

风力发电系统远程监控技术及应用研究

王宏伟

宁夏银星能源股份有限公司 宁夏 银川 750021

摘要: 本文聚焦风力发电系统远程监控技术及应用。先阐述风力发电系统组成、工作原理与运行特点。接着详细介绍远程监控技术,涵盖数据采集、传输、处理分析及平台架构设计。然后探讨该技术在实时状态监测、故障预警与诊断、优化运行控制、运维管理决策支持方面的应用。最后指出其未来向智能化、集成化、精准化、绿色化发展的趋势,为风力发电系统的高效稳定运行提供全面的技术参考与应用指导。

关键词: 风力发电系统; 远程监控技术; 应用研究

1 风力发电系统概述

1.1 风力发电系统组成与工作原理

风力发电系统主要由风轮、传动系统、发电机、变流器、控制系统及塔架等核心部件组成。风轮作为能量捕获装置,由叶片和轮毂构成,叶片通过空气动力学设计可高效捕捉风能并转化为机械旋转动能。传动系统包含主轴、齿轮箱和联轴器,能将风轮的低速旋转转化为发电机所需的高速旋转,部分直驱式系统可省去齿轮箱直接驱动发电机。发电机将机械动能转化为交流电,变流器则负责将交流电转化为符合电网频率和电压要求的电能并入电网^[1]。控制系统是系统的“大脑”,实时采集风速、转速、功率等参数,通过调节叶片桨距角等方式控制风轮运行状态。整个工作流程为:风轮捕获风能转化为机械动能,经传动系统传递至发电机转化为电能,再通过变流器处理后并入电网,控制系统全程监控并调节各环节运行参数。

1.2 风力发电系统的运行特点

风力发电系统运行具有显著的间歇性和波动性,其出力完全依赖风能资源,而风速受季节、时段、地形等因素影响呈现随机变化,导致发电功率难以保持稳定。系统运行环境通常较为恶劣,多分布在草原、戈壁、海上等偏远区域,面临低温、高温、高湿、强风、盐雾等复杂环境考验,对设备耐候性要求极高。运行过程中存在多变量耦合特性,风速、风向、桨距角、转速、功率等参数相互影响,需通过精准控制实现各参数协同匹配。风力发电系统具有规模化集群运行趋势,单风电场通常包含数十至数百台风机,各风机运行状态相互关联,需实现整体协调控制。系统还具备长周期连续运行需求,为保障发电效率,除定期维护外需尽量减少停机时间,这对设备可靠性和运维水平提出严格要求。

2 风力发电系统远程监控技术

2.1 数据采集技术

风力发电系统远程监控的数据采集技术以传感器技术为核心,结合数据采集模块实现多参数全面采集。针对风机关键部件,部署不同类型传感器:风速风向传感器采用超声波或机械旋转式原理,实时采集环境风速和风向数据,采样频率可达每秒1次;叶片状态传感器通过光纤传感或振动传感技术,监测叶片形变、振动频率等参数,及时捕捉叶片损伤隐患;发电机传感器包括温度、转速、电压、电流传感器,全面监测发电机运行状态;齿轮箱传感器重点采集油温、振动、油液污染度等数据,预防齿轮箱故障。数据采集模块采用PLC或专用数据采集卡,将传感器输出的模拟信号或数字信号进行转换、滤波和放大处理,去除噪声干扰。采集的数据分为实时运行数据和历史统计数据,实时数据采样间隔为毫秒级,满足实时监控需求,历史数据按分钟或小时级存储,为后续分析提供数据支撑,采集过程中严格保障数据准确性和时效性。

2.2 数据传输技术

风力发电系统远程监控的数据传输技术需满足远距离、高可靠性、大容量数据传输需求,形成“风机本地-风电场集控中心-远程监控中心”的三级传输架构。风机本地与风电场集控中心之间,多采用工业以太网或无线局域网技术,工业以太网通过屏蔽双绞线或光纤传输数据,具备抗干扰能力强、传输速率高的优势,适用于风电场内部近距离数据传输;部分偏远风机采用无线局域网技术,降低布线成本。风电场集控中心与远程监控中心之间,根据传输距离和数据量选择不同方式:陆上风电场常采用光纤专线或4G/5G移动通信技术,光纤专线传输速率可达百兆以上,延迟低,适合大容量数据传输;海上风电场因环境特殊,多采用卫星通信或海底光缆技术,卫星通信可实现远距离覆盖,海底光缆则能保障稳定传输。传输过程中采用数据加密、校验和重传机制,

