

JIAKONG DIANLI XIANLU JISUAN

# 架空电力线路计算

胡安民 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 架空电力线路计算

胡安民 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书分两篇共十章。上篇主要是架空线路机械部分，由导（地）线的计算、横担的计算、电杆的计算、电杆拉线强度的计算、特殊杆型的强度计算、杆塔的起立所组成；下篇主要是架空线路电气部分，由线路参数、线路中的电能损耗、地区电力网中的电压损耗、导线截面的选择等内容组成。本书附录中有常用导线的技术规格、物理特性等技术数据。

本书主要适用于从事电工工作的技术人员及具有中等文化程度以上的广大电力建设行业的工程技术人员。

### 图书在版编目（C I P）数据

架空电力线路计算 / 胡安民编著. -- 北京：中国  
水利水电出版社，2014. 4  
ISBN 978-7-5170-1894-0

I. ①架… II. ①胡… III. ①架空线路—电力线路—  
计算 IV. ①TM726. 3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第070318号

书 名	架空电力线路计算
作 者	胡安民 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.5印张 296千字
版 次	2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	38.00元



凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



## 序

我是电力系统的一名老兵，长期在国家层面上从事和服务于我所热爱的农村电气化事业。胡安民同志是一位电力基层工作的组织者和领导者，长期工作在电力第一线上，从事城市和农村电力的供应和使用工作。我曾在原国家能源部、电力部、国家电力公司任职期间，和胡安民同志有过多次往来，同他打交道，主要是因为他主管的焦作市电业局农电管理工作是全国的一面旗帜（称“焦作模式”），他参加过我多次主持的关于农村电力线路，变电站规章、规程、技术标准和设计等方面的研讨和制定。他也多次陪同我在焦作学习和考察各县电力局的经验，给我的印象很好。胡安民同志长期在基层工作，积累了丰富的实践经验，尤其精通输配电线路的设计和施工，他勤奋好学，埋头苦干，刻苦探索，用理论指导实践，总有一种锲而不舍、奋发向上的优秀品质，有一种对工作严谨认真、一丝不苟的可贵精神。在实际工作中，有突出贡献。无论是当工人、技术员还是企业领导，都能在自己的岗位上努力工作，为国为民尽力。

最近，我认真细读了胡安民同志编著的《架空电力线路计算》，觉得内容具体、通俗易懂、便于自学，可以供从事输配电工作人员参考使用。编写中多用施工中的实际例子，使读者在掌握电力线路计算方法的同时，能更好地解决工程中的实际问题，有很好的指导性和很强的针对性。该书对从事输配电线路工作的广大技术人员十分有益。

在整个供电网络中，220kV及以上的网架，由于设计和施工力量比较强，可靠性比较好。而在地市及县级供电企业，遇到的大量技术和理论问题，是110kV及以下网络的设计和施工问题。特别是输配电线路的设计、施工问题，成熟的技术和计算标准不多。如何保证线路的设计和施工既要安全可靠，又要经济合理，的确是一个非常棘手的问题。胡安民同志以其多年的理论积累和实践经验，解决了这些问题。

电气化事业是现代化的重要组成部分，电力网是电力系统的重要组成部分

分。一个安全、可靠、优质、稳定的城乡输配电线路，是为国民经济和人民生活提供充分、可靠、优质电力的保证，也是建设现代化，发展经济，全面建设小康的重大支撑。电力事业的发展需要千百万电力工作者的努力和无私奉献，需要像胡安民同志这样的埋头干实事的基层工作者在自己平凡的工作岗位上努力奋斗，在国民经济发展中作出自己的贡献！

杨鸿义



## 前言

电力工业是生产和销售电能的行业，是国民经济的基础产业之一。其根本任务是为国民经济和人民生活提供充足、可靠、优质的电力。架空电力线路是电力系统的重要组成部分，精确的计算、经济合理的设计，可降低工程建设成本及线路损耗，确保工程质量，从而保证设备的安全运行，提高经济效益。

作者多年从事输配电线路的规划设计、生产技术管理工作，负责完成了新乡、焦作、齐齐哈尔等地多条输配电线路的规划设计和施工。在不少同行的建议和鼓励下，结合自己多年的实践经验编写了本书，供从事输配电工作的人员参考使用。并希望能对当前电力网络的建设、改造和发展尽微薄之力。

