



高等学校“十一五”精品规划教材

# 输电线路设计基础

毛晓桦 主编

SHUDIAN XIANLU SHEJI JICHU



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

# 输电线路设计基础

毛晓桦 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书为高等学校“十一五”精品规划教材。全书共分五章，主要包括气象条件、导线的机械计算、特殊情况下导线的机械计算、杆塔的计算、送电线路的选线和定位等内容，并附有课程设计。

本书取材力求精练，强调实用性，可作为电气工程及其自动化专业（非输配电专业方向）本、专科的教材，也可用作从事输电线路运行、设计及管理的工程技术人员培训教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

输电线路设计基础 / 毛晓桦主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-4533-5

I. 输… II. 毛… III. 输电线路—电路设计—高等学校—教材 IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 045455 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 <b>输电线路设计基础</b>
作 者	毛晓桦 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a> 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 8.25 印张 196 千字
版 次	2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	18.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

输电线路是电力系统的重要组成部分，在电力系统工作的工程技术人员对输电线路应有一定的了解。为此，南京工程学院专门编写了讲义，并通过10多年的教学实践和反复修改，现正式出版和广大读者见面了。

本书较全面地介绍了输电线路设计涉及到的基本计算和架空线路选线、定位的基本方法。为了将所介绍的线路设计的基本计算和工程设计结合起来，除了每章选用了典型的例题外，还在书的最后增设了课程设计的内容，即对一条具体线路的计算方法和步骤做了较为完整地介绍，以期对广大读者起到学以致用目的。

本书最大的特点是突出了实用性，全书通俗易懂，适宜自学，不仅可以用作全日制本、专科的教材，而且也可用作从事输电线路运行、设计及管理的工程技术人员的培训教材。在为江苏省送变电公司、盐城供电公司、常州供电公司等单位举办的各类输电线路培训班中曾多次使用过该讲义，取得了良好的效果。

本书共分五章，其中第一、二、三章由毛晓桦副教授编写，第四、五章由张芙蓉副教授编写，全书由毛晓桦副教授主编。

由于编者经验和水平有限，书中难免存在缺点和不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

2006年12月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 气象条件</b> .....	1
第一节 概述 .....	1
第二节 设计用气象条件的选取 .....	2
第三节 设计用气象条件的组合 .....	6
第四节 典型气象区 .....	7
<b>第二章 导线的机械计算</b> .....	8
第一节 架空线路的比载 .....	8
第二节 架空线的振动 .....	12
第三节 悬点等高档距中, 导线应力与弧垂及导线长度的关系 .....	18
第四节 导线的状态方程 .....	21
第五节 临界档距 .....	23
第六节 代表档距 .....	31
第七节 最大弧垂的判定 .....	32
第八节 避雷线最大使用应力 .....	34
第九节 安装曲线与应力弧垂曲线 .....	38
第十节 小高差档距中架空线的计算 .....	42
<b>第三章 特殊情况下导线的机械计算</b> .....	47
第一节 孤立档导线的机械计算 .....	47
第二节 兼有集中荷载时, 导线的机械计算 .....	49
第三节 断线张力的计算 (衰减系数法) .....	51
第四节 避雷线支持力计算 .....	54
<b>第四章 杆塔计算</b> .....	59
第一节 杆塔型式及外形尺寸的确定 .....	59
第二节 杆塔的荷载计算 .....	70
第三节 环形截面钢筋混凝土电杆的强度计算 .....	77
第四节 杆塔基础稳定计算 .....	90
<b>第五章 线路路径的选择和杆塔的定位</b> .....	97
第一节 线路路径的选择 .....	97

第二节 杆塔的定位 .....	102
第三节 定位后的校验 .....	104
<b>课程设计导线和避雷线弧垂应力曲线计算及制作 .....</b>	<b>106</b>
附录 .....	112
附录一 风力风速鉴别表 .....	112
附录二 全国典型气候气象区气象条件表 .....	113
附录三 西北地区气象分区表 .....	113
附录四 各种常用架空线的规格 .....	114
附录五 常用导线的规格及机械物理特性 (GB 1179—74) .....	117
附录六 土壤分类及计算参数表 .....	118
附录七 黏性土 (非大孔土) 的概略特性表 .....	119
附录八 黏性土的状态特征表 .....	120
附录九 砂石类土的概略特征表 .....	120
附录十 输电线路的各种安全距离要求 .....	121
参考文献 .....	124

