

风电机组振动检测预防性检修技术的应用

施向伟

华润新能源投资有限公司广西分公司 广西 南宁 530000

摘要：随着风力发电行业的快速发展，风电机组的稳定运行成为行业关注的焦点。振动检测作为一种高度专业化的技术手段，通过对风电机组关键部件的振动信号进行捕捉与分析，能够及时发现设备故障的前兆，为预防性检修提供科学依据。本文旨在深入探讨振动检测预防性检修技术在风电机组中的应用，从理论到实践，全面剖析其技术原理、实施步骤及实际成效，以期为风力发电行业的运维工作提供有力支持。

关键词：风电机组；振动检测；预防性检修；技术应用

引言：目前全球都面临着资源紧缺的问题，如何将能源再生、充分的利用，是各个国家都非常重视的事情。本文阐述了振动检测预防性检修技术在风电机组中的应用，介绍了风电机组振动检测的定义，解析了齿轮箱、发电机轴承及主轴轴承的故障诊断技术。并进一步探讨了振动检测预防性检修技术的具体实施步骤，包括振动信号分析与装置状态评估、传感器的选择与安装、采集系统的选择与软件设计，以及日常养护的关键环节。最后，通过国华公司及多风电场的实际案例，展示了该技术在实际应用中的显著效果与广阔前景。

1 风电机组振动检测的定义

振动检测是一种高度专业化的技术手段，其核心在于通过精密的测量设备，精准地捕捉并分析风电机组各个关键部件所发出的振动信号。这一过程不仅仅是简单的信号收集，更是对风电机组运行状态的一次深入“体检”；振动，作为机械设备运行中的常见物理现象，其背后隐藏着设备运行状态的诸多信息^[1]。在风电机组中，无论是轴承的细微磨损，还是齿轮箱的潜在故障，甚至是不易察觉的不平衡状态，都会在振动信号中留下独特的“痕迹”；振动检测正是利用这一特性，通过对振动信号的细致分析，揭示出这些潜在的问题。这种分析不仅涉及振动的幅度、频率等基本参数，更包括振动信号的波形、相位等复杂特征，从而确保对设备状态的全面把握。通过振动检测，我们可以及时发现风电机组中的异常振动，这些异常往往是设备故障的前兆，这为预防性检修提供了宝贵的依据，使我们能够在故障发生之前采取必要的维护措施，从而避免故障的发生，确保风电机组的稳定运行。

2 风电机组振动故障诊断技术

2.1 齿轮箱故障诊断

齿轮箱作为风电机组中的“心脏”，其内部齿轮的

精密啮合与高效传动是实现风能转换的关键；然而，复杂的啮合过程与巨大的交变载荷使得齿轮箱成为故障的高发区域。（1）针对齿轮损伤，如齿面磨损、点蚀、胶合及断齿等，这些损伤会破坏齿轮的啮合精度，导致在啮合过程中产生异常的振动信号。（2）齿轮箱内的轴承，作为支撑旋转部件的关键，其损坏同样不容忽视，滚珠磨损、内外圈裂纹等故障，会引起振动信号的变化，利用先进的包络谱分析技术，可以高效提取出这些由轴承故障引发的高频冲击信号，为轴承状态的准确评估提供有力支持。（3）尽管断轴故障在齿轮箱中相对罕见，但其后果却极为严重。断轴前，轴的微裂纹扩展与弯曲变形是明显的预兆，这些变化会导致振动信号的幅值与相位出现异常；通过细致的振动分析，可以及时发现这一潜在风险，为预防断轴事故的发生提供宝贵的时间窗口。

2.2 发电机轴承故障诊断

发电机轴承，作为连接发电机转子和定子的桥梁，其运行状态直接关系到发电机的稳定性和使用寿命，对发电机轴承进行有效的故障诊断，是确保风电机组稳定发电的关键：（1）磨损故障诊断。轴承磨损是发电机轴承最常见的故障类型，其成因多样，包括润滑不良、异物侵入、长期过载等，磨损会导致轴承表面粗糙度增加，进而在轴承旋转时产生高频振动；这些高频振动信号通过振动监测设备捕捉后，经过频谱分析，可以清晰地看到高频段的振动幅值显著增加，这是轴承磨损的重要特征。（2）裂纹故障诊断。裂纹是发电机轴承另一种常见的故障形式，通常出现在轴承的内圈、外圈或滚动体上，裂纹的产生往往与应力集中、材料疲劳等因素有关。当轴承旋转时，裂纹会周期性地与滚动体接触，产生冲击信号，这些冲击信号在频谱中表现为一系列等间距的频率成分，即“裂纹频率”；通过精确测量这些频率，并

