

双馈 1.25MW 机组发电机弹性支撑更换工艺研究

张少熊

国华（赤城）风电有限公司 河北张家口 075500

【摘要】随着风力发电技术的持续进步，双馈风电机组对运行稳定性的要求不断提高，发电机关键部件的维护需求也日益凸显。弹性支撑作为减振降噪的核心组件，其更换工艺的优化将显著提升设备可靠性与使用寿命。本研究系统分析了1.25MW机组发电机弹性支撑更换的关键环节、技术要点及其操作规范，详细阐述了工艺流程设计原理与实施方法，最终提出一套标准化作业方案。该方案有效解决了传统更换过程中存在的定位偏差、应力集中等技术难题，实现了工艺精度与作业效率的双重提升。

【关键词】双馈风电机组；发电机；弹性支撑；更换工艺；力矩控制

Research on the replacement process of elastic support for doubly fed 1.25MW generator

Zhang Shaoxiong

Guohua (Chicheng) Wind Power Co., Ltd. Zhangjiakou, Hebei 075500

【Abstract】 With the continuous advancement of wind power generation technology, the requirements for operational stability of doubly fed wind turbines are constantly increasing, and the maintenance needs of key components of generators are becoming increasingly prominent. As the core component of vibration reduction and noise reduction, the optimization of the replacement process of elastic support will significantly improve the reliability and service life of the equipment. This study systematically analyzed the key links, technical points, and operating specifications for replacing the elastic support of a 1.25MW generator, elaborated on the principles and implementation methods of the process flow design, and finally proposed a standardized operation plan. This solution effectively solves technical problems such as positioning deviation and stress concentration in traditional replacement processes, achieving a dual improvement in process accuracy and operational efficiency.

【Key words】 doubly fed wind turbine; alternator; Elastic support; Change the process; torque control

引言

随着风电产业规模化发展与技术迭代加速，1.25MW 双馈风电机组已进入运维高峰期。发电机弹性支撑作为连接机舱支架与发电机的重要缓冲装置，其维护应以提升设备可靠性与延长服役周期为目标。在复杂工况条件下，传统更换工艺存在定位困难、应力分布不均等问题，与新型机组维护标准相比存在明显差距。因此，提升运维质量将对其工艺优化提出更高要求。本研究旨在加强更换工艺全流程管控，分析设备结构特征、环境因素和操作规范对工艺质量的影响，优化力矩参数设定，并充分考虑部件配合公差与材料特性，从而建立标准化作业流程。在此基础上，通过规范工具选用、校准检测方法和质量验收标准，对更换工艺从多维度进行系统优化，确保各项技术指标达到行业规范。最终目标是构建一个以安全操作为基础、以精度控制为核心、以效率提升为导向、符合现代风电运维要求的标准化工艺体系。

1 发电机弹性支撑系统概述

弹性支撑系统是发电机与机座间的关键连接部件，承担着振动隔离与载荷传递的双重功能。在机组运行过程中，该系统通过特殊材料的形变特性有效吸收机械振动，建立稳固可靠的支撑体系，从而确保发电机稳定运行。因此，该系统性能的优劣直接关系到机组的振动水平与使用寿命。其核心功能可归纳为：①以弹性元件作为主要减振载体；②将振动能量从发电机本体向支撑结构进行有效转移；③以精确的刚度系数和阻尼特性作为其系统性能评价的核心指标。在实际应用中，还需考虑环境温度、湿度等外部因素对材料性能的影响，特别是长期运行导致的老化效应以及极端工况下的瞬时载荷。以此为基础，才能构建合理的维护周期与更换标准，在保证系统可靠性的同时，能够有效控制振动传递率^[1]。

随着风电技术的快速发展与应用深化，发电机弹性支撑的性能要求已显著提高，传统支撑结构必须适应更高功率密度与更复杂工况。在常规运行条件下，弹性支撑需保持稳定性能，并依据设计规范确定其承载能力。而在更换作业过程中，则需先解除原有固定结构，再进行新件安装。这不仅是技术操作问题，更是安全与质量的保障环节。可见，弹性支

撑更换工艺应建立标准化流程,并紧密结合现场实际情况与设备特性。

2 弹性支撑更换工艺研究

2.1 工艺原理与技术基础

随着风电运维技术的不断完善,弹性支撑更换工艺正朝着更加精细化的方向发展,成为提升机组可靠性的关键环节和具有决定性影响的技术措施。作为一项系统性工程,其核心是在满足安全规范与技术标准的前提下,实现部件的精准更换,为后续设备稳定运行奠定基础。因此,工艺实施需综合考虑联轴器拆装、测速装置处理、螺栓松紧等操作环节。这些环节基本上需依靠专业工具并遵循标准化流程来完成,在确保工艺精度的前提下,协调好各环节的时序关系、力矩参数与定位精度。从技术层面分析,弹性支撑更换需要建立完善的工艺控制体系。例如,运用激光对中仪及高精度力矩工具,能够对联轴器对中度、螺栓预紧力等进行精确测量,从而对工艺质量进行有效控制,保障更换效果^[1]。作为运维人员,必须要合理地运用专业工具,遵循规范的操作方法,以保证拆卸与安装过程协调一致。这不仅能稳定提升工艺质量,还能提高作业效率。

