高压输电线路导线舞动原因及防治措施研究

戢才智

中国电建集团四川工程有限公司 四川 成都 610000

【摘　要】：高压输电线路长时间处于自然环境之中，受到气象、地形以及线路结构等诸多要素的影响，很容易出现导线舞动故障。导线舞动属于低频高幅的自激振动现象，持续的大幅舞动会导致导线断股、金具损坏、杆塔倾斜倒塌、线路跳闸等事故，对电网的安全稳定运行造成严重威胁。本文对高压输电线路导线舞动的形成机理和主要诱因进行系统分析，结合区域输电线路舞动故障统计案例，总结出导线舞动造成的各种设备损伤和供电故障，从规划设计、设备改造、防护装置安装、运维管控四个方面提出系统的防治措施，为高压输电线路舞动治理、提高线路抗灾能力、保证电网可靠供电提供技术参考。

【关键词】：高压输电线路；导线舞动；形成原因；故障防治；电网运维

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.020

1 引言

近几年来，极端天气出现的频率越来越高，高压输电线路舞动造成电网故障的比例越来越大，部分地区的线路舞动故障已经成了影响电网可靠运行的主要气象类故障。传统的单一防舞措施适应性差，不能解决复杂的工况下舞动的问题。因此，本文根据现场运行数据和故障案例，对导线舞动的主要原因进行分析，提出全方位、多层次的舞动防治体系，提高高压输电线路的防灾抗灾能力，减少舞动故障造成的经济损失和供电风险。

2 高压输电线路导线舞动核心成因分析

2.1 气象因素

气象因素是引起导线舞动的主要因素，主要是导线不均匀覆冰和适宜风力两个条件，缺一不可。冬季、初春季节冻雨、雨夹雪天气使导线表面附着冰层，受风向、温度变化影响，导线表面冰层分布很不均匀，多呈新月形、扇形等非对称冰体。不均匀覆冰会完全改变导线原来的规整圆形截面，使导线空气动力特性发生变化，产生不平衡的升力和阻力，给舞动提供动力基础。

风力是导线舞动的直接激励源，经由大量的现场数据统计可知，在环境风速为 5 米/秒到 25 米/秒的时候，最容易引起导线舞动。风速太低不能产生足够的激振力，风速太高会引起气流紊乱，不能形成稳定的自激振动。风向和输电线路走向之间的夹角影响舞动强度，夹角大于四十五度的时候，横向风力的作用效果明显，导线舞动的概率和振幅都会大大增加。稳定的持续风力会不断给导线的振动提供能量，使导线自激振动得以保持并不断放大，从而形成持续的舞动。

2.2 地形环境因素

地形地貌会直接对局部气流分布、风力特性产生影响，是造成导线舞动频繁的直接原因。平原开阔区无遮挡物，气流流通畅，风力稳定、持续，高压输电线路跨越平原区时，舞动发生次数比山区遮挡区多得多。河谷、山口等特殊地形会产生狭管效应，气流经过这些地方的时候风速会大幅提高，风力变得稳定，很容易产生持续的横向风荷载，从而引发线路高强度舞动。

2.3 线路结构与运行因素

输电线路自身结构参数直接决定线路抗舞动的能力，是舞动发生的内在原因。导线型号、档距、悬挂高度、导线张力和分裂形式都会影响舞动特性。大档距线路导线跨度大、整体刚度低、阻尼系数小，在风荷载作用下更容易产生大幅度的振动，而且振动衰减速度慢，舞动持续时间更长。导线悬挂高度越高，所在空域风力越大、气流越稳定，舞动发生的概率就越高。

导线运行张力也会对舞动产生影响，张力过大时导线刚性提高，振动频率增加，但是振幅衰减慢；张力过小时导线松弛，容易产生大幅度低频摆动。但是分裂导线结构虽然可以提高输电容量，但是子导线间距小，舞动时子导线容易互相干扰、碰撞，增大振动幅度和设备损坏。老旧线路长期使用之后，金具出现疲劳状况，导线变得老旧，使得线路整体的阻尼性能变差，抗振动的能力明显减弱，舞动故障的发生几率大大增加。

3 高压输电线路导线舞动防治措施

3.1 优化线路规划与设计，从源头规避舞动风险

线路规划设计是防控导线舞动的基础工作，可以从根本上减少舞动发生的概率。在输电线路规划选址阶段要对区域气象进行全面的调查和勘察，了解区域历年覆冰、风力等数据，准

确找到舞动高发区，河谷、山口、开阔平原、河湖周边等舞动高发区，在路径选择上优先避开这些高风险地段。对不能避让的必要路段，优化线路走向，改变导线排布角度，减小风向与线路走向的夹角，削弱横向风力的激振作用。

