

浅谈风机发电机轴承损坏原因及预防措施

马德飞

国华蒙东分公司 内蒙古 通辽 028000

摘要：发电机轴承是发电机的重要组成部分，双馈发电机组随着运行时间的增长，轴承失效问题不断增多。本文探讨了风机发电机轴承损坏的原因及预防措施。轴承损坏主要由腐蚀、断裂、安装不当、润滑不足和负荷过大等因素引起。为预防损坏，需正确选择轴承型号，确保安装精度与定期检查；加强润滑管理，选择合适的润滑剂并定期更换；优化密封设计，保持清洁与保养；合理规划并动态监测负荷，确保负荷分配平衡。这些措施有助于降低轴承损坏风险，延长使用寿命，提高风机发电机的可靠性和稳定性。

关键词：风机发电机轴承；损坏原因；预防措施

引言：风机发电机作为可再生能源领域的重要组成部分，其稳定运行对于能源供应和环境保护具有重要意义。然而，在实际运行过程中，风机发电机轴承的损坏问题时有发生，严重影响了设备的可靠性和使用寿命。通过探讨风机发电机轴承损坏的主要原因，并提出相应的预防措施，以此为风电行业的设备维护与管理提供有益的参考。通过深入分析损坏原因并采取有效的预防措施，可以降低轴承损坏的风险，提高风机发电机的整体性能。

1 风机发电机轴承概述

风机发电机轴承是风力发电机组中的核心零部件，它们的主要功能是支撑旋转轴或其他运动体，引导转动或移动运动，并承受由轴或轴上零件传递而来的载荷。在风力发电机组中，轴承的作用至关重要，因为它们直接关系到风电机组的运行效率和寿命。风机发电机轴承种类繁多，按类型分主要包括偏航轴承、变桨轴承、主轴轴承、变速箱轴承和发电机轴承等。其中，主轴轴承是风力发电机中的关键部件之一，负责将风轮产生的机械能传递给发电机。它通常采用调心滚子轴承或圆锥滚子轴承等结构形式，以适应风力发电机组在复杂多变的工作环境中的需求^[1]。风机发电机轴承的工作环境通常非常恶劣，包括高温、重载、振动、高湿度等。因此，轴承需要具有高强度、高韧性和良好的耐磨性，以应对这些极端条件。在制造过程中，制造商会采用严格的生产工艺和质量控制标准，确保每个轴承都符合设计要求，并具有良好的性能和可靠性。

2 风机发电机轴承损坏原因分析

2.1 疲劳剥落

疲劳剥落是指轴承在工作过程中，由于长期承受交变载荷，导致材料内部的微小缺陷逐渐累积，最终在表

面形成鳞片状或点坑状的剥落。这种剥落通常发生在轴承的滚动体和内、外圈滚道面上，因为这两个部位在运转过程中承受了周期性的脉动载荷，产生了周期变化的接触应力。当轴承长时间运转后，尤其是在高应力、高循环次数和频率下，材料内部的微小裂纹会逐渐扩大，最终导致表层金属的剥落。这种剥落不仅会降低轴承的运转精度，还会使机构产生振动和噪声，严重影响设备的性能和寿命。另外，轴承长期超负荷运行，使得材料内部的应力超过其强度极限，导致裂纹的产生和扩展。轴承材料本身存在缺陷，如夹杂物、气泡等，这些缺陷在交变载荷的作用下容易引发裂纹。润滑不足或润滑油质量不符合要求，导致轴承在运转过程中摩擦增大，加剧了材料的疲劳。

2.2 表面磨损

表面磨损是指轴承在工作过程中，由于滚道和滚动体之间的相对运动，以及尘埃、金属屑等异物的侵入，导致轴承表面材料逐渐损失的现象。这种磨损通常表现为轴承表面的划痕、凹坑或磨损痕迹，严重时可能导致轴承失效。（1）润滑不良：当轴承缺乏足够的润滑或润滑剂质量不佳时，滚动体和滚道之间的摩擦会增大，导致表面磨损加剧。（2）异物侵入：在轴承的工作环境中，如果存在沙尘、金属屑等异物，它们可能进入轴承内部，与滚动体和滚道直接接触，造成表面划痕和磨损。（3）材质问题：轴承材料的硬度和耐磨性是影响表面磨损的重要因素。如果材料硬度不足或耐磨性差，轴承在运转过程中容易受到磨损。

2.3 塑性变形

塑性变形是指轴承在工作过程中，由于承受过大的冲击载荷、静载荷，或者由于热变形引起的额外载荷，导致轴承材料发生塑性流动或永久变形的现象。这种变

形通常表现为轴承表面的凹痕、划痕或不规则形状,严重时可能导致轴承失效。一是当风机发电机在运行过程中突然受到较大的冲击载荷时,轴承可能会因为无法承受而发生塑性变形。二是如果轴承长期承受超过其设计极限的静载荷,也会导致材料发生塑性流动。三是轴承在工作过程中会产生热量,如果散热不良或工作环境温度过高,轴承可能会因为热膨胀而发生塑性变形。

