

# 电机工程手册

第 27 篇 绝 缘 子

第 28 篇 避 雷 器

(试 用 本)

机械工程手册 编辑委员会  
电机工程手册



机 械 工 业 出 版 社

TM  
3-62  
44.13

# 电机工程手册

第 27 篇 绝 缘 子

第 28 篇 避 雷 器

(试 用 本)

机械工程手册

电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

本书包括《绝缘子》和《避雷器》两篇。

《绝缘子》篇着重介绍各类常用电瓷和钢化玻璃高压绝缘子、高压套管的用途、特性、结构、设计、制造工艺、试验及运行维护。

《避雷器》篇着重介绍交流阀式避雷器的性能、元件、结构、试验以及运行与维护，对管式避雷器和直流阀式避雷器也作了简要介绍。

## 电 机 工 程 手 册

### 第27篇 绝 缘 子

### 第28篇 避 雷 器

(试 用 本)

西安电瓷研究所 主编

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092^{1/16}$  · 印张  $7^{1/4}$  · 字数 198 千字

1978年3月北京第一版·1978年3月北京第一次印刷

印数 00,001—44,000 · 定价 0.57 元

\*

统一书号: 15033 · 4475

## 编 辑 说 明

(一) 我国自建国以来,特别是无产阶级文化大革命以来,机械工业在伟大的领袖和导师毛泽东主席的无产阶级革命路线指引下,坚持政治挂帅,以阶级斗争为纲,贯彻“**独立自主、自力更生**”的方针,取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学技术方面的经验,加强机械工业科学技术的基础建设,适应实现“四个现代化”的需要,我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》,使出版工作更好地为无产阶级政治服务,为工农兵服务,为社会主义服务。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用,也可供教学及其他有关人员参考。《手册》在内容和表达方式上,力求做到深入浅出,简明扼要,直观易懂,归类便查,以便广大机电工人使用,有利于工人阶级技术队伍的发展和壮大。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书,着重介绍各专业的理论基础,常用计算公式、数据、资料,关键问题以及发展趋向。在编写中,力求做到立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点。读者在综合研究和处理技术问题时,《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成,构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分,共七十九篇;《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分,共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区的科技交流部门, 为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中, 广泛征求广大机电工人的意见, 坚持实行工人、技术人员和领导干部三结合的原则, 发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面, 广泛征求意见, 先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验, 试用本在内容和形式方面, 一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证, 提出批评和建议, 以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本书的两篇, 分别为《电机工程手册》第27篇和第28篇。这两篇均由西安电瓷研究所主编, 参加编写的有西安高压电瓷厂、南京电瓷厂、抚顺电瓷厂、西安高压电器研究所等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助, 在此一并致谢。

机械工程手册  
电机工程手册 编辑委员会编辑组

## 常用符号表

$I$  —— 电流  
 $I_p$  —— 冲击电流, 雷电冲击电流  
 $I_{pc}$  —— 操作冲击电流  
 $I_{xu}$  —— 设计工频续流  
 $J$  —— 火花间隙  
 $K_b$  —— 保护比  
 $K_j$  —— 接地系数  
 $K_q$  —— 切断比  
 $R$  —— 电阻, 线性电阻  
 $R_f$  —— 非线性工作电阻片 (阀片)  
 $R_{fp}$  —— 非线性并联电阻  
 $T$  —— 波持续时间  
 $U$  —— 电压

$U_{af}$  —— 工频放电电压  
 $U_{afi}$  —— 工频放电电压下限  
 $U_{afs}$  —— 工频放电电压上限  
 $U_N$  —— 灭弧电压, 最大允许工频电压  
 $U_p$  —— 冲击电压, 雷电冲击电压  
 $U_{pc}$  —— 操作冲击电压  
 $U_{pf}$  —— 冲击放电电压  
 $U_r$  —— 冲击电流残压  
 $U_{5kA}$  —— 5kA 冲击电流下的残压 (例)  
 $U_{xm}$  —— 系统最大运行线电压  
 $U_{xu}$  —— 设计工频续流下的残压  
 $U_{\phi m}$  —— 系统最大运用相电压  
 $\alpha$  —— 非线性系数

# 《电机工程手册》篇目

| 篇号 | 篇名              | 篇号 | 篇名          |
|----|-----------------|----|-------------|
| 1  | 常用数据和资料         | 26 | 电线电缆        |
| 2  | 电工基础            | 27 | 绝缘子         |
| 3  | 高电压技术           | 28 | 避雷器         |
| 4  | 电磁测量            | 29 | 电力电容器       |
| 5  | 自动控制理论          | 30 | 低压电器        |
| 6  | 电工产品使用环境和防护技术   | 31 | 继电器与保护装置    |
| 7  | 绝缘材料            | 32 | 电力半导体元件与变流器 |
| 8  | 磁性材料            | 33 | 工矿电机车       |
| 9  | 导电金属及电磁线        | 34 | 工业用电炉       |
| 10 | 电碳制品            | 35 | 电焊机         |
| 11 | 半导体材料           | 36 | 电动工具        |
| 12 | 超导电材料           | 37 | 医用仪器及设备     |
| 13 | 特种电工材料          | 38 | 日用电器        |
| 14 | 电力系统            | 39 | 工厂电气照明      |
| 15 | 水力发电            | 40 | 电气安全        |
| 16 | 火力发电            | 41 | 电子元器件       |
| 17 | 原子能发电           | 42 | 集成电路        |
| 18 | 化学电源与物理电源       | 43 | 电工仪器仪表      |
| 19 | 同步电机            | 44 | 检测仪表        |
| 20 | 异步电机            | 45 | 显示仪表        |
| 21 | 直流电机            | 46 | 调节仪表        |
| 22 | 驱动微电机           | 47 | 执行器         |
| 23 | 控制微电机           | 48 | 电力传动控制系统    |
| 24 | 高压开关设备          | 49 | 生产过程自动控制系统  |
| 25 | 变压器、互感器、调压器与电抗器 | 50 | 数字计算机控制系统   |

