

风机偏航减速机断齿故障分析及处理

郭永涛

大唐甘肃发电有限新能源分公司, 甘肃 兰州 730070

[摘要]在风力发电系统中, 风机偏航减速机断齿故障在地形地貌复杂和季节性湍流强烈的环境下较为频繁。复杂的地形和强风湍流导致风机在运行过程中承受更大的负荷和冲击, 增加了减速机齿轮的磨损和断裂风险。这种故障不仅影响风机的正常工作, 还会降低风电场的整体发电效率, 并导致较高的维护成本。本篇文章探讨了这些环境因素对断齿故障的具体影响, 并提出有效的检测、诊断及预防措施, 以期提升风机的运行稳定性和降低故障发生率。

[关键词] 风机偏航减速机; 断齿故障分析; 处理

DOI: 10.33142/ucp.v1i2.13577

中图分类号: TM315

文献标识码: A

Analysis and Treatment of Tooth Breakage Fault in Wind Turbine Yaw Reducer

GUO Yongtao

New Energy Branch of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730070, China

Abstract: In wind power generation systems, gear breakage faults of wind turbine yaw reducers are more frequent in environments with complex terrain and strong seasonal turbulence. The complex terrain and strong winds and turbulence result in the wind turbine bearing greater loads and impacts during operation, increasing the risk of wear and fracture of the gearbox gears. This type of malfunction not only affects the normal operation of the wind turbine, but also reduces the overall power generation efficiency of the wind farm and leads to higher maintenance costs. This article explores the specific impact of these environmental factors on gear breakage faults and proposes effective detection, diagnosis, and prevention measures to improve the operational stability of fans and reduce the incidence of faults.

Keywords: wind turbine yaw reducer; analysis of tooth breakage fault; handle

引言

风机偏航减速机在风力发电系统中的重要性不可忽视, 其核心功能在于通过精确调整风机朝向, 以优化风轮的风向捕捉效果, 从而实现风能转换的最大化。然而, 偏航减速机在恶劣环境条件下的运行, 常常使齿轮系统承受极大的负荷与频繁冲击, 导致断齿故障成为一种严重的机械问题。这种故障不仅使减速机的稳定性受到威胁, 还可能对风机的发电效率产生深远的负面影响, 降低风能的利用率, 并可能引发设备停机以及高昂的维修成本。断齿故障的产生往往与多个因素紧密相关。在设计阶段, 若齿轮负荷、材料强度及其几何形状未得到充分考虑, 齿轮在运行中可能承受过大的应力, 进而引发断齿问题。生产工艺中的精度不足及热处理的不当, 同样可能导致齿轮强度不足, 增加断齿风险。此外, 操作过程中如出现过载或冲击, 也会加剧齿轮的损害, 维护保养不到位, 如润滑不充分或未能及时更换损耗部件, 会加速齿轮系统的退化, 使断齿问题愈加严重。为应对这一挑战, 深入分析风机偏航减速机的断齿故障显得尤为重要。究竟这些故障的根本原因是什么? 其对系统的具体影响如何? 准确的检测与诊断方法又应如何应用? 先进的监测技术和数据分析手段, 可以实现对减速机状态的实时监控,

及时发现潜在的故障迹象。实施针对性的预防措施与改进建议, 有助于提升减速机的设计质量与生产工艺, 优化操作与维护规范, 进而有效减少断齿故障的发生频率, 提升风机的整体运行效率与经济效益。本文将详细探讨这些方面, 旨在为风力发电设备的维护与管理提供科学而有效的解决方案。

1 偏航系统的作用

偏航系统在风机中起着至关重要的作用, 其核心功能在于调整风机的朝向, 以确保风轮始终面对最佳风向, 从而最大化风能的捕捉效率。该系统通过旋转风机的上半部分, 能够使风轮适应风向的变化, 保持在风的迎面位置。这种调整使风机能够充分利用风能, 从而提升风能转换效率与发电能力。除此之外, 偏航系统还有效减少了风轮受风力不均匀压力的影响, 降低了对风机结构的冲击, 进而减轻了设备的运行负荷。这样的优化不仅延长了风机的使用寿命, 也增强了其运行的可靠性。偏航系统的组成通常包括偏航电机、减速机以及齿轮箱等部件。这些组件通过精确的控制和调节, 使风机能够快速响应风向的变化, 维持一个稳定的运行状态^[1]。如何保证风机始终能够在变化的风条件下进行准确调整? 系统中的每一个环节都对风机的整体表现起到了决定性的作用。通过这种精细化的控