# 第一章 气象条件

## 第一节 概 述

架空线路的导线和避雷线统称为架空线，它们常年曝置于大自然中，经受各种恶劣气候的影响。为了保证其长期送电的安全运行，必须使之在结构强度和电气性能等各方面能够很好地适应自然界的气象变化，以保证送电线路的安全运行。

送电线路设计用的气象条件，广义地说是指那些与架空线路的电气强度和机械强度有关的气象参数如：风速、气温、湿度、雷电参数等。但机械计算的气象参数主要指：风速、覆冰厚度和气温，称之为设计用气象条件的三要素。

送电线路在运行过程中将连续经历很多种气象条件，而机械设计计算时，则需选取那些对各线路部件强度起控制作用的气象条件。架空线路在进行计算前，必须全面了解沿线的气象资料，必要时应向沿线气象台站收集有关资料，经过换算以确定出设计用的气象条件。设计过程中应搜集的所需的气象资料及主要用途见表 1-1。

表 1-1 气象资料及主要用途表

项目	搜集内容	用 途
1	最高气温	计算电线最大弧垂，使电线对地面或其他构筑物保持一定的安全距离
2	最低气温	在最低气温时，电线可能产生最大应力，检查绝缘子串上扬或电线上拔及电线防震计算等
3	年平均气温	防震设计一般用平均气温时电线的应力作为计算控制条件
4	历年最低气温月的平均气温	计算电线或杆塔安装检修时的初始条件
5	最大风速及最大风速月的平均气温	风荷载是考虑杆塔和电线强度的基本条件
6	地区最多风向及其出现频率	用于电线的防震，防腐及绝缘的防污设计
7	电线覆冰厚度	杆塔及电线强度设计依据，验算不均匀覆冰时电线纵向不平衡张力及垂直布置的导线接近距离
8	雷电日数（或小时数）	防雷计算用
9	雪天、雨天、雾濛天的持续小时数	计算电晕损失时的基本数据
10	土壤冻结深度	用于杆塔基础设计
11	常年洪水位及最高航行水位气温	确定跨越杆塔高度及验算交叉跨越距离
12	最高气温月的日最高气温的平均值	用于计算导线发热温升

## 第二节 设计用气象条件的选取

### 一、最大风速选取

我国规定，线路最大基本风速按电压分级，330kV及以下为距地面15m高处15年一遇10min平均的最大风速，500kV为距地面20m高处30年一遇10min平均最大风速。因此，确定最大基本风速之前，先需进行风速的选用、统计和数学分析。

#### 1. 风速次时换算

我国各地目前采用的风速测记方式有两种：

(1) 1天4次定时2min平均风速。

(2) 连续自记10min平均风速。

送电线路规定采用后者。若气象台站的资料为前者，须经过下列换算，称为次时换算（即观测次数及时距的换算）。

将1天4次2min平均风速 $V_2$ 换算成相同风仪高度处的连续自记10min平均风速 $V_1$ ，须通过相关分析，找出换算的回归方程。回归方程多采用最小二乘法建立。见下式：

$$V_1 = AV_2 + B \quad (1-1)$$

式中  $V_1$ ——连续自记10min的平均风速，m/s；

$V_2$ ——1天4次2min的平均风速，m/s；

A、B——次时换算系数，根据大量统计得出表1-2的实验数值，可供查用。

表 1-2 风速的次时换算系数

地 区	A	B	应 用 范 围
华 北	0.882	7.82	北京、天津、河北、山西、河南、内蒙古、关中、汉中
东 北	1.04	3.20	辽宁、吉林、黑龙江
西 北	1.004	2.57	陕北、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏
西 南	0.576	11.57	用于贵州
云 南	0.625	8.04	
四 川	1.25	0	限于四川
湖 北	0.732	7.0	湖北、江西
湖 南	0.68	9.54	
广 东	1.03	4.15	广东、广西、福建、台湾
江 苏	0.78	8.41	上海、江苏
山 东	1.03	3.76	山东、安徽
浙 江	1.262	0.53	限于浙江

