

# 风电风机齿轮箱检修技术与维护措施研究

李金辉

国华蒙东（内蒙古）新能源有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i2.7721

**[摘要]** 随着风力风电风机齿轮箱运行时间的不断增加，控制系统、齿轮箱等可能会出现各种故障，如果不及时处理和解决使用寿命将大大缩短。目前，国家高度重视新能源的开发，特别是风能。由于风力发电大多是在恶劣条件下建造的因此维护起来更加困难。

**[关键词]** 风电风机；齿轮箱；检修技术；维护措施

## Study on the maintenance technology and maintenance measures of wind turbine gearbox

Li Jinhui

Guohua Mengdong (Inner Mongolia) New Energy Co., LTD.

**[Abstract]** With the increasing operation time of wind turbine gearbox, control system, gearbox and other various faults, if not dealt with and solved in time, the service life will be greatly shortened. At present, the country attaches great importance to the development of new energy, especially wind energy. Wind power is more difficult to maintain because it is mostly built under harsh conditions.

**[Key words]** wind turbine; gear box; maintenance technology; maintenance measures;

### 前言：

风电风机正常运营面临严重问题由于不利的环境因素，一些不利的环境因素会影响正常工作有不同程度的风电风机齿轮箱，如风能和沙子，雷击影响影响和冷冻，侵蚀等由于风的不均和时空不稳定，极易受到各种电气或机械故障的影响。

### 1 风电风机齿轮箱的研究作用

风力发电厂的建设是灵活多样的，从海洋到山脉和丘陵的复杂地形可以为风力的建设提供一个很好的地点。此外，风电风机在运行过程中不使用其他燃料，导致几乎为零的环境污染。它们在经济和技术上都是首选的替代能源。在可持续发展的背景下它们将不可避免地成为最重要的绿色可再生能源之一。能源质量的关键是有效增加风能，并在现有容量的基础上保持电力增长。保持平稳运行是关键定期检查和维护是至关重要的。在发电过程中，风力发电厂的使用和人力及其他投资成本增加，由于各种因素导致发电成本增加。发电厂大规模投资的影响导致运营资金占用空间小，因此提高设备运营成本、降低投资是很重要的。在齿轮运行过程中，如果润滑油不够或不够干净，就会导致氧化物和颗粒的积累，当达到一定的尺寸时，这些氧化物和颗粒会逐渐积累，最终导致齿轮磨损。在风力发电的快速发展中，运行和维护风力齿轮箱的高成本严重影响了风力发电厂的经济效率。对于整个系统来说传输失败率往往是最高的运行和维护成本占很大比例。由于风力风电风机齿轮箱系统的故障是不可避免的，如何降低运行和技术成本是一个重要的问题需要紧急研究。降低运行和维护成本的关键是对风力发电机组进行科学测试和维护。

### 2.风电风机齿轮箱故障诊断技术概述

基于振动信号的故障诊断方法是研究应用最广泛的齿轮

箱故障诊断方法。振动信号的诊断方法是接收来自故障敏感部分的振动信号。频率范围或时间范围是工程人员根据故障诊断或使用人工智能技术对故障进行分类和诊断的专业知识。国内外科学家经过多年研究理论和方法，诊断相对成熟，许多在线监测和诊断产品，许多新的不稳定信号的非线性分析方法在机械故障诊断不断成功的风机，但用于诊断故障，许多解析方法仍有许多困难并不能直接应用。风机由于运行条件差、实时输入负载变化等影响因素，对系统的振动信号进行分析仍有一些困难需要克服主要困难包括：（1）运行条件较差，齿轮箱中收集的振动信号含有复杂的噪声成分，相对噪声的有用信号很低，甚至被噪声淹没因此需要研究有效的噪声消除方法，以最大限度地提高与齿轮箱故障相关的有用信号。（2）随着风向的不断变化风机塔始终处于相对较低频率的振动状态，齿轮箱安装在风机塔的顶部随着塔的振动，塔的振动会对齿轮箱的振动信号产生调节作用。振动信号总是有一个低频随机调制信号，带有杠杆因此很难消除这种低频随机调制信号的干扰。（3）由于风速变化实时传输系统，输入负荷不断变化，从输入轴转速输出轴也不断变化，最成熟的分析方法基于光谱分析方法不断旋转速度，输入转变为具有特定需求变化，主要变化频率振动信号仍然在特定范围。为了在线监测和诊断风扇变速箱振动，需要寻找分析转速变化信号的方法。

