

风电机组齿轮箱润滑系统泄漏监测技术与应用

邓文兴

国华（赤城）风电有限公司 河北张家口

【摘要】本文先阐述风电机组齿轮箱润滑系统构成，以某风电场双馈 SL1500 风电机组为例主要介绍系统润滑保护与散热控温原理及功能，并指出密封胶圈损伤、油管开裂、散热器散热翅片油污灰尘堵塞、油位监测滞后等问题，以及夏季偏航接油槽雨水与油污堆积溢油风险与设备配置技术特点。随后从泄漏报警与预防控制（安装集油槽、传感器等）、针对性治理（定制流程、更换材料等）、长效防护与结构优化（升级材料、改进结构等）、运维管理与污染防控（建立三级巡检机制等）四方面详述措施，保障机组安全稳定运行、避免环境污染及财产损失提供支撑。

【关键词】风电机组；齿轮箱；润滑系统；泄漏监测；泄漏预防；泄漏治理；运维管理

【收稿日期】2025 年 11 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 12 月 17 日 **【DOI】**10.12208/j.ispm.20250011

Leakage monitoring technology and application for wind turbine gearbox lubrication systems

Wenxing Deng

Guohua (Chicheng) Wind Power Co., Ltd. Zhangjiakou, Hebei

【Abstract】 This paper first explains the structure of wind turbine gearbox lubrication systems. Taking a doubly-fed SL1500 wind turbine at a specific wind farm as an example, it elaborates on the principles and functions of system lubrication protection and thermal control. The study identifies issues such as seal ring damage, oil pipe cracks, radiator fin clogging from oil stains and dust, delayed oil level monitoring, as well as summer risks of oil spillage from deflection oil collection troughs due to rainwater and oil contamination accumulation, along with technical features of equipment configuration. Subsequently, it details measures from four aspects: leakage alarm and prevention (installation of oil collection troughs, sensors, etc.), targeted solutions (customized processes, material replacements, etc.), long-term protection and structural optimization (material upgrades, structural improvements, etc.), and operation management with pollution control (establishing a three-level inspection mechanism). These comprehensive measures aim to ensure safe and stable turbine operation while preventing environmental pollution and property damage.

【Keywords】 Wind turbine; Gearbox; Lubrication system; Leakage monitoring; Leakage prevention; Leakage management; Maintenance and operations management

1 引言

在全球能源架构向清洁能源转变的大环境下，作为风力发电开发关键装备的风电机组稳定运行至关重要，作为风电机组实现能量传递主要部件齿轮箱，其润滑及散热高效运行为重要部分，该性能好坏直接影响机组整体稳定性。实际运行中，润滑系

统易受环境影响、部件老化、密封失效、监测不及时等状况出现油品泄漏，这不仅会引发设备故障致停机，带来高昂维修成本与发电量损失，还会致使油品外溢，污染土壤、水域引发环境污染矛盾，给企业带来经济损失及声誉风险。本文以某风电场双馈 SL1500 风电机组为研究对象，深入分析齿轮箱润滑

作者简介：邓文兴（1982-）男，河北省黄骅市，汉，本科，职称：中级，职务：生产运行专业工程师，研究方向：风电机组科技创新、技改及生产。

系统的组成、系统功能及现存问题,系统给出泄漏预防和治理方案,为风电场设备运行维护提供科学参考依据。

2 风电机组齿轮箱润滑系统概述

2.1 系统基本构成与主要参数

润滑系统依照“供应液体、循环流转、调节控制、监督检测”整套流程搭建基础架构,其主要部分包含油箱、过滤装置、冷却装置、压力传感器、油位计、流量阀门及管路等,这些组成部分形成闭环式运行体系;以某风电场双馈 SL1500 风电机组为例,该风电场风电机组齿轮箱采用大重齿轮箱与南高齿齿轮箱,润滑系统油品选择壳牌 HD320 齿轮油,每台机组润滑油加注量约 550 升;从系统设计角度,明确润滑油黏度等级、工作压力范围、合适供油流量及过滤精度标准等关键参数,这些参数会根据齿轮箱传动功率、转速级别、运行环境实际状况等因素进行设定,以使润滑效果与系统适配。

