

输电线路相间间隔棒的设计探讨

袁造怀

胜利油田电力分公司 山东 东营 257000

摘要：本文通过对导线舞动产生危害的阐述，结合相间间隔棒的原理、结构及特点，提出了相间间隔棒在输电线路安装的必要性，同时针对相间间隔棒的安装距离以及对导线弧垂的影响做了相关的讨论。

关键词：相间间隔棒；舞动；输电线路

1 概述

大范围、长时间的舞动将导致导线发生风偏、覆冰舞动、脱冰跳跃、弧垂增大等现象，进而引起相间、相对距离的变化，从而导致线路发生故障跳闸。导线疲劳断裂，绝缘子掉串，抗振锤滑动，铁塔螺栓松动，杆塔主要材料弯曲脱落，甚至会出现倒塔情况的发生。

在全球变暖的背景下，极端恶劣天气和异常天气呈上升趋势。但随着我国电力系统的快速发展，输电系统截面大、分裂数多、跨线高，以及多回、多塔多回输电线路日益增多，这种趋势非常有利于导线的舞动，因此必须高度重视防止导线舞动的发生，在重点部位及易舞区增设防舞设施，以增加输电线路的安全性、可靠性。

2 相间间隔棒

2.1 相间间隔棒原理

相间间隔棒是一种用来维持导线间距和抑制舞动的设备，它能有效地抑制两相间的舞动，从而抑制舞动，同时保证导线间的气隙在允许的范围之内。

2.2 相间间隔棒结构

该双相间隔棒是一种具有相同材质的复合绝缘子，用玻纤环氧树脂芯棒以及硅橡胶伞裙组成的双相间隔棒。它具有重量轻、抗拉强度大、柔韧度高、绝缘性能优越等特点，是目前防舞装置中防舞效果较好的一种。

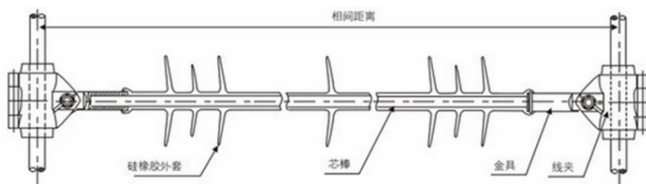


图1 相间间隔棒的结构图

2.3 相间间隔棒特点

相间间隔棒是一种常用的防舞设备，既可用于单导线，又可用于分裂导线，是一种用于两相导线间的隔离棒，既有绝缘性，又有机械强度。相间隔离棒具有类似于绝缘子的特性，它将不同相导体串联在一起，使得每根导体的移动互相限制，达到防止舞动的目的。

相间间隔棒具有抗拉强度高、重量轻、柔韧性和抗撞击性好的特点，相间间隔棒既可以抑制线路舞动，又可以防止覆冰掉落和导线弧垂增大等原因引起的相间间隔。相导线垂直布置的同塔多回线路最适宜采用相间隔离杆，现已广泛应用于220kV及以下输电线路中，目前也已在500kV紧凑型输电线路中广泛使用。

