

寒冷地区风力发电机组偏航系统优化研究

田晋杰

国华(山西)新能源有限公司 山西太原 030012

【摘要】伴随高寒环境风电技术的快速发展,风电机组与偏航装置将面临全新挑战,随之而来的是极寒气候对机械结构的影响和复杂工况下系统性能的波动将与设备运行稳定性密切相关,这将使偏航系统与驱动机构具备更高的环境适应性,从而使系统运行变得更加可靠。本研究首先分析了低温环境下偏航系统的工作特性、关键参数及其影响因素,然后阐述了偏航控制策略的演进和关键部件的改进,最后探讨了新型材料应用与智能控制技术在偏航系统中的实践与效能评估。

【关键词】高寒环境;风力发电;偏航系统;结构优化;可靠性分析

Optimization research on yaw system of wind turbines in cold regions

Tian Jinjie

Guohua (Shanxi) New Energy Co., Ltd. Shanxi Taiyuan 030012

【Abstract】With the rapid development of wind power technology in high-altitude environments, wind turbines and yaw devices will face new challenges. The impact of extreme cold climate on mechanical structures and the fluctuation of system performance under complex working conditions will be closely related to the stability of equipment operation. This will enable the yaw system and drive mechanism to have higher environmental adaptability, making system operation more reliable. This study first analyzed the working characteristics, key parameters, and influencing factors of the yaw system in low-temperature environments, then elaborated on the evolution of yaw control strategies and the improvement of key components, and finally explored the practical application and effectiveness evaluation of new materials and intelligent control technology in yaw systems.

【Key words】alpine environment; Wind power generation; Yaw system; Structural optimization; Reliability Analysis

引言

伴随风电产业规模扩大、技术持续进步的发展趋势,风力发电即将步入高质量发展阶段,做好寒冷地区风电设备的适应性改进至关重要。风电技术的演进,应以提升极端环境适应能力为目标,所有系统设计都应考虑气候特殊性,确保安全稳定和高效运行。在低温严寒条件下系统性能面临严峻考验,与常规地区相比存在明显差异,其可靠性问题,对设备维护提出了更高要求。风电行业应当强化寒冷环境适应性研究,分析低温、冰雪和强风对偏航系统的影响,明确技术难点,充分理解材料特性变化和环境因素作用及其相互关系,系统的性能表现。随后,在结构设计、材料选择和控制策略等方面实施针对性改进,对偏航系统从多角度进行优化设计,确定技术指标,各项参数和性能均达到预期目标,从而构建以环境适应性为基础,以可靠性为核心以智能化控制为手段、符合寒冷地区特点的优化方案。

1 寒冷地区风电环境特征分析

1.1 低温环境特性

寒冷地区特有的气候条件是影响风电机组运行的关键因素,或构成设备性能下降的主要原因。在低温的持续作用下,金属材料的物理特性发生显著变化,包括强度、韧性、延展性的改变,建立科学的评估体系,完善相应的测试标准,准确评估对偏航系统的影响。因此,材料选择,在寒冷地区风电设备的设计过程中,关键考量就是材料性能和结构设计,亦即:①以低温韧性作为选材的重要依据;②把材料的脆性转变温度从常规范围调整至更低温度区间,适应极端环境;③以材料的耐寒性能和抗疲劳特性作为系统可靠性评估的核心指标。在材料应用中,还需要考虑温度循环效应,并将其纳入全生命周期的评估中,尤其是材料老化以及结构疲劳当中,需要全面评估低温、风载、冰雪带来的综合影响,以此构建完整的评估模型和测试方法,保证系统安全,同时能够预测其使用寿命^[1]。

1.2 冰雪环境影响机制

随着气温的持续下降和降雪增多,冰雪附着与积累现象已变得日益严重,偏航系统的运行必须采取有效措施、提升适应能力。在初始结冰阶段,冰雪附着是渐进过程,根据温

度变化的规律确定除冰策略的启动时机;但当严重覆冰发生之后,要先启动除冰系统,再进行常规运行的恢复。这不仅保障安全的必要措施,更是效率和经济性的综合考量。可见,偏航系统的控制策略应结合环境监测数据动态调整,结合气象预报并提前干预。按照寒冷地区特有的冰雪环境下偏航系统的工作状态和性能表现,当前已有多种应对措施在实际应用中的效果值得研究。另外,系统当中应用的加热元件以及智能控制策略,需要在设计阶段充分考虑及验证测试,只有这样才能与整体系统设计相协调,同时才能在极端条件下,能够保持系统功能,也是确保可靠运行的关键措施。

