



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 24842—2009

1 000 kV 特高压交流输变电工程 过电压和绝缘配合

Overvoltage and insulation coordination
of 1 000 kV UHV AC transmission project

2009-11-30 发布

2010-05-01 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
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 线路和设备上的作用电压	3
5 暂时过电压及限制	3
6 操作过电压及保护	4
7 雷电过电压及保护	6
8 绝缘配合	8
附录 A (资料性附录) 各类作用电压和标准试验电压的波形	13
附录 B (资料性附录) 1 000 kV 架空线路和变电站雷电性能的计算方法	14
附录 C (规范性附录) 外绝缘放电电压或耐受电压的气象校正	18
附录 D (规范性附录) 1 000 kV 变电站金属氧化物避雷器的主要电气参数	19
附录 E (资料性附录) 1 000 kV 线路和变电站绝缘配合的计算方法	20
附录 F (资料性附录) 操作过电压下线路闪络率的计算方法	24
附录 G (规范性附录) 1 000 kV 交流电气设备承受一定时间暂时过电压的要求	26
附录 H (资料性附录) 1 000 kV 线路杆塔空气间隙和变电站空气间隙放电电压试验数据	27

前 言

本指导性技术文件的附录 C、附录 D 和附录 G 为规范性附录，附录 A、附录 B、附录 E、附录 F 和附录 H 为资料性附录。

本指导性技术文件由中国电力企业联合会提出。

本指导性技术文件由中国电力企业联合会归口。

本指导性技术文件由特高压交流输电标准化技术工作委员会、国网电力科学研究院、中国电力科学研究院负责解释。

本指导性技术文件负责起草单位：国家电网公司、国网电力科学研究院、中国电力科学研究院。

本指导性技术文件主要起草人：舒印彪、陈维江、杜澍春、谷定燮、周沛洪、王绍武、葛栋、陈勇、张翠霞、戴敏、林集明、李志军、班连庚、何慧雯、王晓刚、张刘春。

引 言

迄今现行的国家标准、行业标准和 IEC 标准或其他国家的标准,均未涉及 1 000 kV 特高压交流输电工程过电压和绝缘配合的内容,为适应我国建设 1 000 kV 特高压交流输电工程标准化的需要,特编制《1 000 kV 特高压交流输电工程过电压和绝缘配合》国家标准化指导性技术文件。

本指导性技术文件的编写参考了国内外有关过电压保护和绝缘配合的相关标准。在编写本指导性技术文件时,纳入了我国目前已建设完成的 1 000 kV 长治—南阳—荆门特高压交流输电试验示范工程和研究中的 1 000 kV 淮南—上海特高压交流同塔双回输电工程以及国内外其他特高压输电工程的科研成果、设计和运行经验。

本指导性技术文件确定了 1 000 kV 特高压交流输电工程中限制过电压的措施和采用限制措施之后的过电压水平;推荐了架空线路和变电站雷电性能的计算分析方法;提供了根据 1 000 kV 输电线路和变电站设备的绝缘特性以及可能的影响因素,从安全运行和经济合理两方面来确定设备绝缘水平和空气间隙距离的原则、方法和推荐值。内容与现行相关标准、规程、规定的内容相同的部分,本指导性技术文件中不再重复。



1 000 kV 特高压交流输变电工程 过电压和绝缘配合

1 范围

本指导性技术文件规定了 1 000 kV 特高压交流输变电工程中限制过电压的措施和采用限制措施之后的过电压水平;推荐了架空线路和变电站雷电性能的计算分析方法;提供了根据 1 000 kV 输电线路和变电站设备的绝缘特性以及可能的影响因素,从安全运行和经济合理两方面来确定设备绝缘水平和空气间隙距离的原则、方法和推荐值。

本指导性技术文件适用于标称电压为 1 000 kV(系统最高电压为 1 100 kV)特高压交流输变电工程的过电压与绝缘配合。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本指导性技术文件的引用而成为本指导性技术文件的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本指导性技术文件,然而,鼓励根据本指导性技术文件达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本指导性技术文件。

GB/T 2900.1 电工术语 基本术语

GB/T 2900.12 电工术语 避雷器、低压电涌保护器及元件

GB/T 2900.15 电工术语 变压器、互感器、调压器和电抗器(GB/T 2900.15—1997, neq IEC 60050(421);1990、IEC 60050(321);1986)

GB/T 2900.19 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合(GB/T 2900.19—1994, neq IEC 60071-1;1993)

GB/T 2900.20 电工术语 高压开关设备(GB/T 2900.20—1994, neq IEC 60050(IEV);1984)

GB/T 2900.50 电工术语 发电、输电及配电 通用术语(GB/T 2900.50—2008, IEC 60050-601;1985, MOD)

DL/T 620 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 2900.12、GB/T 2900.15、GB/T 2900.19、GB/T 2900.20 和 GB/T 2900.50 中所确立的及下列术语和符号适用于本指导性技术文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

地闪密度 **ground flash density; GFD**

每平方公里、每年的地面落雷次数。

3.1.2

保护角 **shielding angle**

地线对导线的保护角指杆塔处,不考虑风偏,地线对水平面的垂线和地线与最外侧子导线的连线之间的夹角。

3.1.3

特快速瞬态过电压 very fast transient overvoltage; VFTO

气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)和复合电器(HGIS,即 Hybrid-GIS)的隔离开关在某些操作方式下,可能会产生频率为数百 kHz 至数 MHz 的高频振荡过电压,称为特快速瞬态过电压。

3.1.4

代表性过电压 representative overvoltage

该过电压对绝缘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过电压的作用。在本指导性技术文件中,代表性过电压一般通过仿真计算获得。

3.2 符号

本指导性技术文件使用的符号

$A1'$: 变电站导线对构架的最小空气间隙距离(m)

$A1''$: 变电站设备对构架的最小空气间隙距离(m)

$A2$: 变电站相间最小空气间隙距离(m)

d : 空气间隙放电电压试验间隙距离(m)

$F(u)$: 操作过电压下线路闪络率计算中,操作过电压的概率分布

H : 海拔高度(m)

$h_{w,av}$: 导线对地平均高度(m)

I : 雷电流幅值(kA)

k_a : 大气校正因数

k_c : 配合因数

k_s : 安全因数

m : 绝缘配合中串联间隙数(个)

r_c : 雷电对导线的击距(m)

r_g : 雷电对大地的击距(m)

r_s : 雷电对地线的击距(m)

U_m : 系统最高电压(kV)

U_{ph} : 导线上工作电压峰值(kV)

U_{pl} : 避雷器雷电过电压保护水平(kV)

U_{ps} : 避雷器操作过电压保护水平(kV)

U_{rp} : 代表性过电压(kV)

U_{rw} : 耐受电压要求值(p. u.)

$U_{rw,1}$: 雷电冲击耐受电压要求值(p. u.)

$U_{rw,2}$: 相对地操作冲击耐受电压要求值(p. u.)

U_s : 线路相对地统计(2%)操作过电压(kV)

U_w : 额定耐受电压(有效值)(kV)

U_{50} : 50%放电电压(kV)

$u_{50,1,r}$: 单个间隙的 50%放电电压要求值(kV)

α : 负极性操作冲击分量与相间操作冲击电压的两个分量(正极性 U^+ 和负极性 U^-)之和的比值

β_g : 击距修正系数

ρ : 土壤电阻率($\Omega \cdot m$)

σ_1 : 单个绝缘放电电压的标准偏差

σ_1^* : 单间隙的放电电压变异系数

σ_m^* : 并联多间隙放电电压变异系数

4 线路和设备上的作用电压

4.1 系统接地方式

1 000 kV 系统采用有效接地方式,不允许 1 000 kV 变压器中性点不接地运行。

1 000 kV 变压器的低压侧(110 kV)系统采用不接地方式。

4.2 作用电压类型

变电站设备和线路在运行中可能受到的作用电压,按照作用电压的起因和幅值、波形及持续时间,可分为:

- 持续运行电压(其值不超过系统最高电压 U_m ,持续时间等于设备设计的运行寿命);
- 暂时过电压(包括工频过电压、谐振过电压);
- 操作(缓波前)过电压;
- 雷电(快波前)过电压;
- VFTO。

各类作用电压的典型波形参照附录 A。

4.3 暂时过电压和操作过电压标幺值的基准电压

工频过电压的基准电压是 $U_m/\sqrt{3}$;谐振过电压、操作过电压的基准电压是 $\sqrt{2}U_m/\sqrt{3}$ 。

5 暂时过电压及限制

暂时过电压包括工频过电压和谐振过电压,与系统结构、容量、参数、运行方式、地线的类型和接地方式以及继电保护和自动调节装置特性等有关。工频过电压、谐振过电压除增大绝缘所需承受的电压外,对选择避雷器等过电压保护装置参数也有重要影响。暂时过电压特性由其幅值、波形和持续时间确定。

5.1 工频过电压

工频过电压主要由线路空载、甩负荷和接地故障引起。通常情况下甩负荷和接地故障两种故障组合引起的工频过电压比较严重。对工频过电压,应结合工程条件加以预测。

预测工频过电压,主要考虑下列故障类型:

对单回输电线路通常考虑正常输电状态下甩负荷和在线路单相接地故障情况下甩负荷两类故障。单回两相接地引起线路一端三相分闸的故障发生概率很小,可酌情考虑。

对同塔双回输电线路需考虑双回线路运行和一回线路停运的工况。双回线路运行工况下应考虑双回 6 相甩负荷。双回线路同名或异名两相接地故障发生概率很小,可酌情考虑此故障情况下的甩负荷。

限制工频过电压的主要措施是装设线路高压并联电抗器。

工频过电压持续时间对避雷器额定电压和设备绝缘能力的选择起着十分重要的作用。为了缩短工频过电压的持续时间,线路两端断路器宜采用继电保护实现联动分闸。

工频过电压水平不宜超过下列数值:

- 线路断路器的变电站侧 1.3 p. u.
- 线路断路器的线路侧 1.4 p. u. (持续时间不大于 0.5 s)

5.2 谐振过电压

谐振过电压包括线性谐振和非线性(铁磁)谐振过电压。带大容量元件(长线路、串联补偿线路)和有非线性激磁特性的感性元件(变压器、并联电抗器)的回路合闸(或作为甩负荷的结果),可能因谐振和铁磁谐振产生谐波谐振过电压。应采取防止措施,避免出现谐振过电压的条件,或用继电保护装置限制其幅值和持续时间。

在选择避雷器额定电压或绝缘设计时,通常不考虑谐振过电压。

5.2.1 发电机自励磁过电压

同步发电机带容性负荷(如空载线路)条件下,发电机电感参数周期性变化与系统电容参数配合不当时,可能引起发电机自励磁(参数谐振)过电压。不发生自励磁的判据按照公式(1)计算:

$$W_N > Q_c X_d^* \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

W_N ——发电机额定容量,MVA;

Q_c ——线路充电功率(需考虑高压并联电抗器和低压并联电抗器的影响),Mvar;

X_d^* ——发电机等值同步电抗标么值(包括升压变压器,以发电机容量为基准)。

当发电机容量小于上述值时,应避免单机带空载长线运行。对可能出现的发电机自励磁过电压可以采用并联电抗器或过电压保护装置切除线路。

5.2.2 非全相谐振过电压

装有并联电抗器的线路处于非全相状态时,由于健全相和断开相之间的相间电容耦合,可在断开相上引起非全相谐振过电压。

在高压并联电抗器的中性点接入一接地电抗器,可有效地防止这种过电压。该接地电抗器的电抗值宜按接近完全补偿线路的相间电容的原则来选择,同时也应考虑限制潜供电流的要求和对并联电抗器中性点绝缘水平的要求。对于同塔双回线路,回路之间的耦合会影响接地电抗器电抗值的选择。

在计算非全相谐振过电压时,需注意以下因素:

- a) 线路参数设计值和实际值的差异;
- b) 高压并联电抗器和接地电抗器的阻抗设计值与实测值的偏差;
- c) 故障状态下的电网频率变化。

5.2.3 合空载变压器谐振过电压

合空载变压器操作的过渡过程使变压器铁芯磁饱和,引起励磁涌流以及使电感作周期性变化,当励磁涌流谐波频率与系统的自振频率相匹配时,可能产生高次谐波谐振过电压,对此过电压应予以预测。

一般由500 kV侧合空载变压器产生的谐振过电压低于由1 000 kV侧合空载变压器产生的谐振过电压。应尽量避免产生谐波谐振的运行方式和操作方式。断路器装合闸电阻,有利于减小合空载变压器的过电压幅值及励磁涌流,限制效果与不同运行方式下的系统特性有关。采用过电压继电保护,可以缩短合空载变压器谐振过电压的持续时间。

6 操作过电压及保护

6.1 操作过电压水平限制值

线路沿线最大的相对地统计操作过电压不宜大于1.7p. u.。

变电站最大的相对地统计操作过电压不宜大于1.6p. u.,最大的相间统计操作过电压不宜大于2.9p. u.。

对操作过电压,应结合工程加以预测。

6.2 空载线路合闸及单相重合闸过电压

6.2.1 预测条件

空载线路合闸、单相重合闸会产生操作过电压。操作过电压幅值取决于多种因素,包括断路器类型(有无合闸电阻、选相合闸装置等)、合闸线路电源侧的系统特性、合闸线路长度与无功补偿情况等。

预测线路合闸操作过电压时的合闸侧电压有以下控制条件:

- a) 由孤立电源合闸空载线路,线路合闸后的沿线电压不应超过系统最高电压;
- b) 由与系统相连的变电站合闸空载线路,线路合闸前的变电站母线电压为相应运行方式下的母线实际电压,线路合闸后,沿线电压不宜超过系统最高电压。

单相重合闸过电压一般不高于空载线路合闸过电压。对于特殊的系统结构,例如容量较小的电源

送出系统中,较长线路的单相重合闸过电压可能高于空载线路合闸过电压。

对于同塔双回线路,主要考虑单回线路的单相接地故障后的单相重合闸过电压。双回同名相或异名相接地故障情况下的分相重合闸过电压可能高于单回单相接地故障后的单相重合闸过电压,但出现的概率极低。

6.2.2 主要限制措施

限制线路合闸和单相重合闸过电压的主要措施,一是断路器采用合闸电阻;二是装设金属氧化物避雷器。也可使用选相合闸等措施。

6.3 单相接地故障过电压

线路单相接地故障时在健全相上出现的过电压,主要是指相对地过电压,相间过电压可以忽略。

接地故障过电压的大小和线路长度、故障点的位置等因素有关。

6.4 故障清除过电压

6.4.1 故障线路健全相过电压

此过电压为线路单相接地,故障相两侧线路断路器分闸后,在故障线路健全相上产生的过电压,其幅值较低。

6.4.2 相邻线路过电压

此过电压为线路故障接地,故障相两侧线路断路器分闸后,在故障线路的直接相邻或间接相邻线路上产生的过电压。

随着接地故障相数的增加该过电压幅值呈升高的趋势。一般考虑单相接地故障的条件加以预测并作为工程的设计条件。对于出现概率很小的两相短路、两相或三相接地故障,可根据预测结果酌情采取相应限制措施。

6.4.3 单相接地三相分闸过电压

带电作业时,若单相重合闸退出,单相接地会引起三相分闸。单相接地故障,单相重合闸不成功也会引起三相分闸。

单相接地三相分闸时,可能在故障线路的健全相或相邻线路上产生较高的过电压。

6.4.4 故障清除过电压限制措施

变电站和开关站有避雷器保护,故障清除过电压不高,不会损坏站内设备。对于线路上较高的故障清除过电压,可在线路中部装设金属氧化物避雷器或在断路器上装分闸电阻予以限制。