# 第 27 篇 绝 缘 子

## 目 录

编辑说明  
常用符号表

### 第 1 章 概 述

#### 第 2 章 绝缘子的电气性能

- 1 电气性能要求 ..... 27-2
- 2 闪络电压特性 ..... 27-4
  - 2.1 闪络距离 ..... 27-4
  - 2.2 闪络电压计算值裕度 ..... 27-4
  - 2.3 针式绝缘子的闪络电压特性 ..... 27-5
  - 2.4 盘形悬式绝缘子串的闪络电压特性 ..... 27-5
  - 2.5 瓷横担和户外棒形支柱绝缘子的闪络电压特性 ..... 27-8
  - 2.6 户内支柱绝缘子的闪络电压特性 ..... 27-10
  - 2.7 高压瓷套的闪络电压特性 ..... 27-10
- 3 油中工频击穿电压特性 ..... 27-11
- 4 污秽闪络和污秽环境分级 ..... 27-12
  - 4.1 污秽闪络机理和特点 ..... 27-12
  - 4.2 污秽环境分级 ..... 27-12

#### 第 3 章 高压绝缘子

- 1 绝缘子设计要点 ..... 27-13
- 2 胶装结构、卡台和伞棱 ..... 27-13
  - 2.1 胶装结构和卡台 ..... 27-13
  - 2.2 伞棱 ..... 27-15
- 3 绝缘子机械破坏负荷计算 ..... 27-16
  - 3.1 额定破坏负荷 ..... 27-16
  - 3.2 破坏负荷计算值裕度 ..... 27-16
  - 3.3 破坏负荷计算公式和参数 ..... 27-16
- 4 针式绝缘子 ..... 27-18
- 5 盘形悬式绝缘子 ..... 27-19
  - 5.1 结构 ..... 27-19
  - 5.2 性能 ..... 27-19
  - 5.3 绝缘子头部结构 ..... 27-20

- 5.4 绝缘子元件高度和盘径的配合 ..... 27-21
- 6 瓷横担绝缘子 ..... 27-21
- 7 支柱绝缘子 ..... 27-22
  - 7.1 户内支柱绝缘子 ..... 27-22
  - 7.2 户外支柱绝缘子 ..... 27-24
- 8 瓷套 ..... 27-25
- 9 防污绝缘子 ..... 27-26
  - 9.1 结构 ..... 27-26
  - 9.2 性能 ..... 27-27

#### 第 4 章 高压套管

- 1 高压套管的用途、特点和分类 ..... 27-27
- 2 纯瓷套管 ..... 27-28
  - 2.1 结构 ..... 27-28
  - 2.2 设计计算 ..... 27-28
- 3 充油套管 ..... 27-29
  - 3.1 结构 ..... 27-30
  - 3.2 设计 ..... 27-30
- 4 电容式套管 ..... 27-31
  - 4.1 结构 ..... 27-31
  - 4.2 设计计算 ..... 27-33
  - 4.3 电容芯子的制造工艺 ..... 27-36

#### 第 5 章 电瓷制造

- 1 电瓷 ..... 27-37
  - 1.1 电瓷的基本性能 ..... 27-37
  - 1.2 瓷的微观结构 ..... 27-39
  - 1.3 电瓷原料 ..... 27-40
  - 1.4 坯料配方 ..... 27-43
  - 1.5 釉料配方 ..... 27-43
- 2 特种电工陶瓷 ..... 27-45
  - 2.1 种类和用途 ..... 27-45
  - 2.2 特种电工陶瓷的主要性能 ..... 27-45
- 3 电瓷生产工艺特点和流程 ..... 27-45
  - 3.1 电瓷生产工艺特点 ..... 27-45

## VI 目 录

|              |       |
|--------------|-------|
| 3.2 电瓷生产工艺流程 | 27-49 |
| 4 电瓷制造关键工艺   | 27-50 |
| 4.1 球磨       | 27-50 |
| 4.2 真空练泥     | 27-50 |
| 4.3 烧成       | 27-52 |
| 4.4 大瓷套的制造   | 27-55 |

### 第6章 钢化玻璃绝缘子的制造

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1 绝缘子用钢化玻璃        | 27-57 |
| 1.1 钢化玻璃          | 27-57 |
| 1.2 钢化玻璃的成分、性能和原料 | 27-57 |
| 2 钢化玻璃绝缘子的生产工艺    | 27-58 |
| 2.1 生产工艺特点        | 27-58 |
| 2.2 工艺流程          | 27-58 |
| 2.3 玻璃的熔制         | 27-58 |
| 2.4 玻璃的钢化         | 27-59 |
| 2.5 热冲击和冷冲击试验     | 27-59 |

### 第7章 绝缘子的检验与运行维护

|            |       |
|------------|-------|
| 1 绝缘子的检验项目 | 27-60 |
|------------|-------|

|                  |       |
|------------------|-------|
| 1.1 例行试验项目       | 27-60 |
| 1.2 抽查试验项目       | 27-61 |
| 1.3 型式试验项目       | 27-61 |
| 1.4 抽样方法         | 27-61 |
| 2 绝缘子检验方法        | 27-64 |
| 2.1 电气试验         | 27-64 |
| 2.2 机械试验         | 27-65 |
| 2.3 冷热试验         | 27-65 |
| 2.4 物理和化学性试验     | 27-66 |
| 2.5 热机试验和无线电干扰试验 | 27-66 |
| 3 污秽试验方法         | 27-67 |
| 3.1 人工污秽试验       | 27-67 |
| 3.2 自然污秽试验       | 27-68 |
| 4 绝缘子的运行维护       | 27-69 |
| 4.1 绝缘子的运行维护     | 27-69 |
| 4.2 电容式套管的运行维护   | 27-69 |
| 4.3 绝缘子的防污措施     | 27-69 |
| 附录 与绝缘子有关的主要标准   | 27-70 |
| 参考文献             | 27-70 |

