	位 置		额定雷电冲击耐受电压 kV	额定操作冲击耐受电压 kV
800	11	G	750	550
	12	G	550	450
	13	G	550	450
	10	11	1 950	1 707
	11	12	250	150
	12	13	250	150
	13	8	261	150

注 1: 表中直流滤波器的绝缘水平选择三调谐滤波器进行说明, 表格中的位置参考图 3。
注 2: G 表示接地。

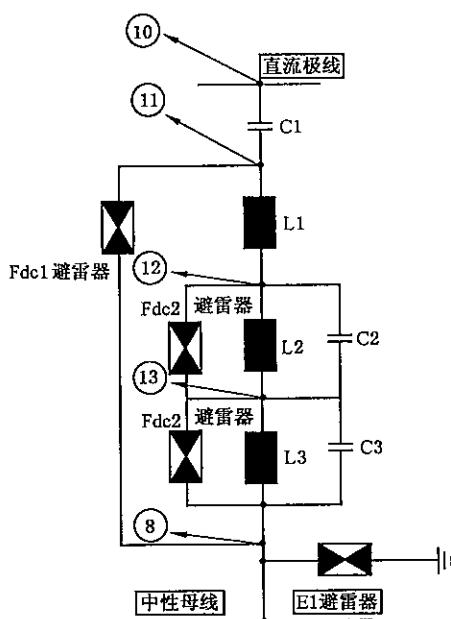


图 3 三调谐直流滤波器结构

表 5 直流极线设备的绝缘水平

设 备	额定雷电冲击耐受电压 kV	额定操作冲击耐受电压 kV
直流极线平波电抗器、隔离开关和接地开关、极线 PLC(如有)、直流极线穿墙套管、旁路开关、直流极线 CT、PT	1 950	1 600

表 6 双 12 脉波换流器中间母线设备的绝缘水平

直流系统电压 kV	60 min 直流耐受电压 kV	额定雷电冲击耐受电压 kV	额定操作冲击耐受电压 kV
400	600	1 175	950
		950	850

注：双 12 脉波换流器中间母线设备包括双 12 脉波换流器中间母线隔离开关、穿墙套管、旁路开关、直流 CT。

表 7 直流中性母线设备的绝缘水平

设备最高电压 kV	60 min 直流耐受电压 kV	额定雷电冲击耐受电压 kV	额定操作冲击耐受电压 kV
50	75	450	450
100, 72.5	143	450	450
			550

注：直流中性母线设备包括直流中性母线隔离开关、直流中性母线穿墙套管、直流中性母线 CT、PT、直流中性母线避雷器、接地监视装置(电容)、直流中性母线转换开关。



附录 A
(资料性附录)

±800 kV 直流换流站绝缘配合例子

A.1 概述

本附录给出了±800 kV 高压直流换流站的绝缘配合和计算方法。这个例子是一个非常简略的知识性的指导。主要讲述了基于上文中的程序,选定避雷器的额定值和规定的绝缘水平的步骤。

本附录中给出的结果是基于第 8 章中描述的程序和方法。因为对于直流没有标准耐受水平,为实际使用方便,把 SSIWV、SLIWV 和 SSFIWV 的计算值向上取为整数。