#### 2. 风速高度换算

由于观测仪器离地面高度不一（多为10m左右），故有换算为统一高度的工作，可换



算的经验公式很多，有线性式、指数式、对数式等，我国多用下列对数式：

$$V_h = V_1 \frac{\lg h - \lg z_0}{\lg h_1 - \lg z_0} = K_0 V_1 \quad (1-2)$$

式中  $V_h$ ——实际设计高度下风速，m/s；

$V_1$ ——经过次时换算后风仪高度下的风速，m/s；

$h$ ——实际设计高度，m；

$h_1$ ——风仪高度，m；

$z_0$ ——地面粗糙系数，一般在0.01~0.2范围内，若观测地为空旷平坦短草地时，一般取0.03。

### 3. 最大设计风速的选取

规程中规定，线路应按其重要性程度不同分别考虑最大风速的重现期。重现期越长，说明越稀少，则风速越大。

最大风速重现期，应从概率的概念上来理解，设计上通常采用“几年一遇的最大风”一词，即为一定出现频率（或然率）下的最大风速，如20年一遇相当于5%的出现频率，即  $p=0.05$ 。

根据搜集到的历年最大风速值，（经过次时、高度统一换算），以气象方面有关概率统计的方法求出最大风速分布频率。线路设计中常用较为粗略但较简便的“经验频率法”，其频率的计算公式为：

$$p = \frac{m}{n+1} \quad (1-3)$$

式中  $p$ ——设计最大风速出现的频率；

$m$ ——将统计年份内历年出现的最大风速值由大到小按递减顺序列表编号（风速值大小相同时亦各占一个号），则该设计最大风速在递减序表中所占的序号即为该设计中最大风速的  $m$  值；

$n$ ——统计最大风速的总次数。

要计算保证频率  $p$ （如  $p=0.05$ ，即20年一遇； $p=0.1$ ，即10年一遇）时的最大风速，可将  $p$  和总次数  $n$  代入式（1-3），求出风速递减序号  $m$ ，序号  $m$  所对应的风速即为保证频率下的选用值。若求出的  $m$  不是整数，相邻两序号中的风速可用插入法求之。

**【例 1-1】** 采用经验频率法和插入法，试求最大设计风速。

(1) 将所有的20年的最大风速，经过次时、高度换算后列表如表1-3所示。

表 1-3 1951~1970 年年最大风速

年 份	年最大风速 (m/s)	年 份	年最大风速 (m/s)	年 份	年最大风速 (m/s)	年 份	年最大风速 (m/s)
1951	21.8	1956	25.0	1961	21.0	1966	24.0
1952	21.2	1957	29.0	1962	27.1	1967	18.6
1953	29.2	1958	27.7	1963	24.0	1968	23.2
1954	26.7	1959	30.3	1964	30.3	1969	27.1
1955	32.2	1960	22.0	1965	27.1	1970	34.2

(2) 将风速数据由大至小排列如表 1-4 所示 (每年一个数据、每个数据占一个序号  $n=20$ )。

表 1-4 将风速按从大到小排列

$m$	年最大风速 (m/s)	频率 $p = \frac{m}{n+1}$	$m$	年最大风速 (m/s)	频率 $p = \frac{m}{n+1}$
1	34.2	0.0476	11	26.7	0.524
2	32.2	0.0952	12	25	0.571
3	30.3	0.1428	13	24	0.619
4	30.3	0.1905	14	24	0.667
5	29.2	0.238	15	23.2	0.714
6	29	0.286	16	22	0.762
7	27.7	0.333	17	21.8	0.809
8	27.1	0.381	18	21.2	0.857
9	27.1	0.428	19	21.0	0.905
10	27.1	0.476	20	18.6	0.952

