

浅谈风机振动的原因及分析

张建强 姜凯文 姚朝阳 张成龙 肖云超

国华(哈密)新能源有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i1.18999

[摘要] 风机是风能转换的核心设备,其运行稳定性对风电场的安全与经济性至关重要。本文针对风机运行中的振动问题,系统分析了其故障原因与振动信号特征。阐述了主流诊断方法,涵盖振动分析、多物理参数融合诊断及智能算法应用。最后展望了风机故障诊断技术向智能化、预测性维护的发展趋势。

[关键词] 风机振动; 原因; 分析

中图分类号: TS737+.1 **文献标识码:** A

A Brief Discussion on the Reason and Analysis of Fan Vibration

Jianqiang Zhang Kaiwen Jiang Chaoyang Yao Chenglong Zhang Yunchao Xiao

Guohua (Hami) New Energy Co., Ltd

[Abstract] Wind turbines are the core equipment for wind energy conversion, and their operational stability is crucial for the safety and economy of wind farms. This article focuses on the vibration problem during the operation of wind turbines, and systematically analyzes the causes of its faults and the characteristics of vibration signals. Explained mainstream diagnostic methods, covering vibration analysis, multi physics parameter fusion diagnosis, and intelligent algorithm applications. Finally, the development trend of wind turbine fault diagnosis technology towards intelligent and predictive maintenance was discussed.

[Key words] Fan vibration; Reason; Analysis

引言

风能作为一种重要的清洁能源,其核心转换设备——风机的运行稳定性对风电场的整体效能至关重要。随着技术与规模化应用,确保其长期可靠运行已成为行业关键。然而,风机在持续运行中易因疲劳、磨损等问题引发振动及故障,对系统稳定性和维护构成持续挑战。因此,有必要对其振动的原因尤其是处理办法进行分析,从而保障设备安全、稳定、高效运行,延长使用寿命,避免非计划停机造成的经济损失。

1 风机振动原因

1.1 叶轮不平衡

叶轮不平衡是引发风机振动最常见且关键的原因之一,主要可分为质量分布不均与结垢沉积两类。这两类问题的形成机理不同,但最终都破坏了叶轮的动平衡,导致旋转时产生周期性离心力,引发设备振动加剧、轴承磨损,甚至结构疲劳损坏^[1]。

一是因为磨损与粉尘沉积导致的质量不平衡,风机长期在含尘环境中运行,尤其在高温烟气环境中,微细粉尘对叶片的损害尤为突出。颗粒的持续冲击造成表面磨蚀,而高温又使其更易粘附累积。这种不均匀的“冲击磨损”与“附着堆积”相结合,是导致叶片表面出现深浅不一磨损沟痕的关键诱因。另一方面,

大量粉尘在高温下发生氧化并与金属表面结合,形成坚硬的积垢层。这些磨损和积垢导致叶轮各部分质量不再对称,旋转重心偏离几何中心,从而产生不平衡离心力。

目前,解决方法主要有喷水法、高压除垢法等。喷水清洗法属于传统方法,对于已形成的顽固硬垢较为有效。但需风机完全停运,清洗和后续干燥时间长,影响机组连续运行,经济性较差,故多作为定期大修时的深度清理手段。高压气源除垢法,其核心是利用瞬间释放的高压气体冲击叶轮表面,清除附着不牢的粉尘与初期结垢。该方法最大的优势是通常无需机组长时间停运,可利用计划内短暂停机窗口快速完成,对经济效益影响小,且可频繁使用以维持叶轮清洁。但技术要求较高,需准确找到结垢位置并控制好气压与角度。

二是非工作面结垢导致的动态不平衡,在湿法脱硫等工艺中,净化后的烟气湿度增高。结构性粉垢是风机运行中的一种典型沉积物,其形成源于气体涡流对残留粉尘的运移作用。在涡流的裹挟与引导下,微细颗粒被输送至叶轮的 non-work surface 区域,并在此逐渐堆积、压实,最终形成难以清除的致密垢层。这种结垢起初可能局部附着,但在风机启停或负荷变化时,部分垢块可能在离心力作用下突然脱落,导致叶轮质量分布瞬间变化,引发突发性剧烈振动,这种动态不平衡危害极大。

