

风力发电设备电缆的耐候性能与故障分析

魏金蓉

(无锡工艺职业技术学院,江苏省无锡市,214000)

摘要 风力发电设备电缆的耐候性能和故障分析是保障风电系统稳定运行的关键。本文研究探讨了电缆在复杂环境下的耐候性能,包括紫外线辐射、温度变化、湿度与盐雾以及机械应力的影响,并分析了电缆常见的电气、机械和环境因素导致的故障类型。通过具体的预防和维修措施,如正确的电缆敷设、防止外力损伤、在线监测技术和科学的维修更换策略,提升电缆的可靠性和使用寿命。

关键词 耐候性能;故障分析;风力发电电缆;预防措施;在线监测

中图分类号:TM206 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)08-0018-03

在风力发电设备中,电缆作为关键部件,负责电能的传输和控制信号的传递,其性能直接影响整个风电系统的可靠性和稳定性。然而,风力发电设备电缆长期暴露在复杂恶劣的环境中,如强风、雨雪、温度变化和紫外线辐射等,导致其耐候性能面临严峻考验。电缆耐候性能的下降不仅会导致电力传输效率降低,还可能引发设备故障,甚至影响风电场的安全运行。因此,研究电缆的耐候性能与故障分析,提出有效的预防和维修措施,是确保风电系统可靠运行的重要课题,为风力发电的广泛应用提供更坚实的技术保障。

1 风力发电设备电缆的类型

1.1 电缆种类和结构

风力发电设备中使用的电缆主要包括电力电缆、控制电缆和通信电缆。电力电缆用于传输从风力发电机组产生的电能,通常采用铜或铝作为导体,外部包裹有多层绝缘和护套材料,以提供必要的机械强度和环境保护^[1]。控制电缆用于传输控制信号,通信电缆则用于数据传输,支持风电场的监控和远程操作。

1.2 电缆的基本材料与特性

课题名称:新能源用电缆材料及产品的开发研究,编号:572024xn09

作者简介:魏金蓉(1974~),女,江苏宜兴人,本科,副教授,研究方向:电线电缆设计。

电缆的核心材料包括导体材料和绝缘材料。铜和铝是最常用的导体材料,铜因其优良的导电性和耐腐蚀性被广泛应用,而铝则因其重量轻且成本低也得到一定应用。绝缘材料通常使用交联聚乙烯(XLPE)、聚氯乙烯(PVC)和乙丙橡胶(EPR)等,这些材料具有优良的电气绝缘性能和耐热性。护套材料一般采用聚氨酯(PUR)和聚乙烯(PE),以提高电缆的耐磨性和抗紫外线能力。

2 电缆的耐候性能

2.1 耐候性能的定义

耐候性能指的是材料在长期暴露于自然环境条件下(如紫外线辐射、温度变化、湿度、雨雪、盐雾等)时,保持其物理和化学性质不变的能力。对于风力发电设备电缆而言,耐候性能尤为重要,因为这些电缆通常暴露在极端和多变的气候条件中。良好的耐候性能可以确保电缆在其使用寿命内保持稳定的电气性能和机械强度,从而保证风力发电系统的可靠性和安全性。

2.2 影响电缆耐候性能的因素

2.2.1 紫外线辐射

紫外线辐射是电缆材料老化的主要原因之一。长期暴露在阳光下,紫外线会导致电缆外护套材料的分子结构发生变化,使其逐渐变脆、失去弹性,甚至出现裂纹。这种老化现象不仅会影响电缆的机械强度,还会降低其绝缘性能,增加电气故障的风险^[2]。因此,电缆材料需要具备良好的抗紫外线性能,常用的方法是添加抗紫外线剂或使用本身具有抗紫外线能力的材料。

2.2.2 温度变化

风力发电设备通常运行在室外环境中,温度变化剧烈。在高温环境下,电缆材料可能会软化或熔化,导致绝缘性能下降;而在低温环境下,材料可能会变硬或变脆,易于断裂。这些变化会直接影响电缆的耐久性和可靠性。电缆材料需要具备良好的耐高温和耐低温性能,保持在不同温度下的稳定性。

