

风场多机型齿轮箱过滤器结构优化改造 及防渗漏技术应用

韩栋雁, 刘洪宇, 刘永超, 赵楠楠

大唐山东发电有限公司新能源分公司烟台运维中心花园风电场, 山东 烟台 264000

DOI:10.61369/EPTSM.2026070015

摘 要 : 齿轮箱过滤器属于风机润滑系统的关键净化设备, 担负着过滤润滑油杂质, 保证油品清洁度, 保护齿轮箱传动部件的任务。目前风电场普遍存在着多机型风机混装运行的情况, 不同的机型齿轮箱过滤器结构不同、通用性差, 存在过滤精度不够、密封结构不合理、容易渗漏、容易堵塞等问题, 造成齿轮箱油品污染、管路渗漏、部件磨损等故障频发, 严重威胁机组的安全稳定运行。本文针对风场多机型齿轮箱过滤器存在的问题, 整理出结构优化改造的主要途径, 从壳体结构、过滤芯体、通用化适配三个方面进行优化设计。同时结合过滤器渗漏故障的原因来研发和应用多种防渗漏技术, 通过密封结构的升级、安装工艺的优化、工况防护的加强来解决过滤器的渗漏问题。根据现场改造试验数据, 检验优化改造和防渗漏技术的应用效果, 可以为风场多机型过滤器统一化改造、故障防控提供技术支持。

关 键 词 : 风电场; 多机型风机; 齿轮箱过滤器; 结构优化; 防渗漏技术

Optimization and Renovation of Multi-machine Gearbox Filter Structures in Wind Farms and Application of Anti-Leakage Technology

Han Dongyan, Liu Hongyu, Liu Yongchao, Zhao Munan

Dangtan Shandong Power Generation Co., Ltd. New Energy Branch, Yantai Maintenance Center, Garden Wind Farm, Yantai, Shandong 264000

Abstract : The gearbox filter is a key purification device in the wind turbine lubrication system, responsible for filtering impurities in the lubricating oil, ensuring the cleanliness of the oil, and protecting the transmission components of the gearbox. Currently, in wind farms, there is a common situation of mixed operation of multiple types of wind turbines. The structures of different gearbox filters for different models are different and have poor universality, resulting in insufficient filtration accuracy, unreasonable sealing structure, easy leakage, and easy clogging, causing frequent failures such as gearbox oil contamination, pipeline leakage, and component wear, which seriously threaten the safe and stable operation of the wind turbines. This paper addresses the problems existing in the gearbox filters of multiple models in wind farms, summarizes the main approaches for structural optimization and renovation, and conducts optimization design from three aspects: shell structure, filter element, and generalization adaptation. At the same time, combined with the causes of leakage in the filters, various anti-leakage technologies are developed and applied. Through upgrading the sealing structure, optimizing the installation process, and strengthening the protection against working conditions, the leakage problem of the filters is solved. Based on the on-site renovation test data, the application effects of the optimization renovation and anti-leakage technologies are verified, which can provide technical support for the unified renovation of multiple models of filters in wind farms and the prevention of faults.

Keywords : wind farm; multi-type wind turbines; gearbox filter; structural optimization; anti-leakage technology

随着风电项目的不断扩展, 大多数风电场都是多品牌、多机型风机混运, 不同机型配套的齿轮箱过滤器在结构尺寸、过滤参数、密封方式等方面存在着较大的差别, 设备通用性差、运维难度大、故障高发的问题十分突出。多机型过滤器配件规格繁杂, 备件储备成本高、更换速度快, 大大影响风电场运维工作。为了克服上述问题, 本文根据多机型过滤器运行的痛点, 进行结构优化改造, 配合使用专业化的防渗漏技术, 达到过滤器性能提高、故障减少、通用化适配的目的。

一、风场多机型齿轮箱过滤器结构优化改造路径

（一）壳体结构优化，提升抗压与防护性能

传统的多机型齿轮箱过滤器壳体大多使用普通铸铁或者薄钢板，结构强度低、抗压性差，长时间受到润滑系统高压冲击和机舱振动的影响，容易造成壳体变形、裂纹，从而产生渗漏故障。同时传统的壳体没有专门的防护结构，外部的风沙、盐雾、湿气很容易侵蚀到壳体以及接口，从而加快部件的老化和损坏。就以上缺陷进行壳体结构的优化改造。

