



# 风电智慧守护者： 透明风场一体化运维平台

★ 苏州凌犀物联网技术有限公司 陈泉, 刘斐斓, 刘磊, 刘洋

## 1 目标和概述

### 1.1 引言

随着全球对可再生能源的日益重视,风电产业作为清洁能源的重要组成部分,正迎来飞速发展的黄金时期。然而,风电运维作为保障风电场持续稳定运行的关键环节,面临着诸多挑战。本解决方案旨在构建风电智能运维一体化平台,以人工智能、边缘计算等技术赋能风电运维,提升运维效率,降低运维成本。风电行业的发展不仅关乎能源结构的优化,更是推动全球绿色能源转型的重要力量,展现出广阔的前景和无限的潜力。

### 1.2 行业背景

风电行业作为可再生能源领域的重要组成部分,近年来得到了全球范围内的广泛关注和快速发展。随着环境保护意识的提升和对传统化石燃料能源依赖的减少,各国政府和企业纷纷加大对风电等清洁能源的投资和研发力度。中国、美国、欧洲等地都是风电行业发展的重要区域,风电产业作为中国战略性新兴产业之一,在优化能源结构、推动能源革命和促进生态文明建设方面发挥了重要作用,其中我国已成为全球最大的风电市场。

### 1.3 市场规模

#### (1) 全球风电行业市场规模

根据最新的市场研究报告显示,全球风电行业市场规模已经达到了2214亿美元,其中1300亿美元用于风能发电机的制造和生产,剩余的914亿美元用于风电项目的建设、管理和维护等方面。而且全球风电装机容量也在不断增加,截至2019年底,全球风电装机容量已经达到了651.1吉瓦,相较于2018年同期增长了19%。

此外,全球各国政府也在加大对风电项目的投资力度,促进了全球风电行业的发展。据统计,中国、美国、印度、德国和巴西等五个国家是全球风电规模最大

的国家,其中中国的风电装机容量占全球的一半以上。而在欧洲地区,风电行业的市场规模也在不断扩大,加上还有法德等政府大力支持,未来在欧洲市场仍会有很大的发展空间。

#### (2) 我国风电行业市场规模

我国风电行业市场规模也在不断壮大。近年来,我国政府不断加大对新能源建设的投资力度,鼓励各地区开展风电项目建设,全力推进风电行业的跨越式发展。据统计,2018年我国风力发电的装机容量达到了184.75吉瓦,占全球总装机容量的28.4%。我国的风电装机容量增长迅速,2023年的数据显示,我国风电累计装机容量同比增长了20.8%,新增装机容量同比增长了101.7%。

随着我国政府不断加大对风电行业的支持,我国的风电行业也迅速发展起来。虽然我国的风电行业尚不如欧美国家发达,但是在不断的发展中已经成为了风电行业市场规模庞大的重要国家之一。

### 1.4 风电运维的难点问题

(1) 高海拔和恶劣环境的挑战:许多风电场建在高海拔、恶劣气候和复杂地理环境条件下,运维人员需要面对高风速、低温、冰雪、沙尘暴等不利条件,增加了维护和修复难度。

(2) 大规模和分散性:风电场通常由大量风力发电机组组成,它们分散在广阔的地域范围内。供应链的管理、维护排程和设备检修需要统筹安排,增加了调度和协调的难度。

(3) 复杂性和技术含量高:风力发电机包含大量的机械、电气和控制元件,且需要高度的自控能力。故障排查和修复需要专业知识和技术,维护人员需要具备较高的技能水平和经验。

(4) 风电设备的可靠性和维修性:由于长期暴露

在外面的恶劣环境中，风力发电机设备容易磨损、老化和故障。维护人员需要及时识别和修复设备问题，以确保设备的可靠运行。

(5) 供应链管理和备件支持：风电场所需的备件和材料非常庞大，而且往往需要长期储备。合理的供应链管理和备件支持是保障设备维护和修复的关键。

(6) 费用和效益平衡：风电行业对运维成本和发电效益有严格要求。维修和维护活动需要与设备的产能和效益进行权衡，以达到成本控制和效益最大化的平衡。

(7) 安全和环保要求：风电场作为一种可再生能源，对环保和安全要求较高。运维人员需要遵守严格的安全标准和环境规定，并定期进行安全培训和检查。

### 1.5 解决方案目标

核心目标为成为高价值工业装备智能运维专家。

通过引领创新，实现故障预测、健康管理、运维流程自动化及图像识别等前沿智能化功能，将运维的效率和精确度提升至新的高度。透明风场一体化平台致力于开创风电运维的美好未来，以智能化赋能行业，展现工业装备智能运维的无限可能。

### 1.6 解决方案创新

(1) 核心技术：针对风电运维场景的深度算法应用在风机应用场景中，风机系统会依据外部环境因素如风速大小，动态调整其转速和载荷，使得机组的运行并非恒定状态，增加了监控和维护的复杂性。然而，凌犀的振动传感器却能游刃有余地应对这一挑战。它能够实时动态地调整振动采样频率、采样加速度范围以及滤波范围等关键参数，从而精准地追踪风机的实时状态，这是其他竞争对手所无法比拟的动态跟踪能力。