本书分为两篇，上篇为“架空线路机械部分”，下篇为“架空线路电气部分”。编写本书时本着内容具体、通俗易懂、便于自学的原则，多用施工中的实际例子加以说明，避免了理论上过多的推导和叙述，使读者在掌握电力线路计算方法的同时，能更好地解决工程中的实际技术问题。

在编写本书的过程中，李博之同志给予了帮助与指导，张其则、裴植同志对书稿进行了资料的收集整理、应用实例的计算及审稿，提出了许多宝贵意见，在此表示诚挚的谢意。

鉴于作者的水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

2014年1月



# 目录

序  
前言

## 上篇 架空线路机械部分

第一章 正常情况下导（地）线的计算	1
第一节 导（地）线比载的计算	1
第二节 导（地）线弧垂的计算	4
一、计算导（地）线弧垂的必要性	4
二、弧垂与导（地）线拉应力的关系	4
三、在变更气候条件下导线弧垂与拉应力关系——导线状态方程	6
四、安全系数	8
五、钢心铝线的综合破坏应力	8
六、各型钢心铝线弹性系数与线膨胀系数	9
第三节 临界档距	10
第四节 临界温度	11
第五节 悬挂点不等高时导线的计算	11
一、水平弧垂	12
二、斜弧垂	13
三、导线的实际长度	14
四、导线最低点与档距范围	14
第六节 紧线工作	16
一、三环紧线工作的受力情况	16
二、导线收紧时的受力情况	17
三、一档内导线任意一点的弧垂	18
第七节 代表、水平、垂直档距	18
一、代表档距	18
二、水平档距	18
三、垂直档距	19

第八节 跳线长度的计算 .....	20
一、跳线的形状 .....	20
二、绝缘子串倾斜角 .....	20
三、跳线长度的施工计算 .....	21
四、计算温度 .....	22
五、水平转角的影响 .....	22
六、结论 .....	22
第九节 最大样板曲线和断面图上杆塔的布置 .....	23
一、最大样板曲线 .....	23
二、断面图上杆塔的布置 .....	24
第十节 导(地)线的振动与防振 .....	24
一、导(地)线的振动 .....	24
二、风振动的影响因素 .....	25
三、防振措施 .....	26
第十一节 弧垂的观测与调整 .....	31
一、弧垂的计算 .....	31
二、等长法观测弧垂 .....	33
三、异长法观测弧垂 .....	35
四、角度法观测弧垂 .....	36
五、平视法观测弧垂 .....	39
六、弧垂的观测与调整 .....	41
<b>第二章 横担的计算 .....</b>	<b>43</b>
<b>第一节 直线杆横担的计算 .....</b>	<b>43</b>
一、作用在横担一臂端的铅直力 .....	43
二、截面 $EF$ 处的弯曲力矩 .....	43
三、截面 $EF$ 处的抗弯矩 .....	43
四、危险断面 $EF$ 处的应力 .....	44
<b>第二节 耐张杆横担的计算(一) .....</b>	<b>45</b>
一、截面 $C-C$ 处的弯曲力矩 .....	45
二、截面 $C-C$ 处的抗弯矩 .....	45
三、危险断面 $C-C$ 处的应力 .....	46
<b>第三节 耐张杆横担的计算(二) .....</b>	<b>47</b>
一、平面桁架杆件中力的确定 .....	48
二、角钢的选择 .....	49
<b>第三章 电杆的计算 .....</b>	<b>52</b>
<b>第一节 基本规则 .....</b>	<b>52</b>
<b>第二节 直线单杆的计算 .....</b>	<b>52</b>



