

特高压直流输电线路直线塔重覆冰不平衡张力计算

宋 刚,张 彤

(浙江省电力设计院,浙江 杭州 310012)

摘要: 首先针对不平衡张力经典算法中存在的收敛速度慢、收敛于非正确解等问题提出解决办法,然后计算某实际±800 kV 特高压直流输电工程中的某一实际耐张段在不同覆冰厚度情况下的不平衡张力,并与规程中的不平衡张力取值进行比较。结果表明,在重冰区直线塔两侧存在大档距、大高差或者直线塔靠近水汽丰富的地区时,应在规程取值的基础上适当提高不平衡张力系数,增强线路抗冰能力。最后给出了适用于该工程的不平衡张力系数。

关键词: 特高压输电; 直流输电; 不平衡张力; 直线塔; 覆冰

中图分类号: TM 75 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.07.020

0 引言

溪洛渡左岸—浙江金华±800 kV 特高压直流输电线路工程是国内又一条高等级、大容量、远距离特高压直流线路,路径总长度为 1 670.8 km,途经四川、贵州、湖南、江西、浙江 5 省,沿线经过地形中,山地占 45.43 %、高山占 19.78 %,地势起伏大,海拔高,全线中、重冰区长度占到 70 % 以上,属于覆冰极为严重的输电线路,重冰区设计是该工程设计的重点问题之一。

在经历了 2008 年输电线路冰灾后,设计人员对事故倒塔段进行计算分析,发现倒塔主要发生在大档距、大高差、覆冰不均匀的情况下,覆冰造成杆塔纵向张力差大于设计耐受值^[1-7]。因此杆塔设计时覆冰不平衡张力取值关系线路能否安全稳定运行,及能否经受住再一次冰灾考验。目前重冰区设计主要参考 DL/T 5440—2009《重覆冰架空输电线路设计技术规程》(以下简称规程),该规程中对不同冰厚下的不平衡张力取值做了规定。为验证该规定的不平衡张力取值能否承受百年一遇的冰灾,本文以该工程浙江段实际耐张段和假设断面为例,计算严重情况下的导、地线覆冰不平衡张力,探讨直线塔的覆冰不平衡张力取值,给出严重情况下的特高压直流线路重冰区直线塔不平衡张力建议值。

1 不平衡张力取值规定

规程规定产出不平衡张力的不均匀冰荷载情况按未断线、温度-5℃、有不均匀冰、风速 10 m/s 的工况计算^[8]。不平衡张力覆冰率计算条件和不平衡张力取值(以不平衡张力占最大使用张力的百分比表示)分别见表 1 和表 2。

上述纵向不平衡张力的取值是参考等连续档、

表 1 直线塔不平衡张力覆冰率计算条件

Tab.1 Icing rate for suspension tower unbalanced tension calculation

线路等级	覆冰率/%	
	线路一侧	线路另一侧
一类	100	20
二类	100	30
三类	100	40

表 2 直线塔不平衡张力取值

Tab.2 Settings of suspension tower unbalanced tension

覆冰厚度/mm	不平衡张力/%	
	导线	地线
20	25	46
30	29	50
40	33	54

连续等高差上山模型计算结果和实际观测、运行经验得到的。文献[9]提出了“等连续档,仅中间一基杆塔前后有高差,其余塔前后档无高差”的计算模型,文献[10]利用该模型计算 20~50 mm 冰区不平衡张力,得出结论为:30 mm 及以下重覆冰区,不平衡张力百分数按照现行重覆冰区规程规定取值;40、50 mm 重覆冰区,应将不平衡张力百分数分别提高至 35% 和 41%。

不平衡张力与档距、高差、覆冰厚度、不均匀冰情况等众多因素相关^[10-13],以往理论计算只分析了几种假设断面,没有对不均匀档距、复杂高差、验算覆冰等情况进行综合分析,得出的计算值适用于平地、丘陵地区。对于山地复杂地形,特别是大高差、大档距地形,未有文献进行过实际分析。本文将实际耐张段和在严重断面、不同覆冰厚度情况下的不平衡张力计算结果与已有文献和规程进行比较,得出适用于本工程的实际不平衡张力系数,指导特高压直流重冰区线路设计。同时针对不平衡张力经典算法中存在的收敛速度慢、收敛于非正确解等问题提出解决办法。

