

# 风力发电机组偏航系统的优化研究

奎国锋

中核汇能新疆能源开发有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要：**风力发电机组偏航系统是保障机组高效捕风的关键部件，其性能直接影响发电效率与设备寿命。研究深入剖析机械结构、电气控制、环境及维护管理等因素对偏航系统性能的影响机制，针对性提出机械结构优化设计、电气控制系统改进、环境适应性增强及维护管理体系完善等策略。通过优化，可有效提升偏航系统响应速度与定位精度，降低故障率，为风力发电的可靠性和经济性提供技术支撑，推动风电产业高质量发展。

**关键词：**风力发电机组；偏航系统；优化

## 引言

随着全球对清洁能源需求的不断攀升，风力发电作为重要的可再生能源利用方式，其技术革新备受瞩目。风力发电机组偏航系统承担着调整风轮迎风角度的重要功能，直接关系到机组发电效率与运行稳定性。然而，机械磨损、电气控制滞后、复杂环境干扰及维护不当等问题，制约着偏航系统性能提升。本文基于对偏航系统性能影响因素的深入分析，探讨优化策略，旨在为提高风力发电机组运行效率与可靠性提供理论依据与实践指导。

### 1 风力发电机组偏航系统概述

风力发电机组偏航系统是确保叶轮始终迎风获取最大风能的关键机构，在复杂多变的风况下实现精准定向与稳定运行。该系统由偏航驱动装置、偏航轴承、偏航制动装置、偏航计数器及控制系统等核心部件构成，通过机械与电气元件的协同运作，持续监测风向变化并完成方位调整。偏航驱动装置通常采用多组电机与减速器组合，为偏航动作提供扭矩输出。这些驱动电机在控制系统指令下，带动偏航轴承实现风机机舱的回转运动。偏航轴承作为连接机舱与塔架的重载部件，不仅承受机舱重力与风载产生的倾覆力矩，还需保证360度回转的低摩擦特性，其滚道设计与密封结构直接影响系统寿命与可靠性。偏航制动装置则通过液压或弹簧制动钳，在偏航动作停止时施加制动力矩，防止机舱因风力波动产生位移，同时具备阻尼功能以抑制回转过程中的冲击振动。控制系统借助风向标实时采集风向数据，经算法计算与设定风向的偏差角度，触发偏航动作。当风向变化超过阈值时，驱动电机按预定策略进行顺时针或逆时针回转，同时偏航计数器记录回转角度，避免电缆因过度扭转引发故障。现代偏航系统还集成智能诊断功能，通过传感器监测轴承温度、制动力矩等参数，提前预警异常磨损与故障风险。偏航系统的性能直接影响风机的发电效率与运行安全。

高效的偏航控制能使叶轮始终保持最佳迎风角度，减少气动损失；可靠的制动与过载保护机制则可抵御极端风况冲击，延长机组使用寿命。随着风电技术向大型化、智能化发展，偏航系统在提升控制精度、降低运行噪音、优化能耗管理等方面持续迭代升级。

### 2 风力发电机组偏航系统性能影响因素分析

#### 2.1 机械结构因素

风力发电机组偏航系统的机械结构是其稳定运行的基础，诸多关键部件的状态对性能影响显著。偏航轴承作为连接机舱与塔架的枢纽，承担着机舱的重量及各种复杂载荷。若偏航轴承的游隙因长期运行而增大，或滚道出现磨损，会导致机舱在偏航过程中产生晃动，无法精准对准风向，降低风能捕获效率。偏航减速器负责将偏航电机的高速低扭矩转换为低速高扭矩，以驱动机舱转动。一旦减速器内部齿轮磨损、断齿，或者轴承损坏，会使偏航驱动力不足，偏航速度不稳定，甚至出现卡顿现象。偏航制动系统的性能也至关重要。当制动器的刹车片磨损严重，制动力矩下降，在偏航结束后无法有效锁定机舱位置，可能导致机舱随风向微小变化而频繁微动，不仅增加机械部件的磨损，还影响发电的稳定性。机械结构的安装精度同样不容忽视，若偏航系统各部件在安装时存在偏差，如偏航电机与减速器的轴线不同心，会使传动过程中产生额外的应力，加剧部件磨损，缩短设备使用寿命，进而影响偏航系统整体性能<sup>[1]</sup>。

#### 2.2 电气控制因素

电气控制部分在偏航系统中起着中枢神经的指挥作用，其性能优劣直接关乎偏航的准确性与及时性。风向传感器作为感知风向变化的前端设备，若出现精度下降、信号传输干扰等问题，会将错误的风向信号传递给控制系统。例如，传感器受环境中电磁干扰，输出信号产生偏差，控制系统基于此计算出的偏航角度必然错