加密算法采用AES加密技术,防止数据被窃取或篡改,校验和重传机制确保数据传输完整性,避免数据丢失。

2.3 数据处理与分析技术

风力发电系统远程监控的数据处理与分析技术围绕数据清洗、特征提取和深度分析三个环节展开,为监控决策提供支撑。数据清洗阶段采用异常值检测算法和缺失值填充方法,通过设定参数阈值剔除传感器故障导致的异常数据,采用线性插值或均值填充法补充缺失数据,确保数据质量^[2]。特征提取阶段针对不同监测参数提取关键特征,例如对振动数据提取频谱峰值、频率分量等特征,对功率数据提取波动幅度、变化率等特征,通过特征工程将原始数据转化为可用于分析的有效信息。深度分析阶段结合机器学习和统计学方法,采用神经网络算法建立风机功率预测模型,通过历史数据训练实现对未来发电功率的精准预测;采用故障诊断算法,对比实时数据与正常运行数据的偏差,识别故障类型和位置。另外,通过大数据分析技术挖掘风机运行参数与发电效率、故障发生率之间的关联规律,为优化运行和维护策略提供数据支持,整个过程通过分布式计算框架提高数据处理效率。

2.4 远程监控平台架构与设计

风力发电系统远程监控平台采用分层架构设计,分为数据采集层、传输层、数据层、应用层和展示层,各层协同工作实现全流程监控。数据采集层部署在风机本地,由传感器和数据采集模块组成,负责原始数据采集;传输层采用多种传输技术构建通信网络,实现数据双向传输;数据层包含实时数据库和历史数据库,实时数据库采用内存数据库存储毫秒级实时数据,历史数据库采用关系型数据库存储历史数据,支持海量数据存储和快速查询;应用层是平台核心,集成状态监测、故障预警、运行优化等功能模块,通过算法模型实现数据处理和业务逻辑运算;展示层采用Web端和移动端相结合的方式,提供可视化界面,支持管理人员实时查看数据和操作控制。设计过程中注重高可靠性和可扩展性,采用集群部署方式避免单点故障,通过模块化设计支持新增功能模块;同时考虑安全性,设置用户权限管理和操作日志记录,限制不同角色操作权限,记录所有操作行为,保障平台安全稳定运行。

3 风力发电系统远程监控技术的应用

3.1 实时状态监测

实时状态监测作为远程监控技术的基石性应用,在风力发电系统中发挥着至关重要的作用。它凭借对系统各部件运行参数的持续、全方位监测,让管理人员得以

实现对系统运行状态的全面且精准的掌控。监控平台宛如一个不知疲倦的“数据采集大师”,实时且不间断地采集风机的多项关键运行参数。从风速、风向等环境参数,到桨距角、转速、发电功率、电压、电流等设备运行参数,再到叶片、齿轮箱、发电机、变流器等关键部件的温度、振动、压力等状态参数,无一遗漏。这些丰富多样的参数通过精心设计的可视化界面,以直观的仪表盘、清晰易懂的曲线图表等形式实时呈现。管理人员只需轻点鼠标,就能直观查看单台风机或整个风电场的运行状态,仿佛置身于现场一般。更为智能的是,当这些参数接近预先设定的阈值时,系统会迅速自动发出提醒信号^[3]。以发电机温度监测为例,若温度持续升高接近警戒值,系统会立即在界面上以醒目的颜色进行标注,并同时发出声光报警,让管理人员第一时间关注到重点设备。通过实时状态监测,管理人员无需再耗费大量时间和精力前往现场,就能及时掌握设备的运行情况,快速发现参数异常,为后续的处理工作争取宝贵时间。同时这些实时数据也为故障诊断和运行优化提供坚实的数据支撑,有力保障系统的稳定运行。

3.2 故障预警与诊断

故障预警与诊断应用是风力发电系统中保障设备可靠运行的关键环节,它通过对监测数据的实时分析和历史数据的深度对比,实现了对风机故障的提前预警和精准诊断。系统依托先进的机器学习算法,精心构建了故障预警模型。通过大量历史故障数据的训练,模型能够精准识别故障发生前参数的变化规律。当实时监测数据出现异常波动,且符合预警模型的特征时,系统会迅速自动发出故障预警信号。这个信号不仅明确指出预警部位,还会提示可能的故障类型,并同步推送至管理人员的移动端和Web端,确保管理人员能够及时获取信息。在故障诊断环节,系统采用故障树分析和神经网络诊断算法相结合的方式。它结合实时故障数据和历史故障案例,对故障原因进行层层剖析、精准定位。通过这一系列操作,能够准确诊断出是齿轮磨损还是轴承损坏,并给出故障位置和严重程度评估。通过故障预警与诊断应用,故障发现时间得以大幅提前,真正实现故障的早发现、早处理,有效减少故障停机时间,降低维修成本,显著提高了系统的运行可靠性。

