

架空输电线路交叉跨越距离检查及计算方法探讨

李盛杰,王琼晶

(国网泸州供电公司,四川 泸州 646000)

摘要:气温的升降引起架空线的热胀冷缩,使弧垂、应力发生相应的变化。采用状态方程式进行在输电线路弧垂计算、判定运行最大弧垂,可使计算结果更为准确,且能计算出不同气象条件下的架空线弧垂,对交叉跨越距离测量有着重要的意义。

关键词:弧垂检查;最大弧垂计算;悬高测量

Abstract: The rise and decrease of temperature cause the thermal expansion and contraction of overhead line, which makes the sag and stress have a corresponding change. Using the equation of state to calculate the sag of the running transmission line and to determine the maximum sag during operation can make the calculation result be more accurate, and can calculate the sag of overhead line under different meteorological conditions, which is of important significance for the crossed crossing distance measurement.

Key words: sag inspection; maximum sag calculation; unsupported distance measurement

中图分类号: TM726.3 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)03-0023-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.03.005

0 引言

线路运行人员测量架空线路与交叉跨越物的距离常用方法是用测距杆测距或使用经纬仪、全站仪进行悬高测量,得出距离后结合运行经验或查看架线弧垂表估算弧垂变化量判定架空线对交叉跨越物的距离是否满足要求。此类方法简单、易操作但却缺乏准确度,且不能计算出架空线在不同气象条件时对跨越物的距离,合理地选择弧垂检查方法和准确地计算线路运行最大弧垂对从事线路运行维护的人员至关重要。结合某供电企业110 kV林赤线的弧垂检查实例对架空线与交叉跨越的距离测量方法进行探讨。

1 案例简介

2010年5月,110 kV林赤线77号塔至78号塔下修建高速公路,施工单位采取人工取土的方式平整场地,无安全隐患。但由于高速公路路面高度将增加3 m,高速公路修好后对地距离可能不满足规程要求,需进行距离测量。110 kV林赤线77号至78号三相导线之中C相导线与高速公路基面的垂

直距离最近,77号至78号处于75至80号这一耐张段之中,两基铁塔均为直线猫头塔。通过查取设计图纸查得77号呼称高为19.5 m,78号呼称高为21 m,绝缘子串长均为1.5 m,两基铁塔导线悬挂点高差为7 m,77至78档距 l 为425 m,代表档距 l_{ab} 为378 m,最高温为 t_2 为40℃,最大覆冰厚度 b 为10 mm,温度 t_3 为-5℃,导线型号为LGJ-185。导线物理参数如表1。

表1 导线物理参数

单位长度质量 $/(kg \cdot m^{-1})$	弹性系数 E /MPa	温膨系数 $\alpha /1 \cdot ^\circ C$	计算截面 A /mm^2			直径 d /mm
			铝	钢	总计	
0.774	78 400	18.8×10^{-6}	182.4	34.4	216.8	19.02

2 弧垂测量

弧垂测量方法有等长法、异长法和档端角度法3种。输电线路弧垂测量应根据实际情况选择合理、适当的方法进行弧垂测量。

1) 等长法(如图1),又称平行四边形法。观测人员在观测档两侧的杆塔上绑上弧垂板,利用三点一线的原理观测弧垂。操作步骤如下:①计算观测档弧垂理论值 f 。②测点工作人员在距架空线悬挂点C垂直距离为理论弧垂值 f 的点B悬挂弧垂板,

另一侧杆塔上的视点观测人员在距架空线悬挂点点D垂直距离为f的点A观测对侧的弧垂板悬挂点点B。视线与架空线相切,则该档的弧垂即为理论弧垂值;视线与架空线交叉,则理论弧垂偏小;视线无架空线,则理论弧垂值偏大。③根据观测情况,同时调整观测人员以及弧垂板与架空线悬挂点的垂直距离并保持大小一致,视线与架空线相切后记录观测人员与架空线悬挂点的垂直距离即为此时的弧垂。采用等长法检查弧垂,架空线悬点高差应小于20%档距,最大弧垂应比杆塔呼称高小2m以上。

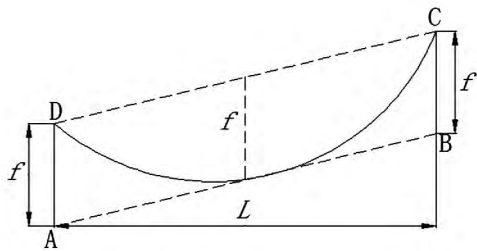


图1 等长法

2) 异长法(如图2),其计算公式为: $f =$

$$\left(\frac{\sqrt{a} + \sqrt{b}}{2}\right)^2 [4]$$

该公式是弧垂观测的经验公式,在输电线路弧垂观测中广泛使用。异长法检查弧垂操作步骤如下:①选择一个a值,测点工作人员登上一侧杆塔在距离导线悬挂点点C垂直距离为a的D点悬挂弧垂板;②视点弧垂观测人员在另一侧的杆塔上看对侧杆塔上的弧垂板悬挂点点B,寻找视线与架空线相切的位置点A,并在视点杆塔测出架空线悬挂点点B的垂直距离b;③根据经验公式算出弧垂f。