误,导致风轮无法准确对准风向,造成风能利用效率降低。偏航控制器的算法是控制逻辑的核心,若算法设计不合理,如控制参数设置不当,在风向快速变化时,可能出现响应滞后或过度调整的情况。当风向突变时,控制器不能迅速准确地计算出合适的偏航角度和速度,使偏航动作迟缓,错过最佳对风时机;过度调整则会使机舱频繁摆动,增加机械部件的疲劳损耗。电气系统的电源稳定性也十分关键。若电源电压波动过大或出现瞬间断电,会影响偏航电机及其他电气设备的正常运行,导致偏航动作中断或异常。通信故障同样不可小觑,数据传输延迟、丢失等问题会阻碍控制系统与各部件之间的信息交互,使偏航系统无法协同工作,严重影响其性能表现。

### 2.3 环境因素

风力发电机组通常处于复杂恶劣的自然环境中,多种环境因素对偏航系统性能构成挑战。在高湿度环境下,偏航系统的电气设备易受潮,导致绝缘性能下降,增加短路风险,影响电气控制的稳定性。水分还可能侵入机械部件,引发腐蚀,加速部件磨损,降低机械结构的可靠性。极端温度条件也不容忽视,在低温环境中,润滑油黏度增加,流动性变差,使偏航系统各运动部件之间的摩擦力增大,偏航电机需输出更大功率来克服阻力,不仅能耗增加,还可能导致偏航速度变慢,甚至出现卡顿。在高温环境下,电气设备的散热困难,电子元件性能易受影响,可能出现过热故障,导致控制信号异常。强风、沙尘等恶劣天气更是偏航系统的大敌。强风产生的巨大冲击力可能使偏航系统承受超出设计范围的载荷,若偏航制动系统不能及时响应并提供足够制动力,机舱可能发生非预期的转动,损坏设备。沙尘则会侵蚀机械部件,如进入偏航轴承、减速器等内部,加剧磨损,降低部件精度,进而影响偏航系统的运行性能。风电场的复杂地形地貌会导致气流紊乱,使风向不稳定,增加偏航系统准确对风的难度,降低风能捕获效率<sup>[2]</sup>。

### 2.4 维护管理因素

有效的维护管理是保障偏航系统性能稳定的重要手段,反之则会引发诸多问题。定期维护计划的缺失或执行不到位,使得偏航系统的潜在问题无法及时发现和解决。例如,未能按时对偏航轴承、减速器等关键部件进行润滑,会加速部件磨损,降低设备使用寿命。若不能定期检查电气设备的连接情况,松动的接线可能导致接触不良,引发电气故障,影响偏航控制的准确性。维护人员的技术水平和专业素养也至关重要。若维护人员对偏航系统的结构、原理及故障诊断方法掌握不足,在

设备出现问题时,可能无法准确判断故障原因,采取错误的维修措施,不仅无法解决问题,还可能引发新的故障。维护工具和检测设备的落后,也限制了对偏航系统性能的有效监测和评估。没有先进的检测设备,难以精确测量偏航系统各部件的运行参数,无法及时发现潜在的性能隐患。维护记录的不完善,使得对偏航系统的历史运行数据和维护情况缺乏系统了解,不利于制定针对性的维护策略和预测设备故障,从而影响偏航系统的长期稳定运行。

## 3 风力发电机组偏航系统优化策略研究

### 3.1 优化机械结构设计

(1) 针对风力发电机组偏航系统机械结构,可通过优化齿轮传动系统提高运行效率与可靠性。采用高精度加工工艺制造偏航齿轮,通过齿面硬化处理增强耐磨性,配合合理的齿廓修形技术,减少啮合过程中的冲击与振动。优化齿轮箱的内部结构设计,合理布局齿轮轴系,降低齿轮传动的摩擦损耗,从而提升传动效率,延长齿轮使用寿命。(2) 在偏航轴承设计方面,采用新型材料与结构形式以适应复杂工况。选用高强度、耐腐蚀的轴承材料,如特殊合金钢或陶瓷材料,增强轴承的承载能力与抗腐蚀性能。改进轴承的滚道结构,优化滚珠或滚柱的排列方式,降低轴承运行过程中的接触应力,减少磨损与疲劳失效风险,提高偏航系统的稳定性与安全性。(3) 对偏航制动装置进行结构优化,提升制动性能。设计高效的制动钳与制动盘结构,采用多活塞制动钳均匀分布压力,配合摩擦系数稳定的高性能制动片,确保制动过程平稳可靠。优化制动弹簧的参数设计,精确控制制动力矩,既能保证偏航系统在强风工况下的可靠制动,又能在正常运行时实现灵活偏航,降低制动部件的磨损,提升整体机械结构的耐久性<sup>[3]</sup>。

