

接觸網的力學計算方法

И.И. 富拉索夫 著

4

60

人民鐵道出版社

2P6B/38

序

电气化铁路在苏联已广泛的发展。很多最重要的货运繁忙线路和客运稠密的市郊区段均已改为电力牵引。

苏联共产党第十九次党代表大会决议，在第五个五年计划，即1951~1955年间，电气化铁路的发展比前五年多三倍。

在这些情况下，电气化铁路设备的稳定的和不间断的工作具有重大意义，接触网是它的一个主要元件。

电气化铁路从建筑和运营开始到目前，虽然历时很久，然而，接触网的力学计算，尚无确定的方法和标准，本书的出版，可部分地弥补这个缺陷。

书内阐明了电气化铁路接触网导线（包括架空馈电线和回流线）的力学计算问题。本书所列接触网的力学计算标准是在接触网的力学计算标准草案的基础上给出的，该草案系由ЦНИИ电气化研究组拟定；由ЦЭ МПС、ЦНИИ、МЭМИИГ、莫斯科-摩尔斯克-顿巴斯铁路运输技术设计院和电气化处的代表所组成的委员会审查和推荐的。

交通部铁道运输科学研究所所长

И·А·伊凡诺夫

电气化研究组组长

А·В·伏洛宁

目 录

序

1. 导线的技术计算数据	1
2. 计算的气候条件	2
3. 求接触悬挂导线的计算载荷	3
4. 安全系数	7
5. 载重绳的张力计算和弛度计算	8
6. 接触导线的弛度计算和高度变化的计算	13
7. 链形悬挂的力学计算步骤	16
8. 计算半补偿链形悬挂的实例	18
9. 加强导线和供电导线的张力计算与弛度计算	29
10. 计算加强导线的实例	31
11. 考虑流过导线的牵引电流的发热作用时, 导线尺寸的检查	34
12. 接触悬挂受风偏斜的计算和跨度容许长度的决定	37
13. 求半补偿链形悬挂接触导线的系定段长度	40
14. 求支柱设备的计算载荷	44
15. 软横梁的计算	48
附录 I 接触网导线的主要结构数据	55
附录 II 接触悬挂导线由于冰和风的计算载荷表	59
附录 III 链形接触悬挂载重绳的张力和弛度曲线图	61
附录 IV 加强导线的张力和弛度曲线图	71
附录 V 决定接触悬挂导线温差的曲线图	78

1. 导线的技术计算数据

导线及其金属丝的计算的物理-机械性质,可根据相应的固定全苏标准和导线的技术条件查出,或者根据导线和金属丝的试验结果决定。

在沒有这些数据时,金属丝和接触导线的计算的物理-机械性质可查閱表1。

表 1

金属丝和接触导线的计算的物理-机械性质

物理-机械性质	金 属 丝			接 触 导 线
	硬(冷)拉 铜 丝	硬(冷)拉 铝 丝	铜 丝	
比重 (公分/立方公分).....	8.9	2.7	7.85	8.9
线膨胀温度系数 (1/°C)	17 × 10 ⁻⁶	23 × 10 ⁻⁶	12 × 10 ⁻⁶	17 × 10 ⁻⁶
弹性系数 (公斤/平方公厘)	13300	6300	10000	13000
极限强度 (公斤/平方公厘)	39	15	12	35 (TΦ100) 36 (TΦ35)
屈伏点 (公斤/平方公厘)	28	11	8	—
当温度 t = +20°C 时, 横 截面为 1 平方公厘, 长 1 公尺 的导线电阻 (欧姆)	0.0180	0.0295	—	0.0179
导线电阻变化的温度系数	0.0040	0.0042	—	0.0041

多股导线的极限强度和屈伏点, 取其等於制造该导线的金属丝的极限强度和屈伏点相应数值的 90%。

多股导线的弹性系数, 取其等於相应材料金属丝的弹性系数数值的 85%。

2. 計算的气候条件

接触網力学計算中的計算气候条件，是在分析綫路所在地区观测所得的空气温度、风速和导綫掛冰数据的基础上决定的。

按最不利的温度和附加載荷（冰和风）情况来規定計算的气候条件，这种情况每5年至少出現一次。

如果没有可靠的观测数据，可根据第3节所指出的方法求計算温度和附加載荷的数值。根据綫路所在地区实际观测的最低温度和最大冰风載荷（每5年至少出現一次）进行接触網的机械强度檢查时，应使导綫应力不超过屈伏点的90%，而支柱設備元件內的应力不应超过考虑最强作用力时的容許应力。