一、作用在电杆上的水平荷载 .....	52
二、电杆中弯矩的确定 .....	53
三、电杆允许弯矩的确定 .....	53
第三节 II 型中间直线杆的计算 .....	55
一、正常情况下 II 型直线杆的计算 .....	55
二、事故情况下 II 型直线杆的计算 .....	59
第四节 带叉梁的 II 型中间直线杆的计算 .....	64
一、零力矩轴的确定 .....	64
二、电杆主柱的垂直反作用力和水平反作用力 .....	65
三、 $x$ 材中的力的确定 .....	65
四、电杆各部分的应力及截面积的校验 .....	66
五、 $x$ 材的强度校验 .....	67
第五节 电杆纵向弯曲的校验 .....	67
一、直线杆在导线覆冰时进行校验 .....	68
二、惯性力矩和半径的计算 .....	69
第六节 电杆埋深的计算 .....	72
一、电杆埋深应满足的关系 .....	72
二、不设卡盘的电杆埋深计算 .....	72
三、卡盘的电杆埋深计算 .....	73
<b>第四章 电杆拉线强度的计算 .....</b>	<b>74</b>
第一节 拉线强度的计算 .....	74
一、作用在电杆各元件上的力的确定 .....	74
二、拉线截面的选择 .....	75
三、几个具体规定 .....	75
四、决定 AC 拉线承受的作用力 $T$ 的简便方法 .....	76
第二节 拉线棒埋深的计算 .....	76
一、拉线棒承受拔力的计算 .....	76
二、拉线盘和横木强度验算 .....	76
第三节 拉线抱箍强度的计算 .....	78
一、固定螺栓强度的计算 .....	78
二、抱箍本体强度的计算 .....	79
<b>第五章 特殊杆型的强度计算 .....</b>	<b>81</b>
第一节 变压器台的强度计算 .....	81
一、台方强度计算 .....	81
二、穿心螺栓的强度计算 .....	82
三、托梁抱箍强度计算 .....	83
第二节 六角柱的强度计算 .....	86

一、电杆上反作用力的确定 .....	86
二、电杆强度的校验 .....	87
三、横担强度的校验 .....	89
<b>第六章 杆塔的起立 .....</b>	<b>91</b>
<b>第一节 杆塔起立时起吊力的决定 .....</b>	<b>91</b>
一、杆塔重心的确定 .....	93
二、起吊电柱各部受力的计算 .....	93
<b>第二节 工器具的选择 .....</b>	<b>95</b>
一、抱杆的强度计算 .....	95
二、钢丝绳的选择 .....	96
三、缓松器的强度计算 .....	99
四、地锚强度的计算 .....	101
<b>第三节 电杆强度的计算 .....</b>	<b>102</b>

## 下篇 架空线路电气部分

<b>第七章 线路参数 .....</b>	<b>103</b>
<b>第一节 等效网络 .....</b>	<b>103</b>
<b>第二节 线路中的电阻 .....</b>	<b>103</b>
<b>第三节 线路中的电抗 .....</b>	<b>104</b>
<b>第四节 线路中的电导 .....</b>	<b>106</b>
一、电晕的临界电压 .....	106
二、电晕损耗 .....	107
三、消除电晕损耗的方法 .....	108
<b>第五节 线路中的电纳 .....</b>	<b>110</b>
<b>第六节 钢导线的阻抗与导纳 .....</b>	<b>112</b>
一、钢导线的电阻 .....	113
二、钢导线的电抗 .....	113
<b>第八章 线路中的电能损耗 .....</b>	<b>115</b>
<b>第一节 线路中的功率损耗 .....</b>	<b>115</b>
一、负荷在终端的线路 .....	115
二、有数个负荷的三相线路 .....	116
三、负荷沿线路均匀分布的线路 .....	117
四、关于电压值的选择 .....	117
<b>第二节 线路中的电能损耗 .....</b>	<b>117</b>
一、几个基本假定 .....	118
二、线路中的电能损耗 .....	120

<b>第九章 地区电力网中的电压损耗</b> .....	123
<b>第一节 电压偏移和电压损耗</b> .....	123
一、三相线路中电压偏移与损耗 .....	124
二、三相线路中的电压损耗 .....	126
<b>第二节 几个特殊情况的电压损耗</b> .....	127
一、全线构造相同的线路 .....	127
二、线路负荷为纯有功负荷 .....	128
三、不考虑电抗的线路 .....	128
<b>第三节 负荷均匀分布线路中的电压损耗</b> .....	129
一、负荷都是均匀分布的线路 .....	129
二、均匀分布负荷线路的电压损耗 .....	130
<b>第四节 各相负荷不对称线路的电压损耗</b> .....	131
<b>第五节 具有分支的线路中的电压损耗</b> .....	135
<b>第六节 引出两相分支或单相分支线路的电压损耗</b> .....	135
一、从四线线路中引出两相分支 .....	135
二、从四线线路中引出单相分支 .....	136
<b>第十章 导线截面的选择</b> .....	138
<b>第一节 按发热条件选择导线截面</b> .....	138
一、在持续负荷下裸线发热量的计算 .....	138
二、绝缘线的发热 .....	140
<b>第二节 按允许的电压损耗决定导线截面</b> .....	140
<b>第三节 按金属消费量最少的条件决定导线截面</b> .....	142
<b>第四节 按经济电流密度选择导线截面</b> .....	144
<b>第五节 按机械强度选择导线截面</b> .....	145
<b>第六节 结论</b> .....	145

## 附 录

附录一 导(地)线主要技术参数 .....	147
附录二 导线和避雷线的机械物理特性 .....	158
附录三 全国典型气象区气象条件 .....	159
附录四 导(地)线比载表 .....	160
附录五 型钢机械性能 .....	165
附录六 钢材许用应力 .....	172
附录七 木材许用应力与换算 .....	173
附录八 折减系数 $\Phi$ 值表 .....	174
附录九 计算基础的补助表 .....	175
附录十 钢丝绳的强度及规格 .....	177

附录十一	起重用白棕绳重量及安全拉力表 .....	179
附录十二	架空线路的电阻和电抗 .....	180
附录十三	架空线路的电纳 .....	182
附录十四	钢线的电阻和电抗 .....	183
附录十五	裸线的持续容许电流（空气温度为 25℃，导线温度为 70℃） .....	185
附录十六	绝缘铜线的持续安全负荷 .....	186
附录十七	风级风速鉴别表 .....	187
附录十八	力的单位换算 .....	188

# 上篇 架空线路机械部分



## 第一章 正常情况下导（地）线的计算

架空电力线路的导（地）线，在正常运行中，弧垂和拉力受外界温度和其他因素影响而变化，在选择杆型、拉线强度时要考虑这些变化，并且，导（地）线弧垂和拉力又直接关系到本身在正常运行中是否会折断，所以，正确计算导（地）线弧垂和拉力，对减少线路建设投资，保证不间断供电有着重要的意义。

### 第一节 导（地）线比载的计算

定义：导（地）线一个单位长度（m），单位截面（ $\text{mm}^2$ ）所承受的外力（kg），叫做比载。导（地）线比载是架空线路机械部分计算的常用数据，所以，我们在讨论导（地）线计算之前，先讨论导（地）线比载的计算是必要的。

(1) 自重比载  $g_1$ 。对于单股导线它等于截面为  $1\text{mm}^2$ ，长度为  $1\text{m}$  的导线重量（kg）；对于多股导线，是由多股扭绞而成，每股导线长度较轴心长度增大  $2\% \sim 3\%$ ，故其自重比载按下列公式求之：

单一金属多股导线的比载：

$$g_1 = 1.025 \frac{\gamma}{1000} = \frac{W_0}{S} \quad (1-1-1)$$

复合金属多股导线的比载：

$$g_1 = 1.025 \frac{\gamma_L S_L + \gamma_G S_G}{1000S} = \frac{W_0}{S} \quad (1-1-2)$$

在计算绝缘导线的自重比载时，绝缘材料的重量，也必须计算在内。

(2) 冰重的比载  $g_2$ 。导（地）线的冰层，加于截面为  $1\text{mm}^2$ ，长度为  $1\text{m}$  导线上的重量（kg）：

$$g_2 = \frac{\pi b(d+b)\gamma_0}{1000S} = 0.00283 \frac{b(d+b)}{S} \quad (1-1-3)$$

(3) 自重与冰重的综合比载  $g_3$ ：

$$g_3 = g_1 + g_2 \quad (1-1-4)$$



(4) 风压的比载  $g_4$  :

$$g_4 = \frac{P}{S} = A \frac{v^2 d}{S} \quad (1-1-5)$$

(5) 覆冰时的风压比载  $g_5$ 。导线覆冰时, 风加于截面为  $1\text{mm}^2$ , 长度为  $1\text{m}$  导(地)线上的压力 (kg):

$$g_5 = \frac{P_0}{S} = A \frac{v^2 (d+2b)}{S} \quad (1-1-6)$$

(6) 有风时综合比载  $g_6$  :

$$g_6 = \sqrt{g_1^2 + g_4^2} \quad (1-1-7)$$

(7) 有风有冰时综合比载  $g_7$  :

$$g_7 = \sqrt{g_3^2 + g_5^2} \quad (1-1-8)$$

$$P_0 = \alpha_F k (d+2b) \frac{v^2}{16} \sin\theta \quad (1-1-9)$$

$$P = \alpha_F k d \frac{v^2}{16} \sin\theta \quad (1-1-10)$$

式 (1-1-1)~式 (1-1-10) 中  $\alpha_F$ ——风速不均匀系数;

