

架空输电线舞动现象及其抑制方法研究

赵航 王宗实

沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要] 架空输电线路在受到风荷载的作用时, 较易出现导线舞动这一现象。导线舞动有可能引发导线以及塔杆遭受损伤、线路出现闪络情况、发生跳闸现象以及变电站失去电压等问题, 进而对电力系统的稳定运行造成影响。文中全面深入地剖析了输电线路舞动的内在机理以及主要的影响因素。还对多种抑制导线舞动的方法展开了探讨, 像导线结构的优化处理、设置阻尼装置、改进塔杆的设计方案以及开展智能化监测并实施主动控制等等, 以此为架空输电线路防止导线舞动提供相应的理论依据以及实践方面的指导。

[关键词] 架空输电线路; 导线舞动; 抑制措施

DOI: 10.33142/aem.v7i8.17771

中图分类号: TM75

文献标识码: A

Research on the Dancing Phenomenon of Overhead Transmission Lines and Its Suppression Methods

ZHAO Hang, WANG Zongshi

Shenyang Electric Power Survey & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: Overhead transmission lines are prone to conductor dancing when subjected to wind loads. The dancing of wires may cause damage to wires and towers, flashover of lines, tripping, and loss of voltage in substations, thereby affecting the stable operation of the power system. The article comprehensively and deeply analyzes the internal mechanism and main influencing factors of transmission line dancing. Various methods for suppressing conductor dancing were also explored, such as optimizing conductor structures, installing damping devices, improving tower design schemes, and implementing intelligent monitoring and active control, which provides theoretical basis and practical guidance for preventing conductor dancing in overhead transmission lines.

Keywords: overhead transmission lines; wire dancing; suppression measures

引言

架空输电线路属于电力系统里极为重要的一部分, 它的安全且稳定地运行对于确保社会能够正常用电有着不容忽视的意义。不过, 在风力的影响之下, 导线是较容易出现那种低频而且振幅还很大的舞动情况的, 如此一来便会造成机械结构遭受损伤以及出现电气方面的故障, 甚至还可能致使线路停止运行。随着用电负荷一直在不断地增长, 电网在运行过程中所面临的压力也越来越大, 所以舞动这一问题也就变得日益凸显出来了, 迫切需要对它的发生机制以及各种影响因素展开系统的分析。本文针对导线舞动的机理、各类影响因素、危害的具体特征以及抑制的策略等方面展开相关的研究, 希望能够为提升架空输电线路的安全性及稳定性给予一定的参考依据。

1 输电线路导线舞动原理

输电线路导线舞动不同于一般的振动现象, 而是受到风速的影响发生一种运动轨迹的变化, 其具有低频率、大振幅等特点。舞动故障出现与风速、风向、输电线路自身结构等有关系。架空输电线路通常处于静载负荷状态, 而舞动故障发生的时候形成动荷载, 对塔杆挂线等都有影响, 从而对线路造成损坏。其次, 塔杆建设中, 线路舞动下转

角角度与设计存在较大出入, 横担方向承载力远大于塔杆所能承受的范围, 这样就会造成塔杆失去平衡或损坏。从目前来看输电线路舞动所造成的跳闸、停运、变电站失压等问题都是我们会面临的考验, 这不仅影响人们的正常用电, 还会对社会经济产生一定影响。当电厂发电机组停运, 给整个电力系统所造成的威胁都是极大的。导线舞动幅度较大的时候常出现一种故障就是线路闪络, 当线路出现闪络放电的时候, 就会造成后续的频率故障。另外, 导线在舞动的过程中, 顺着线路的方向会出现窜动, 容易对线路上的绝缘子串及金属等造成损坏, 从而出现滑动摩擦等问题。于是, 在用电负荷持续增长且电网运行压力不断变大的情形下, 电力企业需要十分看重输电线路舞动现象的相关研究以及防治方面的工作。

