

# 高压架空输电线路的设计与计算

张万椿

四川科学技术出版社



# 高压架空输电线路的 设计与计算

张万椿

---

四川科学技术出版社

一九八六年·成都

---

责任编辑：梅 红

封面设计：陈世五

版面设计：李明德



高压架空输电线路的  
设计与计算

张万椿



出版：四川科学技术出版社  
印刷：成都印刷一厂  
发行：四川省新华书店  
开本：787×1092 毫米 1/32  
印张：5.5 插页 1  
字数：118 千  
印数：1—3,300  
版次：1986年5月第一版  
印次：1986年5月第一次印刷  
书号：15298·96  
定价：1.20 元



---

## 前 言

在我国四个现代化的宏伟规划中，电力工业及其相应的高压架空输电线路的建设，规模巨大，发展迅速。因而高压架空线路的设计与施工工作亦普遍展开，从事此项工作的人员大量增加。但是，目前有关高压架空输电线路设计与计算方面的书籍尚少，不能满足需要。

为此，作者根据本人所编写的有关材料，并结合当前广泛使用钢筋混凝土电杆的高压架空输电线路设计与计算中，所普遍涉及的基本内容和原理写成此书，供广大从事高压架空输电线路设计与施工人员参阅和使用。

---

---

# 目 录

## 第一章 架空输电线路导线与避雷线的机械计算

- § 1—1 概述..... (1)
- § 1—2 导线(避雷线)的机械荷载..... (8)
- § 1—3 一个档距内导线(避雷线)的应力和弛度  
..... (14)
- § 1—4 一个档距内导线(避雷线)应力和弛度的  
变化..... (25)
- § 1—5 临界档距..... (29)
- § 1—6 临界温度..... (37)
- § 1—7 一个耐张段内导线(避雷线)的应力和弛  
度..... (42)
- § 1—8 导线(避雷线)的机械特性曲线和安装曲  
线..... (50)

## 第二章 高压架空线路杆塔的荷载与受力

- § 2—1 概述..... (56)
- § 2—2 运行情况时杆塔的荷载..... (58)
- § 2—3 断线情况时杆塔的荷载..... (61)

§ 2—4	断线张力的计算	(65)
§ 2—5	拉线张力的计算	(71)
§ 2—6	杆塔荷载图	(79)

### 第三章 高压架空输电线路设计的基本问题

§ 3—1	概述	(83)
§ 3—2	线路路径方案的选择	(84)
§ 3—3	导线(避雷线)的机械与电气计算	(88)
§ 3—4	杆型的选择	(109)
§ 3—5	杆塔尺寸的设计	(115)
§ 3—6	杆塔的定位和校验	(122)
§ 3—7	杆塔基础尺寸设计	(137)

#### 附录:

附录 1 状态方程式(1—35)的推导

附录 2 导线悬挂点不等高时代表档距计算式(1—60)的推导

附录 3 宽度修正系数( $k_0$ )表

附录 4  $\theta$ 及 $\mu$ 值表

附录 5 土壤分类及计算参数表

参考文献

## 第 一 章

# 架空输电线路导线 与避雷线的机械计算

---

---

### § 1—1 概 述

#### 一、架空输电线路设计的主要任务

架空输电线路的设计，一般是在所属电力系统设计计算完成之后，根据系统设计中所确定该线路的起迄地点、电压等级、回路数、输电容量及导线型号等而进行的。

架空线路的设计，应保证运行的安全可靠，同时也使线路建设经济合理。为此，线路设计的主要任务一般包括以下几方面：

1. 选择合理的线路路径。路径是否合理，对经济和安全都有重大的影响，如路径的长短直接影响线路的投资大小。路径对通讯线路的接近，以及跨越居民区等在安全问题上也要慎重的考虑。

2. 保证架空线路的电气安全。即要解决电气绝缘、线间距离、防雷保护，以及平行接近通讯线与交叉跨越障碍物的安全距离等。

3. 保证导线和避雷线的机械应力在正常和事故运行，以

及安装时，都不超出允许值。为此，必需研究导线和避雷线的机械负荷及运行应力。同时还应解决线路防震问题。

4. 选择杆塔的结构形式以及杆塔的材料，并保证杆塔结构的材料应力在各种情况下都不超出允许值。

从以上设计任务可以看出，线路设计是一项综合性很强的工程设计，主要涉及的问题有地形测量，理论力学与材料力学以及结构力学和高电压技术等。

应该指出，线路设计问题的主要方面是力学计算，一般也称为机械计算。为了讲述的方便，在此第一章着重讲述和分析架空线路运行情况时导线（避雷线）的各种机械计算。第二章讲述运行情况与断线情况时杆塔荷载与受力。最后，在第三章中再从工程设计的角度讲述架空线路设计的主要问题。