2.4 腐蚀

腐蚀是指轴承材料在特定环境条件下,由于化学或电化学作用而逐渐受到破坏的现象。对于风机发电机轴承而言,腐蚀主要源于其工作环境的恶劣性和材料本身的特性。一方面,风电机组通常安装在户外,直接暴露于自然环境中,因此轴承容易受到风沙、雨水、盐雾等自然因素的侵蚀。这些环境因素中的湿气、盐分和氧化物等,会与轴承表面的金属材料发生化学反应,导致腐蚀现象的发生^[2]。另一方面,轴承材料本身的抗腐蚀能力也是影响腐蚀程度的关键因素。如果轴承材料选择不当,或者其表面处理工艺不佳,都会降低其抗腐蚀能力,从而加速腐蚀的进程。腐蚀会导致轴承表面出现蚀坑、锈斑等缺陷,降低轴承的精度和性能。严重时,腐蚀甚至会导致轴承失效,影响风力发电机的正常运行。

2.5 断裂

断裂是指轴承在工作过程中,由于承受过大的应力、疲劳、冲击或材料内部缺陷等因素,导致轴承材料发生断裂的现象。对于风机发电机轴承而言,断裂通常表现为轴承的某个部分突然断裂,严重影响设备的正常运行。当轴承承受的应力超过其强度极限时,材料会发生断裂。这可能是由于设计不合理、安装不当或过载运行等原因造成的。轴承在长期运转过程中,由于交变载荷的作用,材料内部会逐渐产生疲劳损伤,最终导致断裂。风机发电机在运行过程中可能会受到各种冲击,如风力突变、电网故障等,这些冲击会导致轴承承受瞬时的巨大应力,从而引发断裂。轴承材料在制造过程中可能存在夹杂物、气泡等缺陷,这些缺陷在应力作用下容易扩展,最终导致断裂。

3 风机发电机轴承损坏的预防措施

3.1 型号选择

风机发电机轴承的损坏对风力发电系统的稳定运行具有重要影响,因此选择合适的轴承型号是预防损坏的首要步骤。

3.1.1 考虑轴承类型

风机发电机轴承的类型多种多样,常用的包括深沟球轴承、圆柱滚子轴承和调心滚子轴承等。不同类型的

轴承具有不同的特点和适用环境。例如,深沟球轴承适用于承受径向载荷和一定的轴向载荷,具有结构简单、易于维护的优点;圆柱滚子轴承则适用于承受较大的径向载荷,具有高精度和高刚性的特点。在选择轴承类型时,应根据风机的具体工作条件、载荷特点以及维护要求来确定。

3.1.2 绝缘轴承的应用

由于风电机组在工作过程中可能会产生轴电流,对轴承造成电腐蚀损害,因此选择绝缘轴承是一个有效的预防措施。绝缘轴承的内圈与轴接触部分涂有绝缘介质,能够阻断轴电流的路径,降低轴承的电腐蚀风险。在选择绝缘轴承时,应确保绝缘层的厚度和绝缘性能符合相关标准,以保证其长期运行的可靠性。

3.1.3 轴承尺寸与公差

轴承的尺寸和公差对其性能和寿命具有重要影响。在选择轴承时,应根据风机的设计要求和实际安装条件来确定轴承的尺寸。同时,应注意轴承的公差配合,确保轴承与轴、轴承座之间的配合间隙适当,避免过盈配合或间隙过大导致的损坏。

3.1.4 轴承材料与热处理

轴承材料的选择和热处理工艺对其耐磨性、抗疲劳性和抗腐蚀性具有重要影响。在选择轴承材料时,应考虑其硬度、韧性、耐磨性和抗腐蚀性等因素。同时,应选择合适的热处理工艺,以提高轴承的强度和耐磨性。

3.2 正确安装与检查

(1) 精确安装。在安装前,应确保轴承座、轴和轴承本身清洁无异物,以避免杂质进入轴承内部。安装时,应使用合适的工具和方法,如压力机或热装法,确保轴承能够平稳、均匀地安装到位,应注意轴承的预紧力,避免过紧或过松导致的损坏。(2) 定期检查。应制定详细的检查计划,包括检查周期、检查项目和检查方法。检查周期应根据风机的运行情况和轴承的寿命预期来确定。检查项目应包括轴承的振动、温度、噪音以及润滑情况等。检查时,应使用专业的检测工具,如振动传感器、红外测温仪等,以确保检查结果的准确性。

(3) 润滑管理。应选择合适的润滑剂,并根据轴承的工作条件和润滑要求来确定润滑剂的种类、数量和更换周期。在润滑过程中,应注意润滑剂的清洁度和更换时机,避免因润滑剂变质或污染导致的轴承损坏。(4) 异常情况处理。在检查过程中,一旦发现轴承存在振动异常、温度过高、噪音增大等异常情况,应立即停机检查,找出问题原因并采取相应的处理措施。对于已经损坏的轴承,应及时更换,并分析损坏原因,以避免类似

