
例题 2-1

【例 2-1】某 330kV 线路每相导线采用单根 LGJQ-600 型，三相导线水平排列，相间距离为 8m；或者采用由两根 LGJQ-300 型组成的分裂导线，分裂间距 400mm；或者采用紧凑型，每相由两根 LGJQ-300 型组成的分裂导线，分裂间距 400mm，相导线按倒等边三角形布置，相间距离 5.2m。试分别计算三种情况下的正(负)序阻抗和正(负)序电纳。(在导线型号中，L 表示铝，G 表示钢，J 表示绞线，Q 表示加强 LGJQ 表示加强型钢芯铝绞线。)

解：

一、原题有几处打印错误和叙述不清。

1、导线型号的规定如下：

导线型号通常由两个字组成。如 LGJ-240。其中第一字段为 LGJ，表示导线材料和特性。通常是汉语拼音的字头。第一个字母表示导线的载流材料。T 为铜；L 为铝；G 为钢；H 为合金。第二个字母表示导线的承重材料，总是 G，即钢；第三个字母表 J 示绞线；第四个字母（如果有第四个字母的话）J 表示加强型，Q 表示轻型，F 表示防腐蚀型，Y 表示压缩型（这种导线相同外径时，铝面积比普通型大出 20%）。

加强型是指导线的铝钢比比普通型的小，即铝的截面积与普通型相同而钢芯的截面积比普通型大，因而“加强”了导线的机械抗拉强度。通常用于两个杆塔跨距较大的情况。相反，轻型是指铝钢比较普通型的大；通常用于杆塔间距较小的情况。

2、第二字段的阿拉伯数字表示导线的“标称截面”，单位为平方毫米。

所以“LGJ-240”就是标称截面为 240 平方毫米的钢芯铝绞线。

3、题目中最后一行“Q 表示加强，LGJQ 表示加强型钢芯铝绞线。”应改为“Q 表示轻型，LGJQ 表示轻型钢芯铝绞线”。

4、题目中没有给出线路长度，因此，“计算”是指计算线路单位长度的电抗和电纳。

5、“标称截面”和“实际截面”两个词都是指载流截面，即铝导线的截面而不包括钢芯部分的截面。标称截面大于实际截面。

6、“计算半径 r ”是计算电抗和电纳时用到的导线半径，这个半径是所有细导线半径之和。所以不能用标称截面来计算“计算半径”。

二、以下开始计算。

(1) 计算每相电阻。LGJQ-600 型导线每相单位长度的电阻(环境温度 20℃)为

$$r_1 = \frac{\rho}{S} = \frac{31.5}{600} = 0.0525 \quad (\Omega/\text{km})$$

批注：这是第一种方案。

由导线型号可知导体载流材料为铝，标称截面为 600；由教材前述可知电阻率取 31.5。由于“标称截面”大于“实际截面”，所以电阻率 31.5 比实际电阻率大。经查，铝在零度时的实际电阻率为 $28.3 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 。按线性温度修正，20 度时铝的电阻率为：

$$\begin{aligned}\rho_t &= \rho_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \\ \rho_0 &= \rho_{20} (1 - 20\alpha) \\ \rho_{20} &= \frac{\rho_0}{1 - 20\alpha} = \frac{28.3}{1 - 0.0036 \times 20} = \frac{28.3}{0.928} = 30.495 < 31.5 \quad \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}\end{aligned}$$

标称截面仅用来计算电阻。

LGJQ-2×300 型导线每相单位长度的电阻(环境温度 20℃)为

$$r_1 = \frac{1}{2} \frac{\rho}{S} = \frac{31.5}{300 \times 2} = 0.0525 \quad (\Omega/\text{km})$$

批注：这是第二种方案。

由于采用了两分裂方案，但是导线的标称截面是 2 乘 300，依然为 600。可见“分裂”并不降低导线的电阻。第三种方案是“紧凑型”，导线是两分裂，其电阻与第二种方案相同。以上三种方案，电阻都是 0.0525。这是因为选择导线截面时遵守的原则是按经济电流密度选择导线截面，是最先确定的参数。