2.2 更换工艺实施流程

随着风电运维技术的进步,弹性支撑更换工艺日趋成熟。弹性支撑或减振装置,是指用于隔离振动传递的专用组件,例如橡胶金属复合支撑、液压减振器等。但是,由于结构特性的限制,弹性支撑更换面临多重技术挑战:①对联轴器的处理,即对传动系统的精准定位;②对螺栓系统的处理,即拆卸过程中对螺纹的保护;③对顶升系统的控制,即对弹性支撑调节芯轴、垫铁的合理增加或减少;④对安装精度的把控,即对力矩参数(预紧力和角度)的精确调节。在实际操作中,还需将千斤顶与支撑结构以适当方式配合使用。

3 工艺优化与质量控制

3.1 工艺参数优化

随着技术标准的提升,弹性支撑更换过程将涉及更为精细的工艺参数控制,以期在拆卸与安装环节实现精准对接。其中,联轴器对中与螺栓预紧的精度仍需保持严格的工艺要求。这种精细化作业使弹性支撑能够作为一个独立的、完整的单元,充分发挥其承载与减振的双重功能,为发电机提供稳定、可靠和安全的支撑保障,并确保系统性能,维持其结构完整性与运行可靠性。在实际操作中,作业环境复杂多变,更需要专业工具配合。操作人员必须具备精确的测量能力与操作技能。在作业期间,不仅要确保工艺参数符合要求,还要满足设备运行需求,如对中精度、力矩值等。另外,

激光对中仪、力矩扳手等专业工具的应用是工艺实施的重中之重,这样更能够为弹性支撑更换提供技术保障^[1]。

同时,应建立完善的工艺参数监控体系。工艺参数可以调整,但安全标准不可妥协。弹性支撑更换应遵循标准化流程,对联轴器状态、螺栓连接、支撑结构、工装设备、环境因素、工具校准、参数记录和质量验收等环节进行全面监控,确保工艺参数的精确性和一致性。此外,还要特别关注螺栓预紧力及其变化规律的监测,加强工艺过程控制和质量验收等方面的管理。

3.2 关键工艺环节分析

(1) 联轴器拆卸与定位。随着技术要求的提高,联轴器的安装必将趋向于精准定位。由于其结构复杂,拆卸过程中的力矩控制更加严格,安装精度也会相应提高。这是确保后续对中精度的基础,并受联轴器结构设计和安装工艺的影响。(2) 螺栓松紧工艺控制。随着作业要求的提升,螺栓松紧需由专业工具根据精确的力矩值进行操作。螺栓的预紧力往往需要精确控制,这对作业质量来说至关重要,也给工艺实施带来技术挑战。(3) 顶升系统操作规范。包括千斤顶配置和弹性支撑调节芯轴、垫铁使用的规范等。在操作过程中,作业人员必须从安全角度出发,考虑支撑系统的稳定性,这会影响到支撑结构的受力分布,系统也需相应调整。随着对工艺精度要求的提高,顶升过程应力求实现精确控制,以提升支撑系统的稳定性,甚至达到微米级的精度控制。这些都对工艺实施提出了更高要求。除了精确控制外,也可以采用分级顶升方法,以便实现平稳过渡。(4) 力矩参数控制。例如:由于力矩控制不当导致的螺栓断裂是常见故障。(5) 部件清洁与检查。工艺中需关注部件的清洁度,并检查是否存在微小的表面缺陷。这些表面缺陷往往是潜在故障的早期征兆,会给后续运行带来隐患。(6) 安全风险控制。众所周知,操作不当的作业会给设备安全带来威胁,而这往往是不可逆的。

3.3 质量控制方法

工艺实施需要建立完善的质量控制体系,相较于传统的经验操作,该体系应能确保工艺参数的稳定性和一致性。如何建立科学的工艺参数控制体系,是工艺优化的核心任务。

(1) 对于联轴器拆卸和安装,需要专业的测量工具、精确的定位方法及完善的检查流程和记录。(2) 对于螺栓系统,工艺实施应使预紧力分布更加均匀,以减少应力集中,一旦操作不当,容易引发螺栓断裂事故。因此,需要采用专业工具、进行精确控制或实时监测,以确保预紧力分布的均匀性和工艺稳定性。(3) 工艺参数评估应从理论计算和实际测试两个维度进行分析,以评估工艺参数的合理性和可靠性。一方面,针对具体工况,提出针对性的工艺参数设定方法。例如,以1.25MW机组为背景,提出弹性支撑更换的工艺参数标准,在考虑设备特性的同时,综合考虑环境因素和