A.2 避雷器保护方案

图 A.1 示例了±800 kV 高压直流换流站的避雷器保护方案,所有避雷器采用无间隙氧化锌避雷器。

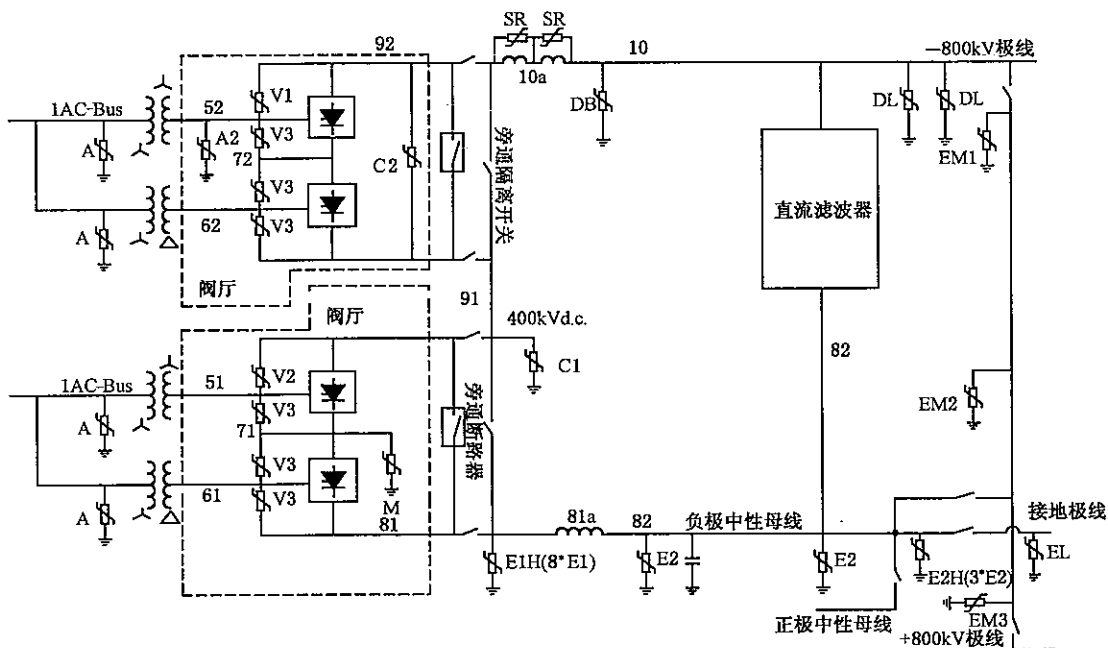


图 A.1 ±800 kV 高压直流换流站避雷器保护方案

A.3 避雷器保护水平和绝缘水平的确定

A.3.1 总则

下面的主要数据用于±800 kV 高压直流换流站绝缘配合设计。

交流侧:500 kV 交流系统网

直流侧：

直流电压	kV	800	(整流侧)
直流电流	A	3 125	
干式平波电抗器	mH	75	(4台,极母线和中性母线各两台)
触发角	(°)	15/18	(整流侧/逆变侧)

换流变压器：

额定值(单相双绕组)	MVA	250.21
短路阻抗	p. u.	0.18
二次电压(阀侧)	kV	169.85
分接头档位数		+18/-18
分接头档位大小		±1.25%

交流母线避雷器(A)：

交流母线避雷器参数见表 A.1。

表 A.1 交流母线避雷器参数

参	母 线
系统标称电压(有效值)	500
系统最高电压(有效值)	550
持续运行电压(相对地)(有效值)	18 kV
SIPL(在 2 kA 下)	80 kV
LIPL(在 20 kA 下)	70 kV
并联柱数	2

$$RSIWV = 1.20 \times 78 = 93.6 \text{ kV}$$

$$RLIWV = 1.25 \times 907 \text{ kV} = 1134 \text{ kV} \Rightarrow \boxed{SLIWV = 1\ 550 \text{ kV}}$$

避雷器类型(V1)、(V2)和(V3)：

CCOV \leq 245

避雷器能量 MJ 10 避雷器 V1

MJ 5 避雷器 V2

MJ 2.6 避雷器 V3

阀避雷器的作用由以下工况确定。

A.3.2 从交流侧传递的缓波前过电压

当单阀导通时从交流侧传递的缓波前过电压出现在两相之间,将对避雷器 V3 产生最大的作用。缓波前过电压的幅值取决于换流变阀侧交流母线避雷器 A 的最大保护水平。

阀避雷器(V3)的结果：

阀避雷器(V3)的操作冲击保护水平(SIPL)为：

$$SIPL = 395 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 1 \text{ kA}$$

$$RSIWV = 1.15 \times 395 \text{ kV} = 454 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SSIWV = 454 \text{ kV}}$$

