

风机齿轮箱润滑管路渗漏成因与高压胶管标准化 安装工艺探究

朱昌友, 翟世立

大唐平阴清洁能源开发有限公司, 山东 济南 250000

DOI:10.61369/EPTSM.2026070014

摘 要 : 风机齿轮箱是风力发电机组主要的传动部件之一, 风机齿轮箱润滑系统是否稳定直接影响到风机的发电效率以及使用寿命。润滑管路渗漏属于风电场运维中的高发故障, 容易造成齿轮箱润滑不足、部件磨损、油温异常等状况, 严重时还会造成机组停机, 造成重大经济损失。为了克服风电场齿轮箱润滑管路经常出现的渗漏问题, 本文选取了陆上和海上风电场的多机型风机作为研究对象, 对润滑管路渗漏的主要原因进行了系统的分析, 主要包含管路材质老化、安装工艺不合理、运行工况恶劣、运维管理不到位等几个方面。同时, 根据风电设备安装施工规范来创建高压胶管标准化安装工艺体系, 确定安装前期准备、标准化施工流程、验收校验和后期防护全流程的应用途径。经由现场试验数据对比, 证实标准化安装工艺可以明显削减管路渗漏故障率, 改善齿轮箱润滑系统运行稳定状况, 缩减风电场运维费用。研究结果可以给风电场齿轮箱润滑管路施工、运维以及故障防控提供技术上的依据。

关 键 词 : 风机齿轮箱; 润滑管路; 渗漏原因; 高压胶管

Analysis of the Causes of Leakage in the Lubrication Pipeline of the Fan Gearbox and the Standardized Installation Process of High-Pressure Rubber Tubes

Zhu Changyou, Zhai Shili

Datang Pingyin Clean Energy Development Co., Ltd. Jinan, Shandong 250000

Abstract : The gearbox of a wind turbine is one of the main transmission components of a wind power generation system. The stability of the lubrication system of the gearbox directly affects the power generation efficiency and service life of the wind turbine. Leakage in the lubrication pipeline is a common fault in the operation and maintenance of wind farms, which can lead to insufficient lubrication of the gearbox, component wear, abnormal oil temperature, and even cause the wind turbine to stop operating, resulting in significant economic losses. To overcome the frequent leakage problems in the lubrication pipeline of wind turbine gearboxes in wind farms, this paper selects multiple types of onshore and offshore wind turbines as research objects, and systematically analyzes the main causes of pipeline leakage. These include aging of pipeline materials, unreasonable installation processes, harsh operating conditions, and inadequate operation and maintenance management. At the same time, based on the installation and construction specifications of wind power equipment, a standardized installation process system for high-pressure hoses is created, and the application paths of the entire process from pre-installation preparation, standardized construction procedures, acceptance and verification, to post-installation protection are determined. Through the comparison of on-site test data, it is confirmed that the standardized installation process can significantly reduce the failure rate of pipeline leakage, improve the stability of the gearbox lubrication system operation, and reduce the operation and maintenance costs of the wind farm. The research results can provide technical basis for the construction, operation and maintenance, and fault prevention of the lubrication pipeline of wind turbine gearboxes in wind farms.

Keywords : fan gear box; lubrication pipeline; leakage causes; high-pressure hose

引言

随着我国风电产业规模化、高质量的发展，风机单机容量越来越大，齿轮箱工况越来越复杂，对润滑系统密封性、稳定性、可靠性要求也越来越高。齿轮箱润滑系统起着传动部件润滑、降温、降噪、减震的作用，管路和高压胶管是润滑介质传输的载体，密封性和安装质量好坏直接影响系统的运行状态。根据风电场运维数据可知，齿轮箱故障中35%以上是由润滑管路渗漏引起的，渗漏故障会造成润滑油损耗、环境污染，也会造成齿轮、轴承等核心部件干磨损坏，大幅缩短设备的使用寿命。

