

# 新能源风力发电场运维管理数字化转型路径与成效分析

马 宁

国华巴彦淖尔(乌拉特中旗)风电有限公司 内蒙古 巴彦淖尔 015300

**摘 要:** 本文聚焦新能源风力发电场运维管理数字化转型, 阐述其核心基础, 包括转型内涵、关键支撑技术及核心目标。分析转型路径, 涵盖顶层设计、分阶段实施步骤与保障措施。构建成效评价体系, 从效率提升、成本控制、安全与可靠性、管理创新四个维度设置指标。旨在为风电场运维数字化转型提供理论指导与实践参考, 推动风电场实现高效、低成本、安全可靠的运维管理, 提升新能源行业竞争力。

**关键词:** 风力发电场; 运维管理; 数字化转型; 成效分析

## 1 风电场运维管理数字化转型核心基础

### 1.1 风电场运维管理数字化转型

风电场运维管理数字化转型是依托数字技术对传统运维模式的全方位重构, 打破以往依赖人工巡检、经验判断的分散化管理格局。传统运维中, 设备状态监测滞后、数据孤岛严重、运维流程衔接不畅等问题突出, 导致故障响应不及时、资源调配效率低。数字化转型通过构建全域互联的数字平台, 将运维各环节的人、机、料、法、环等要素转化为可量化、可分析的数据资产, 实现运维流程的标准化、可视化与智能化。转型过程中, 需将数字思维深度融入运维策略制定、日常巡检、故障处理、设备全生命周期管理等核心环节, 通过数据驱动优化运维决策, 推动运维模式从“事后维修”向“预测性维护”、从“分散管理”向“集中管控”转变, 为风电场稳定高效运行筑牢数字根基。

### 1.2 关键支撑技术

#### 1.2.1 感知与数据采集技术

感知与数据采集技术是风电场运维数字化转型的数据源头, 为后续数字化分析提供精准、全面的基础数据支撑。该技术通过在风电机组关键部件、升压站设备、气象监测点等位置部署各类传感器, 包括振动传感器、温度传感器、风速风向传感器、电压电流传感器等, 实现对设备运行参数、环境工况等数据的实时采集。结合无人机巡检技术, 对风电机组叶片、塔架等高空部件进行高清影像采集, 搭配机器视觉算法实现缺陷自动识别<sup>[1]</sup>。数据采集过程中, 采用边缘计算技术对采集到的海量数据进行初步过滤、清洗和预处理, 剔除冗余信息和异常数据, 确保传输至后端平台的数据具备高准确性和有效性, 为后续数据存储、分析决策奠定坚实基础。

#### 1.2.2 数据传输与存储技术

数据传输与存储技术承担着风电场运维数据“流

转”和“安全仓库”的关键作用, 保障数据在采集端与处理端之间高效传输、长期留存。传输层面, 根据数据类型和传输需求构建多层次传输网络, 对于实时性要求高的设备运行参数采用5G、工业以太网等高速传输技术, 确保数据毫秒级响应; 对于非实时性的巡检数据、报表数据等采用物联网专线、卫星通信等技术, 平衡传输效率与成本。通过数据加密、访问控制、传输校验等安全技术, 防止数据在传输过程中被篡改、泄露。存储层面, 采用“边缘存储+云端存储”的混合架构, 边缘节点存储实时性高、高频访问的数据, 满足本地快速调用需求; 云端数据中心采用分布式存储技术, 依托大容量服务器集群存储海量历史数据、高清影像等, 结合数据备份、容灾恢复机制, 定期对数据进行多副本备份, 确保数据在面临硬件故障、自然灾害等突发情况时不丢失, 同时通过数据分层存储策略优化存储资源配置, 提升数据访问效率。

#### 1.2.3 智能分析与决策技术

智能分析与决策技术是风电场运维数字化转型的“核心大脑”, 通过对海量数据的深度挖掘实现运维决策的智能化升级。该技术以人工智能、大数据分析、机器学习等算法为核心, 对采集到的设备运行数据、历史故障数据、环境数据等进行多维度分析。针对设备运维, 通过构建设备故障预测模型, 基于振动、温度等参数的变化趋势精准预判齿轮箱、发电机等关键部件的潜在故障, 提前制定维护计划; 通过设备性能评估模型, 分析设备运行效率变化规律, 为设备优化调整提供数据支撑。针对运维管理, 通过流程优化算法梳理巡检路线、维修调度等流程, 减少无效作业时间; 通过数据分析识别运维管理中的薄弱环节, 为管理制度完善提供依据。结合数字孪生技术构建风电场虚拟仿真模型, 将实时数据映射至虚拟场景, 实现设备运行状态可视化监