(3) 求 15 年一遇的最大风速。其相应出现频率  $p = \frac{1}{15} = 0.0667$ ，由式 (1-3) 求得  $m = p(n+1) = 0.0667 \times 21 = 1.4$ ，用插入法求得设计用的最大风速  $V_{\max} = 32.63$  (m/s)。

假设  $a < m < a+1$ ，插入法的计算公式为：

$$V_{\max} = V_a - (V_a - V_{a+1}) \frac{p - p_a}{p_{a+1} - p_a} \quad (1-4)$$

式中  $V_a$ 、 $V_{a+1}$ ——序号  $a$ 、 $a+1$  对应的年最大风速；

$p_a$ 、 $p_{a+1}$ ——序号  $a$ 、 $a+1$  对应的频率。

规程规定，用以上方法选取的最大设计风速，在平原地区对 35~330kV 线路不应低于 25m/s；对 500kV 不应低于 30m/s；山区线路的最大设计风速一律不应低于 30m/s。

#### 4. 特殊地形条件下风速的选取

大跨越档的最大设计风速应比附近平地线路增加 10%，跨越处水面风速应再增加 10%；大跨越还应按稀有气象条件验算。

线路通过城市或森林等地区，如两侧屏蔽物平均高度大于杆塔高度的 2/3，其最大设计风速较一般地区减少 20%。线路位于河岸、湖岸、高峰以及山谷口等容易产生强风地带，设计风速应较附近一般地区适当增加。江面风速根据长江跨越经验，一般认为比陆地略大一级 (4m/s 左右)，山区从总体宏观上看，摩擦力大，风速值不一定比平地大，规程从安全角度出发规定，若无可靠资料，应采用附近平地风速的 1.1 倍。

## 二、覆冰厚度的选择

规程规定，电线覆冰是以沿整个档距电线四周均匀覆上密度为  $8.82 \times 10^3 \text{ N/m}^3$  的冰层厚度表示。覆冰厚度原则上也应取 15 年一遇的数值。但目前由于观测积累的资料甚少，

主要是参照当地线路运行经验确定。调查收资的对象主要也是运行中的电力线和邮电通信线以及当地群众对覆冰现象的形象描述以确定覆冰厚度。当无可靠覆冰记录时，在常年最低气温为零摄氏度以下者，应考虑电力线路覆冰，其冰厚度不小于5mm。

架空线路覆冰厚度系指圆环形的厚度，然而实际覆冰断面可能是各种不规则形式，则应将其换算成圆筒形以便于计算，常用换算方法有以下几种。

### 1. 测水重

将冰壳试样溶化后称得其重量，算出单位长度（m）、标准状态（比重为  $8.82 \times 10^3 \text{ N/m}^3$  呈圆筒形）的冰层厚度为：

$$b = \sqrt{R^2 + 36.1 \times \left(\frac{G}{L}\right)} - R \quad (1-5)$$

式中  $b$ ——标准覆冰厚度，mm；

$R$ ——无冰架空线的半径，mm；

$G$ ——试样冰壳溶化后重力，N；

$L$ ——试样冰壳长度，m。

### 2. 测总重法

测每米覆冰架空线试样的总重力，算出标准状态的冰层厚度为：

$$b = \sqrt{R^2 + \frac{(q_3 - q_1) \times 10^3}{\pi \times 8.82}} - R \quad (1-6)$$

式中  $q_3$ ——每米覆冰架空线总重力，N/m；

$q_1$ ——每米无冰架空线重力，N/m；

其他符号同式（1-5）。

### 3. 椭圆法

首先测量实际覆冰断面的长径  $D$  和短径  $B$ ，如图 1-1。以长、短径作椭圆，将此椭圆的面积近似作为实际覆冰的断面积，令其等于理想覆冰的圆形面积，从而求出设计用的理想覆冰厚度。

设架空线的半径为  $R$ （无冰时），覆冰厚度为  $b$ ，根据折算前后覆冰断面积相等，有

$$\pi \left( \frac{D}{2} \times \frac{B}{2} - R^2 \right) = \pi [(R+b)^2 - R^2]$$