2 计算方法

本文采用经典算法进行不平衡张力计算^[14-17]。该算法认为出现最大不平衡张力的情况一般发生在档距、高差相差悬殊,线路一侧覆冰而另一侧少冰或无冰的交界杆塔处。

假设一个耐张段内有 n 个连续档、 $n-1$ 基直线塔,架线气温为 t_m ,导、地线初伸长尚未放出时架线应力为 σ_m ,各直线杆塔上悬垂绝缘子串均处于中垂位置。当出现不均匀冰时,各档应力不一,悬垂串发生偏移,档距发生变化,如图 1 所示。

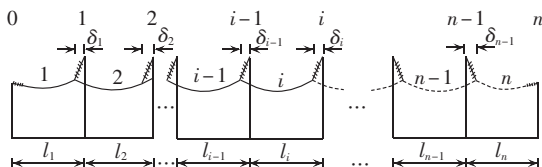


图 1 连续档不平衡张力示意图

Fig.1 Schematic diagram of unbalanced tension of continuous spans

第 i 档档距增量 Δl_i 与档内应力 σ_i 间的关系为:

$$\Delta l_i = \frac{l_i}{\cos^2 \beta_i [1 + \gamma_i^2 l_i^2 / (8\sigma_i^2)]} \{ [(l_i \cos \beta_i)^2 / 24] [(\gamma_m / \sigma_m)^2 - (\gamma_i / \sigma_i)^2] + (\sigma_i - \sigma_m) / (E \cos \beta_i) + \alpha(t + \Delta t_e - t_m) \} \quad (1)$$

其中, l_i 、 β_i 分别为耐张段内悬垂串处于中垂位置时第 i 档的档距(m)和高差角($^\circ$); α 、 E 分别为导线的温度线膨胀系数($^\circ\text{C}^{-1}$)和弹性系数(N/mm^2); t_m 、 σ_m 、 Δt_e 、 γ_m 分别为导线架线时气温($^\circ\text{C}$)、相应气温下耐张段内的架线水平应力(N/mm^2)、架线时考虑初伸长降低的等效温度(取正值,单位为 $^\circ\text{C}$)、架线时导线和地线的自重比载($\text{N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})$); t 、 σ_i 、 γ_i 、 Δl_i 分别为计算不平衡张力时的气温($^\circ\text{C}$)、第 i 档的水平应力(N/mm^2)、比载($\text{N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{m})$)和档距增量(缩短时为负值,单位为 m)。

由于待求情况下各档水平应力不同,导致相邻档间悬垂串出现不平衡张力差,它使悬垂串出现偏斜,如图 2 所示。

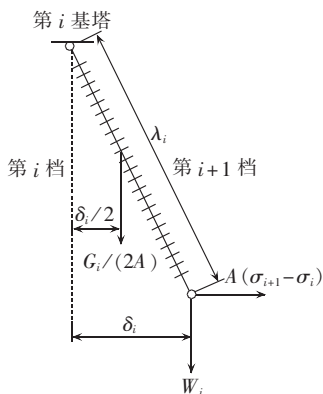


图 2 悬垂绝缘子串受力偏斜图

Fig.2 Pendantinsulator tilted by unbalanced tension

第 i 基直线塔上悬垂串末端导线悬挂点的顺线路水平偏移 δ_i 与两侧导线张力差的关系为:

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \frac{\delta_i}{\sqrt{\lambda_i^2 - \delta_i^2}} \left(\frac{G_i}{2A} + W_i \right) \quad (2)$$

$$W_i = \left(\frac{\gamma_i l_i}{2 \cos \beta_i} + \frac{\sigma_i h_i}{l_i} \right) + \left(\frac{\gamma_{i+1} l_{i+1}}{2 \cos \beta_{i+1}} - \frac{\sigma_{i+1} h_{i+1}}{l_{i+1}} \right) \quad (3)$$

$$\delta_i = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_i$$

通过式(2)、(3)解出 σ_{i+1} 的显函数为:

$$\sigma_{i+1} = \left[\left(\frac{G_i}{2A} + \frac{\gamma_i l_i}{2 \cos \beta_i} + \frac{\gamma_{i+1} l_{i+1}}{2 \cos \beta_{i+1}} + \frac{\sigma_i h_i}{l_i} \right) + \frac{\sigma_i}{\delta_i} \sqrt{\lambda_i^2 - \delta_i^2} \right] / \left(\frac{\sqrt{\lambda_i^2 - \delta_i^2}}{\delta_i} + \frac{h_{i+1}}{l_{i+1}} \right) \quad (4)$$