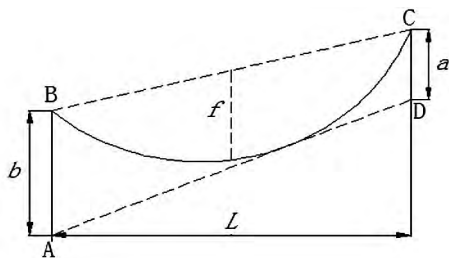


图2 异长法

3) 档端角度法(如图3),是一种适用、易操作的检查弧垂方法,该方法是将仪器支于档距端点进行弧垂观测,观测人员使用全站仪、经纬仪等站在一档线路两侧杆塔的下方观测弧垂,视线与架空线相切便可记录相关数据。

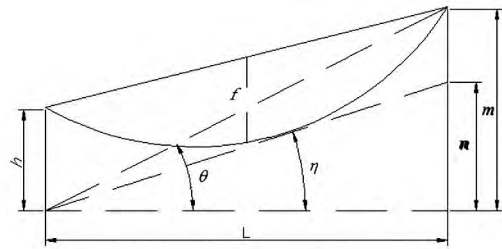


图3 档端角度法

档端角度法的计算公式为

$$f = \left(\frac{\sqrt{h} + \sqrt{\tan\theta L - \tan\eta L}}{2}\right)^2 [3]$$

式中h为观测点与架空线悬挂点的垂直距离;theta为观测点与视点架空线悬挂点的竖直夹角;eta为观测点与架空线弧垂切点的竖直夹角;L为观测档档距。

该方法检查架空线弧垂与异长法进行弧垂观测计算原理相同,档端角度法是一种特殊的异长法,其计算公式与异长法的经验公式相同,推证过程如下。

$$\left. \begin{aligned} n &= \tan\eta L \\ m &= \tan\theta L \end{aligned} \right\} \Rightarrow b = m - n = (\tan\theta L - \tan\eta L) \Rightarrow h = a$$

$$f = \left(\frac{\sqrt{a} + \sqrt{b}}{2}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{h} + \sqrt{\tan\theta L - \tan\eta L}}{2}\right)^2$$

根据110 kV林赤线的实际情况,3种方法都可进行弧垂检查。对比以上3种方法不难发现,等长法和异长法进行弧垂检查都存在以下2个缺点:①观测人员需登上杆塔作业,线路带电时需与带电体保持相应的安全距离,存在一定的安全隐患;②采用目测或借助望远镜观测,视距较小且准确度偏低。而选择角度法进行弧垂检查即可较少工作量,也能提高准确度,故选择档端角度法进行弧垂测量。

观测人员用在77号塔下架镜,用皮尺测得镜高1.5 m,铁塔基础相对地面向上升0.3 m,用经纬仪测得距离高速公路垂直距离最小的C相导线弧垂切点的竖直角eta = 1°2'10",观测点与视点架空线悬挂点的竖直夹角theta = 2°3'50",检测时气温t1为26℃。

$$h = 19.5 - 1.5 + 0.3 - 1.5 = 16.8 \text{ m}$$

$$f_1 = \left(\frac{\sqrt{16.8} + \sqrt{\tan 2^\circ 3' 50'' \times 425 - \tan 1^\circ 2' 10'' \times 425}}{2}\right)^2 = 11.77 \text{ m}$$

3 运行最大弧垂计算

准确地判断架空线对跨越物的距离必须判定最

大弧垂,架空线的最大弧垂只发生在两种气象情况下,即覆冰无风或最高气温。状态方程式是线路设计阶段弧垂计算的公式,在输电线路的弧垂计算采用该公式进行相对其他弧垂换算公式更为准确、可信。判定最大弧垂应先算出当前应力,然后计算出最大弧垂气象条件下的应力(采用状态方程式进行),最后算出最大弧垂。

1) 应力计算。架空线的弧垂 f 与档距 l 、弧垂最低点应力 σ 、高差角 θ 的关系为: $\sigma = \frac{\gamma l^2}{8f \cos\theta}$ [1]。林赤线弧垂检测时导线无覆冰,无风,导线的比载只有自重比载,根据比载计算公式,算得

$$\gamma_1 = \frac{qg}{A} = \frac{0.774 \times 9.8}{216.8} = 34.99 \times 10^{-3} \text{ (MPa/m)} \quad [1]$$