## 常用符号表

$E_a$ ——轴向场强  
 $E_{ax}$ ——许用轴向场强  
 $E_c$ ——潮湿表面部分工频湿闪络梯度  
 $E_{rm}$ ——最大径向场强  
 $E_{rx}$ ——许用径向场强  
 $F$ ——机械破坏力  
 $F_n$ ——额定机械破坏力  
 $I_n$ ——额定电流  
 $L_c$ ——湿闪络距离的潮湿表面部分  
 $L_k$ ——湿闪络距离的空气间隙部分  
 $L_d$ ——干闪络距离  
 $L_x$ ——泄漏距离  
 $M$ ——破坏扭矩  
 $M_n$ ——额定破坏扭矩  
 $P$ ——破坏内压力  
 $P_n$ ——额定破坏内压力  
 $U_{cso}$ ——50%操作冲击闪络电压(干和湿)

$U_{cso}$ ——50%操作冲击干闪络电压  
 $U_{cn}$ ——额定操作冲击耐受电压  
 $U_{cso}$ ——50%操作冲击湿闪络电压  
 $U_g$ ——工频干闪络电压  
 $U_{gn}$ ——额定工频干耐受电压  
 $U_j$ ——工频击穿电压  
 $U_{jn}$ ——额定工频击穿电压  
 $U_{iso}$ ——50%雷电冲击闪络电压  
 $U_{in}$ ——额定雷电冲击耐受电压  
 $U_m$ ——绝缘子最高电压  
 $U_n$ ——绝缘子额定电压  
 $U_s$ ——工频湿闪络电压  
 $U_{sn}$ ——额定工频湿耐受电压  
 $\delta$ ——击穿距离  
 $\lambda$ ——胶装比; 台阶长度  
 $\sigma$ ——机械破坏应力

# 第 28 篇 避 雷 器

## 目 录

### 常用符号表

### 第 1 章 概 述

### 第 2 章 交流阀式避雷器

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 1 阀式避雷器的动作原理             | 28-3  |
| 2 阀式避雷器的性能               | 28-4  |
| 2.1 灭弧电压                 | 28-4  |
| 2.2 工频放电电压               | 28-5  |
| 2.3 冲击放电电压               | 28-5  |
| 2.4 冲击电流残压               | 28-6  |
| 2.5 通流容量                 | 28-6  |
| 2.6 阀式避雷器的电气特性表          | 28-7  |
| 2.7 阀式避雷器的其他性能           | 28-8  |
| 3 阀式避雷器的火花间隙             | 28-8  |
| 3.1 间隙的灭弧原理              | 28-9  |
| 3.2 提高间隙灭弧性能的措施          | 28-9  |
| 3.3 火花间隙的类型和特点           | 28-9  |
| 4 阀式避雷器的非线性元件            | 28-10 |
| 4.1 阀片                   | 28-11 |
| 4.2 非线性并联电阻              | 28-13 |
| 4.3 氧化锌非线性电阻材料           | 28-14 |
| 5 阀式避雷器总体设计              | 28-14 |
| 5.1 间隙与阀片的特性配合及<br>电气计算  | 28-15 |
| 5.2 放电电压的控制措施            | 28-16 |
| 5.3 整体结构                 | 28-16 |
| 5.4 高海拔地区用避雷器            | 28-20 |
| 5.5 污秽地区用避雷器             | 28-20 |
| 5.6 阀式避雷器产品结构特点和<br>设计参数 | 28-20 |

### 第 3 章 交流阀式避雷器试验

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 1 阀式避雷器的型式试验       | 28-22 |
| 1.1 阀式避雷器的电气试验     | 28-22 |
| 1.2 阀式避雷器的非电气试验    | 28-22 |
| 1.3 单频振荡回路和矩形波发生装置 | 28-26 |
| 2 长线通流容量试验         | 28-27 |
| 3 特殊续流遮断试验         | 28-28 |

### 第 4 章 交流阀式避雷器 的运行与维护

|              |       |
|--------------|-------|
| 1 动作次数记录器    | 28-28 |
| 2 阀式避雷器预防性试验 | 28-29 |
| 3 阀式避雷器检修    | 28-29 |

### 第 5 章 管 式 避 雷 器

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1 管式避雷器的动作原理与恢复电压 | 28-30 |
| 2 管式避雷器的特点与用途     | 28-30 |
| 3 管式避雷器的特性参数      | 28-31 |
| 4 管式避雷器结构         | 28-33 |
| 4.1 一般管式避雷器       | 28-33 |
| 4.2 无续流管式避雷器      | 28-33 |
| 5 管式避雷器试验项目       | 28-34 |

### 第 6 章 直流阀式避雷器

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1 直流阀式避雷器的灭弧原理和特点 | 28-34 |
| 2 低电压等级直流阀式避雷器    | 28-34 |
| 3 高电压等级直流阀式避雷器    | 28-34 |
| 参考文献              | 28-36 |

# 第 27 篇 绝 缘 子

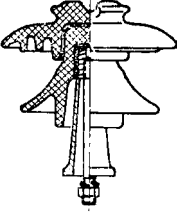
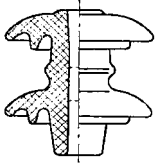
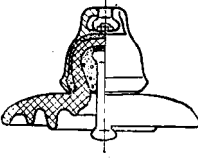
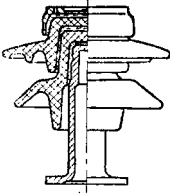
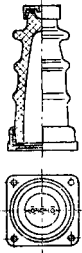
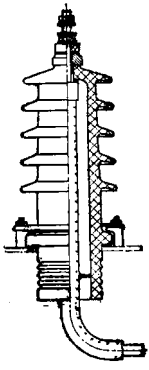
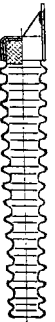
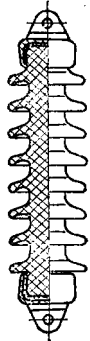
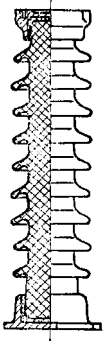
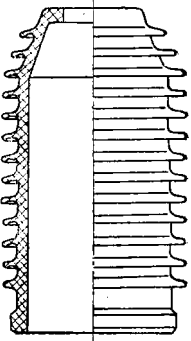
## 第 1 章 概 述

