

风电机组偏航系统异响和振动原因分析

替文达

国华（赤城）风电有限公司 河北 张家口 075000

摘要：偏航系统作为风力发电机组的关键部件，其异响和振动问题直接影响风电机组的运行效率和稳定性。本文探讨了偏航刹车钳与刹车盘摩擦、偏航驱动与偏航轴承啮合等关键部件的异响原因，以及机械传动链振动、偏航过程中的动态载荷、控制策略与系统设计缺陷等振动原因。针对这些问题，提出了结构设计改进、材料选择与改进、控制策略优化以及润滑与维护等多方面的解决方案与改进措施，以提高风电机组的运行效率和可靠性。

关键词：风电机组；偏航系统异响；振动原因

引言：随着风力发电技术的快速发展，风电机组的稳定性和可靠性成为行业关注的焦点。偏航系统作为风电机组的关键组成部分，其性能直接影响着风能的捕获效率和机组的运行安全。然而，偏航系统在运行中常出现异响和振动问题，这不仅降低了机组的发电效率，还可能对设备造成损害。因此，深入分析偏航系统异响和振动的原因，提出有效的解决方案，对于提升风电机组的整体性能具有重要意义。

1 风电机组偏航系统概述

1.1 偏航系统的组成

偏航系统主要由偏航电机、偏航轴承、偏航制动器等关键部件组成。偏航电机作为系统的动力源，负责驱动偏航动作的执行；偏航轴承则是连接机舱与塔筒的关键部件，它承受着巨大的径向和轴向载荷，确保偏航过程的平稳进行；偏航制动器则用于在偏航结束后锁定机舱位置，防止其因外部力量（如风的波动或机组震动）发生无谓的旋转。

1.2 偏航系统的工作原理

偏航系统通过一系列传感器实时监测风向变化，并将这些信息传递给控制系统。控制系统根据风向数据，计算出偏航所需的角度，并发出指令给偏航电机。偏航电机驱动风电机组机舱围绕塔筒中心轴旋转，使风轮始终处于迎风位置。这一过程中，偏航减速器、偏航轴承等部件精密配合，确保偏航的平稳和准确。此外，偏航系统还具备智能化的控制策略，能够根据风况和机组运行状态自动调整偏航角度，以最大化风能捕获。

1.3 偏航系统在风力发电中的作用

偏航系统在风力发电中扮演着至关重要的角色。它不仅能够保持风轮始终迎风，最大化地捕捉风能，提高风电机组的发电效率；还能够通过精准的偏航控制，降低风电机组的磨损和故障率，延长机组的使用寿命。同

时，偏航系统的智能化控制策略还能够提高风电机组的自适应能力和稳定性，使其在复杂多变的风况下仍能保持高效稳定的运行。因此，偏航系统是风力发电机组不可或缺的重要部件，对于提高风力发电的效率和可靠性具有重要意义。

2 风电机组偏航系统异响原因分析

2.1 偏航刹车钳与刹车盘摩擦异响

偏航刹车钳与刹车盘之间的摩擦异响是偏航系统中最为常见的故障之一，其根源可归结为以下几点：（1）刹车盘变形。长期承受巨大的制动力和复杂的风向变化，刹车盘可能会发生变形，导致其与刹车钳之间的接触面变得不均匀。这种不均匀的接触会在制动时产生异常摩擦，进而引发异响。此外，机架及偏航轴承在长期运行中累积的公差也会导致刹车盘位置的微小偏移，加剧摩擦异响。（2）卡钳油路不通。刹车钳内部的油路若被堵塞或存在设计缺陷，会导致刹车油无法均匀、迅速地传递至刹车钳的各个部分，造成制动压力不均，进而在刹车盘表面产生不均匀的摩擦力，引发异响。此外，油路中的杂质或水分也可能影响刹车油的性能，导致异响问题的出现^[1]。（3）刹车压力偏高与漏油。过高的刹车压力会增加刹车钳与刹车盘之间的摩擦力，加剧磨损，从而引发异响。同时，如果刹车钳存在漏油问题，会导致刹车压力不稳定，进一步影响制动效果和异响的产生。此外，缺乏有效的预警装置，如压力传感器或泄漏检测装置，使得操作人员难以及时发现并处理这些潜在问题，也是异响持续存在的原因之一。

2.2 偏航驱动与偏航轴承啮合异响

偏航驱动与偏航轴承之间的啮合异响同样不容忽视，其产生原因主要包括：（1）驱动齿轮副侧隙过小。侧隙过小会限制齿轮间的相对运动，导致啮合时产生过大的摩擦力和振动，进而引发异响。此外，偏航驱动齿