雷电冲击保护水平(LIPL)为：

$$LIPL = 395 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 0.6 \text{ kA}$$

$$RLIWV=1.2 \times 395 \text{ kV} = 474 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SLIWV=474 \text{ kV}}$$

A.3.3 低压端 400 kV 换流器单元单独运行时换流变压器阀侧套管对地故障

该故障对阀避雷器 V2 的作用取决于故障的起始时刻。为了确定最大作用,故障接入的时刻应从 0 到 360 电角度变化。

阀避雷器(V2)的结果:

阀避雷器(V2)的操作冲击保护水平(SIPL)为:

$$SIPL=395 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 2\text{kA}$$

$$RSIWV=1.15 \times 395 \text{ kV} = 454 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SSIWV=454 \text{ kV}}$$

雷电冲击保护水平(LIPL)为:

$$LIPL=395 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 1.2\text{kA}$$

$$RLIWV=1.2 \times 395 \text{ kV} = 474 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SLIWV=474 \text{ kV}}$$

A.3.4 换流变压器阀侧高压套管和阀之间的对地故障

该故障工况使保护最高位的三脉波换流组的阀避雷器 V1 承受最大应力。阀避雷器 V1 的最大应力取决于故障的起始时刻。为了确定最大作用,故障接入的时刻应从 0 到 360 电角度变化。

阀避雷器(V1)的结果:

阀避雷器(V1)的操作冲击保护水平(SIPL)为:

$$SIPL=395 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 4\text{kA}$$

$$RSIWV=1.15 \times 395 \text{ kV} = 454 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SSIWV=454 \text{ kV}}$$

雷电冲击保护水平(LIPL)为:

$$LIPL=395 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 2.4 \text{ kA}$$

$$RLIWV=1.2 \times 395 \text{ kV} = 474 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SLIWV=474 \text{ kV}}$$

直流母线避雷器(DB):

下面给出的值适用于两个换流站

$$CCOV \quad 816 \text{ kV}$$

$$\text{能量} \quad 9\text{MJ}$$

对于直流母线避雷器(DB)设计,选择下列配合电流及其对应的值:

$$SIPL=1328 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 1 \text{ kA}$$

$$LIPL=1579 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 10 \text{ kA}$$

$$RSIWV=1.15 \times 1328 \text{ kV} = 1527 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SSIWV=1600 \text{ kV}}$$

$$RLIWV=1.2 \times 1579 \text{ kV} = 1894 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SLIWV=1950 \text{ kV}}$$

直流线路避雷器(DL):

下面给出的值适用于两个换流站

$$CCOV \quad 816 \text{ kV}$$

$$\text{能量} \quad 9 \text{ MJ}$$

对于直流线路避雷器(DL)设计,选择下列配合电流及其对应的值:

$$SIPL=1328 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 2\text{kA}$$

$$LIPL=1579 \text{ kV} \quad \text{配合电流 } 20\text{kA}$$

$$RSIWV=1.15 \times 1328 \text{ kV} = 1527 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SSIWV=1600 \text{ kV}}$$

$$RLIWV=1.20 \times 1579 \text{ kV} = 1894 \text{ kV} \quad \Rightarrow \boxed{SLIWV=1950 \text{ kV}}$$

高压端 12 脉波换流器避雷器(C2):

下面给出的值适用于两个换流站

CCOV 477 kV

能量 4.6MJ

SIPL=706 kV 配合电流 1 kA

LIPL=791 kV 配合电流 5 kA

RSIWV=1.15×706 kV = 812 kV

RLIWV=1.2×791 kV = 949 kV

⇒ SSIWV=950 kV

⇒ SLIWV=1 175 kV

换流器直流母线避雷器(C1):

