

风电机组齿轮箱常见故障及防护措施

刘海亮

中车福伊特传动技术(北京)有限公司 北京 102202

摘要: 风电机组齿轮箱运行中易出现多种故障。本文详细阐述齿轮、轴承、轴系、润滑系统等典型故障的现场识别特征、成因,提出售后防护实操措施,包括现场故障修复、运行参数调整、部件升级适配等。同时介绍售后监测与预警实施方法以及售后维护保养执行规范,为保障风电机组齿轮箱稳定运行、降低故障发生率、延长设备使用寿命提供全面指导。

关键词: 风电机组; 齿轮箱; 故障识别; 防护措施; 维护保养

引言: 风电机组作为可再生能源利用的关键设备,其稳定运行至关重要。齿轮箱作为风电机组传动系统的核心部件,承担着传递动力、改变转速的重要任务。由于风电机组运行环境复杂、载荷多变,齿轮箱在运行过程中容易出现各种故障,影响风电机组的发电效率和可靠性。深入分析齿轮箱常见故障并采取有效的防护措施,成为保障风电机组安全稳定运行的关键环节。

1 典型故障现场识别与成因分析

1.1 齿轮故障

齿面磨损的外观判定特征体现为齿面出现均匀或不均匀的材料损耗痕迹,光滑表面变得粗糙,局部区域可能存在金属剥落的微小颗粒。齿顶和齿根过渡处磨损往往更为明显,齿侧接触面上可见沿滑动方向的划痕,磨损严重时齿厚会逐渐减薄,齿形精度下降^[1]。齿根裂纹的检测切入点应从齿根圆角处开始,该部位是应力集中区域,裂纹多起源于此。可通过观察齿根表面是否存在细微的线性痕迹,在光线斜射条件下,这类痕迹会呈现出与周围表面不同的反光特性,裂纹延伸方向多与齿根切线成一定角度。齿面胶合的现场识别方法是观察齿面是否出现局部熔融粘连的痕迹,胶合区域会呈现出金属流动的形态,表面光泽消失,形成粗糙的粘结斑块,且这类损伤常伴随齿面材料的转移,在配对齿轮的齿面上可能出现对应的粘着痕迹。

1.2 轴承故障

滚动体疲劳剥落的直观表现为滚动体表面出现分散或集中的金属剥落坑,剥落区域边缘较为锋利,表面呈现出粗糙的麻点状,随着剥落程度加剧,剥落坑会逐渐扩大并相互连接,形成较大面积的损伤区域。保持架损坏的关联部件影响涉及滚动体和套圈,保持架变形或断裂后,滚动体的运动轨迹会发生偏移,导致与套圈滚道的接触位置异常,进而造成套圈滚道出现不均匀磨损,

滚动体之间可能发生相互碰撞,引发额外的机械损伤。轴承游隙异常的测量方式需在拆卸状态下进行,将轴承平放,通过塞尺插入滚动体与套圈之间的间隙,沿圆周方向多点测量,根据测量工具的插入深度判断游隙是否超出正常范围,装配状态下可通过检测轴承径向或轴向的活动量来间接评估游隙状况。

1.3 轴系故障

轴颈磨损与装配偏差的关系密切,装配时轴颈与配合件的中心不重合会导致局部接触应力增大,使轴颈表面材料在长期运转中逐渐磨损,装配偏差越大,轴颈磨损的不均匀性越显著,磨损部位多集中在与配合件接触压力较大的区域。轴弯曲变形的运行表现为旋转时出现周期性的振动,振幅随转速变化而改变,在径向方向会产生明显的跳动,与轴连接的部件会出现异常的声响,传动精度下降,弯曲程度较小时,振动频率与转速呈现特定的关联。键连接失效的连带故障包括键本身的变形或断裂,键槽会出现磨损或变形,轴与轮毂之间的相对转动导致传动失效,进而引发相连部件的异常受力,可能造成轴颈磨损加剧或轮毂内孔出现椭圆化变形,影响整个传动系统的稳定性。

1.4 润滑系统故障

润滑油污染的现场鉴别可通过观察润滑油的颜色和透明度,纯净润滑油的色泽会发生改变,出现浑浊现象,静置后底部可能沉淀出固体颗粒或絮状杂质,触摸时能感觉到油液中存在细微的颗粒感,粘性也会出现异常变化。供油不足的系统排查步骤应先检查油箱液位,随后查看输油管道是否存在堵塞,管道连接处是否有泄漏痕迹,接着检查油泵工作状态,观察泵体是否有异常声响,再检查过滤器是否堵塞,最后查看油路分配阀的工作位置是否正确。油温异常的关联部件检查需从冷却系统入手,查看冷却器是否堵塞,冷却介质流通是否顺

