

文章编号:1000-582X(2003)06-0060-03

500kV 同塔双回线路导线排列方式对电气特性的影响*

陈国庆,张志劲,孙才新,司马文霞,廖瑞金

(重庆大学 高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆 400044)

摘要:同塔双回 500 kV 线路的导线排列方式影响其电晕损失、无线电干扰等,论文以川渝电网某 500 kV 同塔双回线路的典型杆塔为例,利用 EMTP 程序进行仿真计算,从优化导线排列的角度出发,对其电气特性进行了深入研究,得到该线路的无线电干扰水平约 37~40 dB,同等条件下导线采用逆相序排列方式,地面场强最小,且不会超过 6 kV/m,线路间不平衡度为次好,地线感应电压和电流最小,综合效果来看,导线逆相序排列为同塔双回线路的最优化排列。

关键词:同杆双回;导线排列;电气特性

中图分类号:TM726

文献标识码:A

为了减少 500 kV 输电走廊占地,采用同杆架设双回输电线路已成为 500 kV 主干网架的发展趋势,目前国内外研究^[1-4]大都只针对某一实际电路、实际的排列方式来分析电场强度、无线电干扰、感应电压等中的一个或几个因子的情况。而导线、地线在杆塔上布置不同,导线的表面场强、地面场强也不同,导线排列方式的优选对正确估算无线电干扰和电晕损失,对降低导线对地距离、缓解电磁污染程度影响很大。因此从优化导线排列的角度出发,利用 EMTP 程序^[5]进行仿真计算,对其电气特性进行了全面深入研究具有重要意义。

1 不同导线排列方式对导线表面电气特性的影响

1.1 计算参数

现以川渝电网某 500 kV 同塔双回交流输电线路的典型杆塔(鼓形,见图 1)导线布型为例进行系统研究,导线型号为 LGJ-400/35,4 分裂,分裂间距为 450 mm,地线型号 GJ-70。

1.2 无线电干扰的计算

实际工程中架空线路的无线电干扰计算方法是采用 CISPR 推荐的经验法,其计算结果代表了好天气下 0.5 MHz 无线电干扰的平均值。三相单回路送电线路的无线电干扰场强的计算公式为^[6]:

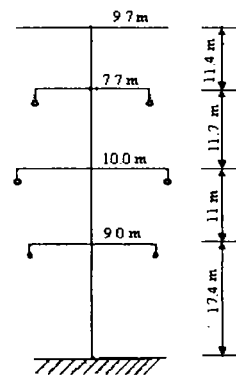


图 1 川渝电网某 500 kV 同塔双回线路杆塔

$$E_i = 3.5g_{\max i} + r_i - 33 \lg \frac{D_i}{20} - 30 \quad (1)$$

式中, E_i 为距第 i 相导线直接距离 D_i 处的无线电干扰场强,dB; $g_{\max i}$ 为第相导线最大表面电位梯度,kV/m; D_i 为第 i 相导线到参考点处的直接距离,m; r_i 为第相导线子导线半径(对分裂导线),cm;

三相导线的无线电干扰场强按下式方法计算:如果某一相的场强比其余两相至少大 3 dB,那么后者可以忽略,三相线路的无线电干扰场强可认为等于最大一相的场强,否则:

$$E = \frac{E_a + E_b}{2} + 1.5 \quad (2)$$

式中, E_a 、 E_b 为两相比较大的场强值。

* 收稿日期:2003-02-15

作者简介:陈国庆(1965-),男,湖北荆洲,重庆大学博士研究生,三峡水力发电厂副总工程师,主要从事电力系统过电压与绝缘配合、水电厂综合自动化和管理工作。

对于双回同塔线路,6根导线中每根导线产生的无线电干扰场强可按式(1)进行计算,并将同名相导线产生的场强几何相加,即

$$E_i = 20 \lg \left(\sqrt{(10^{\frac{E'_i}{20}})^2 + (10^{\frac{E''_i}{20}})^2} \right) \quad (3)$$

式中, E'_i 为第一回的第 i 相导线在参考点的无线电干扰场强; E''_i 为第二回的第 i 相导线在参考点的无线电干扰场强; E_i 为两回的第 i 相导线在参考点的无线电干扰合成场强;

然后按式(2)计算得出双回同塔线路的无线电干扰场强,计算结果见表1,可以看出各种导线排列方式的计算结果均低于规程^[7]规定的0.5 MHz下500 kV输电线路无限电干扰的限值55 dB。