$v < 20\text{m/s}$  时,  $\alpha_F = 1$ ;

$20 \leq v < 30\text{m/s}$  时,  $\alpha_F = 0.85$ ;

$30 \leq v < 35\text{m/s}$  时,  $\alpha_F = 0.75$ ;

$v \geq 35\text{m/s}$  时,  $\alpha_F = 0.7$ ;

$k$ ——空气动力系数;

$d \geq 17\text{mm}$  时,  $k = 1.1$ ;

$d < 17\text{mm}$  时,  $k = 1.2$ ;

覆冰时不论线材直径大小,  $k = 1.2$ ;

$P_0$ ——风力系数;

$\theta$ ——风向和导线的夹角, 一般取  $\theta = 90^\circ$ ;

$W_0$ ——导线单位长度重量,  $\text{kg/m}$ ;

$S$ ——导线截面面积,  $\text{mm}^2$ ;

$\gamma$ ——线材比重;

$d$ ——导线计算直径,  $\text{mm}$ ;

$v$ ——风速,  $\text{m/s}$ ;

$b$ ——冰的厚度,  $\text{mm}$ ;

$\gamma_0$ ——冰的比重,  $\gamma_0 = 0.9$ ;

$L$ ——下角标, 代表铝线;

$G$ ——下角标, 代表钢线;

$A$ ——计算系数, 值见表 1-1-1。



表 1-1-1

A 值表  $(A = \frac{\alpha_r k}{16 \times 1000})$ 

v	A 值 \ k	k=1.1	k=1.2
	v < 20		0.00006875
20 ≤ v < 30		0.0000584	0.00006375
30 ≤ v < 35		0.00005156	0.00005625
v ≥ 35		0.00004813	0.0000525

【例题 1-1-1】 计算单一金属导线 JL-95 和复合金属导线 JL/G1A-95/1 的比载。假定导线架设在我国第Ⅶ气象区。

铝绞线 JL-95 导线的计算直径  $d=12.5\text{mm}$   
导线的计算截面  $S=95.14\text{mm}^2$   
铝的比重  $\gamma_L=2.7$

钢芯铝线 JL/G1A-95/15  
导线的计算直径  $d=13.6\text{mm}$   
铝股计算截面  $S_L=94.39\text{mm}^2$   
钢芯计算截面  $S_G=15.33\text{mm}^2$   
导线总截面  $S=109.73\text{mm}^2$

(1) 导线自重比载  $g_1$ 。

$$g_{1\text{铝绞线}} = 1.025 \frac{\gamma_L}{1000} = 1.025 \frac{2.7}{1000} = 2.77 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

$$g_{1\text{钢芯铝线}} = 1.025 \frac{\gamma_L S_L + \gamma_G S_G}{1000 S} = 1.025 \times \frac{2.7 \times 94.39 + 7.85 \times 15.33}{1000 \times 109.73} \\ = 3.42 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

(2) 冰的比载  $g_2$ 。冰的厚度  $b=10\text{mm}$ ，冰的比重  $\gamma_0=0.9$ 。

$$g_{2\text{铝绞线}} = 0.00283 \frac{b(d+b)}{S} = 0.00283 \times \frac{10 \times (12.5+10)}{95.14} = 6.69 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

$$g_{2\text{钢芯铝线}} = 0.00283 \frac{b(d+b)}{S} = 0.00283 \times \frac{10 \times (13.6+10)}{109.73} = 6.09 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

(3) 导线自重及冰重的综合比载， $g_3 = g_1 + g_2$ 。

$$g_{3\text{铝绞线}} = 2.77 + 6.69 = 9.46 \times 10^{-3} (\text{kg}/\text{mm}^2 \cdot \text{m})$$

$$g_{3\text{钢芯铝线}} = 3.42 + 6.09 = 9.51 \times 10^{-3} (\text{kg}/\text{mm}^2 \cdot \text{m})$$

