

· 专家论坛 ·

特高压输电线路直线塔纵向不平衡张力取值的探讨

廖宗高¹, 陈海波², 肖立群¹, 赵 峰¹, 何 江¹

(1. 华东电力设计院, 上海市, 200063; 2. 国电电力建设研究所, 北京市, 100055)

[摘要] 1 000 kV 交流特高压及 ± 800 kV 直流特高压输电线路在相分裂导线根数、绝缘子串长等方面与我国已建的 500 kV 交、直流超高压输电线路有较多的差别, 这些变化将有利于减小直线杆塔纵向不平衡张力, 降低杆塔重量。但过小的纵向不平衡张力会削弱杆塔的纵向刚度, 对防止串倒很不利。文章针对特高压输电线路的特点, 对直线杆塔纵向不平衡张力合理取值进行了探讨。

[关键词] 特高压 直线杆塔 不平衡张力 取值

中图分类号: TM753 文献标识码: A 文章编号: 1000-7229(2006)02-0001-03

Investigation into Longitudinal Unbalanced Tension Value
of EHV Transmission Suspension TowersLiao Zonggao¹, Chen Haibo², Xiao Liqun¹, Zhao Zheng¹, He Jiang¹

(1. East China Electric Power Design Institute, Shanghai City, 200063; 2. SG Electric Power Construction Research Institute, Beijing City, 100055)

[Abstract] The EHV AC 1 000 kV and DC ± 800 kV transmission lines have many differences in numbers of phase bundle conductor, length of insulator strings from the existing 500 kV AC and DC transmission lines in China. These differences will be favorable to reduce the longitudinal unbalanced tension and weight of the suspension towers and poles, while the too small longitudinal unbalanced tension will weaken the longitudinal stiffness of the towers and poles, which is unfavorable to the cascade of towers. Pointing to the characters of the EHV transmission lines the paper discusses about rational values of the longitudinal unbalanced tensions for the suspension towers and poles.

[Keywords] EHV; suspension tower; unbalanced tension; valuing

1 杆塔纵向不平衡张力的取值规定

DL/T 5092—1999《110~500 kV 架空送电线路设计技术规程》。(以下简称《规程》)规定:对于两分裂导线的纵向不平衡张力,平地及山地线路应分别取 1 根导线最大使用张力的 40% 及 50%;对于两分裂以上导线的纵向不平衡张力,平地、丘陵及山地线路应分别取不小于 1 相导线最大使用张力的 15%、20% 及 25%,且均不应小于 20 kN。

2 杆塔纵向不平衡张力取值规定的由来

过去有些设计院根据不同档距和高差组合的耐张段覆冰的不均匀状态,计算杆塔承受的不平衡张力,其计算值往往偏小。1978 年锦州会议议定:对覆冰 10 mm 及以下地区的线路铁塔,按档距和高差大小分成平地 and 山区 2 类,分别取不平衡张力为每

相导线最大张力之 12% 和 15%。1980 年“吸取陡薊通线路事故教训,复查杆塔设计会议”认为:纵向设计荷重分别取 1 相导线最大使用张力的 15%、20% 和 25% 用于平地、丘陵和山区,杆塔纵向强度是足够的。因此,以后的设计一直沿用这 3 个数据。对于直线型多回路杆塔,考虑到结构本身的重要性和各方面的意见,《规程》规定要考虑任意 2 相导线同时存在不平衡张力。

3 纵向不平衡张力对杆塔构件的影响

以往杆塔计算结果表明,纵向不平衡张力主要控制杆塔塔身侧面斜材和塔身横隔面的部分杆件。直线塔主要承受塔身和导线风荷载。塔身正面斜材(受导线风荷载)与塔身侧面斜材之比为 1:0.25。因此,塔身正面和侧面斜材的受力相差很大,为了降低铁塔重量,设计人员有时将直线塔设计成矩形塔。如果不考虑一定的纵向不平衡张力,就会