架空输电线路的导线、变电所的母线和各种电气设备的带电体，都需要用绝缘子支持，使之与大地或接地物绝缘，以保证电能安全可靠地输送到广大城乡用户。绝缘子是使用范围广阔、数量庞大的重要电工产品，与安全供电的关系极为密切。

在运行中，绝缘子承受着工作电压和各种过电

压的作用；承受着导线重量、自重、覆冰重量、风力、系统短路电动力、设备操作机械力、以及震动力等作用；此外，由于绝缘子大多数暴露在大气中工作，还受到大气条件（雨、雪、霜、露、温度、湿度、气压等）变化以及环境污染的影响，工作条件是非常恶劣的。因此，对绝缘子的性能要求是多

表27·1-1 绝缘子的基本型式和分类

| 应用场所      | 线 路 绝 缘 子                                                                           |                                                                                    |                                                                                     | 电 站、电 器 绝 缘 子                                                                       |                                                                                       |                                                                                      |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 型式        | 针 式                                                                                 | 蝶 形                                                                                | 盘 形 悬 式                                                                             | 针 式 支 柱                                                                             | 空 心 支 柱                                                                               | 套 管                                                                                  |
| 可 击 穿 型   |   |  |   |   |    |  |
| 型式        | 横 担                                                                                 |                                                                                    | 棒 形 悬 式                                                                             | 棒 形 支 柱                                                                             | 容 器 瓷 套                                                                               |                                                                                      |
| 不 可 击 穿 型 |  |                                                                                    |  |  |  |                                                                                      |

注：绝缘子按其绝缘体内最短击穿距离是否小于其外部空气中的闪络距离的一半，分为“可击穿型”和“不可击穿型”两类。因空气的击穿强度比固体介质的击穿强度低，故当电压升高时，不可击穿型在空气中首先发生闪络，绝缘体内部不会被击穿；可击穿型则有可能被击穿。

种多样的,一般可以概括为机械性能、电气性能和热稳定性三个方面。

绝缘子的主要零件是绝缘件,其材料的选择需考虑满足上述机、电和热三个方面的性能要求;此外,还需考虑原料来源和制造成本等条件。电工陶瓷能满足上述要求,而且原材料来源丰富、易于成型,已广泛用于制造各种绝缘子。玻璃经过钢化后也具有良好的机、电和热性能,并且原料来源丰富、成本低廉,更适于用机械化自动化方法大量生产悬式绝缘子。此外,有机绝缘材料(如环氧树脂、塑料等)也可用于制造绝缘子,但因成本高,目前应用还不广泛。

绝缘子生产有机械的、化学的和热工的过程,有复杂的物理化学变化,需加强制造过程的工艺控制。

为了满足不同用途,绝缘子结构形式种类繁多。应用广泛的交流高压绝缘子的基本型式和分类可概括于表 27·1-1。

低压绝缘子包括低压线路用(针式、蝶形、拉紧)绝缘子、布线用(鼓形、瓷管、瓷夹板等)绝缘子和低压电器绝缘瓷件。直流绝缘子是正在发展的产品。这两类绝缘子与交流高压绝缘子相仿,本篇对其未作全面介绍,只在有关部分稍有涉及。

我国绝缘子生产,可以满足 330 千伏及以下电网建设和电器配套的需要。随着超高压、大容量、远距离输电的发展,绝缘子尺寸愈益增大,性能要求越来越高,必须在超高压绝缘子结构、大型制品制造工艺、污秽试验技术、高压电器用特种电工陶瓷等方面有相应的发展。

## 第 2 章 绝缘子的电气性能

### 1 电气性能要求

绝缘子在交流电力系统中要受到长期运行条件下的工频电压、暂态过电压、操作过电压和雷电过电压四种电压的作用,因此对它要有相应的电气性能要求。

长期运行条件下的工频电压是指系统的最大线对地电压。暂态过电压是指由于接地故障、甩负荷或谐振所引起的接近于工频、持续时间相当长的一种过电压。这二种电压作用下的绝缘性能,可用于干和湿工频耐受电压或干和湿工频闪络电压以及一分钟工频试验电压来表示。

操作过电压是指由于设备操作等原因引起的持续时间很短(约  $10^{-2}$  秒)的一种过电压。操作过电压作用下的绝缘性能,对不太高的电压等级,用于干和湿工频耐受电压或干和湿工频闪络电压来表示;对超高压系统,用于干和湿操作冲击耐受电压或干和湿操作冲击闪络电压来表示。操作冲击电压的标准波形,国际电工委员会(以下简称 IEC)采用 250/2500 微秒( $\mu s$ )。

雷电过电压是由于雷击而引起的持续时间更短(约  $10^{-4}$  秒)的一种过电压。雷电过电压作用下的

绝缘性能用雷电冲击耐受或闪络电压来表示。雷电冲击电压的标准波形我国采用 1.5/40  $\mu s$  (IEC 采用 1.2/50  $\mu s$ )。

为了节省设备绝缘费用、保证电力系统安全运行,采用过电压限制设备来降低过电压值,然后按照绝缘配合原则规定设备的试验电压。对于电站、电器绝缘子,一般规定各种耐受电压;对线路绝缘子,一般规定各种闪络电压。330 kV 及以下电站、电器绝缘子的额定试验电压见表 27·2-1;更高电压等级的电站、电器绝缘子额定试验电压可参考 IEC 标准值(见表 27·2-2)。线路绝缘应按污秽等级、系统内过电压水平和耐雷水平等要求进行配合(详见本手册《电力系统》篇)。各电压等级线路绝缘的试验电压尚无标准。线路绝缘子的性能见本篇第 3 章。低压绝缘子一般应经受 2kV 工频电压试验,持续 1 分钟。

