

输电线路导线风致振动与档距分布关联性研究

赵拥华 金福铭 罗浩镭 张鹏 栾俊清

(内蒙古电力(集团)有限责任公司包头供电分公司)

摘要:输电线路导线在自然环境中的风致振动现象对电力系统的安全稳定运行具有重要影响。本文深入探讨了导线风致振动与档距分布之间的关联性,分析了不同档距下导线振动特性的差异,并探讨了影响导线振动的关键因素。通过理论分析与模拟实验,提出了降低导线振动风险的策略,旨在为输电线路的设计和维护提供科学依据。

关键词:输电线路;导线振动;档距分布

引言

输电线路作为电力系统的重要组成部分,其稳定性直接关系到电力供应的可靠性。在自然环境中,风是影响输电线路稳定性的主要因素之一。导线在风的作用下会产生振动,这种振动可能导致导线疲劳、断裂甚至引发电力事故。因此,研究导线风致振动的规律及其与档距分布的关联性,对于提高输电线路的稳定性和安全性具有重要意义。本文将从导线振动的机理出发,分析不同档距下导线的振动特性,并探讨影响振动的关键因素,以期对输电线路的设计和维护提供理论支持。

一、导线风致振动机理分析

(一)风的特性及其对导线的影响

1.风的类型与特性

风作为一种自然现象,其对输电线路导线的影响主要表现在风速、风向和风的湍流度等方面。风速的高低直接影响到导线受到的风压大小,而风向的变化则可能导致导线受到的风向力发生变化,从而影响导线的振动状态。此外,风的湍流度,即风速的不均匀性,也是影响导线振动的重要因素。湍流风场中包含的随机性和不稳定性,使得导线受到的风向力变得复杂多变,增加了导线振动的不确定性。

2.风对导线的作用力分析

风对导线的作用力主要表现为风压和风的湍流力。风压是由于风与导线接触面之间的压力差产生的,其大小与风速的平方成正比。风的湍流力则是由于风的湍流度引起的,表现为导线上的随机力。这些力的作用使得导线产生振动,振动的形式包括横向振动、纵向振动和扭转振动等。导线的振动不仅受到风的作用力影响,还与导线的物理特性,如线径、线重、弹性模量等有关。

(二)导线振动的动力学模型

1.振动模型的建立

为了深入分析导线风致振动的机理,建立一个准确的动力学模型是必要的。动力学模型通常基于牛顿第二定律,将导线视为弹性体,考虑其质量、刚度和阻尼等因素。模型中,导线的质量分布、刚度分布和阻尼分布是关键参数,它们决定了导线振动的频率和振型。此外,模型还需要考虑风的作用力,包括风压和风的湍流力,这些力作为外部激励输入到模型中。

2.模型参数的确定

模型参数的确定是模型建立过程中的重要环节。导线的质量、刚度和阻尼参数可以通过实验测量或理论计算获得。例如,导线的质量可以通过测量其线重和长度来确定,刚度可以通过材料的弹性模量和截面形状来计算,阻尼则可以通过实验或经验公式来估计。风的作用力参数,如风速、风向和湍流度,可以通过气象数据或风洞实验来获取。这些参数的准确获取对于模型的准确

性至关重要。

(三)档距对导线振动的影响

1.档距与振动频率的关系

档距,即输电线路中相邻两基塔之间的水平距离,对导线的振动频率有显著影响。档距越大,导线的悬垂度增加,导致导线的自然频率降低。这是因为长档距导线在受到相同风激励时,其振动系统的等效质量增加,刚度减小,从而导致振动频率下降。此外,档距的增加还会增加导线的振动振型数量,使得振动模式更加复杂。

2.档距与振动幅度的关系

档距同样影响导线的振动幅度。在相同的风激励条件下,长档距导线由于悬垂度的增加,其振动幅度往往比短档距导线要大。这是因为长档距导线在风的作用下更容易产生共振,导致振动幅度的增加。此外,档距的增加还会使得导线受到的风向力分布更加不均匀,增加了导线振动的随机性和不确定性,从而可能导致振动幅度的增加。

