

# 风力发电机组齿轮箱常见故障及监测分析

张亚军 秦建宁 黄秉利  
郑州奥特科技有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 随着可再生能源的快速发展,风力发电成为了全球能源结构的重要组成部分。风力发电机组齿轮箱作为风力发电机的关键部件之一,其性能对风力发电机的运行效率和寿命具有重要影响。本文旨在分析风力发电机组齿轮箱的常见故障类型及其原因,探讨有效的监测技术,以提高风力发电机组的可靠性和经济性。文章首先介绍了风力发电机组齿轮箱的常见故障类型,然后详细分析了这些故障的原因,接着探讨了常用的监测技术及其优缺点,最后对风力发电机组齿轮箱故障监测的未来发展趋势进行了展望。

**关键词:** 风力发电; 齿轮箱; 常见故障; 监测技术; 发展趋势

引言: 风力发电作为一种清洁、可再生的能源形式,在全球范围内得到了广泛的应用。风力发电机组齿轮箱是连接风轮和发电机的关键部件,其性能直接关系到风力发电机的运行稳定性和效率。然而,齿轮箱在运行过程中常常受到交变载荷、环境腐蚀等因素的影响,容易发生各种故障。因此,对风力发电机组齿轮箱的常见故障及其监测技术进行分析具有重要意义。

## 1 风力发电机组齿轮箱的重要性

风力发电机组齿轮箱的重要性不言而喻。它是风力发电机组中的核心部件,起着将风轮在风力作用下产生的动力传递给发电机的重要作用,使发电机达到相应的转速以产生电能。由于风轮的转速通常较低,远不能满足发电机发电所需的转速要求,因此齿轮箱承担着增速的关键任务,有时也被称为增速箱。齿轮箱的性能直接影响到风力发电机组的运行效率、能量转换效率以及整体寿命。它的正常运行是确保风力发电机稳定输出的重要因素,对保证风力发电的连续性和经济性具有重要意义。此外,齿轮箱还承载着传递巨大扭矩和承受复杂交变载荷的重任,这使得齿轮箱的设计、制造和维护都面临着极高的要求。因此,重视风力发电机组齿轮箱的研究,加强其设计制造水平,提高运行可靠性,对于推动风力发电技术的发展,实现能源结构的优化和可持续发展具有深远的意义。同时,对齿轮箱进行有效的状态监测和故障预防,也是降低风力发电机组运行风险,提高经济效益的关键手段。

## 2 风力发电机组齿轮箱常见故障及原因分析

### 2.1 齿轮磨损

齿轮磨损是风力发电机组齿轮箱最常见的故障之一,对风力发电机组的正常运行和性能产生严重影响。齿轮磨损通常是由于长期在高速、重载的工作环境下运

行,加上齿轮材料自身的疲劳、润滑不良、杂质侵入等因素共同作用的结果。在风力发电机组中,齿轮箱负责将风轮的低速旋转转换为发电机所需的高速旋转,这一过程中齿轮承受巨大的扭矩和交变载荷。长期以来,齿轮齿面不断受到摩擦和冲击,逐渐出现磨损。磨损不仅会导致齿轮间隙增大,降低传动效率,严重时还会导致齿轮失效,使整个风力发电机组停机。齿轮磨损不仅影响风力发电机组的运行效率,还可能导致能量转换效率降低,增加维护成本。为了降低齿轮磨损的风险,需要采取一系列措施,如选择高性能的齿轮材料、优化齿轮设计、提高润滑效果、加强杂质过滤等。

### 2.2 轴承故障

轴承故障是风力发电机组齿轮箱中常见且严重的核心问题。轴承作为支撑齿轮旋转的关键部件,其运行状态直接关系到齿轮箱乃至整个风力发电机组的性能与寿命。轴承故障主要表现为轴承磨损、裂纹和断裂等。这些故障通常由于安装不当、润滑不良、环境污染、过载运行等多种因素引起。例如,轴承安装时的不精确对齐或预紧力不合适,都可能导致轴承早期磨损。而润滑油的污染或不足,则可能加剧轴承的磨损和损伤。此外,环境中的腐蚀性物质和水分也可能对轴承造成损害。轴承故障对风力发电机组的影响是巨大的。一旦轴承出现故障,不仅会导致齿轮箱运行不稳定,产生异常振动和噪音,严重时还会造成齿轮箱损坏,甚至导致整个风力发电机组停机。这不仅会影响风力发电的效率,还会增加维护成本和停机时间,给风电场带来经济损失。

### 2.3 油封漏油

油封漏油是风力发电机组齿轮箱中常见且不易忽视的问题。油封的主要作用是防止齿轮箱内的润滑油泄漏,确保齿轮和轴承等关键部件的正常润滑。然而,由

于多种原因,油封可能会出现漏油现象,给风力发电机组的稳定运行带来隐患。油封漏油的原因多种多样,其中包括油封自然老化、轴承过度磨损或变形、油封安装不到位等。此外,油封附近过多的润滑油或通气孔堵塞也可能导致漏油。当油封使用时间较长后,其密封性能会下降,甚至出现脆化现象,这也是导致漏油的主要原因之一。油封漏油不仅会导致润滑油减少,影响齿轮和轴承的润滑效果,还可能导致外部污染物进入齿轮箱内部,进一步加剧齿轮和轴承的磨损。长期漏油还可能引发齿轮箱内部压力变化,影响机组的正常运行。