为了保证可击穿型绝缘子在运行中遭受各种电压作用时,不致使绝缘击穿而造成绝缘的永久性破坏,一般规定绝缘子的油中工频击穿电压不小于其额定干耐受电压的 1.6 倍,或不小于额定干闪络电压的 1.3~1.5 倍。

此外,绝缘子在运行中常受到各种污秽和潮湿

表27-2-1 电站电器绝缘子额定试验电压 (按 GB 311-64)

kV

| 绝缘子额定电压<br>$U_n$<br>(有效值) | 绝缘子最高<br>工作电压<br>$U_m$<br>(有效值) | 额定工频耐受电压<br>(有效值) |                | 额定雷电冲击耐受电压<br>(正、负极性1.5/40 $\mu$ s)<br>$U_{cn}$<br>(峰值) | 额定1分钟工<br>频试验电压②<br>(有效值) | 额定油中工频<br>击穿电压③<br>$U_{jn}$<br>(有效值) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
|                           |                                 | 干<br>$U_{gn}$     | 湿①<br>$U_{sn}$ |                                                         |                           |                                      |
| 3                         | 3.5                             | 27                | 20             | 44                                                      | 25                        | 43                                   |
| 6                         | 6.9                             | 36                | 26             | 60                                                      | 32                        | 58                                   |
| 10                        | 11.5                            | 47                | 34             | 80                                                      | 42                        | 75                                   |
| 15                        | 17.5                            | 63                | 45             | 105                                                     | 57                        | 101                                  |
| 20                        | 23                              | 75                | 55             | 125                                                     | 68                        | 120                                  |
| 35                        | 40.5                            | 110               | 85             | 195                                                     | 100                       | 176                                  |
| 60                        | 69                              | 180               | 140            | 335                                                     | 165                       | —                                    |
| 110                       | 126                             | 295               | 215            | 480                                                     | 265                       | —                                    |
| 154                       | 177                             | 375               | 290            | 660                                                     | 340                       | —                                    |
| 220                       | 252                             | 550               | 425            | 950                                                     | 490                       | —                                    |
| 330④                      | 363                             | 710               | 550            | 1200                                                    | 630                       | —                                    |

① 仅对户外绝缘子进行。 ② 仅对具有内绝缘的套管进行。 ③ 仅对可击穿型绝缘子进行, 本栏数据仅适用于瓷或玻璃绝缘子。 ④ 330kV级试验电压按现行数据列入。

表27-2-2 最高工作电压 362 千伏及  
以上电站电器绝缘子额定耐受电压<sup>[1]</sup>

kV

| 绝缘子最高<br>工作电压<br>$U_m$<br>(有效值) | 额定操作冲击耐<br>受电压干和湿,<br>正、负极性,<br>250/2500 $\mu$ s<br>$U_{cen}$<br>(峰值) | 额定雷电冲击耐<br>受电压正、负极性,<br>1.2/50 $\mu$ s<br>$U_{cn}$<br>(峰值) |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 362                             | 850                                                                   | 950<br>1050                                                |
|                                 | 950                                                                   | 1050<br>1175                                               |
| 420                             | 950                                                                   | 1050<br>1175                                               |
|                                 | 1050                                                                  | 1175<br>1300<br>1425                                       |
| 525                             | 1050                                                                  | 1175<br>1300<br>1425                                       |
|                                 | 1175                                                                  | 1300<br>1425<br>1550                                       |
| 765                             | 1300                                                                  | 1425<br>1550<br>1800                                       |
|                                 | 1425                                                                  | 1550<br>1800<br>2100                                       |
|                                 | 1550                                                                  | 1800<br>1950<br>2400                                       |

大气条件的作用, 要求它具有一定的抗污性能 (见本章第4节)。

高压绝缘子在直流电力系统中也要受到直流运行电压、持续过电压、操作过电压以及雷电过电压的作用。由于高压直流输电技术还处于发展阶段, 下面参考 IEC 刊物 438<sup>[2]</sup>, 对直流绝缘子的性能要求加以简单介绍。

在直流电力系统中, 其持续过电压约为系统最大运行电压的 1.3~1.4 倍, 持续时间小于 1 秒。因此, 对于运行电压小于  $\pm 250$  kV 的直流系统用绝缘子, 其正常运行电压和持续过电压下的绝缘性能, 暂时规定有 1 分钟交流湿耐受试验电压, 试验电压有效值等于直流系统最大运行电压的 1.4~1.5 倍。

在高压直流系统中, 其操作过电压较交流系统低。因此, 对运行电压等于或高于  $\pm 250$  kV 的直流系统用绝缘子, 规定有操作冲击干 (对户内绝缘子) 或湿 (对户外绝缘子) 耐受试验电压, 耐受电压峰值不大于额定运行电压的 1.5~1.7 倍。

在直流系统中, 由于整流装置故障排除特性较好, 故障排除时间短, 可以减小绝缘子被电弧烧坏的危险, 因此对雷电过电压允许有较高的闪络概率, 因而雷电冲击绝缘水平可以较低。

直流绝缘子在最大运行电压下的抗污性能是很重要的。目前规定直流污秽试验还不成熟, 因此可以暂用交流电压污秽试验代替, 试验电压有效值应

等于直流运行电压。对直流绝缘子也应规定泄漏距离。

高压直流绝缘子击穿电压可规定为一般的油中工频击穿电压。但对于大电容制品（如套管），可以考虑为直流击穿试验电压。

## 2 闪络电压特性

绝缘子闪络和耐受电压是指具有一定闪络概率的电压值。通常取闪络概率为50%的电压值作为闪络电压。耐受电压与试验时电压施加方式（即一次施加还是二次施加）和施加电压次数以及允许闪络次数等有关。一般取闪络概率为10%的电压值作为耐受电压。

绝缘子闪络的概率分布一般为正态分布，其概率分布函数用50%闪络电压和标准偏差 $\sigma$ 来表示。耐受电压可由此算得。额定闪络电压与耐受电压的间隔见表27·2-3。