通过对导线风致振动机理的深入分析,可以为输电线路的设计和维护提供理论指导。在实际工程中,通过优化导线的设计参数和档距分布,可以有效降低导线的振动风险,提高输电线路的稳定性和安全性。

二、导线风致振动的模拟实验

(一)实验设计

1.实验目的与要求

实验的主要目的是探究不同档距下输电线路导线的风致振动特性,并分析影响振动的关键因素。实验要求能够模拟真实环境下的风速、风向和湍流度,以及导线在这些条件下的振动响应。此外,实验还需能够测量和记录导线的振动频率、振幅和振动模式等关键参数。

2.实验装置与方法

实验装置主要包括风洞、导线模型、测振仪、风速计和数据采集系统。风洞用于模拟不同风速和风向的风场环境;导线模型根据实际导线的比例缩小制作,以模拟实际导线的物理特性;测振仪用于测量导线的振动响应;风速计用于监测风洞中的风速和风向;数据采集系统用于记录实验过程中的振动数据和风场数据。

实验方法包括静态风场模拟和动态风场模拟。静态风场模拟主要研究在恒定风速下导线的振动特性;动态风场模拟则模拟实际环境中风的湍流特性,研究导线在动态风场下的振动响应。

(二)实验结果分析

1.不同档距下的振动特性

实验结果显示,档距的增加会导致导线的振动频率降低,振动幅度增大。在较短档距下,导线的振动频率较高,振幅较小;而在较长档距下,导线的振动频率较低,振幅较大。此外,档距的增加还会使导线的振动模

式更加复杂,出现更多的振动振型。

2.影响振动的关键因素分析

实验分析表明,影响导线风致振动的关键因素包括风速、风向、湍流度、导线的物理特性(如线径、线重、弹性模量)以及档距。风速的增加会导致导线的振动幅度增大,而风向的变化会影响导线受到的风向力,进而影响振动特性。湍流度的增加会使导线受到的风向力更加不稳定,增加振动的随机性。导线的物理特性和档距则直接影响导线的振动频率和振幅。

(三)实验结果的应用

1.振动风险评估

基于实验结果,可以对输电线路导线的振动风险进行评估。振动风险评估主要考虑导线的振动频率、振幅和振动模式,以及导线的疲劳寿命。通过对比导线的振动响应与材料的疲劳特性,可以预测导线在特定风场条件下的疲劳寿命,从而评估振动风险。

2.振动控制策略的提出

为了降低导线的振动风险,提出了一系列振动控制策略。这些策略包括优化导线的设计参数(如线径、线重),调整档距分布,以及在导线上安装振动抑制装置(如阻尼器、防振锤)。通过这些措施,可以有效降低导线的振动幅度,提高输电线路的稳定性和安全性。

通过导线风致振动的模拟实验,可以更深入地理解导线振动的机理,为输电线路的设计和维护提供科学依据。实验结果的应用有助于提高输电线路的抗风性能,确保电力系统的安全稳定运行。

三、降低导线振动风险的策略

(一)导线设计优化

1.导线材料的选择

导线材料的选择对降低风致振动风险至关重要。理想的导线材料应具备较高的弹性模量和较低的密度,以减少导线的自重和提高其抗振性能。目前,常用的导线材料包括铝包钢、铝合金和碳纤维等。铝包钢具有较高的强度和良好的导电性,但密度较大,易受风致振动影响。铝合金导线密度较低,但强度相对较弱。碳纤维导线则具有优异的力学性能和轻质特点,能有效降低导线的振动幅度,但成本较高。因此,在选择导线材料时,需要综合考虑材料的力学性能、导电性、成本和环境适应性。