## 二、架空线路的档距、弛度和限距

在设计和运行中，经常用到以下几个名词概念，在此先作一介绍（参见图1—1）。

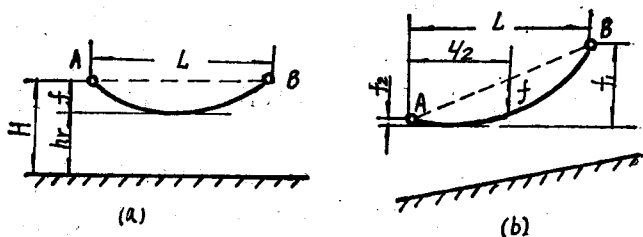


图 1—1



1. 档距 (L)：指两相邻杆塔中心线之间的水平距离；  
 2. 弛度 (f) (又称弧垂)：若AB两个导线悬点等高 (图1—1·a) 则水平直线AB与导线最低点(档距中点)的垂直距离f，称为弛度。若AB两悬点不等高(图1—1·b)，则导线有三个不同的弛度：

最大弛度 $f_1$ ：导线最低点至最高悬点之间的铅直距离。

最小弛度 $f_2$ ：导线最低点至最低悬点之间的铅直距离。

斜弛度f：曲线A B到直线AB之间的最大铅直距离。

3. 限距 ( $h_r$ )：导线的最低点至地面或水面，或导线的任意点至其它地面物体的最小垂直距离。

### 三、导线及避雷线的设计安全系数

为了保证架空线路能安全可靠地运行，导线及避雷线在线路正常运行时，应受到导线材料的容许最大使用应力控制，即材料的最大使用应力不应超过最大容许应力。显然，最大使用应力应小于材料的抗拉强度，它等于抗拉强度除以额定安全系数，即：

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_p}{K} \quad (1-1)$$

$$\text{相应 } K = \frac{\sigma_p}{\sigma_0}$$

式中：K——设计安全系数 (见表1—1)；

$\sigma_p$ ——导线和避雷线的抗拉强度 [公斤/毫米<sup>2</sup>]；

$\sigma_0$ ——导线和避雷线在弧垂最低点的最大使用应力 [公斤/毫米<sup>2</sup>]。

设计安全系数表明技术与经济的重要指标，设计时必须慎重考虑。

按照一般设计经验，设计安全系数可以按以下情况来考虑。

对平原和丘陵地区可采用最小设计安全系数（见表 1—1），也就是采用较大的使用应力。这是因为当导线应力较大时，可以减小档距内导线的弛度，在保证同样限距的条件下有利于放大档距，从而减小杆塔基数，降低线路的投资。另外，在平原和丘陵地带，线路发生断线时，也比较容易修复。

对于山区，档距的大小主要由地形起控制作用，与导线的弛度（或工作应力）关系不大，同时，由于考虑到断线后检修不便，因而可以采用较大的安全系数。同样对于跨越河流、铁路或电信线等的线路，从安全和检修不便的角度出发，也宜于采用较大的安全系数，即较表 1—1 所列的略大的安全系数。实际上在设计中往往采用较大的安全系数，如对于多股导线安全系数取为 3~3.5。因为，这对导线的防

表1—1 导线和避雷线最小设计安全系数

导 线 种 类	安 全 系 数
钢芯铝线，铝绞线及铝合金线	2.5
铜 线	2.0

震是有利的，同时对经济性影响也不大。

按照“送电线路设计规程”（以下简称《规程》）的规定，导线和避雷线的最小设计安全系数如表1—1所列。它们在年平均气温对应的平均运行应力的上限，见后表3—2所列。

此外，为了保证架空线路的导线和避雷线具有必要的机械强度，《规程》规定架空线路所采用的导线和避雷线应符合国家标准或产品技术条件的要求，并规定钢避雷线的最小允许截面为25毫米<sup>2</sup>，其设计安全系数宜大于导线的设计安全系数。导线悬挂点的应力可较弧垂最低点应力高10%。

#### 四、导线截面的选择

对于高压输电线路（35千伏及以上），导线的截面，一般按经济电流密度选择。

110千伏及其以上的输电线路，为了避免发生电晕，应使导线截面不小于最小直径（见表1—2）。

避雷线与导线的配合可按《规程》选定。

表1—2

**不必验算电晕的导线最小直径（海拔不大于1000米）**

额定电压（千伏）	60以下	110	154	220	330	
导线外径（毫米）	—	9.60	13.68	21.28	33.20	2×21.28

但是，在边远地区，常因负荷较小，所选导线截面往往偏小，如地形平坦，常因应力较小弧垂较大，而增加杆塔数量。对于山区，大档距、大跨越较多，高差也大，小导线往往会出现悬挂点应力偏大。若放松导线张力，则导线弧垂加