式中 q 为单位长度质量; A 为导线截面积; g 为重力加速度。

$$\text{高差角 } \cos\theta = \frac{l}{\sqrt{l^2 + h_{\Delta}^2}} = \frac{425}{\sqrt{425^2 + 7^2}} \approx 1, \text{ 则此}$$

时弧垂最低点应力为

$$\sigma_1 = \frac{\gamma_1 l^2}{8f_1 \cos\theta} = \frac{34.99 \times 10^{-3} \times 425^2}{8 \times 11.77 \times 1} = 67.12 \text{ MPa}$$

2) 最大弧垂判定。不同气象条件下架空线的各参数存在一定的关系,揭示架空线从一种气象条件下(第 I 状态)改变到另一种气象条件(第 II 状态)下的各个参数之间的关系的方程称为架空线的状态方程式。同一耐张段同一气象条件下,各档导线的比载及弧垂最低点的应力相等,对于连续档,应力换算应选用代表档距 l_{db} 进行计算。

换算应力采用状态方程式进行,计算公式如下。

$$\sigma_2^3 - [\sigma_1 - \frac{E\gamma_1^2 l_{db}^2}{24\sigma_1^2} - \alpha E(t_2 - t_1)] \sigma_2^2 - \frac{E\gamma_2^2 l_{db}^2}{24} = 0 \quad [1]$$

$$\text{若令 } A = \sigma_1 - \frac{E\gamma_1^2 l_{db}^2}{24\sigma_1^2} - \alpha E(t_2 - t_1), B = \frac{E\gamma_2^2 l_{db}^2}{24},$$

$$\text{则 } \sigma_2^3 - A\sigma_2^2 - B = 0.$$

式中 σ_1 为第 I 状态架空线弧垂最低的应力; γ_1 为第 I 状态架空线比载; t_1 为第 I 状态时的温度; α 为温度线膨胀系数; E 为架空线的弹性模量; l_{db} 为代表档距; σ_2 为第 II 状态架空线的应力; γ_2 为第 II 状态的导线比载; t_2 为第 II 状态时的温度。

利用状态方程式,可计算出林赤线 77 号至 78 号导线在各种气象条件下的应力。计算导线运行

最大弧垂有两种方法:一种方法是分别计算出导线在最高气温和覆冰无风时的应力后,根据应力、比载、档距计算出两种气象条件下的弧垂,较大的即为最大弧垂;另一种是计算出一种气象条件下的应力后采用临界气温法,判定最大弧垂发生的气象条件,从而计算出最大弧垂。林赤线 77 号至 78 号所处地区的最高气温为 40 °C,根据状态方程式,带入数据计算最高气温时的导线应力。

$$A = 67.12 - \frac{78400 \times (34.99 \times 10^{-3})^2 378^2}{24 \times 67.12^2}$$

$$= 67.12 - \frac{78400 \times 18.8 \times 10^{-6} \times (40 - 26)}{24 \times 67.12^2}$$

$$= -80.35$$

$$B = \frac{78400 \times (34.99 \times 10^{-3})^2 378^2}{24} = 571447$$

$$\text{则 } \sigma_2^3 + 80.35\sigma_2^2 - 571447 = 0 \Rightarrow \sigma_2 = 63.113 \text{ MPa}$$

采用临界气温法判定林赤线的最大弧垂发生的气象条件,林赤线 77 号至 78 号段覆冰无风的气象参数为覆冰厚度 10 mm,气温 -5 °C,冰重比载为

$$\gamma_3 = 27.728 \frac{b(b+d)}{A} \times 10^{-3}$$

$$= 27.728 \times \frac{10 \times (19.02 + 10)}{216.8} \times 10^{-3}$$

$$= 37.12 \times 10^{-3} \text{ MPa/m}$$

式中 b 为冰厚; d 为导线直径; A 为导线总截面积。

$$\text{覆冰综合比载 } \gamma_4 = \gamma_1 + \gamma_3 = 34.99 \times 10^{-3} + 37.12 \times 10^{-3} = 72.11 \times 10^{-3} \text{ MPa/m}$$

$$\text{临界气温 } t_j = t_b + (1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_4}) \frac{\sigma_b}{\alpha E} = -5 +$$

$$(1 - \frac{34.99 \times 10^{-3}}{72.11 \times 10^{-3}}) \times \frac{63.113}{18.8 \times 10^{-6} \times 78400} = 21 \text{ °C}$$