2.导线截面的优化

导线截面的形状和尺寸对导线的振动特性有显著影响。传统的圆形截面导线在风的作用下容易产生较大振幅的振动。通过优化导线截面,如采用多边形、椭圆形或扁平形截面,可以改变导线的气动特性,降低风阻和振动幅度。此外,截面的尺寸也应根据导线的力学性能和风载要求进行优化,以达到最佳的抗振效果。

(二)结构支撑的改进

1.塔架结构的优化

塔架作为输电线路的主要支撑结构,其刚度和稳定性直接影响导线的振动特性。通过优化塔架的结构设计,如增加塔架的高度、改变塔架的截面形状或采用复合材料,可以提高塔架的刚度和抗风性能,从而降低导线的振动风险。此外,塔架的布局和间距也应根据风场特性和导线的振动特性进行优化,以减少导线的振动幅度。

2.导线固定方式的改进

导线的固定方式对导线的振动特性有直接影响。传统的导线固定方式,如悬垂式和紧固式,可能在风的作

用下导致导线产生较大的振动。通过改进导线的固定方式,如采用防振锤、阻尼器或动态线夹等装置,可以有效地抑制导线的振动。这些装置通过增加导线的阻尼或改变导线的振动频率,降低导线在风作用下的振动幅度。

(三)动态监测与维护

1.监测技术的应用

动态监测技术的应用对于及时发现和评估导线的振动风险至关重要。目前,常用的监测技术包括振动传感器、视频监控、无人机巡检和光纤传感等。振动传感器可以实时监测导线的振动频率和振幅,视频监控和无人机巡检可以直观地观察导线的振动状态,而光纤传感则可以监测导线的应力和温度变化。通过这些监测技术,可以实时获取导线的振动数据,及时发现异常振动,为振动风险评估和维护提供依据。

2.维护策略的制定

制定有效的维护策略对于降低导线的振动风险至关重要。维护策略应包括定期检查、预防性维护和紧急维修等内容。定期检查可以及时发现导线的损伤和异常,预防性维护可以减少导线的疲劳损伤,延长其使用寿命。紧急维修则可以在导线发生严重振动或损伤时迅速采取措施,避免事故的发生。此外,维护策略还应根据导线的振动特性和风场特性进行优化,以提高维护的效率和效果。

通过实施上述策略,可以有效降低输电线路导线的风致振动风险,提高电力系统的稳定性和安全性。这些策略的实施需要综合考虑技术、经济和环境等因素,以实现最佳的抗振效果。

结论

通过对导线风致振动与档距分布关联性的研究,本文揭示了档距对导线振动特性的影响规律,并提出了降低振动风险的策略。这些研究成果对于提高输电线路的稳定性和安全性具有重要的实际意义。

参考文献:

[1]李泽根.微风振动条件下输电导线防振方案设计研究[D].华北电力大学(北京),2022.
 [2]潘高峰.输电线路微风振动在线监测关键技术研究[D].西安工程大学,2017.
 [3]赵隆.输电线路导线微风振动在线监测系统的设计与研究[D].西安工程大学,2012.
 [4]王洪.大跨越架空输电线路分裂导线的微风振动及防振研究[D].华北电力大学(北京),2010.
 作者简介:赵拥华(1988.11-),男,汉族,黑龙江尚志人,硕士,高级工程师,主要研究方向:输电线路运维、高压电缆运维、航检作业管理等。E-mail: 277940560@qq.com
 金福铭(1983.12-),男,汉族,内蒙古包头人,硕士,工程师,主要研究方向:高压输电线路运维技术。E-mail: 25325727@qq.com
 罗浩镭(1990.05-),男,内蒙古包头人,本科,工程师,从事输电线路带电检修工作, E-mail: 630838149@qq.com
 张鹏(1977.12-),男,汉族,内蒙古包头人,本科,工程师,主要研究方向:输电运检技术。E-mail: 772824713@qq.com
 梁俊清(1993.04-),男,汉族,内蒙古包头人,硕士,工程师,主要研究方向:输电线路智能巡检技术。E-mail: junqing.luan@foxmail.com