

浅谈海上风电机组状态监控技术研究现状与展望

彭 正

国家电投集团江苏海上风力发电有限公司 江苏盐城 224000

摘 要: 中国是海洋大国,拥有丰富的海洋战略资源和广阔的战略利益。《全国海洋经济发展“十三五”规划》是国家发改委和国家海洋局共同发布的,其中,首次明确提出了中国今后发展的新的增长点。到2020年,我国海洋经济发展的空间将会继续扩大,整体实力与质量效益会得到更大的提升,海洋布局与产业结构会更加科学,我国将加强对海洋的科技支持。海洋经济合作与生态文明建设将获得更大的成效。因此,应对我国的海洋工程技术进行研究,并对海洋资源进行合理开发与利用。本文探讨了海上风电机组状态监控技术研究现状与展望。

关键词: 海上风电机组; 状态监控技术; 研究现状; 展望

构建海洋强国,开发新的海洋新能源,是新时期我国经济发展的重大需求。海上风力发电是海洋新能源开发的代表。海上风力发电的特点是稳定性好、资源广、密度大、占地面积小、离东部沿海较近等。大力发展海上风电,既能有效地开发海洋资源,又能加速新能源的开发。相对于陆上风电,海上风力发电资源更加丰富,且具备低污染、负面影响小、噪声与视觉干扰小、易于规模化开发与大型化发展等优势。此外,由于其临近传统电力的负荷中心,容易解决电网的消纳问题,极大地降低了远距离输电的难度。但由于其维修与运行费用较高,因此,对其进行有效的运维管理是保证海上风电大规模发展的关键。

一、海上风电机组状态监控技术研究现状

在风力发电行业中,海上风电机组状态监控技术主要的研究问题。该技术包括三大方面,分别是故障诊断、状态健康监控与状态控制。对风电机组的运行状态进行在线监控,对其进行高效的信息采集与数据传输,并通过故障诊断技术对机组的状况进行评估,发现可能发生的故障问题,从而实现在线监测与精确调控,提升其运行效率。当前,已有研究多是以陆上风电机组为主,而对海上风电机组状态的监控技术的研究比较少见。在海上风电场中,因为无人值守与自然条件恶劣等因素,往往需要通过SCADA系统实现对风电机组的监控。该监控体系主要由三大模块组成,包括中央监控、现场监控和远程监控。现场监控系统是面向单机台风电机组的,具有自主的故障诊断、状态监控等功能;中央监控系统负责对风电机组实施全面监控,并与现场监控平台进行通

信,实现对风电机组运行状况的实时监控和控制;远程监控是指通过与区域内的风电场中心监控网络进行通信,掌握区域内的全部风电情况,并对其进行监控与调度。目前,国内外学者及风力发电企业围绕这三个方面进行了大量的研发,并已获得较好的效果,提升了风电机组的运行效率^[1]。

(一) 风电机组状态健康信息采集技术

针对风电机组状态健康信息采集问题,通过配置多个传感器,对风电机组运行中的外部信息进行采集,从中提取能够体现风电机组状态特点的有效数据,为风电机组的故障诊断和决策提供支持。由于各组件动态性能及故障状态的多样性,为高效地提取组件故障的特点量,必须配置多种传感器。通常情况下,温度信号、振动信号、电流信号等都是常见的信号。目前,国内外学者主要从风电机组转矩、轴系位移、转速等部件的振动情况出发,对风电机组及驱动装置进行故障诊断。针对风电机组驱动系统中的振动特点,给出风电机组驱动装置上的监测点的选择方法;采用齿轮箱传感器、主轴传感器等对风电机组传动的振动、电流等状态信息进行监测;通过对国内外风电机组故障情况进行分析,归纳风电机组故障的主要部位,并针对各部件特性配置各类传感器,采用振动分析、油液分析等手段,采集风电机组各部件的运行状况。此外,通过对风电机组转速等采集信息状态方法的研究,可以有效地减少常规监控方法对传感器数量的需求,从而降低监控费用。而对于风电机组整机监控问题,可以研究状态维护的优化方法,通过对单个部件与风电机组整机故障率的计算,制定状态维护方案,