制, 风机不仅能够应对各种风向变化, 还能在长期运行中保持高效的风能转换。

2 风机偏航减速机断齿故障分析

2.1 断齿故障的主要原因

2.1.1 设计缺陷

设计缺陷在风机偏航减速机断齿故障中扮演着重要角色。若在减速机的设计阶段未能充分考虑齿轮的负荷分布、材料选择及齿轮几何形状的优化, 齿轮在实际运行中可能会承受超出预期的应力。例如, 若设计时未准确计算齿轮的载荷能力, 或忽视了齿轮的接触强度, 则齿轮的啮合可能变得不均匀, 局部压力随之增加, 加速磨损。此外, 设计缺陷还可能导致齿轮加工精度不足或装配不当, 从而加剧负荷不平衡和震动问题, 这种情况极易引发齿轮的断裂和失效。通过这些设计缺陷, 齿轮的运行稳定性受到严重威胁, 从而影响了风机的整体性能。

2.1.2 生产工艺问题

生产工艺问题对风机偏航减速机的断齿故障同样具有显著影响。若减速机齿轮在生产过程中加工精度不高或热处理工艺存在缺陷, 齿轮的强度和耐磨性可能不足。例如, 齿轮切削过程中若出现加工误差, 齿面可能变得不均匀, 这会影响齿轮的啮合质量。此外, 热处理过程中温度控制不当或淬火工艺的不适宜, 可能导致齿轮硬度的分布不均, 增加齿轮在高负荷条件下断裂的风险。生产工艺的不足, 最终可能会使得齿轮在实际运行中表现出较差的耐久性和可靠性。

2.1.3 操作不当

操作不当是风机偏航减速机断齿故障的一个关键因素。在实际运行过程中, 若操作人员未能严格按照规范进行设备操作, 减速机可能会面临过载或异常振动的问题。例如, 风机启动或停止时, 若操作不够平稳, 可能会产生过大的冲击负荷, 这种剧烈的应力对齿轮造成了显著的影响。此外, 频繁调整风机偏航角度或操作步骤错误, 也有可能增加减速机齿轮的负荷分布不均或超负荷运行, 从而显著增加齿轮断裂的风险。操作不当所引发的这些问题, 最终会导致风机偏航系统的运行稳定性受到严重威胁。

2.1.4 维护保养不足

维护保养不足是风机偏航减速机断齿故障的一个重要原因。定期进行维护和检查对于确保减速机正常运行至关重要, 维护不到位可能会导致齿轮系统的早期失效。例如, 若齿轮润滑油未能按时更换或油位未被检查, 润滑不足会使齿轮表面出现过度磨损, 从而增加齿轮磨损和断裂的风险^[2]。此外, 对减速机各部件缺乏定期检查, 也可能导致潜在故障未被及时发现与修复, 这会进一步加剧齿轮的负荷和损坏。未能进行适当的维护和保养, 最终可能导致减速机运行的不稳定性, 影响整体风机的性能和寿命。

2.2 断齿故障的影响

2.2.1 对风机运行的影响

断齿故障对风机的运行产生了显著且深远的影响。当风机偏航减速机发生断齿故障时, 齿轮的啮合被破坏, 导致偏航系统可能无法正常转动或出现严重偏差。这种情况直接影响风机的定位精度, 使其无法有效调整朝向以捕捉最佳风向, 风能的转换效率和整体发电能力因此下降。此外, 断齿故障也可能导致振动增加及噪音增大, 对风机的稳定性与运行平稳性造成负面影响。甚至, 其他机械部件可能因此遭受进一步损坏。

2.2.2 对减速机寿命的影响

断齿故障对减速机的寿命造成了极为严重的影响。一旦减速机齿轮发生断裂, 齿轮的啮合状态便会变得不稳定, 导致负荷分布不均和额外的机械应力。这种不均匀的负荷与冲击, 使其他齿轮及相关组件的磨损速度加快, 从而显著缩短了减速机的整体使用寿命。此外, 断齿故障还可能使齿轮箱内部的润滑油分布不均或遭受污染, 进一步加剧了内部部件的磨损和腐蚀。断齿引发的连锁反应, 常常导致减速机运行中振动增加、噪音增大, 进而对减速机的稳定性和可靠性产生负面影响。