控、故障模拟推演和维护方案预演,大幅提升故障处理效率和决策准确性,推动运维从“经验驱动”向“数据驱动”转变。

### 1.3 转型核心目标

风电场运维管理数字化转型核心目标是通过数字技术赋能运维全流程,实现运维效率、成本控制、安全保障和管理水平的全面提升。效率提升方面,通过构建智能化运维体系,减少人工干预,缩短设备故障诊断时间和维修周期,提高设备可用率和发电效率,实现运维人员人均管理风电机组数量提升,降低单位发电量的运维人力投入<sup>[2]</sup>。成本控制方面,通过预测性维护减少非计划停机损失和过度维修带来的物料浪费,优化备品备件库存管理,降低库存资金占用,通过流程优化减少运维过程中的无效支出,实现运维成本显著下降。安全与可靠性方面,通过实时监测设备运行状态和环境风险,提前预警设备故障和安全隐患,减少安全事故发生概率,保障运维人员人身安全和设备稳定运行,提升风电场整体运行可靠性。管理创新方面,构建数据驱动的管理模式,实现运维流程标准化、管理可视化、决策智能化,打破部门之间的信息壁垒,提升跨部门协同效率,形成持续优化的运维管理体系,增强风电场在新能源行业中的核心竞争力。

## 2 新能源风电场运维管理数字化转型路径

### 2.1 转型顶层设计:架构搭建与标准制定

转型顶层设计与制定标准明确转型方向和实施框架。架构搭建方面,构建“感知层—传输层—平台层—应用层”的四层架构体系,感知层部署各类传感设备和采集终端,实现数据全面采集;传输层搭建高速、安全的传输网络,保障数据高效流转;平台层构建统一的数字化运维平台,集成数据存储、处理、分析等核心功能,实现数据集中管理和共享;应用层开发设备管理、巡检管理、故障诊断、数据分析等专项应用模块,满足不同运维场景需求。标准制定方面,制定数据采集标准,明确各类型数据的采集范围、精度、频率等要求,确保数据格式统一;制定数据安全标准,规范数据加密、访问权限、备份恢复等安全管理要求;制定流程规范标准,明确运维各环节的操作流程、责任分工、考核指标等,实现运维流程标准化;制定技术应用标准,明确各类数字技术的应用场景、实施规范和验收标准,确保技术应用的一致性和有效性,为转型提供坚实的架构支撑和标准保障。

### 2.2 分阶段转型实施步骤

新能源风电场运维管理数字化转型采用分阶段实施策略,确保转型稳步推进、成效可控。第一阶段为基础建设阶段,周期6-12个月,重点完成感知设备部署和基础网络搭建,在核心风电机组、关键电气设备上安装各类传感器,搭建覆盖全场的传输网络和边缘计算节点,同时完成数字化运维平台的初步搭建,实现基础数据的采集、传输和初步存储。第二阶段为融合应用阶段,周期12-18个月,重点推进数据整合和技术融合应用,完成历史数据迁移和多源数据融合,开发故障诊断、预测性维护等核心应用模块,实现设备状态实时监控、故障预警和初步智能决策,同时开展运维人员数字技术培训,提升操作能力。第三阶段为优化升级阶段,周期18-24个月,重点实现全流程智能化和体系化优化,基于前期运行数据持续优化算法模型,提升故障预测准确率和决策科学性,拓展数字化应用场景至备品备件管理、成本核算、发电功率预测等领域,构建全流程智能化运维体系。

### 2.3 转型保障措施

风电场运维管理数字化转型需构建全方位保障措施,为转型顺利推进提供有力支撑。组织保障方面,成立数字化转型专项工作组,由企业高层担任组长,统筹协调技术、运维、财务等各部门资源,明确各部门职责分工,建立定期沟通会议机制,及时解决转型过程中出现的问题。技术保障方面,组建专业技术团队,涵盖数据采集、网络通信、人工智能等多个领域,同时与科研院所、技术服务商建立合作关系,引入先进技术和经验,为转型提供技术支撑;建立技术研发投入机制,保障技术升级和创新所需资金<sup>[3]</sup>。资金保障方面,制定专项资金预算,明确资金来源、使用范围和审批流程,保障感知设备采购、平台搭建、技术研发、人员培训等各环节资金需求;建立资金使用监督机制,定期审计资金使用情况,提高资金使用效率。人才保障方面,制定人才培养计划,通过内部培训、外部招聘、校企合作等方式,培养一批既懂风电场运维业务又掌握数字技术的复合型人才;建立激励机制,对在转型工作中表现突出的团队和个人给予奖励,激发员工积极性。制度保障方面,完善数字化管理制度,规范数据管理、平台运营、技术应用等各环节工作,确保转型工作有序开展。