### 3.风电风机齿轮箱检修技术

3.1 故障。由于齿轮的环境不断受到可变载荷的影响根部受到最大的弯曲应力。因此，有一种集中的现象导致齿轮断裂。当齿轮工作时有时会出现润滑油不足的情况，因此在相对滑动时，连接器相的两个齿面可能会在油膜上破裂。在这一点上，摩擦产生热量，焊接出现局部熔化，导致齿轮表面粘附。在齿

表面由于力不均匀,形状的斑点出现如果没有及时处理,就会变成斑点导致金属脱落现象。转向部件、内环和外环等部件可能会出现故障影响齿轮箱的正常运行。常见的故障类型主要是断裂、磨损等。由于生产工艺水平有限风力传动不可避免地会出现轴不平衡。在允许误差范围内运行不受影响,但从长期来看不平衡变得越来越严重,导致故障。

3.2 排除方法。齿轮箱位于风力发电机内连接输出和风力发电机,是双电源驱动电路的关键组成部分。通常,由于轮的转速不能满足发电机的要求,它必须由一个加速齿轮箱来补充。由于往往位于风资源较丰富的地区,某些天气条件和风负荷方向的不规则影响可能会损坏风扇单元,而齿轮箱位于塔顶的机舱内,在狭窄的空间内如果问题难以修复,应仔细调查故障原因并定期进行维护。不同于总局换挡,换挡以及其他电子设备日常维护和保养变速箱更为重要,在日常保养和维修工作加以执行,通常为变速箱低速尽头,高速连接线、冷却器等。检查泄漏和损伤:根据指定的扭矩值检查主紧固螺栓的扭矩,包括螺母紧固螺栓、垫圈连接螺栓、机器底座支撑弹性连接螺栓等;目视或内窥镜检查检查油的颜色变化,定期收集油样品进行分析,根据试验结果确定是否需要更换油;及时打开变速箱,观察孔盖,观察牙表面的污垢检查油的颜色和杂质;检查传感器联轴器,检查每个传感器的特性,特别是加强对变速箱冷却系统温度的有针对性的监测,避免润滑油过热导致金属部件开裂的危险。弹性架定期检查和在工作条件下如喷雾器老化应及时更换。

3.3 针对当前齿轮箱维修技术研究中存在的一些关键问题,需要从以下几个方面深入探讨维修技术,为科学高效的维修提供坚实的理论基础和有效的技术手段。(1)多传感器风力齿轮箱在线控制的方法的研究。应用现代传感器理论我们研究将振动传感器、声学传感器、油颗粒传感器安装在各自的风力传输位置,以实时收集各种齿轮、轴承、润滑油等的状态信息。过程使用调制输出信号与多个传感器采用现代网络通信、远程信息处理终端的传输技术,建立在线控制系统与多个传感器提供基本数据进行有效诊断各种故障。(2)故障智能诊断方法研究的基础上合并来自多个来源的信息。研究了各种熔融结构和熔融算法在诊断风力发电机变速箱故障中的应用。在多传感器信息融合的结构方面进一步的研究将神经网络技术与多层信息融合相结合集成多层信息,提高故障诊断的准确性。努力实现风电故障特别是早期类型的故障,识别场地发展阶段和发展趋势预测,开发适当的专门故障诊断系统。基于使用寿命分布和实时监测数据,对风力涡轮机的预防性维护策略进行了研究。对不同类型的传动装置及其部件的故障进行理论和实验研究,准确了解传动装置及其部件的寿命分布类型,为装置维护周期的科学优化提供基础。进一步研究风力齿轮箱维护阈值同时基于实时监测数据计算风力箱可靠性,实时评估运行过程中的可靠性,为优化维护策略提供基线数据。加快在风力涡轮机变速箱维护实践中实施各种预防性维护策略,降低整个生命周期的维护成本。

3.4 风电风机齿轮箱的振动信号通常是非线性的、非平滑的信号,对于振动信号的特性提取一定的复杂性,提取个别特

性参数很难有效地确定变速箱的运行状态,有必要研究信号分析的方法,结合几个特性参数通过对几个信号的复杂分析,超越早期信号故障,故障定位地点等,目前主要的控制方法检测成本高工作长期控制和其他缺点,但可以在线实时发现液体总支出目前很少适用,迫切需要开发一种可以应用的在线金属颗粒拆卸系统。通风机工作环境恶劣而复杂,有时一种故障诊断方法很难在区块的早期阶段快速发现不明显的故障,形成有效的诊断结果,结合各种方法创建互补性,使区块状态监测更有效,以及早期发现潜在的非明显故障,可视恢复。基于实时在线监测和振动信号的故障诊断方法,是一种新型的齿轮缺陷早期检测方法,通过实时检测润滑油中金属颗粒的大小和密度信息,定性地确定变速箱磨损状况。能够及早发现变速箱问题,然后利用振动信号进行更深入的分析和诊断发现和早期潜在故障点。

