

通过精准检修提升风力发电设备发电效率的实践

吴春辉

中电投东北新能源发展有限公司, 辽宁 沈阳 110623

摘要：现阶段全球对清洁能源需求在不断地增长, 风力发电作为一种重要的可再生能源利用方式, 其在能源结构中的地位日益凸显。本文主要详细地阐述了在风力发电领域, 相关从业者通过精准检修提升风力发电设备发电效率的实践过程。文章核心内容为介绍风力发电设备常见故障及对发电效率的影响, 与精准检修技术与方法, 当中包括了故障诊断技术、检修策略制定等。基于此还探讨了精准检修面临的挑战与未来发展趋势, 期待能够为风力发电行业的高效稳定运行提供参考。

关键词：精准检修; 风力; 发电设备; 发电效率

Practice of Improving the Power Generation Efficiency of Wind Power Equipment through Precise Maintenance

Wu Chunhui

China Power Investment Northeast New Energy Development Co., Ltd. Shenyang, Liaoning 110623

Abstract: At present, the global demand for clean energy is constantly increasing, and wind power generation, as an important renewable energy utilization method, is becoming increasingly prominent in the energy structure. This article mainly elaborates on the practical process of practitioners in the field of wind power generation to improve the power generation efficiency of wind power equipment through precise maintenance. The core content of the article is to introduce common faults of wind power generation equipment and their impact on power generation efficiency, as well as precise maintenance techniques and methods, including fault diagnosis techniques, maintenance strategy formulation, etc. Based on this, the challenges and future development trends faced by precision maintenance were also discussed, hoping to provide reference for the efficient and stable operation of the wind power industry.

Keywords: precise maintenance; wind power; power generation equipment; power generation efficiency

引言

风力发电设备在实际运行过程当中会受到各种因素的影响, 从而导致发电效率波动, 甚至出现故障停机。而为了提高风力发电的经济效益和可靠性, 精准检修就成为了关键环节。因为精准检修能够使工作人员及时地发现设备潜在问题, 接着其会采取针对性措施, 以最大限度地减少设备停机时间, 与提升发电效率。

一、风力发电设备常见故障及对发电效率的影响

(一) 叶片故障

1. 叶片磨损

当叶片长期在复杂的自然环境中运行时, 容易受风沙、雨水等侵蚀, 此时其表面就会出现磨损。而磨损会破坏叶片的空气动力学外形, 导致叶片的升力系数降低, 使其阻力系数增加。根据相关研究来说, 若叶片表面粗糙度增加 10 倍, 那么风机功率则可能下降 5% - 10%^[1]。

2. 叶片裂纹

叶片在承受交变载荷作用下, 就极易在根部、叶尖等部位产生裂纹。而裂纹的出现不仅会降低叶片的结构强度, 还会改变叶

片的振动特性。当裂纹发展到一定程度, 则可能会导致叶片断裂, 进而引发严重的安全事故。同时存在裂纹的叶片还会使风机的能量捕获效率降低, 致使其发电效率明显下降。

(二) 传动系统故障

1. 齿轮箱故障

齿轮箱是风力发电设备中的关键部件, 实践中其故障率较高。展开来说, 齿轮箱故障主要包括齿轮磨损、齿面胶合、轴承损坏等。其中齿轮磨损会导致齿轮传动精度下降, 并产生振动和噪声, 与增加能量损耗。另外当齿轮箱出现严重故障时, 风机就需要停机维修, 此时就会造成大量的发电量损失。

2. 发电机故障

发电机故障主要表现为绕组短路、断路、绝缘损坏等。实践

中发电机故障会直接影响到电能的输出质量和数量，最终导致发电效率降低。例如当发电机绕组出现短路时，电流则会急剧增大，此时发电机的输出功率会大幅度下降，甚至是无法正常发电^[9]。

（三）控制系统故障

1. 传感器故障

风力发电设备中的传感器主要是用于监测风速、风向、温度、转速等参数，以此可为控制系统提供数据支持。如果传感器出现故障，如风速传感器测量不准确，那么控制系统就可能会根据错误的信号来调整风机的运行状态，致使风机无法在最佳工况下运行，导致发电效率降低。