2.2 润滑及散热系统功能与工作原理

该系统核心具备润滑保护与散热控温两大关键功能,润滑保护采用强迫油循环与飞溅润滑结合的方式,促使润滑油在齿轮啮合面、轴承等重要部位形成油膜,以达减轻摩擦、抵御磨损、吸纳震动、缓冲冲击、防止腐蚀,并避免金属部件因直接接触而磨损的目的;散热控温部分,润滑油吸收齿轮传动热量后经油泵装置至管路传导至散热器,并借机舱内空气对流实现热交换,温控阀依油温动态变化调节油流路径,双速电机通过转换转速调整供油流量确保油温稳定维持在安全区间,单向阀防止润滑油逆流,双级滤芯过滤油中杂质,不过在更换滤芯、温控阀及单向阀时密封胶圈损伤或损坏易被忽视,且齿轮箱滤芯处油管因长时间高温运行可能裂开导致润滑油泄漏,齿轮箱油位监测仅在齿轮箱高速端部配备一个行程开关的油位计,其量程从 MIN 到 MAX,油位到达 MIN 时触发并反馈 PLC 报出故障。

2.3 现有设备配置及技术特点

设备配置双速电机搭配双级过滤及独立散热器,其中电机根据运行工况由 PLC 自动控制进行齿轮油润滑及过滤工作,双级滤芯采用分级过滤设计,10 μm 精度滤芯清除微小杂质、50 μm 精度滤芯阻拦较大颗粒物,从而延长润滑油及部件使用时长并规定滤芯每年更换 2 次,在齿轮箱散热器进行散热工作时,启动散热器电机进行降温散热,散热器的热

量借助机舱内外空气对流排出;从技术特点看,该系统结合强迫油循环的高效润滑特性与飞溅润滑的辅助保护,扩大润滑覆盖范围,对单向阀、温控阀等关键部件设定清晰压力界限以保证系统稳定性。但需特别注意:风电机组齿轮箱油位监测仅配备一个行程开关油位计,当因天气冷热变化致油位到 MIN 时,报油位低故障,此情况补充油品即可。但若油品泄漏,运行过程中油位下降至 MIN 位置才触发故障停机,过程中齿轮油位由正常油位泄漏到油位低故障停机,齿轮油外泄油品将达 200 升以上,齿轮箱低速端、散热器、油泵等滤油装置未设渗漏油集油箱,齿轮油泄漏油品沿着轮毂及机舱下部溢到机组外部,导致环境污染等情况,特别在夏季雨水偏多时节,偏航接油槽内油、水混合物过多,在机组晃动或偏航接油槽满时可能外溢,严重污染机组的塔筒、叶片及机舱,若风电场附近有虾池、蟹池、海参池等养殖区域,可能引发漏油污染事件,产生民事纠纷及造成较大财产损失。

3 泄漏预防与治理措施

3.1 泄漏预防控制技术

泄漏报警与闭环控制技术主要依靠硬件的合理配置以及回路的精心设计,搭建起一套完整防控体系,具体为:在报警方面,在齿轮箱低速端、滤油装置处、小散热器下方安装集油槽,而且集油槽内部放置液位传感器,并且将触发阈值设定为集油槽容积百分之三十到百分之五十范围的集油槽,该传感器以串联方式接入原油位计开关回路,泄漏致使液位达到设定阈值即触发反馈至 PLC 报出故障信号;在闭环控制环节,在油泵高低速接触器回路添加一个 24VDC 的继电器,告警信号触发后继电器产生动作,进而切断油泵电源使油循环停止,消除管路压力防止泄漏加剧恶化,同时配备废油收集监测相关装置,由于偏航接油槽采用双半圆槽体设计,需各槽内安装浸入式离心泵以及带有 3 探头油位控制器,能自动将废油抽送到机舱集油桶,集油桶设置液位传感器信号也串联到油位计线路,一旦告警需人工及时进行清理,最终实现对泄漏问题快速响应及风险有效控制。