#### 4.风电风机齿轮箱维护措施

4.1 定期维护要求。风电场应定期对风机设备进行维修,检查恶劣环境下雨雪、风沙、闪电等因素造成的运行问题,及时发现需要处理和解决的问题。在日常维护中技术人员应确保风扇长时间保持清洁和卫生,以减少故障的频率。齿轮箱的新绝缘特性对一般干鼓很好,故障检测就足够了。在长时间断电和首次使用的情况下,至少每年进行一次绝缘电阻测试。除定期维修外通风设备日常运行中出现的各种问题应尽快解决,避免对风力发电设备的正常运行产生不利影响,故障排除后运行人员和维修人员还应根据故障特点进行有针对性的日常维修。维修人员还应及时清理风扇内部杂质清理界面区域确保清洁。

#### 4.2 逐步维护风电机组齿轮箱的策略

根据以往工作的维修经验,相应的风机齿轮箱维修策略主要可分为预防性维修和预后维修。期间自动维修检查细节在不同时期,经常有一定系统构建在几种不同的细节,因为存在某些细节之间的相关性和节约几个管理制定服务细节,所以作为独立的维修单位,也没有相应的概率之间的相关性,一旦发生故障,维修立即停止适当的维修可以在预定的时间内进行,故障部件可以达到每个部件之间没有意外拆卸。在过去的传统维修中退化并没有被打破,主要是利用自身的长期经验来有效地分离设备的健康状况,所以传统的策略缺乏一定的科学。根据相关经验数据,在安装时检测到齿轮箱故障的概率最高,而长期使用降低了故障的概率,其故障率在测试结束前保持稳定允许故障率的整合即可靠性是状态的指标;然而经过长时间的工作会磨损和老化个别部件的状况会恶化从而增加失败率。因此逐步维护在期后进行。

建立维护模型退化矩阵主要描述了齿轮箱的退化特性,采用聚类分析方法有效地分离了聚类数,然后开始计算不同的数以便分析的退化过程,建立一个适当的实验平台来分析其退化过程。一项基于特定兆瓦水平风力发电的研究将主传动轴和主传动轴的轴承,以及次级传动轴和后轴的齿轮箱确定为一个机会维护组然后行维护,以确定每个类别的参数。与传统的服务相比,分阶段服务在细节维护方面效率较低,这表明使用相同资源的可靠性更高。将风能连接到电网的主要问题是电压的稳

下转第 174 页

率波动的能力。除此之外，在光伏发电峰值波动时，STATCOM 装置经过动态调节无功功率输出（范围设定为-30 Mvar 至+30 Mvar），能保障并网点电压维持在±2%的偏差范围内，避免逆变器因电压异常频繁脱网，优化新能源消纳能力。电力企业还可以采用分布式配电自动化方案，在 35 kV 配电网的 10 个关键节点上布设电压监测传感器以及智能终端，将数据采集间隔缩短至 1 秒，借助云端分析，精准识别电压异常发生的节点。当单台变压器过载导致下游母线电压跌落至 90%额定值时，配电自动化系统立即联动区域内的两个 SVC 设备提供总计 15 Mvar 的无功功率支持，调整其他配变负载分布，将电压快速恢复至正常水平。

#### 5. 边缘计算强化分布设备联动控制

在电力系统中，边缘计算技术将数据处理任务从中心化的云端转移至靠近数据源的边缘节点，会实现实时联动分布式电力设备的效果。该技术能在电力设备之间建立更紧密的协作机制，提升响应速度，减少延迟问题，在高负荷运行中具有显著优势。电力企业在配电变压器、开关站等节点部署智能边缘设备，使设备独立进行数据采集、分析，在断网情况下依然可以维持基本功能。除此之外，边缘计算的分布式架构有效缓解云端计算压力，保障系统的安全性。电力企业运用边缘计算能够优化分布式能源接入后的协调控制，提高微电网的独立运行能力，并支持调动多场景的动态资源，保障供电的稳定性。

在分布式光伏发电与储能系统的联动控制中，电力企业借助边缘计算可以实现精准的能量分配。若一个分布区域内包含 100 个光伏发电单元和 20 个储能单元，每个单元每秒生成 50 条运行数据，整个区域每秒生成 6000 条数据，传统云计算模式下传输与处理时间可能延迟至数秒。但电力企业运用边缘计算技术在光伏逆变器及储能装置上部署边缘节点，会直接对这