$$\beta_i = \arctan(h_i / l_i)$$

其中, σ_i 为第 i 档的水平应力(N/mm^2); δ_i 为第 i 基直线塔悬垂串导线悬挂点顺线路水平偏距(m), 偏向大编号为正, 反之为负; λ_i 、 G_i 分别为第 i 基直线塔的悬垂串串长(m)及荷载(N); W_i 为第 i 基直线塔导线垂直荷载(N/mm^2); h_i 、 h_{i+1} 分别为悬垂串处于中垂位置时, 第 i 基直线塔对第 $i-1$ 基直线塔和第 $i+1$ 基直线塔对第 i 基直线塔上导线悬挂点间的高差(m), 较大编号的杆塔比较小编号的杆塔悬挂点高时为正值, 反之为负值; β_i 为悬垂串处于中垂位置时, 第 i 档导线悬挂点间的高差角($^\circ$); l_i 为悬垂串处于中垂位置时, 第 i 档的档距(m); A 为导线截面积(mm^2)。

对于整个耐张段内, 各档档距增量之和应为 0, 即第 n 基耐张塔上导线悬挂点的偏距应为 0, 即:

$$\delta_n = \sum_{i=1}^n \Delta l_i = 0 \quad (5)$$

由式(1)可以列出 n 个方程, 由式(4)可以列出 $n-1$ 个方程, 由式(5)可以列出 1 个方程, 共 $2n$ 个方程, 有 Δl_i 、 σ_i 共 $2n$ 个未知数, 方程是可以求解的。较为方便的是采用迭代求解法, 通过迭代直至获得最终解, 迭代步骤如下:

- 令 $i=1$, $\delta_0=0$;
- 将 σ_i 代入式(1)得 Δl_i ;
- 令 $\delta_i = \delta_{i-1} + \Delta l_i$;
- 将 σ_i 、 δ_i 代入式(2)得 δ_{i+1} ;
- 将 δ_{i+1} 代入式(4)得到 σ_{i+1} ;
- 将 σ_{i+1} 代入式(1)得 Δl_{i+1} ;
- $\delta_{i+1} = \delta_i + \Delta l_{i+1}$, $i=i+1$;
- 如果 $i=n$, 则转步骤 i, 否则转步骤 d;
- 如果 $\delta_i=0$, 结束迭代; 否则令 $\sigma_i = \sigma_i + \Delta \sigma$, 转步骤 a。

经典算法存在的主要问题是初始值 σ_1 、迭代步长 $\Delta \sigma$ 、收敛精度的设置和收敛结果判断。初始值设置过小, 需要迭代较多次数, 收敛时间长, 且可能导致第一个收敛结果为非正确解, 此时不平衡张力百分比将超过 100%, 这是由于经典算法可能存在双

解现象;初始值设置过大,则无法得到解。迭代步长需和迭代精度配合,较大的迭代步长可能无法达到所需的迭代精度,转而跳过计算解。

针对以上问题,在编程过程中先取较小初值 σ_0 、较大的迭代步长(如 $\Delta\sigma=100\text{ N/mm}^2$)和较大的判断精度(如 $\delta_n=0.1\text{ m}$),初次收敛后取一稍小于上次计算收敛值 σ_1 的值(如 $0.99\sigma_1$),减小迭代步长(如 $\Delta\sigma=10\text{ N/mm}^2$)和判断精度(如 $\delta_n=0.01\text{ m}$),如此再迭代一次即满足工程设计精度要求。针对第一次收敛结果为非正确解的情况,判断不平衡张力百分比是否大于 100%,如果大于则将初值适当增大(如增加为 σ_1+1),继续进行迭代计算直至得到最终解。通过该改进措施能保证一次得到正确解,且无需人工干预,减少收敛时间,提高收敛效率。

3 计算实例

溪洛渡左岸—浙江金华±800 kV 特高压直流输电线路(简称溪浙线)20 mm 冰区的导线采用 6 分裂 JL/G2A-900/75 钢芯铝绞线,地线采用 JLB20A-150 铝包钢绞线,具体参数见表 3。

表 3 导线和地线参数
Tab.3 Parameters of conductors and ground wires

型号	直径/ mm	弹性模量/ (N·mm ⁻²)	温度线膨胀 系数/℃ ⁻¹	最大使用 张力/N
JL/G2A-900/75	40.60	65 800	20.5×10 ⁻⁶	89 604
JLHA1/G1A-800/55	38.40	63 000	20.9×10 ⁻⁶	121 003
JLB20A-150	15.75	147 200	13.0×10 ⁻⁶	51 020
JLB20A-240	20.00	139 500	12.6×10 ⁻⁶	74 289

