

# 风力发电机组齿轮箱轴承故障诊断

李 贇

中核汇能(甘肃)能源有限公司 甘肃 玉门 735000

**摘要:** 随着全球能源结构的调整和可再生能源的快速发展,风力发电已成为重要的清洁能源之一。基于此,本文简要介绍了风力发电机组齿轮箱结构,分析了风力发电机组传动系统典型故障诊断,包括风力发电机组传动系统结构诊断、齿轮箱故障诊断、转子不对中故障诊断等,并提出了一些有效的故障的有效防控举措,以期为相关人员提供参考和借鉴。

**关键词:** 风力;发电机组;齿轮箱轴承;故障诊断

## 引言

风力发电机组作为现代能源体系的重要组成部分,其运行状态直接关系到整个能源系统的稳定性和可靠性。在风力发电机组中,齿轮箱轴承作为连接发电机和主轴的重要传动部件,其性能直接影响到风力发电机组的运行效率和安全性。然而,由于工作环境复杂多变、载荷变化大等因素,齿轮箱轴承容易出现磨损、疲劳、裂纹等故障,导致风力发电机组运行不稳定、发电量下降等问题。因此,开展风力发电机组齿轮箱轴承故障诊断技术研究,对于提高风力发电机组的运行效率和安全性具有重要意义。

## 1 风力发电机组齿轮箱结构

### 1.1 风力发电机组齿轮箱结构

风力发电机组的齿轮箱,位于风轮与发电机之间,主要承担将风轮的旋转动能传递给发电机的重要任务,它不仅仅是一个简单的传动装置,更是一个集成了高精度、高强度、高可靠性于一体的复杂机械系统。风力发电机组的齿轮箱主要由以下几个部分组成:轴承、传动部件、箱体和润滑系统:(1)轴承是齿轮箱中支撑旋转部件的重要元件,承受着来自风轮传递的巨大载荷,它们通常安装在输入轴、中间轴和输出轴上,确保这些轴在高速旋转时能够保持稳定,减少因振动和摩擦而产生的能量损失。(2)传动部件是齿轮箱的核心,它们通过精确的配合和传动,将风轮的旋转动能传递给发电机。传动部件主要包括输入轴、中间轴、输出轴、内齿圈、行星轮和行星架等,这些部件在设计和制造时都需要考虑到其承受的载荷、转速、扭矩以及使用寿命等因素。(3)箱体是齿轮箱的外壳,它保护着内部的传动部件和轴承,同时承受着来自设备内外的各种载荷。箱体通常由高强度、高刚性的材料制成,以确保其能够承受住来自风轮传递的巨大扭矩和振动。此外,箱体还需要具

有良好的密封性能,以防止润滑油泄漏和外界杂质的侵入。(4)润滑系统是齿轮箱中不可或缺的一部分,它负责为传动部件提供必要的润滑和冷却,润滑系统通常包括油泵、油箱、油滤器、冷却器等部件,这些部件共同协作,确保齿轮箱在运行时能够保持适当的润滑状态,减少因摩擦和磨损而产生的能量损失和故障率。

### 1.2 风力发电机齿轮箱工作机理

在风力发电系统中,当外界风力作用在风轮(叶片)上时,风轮会开始旋转。这一初始的动力源是风能的转换,是风力发电的第一步,随着风轮的转动,这一动力通过轮毂传递给齿轮箱中的输入轴<sup>[1]</sup>。接下来,输入轴开始旋转,并带动与之相连的行星架一同转动,行星架作为齿轮箱内部的重要结构,承载着多个行星轮。这些行星轮在转动过程中,会同时与内齿圈和太阳轮进行啮合,这种复杂的啮合关系使得行星轮在围绕太阳轮公转的同时,还能实现自身的自转。当行星轮进行公转和自转时,它们与内齿圈和太阳轮之间的相对运动就产生了第一级的增速效果。具体来说,由于行星轮与内齿圈和太阳轮之间的齿数差异,行星轮在公转和自转的过程中,会使得太阳轮的转速加快,从而实现了第一级的增速。随着太阳轮转速的加快,它开始带动与其同轴的大齿轮转动,这个大齿轮与中间轴上的小齿轮进行啮合,从而带动中间轴开始旋转。由于大齿轮与小齿轮之间的齿数差异,中间轴的转速会进一步加快,实现了第二级的增速。在完成了前两级的增速之后,风力发电机的齿轮箱进入到了第三级的增速阶段。在这个阶段中,中间轴上的齿轮与输出轴上的齿轮进行啮合。同样由于齿数差异的存在,输出轴的转速会得到进一步的提升。这种连续的增速过程,使得风轮的低速旋转能够转化为发电机所需的高速旋转,为发电机的发电提供了必要的动力。