表27·2-3 额定闪络电压与额定耐受电压的间隔（额定耐受电压为100%）

| 电压种类   | 闪络概率分布标准偏差<br>$\sigma$ % | 额定闪络电压<br>% | 间隔<br>% |
|--------|--------------------------|-------------|---------|
| 工频电压   | 3                        | 104         | 4       |
| 雷电冲击电压 | 3                        | 104         | 4       |
| 操作冲击电压 | 6                        | 108         | 8       |

绝缘子的闪络电压与下列条件有关：

（1）安装方法 绝缘子干闪络电压与试验时试品安装方法有关。根据经验，在试验时绝缘子安装位置离地面较高，地面影响较小，干闪络电压值较高。支柱绝缘子操作冲击闪络电压与试验时试品离地面高度关系特别明显。

绝缘子湿闪络电压与试品安装角度有关。垂直安装时由于电弧顺着雨流方向发展，其闪络电压一般较水平和倾斜安装时低。

（2）淋雨条件 绝缘子湿闪络电压与淋雨条件有关。一般随降雨强度的提高和雨水电阻率的减小而降低。国家标准 GB311-64 和 GB775-65 规定的标准淋雨条件为：雨强 3 mm/min，雨水电阻率 10000  $\Omega \cdot \text{cm}$ ，雨流与垂线成 45° 角。

（3）大气条件 绝缘子闪络电压与大气条件的关系见本手册《高电压技术》篇。标准大气状态

为周围气温 20°C，压力 1013 毫巴，湿度 11 克/米<sup>3</sup>。

如无特别说明，本篇有关闪络电压曲线均系在标准试验条件下获得的。

### 2·1 闪络距离

绝缘子干闪络电压随干闪络距离的增加而升高。干闪络距离  $L_d$  系指绝缘子二电极间通过周围空气的最短距离。盘形悬式绝缘子串的干闪络距离近似地等于其串长。支柱绝缘子柱的干闪络距离为其各元件干闪络距离之和。

绝缘子湿闪络电压随湿闪络距离的空气间隙部分  $L_k$  和潮湿表面部分  $L_s$  的增加而升高。

几种绝缘子闪络距离见图 27·2-1~27·2-3。

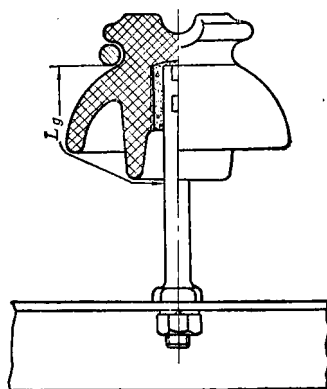


图27·2-1 针式绝缘子的干闪络距离

### 2·2 闪络电压计算值裕度

影响绝缘子闪络电压值的因素较多，例如试品形状尺寸误差、试验设备和试验方法误差以及试验人员的技术熟练程度等。闪络电压值误差包括不同试验室引起的试验室误差和同一试验室的重复性误差二部分。这二种误差一般均服从正态分布规律，它们的和称为再现性误差  $\sigma_z$ 。

由于闪络电压有分散性，因此根据闪络电压曲线和计算公式而得的计算值，应高于标准规定的额定值。

（1）当额定值为闪络电压时，计算值裕度见表 27·2-4。

○ 此标准偏差是相对于分布的平均值的百分数，下文有关正态分布的标准偏差  $\sigma$  亦同。

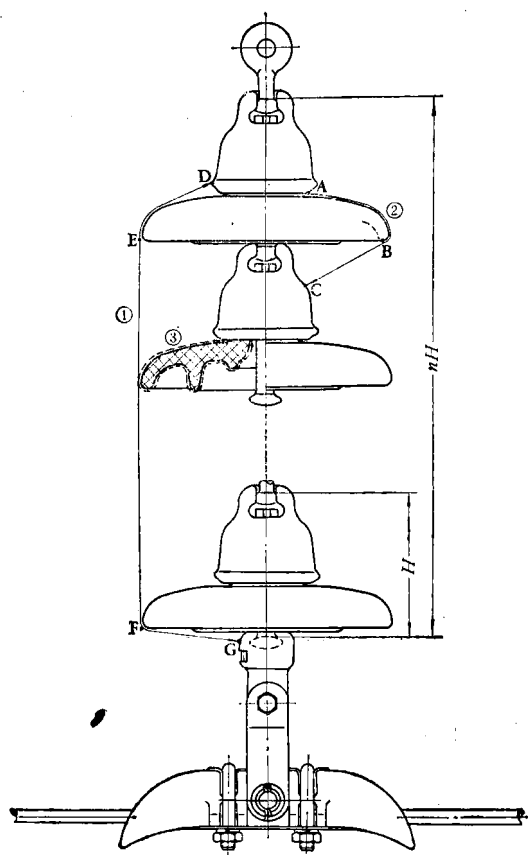
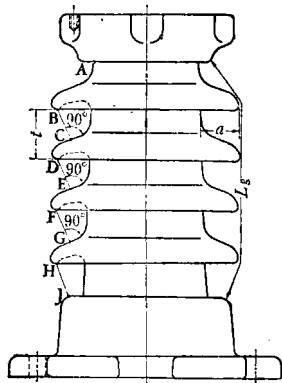


图27·2-2 盘形悬式绝缘子串的闪络距离和闪络路径

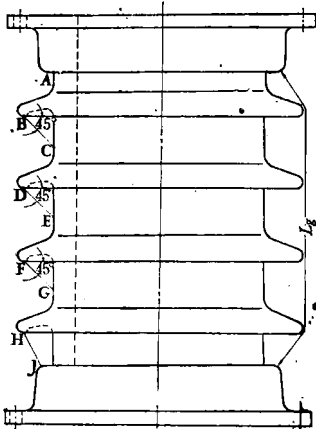
$$L_g = \overline{DE} + \overline{EF} + \overline{FG} \approx nH$$
$$L_k = n\overline{EC} \quad L_c = n\overline{AB}$$