大，对地距离可能不足，需增加杆位。当无地方加杆位时，则需考虑改变路径或加大导线截面，但可能会出现大小导线在耐张杆处的张力差，所以在设计杆塔结构时需考虑。总之，若导线截面偏小，不仅会影响经济指标，也会带来一系列技术问题，故对于重要用户及施工条件较困难地位，可考虑选导线截面适当偏大。

## 五、计算气象条件

架空线路建成投入运行后，经常要受到覆冰和风力等外部附加荷载的作用，以及周围气温变化的影响。因此，架空线路的工作条件主要决定于线路所经地区的这些气象条件，对此，设计时必须予以考虑。但地区气象条件在一年内是多变的，设计时必须选定有代表性的气象条件作为计算的依据，被选定作为计算依据的气象条件称为计算气象条件。

计算气象条件选择得是否恰当，对线路建设的经济性和运行的可靠性有很大的影响，为了使所设计的线路既有合理的经济性，又有足够的可靠性，一般应根据线路经过地区的空气温度、风速、覆冰厚度和比重等15年一遇的资料，并参考附近已有线路的运行情况来选定计算气象条件。例如，15年内至少出现一次的最大风速是40米/秒，最低温度是 $-40^{\circ}\text{C}$ ，最大的覆冰厚度是10毫米，但不能认为这三种严重情况是同时出现的。因为，根据观察的结果表明，覆冰最严重的时候，空气温度往往不是最低，风速也不是最大。在最低温度时，风速往往很小，空气的湿度也不饱和，这就不具备形成覆冰的条件，导线上没有覆冰。所以，设计时应考虑的是平均每15年（或15年以上）出现一次的风速、覆冰及温

第十卷  
第...  
由

度这三者最不利的组合。至于很少出现的特别严重的条件，例如，特别大的风速，特别厚的覆冰或特别低的温度，仅在线路的可靠性要求特别高的部分（如跨越特大河流等地点），才需要用这些条件进行验算（如30年一遇的气象条件）。

为了便于设计人员进行架空线路机械部分的设计计算，

表1—3 典型气象区

气象区		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
大气 温度 (℃)	最高	+40								
	最低	-5	-10	-10	-20	-10	-20	-40	-20	-20
	覆冰	-5								
	最大风速	+10	+10	-5	-5	+10	-5	-5	-5	-5
	安 装	0	0	-5	-10	-5	-10	-15	-10	-10
	外过电压	+15								
	内过电压 年平均气温	+20	+15	+15	+10	+15	+10	-5	+10	+10
风 速 (米/秒)	最大风速	35	30	25	25	30	25	30	30	30
	覆冰	10						15		
	安 装	10								
	外过电压	15	10							
	内过电压	0.5×最大风速(不低于15米/秒)								
覆冰厚度(毫米)		0	5	5	5	10	10	10	15	20
冰 的 比 重		0.9								

不必对气象条件稍有不同的地区逐一进行计算，而可以把一国、一地区或一省内的一些计算气象条件相接近的地区加以适当归并，划分为几个有代表性计算气象条件的区域，称为

典型（或标准）气象区。在我国《规程》中，根据全国各地的气象条件，划分为九个典型计算气象区，并分别制订了这些气象区的计算气象条件，如表 1—3 所列。

如果在线路经过地区所搜集到的气象资料与表 1—3 中某一典型气象区的数值无显著差异时，则可按此典型气象区的数值进行计算；如有显著差异时，则应按实际的气象条件进行计算，并参照《规程》有关规定。

按照表 1—3 所列数据，对各个典型气象区和不同的计算情况可以列出各种气象条件组合，按这些组合设计架空线路的结构。如列出正常运行情况、安装情况、外过电压情况及内过电压情况等的不同气温、风速与冰厚三者的组合。

## § 1—2 导线（避雷线）的机械荷载

机械荷载是架空线路机械计算时所必不可少的原始资料，它包括导线本身重量、风压和冰雪荷载三个方面。由于，风压和冰雪荷载与气象情况密切有关，因此，当计算气象条件确定后，导线上的机械荷载方可确定。

表示导线机械荷载最方便的方式是“比载”，就是把导线上的荷载归算到单位长度（米）和单位截面积（毫米<sup>2</sup>）的数值。比载用符号“ $g$ ”表示。下面推导计算各项比载的公式。