2 偏航系统结构优化

2.1 机械结构适应性改进

随着风电技术的不断进步,偏航系统将更加智能化,将成为提高发电效率的关键环节和具有环境适应性的核心组件。作为一个复杂的机电系统,其设计是在满足功能要求和安全标准的前提下,使系统的运行更加平稳,为整机稳定运行提供保障。因此,结构设计必须全面考虑,例如齿轮齿圈配合精度、轴承选型、驱动电机配置,以及密封和润滑系统的设计等,基本上由环境适应性需求决定,以确保系统可靠性为前提,综合考虑材料特性、结构强度和运行效率的平衡、系统的稳定性以及维护的便捷性。从结构角度分析,对于关键连接部位需要采用特殊强化设计,如运用加强筋结构及表面硬化处理,能够通过有限元分析对结构应力分布、疲劳寿命等进行精确计算,这样才能对设计方案进行科学验证,从而确保安全裕度^[2]。作为设计人员更要合理地运用仿真技术,以及先进的制造工艺,保证结构强度和系统稳定性能够满足要求,促使整体性能提升,也能延长使用寿命。

2.2 驱动系统优化设计

随着风电行业的快速发展,驱动系统的可靠性问题日益突出。偏航驱动装置,是指控制风电机组方向调整的动力单元,例如液压驱动、电动驱动、混合驱动等。但是,由于寒冷环境的特殊影响,驱动系统面临多重挑战:①对润滑系统的影响,即对润滑油粘度变化的应对;②对传动机构的影响,即低温导致材料收缩对齿轮啮合的影响;③对电机性能的影响;④对控制系统的影响:传感器的精度,即对温度测量和位置检测的准确性。而且,在低温条件下,将电加热系统与驱动装置以合理方式与控制系统整合。因此,在考虑其对系统各方面影响的基础上,做好这些关键环节在极端环境下的适应性设计。随着新材料技术的发展,促使驱动系统性能得以提升,设计思路也在向模块化、智能化方向推进,系统的优化应该构建完整的测试验证体系,其中应该包括环境模拟、性能测试等,同时要合理选择加热元件、保温材料等辅助设施,对系统性能进行评估及优化,以保证运行更可靠。

另外,更要注重系统集成、控制策略优化,形成模块化的结构、智能的控制策略。

3 寒冷地区偏航系统的优化

3.1 智能控制策略

随着技术的不断进步,在系统运行过程中,将引入更加先进的控制算法,最终在风向跟踪和系统响应的动态过程中实现精准控制,而风向变化和系统响应的协调则仍需持续优化的控制策略。这种智能化控制使偏航系统将作为一个独立的、智能的控制单元,传感器和执行机构的配合,向风电机组提供精确、稳定和高效的方向调整,并实现自我诊断,以提升其可靠性和环境适应性的能力。在智能控制下,系统响应也发生改变,更需要精确的参数设定,具备自适应的调节能力与故障预判功能,系统运行期间,控制策略要确保系统稳定运行,同时要满足不同工况需求,如大风工况、结冰工况等。另外,低温传感器、防冰装置等辅助系统的协同发展,作为控制系统需要加强各子系统的协同性与兼容性,这样才能确保整体效能。在控制策略中,温度监测、风速预测等数据分析的运用是系统优化的关键,这样更能够为偏航动作提供精确依据。同时,应建立完善的故障诊断机制和预测维护系统,系统的性能可以优化,但环境的恶劣条件不容忽视。偏航系统应具备自适应能力,在对风向变化、温度波动、冰雪积累、振动及系统负载等多种参数的监测,实现精准的控制和预警。另外,还要关注对系统健康状态及其变化趋势的分析和预测,加强故障预警和预防维护等方面的能力^[3]。

3.2 特殊环境挑战分析

(1) 冰雪附着问题。随着温度的降低,冰雪将向更复杂形态发展,由于风速和湿度的共同作用,覆冰的形成机制也会变化,结冰的速度,则系统阻力也会随之增加。另外,还包括叶片结冰和塔筒结冰的附加影响的综合效应这是系统可靠性、安全性能、运行效率是密切相关的,它受到环境条件变化的影响和系统设计的制约,(2) 材料性能变化。随着温度的下降,材料特性由常温状态根据温度梯度变化,材料的机械性能往往显著下降,这对系统运行来说都是不利因素,给设备维护带来更大难度。(3) 润滑系统效能降低。包括润滑油粘度变化的物理特性等。在低温的运行中,润滑系统从理想状态出发,会面临流动性下降的问题,导致系统磨损加剧,效率也显著降低;并且,随着温度对润滑要求,系统可以自动调节润滑参数,润滑系统的效能也将动态调整,甚至可能触发备用方案的启动,这些都影响系统的长期可靠性,原来的润滑方案可能不再适用。除了加热系统来维持温度外,也可以采用特殊配方润滑油,以便适应极端温度条件。(4) 轴承卡滞风险。例如:由于温度骤降导致轴承内部间隙缩小是常见问题。(5) 传感器精度漂移。系统中有些传感

器存在温度敏感的特性问题,而温度的波动往往是导致测量误差的主要原因,这样就会对系统的精确控制带来不利影响。(6)电气系统性能下降。众所周知,低温环境会给电气系统带来性能衰减,而这往往是难以完全避免的。