如果在該地区实际观测的空气温度与表2所列的計算空气温度相差不大，則进行接触悬挂导綫的技术計算时可採用該表中的温度值。

如果最高温度 t_{max} 和最低温度 t_{min} 不是表2所列的数值，

表2

計算的空气温度

計算的空气温度	地 区		
	I	II	III
最低温度 (t_{min})	-50	-40	-30
最高温度 (t_{max})	+40	+40	+40
当导綫掛冰时	-5	-5	-5
当最大風力时	+5	+5	+5
当簡單支柱的吊弦悬挂的接触导綫处于無弛度状态时	-20	-15	-10
当彈性繩形悬挂的接触导綫处于計算的無弛度状态时	-5	0	+5
当吊弦和定位器处于正常状态时	-5	0	+5

則採用以下的計算溫度值：

當簡單支柱吊弦懸掛的接觸導線在無弛度狀態時

$$\frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} = 15 ;$$

當彈性鏈形懸掛的接觸導線處於計算的無弛度狀態和吊弦與定位器處於正常狀態時

$$\frac{t_{\max} + t_{\min}}{2}$$

3. 求接觸懸掛導線的計算載荷

自重載荷。單股導線的自重係根據規格或下列公式決定

$$g = \frac{S\gamma}{1000} = \frac{\gamma r_0^2 \gamma}{1000} \text{ 公斤/公尺}, \quad (1)$$

式中 γ ——導線材料的比重（克/立方公分）；

S ——導線截面（平方公厘）；

d ——導線直徑（圓截面）（公厘）。

考慮扭轉時多股導線的自重係根據規格或下列公式決定

$$g = \frac{1.025 \cdot S\gamma}{1000} \text{ 公斤/公尺}。$$

求鏈形懸掛綫夾和吊弦的載荷就是計算其在跨度內的總重，同時令載荷沿跨度全長均勻分佈。

吊弦的平均長度約為1公尺。每個吊弦夾的重量為0.2公斤。一個吊弦和兩個吊弦夾的重量為0.5公斤。如吊弦間的距離為10公尺，則附加的吊弦載荷為0.05公斤/公尺。

當有兩根接觸導線而且吊弦成交替式佈置時，則吊弦的附加重量載荷為0.1公斤/公尺

冰載荷。求計算約冰載荷的條件是這樣，即導線上的冰重不小於在該地區實際觀測到的最大冰重（5年內至少出現1次）

如將具有的气象台觀測數據列成綫路導綫掛冰的尺寸表，則計算的冰載荷系考慮到實際觀測的掛冰比重並對這些數據加以適當的換算而得

如果實際觀測的掛冰數據屬於 $d = 5$ 公厘的導綫，則接觸懸掛導綫上的計算冰重採用 $d = 5$ 公厘導綫上冰重的 150%。

計算的冰看作是圓柱形的且沿導綫的整個表面有均勻的冰壳厚度，冰壳的比重為 0.9 克/立方公分。

除去接觸導綫以外，對於所有導綫冰壳的計算厚度規定為 5 公厘的倍數（即 5、10、15 公厘等）。

在不掛冰的地區內，除去接觸導綫外，所有導綫冰壳的計算厚度採取 5 公厘

接觸導綫冰壳的計算厚度取為接觸懸掛其他導綫冰壳計算厚度的 50%。在鏈形懸掛吊弦和綫夾上的冰，不予考慮。

接觸懸掛導綫上的冰載荷由下式決定

$$g_a = 0.0009\pi b(d+b) \text{ 公斤/公尺}, \quad (2)$$

式中 b —— 冰壳的計算厚度（公厘）。

根據所取的冰壳的計算厚度，接觸懸掛導綫的冰載荷可由表 3 中所列的公式決定。

表 3

求接觸懸掛導綫上冰載荷的公式

冰壳的計算 厚度（公厘）	冰 載 荷（公斤/公尺）	
	除接觸導綫以外的所有導綫	接 觸 導 綫
5	0.014 (d+5)	0.007 (d+2.5)
10	0.028 (d+10)	0.014 (d+5)
15	0.042 (d+15)	0.021 (d+7.5)
20	0.056 (d+20)	0.028 (d+10) ^①