### 一、导线的自重比载

导线自重所致的比载 $g_1$ 与导线的材料和结构有关。对于各种导线，其自重比载就等于 1 米长，1 毫米<sup>2</sup>截面积的导

线重量。导线的自重比载 $g_1$ 可由下式求得：

$$g_1 = \frac{G}{S} \times 10^{-3} \text{ 公斤/米} \cdot \text{毫米}^2 \quad (1-2)$$

式中： $G$ ——每公里长导线的重量（公斤/公里）  
 $S$ ——导线的实际截面积（毫米<sup>2</sup>）。对钢芯铝线，为铝部和钢部的截面积之和。

## 二、覆冰的比载

计算覆冰所致的比载时，系假定导线具有相同的覆冰厚度，如图（1-2）所示。设 $d$ 为导线的直径（毫米）， $c$ 为覆冰的厚度（毫米）， $g_0$ 为覆冰的比重（克/厘米<sup>3</sup>），则覆冰所致的比载 $g_2$ 为：

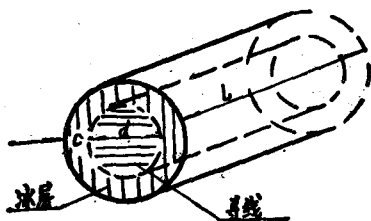


图 1-2 导线覆冰示意图

$$g_2 = \frac{\left[ \frac{\pi (d+2c)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right] g_0}{1000 S} \text{ 公斤/米} \cdot \text{毫米}^2 \quad (1-3)$$

取 $g_0 = 0.9$ 克/厘米<sup>3</sup>，则

$$g_2 = 0.00283 \frac{c (d+c)}{S} \text{ 公斤/米} \cdot \text{毫米}^2 \quad (1-4)$$

### 三、导线自重和覆冰所致的总比载

由于导线自重和覆冰所致的比载的作用方向都是垂直向下，故它们所致的总比载为：

$$g_3 = g_1 + g_2 \quad \text{公斤/米} \cdot \text{毫米}^2 \quad (1-5)$$

### 四、作用于导线上的风压比载

在计算作用于导线或杆塔上的风压时，一般都假定风向与地面平行。风压是由空气流的动能决定的。当大气压为760毫米汞柱，温度为+15℃时，1米<sup>3</sup>的空气重量等于1.2公斤，所以风的速度头（单位风压）为：

$$q = \frac{mv^2}{2} = \frac{1.2v^2}{2 \times 9.81} = \frac{v^2}{16} \text{公斤/米}^2$$

式中：m——空气质量；                      v——风速。

表1—4                      风速不均匀系数 (α)

导线、避雷线及杆塔受风情况	α
对杆塔	1.0
对导线及避雷线:	
风速在20米/秒以下时	1.0
风速为20米/秒至30米/秒	0.85
风速为30米/秒至35米/秒	0.75
风速为35米/秒以上时	0.70



作用于导线或杆塔上的风压为：

$$P = \alpha c q F \sin^2 \theta = \alpha \cdot c \cdot F \cdot \frac{v^2}{16} \sin^2 \theta \text{ 公斤} \quad (1-6)$$

式中： $\alpha$ ——考虑一档距内的平均风速小于最大风速而采用的风速不均匀系数，按《规程》规定 $\alpha$ 值如表1—4所列；

$c$ ——风载体型系数，与风向、受风面形状、导线直径等有关。

按《规程》规定 $c$ 值如表1—5所列：

表1—5 风载体型系数 (C)

导线、避雷线及杆塔结构情况	风载体型系数
对导线和避雷线：	
直径 $d < 17$ 毫米	1.2
$d > 17$ 毫米	1.1
覆冰时，不论直径大小	1.2

$F$ ——受风方向的投影面积 (米<sup>2</sup>) ；

$\theta$ ——风向与线路方向的夹角，其数值等于或小于 $90^\circ$ ，若风向垂直于线路方向时，则 $\theta = 90^\circ$ 。

当导线不覆冰时，风压所致的比载为：

$$g_4(v) = \frac{\alpha c v^2 d}{16 \times 1000s} \text{ 公斤/米} \cdot \text{毫米}^2 \quad (1-7)$$

式中： $d$ ——受风面的宽度 (对圆导线则为直径) ；

$g_4(v)$  表示风速为 $v$ 米/秒时的风压比载，例如，当风速为25米/秒时的风压比载写成 $g_4(25)$ 。

当导线上有覆冰时，受风面积增大，风压所致的比载