2.2.3 对风能转换效率的影响

断齿故障对风能转换效率的影响极其显著。当风机偏航减速机的齿轮发生断裂时, 风机可能无法准确调整朝向, 导致风轮无法对准最佳风向。这种偏航误差直接减少了风机对风速的有效捕捉, 降低了风能的转换效率。此外, 断齿故障还导致风机旋转不均匀, 增加了运行中的能量损失, 使得风能转化过程变得更加低效。风机的发电能力由此下降, 无法充分发挥其设计性能, 最终影响了整体风能的利用效率和经济效益。

3 风机偏航减速机断齿故障的检测与诊断

3.1 检测方法

检测风机偏航减速机断齿故障的方法涵盖了多种技术手段, 以确保能够及时发现和诊断潜在的问题。视觉检查作为一种基本且有效的检测方式, 通过对减速机外部及其齿轮系统的目视观察, 能够识别出明显的机械损伤、裂纹或齿轮磨损现象。此外, 振动分析提供了一种更为精确的方法。通过在减速机上安装振动传感器, 实时监测运行中的振动数据, 能够揭示出与断齿或其他齿轮损坏相关的异常振动模式。声音检测也是一种可靠的手段, 通过高灵敏度的声音传感器或人工听觉, 捕捉风机运行时的异常噪音, 如齿轮啮合产生的异响, 这些声音往往预示着断齿故障的早期迹象。最后, 油液分析涉及从减速机内取样润滑油并进行化学和物理检测, 此过程可以发现油液中的金属颗粒, 这些颗粒通常源于齿轮磨损或断裂, 提供了进一步的故障信息。

3.2 诊断工具与技术

风机偏航减速机断齿故障的诊断工具与技术的有效

识别与分析齿轮损坏方面至关重要。传感器技术在现代故障诊断中扮演着重要角色，通过安装振动、温度及声音传感器，实时监测减速机的运行状态。这些传感器所采集的数据用于分析振动频谱、温度变化及声音特征，从而揭示潜在的故障模式。数据分析软件也在故障诊断中发挥了核心作用。此类软件处理传感器采集的数据，通过算法分析识别异常模式，与正常运行状态进行对比，帮助确定故障的类型及位置。此外，模拟与仿真技术的应用同样重要。建立减速机的数学模型并进行动态仿真，可以预测不同故障条件下的行为，同时验证实际观测的数据。

4 预防措施与改进建议

4.1 设计改进建议

设计改进在解决风机偏航减速机断齿故障中扮演着关键角色。在齿轮设计方面，应选择高品质材料与先进加工工艺。采用具有优良机械性能的合金钢或进行表面硬化处理的齿轮材料，能够显著提高齿轮的耐磨性与抗疲劳性能。此外，优化齿轮的几何设计也十分重要。改进齿轮的齿形、齿距以及模数，以确保在啮合过程中负荷分布更为均匀，局部压力集中得以减少，从而降低断齿的风险。在减速机润滑系统的设计中，必须确保润滑油能充分覆盖所有齿轮接触面，且具备良好的循环与冷却效果。这些措施有助于减少摩擦与过热，延长齿轮的使用寿命。同时，热管理也应在设计中得到重视，采用高效的散热设计如增加散热片或优化冷却通道，以防止因过高温度引起的材料性能退化^[3]。为了提升故障预警能力，设计中可集成实时监测系统，利用振动传感器、温度传感器及压力传感器等，实时监控减速机的运行状态，并在出现异常时发出警报，以便及时进行维护与调整。

4.2 生产工艺优化

生产工艺的优化在提升风机偏航减速机的可靠性及减少断齿故障方面扮演着关键角色。在生产过程中，齿轮的加工精度必须严格控制，通过高精度数控机床及先进加工技术来确保齿轮的齿形、模数及齿面光洁度达到设计标准。精密加工减少了啮合不良及局部压力集中，降低了断齿的风险。同时，热处理工艺的优化也显得尤为重要。采用先进的热处理技术，例如深冷处理、表面淬火及氮化处理，可以提升齿轮的硬度和耐磨性，从而确保其在高负荷条件下的稳定性和长寿命。材料质量的严格控制也是不可忽视的，选择具有优良力学性能及均匀组织的原材料，能有效减少材料缺陷对齿轮性能的负面影响。润滑系统的生产同样关键，应确保润滑油的纯净度及添加剂的有效性，通过优化润滑油配方和添加剂，保证在实际运行中提供充分的润滑与保护。此外，定期对生产设备进行维护与校准，以确保设备加工精度与稳定性，避免因设备问题引发的生产缺陷。全面的质量控制与检测流程也必须实施，包括每个生产阶段的严格检

