

风电场运行维护提质增效技术研究

任光新

大唐黑龙江新能源开发有限公司 157100

【摘要】伴随新能源产业的高速发展,风电场的规模化建设与运营已成为能源结构转型的核心支撑力量。运行维护作为保障风电场安全平稳运行、提高发电效益的核心环节,其工作质量与执行效率直接关联风电场的投资回报水平及可持续发展潜能。本文针对当前风电场运行维护阶段存在的技术手段滞后、运维成本偏高、故障响应不及时等突出问题,从状态监测、智能诊断、预防性维护、人员管控等多个维度,深入剖析风电场运行维护提质增效的核心技术与实施路径。通过探讨先进技术的应用场景及实际应用成效,为风电场优化运维模式、压缩运维成本、提升发电效率提供理论参考与实践指引。

【关键词】风电场;运行维护;提质增效;状态监测;预防性维护

Research on Quality and Efficiency Improvement Technologies for Wind Farm Operation and Maintenance

Ren Guangxin

Datang Heilongjiang New Energy Development Co., Ltd. 157100

【Abstract】 With the rapid development of the new energy industry, the large-scale construction and operation of wind farms have become the core supporting force for the transformation of energy structure. As the core link to ensure the safe and stable operation of wind farms and improve power generation efficiency, the quality and efficiency of operation and maintenance are directly related to the investment return level and sustainable development potential of wind farms. This article focuses on the prominent problems of lagging technical means, high operation and maintenance costs, and delayed fault response in the current operation and maintenance stage of wind farms. From multiple dimensions such as status monitoring, intelligent diagnosis, preventive maintenance, and personnel control, it deeply analyzes the core technologies and implementation paths for improving the quality and efficiency of wind farm operation and maintenance. By exploring the application scenarios and practical results of advanced technologies, theoretical references and practical guidance are provided for optimizing the operation and maintenance mode, reducing operation and maintenance costs, and improving power generation efficiency of wind farms.

【Key words】 Wind farm; Operation and maintenance; Improving quality and efficiency; Status monitoring; preventive maintenance

引言

在“双碳”战略目标的驱动下,我国风电产业规模化发展成果显著。截至2024年末,全国风电累计装机容量突破8亿千瓦,占总发电装机容量的比例超过25%,已然成为能源结构转型的关键支撑。但随着风电场运行年限的增加,设备老化等问题日渐凸显,传统定期维护模式下过度维护或维护不足的弊端愈发明显,不仅造成资源闲置浪费、运维成本居高不下,还容易引发设备停机事故,导致发电损失。实践表明,科学合理的运维管理可使风电场发电效率提升5%~10%,因此开展运维提质增效相关研究具有重要现实意义。当前国内外虽已开展部分运维技术研究,但普遍存在技术落地困难、与实际运维场景适配性差等问题。基于此,本文结合我国风电场运行的实际特征,从技术、策略、管理三

个维度系统探索提质增效路径,为运维实践提供针对性解决方案。

一、风电场运行维护现状及存在的问题

1.1 运维模式传统,智能化程度偏低

当前,我国多数风电场仍沿用“定期检修+故障后修复”的传统运维模式。该模式依据设备运行时长制定固定维护方案,未能充分考量设备实际运行状态与健康程度。例如,部分风电机组的齿轮箱、发电机等核心部件,在运行环境优良、负载稳定的条件下,实际使用寿命远超过预设维护周期,但定期维护仍会按既定计划开展拆解检查,造成不必要的资源消耗;而对于处于恶劣运行环境、长期高负载运转的设备,固定周期的维护难以及时排查潜在故障,易导致故障恶化,

引发停机事故。与此同时,传统运维模式对人工依赖度较强,大量运维工作需工作人员现场完成,不仅劳动强度大,工作效率也相对低下。尤其是位于偏远区域、高山峡谷等复杂地形的风电场,交通条件受限,一旦设备发生故障,维修人员无法迅速抵达现场,延长故障处置时长,造成大量发电损耗。

1.2 状态监测能力不足,故障诊断精准度低

状态监测是实现精准运维的前提,但目前我国部分风电场的状态监测系统存在诸多缺陷。一方面,监测设备配置不完善,部分风电场仅对风电机组转速、功率、温度等少数关键参数进行监测,而针对齿轮箱油液状态、轴承振动、叶片损伤等重要指标缺乏有效监测手段;另一方面,监测数据处理与分析能力薄弱,大量监测数据仅能完成基础的存储与显示,无法通过数据挖掘、深度分析实现设备故障的早期预警与精准诊断。此外,风电场运行环境复杂多变,监测数据易受外界干扰,导致数据准确性下降,进一步降低故障诊断的可靠性。当设备出现异常时,运维人员多依赖个人经验判断,诊断效率低、精准度差,易出现误判、漏判等情况,延误故障处理时机。