2 输电线路舞动的主要影响因素

2.1 风速与风向因素

风速以及风向可以说是引发导线舞动的最为直接的外部要素。当风速处在某一特定的临界范围内时, 导线出现舞动的情況最为容易, 这个范围往往和导线本身的固有频率相互契合, 进而产生气动共振的效果。风速过低的时候, 并没有足够的力量去激发导线产生舞动, 而风速过高

的时候,又会因为气动稳定的作用把舞动给抑制住,所以在中等风速的区间当中,舞动的现象是最为常见的。除此之外,风向也起到十分重要的作用,要是风向和导线的走向呈现出垂直的状态或者存在一定的夹角,那么导线受力的不均衡程度就会增加,更容易出现横向的摆动情况。尤其是在山区或者河谷等那种地形比较复杂的区域,风向往往会受到地形导流效应的影响而变得紊乱不堪,如此一来便会让舞动现象变得更加严重。从这一点来看,风速和风向之间的匹配关系是舞动能够发生的极为重要的条件,对其规律展开研究对于预测舞动以及制定相应的防治措施都有着不容忽视的重要意义。

2.2 输电线路自身结构因素

导线具备的物理特性以及所涉及的结构参数,实际上在很大程度上决定了舞动这一现象的发生以及后续的发展走向。就导线而言,其直径的大小、自身的重量情况、张力所处的水平状态,还有具体的悬挂方式等等这些方面,均会对舞动的临界条件以及运动呈现出的特性起到一定的影响作用。比如说,当导线变得更为粗一些,其重量也随之增大之时,那么它的固有频率就会相应地降低下来,在特定的风速状况之下,就更易于与风致振动产生所谓的共振效应,进而促使舞动得以被触发。张力水平的情况是直接对导线的刚度以及振动所具有的特性产生影响的。要是张力处于过低的状态,那么导线便容易出现幅度比较大的摆动情况;而倘若张力过高的情况下,则会使得线路的应力出现集中的态势,最终致使出现疲劳损伤的状况。除此之外,分裂导线在结构上的布置方式,对于舞动所呈现出来的特性同样有着颇为显著的影响作用。假如子导线之间的间距设置得并不合理,那么气动干扰效应便会进一步加剧舞动所存在的风险。所以说,在开展线路设计工作的阶段当中,合理地去选择导线的具体类型以及相应的参数配置情况,这无疑是在减少舞动发生方面极为关键的一个环节。

3 输电线路舞动的危害分析

3.1 导线与塔杆损伤

输电线路舞动产生的最直接危害是给导线以及塔杆结构带来损伤。舞动使得导线在空间里呈现出大幅度的摆动状态,如此一来,导线与支撑结构之间的摩擦力还有冲击力都会相应地增加起来,在经过长时间的作用之后,很容易引发导线出现局部磨损的情况,还可能致使金属产生疲劳乃至断裂的现象。与此塔杆作为导线的承力支撑,其设计承载能力通常是依据静载荷条件来确定的,然而舞动所产生的动荷载往往超出设计预期。当导线摆动幅度增大的时候,塔杆所受到的弯矩、剪力以及扭矩都会发生异常的变化,塔杆的局部应力集中情况也会明显增加,这有可能导致螺栓出现松动的情况,横担发生变形,甚至让塔杆整体陷入失稳的状态。尤其是在双回路或者多回路线路当

中,相邻导线之间相互碰撞以及舞动引发的局部共振现象,会进一步加剧对塔杆的冲击效应。从这里就可以看出,舞动不但威胁着导线自身机械完整性的保持,而且直接关乎支撑结构的安全性问题,若长期累积下去,就可能会造成线路整体出现失效的情况,进而对电力系统的可靠性产生影响。