3.3 优化实施路径

系统要实现智能优化控制,使系统的响应速度和控制精度,相对于传统的控制策略来说更具优势。如何应对极端环境条件下的系统优化,是风电技术发展的关键课题。

(1)对系统设计和工程实施来说,需要考虑低温环境的特殊要求、材料的适应性选择及结构的强化设计和验证。

(2)对控制系统来说,环境变化必然使系统的动态特性发生变化并需要相应调整:一旦发生异常,容易触发保护机制的误动作,因此需要采用自适应控制、模糊逻辑或人工智能的先进算法来提升系统的鲁棒性和适应性。(3)系统优化方案应从理论和实践两个维度进行分析,评估技术可行性和经济合理性。一方面,针对特定环境条件,提出针对性的解决方案,例如以极寒地区风电场为背景,提出定制化的偏航系统优化方案,在考虑环境因素的同时,综合考虑系统性能指标和经济成本的平衡。另一方面,在原有的设计基础上引入创新技术,例如采用智能除冰技术,就是在传统偏航系统设计基础上融合了先进传感与控制技术的创新应用^[4]。(4)系统集成优化方法。由于偏航系统涉及多学科交叉、多技术融合,因此在优化中还要考虑整体协调性。一种好的优化方案应能兼顾系统性能和环境适应性,并能平衡成本与效益的关系,以实现系统综合性能的提升。

3.4 具体优化措施

随着技术的不断进步,在系统设计时优化方案中也将更加全面,从而使系统的整体性能表现为更高水平,其优化重点是从系统整体出发,从全生命周期的角度,即材料选择和结构设计的协同是其优化的核心要素。因此,设计的系统可靠性与环境适应性。

(1)材料创新应用。随着新材料技术和表面处理工艺的进步,使得材料性能方面取得显著突破,例如特种合金材料等,它们提供的是更强的低温适应性,现在风电设备的材料选择要求更加严格。材料的低温性能,材料应用越来越广泛,例如纳米涂层技术在轴承、齿轮和连接部件中的应用。

材料的低温特性和表面处理技术的结合。其中:低温韧性为材料在低温下保持良好机械性能的能力;抗疲劳性为材料在循环载荷下抵抗损伤累积的能力。(2)智能控制技术应用。智能控制是系统优化的核心,是提升性能的关键。目前,智能控制技术在偏航系统应用方面都取得进展,但仍有提升空间。为了进一步优化,需要关注以下方面:确定控制策略的核心参数及系统动态特性的关键指标;根据实际运行数据优化控制算法;对系统响应特性的全面测试和分析;在极端工况下对系统进行验证,控制策略的调整应基于实际数据^[5]。

(3)除冰技术改进。由于冰雪问题普遍存在,因此,当冰雪积累时,将影响系统的转动、制动和定位,系统的启动和停止。这就要求系统的除冰方案进行专门的设计。(4)系统集成与验证测试。例如,在系统测试中,温度变化会影响测量精度,因此测试方案的设计时还必须考虑对环境因素的补偿。另外,可以在系统的测试基础上引入数字孪生和虚拟仿真,例如某项目引入了数字孪生技术对偏航系统动态特性进行了仿真,并得到了更精确的性能评估数据。为了能够让系统优化方案有实际的应用效果,可以采用模块化设计、标准化接口等,使得系统能够达到快速部署、便捷维护等目的,这样能够提升其市场竞争力。对于系统的测试验证还需要完善的评估机制、如性能指标等都应纳入到验证体系内,从而实现全面评估,在此背景下,能够促进风电技术持续发展。

4 结语

寒冷地区和风电技术是紧密关联,因此需要对偏航系统的结构、控制及材料等方面深入研究,以适应极端环境的发展需求。偏航系统的优化设计将推动技术进步,寒冷地区的应用也需要专门的技术支持。由系统性能决定的可靠性、安全性、经济性、维护性和适应性等都将提升,而且需要跨学科的合作。在技术发展下,风电技术已经进入新阶段,它更趋向于智能化的发展方向,技术进步的引导下,偏航系统能够实现更高精度,更能满足环境需求,同时能够提升效率、降低的维护成本。

参考文献

- [1]雷现永,岑先富,高保印,等.简析风力发电机组偏航工况下的两种典型电能传输系统[J].电气技术,2024,25(11):63-69.
- [2]何修成,覃东东,赵俊杰,等.基于决策树算法的风力发电机组偏航控制系统设计[J].机械与电子,2024,42(06):76-80.
- [3]张轶东.风电场中风力发电机组运行故障与维护[J].电气技术与经济,2024,(06):328-329+337.
- [4]雷超,宋昭,魏湛栩.风力发电机组偏航液压制动系统研究[J].河南科技,2023,42(12):14-18.
- [5]段佳帅.风力发电机组偏航系统运行特性分析和故障分析研究[D].沈阳工业大学,2024.