

风电场的风机设备运行管理技术探析

孙乾龙

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】：本文立足于风电场风机设备构成与原理，围绕设备状态监测、故障诊断与预测、运行优化控制等关键技术展开探讨，分析恶劣环境、故障复杂性、技术更新与人才短缺等难点与挑战。并结合具体案例分析运行管理技术的实施过程与应用效果，旨在为风电场提升风机设备运行管理水平、保障稳定高效发电提供理论与实践参考。

【关键词】：风电场；风机设备；运行管理技术；状态监测；故障诊断

DOI:10.12417/2811-0536.25.10.057

引言

在全球对清洁能源需求持续上涨的背景下，能力发电以其可再生且清洁的优势，成为能源领域的重要发展方向。风电场作为风力发电的集中场所，其核心设备风机的稳定运行直接关系到发电量与经济效益。然而，风机设备长期处于复杂多变的户外环境，面临着设备老化、故障频发等问题。因此，深入研究风机设备运行管理技术，对于保障风电场安全稳定运行、提高发电效率、降低运维成本具有重要的现实意义。

1 风电场风机设备构成与原理

1.1 主要设备构成

风电场风机设备主要由风电机组、塔筒、基础、控制系统和输变电设备等构成。风电机组是实现风能转换为电能的核心装置，主要包括叶片、轮毂、传动系统、发电机等部件。叶片负责捕获风能，轮毂将叶片与传动系统相连，传动系统把叶片的机械能传递给发电机；塔筒为风电机组提供支撑，使其处于合适的高度以获取更充足的风能；基础则为整个风机设备提供稳固的支撑，保证设备在各种工况下的稳定性；控制系统负责监测和调节风机设备的运行状态，确保其安全、高效运行；输变电设备将风机发出的电能进行升压、传输和分配，使其能够并入电网^[1]。这些设备相互配合，共同完成风能到电能的转换与输送。

1.2 工作原理

风电场风机设备能够实现将风能向电能的转化，当风吹过叶片时，叶片受到气动力作用产生旋转，将风能转化为机械能。轮毂带动传动系统中的低速轴旋转，通过齿轮箱将转速升高后传递给高速轴，高速轴驱动发电机转子旋转，利用电磁感应原理，在发电机定子绕组中产生感应电动势，从而实现电能的输出。整个能量转换过程中，控制系统实时监测风速、风向、设备温度、振动等参数，根据预设程序调整风机的运

行状态，如通过变桨距控制调节叶片角度，以优化风能捕获效率，确保在不同工况下设备稳定运行。

2 风电场风机设备运行管理关键技术

2.1 设备状态监测技术

(1) 传感器技术应用。在风机设备状态监测中，传感器技术发挥着重要作用。温度传感器用于监测发电机、齿轮箱等关键部件的温度，当温度超过正常范围时，及时发出预警，防止部件因过热损坏；振动传感器通过采集设备运行时的振动信号，分析设备的振动特征，可判断轴承磨损、齿轮故障等问题；压力传感器则用于监测液压系统、润滑系统的压力，确保系统正常工作^[2]。

(2) 数据采集与传输系统。数据采集系统主要由采集模块、数据处理单元等构成。采集模块负责收集各类传感器输出的信号，并进行模数转换；数据处理单元对采集到的数据进行滤波、放大等预处理，提高数据的准确性和可靠性。数据传输方式主要有有线传输和无线传输两种。有线传输如以太网，具有传输稳定、数据量大的优点；无线传输如4G、5G通信技术，能够实现远程数据传输，不受地理环境限制。常用的通信协议包括Modbus、TCP/IP等，确保数据在不同设备间准确传输，实现对风机设备的远程实时监测。

2.2 故障诊断与预测技术

(1) 故障诊断方法。基于振动分析的故障诊断方法是一种通过分析设备振动信号的时域、频域，以此来提取故障特征频率，判断设备故障类型的方法。例如，当齿轮箱出现故障时，其振动信号的频率成分会发生变化；油液分析则通过检测润滑油中的金属颗粒、污染物等成分，分析设备部件的磨损情况；电气参数分析通过监测发电机的电压、电流、功率因数等参数，判断电气系统是否存在故障^[3]。

(2) 预测性维护技术。预测性维护技术基于设备

运行数据,通过建立故障预测模型,对设备未来的运行状态进行预测。常见的预测模型有基于机器学习的算法模型,如神经网络、支持向量机等。通过对大量历史数据的学习和训练,模型能够识别设备运行数据中的潜在规律,提前预测设备故障发生的可能性和时间。基于预测结果,运维人员可以合理安排维护计划,在设备故障发生前进行维护,避免因突发故障导致的停机损失,降低设备故障率,提高设备可靠性。

2.3 运行优化控制技术

(1) 功率调节控制。变桨距控制和变速恒频控制是风机设备常用的两种功率调节方式:在低风速环境下,通过变桨距控制调整叶片角度,增大叶片对风能的捕获面积,提高风能利用效率;在高风速环境下,调整叶片角度减小风能捕获,防止风机过载。变速恒频控制则通过调节发电机转速,使发电机输出电能的频率保持恒定,适应电网接入要求。

(2) 智能控制策略。风机设备运行过程中的常用智能控制策略有模糊控制、神经网络控制等,其中,模糊控制根据风速、风向、设备状态等多个参数,通过模糊逻辑规则库进行推理决策,实现对风机的智能调节;神经网络控制通过模拟人脑神经元的工作方式,对复杂的运行数据进行学习和处理,优化风机的运行参数。

3 风电场风机设备运行管理技术难点与挑战

3.1 恶劣环境对设备的影响及应对措施

(1) 自然环境因素。在受到强风这类恶劣天气的影响下,风机叶片、塔筒等部件会产生巨大的气动载荷,导致部件疲劳损坏;沙尘环境中,沙尘颗粒会进入设备内部,加剧轴承、齿轮等部件的磨损;低温环境下,润滑油粘度增加,影响设备润滑效果,电气设备也可能因绝缘性能下降出现故障;高温环境会使设备部件材料性能下降,加速老化;高湿度环境容易导致设备金属部件腐蚀、电气设备受潮短路^[4]。这些自然环境因素给风机设备的正常运行带来严重威胁。

(2) 应对措施。面对上述恶劣环境,可采取如下应对方案:在设备防护设计方面,对风机叶片采用抗风沙侵蚀涂层,塔筒外部进行防腐处理;在特殊材料应用上,选用耐低温、耐高温、耐腐蚀的材料制造关键部件;同时,制定严格的定期维护保养计划,如定期清理设备内部沙尘、更换润滑油、检查电气设备绝缘性能等,确保设备在恶劣环境下正常运行。

3.2 设备故障的复杂性与不确定性

(1) 故障诊断与修复难度。因风机设备结构复杂,

知识故障种类繁多,其原因也难以确定。一个故障现象可能由多个原因导致,而一个故障原因也可能引发多个故障现象,这使得故障诊断难度增大。同时,部分故障发生在设备内部,难以直接观察,需要借助专业检测设备和技术手段进行诊断^[5]。在故障修复方面,一些关键部件更换难度大,维修时间长,会导致设备长时间停机,影响发电效益。

(2) 解决方法。面对故障诊断存在的不确定性和复杂性,需综合运用振动分析、油液分析、电气参数分析等多种手段,提高故障诊断的准确性。建立故障案例库,收集和整理各类故障案例及处理经验,为故障诊断与修复提供参考。同时,加强对运维人员的培训,提高其故障诊断和处理能力。

3.3 技术更新与人才短缺问题

(1) 技术发展趋势。在信息技术快速发展的时代背景下,风电场风机设备运行管理技术正朝着智能化、数字化、网络化方向发展。智能化技术如人工智能、大数据分析在设备状态监测、故障诊断与预测中的应用越来越广泛;数字化技术实现了设备运行数据的数字化管理和分析;网络化技术则支持设备远程监控与协同管理。这些技术的发展对风电场运行管理提出了更高要求,需要不断进行技术更新和升级。

(2) 人才需求与现状。技术的快速发展,使得风电场对运行管理技术人才的需求也逐渐增加。然而,目前行业内此类人才短缺现象较为严重。一方面,相关专业的人才培养数量有限,难以满足市场需求;另一方面,风电场工作环境相对艰苦,部分人才不愿意投身该行业,导致人才流失。此外,现有运维人员的知识结构老化,对新技术的掌握和应用能力不足。

(3) 人才培养与引进策略。为了能够给风电场发展运行提供相应的技术人才,风电场可与高校合作开展人才培养项目,开设相关专业课程,定向培养适应行业需求的人才。积极引进外部专业人才,通过提供良好的工作环境和待遇,吸引具有丰富经验和先进技术的人才加入。同时,加强对现有运维人员的培训,定期组织技术学习和交流活动,更新其知识结构,提高技术水平^[6]。

4 风电场风机设备运行管理技术的应用案例分析

4.1 案例选取与介绍

(1) 案例风电场概况。选取位于西北地区的某风电场作为案例。该风电场地理位置处于荒漠地带,常年风沙较大,冬季气温较低,夏季高温干旱。风电场装机容量为500MW,共安装200台2.5MW的双馈异

步风力发电机组。

(2) 运行管理技术应用背景。该风电场在运行初期，由于恶劣的自然环境，设备故障率较高，特别是叶片磨损、齿轮箱故障频繁发生。同时，传统的运维方式缺乏对设备状态的实时监测和精准诊断，导致故障修复时间长，设备停机时间增加，发电效率低下。为解决这些问题，该风电场决定应用先进的运行管理技术，提升设备运行管理水平。

4.2 运行管理技术实施过程

(1) 设备状态监测系统建设。在设备状态监测系统建设方面，该风电场在每台风机的发电机、齿轮箱、轴承等关键部位安装了温度传感器、振动传感器和压力传感器。传感器采集的数据通过 4G 通信网络传输至数据中心，数据中心搭建了完善的数据采集与处理系统，对数据进行实时分析和存储。同时，建立了可视化监控平台，运维人员可通过电脑或手机实时查看设备运行状态。

(2) 故障诊断与预测体系构建。该风电场采用多技术融合的故障诊断方法，结合振动分析、油液分析和电气参数分析，对设备故障进行诊断。利用机器学习算法建立故障预测模型，通过对历史数据的学习，预测设备故障。设置了三级预警机制，根据故障严重程度发出不同级别的预警信息，提醒运维人员及时处理。

(3) 运行优化控制策略应用。在运行优化控制方面，该风电场应用变桨距控制和变速恒频控制相结合的功率调节方式，根据实时风速调整风机运行参数。同时，引入模糊控制策略，对风机的运行状态进行智能调节。通过这些优化控制策略，提高了风机在不同风速条件下的发电效率和运行稳定性。

4.3 应用效果评估与经验总结

(1) 运行数据对比分析。表 1 展示了该风电场应用运行管理技术前后的关键运行数据对比。可以看出，应用运行管理技术后，设备平均年发电量从原来的 1.2

亿千瓦时提升至 1.5 亿千瓦时；设备故障率由每年 15% 下降至 8%；运维成本从每年 800 万元降低至 500 万元。

表 1 风电场应用运行管理技术前后的关键运行数据对比

指标	应用前	应用后
平均年发电量（亿千瓦时）	1.2	1.5
设备故障率	15%	8%
运维成本（万元/年）	800	500

(2) 经济效益与社会效益分析。经济效益方面，发电量的增加和运维成本的降低，使该风电场每年增加发电收入约 1200 万元。社会效益方面，更多清洁能源的供应减少了对传统化石能源的依赖，降低了碳排放，对改善环境质量起到积极作用。

(3) 经验启示与推广价值。该案例表明，先进的运行管理技术在恶劣环境下的风电场具有显著的应用效果。通过设备状态监测、故障诊断与预测、运行优化控制等技术的综合应用，能够有效提高设备运行效率，降低故障率和运维成本。其经验和做法对其他面临类似问题的风电场具有重要的借鉴意义和推广价值。

5 结语

总之，风电场风机设备运行管理技术对于保障风电场安全稳定运行、提高发电效率、降低运维成本至关重要。本文系统分析了风机设备运行管理技术的构成、原理、关键技术、难点挑战，并通过实际案例展示了技术应用的效果。未来，随着智能化、数字化、网络化技术的不断发展，风电场风机设备运行管理技术将不断创新和完善。同时，加强人才培养与引进，解决技术更新带来的人才短缺问题，也是推动风电场持续发展的关键。各风电场应结合自身实际情况，积极应用先进的运行管理技术，提升整体运行管理水平，为清洁能源发展做出更大贡献。

参考文献：

- [1] 李寿清,李广锋.浅析如何做好风电场运行管理[J].红水河,2024,43(02):63-68.
- [2] 林冠清.风电场降本增效的精益化创新管理策略[J].科技创新与品牌,2022,(10):75-77.
- [3] 尹洪璋.风电场的风机设备运行维护的优化[J].集成电路应用,2021,38(11):212-213.
- [4] 赵刚.恶劣环境下风机设备的防护与维护[J].电力科技与环保,2020,36(05):56-59.
- [5] 陈红.风电场设备预测性维护技术的研究[J].新能源进展,2022,10(04):398-402.
- [6] 周明.智能控制策略在风机运行优化中的应用[J].电力自动化设备,2021,41(07):112-116.