

智能运维技术在风力发电设备故障诊断中的应用

贾艳冬

国华（沈阳）新能源有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i5.7984

[摘要] 风力发电作为可再生能源的重要组成部分，稳定运行是其设备保障发电效率与寿命的关键，伴随设备种类与数量的增长，传统运维手段面临着高故障诊断难度及高维修成本状况，以物联网、大数据分析、机器学习等手段赋能的智能运维技术，可对设备状态实施实时监控自动开展故障检测与预测分析，极大增强了故障诊断的精准性与时效性，借助对风力发电设备故障数据开展采集与分析，提前针对潜在故障预警可借助智能运维技术，减少设备停机时长进而降低维护费用。此外通过数据驱动的途径智能运维可优化设备管理工作，带动系统整体运行效率的增长，增加设备的服役寿命。

[关键词] 智能运维；风力发电；故障诊断；物联网；大数据分析

Application of intelligent operation and maintenance technology in fault diagnosis of wind power generation equipment

Jia Yandong

Guohua (Shenyang) New Energy Co., LTD.

[Abstract] Wind power generation, as a crucial component of renewable energy, relies on stable operation to ensure the efficiency and longevity of its equipment. With the increase in types and numbers of devices, traditional maintenance methods face challenges such as high fault diagnosis difficulty and high repair costs. Intelligent maintenance technologies empowered by IoT, big data analysis, and machine learning can enable real-time monitoring of equipment status, automatically perform fault detection and predictive analysis, significantly enhancing the accuracy and timeliness of fault diagnosis. By collecting and analyzing fault data from wind power generation equipment, potential faults can be preemptively warned, which helps reduce downtime and lower maintenance costs. Additionally, through data-driven approaches, intelligent maintenance can optimize equipment management, boost overall system operational efficiency, and extend the service life of equipment.

[Key words] intelligent operation and maintenance; wind power generation; fault diagnosis; Internet of Things; big data analysis

引言：

作为清洁能源主要组成内容的风力发电，正快速成为驱动全球能源结构转型的关键动力，然而伴随风力发电设备规模持续扩大，其运转过程里的故障状况日益繁复，高效、精准的需求，传统维护方式已无法有效满足。以物联网、大数据分析和机器学习等先进手段赋能的智能运维技术，为风力发电设备故障诊断打造了全新的解决路径，采用实时监测与智能评鉴，可显著增进故障诊断速率、减少维护开支，且能延长设备的使用期限，借此带动风力发电产业走上可持续发展道路。

一、风力发电设备及其故障类型

1. 风力发电设备的工作原理

以叶片、发电机、变速箱和控制系统等为主要组成部分构

成了风力发电机，风力依靠叶片的转动带动转子进行圆周运动，转子与变速箱实现连接，变速箱对机械能进行转换以适配发电机转速，发电机把机械能转换为电力，向电网或者储能系统进行供电，控制系统实施对设备运行状态的实时监控，调节发电机转速以及叶片的角度，以实现设备在最优条件下作业。

2. 风力发电设备常见故障类型

故障类型呈现出多样性是风力发电设备的特点，机械故障、电气故障以及控制系统故障属于主要故障类型。

机械故障：风速过高、磨损及外部物体撞击常让风力发电机叶片遭受损坏，因长期使用或润滑不良变速箱有可能出现齿轮磨损以及轴承损坏状况，引起整体性能的波动。

电气故障：电气问题里最常见的是发电机和变频器故障，

发电机往往是因为线圈短路、转子星点开路或者过载引起；变频器若发生故障也许会造成发电机产生的电能不能正确转换为合格的交流电，导致电网稳定性有所下降。

控制系统故障：传感器故障或者数据传输问题或许会让控制系统无法精确掌握设备实时状态，进而妨碍风力发电机实现自动调节与故障预警。

3. 故障诊断的重要性

发电效率往往因风力发电设备故障直接受影响，还屡次引起设备的停机时长上升，由此导致发电经济效益出现影响，同时故障有加速设备老化的可能性，造成设备的使用寿命下降，及时、精准的故障诊断可提前把潜在问题找出，防范大规模故障降临，减少维修及停机方面成本，增强故障诊断精准度，而且有益于延长设备的使用时长，还可推动风力发电设备整体运行效率的增长，助力可再生能源实现可持续发展。