轮的偏心问题也会破坏齿轮的正常啮合状态,增加异响的风险。(2) 齿轮啮合面粗糙。齿轮的啮合面如果加工精度不够或在使用过程中受到磨损,会变得粗糙不平,从而在啮合时产生异常的摩擦声和振动。这种粗糙的啮合面不仅会影响齿轮的传动效率,还会加速齿轮的磨损,缩短其使用寿命。(3) 齿面润滑不良。良好的润滑可以有效降低齿轮间的摩擦系数,减少磨损和异响的产生。然而,如果润滑系统出现故障或润滑剂选择不当,会导致齿面润滑不良,使得齿轮在啮合时产生过大的摩擦力和振动,从而引发异响。

2.3 其他因素

除了上述两大主要原因外,还有一些其他因素也可能导致偏航系统异响的产生:(1) 偏航制动盘加工精度不够或变形。制动盘的加工精度直接影响其与刹车钳之间的配合程度。如果制动盘的加工精度不够或在使用过程中发生变形,会导致其与刹车钳之间的接触不均匀,从而在制动时产生异响。(2) 制动器摩擦片材料选用不合理。摩擦片材料的选用对制动性能和异响的产生具有重要影响。如果材料过硬或过软,都可能导致制动时产生过大的摩擦力或振动,从而引发异响。此外,摩擦片表面的油污、杂质或水分也可能影响其摩擦性能,加剧异响问题的出现。(3) 制动盘表面形成坚硬釉质层。长期使用或维护不当可能导致制动盘表面形成一层坚硬的釉质层。这层釉质层会改变制动盘与刹车钳之间的摩擦特性,增加摩擦力和振动,从而引发异响。为了消除这种异响,通常需要对制动盘进行定期清理和磨削处理。

3 风电机组偏航系统振动原因分析

3.1 机械传动链振动

机械传动链是连接风轮与发电机的重要部分,其振动问题对偏航系统具有直接影响。(1) 传动链中各部件的固有频率与系统运行频率的相互作用:传动链中的每个部件都有其固有的振动频率。当系统运行频率与某个部件的固有频率接近或相等时,会发生共振现象,导致振动幅度急剧增加。这种振动不仅会加剧部件的磨损,还可能传递到偏航系统,引发偏航轴承、偏航驱动等部件的异常振动。(2) 齿轮箱、主轴等部件的异常振动:齿轮箱和主轴是传动链中的关键部件,它们的振动状态直接影响整个传动链的稳定性。齿轮箱的齿轮啮合不良、轴承磨损或主轴的弯曲变形等都可能导致异常振动。这些振动不仅会影响齿轮箱和主轴自身的寿命,还可能通过传动链传递到偏航系统,引发偏航系统的振动问题。

3.2 偏航过程中的动态载荷

偏航系统是风电机组调整方向的关键部件,其在偏航过程中会受到多种动态载荷的影响。(1) 阵风、湍流等自然因素对偏航系统产生的冲击:阵风和湍流是风力发电过程中常见的自然现象。它们会导致风电机组受到瞬时的、不规则的风力冲击,从而引发偏航系统的振动。这种振动不仅会影响偏航系统的精度和稳定性,还可能对偏航轴承、偏航驱动等部件造成损伤。(2) 偏航制动时外载荷对齿轮和轴承的冲击:偏航制动是偏航系统调整方向的重要过程。在制动过程中,偏航系统需要承受来自风轮的外载荷。如果制动时机不准确或制动力过大,会对齿轮和轴承产生冲击,引发振动。这种振动不仅会影响偏航系统的寿命,还可能对风电机组的整体结构造成损害^[2]。

3.3 控制策略与系统设计缺陷

控制策略和系统设计是影响偏航系统振动的重要因素。(1) 控制系统在启停过程中未能有效避开大部件固有频率:在启停过程中,控制系统的控制策略如果不能充分考虑大部件(如齿轮箱、主轴等)的固有频率,可能会导致系统在这些频率附近运行,从而引发共振现象。这种共振不仅会导致振动增加,还可能对偏航系统造成损害。(2) 系统设计缺陷导致的振动问题:系统设计缺陷是导致偏航系统振动问题的另一个重要原因。例如,偏航轴承的选型不当、偏航驱动的布局不合理等都可能对偏航系统在运行过程中产生异常振动。这些振动不仅会影响偏航系统的精度和稳定性,还可能对整个风电机组的性能产生负面影响。

3.4 偏航滑动衬垫与齿圈摩擦振动

偏航滑动衬垫与齿圈的摩擦是偏航系统振动的重要来源之一。(1) 滑动衬垫材料性能、润滑状态对振动的影响:滑动衬垫的材料性能和润滑状态直接影响其与齿圈之间的摩擦系数和摩擦阻力。如果滑动衬垫材料过硬或润滑不良,会导致摩擦阻力增加,从而引发振动。此外,滑动衬垫的磨损和变形也可能导致摩擦阻力的变化,进而引发振动^[3]。(2) “爬行”现象及其引起的振动和噪音:“爬行”是滑动摩擦中的一种不稳定现象,表现为滑动速度的波动和振动。在偏航系统中,如果滑动衬垫与齿圈之间的摩擦系数不稳定或润滑不良,可能会引发“爬行”现象。这种现象不仅会导致偏航系统的振动和噪音增加,还可能对偏航轴承和齿圈造成损伤。