3.2 泄漏治理措施

在进行泄漏治理工作时,先确定泄漏部位,再分析泄漏原因,最后编制治理方案。根据各部件不同结构特点及导致泄漏的具体因素制定不同操作流

程,同时特别关注拆解、清理、更换等工艺是否规范,防止因操作不当加重部件损伤。如齿轮箱滤芯部位油管因长时间高温运行开裂,更换为耐高温、抗老化的高强度油管,更换时保证接口密封防止二次泄漏;密封件治理过程中,对于密封性能下降的部件,依据润滑油特性及工作环境温度选取更优材料,将普通密封材料升级为耐油、耐高低温的氟橡胶或聚四氟乙烯材料,使密封件更适配工作环境;在轴端盖、管接头等易泄漏部位安装漏油监测装置,通过实时感应油迹变化发出预警避免泄漏量增大;对于因部件磨损产生泄漏的情况,如轴表面圆度超出标准,可采用激光熔覆技术修复,让部件恢复原本精度,减少因配合间隙过大引发的泄漏。在高速轴端盖泄漏治理方面,利用扭矩扳手按对角顺序逐个缓慢松开轴端盖螺栓,挑选中性化油剂全面清洗端盖密封槽及轴表面油污,采用直尺与密封槽贴合方式测量密封槽平面度(误差超 0.1 毫米则打磨修正),运用千分尺沿轴圆周方向选 3 个截面测量轴圆度(误差超 0.02 毫米运用激光熔覆技术修复轴表面),选择过盈量掌控在 0.15 毫米、适合与壳牌 HD320 润滑油搭配且适用于-30℃到 40℃工作环境的氟橡胶 O 型圈,在密封槽均匀涂抹厚度为 0.05-0.1 毫米、不会堵塞油路的乐泰 510 耐油密封胶,端盖对准螺栓孔后缓慢安装,按 30N·m 规定扭矩以对角形式分 3 次逐渐拧紧螺栓(每次扭矩递增 10N·m),最后启动机组使其空载运行 1 小时,运行后检查齿轮箱端盖周边无油迹残留表明治理工作完成,后续机组巡检中再次确认。

3.3 长效防护与结构优化策略

为达成长期有效的防护效果,需从材料升级、结构改进以及防护涂层处理这三个层面着手开展工作,关键要点在于增强润滑系统各部件应对老化、磨损和腐蚀的能力以降低泄漏风险。

材料选用上,密封件优先考虑氟橡胶、聚四氟乙烯等能耐受油类及高低温环境的高分子材料,金属部件运用表面氮化、镀铬工艺手段增强耐磨性能;防护涂层方面,在油管表面涂抹环氧树脂涂层缓解介质腐蚀引发的泄漏现象。

结构优化工作重点针对易泄漏部位改进:一是优化散热器设计,增加散热片厚度提升散热效率,同时将散热翅片交错排列改为直通排列,防止毛絮与油污混合粘结,方便清洗,避免部件因堆积侵蚀

引发漏油;二是改造老机组齿轮箱高速端端盖,适当延长端盖与齿轮箱安装面长度增强密封稳定性,同时改进端盖内部回油路减少回油泄漏风险;三是优化管接头密封形式,将原有螺纹密封替换为球面密封提高密封可靠性,并且增加油管固定支架减少机组振动导致的接头松动;四是在油路关键节点增设缓冲结构,如在油管与接头连接处安装金属波纹管吸收振动位移,避免油管受拉扯损坏。