二、智能运维技术概述

1. 智能运维技术的定义与特点

智能运维技术指借助先进的信息技术、通信技术、数据分析技术以及自动化技术，能对设备展开全面实时监控、管理及维护工作的技术体系，依靠智能算法与传感器装备，能自动辨别设备状态、预见故障进而优化运维抉择，具有自动化、数据驱动、实时性及智能化等基本特性的是智能运维技术，可实现运维效率提升、人工成本降低，以实现对设备的智能化管理，伴随人工智能、大数据跟物联网技术的成长，智能运维慢慢由传统的设备监测过渡到全面智能化运维状态，推动工业设备管

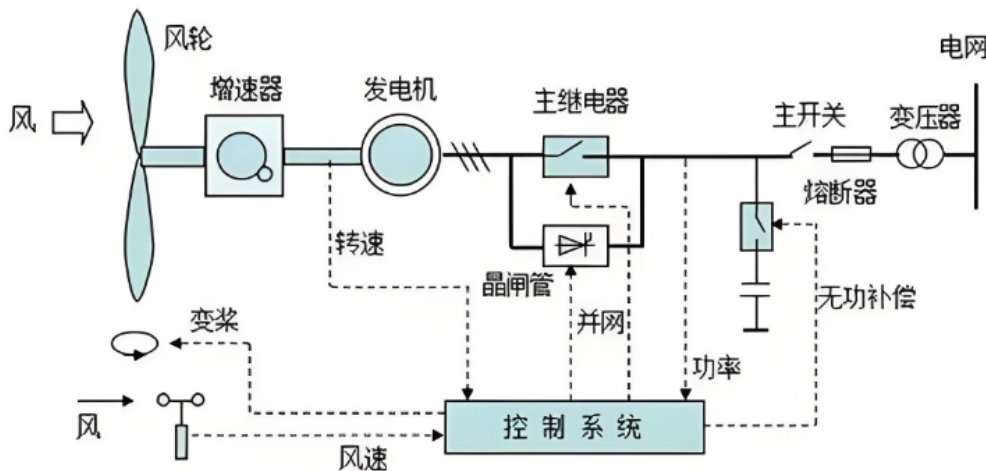


图1 风力发电设备

得益于传感器技术应用，风力发电设备可精准监控，作出及时的故障预警反馈，采用持续监测设备运行状态做法，系统有本事检测到潜在的故障痕迹，及时向运维人员发出提醒以实施干预，由此防止设备瞬间停机或故障范围延展。

2. 基于大数据分析的故障诊断

处于运行状态的风力发电设备会产生大量实时数据，多个参数像温度、振动、压力、电流、电压等存在于这些数据里，采用大数据技术，可针对海量的这些数据开展有效处理分析，借此鉴别潜在的故障模式，首先作为大数据分析里的关键步骤，是数据预处理。针对采集的原始数据实施清洗工作，去除噪声连同异常的数据值，保证分析结果的精准度，经数据预处理提升了数据的质量，还能切实排除因设备故障与环境干扰所