表 4 列出了某一实际耐张段的前侧塔、后侧塔的档距及高差(后侧塔相对前侧塔,后同)情况,表中编号 4145 和 4149 的塔为耐张塔,其余为直线塔。

表 4 实际耐张段地形情况
Tab.4 Terrain of an actual strained segment

前侧塔-后侧塔	档距/m	高差/m
4145-4146	235	-86
4146-4147	690	-170
4147-4148	911	140
4148-4149	1 105	-124

根据第 2 节不平衡张力计算方法,利用 MATLAB 编制程序,得到覆冰 20 mm 情况下的不平衡张力计算结果如表 5、6 所示。

由表 5 可见,4148 号直线塔导线和地线的最大不平衡张力百分比分别达到 29.96%、51.45%,超过设计规程规定的 20 mm 冰区直线塔导线不平衡张力百分比取值(25%)和地线不平衡张力百分比取值(46%)。

如果按照 25 mm 覆冰验算(直线塔一侧 25 mm 覆冰,另一侧根据不均匀覆冰率取值),导线最大不平衡张力百分比将达到 40.81%,地线最大不平衡

表 5 直线塔 20 mm 覆冰不平衡张力计算结果
Tab.5 Calculated unbalanced tension of suspension tower covered with 20 mm ice

前侧塔- 后侧塔	覆冰率/%	悬垂串 偏移/m		不平衡 张力/N		不平衡张力 百分比/%	
		导线	地线	导线	地线	导线	地线
4145-4146°	20	0.117	0.045	130	353	0.15	0.69
4146-4147°	20	1.153	0.104	889	295	0.99	0.58
4147-4148°	20	3.676	0.313	26 842	26 251	29.96	51.45
4148-4149°	100	0	0	4 985	435	5.56	0.85

注:不平衡张力百分比为标*塔的不平衡张力与最大使用张力百分比。

表 6 直线塔在不同覆冰厚度下的最大不平衡张力
Tab.6 Maximum unbalanced tension of suspension tower covered with ice of different thicknesses

覆冰厚度/mm	最大不平衡张力百分比/%	
	导线	地线
20	29.96	51.45
30	35.45	55.83
40	49.25	63.24

张力百分比达到 71.88%。

对同一耐张段,假设设计覆冰分别为 30 mm 和 40 mm,导线采用 6 分裂 JLHA1/G1A-800/55 钢芯铝合金绞线,地线采用 JLB20A-240 铝包钢绞线(导地线参数见表 3),计算导、地线最大不平衡张力如表 6 所示。

由表 6 可见,根据实际地形计算的直线塔导线不平衡张力百分比规范取值高 5%~16%,地线高 5%~9%。如果再考虑线路附近可能存在水汽增加覆冰的影响,应该在设计规范基础上更大幅度提高不平衡张力系数,以提高线路抗冰能力。

以上实例是选取了溪浙线特高压直流工程浙江境内一环境较恶劣的耐张段进行计算。另外,文献[11]中已经说明,不平衡张力随着档数增加而增加,文献[10,12-13]论证了不平衡张力随着档距、高差增大而增大。特高压直流线路一般都达到 1 500 km 以上,经过地形复杂,不排除在重覆冰地区存在一些连续档数量多、大档距、大高差同时存在、靠近水汽丰富地区等更严峻情况出现,不平衡张力值无法完全参考规程取值。

另外通过实例计算,可以看出两侧承受大档距的“一肩挑”式直线塔受到的不平衡张力最大。本文计算了一种假设的五档断面 500-500-500-X-Y 在各覆冰条件下的不平衡张力情况,其中 X 和 Y 可取 700~1 100 m 之间的值,X 和 Y 的高差 h 可取 100 m、150 m 和 200 m,其余各档无高差。计算结果如表 7 所示。

从表 7 可以看出,重冰区直线塔两侧存在大档距、大高差时,不平衡张力容易超过规程值,地线不平衡张力超过规程值更明显。近几年覆冰事故中,

表 7 重冰区直线塔最大不平衡张力百分数
Tab.7 Maximum unbalanced tension percentage of
suspension tower located in area with
heavy ice accretion