2. 控制器故障

控制器是风机控制系统的核心，其主要负责的是控制风机的启动、停止、变桨、偏航等操作。若控制器出现故障，那么风机的控制功能就会受到影响，其可能出现风机失控、无法正常调节功率等问题，会严重地影响发电效率。

三、精准检修技术与方法

（一）故障诊断技术

1. 振动监测技术

现阶段，振动监测是风力发电设备故障诊断中常用的技术之一。其原理是通过在风机的关键部件，如齿轮箱、发电机、轴承等部位安装振动传感器，以采集振动信号。接着再利用信号处理技术对振动信号进行分析，从中提取出特征参数，如振动幅值、频率、相位等。基于这些特征参数的变化，工作人员可以判断设备是否存在故障以及故障的类型和严重程度。

2. 油液分析技术

油液分析技术主要用于监测齿轮箱、液压系统等设备的运行状况。该技术需要工作人员采集设备中的润滑油样本，并对油液的理化性能、磨损颗粒、污染物等进行分析^[10]。而油液的理化性能指标，如粘度、酸值、水分含量等，可以向其反映油液的老化程度和污染情况。磨损颗粒的大小、形状、成分等信息，则可以帮助工作人员判断设备的磨损部位和磨损机制。

3. 红外热成像技术

红外热成像技术主要是利用物体表面的红外辐射特性，对设备进行非接触式的温度检测。工作人员通过红外热像仪拍摄设备的红外热图像，结合图像中不同部位的温度分布情况，即可判断出设备是否存在过热故障。例如当发电机绕组出现局部过热时，其在红外热图像上则会表现为温度异常升高的区域。

（二）检修策略制定

1. 基于状态的检修

基于状态的检修（CBM）是一种先进的检修策略，它主要是根据设备的实际运行状态，来确定检修时间和内容。其中工作人员需要通过实时地监测设备运行参数，再利用故障诊断技术对设备状态进行评估。同时当发现设备出现潜在故障或性能下降到一定程度时，工作人员应及时地安排检修。与传统的定期检修相比，基于状态的检修能够避免过度检修和欠检修的情况，有效地提高检修的针对性和有效性，并降低检修成本^[11]。

2. 预测性维护

预测性维护是在基于状态的检修基础上发展起来的一种更高

级的检修策略。它的维护原理是利用大数据分析、人工智能等技术，使工作人员对设备的运行数据进行深度地挖掘和分析，以此预测设备未来的运行状态和故障发展趋势。据此，工作人员通过建立设备的故障预测模型，可提前预测到设备可能出现的故障时间和类型，从而提前制定出更加合理的检修计划。即预测性维护能够实现了对设备故障的提前预警，使检修人员有足够的时间去准备备品备件和维修工具，从而进一步地提高检修效率和设备可靠性。

（三）检修流程优化

1. 检修前准备工作

工作人员在进行精准检修之前，需要做好充分的准备工作。首先要收集设备的运行数据、历史检修记录、故障报告等信息，以确保自己对于设备的运行状况有全面的了解。其次要根据设备的状态评估结果和检修计划，并且制定详细的检修方案，在当中明确检修内容、检修步骤、安全措施等。同时还应准备好所需的备品备件、维修工具、检测设备物资。此外相关企业应对检修人员进行技术培训，使其熟悉检修流程和技术要求，从而确保检修工作的顺利进行。

2. 检修过程实施

实际检修过程当中，检修人员应严格地按照检修方案进行操作。在条件允许的情况下，采用先进的检修技术和工具，以确保检修质量。而对于已经发现的故障，必须要进行深入地分析，找出故障出现的原因，再采取有效的修复措施。若需要更换备品备件，一定要确保备件的质量和规格符合要求。同时还必须加强对检修过程的安全管理，即检修人员要严格地遵守安全操作规程，以防止发生安全事故^[12]。