2.2.3 湿度与盐雾

高湿度环境会导致电缆材料吸水,进而影响其绝缘性能和机械强度。尤其是在海上风力发电设备中,盐雾的腐蚀作用更加显著,盐分可以渗透到电缆内部,引起电缆材料的电化学腐蚀,导致材料老化和性能下降。因此,电缆材料需要具备良好的防水性和抗盐雾腐蚀性能,常用的方法是采用密封性能优良的护套材料和涂层技术。

3 风力发电设备电缆的故障类型

3.1 电气故障

电气故障是风力发电设备电缆常见的故障类型,主要包括以下几种:①绝缘击穿:电缆绝缘材料由于老化、受潮或机械损伤,导致绝缘性能下降,当电压超过绝缘材料的耐压值时,发生绝缘击穿现象,引发短路或漏电。②局部放电:绝缘材料中存在的缺陷或气隙在高电压作用下,可能产生局部放电现象,长时间的局部放电会逐步侵蚀绝缘材料,最终导致绝缘失效。③导体断裂:由于导体材料的疲劳或过载,电缆内部的导体可能发生断裂,导致电能无法正常传输。

3.2 机械故障

机械故障是电缆在风力发电设备运行过程中因机械应力引起的故障,主要包括:①外力损伤:安装或维护过程中,电缆可能受到外力冲击或挤压,导致外护套和绝缘层受损,从而影响电缆的整体性能。②磨损和疲劳:风力发电设备在运行时受到风载和振动作用,电缆在长时间的机械应力作用下会发生磨损和疲劳现象。③拉伸和扭曲:电缆在安装过程中如果没有合理安排,可能会受到过大的拉伸或扭曲应力,导致内部导体和绝缘层的结构损伤。

3.3 环境因素导致的故障

环境因素是导致风力发电设备电缆故障的另一重要原因,主要包括:①腐蚀:在海上风电场,电

缆长期暴露在高盐雾环境中,盐分的侵蚀会导致电缆护套和内部导体的腐蚀,降低电缆的机械强度和电气性能。②老化:紫外线辐射、温度变化和湿度等环境因素会加速电缆材料的老化过程,使得电缆逐渐变脆、失去弹性和绝缘性能,从而增加故障发生的概率。③生物侵害:在某些特殊环境中,如沿海地区或湿地,电缆可能受到生物(如虫蚁、微生物等)的侵害,导致外护套受损,进而影响电缆的正常运行。

4 故障预防与维护

4.1 电缆安装和维护规范

4.1.1 正确的电缆敷设

选择适当的路径:确保电缆敷设路径尽可能平直,避免急剧弯曲。转弯处的弯曲半径应大于电缆最小允许弯曲半径。适当的敷设方法:根据电缆种类和环境选择适当的敷设方法,如架空敷设、埋地敷设或管道敷设。避免机械损伤:敷设过程中使用滑轮和牵引设备,避免电缆受拉伸和扭曲应力。对容易受外力影响的区域,使用保护套管或加装防护层^[9]。电缆敷设方法包括如下步骤:敷设机安装步骤:根据预设敷设方案,在预设位置上安装电缆敷设机,预设位置包括间隔设置的若干安装座,每一安装座上对应设置一电缆敷设机;牵引机安装步骤:根据电缆敷设机的分布路线,在分布路线的中部位置及远离第一台电缆敷设机的端部位置分别设置电缆牵引机;控制箱安装步骤:邻近每一安装座对应设置控制箱,控制箱与电缆敷设机电性连接,用于控制电缆敷设机的启停;控制步骤:各控制箱均分别与总控制器连接,总控制器设置有控制程序,且设置电缆敷设机的敷设速度大于牵引机的牵引速度。