① 譯者註：原文為 0.028(d+5)，恐系錯誤。

附录 II 列出在不同的冰壳計算厚度下，各种类型的导綫的冰載荷值。

風載荷。 1 公尺导綫的風載荷可按下式決定

$$p = C_x \frac{v^2}{16} \cdot \frac{d}{1000} \text{ 公斤/公尺}, \quad (3)$$

式中 d —— 导綫截面的直徑或高度 (公厘)；

v —— 風速 (公尺/秒)；

C_x —— 正面阻力的空气动力系数，其對於各种导綫的数值列入表 4 中。

接触懸掛导綫的空气动力系数 C_x 值

表 4

导 綫 的 特 性	系数 C_x 值 —— 屬於一个导綫的直徑截面	
	不考慮綫夾和吊鉤	考慮綫夾和吊鉤
接触懸掛的单联导綫和繩索	1.20	1.25
双接触导綫:		
(a) 导綫間相距 40 公厘	--	1.55
(б) 导綫間相距 100 公厘	--	1.85
双接触导綫位於 5 公尺以上高度的路堤:		
(a) 导綫間相距 40 公厘	--	1.35
(б) 导綫間相距 100 公厘	--	2.15

当沒有足够可靠的观测时，計算的風速数值就採用表 5 所列举者。

如果根据綫路某区段地形的性質，可預料到有特別强的風，但缺乏气象观测的可靠数据，則这种区段应根据表 5 所列的相应地理区域的最大風速来考虑

当某无防风区段所採取的計算風速，根据可靠的風速观测大於表 5 中相应区域所表示的，則接触網在无防风区段的計算，应根据此观测風速进行。

計算风速 (公尺/秒)

表 5

电气化綫路区段的防护程度	地 理 区 域	
	I 区——除去 II 区以外的全 苏地区	II 区——海洋 的沿岸地带
有防风的区段	20	25
無防风的区段	25	33
特別不利的区段 (綫路旁有辽闊的高路堤, 跨越大河等)	33	40

註。1. 沿岸地帶的寬度取其等於 100 公里，但不能超过附近的山脈。

2. 屬於被防护的区段有：位於深路坑、森林地区和其他路基兩边具有建筑物 (建筑物的高度达到接触导綫的水平面並距铁路路基不远於 $8H_{cp}$ ，其中 H_{cp} ——周圍建築物的平均高度) 的区段。

同样的，對於其他不同的防护区段 (防风附近的区段和在防风方面特別不利的区段)，应改变表 5 所列举的計算风速 (對於相同的地理区域)。

如果觀測的风速小於表 5 所列出的，則根据此表內的數據进行計算。

接触網导綫上掛冰时的风速，如沒有足够可靠的觀測值，可以取：

在海洋的沿岸地带和草原上——15 公尺/秒；

在其他的情况下——10 公尺/秒。

附录 II 列出了在不同計算风速下，最通用的接触悬掛导綫类型和組合的风載荷值。同时也列出了在各种冰壳計算厚度下，掛冰导綫的风載荷值。这些数值是對於两种計算风速数值——15 和 10 公尺/秒来决定的。

合成載荷。有冰风时导綫的合成載荷系由下式决定

$$q = \sqrt{(g + g_s)^2 + p^2},$$

式中 g ——导綫的自重載荷；

g_2 ——导綫上的冰載荷;

p ——掛冰导綫上的風載荷。

如無冰而有風，則导綫上的合成載荷係由下式決定

$$q = \sqrt{g^2 + p^2}。$$

在求直立鏈形懸掛的載重繩上的合成載荷時，不考慮接觸導綫的風載荷；因為這種載荷完全由定位器所承受。

4. 安全係數

在進行接觸網導綫的力學計算時，採用以下的額定安全係數：

對於銅、青銅、雙金屬（銅-銅）和鋁的多股導綫——2；

對於接觸導綫——2.5；

對於鋼索和鋼綫——3。

在計算軟橫梁的橫向載重繩時，採用以下的額定安全係數

對於青銅和雙金屬（銅-銅）導綫——3；

對於鋼索——4。

為了減輕支柱設備，銅和鋁的多股饋電綫和回流綫的計算，可以將額定安全係數提高到3來進行。

註 1. 多股導綫和鋼索的額定安全係數應了解為導綫或鋼索的極限強度對計算多股導綫或鋼索時所取的許可應力之比。

2. 在組合導綫（由不同材料的金屬絲編成）中，安全係數是由最小極限強度的材料所決定。

3. 在氣象條件特別不利的個別情況下，導綫強度的檢查系根據第2節的指示進行。

4. 對於補償接觸導綫額定安全係數可認為是導綫的極限強度對其最大應力之比；最大應力是考慮導綫的磨損和吊弦與定位器的反作用來決定的。

5. 載重繩的張力計算和弛度計算

計算直立鏈形懸掛載重繩張力的普遍方程式如下：

$$\frac{w_2^2 l^2}{24Z_2^2} - \frac{w_1^2 l^2}{24Z_1^2} = \frac{T_2 - T_1}{ES} + \alpha(t_2 - t_1). \quad (4)$$

