

东北电力设计院 邵天晓

架空送电线路 的 电线力学计算

水利电力出版社

架空送电线路的电线力学计算

东北电力设计院 邵天晓

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 10.5印张 231千字

1987年4月第一版 1987年4月北京第一次印刷

印数0001—6320册 定价2.40元

书号 15143·6217

内 容 提 要

本书主要是为从事送变电专业设计、施工和运行人员便于掌握并灵活运用电线路力学方面的大量计算方法和公式,提高业务水平而编写的专业基础知识读物。本书的编写力求实用和通俗易懂,书中仅以力学的基本知识和简单的数学方法为基础,对架空送电线(包括导线和避雷线)在各种荷载和悬挂方式下设计、施工中常用的弧垂、张力及线长等计算方法进行了较系统地求证和论述。全书共分六章,主要内容包
括:均布荷载下电线弧垂、应力及线长的计算;电线应力变化状态方程式;非均布荷载下孤立档电线弧垂、张力及线长的计算;连续档正常运行情况下电线应力、弧垂的计算;连续档内电线断线张力的计算;架线应力、弧垂的计算与观测方法。

本书供送变电专业工程技术人员(包括中等专业水平的读者)阅读,也可作为有关专业的教学参考书。

前 言

架空送电线路的电线力学计算包括电线结构方面的力学特性计算和电线在悬挂中的弧垂、张力计算。本书仅涉及后者的内容。

近年来国内出版了一些有关架空送电线路方面的书籍，这些书中汇集了电线力学计算方面的大量计算方法和公式。考虑对其进行配套性的解释，以便从事送变电专业的设计、施工、运行人员灵活运用有关公式、方法和提高技术业务水平，因此编写了《架空送电线路的电线力学计算》这本专业基础知识读物。

为力求本书内容的通俗性，仅涉及架空电线的静态力学计算。全书共分六章，其中主要内容是对架空送电线（包括导线和避雷线）在各种荷载和各种悬挂方式下设计和施工中常采用的弧垂、张力及线长等计算公式进行了论证和说明。考虑到工程上的实用性，特将复杂的悬链线方程根据容许的误差范围简化为近似的抛物线方程。由于电子计算机在工程中已得到广泛应用，因此在书中将有关计算方法尽量归纳为便于编制计算程序的形式。书中除参考了国内外有关资料外，尚对一些具体课题（如悬挂点不等高的电线应力选择及悬挂点处的电线弯曲应力、电线装配架线的误差、连续档分段架线的弧垂调整、双联悬垂绝缘子串的受力分配、V型绝缘子串的风偏位移、滑轮线夹具有摩擦力时电线弧垂的计算等）进行了初步的讨论，以供读者做进一步的研究。

本书在东北电力设计院送电室的安排下由邵天晓同志编写，经专责工程师汤伯兰等同志校核，由送电室副主任张殿生同志校定。最后由华北电力设计院副总工程师刘普春等同志审阅并提出许多宝贵意见，在此表示感谢。由于编者业务水平所限，书中难免有谬误之处，望读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 均布荷载下电线弧垂、应力及线长的计算..... 1

第一节 电线弧垂、应力及线长的悬链线公式..... 1

第二节 电线弧垂、应力及线长的抛物线公式..... 31

第三节 有横向风荷载时电线弧垂、应力及线长的近似计算... 49

第四节 考虑电线刚度影响时弧垂及弯曲应力的计算 59

第二章 均布荷载下电线应力变化状态方程式及临界

档距 80

第一节 电线应力变化的状态方程式 80

第二节 临界档距 103

第三章 非均布荷载下孤立档电线弧垂、张力及线长的

计算 111

第一节 非均布荷载下的电线弧垂 111

第二节 耐张绝缘子串水平及垂直投影长度的计算 126

第三节 非均布荷载下电线线长的计算 130

第四节 有风时非均布荷载下电线弧垂与线长的计算 149

第五节 非均布荷载下电线张力变化状态方程及控制条件的
判别 153

第六节 非均布荷载孤立档电线弧垂、张力的计算示例与
比较 164

第四章 连续档正常运行情况下电线应力、弧垂的

计算 194

第一节 连续档采用悬垂固定型线夹时电线应力、弧垂的
计算 194

第二节	直线塔上绝缘子串的风偏角及双联悬垂绝缘子串的 受力分配	211
第三节	连续档内避雷线应力的选配	228
第四节	连续档内采用滑轮线夹时电线应力、弧垂的计算 ...	236
第五章	连续档内电线断线张力的计算	261
第一节	每相为单根导线时断线张力的计算	262
第二节	相分裂导线断线张力的计算	276
第六章	架线应力、弧垂的计算与观测方法	281
第一节	补偿电线初伸长时应力、弧垂的计算	281
第二节	连续倾斜档内观测弧垂及线长的调整计算	289
第三节	竣工弧垂与线长的调整	303
第四节	电线弧垂的测量方法和装配架线	307
参考文献		327