问题的再次发生。

3.3 润滑管理

(1) 选择适合风机发电机轴承的润滑剂至关重要。润滑剂的选择应基于轴承的工作条件、转速、温度以及载荷等因素。常用的润滑剂包括润滑油和润滑脂。润滑油通常用于高速、高温和重载的场合，而润滑脂则适用于低速、低温或需要长期润滑的场合。在选择润滑剂时，还需考虑其抗氧化性、防锈性、抗磨性和极压性等性能，以确保轴承得到充分的润滑和保护。(2) 润滑剂的加注量应适中，过多或过少都可能对轴承造成损害。加注过多可能导致轴承过热，而加注过少则可能使轴承得不到充分的润滑，润滑剂应定期更换，以避免因润滑剂变质或污染而导致的轴承损坏。更换周期应根据轴承的工作条件和润滑剂的性能来确定，同时应记录每次更换的时间和润滑剂的类型，以便后续跟踪和管理。(3) 润滑系统的正常运行对于轴承的润滑至关重要。应定期检查润滑系统的各个部件，包括油箱、油泵、过滤器、冷却装置等，确保其完好无损并正常工作，应定期清洗润滑系统，以去除系统中的杂质和污染物，保持润滑剂的清洁度。对于采用自动润滑系统的风机发电机，还应定期检查其控制系统和传感器，确保其能够准确、及时地控制润滑剂的加注和更换。

3.4 密封与清洁

风机发电机轴承的密封与清洁是预防其损坏的关键措施之一，对于保障轴承的长期稳定运行具有重要意义。(1) 密封设计。风机发电机轴承通常采用迷宫式密封、接触式密封或组合式密封等方式。迷宫式密封利用密封槽和密封环之间的间隙形成迷宫效应，阻止污染物进入；接触式密封则通过密封件与轴或轴承座之间的接触来防止污染物侵入。在设计密封时，应充分考虑轴承的工作条件、转速、温度以及可能的污染物类型，以确保密封效果。(2) 密封件的安装与维护。在安装密封件时，应确保密封面干净、平整，并严格按照制造商的安装指南进行操作。定期检查密封件的磨损情况，一旦发现磨损严重或失效，应立即更换，还应注意密封件与轴、轴承座之间的配合间隙，避免过大或过小的间隙导致的密封失效。(3) 清洁与保养。应使用合适的清洁剂和工具，去除轴承表面的油脂、灰尘和其他污染物。在清洁过程中，应避免使用过于粗糙的工具或清洁剂，以

免对轴承表面造成损伤。定期对轴承进行保养，包括检查润滑情况、更换润滑剂、调整预紧力等，以确保轴承处于最佳工作状态。

3.5 负荷管理

风机发电机轴承的负荷管理首先需要对负荷进行合理规划。这包括根据风机的设计参数、运行环境以及实际需求，精确计算轴承所需承受的负荷，并确保这一负荷在轴承的承载能力范围内。合理规划负荷可以有效避免轴承因过载而导致的损坏。在实际运行中，风机发电机轴承的负荷可能会因风力变化、电网波动等因素而发生变化，需要采用动态监测技术，实时监测轴承的负荷情况。通过安装传感器和监测设备，可以实时获取轴承的振动、温度等参数，进而分析轴承的负荷状态^[3]。一旦发现负荷异常，应立即采取措施进行调整，以避免轴承损坏。另外，对于多轴承支撑的风机发电机，负荷分配与平衡也是预防轴承损坏的关键。应确保各个轴承承受的负荷均匀分布，避免个别轴承因负荷过大而损坏。这可以通过优化轴承布局、调整预紧力等方式来实现，还应定期检查轴承的磨损情况，及时对磨损严重的轴承进行更换或调整，以保持负荷的平衡。最后，负荷管理还包括对轴承的维护与保养。应定期对轴承进行检查，包括润滑情况、密封性能、磨损程度等，应根据检查结果制定相应的维护与保养计划，及时更换润滑剂、清洗轴承、调整预紧力等，以确保轴承处于最佳工作状态。

结语

总之，风机发电机轴承的损坏原因是多方面的，但通过合理的预防措施，可以有效地降低其损坏风险。正确选择轴承型号、确保安装精度与定期检查、加强润滑与密封管理、以及合理规划负荷等措施，都是保障轴承稳定运行的关键。未来，随着技术的不断进步和经验的积累，我们将进一步完善预防措施，提高风机发电机的可靠性和稳定性，为可再生能源的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]袁硕,刘天羽.大型发电机定子铁芯绝缘损坏检测方法试验分析[J].科技与创新,2020(3):22-23.
- [2]沈向阳.某发电机组定子绝缘损坏的原因分析及对策[J].福建电力与电工,2019(2):54-55.
- [3]龙霞飞,杨苹,郭红霞,伍席文.大型风力发电机组故障诊断方法综述[J].电网技术,2019,41(11):480-491.