#### 2.4 齿轮箱内部异物

风力发电机组齿轮箱内部异物是一种常见的潜在安全隐患,可能给整个机组的稳定运行带来严重威胁。这些异物可能来源于齿轮箱制造过程中的残留物、外部环境的侵入或是机组运行过程中产生的磨损产物。异物一旦进入齿轮箱内部,就可能与齿轮和轴承等关键部件发生摩擦和碰撞,导致磨损加剧、温度升高甚至引发故障。例如,金属粉尘和沙粒等硬质异物可能划伤齿轮表面,造成齿面磨损或凹坑;而纤维、纸屑等软质异物则可能堵塞润滑油道,影响润滑效果,加剧轴承磨损。此外,异物还可能引发齿轮箱内部的动态平衡失衡,导致机组振动增大、噪音升高,严重时甚至可能引发齿轮箱损坏或机组停机。这不仅会影响风力发电机组的发电效率,还可能增加维护成本和停机时间,给风电场带来经济损失。

#### 2.5 环境因素

环境因素对风力发电机组齿轮箱的性能和寿命具有显著影响。风力发电机组通常安装在各种自然环境中,如草原、沙漠、山地等,这些环境的特点各不相同,给齿轮箱带来了不同的挑战。首先,温度是一个关键因素。在极端高温下,齿轮箱内部的润滑油可能变得稀薄,润滑效果下降,增加齿轮和轴承的磨损。而在极寒环境中,润滑油可能凝固,导致润滑失效和部件损坏。其次,湿度和腐蚀性物质也可能对齿轮箱造成损害。高湿度环境可能导致齿轮箱内部产生凝露,进而引发电气故障和腐蚀。同时,环境中的腐蚀性物质,如盐分、化学物质等,可能侵蚀齿轮箱的材料和结构,降低其强度和耐久性。此外,沙尘、风暴等恶劣天气条件也可能对齿轮箱造成损害。沙尘可能进入齿轮箱内部,与齿轮和轴承发生摩擦,加剧磨损。而风暴可能导致机组振动增大,对齿轮箱的结构和密封性能造成破坏。

### 3 风力发电机组齿轮箱故障监测技术

#### 3.1 振动信号分析

振动信号分析是一种关键的风力发电机组齿轮箱故障监测技术。通过在齿轮箱上安装振动传感器,实时采集齿轮箱在运行过程中的振动信号,可以获取丰富的设备状态信息。分析这些振动信号,利用频谱分析、时域分析、波形识别等技术,可以识别出齿轮箱的故障特征,如不平衡、不对中、松动、磨损等。同时,通过对比正常状态下的振动信号与故障状态下的振动信号,可以更加准确地判断齿轮箱的故障类型和程度。此外,振动信号分析还可以实时监测齿轮箱的运行状态,预测潜在故障,为预防性维护提供重要依据。因此,振动信号分析在风力发电机组齿轮箱故障监测中发挥着至关重要的作用,有助于提高风力发电机组的运行效率和可靠性。

#### 3.2 温度信号分析

温度信号分析是风力发电机组齿轮箱故障监测中常用的一种方法。通过在齿轮箱的关键部位安装温度传感器,可以实时监测齿轮箱内部的温度变化。正常的齿轮箱在运行过程中,其温度应该稳定在一个合理的范围内。如果温度出现异常波动或持续升高,就可能意味着齿轮箱内部存在故障。例如,齿轮磨损、轴承损坏或润滑油不足等都可能引起齿轮箱温度升高。通过温度信号分析,可以及时发现这些异常情况,并对故障进行初步判断。同时,结合其他监测数据,如振动信号、油样检测等,可以更准确地确定故障类型和程度,为后续的维护和维修工作提供重要依据。

#### 3.3 油样检测

定油样检测是一种有效的风力发电机组齿轮箱故障监测手段。通过对齿轮箱润滑油进行定期取样和分析,可以获取齿轮箱内部的工作状态和潜在故障信息。油样检测主要关注润滑油的清洁度、杂质含量、粘度、水分等指标。其中,清洁度和杂质含量可以反映齿轮箱内部的磨损程度和污染情况,粘度和水分则可以反映润滑油的性能变化和水分含量。如果检测到润滑油清洁度下降、杂质含量增加、粘度变化或水分含量超标等情况,就可能意味着齿轮箱内部存在磨损、腐蚀或进水等故障。这时,可以采取进一步的措施,如更换润滑油、清洗齿轮箱等,以避免故障扩大和影响风力发电机组的正常运行。