此外也可采用继电保护的措施进行限制。

6.5 无故障甩负荷过电压

无故障甩负荷过电压与线路长度、线路无功补偿情况及线路潮流等有关,一般采用金属氧化物避雷器限制。

6.6 振荡解列过电压

在系统振荡状态下解列,将产生振荡解列过电压。

应对可能出现的振荡解列操作下的过电压进行预测。预测该过电压时,线路送受端电势功角差宜按系统可能出现的严重工况选取。

应当注意校核线路两端的金属氧化物避雷器的吸收能量。

6.7 投切空载变压器操作过电压

投切空载变压器产生的操作过电压,一般采用金属氧化物避雷器限制。

6.8 主变压器 110 kV 侧开断并联电容器组过电压

主变压器 110 kV 侧开断并联电容补偿装置,若断路器发生单相重击穿时,电容器组对地过电压可能超过 4.0 p.u.。开断前电源侧有单相接地故障时,该过电压将更高。开断时如发生两相重击穿,电容器组相间过电压可能超过 $2.5\sqrt{2}U_{nc}$ (U_{nc} 指电容器组的额定电压)。

投切并联电容补偿装置,应采用重击穿概率极低的断路器。为安全起见,仍宜按图 1 所示布置方式

装设金属氧化物避雷器以限制单相重击穿过电压。一般可不考虑断路器发生两相重击穿。

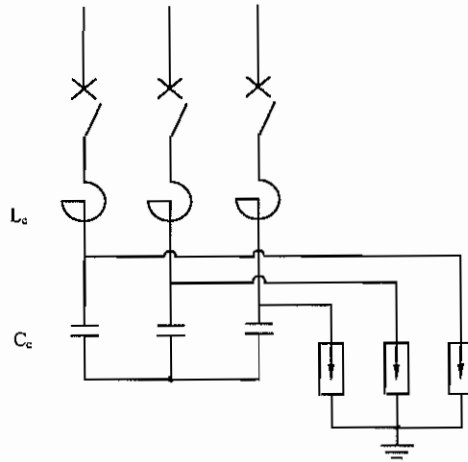


图 1 并联电容补偿装置的避雷器保护接线

6.9 主变压器 110 kV 侧开断并联电抗器过电压

主变压器 110 kV 侧开断并联电抗器时,应采用金属氧化物避雷器限制断路器强制熄弧(截流)产生的过电压。

6.10 VFTO

GIS 和 HGIS 隔离开关开合管线,可产生 VFTO。VFTO 的特点是波前时间很短($<0.1 \mu\text{s}$);波前之后的振荡频率很高($>1 \text{ MHz}$);幅值很高(最大值可达 $2.5 \text{ p. u.} \sim 3.0 \text{ p. u.}$)。

VFTO 可能损害 GIS、HGIS、变压器和电磁式电压互感器绝缘,也可能损害二次设备或对二次电路产生电磁骚扰。

变压器与 GIS 经过架空线相连时,在变压器上的 VFTO 幅值不高,波前时间变缓至雷电过电压波前时间范围内。变压器与 GIS 之间通过油气套管相连时,在变压器上的 VFTO 较严重,可能损害变压器匝间绝缘。

应对相关操作方式下的 VFTO 加以预测,必要时隔离开关宜加装投切电阻,或避免可能引起危险的操作方式。

7 雷电过电压及保护

雷电过电压包括线路雷电绕击、反击过电压和变电站直击、雷电侵入波过电压。

输电线路和变电站的防雷设计,应结合当地已有线路和变电站的运行经验、地区雷电活动强度、地闪密度、地形地貌及土壤电阻率等因素,通过计算分析和经济比较,采用合理的差异化防雷保护措施,线路和变电站雷电性能的计算方法参照附录 B。

7.1 线路雷电过电压

7.1.1 线路雷电性能特点

线路绝缘水平很高,雷击地线或塔顶发生反击闪络的可能性很低;线路杆塔较高,较易发生绕击。

7.1.2 一般线路的保护

7.1.2.1 1 000 kV 线路应沿全线架设双地线。

7.1.2.2 地线保护角要求值如下:

- 单回线路:平原和丘陵地区,一般不大于 6° ;山区,一般不大于 4° ;
 - 同塔双回线路:平原和丘陵地区,一般不大于 3° ;山区,一般不大于 5° ;
 - 线路耐张转角塔的跳线:平原单回线路不大于 6° ;山区单回线路和同塔双回线路不大于 0° ;
- 对雷电活动较强烈的山区可根据工程实际条件进一步减小地线保护角。

7.1.2.3 两根地线之间的距离不应超过导线与地线垂直距离的 5 倍。

7.1.2.4 在一般土壤电阻率地区($500 \Omega \cdot \text{m}$ 及以下),线路的反击耐雷水平不宜低于 200 kA。

7.1.2.5 线路每基杆塔在不接地线情况下的工频接地电阻,在雷季干燥时,不宜超过表 1 所列数值。如土壤电阻率超过 $2\,000 \Omega \cdot \text{m}$,接地电阻很难降低到 30Ω 时,可采用 6~8 根总长不超过 500 m 的放射形接地体,或采用连续伸长接地体,接地电阻不受限制。

表 1 1 000 kV 线路杆塔的工频接地电阻

土壤电阻率 ρ $\Omega \cdot \text{m}$	$\rho \leq 100$	$100 < \rho \leq 500$	$500 < \rho \leq 1\,000$	$1\,000 < \rho \leq 2\,000$	$\rho > 2\,000$
接地电阻 Ω	10	15	20	25	30

7.1.2.6 用数值计算的方法确定档距中央导线与地线之间的距离。当雷击档距中央地线时,地线对导线发生反击闪络的耐雷水平宜不低于 200 kA。

7.1.3 线路交叉部分的保护

线路与较低电压线路、通信线路交叉时,两交叉线路导线间或上方线路导线与下方线路地线间的垂直距离等,不得小于表 2 所列数值(当导线温度为 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 时)。

表 2 与较低电压线路、通信线路交叉时的交叉距离

单位为米

交叉类型	至输电线路地线(导线)	至输电线路杆顶	至通讯线路
交叉距离	10	16	18

7.1.4 大跨越档的保护

7.1.4.1 大跨越档在雷电过电压下安全运行年数不宜低于 50 年。

7.1.4.2 大跨越线路随杆塔高度增加宜适当增加杆塔的绝缘水平。其中需重点考虑导线对杆塔的空气间隙距离,并根据雷电过电压计算确定。绝缘子串的长度应根据雷电过电压计算进行校核。

7.1.4.3 根据雷击档距中央地线时控制反击的条件,大跨越档距中央导线与地线间的距离应通过雷电过电压的计算确定。

7.1.4.4 大跨越杆塔的地线保护角宜小于一般线路的保护角。

7.1.4.5 大跨越杆塔接地电阻不宜大于表 1 所列数值的 50%。当土壤电阻率大于 $2\,000 \Omega \cdot \text{m}$ 时,接地电阻不宜大于 20Ω 。

7.1.5 变电站 2 km 架空进线段的保护

2 km 架空进线段范围内应采取措施减少雷电绕击和反击导线的概率,反击耐雷水平宜不小于 250 kA。

架空进线段地线保护角平原宜小于 -4° ,在条件允许的情况下山区宜进一步减小;线路耐张转角塔地线对跳线的保护角宜小于 -4° ,也可采取其他措施保护。

当单回线路进线段杆塔上两根地线之间的距离超过导线与地线垂直距离 4 倍时,应增设第三根地线防止雷电绕击中相导线。

7.2 变电站的雷电过电压

7.2.1 变电站的直击雷过电压保护

变电站的直击雷过电压保护应按照 DL/T 620 的相关规定,此外还需满足:

- 变电站的直击雷过电压保护,宜用电气几何模型法或滚球法进行核算;
- 装在架构上的避雷针应与接地网连接,并应在其附近装设集中接地装置。装有避雷针和避雷线的架构与 1 000 kV 带电部分间的空气中距离不得小于 7 m。

7.2.2 变电站的雷电侵入波过电压保护

7.2.2.1 变电站一般宜在每一主变压器旁和每段母线上装设 1 组避雷器。在每回线路的入口处装设

1至2组避雷器,避雷器的位置和数量应通过雷电侵入波过电压计算确定。

7.2.2.2 预测变电站雷电过电压时应考虑一般运行方式和特殊方式。特殊方式,即变电站线路断路器处于开路状态的运行方式,其过电压更严重,但出现的概率较小。

7.2.2.3 在进行变电站雷电侵入波过电压绝缘配合时,一般运行方式下的内绝缘安全裕度要求不低于15%,特殊方式下内绝缘安全裕度要求不低于10%,外绝缘安全裕度要求不低于5%。

7.2.2.4 变电站的耐雷指标(平均无故障时间),不宜低于1500年。

8 绝缘配合

8.1 绝缘配合基本原则

8.1.1 持续运行电压和暂时过电压下的绝缘配合

8.1.1.1 持续运行电压下电气装置外绝缘的爬电距离应符合相应环境污秽分级条件下的爬电比距要求。

8.1.1.2 变电站内空气间隙应能承受最大工频过电压。线路有风偏的空气间隙在大风条件下应耐受系统最高相电压。

8.1.1.3 变电站电气设备应能承受持续运行电压和一定幅值及时间的暂时过电压。

8.1.2 操作过电压下的绝缘配合

8.1.2.1 架空线路确定其操作过电压要求的绝缘水平时,可采用将过电压幅值和绝缘强度作为随机变量的统计法。线路的平均操作过电压闪络率宜不高于0.01次/年。

8.1.2.2 变电站电气设备操作冲击绝缘水平以及变电站绝缘子串、空气间隙的操作冲击绝缘强度,以避雷器保护为基础,进行绝缘配合。配合时,对非自恢复绝缘采用确定性法(惯用法);对自恢复绝缘采用仅将绝缘强度作为随机变量的统计法。

8.1.3 雷电过电压下的绝缘配合

8.1.3.1 单回线路杆塔上雷电过电压下的空气间隙不作要求。

8.1.3.2 变电站中电气设备和绝缘子串、空气间隙的雷电冲击强度,以避雷器保护为基础可采用确定性法和统计法(或简化统计法)进行绝缘配合。

8.1.4 VFTO下的绝缘配合

由于目前尚无统一规定的VFTO的试验电压典型波形和耐受电压值。GIS绝缘放电的伏秒特性曲线比较平坦,在VFTO下的耐受电压比雷电冲击耐受电压升高不多,在绝缘配合时可用雷电冲击耐压水平来代替。变压器类设备的绝缘在VFTO下的耐受电压尚在考虑中。

8.1.5 用于操作、雷电过电压绝缘配合的冲击试验电压波形

8.1.5.1 操作过电压波前时间一般为1000 μ s~3000 μ s。线路绝缘的操作冲击试验电压波前时间宜按工程预测值考虑,本指导性技术文件暂取1000 μ s。

8.1.5.2 雷电冲击试验电压波前时间为1.2 μ s,波尾时间为50 μ s。

8.1.5.3 变电站设备的标准试验电压波形参照附录A。

8.1.6 外绝缘强度数据

进行绝缘配合时,对于输电线路、变电站的绝缘子串、空气间隙在各种电压下的绝缘强度,宜采用真型塔或仿真型塔(构架)试验数据。

8.1.7 气象条件校正

本指导性技术文件中输电线路、变电站绝缘子串及空气间隙的绝缘配合公式均按标准气象条件给出。当输电线路、变电站因海拔高度引起气象条件变化而异于标准状态时,可按照附录C校正,以满足绝缘配合要求。

本指导性技术文件中规定的变电站电气设备外绝缘耐受电压要求值,适用于设备安装点海拔高度不超过1000m。当海拔高度超过1000m时,可按照附录C校正。

8.2 绝缘配合的方法

绝缘配合方法有确定性法,统计法及简化统计法。

确定性法是在代表性过电压或避雷器保护水平与设备耐受电压之间选取适宜的配合系数的方法。

统计法是将过电压、绝缘强度或其他随机因素作为随机变量,按绝缘故障率要求进行配合的方法。

简化统计法是考虑正态分布的统计过电压与作为正态分布随机变量的绝缘强度按绝缘故障率要求进行配合的方法。本指导性技术文件中将避雷器保护水平及作为随机变量的绝缘强度按绝缘故障率要求进行配合的方法也称为简化统计法。

8.3 1 000 kV 金属氧化物避雷器

金属氧化物避雷器(下称“避雷器”)是限制操作过电压和雷电过电压的主要装置,其保护水平是变电站设备绝缘配合的基础,避雷器按其安装位置分为母线侧(线路断路器变电站侧)避雷器和线路侧(线路断路器线路侧)避雷器。

避雷器的保护水平与其额定电压相关。避雷器额定电压的选择主要取决于工频过电压的大小和持续时间。母线侧避雷器的额定电压按母线侧最大工频过电压 1.3 p. u. (826 kV)选为 828 kV;线路侧最大工频过电压为 1.4 p. u. (889 kV),但持续时间较短(小于 0.5 s),因此线路侧避雷器额定电压也可选为 828 kV,这对于降低系统过电压水平有重要意义。

1 000 kV 变电站内避雷器的主要电气参数按照附录 D 执行。

8.4 架空线路绝缘子、导线对杆塔的空气间隙的绝缘配合

8.4.1 绝缘子串和复合绝缘子

绝缘子串或复合绝缘子的选择,应满足能够耐受持续运行电压作用的要求,宜根据污耐压法确定,在缺乏污耐压试验数据时也可按爬电比距法确定。同时应符合耐受操作和雷电过电压要求。

8.4.2 导线对杆塔的空气间隙

8.4.2.1 工频电压和操作过电压下的空气间隙选择的计算方法参照附录 E,要求值见表 3。

8.4.2.2 对于单回线路,雷电过电压下的空气间隙距离对杆塔塔头尺寸不起控制作用,不予规定。对于同塔双回线路,为满足线路雷击跳闸率的要求,重点确保导线对其下方横担有足够的间隙距离。雷电过电压下的最小空气间隙距离要求值见表 3。

表 3 1 000 kV 线路最小空气间隙要求值

单位为米

作用电压类型	线路类型	最小空气间隙距离		
		海拔高度 500 m	海拔高度 1 000 m	海拔高度 1 500 m
工频	单回	2.7	2.9	3.1
	同塔双回	2.7	2.9	3.1
操作	单回 ^a	边相 5.9;中相 6.7/7.9	边相 6.2;中相 7.2/8.0	边相 6.4;中相 7.7/8.1
	同塔双回	6.0	6.2	6.4
雷电	单回	不予规定		
	同塔双回 ^b	6.7	7.1	7.6

^a 斜线上的数据表示中相带电体对斜铁的间隙距离,斜线下的数据表示中相带电体对上横梁的间隙距离。
^b 对雷电活动较强烈的山区可根据工程实际条件适当增大雷电最小空气间隙距离。

8.4.2.3 线路绝缘在操作过电压下的闪络率的计算方法参照附录 F。

8.4.2.4 为避免线路塔头间隙过大,带电作业安全距离不作为线路绝缘间隙尺寸的控制因素。带电作业安全距离加上人体活动范围(不小于 0.5 m)后,不宜大于操作过电压要求的间隙距离。当不能满足上述要求时,带电作业应采取特殊保护措施。

8.5 变电站绝缘子串及空气间隙的绝缘配合

8.5.1 变电站绝缘子串

工频电压要求的变电站每串绝缘子片数按污耐压法确定,在缺乏污耐压试验数据时也可按爬电比距法确定。

8.5.2 变电站的最小空气间隙

变电站最小空气间隙距离 A 值分为 A1'、A1''和 A2 值三类。

变电站的最小空气间隙距离计算方法参照附录 H,海拔不超过 1 000 m 地区最小空气间隙见表 4。

表 4 1 000 kV 变电站最小空气间隙距离

单位为米

作用电压类型	A1 值		A2 值
	A1'	A1''	
工频	4.2		6.8
操作	6.8	7.5	10.1 (均压环—均压环) 9.2 (四分裂导线—四分裂导线)
雷电	5.0		11.3 (管母—管母) 5.5

8.6 变电站电气设备的绝缘配合

8.6.1 持续运行电压和暂时过电压下的绝缘配合

8.6.1.1 变电站电气设备应能承受持续运行电压及一定幅值和时间的暂时过电压。以最大的工频过电压作为代表性过电压 U_p ,配合因数 $k_c=1$, k_s 为安全因数。

