

# 风力发电提质增效措施和方法探讨

侯飞龙 张国珍 张世涛 任牛犇 赵昶青  
华能(甘肃)新能源有限公司 甘肃 兰州 730000

**摘要:** 随着全球对清洁能源需求的不断增长,风力发电作为重要的可再生能源发电方式,其发展规模持续扩大。然而,风力发电行业在快速发展的过程中也面临着诸多挑战,如发电效率有待提高、运维成本居高不下、弃风现象时有发生等。本文深入探讨了风力发电提质增效的重要意义,分析了当前风力发电在设备性能、运营管理、电网接入等方面存在的问题,并针对性地提出了一系列提质增效的措施和方法,旨在为风力发电行业的可持续发展提供有益参考,推动风力发电更好地服务于能源转型和环境保护。

**关键词:** 风力发电;提质增效;设备优化;运营管理;电网接入

## 1 引言

在应对全球气候变化和能源危机的背景下,可再生能源的开发与利用成为世界各国能源战略的核心内容。风力发电凭借其资源丰富、清洁无污染、建设周期短等显著优势,在全球范围内得到了广泛关注和快速发展。近年来,我国风力发电装机容量持续攀升,已成为全球最大的风电市场。但在风力发电产业规模不断扩张的同时,如何提高风力发电的质量和效率,实现经济效益与环境效益的双赢,成为当前行业亟待解决的关键问题。提质增效不仅是风力发电企业提升自身竞争力、实现可持续发展的内在要求,也是保障能源安全供应、推动能源结构调整、促进经济社会绿色发展的重要举措。

## 2 当前风力发电存在的问题

### 2.1 设备性能方面

部分风力发电机组的设计和制造技术相对落后,叶片的气动性能不佳,对风能的捕获能力有限。同时,机组在低风速条件下的启动性能和发电效率较低,导致在复杂风况下无法充分利用风能资源,影响了整体发电量。风力发电机组长期处于恶劣的自然环境中运行,面临着强风、沙尘、盐雾、雷电等多种不利因素的考验。一些设备在设计和制造过程中对环境适应性考虑不足,导致关键部件如齿轮箱、发电机、叶片等容易出现故障,维修频繁,增加了运维成本,降低了设备的可靠性和稳定性。目前,部分风力发电机组的智能化程度不高,缺乏先进的传感器、控制器和数据分析系统,无法实时准确地监测机组的运行状态和性能参数,难以实现故障的早期预警和精准诊断。在机组控制方面,多采用传统的控制策略,无法根据风况和电网需求进行智能优化调整,影响了发电效率和电能质量。

### 2.2 运营管理方面

许多风力发电场在运维管理方面仍采用传统的人工巡检和定期维护方式,缺乏科学的运维计划和决策支持系统。这种粗放的管理模式导致运维工作缺乏针对性,容易造成过度维护或维护不足的情况,不仅增加了运维成本,还可能影响机组的正常运行。在风力发电场的运营管理中,缺乏科学合理的绩效评估体系,无法对机组的发电效率、运维成本、设备可靠性等关键指标进行全面、准确的评估<sup>[1]</sup>。这使得企业难以及时发现运营管理中存在的问题,无法采取针对性的改进措施,制约了运营管理的优化和提质增效目标的实现。

### 2.3 电网接入方面

由于风力发电的间歇性和波动性,其输出功率难以与电网需求实时匹配。当风力发电大规模接入电网时,会对电网的电压、频率、潮流分布等产生较大影响,增加了电网的调度难度和运行风险。部分风力发电机组缺乏先进的电网适应性控制技术,无法在电网故障或波动时快速响应,导致机组频繁脱网,影响了风力发电的消纳和电网的稳定运行。近年来,尽管我国风力发电装机容量大幅增长,但弃风问题仍然较为突出。一方面,部分地区电网建设滞后,输电能力不足,无法将风力发电场产生的电能及时输送出去;另一方面,电力市场机制不完善,缺乏有效的风电消纳激励机制,导致电网企业在调度过程中优先安排火电等传统电源发电,限制了风力发电的上网电量,造成了风能资源的浪费。