#### 3.4 内窥镜检测

内窥镜检测是一种直观而精确的风力发电机组齿轮箱故障监测方法。通过使用先进的内窥镜设备,可以对齿轮箱内部进行非破坏性的可视化检查。内窥镜通常配备有高分辨率的摄像头和照明系统,能够深入齿轮箱内部,捕捉到清晰的图像和视频。这些图像和视频可以直

观地展示齿轮、轴承和其他关键部件的表面状况、磨损程度以及潜在的裂纹或缺陷。与传统的检测方法相比，内窥镜检测具有更高的精度和可靠性。它不仅可以发现早期的故障迹象，还可以对故障的类型和程度进行准确的评估。这为后续的维修和更换工作提供了重要的参考依据，有助于减少停机时间和提高风力发电机组的整体效率。然而，内窥镜检测也需要专业的操作技能和经验。因此，在使用内窥镜进行故障监测时，需要确保操作人员的专业培训和资质认证，以确保检测结果的准确性和可靠性。

#### 4 风力发电机组齿轮箱故障监测技术的优缺点评估

##### 4.1 振动信号分析

###### 4.1.1 优点

(1) 高灵敏度。振动信号分析能够捕捉到齿轮箱内部微小的振动变化，对于早期发现故障具有重要意义。

(2) 实时监测。技术可以连续监测齿轮箱的运行状态，及时发现异常情况，为运维人员提供及时的信息支持。

(3) 非侵入性。动传感器通常安装在齿轮箱外部，不需要打开齿轮箱，减少了对设备的干扰。

###### 4.1.2 缺点

(1) 受环境干扰。力发电机组的运行环境通常较为复杂，如风速、风向、地形等因素都可能对振动信号产生影响，增加了分析的难度。

(2) 需要复杂的数据处理。振动信号分析需要专业的软件和分析技术来提取故障特征，对于非专业人员来说操作难度较大。

##### 4.2 温度信号分析

###### 4.2.1 优点

(1) 直观性。温度异常往往与齿轮箱内部的故障直接相关，易于理解和判断。

(2) 简单易行。温度传感器的安装和维护相对简单，不需要复杂的设备支持。

###### 4.2.2 缺点

(1) 响应速度慢。对于某些突发故障，温度信号可能无法及时反映，导致故障的及时发现和处理受到影响。

(2) 受多种因素影响。温度异常可能由多种原因引起，如润滑不良、冷却系统故障等，需要综合判断，增加了分析的复杂性。

##### 4.3 油样检测

###### 4.3.1 优点

(1) 全面性。通过对润滑油进行定期取样和分析，可以检测到齿轮箱内部的磨损颗粒、污染物和添加剂等信息，从而评估齿轮箱的整体状态。

(2) 预防性。油样检测可以提前发现潜在问题，为预防性维护提供依据，降低故障发生的概率。

###### 4.3.2 缺点

(1) 代表性问题。取样的代表性可能受到质疑，需要定期、多点取样以确保结果的准确性。

(2) 检测周期长。油样检测通常需要一定的时间来完成，不能实时监测齿轮箱的状态。

##### 4.4 内窥镜检测

###### 4.4.1 优点

(1) 直观性。内窥镜可以直接观察齿轮箱内部的情况，为故障诊断提供直接证据，提高了诊断的准确性。

(2) 精确性。内窥镜检测可以对故障进行精确的定位和评估，为后续的维修工作提供有力支持。

###### 4.4.2 缺点

(1) 成本较高。内窥镜设备通常较为昂贵，增加了维护成本。

###### (2) 受空间限制

对于某些难以观察的部位，如齿轮箱内部的狭窄空间，内窥镜可能无法进行有效的检测。

##### 结论

本文对风力发电机组齿轮箱的常见故障类型及其原因进行了详细的分析，并探讨了常用的监测技术及其优缺点。风力发电机组齿轮箱作为风力发电系统的关键部件，其性能直接影响到整个系统的运行效率和寿命。因此，加强齿轮箱的故障监测和预防工作至关重要。未来可以进一步探索基于人工智能、大数据等先进技术的齿轮箱故障监测方法，提高故障监测的准确性和效率。同时还应加强齿轮箱故障预防和维护技术的研究和应用，从根本上减少齿轮箱故障的发生，提高风力发电机的运行稳定性和效率。

##### 参考文献

- [1]李明,王晓莉.风力发电机组齿轮箱故障诊断技术研究进展[J].中国电力,2022,55(2):126-133.
- [2]张建明,赵彦杰.基于振动信号分析的风力发电机组齿轮箱故障监测[J].可再生能源,2021,39(6):824-829.
- [3]徐涛,陈云花.大型风力发电机组齿轮箱状态监测与故障诊断技术研究[J].中国电机工程学报,2020,40(S1):176-183.
- [4]邵联合,马海泉.风力发电机组齿轮箱温度监测与故障预警系统研究[J].中国机械工程,2019,30(14):1673-1678.
- [5]靳晓东,于洋.基于油样分析的风力发电机组齿轮箱故障诊断研究[J].润滑与密封,2021,46(5):123-128.