材质方面把传统的普通材质升级为高强度铸铝材质，既能减小设备自重又能提高壳体的抗压强度和耐腐蚀性，适合陆上、海上全工况运行环境。结构上优化壳体壁厚设计，在关键受力区加厚，增设加固筋结构来提高壳体的抗振性、抗冲击性，在壳体外侧增设一体化防腐防护涂层，防止盐雾、湿气腐蚀。对壳体排污口做进一步的优化，增大排污通道以保证过滤器排污畅通、杂质堆积不会引起滤芯堵塞。改造前后壳体性能参数如表1所示。

表1 改造前后壳体性能参数

壳体参数	传统过滤器壳体	优化后过滤器壳体	性能提升效果
最大承压能力 (MPa)	1.6	2.5	承压性能提升 56.25%
耐腐蚀等级	普通防腐	重度防腐	适配海上盐雾 工况
抗振动等级	低频耐受	高频耐受	适配机舱高频 振动工况
平均无故障运 行时间(h)	3800	8500	无故障时长提 升123.7%

（二）过滤芯体升级，优化过滤净化性能

多机型传统过滤器滤芯过滤精度不同、纳污能力小、容易堵塞、适应性差等问题，部分机型滤芯过滤精度过低不能有效拦截微小杂质，造成润滑油清洁度不合格；部分滤芯结构设计不合理，油污附着后容易堵塞，造成管路压力升高，引发渗漏、泄压故障。本次改造根据多机型滤芯的缺点，统一优化滤芯的结构和性能参数，达到多机型通用、性能升级的目的^[1]。滤芯材料由原来的纸质、普通化纤材质改成了高精度复合玻纤材质，提高杂质的拦截效果，过滤精度统一改为10μm，可拦截润滑油中直径小于10μm的金属碎屑、粉尘、胶质杂质等杂质，防止对齿轮箱油品造成污染。从结构上来说，改善滤芯褶皱的密度和排布方式，增大过滤接触面，提高纳污量，延长滤芯的寿命，并增加中心支撑骨架，防止滤芯受高压工作压力产生变形或者破裂的现象发生，从而提高结构稳定度。统一多机型滤芯安装接口尺寸，实现不同风机机型滤芯通用替换，降低配件储备成本。

（三）多机型通用化结构适配改造

风场多机型风机过滤器结构规格不统一，安装尺寸、接口类型、固定方式不同，造成运维更换麻烦、配件通用性差、改造成本高。为了克服上述问题，对过滤器通用化进行改造，建立标准的通用结构。

二、风场多机型齿轮箱过滤器防渗漏技术应用

（一）多重密封结构升级技术

在工业过滤器长期运行过程中，接口渗漏是最常见的设备故障，经工况调研与故障分析发现，密封结构设计单一、密封构件综合性能不足是引发渗漏问题的核心原因。传统过滤器普遍采用单层橡胶垫圈的密封方式，密封防护层级薄弱，适配性较差。在设备高压运行、机身持续振动、环境温度频繁交变的复杂工业工况下，单层橡胶垫圈极易出现弹性衰减、挤压变形、老化开裂等问题，导致密封面贴合度下降，接口缝隙逐渐扩大，最终造成介质渗漏，不仅影响过滤器过滤精度与运行稳定性，还会造成介质浪费、环境污染，甚至引发后续设备故障。

本次设备改造采用双层密封防护的复合密封技术，构建主次结合、双重防护的密封体系。在过滤器端盖与壳体的衔接关键位置，增设主密封与辅助密封两套独立密封结构，形成全方位密封屏障。其中主密封结构选用高弹性氟橡胶密封圈，该材质具备优异的耐高低温、耐腐蚀、抗老化及抗压变形性能，可适配极端工况环境，长期保持稳定的弹性贴合状态，承担核心密封防护作用，有效阻断介质渗漏通道。辅助密封采用专用密封胶填充层，精准填充密封结构的微小间隙，弥补密封圈贴合的细微缝隙，杜绝微量介质渗透问题，解决单层密封结构防护不彻底的短板^[2]。同时，本次改造对密封接口结构进行针对性优化，摒弃传统稳定性较差的平面密封结构，升级为梯形密封槽结构。该结构可有效限位、固定密封圈，大幅提升密封圈的安装贴合精度与固定牢固度，从根源上规避设备运行振动导致的密封圈移位、松脱、错位等问题。