些数据进行本地分析，缩短延迟至 10 毫秒以内，显著提高实时性。与此同时，电力企业在上述区域内，构建光伏发电量以及负荷需求的历史数据的训练模型，能在边缘节点实现 95%以上的负荷预测精度，确保发电同储能的最佳匹配。当区域内用电负荷瞬间增加 20%时，边缘节点将在 0.5 秒内完成调整，优先调度储能单元释放电力，同时降低不必要的分布式发电单元输出，避免超负荷导致的设备损耗。除此之外，在包含 200 个分布式配电终端的系统中，边缘节点会在 15 毫秒内检测到电压异常并定位故障点，相较于传统系统的检测时间缩短约 90%。电力企业部署自主学习的边缘设备，还能将故障恢复时间从 2 分钟缩短至 30 秒以内，降低配电系统的故障率 25%以上。

#### 结束语：

电力自动化控制技术的引入，使得电力系统的运行管理迈入智能化、精细化的新时代。电力自动化控制技术在电网系统中能起到提升系统稳定性、优化电网调度、精确监测数据等作用，提升负荷管理的灵活性。而在设备故障预测、负荷分配优化以及分布式能源接入管理等方面，电力企业借助智能调度技术，能使电力系统实现更高效的资源配置。

#### [参考文献]

- [1]姜维. 电力系统中的电力自动化技术应用[J].通讯世界, 2024, 31 (01): 100-102.
- [2]陈齐荣. 电力系统中的自动化控制技术分析[J].集成电路应用, 2024, 41 (01): 200-201.
- [3]江拼, 游世辉, 李伟, 刘艳金, 雷增强. 电气自动化控制在电力系统中的应用[J].中国高科技, 2023, (14): 32-33+36.
- [4]陈妍. 电力自动化系统中的控制技术优化分析[J].电子技术, 2023, 52 (05): 282-283.

#### 上接第 171 页

定。由于风力资源分配的限制，大多数风电场都建在电网的末端，那里的电网结构相对较弱，因此电网电压的质量和稳定性将不可避免地受到影响。并网断路器的功能是，当发电机离网时，它可以确保机组的安全关闭，在机组运行时，它可以检测和记录风力状况，机组和电网的运行状态，可以自动识别异常情况，并采取适当的保护措施。当发生系统故障或线路故障导致线路关闭时，运输检查员必须检查线路故障的原因或触发器，在系统恢复正常后，重新启动机组，并通过计算机连接到电网。运输检查员还必须定期检查和连接连接到电网的断路器外壳，以避免断路器本身的机械故障，即使是由于连接到电网的断路器的频繁操作可能影响安全稳定运行。

4.3 处理建议。疲劳裂纹的来源在齿轮箱沟槽附近发芽每个末端表面都有一个近似的裂纹形状，只是齿轮箱裂纹表面的扩散区域不同。多个信息源疲劳裂纹扩展行为表明这些齿轮加工初始缺陷较多，开采过程中负荷高齿轮材料的化学成分含量高，表明存在重大风险为齿轮加工产品质量稳定准备成品齿轮箱。齿轮箱损伤表面硬度测量显示加工后表面硬度大大高于齿轮箱材料硬度值土著齿轮表面符合国家标准，但硬度分布不均所以当齿轮表面粘贴，齿轮由于硬度差容易接触疲劳导致表面磨损，通过拉伸试验和比较齿轮材料，试验材料的弹性极限略高拉伸强度不足，断裂伸长率和变形收缩率高于全国数

值，表明原材料的强度良好齿轮箱静态性能也符合国家标准；然而低温冲击性能非常差，对内环断裂的抵抗表明在内环断裂后裂缝倾向于扩大，这也与对内环断裂的分析结果一致。结合齿轮箱运行和维护，通过测试和分析技术，分析了风力齿轮箱运行 5 年后齿轮箱疲劳引起的故障。通过大幅低速和其他分析判断，齿轮加工存在缺陷和控制化学组成合金不够严格，表面硬度不均变速箱，机械性能、冲击特性和技术要求具有一定差异，很多因素表明，早期设计和管理进程还不够成熟因此成品齿轮箱的质量不同可靠性高。

#### 结论

基于上述分析，基于衰退风力齿轮箱维修，提出新的可能性和动态服务作为关键门槛，特别是主要显示技术服务逐步固定服务，可以完美适应特征在齿轮箱中从而提高了相关部件的维护效率。

#### [参考文献]

- [1]李兵. 风电机组齿轮箱故障分类方法研究[J].机械设计与制造, 2024 (02): 177-180.
- [2]刘敏. 风机运行中常见故障原因分析及处理[J].现代制造技术与装备, 2024 (5).
- [3]乔建丽, 陈江蓓. 风电场并网布局对系统稳定性的影响研究[A].大规模储能技术的发展与应用研讨会论文集[C], 2023