操作条件的影响。另一方面,在原有的工艺基础上优化关键参数。例如,联轴器对中精度优化,就是在原有标准基础上引入激光测量技术的创新应用^[4]。(4) 工艺参数优化方法。由于弹性支撑结构的复杂性、多样性,在工艺实施中还需考虑材料特性的差异。一套优良的工艺参数应能适应不同工况需求,并能平衡操作效率和质量要求,从而确保工艺实施的可靠性。

3.4 工艺实施要点

随着技术标准的提高,更换作业时的工艺参数控制将更加精细化,从而使作业的工艺控制更为系统化。其核心是从工艺标准出发,从工艺实施的全过程,即拆卸、更换、安装是其关键的工艺环节。因此,工艺的标准化和规范化实施至关重要。

(1) 工具准备与校验。随着技术要求和安全标准的提高,使得工具准备方面更加规范,例如力矩扳手校验等,这体现了作业的专业性。如今,工具的校准要求越来越严格,例如力矩工具在安装、拆卸和检测中的应用。工具的精确度和可靠性成为工艺质量的保障。其中:校准精度是指允许误差范围内的最大偏差值;可靠性则涉及因长期使用导致精度下降而需要重新校准的周期。(2) 工艺参数设定。工艺参数设定是质量控制的核心,是运维工作的重中之重。目前,工艺参数设定在标准化程度虽有所提升,但仍有优化空间。为了提高工艺质量,需要关注以下要点:确定关键工艺参数及其允许偏差范围;根据设备特性确定工艺参数标准值;对关键工艺参数进行实时监测和记录;在作业过程中对参数进行动态调整,确保工艺参数符合技术规范要求^[5]。(3) 顶升系统配置。由于发电机重量较大,因此,当进行顶升作业时,必须综合考虑支撑点的分布、高度和稳定性,确保系统的安全性和可靠性。这就要求对顶升系统进行精确的参数设定。(4) 工艺质量验证。在更换完成后,振动水平会显著降低,因此工艺验证时还必须考虑对振动特性的检测。另外,可以在工艺实施基础上引入数据分析和状态监测,例如通过引入了振动分析对更换效果进行了评估,可以得到了更为精确的质量评价结果。为了能够让更换工艺实施有可靠的质量保障,可以采用激光对中、力矩监控等技术,使工艺参数能够

达到精确控制、质量稳定的目的,从而提升工艺可靠性。对于工艺参数的控制还需要专业的监测设备,尤其要在力矩控制上加强参数监测。对于质量验证,需要建立完善的验收机制,如振动测试等都应纳入质量验收体系内,从而实现全过程质量控制。在此背景下,能够促进风电运维技术持续发展。

3.5 工艺创新与应用

工艺标准的推进,再加上技术规范的不完善,促使更换工艺向标准化、精细化发展。弹性支撑更换主要依靠力矩控制、对中检测等专业手段,通过实时监控工艺参数来保证更换质量。如利用激光对中仪或高精度力矩扳手,对联轴器对中度、螺栓预紧力等参数进行实时的监测,这样能够为工艺质量提供可靠保障。工艺实施的目的是通过标准化、精细化等专业手段,促使设备的振动特性、运行稳定性等关键指标得以优化,从而在质量控制、安全保障等方面进行有效管理。同时,还应完善工艺监控体系,保证工艺参数能够满足设计要求,对关键工艺节点、质量指标,以及异常情况下的应急处理进行监控,通过工艺参数的动态调整,进而对工艺质量做出准确判断。对振动特性和运行状态的监测,能够及时反馈对工艺质量的评价。如在恶劣环境、高负荷运行的工况下,工艺实施应能够确保设备稳定运行,保证运维质量。这不仅能够提高工艺可靠性,更能提升设备运行的稳定性。

4 结语

发电机弹性支撑更换工艺是风电运维的关键环节。因此,需要对更换工艺的标准、流程及质量控制等方面持续优化,以适应风电技术的发展需求。弹性支撑更换工艺的标准化将推动运维技术进步,而工艺实施的精细化也需要专业的技术支持。工艺参数直接决定了作业的精度、效率、安全性、质量和可靠性,而这些目标的实现都需要专业的技术保障。在现有技术标准下,弹性支撑更换已经实现规范化,并更趋向于精细化的工艺控制,在标准化作业的引导下,工艺实施能够实现质量提升,确保设备稳定运行,同时提高效率、降低风险。

参考文献

- [1]韩新月,王小虎,张林中,等.风电机组叠簧式弹性支撑影响因素分析[J].机械设计,2025,42(08):183-189.
- [2]李燕军.弹性支撑下风力发电机振动分析及试验[J].电力安全技术,2024,26(11):52-55.
- [3]谭建军,杨书益,余芷玲,等.多工况下弹性支撑海上风电机组传动链支撑参数优化[J].可再生能源,2024,42(09):1211-1218.
- [4]潘战,杨超,胡伟辉,等.风力发电机组用发电机弹性支撑刚度研究[J].中国机械,2024,(25):37-42.
- [5]齐杰.兆瓦级风力发电机弹性支撑设计与优化[D].江苏科技大学,2025.