8.6.1.1.1 内绝缘

其额定工频耐受电压(有效值) $U_w=k_c k_s U_p$ 。

8.6.1.1.2 外绝缘

需依据海拔高度进行大气校正因数 k_a 计算。电气设备外绝缘相对地额定工频耐受电压 $U_w=k_c k_a k_s U_p$ 。

8.6.1.2 变电站电气设备外绝缘耐污闪能力应能满足变电站所在地区的相应污秽等级区的耐受持续运行电压作用要求。

8.6.1.3 开关设备的纵绝缘(断路器同极断口间内绝缘以及断路器、隔离开关同极断口间外绝缘)的额定短时工频耐受电压 U_{wg} 应考虑反极性持续运行电压的影响,按式(2)计算:

$$U_{wg} = U_w + U_m / \sqrt{3} \dots\dots\dots (2)$$

8.6.1.4 变电站电气设备承受一定幅值和时间的暂时过电压的要求按照附录 G 执行。

8.6.2 操作过电压下的绝缘配合

8.6.2.1 电气设备内绝缘

代表性过电压为变电站最大的操作过电压或避雷器操作冲击保护水平。

操作过电压下,电气设备内绝缘的绝缘配合计算方法参照附录 E。

8.6.2.2 电气设备外绝缘

相对地绝缘代表性过电压为变电站统计操作相对地过电压或避雷器操作冲击保护水平。

相间绝缘代表性过电压为变电站统计操作相间过电压或避雷器操作冲击保护水平。

操作过电压下,电气设备相对地、相间外绝缘的绝缘配合计算方法参照附录 E。

8.6.2.3 开关设备的纵绝缘

开关设备的纵绝缘(断路器同极断口间内绝缘以及断路器、隔离开关同极断口间外绝缘)的操作冲击耐压 U_{wg} 应考虑反极性持续运行电压的影响,符合式(3)计算:

$$U_{wg} = U_{w.s} + \sqrt{2}U_m/\sqrt{3} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

$U_{w.s}$ ——断路器、隔离开关相对地绝缘的额定操作冲击耐压电压或低一级的操作冲击耐压电压。

8.6.3 雷电过电压下的绝缘配合

8.6.3.1 由变电站各个设备上的雷电侵入波过电压计算值或避雷器雷电冲击保护水平确定各个设备上的代表性过电压。计算时应考虑雷击位置、雷电流幅值、变电站可能出现的不同的运行方式、避雷器特性及其布置方式等。

雷电过电压下,电气设备内、外绝缘的绝缘配合计算方法参照附录 E。

8.6.3.2 对变压器类设备应作雷电冲击截波耐受电压试验,其幅值可比额定雷电冲击耐受电压值高 10%左右。

8.6.3.3 开关设备的纵绝缘(断路器同极断口间内绝缘以及断路器、隔离开关同极断口间外绝缘)的全波雷电冲击耐压 U_{wg} 应考虑反极性持续运行电压的影响,按式(4)计算：

$$U_{wg} = U_{w.l} + \sqrt{2}U_m/\sqrt{3} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

$U_{w.l}$ ——断路器、隔离开关相对地绝缘全波额定雷电冲击耐压电压。

8.6.4 1 000 kV 各类设备绝缘的额定耐受电压

各类 1 000 kV 设备绝缘的额定耐受电压见表 5。可按照工程条件,参照附录 E 的计算结果,优化表 5 中的额定耐受电压。

表 5 1 000 kV 设备绝缘额定耐受电压 单位为千伏

设备	雷电冲击	操作冲击	工频
变压器、电抗器	2 250(截波 2 400)	1 800	1 100(5 min)
GIS(断路器、隔离开关)	2 400	1 800	1 100(1 min)
支柱绝缘子、隔离开关(敞开式)	2 550	1 800	1 100(1 min)
电压互感器(CVT)	2 400	1 800	1 200(5 min)
套管(变压器、电抗器)	2 400(截波 2 760)	1 950	1 200(5 min)
套管(GIS)	2 400	1 800	1 100(1 min)
开关设备纵绝缘	2 400+900	1 675+900	1 100+635(1 min)

8.6.5 自耦变压器中性点绝缘的额定耐受电压

自耦变压器高、中压绕组的低压端经调压补偿变压器的中性点直接接地。变压器低压端和调压补偿变压器的高压端绝缘水平相同,其额定耐受电压和调压变压器中性点额定耐受电压见表 6。

表 6 1 000 kV 变压器中性点绝缘额定耐受电压 单位为千伏

位置	雷电冲击	短时工频
高、中压绕组低压端	325	140
调压补偿变压器中性点	185	85
	325	140

8.6.6 变压器低压 110 kV 侧设备绝缘的额定耐受电压

1 000 kV 变压器的低压 110 kV 侧为不接地系统,设备绝缘的额定耐受电压见表 7。

表 7 变压器低压 110 kV 侧设备绝缘额定耐受电压

单位为千伏

雷电冲击	短时工频
650	275

8.6.7 线路并联电抗器中性点及接地电抗器绝缘的额定耐受电压

线路并联电抗器中性点经接地电抗器接地。线路并联电抗器中性点和接地电抗器的绝缘水平取相同值。中性点绝缘的额定耐受电压与高压并联电抗器及其接地电抗器电抗值、中性点避雷器参数以及中性点过电压水平有关。应结合工程计算确定中性点及接地电抗器绝缘的额定耐受电压,其参考值见表 8。

表 8 高压并联电抗器中性点及接地电抗器绝缘额定耐受电压参考值

单位为千伏

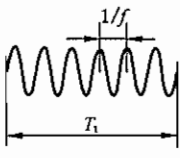
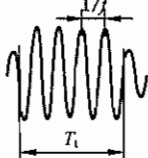
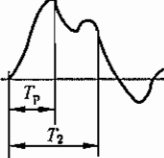
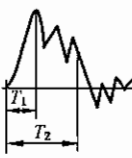
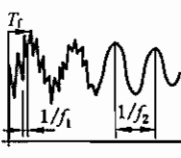
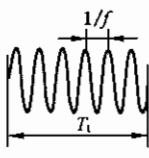
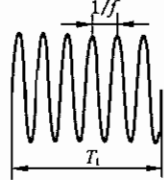
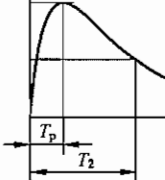
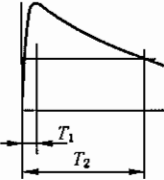
雷电冲击	短时工频
550	230
650	275
750	325

附录 A
(资料性附录)

各类作用电压和标准试验电压的波形

各类作用电压和标准试验电压的波形见表 A.1。

表 A.1 各类作用电压和标准试验电压的波形

类别	低频电压		瞬态电压		
	连续	暂时	缓波前	快波前	特快速
作用电压波形					
电压波形范围	$f=50\text{ Hz}$ $T_1 \geq 3\ 600\text{ s}$	$10\text{ Hz} < f < 500\text{ Hz}$ $0.02\text{ s} \leq T_1 \leq 3\ 600\text{ s}$	$20\ \mu\text{s} < T_p \leq 5\ 000\ \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20\text{ ms}$	$0.1\ \mu\text{s} < T_1 \leq 20\ \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300\ \mu\text{s}$	$T_1 \leq 100\text{ ns}$ $0.3\text{ MHz} < f_1 < 100\text{ MHz}$ $30\text{ kHz} < f_2 < 300\text{ kHz}$
设备标准耐受试验电压波形	 $f=50\text{ Hz}$	 $48\text{ Hz} \leq f \leq 52\text{ Hz}$ $T_1=60\text{ s}$	 $T_p=250\ \mu\text{s}$ $T_2 \leq 2\ 500\ \mu\text{s}$	 $T_1=1.2\ \mu\text{s}$ $T_2=50\ \mu\text{s}$	在考虑中
标准耐受电压试验	由相关设备委员会规定	短时工频试验	操作冲击试验	雷电冲击试验	在考虑中

附录 B
(资料性附录)

1 000 kV 架空线路和变电站雷电性能的计算方法

B.1 架空线路雷电性能的计算方法

B.1.1 雷电流幅值的概率

B.1.1.1 除西北地区(不包括陕南)和内蒙古自治区的部分地区以外,我国一般地区雷击输电线路杆塔雷电流幅值概率分布见式(B.1):

$$P(I_0 \geq i_0) = 10^{-\frac{i_0}{33}} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$P(I_0 \geq i_0)$ ——雷电流幅值超过 i_0 (kA) 的概率。

B.1.1.2 陕南以外的西北地区、内蒙古自治区的部分地区(这类地区的平均年雷暴日数一般在 20 及以下)雷电流幅值较小,雷击输电线路杆塔雷电流幅值概率分布见式(B.2):

$$P(I_0 \geq i_0) = 10^{-\frac{i_0}{14}} \dots\dots\dots (B.2)$$

B.1.2 线路落雷次数

40 雷电日下地闪密度暂取 2.8 次/(km²·a),不同地区的地闪密度会有不同值。40 雷电日下每 100 km 线路每年遭受雷击的次数 N_L (次/(100 km·a)),可由式(B.3)计算。

$$N_L = 0.28(28h_T^2 + b) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

h_T ——杆塔高度, m;

b ——两根地线之间的距离, m。

B.1.3 雷电流波形

采用 2.6/50 μ s 双斜角波。

B.1.4 雷电通道等值波阻抗

雷电通道等值波阻抗 Z_0 在不同的雷电流幅值下宜区别对待, Z_0 随雷电流幅值变化的规律参见图 B.1。

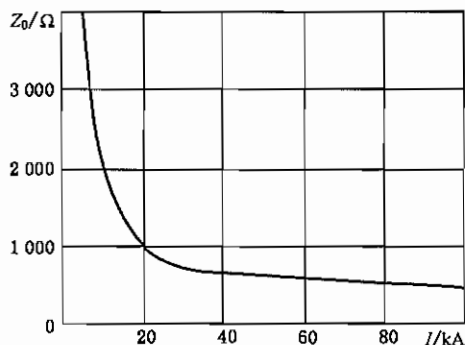


图 B.1 雷电流通道波阻抗和雷电流幅值的关系

B.1.5 雷电绕击导线的计算方法

线路运行经验、现场实测和模拟试验均证明,雷电绕击导线的概率和地线与导线的布置、保护角、杆塔高度以及线路经过地区的地形、地貌、地质条件有关。目前我国用于输电线路雷电绕击导线性能的评价方法,主要有电气几何模型法(EGM)和先导发展模型法(LPM)等。本指导性技术文件采用 EGM

方法。

EGM 的基本原理为：由雷云向地面发展的先导放电通道头部到达距被击物体临界击穿距离（简称击距）的位置以前，击中点是不确定的。但对某个物体先达到相应击距时，则向该物体放电。

击距计算方法可按表 B.1 选取：

表 B.1 击距计算方法

方法 A	方法 B
$r_s = 10I^{0.65}$ 或 $r_s = 6.72I^{0.8}$	$r_s = 10I^{0.65}$
$r_c = r_s$	$r_c = 1.63(5.015I^{0.578} - 0.001U_{ph})^{1.125}$
$r_g = \beta_g r_s$ 对单回线路： $\beta_g = 0.8$ 。 对双回线路： $\beta_g = 0.8$ （下相导线）； $\beta_g = 0.7$ （上、中相导线）。	$r_g = \begin{cases} [3.6 + 1.7 \ln(43 - h_{c.av})] I^{0.65} & (h_{c.av} < 40 \text{ m}) \\ 5.5 I^{0.65} & (h_{c.av} \geq 40 \text{ m}) \end{cases}$
注： r_s ——雷电对地线的击距，m； r_c ——雷电对导线的击距，m； r_g ——雷电对大地的击距，m； U_{ph} ——导线上工作电压瞬时值，kV； $h_{c.av}$ ——导线对地平均高度，m。	

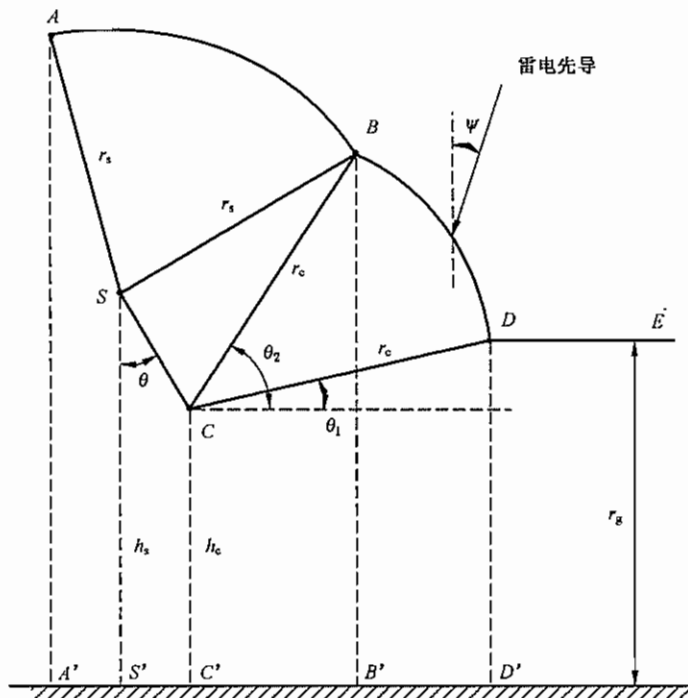


图 B.2 雷电直击线路导线的电气几何模型

图 B.2 是线路的横断面图，显示了雷直击双地线线路导线的电气几何模型。S 点是地线，C 点是导线，AA' 为杆塔中心线， θ 是线路地线对导线的保护角。若雷电先导头部落入 AB 弧面，放电将击向地线，使导线得到保护，称弧 AB 为保护弧。若先导头部落入 BD 弧面，则击中导线，称弧 BD 为暴露弧。若先导头部落入 DE 平面，则击中大地，故称 DE 平面为大地捕雷面。随着雷电流幅值增大，暴露弧 BD

逐渐缩小,当雷电流幅值增大到最大绕击导线电流 I_{max} 时暴露弧 BD 缩小为 0,即不再发生绕击。图中 Ψ 是雷电先导入射角。对于高杆塔先导入射角的概率分布密度函数 $P_g(\Psi)$ 由式(B.4)表达:

$$P_g(\Psi) = 0.75\cos^3\Psi \quad \dots\dots\dots(B.4)$$

并非所有绕击都会引起绝缘闪络,只有当雷电流大于线路绕击的耐雷水平 I_{min} 时才会引起闪络。经过山区的输电线路,雷电绕击的计算应考虑地形的影响。

B.1.6 雷击杆塔和地线反击的计算方法

线路的雷电反击计算一般采用数值计算的方法。线路绝缘闪络判据采用相交法或先导发展模型法。计算时宜考虑:

- 导线上工频电压的影响;
- 采用分段波阻抗模拟杆塔;
- 雷击塔顶时导线上的感应电压。

感应电压可按式(B.5)或式(B.6)计算:

$$u_i = \frac{50ah_{c,t}}{k_{\beta c}} \left[\ln \frac{h_t + d_R + k_{\beta}ct}{(1+k_{\beta})(h_t + d_R)} \right] \left(1 - \frac{h_{t,av}k_0}{h_{c,av}}\right) \dots\dots\dots(B.5)$$

$$u_i = 2.2i^{0.4}h_{c,av} \left(1 - \frac{h_{t,av}k_0}{h_{c,av}}\right) \dots\dots\dots(B.6)$$

式中:

- i ——雷电流瞬时值, kA;
- a ——雷电流陡度, kA/ μ s;
- k_{β} ——主放电速度与光速 c 的比值, $k_{\beta} = \sqrt{1/(500+D)}$;
- $h_{c,t}$ ——导线在杆塔处的悬挂高度, m;
- $h_{c,av}$ ——导线对地平均高度, m;
- $h_{t,av}$ ——地线对地平均高度, m;
- d_R ——雷击杆塔时迎面先导的长度, $d_R = 5I^{0.65}$, m;
- k_0 ——地线和导线间的耦合系数。

B.1.7 雷击跳闸率的计算

雷击跳闸率可按式(B.7)计算:

$$N = N_r \eta (gP_1 + P_{st}) \dots\dots\dots(B.7)$$

式中:

- N ——线路雷击跳闸率,次/(100 km·a);
- η ——建弧率,按照 DL/T 620 计算取值;
- g ——击杆率,平原为 1/6,山区为 1/4;
- P_1 ——超过雷击杆塔顶部时耐雷水平 I_1 的雷电流概率,即 $P(I_0 > I_1)$, I_1 随雷击时刻系统工作电压瞬时值不同而变化;
- P_{st} ——线路的绕击闪络概率,应考虑雷击时刻运行电压瞬时值(按 1 个工频周期均匀分布)按区间组合统计法计算。

B.2 变电站的雷电性能计算方法

B.2.1 变电站的雷电性能计算可采用统计法和确定性法。计算时应结合工程条件。

B.2.2 确定性法计算中雷击点的位置宜包括近区(进线段内)和远区(进线段外第 1 基)。计算雷电绕击侵入波过电压时,最大绕击雷电流可由电气几何模型确定;计算雷电反击侵入波过电压时,最大反击雷电流取为 250 kA,雷击 2 km 进线段每基杆塔产生的雷电侵入波过电压与设备绝缘水平相比,应满足 7.2.2.3 中的安全裕度。

B.2.3 统计法计算变电站的耐雷指标应满足 7.2.2.4 的要求,计算中随机变量包括:

- 雷电流幅值的概率分布;
- 雷击点位置;
- 变电站运行方式;
- 雷击时刻工频电压的瞬时值。

B.2.4 计算时应考虑各种设备的绝缘耐受电压、安全因数和电晕的影响等因素。变电站(开关站)的设备以该设备的等值入口电容模拟。

附录 C
(规范性附录)

外绝缘放电电压或耐受电压的气象校正

C.1 本附录的气象校正方法适用于海拔高度 2 000 m 及以下地区线路和设备

C.2 外绝缘放电电压或耐受电压试验数据通常以标准气象条件给出

标准气象条件是：

- 气压(海拔高度 0 m) 101.325 kPa;
- 温度 20 ℃;
- 绝对湿度 11 g/m³。

注：1 mmHg=133.322 Pa, 760 mmHg=101.325 kPa。

C.3 外绝缘所在地区气象条件异于标准气象条件时放电电压或耐受电压的校正

海拔高度为 $H(m)$ 地区的外绝缘,其在标准气象条件下的放电电压或耐受电压要求值(U_{P_H})可按式(C.1)校正：

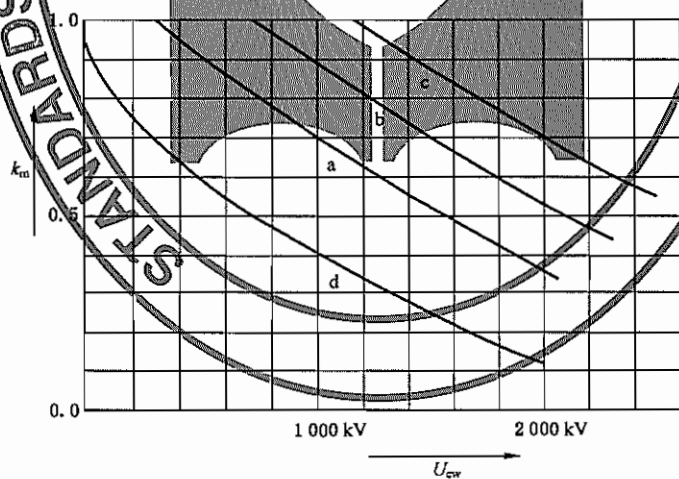
$$U_{P_H} = k_a U_{P_0} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- U_{P_0} ——海拔高度 0 m 时放电电压或耐受电压要求值, kV;
- k_a ——海拔校正系数,由式(C.2)算出。

$$k_a = e^{k_m(H/8150)} \dots\dots\dots (C.2)$$

式(C.2)中的 k_m 值如下：雷电冲击电压, $k_m=1.0$ ；操作冲击电压, k_m 按图 C.1 选取,对于由两个分量组成的电压,电压值是各分量的和；空气间隙和清洁的绝缘子的短时工频电压, $k_m=1.0$ 。



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

图 C.1 各种电压下的 k_m 值

由于表 5 至表 8 中所列的设备耐受电压值是相对于海拔 1 000 m 地区的。当海拔高度超过 1 000 m 时,应采用式(C.3)计算的 k_a ,对表中外绝缘耐受电压值进行校正。

$$k_a = e^{k_m[(H-1000)/8150]} \dots\dots\dots (C.3)$$

附录 D
(规范性附录)

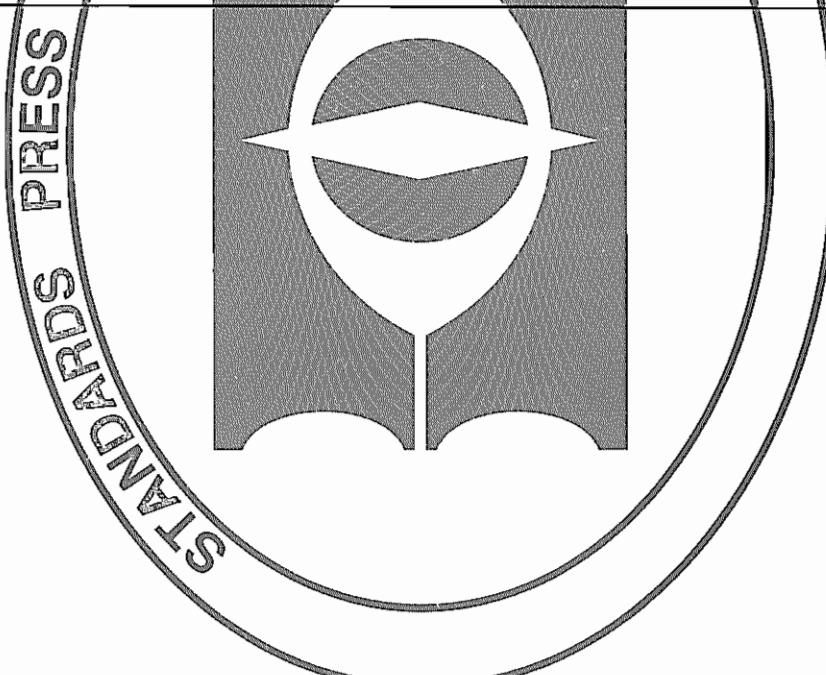
1 000 kV 变电站金属氧化物避雷器的主要电气参数

1 000 kV 变电站金属氧化物避雷器的主要电气参数见表 D.1。

表 D.1 1 000 kV 变电站避雷器主要电气参数

单位为千伏

系统标称电压	安装位置	额定电压 (有效值)	持续运行电压 (有效值)	30/60 μ s, 2 kA 下操作冲击残压	8/20 μ s, 20 kA 下雷 电冲击残压
1 000	线路侧、母线侧、变压器侧	828	638	$\leq 1\ 460$	$\leq 1\ 620$
500	变压器侧	420	318	≤ 858	$\leq 1\ 046$
110 ^a	母线、无功补偿电抗器	158	126	≤ 301	$\leq 363^b$
	无功补偿电容器	174	138	≤ 331	$\leq 400^b$
^a 110 kV 中性点不接地系统。 ^b 8/20 μ s, 10 kA 下的雷电冲击残压。					



附录 E
(资料性附录)

1 000 kV 线路和变电站绝缘配合的计算方法

本附录提供了空气间隙放电电压要求值和设备耐受电压的两种计算方法,分别为方法 A 和方法 B。

根据计算得到的空气间隙放电电压要求值,需要依据线路或变电站所在地区的海拔高度进行相应的大气修正,然后对照真型塔(或仿真型塔)空气间隙或变电站典型空气间隙放电电压数据(参照附录 H),选取空气间隙最小距离。

E.1 线路空气间隙放电电压要求

E.1.1 工频放电电压

选择空气间隙 50%工频放电电压时考虑的计算条件:

- 100 年一遇的最大风速;
- 系统最高电压;
- 多间隙并联对放电电压的影响。

单个间隙的 50%放电电压要求值按公式(E.1)进行:

$$u_{50.1.r} = k_s k_c \sqrt{2} U_m / \sqrt{3} \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

- k_s ——安全因数,取 1.05;
- k_c ——配合因数,取值为 1.1。

E.1.2 操作冲击放电电压

空气间隙 50%操作冲击放电电压选择时考虑的计算条件:

- 100 年一遇最大风速的 50%为计算风速;
- 统计操作过电压;
- 多间隙并联对放电电压的影响。

单空气间隙的 50%操作冲击放电电压要求值按公式(E.2)进行:

$$u_{50.1.r} = k_s k_c U_s \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

- k_s ——安全因数,取 1;
- k_c ——配合因数,I 串取值范围为 1.1~1.26, V 串取值为 1.27;
- U_s ——线路相对地统计操作过电压, kV。

E.2 变电站最小空气间隙放电电压要求值

E.2.1 工频放电电压

工频电压要求的变电站空气间隙除考虑持续运行电压要求外,还应考虑工频过电压的要求。

E.2.1.1 变电站相对地空气间隙的工频 50%放电电压要求值应符合公式(E.3)的要求:

$$u_{50.1.r} = k_s k_c U_{pg} \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

式中:

- k_s ——安全因数,取 1.05;
- k_c ——配合因数,取 1.06;
- U_{pg} ——相对地最大工频过电压,取 1.4 p. u.。

E.2.1.2 变电站相间空气间隙的工频 50%放电电压要求值应符合公式(E.4)的要求:

$$u_{50.1.r} = k_s k_c U_{pp} \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:

k_s ——安全因数,取 1.05;

k_c ——配合因数,取值 1.06;

U_{pp} ——母线处相间最大工频过电压,取 $1.3\sqrt{3}$ p. u.。

E.2.2 操作冲击放电电压

E.2.2.1 方法 A

E.2.2.1.1 相-地间隙放电电压要求值

相对地间隙操作冲击 50%放电电压要求值按公式(E.5)进行:

$$u_{50.1.r} = \frac{U_{rw}}{1 - 1.28\sigma_1^*} = \frac{k_s k_{cs} U_{op}}{1 - 1.28\sigma_1^*} \dots\dots\dots (E.5)$$

式中:

σ_1^* ——操作冲击放电电压分布变异系数,取 0.06;

U_{rw} ——90%操作冲击电压要求值, $U_{rw} = k_s k_{cs} U_{op}$;

U_{op} ——代表性过电压,取为相对地操作统计过电压;

k_{cs} ——统计配合因数,取 1.15(绝缘故障率为 0.01%时);

k_s ——安全因数,取 1.05。

由于附录 H 提供的变电站空气间隙冲击放电电压试验数据是使用标准波前时间(250 μs)波形的试验电压得到的,因此需要进行波形校正,校正到 1 000 μs 波前时间。校正系数取为 1.13。将操作冲击 50%放电电压要求值除以校正系数,选取空气间隙最小距离。

E.2.2.1.2 相间间隙放电电压要求值

相间操作冲击 50%放电电压要求值按公式(E.6)进行:

$$u_{50.1.r} = \frac{U_{rw}}{1 - 1.28\sigma_1^*} = \frac{k_s k_{cs} U_{op}}{1 - 1.28\sigma_1^*} \dots\dots\dots (E.6)$$

式中:

σ_1^* ——操作冲击放电电压分布变异系数,取 0.03;

U_{rw} ——90%操作冲击电压要求值, $U_{rw} = k_s k_{cs} U_{op}$;

U_{op} ——代表性过电压,取为相间操作统计过电压;

k_{cs} ——统计配合因数,取 1.15(绝缘故障率为 0.01%时);

k_s ——安全因数,取 1.05。

波形校正到 1 000 μs 波前时间时,试验数据波形校正系数取为 1.13。

E.2.2.2 方法 B

E.2.2.2.1 相对地空气间隙放电电压要求值

变电站操作过电压要求的变电站绝缘子串和相对地空气间隙的正极性操作冲击电压波 50%放电电压要求值应符合式(E.7)的要求且不得低于变电站电气设备中隔离开关、支柱绝缘子的相应值按公式(E.7)进行:

$$u_{50.1.r} = \frac{U_{ps}}{1 - 3\sigma_1^*} = k_1 U_{ps} \dots\dots\dots (E.7)$$

式中:

U_{ps} ——避雷器操作过电压保护水平,取标称操作冲击下的残压值,kV;

σ_1^* ——绝缘子串在操作过电压下放电电压的变异系数,0.06;

k_1 ——变电站绝缘子串操作过电压配合系数,1.22。

E.2.2.2.2 相间空气间隙放电电压要求值

变电站相间空气间隙的操作冲击电压波 50%放电电压要求值应符合公式(E.8)的要求:

$$u_{50.1.r} = \frac{k_2 U_{ps}}{1 - 3\sigma_1^*} = k_3 U_{ps} \quad \dots\dots\dots (E.8)$$

式中:

- σ_1^* ——相间空气间隙在操作过电压下放电电压的变异系数,0.035;
- k_2 ——相间与相对地过电压的比值,1.81;
- k_3 ——变电站相间空气间隙操作过电压配合系数,2.0。

E.2.3 雷电冲击放电电压

E.2.3.1 方法 A

E.2.3.1.1 相-地间隙放电电压要求值

相对地间隙雷电冲击 50%放电电压要求值应符合公式(E.9)的要求:

$$u_{50.1.r} = k_s k_{cs} U_{rp} \quad \dots\dots\dots (E.9)$$

式中:

- U_{rp} ——相对地代表性过电压;
- k_{cs} ——统计配合因数, $k_{cs} = 1/(1 - 3\sigma_1^*)$, σ_1^* 取 0.03, $k_{cs} = 1.1$;
- k_s ——安全因数,取 1.05。

E.2.3.1.2 相间间隙放电电压要求值

雷电冲击下的相间最小空气间隙距离可取相对地最小空气间隙距离的 1.1 倍。

E.2.3.2 方法 B

E.2.3.2.1 绝缘子串

雷电过电压要求的变电站绝缘子串正极性雷电冲击电压 50%放电电压要求值应符合公式(E.10)的要求,且不得低于变电站电气设备中隔离开关、支柱绝缘子的相应值:

$$u_{50.1.r} = k_4 U_{pl} \quad \dots\dots\dots (E.10)$$

式中:

- U_{pl} ——避雷器雷电过电压保护水平,取标称雷电冲击下的残压值,kV;
- k_4 ——变电站绝缘子串雷电过电压配合系数,1.45。

E.2.3.2.2 相对地空气间隙放电电压要求值

变电站相对地空气间隙的正极性雷电冲击电压波 50%放电电压要求值应符合式(E.10)的要求:

E.2.3.2.3 相间空气间隙放电电压要求值

变电站相间空气间隙的雷电电压波 50%放电电压要求值应符合公式(E.11)的要求:

$$u_{50.1.r} = k_4 U_{pl} + \sqrt{2} U_m / \sqrt{3} \quad \dots\dots\dots (E.11)$$

E.3 变电站主要设备的耐受电压要求值

E.3.1 工频耐受电压要求值

工频耐受电压要求值应符合公式(E.12)的要求:

$$U_{rw} = k_s k_c U_{rp} \quad \dots\dots\dots (E.12)$$

式中:

- U_{rp} ——代表性过电压,取最大工频过电压;
- k_c ——配合因数,取 1;
- k_s ——安全因数,对于设备内绝缘, $k_s = 1.15$;对于设备外绝缘, $k_s = 1.05$ 。

E.3.2 操作冲击耐受电压要求值

E.3.2.1 方法 A

E.3.2.1.1 电气设备内绝缘

操作冲击耐受电压要求值应符合公式(E.13)的要求:

$$U_{rw.s} = k_s k_{cd} U_{rp} \dots\dots\dots (E.13)$$

式中:

U_{rp} ——代表性过电压,取统计计算得到的最大操作过电压值;

k_{cd} ——确定性配合因数,取 1.05;

k_s ——安全因数,取 1.15。

E.3.2.1.2 电气设备外绝缘

相对地操作冲击耐受电压要求值应符合公式(E.14)的要求:

$$U_{rw.s} = k_s k_{cs} U_{rp} \dots\dots\dots (E.14)$$

式中:

U_{rp} ——代表性过电压,取相对地统计操作过电压;

k_{cs} ——统计配合因数,取 1.15(绝缘故障率为 0.01%时);

k_s ——安全因数,取 1.05。

相间操作冲击耐受电压要求值应符合公式(E.15)的要求:

$$U_{rw.s} = k_s k_{cs} U_{rp} \dots\dots\dots (E.15)$$

式中:

U_{rp} ——代表性过电压,取相间统计操作过电压;

k_{cs} ——统计配合因数,取 1.15(绝缘故障率为 0.01%时);

k_s ——安全因数,取 1.05。

E.3.2.2 方法 B

电气设备内外绝缘相对地操作冲击耐压要求值应符合公式(E.16)的要求:

$$U_{rw.s} = 1.15 U_{ps} \dots\dots\dots (E.16)$$

E.3.3 雷电冲击耐受电压要求值

E.3.3.1 方法 A

雷电冲击耐受电压要求值应符合公式(E.17)的要求:

$$U_{rw.l} = k_s U_{rp} \dots\dots\dots (E.17)$$

式中:

U_{rp} ——代表性过电压,由变电站各个设备上的雷电侵入波过电压计算来确定;

k_s ——安全因数,对于设备内绝缘, $k_s = 1.15$ (一般运行方式)和 1.1(特殊方式);对于设备外绝缘, $k_s = 1.05$ 。

在设备绝缘的雷电冲击要求耐受电压 U_{rw} 的基础上选取变电站设备内绝缘的全波额定雷电冲击耐受电压 $U_{w.l}$, $U_{w.l} \geq U_{rw.l}$ 。

E.3.3.2 方法 B

E.3.3.2.1 变压器和并联电抗器内、外绝缘的全波雷电冲击耐压要求值应符合式(E.18)的要求:

$$U_{rw.l} = 1.33 U_{pl} \dots\dots\dots (E.18)$$

配合因数 1.33 为考虑裕度系数 1.15 和设备老化因素系数 1.15 而得。

E.3.3.2.2 高压电器、电流互感器、单独试验的套管、母线支柱绝缘子及电缆和其附件等的全波雷电冲击耐压要求值应符合公式(E.19)的要求:

$$U_{rw.l} = 1.45 U_{pl} \dots\dots\dots (E.19)$$

配合因数 1.45 为考虑裕度系数 1.15、设备老化因素系数 1.15 和距离因素系数 1.1 而得。

变压器、并联电抗器及电流互感器截波雷电冲击耐压要求值取相应全波雷电冲击耐压要求值的 1.1 倍。

附录 F
(资料性附录)

操作过电压下线路闪络率的计算方法

F.1 按线路操作过电压预测幅值分布进行计算

该方法将线路各点预测的过电压的概率分布和相应的绝缘闪络率 $P(u)$ 作为随机变量。计算中把线路分为 m 段,每一段的操作过电压分布不同,由数值计算得出。

各段线路 n 个绝缘并联时的闪络率 P_n 计算按式(F.1)进行:

$$P_n = 1 - \prod_{s=1}^n (1 - P_s) \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

式中: P_s 为单个绝缘闪络率。当该绝缘所在点过电压的概率分布已计算出且相应的绝缘闪络率分布已给定, P_s 可按式(F.2)计算:

$$P_s = \frac{1}{2} \int_{(\sqrt{2}U_m/\sqrt{3})}^{\infty} F(u)P(u)du \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

式中:

P_s ——绝缘闪络率;

$F(u)$ ——过电压的概率分布;

$P(u)$ ——冲击试验电压 u 作用下绝缘的闪络率。

一般情况下,空气绝缘在负极性操作冲击下的放电电压明显高于正极性下的放电电压,可以忽略负极性下的闪络率,因此在式(F.2)中,闪络率除以 2。

根据 P_n 可以得到某一相的全线闪络率 P_m 计算按式(F.3)进行:

$$P_m = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad \dots\dots\dots (F.3)$$

式中:

P_i ——第 i 段的单相 n 个绝缘并联的闪络率。

单回线路绝缘子串为 I 串时,在风的作用下只有两相导线向杆塔靠近,第三相远离杆塔。三相的全线总闪络率计算按式(F.4)进行:

$$P_z = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

式中:

P_1 和 P_2 ——在风的作用下导线靠近杆塔的两相的全线闪络率。

V 串线路和同塔双回线路,三相的全线总闪络率计算按式(F.5)进行:

$$P_z = 1 - (1 - P_A)(1 - P_B)(1 - P_C) \quad \dots\dots\dots (F.5)$$

式中, P_A 、 P_B 、 P_C 分别为 A 相,B 相和 C 相的全线绝缘闪络率。

F.2 简化算法

F.2.1 固定空气间隙

单个绝缘在幅值为 u 的操作过电压作用下发生闪络的概率 $P(u)$ 见式(F.6):

$$P(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{(u-U_{50})^2}{2\sigma_1^2}} du \quad \dots\dots\dots (F.6)$$

式中:

U_{50} ——单个绝缘在操作冲击电压波下的 50% 放电电压;

σ_1 ——单个绝缘放电电压的标准偏差。

如线路上操作过电压服从正态分布,且其均值及标准偏差分别为 \bar{u}_s 及 σ_s ,那么在一次操作中幅值为 u 与 $u+du$ 间的过电压出现的概率见式(F.7):

$$F(u)du = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_s} e^{-\frac{(u-\bar{u}_s)^2}{2\sigma_s^2}} du \quad \dots\dots\dots(F.7)$$

于是受到操作过电压分布整体作用的单个绝缘闪络概率 P_s 见式(F.8):

$$P_s = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} F(u)P(u)du \quad \dots\dots\dots(F.8)$$

式(F.9)中的 1/2 为忽略负极性操作过电压的闪络引入。

$$P_s = \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lambda'} e^{\frac{1}{2}u^2} du \right) \quad \dots\dots\dots(F.9)$$

式(F.4)括号内为正态概率积分函数,可由数表查出,其中标准变量 λ' 按照式(F.10)计算:

$$\lambda' = \frac{\bar{u}_s - U_{50}}{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_1^2}} \quad \dots\dots\dots(F.10)$$

如令 k_{is} 为操作过电压统计配合系数,计算公式(F.11)为:

$$k_{is} = \frac{U_{50}}{U_s} \quad \dots\dots\dots(F.11)$$

式中:

$U_s = \bar{u}_s \left(1 + 2.05 \frac{\sigma_s}{\bar{u}_s} \right)$,为统计操作过电压。

λ' 也可由式(F.12)算得:

$$\lambda' = \frac{1 - k_{is} \left(1 + 2.05 \frac{\sigma_s}{\bar{u}_s} \right)}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_s}{\bar{u}_s} \right)^2 + \left[\left(1 + 2.05 \frac{\sigma_s}{\bar{u}_s} \right) k_{is} \frac{\sigma_1}{\bar{u}_s} \right]^2}} \quad \dots\dots\dots(F.12)$$

受到同一操作过电压作用的 m 个绝缘的闪络概率 P'_s 计算公式(F.13)为:

$$P'_s \approx 1 - (1 - P_s)^m \quad \dots\dots\dots(F.13)$$

当过电压和绝缘放电电压的变异系数分别为 0.08 和 0.06、 $m=200$ 时, $k_{is}=1.27$ 。计算出的操作过电压闪络率为 0.003 2 次/每次操作。

F.2.2 受风偏影响的空气间隙

线路在操作过电压下受风偏影响的空气间隙的闪络率正在考虑中。

附录 G
(规范性附录)

1 000 kV 交流电气设备承受一定时间暂时过电压的要求

1 000 kV 特高压变压器、并联电抗器和金属氧化物避雷器等承受一定时间暂时过电压的要求,分别见表 G. 1、表 G. 2 和表 G. 3。

表 G. 1 1 000 kV 变压器承受暂时过电压的要求

运行分接头下额定电压的倍数	1.05	1.10	1.25
持续时间	额定负载 持续	80%额定负载 持续	额定负载 20 s

表 G. 2 1 000 kV 并联电抗器承受暂时过电压的要求

过电压倍数	1.15	1.20	1.30	1.40	1.50
持续时间	60 min	20 min	3 min	20 s	8 s

表 G. 3 1 000 kV 金属氧化物避雷器承受暂时过电压的要求

避雷器额定电压倍数	1.00	1.10	1.15	1.20
持续时间	20 min	10 s	1 s	0.2 s

附录 H
(资料性附录)

1 000 kV 线路杆塔空气间隙和变电站空气间隙放电电压试验数据

本附录所列数据未加说明的均为国网电力科学研究院户外试验场的试验数据,并均已校正到标准气象条件。试验中施加的相对地的操作冲击与雷电冲击试验电压,未加说明的均为正极性。

H.1 1 000 kV 单回线路杆塔空气间隙放电电压试验数据

H.1.1 杆塔边相空气间隙的工频放电电压

H.1.1.1 猫头塔边相空气间隙的工频放电电压

考虑风偏后杆塔边相空气间隙工频放电电压试验布置见图 H.1,距导线最近处的塔腿宽度约为 6.4 m。边相空气间隙的工频 50% 放电电压(U_{50})曲线见图 H.2。

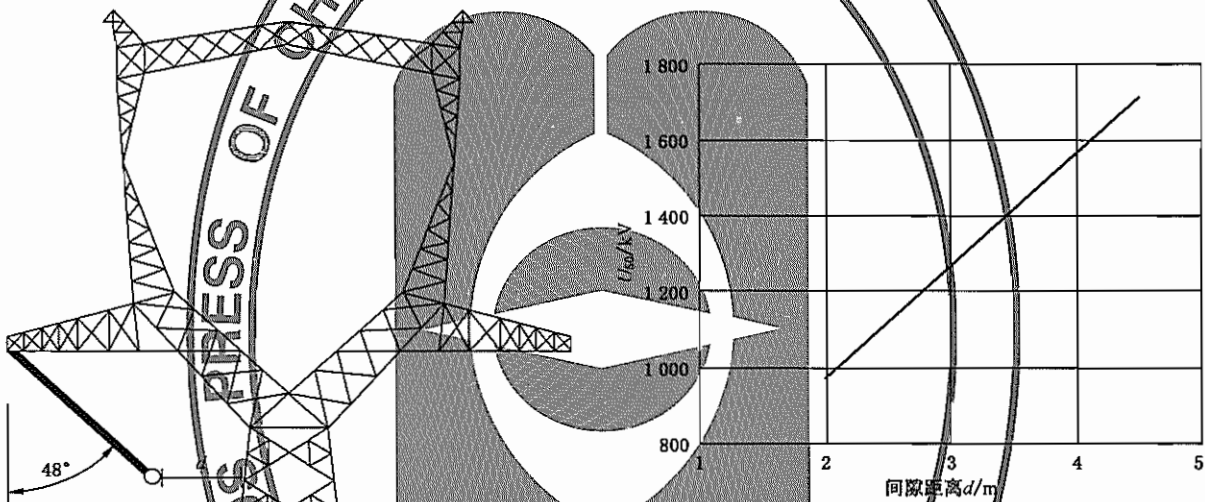


图 H.1 猫头塔边相工频放电试验布置图

图 H.2 导线对塔身间隙的工频 50% 放电电压曲线

H.1.1.2 酒杯塔边相空气间隙的工频放电电压

考虑风偏后塔边相空气间隙工频放电电压试验布置见图 H.3,边相空气间隙的工频 50% 放电电压曲线见图 H.4。

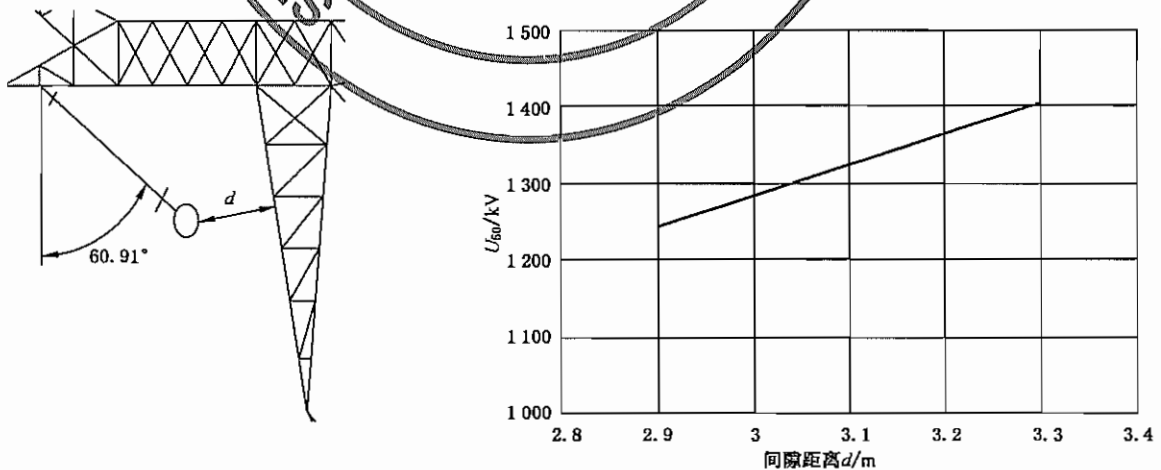


图 H.3 酒杯塔边相工频放电试验布置图

图 H.4 导线对塔身间隙的工频 50% 放电电压曲线

H. 1.2 杆塔空气间隙的操作冲击放电电压

H. 1.2.1 猫头塔边相空气间隙的操作冲击放电电压

考虑风偏后杆塔边相空气间隙操作冲击放电电压试验布置见图 H. 5。边相空气间隙操作冲击 50%放电电压曲线见图 H. 6。

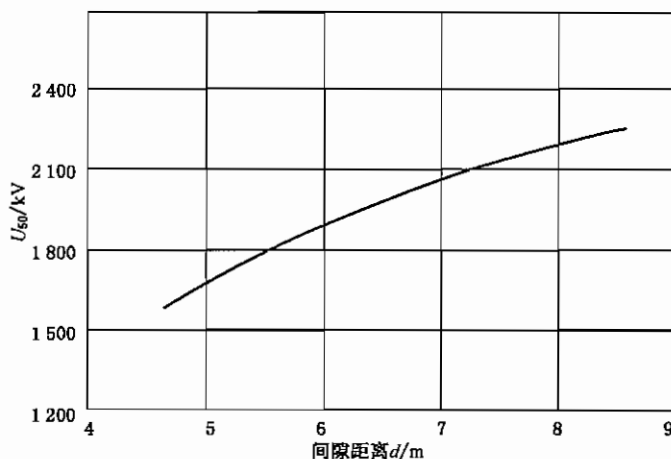
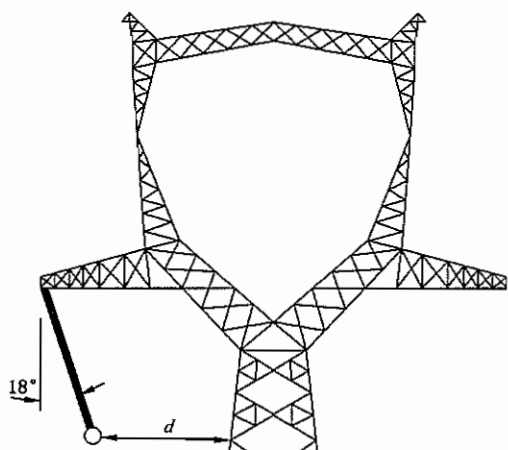


图 H. 5 猫头塔边相操作冲击放电试验布置

图 H. 6 导线对塔身间隙的操作冲击 50% 放电电压曲线(波前时间为 250 μs)