4 风电机组偏航系统异响和振动的解决方案与改进措施

4.1 结构设计改进

(1) 分体式偏航刹车盘设计与提高刹车盘刚度。传

统的偏航刹车盘往往采用整体式设计,这种设计在长期使用中容易因温度变化和机械应力导致变形,从而引发异响和振动。为了解决这一问题,可以引入分体式偏航刹车盘设计。该设计将刹车盘分解为多个独立的部分,通过螺栓或其他连接件进行组合,从而提高了刹车盘的刚度和稳定性。同时,在刹车盘材料的选择和热处理工艺上也可以进行优化,进一步增强其抗变形能力。(2)偏航轴承和驱动齿轮的设计优化。偏航轴承和驱动齿轮作为偏航系统的核心部件,其设计直接影响到系统的稳定性和寿命。为了减少异响和振动,需要对这两个部件进行优化设计。具体来说,可以采用高精度、高强度的轴承和齿轮材料,提高它们的耐磨性和抗疲劳性。此外,通过优化齿轮的啮合参数和轴承的预紧力,可以减少齿轮啮合过程中的冲击和振动,从而降低异响的产生。

4.2 材料选择与改进

(1)陶瓷纤维复合钢等新型材料的应用。在偏航系统的关键部件中,如刹车盘和轴承等,可以引入陶瓷纤维复合钢等新型材料。这些新型材料具有优异的耐磨性、抗腐蚀性和热稳定性,能够在极端条件下保持稳定的性能。同时,它们还具有较高的刚度和强度,可以有效减少因材料变形导致的异响和振动。(2)偏航滑动衬垫和刹车片材料的改进。偏航滑动衬垫和刹车片是偏航系统中与摩擦密切相关的部件。为了降低摩擦异响和振动,需要对这些部件的材料进行改进。具体来说,可以采用具有优良摩擦性能和耐磨性的材料,如高性能摩擦材料或碳纤维复合材料。这些材料在摩擦过程中能够保持稳定的摩擦系数和较低的磨损率,从而减少异响和振动的产生。

4.3 控制策略优化

(1)调整偏航制动压力和制动时间。合理的制动压力和制动时间是减少偏航系统异响和振动的关键因素。在制动过程中,如果压力过高或时间过长,会导致刹车盘与刹车钳之间的摩擦过于剧烈,从而引发异响和振动。因此,需要根据实际情况调整制动压力和制动时间,确保它们在合理的范围内,以减少摩擦异响和振动。(2)优化启停过程中的控制策略。在启停过程中,偏航系统容易受到外部载荷和内部振动的影响,从而产生共振现象。为了避免这种情况的发生,可以优化启停

过程中的控制策略。具体来说,可以采用软启动和软停机技术,通过逐步增加或减少偏航系统的转速来减少启停过程中的冲击和振动。同时,还可以根据机组运行状态和外部环境条件实时调整控制策略,以确保偏航系统的稳定运行。

4.4 润滑与维护

(1)定期添加润滑脂。良好的润滑是减少偏航系统摩擦和振动的重要手段。为了确保滑动衬垫和齿面等部件的良好润滑状态,需要定期添加适量的润滑脂。在选择润滑脂时,需要考虑其黏度、极压性和抗磨性等性能,以确保其能够满足偏航系统的运行要求。同时,还需要根据运行环境和机组运行状态定期检查和更换润滑脂,以保持其良好的润滑效果。(2)加强日常维护。日常维护是发现和解决偏航系统异响和振动问题的重要途径。通过定期检查偏航系统的各个部件,如刹车盘、轴承、齿轮等,可以及时发现并处理异常问题。同时,还需要对机组进行定期清洗和保养,以确保其处于良好的运行状态。在维护过程中,需要关注部件的磨损情况、润滑状态以及紧固件的松动情况等,及时进行处理和更换,以避免问题的进一步恶化。

结束语

综上所述,风电机组偏航系统的异响和振动问题涉及多个方面,包括机械部件的摩擦与啮合、传动链的振动、动态载荷的影响以及控制策略与系统设计等。通过细致的分析和研究,我们能够更好地理解这些问题的产生机理,并据此提出相应的改进措施。未来,随着技术的不断进步和经验的积累,我们有理由相信,风电机组偏航系统的异响和振动问题将得到更有效的解决,从而进一步提升风力发电的效率和可靠性,为可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]徐昆.风电机组偏航误差产生机理及调整策略研究[J].太阳能,2022,(06):57-58.
- [2]高俊云.一种风电机组偏航振动故障的诊断与分析[J].机械工程与自动化,2022,(12):138-139.
- [3]毛江,蔡义钧,张斯翔,等.湍流风况下的风电机组偏航控制系统[J].机械工程与自动化,2022,(15):176-177.