改善线路结构参数设计，可以有效地降低由于大档距引起舞动现象，合理的降低极限档距，并通过调整导线悬挂高度及运行张力的方式来提升线路整体刚度和阻尼。根据分裂导线的特点合理确定子导线间距，改善间隔棒的布置方式，防止舞动时子导线互相碰擦、磨擦。同时在舞动高发区使用抗覆冰、高强度导线，提高导线结构的稳定性，减小不均匀覆冰对空气动力特性的不利影响。

3.2 加装专用防舞装置，强化主动防护能力

对已经投入运行的高压输电线路，安装防舞装置是治理舞动最直接有效的方法，根据线路电压等级、档距、地形工况选择合适的防护设备。目前行业内主要的防舞装置有防舞器、阻尼线、偏心重锤、失谐摆等，各类装置的防护原理不一样，可以组合起来构成综合防护体系。

防舞器改变导线的振动模态，破坏舞动自激振动形成的条件，有效抑制低频大幅舞动，适合各种电压等级的分裂导线线路。阻尼线可吸收并耗散导线的振动能量，减小振动幅度及时长，常同防舞器一同运用，适配大档距线路。偏心重锤增大导线局部集中质量，改变线路固有振动频率，避开风力激振频率，防止共振现象发生，适合老旧线路改造。失谐摆可以产生反向惯性力，抵消导线舞动的激振力，削弱舞动幅度，在河谷、山口等强风区防护效果明显。

3.3 开展设备升级改造，提升线路结构稳定性

老旧线路设备老化、结构阻尼不够会造成舞动增大，要定期对线路设备进行排查改造，提高线路整体抗振能力。定期更换疲劳老化金具、间隔棒、绝缘子，采用高强度、抗疲劳、耐腐蚀的新型电力金具，提高线路连接结构稳定性和抗振性。对杆塔螺栓松动、构件变形等问题进行定期的紧固、矫正处理，对损坏严重的杆塔构件及时更换加固，提高杆塔整体承载和抗振能力。

根据线路运行年限和环境工况定期调整导线运行张力，防止由于张力过大或者过小引起的舞动问题。大档距、高风险线路加装辅助支撑结构，提高线路整体刚度，减小振动幅度。规范线路施工工艺，防止施工过程中导线受损、金具安装不规范等状况的发生，从施工角度保证线路结构的稳定，减少舞动故障的发生。

3.4 完善运维管控体系，实现提前预警与应急处置

建立常态化的运维监测和应急处理机制，可以减少由于舞动故障造成的损失。建立输电线路舞动在线监测系统，在舞动高发区段布置风速、覆冰、振动监测设备，实时获取线路运行状况和环境气象数据，用大数据分析预测舞动风险，提前发出故障预警。根据监测数据创建区域舞动风险台账，将高、中、低风险区段准确划分出来并实行分级管理、差异防护。

建立常态化的巡检制度，在冬季、初春舞动高发季节里加大巡检频率，对河谷、山口、河湖周边等重点地段展开重点巡查，尽早发现导线覆冰、金具松动、设备变形等状况，提早做好除冰、加固工作。编制舞动故障应急处置预案，对舞动故障中出现的各种故障（故障跳闸、导线断线、杆塔受损等）的处理程序作出规定，并且定期开展应急演练来提高处理故障的效率，减少由于停电造成的损失和影响。建立故障复盘制度，每次舞动故障都要做成因分析，找出防护上的不足之处，不断改进防治措施。

4 结论

高压输电线路导线舞动是由气象、地形、线路结构等多种因素相互作用而产生的复杂的气动弹性振动问题，从各方面综合管理，可以有效地防止导线舞动的发生，减少舞动故障的出现，提高高压输电线路抗灾能力和运行稳定。电网建设及运维工作要依照区域气候和地形情况，不断改良防舞技术方案，推行新型防舞设备和智能监测技术，切实加强输电线路舞动治理水平，给电力系统安全可靠运行赋予有力支撑。

参考文献：

[1] 班德贵.超特高压输电线路导线非线性舞动视觉识别[J].电子设计工程,2025,33(21):156-159+166.

[2] 杨友,曾杰,赵鹏,等.输电线路导线舞动及其防范措施[J].通讯世界,2019,26(8):290-291.

[3] 刘乾承.500kV 输电线路舞动分析及治理探讨[J].信息记录材料,2019,20(4):226-227.