## 2 风力发电机组传动系统典型故障诊断

### 2.1 风力发电机组传动系统结构诊断

在风力发电机组传动系统中, 主轴、联轴器、齿轮箱和高速轴等部件是故障易发区域。第一, 主轴故障: 作为连接风轮和齿轮箱的关键部件, 主轴承受着巨大的扭矩和振动。长期运行后, 主轴可能会出现裂纹、变形等故障。这些故障会严重影响传动系统的性能和安全性。因此, 在结构诊断中, 需要对主轴进行仔细检查, 确保其无裂纹、无变形, 并具备足够的强度和刚度。第二, 联轴器故障: 联轴器是连接两个旋转部件的装置, 其作用是传递扭矩和补偿安装误差。然而, 在风力发电机组运行过程中, 联轴器可能会因过载、疲劳等因素而出现松动、断裂等故障。这些故障会导致传动系统出现异响、振动等问题, 严重时甚至会导致设备停机。在结构诊断中, 需要对联轴器进行定期检查, 确保其紧固可靠, 并具备足够的传递扭矩能力。第三, 齿轮箱故障: 齿轮箱是传动系统中的核心部件之一, 其内部包含多个齿轮和轴承等关键部件。在风力发电机组运行过程中, 齿轮箱可能会因润滑不良、过载、疲劳等因素而出现磨损、点蚀等故障, 这些故障会导致齿轮箱性能下降、振动增大等问题, 严重时甚至会导致设备损坏。在结构诊断中, 需要对齿轮箱进行仔细检查, 确保其内部各部件无磨损、无点蚀, 并具备良好的润滑和散热性能。第四, 高速轴故障: 高速轴是连接发电机和齿轮箱的重要部件之一, 其承受着发电机产生的反作用力矩。长期运行后, 高速轴可能会出现疲劳断裂等故障, 这些故障会严重影响发电机的正常运行和传动系统的性能。在结构诊断中, 需要对高速轴进行定期检查和维护保养工作以确保其安全可靠。

### 2.2 风力发电机组传动机构典型故障诊断

#### 2.2.1 齿轮箱故障诊断

作为齿轮箱的组成部分, 轴承、齿轮等对于齿轮箱的运转有重要的意义, 所以工作人员必须要定期对轴承和齿轮进行检查维护。(1) 振动分析法: 通过测量齿轮箱在运行过程中的振动信号, 分析振动信号的频率、幅值和相位等特征, 可以判断齿轮箱是否存在故障以及故障的类型和位置。振动分析法是齿轮箱故障诊断中最常用的一种方法, 具有非接触、实时在线和诊断精度高等优点。(2) 油液分析法: 通过分析齿轮箱润滑油的理化性质和金属磨粒等信息, 可以了解齿轮箱内部磨损情况和故障类型<sup>[2]</sup>。油液分析法适用于对齿轮箱进行预防性维护和故障早期诊断, 具有简单、快速和成本低廉等优点。(3) 声学诊断法: 通过采集齿轮箱在运行过程中的

声音信号, 利用声学信号处理技术进行分析和判断, 可以诊断齿轮箱的故障类型和位置。声学诊断法适用于对齿轮箱进行远程监测和故障诊断, 具有无需停机、无需拆卸和实时在线等优点。(4) 温度监测法: 通过监测齿轮箱关键部件的温度变化, 可以判断其是否存在异常和故障。温度监测法简单易行, 但需要与其他诊断方法结合使用以提高诊断精度。

#### 2.2.2 转子不对中故障诊断

风力发电机组的转子通常包括风轮、主轴、齿轮箱和发电机转子等关键部件, 在理想情况下, 这些部件应该保持精确的对中状态, 以确保机械传动的顺畅和高效。然而, 在实际安装和运行过程中, 由于各种因素的影响, 转子可能会出现不对中的情况。转子不对中会导致多种危害。首先, 不对中会增加机械传动的阻力和振动, 降低传动效率, 增加能源消耗。其次, 长期的不对中运行会使轴承承受不均匀的载荷, 导致轴承磨损加剧, 甚至发生断裂等严重故障。此外, 不对中还可能引起齿轮箱内部的齿轮啮合不良, 产生噪声和振动, 进一步影响风力发电机组的稳定性和可靠性。转子不对中的成因多种多样, 以下是一些主要因素: 其一, 风力发电机组的安装高度较高, 安装过程中受到风力、温度等多种因素的影响, 很难保证转子的对中安装达到合格标准, 安装人员的技术水平和经验也是影响安装质量的重要因素。其二, 风力发电机组在运行过程中, 会受到高温、大风等恶劣环境的影响。这些环境因素可能导致承载转子轴承座的膨胀或变形, 进而引发转子不对中问题。其三, 转子在长期运行过程中, 可能会因为材料疲劳、载荷不均等原因发生弯曲, 弯曲的转子会导致机组旋转不平衡, 进而引发不对中问题。其四, 轴承是风力发电机组中承受载荷和传递动力的关键部件, 长期运行后, 轴承可能会因为磨损而失去原有的精度和稳定性, 导致转子不对中。