所以

$$b = \sqrt{\frac{DB}{4}} - R \quad (1-7)$$

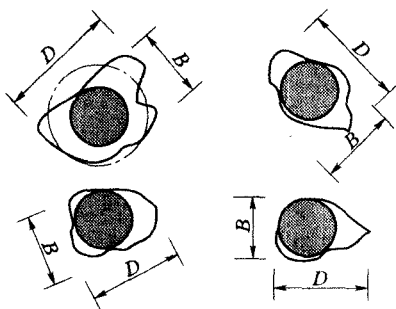


图 1-1 不同断面形状的覆冰

## 三、气温的选取

(1) 最高气温一般取  $+40^\circ\text{C}$ 。

(2) 最低气温就取 5 的整数倍数值。

(3) 年平均气温，取逐年的年平均气温的平均值。当地区年平均气温在  $3 \sim 17^\circ\text{C}$  之间

时，取与此数邻近的 5 的倍数值；若小于  $3^{\circ}\text{C}$  或大于  $17^{\circ}\text{C}$  时，则应将年平均气温减少  $3\sim 5^{\circ}\text{C}$  后，取与此数邻近的 5 的倍数。

### 第三节 设计用气象条件的组合

风速、覆冰和气温是架空输电线路设计气象条件的三要素，对输电线路的安全运行均有很大的影响。但进行线路设计时并不能将三要素出现的最不利情况进行简单叠加，因为最大风速、最厚覆冰、最低（高）气温通常并不同时出现。三要素的取值应该客观反映气象的自然变化规律，符合整个线路的技术经济合理性的要求，保证架空输电线路安全施工和运行、检修。因此，必须进行细致的调查搜集工作，对原始气象资料慎重地分析，根据线路实际运行、检修和施工中可能遇到的情况，合理地组合设计用气象条件。架空输电线路应该保证下列 5 个条件：

- (1) 在大风、覆冰和最低气温下，仍能正常运行。
- (2) 在断线事故情况下，不倒杆，事故不扩大。
- (3) 在安装施工过程中，不发生人身、设备损坏事故。
- (4) 在正常运行情况下，任何季节（最大风速、最厚覆冰或最低气温）架空线对地、杆塔或其他物体均有足够的安全距离。
- (5) 在长期的运行中，架空线应具有足够的耐振性能。

为保证上述要求，在多年实际运行经验和运行数据的数理统计分析基础上，提出了架空输电线路设计用气象条件的几种组合。

#### 1. 线路正常运行情况下的气象组合

在正常运行情况下，架空线和杆塔受到较大荷载时的气象条件，不外乎是最大风速或最厚覆冰或最低气温出现时的情况。由于最大风速多在夏秋季发生，最低气温多在冬季无风时出现，而且最大风速和最低气温时均无覆冰出现，因此线路运行情况下的气象组合有 4 种情况。

- (1) 最大设计风速，无冰，相应的月平均气温。
- (2) 最厚覆冰，相应风速，气温  $-5^{\circ}\text{C}$ 。根据雨淞形成规律，相应风速一般为  $10\text{m/s}$ 。若该地区最大设计风速很大（如  $35\text{m/s}$  以上），可考虑相应风速为  $15\text{m/s}$ 。
- (3) 最低气温，无冰，无风。
- (4) 最高气温，无冰，无风。

#### 2. 线路断线事故情况下的气象组合

断线事故一般系外力所致，与气象条件无明显的规律联系。而计算断线情况的目的，主要是为了确定断线时杆塔所受的荷载，校核杆塔强度。根据各地的实际运行经验，设计规程规定了线路断线事故情况下的气象组合。

- (1) 一般地区，无风、无冰、历年最低气温月的日最低气温平均值。
- (2) 重冰区（覆冰厚度  $20\text{mm}$  以上），无风、有冰、气温  $-5^{\circ}\text{C}$ 。

#### 3. 线路安装和检修情况下的气象组合

考虑一年四季中线路都有安装检修的可能，组合气象条件为：风速  $10\text{m/s}$ ，无冰，最

低气温月的平均气温。这一组合气象条件基本上概括了全年安装、检修时的气象情况。对于冰、风中的事故抢修，安装中途出现大风等其他特殊情况，只有靠采取临时措施来解决。对于六级以上大风等严重气象条件，则应暂停高空作业。