式中 t_j 为临界气温; t_b 为覆冰时的温度; α 为温胀系数; E 为弹性模量。

因为 $t_j < t_{\max} = 40 \text{ °C}$,所以最大弧垂发生在最高气温气象条件下。

3) 运行最大弧垂值

$$f_{\max} = \frac{\gamma_1 l^2}{8\sigma \cos\theta} = \frac{34.99 \times 10^{-3} \times 425^2}{8 \times 63.113 \times 1} = 12.52 \text{ m} \quad [1]$$

4 任意点弧垂变化量计算

由前面的计算可知 110 kV 林赤线 77 号至 78

号弧垂变化量为

$$\Delta f = f_{\max} - f = 12.52 - 11.77 = 0.75 \text{ m}$$

任意点弧垂的计算公式为

$$f_r = f \times \frac{4x}{l} \times (1 - \frac{x}{l}) \quad [2]$$

式中 f_r 为任意点弧垂; x 为架空线上任意点至一侧杆塔的水平距离。

测量人员使用全站仪测出跨越点与林赤线 77 号塔的水平距离为 198 m, 带入数据算得跨越点的弧垂变化量为

$$\Delta f_r = \Delta f \times \frac{4x}{l} \times (1 - \frac{x}{l}) = 0.75 \times \frac{4 \times 198}{425} \times (1 - \frac{198}{425}) = 0.746 \text{ m}$$

5 悬高测量检测架空线对跨越物的垂直距离

全站仪和经纬仪是最为常用的测距仪器, 全站仪通过发射红外线光测出观测点与棱镜之间的距离并通过夹角测量可计算出架空线以及被跨越物对地的距离, 从而计算出两者之间的垂直距离。经纬仪自身不具备距离测量的功能, 但可准确地测出角度, 借助标杆辅助可测出距离, 经纬仪测量示意图如图 4。

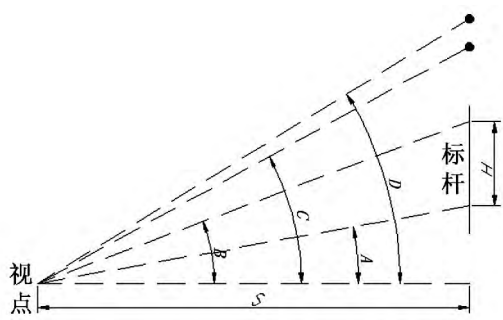


图 4 经纬仪测量示意图

采用经纬仪检查时在视点架设经纬仪, 另一工作人员在架空线在跨越物的跨越点下方竖直放置一根有刻度的标杆, 视点检查人员测出视点与标杆上已知刻度点的夹角 A 和 B 后根据以下公式计算出标杆树立点与视点的水平距离为

$$S = \frac{H}{(\tan B - \tan A)}$$

式中 S 为视点架空线与跨越物下方的水平距离; H 为标杆视点高度。

架空线对交叉跨越物的计算公式为

$$h_1 = S(\tan D - \tan C)$$

式中 h_1 为架空线对跨越物的距离; S 为视点架空线与跨越物下方的水平距离。

110 kV 林赤线测量采用全站仪进行测量, 由于全站仪自带计算程序, 不需计算可直接测出导线对高速公路的垂直距离为 13.5 m。考虑高速公路基面还将上升 3 m, 以及导线弧垂将下降 0.746 m, 高速公路修好后对导线最近的距离应为 9.754 m, 查取运行规程可知满足要求。

6 结 语

随着电力工业的发展, 架空输电线路对弧垂的要求越来越高, 选择合理的弧垂检查方法、准确地计算线路弧垂对线路运行人员愈发重要。在输电线路的弧垂检查若进行登杆塔作业存在一定的安全隐患, 而采用全站仪、经纬仪进行检查既可保证安全, 也能提高检查精度。利用状态方程式进行弧垂推算, 能有效地提高弧垂计算的准确度, 为判定架空线路对跨越物的距离是否合格提供准确、可靠的依据。

参考文献

- [1] 孟遂民, 孔伟. 架空输电线路设计 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [2] 李光辉. 架空输电线路施工 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [3] 杨立华. 架空送电线路弛度测量的探讨 [J]. 电力勘测设计, 1995(1): 33-38.
- [4] 许海涛. 架空线弧垂优选检查方法 [J]. 湖北电力, 2010, 34(6): 18-19.
- [5] 张铁磊, 齐镇. 送电线路紧线施工中弧垂观测与调整方法的讨论 [J]. 中小企业管理与科技, 2011(3): 276-276.
- [6] 郑雄俊. 档内角度法检查弧垂和临档弧垂推算法检查弧垂 [J]. 中国电力教育, 2010(A01): 72-73.

作者简介:

李盛杰(1984), 工程师, 从事输电线路运行、检修管理工作 7 年。

(收稿日期: 2015-01-20)