借助无线振动传感器所采集的数据，我们运用先进的振动AI算法，能够洞察风电装置的运行数据异常、识别设备的异常状态，并提供健康指数评估。这一创新技术为风电装备的预测性维护奠定了坚实基础，有助于提前发现潜在问题，防患于未然。

更进一步，我们利用风机的历史运行数据，自动构建出风机运行的知识图谱。这一图谱不仅为我们提供了风机设备运行状态的深入分析，还能智能识别出各种失效模式。最终，这些功能共同助力我们实现风机的智能预警与精确诊断，显著提升风电装备的运维效率和安全性。

(2) 产品竞争力：引领风电智能运维技术发展方向历经近一年的稳健发展，我司以市场需求为导向，在工业互联网领域持续深化研发，不断锤炼技术实

力。凭借卓越的创新能力和敏锐的市场洞察力，我们已在该领域崭露头角。

我们为这类高价值成套设备建立了一机一模型，包括实时数据驱动模型和行业知识图谱模型，并沉淀得到了丰富的可复用的智能诊断用例。该模型在自主学习和演进能力方面的创新实践，得到了多个行业合作伙伴和客户的认可，比如远景能源、蒂森克虏伯等。

公司首席科学家及研发团队专注于工业AI技术十多年，他们在深度学习领域进行了基础算法研究，帮助本解决方案在“机械振动AI和知识图谱AI”方向积累了大量的元算法、元模型，他们于实际应用中积累构建的AI Shop具有强大的行业聚集效应。

## 2 方案介绍

### 2.1 系统架构图 (如图1所示)



图1 系统架构图

系统采用微服务容器化技术架构，包括应用层、平台层和基础层。

应用层是工业互联网平台的关键部分，该层形成满足不同行业、不同场景的工业SaaS和工业App，并形成工业互联网平台的最终价值。

平台层是设计、仿真、部署、运维一体化平台的核心，该层基于通用PaaS叠加大数据处理、工业数据分析、工业微服务等创新功能，并构建可扩展的开放式云操作系统。

基础层作为最靠近操作终端的设施，具有规模广、结构差异大的特点。该层主要功能包括设备管理、资源管理、运维管理等，它通过高性能计算芯片、轻量化计算方法以及实时操作系统等先进技术，对海量工业数据进行先处理和预处理，在降低了网络开销的同时提升了云-边-端一体化平台的响应速度。



关注边缘计算产业联盟  
请扫二维码

## 2.2 硬件平台

### 2.2.1 振动传感监测

采用振动传感器进行监测，其产品特性如下：

- (1) 工业级可靠性，超长待机时间；
- (2) 高精度振动监测；
- (3) 支持加速度数据实时上传，集成时域分析和频域分析算法，输出振动强度和振动频率数据；
- (4) 无线SCADA扩频通讯，超强抗干扰性；
- (5) 支持无线SCADA自组网主机和点对点无线网关灵活组网应用，支持定时上报、异常报警上报和低电量报警。