目前,一些电厂在现场维护中采用经典的“三点平衡法”来解决风机叶轮的动态不平衡问题。该方法在风机保持运行状态下,通过振动传感器精确测量初始振动振幅与相位角,随后分三次在叶轮平衡面上按特定角度(通常相隔 120°)依次添加已知试重块,并分别记录其对应的振动响应数据。基于这些数据,通过几何作图或矢量计算,可准确推算出为抵消原始不平衡量所需的最终配重质量与安装相位。该方法的核心是在叶轮特定位置进行精准配重操作(添加或去除质量),从而在物理层面上重新调整叶轮的质量分布,使其旋转时的惯性轴与几何中心轴重合,旋转重心回归轴心,从根本上消除因质量不均产生的周期性离心力及由此引发的有害振动。作为一项成熟、可靠的现场动平衡技术,三点平衡法被视为恢复风机稳定运行、确保设备长期健康状态的关键且最终的技术措施。

1.2 风机轴承故障

(1) 轴承安装不良是导致风机振动的常见原因,主要包括安装不当、对中不准或游隙异常等情况。不规范的安装行为是导致轴承早期失效与设备运行异常的主要诱因之一。常见的安装问题包括:安装时使用蛮力致使轴承内外圈发生塑性变形;安装倾斜或不到位,导致轴承内部游隙被不当压缩,甚至完全消失。此外,设备对中不良会使轴承内外圈之间产生强制性的不同心偏移,二者无法保持同一旋转中心。上述情况均会显著增大轴承运行时的摩擦、温升与应力,从而迅速引发振动加剧、异常噪声,并最终导致轴承损坏。振动以轴向为主,径向较小,振动频率与转频一致^[2]。

(2) 轴承表面损坏是风机振动的主要原因之一。质量与负载问题:使用质量不合格、内部间隙不合理的轴承,或长期超负荷、超寿命运行,导致滚道和滚动体疲劳剥落、变形或碎裂。润滑不当,润滑不到位、方式错误或润滑油选用不当,致使轴承工作面无法形成有效油膜,加速磨损。污染侵入:异物(如灰尘、杂质)进入轴承内部,污染润滑剂并直接划伤滚道与滚动体表面。

这些损伤会破坏轴承的几何精度与运行平稳性,进而引发风机振动。其典型特征是:振动在径向与轴向均可能表现显著,稳定性差且与负荷无明显关系,损坏部位常伴有异常发热。根本处理方法是立即停机更换合格轴承,并通过规范选型、保证润滑和防止污染来预防。

(3) 联轴器异常是导致风机振动的常见原因,核心在于对不良或安装不当^[3]。风机与电机两轴中心线不同心,存在径向或角度偏差。安装不当,联轴器间未按规定预留合理的热膨胀间隙。振动不稳定,随负荷增大而加剧,且与对中偏差程度正相关;电机侧振动明显,脱开联轴器后电机单独运行则振动消失。处理方法:重新进行对中对正,调整至允许偏差范围内,并确保预留适当的联轴器间隙。

(4) 转子临界转速是风机的一种固有属性,当风机运行转速接近或通过其转轴系统的固有频率时,会发生剧烈共振。在风机起停过程中,当运行转速经过某一特定值时,振动幅值会陡然增大,而一旦越过该转速范围后,振动又显著减弱,这是临界转速

共振现象的典型表现。其根本原因在于,转轴系统在该特定转速下与自身的固有频率发生共振。转子的质量越大、转轴的刚度越低,系统的临界转速就越低。共振发生时,各部件的相对振动达到最大,且振动主频与旋转频率相同或非常接近。其处理方法:设计时应确保风机工作转速避开临界转速区,或在运行中快速通过该转速区域。

1.3 风道系统故障

风机风道系统的气流不稳定是诱发振动的重要根源^[4]。其内在机理主要包括:风箱内周期性脱落的涡流引发的激振、风道局部结构突变造成的湍流扰动与涡流振动。当这些气流脉动与风机或风道本身的固有频率耦合时,会引发结构共振;而更为剧烈的旋转失速现象,则会直接导致显著的周期性压力脉动与强烈振动。特征为压力波动不规则、振幅随流量或负荷增加而增大,且呈现随机性与工况相关性。处理方法包括紧固连接件、加固结构(如蜗壳、风道、基座等),以及优化流道设计或加装导流装置以稳定流场、抑制脉动。