## 3 风力发电提质增效的措施和方法

### 3.1 设备性能优化

#### 3.1.1 提升风能捕获效率

采用先进的气动设计理念和数值模拟技术,对风力发电机组的叶片进行优化设计,提高叶片的气动性能。例如,通过调整叶片的翼型、弦长、扭转角等参数,

改善叶片在不同风速和攻角下的升力和阻力特性,增加风能捕获面积,提高风能转换效率。加大对大型化、高效化风力发电机组的研发力度,提高机组的单机容量和发电效率。目前,海上风力发电机组正朝着更大单机容量、更高轮毂高度的方向发展,陆上风力发电机组也在不断优化设计,以适应不同的风资源条件。同时,积极探索新型风力发电技术,如垂直轴风力发电机组、低风速风力发电机组等,拓宽风能利用范围。在风力发电机组中引入先进的智能控制技术,如最大功率点跟踪(MPPT)控制、变桨距控制、偏航控制等,根据实时风况自动调整机组的运行参数,使机组始终保持在最佳发电状态。例如,通过MPPT控制算法,实时监测风速和发电机输出功率,自动调整发电机转速,确保机组在不同风速下都能输出最大功率。

### 3.1.2 提高设备可靠性和稳定性

风力发电设备制造商应加大研发投入,采用先进的设计理念、材料和制造工艺,提高设备的可靠性和稳定性。在设备设计阶段,充分考虑各种恶劣环境因素的影响,对关键部件进行强化设计和优化选型;在生产制造过程中,严格把控质量关,加强质量检测和检验,确保设备质量符合标准要求。在风力发电机组上安装先进的传感器和监测系统,实时采集机组的运行状态数据,如振动、温度、压力、转速等,并通过数据分析和处理技术,对机组的健康状况进行评估和诊断<sup>[2]</sup>。一旦发现异常情况,及时发出预警信号,为运维人员提供准确的故障信息,以便提前采取措施进行维修,避免故障扩大,减少停机时间。制定科学合理的设备维护计划,根据设备的运行状况、使用寿命和故障历史等因素,确定维护周期和维护内容。采用定期维护、状态维护和事后维护相结合的方式,对设备进行全面、细致的维护保养。同时,加强备品备件管理,确保备品备件的充足供应和及时更换,提高设备的可利用率。

### 3.1.3 推进设备智能化升级

利用物联网、大数据、云计算、人工智能等先进技术,构建智能风电场管理系统,实现风力发电机组的远程监控、集中管理和智能调度。通过智能风电场平台,运维人员可以实时掌握全场机组的运行状态和发电情况,对机组进行远程操作和控制,提高运维效率和管理水平。对风力发电场长期积累的运行数据进行深度挖掘和分析,提取有价值的信息和规律,为机组的性能优化、故障预测和维护决策提供科学依据。例如,通过分析历史风速数据和机组发电数据,建立风速-功率模型,预测机组的发电功率;利用大数据分析技术对设备故障

数据进行关联分析,找出故障发生的潜在原因和规律,提前采取预防措施。探索人工智能技术在风力发电领域的应用,如利用机器学习算法对机组的运行状态进行智能识别和分类,实现故障的自动诊断和预警;采用深度学习算法对风速、风向等气象数据进行预测,为机组的优化调度提供支持。通过人工智能技术的应用,进一步提高风力发电的智能化水平和运行效率。

## 3.2 运营管理改进

### 3.2.1 优化运维管理模式

改变传统的定期检修模式,根据设备的实际运行状态和健康状况,制定个性化的检修计划。通过设备状态监测和故障诊断技术,实时掌握设备的运行趋势,在设备出现故障征兆或性能下降时,及时安排检修,避免不必要的检修工作,降低运维成本,提高设备的可靠性和可用性。引入精益管理理念和方法,对运维流程进行全面梳理和优化,消除浪费和不必要的环节,提高运维工作的效率和质量。例如,通过标准化作业流程、可视化管理和绩效管理等手段,规范运维人员的操作行为,提高运维工作的标准化和规范化水平;加强对运维物资的管理,优化库存结构,降低库存成本。对于一些专业性强、技术要求高的运维工作,可以考虑与专业的运维服务公司建立长期稳定的合作关系,将部分运维业务外包。通过运维外包,风力发电企业可以充分利用外部专业资源,降低自身的运维成本和风险,同时提高运维服务的专业水平。在选择运维外包服务商时,应严格审查其资质、业绩和技术实力,签订详细的合作协议,明确双方的权利和义务。