覆冰 厚度/mm	X/m	Y/m	h/m	最大不平衡张力百分数/%	
				导线	地线
20	600	800	100	19.27	48.07
	700	900	100	22.65	49.81
	700	900	150	24.23	50.11
	700	1000	150	26.09	51.22
	800	1000	200	28.26	51.23
	800	1100	200	29.75	52.00
30	600	800	100	21.25	53.45
	700	900	100	25.59	54.65
	700	900	150	27.55	54.80
	700	1000	150	30.15	55.42
	800	1000	200	33.01	55.50
	600	800	100	35.50	62.32
40	700	900	100	40.60	62.87
	700	900	150	42.05	62.90
	700	1000	150	44.57	63.19
	800	1000	200	46.89	63.18

大部分为地线支架倒塌或者地线支架先倒导致整塔折断,除了地线覆冰较导线厚外,地线悬垂串较短导致不平衡张力也是引发事故的重要原因。另外可以看出覆冰越厚,越容易出现直线塔不平衡张力超规程值的情况。

因此规程取值适用于大部分耐张段,具有一定的经济合理性。当直线塔存在大档距(大于 900 m)、大高差(超过 100 m)配合或者靠近水汽丰富地区容易局部结冰时,建议按表 8 对不平衡张力取值,其中各冰区导线、地线选型参考溪浙线重冰区导线选型结论。

表 8 重冰区直线塔最大不平衡张力百分数建议值
Tab.8 Suggestive value of maximum unbalanced
tension of suspension tower located
at heavy ice accretion area

覆冰厚度/mm	最大不平衡张力百分数/%	
	导线	地线
20	30	53
30	35	56
40	50	65

按表 8 取值基本能涵盖目前重冰区大档距、大高差情况下的直线塔不平衡张力范围。

4 结论

a. 重冰区规程中对直线塔不平衡张力取值适用于一般地形,对存在大档距、大高差情况下规程取值偏小。特高压直流线路重冰区需根据实际地形、覆冰情况校核计算。

b. 特高压直流输电线路重要性高,同时投资也较大,特别是铁塔投资占 40% 左右。以往杆塔计算

结果表明,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,对铁塔重量影响较大,建议设计 1 个或 2 个大塔型适当提高不平衡张力系数,满足工程中特殊地形直线塔需求,而无需提高所有塔型的不平衡张力系数,以节约工程投资。

c. 针对重覆冰地区可能出现的大档距(大于 900 m)、大高差(超过 100 m)配合或者靠近水汽丰富地区容易局部结冰的情况,建议直线塔导线不平衡张力取值如下:20 mm 重冰区取 30%,30 mm 冰区取 35%,40 mm 冰区取 50%;地线不平衡张力建议取值:20 mm 重冰区取 50%,30 mm 冰区取 55%,40 mm 冰区取 65%。

d. 根据实际情况,计算验算覆冰工况下的直线塔不平衡张力。

e. 特高压直流线路重覆冰地区应尽量避让大档距、大高差、水汽丰富地区。

参考文献:

[1] 李正,杨靖波,黄璜,等. 2008 年输电线路冰灾倒塌原因分析[J]. 电网技术,2009,33(2):31-35.
LI Zheng,YANG Jingbo,HUANG Huang,et al. Analysis on transmission tower toppling caused by icing disaster in 2008[J]. Power System Technology,2009,33(2):31-35.

[2] 李庆峰,范峥,吴穹,等. 全国输电线路覆冰情况调研及事故分析[J]. 电网技术,2008,32(9):33-36.
LI Qingfeng,FAN Zheng,WU Qiong,et al. Investigation of ice-covered transmission lines and analysis on transmission line failures caused by ice-coating in China[J]. Power System Technology,2008,32(9):33-36.

[3] 薛志方,程思勇. 置信域算法在输电线路覆冰不平衡张力计算中的应用及不平衡张力的影响因素[J]. 电网技术,2012,36(4):225-228.
XUE Zhifang,CHENG Siyong. Application of trust region algorithm in calculation of unbalanced tension caused by ice covered on transmission lines and influencing factors of unbalanced tension[J]. Power System Technology,2012,36(4):225-228.

[4] 吴文辉. 湖南电网覆冰输电线路跳闸事故分析及措施[J]. 高电压技术,2006,32(2):110-111.
WU Wenhui. Causes and precaution measure of tripping trouble of transmission line covered with ice[J]. High Voltage Engineering,2006,32(2):110-111.

[5] 蒋兴良,马俊,王少华,等. 输电线路冰害事故及原因分析[J]. 中国电力,2005,38(11):27-30.
JIANG Xingliang,MA Jun,WANG Shaohua,et al. Transmission lines ice accidents and analysis of the formative factors [J]. Electric Power,2005,38(11):27-30.