#### 4. 线路耐振计算用气象组合

线路设计中，应保证架空线具有足够的耐振能力。架空线的应力越高，振动越显严重，因此应将架空线的使用应力控制在一定的限度内。

由于线路微风振动一年四季中经常发生，故控制其平均运行应力的组合气象条件为：无风，无冰，年平均气温。

#### 5. 外过电压气象组合

外过电压是指由于雷电的作用在输电线路产生的过电压。为了保证在雷电活动期间线路不发生闪络，要求塔头尺寸应能保证相应气象条件下导线风偏后对凸出物的距离，档距中央应保证导线与避雷线的间距大于规定值。所以组合气象条件为：

(1) 温度 15℃，相应风速，无冰。15℃是雷电活动日气温，相应风速对 I 类典型气象区（见本节）取 15m/s，其他气象区取 10m/s。

(2) 温度 15℃，无风，无冰。仅用于验算档距中央导线与避雷线的间距。

#### 6. 内过电压气象组合

内过电压即操作过电压，其计算用气象组合为：年均气温，无冰，0.5 倍的最大风（不低于 15m/s）。

## 第四节 典型气象区

为了设计、制造上的标准化和统一性，将我国各主要地区组合后的气象条件归纳了 9 个典型气象区（见附录二），由于我国幅员辽阔，气象复杂，9 个典型气象区不能完全包括，所以各大区又根据本区的气象特点划分了各地区的典型气象区（见附录三）。

当所设计线路经过地区的气象情况接近某一典型气象区的气象情况时，可直接取该典型气象区的气象条件进行组合；若设计的线路经过地区的气象情况与各典型气象区的气象条件相差悬殊时，则应按实际搜索的气象资料经过换算、组合为设计气象条件进行设计。

## 第二章 导线的机械计算

### 第一节 架空线路的比载

在进行架空线路的机械计算时，首先需要计算其机械荷载（简称荷载）。具体计算时，机械荷载常用“比载”表示，它是指单位长度和单位截面上导线所承受的机械荷载，用符号  $g$  表示，单位为  $\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$  或  $\text{MPa}/\text{m}$ 。

作用在架空线路上的荷载有架空线自重、冰重和架空线所受垂直于线路方向的水平风压。因此架空线路的比载分自重比载、冰重比载和风压比载等。

#### 一、自重比载 $g_1$

架空线路的自重比载为：

$$g_1 = 9.8 \times \frac{q_1}{S} \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)] \quad (2-1)$$

式中  $q_1$ ——每公里导线的重量， $\text{kg}/\text{km}$ ，见附录四；

$S$ ——架空线的计算总截面，即架空线实际截面，对钢芯铝线等复合导线为铝和钢截面之和， $\text{mm}^2$ ，见附录四。

#### 二、冰重比载 $g_2$

架空线上有覆冰时，1m 长的冰筒，如图 2-1 所示，其体积为：

$$V = \frac{\pi}{4} [(d+2b)^2 - d^2] = \pi b(d+b) = \pi b(d+b) \times 10^{-6} (\text{m}^3)$$

式中  $b$ ——覆冰厚度， $\text{mm}$  见附录二；

$d$ ——架空线的计算直径， $\text{mm}$ ，见附录四。

1m 长冰筒重量为：

$$q_2 = V\gamma_0 = \pi b(d+b)\gamma_0 \times 10^{-6} (\text{N})$$

式中  $\gamma_0$ ——冰的密度，其值取  $\gamma_0 = 8.82 \times 10^3 \text{N}/\text{m}^3$ 。

冰重比载

$$g_2 = \frac{q_2}{S} = 27.7 \times \frac{b(d+b)}{S} \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)] \quad (2-2)$$