### 3.2 改进电气控制系统

(1) 在风力发电机组偏航系统电气控制优化中,引入先进的传感器技术是关键。采用高精度的风向传感器与位置传感器,实时、准确地获取风向与偏航角度信息。风向传感器可选用超声波或激光式传感器,提高风向测量的精度与响应速度;位置传感器则采用绝对值编码器,确保偏航角度测量的准确性与可靠性,为偏航控制系统提供精确的数据支持。(2) 构建智能化的控制算法以提升偏航系统的控制性能。基于自适应控制理论与模糊控制算法,根据实时风向、风速及机组运行状态,动态调整偏航电机的转速与转向。当风向变化较小时,采用小步距、低转速的偏航策略,减少不必要的偏航动作,降低能耗与机械磨损;当风向变化较大时,迅速调

整偏航速度,使风轮快速对准风向,提高风能利用效率。(3)优化电气驱动系统,增强偏航电机的驱动性能。选用高转矩密度、高效率的偏航电机,并配置合适的变频器。通过变频器对电机进行精准调速,实现偏航系统的平滑启动、停止与变速运行。设计完善的电气保护电路,对偏航电机的过载、短路、过热等故障进行实时监测与保护,确保电气控制系统的稳定可靠运行,提高偏航系统的整体控制精度与响应速度。

### 3.3 加强环境适应性设计

(1)为提升风力发电机组偏航系统在复杂环境下的适应性,需着重加强防护设计。针对潮湿、盐雾等恶劣环境,对偏航系统的机械部件进行防腐处理,采用热浸镀锌、喷涂高性能防腐涂料等工艺,形成多层防护屏障,防止金属部件锈蚀。对电气元件进行密封防护,使用防水、防潮的电气柜与接线端子,确保电气系统在恶劣环境下的正常运行。(2)考虑极端气候条件对偏航系统的影响,进行针对性的结构强化设计。在高寒地区,对偏航系统的润滑油与液压油选用低温性能良好的型号,并配备加热装置,保证低温环境下的润滑与液压系统正常工作。在高风沙地区,增加防尘装置,如密封毛刷、防尘滤网等,防止沙尘进入偏航系统内部,减少部件磨损,延长系统使用寿命。(3)通过模拟不同环境工况,对偏航系统进行环境适应性测试与优化。利用环境试验箱模拟高温、低温、高湿度、盐雾等环境条件,对偏航系统进行长时间运行测试,监测系统在不同环境下的性能参数变化。根据测试结果,对防护设计与结构进行改进优化,确保偏航系统在各种复杂环境下都能稳定可靠地运行,提高风力发电机组的环境适应能力。

### 3.4 完善维护管理体系

(1)建立科学的状态监测体系是完善偏航系统维护管理的基础。于偏航系统关键部位安装振动、温度及油液监测传感器,实时采集运行状态数据。对振动信号进行频谱分析,可判断齿轮、轴承等部件磨损程度;利用温度传感器监测电机、轴承温度变化,能及时发现过

热隐患;通过油液监测,分析润滑油性能指标与杂质含量,评估润滑系统状态,为维护决策提供准确依据。

(2)制定合理的维护计划,实现预防性维护。依据状态监测数据和设备运行时间,运用预测性维护策略,结合设备磨损规律与性能衰退模型,提前规划维护时间与内容。对磨损严重的齿轮、制动片等易损件按预测寿命提前换;润滑油等消耗品依性能监测结果适时换,避免故障,降低维护成本,提高设备可靠性与可用率。(3)加强维护人员的技术培训与管理,提升维护质量。定期组织维护人员参加专业技术培训,学习偏航系统的工作原理、故障诊断方法与维护技术。通过实际操作培训与案例分析,提高维护人员的故障排查与处理能力。建立完善的维护质量考核制度,对维护工作的完成情况、设备修复质量等进行严格考核,确保维护工作的规范性与有效性,保障风力发电机组偏航系统的长期稳定运行<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,风力发电机组偏航系统的优化研究对提升风电产业竞争力具有重要意义。通过优化机械结构设计、改进电气控制系统、加强环境适应性设计及完善维护管理体系,能够显著改善偏航系统性能,提高机组发电效率,降低运维成本。未来,随着新材料、新技术的不断涌现,需进一步深化偏航系统优化研究,推动风力发电技术向智能化、高效化方向发展,为实现“双碳”目标提供有力支撑。

### 参考文献

- [1]吴艳标.风力发电机组偏航系统的优化研究[J].通讯世界,2023,30(4):130-132.
- [2]高文飞.风力发电机组偏航系统优化设计[J].装备制造技术,2020(5):98-102.
- [3]王健丞,纪辉,冯镜龙,等.风力发电机组偏航控制系统研究[J].电力设备管理,2024(13):79-81.
- [4]刘永福.风力发电机组偏航控制系统设计与性能评估[J].电脑校园,2023(16):142-144.