理模式实现创新变革。

2. 智能运维技术的核心技术

物联网、大数据分析、人工智能与机器学习、云计算等作为主要成分组成智能运维技术的核心技术。

物联网 (IoT) 技术：经由传感器与数据采集设备，即时采集设备运行状态与环境相关数据，为后续的各项分析工作供给数据支撑。

大数据分析：依靠对海量数据的采集和分析，厘定设备的故障具体模式，预测设备或许出现的故障，进而实施风险评估流程。

人工智能与机器学习：采用机器学习算法，对设备运行数据开展建模及训练操作，实现对故障的预测、诊断及决策优化。

云计算：赋予强大的数据存储与运算本事，对实时监控、远程运维和大规模数据分析起到支持作用，为智能运维系统的高效运转给予基础设施层面的支撑。

三、智能运维技术在风力发电设备故障诊断中的应用

1. 故障数据采集与监测

采用物联网技术达成对风力发电设备实时监控，成为智能运维技术里的核心构成项，采用在像叶片、发电机、变速箱这类关键部件处布置各种传感器，可实时采集设备在运行中的数据，温度、压力、振动、转速、电流、电压等关键参数被这些传感器采集，综合体现设备当前的状态，结束数据采集流程后，采用无线网络进行数据传输，实时传输到云端亦或数据中心，保证数据能迅速完成处理分析。如图1所示。

引发的无关信息，支撑后续分析推断的可靠性。

处于数据处理结束的阶段，特征提取技术有着极为关键的功效，采用选取与设备故障紧密挂钩的关键特征参数，诸如振动频率状况、温度变化表现，能够为故障诊断提供极具价值的资讯，把这些特征数据作为输入项。借助故障诊断模型开展研判，得以预测设备在不同工况当中可能出现的故障类型及故障位置，采用大数据分析方式，能实现针对设备故障的早期识别，实施精准有效的预测，避免传统人工检查当中出现的差错，于是提早采取维修办法，降低设备的停机时长与维护费用。

3. 智能运维系统的集成应用

把物联网、大数据分析、人工智能等技术整合起来以形成智能运维系统，搭建了一个综合性的故障诊断及预测平台，该

系统可对风力发电设备的运行状态进行实时监控，对设备的各类数据展开全面收集与分析，诸如温度、压力、振动等关键数据，采用智能分析算法，系统可迅速识别设备运行期间的异常情形，还能在故障出现前借助故障预警体系及时给予警示，遏制问题进一步蔓延，此类预警功能能极大减少风力发电设备的停机时段，减轻因设备故障引起的损失。

此外凭借结合云计算技术的智能运维系统，实现对设备数据在远程的存储、处理及分析，这让运维人员不管身处何处，皆可以借助云端平台获取风力发电设备实时状态，进而针对故障实施远程诊断及进行维修决策，云计算赋予了强大的数据处理能力，还保证了数据既可以高效存储又具备安全。

四、案例研究与效果分析

1. 实际案例分析

(1) 以在内蒙古东部某风电场作为实例，该风电场部分风机屡次、反复出现叶片螺栓断裂情况，给风电机组安全稳定运行造成了极大的安全隐患。经引入智能检测系统—相控阵全聚焦实时 3D 超声成像系统，有效对螺栓的内部缺陷进行发觉，大大的降低了设备的危险系数，提高了设备的运行效率。

相控阵全聚焦 3D 超声成像系统把相控阵超声电路与工业笔记本电脑有机结合，提升了系统的便携性以及现场的适用性，进一步增强了系统的稳定性。利用 64 个全并行相控阵硬件通道，对被检测设备形成完整的 3D 检测图像。通过对螺栓工艺参数的设置，校准工件声速，然后将探头放在被测螺栓上，通过软件数据分析，显示器就能显示出螺栓的 3D 图像，有无内部缺陷一目了然。通过此项技术，成功发现内部缺陷螺栓 3 颗，为风电机组的安全稳定运行保驾护航。

(2) 某家风力发电厂风力发电机组地处丘陵山区，小气候较为明显，风速波动较大，风能分布不均匀，再加之风机选点影响，使部分风机点位距离较近，造成风机受到其他风机尾流影响的情况也较为突出，尤其是在阵风或较大风速的天气下，容易出现风机振动值超限停机或湍流保护停机的现象。一方面严重影响发电量，另一方面长期受湍流影响，会导致叶轮叶片、变桨轴承、塔筒在运行过程中逐渐产生表面损伤，该类损伤日积月累，便有可能导致叶片产生严重裂纹、变桨轴承外圈断裂、叶片断裂、倒塔等事故发生，造成巨大的安全生产隐患和经济损失。