#### 三、垂直总比载 $g_3$

垂直总比载为自重比载与冰重比载之和（见图 2-2），即：

$$g_3 = g_1 + g_2 \quad (2-3)$$

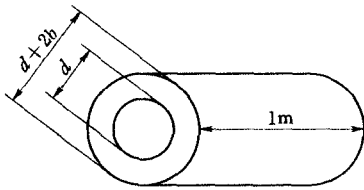


图 2-1 1m 长冰筒的体积

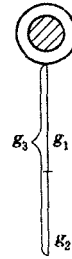


图 2-2 垂直总比载示意图

#### 四、风压比载 $g_4$ 、 $g_5$

架空线上的风压是由作用于架空线的空气动能所引起的，线路水平风压为：

$$P = \alpha_F C F \times \frac{V^2}{16} \sin^2 \theta \quad (2-4)$$

式中  $V$ ——风速，m/s；

$\alpha_F$ ——风速的不均匀系数，对杆塔取 1，对导线则从表 2-1 中查取；

$C$ ——体形系数，采用下列数值：线径  $d < 17\text{mm}$ ，取 1.2；线径  $d \geq 17\text{mm}$ ，取 1.1，覆冰时（不论线径大小），取 1.2；

$F$ ——在线路垂直方向的受风面积  $F = dL \times 10^{-3} \text{m}^2$ ；

$\theta$ ——风向与线路轴线的水平夹角，计算风压比载时一般取  $\theta = 90^\circ$ 。

表 2-1 风速的不均匀系数

设计风速 (m/s)	$V < 20$	$20 \leq V < 30$	$30 \leq V < 35$	$V \geq 35$
$\alpha_F$	1.0	0.85	0.75	0.7

于是不覆冰的架空线风压比载为：

$$g_4 = 9.8 \times \frac{P}{SL} = 9.8 \times \frac{\alpha_F C d V^2}{16 S} \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)] \quad (2-5)$$

式中  $L$ ——档距中架空线路长度，m；

覆冰的架空线路风压比载为：

$$g_5 = 9.8 \times \frac{\alpha_F C (d + 2b) V^2}{16 S} \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)] \quad (2-6)$$

#### 五、综合总比载 $g_6$ 、 $g_7$

不覆冰的架空线路，综合总比载为自重比载  $g_1$  和风压比载  $g_4$  的几何和，如图 2-3 所示，即：

$$g_6 = \sqrt{g_1^2 + g_4^2} \quad (2-7)$$

覆冰的架空线路，综合总比载为垂直总比载  $g_3$  与覆冰风压比载  $g_5$  的几何和，如图 2-4 所示，即：

$$g_7 = \sqrt{g_3^2 + g_5^2} \quad (2-8)$$

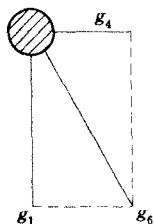


图 2-3 无冰综合总比载示意图

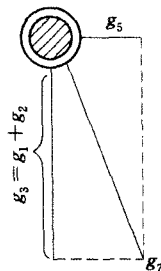


图 2-4 覆冰综合总比载示意图

【例 2-1】 试计算下列架空线路导线的比载。

(1) 35kV 线路，通过Ⅳ级气象区，导线采用旧型 LGJ—95 型。

(2) 110kV 线路，通过Ⅵ级气象区，导线采用旧型 LGJ—150 型。

解：(1) 35kV 线路。

由已知 LGJ—95 型导线其标称截面即为  $95\text{mm}^2$ ，查附录四得计算数据：导线计算截面  $S=113\text{mm}^2$ ；导线的计算外径  $d=13.7\text{mm}$ ；导线单位重量  $q=404\text{kg/km}$ 。

查附录二得Ⅳ级典型气象区的气象数据：最大风速  $V=25\text{m/s}$ ；覆冰风速  $V=10\text{m/s}$ ；覆冰厚度  $b=5\text{mm}$ 。

1) 自重比载

$$g_1 = 9.8 \times \frac{q}{S} \times 10^{-3} = 9.8 \times \frac{404}{113} \times 10^{-3} = 35.04 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)]$$