考虑风偏后的边相导线(1串)距塔腿间隙为 5.6 m 时,不同波前时间操作冲击试验结果见表 H. 1。

表 H. 1 猫头塔边相不同波前时间的操作冲击放电电压

波前时间 μs	250	500	1 000	5 000
U ₅₀ kV	1 789	1 880	1 915	2 125

H. 1.2.2 猫头塔窗中相空气间隙的操作冲击放电电压

杆塔中相空气间隙操作放电电压试验布置见图 H. 7,导线对塔窗空气间隙在不同波前时间下的操作冲击试验结果见表 H. 2。

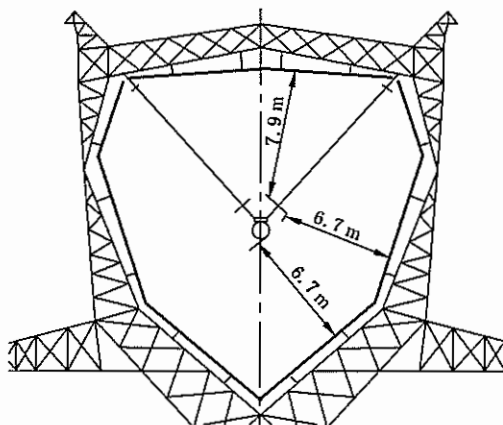


图 H. 7 猫头塔中相操作冲击试验布置

表 H.2 真型塔中相导线对塔的空气间隙的操作冲击放电电压

波前时间 μs	250	1 000	5 000
U_{50} kV	1 801	2 015	2 149

H. 1. 2. 3 酒杯塔边相空气间隙的操作冲击放电电压

考虑风偏后杆塔边相空气间隙操作冲击放电电压试验布置见图 H. 8。边相空气间隙操作冲击 50%放电电压曲线见图 H. 9。

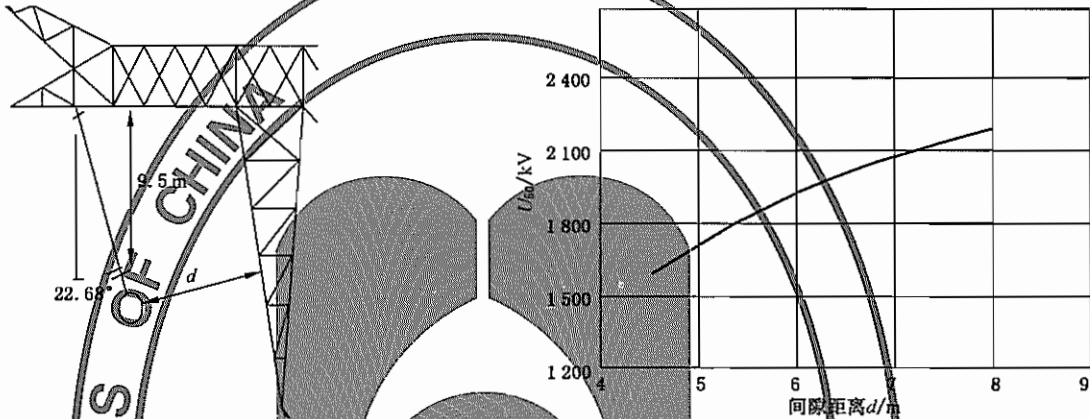


图 H. 8 酒杯塔边相操作冲击放电试验布置图

图 H. 9 导线对塔身间隙的操作冲击 50% 放电电压曲线(波前时间为 250 μs)

H. 1. 2. 4 酒杯塔中相空气间隙的操作冲击放电电压

酒杯塔中相空气间隙操作放电电压试验布置见图 H. 10, 导线对塔窗空气间隙在不同波前时间下的操作冲击试验结果分别见表 H. 3 和表 H. 4。

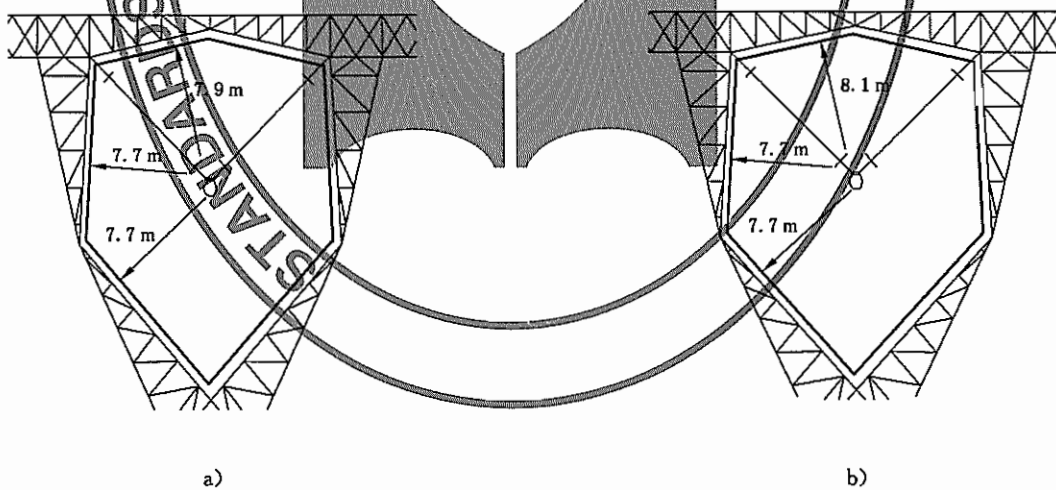


图 H. 10 酒杯塔中相操作冲击试验布置

表 H. 3 图 H. 10a) 布置中相导线对塔窗空气间隙的操作冲击放电电压

波前时间 μs	250	1 000	5 000
U_{50} kV	1 862	2 035	2 217

表 H.4 图 H.10b)布置中相导线对塔窗的空气间隙的操作冲击放电电压

波前时间 μs	250	1 000	5 000
U_{50} kV	1 909	2 064	2 248

H.1.3 杆塔边相空气间隙的雷电冲击放电电压

H.1.3.1 猫头塔边相空气间隙的雷电冲击放电电压

风偏角约为 10° 时猫头塔边相空气间隙雷电冲击 50% 放电电压曲线见图 H.11。

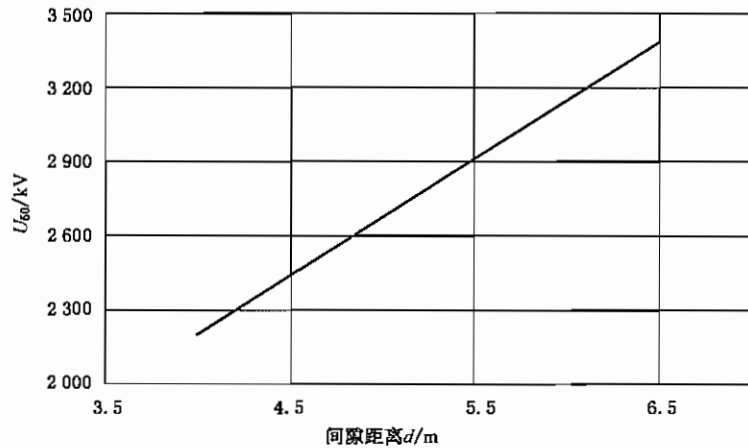


图 H.11 导线对塔身间隙的雷电冲击 50% 放电电压曲线

H.1.3.2 酒杯塔边相空气间隙的雷电冲击放电电压

风偏角约为 10° 时酒杯塔边相空气间隙雷电冲击 50% 放电电压曲线见图 H.12。

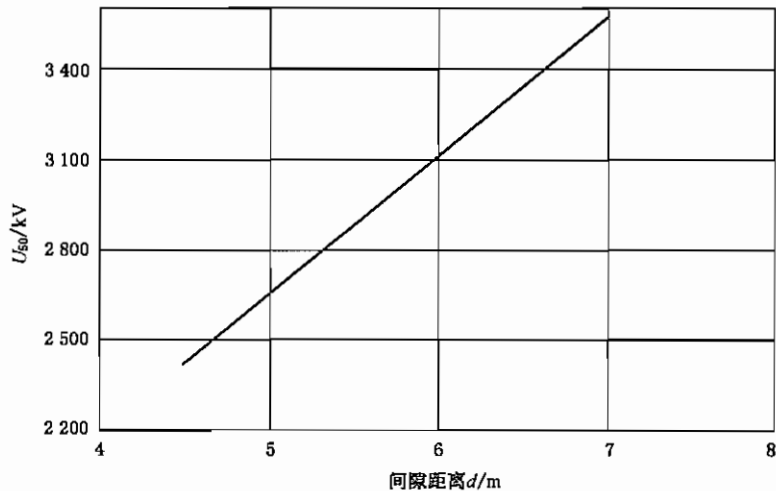


图 H.12 导线对塔身间隙的雷电冲击 50% 放电电压曲线

H.2 1 000 kV 同塔双回线路杆塔空气间隙放电电压试验数据

H.2.1 杆塔空气间隙的工频放电电压

H.2.1.1 杆塔中相 I 串空气间隙的工频放电电压

考虑风偏后中相 I 串工频试验布置见图 H.13, 中相空气间隙的工频 50% 放电电压曲线见图 H.14。

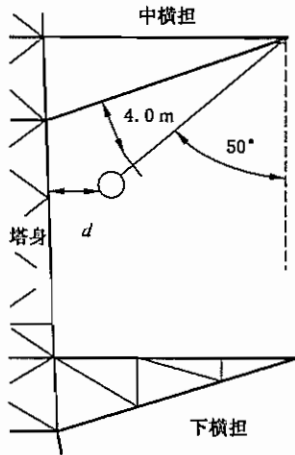


图 H.13 工频试验布置示意图

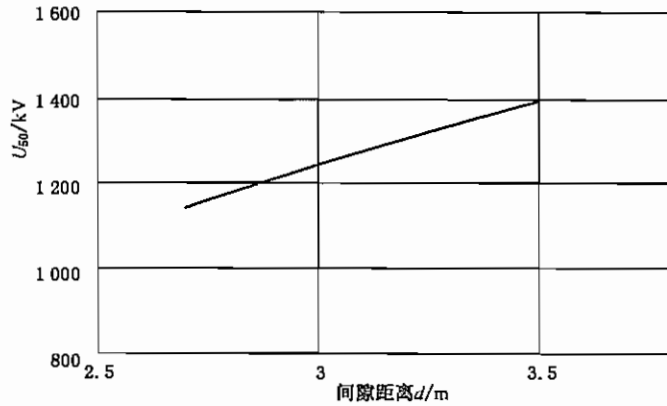


图 H.14 中相 I 串导线对塔身间隙的工频 50% 放电电压曲线

H.2.1.2 杆塔下相 I 串相空气间隙的工频放电电压

考虑风偏后下相 I 串工频试验布置见图 H.15, 下相空气间隙的工频放电电压曲线见图 H.16。

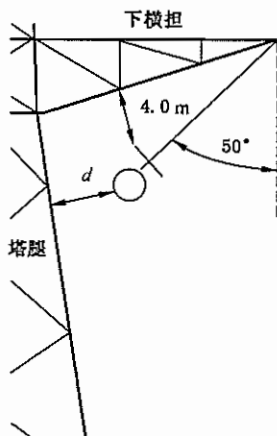


图 H.15 下相 I 串工频试验布置示意

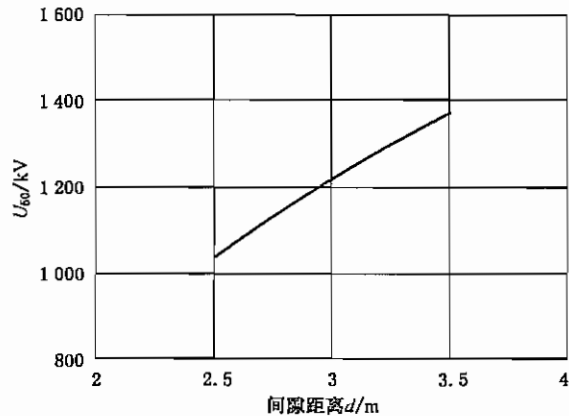


图 H.16 下相 I 串导线对塔身间隙的工频 50% 放电电压曲线

H.2.1.3 杆塔中相 I 串导线对下横担空气间隙的操作冲击放电电压

考虑风偏后试验布置见图 H.17, 1 000 μs 长波前操作冲击的 50% 放电电压曲线见图 H.18。

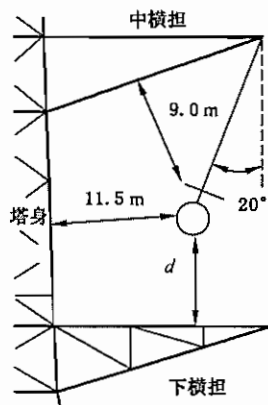


图 H.17 中相 I 串长波前操作冲击试验布置

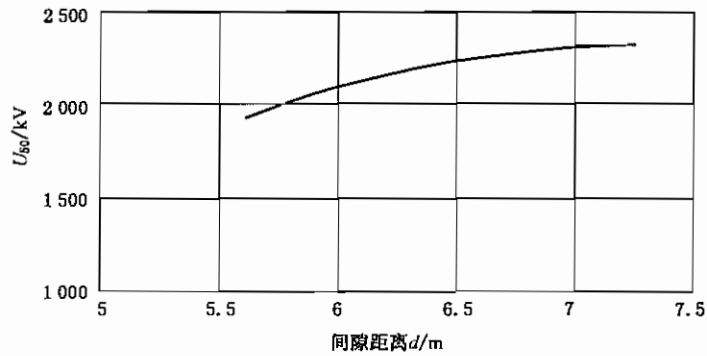


图 H.18 导线对下横担间隙的操作冲击(1 000 μs)50%放电电压曲线
(导体对中相横担距离为 9.0 m)