结合轴承的几何参数和转速信息，可以准确判断裂纹的位置和大小，为及时更换或修复轴承提供科学依据。

2.3 主轴轴承故障诊断

主轴轴承作为风电机组旋转部分（涵盖叶轮与齿轮箱）的核心支撑，其稳定运行对于整个风电机组的性能至关重要。为了保障风电机组的持续、高效运转，对主轴轴承进行精准且及时的故障诊断显得尤为关键。在主轴轴承的故障诊断中，磨损故障的诊断尤为关键。长期承受交变载荷与摩擦，使得轴承的滚道与滚动体之间逐渐产生磨损^[2]。这种磨损会导致轴承间隙的逐渐扩大，进而引发振动信号的显著变化，具体表现为振动幅值的增加以及频率成分的复杂变化。此外，松动故障也是主轴轴承不可忽视的问题之一。其可能源于安装过程中的不当操作、螺栓的松动或轴承座的变形等因素。松动故障会导致轴承在运转过程中产生额外的振动与噪声，这些异常振动信号在时域上可能表现为振动幅值的明显波动，而在频域上则可能呈现出新的频率成分或原有频率成分幅值的显著变化。

3 振动检测预防性检修技术在风电机组中的具体应用

3.1 振动信号分析与装置状态评估

振动信号分析作为振动检测预防性检修技术的核心环节，其重要性不言而喻，振动信号的分析过程并非简单直观，而是需要借助一系列先进的信号处理技术和算法来完成。（1）时域分析能够帮助我们了解振动信号随时间的变化情况，通过观察振幅、波形等参数，初步判断设备的运行状态是否正常。（2）而频域分析则更进一步，它将振动信号分解为不同频率的成分，通过频谱图来揭示设备内部可能存在的故障；例如，齿轮箱的振动信号中，特定频率的峰值可能意味着齿轮的磨损或啮合不良。（3）包络分析是另一种重要的振动信号分析技术，它特别适用于处理含有大量冲击和噪声的信号，我们也可以提取出振动信号中的高频成分，进而识别出轴承裂纹、齿轮点蚀等微小故障。（4）状态评估是振动信号分析的最终目的；通过综合考量振动烈度、频谱特征、波形特征等参数，我们可以对设备的健康状态进行量化评估。这种评估不仅有助于我们及时发现潜在的故障隐患，还能为后续的维修决策提供科学依据；例如，当齿轮箱的振动烈度持续升高，且频谱图中出现明显的异常峰值时，我们就需要考虑对齿轮箱进行检修或更换。

3.2 选择和安装传感器

传感器，在振动检测系统中扮演着至关重要的角色，它们如同系统的“眼睛”，负责捕捉风电机组关键部件的振动信号。为了确保振动信号的采集质量和后续

分析的准确性，我们在选择和安装传感器时必须格外谨慎；在选择传感器时，我们需全面考量其类型、灵敏度、频率响应范围及安装方式^[3]。风电机组的运行环境通常较为恶劣，且空间有限，因此，我们应优先选择那些具有高可靠性、小体积、易安装的传感器，这些传感器需能在恶劣环境下稳定工作，并确保不会对风电机组的正常运行造成任何干扰；安装传感器时，我们同样需遵循严格的操作规范。（1）要确保传感器与被测部件之间保持紧密接触，以最大程度地减少信号传输过程中的衰减和干扰。（2）传感器的布置位置也至关重要。我们应选择那些能够全面、准确地反映关键部件振动状态的位置进行安装。（3）这些位置包括齿轮箱、轴承座、发电机外壳等，这些区域不仅是风电机组故障的高发区，也是振动信号最为丰富、最具代表性的区域。通过科学合理地选择和安装传感器，我们能够为后续的振动检测和分析奠定坚实的基础，从而确保风电机组的稳定运行。

3.3 选择采集系统和进行软件设计

采集系统负责将传感器采集到的振动信号进行转换、传输和存储，是振动检测预防性检修技术中不可或缺的一环。在选择采集系统时，我们需要关注其采样率、分辨率、通道数等性能指标，以确保其能够满足我们的实际需求，并采集系统的稳定性和可靠性也是非常重要的考量因素。毕竟，在风电机组的恶劣运行环境下，采集系统需要能够持续稳定地工作，才能保证振动信号的准确采集，除了采集系统外，软件设计也是振动检测预防性检修技术的重要组成部分。一款功能完善的分析软件能够对我们采集到的振动信号进行实时处理和分析，提取出有用的特征信息，并进行故障预警和诊断，这样的软件不仅需要具备良好的用户界面和易于操作的特点，还需要具备强大的数据处理能力和丰富的分析功能。只有这样，我们才能通过软件对振动信号进行深入的剖析，及时发现设备内部的故障隐患，并采取相应的维修措施来确保设备的稳定运行。