1.3 导线表面电场强度、电晕损失的计算

导线表面电场强度是输电线电晕损失、无线电干扰的决定因素。一般情况为了降低输电线电晕损失,导线表面最大电场强度与导线起始电晕场强的比值应小于0.9。由于相分裂子导线同极性电荷的作用,使沿子导线表面的电荷和电场强度的分布都不均匀, n 根相分裂子导线中每根子导线上的表面电场强度可按下式计算^[8]:

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0 r_0} \left[q_n - 2 \sum_{k=1}^{n-1} q_k \left(\frac{r_0}{d_{nk}} \right) \cos(\varphi - \varphi_k) \right] \quad (4)$$

式中, φ 为从某方向算起的场强向量 E 的角度; φ_k 为 E 的起始方向与被研究的第 n 根子导线轴线和产生影响的第 k 根子导线轴线的连线之间的角度。其中, $q_k = C_k U$ (C_k 为第 k 根子导线电容, U 为第 k 根子导线上的额定电压。)

导线的起始电晕场强可用Peek方程^[9]进行计算,即

$$E_0 = 30.3m\delta \left(1 + \frac{0.298}{\sqrt{r\delta}} \right) \quad (5)$$

式中, m 为导线表面粗糙系数; r 为导线半径; δ 为空气的相对密度。

通过计算可得导线(LGJ-400/35)在海拔500 m的起始电晕场强 E_0 为29 kV/cm。各种导线布型下的导线表面最大场强结果如表1所示,均低于规程规定值20 kV/m,并且导线为顺相序或逆相序排列时,导线表面最大场强为最小。

表1 不同排列方式下的无线电干扰、导线表面场强计算结果

导线布型	AA'	AB'	AA'	AB'	AC'
	BB'	BA'	BC'	BC'	BB'
	CC'	CC'	CB'	CA'	CA'
无线电干扰/dB	37.6	37.3	39.4	38.3	39.2
$E_{max}/(kV/cm)$	16.1	16.2	16.5	16.2	16.1

1.4 地面电场强度的计算

拆迁房屋线路走廊宽度,是由输电线路对长期居住的人的静电场和电磁场影响限制的。我国根据国内研究成果及借鉴国外经验,认为地面静电场强度大于4 kV/m不宜长期居住,输电线两边地面电场强度为4 kV/m的边缘定为拆迁房屋的宽度。输电线路下的电场强度主要决定于线路输送电压的等级、导线对地的距离、相导线的布置、相序排列方式、相导线的分裂根数以及导线的截面等。输电线路的地面场强计算一般用等效电荷法。在图1中计算出了各种导线排列方式下的地面场强,可以确定除逆相序排列下拆迁房屋走廊宽度为2 m × 17 m以外,其它排列方式均为2 m × 18 m。

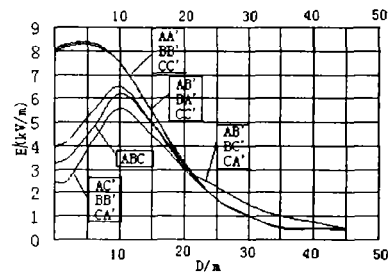


图1 同塔双回线路地面场强

2 不同导线排列方式及换位方式对输电线路不平衡度的影响

输电线路的各相导线,由于对地距离不等使其各相对地导纳不一致;另外由于各相对地线和相互间位置不对称,也使相互产生的互感电势不一致。特别是同塔双回线路这些不一致更大,加上相序布置的影响,如排列不当还要增大这个差别,反之排列得当还可以降低这些不一致带来的影响。表3列出了同塔双回线路序电压和序电流不平衡度的计算结果。

表2 电压、电流不平衡度计算结果 %

电压、电流不平衡度	导线布型				
	AA'	AB'	AA'	AB'	AC'
	BB'	BA'	BC'	BC'	BB'
纵向零序电压	1.038	0.586	0.406	0.478	0.933
纵向零序电流	4.691	4.164	0.500	2.203	3.522
纵向负序电压	15.176	10.121	11.80	0.799	4.160
纵向负序电流	12.081	7.570	9.598	1.184	4.050
回路零序电压	0.0	4.257	2.881	3.584	1.325
回路零序电流	0.0	4.136	3.255	3.650	0.887
回路负序电压	0.0	9.292	8.468	8.492	0.854
回路负序电流	0.0	7.901	6.888	7.195	1.059