2 风机故障诊断方法

2.1 基于振动信号的分析诊断

这是应用最广泛的核心技术,因为绝大多数机械故障,如不平衡、不对中、轴承损伤、齿轮故障等,都会直接产生特征振动信号。为减少风机系统故障引发的非计划停机时间,研究人员与工程师广泛应用多种信号分析方法,对设备状态进行精密诊断。其中,频域分析、时域分析与时频域分析等是当前主流的监测手段。这些方法能够有效地识别并定位转子不平衡、轴承损伤、联轴器不对中及叶片损坏等常见故障。通过对故障的早期检测与精确定位,运维人员得以在问题恶化前制定并实施针对性的维修策略,从而实现预测性维护,显著提升设备的运行可靠性与可用率^[5]。

2.2 基于其他物理参数的诊断方法

提升风机故障诊断准确性的关键是多物理参数融合诊断。除振动外,温度、压力、电流及油液等参数共同构成设备健康状态的多维信息空间。

温度监测可直接识别过热故障,如轴承温升预示润滑或磨损问题;红外热成像可定位局部异常。压力与流量参数反映气动性能,其异常波动关联叶片损坏、系统堵塞或喘振现象。电气参数(如电流谐波)能揭示机械负载异常及电气缺陷。润滑油分析通过检测油质变化与磨损颗粒成分,从微观层面诊断内部磨损类型与程度。

该方法的核心优势在于信息互补与交叉验证。通过建立多参数关联模型,可在单一指标异常时进行综合研判,减少误判,实现从现象监测到根源诊断的跨越,为预测性维护提供可靠依据。

2.3 基于智能算法的故障诊断

随着机器学习算法的进步,大幅度提升了自动化的水平。如支持向量机与随机森林,能够对从历史数据中提取的多维度特征进行学习,构建故障分类模型^[6]。这不仅大幅降低了对传统人

工特征工程的依赖,还显著提升了对复杂故障模式及复合故障的诊断与识别能力,为实现更精准、自适应的智能诊断提供了新的技术路径。最终,通过集成传感器网络、边缘计算与云平台,构建风机的数字孪生体,实现物理实体与虚拟模型的实时交互与仿真,标志着预测性维护的高级形态——能够实现故障的早期预警、精确定位与寿命预测。

3 风机故障诊断技术的发展趋势

基于当前理论与技术演进,风机故障诊断技术的发展趋势呈现出系统性、智能化和前瞻性的鲜明特征。其核心演进路径正从依赖单维度阈值报警的传统模式,向基于多源信息深度融合与人工智能驱动预测性维护体系深刻转型。一方面,以深度学习和多模态融合为代表的智能算法,正在重塑故障特征提取与模式识别的范式,使得对复杂故障与早期微弱缺陷的精准辨识成为可能。与此同时,边缘计算与云边协同的架构保障了海量监测数据的实时处理与深度挖掘能力,而诊断过程的可解释性及其与资产性能管理的闭环集成,则进一步推动了该技术从单机状态分析向场站级资产智慧运维决策的跨越。

未来,风机故障诊断将更深地植根于信息物理系统,最终形成一个自感知、自诊断、自预测、自优化的智能运维生态系统,为保障风电资产的全生命周期安全与经济运行提供核心支撑。

4 结语

风机振动是影响其长期安全稳定运行的关键问题,对其成

因进行精准分析并建立有效的诊断体系具有重要的工程价值。本文通过对叶轮不平衡、轴承故障、对中不良、临界转速及风道扰动等主要振动源的机理与特征进行梳理,明确了不同故障的物理本质与表现差异。同时,从传统振动分析到多参数融合,再到智能化诊断方法的演进,展现了故障诊断技术从被动响应到主动预测的深刻变革。

[参考文献]

[1]李国海,程佳,龚贵辉.探析风机振动的原因及处理[J].科技资讯,2017,15(04):36+38.

[2]李帅.浅谈风机振动的原因及分析[J].科技创新与应用,2014,(28):18-19.

[3]赵明站.引风机振动的原因及处理方法[J].黑龙江科技信息,2011,(02):12+11.

[4]洪伟杰.风机振动原因分析及处理[J].科技资讯,2010(6):31+34.

[5]梁金舵.风机振动的监测与故障诊断技术分析[J].集成电路应用,2024,41(06):324-325.

[6]汪光阳,周义莲.风机振动故障诊断综述[J].安徽工业大学学报(自然科学版),2006,(01):64-68.

作者简介:

张建强(1999--),男,汉族,河南杞县人,硕士研究生,国华(哈密)新能源有限公司,研究方向:机械故障诊断。