## 3 风电场运维数字化转型成效评价体系

### 3.1 效率提升指标

效率提升指标聚焦风电场运维全流程效率改善,从设备运行、人员作业、流程流转三维度构建评价体系。设备运行效率指标有设备可用率、平均无故障运行时间、发电效率提升率。设备可用率是风电机组实际与理

论发电时间比值,目标提升至95%以上;平均无故障运行时间指两次故障间平均运行时长,目标较转型前提升30%以上;发电效率提升率是转型后单位装机容量发电量较转型前提升比例,目标提升5%以上。人员作业效率指标含人均管理机组数量等,目标较转型前,人均管理机组数量提升50%以上,单次巡检完成时间缩短40%以上,故障处理响应时间缩短至30分钟内。流程流转效率指标有运维流程闭环率、工单处理完成率,目标分别达到100%、98%以上,反映转型对运维效率的提升。

### 3.2 成本控制指标

成本控制指标从运维直接成本、间接成本和资金占用成本三维度评价转型成本优化成效。直接运维成本指标有单位发电量运维成本、备品备件采购成本,前者是风电场总运维费用与总发电量比值,目标较转型前下降15%以上;后者是年度采购总费用,目标下降10%以上。间接运维成本指标含人工成本占比、能耗成本,前者是运维人工总费用与总运维费用比值,目标下降20%以上;后者是运维过程能耗总费用,目标下降8%以上。资金占用成本指标主要为备品备件库存资金占用率,指库存金额与企业流动资产总额比值,通过建立动态库存管理模型,目标较转型前下降25%以上,衡量转型成本管控效益。

### 3.3 安全与可靠性指标

安全与可靠性指标是评价风电场运维数字化转型成效的核心,从设备可靠性、安全风险防控、应急处置能力三维度构建。设备可靠性指标有设备故障发生率等,设备故障发生率是年度故障设备数量与总设备数量比值,目标较转型前下降40%以上;重大故障次数是年度导致机组停机超24小时的故障次数,目标控制在每年每百台机组3次以内;设备维修返工率是维修后短期内同一故障再次发生次数与总维修次数比值,目标控制在5%以内。安全风险防控指标有安全隐患识别率等,目标分别达到98%以上、100%,实现零重大安全事故,一般事故发生率较转型前下降60%以上。应急处置能力指标为平均故障修复时间,目标较转型前缩短50%以上。

### 3.4 管理创新指标

管理创新指标从管理模式、数据应用、协同效率三个维度评价转型对风电场运维管理体系的创新提升效

果。管理模式创新指标包括数字化流程覆盖率、管理决策数据支撑率,数字化流程覆盖率指实现数字化管理的运维流程数量与总运维流程数量的比值,目标达到100%;管理决策数据支撑率指基于数据分析做出的运维管理决策数量与总决策数量的比值,目标达到90%以上,体现管理从经验驱动向数据驱动的转变<sup>[4]</sup>。数据应用创新指标包括数据资产利用率、创新应用场景数量,数据资产利用率指通过数据挖掘产生实际效益的数据集数量与总数据集数量的比值,目标达到80%以上;创新应用场景数量指基于数字化平台开发的超出传统运维范畴的应用场景数量,如发电功率精准预测、区域风电场协同运维等,目标每年新增3-5个。协同效率创新指标包括跨部门协同响应时间、信息共享及时率,跨部门协同响应时间指一个部门提出协同需求到另一个部门做出响应的平均时间,目标缩短至2小时以内;信息共享及时率指各部门之间需要共享的运维信息在规定时间内完成共享的比例,目标达到99%以上,全面反映转型带来的管理体系创新成效。

### 结束语

新能源风力发电场运维管理数字化转型是行业发展的必然趋势。通过构建核心基础、规划科学路径、建立成效评价体系,风电场在运维效率、成本、安全与管理创新等方面有望取得显著提升。未来,随着数字技术持续发展,需不断优化转型策略,充分发挥数据价值,推动运维管理向更高水平迈进,助力新能源行业蓬勃发展,为实现绿色能源目标贡献力量。

### 参考文献

- [1]梁宏涛.孔翎超,刘国柱,等.融合数字孪生的风电机组故障检测ASL-CatBoost方法[J].系统仿真学报,2024,36(4):873-887.
- [2]梁昆.苏实.基于LCOE最优的数字化风电场及其关键技术研究[J].能源研究与信息,2020,36(4):201-205.
- [3]李小明.王强.风力发电场运维管理模式创新研究[J].电力科技,2023(3):25-30.
- [4]张悦.陈辉.基于大数据的风力发电设备运维管理实践[J].新能源研究,2022,15(4):35-40.