4.1.2 防止外力损伤

施工保护措施:在施工和维护过程中,使用隔离护栏和警示标志,防止机械设备和人员对电缆造成损伤。使用保护装置:在容易受到外力冲击的区域,安装保护装置如金属护套、塑料护套或抗压护管,以增强电缆的机械强度。

4.1.3 定期检查和维护

定期外观检查:定期检查电缆外护套是否有破损、裂纹或磨损,及时修补或更换受损部位。

绝缘测试:使用绝缘电阻测试仪定期测试电缆的绝缘性能,确保其在安全范围内运行。

机械强度检测:定期进行电缆的拉伸、压缩和弯曲测试,确保电缆的机械性能符合要求。

4.2 故障监测与预警系统

4.2.1 在线监测技术

红外热成像:安装红外热成像设备,实时监测电缆的温度变化,检测过热现象,及时发现潜在的绝缘故障。

局部放电检测:使用局部放电检测设备监测电缆的局部放电活动,评估电缆绝缘状态,提前预警绝缘老化或劣化。

光纤传感技术:利用光纤传感技术监测电缆的应变、温度和振动,实时评估电缆的运行状态。

4.2.2 预警模型和算法

电缆在出现故障前会出现一些特定的信号特征,以往的技术没有充分对故障前的信号特征进行采集和分析,对于电缆故障预警缺乏相应的技术手段。大部分都是依靠运行人员在行业内工作经验进行判别,缺少科学技术手段的辅助,效率低下并且无法准确得进行电缆故障预警。因此需要一种在线电缆故障预警装置,实现对于电缆故障前预警,减少因为缺乏故障预警导致的永久故障,从而产生较大的经济损失^[4]。大数据分析:收集电缆运行的历史数据和实时监测数据,利用大数据分析技术,识别电缆故障的早期信号和模式。

故障预测模型:建立基于机器学习和人工智能的故障预测模型,预测电缆故障的发生概率,提前发出预警信号。

4.3 维修和更换策略

4.3.1 定期维护与检修

详细维护计划:根据电缆的使用环境和运行状况,制定详细的维护和检修计划,定期进行检查和维护。局部修复:对于局部破损或绝缘性能下降的电缆,进行局部修复,如包裹绝缘胶带或更换损坏

段。

4.3.2 故障定位与修复

使用故障定位设备:利用时间域反射计(TDR)等故障定位设备,准确定位故障点,减少维修时间和成本。专业修复工具:使用专业的电缆修复工具和技术,如冷缩接头和热缩管,确保修复后的电缆性能可靠。

4.3.3 更换周期和标准

科学更换周期:根据电缆的设计寿命和运行环境,制定科学的更换周期。对于运行超过设计寿命或故障频发的电缆,及时更换。更换标准:制定电缆更换标准,明确更换的技术要求和质量标准,确保新更换的电缆符合运行需求和安全标准。

5 结语

本研究深入探讨了风力发电设备电缆的耐候性能及其故障分析,强调了环境因素如紫外线辐射、温度变化、湿度与盐雾及机械应力对电缆性能的影响。通过分析电缆常见的电气、机械和环境因素导致的故障类型,提出了具体的预防和维护措施,如正确的电缆敷设、防止外力损伤、使用在线监测技术以及科学的维修和更换策略。为电缆的设计、维护和故障预防提供了重要的理论依据和实践指导,有助于提升风力发电系统的整体效率和稳定性。

参考文献

- [1] 赵敏.耐热耐候性阻燃橡胶绝缘电缆料[J].橡胶工业, 2016,63(09):544.
- [2] 谢建国,蓝宗长.地下(水下)电缆接头防水密封性能研究及应用[J].智能建筑电气技术,2024,18(05):114-118.
- [3] 刘芳园,吴越超,张新亮.智能电缆线路故障定位及负荷监测系统研究[J].电气技术与经济,2024,(05):104106.
- [4] 宋彬,胡沛源.电缆地层测试器探针模块常见故障分析[J].油气井测试,2024,33(02):2731.