实现对风电机组的整体定位与在线监测。

（二）风电机组状态故障诊断技术

风电机组状态故障诊断技术已成为风力发电产业研究的重点。由于风力发电机组的规模不断扩大，其复杂程度越来越高，因此，开展状态故障诊断技术研究十分必要。风力发电机组的故障诊断是对其进行在线监控与分析，实现风力发电机组的早期故障监测与预报。针对目前风力发电机的研究现状，可以将风电机组状态故障诊断技术分为三种。传统的方法是通过分析风电机组的动力学特点进行故障检测，比如，油液分析、振动监控等技术。采用解调分析、数据挖掘等多种分析手段，可以对风电机组运行过程中的各种状态进行分析。采用灰色预测、神经网络等技术，可以对风电机组的工作状况进行评价，并对其故障进行诊断。还可以通过新的模型与方法，提升风电机组故障诊断效率。比如，采用神经网络技术，可以实现对风电机组转子电路的在线故障检测。还将针对风电机组各主要零部件的关键参数，构建能够实时监控风电机组各主要元件的状态信息的集成化、实时化、智能化的方法，实现对机组主要零部件的整体状态及运行状态的实时监控，从而提升设备的整体性能与精度。为应对我国风电机组故障事件频繁发生，已有研究从理论上构建新的体系框架及支持平台，应对其局限性、滞后性等挑战^[2]。

（三）风电机组状态控制技术

近年来，风电机组状态控制技术成为风力发电领域的研究热点。风电机组状态控制是风力发电系统中最重要的组成部分。针对风电机组的最优调度问题，一些研究对各种风电机组的控制方案进行了对比和分析，并对大规模风电场微机监控的通信模式进行了详细的阐述。另外，在风力发电系统的动态组成和控制策略的研究上，也取得了一定的成果。在今后的研究中，对风力发电系统的控制提出了更高的要求，既要保证系统的稳定、快速和准确，又要综合各种负载状态、系统指标、控制费用等。针对风电接入的安全问题，从风电系统架构、发展趋势和电源调控等角度展开研究。该方法已成功地运用于西部地区的电力系统调度系统。本项目的研究目标是提升风电机组运行的自动化和智能化与可靠性。同时，对风电机组的视频监控控制技术进行了研究。通过对风电并网过程中电网稳定状态的可视化监控，提出数字均匀球面相机的电网视频监控方法，为风电场的安全稳定运行奠定基础。本项目的研究成果将为我国大型风电企

业的一体化网络化监控与管理体系建设提供新的思路与支持。

二、海上风电机组状态监控技术热点问题展望

（一）需要提高智能化水平

当前，我国已有的风电机组状态监控技术主要以陆地风电机组为基础，尽管已具有风电机组安全控制、最优控制等先进功能，但由于海洋环境的复杂与恶劣的气候条件，其智能程度尚有待提高。近年来，我国对风力发电设备的发展提出了越来越高的要求。海洋环境的不确定与动态特性要求该平台具有较高的智慧决策水平，实现对风电机组状态的动态监控与响应。由于风力发电规模不断增大，其运行与管理日趋复杂化，要求系统具有自适应能力，并具有主动学习与优化调度的能力，从而提升总体运行效率。由此可见，在未来，海上风电机组状态监控技术将从引进人工智能技术优化运行策略、强化风电机组运行的数据分析与预测能力、增强系统自主决策能力等层面开展研究与创新。要使风电机组的智能程度持续提高，才能够更好地应对海洋环境的变化，提高海上风电机组的效率、安全性和可靠性^[3]。

1. 海上风电机组状态健康监控技术

在未来的发展中，应对海上风电机组在线监测技术完善与创新进行重点关注。当前，对风电机组运行状况的监控多采用电缆通信模式，而基于无线传输的风电机组运行状态监测还停留在理论探讨与实验验证方面。但是，由于海上风电系统规模的日益扩大以及复杂的工作环境，传统的有线通信模式已经暴露出了许多不足。由于近海风力发电区域距离较远，难以铺设电缆通信设备，且成本较高，监控网络建设与扩展难度较大。风电机组运行过程中需要进行大量的信息传递，而采用传统的电缆通信模式很难实现对风电机组运行的实时监控。另外，海洋环境极易造成电缆设备的损坏，对监控系统的安全性提出了更高的要求。针对风电机组的工作环境特点，应采取新的风电机组状态监控方法，一是要满足风电机组的使用条件，便于安装与调节；系统监控的数据要完整、高效，并能进行分散式的数据分析；而且监控设备要具有较高的智能程度，可以在某些部件发生故障时，进行自动处理，保证监控系统的稳定性与可靠性。通过对监控手段的研究与创新，为我国近海风力发电系统的安全稳定提供有力的支持^[4]。