第一章 均布荷载下电线弧垂、 应力及线长的计算

第一节 电线弧垂、应力及 线长的悬链线公式

一、悬链线方程和电线弧垂

架空送电线路的电线，由于两悬挂点间的距离很大，电线材料的刚性对电线悬挂于空中的几何形状影响很小，所以可将电线假定为一根处处铰接的柔软链条。根据这一假定得出的结论是：电线仅能承受轴向张力而不能承受弯曲力矩（任一点的弯矩为零）。其次是假定电线上作用的荷载（包括本身自重）均指向同一方向且沿电线长度均匀分布。上述几点为电线架空悬挂后呈“悬链线”状的最基本的假定，由此导出的所有计算式均称为“悬链线公式”。

架空电线上作用的张力大小与电线截面积、材质和承受的荷载等因素有关。为了便于表征和比较电线的受力状况，通常习惯以单位截面上的量值来进行电线力学计算。例如，把单位截面上作用的张力称为应力（ σ ），其单位用 N/mm^2 或 MPa 表示；电线单位长度、单位截面上承受的荷载称为比载（ γ ），其单位用 $\text{N/mm}^2 \cdot \text{m}$ 或 MPa/m 表示。

图1-1中示出A、B两悬挂点间架空悬挂的一档电线。由于沿电线长度 L_{AB} 上均匀分布着比载为 γ 的荷载并具有一定大小的弧垂，则在两悬挂点处必然分别作用有 σ_A 、 σ_B 的轴向应力。根据水平方向（垂直于荷载方向）力的平衡条件，

线上各点应力的水平分量 σ_0 均应相等。在电线最低点O处，由于该点电线轴向对水平方向间的倾斜角 $\theta_0=0^\circ$ ，则该点的轴向应力即为水平应力 σ_0 。此外，根据荷载方向（或称垂向）上受力的平衡条件可知，电线悬挂点应力的垂向分量等于该点到电线最低点O间电线长度与比载之积。

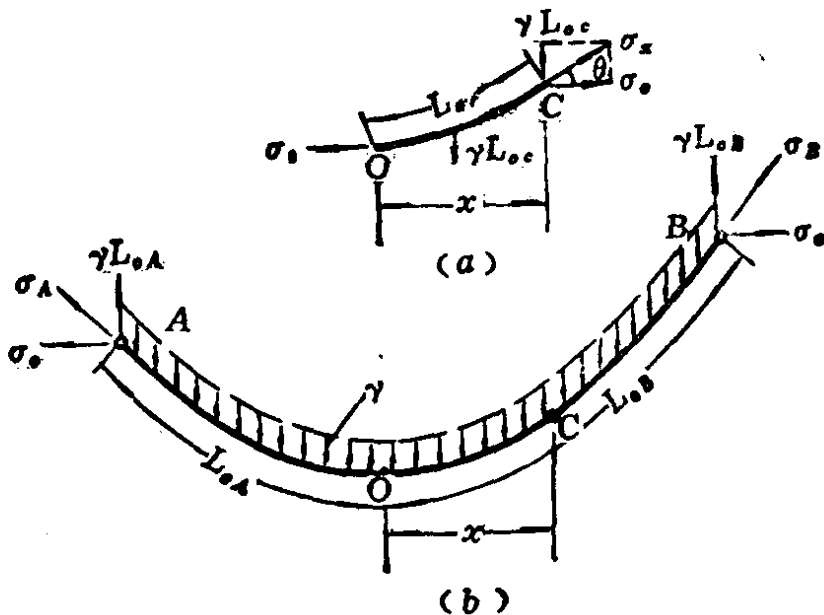


图 1-1 架空电线呈悬链线状的受力图
(a)电线分离体受力图；(b)电线整档受力图

将图1-1 (b) 中一段 L_{oc} 长的电线分离出来 并将其受力情况绘于图1-1 (a) 中。该段电线的垂向荷载为 γL_{oc} 。C点的轴向（电线切线方向）应力为 σ_x ，它与水平方向成 θ 倾角， θ 也称为该点电线的倾斜角。根据OC段电线上诸力的平衡条件可得

$$\begin{aligned}\sigma_x \cos \theta &= \sigma_0 \\ \sigma_x \sin \theta &= \gamma L_{oc}\end{aligned}$$

上面第一式表明：电线任一点应力的水平分量等于电线最低点O的应力 σ_0 ；第二式表明：电线任一点应力的垂向分量（与荷载平行）等于该点到电线最低点间电线单位截面上

作用的荷载 γL_{oc} 。将以上两式相比，求得电线任一点的切线斜率为

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{\gamma}{\sigma_0} L_{oc} \quad (1-1)$$

式(1-1)是“悬链曲线”的微分方程。它表示：当 γ/σ_0 一定时，线上任一点的斜率与该点到电线最低点间之线长成比例。需要注意的是，当两悬挂点间高差很大、弧垂较小时， $\theta=0^\circ$ 的电线最低点可能位于两悬挂点之外，此时的线长 L_{oc} 仍应由 $\theta=0^\circ$ 处的最低点算起，但并非电线的真实线长。

将式(1-1)再对 x 微分得到

$$\begin{aligned} d(\operatorname{tg} \theta) &= \frac{\gamma}{\sigma_0} d(L_{oc}) \\ &= \frac{\gamma}{\sigma_0} \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \\ &= \frac{\gamma}{\sigma_0} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta} \end{aligned}$$

将上式移项后两端进行积分得

$$\begin{aligned} \int \frac{d(\operatorname{tg} \theta)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta}} &= \frac{\gamma}{\sigma_0} \int dx \\ \operatorname{sh}^{-1}(\operatorname{tg} \theta) &= \frac{\gamma}{\sigma_0} (x + C_1) \end{aligned}$$

或写成
$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{sh} \frac{\gamma}{\sigma_0} (x + C_1) \quad (1-2)$$

将式(1-2)分离变量后再对两端积分求得

$$\begin{aligned} \int dy &= \int \operatorname{sh} \frac{\gamma}{\sigma_0} (x + C_1) dx \\ y &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{ch} \frac{\gamma}{\sigma_0} (x + C_1) + C_2 \end{aligned} \quad (1-3)$$

式(1-3)是悬链曲线方程的普遍式。式中的 sh、ch 分别为双曲线正弦、余弦函数的符号，积分常数 C_1 、 C_2 根据所取坐标原点的位置及边界条件而定。当绘制弧垂曲线模板时，通常取坐标原点位于曲线最低点处，Y 轴与荷载方向相平行，即 $x=0$ 时 $\frac{dy}{dx}=0$ ，代入式(1-2)求得 $C_1=0$ ；

由 $x=0$ 、 $y=0$ 及 $C_1=0$ 代入式(1-3)求得 $C_2=-\frac{\sigma_0}{\gamma}$ 。将 C_1 、 C_2 值代入式(1-3)，便可得到坐标原点位于曲线最低点的悬链曲线方程为

$$y = \frac{\sigma_0}{\gamma} \left(\operatorname{ch} \frac{\gamma x}{\sigma_0} - 1 \right) \quad (1-4)$$

当两悬挂点不等高时，为便于分析计算特定档内的电线弧垂、应力，可取坐标原点位于左侧的悬挂点处，如图1-2 中所示。

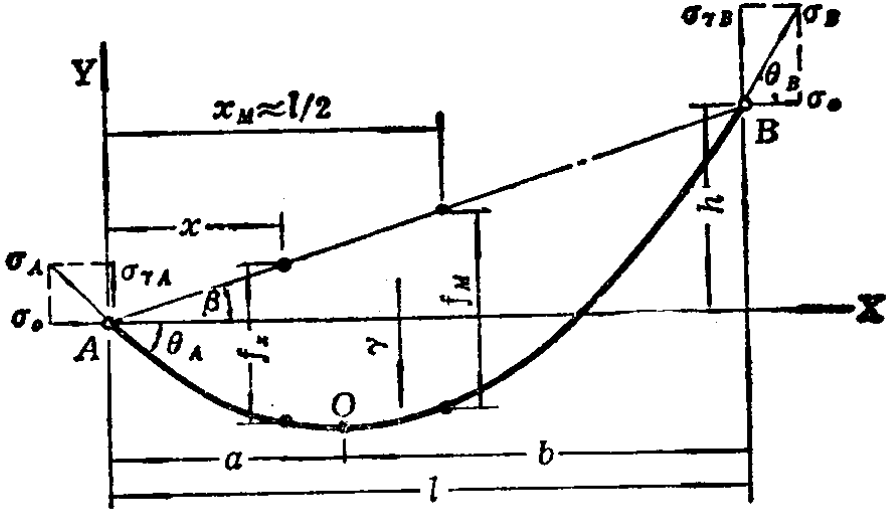


图 1-2 悬挂点不等高时架空电线的形状

根据图1-2中坐标原点的位置可知，当 $x=a$ 时 $\frac{dy}{dx}=0$ ，将它代入式(1-2)得 $C_1=-a$ ；当 $x=0$ 时 $y=0$ ，将它

及 $C_1 = -a$ 代入式 (1-3), 求得 $C_2 = -\frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{ch} \frac{\gamma(-a)}{\sigma_0}$;

当 $x=l$ 时 $y=h$ 。将以上三个边界条件一并代入式 (1-3) 中求得

$$\begin{aligned} h &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \left[\operatorname{ch} \frac{\gamma}{\sigma_0} (l-a) - \operatorname{ch} \frac{\gamma}{\sigma_0} (-a) \right] \\ &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \left[2 \operatorname{sh} \frac{\gamma}{\sigma_0} \left(\frac{l-2a}{2} \right) \operatorname{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \right] \quad (1-5) \end{aligned}$$

由上式解出电线最低点 O 到悬挂点间垂直于荷载方向的投影 a 和 b 为

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{l}{2} - \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh}^{-1} \frac{\gamma h}{2\sigma_0 \operatorname{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0}} = \frac{l}{2} - \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \\ b &= l - a = \frac{l}{2} + \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh}^{-1} \frac{\gamma h}{2\sigma_0 \operatorname{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0}} = \frac{l}{2} \\ &\quad + \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

其中

$$L_{h=0} = \frac{2\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0}$$

式中 l —— 相邻两悬挂点间垂直于荷载方向的投影距离, 称为档距 (m);

h —— 相邻两悬挂点间沿荷载方向的高差 (m), 当右侧悬挂点高于左侧悬挂点时 h 为正值, 反之为负值;

$L_{h=0}$ —— 为两侧悬挂点等高下的档内悬链线线长 (m), 详见以下式 (1-34) 中的证明。

在送电线路上 $L_{h=0}$ 一般仅比档距 l 长千分之几 (档距是

数百米)，工程上计算 a 、 b 值时，为避免双曲线函数的运算，常用上式的近似式。当 $h/l < 1$ 时，取 $\text{sh}^{-1}(h/L_{h=0}) \approx h \cos \beta / l$ ，代入式(1-6)，便可得第二节所述的“斜抛物线”近似式

$$\left. \begin{aligned} a &\approx \frac{l}{2} - \frac{\sigma_0 h}{\gamma l} \cos \beta \\ b &\approx \frac{l}{2} + \frac{\sigma_0 h}{\gamma l} \cos \beta \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式中 β —— 为两悬挂点间的高差角，如图1-2中所示 $\beta = \text{tg}^{-1}(h/l)$ 。

当取 $\text{sh}^{-1}(h/L_{h=0}) \approx h/l$ 时，代入上式(1-6)便可得到第二节所述的“平抛物线”近似式

$$\left. \begin{aligned} a &\approx \frac{l}{2} - \frac{\sigma_0 h}{\gamma l} \\ b &\approx \frac{l}{2} + \frac{\sigma_0 h}{\gamma l} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

上面近似式(1-7)、(1-8)应用于工程中时与悬链线公式(1-6)相比，其误差一般在 $\pm 5\%$ 范围内。

将上述积分常数 $C_1 = -a$ 、 $C_2 = -\frac{\sigma_0}{\gamma} \text{ch} \frac{\gamma(-a)}{\sigma_0}$ 及式(1-6)的 a 值算式一并代入式(1-3)中，便可求得坐标原点位于左侧悬挂点的电线悬链线方程为

$$\begin{aligned} y &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \left[\text{ch} \frac{\gamma}{\sigma_0} (x-a) - \text{ch} \frac{\gamma a}{\sigma_0} \right] \\ &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \left[2 \text{sh} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \text{sh} \frac{\gamma(x-2a)}{2\sigma_0} \right] \\ &= \frac{2\sigma_0}{\gamma} \text{sh} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \left(\text{sh} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \text{ch} \frac{\gamma a}{\sigma_0} - \text{ch} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \text{sh} \frac{\gamma a}{\sigma_0} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2\sigma_0}{\gamma} \text{sh} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \left\{ \text{sh} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \left[\text{ch} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \text{ch} \left(\text{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \right) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \text{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \text{sh} \left(\text{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \right) \right] \right. \\
&\quad \left. - \text{ch} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \left[\text{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \text{ch} \left(\text{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \right) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \text{ch} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \text{sh} \left(\text{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \right) \right] \right\} \\
&= \frac{\sigma_0 h}{\gamma L_{h=0}} \left[\text{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} + \text{sh} \frac{\gamma(2x-l)}{2\sigma_0} \right] \\
&\quad - \left[\frac{2\sigma_0}{\gamma} \text{sh} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \text{sh} \frac{\gamma(l-x)}{2\sigma_0} \right] \sqrt{1 + \left(\frac{h}{L_{h=0}} \right)^2} \\
&\hspace{15em} (1-9)
\end{aligned}$$

电线的弧垂 $f(m)$ ，系指自两悬挂点连线沿荷载方向到电线轴线间的距离。参看图1-2及上式(1-9)可写出电线任一点处的弧垂为

$$\begin{aligned}
f_x &= \frac{h}{l} x - \frac{\sigma_0 h}{\gamma L_{h=0}} \left[\text{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} + \text{sh} \frac{\gamma(2x-l)}{2\sigma_0} \right] \\
&\quad + \left[\frac{2\sigma_0}{\gamma} \text{sh} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \text{sh} \frac{\gamma(l-x)}{2\sigma_0} \right] \sqrt{1 + \left(\frac{h}{L_{h=0}} \right)^2} \\
&\hspace{15em} (1-10)
\end{aligned}$$

当悬挂点等高($h=0$)时，其任一点的弧垂为

$$f_{x(h=0)} = \frac{2\sigma_0}{\gamma} \text{sh} \frac{\gamma x}{2\sigma_0} \text{sh} \frac{\gamma(l-x)}{2\sigma_0} \quad (1-11)$$

将上式(1-10)、(1-11)中的双曲线函数展开成级数，近似取第一项并视 $L_{h=0} \approx l$ ，便可分别近似成斜抛物线弧垂为

$$f_x \approx \frac{\gamma x(l-x)}{2\sigma_0} \sqrt{1 + \left(\frac{h}{l} \right)^2} = \frac{\gamma x(l-x)}{2\sigma_0 \cos \beta} \quad (1-12)$$

$$f_{x(h=0)} \approx \frac{\gamma x(l-x)}{2\sigma_0} \quad (1-13)$$

为求档距中央的弧垂 $f_{l/2}$ ，可令 $x=l/2$ 代入式(1-10)及(1-12)即得精确式与近似式为

$$\begin{aligned} f_{l/2} &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \left(\operatorname{ch} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} - 1 \right) \sqrt{1 + \left(\frac{h}{L_{h=0}} \right)^2} \\ &\approx \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} \sqrt{1 + \left(\frac{h}{l} \right)^2} \end{aligned} \quad (1-14)$$

上式(1-4)中的近似式亦称档距中央的斜抛物线弧垂公式，它与悬链线弧垂公式计算的结果非常接近，且误差随 h/l 的增大而减小。

档内电线的最大弧垂 f_M 是设计、施工中常需计算的数据。由于它是某档距内各点弧垂中的极大值，因此它应位于 $\frac{df}{dx} = 0$ 处。据此将式(1-10)对 x 求导数并令其为零，即可解出最大弧垂点距左侧悬挂点的水平距离 x_M

$$\frac{df}{dx} = \frac{h}{l} - \operatorname{sh} \frac{\gamma}{\sigma_0} (x_M - a) = 0$$

将式(1-6)中的 a 值算式代入上式解得

$$\begin{aligned} x_M &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{l} + a = \frac{l}{2} + \frac{\sigma_0}{\gamma} \left[\operatorname{sh}^{-1} \left(\frac{h}{l} \right) \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{sh}^{-1} \left(\frac{h}{L_{h=0}} \right) \right] \approx \frac{l}{2} \end{aligned} \quad (1-15)$$

由式(1-15)可知 x_M 的精确值不等于档距之半，这表明最大弧垂不位于档距中央，而是稍偏向高悬挂点侧。这是由于高悬挂点侧电线单位水平投影长度上分布着较多的荷重所致。