3. 检修后验收与测试

检修工作完成后，企业要对其要进行严格的验收与测试。首先应对检修项目进行逐一检查，要确保检修工作全部完成，且质量符合要求。然后再对设备进行调试和试运行，此时主要需要检查设备的运行状态是否正常，其各项性能指标是否达到设计要求。而在试运行过程中，企业应利用监测设备对设备的运行参数进行实时监测，以此对设备的性能进行评估。只有在验收与测试合格后，该设备才能正式投入运行。

四、精准检修面临的挑战与未来发展趋势

（一）面临的挑战

1. 技术难题

因为精准检修技术是一个高度复杂且综合性极强的领域，其深度地融合了机械工程、电子技术、计算机科学、数据分析等多个学科的前沿知识与技术^[13]。所以在过去一段时间内，尽管相关研究与实践取得了一系列令人瞩目的成果，但是在实际应用过程中，该技术仍存在诸多亟待攻克的技术瓶颈。

一方面是故障诊断准确性方面，当前的技术手段在面对复杂工况时，已然暴露出其对微小故障识别能力不足的问题。主要原因是复杂工况下，设备的运行状态会受到多种因素的交互影响，例如风力发电设备在不同风速、风向、温度以及湿度等条件下运转，其产生的振动、声音、电气参数等信号极其复杂且多变。而微小故障所引发的信号变化往往会被淹没在大量的背景噪声之中，使得现有的故障诊断技术难以精准地捕捉并有效识别这些细

微变化,最终导致故障诊断的准确性大打折扣。

另外一方面是预测性维护模型的精度。因为预测性维护模型主要是通过对设备运行数据的深度分析,助力工作人员提前预测设备可能出现的故障,以便其在故障发生前安排维修。然而要构建一个准确、可靠的设备故障预测模型并非易事。因为设备的运行状态不仅受到自身结构、材料特性以及制造工艺的影响,其还与外部环境因素密切相关,并且不同类型设备之间的故障模式和规律也存在显著差异。而相关人员如何综合考虑这些复杂因素,并选取合适的特征参数,以及运用恰当的算法构建模型,仍是现阶段精准检修技术领域研究热点与难点。

2. 数据管理与安全

因为精准检修对设备运行数据的依赖程度极高,所以数据的有效管理与安全保障成为了精准检修能否顺利实施的关键因素。而风电场作为风力发电设备的集中部署区域,其通常分布在偏远的山区、戈壁或沿海地区。由于这些地区的网络通信条件往往较为有限,因此相关人员如何实现设备运行数据的实时、准确传输,已经成为了精准检修面临的一大挑战^[7]。

3. 人员素质要求

设备运维人员作为设备日常维护和管理的一线人员,其必须要熟悉设备的结构、原理和操作流程,并具备基本的故障诊断和维修技能。同时在精准检修模式下,他们还需要掌握一定的数据分析和处理能力,要能够通过设备运行数据的初步分析,及时地发现潜在的故障隐患。但是当前许多设备运维人员虽然在设备操作和传统维修方面经验丰富,可是在数据分析和新技术应用方面的知识储备却不足,依然需要加强相关方面的培训。

(二) 未来发展趋势

1. 智能化检修技术的发展

目前随着人工智能、大数据、物联网等新兴技术的飞速发展,使得风力发电设备的精准检修正朝着智能化方向大步迈进。若相关企业积极地引入智能化检修技术,将能够实现设备运行状态的全方位、实时监测,而通过对监测数据的自动分析和处理,其能够实现故障的自动诊断、智能决策以及远程控制,从而会极大地提高检修工作的效率和准确性。

其中在设备运行状态监测方面,企业借助物联网技术,可将大量的传感器部署在风力发电设备的关键部位,如叶片、齿轮箱、发电机等,从而实时地采集设备的振动、温度、压力、电流、电压等多种参数^[8]。接着将这些传感器通过无线网络将采集到的数据传输到数据中心,即可实现对设备运行状态的实时监