3.2 跳闸、停运及变电站失压问题

舞动这一现象出现之时,极有可能致使电力系统的运行出现故障,其主要呈现出诸如线路跳闸、被迫停运以及变电站出现失压等一系列问题。导线在舞动的过程当中,会出现相间或者相对地电气距离有所减小的瞬时情况,如此一来便增加了线路产生闪络或者短路的风险。一旦舞动的幅度超过了安全所允许的间距,那么线路的自动保护装置便会启动跳闸功能,以此来防止出现更为严重的电气事故。这样的跳闸虽说在某种程度上对线路起到了保护作用,然而要是频繁发生的话,就会导致供电出现中断的情况,进而给工业领域、商业范畴以及民生方面的用电都带来直接的影响。除此之外,由舞动引发的线路停运还将会使得区域电网的负荷变得不均衡,进而引发变电站出现电压波动甚至失压的状况,最终影响到整个供电系统的稳定运行状态。尤其是在高压以及特高压输电线路当中,舞动所导致的停运或者跳闸很可能会形成连锁反应,使得大范围的电网都受到波及,进而增加电力调度工作的难度以及运行过程中的风险。

3.3 闪络与电气故障

导线在舞动之时,其相对位置处于不断变化的状态,如此一来便极易引发局部出现放电情况或者线路产生闪络现象。闪络这一状况,一方面会直接对导线的绝缘表面造成损坏,另一方面还极有可能借助过电压的作用,进而对配电设备以及终端用户的正常安全用电产生影响。而且,闪络现象会随着导线摆动的频率而形成瞬时的高压冲击,当情况严重之际,甚至还会引发断线或者短路这类事故的发生。与此由舞动所引起的导线窜动情况,还会使得金具以及绝缘子串之间的摩擦有所增加,从而致使绝缘性能出现下降的情况,并且还会引发局部发热的现象,最终使得电气故障的风险进一步地提高了。在输电线路的运行过程当中,闪络以及电气故障通常都是舞动所带来的最为直接且最为严重的电气方面的安全隐患。倘若对此控制不够及时,那么就极有可能导致出现大面积的停电状况,同时也会造成设备遭到损毁,最终使得维修成本有所增加,系统的恢复时间也会相应延长。

3.4 舞动对绝缘子串与金属部件的磨损

导线在舞动之时,不但会让塔杆出现应力方面的异常情况,而且还会对绝缘子串、夹具以及其他金属部件形成持续不断的磨损状况。因为舞动而产生的导线横向以及纵向摆动,使得绝缘子串所承受的摩擦力与冲击力有所增大,长时间积累下来,就会致使绝缘子表面出现划伤、裂纹甚

至是破碎的情况,对其绝缘性能以及机械强度都产生了极为严重的影响。除此之外,金属配件在舞动的过程中会承受周期性的冲击,如此一来便容易出现螺栓松动、夹具变形以及焊接部位疲劳等现象,进而使得线路的整体可靠性有所降低。这种磨损效应既会影响到线路长期运行时的安全性,又会使得维护成本以及检修频率有所增加。所以说,评估舞动给绝缘子串以及金属部件带来的磨损特性,对于制定出合理的防护以及维护策略而言有着重要的参考价值。

4 输电线路舞动的抑制方法研究

4.1 增设阻尼装置与间隔棒

要有效地抑制舞动这一现象,在工程实践当中往往会采用诸如阻尼装置以及间隔棒这类属于被动控制范畴的手段。阻尼装置具备这样一种功能,那就是能把舞动所产生的动能转变成热能,如此一来便能够使得导线摆动的幅度得以削弱,进而让振动给线路结构所带来的冲击也跟着降低下来^[1]。不同种类的阻尼器,像串联阻尼器、抗舞阻尼器还有涡流阻尼器等等,都能够依据线路所具有的跨度情况、导线的具体类型以及所处的环境条件来做出相应的选择并加以布置。而间隔棒则是借助于增加导线之间相互约束的点位,以此来削减导线在风力作用下自由摆动的范围,进而促使舞动的振幅得以降低。阻尼装置以及间隔棒在布置时的位置确定、数量的设定以及刚度参数的选定,都需要与实际线路的力学分析相结合来进行优化处理,从而保证在不同的风速以及风向条件之下都能够较好地发挥出抑制舞动的效果。

