

## 1000 kV 特高压变电站软母线施工放线下料长度计算的探讨

张斌, 张军, 李黎, 刘华, 张新旺

(河南送变电建设公司, 河南 郑州 450051)

**摘要:** 在 1000 kV 特高压变电站中, 软母线采用的绝缘子串片数、重量比以前增加很多, 绝缘子串长度较长, 绝缘子串对导线弧垂的影响非常大, 导线下料长度的计算属于短档距长绝缘子串问题。对这一问题进行了初步探讨, 建立了计算的数学模型, 并把计算模型应用到工程实践中, 指导特高压变电站软母线施工导线下料长度的计算, 工程实践证明这种方法是基本可行的, 从而也为交流特高压工程软母线施工导线下料长度计算提供了有益的经验。

**关键词:** 特高压变电站; 母线; 悬链线; 抛物线; 放线下料

### Discussion on the calculation of conductor fitting length in the busbar construction of 1000 kV UHV transformer substation

ZHANG Bin, ZHANG Jun, LI Li, LIU Hua, ZHANG Xin-wang

(Henan Electric Power Transmission and Transformation Construction Corporation, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In the 1000kV UHV transformation substation, the number and weight of insulator string is increased more and its length is longer. The busbar sag is effected more by the insulator string. The conductor fitting length is belonged to the problem of long insulator string and short distance. The problem is discussed in this paper. The model is established and applied in the project practice to direct the calculation of the conductor fitting length. The feasibility is tested by the practical application, which provides a good experience for the calculation of conductor fitting length in the busbar of UHV transformer substation.

**Key words:** UHV transformer substation; busbar; catenary; parabola; fitting length

中图分类号: TM751

文献标识码: B

文章编号: 1674-3415(2008)18-0081-03

## 0 引言

在变电站的各种设备中, 母线是必不可少的。常规变电站的母线不外乎硬母线和软母线两大类, 软母线具有投资低、运行维护简易的特点而得到广泛使用。软母线的安装质量直接影响到整个变电站的外观质量和运行安全。在软母线施工过程中, 由于采用了组合式架线工艺, 因此软母线下料长度的计算是施工的关键环节。

在常规 500 kV 变电站中, 由于导线长度远大于绝缘子串的长度, 所以软母线施工导线下料长度的计算属于大档距问题, 可以直接套用悬链线方程式计算导线的下料长度。目前, 国内西北 750 kV 送变电工程的建设, 由于在软母线施工方面仍采用双导线, 在导线下料长度计算上与目前的 500 kV 软母线施工没有太大的区别, 国外的 1000 kV 变电站由于采用 GIS 设备, 所以并没有软母线, 不涉及软母线下料长度的计算。

1000 kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验

示范工程包括三站两线, 起于山西省长治市晋东南变电站, 经河南省南阳市南阳开关站, 止于湖北省荆门市荆门变电站, 三个站 1000 kV 母线都采用软母线, 导线选用四分裂耐热铝合金扩径导线 4\*JLN58K-1600, 软母线采用的绝缘子串片数、重量比以前增加很多, 绝缘子串长度较长, 绝缘子串对导线弧垂的影响非常大, 导线下料长度的计算属于短档距长绝缘子串问题。本文对这一问题进行了初步探讨, 通过 1000 kV 南阳开关站的工程实践, 证明了本文的这种导线下料计算方法是基本可行的, 同时也是为了和同行交流, 共同建设好特高压交流试验示范工程。

## 1 特高压变电站软母线的特点

与传统 500 kV 变电站软母线比起来, 1000 kV 特高压变电站软母线的特点可总结为“高、大、重”, 即:

(1) 母线挂点高, 跨距大, 高跨线高度达到 55 m, 最大跨距达 60 m, 母线高度在 40 m 左右。

(2) 导线截面大, 重量重, 选用四分裂耐热铝合金扩径导线 4\*JLN58K-1600, 导线截面达到 1600 mm<sup>2</sup>, 每米导线 4.47 kg。

(3) 绝缘子串和金具重量大, 单片绝缘子重量 12 kg, 单侧绝缘子串和金具长度约为 13 m, 重量约为 2.1 吨。

## 2 软母线下料长度计算方法

特高压变电站软母线为四分裂耐热扩径铝合金导线, 导线分为上下两层, 上下两层金具和绝缘子串的长度不同, 因此上下两层导线的下料长度是不一样的, 上下两层导线的下料长度要分别进行计算。1000 kV 软母线示意图如图 1 所示。

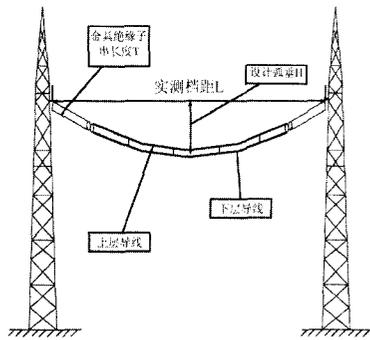


图 1 特高压变电站母线示意图

Fig.1 UHV transformer substation busbar

### 2.1 梯形模型计算法

1000 kV 交流特高压工程采用的绝缘子串片数多, 为 58~68 片, 单侧绝缘子和金具串重量比以前增加很多, 达到 2 吨多。在整个软母线中, 导线重量 (约 0.5 吨) 相比绝缘子和金具串重量轻的多, 整个软母线的重量集中在两侧绝缘子串和金具上, 导线被拉得比较平直, 绝缘子和金具串也比较平直。

基于以上因素, 我们在实际工程计算中, 可把软母线近似等效为梯形模型, 如图 2 所示。

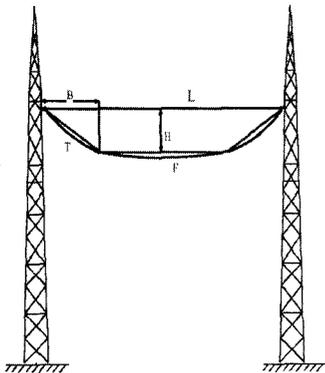


图 2 软母线计算梯形模型

Fig.2 Trapezoid model for busbar calculation

图 2 虚线梯形为 1000 kV 软母线的近似表示, 由直角三角形勾股定理可得:

$$B^2 = T^2 - H^2 \quad (1)$$

则导线下料长度  $F$  为:

$$F = L - 2B \quad (2)$$

### 2.2 组合模型计算法

1000 kV 特高压变电站绝缘子和金具串长度较大, 达到了 13 m, 由前文 2.1 节知绝缘子和金具串的重量较以前大很多。因此, 绝缘子串对整个弧垂的影响就不能不考虑, 特别是档距较小时, 影响就更明显, 因此在下料计算时应考虑绝缘子串的影响。

针对 1000 kV 特高压变电站短档距、绝缘子串长重量大的特点, 我们将软母线总体的空间曲线分成三部分, 即两端绝缘子串的悬链线部分以及中间导线的平抛物线部分, 其模型如图 3 所示, 我们把这种模型称为“组合模型”, 可通过对三部分曲线长度分别计算得到导线的下料长度。

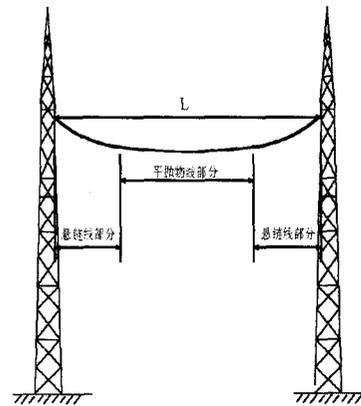


图 3 软母线计算组合模型

Fig.3 Mixed model for busbar calculation

根据上述理论, 国网交流工程建设有限公司组织施工单位、科研院所开发了计算软件, 只要输入实测档距、金具绝缘子串长度、金具串重量、导线弧垂、单位长度导线重量、间隔棒距离等参数便可计算出导线下料。

## 3 实际应用比较

2008 年 3 月 7 日, 我公司对 1000 kV 南阳开关站荆门间隔北侧 55 m 高跨线 A 相进行了成功首吊。在导线下料过程中, 为了探索切实可行的 1000 kV 软母线下料计算方法, 为后期大规模母线吊装做准备, 我们采用了以往常用的悬链线模型、抛物线模型以及本文讨论的梯形模型和组合模型分别进行导线下料长度的计算, 并对计算结果进行比较, 以找

出切实可行的导线下料长度计算方法,保证母线施工的质量。

荆门间隔北侧跨线在下料计算时的具体参数为:实测档距  $L=57.58$  m;设计弧垂  $H=5.91$  m;绝缘子和金具串测量长度为: $T$ (上层) $=13.42$  m, $T$ (下层) $=13.77$  m;每米导线实测质量为  $4.47$  kg;间隔棒质量为  $7.3$  kg/个;间隔棒距离为  $10$  m;金具和绝缘子串质量为  $2012.6$  kg/串。

我们运用悬链线模型、抛物线模型、梯形模型、组合模型方法分别进行了导线下料长度的计算,其结果如表 1 所示。

表 1 导线下料结果对比(上层/下层)

Tab.1 Comparison of the result(top/level)

序号	计算方法	导线下料长度/m
1	悬链线模型	32.443
		31.745
2	抛物线模型	32.313
		31.613
3	梯形模型	33.482
		32.705
4	组合模型	32.804
		32.103

在具体挂线施工中,我们首先采用组合模型进行导线下料长度的计算,并且进行了试挂,经测量弧垂发现,实测弧垂为  $5.58$  m,比设计弧垂的下限稍小,但差值并不是很大,设计弧垂的误差范围为  $(-2.5\% \sim 5\%)$ ,即:实测弧垂应在  $(5.76, 6.20)$  之间。由表 1 知,悬链线模型和抛物线模型的导线下料计算结果均小于组合模型的计算方法,差值在  $400$  mm,所以挂线后其弧垂肯定小得更多,不能满足设计弧垂要求,这说明悬链线模型和抛物线模型这些应用于常规  $500$  kV 软母线导线下料长度的计算方法不能适应于  $1000$  kV 软母线导线下料长度的计算。

为了使试挂跨线弧垂满足设计要求,我们对试挂跨线进行了一定的调整,在挂线南侧加装了 2 个  $50$  吨的 U 型挂环,每个 U 型挂环长度大概  $100$  mm,我们对弧垂再次进行了测量,实测弧垂为  $5.86$  m,弧垂满足设计要求。随后在其他跨线的安装中,为了保证一次安装成功,避免返工浪费,提高安装质量,我们用组合模型进行导线下料长度的计算,并在此基础上增加  $200$  mm 长度进行修正,然后进行实际下料,经实测得到的弧垂均满足设计要求。

为了验证上述方法的可行性,我们把安装后的跨线两端的花栏螺丝各收紧  $100$  mm,相当于只按

照组合模型进行计算而不进行修正进行导线下料长度的计算,发现实测弧垂确实小于设计弧垂的下限。

通过以上的分析可知,用组合模型进行  $1000$  kV 软母线导线下料长度计算后经过简单修正基本可指导  $1000$  kV 软母线下料的长度,这是因为组合模型考虑了  $1000$  kV 软母线绝缘子串长、重量大的特点。悬链线模型和抛物线模型并没有考虑到上述特点,下料计算结果偏小,不能应用于  $1000$  kV 软母线下料长度计算。梯形模型虽然对  $1000$  kV 软母线的特点有一定的考虑,但因为只是近似计算,所以也不能很好应用于  $1000$  kV 软母线的下料计算中。

## 4 结论

本文对  $1000$  kV 特高压变电站软母线导线下料的计算方法进行了探讨,并通过  $1000$  kV 南阳开关站的工程实践对各种计算方法进行了对比,主要结论如下:

1)  $1000$  kV 软母线绝缘子串长、重量大,绝缘子串对导线弧垂的影响比较大。组合模型由于考虑了绝缘子串对整个弧垂的影响,所得的结果经过一定的修正后可用于指导  $1000$  kV 软母线施工导线下料的长度的计算,基本可满足工程需要。

2) 悬链线模型、抛物线模型这些计算方法,在应用到  $1000$  kV 软母线下料长度计算时,由于没有考虑到上述因素的影响,所以计算误差较大,在下料计算时不能应用到  $1000$  kV 软母线的下料计算中。

3)  $1000$  kV 软母线选用四分裂耐热铝合金扩径导线  $4*JLN58K-1600$ ,导线上下两层的下料长度不同,所以上下两层的下料长度必须分别计算,这与常规  $500$  kV 双分裂导线是不同的。

## 参考文献

- [1] 东北电力设计院. 电力工程高压送电线路设计手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.
- [2] 郑丽凤, 周新年, 胡永生. 悬链线理论及其应用研究—VI. 单跨索道多负荷重悬链线算法数学模型[J]. 福建林学院学报, 2002.  
ZHENG Li-feng, ZHOU Xin-nian, HU Yong-sheng. The Design Theories and Engineering Application on the Catenary Method-VI. Mathematics Models of Single Span Cableway under[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2002.
- [3] 郭志星. 悬链线方程数值解法及在 ADSS 光缆设计中的应用[J]. 电力系统通信, 2002,(11).

(下转第 98 页 continued on page 98)