對於半補償鏈形懸掛來說，此方程式變為：

$$t_2 = \left[t_1 - \frac{w_1^2 l^2}{24\alpha Z_1^2} + \frac{Z_1}{\alpha ES} \right] + \frac{w_2^2 l^2}{24\alpha Z_2^2} - \frac{Z_2}{\alpha ES} \quad (4')$$

而計算帶未補償的輔助導線或接觸導線的鏈形懸掛，則為：

$$\frac{w_2^2 l^2}{24\alpha Z_2^2} - \frac{Z_2}{\alpha ES} = \frac{w_1^2 l^2}{24\alpha Z_1^2} - \frac{Z_1 - \varphi(K_1 - K_2)}{\alpha ES} + t_2 - t_1, \quad (4'')$$

式中 l —— 跨度的計算長度 (公尺)；

E —— 載重繩的彈性係數 (公斤/平方公厘)；

S —— 載重繩的截面 (平方公厘)；

α —— 載重繩材料的線膨脹溫度係數；

t —— 周圍的空氣溫度 ($^{\circ}\text{C}$)。

方程式中的換算載荷 w_2 ， w_1 和換算張力 Z_2 ， Z_1 具有如下的數值：

$$\begin{aligned} Z_2 &= T_2 + \varphi K_2; & Z_1 &= T_1 + \varphi K_1; \\ w_2 &= q_2 + g \frac{\varphi K_2}{T_0}; & w_1 &= q_1 + g \frac{\varphi K_1}{T_0}, \end{aligned}$$

式中 g —— 鏈形懸掛的導線重量所產生的負載 (公斤/公尺)；

q —— 載重繩的合成載荷 (公斤/公尺)；

T —— 載重繩張力的水平分量；

K —— 各接觸導線的張力總和 (在雙鏈形懸掛中是接觸導線和輔助導線的張力總和) (公斤)。

在數值 g 、 Z 、 w 、 q 、 T 、 K 和 l 旁邊的角碼 1 表示這些數

值屬於起始情况；角碼 α —— 这些数值屬於待求情况；角碼 0 —— 所研究的数值屬於接触导綫无弛度状态的計算情况。

包含在 w 和 Z 的表示式中的鏈形悬掛結構系数 φ 的数值与所採用的鏈形悬掛方式有关，並用下式决定

$$\varphi = \frac{(l - 2e)^2}{l^2},$$

式中 e —— 由支柱到最近的簡單（非彈性）吊弦間的距离。

如系定段內包含长度不同的跨度时，則跨度的計算长度採用等效跨度 l_e ，后者的数值由下式决定

$$l_e = \sqrt{\frac{\sum l^3}{\sum l}}, \quad (5)$$

这里，公式右边的数值 $\sum l$ 和 $\sum l^3$ 分别表示該系定段中所有跨度长度之和及这些长度的立方和。

方程式 (4') 和 (4'') 內的常数 αES 和 24α 以及其倒数，對於接触網所用的各种导綫列於表 6 中。

补偿接触导綫的張力数值採取：截面 100 平方公厘——

表 6

接触網所用的几种主要类型的导綫
的 αES 和 24α 值 及其倒数

导綫符号	24α	$\frac{1}{24\alpha}$	αES	$\frac{1}{\alpha ES}$
M-95	0.000408	2450	17.85	0.0560
M-120	0.000408	2450	22.54	0.0443
M-150	0.000408	2450	28.18	0.0355
A-120	0.000552	1811	14.78	0.0677
A-150	0.000552	1811	18.47	0.0541
A-185	0.000552	1811	22.79	0.0439
C-50	0.000233	3472	10.20	0.0980
C-70	0.000233	3472	14.28	0.0700

1000公斤和截面85平方公厘——850公斤。

为了解方程式 (4') 或 (4''), 也就是求相当於各种温度 t_x 时的 T_x , 必须知道載重繩在起始情况下的張力 $T_1 = T_{\max}$ 和接触導綫无弛度計算情况下的 T_0 ; 如果鏈形懸掛的輔助導綫或接触導綫未加补偿, 則还需知道導綫在起始情况和待求情况下的張力 K_1 和 K_x 。