1.3 运维成本偏高,资源配置缺乏合理性

风电场运维成本主要涵盖人工成本、备件成本、设备损耗成本等。受传统运维模式不合理性的影响,我国风电场运维成本普遍偏高。在人工成本方面,复杂的地形环境需要配备更多运维人员,且行业内人员流动频繁,新增人员培训成本较高;在备件成本方面,为保障故障后维修的及时性,风电场通常需储备大量备品备件,导致资金占用过多,部分备件长期闲置,造成资源浪费;在设备损耗成本方面,由于故障处置不及时,设备部件损坏程度加剧,增加了设备维修与更换成本。同时,风电场资源配置缺乏科学规划,不同区域、不同类型风电场在运维人员、设备、资金等资源分配上未充分结合实际需求,导致部分风电场资源冗余,而部分风电场资源短缺,影响整体运维效能。

1.4 运维人员专业素养不均衡

风电场运行维护工作涉及机械、电气、自动化、气象等多个专业领域,对运维人员专业素养要求较高。但当前我国风电运维行业发展迅猛,运维人员需求量激增,导致部分运维人员缺乏系统专业培训,专业知识与实操技能不足,无法熟练操作先进运维设备、运用新型运维技术。在实际工作中,部分运维人员对设备结构、工作原理认知不深入,操作流程不规范,不仅影响运维工作质量与效率,还可能诱发设备损坏、安全事故等问题。此外,风电场多位于偏远区域,工作环境艰苦,难以吸引和留存高素质专业人才,进一步加剧了运维人员专业素养不均衡的问题。

二、风电场运行维护提质增效关键技术策略

2.1 搭建智能状态监测系统,强化故障预警能力

智能状态监测系统是风电场运维提质增效的核心技术保障。一方面,需完善监测设备配置,针对风电机组齿轮箱、发电机、轴承等核心部件,部署振动、温度、油液等多类型传感器,全面采集关键运行参数。例如,在叶片加装图像传感器与应变传感器,实时监测叶片损伤与形变情况;在齿轮箱内置油液传感器,动态判断设备运行状态。另一方面,依托大数据、人工智能技术提升数据处理分析能力,通过数据清洗、特征提取等手段构建故障预警诊断模型,如基于机器学习算法识别齿轮箱磨损、断裂等故障类型并预测故障发展趋势,为运维决策提供科学依据。此外,搭建远程监测平台实现集中管控,运维人员可通过平台远程实时查看设备运行状态与监测数据,无需现场值守即可完成全面监控,大幅提升运维效率。

2.2 推行预防性维护模式,优化运维方案

预防性维护依托设备状态监测数据预判故障风险,提前制定并执行维护计划,可有效规避故障后维修带来的发电损失与高额成本,是风电场运维提质增效的关键路径。推行该模式需从三方面推进:一是构建完善的设备状态评估体系,结合监测数据、运行年限、历史故障记录、维护档案等信息,全面评估设备健康状态并划分等级,据此制定差异化维护策略。例如,健康等级较高的设备可适当延长维护周期,存在故障风险的设备则缩短维护周期并强化监测;二是制定个性化维护计划,结合不同风电场运行环境、设备类型等差异,摒弃“一刀切”的定期维护模式。例如,沿海风电场需重点加强防腐维护,高山风电场需着重保障设备密封性能与润滑效果;三是规范维护流程,明确操作标准,要求运维人员严格遵照标准执行并完善记录,为设备状态评估与策略优化提供完整数据支撑。

2.3 引入智能运维设备,提升运维执行效率

引入智能运维设备是降低运维人员劳动强度、提升运维效率的有效途径。针对风电场复杂地形环境与高空作业需求,可引入无人机、智能巡检机器人等设备,实现风电机组高效巡检。无人机具备灵活性强、覆盖范围广、不受地形限制等优势,可搭载高清摄像头、红外热像仪等设备,对风电机组叶片、机舱、塔架等部件开展空中巡检,快速发现叶片损伤、塔架腐蚀等问题。智能巡检机器人可在风电场内自主移动,对地面设备、电缆线路等进行巡检,实时采集设备运行参数与环境数据,及时捕捉设备异常信号。例如,在风电场集电线路巡检工作中,智能巡检机器人可替代人工开展全天候巡检,既提升了巡检效率,又降低了人工巡检的安全风险。此外,引入便携式故障诊断仪、智能液压扳手等智能维修设备,提升故障处理效率与质量。便携式故障诊断仪可快速定位并分析设备故障,为维修工作提供精准指导;智能液