从表2可见,双回线路间的不平衡以顺相序最好,其次好为逆相序排列。但顺相序排列的纵向不平衡度最差,最好的是第4种排列方式,而逆相序也属次好。

3 不同的导线排列方式下地线的感应电压和电流

利用EMTP程序进行计算,结果如表3所示,可见地线不接地时将感应数10 kV的电压,一般为了降低地线能量损失,将地线分段绝缘,一点接地。同时为了降低磁感应在耐张段两端的电压以保证运行安全,宜在耐张段中点接地,当耐张段长度为8 km时,1 kA相电流在逆相序排列中感应电压最大为76.3 V,为同杆双回路各种排列的最低值,能基本保证维护地线的安全。

表3 地线感应电压和电流

导线布型	A A'	AB'	AA'	AB'	AC'
	BB'	BA'	BC'	BC'	BB'
	CC'	CC'	CB'	CA'	CA'
地线静电感应电压/kV	94.8	69.0	92.5	55.2	40.6
地线静电感应电流/A	169.54	126.57	165.55	104.15	81.06
1 kA相电流感应电压/V	111.8	111.2	106.5	88.5	76.3
停电回路磁感应电流/A	88.11	15.30	88.11	66.31	66.31

4 同杆双回线路带电回路对不带电回路的影响

500 kV同杆双回交流输电线路一回停电时,由静电和电磁感应到停电检修回线路的高电压将危及检修人员的安全。作者利用EMTP程序计算了各种排列同杆双回线路感应的静电电压,得到上层横担最大为31.433 kV,中层导线最低为7.936 kV,下层横担居中为10.928 kV。无论哪一层不带电回线路感应电压均太高,因此检修时必须接地。

Influence of Arrangement Manner of Lead to the Electric Characteristic for 500kV Double Circuit Transmission Line

CHEN Guo-qing, ZHANG Zhi-jin, SUN Cai-xin, SIMA Wen-xia, LIAO Rui-jin

(The Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The lead arrangement manner of 500 kV double circuit transmission line will affect corona loss, wireless disturbance and so on. Based on typical tower of 500 kV double circuit transmission line from Chuanyu power network, EMTP is used to analyze the influence of arrangement manner of lead to the electric characteristic for optimizing the arrangement of lead. The level of wireless disturbance is in 37 ~ 40 dB. Field strength of ground is the least when the lead arrangement is in inverse order, and the unbalance between two lines is better. The induced voltage and current is the least in the same situation. The lead arrangement in inverse order is the optimization arrangement.

Key words: double circuit; arrangement manner of lead; electric characteristic

(编辑 陈移峰)

5 结论

笔者以川渝电网某500 kV同杆双回交流输电线路的典型导线布型为例,通过就导线排列方式对电气特性影响的深入研究,得到以下结论:同等条件下,采用逆相序排列方式时该线路的地面场强最小,且不会超过6 kV/m;双回线路间的不平衡以顺相序最好,其次好为逆相序排列,但顺相序排列的纵向不平衡度最差,而逆相序也属次好;不同的导线排列方式下地线的感应电压和电流属逆相序最低;无论导线采用何种排列方式,在检修回路上会出现高达数十千伏的感应电压,因此检修时必须接地;从综合的效果来说逆相序排列为同杆双回线路的最优化排列方式。

参考文献:

- [1] 韦钢. 同杆并架多回线下方的电场强度和感应电压[J]. 中国电力, 1999, 32(3): 37-40.
- [2] 胡毅, 聂定珍. 500 kV同杆双回线路感应电压的计算及安全作业方式[J]. 中国电力, 2000, 33(6): 45-47.
- [3] 陈亚伦, 伊敏—冯屯. 500 kV同杆双回线路不平衡度、感应电流及潜供电流研究[J]. 电网技术, 1995, 19(6): 13-17.
- [4] 胡毅, 张俊兰. 500 kV同杆双回线路塔上作业人员体表面场强的测量和研究[J]. 高电压技术, 1998, 24(4): 33-35.
- [5] H. W. Dommel. 电力系统电磁暂态计算理论[M]. 李永庄, 林集明译. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [6] CAN3-C108.3-M84, Limits and measurement methods of electro magnetic noise AC power system. 0.15 ~ 30MHz [S].
- [7] GB15707-1995, 高压交流架空送电线路无线电干扰限制值[S].
- [8] 阿列克山德洛夫. 超高压设备及其周围环境保护[M]. 顾乐观, 孙才新译. 重庆: 重庆大学出版社, 1996.
- [9] 朱德恒, 严璋. 高电压绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.