### 3.2.2 完善绩效评估体系

根据风力发电场的运营目标和特点,确定一系列关键绩效指标,如发电量、可利用率、运维成本、故障率、电能质量等,用于全面评估机组的运行性能和运营管理水平。建立完善的数据采集与分析系统,实时准确地采集和记录各项绩效指标数据,并运用数据分析工具对数据进行深入挖掘和分析,为绩效评估提供数据支持。通过数据分析,及时发现运营管理中存在的问题和薄弱环节,为制定改进措施提供依据。定期对风力发电场的运营绩效进行评估,将评估结果及时反馈给相关部门和人员。针对评估中发现的问题,组织相关人员进行分析讨论,制定切实可行的改进措施,并跟踪改进措施的实施效果,形成闭环管理,不断推动运营管理水平的提升。

## 3.3 电网接入优化

### 3.3.1 提高电网适应性

风力发电机组制造商应加大对电网适应性控制技术

的研发投入,开发具有低电压穿越(LVRT)、高电压穿越(HVRT)、频率响应、无功补偿等功能的先进控制技术,使风力发电机组在电网故障或波动时能够保持稳定运行,不脱网,并向电网提供必要的无功功率支持,提高电网的稳定性和可靠性。建立电网调度机构与风力发电场之间的信息共享和协调控制机制,实现电网对风电场的实时监控和优化调度。电网调度机构根据电网的运行需求和风力发电预测情况,合理调整风电场的发电计划,引导风电场有序发电,减少对电网的冲击<sup>[3]</sup>。同时,风力发电场根据电网调度指令,及时调整机组的运行状态,确保风电场与电网的协调运行。加快智能电网建设步伐,提高电网的智能化水平和自动化程度。通过应用先进的传感器、通信技术和自动化控制技术,实现对电网运行状态的实时监测和智能控制,提高电网对风力发电等可再生能源的消纳能力。例如,建设分布式能源接入系统、微电网等,实现风力发电的本地消纳和灵活调度。

### 3.3.2 解决弃风问题

加大对电网建设的投入,加快电网升级改造和跨区域输电通道建设,提高电网的输电能力和灵活性,解决部分地区电网输送能力不足的问题,确保风力发电能够顺利输送到负荷中心。例如,建设特高压输电线路,实现风力发电的大规模、远距离输送。建立健全有利于风力发电消纳的电力市场机制,完善风电上网电价政策,提高风电的市场竞争力。推动电力市场改革,建立现货市场、辅助服务市场等多元化的电力市场体系,通过市场机制引导风电参与电力平衡和调峰调频,提高风电的消纳水平。例如,实施风电优先发电制度,给予风电一定的发电份额保障;建立风电调峰补偿机制,鼓励火电等传统电源为风电调峰提供支持<sup>[4]</sup>。积极发展储能技术,如电池储能、抽水蓄能、压缩空气储能等,将风力发电在发电高峰时段的多余电能储存起来,在发电低谷时段或电网需求高峰时释放出来,实现电能的时空转移,提

高风力发电的稳定性和可调度性,减少弃风现象的发生。例如,在风力发电场配套建设储能电站,根据电网需求和风力发电情况,灵活调节储能电站的充放电功率,平滑风电出力曲线。

### 结语

风力发电作为清洁能源的重要组成部分,在推动能源转型和应对气候变化方面发挥着关键作用。然而,要实现风力发电的可持续发展,必须着力解决当前存在的发电效率低、运维成本高、弃风严重等问题,通过采取一系列提质增效的措施和方法,全面提升风力发电的质量和效率。在设备性能方面,应不断优化叶片设计,提高风能捕获效率;加强设备研发和质量控制,提高设备的可靠性和稳定性;推进设备智能化升级,实现设备的远程监控、状态监测和智能控制。在运营管理方面,要优化运维管理模式,推行状态检修和精益运维管理;完善绩效评估体系,建立科学合理的考核机制,推动运营管理水平的持续提升。在电网接入方面,要提高风力发电机组的电网适应性,研发先进的控制技术;加强电网与风电场的协调控制,建设智能电网;同时,通过加强电网基础设施建设、完善电力市场机制和发展储能技术等措施,有效解决弃风问题,提高风力发电的消纳能力。

### 参考文献

- [1]罗淑栋,丁兰芳.风力发电提质增效措施和方法探讨[C]//中国电力技术市场协会.2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集(上册).大唐景泰新能源有限公司,2023:113-117.
- [2]韩常仲.浅析大型风电场发电运行提质增效技术[J].中国设备工程,2021,(08):202-205.
- [3]赖永林.大型风电场发电运行提质增效技术探讨[J].产业创新研究,2021,(02):78-80.
- [4]常啸.风电产业提质增效技术探索研究[J].建筑技术,2023,54(24):2971-2973.