(4) 导线的风压比载  $g_4$ 。

$$g_4 = A \frac{v^2 d}{S}; \text{ 风速 } V=30\text{m/s} \quad A=5625 \times 10^{-8}$$

$$g_{4\text{铝绞线}} = 5625 \times 10^{-8} \times \frac{30^2 \times 12.5}{95.14} = 6.65 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

$$g_{4\text{钢芯铝线}} = 5625 \times 10^{-8} \times \frac{30^2 \times 13.6}{109.73} = 6.27 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$



(5) 覆冰时的风压比载。  $g_5 = A \frac{v^2(d+2b)}{S}$ , 风速  $v=10\text{m/s}$ , 冰厚  $b=10\text{mm}$ 。

$$A = 75 \times 10^{-6}$$

$$g_{5\text{铝绞线}} = 75 \times 10^{-6} \times \frac{10^2 \times (12.5 + 20)}{95.14} = 2.56 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

$$g_{5\text{钢芯铝线}} = 75 \times 10^{-6} \times \frac{10^2 \times (13.6 + 20)}{109.73} = 2.30 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

(6) 导线无冰有风时的综合比载。  $g_6 = \sqrt{g_1^2 + g_4^2}$  :

$$g_{6\text{铝绞线}} = \sqrt{2.77^2 + 6.65^2} = 7.20 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

(7) 导线有冰有风时的综合比载。  $g_7 = \sqrt{g_3^2 + g_5^2}$  :

$$g_{7\text{铝绞线}} = \sqrt{9.46^2 + 2.3^2} = 9.76 \times 10^{-3} [\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})]$$

## 第二节 导(地)线弧垂的计算

### 一、计算导(地)线弧垂的必要性

导线长度的很小变化, 会使弧垂和拉力产生非常大的变化。

比如, TJ-25 型铜线, 100m 档距:

在温度  $\theta=0^\circ\text{C}$  时, 弧垂  $f=1.10\text{m}$ , 拉力  $T=262\text{kg}$ , 长度  $l=100.0324\text{m}$ ;

当温度  $\theta=-40^\circ\text{C}$  时, 弧垂  $f=0.68\text{m}$ , 拉力  $T=420\text{kg}$ , 长度  $l=100.0123\text{m}$ 。

上列数值可以看出, 温度从  $0^\circ\text{C}$  降到  $-40^\circ\text{C}$ , 导线长度仅减小  $0.0201\text{m}$ , 占导线总长度的  $0.0201\%$ ; 而弧垂减小  $0.42\text{m}$ , 是原弛度的  $38.2\%$ ; 拉力增加  $158\text{kg}$ , 是原拉力的  $60.3\%$ ; 由此不难看出, 导线因温度变化而产生的微小伸缩, 所引起的弧垂和拉力的变化却是相当大的。同样, 导线由于荷重变化而产生的导线弹性伸缩, 也会引起类似的结果。这就是弧垂计算成为架空线路设计和施工重要计算之一的理由。

### 二、弧垂与导(地)线拉应力的关系

现在我们讨论一下弧垂与导(地)线内部各点应力的关系。设导线悬挂在 A、B 两点上, A、B 在同一水平面上, 跨距为  $l$ , 弧垂为  $f$  [图 1-2-1 (a)]。若导线是一根理想柔软而且负荷均匀的线通过较复杂的数学推演, 可以得到导线的曲线方程为一悬链方程。但是, 我们最感兴趣的是弧垂与导线内各点应力的关系。因为, 在实践中知道, 跨距  $l$  要比弧垂  $f$  大得多。在此情况下, 可以假设导线的负荷沿跨度(而不是沿曲线)是均匀的, 这种假设实际误差很小, 已能满足工程需要。在这种条件下, 导线不是悬链线而是抛物线。