2) 冰重比载

$$\begin{aligned} g_2 &= 27.7 \times \frac{b(b+d)}{S} \times 10^{-3} \\ &= 27.7 \times \frac{5(5+13.7)}{113} \times 10^{-3} \\ &= 22.95 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)] \end{aligned}$$

3) 垂直总比载

$$g_3 = g_1 + g_2 = (35.04 + 22.95) \times 10^{-3} = 57.99 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)]$$

4) 无冰时风压比载

$$g_4 = 9.8 \times \frac{\alpha_F C d v^2}{16S} \times 10^{-3}$$

由无冰时风速  $V=V_{\max}=25\text{m/s}$ ，表 2-1 查得风速不均匀系数  $\alpha_F=0.85$ ，因为导线的计算外径  $d=13.7\text{mm}<17\text{mm}$ ，故知导线的风荷载体型系数  $C=1.2$ ，将  $\alpha_F$ 、 $C$  及导线特性数据和气象数据代入式 (2-5) 得

$$g_4 = 9.8 \times \frac{0.85 \times 1.2 \times 13.7 \times 25^2}{16 \times 113} \times 10^{-3} = 47.34 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)]$$

5) 覆冰时风压比载



$$g_5 = 9.8 \times \frac{\alpha_F C(d+2b)V^2}{16S} \times 10^{-3}$$

由覆冰导线的风速  $V=10\text{m/s}$ , 表 2-1 查得  $\alpha_F=1.0$ , 覆冰导线的风荷体型系数  $C=1.2$ , 代入式 (2-6) 得

$$g_5 = 9.8 \times \frac{1.0 \times 1.2 \times (13.7 + 2 \times 5) \times 10^2}{16 \times 113} \times 10^{-3} = 15.42 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)]$$

6) 无冰时综合总比载

$$\begin{aligned} g_6 &= \sqrt{g_1^2 + g_4^2} \\ &= \sqrt{(35.04)^2 + (47.34)^2} \times 10^{-3} \\ &= 58.90 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)] \end{aligned}$$

7) 覆冰时综合总比载

$$\begin{aligned} g_7 &= \sqrt{g_3^2 + g_5^2} \\ &= \sqrt{(57.99)^2 + (15.42)^2} \times 10^{-3} \\ &= 60.00 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)] \end{aligned}$$

(2) 110kV 线路。

根据 LGJ—150 型导线的标称截面  $150\text{mm}^2$  查附录四得计算数据: 导线计算截面  $S=174.6\text{mm}^2$ ; 导线计算直径  $d=17\text{mm}$ ; 导线每公里重  $q_1=617\text{kg/km}$ 。

查附录二得 VI 级典型气象区的气象数据: 最大风速  $V=25\text{m/s}$ ; 覆冰风速  $V=10\text{m/s}$ ; 覆冰厚度  $b=10\text{mm}$ 。

1) 自重比载

$$g_1 = 9.8 \times \frac{q_1}{S} \times 10^{-3} = 9.8 \times \frac{617}{174.6} \times 10^{-3} = 34.63 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)]$$

2) 冰重比载

$$\begin{aligned} g_2 &= 27.7 \times \frac{b(b+d)}{S} \times 10^{-3} \\ &= 27.7 \times \frac{10(10+17)}{174.6} \times 10^{-3} \\ &= 42.89 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)] \end{aligned}$$

3) 垂直总比载

$$g_3 = g_1 + g_2 = (34.63 + 42.89) \times 10^{-3} = 77.52 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)]$$

4) 无冰时风压比载

$$g_4 = 9.8 \times \frac{\alpha_F C d V^2}{16S} \times 10^{-3}$$

根据无冰时  $V_{\max}=25\text{m/s}$  查表 2-1 得  $\alpha_F=0.85$ , 由  $d=17\text{mm}$  知  $C=1.1$ , 故

$$g_4 = 9.8 \times \frac{0.85 \times 1.1 \times 17 \times 25^2}{16 \times 174.6} \times 10^{-3} = 34.85 \times 10^{-3} [\text{N}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)]$$

5) 覆冰时风压比载

$$g_5 = 9.8 \times \frac{\alpha_F C(d+2b)V^2}{16S} \times 10^{-3}$$