3.3 优化运行控制

优化运行控制应用基于远程监控技术采集的多维度数据,通过精准且智能的控制手段,实现风力发电系统发电效率的显著提升。系统如同一位经验丰富的“指挥官”,结合实时风速、风向数据和风机运行参数,运

用智能控制算法动态调节风机运行状态。当风速发生变化时，系统会迅速自动调节叶片桨距角，使风轮始终保持在最佳迎风角度，从而最大限度捕获风能，将每一丝风的力量都转化为电能。根据电网电压和频率的变化，系统会精准调节变流器输出参数，确保电能质量稳定，并提高并网效率，让发出的电能够顺利并入电网。对于风电场集群运行场景，系统采用更为复杂的群控优化算法。它统筹考虑各风机的运行状态，巧妙避免风机之间的尾流干扰，实现整个风电场的整体发电效率最优。另外，系统还会深入分析历史运行数据，挖掘不同环境条件下的最优运行参数组合，并建立详细的运行参数数据库。这个数据库就像是一本“运行指南”，为风机运行提供科学、合理的参考。通过优化运行控制，在相同的风能资源条件下，能够显著提高发电功率，降低能耗，大幅提升风力发电系统的经济性。

3.4 运维管理决策支持

运维管理决策支持应用是风力发电系统运维管理中的智慧大脑，它通过对远程监控数据的深度统计分析，为运维管理提供坚实的数据支撑和科学合理的决策建议。系统具备强大的自动统计功能，能够自动统计风机运行时间、发电总量、故障次数、故障类型、维护记录等大量数据。并基于这些数据生成运行报表、故障统计报表、维护成本报表等多种类型报表。这些报表就像是一面面镜子，清晰反映出风力发电系统的运行状况。通过对报表数据的深入分析，管理人员可以全面掌握风机可靠性、维护成本、发电效率等关键指标，精准识别高频故障部件和运维薄弱环节。例如，通过分析故障统计报表，发现某型号齿轮箱故障发生率较高，管理人员就可以果断决策提前采购备用齿轮箱，或者与厂家协商改进方案。系统还会结合设备运行状态和维护周期，精心生成预防性维护计划，明确维护时间、维护内容和维护人员，避免过度维护或维护不足的情况发生。通过大数据分析预测设备剩余寿命，为设备更新换代提供科学、可靠的决策依据。运维管理决策支持应用让运维管理从传统的“事后维修”模式向“预防性维护”模式转变，大大提高了运维效率，降低了运维成本。

4 风力发电系统远程监控技术的未来发展趋势

风力发电系统远程监控技术未来将向智能化、集成化、精准化和绿色化方向发展。智能化方面，将深度融合人工智能和大数据技术，构建更先进的智能诊断模型，实现故障的自主诊断和自愈控制，通过强化学习算法使系统不断优化运行策略，提升自主决策能力^[4]。集成化方面，将实现多能源监控系统融合，把风力发电与太阳能发电、储能系统等纳入统一监控平台，实现多能源协同调度；同时加强与电网调度系统的联动，提升电网对新能源的接纳能力。精准化方面，将采用更先进的传感技术，如分布式光纤传感、激光雷达等，实现对叶片、齿轮箱等部件更精准的状态监测，结合数字孪生技术构建风机虚拟模型，实现运行状态的精准模拟和预测。绿色化方面，将优化数据传输和处理流程，采用低功耗传感器和节能型数据中心，降低监控系统自身能耗；同时通过精准监控和优化运行，进一步提升风机发电效率，减少能源浪费。

结束语

风力发电系统远程监控技术对保障风力发电稳定运行意义重大。通过数据采集、传输、处理分析及平台架构设计等技术，实现了实时状态监测、故障预警与诊断、优化运行控制及运维管理决策支持等功能。未来，随着技术向智能化、集成化、精准化、绿色化发展，远程监控技术将更完善。持续深入研究与应用该技术，有助于提升风力发电效率与可靠性，推动风力发电行业高质量发展，为能源结构优化贡献力量。

参考文献

- [1]李锦华纪小周.风电场远程电子监控系统设计[J].电子制作, 2021, 29(15):90-91.
- [2]熊昌全张宇宁.风力发电场远程集中消防监控系统的应用[J].现代职业安全,2023,(10):77-80.
- [3]周刘俊,王琨,宋碧昊,苗驰壮.风力发电场远程集中监控系统的设计及系统应用成果分析[J].科学技术创新,2023,(01):221-224.
- [4]林键.风力发电及其控制技术新进展探究[J].中国设备工程, 2021(13): 221-223.