将式(1-15)的 x_M 算式代入式(1-10)中,求得悬挂点不等高时的最大弧垂算式为

$$\begin{aligned}
 f_M &= \frac{h}{l} \left(\frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{l} + a \right) - \frac{\sigma_0}{\gamma} \left[\operatorname{ch} \left(\operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{l} \right) \right. \\
 &\quad \left. - \operatorname{ch} \frac{\gamma a}{\sigma_0} \right] \\
 &= \frac{h}{l} \left[\frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{l} + \left(\frac{l}{2} - \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \right) \right] \\
 &\quad - \frac{\sigma_0}{\gamma} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{h}{l} \right)^2} - \operatorname{ch} \frac{\gamma a}{\sigma_0} \right) \\
 &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \left[\frac{h}{l} \left(\operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{l} - \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \right) \right. \\
 &\quad \left. - \sqrt{1 + \left(\frac{h}{l} \right)^2} + \frac{\gamma h}{2\sigma_0} + \operatorname{ch} \left(\frac{\gamma l}{2\sigma_0} - \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{L_{h=0}} \right) \right] \\
 &= \frac{\sigma_0}{\gamma} \left[\frac{h}{l} \left(\operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{l} - \operatorname{sh}^{-1} \frac{h}{\frac{2\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0}} \right) \right. \\
 &\quad \left. - \sqrt{1 + \left(\frac{h}{l} \right)^2} + \left(\sqrt{1 + \left(\frac{h}{\frac{2\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh} \frac{\gamma l}{2\sigma_0}} \right)^2} \right) \operatorname{ch} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \right]
 \end{aligned}$$

(1-16)

上式比较繁杂,不便于工程上应用,常采用上式的近似简化式。由于上式中 $L_{h=0}$ 一般仅比 l 长千分之几,故可令上式中的 $L_{h=0} \approx l$,将其简化为

$$\begin{aligned}
 f_M &\approx \frac{\sigma_0}{\gamma} \left(\operatorname{ch} \frac{\gamma l}{2\sigma_0} - 1 \right) \sqrt{1 + \left(\frac{h}{l} \right)^2} \\
 &= \left(\frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} + \frac{\gamma^3 l^4}{384\sigma_0^3} + \dots \right) \sqrt{1 + \left(\frac{h}{l} \right)^2} \\
 &\approx \left(\frac{\gamma l^2}{8\sigma_0} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{h}{l} \right)^2} = \frac{\gamma l^2}{8\sigma_0 \cos \beta} \quad (1-17)
 \end{aligned}$$

将上式与式(1-14)比较可知,档内的最大弧垂 f_M 与档距中央的弧垂 $f_{l/2}$ 近似相等,故工程上常以档距中央的弧垂代替最大弧垂,其误差是很微小的。再者,从上式可知,悬挂点不等高时档距内的最大弧垂比等高时的弧垂增大近 $1/\cos\beta$ 倍,悬挂点间的高差角 β 越大,两弧垂的相差越大,这在应力、弧垂计算中应该加以注意。例如:设某档距 $l=1000\text{m}$ 、档距两端悬挂点间的高差 $h=300\text{m}$ 、电线比载 γ 与水平应力 σ_0 的比值 $\gamma/\sigma_0=6\times 10^{-4}(1/\text{m})$ 。将上面数字代入式(1-16)算得最大弧垂 f_M 的精确值为 78.81m ;代入式(1-14)算得档距中央弧垂 $f_{l/2}$ 的精确值为 78.8m ;代入式(1-14)及式(1-17)的斜抛物线近似式中算得 $f_M\approx f_{l/2}=78.3\text{m}$,它很接近精确值。但此时若不计高差对弧垂的影响(令两悬挂点间的高差 $h=0$),算得等高悬链线的最大弧垂为 75.56m ,平抛物线弧垂为 75m ,显然两者与上述精确值比较误差都很大。因此,当档距与悬点间高差角较大时,不可忽视高差角对弧垂的影响。通常用斜抛物线近似式计算有高差下的弧垂亦足够精确,但无法用它绘制通用弧垂模板曲线,工程上最安全的办法是采用前述式(1-4)的悬链线方程绘制通用弧垂模板曲线排定塔位,用平抛物线或斜抛物线近似公式进行各种弧垂计算。

二、悬链线的电线应力

(一) 电线任一点的应力

架空电线上任一点的应力方向与该点电线轴向相一致,它的水平分量均与电线最低点的应力 σ_0 相等。工程上常以最低点的应力 σ_0 作为已知条件,当已知 σ_0 及电线任一点的轴向倾斜角 θ 时,便可写出该点的应力表达式