載重繩的最大張力可能发生在接触懸掛導綫的最大附加載荷情况下 (当温度 $t = -5^\circ$ 时的最大冰风) 或在最小温度 $t = t_{\min}$ 的情况下。

为了决定上述两种情况中哪一种应当作为起始情况, 須要找出临界載荷 Q_k 並与計算中所採用的掛冰合成載荷相比較

鏈形懸掛的临界載荷系由下式决定

$$Q_k = -g \frac{qK_{z_{0A}}}{T_0} + \frac{Z_{z_{0A}}}{Z_{t_{\min}}} \sqrt{\frac{24cZ_{t_{\min}}^2 (t_{z_{0A}} - t_{\min})}{l^2} + w_{t_{\min}}^2}, \quad (5)$$

式中

$$Z_{z_{0A}} = T_{\max} + qK_{z_{0A}};$$

$$Z_{t_{\min}} = T_{\max} + qK_{t_{\min}};$$

$$w_{t_{\min}} = g \left[1 + \frac{qK_{t_{\min}}}{T_0} \right].$$

如果 $K = \text{常数}$, 則临界載荷由下式决定

$$Q_k = -\frac{gfK}{T_0} + \sqrt{\frac{24cZ_{t_{\max}}^2 (t_{z_{0A}} - t_{\min})}{l^2} + w_{t_{\min}}^2}, \quad (6')$$

式中

$$Z_{t_{\max}} = T_{\max} + qK;$$

$$w_{t_{\min}} = g \left[1 + \frac{qK}{T_0} \right].$$

因为在接触导线无弛度的计算情况下的载重绳张力 T_0 ，在计算阶段还不知道，故採用：如为铜载重绳—— $0.75T_{max}$ 和为鋼载重绳—— $0.8T_{max}$ 。

如计算所得的临界载荷 q_x 大于掛冰时的合成计算载荷，则应当取最小温度的情况作为起始情况。反之，取掛冰情况作为起始情况。

T_0 的精确数值由下列方程式决定

$$T_0^3 + AT_0^2 + BT_0 + C = 0, \quad (7)$$

式中

$$A = \alpha ES (t_0 - t_1) + \frac{\alpha_1^2 l^2 ES}{24(T_{max} + \varphi K_1)^2} - T_{max};$$

$$B = \frac{q_1 g \varphi K_1 l^2 ES}{12(T_{max} + \varphi K_1)^2};$$

$$C = \frac{g^2 l^2 ES}{24} \left[\frac{q_1^2 l^2}{(T_{max} + \varphi K_1)^2} - 1 \right].$$

在计算半补偿链形悬挂时，也可以利用方程式(4')求 T_0 。给出接近于期望值 T_0 的各种数值 $T_x = T_0$ ，並求出与其相应的数值 t_x ，利用插入法可以求出与计算中所取的 t_0 值相符合的 T_0 。

找出 T_0 的数值以后，可求出换算载荷 w 的精确值；然后通过任意间隔取各种 T_x 值代入方程式(4')，求出相应的 t_x 值並作曲线

$$T_x = f(t_x) \textcircled{1}.$$

在系定段的每个跨度内相应的载重绳弛度值 F_x 可由下式决定

$$F_x = \frac{w_x l^2}{8Z_x}. \quad (8)$$

① 譯者註：原文为 $T = f(t_x)$ ， T 应为 T_x 。

在計算帶未补偿的接触导綫的鏈形悬掛时，接触导綫的張力 K_x 系由下式决定

$$K_x = K_{\max} - \alpha_k E_k S_k (t_x - t_{\min}),$$

式中 K_{\max} ——接触导綫的最大容許張力（公斤）；

α_k ——接触导綫材料的綫膨脹溫度系数；

E_k ——接触导綫的彈性系数（公斤/平方公厘）；

S_k ——接触导綫的截面（平方公厘）。

当接触导綫張力的季节調整时，前式只給出冬季的張力值。接触导綫在夏季的張力值，系由下式决定

$$K_x = K_{\max} - \alpha_k E_k S_k (t_x - t'_{\min}),$$

式中 t'_{\min} ——在夏季此溫度下，接触导綫的張力調整达到最大容許值。

在計算帶未补偿的輔助导綫的双鏈形悬掛时，其張力系由以下列出的方程式（16）决定。

无載荷的載重繩的張力可由下式求得

$$t_x = \left[t_0 - \frac{g_0^2 l^2}{24\alpha T_0^2} + \frac{T_0}{\alpha E S} \right] + \frac{g_T^2 l^2}{24\alpha H_x^2} - \frac{H_x}{\alpha E S}, \textcircled{9}$$