压扳手可实现螺栓紧固的精准控制，保障维护质量。

2.4 优化资源配置，压缩运维成本

优化资源配置是风电场运维提质增效的重要保障。首先，优化人员配置。根据风电场规模、设备数量、运行环境等因素，合理确定运维人员数量与专业结构，避免人员冗余或缺。建立运维人员共享机制，对地理位置邻近的风电场，组建联合运维团队，实现人员资源共享，提高人员利用率。加强运维人员专业培训，构建完善的培训体系，定期开展机械、电气、自动化等领域的专业知识与实操技能培训，提升运维人员专业素养。同时，建立健全激励机制，提高运维人员工作积极性与主动性，降低人员流动率。其次，优化备件管理。搭建备件库存动态管理系统，通过备件需求预测、消耗统计等方式，合理确定备件储备数量与种类，避免备件积压与短缺。加强与备件供应商的协作，建立快速供货通道，确保故障维修时备件及时供应。推行备件共享模式，针对不同风电场的通用备件，建立共享库存，提高备件利用率，减少资金占用。此外，优化资金配置，将资金重点投向智能监测设备、智能运维设备购置及维护技术研发领域，提升运维工作的智能化水平与技术含量。

2.5 推进运维管理信息化建设，实现全流程管控

推进运维管理信息化建设，可实现风电场运维工作全流程管控，提升管理效率与质量。构建风电场运维管理信息系统，整合设备档案、运行数据、维护记录、故障记录、人员信息、备件信息等多维度数据，实现数据集中管理与共享。通过该系统，可实时跟踪维护计划执行进度，及时发现维护工作中的问题并整改；可对设备运行状态、维护成本、发电效率等数据进行统计分析，为运维策略优化与决策制定提供数据支撑。此外，引入移动办公技术，运维人员可通过移动终端实时上报维护工作情况、故障信息等，管理人员可通过移动终端及时下达工作指令，实现运维工作实时沟通与协同，提升工作效率。

三、案例分析

参考文献

- [1]李庆, 王健, 张宏. 风电场智能运维技术研究现状与发展趋势[J]. 可再生能源, 2022, 40(5): 665-672.
- [2]刘振宇, 李军, 赵鑫. 基于大数据的风电机组故障诊断与预警系统设计[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(8): 165-170.
- [3]王小明, 张丽, 吴刚. 风电场预防性维护策略优化研究[J]. 风力发电技术, 2023, 9(2): 45-52.
- [4]陈立华, 黄伟, 李明. 无人机在风电场巡检中的应用研究[J]. 电力科学与工程, 2022, 38(3): 70-76.
- [5]张国富, 王强, 孙浩. 风电场运维管理信息系统的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(12): 230-236.
- [6]李华, 赵亮, 陈峰. 风电场运维成本控制策略研究[J]. 能源研究, 2022, 43(4): 321-327.

某风电场坐落于我国西北地区，总装机容量 50MW，配备 25 台 2MW 风电机组，已运行 8 年。该风电场此前采用传统定期维护模式，存在运维成本偏高、故障停机时间较长、发电效率偏低等问题。为实现提质增效目标，该风电场于 2023 年启动运维技术升级与管理优化工作，具体措施如下：一是搭建智能状态监测系统，在每台风电机组的齿轮箱、发电机、轴承、叶片等关键部件安装监测设备，实时采集振动、温度、油液品质等参数，引入大数据分析平台，构建故障预警模型；二是推行预防性维护模式，基于设备状态监测数据与历史故障记录，建立设备健康评估体系，制定个性化维护计划；三是引入无人机与智能巡检机器人，替代人工开展风电机组巡检与集电线路巡检工作；四是优化人员配置，组建专业运维团队，强化人员培训，建立激励机制；五是构建运维管理信息系统，实现数据集中管理与全流程管控。

经过一年的运行实践，该风电场运维工作成效显著：运维成本较之前降低 18%，其中人工成本下降 22%，备件成本减少 15%；故障停机时间缩短 35%，设备平均无故障运行时间延长 28%；发电效率提升 7%，年新增发电量 350 万 kWh。

该案例充分说明，通过引入智能状态监测技术、推行预防性维护模式、优化资源配置等措施，可有效提升风电场运行维护质量与效率，降低运维成本，提高发电效益。

四、结论

本文针对风电场运行维护提质增效需求，深入分析当前风电场运行维护现状及存在的问题，从搭建智能状态监测系统、推行预防性维护模式、引入智能运维设备、优化资源配置、推进运维管理信息化建设等多个维度，提出风电场运行维护提质增效的关键技术与策略。研究表明，传统定期维护模式已无法满足风电场高质量运行需求，通过引入先进监测技术、优化运维模式、提升管理水平，可有效降低运维成本、缩短故障停机时间、提高发电效率。案例分析进一步验证了所提技术与策略的可行性和有效性。