H.2.1.4 杆塔中相 V 串导体对下横担空气间隙的操作冲击放电电压

试验布置见图 H.19, 1 000 μs 长波前操作冲击的 50% 放电电压曲线结果见图 H.20。

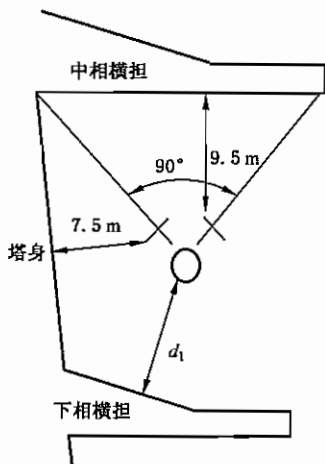


图 H.19 中相 V 串对下横担间隙
试验布置

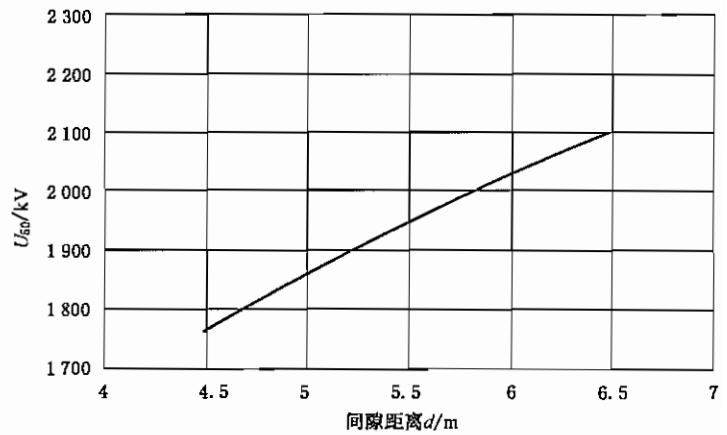


图 H.20 导线对下横担间隙的操作冲击(1 000 μs)
50%放电电压曲线

H.2.1.5 杆塔中相 V 串导体对塔身空气间隙的操作冲击放电电压

试验布置见图 H.21, 1 000 μs 长波前操作冲击的 50% 放电电压曲线见图 H.22。

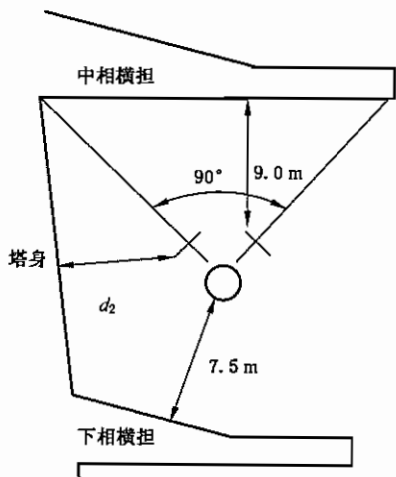


图 H.21 中相 V 串导体对塔身间隙
试验布置

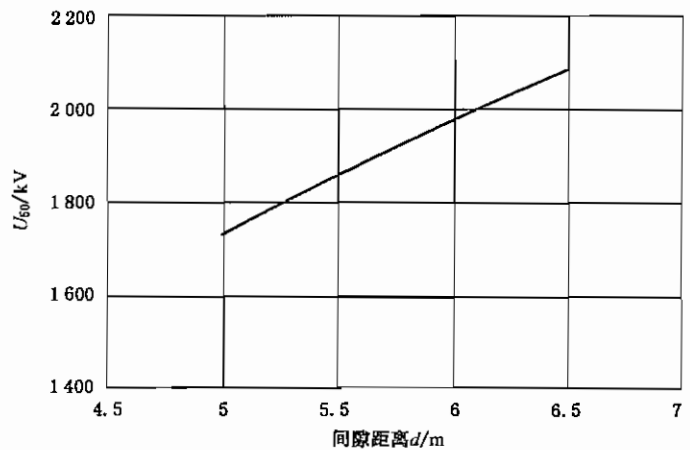


图 H.22 导线对塔身间隙的操作冲击(1 000 μs)
50%放电电压曲线

H. 2. 1. 6 杆塔中相 V 串导线对中横担空气间隙的操作冲击放电电压

试验布置见图 H. 23, 1 000 μs 长波前操作冲击的 50% 放电电压曲线见图 H. 24。

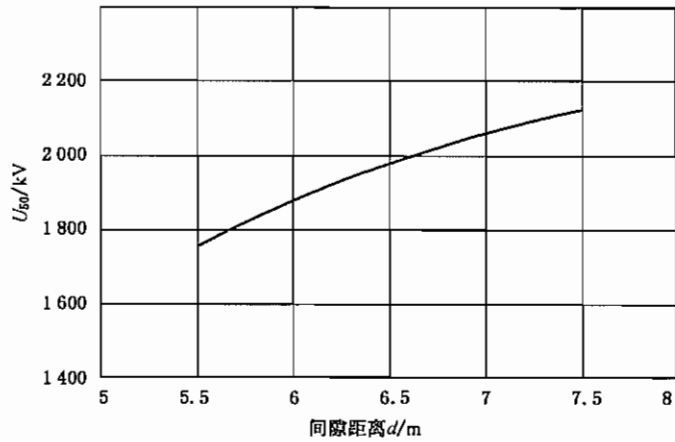
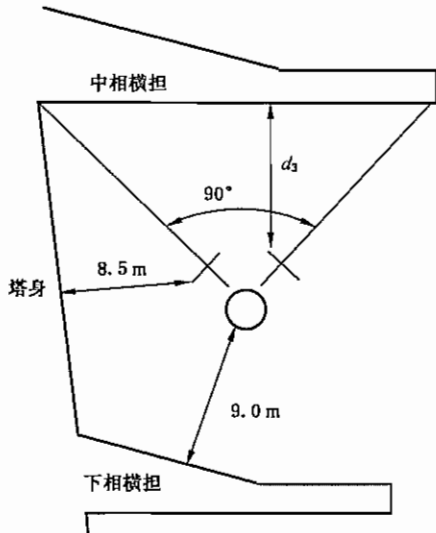


图 H. 23 中相 V 串导体对中横担间隙
试验布置

图 H. 24 导线对中横担间隙的操作冲击(1 000 μs)
50% 放电电压曲线

H. 2. 1. 7 杆塔下相 V 串导体对横担空气间隙的操作冲击放电电压

试验布置见图 H. 25, 1 000 μs 长波前操作冲击的 50% 放电电压曲线见图 H. 26。

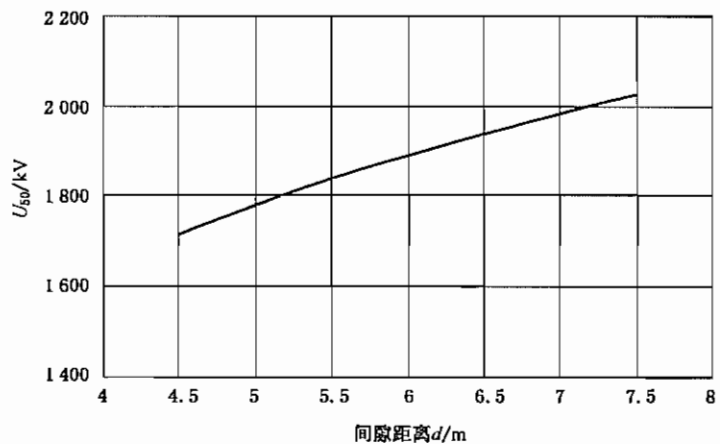
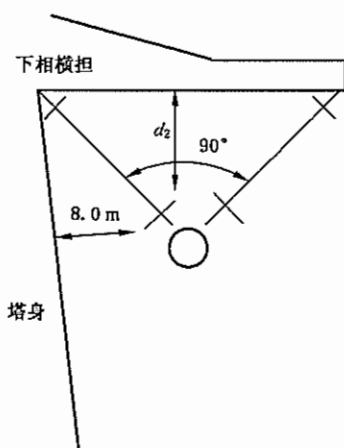


图 H. 25 下相 V 串导线对横担间隙
试验布置

图 H. 26 导线对横担间隙的操作冲击(1 000 μs)
50% 放电电压曲线

H. 2. 1. 8 杆塔下相 V 串导线对塔身空气间隙的操作冲击放电电压

试验布置见图 H. 27, 1 000 μs 长波前操作冲击的 50% 放电电压曲线见图 H. 28。

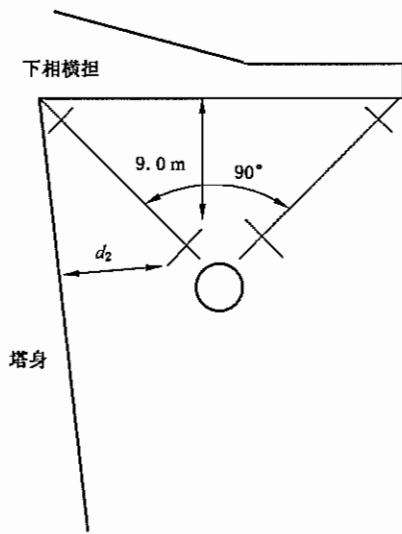


图 H.27 下相 V 串导线对塔身间隙
试验布置

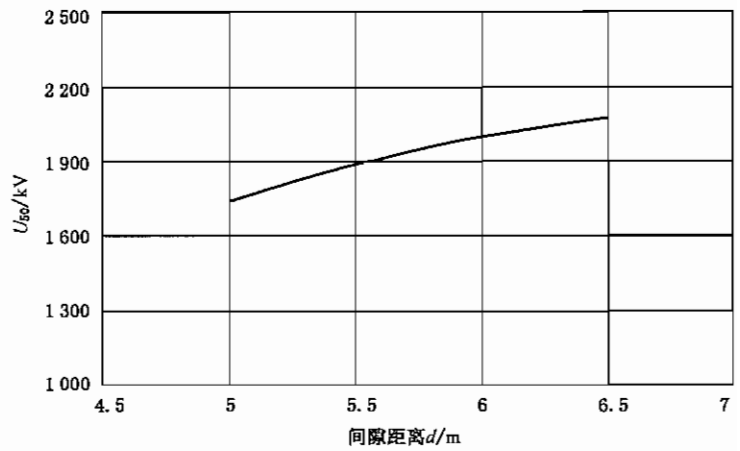


图 H.28 导线对塔身间隙的操作冲击(1 000 μs)
50%放电电压曲线

H.2.2 杆塔空气间隙的雷电冲击放电电压

H.2.2.1 杆塔 I 串中相对下横担空气间隙雷电冲击放电电压

试验布置见图 H.29 所示,标准雷电冲击的 50%放电电压曲线见图 H.30。

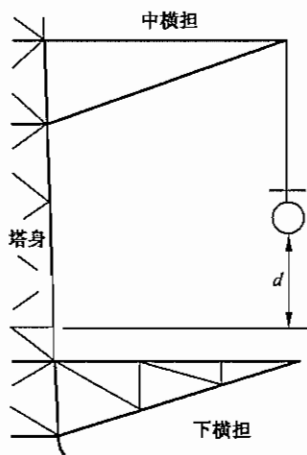


图 H.29 中相 I 串对下横担间隙
试验布置

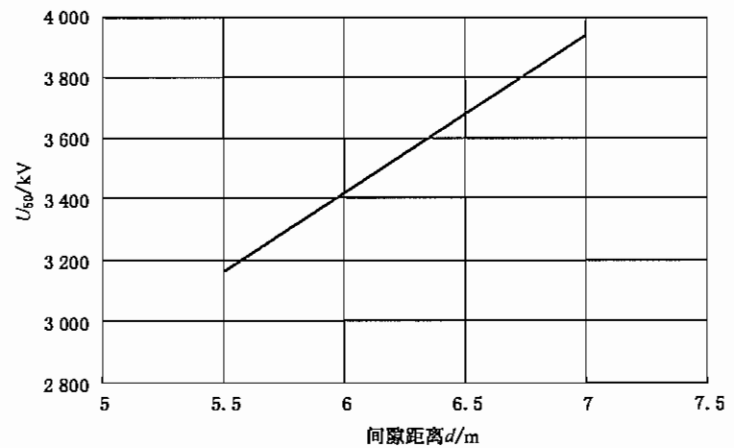


图 H.30 导线对下横担间隙的雷电冲击
50%放电电压曲线

H.2.2.2 杆塔 V 串中相对下横担空气间隙雷电冲击放电电压

试验布置如图 H.31 所示,距导线最近处下横担宽度约为 5.5 m。正、负极性标准雷电冲击的 50%放电电压曲线见图 H.32。

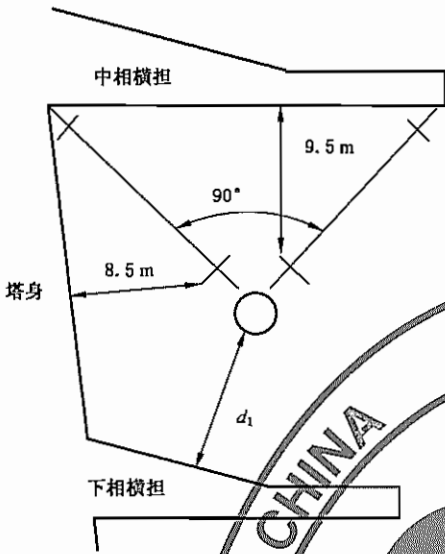


图 H.31 中相 Y 串对下横担间隙试验布置

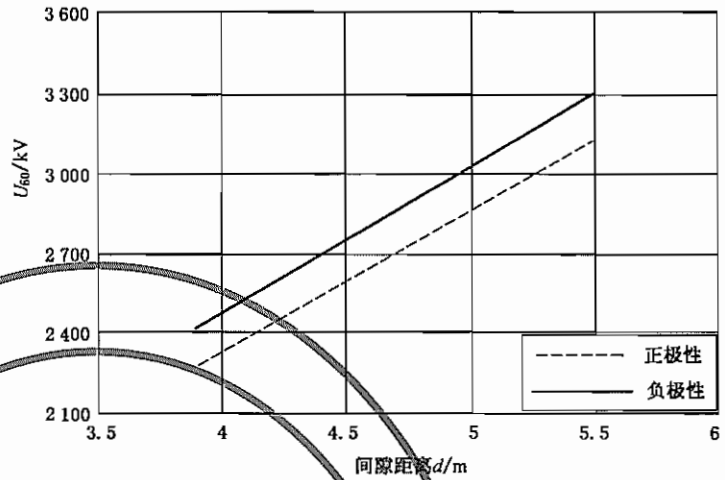


图 H.32 导线对下横担间隙的正、负雷电冲击 50%放电电压曲线

H.3 1000 kV 变电站空气间隙放电电压试验数据

变电站空气间隙的操作和雷电冲击试验波形均为标准试验波形；相间操作冲击正、负电压分别由两台冲击电压发生器同时提供， α 取 0.4 或 0.5。

H.3.1 变电站的相对地绝缘空气间隙放电电压

H.3.1.1 软导线对构架梁空气间隙的放电电压

导线中心对构架柱距离为 10.0 m，导线上方构架梁离地高 35 m。导线对构架梁空气间隙的标准雷电和操作冲击的 50% 放电电压曲线分别见图 H.33 和图 H.34。

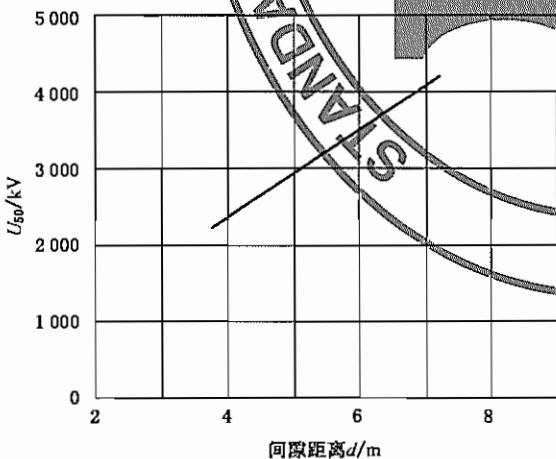


图 H.33 导线对构架梁间隙的雷电冲击 50%放电电压曲线

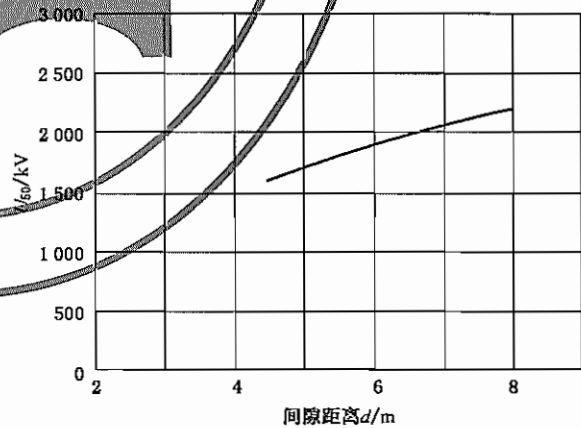


图 H.34 导线对构架梁间隙的操作冲击 50%放电电压曲线

H.3.1.2 软导线对构架柱空气间隙的放电电压

模拟变电站的构架梁离地高 35 m 构架柱宽 5 m；导线中心到构架梁距离为 13.5 m。导线对构架柱空气间隙的标准雷电、操作冲击和工频试验结果分别见图 H.35、图 H.36 和图 H.37 所示。

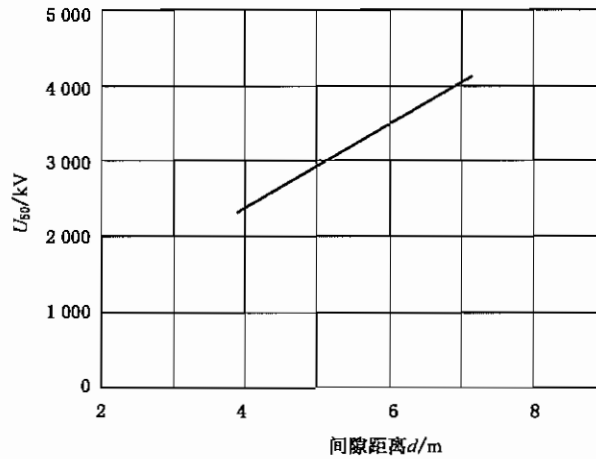


图 H.35 导线对构架柱间隙的雷电冲击 50%放电电压曲线

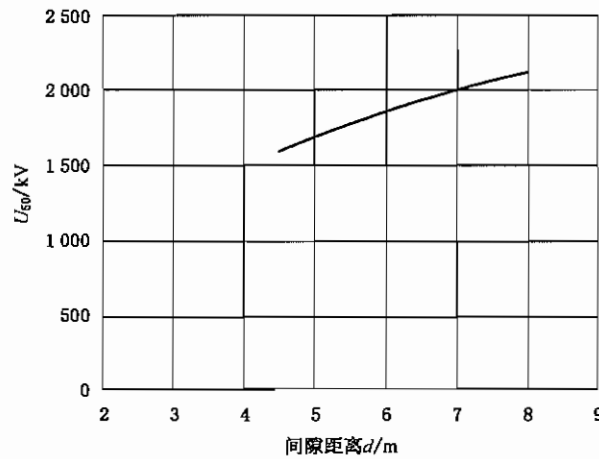


图 H.36 导线对构架柱间隙的操作冲击 50%放电电压曲线

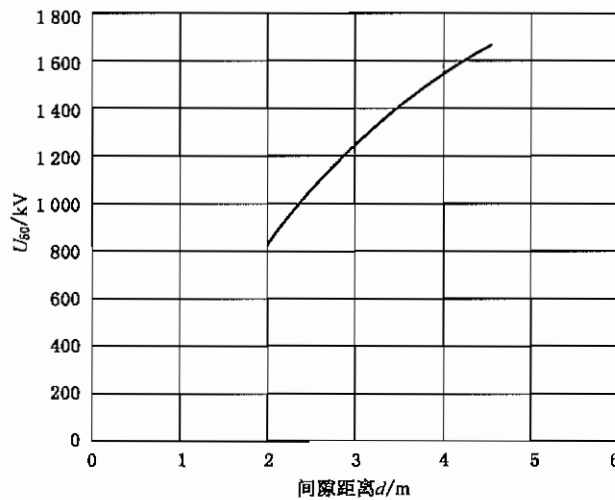


图 H.37 导线对构架柱间隙的工频放电电压曲线

H.3.1.3 管型母线对构架柱空气间隙的放电电压

管型母线中心对地距离为 16.5 m,管型母线上方的构架梁离地高 35 m。管型母线对构架柱空气间隙的标准雷电、操作冲击和工频试验结果分别见图 H.38、图 H.39 和图 H.40。