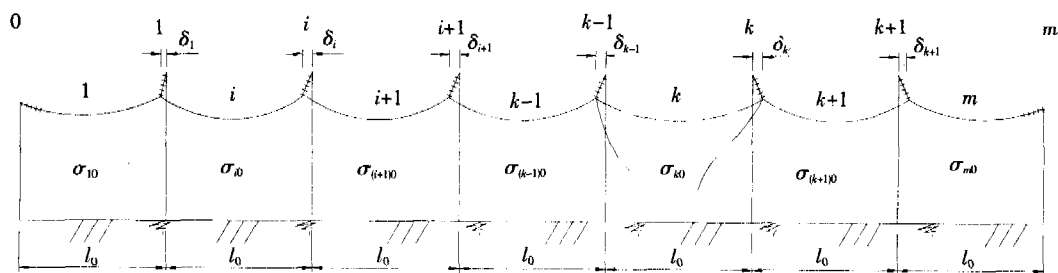


图 1 分裂导线连续档的断线示意图

导致塔身侧面刚度太低,当发生导线断线、复冰等纵向不平衡张力时,铁塔侧面斜材因承受不了纵向不平衡荷载而倒塔。更为严重的是,当某基塔倒塔时,会发生多米诺骨牌效应而形成串倒,造成严重的损失。

目前 500 kV 输电线路,塔身尺寸相对特高压线路要小,按《规程》设计并已成为 500 kV 输电线路 5 万 km,有 30 多年的运行经验,在发生倒塔事故时,很少有发生串倒的现象。表明《规程》在纵向张力的取值上是合理的,一定程度上抑制了倒塔事故的发生。

4 国外特高压输电线路杆塔纵向不平衡张力的取值情况

在不平衡张力方面,前苏联认为^[1],随着每相导线根数的增多,1 相导线同时断线的概率变得越来越小。在计算采用分裂导线 500 kV 架空线路直线杆塔时,规定了作用于 1 相支持点上的荷载等于 0.15 T (T 为导线的最大使用张力),但不小于 18 kN。对 750 kV 架空线路的拉线直线杆塔,规定事故状态荷载值为 25.5 kN,对自立杆塔为 0.15 T,但当自立式直线杆塔中相用耐张串固定时为 0.3 T。对单一避雷线,规定事故状态荷载为 0.5 T (同其他电压较低线路一样);对两分裂避雷线,事故状态荷载限制在 19.62 kN。

对 1 150 kV 线路采用的分裂导线根数不少于 8 根,断 1 相导线的概率比 750 kV 线路还要小。因此事故状态 1 相导线荷载采用 29.43 kN,仅比 750 kV 线路大一点。避雷线额定荷载为 0.5 T,当为分裂避雷线时再乘以降低系数 0.8。对 500, 750 和 1 150 kV 架空线路,当分裂导线断 1 根子导线时,其产生的张力差不会超过规定的荷载。

5 特高压输电线路不平衡张力的计算

5.1 断线时的纵向不平衡张力计算

特高压输电线路 1 相分裂导线的根数,初步确

定为 8 根。从国内外的资料来看,4 分裂及以上输电线路整相断线的记录还没有,而导线断股事故常有发生。

下面针对我国 1 000 kV 交流特高压输电线路拟采用的导线、代表档距等来计算多分裂导线断线所产生的不平衡张力。

导线为 8 × LGJ - 500/45 (分裂数 $n = 8$); 导线单位重量 $p = 16.55 \text{ N/m}$; 导线截面积 $A = 531.68 \text{ mm}^2$; 弹性模量 $E = 65 \text{ kN/mm}^2$; 代表档距 $l_0 = 450 \text{ m}$; 断线前每根子导线水平张力 $T_0 = 29.65 \text{ kN}$; 每根子导线最大使用张力 $T_p = 48.68 \text{ kN}$; 悬垂绝缘子串长 $\lambda = 10 \text{ m}$; 悬垂绝缘子串垂直荷重 $G = 17.95 \text{ kN}$ 。

设耐张段内有连续 m 档,第 k 档 1 相导线内折断 1 根或数根后剩余的根数为 n_k ,各档档距相等为 l_0 ,且悬挂点等高,断线后第 i 档每根导线的张力为 T_{i0} 。如图 1 所示,断线后断线档的档距及剩余 n_k 根导线张力均要增加,其他档的档距及张力均减小。断线后第 i 档档距增长量 Δl_i 与每根导线水平张力的变化关系式可表示为^[2]:

$$\Delta l_i \approx \frac{l_0}{1 + \frac{p^2 l_0^2}{8 T_0^2}} \times \left[\frac{p^2 l_0^2}{24} \left(\frac{1}{T_0^2} - \frac{1}{T_{i0}^2} \right) + \left(\frac{T_{i0} - T_0}{AE} \right) \right] \quad (1)$$

与断线档不相邻的第 i 基直线塔,悬挂点偏距 δ_i (向大号侧偏移为正值) 与两侧每根导线的张力差间的关系式为:

$$\begin{aligned} \delta_i &= \Delta l_1 + \Delta l_2 + \cdots + \Delta l_i \\ &= \frac{\lambda (T_{(i+1)0} - T_{i0})}{\sqrt{(pl_0 + \frac{G}{2n})^2 + (T_{(i+1)0} - T_{i0})^2}} \quad (2) \end{aligned}$$

断线档 k 两端直线杆塔悬挂点偏距 δ_{k-1} 、 δ_k 与两侧每根导线张力间的关系为:

$$\begin{aligned} \delta_{k-1} &= \Delta l_1 + \Delta l_2 + \cdots + \Delta l_{k-1} \\ &= \frac{\lambda (\frac{n_k}{n} T_{k0} - T_{(k-1)0})}{\sqrt{(pl_0 + \frac{G}{2n})^2 + (\frac{n_k}{n} T_{k0} - T_{(k-1)0})^2}} \quad (3) \end{aligned}$$

$$\delta_k = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \cdots + \Delta l_k$$

$$= \frac{\lambda (T_{(k+1)0} - \frac{n_k}{n} T_{k0})}{\sqrt{(\rho l_0 + \frac{G}{2n})^2 + (T_{(k+1)0} - \frac{n_k}{n} T_{k0})^2}} \quad (4)$$

求解断线后各档张力的边界条件是档距变化量的总和为零,即:

$$\sum_{i=1}^m \Delta l_i = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \cdots + \Delta l_m = 0 \quad (5)$$

断线张力,即靠断线档的直线杆塔的最大断线总张力差 $\sum \Delta T_{(k-1)0}$:

$$\sum \Delta T_{(k-1)0} = n T_{(k-1)0} - n_k T_{k0} \quad (6)$$

按(1)~(6)式编程计算的结果,如表1所示。

表1 8分裂导线断线张力

断线根数	断线张力/N	断线悬挂点偏距/m	断线张力系数/%
1	1 057	0.154	0.3
2	1 921	0.293	0.5
4	3 993	0.584	1.0

表1是1 000 kV线路8分裂导线断1根和数根时的断线张力计算结果,其中断线张力系数是指断线张力与1相导线最大使用张力的比值。从表1可知,相分裂导线随断线根数的增加,断线档的导线张力增加,但断线点的总张力差很小,与1相导线最大使用张力相比可忽略不计。

表2 8分裂整相断线张力随断线剩余档数的变化

剩余档数	断线张力/N	断线张力系数/%
1	84 894	21.8
2	102 683	26.4
3	109 596	28.1
5	114 904	29.5
8	116 149	29.8

表2、表3是假设8分裂导线整相断线产生的不平衡张力。从表中可知,在这种极限状态下,8分裂导线断线张力是一相导线最大使用张力的15%~40%,并且断线张力随代表档距的增加而增加,随断线后耐张段内剩余档数的增加而增加,但这种小概率事件在直线塔设计时是不考虑的。

从表4可以看出,随着绝缘子串长的增长,断线张力减少。

表3 8分裂整相断线张力随代表档距变化的情况

代表档距/m	断线张力/N	断线张力系数/%
250	57 736	14.8
350	87 586	22.5
550	96 021	24.7
650	112 134	28.8
750	127 250	32.7
850	143 592	36.9

表4 8分裂导线断线张力随绝缘子串长的变化
(断4根子导线)

绝缘子串长/m	断线张力/N	断线张力系数/%
4	9 096	2.3
5	7 587	1.9
8	5 073	1.3
12	3 343	0.9

5.2 不均匀复冰条件下的不平衡张力计算

按《电力工程高压送电线路设计手册》^[3]复冰不均匀条件下的最大不平衡张力计算曲线,对特高压线路进行计算。计算条件:导线为8×LGJ-500/45,串长为12 m,一侧复冰10 mm,另一侧无冰,耐张段内各档档距相同,不同档距下的最大不平衡张力计算结果见表5。

从表5可以看出,在10 mm复冰条件下,由于特高压线路绝缘子串很长,绝缘子串偏移的作用很大,将不均匀复冰条件下的不平衡张力大为减少。

表5 复冰不均匀条件下的最大不平衡张力

计算档距/m	1根子导线的 不平衡张力/N	不平衡张力与最大 使用张力比值/%
450	2 155	4.43
500	2 400	4.94
600	3 960	8.15

6 不平衡张力对特高压杆塔的影响

特高压输电线路杆塔明显要比500 kV输电线路杆塔大,为了说明纵向不平衡张力对杆塔重量的影响程度,分别对特高压交流单回路、双回路塔及直流塔进行了取不同纵向不平衡张力的计算,其结果见表6、7、8。

(下转第17页)

3.4 刷孔壁泥皮

在冲击钻冲头上安装特制钢丝网,在清孔换浆前上下移动清刷桩孔内壁,刷去桩内壁土层上的过厚泥皮,直至钢丝网上不带泥层为止,使泥皮厚度小于 8 mm(正常泥皮厚度 1~5 mm)。

4 结束语

对较长的摩擦桩,采用冲(钻)孔灌注桩时,只要施工单位对该问题有所认识,并采取有效的施工措施,特别是有效控制泥皮厚度的措施,是完全可以确保桩的承载力达到设计要求的^[2]。但从全国出现多起泥皮过厚而桩承载仅达设计值一半的实例,这应引起施工及设计单位的注意。从本工程的实践有以下建议:

不应选择低标价的单位而应选择合理标价而且具有施工经验的施工队。施工监理应熟悉桩基施工工艺才能有效监理。在桩基施工的成孔机械上应选用效益更高、更有质量保证的成孔桩机,在本工程的主厂房施工中,另选用了旋挖钻机,由于旋挖钻机可加

设钢护筒,防止砂层塌孔,每桩成孔时间仅 5~8 h,孔壁受水浸泡时间大大缩短,且沉渣少,孔壁泥皮薄,使桩侧摩阻力发挥更好,(本工程使用旋挖桩机的基桩,承载力特征值 $R_s \geq 5\ 500$ kN 以上)。

作为设计者,从本工程实例可以看出,由于地质的复杂性,地基规范提供的土层设计参数,不可能每工程均适用,应加强试桩结果的分析,为了确保桩基工程的设计准确性,必要时应进行多次试桩或增加试桩的数量,对砂性为主的土层,摩擦桩设计应注意施工机械、施工工艺对基桩承载力的影响,特别是泥皮的影响。地质人员应特别注意强风化土层遇水软化后强度显著降低的问题。

5 参考文献

- 1 王建华. 水下钻孔灌注桩侧阻力计算方法的探讨. 岩土工程技术, 2002(6)
- 2 李维平. 钻孔灌注桩施工工序控制. 岩土工程技术, 2003(5)

(责任编辑:马 明)

(上接第 3 页)

表 6 单回塔不同纵向不平衡张力对塔重的影响

断线张力/%	计算塔重/kg	上升比例
0	47 645	1.000
5	47 698	1.001
10	47 749	1.002
15	47 795	1.003
20	47 925	1.006
25	50 045	1.050

表 7 双回路塔不同纵向不平衡张力对塔重的影响

断线张力/%	计算塔重/kg	上升比例
0	136 488	1.000
5	136 488	1.000
10	136 538	1.000 4
15	136 950	1.003
20	137 326	1.006
25	138 220	1.013

表 8 直流塔不同纵向不平衡张力对塔重的影响

断线张力/%	计算塔重/kg	上升比例
0	38 023.6	1.000
5	38 023.6	1.000
10	38 025.5	1.000
15	38 028.3	1.000
20	38 035.1	1.000
25	38 284.8	1.007

注:表 6、7、8 中,断线张力为断线张力与最大使用张力的百分比。

7 特高压输电线路直线杆塔纵向不平衡张力取值的建议

从以上分析可知,特高压输电线路由于绝缘子串长,绝缘子串产生的偏移大,断子导线和轻冰区覆冰不均匀条件下产生的纵向不平衡张力很小。为了降低塔重,有些专家认为可以降低现行规范的取值用于特高压输电线路杆塔。从表 6、7、8 可以看出,按现有 500 kV 规定取值,铁塔重量几乎不增加,而且对提高特高压输电线路杆塔侧向强度,抑制串倒事故大有好处。经上述分析比较后,建议仍按我国现行规范,即:特高压线路杆塔的纵向不平衡张力的取值,对于平地、丘陵及山地线路,应分别按不小于 1 相导线最大使用张力的 15%、20% 及 25% 选取。

8 参考文献

- 1 Г. Н 亚历山大罗夫,等. 超高压送电线路设计. 水利电力出版社
- 2 邵天晓. 架空送电线路的线力学计算. 中国电力出版社, 2003
- 3 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册. 中国电力出版社, 2003

(责任编辑:李连成)