机组状态监测与智能预警装置系统是利用传感器、数据采集器、网络传输设备、后台状态监测系统实现智能预警。一是监测风机叶片、变桨轴承等旋转部件受到的湍流冲击后的工况是否良好；二是监测风机塔筒及基础受到冲击后是否存在不可逆的倾斜与沉降。通过一段时间的时时检测与数据分析，发现三支叶片表面未见结构损伤，塔筒未见明显位移，但怀疑变桨轴承一和二法兰的部分螺栓预紧力不足，或螺栓、变桨轴承可能存在异常。后经现场检查发现，变桨轴承螺栓确实存在松情况，随即对其进行处理，避免了事故扩大化。

2. 应用效果分析

实际应用中智能运维技术极大提升了故障检测率，降低了设施的停机时长，也达成了整体维修成本的下降，就蒙东风电场举例说明，通过运用相控阵技术，及早发现叶片螺栓内部缺

陷，及时在空中完成螺栓更换，避免由于叶片螺栓断裂后，随着叶轮的转动，在其内部砸伤电气原件，严重时造成变桨齿圈卡涩，无法及时回桨，出现倒塔的风险。

3. 存在的挑战与问题

即使智能运维技术在开展风力发电设备管理时呈现显著优势，然而其推广与应用依旧存在一定挑战，首先传感器精度问题属于制约智能运维效果的关键因素之一，风力发电设施的部分组件，诸如叶片、变速箱这类，对监测的精准度有着极高要求，然而目前的传感器也许会有测量偏差、灵敏度不足或数据不连贯的现象，致使监测数据呈现不完全或失准状态，进而让故障诊断模型准确性出现偏差，因此增进传感器的精度及稳定性，属于提升智能运维效果的关键要点。

其次有多种数据类型被涉及且数据量庞大的数据由风力发电设备生成，怎样高效完成这些数据的存储、清洗及分析成了技术难题，处于处理这些海量数据阶段的大数据技术，得具备强大的数据处理技能与高效的数据分析手段，进而保障诊断结果既及时又准确无误。此外要引入智能运维就要求运维人员具备较高的操作及技术能力，专业培训是传统运维人员必经之路，才能实现对智能运维平台的熟练运用，这必然使企业的技术投入与培训成本增多，因此促进传感器技术提升、优化数据处理的效能与加强运维人员技能训练，依旧是智能运维技术推广期间亟需攻克的难题。

结语：

应用智能运维技术进行风力发电设备故障诊断，切实凸显了它在提高故障诊断效率、降低维修成本额度、延长设备实际寿命等方面的巨大潜力，以物联网、大数据分析及人工智能等技术的综合运用为途径，实时监控风力发电设备状态这一操作可由智能运维完成，精准预估且鉴别设备发生的故障，大幅降低设备停机时长与维修费用，增强风力发电整体运行效率。实际案例佐证，风力发电行业对智能运维的应用成效十分显著，尤其在故障检测率的提升和运维成本的优化上成果突出，然而技术完善依旧面临着挑战，亟待解决诸如传感器精度与数据处理复杂度等方面的问题，未来跟着技术的不断跃进与应用经验的逐步积攒，在风力发电行业智能运维有望获更广泛的推广及应用，助力行业朝着更高效、智能化方向迈进。

[参考文献]

- [1]朱洪喜.风力发电设备运维中存在的问题与优化措施[J].光源与照明, 2024, (02): 180-182.
- [2]杨鑫.风力发电机组振动故障分析与运行性能评估研究[D].华北电力大学(北京), 2024.DOI: 10.27140/d.cnki.gbbu.2024.000176.
- [3]杨森.人工智能技术在风力发电领域的应用[J].光源与照明, 2024, (11): 243-245.
- [4]王仲,姜娇.风力发电机状态监测和故障诊断[J].辽宁科技学院学报, 2024, 26(05): 40-44+59.
- [5]朱建成.“人工智能+”背景下的风力发电技术探析[J].电力设备管理, 2024, (24): 129-131.