3 输电线路断线的原因分析

导线断线主要由铝股疲劳断裂引起，断线前仅有全部钢芯及少量铝股承担导线拉力和负载电流，不能满足抗风载荷和负载电流的要求，在张力与高温的共同作用下最终发生断线。目前，人们普遍认为微振动下动弯曲应变超标是导致疲劳失效的主要原因。防舞治理要综合考虑线路的抗风振性能，避免因防舞措施导致导线在微风振动下的动弯应变超标，造成疲劳断股和破坏。同时，应加强对防舞效果的观察，加强防舞设备的保养。通过对断裂原因的综合分析，得出了小振动下动弯曲应变超标的结论。造成这种现象的主要原因是静（动）弯应力超标。微风振动疲劳机理已被证实：微风振动会在导线间、导线与线夹间产生微幅滑移及交变应力，引起微风振动磨损，进而诱发疲劳裂纹萌生与扩展，导致导线损伤，降低其使用寿命。在接近在线夹接触区时，由于导线自身质量和线夹夹持力的影响，导线弯曲度最大，产生微动磨损。同时，钢丝在微动磨损点内产生微动疲劳裂纹，使钢丝产生微动疲劳裂纹，最终导致钢丝绳的断裂和失效。断线事故中的间隔杆线夹和导线之间可能存在微动疲劳，但这条线路存在两个疑点：第一，该线路运行年限不足一年，其微风振动疲劳损伤程度不足以导致线路断裂；二是在微风振动疲劳失效过程中，断股位置具有随机性，但在静态（动态）弯应力超过极限情况下，断股首先出现在最外层，也就是最小弯曲半径的铝股首先断裂。根据这次断线事故及以往的导线损坏情况来看，一般都是导线外层铝股首先断裂。断线事故也是由于相间间隔棒设计不当所致。由于缺少相应的现场实测资料，不能对事故情况下导线的静（动）弯应力进行严格计算，仅能计算出该导线所能承受的最大静态（动态）弯应力和弯曲半径的取值。当导线弯曲时，导线的弯曲半径较小，会在导线上产生初始裂纹，再经多次反复弯曲而产生疲劳破坏。当导线受到的静（动）弯应力大于正截面时，导线初始裂纹的力学条件是：导线初始裂纹的力学条件。此外，线夹中原有的胶垫丢失，也加快了导线的损耗。如果使用橡胶垫，虽然可以起到一定的缓冲作用，但是并不能从根本上解决断股问题。同时，配合螺栓松动也是导致断股的又一诱因。长时间的交变动载荷作用下，相间间隔杆线夹的螺栓松动在所难免。需补充说明的是：实际运行中，相间间隔条及导线上的受力情况比预想的要复杂得多。例如，在导线架设过程中，经常存在相间误差，若未设置相间间隔杆，则相导线按悬链受力方式独立悬挂于各杆塔横担上，各相导线间无机械连接。

4 安装要求

4.1 安装距离

为最大程度的抑制舞动，一般情况下，在小档距内安装2个相间间隔棒，在较大档距内安装4个相间间隔棒。相间间隔

棒的布置应遵循以下原则:

(1) 在导线摆动过程中,要尽可能地避免波节处的变化;

(2) 相间间隔棒应该尽可能地设置在舞动频发波的波腹位置或其周围;

(3) 扩大上一中相间和中一下相间的相间间隔棒的安装距离,即不将上下2只相间间隔棒安装在一条直线上。

输电线路设计中安装相间间隔棒的距离,各个地区的要求各有不同,可根据《国家电网公司新建输电线路防舞动设计要求》220kV及以下电压等级输电线路相间间隔棒布置方法进行安装。

4.2 安装示意图

根据《国家电网公司新建输电线路防舞动设计要求》中相间间隔棒的安装距离,做出2只和4只相间间隔棒的布置方式,见图2、图3。

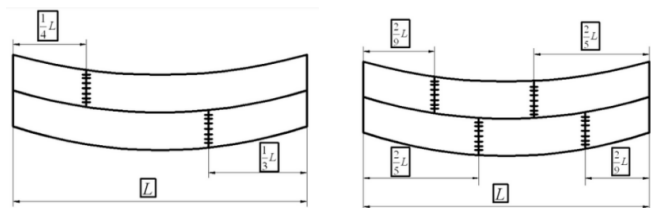


图2 2只相间间隔棒的布置方式 图3 4只相间间隔棒的布置方式

5 对导线弧垂影响的探讨[2]

在配设相间隔离杆后,因其自身重量和覆冰后重量的增大,使其垂度和拉力增大。在具体工程设计中,应该校验弧垂及张力增大后,是否满足工程及相关规范要求,如导线的交叉跨越距离、导线允许使用应力上限等。现国内对加装相间间隔棒对导线弧垂及应力的影响并没有相关的计算公式及详细研究,本文暂先根据相关资料对导线弧垂的影响做进一步的探讨。