#### 2.2.3 滚动轴承故障诊断

滚动轴承一般由保持架、滚动体、外环和内环四部分组成, 其设计初衷是为了在发电机组内部提供稳定的支撑和旋转, 以降低摩擦阻力, 提高工作效率。为了及时诊断滚动轴承的故障, 保障风力发电机组的稳定运行, 以下是对滚动轴承故障诊断的四个关键方面进行分析: 第一, 轴承内环的点蚀和剥落是常见的故障类型, 这些故障通常是由于材料疲劳、润滑不良或过载等原因引起的。通过频谱检测分析轴承内环的振动信号, 可以观察到某些特定频率的谐波变化, 这些变化是内环故障的重要指示。第二, 轴承外环也可能出现点蚀和剥落的

问题,这些故障会导致轴承运行不稳定,产生异常的振动和噪声。与外环故障相关的频谱特征通常是无调幅、无变频的情况,这有助于与其他类型的故障进行区分。第三,滚动体的点蚀和剥落同样会对滚动轴承的性能产生负面影响,这些故障会导致滚动体在运转过程中产生不稳定的振动和噪声。通过在故障位置进行频谱检测,可以发现调制分群现象,这是滚动体故障的重要特征。第四,保持架的主要功能是保持滚动体的排列和稳定,其脱落和变形会对滚动轴承的运行产生严重影响。在保持架出现故障时,通过频谱检测可以观察到与保持架相关的谐波及保持频率,这些特征对于诊断保持架故障具有重要价值。

### 3 故障的有效防控举措

#### 3.1 加强设备监测与诊断

风力发电机组作为复杂而庞大的机械系统,其稳定运行直接关系到整个风电场的发电效率和经济效益。因此,加强设备监测与诊断,及时发现并解决潜在故障,对于确保风力发电机组的稳定运行具有重要意义。一方面,实时监测是设备监测与诊断的基础,通过在风力发电机组的关键部位安装传感器和数据采集系统,可以实时收集发电机组的运行数据,如振动、温度、转速等。这些数据是评估风力发电机组健康状态的重要依据。通过实时监测,可以及时发现异常数据,从而判断发电机组是否存在潜在故障<sup>[3]</sup>。另一方面,在收集到实时数据后,需要利用先进的故障诊断技术进行分析,频谱分析、振动分析、温度监测等技术是风力发电机组故障诊断的常用方法。这些技术通过对数据的深入分析和处理,可以准确识别出滚动轴承等关键部件的故障类型和程度。例如,频谱分析可以识别出轴承的故障频率,振动分析可以判断轴承的磨损程度,温度监测则可以发现轴承过热等异常情况。此外,精确诊断是设备监测与诊断的关键环节,通过先进的诊断技术,可以精确判断风力发电机组的关键部件是否存在故障,并确定故障的具体位置和程度。这为后续的故障处理提供了有力支持。在精确诊断的基础上,可以制定针对性的维修方案,及时修复故障,避免故障扩大化,确保风力发电机组的稳定运行。

#### 3.2 优化设备设计与制造

在设计阶段,工程师们需要综合考虑风力发电机组的工作环境、载荷特性、使用寿命等因素,对设备进行科学、合理的设计。对于滚动轴承等关键部件,应特别关注其承载能力和使用寿命,通过优化结构设计、选用高性能材料、引入先进的润滑系统等措施,可以显著提升滚动轴承的可靠性,减少故障发生的可能性。此外,设计阶段还需要充分考虑风力发电机组的可维护性和可升级性,通过采用模块化设计、标准化接口等手段,可以简化设备的维护流程,降低维护成本。同时,为未来的技术升级和改造预留空间,确保风力发电机组能够适应未来技术和市场的变化。而在制造阶段,需要严格控制材料质量、加工工艺等关键环节,确保设备质量符合设计要求,对于滚动轴承等关键部件,应选用优质的材料,并采用先进的加工工艺和热处理技术,以提高其表面质量、降低摩擦系数、延长使用寿命。并且,制造过程中还需要加强质量管理和检测手段。通过建立完善的质量管理体系,对制造过程进行全程监控,确保每一个环节都符合质量标准。

#### 结语

综上所述,风力发电机组齿轮箱轴承故障诊断技术是保障风力发电机组稳定运行、提高发电效率的关键技术之一。本研究通过深入分析和实验验证,成功建立了一套适用于风力发电机组齿轮箱轴承故障诊断的技术体系,为风电行业的发展做出了重要贡献。未来,随着技术的不断进步和应用的不断推广,风力发电机组齿轮箱轴承故障诊断技术将在风电行业中发挥更加重要的作用,为可再生能源的发展和能源结构的优化做出更大的贡献。

#### 参考文献

- [1]陆佳.风机齿轮箱异常振动的状态识别与信号分析[D].广东工业大学,2021:56-57.
- [2]陈积东.风力发电机的齿轮箱故障诊断技术[J].集成电路应用,2021,38(02):130-131.
- [3]赵登利,陈孝旭,徐浩,李方义,王黎明,聂延艳.基于阶次分析的非平稳工况下风力发电机组齿轮箱故障诊断[J].机械传动,2020,44(12):141-145.