[6] 蒋吉河,蒋兴良,易辉,等. 输电线路导线覆冰的国内外研究现状[J]. 高电压技术,2004,30(1):6-9.
JIANG Jihe,JIANG Xingliang,YI Hui,et al. The present study on conductor icing of transmission lines[J]. High Voltage Engineering,2004,30(1):6-9.

- [7] 蒋兴良,易辉. 输电线路覆冰及防护[M]. 北京:中国电力出版社,2002:2-9.
- [8] 国家能源局. DL/T5440—2009 重覆冰架空输电线路设计技术规程[S]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [9] 张子引,刘学军. 架空输电线路连续档不平衡张力计算[J]. 电力建设,2009,30(5):32-34.
- ZHANG Ziyin,LIU Xuejun. Imbalanced tension calculation of overhead line continuous spans[J]. Electric Power Construction, 2009,30(5):32-34.
- [10] 杨风利,杨靖波,张子富. 重覆冰区特高压悬垂型杆塔不平衡张力分析[J]. 电网技术,2012,36(3):234-240.
- YANG Fengli,YANG Jingbo,ZHANG Zifu. Unbalanced tension analysis of tangent towers for UHV transmission lines located at heavy icing area[J]. Power System Technology,2012,36(3):234-240.
- [11] 韩军科,杨靖波,李清华,等. 超/特高压交流同塔多回输电线路覆冰不平衡张力分析[J]. 电网技术,2011,35(12):33-37.
- HAN Junke,YANG Jingbo,LI Qinghua,et al. Analysis on unbalanced tension caused by ice-coating on conductors of UHV/EHV AC multi-circuit transmission lines on the same tower[J]. Power System Technology,2011,35(12):33-37.
- [12] 刘庆丰. 微地形对输电线路不平衡张力的影响[J]. 电力建设,2011,32(10):38-40.
- LIU Qingfeng. Impact from the micro-terrain to the unbalanced tensile force of transmission line[J]. Electric Power Construction, 2011,32(10):38-40.
- [13] 程思勇,薛志方. 覆冰不平衡张力计算分析[J]. 电网与清洁能源,2011,27(2):10-13.

- CHENG Siyong,XUE Zhifang. Calculation and analysis of the unbalanced tension caused by icing[J]. Power System and Clean Energy,2011,27(2):10-13.
- [14] 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2004:198-207.
- [15] 邵天晓. 架空送电线路的电力学计算[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2003:221-234.
- [16] 廖宗高,陈海波,肖立群,等. 特高压输电线路直线塔纵向不平衡张力取值的探讨[J]. 电力建设,2006,27(2):1-3.
- LIAO Zonggao,CHEN Haibo,XIAO Liqun,et al. Investigation into longitudinal unbalanced tension value of EHV transmission suspension towers[J]. Electric Power Construction,2006,27(2):1-3.
- [17] 李军,彭谦,康东升. 改变步长的输电线路不平衡张力计算方法[J]. 电力建设,2010,31(12):26-29.
- LI Jun,PENG Qian,KANG Dongsheng. Imbalanced tension calculation method of transmission lines with mending steps[J]. Electric Power Construction,2010,31(12):26-29.

作者简介:



宋 刚

宋 刚(1983-),男,浙江杭州人,工程师,硕士,主要从事高压输电线路电气设计工作(E-mail:songgang130@sina.com);

张 彤(1973-),男,浙江嘉兴人,高级工程师,主要从事高压输电线路电气设计工作(E-mail:zhang_0583@126.com)。

Unbalanced tension calculation of UHVDC transmission lines and suspension towers with heavy ice-coating

SONG Gang,ZHANG Tong

(Zhejiang Electric Power Design Institute, Hangzhou 310012, China)

Abstract: A solution is proposed aiming at the slow convergence speed and incorrect convergence result of a typical unbalanced tension algorithm, which is then applied in the unbalanced tension calculation for a strained segment of an actual ± 800 kV UHVDC transmission line with ice-coating of different thicknesses. The calculative results are compared with the unbalanced tensions stipulated by the regulation, which shows that, the unbalanced tension coefficient should be set appropriately higher than the stipulated value to enhance the ice-damage resistance if the span or height difference between two suspension towers in area with heavy ice accretion is large or the suspension towers are near moist area. The unbalanced tension coefficients suitable for that ± 800 kV UHVDC transmission line are given.

Key words: UHV power transmission; DC power transmission; unbalanced tension; suspension tower; ice-coating