式中 T_0 ——有載荷重繩在接触导綫无弛度計算情况的溫度下的張力；

H_x ——无載荷重繩在溫度 t_x 下的待求張力；

g_0 ——鏈形悬掛的自重載荷；

g_T ——載重繩的自重載荷。

通过一定的間隔，取不同的 H_x 值代入此方程式，可找出相应的 t_x 值，並作 $H_x = f(t_x)$ 的曲線。

系定段內各种跨度的无載荷重繩的弛度值由下式求出

① 譯者註：方程式右边的第四項，原文为 $\frac{g_T^2 l^2}{24\alpha H_x^2}$ ，譯者改为 $\frac{g_T^2 l^2}{24\alpha H_x^2}$ 。

$$F_{xT} = \frac{g_T l^2}{8H_x} \quad (10)$$

如果首先只掛一根接觸導線，而以後預定要掛第二根導線，則載重繩在有一根接觸導線並在其無弛度計算情況的溫度下的張力 T'_{01} ，由下式決定

$$T'_{01} \frac{g_{01}^2 l^2 ES}{24T_{01}^2} = T'_{02} - \frac{g_{02}^2 l^2 ES}{24T_{02}^2}, \quad (11)$$

式中 T'_{01} 和 T'_{02} ——載重繩在接觸導線的無弛度溫度下，具有一根接觸導線和兩根接觸導線時的張力；

g_{01} 和 g_{02} ——鐘形接觸懸掛在具有一根接觸導線和兩根接觸導線時的自重載荷

在求得 T'_{01} 的數值後，作為溫度 t_x 的函數的 T'_{x1} 值，可由以下的方程式決定：

$$t_x = \left[t_0 - \frac{g_{01}^2 l^2}{24\alpha T_{01}^2} + \frac{T'_{01}}{\alpha ES} \right] + \frac{g_{x1}^2 l^2}{24\alpha Z_{x1}^2} - \frac{T'_{x1}}{\alpha ES}, \quad (11')$$

g_{x1} 和 Z_{x1} ——鐘形懸掛在具有一根接觸導線時的換算載荷和張力。

系定段內各種跨度的且載荷為一根接觸導線的載重繩的弛度，由下式決定

$$F_{x1} = \frac{g_{x1} l^2}{8Z_{x1}}$$

6. 接觸導線的弛度計算和高度變化的計算

鐘形懸掛接觸導線的弛度 f_x 系由下式決定

$$f_x = q(F_x - F_0), \quad (12)$$

式中 F_x 和 F_0 ——在待求情況下和接觸導線無弛度計算情況的溫度下，該跨度內載重繩的弛度。

在单鏈形懸掛內，接觸導線在跨度中心的高度变化，可由下式決定

$$\Delta h_x = F'_x - F'_0 \quad (13)$$

接觸導線在距支柱最近的吊弦附近的高度变化由下式決定

$$\Delta h_{Ax} = (1 - \varphi)(F'_x - F'_0) \quad (14)$$

在双鏈形懸掛內，如考慮輔助導線弛度变化的影响，則上述数值由下式求出：

$$\Delta h_x = F_x - F_0 + \psi_x - \psi_0$$

和

$$\Delta h_{Ax} = (1 - \varphi)(F_x - F_0) + \psi_x - \psi_0,$$

式中 ψ_x 和 ψ_0 ——輔助導線在待求情況下和接觸導線在无弛度計算情況的溫度下的弛度。

求輔助導線的弛度用下式

$$\psi_x = \frac{P_x a}{2U_x}, \quad (15)$$

式中 a ——接觸導線吊弦中間的距离；

U_x ——輔助導線的張力；

P_x ——輔助導線上的集中負載，取其等於：

当单接觸導線時

$$P = g_k a + \frac{3}{4} g_a a + g_c;$$

当双接觸導線時

$$P = 2g_k a + \frac{3}{4} g_a a + g_c,$$

式中 g_k ——1 公尺接觸導線的重量；

g_a ——1 公尺輔助導線的重量；

g_c ——在輔助導線和接觸導線中間的 1 个吊弦的重量（包括綫夾重）。