以某风电场油路分配器管接头优化措施为例,原本管接头采用普通螺纹密封方式,因机组振动易出现松动和泄漏问题,优化方案为:材料方面,将丁腈橡胶密封垫更换为能在-20℃到 200℃保持良好性能且对壳牌 HD320 润滑油溶胀率小于 5%的氟橡胶密封垫,接头本体材料从普通碳钢改为 304 不锈钢提升抗腐蚀能力;结构方面,将单一螺纹密封形式改为“球面+O 型圈”组合密封形式,使球面接触面积增加 30%减少振动导致密封失效可能性,同时增加金属波纹管吸收振动位移;防护涂层方面,在接头螺纹表面涂抹二硫化钼涂层降低拧紧摩擦系数确保紧固扭矩稳定。

3.4 运维管理与污染防控措施

需打造一套通过定时巡查、精准监测以及专门检修来预先察觉泄漏隐患的“定期巡检-状态监测-预防性维护”运维体系,针对排查出的问题依照规范记录并留存档案以利于后续深入分析泄漏原因;污染防控关键在于对泄漏的油污和液体展开收集与处理,防止土壤环境遭污染且防止外部污染源渗透到润滑系统,以免加剧设备生锈、零件磨损、渗漏等状况;在运维管理上切实落实巡检周期和具体内容,把预防性维护周期与设备使用周期、运行监测数据紧密联系,在污染防控环节设置专门回收废油的桶,处理泄漏情况时用防渗布回收油液,并在机组底部加装接油盘以避免漏出的油污和液体直接滴落到地面或周边水域。

某风电场实行“三级巡检机制”:一级巡检,检查轴端盖、管接头等易泄漏部位有无油迹,记录油泵电流及油路压力数值并与历史正常参数对比以判断系统稳定性,同时查看漏油监测装置运行状态;二级巡检,利用真空取样器抽取未受杂质污染的润滑油样本,之后送样本到实验室检测黏度(变幅超 10%需换油)、水分(大于 0.1%需换油)、杂质(大于 10mg/L 需换油)且清理散热器翅片;三级巡检,

拆解检查散热器密封垫（查看是否老化变形）、滤芯（评估过滤效果）、高速轴端盖密封件（查看磨损程度），及时更换失效部件从根源上降低污染风险及设备损坏可能性。此外，该风电场构建泄漏事故应急预案并定期组织演练，以确保泄漏发生时能快速响应，减少财产损失及对环境的影响。

4 结语

本文针对某风电场双馈 SL1500 型风电机组齿轮箱系统，对其结构参数和功能特性进行了分析，同时对比了各监测技术的优缺点，并提出了基于各种检测技术进行泄漏监测的治理和防护方案，提出的综合方案能够提高监测精度和防控水平，降低了维护成本。但是对于极端工况下预警模型仍存在缺陷，在未来可以通过对模型算法进行改进，更好的与复杂场景相结合，从而完善对不同设备健康状态的识别。

参考文献

- [1] 谷玉海.大型风电机组齿轮箱早期故障诊断技术与系统研究[D].机械科学研究总院,2016.
- [2] 动力工程及工程热物理.基于油液分析的风电齿轮箱润滑油在线监测系统设计与研究[D]. 2023.

- [3] 唐云,魏昂昂,童彤,等.面向风电机组行星齿轮箱故障诊断的振动监测技术研究综述[J].风能, 2022(8):92-95.
- [4] 袁凌,褚景春,郭宇辰,等.齿轮箱润滑冷却系统的智能故障预警系统及其风电机组: CN201920199564.0[P]. CN210005244U[2025-09-02].
- [5] 殷允亮,孟庆新,续建康: 风电机组齿轮箱打齿原因分析及现场技改措施研究[J].电工技术 . 2025 (06)28-30+34
- [6] 王付岗,李成晨,卓然,李永奎,杨杨.MW 级风电增速齿轮箱高速轴轴承高温问题研究[J].机械传动 . 2019 ,43 (05) 161-166
- [7] 孟鹏飞,李强.基于 SCADA 故障告警数据的风电机组隐患分析及处理方法[J].风能 . 2019 (01) 94-98
- [8] 康涛,李英昌.基于工作机理的风电机组润滑系统故障原因分析与诊断[J].风能产业 (2017 年第 8 期 总第 97 期) 112-115

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS