

Practice on Refined Maintenance Management of Equipment in New Energy Enterprises

Xiao Yang Zhenhai Zhu Duolong Zhao

CGN Gansu New Energy Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730000, China

Abstract

This article explores the refined maintenance process of wind power equipment in new energy enterprises, and elaborates on technologies such as status monitoring, fault warning, and intelligent operation and maintenance systems. And combined with multi-source data and intelligent algorithms, predict the faults of wind power equipment and optimize operation and maintenance decisions. Strengthen the control of wind turbines through control systems and platforms, grasp the operation and status of wind turbines, and implement management measures throughout their entire lifecycle.

Keywords

wind power equipment; Refined maintenance; Smart operation and maintenance; Whole life cycle management

新能源企业设备精细化检修管理实践

杨筱 朱振海 赵多龙

中广核甘肃新能源有限公司, 中国·甘肃 兰州 730000

摘要

文章探讨了新能源企业风电设备检修过程的精细化维修,就状态监测、故障预警、智慧运维系统等方面的技术进行了阐述。并结合多源数据、智能算法对风电设备的故障进行预测并优化运维决策。通过管控系统和平台加强对风力发电机组的管控力度,掌握风力发电机组运转情况和状态,并落实全生命周期的管理措施。

关键词

风电设备; 精细化检修; 智慧运维; 全生命周期管理

1 引言

鉴于当前全球能源转型大势所趋,加之全球风力发电装机量逐年递增。在2024年底,全球风能累计装机容量达到1136GW,中国风力发电同比上一年度增长了18%。但由于受到复杂多变的环境影响,在风电运行期间会经常发生诸如偏航偏差等问题,再加上风电存在分布分散、自然环境恶劣、数据孤立及难以互联、智能化水平低等问题,使得风电场运维工作日趋繁重,可能造成设备损坏甚至导致风机停运,所以做好风电场精细化检修管理工作极为重要。

2 风电设备精细化检修核心技术

2.1 状态监测与故障预警技术

借助于多源数据采集技术(振动、温度和压力等)可形成覆盖全方面的设备运行监测体系。振动传感器监测齿轮箱、发电机等旋转部件的振动信号,并从幅值、频率等方面

判断齿轮是否存在磨损或裂纹等问题。温度传感器检测发电机、变压器温度情况,并在机舱内各关键部位温度超限时提前发出警告,防止因超温而造成设备损坏;压力传感器检测液压或润滑系统的压力情况,保证变桨系统的稳定,如果发生漏油等情况也能及时发现。多源数据的融合分析可以融合各种数据信息,获取不同角度的数据特征,准确找到故障原因,增强诊断准确率。

利用智能算法赋予故障预警新动力,尤其是利用机器学习算法中常用的决策树、随机森林,通过对大量数据集的历史数据挖掘故障特征,建立故障预警模型。利用深度学习算法中的神经网络和卷积神经网络的强大非线性映射和特征提取功能,能自动完成对振动、温度等多种来源数据的深度处理,发现内在联系,学习设备的运行规律,实现准确判断故障模式的功能^[1]。

2.2 智慧运维系统架构搭建

2.2.1 三级一体化管控系统

以集团、公司、场站三级运行体系架构,形成风电设备智慧运维协同网络。在集团层面全面归集风电场的发电量、设备状态等关键数据,供领导层做全局性决策。利用大

【作者简介】杨筱(1988-),男,中国甘肃瓜州人,本科,工程师,从事新能源发电设备检修管理研究。

数据分析集团整体资源分配情况，并对各风电场发电量以及设备健康状况进行对比分析后，再根据各风电场发电量的不同以及设备情况分配资金，实现对于运营风险的实时监控，做好大范围风电机组故障应急资源调度。

公司层级是上通下达的中介，把集团层面的战略规划转化为实际的行动方案，并且基于场站现场的数据对设备进行分析。根据设备的工作时间、出现过的故障记录等数据来制定精准的维修计划，同样也承担着上下级之间沟通的任务，确保命令能够下达并落实到相关部门，并将实际工作上的需求准确地上报。针对整个场站的各个设备进行全面性管理和精细化运维管理。场站在每台设备上布设大量的传感器，用于采集对应的运行数据（包括温度、振动、压力等），达到对各台设备状态的掌握，并且针对设备的异常能够及时发出报警信息，为运维人员迅速给出故障判断信息。针对运维工作进行数字化管理，并且通过对数据共享及规范化的流程处理，消除场站的信息孤岛问题，提高运维效率和质量。

2.2.2 远程运维与智能分析平台功能剖析

远程运维与智能分析平台有实时监测、功率预测、报表生成功能，是实现智慧运维的重要抓手。实时监测就是通过传感器将各种设备的运转数据变成数字传送到终端，在终端中展示，通过图形化的效果展现给运维人员，当设备出现问题会马上进行报警。功率预测主要利用数值天气预报模型和机器学习方法，以气象数据、设备参数为输入预测未来风电场的发电功率变化情况，为电网调度提供有力依据。对于风电场的大修和小修根据年发电量来进行，而在发电高负荷时段要避免发电工作，降低停机率，提高发电量及收益。报表生成功能可以按照指定时间周期自动生成各路相关设备的运转情况表、故障情况表及发电情况表等表格，以便管理者作出决策，提高运营效益。

2.3 数据驱动的运维决策制定

2.3.1 高质量数据集构建

龙源电力每天风电设备运行产生的风电机组设备运行数据达到 800GB 以上，对数据进行系统性地治理后才能形成高质量的数据集。在进行数据清洗的过程中，使用滤波算法去除传感器噪声，利用数据挖掘技术找到重复记录删除重复项，并用插值法补充风速缺失的数据。

进入数据整合阶段后，龙源电力统一 SCADA 系统、气象监测系统的数据标准，明确各数据间的数据映射关系。将各项设备的运行状态、环境等与 SCADA 系统相关联，通过这种方式进行数据融合后建立数据分析的基本模型。另一方面，采用 Hadoop 分布式文件系统和 HBase 数据库对存储介质进行管理和维护，使用分布式存储保证其可靠性和可扩展性。并且利用索引和分区的方法提升对大数据平台的访问速度；并且定时对数据进行备份，保证数据的安全性，确保做好运维的基础数据工作。

2.3.2 AI 算法在运维决策中的应用

AI 算法利用深度学习技术对设备相关数据开展深度分

析，实现对设备寿命预测与维修策略优化，对于寿命预测来说，利用深度学习技术对设备运行的历史数据以及工况、环境等因素综合分析建立设备精度模型。以齿轮箱为例，对各部件进行振动、温度、油液等数据采集，结合其工作时间、负载情况等确定不同工况下齿轮的磨损趋势和剩余寿命，达到提前准备备件，做好维修计划的目的，减少突发故障的风险。AI 算法代替了以往按周期性检修或事后检修，能够进行精准运维。龙源电力的维修决策模型根据设备数据实时分析设备运行情况，按照严重程度、故障趋势和设备重要性判断维修优先级，对高风险设备优先检修，对于一些轻微故障可通过调节参数或简单的维护解决，避免了以往大量设备出现小故障就大拆大修的现象，每年可节省大部件维修约 170 台次，极大节约了人力、物力资源消耗，降低运维成本，提升设备的利用率和发电量，促进风电设备运维向智能化、精细化转变发展^[2]。

3 风电设备全生命周期精细化管理实践

3.1 设备性能优化与能效提升策略

3.1.1 偏航对风校正与桨距角智能控制

偏航装置是根据偏航系统上安装的风向标实时检测到的风向变化，当风向与风轮夹角大于所设值时，在主控系统的指挥下，由驱动装置及时校正机舱角度的位置，使风轮始终保持迎风状态，以最大限度地吸收风能。桨距角随风速变化而调节叶片的转角：在低风速时减小桨距角，多获取一些风能；高风速时增大桨距角限制风轮的载荷，使机组稳定运行，既包含有风速和转速等多种信号又采用智能算法来进行最优控制，很好地提高了风电机组各种工况下的发电效率。

3.1.2 风洞实验室在设备优化中的应用

通过稳定的标定风速场所使用标定风速校准测风仪的数据并与其所测得的风速作比较来修正测量误差，为机组偏航和桨距的控制提供依据，是机组正常运行的必要保障。在机组性能优化方面，风洞实验室使用粒子图像测速仪、压力传感器等设备，对叶片及整机进行风洞内的空气动力学测试，在不同的风速、风向以及不同的工况条件下测试叶片的压力分布、叶片的气动系数、整机的载荷特性，并以此为基础来进行叶片的形状、翼型等设计参数优化，提高风能捕获效率。同时还可以对机组结构进行改进，优化控制策略，减小运行振动、降低噪声，提升设备可靠性及使用寿命。

3.2 退役设备的绿色循环利用实践

3.2.1 叶片复合材料回收技术创新

随着风电行业的飞速发展，废弃的风电叶片也成为行业的一大难题，传统的处置方法有填埋或者焚烧，但都占地面积大、污染环境且不能实现材料回收利用。针对这一行业困境，风电叶片的研发企业突破创新，研发了“选择性化学键循环（SCBRTM）”和“简易化学循环再生（SRCCTM）”两种复合材料循环升级回收技术，并建设起风机复材循环升

级回收体系^[3]。

SCBRTM 技术能有效识别复合材料化学键,用温和条件降解树脂得到功能中间体,不会损伤纤维结构,保留复合材料的纤维强度高。因而回收料可以用于叶片的再制造。SRCCTM 技术可改变环氧树脂分子结构,加入酯基官能团,降低回收反应温度、化学试剂添加量、回收过程步骤数,两种技术的结合可实现退役叶片“叶片到叶片”升级,既避免污染环境,节约原料,又能为企业创造更大的经济价值。

3.2.2 三维扫描技术助力部件梯次利用

在风电退役部件梯次利用时,用蔡司三维扫描仪做寿命评估以及数字孪生建模都可以得到比较有效的数据。手持式的激光扫描仪可以快速获取叶片或者齿轮箱等部件的三维扫描数据,并且可以通过和设计模型做对比来进行表面缺陷检测、判别剩余寿命。这个方法可以以较高精度去采集到比较细微的零件表面的几何信息来对磨损、裂纹等损伤情况进行量化。采用扫描数据建立的数字孪生模型能直观地反映出部件的动态运行状况,基于仿真分析结果可以预见部件未来在不同工况下的行为,并用于评估部件适应新工况的能力以及检修方法,用于对退役部件的快速精确评估和充分利用,提高风电设备资源循环再利用率、节约资金开支、降低成本、减小废品量,助推产业良性循环及可持续发展。

4 新能源企业风电设备检修管理机制创新与案例研究

4.1 “零出力时段”创效模式分析

在风电产业快速发展的情况下,要想兼顾设备运维和经济效益,需要新能源企业破解并着手解决,而中国节能环保集团探索的“零出力时段”创效方式则是对风电企业降本增效的一种创新举措,“零出力时段”指风电机组受自然因素或者设备维护无法生产出电能的时刻,具体而言就是低风速时段和突发天气极端时段,或者是设备检修和故障停机时刻。

利用“零出力时段”进行电力市场辅助服务交易,在无功消耗时段创造经济价值。电网上运行的调峰、调频、备用等辅助服务是保证电网正常运行必不可少的环节。风力发电场可以利用“零出力时段”开展电力市场辅助服务交易。当电网负荷高时,可以通过调低风机的状态,作为调峰资源,对于辅助服务进行盈利。也可以采用风电机组智能控制系统,在线监测电网频率变化,根据系统频率的变化情况调节风机的发电功率大小,实现调频功能,并获得相应的经济补偿。从市场推广潜力看,“零出力时段”创效模式大有可为,随着电力体制改革,辅助服务市场不断扩大,为新能源企业提供更多的准入机会。

4.2 标准化与协同管理体系建设

4.2.1 标准化检修手册编制与推广

由于风电产业规模越来越大,设备越来越复杂,安全生产管理越来越难,在此背景下,华能山东发电有限公司和中国华能集团清洁能源技术研究院共同编制了《新能源发电事故隐患重点排查手册》一书,目的是规范风电场安全管理工作,提高风电场安全管理水平。

手动编制针对的是风力发电机组和太阳能发电机组设备故障隐患及操作错误产生的事故,风力发电设备长时间处于恶劣环境运行中,变桨、变流等关键部位易产生磨损、短路等故障。如果人员操作不规范也容易发生事故,风能与太阳能发电机组手动编制的内容是对各系统的典型故障进行分析。例如:变桨系统桨距角偏差大,则可以从传感器故障、电机故障、变桨速度变桨电流和后备电源的回路上查找原因,然后通过检查接线、测量电阻等方式排查故障及处理。还有针对光伏组件热斑故障可通过红外检测、更换电池片等方法解决实际问题,更具有可操作性。

4.2.2 多层次指标体系与绩效对标实践

云鼎科技以构建多级指标体系和开展绩效对标为牵引,以提高风电机组设备可靠性、降低风电机组运维成本、提高风场发电效益为目标。将大目标逐级拆分为设备故障率、平均无故障运行时间、发电效益等多项二级及以下指标,在考虑设备自身状态、外界环境等对各指标影响的基础上,经专家论证确定指标体系科学性。

绩效对标由收集数据、计算、分析和改善组成,使用智慧风电运维系统的实时数据,依照公式来计算指标值,并将各个风电场的数据同行业标准值或历史值进行对比,以此发现之间的差异。

5 结语

依靠核心技术创新、全生命周期管理以及模式优化的新能源企业正在开展风机精细化检修,大大提高风电设备可靠性及运维效益,后续随着物联网技术的发展、国家及地方相关政策及标准进一步完善,风电机组维修新模式将助推风电产业智能化、低碳化快速发展,并为我国能源转型带来重要的助力作用。

参考文献

- [1] 刘希林.风电场设备检修管理创新与实践[J].电力设备管理,2021,(11):125-126.
- [2] 张凡志,周龙,程声樱,等.基于数据分析的电力设备检修精细化管理[J].设备管理与维修,2020,(09):14-16.
- [3] 南京南瑞继保电气有限公司,南瑞集团有限公司.新能源大量接入型企业电网的高周切机方法、装置及设备:CN116169707A[P/OL].2023-05-26[2025-05-14].