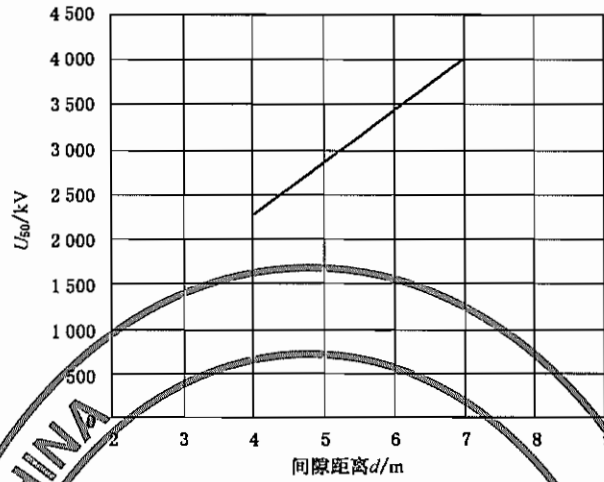


图 H.38 管型母线对构架柱间隙的雷电冲击 50% 放电电压曲线

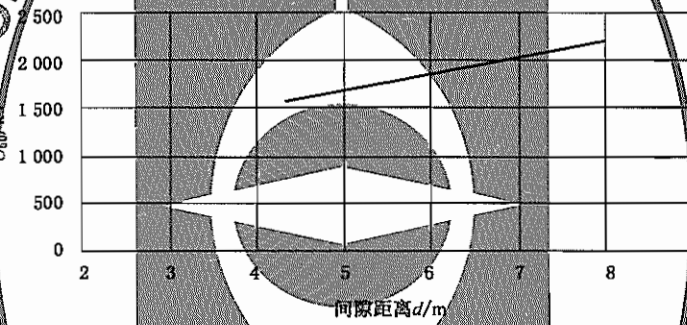


图 H.39 管型母线对构架柱间隙的操作冲击 50% 放电电压曲线

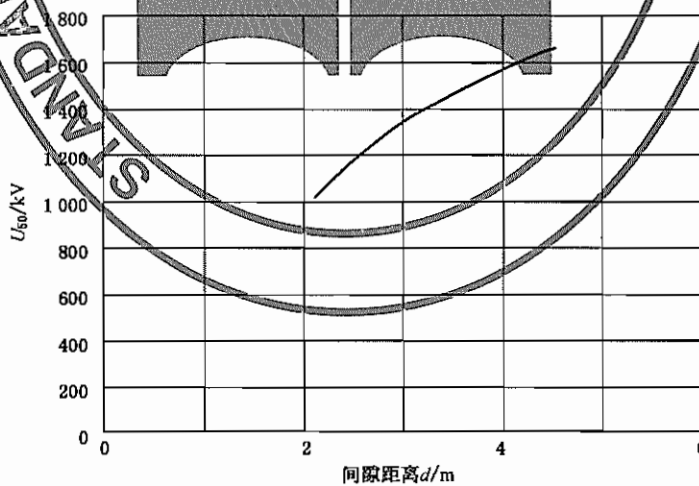


图 H.40 管型母线对构架柱间隙的工频放电电压曲线

H.3.1.4 环对构架柱空气间隙的放电电压

环对地距离 16.5 m, 构架柱塔宽 5 m, 环上方的构架梁离地高 35 m。均压环对构架柱空气间隙的标准雷电、操作冲击和工频试验结果分别见图 H.41、图 H.42 和图 H.43。

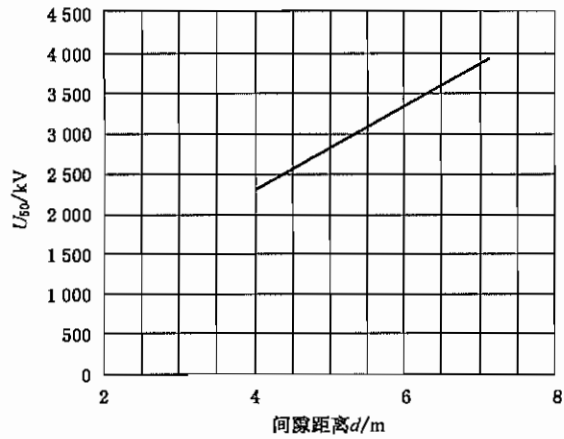


图 H.41 环对构架柱间隙的雷电冲击 50%放电电压曲线

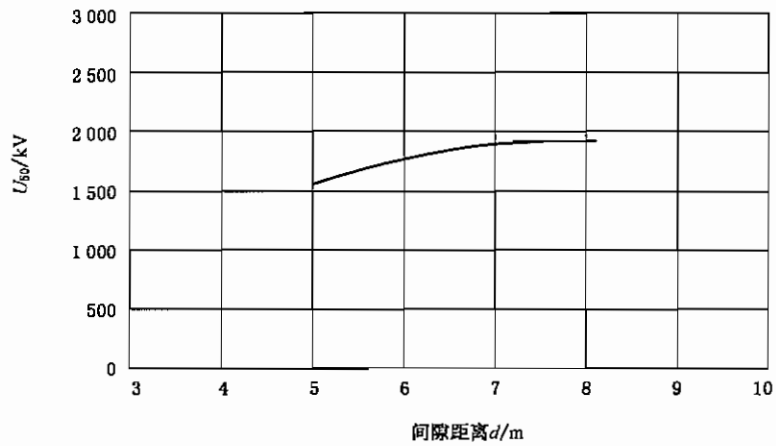


图 H.42 环对构架柱间隙的操作冲击 50%放电电压曲线

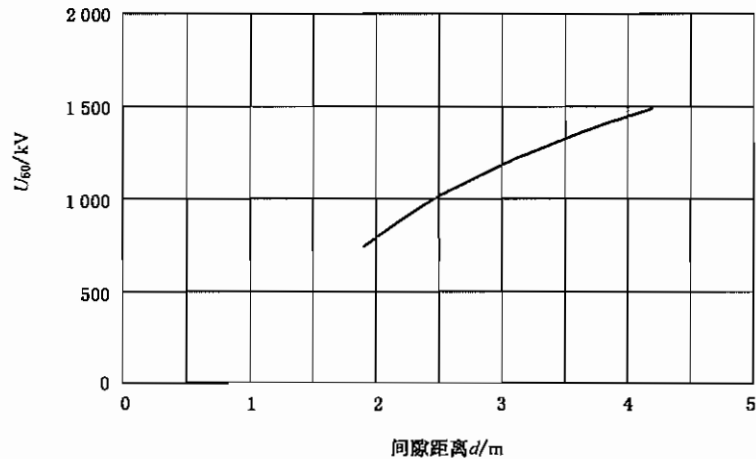


图 H.43 环对构架柱间隙的工频电压放电电压曲线

H.3.2 变电站相间空气间隙操作冲击放电电压

H.3.2.1 均压环对均压环相间操作冲击电压放电电压

均压环离地高度为 16.5 m, 均压环最大直径为 2.0 m。α 为 0.4 时, 环对环相间操作冲击试验结果见图 H.44。

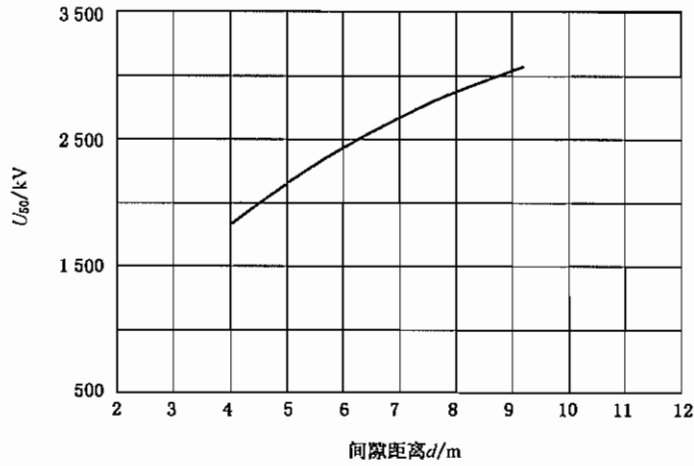
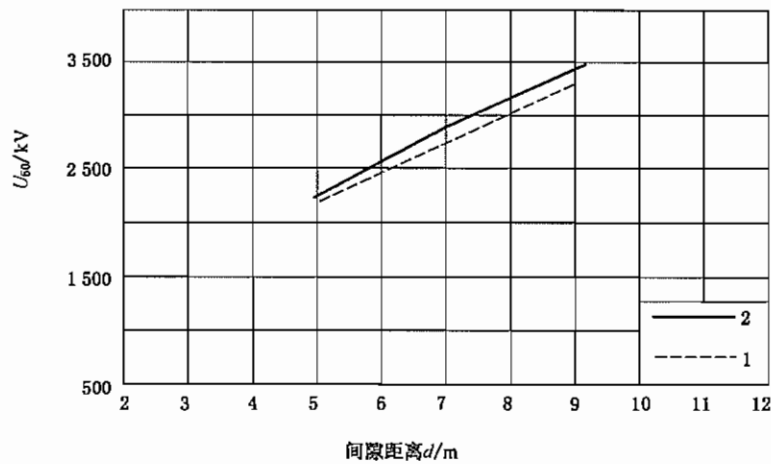


图 H.44 环对环相间操作冲击 50%放电电压曲线

H.3.2.2 软导线对软导线相间操作冲击电压放电电压

两导线水平布置,导线离地高约 21.7 m,导线上方的构架梁离地高 35 m。 α 为 0.4 和 0.5 时,导线对导线相间操作冲击试验结果见图 H.45。



- 1—— $\alpha=0.5$;
2—— $\alpha=0.4$ 。

图 H.45 导线对导线操作冲击 50%放电电压曲线

H.3.2.3 管型母线对管型母线相间操作冲击电压放电电压

两个管母水平布置,管母离地高约 16.5 m,管母上方的构架梁离地高 35 m。 α 为 0.4 时,管母对管母相间操作冲击试验结果见图 H.46 所示。

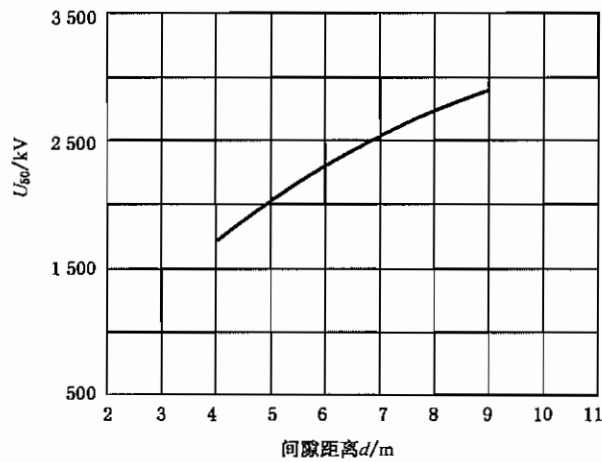


图 H.46 管型母线对管型母线操作冲击 50%放电电压曲线

H.4 国外相关试验数据

H.4.1 变电站相间绝缘空气间隙工频 50%放电电压(美国)

导线对导线相间空气间隙的工频 50%放电电压试验数据见图 H.47 的曲线。

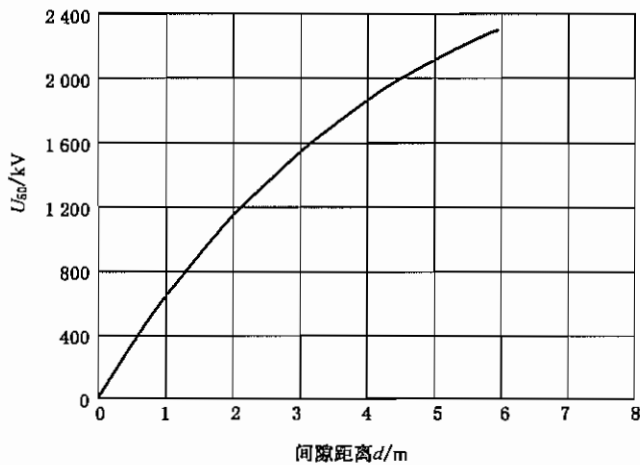


图 H.47 导线对导线空气间隙的工频放电电压曲线

H.4.2 变电站空气相地空气间隙长波前时间操作冲击的放电电压(前苏联)

变电站空气间隙的操作冲击 50%放电电压曲线见图 H.48。在图中：曲线 1 为设备屏蔽—塔腿间隙(屏蔽对地间隙 14 m、塔腿宽 1.4 m)；曲线 1' 为 750 kV 变电站设备屏蔽—塔腿间隙；曲线 2 为变电站导线—塔腿间隙；曲线 3 为设备屏蔽环(两个屏蔽环，环直径 3.5 m)—地间隙，波头长度 2 000 μs ；曲线 3' 为设备单屏蔽环(环直径 4.5 m)—地间隙，波头长度约 4 500 μs ；曲线 4 为导线(8 \times AS400/51，分裂导线半径 0.6 m)—地间隙；曲线 5 为导线—运输工具(尺寸 4.5 \times 6 \times 3 m³)间隙。

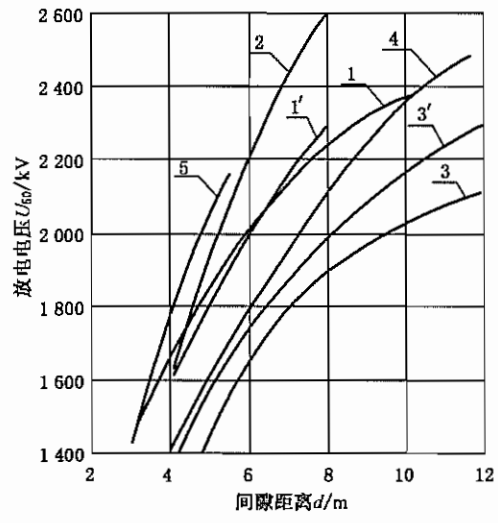


图 H.48 变电站空气间隙的操作冲击 50%放电电压曲线

中华人民共和国
国家标准化指导性技术文件
1 000 kV 特高压交流输变电工程
过电压和绝缘配合
GB/Z 24842—2009

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

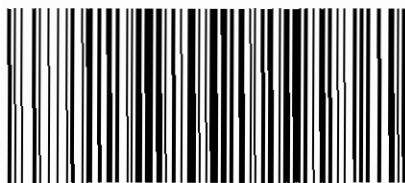
*

开本 880×1230 1/16 印张 3 字数 81 千字
2009年12月第一版 2009年12月第一次印刷

*

书号: 155066·1-39516 定价 42.00 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)68533533



GB/Z 24842—2009