一、风机齿轮箱润滑管路渗漏成因

（一）管路及配件材质缺陷与老化失效

高压胶管、密封垫圈、接头等配件的材质性能是决定管路密封性的基础，材质选型不合理、质量不合格以及长期老化失效都会造成渗漏。风机齿轮箱润滑管路长期受到高压液压油冲击、高频振动和温度交变的影响，如果使用普通橡胶材质的胶管，耐高压、耐高低温、耐老化性能不够，在长期工况的作用下会形成管壁硬化、开裂、鼓包等状况。另外，由于风电场为了降低成本而使用非标密封件，密封垫圈的硬度、弹性与润滑油介质不相适应，很容易造成压缩变形、密封失效^[1]。

在温度交变工况下，夏季机舱温度可达60℃以上，冬季最低温度可达-20℃以下，胶管和金属接头的热膨胀系数不一样，长期反复伸缩会造成接口配合间隙增大，出现微渗漏。另外，海上风电场盐雾腐蚀会使胶管外层橡胶老化、金属接头锈蚀，破坏密封结构，从而引起渗漏故障。为了直观地看出材质问题对于渗漏故障率的影响，整理出不同材质管路和配件的故障数据如下表所示。

表1 不同材质管路和配件的故障数据

配件类型	材质规格	年均渗漏故障率（%）	平均使用寿命（年）	适用工况
高压胶管	普通天然橡胶（非标）	18.6	2.5	陆上温和工况
高压胶管	耐油耐候合成橡胶（国标）	4.2	6.0	陆上、海上全工况
密封垫圈	普通橡胶垫圈	15.3	1.8	常规干燥工况
密封垫圈	氟橡胶耐腐垫圈	3.1	5.5	高湿、盐雾工况

（二）安装施工工艺不规范

安装工艺不规范是造成风电场润滑管路渗漏的最主要的人为原因，也是目前故障高发的主要原因。大部分风电场管路安装没有统一的标准化程序，施工人员依照经验施工，存在很多不规范的地方。一是管路敷设弧度过大，胶管拉伸、扭曲、弯折，造成管壁局部应力集中，长期使用后出现开裂渗漏；二是接头紧固力矩不达标，紧固过松造成接口密封间隙过大，紧固过紧会挤压损坏密封垫圈，破坏密封结构；三是管路固定不牢固，管卡间距过大、固定松动，机组运行振动会造成管路 with 机舱支架、设备外壳摩擦，磨损管壁造成渗漏^[2]。

施工过程中清洁度不合格也是造成故障的原因之一，安装时

接头、管路内部有灰尘、铁屑、杂质等，会刮伤密封面及胶管内壁，引起密封失效。部分施工人员私自对管路进行改装，混用不同规格的接头，造成管路匹配度低、密封性不好，短时间内就会出现渗漏现象。

（三）运行工况恶劣与运维管理缺失

风机长期复杂的运行工况是造成管路渗漏的外部原因，而运维管理不到位就会使微小的故障不断加重，最终导致严重的渗漏。风机在运行中叶轮旋转、齿轮箱传动产生连续高频振动，润滑管路一直处在振动载荷之中，接头螺栓易松动、管路易疲劳损坏。陆上山地风电场温度波动大、风沙侵袭，海上风电场盐雾腐蚀、高湿度环境都会使管路配件不断受到腐蚀，加快密封老化失效。运维管理上，大多数风电场没有专门的管路巡检制度，巡检周期不合理、巡检内容不细密，不能及时发现微渗漏、接头松动、管路磨损等隐性故障。同时运维人员的专业水平不高，对于渗漏故障的原因判断不准，维修时只简单的补紧接头、更换润滑油，没有从根本上解决管路敷设、材质适配等根本问题，造成故障反复出现。另外部分风电场设备超期使用，没有按照周期更换老化胶管和密封件，也是造成渗漏故障频繁发生的因素之一。