导线悬挂形状可认为是“悬链线”,为方便计算导线弧垂,将“悬链线”公式简化为斜抛物线公式,具体示意图见图5,公式如下:

$$f_x = \frac{rx^2}{2\sigma_0 \cos \beta}$$

式中 r -导线比载(即单位长度单位面积上的荷载), $N/m \cdot mm^2$

σ_0 -导线各点的水平应力(亦即最低点之应力), N/mm^2

β -高差角

f_x -导线弧垂, m

导线加上集中荷载后,具体示意图见图6,加装相间间隔杆后,由于导线本身重量大,覆冰后重量增大,会使导线的垂度、张力增加,其任一点弧垂满足如下公式:

$$f_x = \frac{Q_{Ax} - M_x}{\sigma_0}$$

式中 $-x$ 长度内(c 点左侧)各荷载对 c 点的弯矩;

-档内荷载作用于悬点处 A 处,相当于简支梁的一个支点剪力;

经过简化计算,导线上增加集中荷载后,线路上任一点弧垂增量为:

$$\text{当 } 0 \leq x \leq a_1 \text{ 时, } f_x^z = \frac{x \sum_{i=1}^n q_i b_i}{\sigma_0 l};$$

$$\text{当 } a_i \leq x \leq a_{i+1} \text{ 时, } f_x^z = \frac{x \sum_{i=1}^n q_i b_i - l \sum_{i=1}^i q_i (x - a_i)}{\sigma_0 l}$$

$$\text{当 } a_n \leq x \leq l \text{ 时, } f_x^z = \frac{\sum_{i=1}^n q_i a_i (l - x)}{\sigma_0 l}$$

为了粗略计算出导线的弧垂增大值,定义导线两侧的悬挂点等高,取 $x = a_i = l/2$,即导线最低点的弧垂增值计算,公式可简化为:

$$f_x^z = \frac{x \sum_{i=1}^n q_i b_i}{\sigma_0 l} = \frac{l}{2} \times \frac{l}{2} \sum_{i=1}^n q_i = \frac{l \sum_{i=1}^n q_i}{4\sigma_0}$$

取1条110kV输电线路,导线采用LGJ-240/40,档距按照250m,安装2只相间间隔棒,每个相间间隔棒暂按照3kg考虑,计算得出:

$$f_x^z = \frac{250 \times 2 \times 3 \times 9.8}{114.06 \times 277.75} = 0.41m$$

6 结论

(1) 伴随着电网建设的发展,导线呈现出截面大、分裂数多、架线高,同塔双回、多回输电线路的架设等利于舞动的特点,必须高度重视防止导线舞动的发生。

(2) 国内缺少对输电线路连续档内加装相间间隔棒对导线弧垂及应力影响计算的相关标准规范及公式,所以在加装相间间隔棒的输电线路设计中,针对跨越构筑物时,在满足规范要求的安全距离的前提下,应适当的提高线路铁塔的呼称高。

(3) 输电线路设计中安装相间间隔棒的距离,各个地区的要求各有不同,设计部门应与运行维护方紧密结合,通过实验以及现场运行经验,最终确定合适的安装距离和数量。

参考文献

- [1] 陈忠源,崔亚茹,唐苑雯等.输电线路舞动原因与应对措施分析[J].电子技术,2023,52(07):382-383.
- [2] 方萌,文中,姜岚等.考虑集中荷载影响的超高压孤立档相间间隔棒长度计算方法[J].南方电网技术,2022,16(05):97-104.
- [3] 李善金,牛俊友,杨炎.相间间隔棒对导线弧垂的影响计算[J].河南科学,2012,30(04):481-483.
- [4] 韩金泽,高喜,张榕培等.可带电安装10kV线路相间间隔棒的研制[J].机械研究与应用,2023,36(04):115-117.
- [5] 陈刚,胡健,和善聪.500kV紧凑型线路相间间隔棒联接方式优化[J].电子测试,2022,36(14):88-90.