下面给出的值适用于两个换流站

CCOV 477 kV

能量 4.6 MJ

SIPL=706 kV 配合电流 1 kA

LIPL=791 kV 配合电流 5 kA

RSIWV=1.15×706 kV = 812 kV

RLIWV=1.2×791 kV = 949 kV

⇒ SSIWV=950 kV

⇒ SLIWV=1 175 kV

换流器中点母线避雷器(M):

下面给出的值适用于两个换流站

CCOV 245 kV

能量 2.8 MJ

SIPL=435 kV 配合电流 1kA

LIPL=447 kV 配合电流 1kA

RSIWV=1.15×435 kV = 500 kV

RLIWV=1.2×447 kV = 536 kV

⇒ SSIWV=550 kV

⇒ SLIWV=750 kV

中性母线避雷器(E):

下面给出的值适用于两个换流站:

CCOV >160 kV

能量 3.6 MJ

SIPL=263 kV 配合电流 1kA

LIPL=320 kV 配合电流 20kA

RSIWV = 1.15×263 kV = 302 kV

RLIWV = 1.20×360 kV = 320 kV

⇒ SSIWV=325 kV

⇒ SLIWV=420 kV

换流变压器阀侧避雷器 A2:

下面给出的值适用于两个换流站:

CCOV 885 kV

能量 9MJ

SIPL=1344 kV 配合电流 1kA

LIPL=1344 kV 配合电流 0.6kA

RSIWV = 1.15×1344 kV = 1 546 kV

RLIWV = 1.20×1344 kV = 1 613 kV

⇒ SSIWV=1600 kV

⇒ SLIWV=1800 kV

平波电抗器避雷器(SR):

下面给出的值适用于两个换流站:

CCOV >40 kVa. c.

能量 2.0MJ

SIPL=641 kV 配合电流 3 kA

LIPL=719 kV 配合电流 10 kA

单个电抗器(75mH)冲击耐受电压

RSIWV = 1.15×641 kV = 737 kV

RLIWV = 1.20×719 kV = 863 kV

$$\Rightarrow \begin{array}{|l} \hline \text{SSIWV}=750 \text{ kV} \\ \hline \text{SLIWV}=950 \text{ kV} \\ \hline \end{array}$$

A.4 换流变压器(阀侧)耐受电压的确定

A.4.1 相对相

由于换流变的阀侧绕组没有被一个避雷器直接保护,就需要考虑下面两种工况:

- a) 当阀导通时,换流变阀侧的相对相绝缘由一个阀避雷器(V)保护;
- b) 当阀闭锁时,两个阀避雷器串联在相对相之间,在这种情况下,传输的缓波前过电压决定了避雷器最大缓波前过电压。

SIPL=473 kV (传递缓波前过电压)

RSIWV = 1.15×473 kV = 543 kV

$$\Rightarrow \begin{array}{|l} \hline \text{SSIWV}=650 \text{ kV} \\ \hline \text{SLIWV}=750 \text{ kV} \\ \hline \end{array}$$

A.4.2 高压端 12 脉波换流变压器星形绕组相对地

由 A2 避雷器直接保护,其保护水平如下:

SIPL=1 344 kV 配合电流 1 kA

LIPL=1 344 kV 配合电流 0.6 kA

RSIWV = 1.15×1 344 kV = 1546 kV

RLIWV = 1.20×1 344 kV = 1613 kV

$$\Rightarrow \begin{array}{|l} \hline \text{SSIWV}=1 600 \text{ kV} \\ \hline \text{SLIWV}=1 800 \text{ kV} \\ \hline \end{array}$$

A.4.3 高压端 12 脉波换流变压器三角形绕组

由避雷器 C1 和避雷器 V3 串联保护,其保护水平如下:

SIPL=706+395=1 101 kV。

RSIWV = 1.15×1 101 kV = 1 266 kV

$$\Rightarrow \begin{array}{|l} \hline \text{SSIWV}=1 300 \text{ kV} \\ \hline \text{SLIWV}=1 550 \text{ kV} \\ \hline \end{array}$$

A.4.4 低压端 12 脉波换流变压器星形绕组

由避雷器 M 和避雷器 V3 串联保护,其保护水平如下:

SIPL=435+395=830 kV。

RSIWV = 1.15×830 kV = 955 kV

$$\Rightarrow \begin{array}{|l} \hline \text{SSIWV}=1 050 \text{ kV} \\ \hline \text{SLIWV}=1 300 \text{ kV} \\ \hline \end{array}$$

A.4.5 低压端 12 脉波换流变压器三角形绕组

由避雷器 E 和避雷器 V3 串联保护,其保护水平如下:

SIPL=263+395=658 kV。

RSIWV = 1.15×658 kV = 757 kV

$$\Rightarrow \begin{array}{|l} \hline \text{SSIWV}=750 \text{ kV} \\ \hline \text{SLIWV}=950 \text{ kV} \\ \hline \end{array}$$

A.4.6 计算结果表

见表 A.2~表 A.4。

表 A.2 换流站避雷器保护水平和配合电流

避雷器类型	A	A2	V1	V2	V3	M	C1	C2	D	E1H	E2	SR
CCOV/kV	318a. c.	885	245	245	245	245	477	477	816	50d. c. +80a. c.	50d. c.	>40a. c.
雷电保护水平/kV	913	1 344	395	395	395	435	791	791	1579	320	320	719
配合电流/kA	20	0.6	2.4	1.2	0.6	0.6	5	5	10	20	20	10
操作保护水平/kV	780	1 344	395	395	395	435	706	706	1328	263	263	641
配合电流/kA	2	1	4	2	1	1	1	1	1	1	1	3
能量/MJ	8.9	9	10	5	2.6	2.8	4.6	4.6	9	3.6	3.6	2.0

表 A.3 换流站各点端对地绝缘水平

保护位置	1	51	61	71	52	62	72	81	82	91	92	10
MCOV(CCOV)/kV	318 rms	477	245	245	886	710	710	50d. c. +80a. c.	50 d. c.	477	880	816 d. c.
保护避雷器	A	M+V3	V3+E1	M	A2	C1 +V3	C1+V3	E1	E2	C1	A2	D
LIPL/kV	907	—	—	435	1 344	—	—	320	320	791	—	1 579
SLIWV/kV	1 550	1 300	950	750	1 800	1 550	1 550	450	450	1 175	1 800	1 950
SIPL/kV	780	830	631	435	1 344	1 101	1 101	263	263	706	1 344	1 328
配合电流/kA	2	1	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SSIWV/kV	1 175	1 050	750	550	1 600	1 300	1 300	325	325	950	1 600	1 600

表 A.4 换流站各点端对端绝缘水平

保护位置	51,61 相对相	51-61	81-91	52,62 相对相	52-62	91-92	92-10a	81-82	阀
保护避雷器	A'	2V	C1-E1	A'	2V	C2	SR	E	V
LIPL/kV	—	—	—	—	—	740	719	—	395
SLIWV/kV	750	1 175	1 175	750	1 175	1 175	1 050	450	454
SIPL/kV	473	790	706	473	790	706	641	263	395
SSIWV/kV	650	950	950	650	950	950	950	375	454

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
±800 kV 高压直流换流站
设备的绝缘配合
GB/T 28541—2012

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

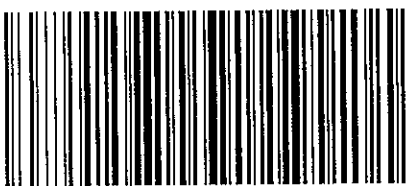
*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 44 千字
2012年10月第一版 2012年10月第一次印刷

*

书号: 155066·1-45552 定价 27.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 28541—2012