控。同时利用边缘计算技术,企业可在设备现场对采集到的数据进行初步处理和分析,进而减少数据的传输量,有效地提高数据处理的实时性。

对于故障自动诊断方面而言,深度学习算法将发挥核心作用。企业可通过对大量历史故障数据和正常运行数据的学习,从而构建出深度的神经网络模型。该模型能够自动地提取数据中的特征模式,并且根据这些特征模式对于设备的运行状态进行分类和判断,从而实现了对设备故障的自动诊断^[9]。

2. 多技术融合应用

未来精准检修技术将会更加注重多技术的融合应用,即通过整合不同技术的优势,企业可实现对设备故障的更全面、更准确的诊断和预测,进而有效地提高精准检修的技术水平和应用效果。

目前振动监测技术是该行业应用较为广泛的一种故障诊断技术,该技术主要是通过监测设备的振动信号,并分析其频率、幅值等特征,来判断设备是否存在故障以及故障的类型和位置。可是振动监测技术也存在一定的局限性,其对于一些早期的、微小的故障,则可能难以准确地检测。而油液分析技术则可通过对设备润滑油的成分、性能等进行分析,帮助相关人员了解设备的磨损情况和润滑状态,使其能够发现一些振动监测难以察觉的故障。实践中若相关企业将振动监测技术与油液分析技术相结合,就可以实现对设备故障的多维度诊断。

3. 全生命周期管理

企业进行精准检修将从传统的以设备故障维修为中心,向着设备全生命周期管理方向发展。其在设备的设计、制造、安装、运行、维护等各个阶段,都将融入精准检修的理念和技术,并通过对设备全生命周期的数据分析和处理,来实现设备的可靠性、可用性和经济性的优化,最终提高风力发电的整体效益^[10]。

五、结语

经过精准检修来提升风力发电设备发电效率是一项系统工程,其需要相关人员综合地运用故障诊断技术、检修策略制定、检修流程优化等多种技术和方法。然而精准检修在技术、数据管理、人员素质等方面还面临一些挑战。未来随着智能化检修技术的发展、多技术的融合应用以及全生命周期管理理念的推广,相信精准检修将在风力发电行业中能够发挥更加重要的作用,最终为实现风力发电的高效、稳定、可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 酒泉众和新能源技术有限公司.一种风力发电设备检修用制动装置:CN215762055U[P/OL].2022-02-08[2025-01-13].https://www.cqvip.com/doc/patent/1973475084.
- [2] 甘肃建投装备制造有限公司.一种基于风电场运维及优化的风力发电效率提升装置:CN220415596U[P/OL].2024-01-30.https://www.cqvip.com/doc/patent/3337735181.
- [3] 李善斌.风力发电机设备运输路径优化的物流成本分析与管控策略研究[C].2024人工智能与工程管理学术交流会论文集.2024:167-169.DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.020864.
- [4] 邓佳,谭代伦.基于旅行商路径与任务指派的风力发电设备检修问题研究[J].通化师范学院学报,2024,45(02):52-59.DOI:10.13877/j.cnki.cn22-1284.2024.02.009.
- [5] 董殿海.风力发电机组变频器的检修和维护研究[J].科学与信息化,2024,(18):50-52.
- [6] 吴健.风力发电项目升压站电气设备的安装、调试及管理[J].电子乐园,2019,(30):326-326.
- [7] 潘聪聪,李福瑞,刘勇,等.移动专网对风力发电管理效率的提升[J].中国宽带,2023,19(09):61-63.
- [8] 程成.风力发电场设备定期检修与保养策略优化研究[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(04)[2024-04-26].https://www.cqvip.com/doc/journal/3342054287.
- [9] 马强.风力发电机组轴承润滑系统的优化与运行效率提升[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(11)[2024-11-26].https://www.cqvip.com/doc/journal/3472542671.
- [10] 山东鼎能新能源有限公司.风力发电设备数据远程监控装置:CN218268344U[P/OL].2023-01-10.https://www.cqvip.com/doc/patent/2428537334.