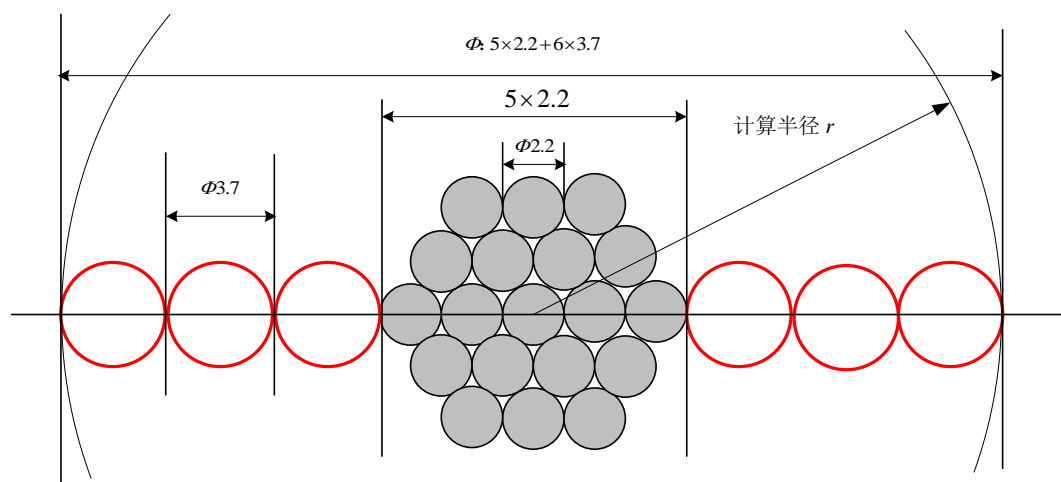
(2) 计算正(负)序电抗。由手册查得 LGJQ-600 型导线为由 19 根三层排列的线径为 2.2mm 的钢线和 54

根三层排列的线径为 3.7mm 的铝线扭绞而成，其计算半径为

$$r = \frac{1}{2}(2.2 \times 5 + 3.7 \times 6) = 16.6 \quad (\text{mm})$$

下边我们看上边“计算半径” $r = \frac{1}{2}(2.2 \times 5 + 3.7 \times 6) = 16.6 \quad (\text{mm})$ 的来头：

“由手册查得 LGJQ-600 型导线为由 19 根三层排列的线径为 2.2mm 的钢线和 54 根三层排列的线径为 3.7mm 的铝线扭绞而成”。即是如下图所示



可见，计算半径是所有单股导线半径之和。

这里计算的“计算半径”是用于计算电抗、电纳时的导体半径。“标称截面”只用于计算电阻。因此，在计算电抗、电纳时，并不由标称截面来计算导体的实际半径。即

$$r \neq \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{600}{\pi}} = 13.82 \quad (\text{mm})$$

而是 $r = 16.6 \quad (\text{mm})$ 。如果按此为实际几何半径，则可得实际几何面积为 $S_{\text{real}} = r_{\text{real}}^2 \times \pi = 16.6 \times 16.6 \times \pi = 865.7 > 600 \quad (\text{mm})$ 。显然这个面积包含了导线之间缝隙的面积。

$$\text{铝导线的截面积为: } S_L = 54 \times \left(\frac{3.7}{2}\right)^2 \pi = 580.613$$

可见小于标称截面 $S_N = 600$ 。

钢芯截面的面积为： $S_G = 19 \times \left(\frac{2.2}{2}\right)^2 \pi = 72.23$

导线的铝钢比为： $S_L/S_G = 580/72$

全截面的面积分别为： $S = S_L + S_G = 580.613 + 72.23 = 652.84 > S_N = 600$

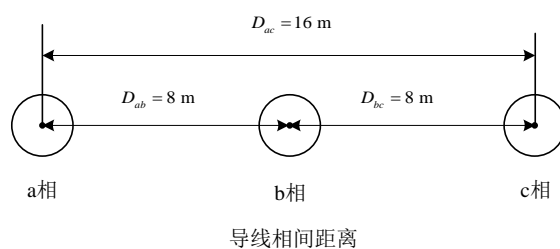
由于上述算法是导体面积相加，故不含各股之间的缝隙，相当于考虑了导线“绞”后细导体之间的缝隙减小。

如果按总导体半径为 16.6 计算导体面积，这个面积就包含了股间缝隙，则总导体面积 S_E 为： $S_E = 16.6^2 \pi = 865.70 > S_N = 600$

导线的几何均距为

$$D_m = \sqrt[3]{8 \times 8 \times (2 \times 8)} = 10.1 \quad (\text{m})$$

依题，三相导线为水平排列，则如图



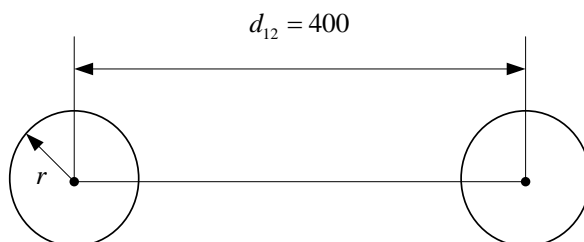
单位长度正(负)序电抗为

$$x_1 = 0.1445 \lg \frac{10.1}{0.81 \times 0.0166} = 0.415 \quad (\Omega / \text{km})$$