验以及最终产品的性能测试，以便及时发现并纠正生产中的问题。

4.3 操作与维护规范

操作与维护规范在确保风机偏航减速机长期稳定运行及减少断齿故障中发挥着至关重要的作用。专业培训必须由操作人员接受，以了解减速机的操作要求及维护程序，这样可以确保在操作过程中严格遵循最佳实践。例如，启动或停止风机时，应避免骤然加速或减速，这种操作不当可能对减速机齿轮施加过大的冲击负荷。渐进控制系统的应用可以有效避免此类问题。负荷设置的定期检查和调整也同样重要，确保减速机在设计负荷范围内运行，从而防止因过载引发齿轮损坏。同时，减速机的运行状态需定期监测，包括振动、噪音及温度等参数，以便及时识别异常情况并采取适当的措施^[4]。在维护方面，定期检查及保养计划的建立并严格执行不可忽视。润滑油必须定期更换，并检查其质量，以确保润滑系统的清洁，保证润滑油的充分循环及有效性，从而避免因润滑不足引起的齿轮磨损。减速机内部组件，特别是齿轮和轴承，也应定期检查，若发现磨损或损坏，需及时更换。此外，减速机外部环境的清洁应予以重视，防止灰尘及污染物的积累，从而减少对设备的额外负荷。最后，详细的操作日志与维护记录的建立，记录每次检查及维护情况，这不仅有助于追踪设备的使用状态，还能在问题出现时提供宝贵的参考信息。

4.4 监控系统的引入

监控系统的引入在预防风机偏航减速机断齿故障中扮演着至关重要的角色。集成先进的监控技术能够实现对减速机状态的实时跟踪与数据分析。多种传感器的安装，如振动传感器、温度传感器及声音传感器，能够实时采集减速机运行过程中的关键数据。这些传感器所监测的振动频率、温度波动及噪音水平，均为识别异常情况提供了重要依据。例如，异常振动模式的检测可能揭示了齿轮断裂或磨损的早期迹象。数据采集系统将传感器数据集中，进行深度分析，利用数据挖掘技术识别潜在的故障模式。通过数据分析软件，设备运行的基准模型被建立，并与实时数据进行对比，以发现超出正常范围的变化，从而进行故障预测及预警。此外，自动报警功能的配置使操作人员或维护团队能够在故障初期采取必要措施，从而防止问题的扩展。监控系统的引入还有助于建立详尽的设备运行档案，长期的数据积累不仅分析设备性能趋势，还为制定科学的维护计划及优化措施提供了可靠依据。

5 结语

在风力发电系统中，风机偏航减速机的断齿故障显著影响设备的运行稳定性及发电效率。对这一故障的深入分析揭示了设计缺陷、生产工艺问题、操作不当以及维护保养不足等多种潜在因素。本文结合实际情况，探讨了有效

的检测与诊断技术,包括振动分析、油液分析及声音检测,旨在早期识别潜在的问题。为了降低故障发生率,建议实施系统性的预防措施。这些措施涵盖了设计改进、生产工艺优化、操作规范化及监控系统的引入,从而提升减速机的可靠性,减少断齿故障的发生频率,并最终提高风机的整体运行效率与经济效益。展望未来,随着技术的持续进步与维护管理水平的提升,风力发电设备的可靠性有望得到进一步保障,各种挑战将得以更好地应对,推动风电领域的可持续发展。

[参考文献]

- [1] 谢平,田毅辉,冯大为. 风机偏航减速机断齿故障分析及处理[J]. 水电站机电技术, 2024, 47(6): 106-108.
- [2] 田武涛. 风力发电机组偏航系统异音分析及预防治理[J]. 河南电力, 2021(2): 65-67.
- [3] 李度成. 风电机组偏航驱动系统损坏及偏航异响故障分析和解决方案[Z]//中国农业机械工业协会风力机械分会. 第九届中国风电后市场交流合作大会论文集. 湖南博云汽车制动材料有限公司; , 2022: 4.
- [4] 郭新毅,袁凌,潘磊,等. 风电偏航驱动系统齿轮副修形优化分析[J]. 机械设计, 2019, 36(2): 155-159.

作者简介: 郭永涛(1190.11—),男,毕业院校:兰州理工大学新能源学院,专业:新能源科学与工程,就职单位:甘肃大唐发电有限公司新能源分公司职务:景泰运维中心技术员。