4.2 导线结构参数与张力优化

导线自身结构参数以及张力水平的优化,这无疑属于抑制舞动的关键举措。科学合理地去挑选导线所用的材料,确定其截面的具体形状,并且选定合适的分裂方式,如此一来便能够对其气动特性产生改变,进而使得其舞动敏感性得以降低^[2]。与此借助于提升导线的张力这一做法,是能够增加导线本身的刚度的,如此则可以让导线的固有频率远离气动共振频段,最终达到降低舞动发生概率的效果。不过,张力优化在操作过程中务必要综合考量线路的机械强度以及长期运行时的可靠性这两方面的情况。倘若张力设置得过高,那么就极有可能致使导线承受过度的力量,还会出现塔杆应力集中的情况;而要是张力设置得过低,则又很容易让舞动的幅度有所增加。所以说,针对这一方面的内容,必须要开展细致入微的设计与相关计算工作。

4.3 塔杆及横担设计改进

塔杆以及横担属于导线的支撑结构,其设计状况会对舞动给线路带来的影响起到决定性作用。通过对塔杆结构加以改进,举例来讲,运用高刚度材料,或者对杆件截面予以优化,又或者是对横担的长度以及布局做出调整,如此便能够切实有效地提升线路整体抵御舞动的能力。与此合理安排双回路或者多回路线路中导线的排列方式,让导

线彼此之间不会相互干扰,这也同样是减少舞动幅度的关键举措之一^[3]。在开展设计改进工作的时候,一方面要充分考虑到结构的安全性,另一方面还得综合考量风荷载、地形条件以及维护便捷性等方面因素,以此来保证抑制效果能够和线路的经济性达成协调一致的状态。

4.4 智能化监测与主动控制技术

随着电力系统朝着数字化以及智能化的方向不断发展,那种基于实时监测并且带有主动控制功能的防舞方案,渐渐地变成了相关研究领域中的一个热点所在。具体而言,通过在导线还有塔杆之上布置相应的传感器,就能够实时地去采集有关导线振动方面、风速风向方面的数据,以及结构应力方面的数据。把这些所采集到的数据与大数据分析手段以及智能算法相互结合起来,便能够达成对舞动进行预警的目的,同时还能实现对舞动的主动控制。这里所说的主动控制技术,包含了像可调阻尼器、智能张力调节装置这类的东西,它们能够依据实时的舞动实际状态,自动地对导线所受到的力或者阻尼参数做出调节,如此一来便能够对舞动的发展起到抑制的作用。采用这种方法,不但让舞动抑制的精度有所提高,而且其响应速度也得以加快,还给处于复杂环境之中的长线路给予了在技术层面可以切实依靠的保障。

5 结语

架空输电线路出现舞动这一情况,已然成为对电力系统安全构成影响的关键隐患所在。其发生会受到诸多因素的作用,像是风速风向方面的情况以及线路自身的结构状况等等,这些都对其产生影响。通过对舞动的机理以及影响因素展开分析,便能够为制定抑制舞动的策略给出相应的依据。在实际的操作过程当中,像阻尼装置的运用、设置间隔棒、对导线参数加以优化、改进塔杆的设计以及实施智能化的监测与主动控制等相关措施,都能够有效地对舞动起到控制作用。在未来的发展趋势来看,以实时监测与主动控制为基础的智能防舞技术,将会成为相关研究当中的重点内容,以此来为保障电力系统的安全以及稳定运行给予有力的支撑。

[参考文献]

- [1]蔡萌琦,胡茂明,杨曙光,等.时滞速度反馈控制下的架空输电线路减振分析[J].自然灾害学报,2025,34(1):156-166.
 - [2]范力午.基于双行程持续发电装置的输电线舞动能量回收研究[D].东北:东北电力大学,2024.
 - [3]杨天亮.架空输电线路舞动事故及防范措施[J].山西冶金,2020,43(5):163-164.
- 作者简介:赵航(1991.6—),毕业院校:太原理工大学,所学专业:电力系统自动化专业,当前就职单位:沈阳电力勘测设计院有限责任公司,职务:主任工程师,职称级别:工程师。