当采用 LGJQ-2×300 型分裂导线时，由手册查得其为二层排列的线径为 2.6mm 的钢导线和 54 根三层排列的线径为 2.65mm 的铝导线组成，故其计算半径为

$$r = \frac{1}{2} (2.6 \times 3 + 2.65 \times 6) = 11.85 \quad (\text{mm})$$

如图，分裂导线的分裂间距为 400mm。



分裂导线的等值半径为

$$r_{eq} = \sqrt[2]{rd_{12}^{2-1}} = \sqrt{11.85 \times 400} = 68.85 \quad (\text{mm})$$

可见，两分裂后的 $r_{eq} = 68.85 \text{ mm}$ 比不分裂时的 $r_{eq} = 16.6 \text{ mm}$ 大了很多。

分裂导线的单位长度正(负)序电抗为

$$x_1 = 0.1445 \lg \frac{10.1}{0.0689} + \frac{0.0157}{2} = 0.321 \quad (\Omega / \text{km})$$

可见，分裂导线由于等值半径增大，其电抗值减小。

注意取对数时，真数中的相间几何均距与导线等值半径必须采用同样的长度单位；另外

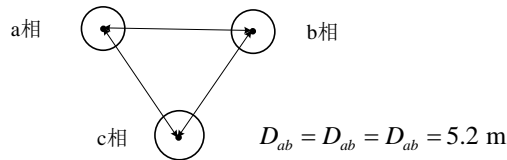
$$0.0157/2 = 7.85 \times 10^{-3} \quad (\Omega / \text{km})$$

可见内电感只占很小的份额，架空线路电抗的大小主要取决于导线的几何尺寸。

当采用 LGJQ-2×300 型分裂导线以及紧凑型时，导线的几何均距为

$$D_m = \sqrt[3]{5.2 \times 5.2 \times 5.2} = 5.2 \quad (\text{m})$$

如图，导线是按倒等边三角形排列的



导线相间距离

紧凑型输电线路单位长度正(负)序电抗为

$$x_1 = 0.1445 \lg \frac{5.2}{0.0689} + \frac{0.0157}{2} = 0.279 \quad (\Omega / \text{km})$$

可见，紧凑型输电线路在分裂导线的基础上，由于导线间的几何均距减小，其电抗值进一步减小。

注意，紧凑型线路的电抗值所以小，原因是缩小了线路的几何均距和采用分裂导线增加了导线的等值半径！缩小导线的相间距离实际上是“吃”了“安全带距离”的裕度。为防止导线“风偏”，紧凑型输电线的相间有时还需额外增加

“隔离棒”。因此，紧凑型输电线的造价高于普通架空线。

(3) 计算正(负)序电纳。对于 LGJQ-600 型导线

$$b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_m}{r}} \times 10^{-6} = \frac{7.58}{\lg \frac{10.1}{0.0166}} \times 10^{-6} = 2.72 \times 10^{-6} \quad (\text{S/km})$$

对于 LGJQ-2×300 型分裂导线

$$b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_m}{r_{eq}}} \times 10^{-6} = \frac{7.58}{\lg \frac{10.1}{0.0689}} \times 10^{-6} = 3.50 \times 10^{-6} \quad (\text{S/km})$$

可见，分裂导线使线路电纳增大。

对于紧凑型输电线路

$$b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_m}{r_{eq}}} \times 10^{-6} = \frac{7.58}{\lg \frac{5.2}{0.0689}} \times 10^{-6} = 4.03 \times 10^{-6} \quad (\text{S/km})$$

可见，紧凑型输电线路的电纳较之分裂导线进一步增大。

三种方案的电感为：普通：0.415，分裂：0.321；紧凑：0.279。

电阻与电感之比分别为：普通： $r/x = 0.0525/0.415 = 0.127$ ；分裂： $r/x = 0.0525/0.321 = 0.164$ ；紧凑型： $r/x = 0.0525/0.279 = 0.188$ 。相对于电感值，电阻值小得多！因此，对于高压架空输电线路，通常可以认为 r/x “很小”。这是一个很重要的概念！低压线路中，由于相间距离比高压线路小， r/x 有可能接近于 1，视具体线路而定。

分裂导线的电抗比普通型线路减小： $(0.415 - 0.321)/0.415 = 22.65\%$

紧凑型线路的电抗比普通型线路减小： $(0.415 - 0.279)/0.415 = 48.7\%$

由输电线路的静态输送极限 $P_{\max} = U^2/X$ 可知，相对普通线路，上述分裂导线和紧凑型输电线将分别提升静态输送极限 22.65% 和 48.7%。

第二章第一次的作业题

题 2-7 一回 500kV 输电线，每相用 4 根分裂导线组成，每根导线的半径为 27.2mm，分裂间距 d 为 100mm，相间距 D 为 12m。求此线路每公里的电抗和电纳。