图2 震动传感器

### 2.2.2 基于震动数据的深度学习预测

我们从数据角度出发，进行多维度异常分析并输出RUL（使用寿命）。

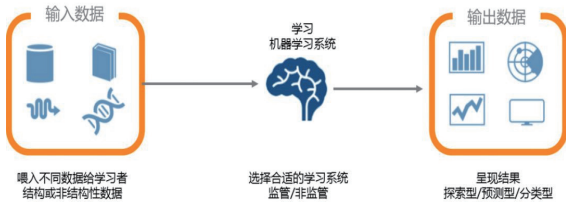


图3 深度学习预测及分析图

### 2.2.3 实时数据监控和预测

- (1) 多设备、多指标数据实时展示；
- (2) 机器学习算法支持数据预测，可以发现数据趋势和分布范围（置信区间）。

### 2.2.4 深度学习算法支持的异常探测

- (1) 快速发现异常数据，及时了解设备可能出现的问题；
- (2) 自动学习可发现复杂数据异常，包括突发异常、渐变异常、周期异常等。

#### · 设备健康指数绘制

- (1) 机器学习和深度学习算法支持设备健康指数

评估和预测；

- (2) 提前发现可能出现故障的设备，提前维护，避免对正常的设备过度维护；

- (3) 通过对健康指数曲线的预测，可有效计算设备RUL。

### 2.2.5 设备状态诊断分析

- (1) 利用机器学习自动对设备和系统状态进行诊断；

- (2) 结合用户体验提升机器学习的能力，把人的经验最大化；

- (3) 对设备状态进行分析，优化设备使用率，提升生产流程效率。

### 2.2.6 数据特征提取

用户通过界面可同时观察到特定时间段内多个传感器的多维数据特征，包括数据总数、缺失数、最大值、最小值、平均值、中间值、方差、缺失时间范围等。

### 2.2.7 智能报警

- (1) 机器学习算法通过把握数据特征，可以对各种异常快速报警；

- (2) 不同于简单的阈值报警，智能报警可以自动识别复杂数据特征，有效降低漏报和误报；

- (3) 不同报警级别方便用户优先排查预警时间、预警可信度，可以帮助用户快速发现报警原因。

## 2.3 软件平台

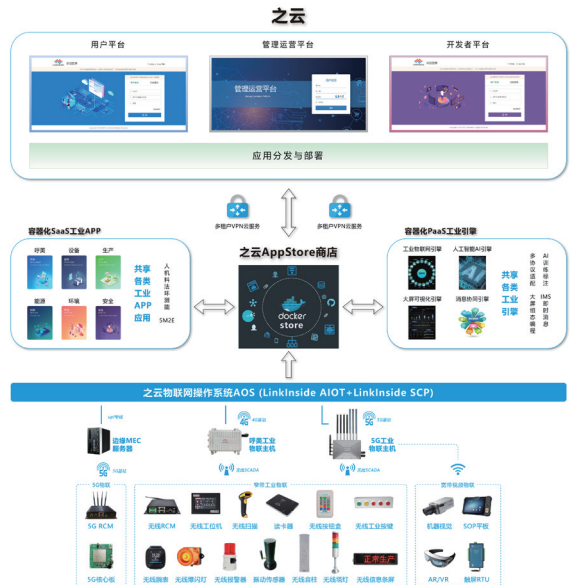


图4 软件平台架构

(1) 内置常用的自动化部署环境，为应用（Java/NodeJs/Python/Go）部署提供定制化的容器运行环境；

(2) 提供开箱即用的工具集，帮助开发者将代码快速构建为可运行的容器镜像，提高了开发效率；

(3) 提供应用商店和应用生命周期管理，缩短了应用上线周期；

(4) 提供从平台到应用维度的日志、监控、事件、审计、告警与通知，实现了集中式与多租户隔离的可观测性；

(5) 简化应用的持续集成、测试、审核、发布、升级与弹性扩缩容；

(6) 为云原生应用提供基于微服务的灰度发布、流量管理、网络拓扑与追踪；

(7) 提供易用的界面命令终端与图形化操作面板，满足不同使用习惯的运维人员；

(8) 通过应用商店一键部署与升级应用至 Kubernetes；

(9) 提供按需容器资源申请，支持设置容器的弹性伸缩（HPA），提升了应用的可靠性与灵活性；

(10) 支持导入 Helm 应用仓库可视化编辑与部署应用；

(11) 应用商店支持多租户运营，提供针对应用级的计量与计费。

### 3 代表性及推广价值

以中国北方某风力发电场为例，该风电场始建于2018年，安装了100台单机容量为2MW的风电机组，总装机容量为200MW。经过几年的运行，项目方意识到高效的运维管理可以极大提升整体经济效益，于是在2023年引入了一套先进的智能运维管理系统。

通过主要运维管理措施，基于故障预测与健康管理（PHM）技术，大数据分析 with 人工智能算法的优化，通过物联网技术实现对风电机组的远程监控和故障诊断，减少了现场维护频次。

对比2022年（实施智能运维管理前）和2023年（实施智能运维管理后）的运行数据，分析高效运维管理对风电场的经济效益和设备状态的影响，取得了非常好的效果，具体如表1所示。

表1 实施智能运维管理前后对比

指标	2022年	2023年
可利用率	94%	97%
故障次数	120次	50次
平均修复时间	10小时	5小时
年发电量	500GWh	530GWh
运维成本	200万元	150万元

风电设备运维管理（Operation & Maintenance, O&M）在风力发电项目的成功和经济效益中起着至关重要的作用。高效的运维管理不仅能够确保风电设备的长期稳定运行，还能最大限度地延长设备的使用寿命，降低运行成本，提升发电效益。

系统价值主要体现在：

(1) 提高设备可用性和可靠性，减少非计划停机时间及增强设备稳定性。

(2) 延长设备使用寿命，保护关键部件，降低突发故障风险。

(3) 优化运维成本，降低维修成本，减少人员成本。

(4) 提升发电效率，优化运行参数，减少停机时间，提升整体发电量。

(5) 提高安全性，减少高风险操作，自动化预警，确保人员和设备的安全。

(6) 数据积累及智能化，累积数据运维经验，引导智能化决策，提升整体运维水平。

(7) 环境和社会效应，减少环境影响，增强公众对风电项目的信任和支持。**AP**

#### 作者简介：

**陈 泉**（1985-），男，湖南岳阳人，高级工程师，本科，现就职于苏州凌犀物联网技术有限公司，研究方向为人工智能、智能工业物联网。

**刘斐澜**（1981-），男，湖南邵阳人，硕士，现就职于苏州凌犀物联网技术有限公司，研究方向为人工智能、智能工业物联网。

**刘 磊**（1988-），男，江西德兴人，硕士，现就职于苏州凌犀物联网技术有限公司，研究方向为人工智能、智能工业物联网。

**刘 洋**（1979-），男，广西玉林人，中级工程师，本科，现就职于苏州凌犀物联网技术有限公司，研究方向为人工智能、智能工业物联网。