设  $G$  为单位跨度上导线负荷 ( $\text{kg}/\text{m}$ )。为了讨论导线内各点的应力, 采用截面法, 曲线是对称的, 故只讨论半边就行了。截取  $OC$  这一段, 见图 1-2-1 (b) 其上的作用力:  $T_0$  为  $O$  点水平拉力,  $T_c$  为  $C$  点拉力,  $Gx$  为  $OC$  段的重力。从图中可以直观地看出,  $OC$  这段线处于平衡时,  $T_c$  的水平分力必须与  $T_0$  平衡,  $T_c$  的垂直分力与重力  $Gx$  平衡。用平衡方程表示:





$$\text{即 } \left. \begin{aligned} T_C \cos \alpha - T_0 &= 0 \\ T_C \sin \alpha - Gx &= 0 \end{aligned} \right\} \text{或 } \left. \begin{aligned} T_0 &= T_C \cos \alpha \\ Gx &= T_C \sin \alpha \end{aligned} \right\}$$

$$T_C = \sqrt{T_0^2 + (Gx)^2} \quad (1-2-1)$$

从式(1-2-1)中可以得出结论,导线上各点的拉力是随 $x$ 变化的, $x=0$ 时,即在 $O$ 点处(最低点)导线的拉力最小, $x=\frac{l}{2}$ 时,即 $B$ 点(或 $A$ 点)处拉力最大(悬挂点)。现在就来研究最大或最小拉力与弧垂之间的关系。截取 $OB$ 段[图1-2-1(c)],此线段是在三力:水平拉力 $T_0$ 、重力 $G\frac{l}{2}$ 及悬挂点拉力 $T_B$ 作用下处于平衡。故可用平衡方程对 $B$ 点取力矩:

$$T_0 f - G \frac{l}{2} \frac{l}{4} = 0$$

$$\text{即 } T_0 f = \frac{Gl^2}{8}$$

$$\text{或 } T_0 = \frac{Gl^2}{8f} \text{ (此式两端除以导线截面 } S)$$

并注意:

$$\frac{T_0}{S} = \sigma_0, \frac{G}{S} = g$$

式中  $g$ ——导线比载,  $\text{kg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})$ 。

那么就:

$$\sigma_0 = \frac{gl^2}{8f} \quad \text{或} \quad f = \frac{gl^2}{8\sigma_0} \quad (1-2-2)$$

这样,我们就得出了最小(导线最低点)应力、跨度与弧垂之间的关系。现在我们来求导线最大应力。根据图1-2-1(c)中各力对水平轴和垂直轴列平衡方程:

$$\left. \begin{aligned} T_B \cos \beta - T_0 &= 0 \\ T_B \sin \beta - G \frac{l}{2} &= 0 \end{aligned} \right\} \text{即 } \left. \begin{aligned} T_0 &= T_B \cos \beta \\ G \frac{l}{2} &= T_B \sin \beta \end{aligned} \right\}$$

由直角关系:

$$T_B = \sqrt{T_0^2 + \left(\frac{Gl}{2}\right)^2}$$

用  $T_0 = \frac{Gl^2}{8f}$  代入即得到:

$$T_B = \sqrt{\left(\frac{Gl^2}{8f}\right)^2 + \left(\frac{Gl}{2}\right)^2} = \frac{Gl^2}{8f} \sqrt{1 + \left(\frac{4f}{l}\right)^2}$$

因  $\left(\frac{4f}{l}\right)^2$  很小,可用近似公式  $\sqrt{1+\epsilon} = 1 + \frac{1}{2}\epsilon$

$$\text{所以 } T_B = \frac{Gl^2}{8f} \left[ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{4f}{l}\right)^2 \right] = \frac{Gl^2}{8f} + Gf \quad (1-2-3)$$

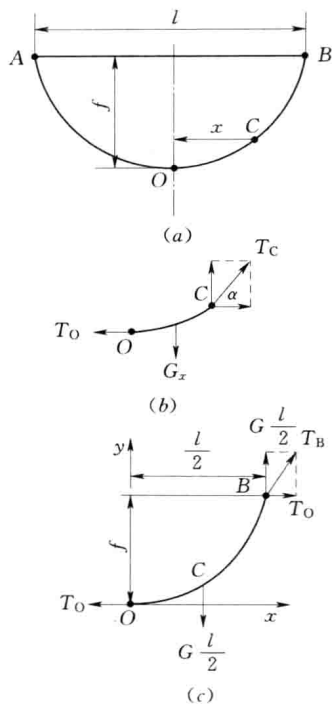


图 1-2-1 导线内各点应力计算