3.4 日常养护

日常养护在振动检测预防性检修技术体系中占据着举足轻重的地位，它是确保风电机组长期稳定运行的基石；在日常养护实践中，我们应着重关注几个关键方面：（1）润滑管理，这是减少机械部件摩擦与磨损、进而降低振动水平的有效手段，定期对风电机组的轴承、齿轮等核心部件进行润滑，能够显著提升其运行效率与寿命^[4]。（2）紧固检查，这一步骤旨在确保风电机组各部件之间的连接稳固可靠，并定期检查并紧固连接螺栓和螺母，我们可以有效防止因部件松动而引发的振动与

噪音问题。(3) 清洁保养也是日常养护中不可或缺的一环。定期清理风电机组内部的灰尘与杂物,保持设备的清洁与干燥,对于避免因环境因素导致的故障具有重要意义。(4) 振动监测作为日常养护的“眼睛”,能够实时捕捉并分析风电机组的振动情况,一旦发现异常振动,应立即进行分析处理,从而确保设备始终处于稳定运行状态;通过日常养护与振动检测预防性检修技术的有机结合,我们能够显著提升风电机组的可靠性与安全性,为风力发电行业的蓬勃发展奠定坚实基础。

4 实施效果与案例

4.1 国华公司案例

国华公司作为风电行业的佼佼者,对于技术创新和运维效率的提升始终保持着高度的关注。2008年,国华公司敏锐地察觉到了振动监测技术在风电运维领域的巨大潜力,并果断决定引进这一技术;在部分风电机组上进行试运行后,振动监测技术展现出了其卓越的性能,不仅提高了故障诊断的准确率,还显著提升了运维效率。基于试运行的成功经验,国华公司于2010年决定大规模推广振动监测技术,他们在风电机组上安装了在线振动监测设备,这些设备如同“哨兵”一般,24小时不间断地监控着风机的运行状态。通过实时采集和分析振动数据,国华公司能够及时发现并诊断出各类设备故障,从而大大提高了风场计划性维修的比例。振动监测技术的引入,不仅使国华公司的风电运维工作更加精准高效,还为他们带来了显著的经济效益;通过减少非计划停机时间,国华公司成功地节约了大量的发电量,进而降低了运营成本。

4.2 多风电场案例

在呼伦贝尔、东台和荣成等风电场,振动监测技术同样展现出了其强大的实力,这些风电场通过安装在线振动监测系统,成功收集到了风机各部件(包括主轴、

齿轮箱、发电机)的振动基础数据。这些数据如同风机的“健康档案”,详细记录了风机在不同风况下的振动情况,基于这些宝贵的数据,风电场工作人员能够深入了解风机运行时的振动数据趋势,从而更加准确地判断风机的健康状态。为了进一步提高监测的智能化水平,风电场还为风机量身定做了振动预警和报警标准,当振动数据超过预设阈值时,系统会自动发出预警或报警信号,提醒工作人员及时采取措施进行处理。通过这些努力,呼伦贝尔、东台和荣成等风电场逐步实现了智能监测的目的,振动监测技术的引入,不仅提高了风电场的运维效率,还为他们带来了更加安全、稳定的风电运行环境。

结语:综上所述,振动检测预防性检修技术在风电机组中的应用具有显著的优势与广阔的前景;通过精准捕捉与分析振动信号,该技术能够及时发现设备故障,提高运维效率,降低运营成本。并且,结合日常养护工作,能够进一步提升风电机组的可靠性与安全性,国华公司及多风电场的成功案例充分证明了该技术的实用性与有效性。未来,随着技术的不断进步与应用的深入,振动检测预防性检修技术必将在风力发电行业发挥更加重要的作用,为行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]刘锐,温鹏.基于外部风况的风电机组振动故障研究[J].水力发电,2022,48(07):97-102.
- [2]赵海平.浅析风电机组振动监测与故障诊断系统研究[J].中国设备工程,2020(16):149-150.
- [3]任涛,欧旭鹏.风力发电机组轴承状态检测综述[J].大众科技,2022,24(02):53-56+61.
- [4]张华炼,雷春宇,杨建,余长洲,刘欢,肖昀昭.基于SCADA数据风电机组发电性能的后评估[J].船舶工程,2022,44(S2):7-11.