（二）标准化安装与固定防渗漏技术

除结构设计缺陷外，不规范的安装固定工艺是引发过滤器渗漏的主要人为及工艺因素，多数后期密封渗漏故障，均与安装受力不均、管路对接不当、设备减震不足等施工问题相关。基于标准化施工、精细化运维的核心理念，本次改造制定过滤器专项标准化安装防渗漏工艺，全面规范施工流程与操作标准，规避人为施工误差带来的渗漏风险。在安装施工环节，建立三项核心规范工艺。首先，严格管控螺栓紧固力矩，摒弃传统凭经验紧固的粗放施工方式，统一使用力矩扳手，对端盖螺栓进行对称、均匀紧固，确保密封面受力均匀、贴合紧密，杜绝单边紧固、力矩不均引发的密封面间隙偏移、局部缝隙过大等问题。其次，规范管路对接施工工艺，安装过程中全程规避管路扭曲、拉伸、挤压等情况，保证管路自然对接、贴合对齐，减少接口密封部位的额外应力，避免长期应力累积导致的密封件变形松动。最后，优化设备固定方式，在过滤器底座加装高弹性减震缓冲胶垫，有效削弱机舱设备整体振动对过滤器本体及密封接口的持续冲击，阻断振动传导带来的密封松动隐患，提升设备运行稳定性^[3]。

（三）工况适配性防护与预防性防渗漏技术

对风场复杂工况引起的过滤器密封结构的侵蚀、损坏采取工况适应性的防护改造，使用预防性防渗漏维护技术。防护方面，在过滤器密封接口、螺纹接头等薄弱处加装防腐防护套，涂刷防

防腐涂层,隔绝盐雾、湿气、风沙的侵蚀,减缓密封件的老化失效;冬季低温工况下,给过滤器加装保温防护层,防止低温造成密封圈硬化、弹性失效^[4]。从预防性运维角度出发,创建过滤器分级巡检养护体系,日常巡查找找密封渗漏、接口松动状况,定时更换老化的密封件,预先排查隐患,按照滤芯堵塞程度及时更换滤芯,防止管路压力过高冲破密封结构造成渗漏。采用结构防护加预防性维护的方式,达到渗漏故障源头控制的目的。为了直观地体现出改造和防渗漏技术的效果,对改造前后故障数据进行统计。

三、结语

综上,针对风场多机型齿轮箱过滤器通用性差、性能不足、渗漏率高的行业痛点,本文从壳体结构、滤芯性能、通用化适配

三个方面进行结构优化改造,并且采用多重密封升级、标准化安装、工况防护和预防性运维技术,创建起完善的过滤器防渗漏体系。现场试验数据显示,优化改造以及防渗漏技术可以大幅度降低过滤器的渗漏、堵塞故障的发生率,减少配件更换的成本和机组停机造成的损失,而且实现了多机型设备通用化,大大提高了风电场的运维效率。该技术方案适合陆上、海上各种风场多机型机组,实用性强、推广性好,可以保证齿轮箱润滑系统清洁、稳定运行,延长风机核心设备使用寿命,给风电场安全高效、降本增效运行提供有力支持。

参考文献

[1] 肖生果,王永.基于多尺度特征融合生成对抗网络的风电机组齿轮箱故障诊断[J].太阳能学报,2026,47(05):205-215.
[2] 赵乃卓,贾东,高永新,汪洋.基于多尺度全维动态卷积残差网络的齿轮箱故障诊断[J].噪声与振动控制,2026,46(03):156-162.
[3] 朱学青,赵蓉坤.一种自动化集装箱码头跨机型融合式远控HMI系统[J].港口装卸,2026,(02):29-31.
[4] 秦杰.双馈机型齿轮箱轴承温度高原因分析[J].技术与市场,2019,26(04):178.