①、②、③—闪络路径



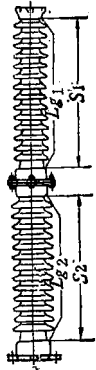
a) 伞间距小时

$$L_k = \overline{EC} + \overline{DE} + \overline{FG} + \overline{HJ}$$
$$L_c = \overline{AB} + \overline{CD} + \overline{EF} + \overline{GH}$$



b) 伞间距大时

$$L_k = \overline{EC} + \overline{DE} + \overline{FG} + \overline{HJ}$$
$$L_c = \overline{AB} + \overline{CD} + \overline{EF} + \overline{GH}$$



c) 支柱绝缘子柱

$$L_g = L_{g1} + L_{g2}$$
$$\approx S_1 + S_2$$

图27·2-3 支柱绝缘子和电器瓷套的闪络距离

表27·2-4 闪络电压计算值裕度  
(额定闪络电压为 100%)

| 试验型式 | 再现性标准偏差<br>$\sigma_z$ % | 闪络电压计算值<br>% | 裕度<br>% |
|------|-------------------------|--------------|---------|
| 干试验  | 6                       | 108~110      | 8~10    |
| 湿试验  | 8                       | 111~114      | 11~14   |

(2) 当额定值为耐受电压时, 计算值裕度应为表 27·2-3 第 4 栏和表 27·2-4 第 4 栏裕度之和。

### 2·3 针式绝缘子的闪络电压特性

针式绝缘子闪络电压经验曲线示于图 27·2-4, 图中 50% 雷电冲击闪络电压为正极性 (比负极性时低); 工频湿闪络电压  $U_s$  曲线已简化为对于闪络距离  $L_g$  的关系。

### 2·4 盘形悬式绝缘子串的闪络电压特性

盘形悬式绝缘子一般均连接成串使用, 因此应着重注意串的闪络特性。

a. 闪络路径 标准盘形悬式绝缘子串的闪络路径可能有三条 (见图 27·2-2):

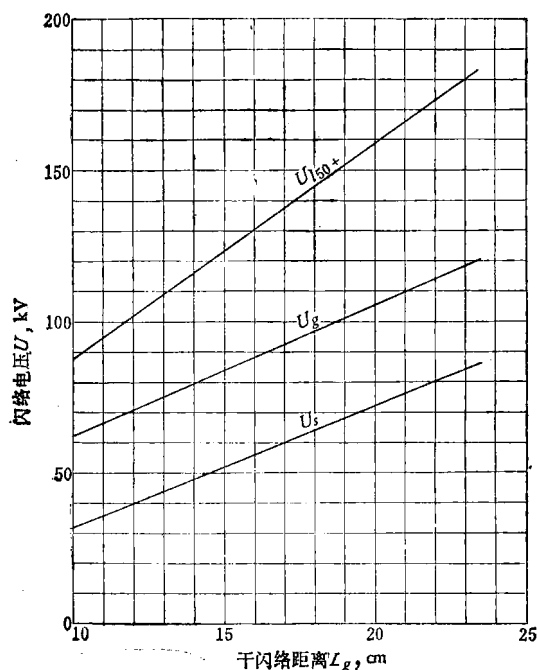


图27-2-4 针式绝缘子闪络电压曲线

$$U_{150+} = 7.2L_g + 15 \quad U_g = 4.35L_g + 19$$

$$U_s = 4L_g - 8$$

(1) 沿最短路径。一般工频、雷电冲击和操作冲击干闪络以及正极性操作冲击湿闪络即如此；

(2) 沿绝缘子表面和空气间隙交替组成的路径。一般工频湿闪络和负极性操作冲击湿闪络即如此；

(3) 沿绝缘体表面。一般污秽闪络即如此。

b. 工频干闪络和雷电冲击闪络 标准盘形悬式绝缘子串的工频干闪络和雷电冲击闪络电压曲线见图 27-2-5 和图 27-2-6。

绝缘子串工频干闪络电压和雷电冲击闪络电压不取决于绝缘子型式，仅与串的长度有关，即闪络一般沿最短路径发生。

绝缘子串的雷电冲击闪络电压，一般负极性时比正极性时稍高，因此串的试验一般在正极性情况下进行。

c. 工频湿闪络 悬式绝缘子串的工频湿闪络电压与绝缘子型式有关，主要取决于湿闪络距离的空气间隙部分长度  $L_k$  和潮湿表面部分长度  $L_c$ ，特别是  $L_k$ 。