2. 海上风电机组状态监控的故障诊断技术

虽然目前的故障监测技术正由数学方法与经典方式

逐渐向着智能化的方向发展，但是，智能化水平还需要进一步的提升。研究显示，大部分风电机组的故障诊断仍然是离线模式，严重制约了诊断的实时性。为进一步提升风电机组运行监控的有效性与准确度，需要从传统的故障监测方式转变为实时监测。通过对风电机组运行过程中的各种参数进行分析，及时发现风电机组运行中可能存在的问题，从而减少风电机组故障率，降低维修费用，增加企业的经济效益。尤其是在极端海洋条件下工作的风电机组，其使用状态下的在线故障监测变得尤为重要。另外，目前尚无定量的参考基准，这一问题在风电机组系统中尤为明显。然而，在极端条件下，风力发电机的运行可靠性往往不高。由于缺少定量的参考准则，无法对监控系统的故障进行及时预警与早期诊断，从而引发重大的安全事故与设备损坏，造成停机损失与维护成本的增加。因此，需要根据风力发电系统的特点，制定相关的定量参考准则。本研究成果有利于提升我国海上风电系统的在线监控精度与可靠度，减少风电机组运行中的故障风险，保证我国海上风电场的安全与稳定^[5]。

3. 海上风电机组状态监控的状态控制技术

目前我国风力发电系统的智能水平还不够高。现有风电机组监控技术已具有安全控制、最优控制等先进功能，但其远距离控制水平还有待提高。因此，提高控制系统的自愈控制能力非常关键。自愈控制可以从两个层面展开研究，一是根据海洋环境及业务要求，自动调整风电机组的工作模式，使风电机组能充分利用风电资源，实现风电机组的安全运行。二是通过对风电机组进行在线监控与故障诊断，使风电机组在监测到风电机组故障的情况下，及时调整风电机组的工作状态，使风电机组的性能得到最大程度的发挥。如何提高风电机组运行的智能水平，是目前迫切需要研究的问题。

(二) 要减少建设运行成本

如何有效地减少风电机组的建设运行成本是未来风电机组状态监控技术研究的方向。虽然当前的监控手段能够改善风电机组的工作特性和风力发电容量，但是对监控系统的硬件和软件需求也随之增大，造成了工程运行费用的增加。一些风力发电场由于监控设备投资太大，

不得不停止安装监控设备。为了对风电机组的运行状态进行实时监控，必须从硬件和软件两方面入手，对风电机组进行实时监控。在今后的海上风电机组状态监控技术中，将重点放在面向各类风电机组的智能状态监控与状态调控等方面。与此同时，对风电机组运行状况进行在线监控，可以监测其潜在的故障风险，达到监控效果和监控成品之间的平衡^[6]。

结论

总之，伴随着互联网技术和大数据技术的广泛应用，海上风力发电机组状态监控技术研究中，健康信息采集、状态故障诊断、状态控制等手段将成为今后海上风电项目的重要研究方向。目前已对风电机组状态监控技术进行了多项研究，建立了多视角的风电机组监控优化模式，这对提升风电机组的可靠性具有重要的现实意义。但是，海上风电机组是一个复杂的多部件系统，集电气与机械于一体，其运行状态与故障形式十分复杂，因此，需要针对目前的研究现状，继续对其进行深入的研究。

参考文献

- [1] 于海龙, 郭奇, 刘斯杰, 杨博, 徐晴晴, 吴宇航. 基于退化状态监测的海上风电机组可靠性评估方法[J]. 油气田地面工程, 2024, 43(06): 55-61.
- [2] 张智伟. 基于SCADA数据驱动的海上风电机组运行状态诊断方法[J]. 电气时代, 2024, (04): 66-69.
- [3] 黄玲玲, 石孝华, 符杨, 刘阳, 应飞翔. 基于DCGCN模型的海上风电场超短期功率预测[J]. 电力系统自动化, 1-13.
- [4] 饶雷, 周庆梅, 张宁, 付道一, 苏齐家, 刘香艳. 海上风电机组齿轮箱散热异常状态预测方法[J]. 船舶工程, 2023, 45(S2): 43-51.
- [5] 董文康, 吴雨芯, 姚琦, 郭俊, 赵天阳. 基于深度强化学习的海上风电机组状态维护与备件库存联合优化[J]. 太阳能学报, 2023, 44(12): 190-199.
- [6] 赵君宇, 高山, 徐路, 赵欣, 黄阮明, 于子韵. 考虑台风影响的海上风电机组双层检修策略[J]. 电力建设, 2023, 44(07): 121-130.