二、风机齿轮箱高压胶管标准化安装工艺应用路径

（一）安装前期标准化准备工作

前期准备是保证高压胶管安装质量、从源头上防止渗漏故障的基础，要实现材质选型、配件检验、现场勘测全流程标准化。首先严格按照风机齿轮箱压力参数和运行工况进行选型，陆上风机用耐油、耐高低温合成橡胶胶管，海上风机用加厚防腐型高压胶管，密封件统一使用氟橡胶材质，杜绝非标配件进入施工现场。其次建立配件进场检验标准，对胶管的外观、耐压参数、老化性能、接头精度、防腐等级等逐个检验，不合格的配件全部退货，防止由于材质缺陷引起的隐患。同时进行现场工况勘测和方案定制，按照齿轮箱管路布置图，结合机舱空间、振动区，确定管路敷设路线，避开设备摩擦点、高温热源区。提前清理安装区间的杂物、灰尘，保证施工环境的清洁，防止杂质进入管路划伤密封面。另外对施工人员进行岗前培训，统一安装标准、操作规程和质量要求，考核合格后方可上岗施工，从人员方面保证施工质量^[3]。

（二）施工过程标准化操作流程

施工过程是管路安装标准化工艺的核心环节，直接决定整体

施工质量、设备运行稳定性及管路使用寿命，因此需对管路裁切、敷设、对接、固定等全工序实施规范化、标准化管控，细化每一项操作细则，杜绝不规范施工行为，保障管路系统安装质量达标。

一是管路裁切标准化。施工全过程需统一裁切作业标准，作业人员必须使用专用管路裁切工具开展施工，严禁使用剪刀、切割机非标工具替代，避免损伤管路结构。裁切作业时需平稳操作，保证切割切口平整光滑、无毛刺、无塌陷变形，切口边缘规整对齐，杜绝斜口、缺口等问题。裁切完成后，第一时间采用专用封堵件封闭管路两端管口，有效阻挡施工现场灰尘、砂石、杂物进入管路内部，防止后续使用中出現管路堵塞、介质流通不畅、设备磨损等隐患。

二是管路敷设标准化。严格遵循管路敷设规范，精准把控胶管弯曲半径，施工中管路弯曲半径不得小于产品及施工方案规定的最小弯曲半径，从源头规避管路弯折破损、内壁开裂等问题。敷设过程中严禁对管路进行扭曲、强行拉伸、挤压压实，保证管路整体处于自然松弛状态，贴合施工布局要求。同时结合机组运行特性，预留合理的机组振动缓冲余量，适配设备运行振动幅度，避免管路受设备振动拉扯变形。

三是接头对接标准化。管路接头对接是保障密封性能的关键工序，对接施工前，需彻底清洁接头密封接触面，去除油污、灰尘、杂质，保证密封面干净平整。清洁完成后，在密封面均匀涂抹专用润滑脂，提升密封效果与对接贴合度。全程使用力矩扳手精准施工，严格按照设计标准力矩紧固接头，杜绝紧固力度过大造成接头开裂、力度不足引发渗漏松动的问题，保障接头密封严密、连接牢固^[4]。

三、结语

风机齿轮箱润滑管路渗漏故障是由材质性能、安装工艺、运行工况、运维管理等多种因素共同造成的，其中安装工艺不规范是主要的可控诱因。从数据上可以看出，使用标准安装工艺可以大大减少管路渗漏、返工的情况，提高润滑系统的稳定工作状态。在风电精细化运维的大背景下，大力推广高压胶管标准化安装工艺，做好全过程的质量控制，可以从根本上防止管路渗漏故障的发生，减少由于管路渗漏造成的设备停机和运维成本，给风机齿轮箱的安全稳定运行提供强有力的保障。

参考文献

[1] 蔚龙腾,陈豪,徐昶川.船用齿轮箱滑油系统管路振动问题研究[J].中国机械,2026,(08):147-152.
[2] 李卓学,孙义忠,王建梅.风电齿轮箱行星轮滑动轴承润滑管路设计优化[J].润滑与密封,2025,50(03):109-117.
[3] 姬军,王莉新,高佳硕,肖宏,李海华.齿轮泵管路长度对构建尿流率计标准装置水流量的影响[J].中国医学装备,2017,14(10):33-36.
[4] 葛玉柱,雷雪梅,张跃春,刘平.采用高黏度润滑油的复杂管路齿轮箱润滑系统设计[J].润滑与密封,2015,40(10):122-127.