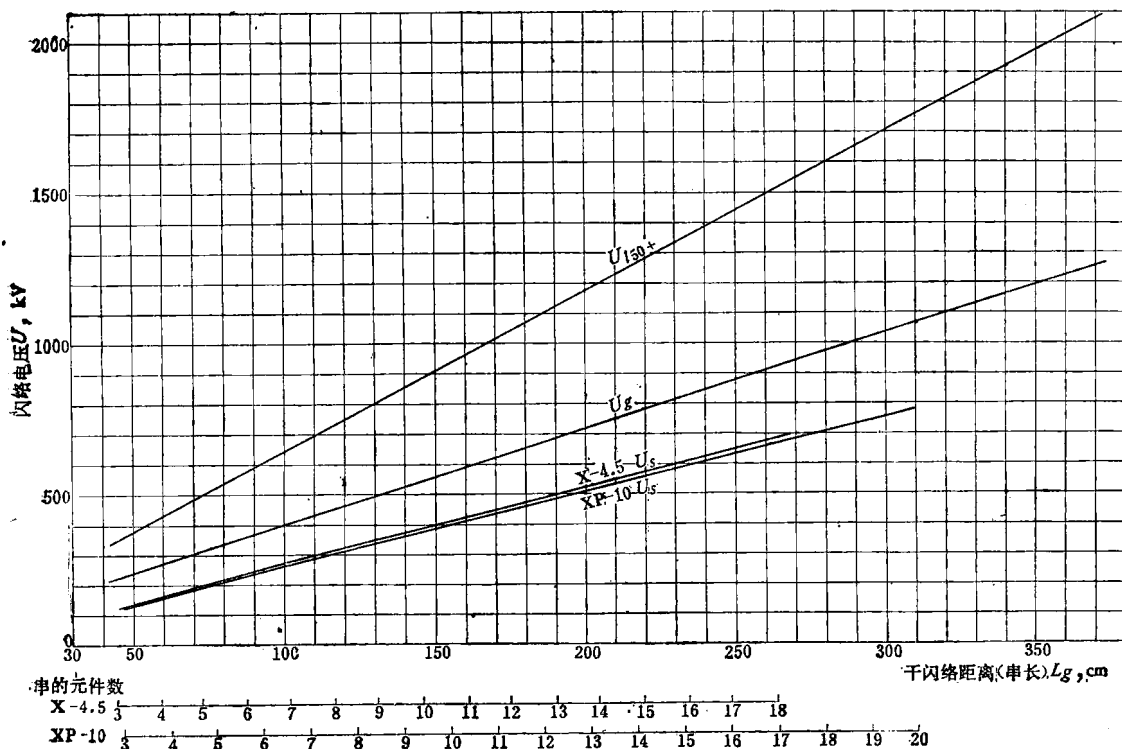


图27-2-5 标准盘形悬式绝缘子串工频和雷电冲击闪络电压曲线

$$U_{150+} = 5.33L_g + 110 \quad U_g = 3.18L_g + 85$$

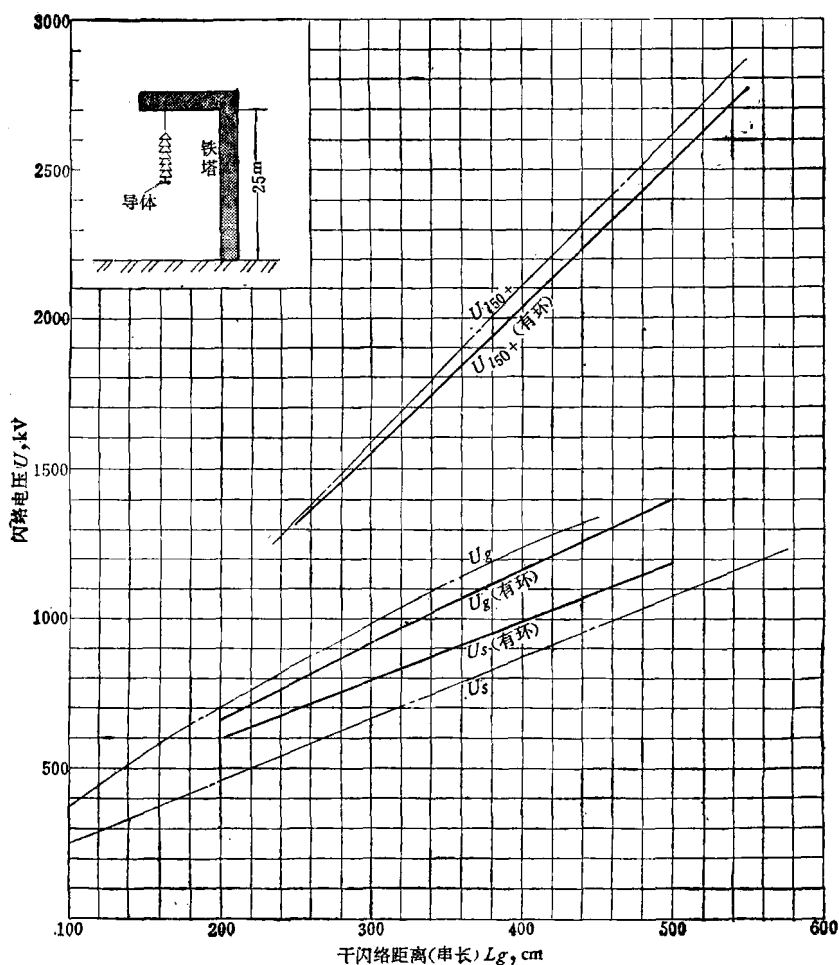


图27-2-6 长绝缘子串工频和雷电冲击闪络电压曲线

———— 根据我国数据, 采用330kV送电线路用扁椭圆形均压环

 - - - - - 根据文献<sup>[4]</sup>, 30吨盘形悬式瓷绝缘子试品装置如图左上角所示 (波形为 $1.1 \times 4.5 \mu s$ )

标准盘形悬式绝缘子串工频湿闪络电压  $U_s$  可按式估算:

$$U_s = 2.76L_k + E_c L_c \quad \text{kV} \quad (27-2-1)$$

式中  $L_k$  —— 范围为 25~220 cm

$L_c$  —— 范围为 30~270 cm

$E_c$  —— 潮湿部分闪络梯度 kV/cm (见图 27-2-7), 当  $L_c > 200$  cm 时,  $E_c$  可按式计算:

$$E_c = 2.4 L_c^{-0.111} \quad \text{kV/cm}$$

用式 (27-2-1) 算得的 X-4.5 和 XP-10 型工频湿闪络电压曲线见图 27-2-5。

d. 操作冲击闪络 标准盘形悬式绝缘子串正极性干和湿 50% 操作冲击闪络电压 ( $U_{cgs0+}$  和

$U_{cs60+}$ ) 的曲线见图 27-2-8。

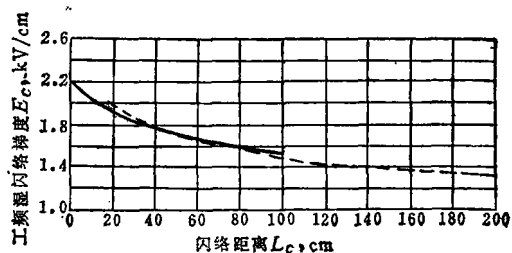


图27-2-7 普通伞裙绝缘子垂直安装时

工频湿闪络梯度  $E_c$  的曲线

—— 实测值 - - - - - 计算值

负极性时的闪络电压一般比正极性时高, 在同一极性下干闪络电压比湿闪络电压略高, 因此一般按正极性湿操作冲击试验。