畅,再检查润滑系统中的泵体和阀门,判断是否存在异常摩擦,同时检查与润滑油接触的密封件,查看是否有老化损坏导致的热量异常积聚。

2 售后防护实操措施

2.1 现场故障修复规范

齿轮损伤的应急处理工艺需先清理损伤部位残留的金属碎屑,用细砂纸对磨损或胶合区域进行打磨,去除尖锐边缘,再涂抹耐磨修复剂,确保修复剂与齿面充分结合,静置至完全固化后,用专用工具修整齿形,恢复基本啮合精度^[2]。轴承更换的装配精度控制要求清洁轴颈和轴承座孔,检查配合表面是否存在划痕或锈蚀,涂抹薄层润滑油后,采用压入法或热装法安装轴承,避免直接敲击轴承外圈,装配后需检查轴承端面与轴肩的贴合程度,确保无间隙存在。润滑系统污染的清理流程应先排空系统内所有污染的润滑油,拆卸过滤器和油管,用专用清洗剂冲洗油箱和管路,去除内壁附着的杂质,更换滤芯和密封件,重新注入新油前,需检查油路是否通畅,确保无残留污染物。

2.2 运行参数调整建议

启动阶段的载荷控制要点是逐步提升负载,避免瞬间施加额定载荷,启动初期保持低速运转,待各部件充分润滑后,再缓慢提高转速,观察设备运行状态,若出现异常振动或声响,需降低载荷并排查原因。停机过程的齿轮箱保护操作需先降低转速至怠速状态,维持短时间运行,使齿轮箱内部温度均匀下降,再切断动力源,停机后检查齿轮箱是否有渗漏,若环境温度较低,需排放积水,防止内部部件锈蚀。极端天气后的参数校验标准需检查设备各部位连接是否松动,测量运行时的振动频率和温度变化,对比正常状态下的参数差异,调整传动间隙和张紧度,确保设备在标准范围内运行,避免因环境变化导致参数偏移。

2.3 部件升级适配方案

易损件的替代选型原则应优先考虑与原部件相同的材质和结构,若需更换类型,需保证安装尺寸和承载能力匹配,替代件的耐磨性和抗疲劳性能不应低于原部件,同时需适应设备的工作环境和运行条件。密封结构的现场改进方法可采用组合密封形式,在原有密封件基础上增加挡圈或防尘唇,调整密封件压缩量,确保与配合表面紧密贴合,在密封槽内涂抹密封胶,增强密封效果,防止润滑油泄漏或外部杂质侵入。润滑管路的优化布置方式需避免管路出现锐角弯曲,减少油流阻力,管路走向应远离高温区域,固定点间距合理分布,防止振动导致管路磨损,在关键部位增设观察窗,便于直观检

查油液流动状态,确保润滑点供油稳定。

3 售后监测与预警实施

3.1 现场检测工具的校准与维护

振动检测仪的探头校准步骤需按规程操作。先将探头固定在标准振动台上,接通检测仪电源预热至稳定状态^[3]。调整振动台输出特定频率的振动信号,对比检测仪显示数值与标准值的偏差。若存在偏差,通过检测仪校准按钮逐步修正,直至显示数值与标准信号一致。校准完成后,用专用保护套覆盖探头,避免碰撞影响校准精度。测温设备的环境补偿方法需结合使用场景。在高温环境下,先将测温设备置于现场环境中静置一段时间,使其适应环境温度。测量时远离热源直射区域,若无法避免,可在设备与热源间加装隔热挡板。低温环境下,确保设备电池电量充足,防止低温导致测量精度下降,必要时对设备进行保温处理,减少环境温度对测量结果的干扰。油液分析工具的清洁保养要细致全面。每次使用后,立即用专用溶剂冲洗工具内部通道,去除残留油液和杂质。擦拭工具表面时使用柔软布料,避免刮伤光学部件。存放前检查工具各部件连接是否紧密,活动部位涂抹少量防锈油,放置在干燥通风的专用工具箱内,防止受潮或沾染灰尘。

3.2 现场快速检测技术

振动异常的简易判断方法可结合感官与工具。用手触摸齿轮箱不同部位外壳,感受振动强弱和均匀性,正常运行时振动应平稳无明显冲击感。使用便携式振动检测仪贴靠轴承座等关键部位,记录数值并对不同位置差异,若某一部位数值显著高于其他部位,可能存在内部部件异常。借助听声棒监听运转声音,连续均匀为正常,断续或周期性异响往往提示振动异常。温度监测点的合理选取需覆盖关键部件。轴承座是核心监测点,温度能直接反映轴承运行状态。齿轮啮合区域对应的箱体外部也应设监测点,通过箱体温度间接判断齿轮摩擦情况。润滑系统进油口和回油口需分别监测,两者温差若超出正常范围,可能提示油路循环有问题。监测点应避免阳光直射和散热装置,确保测量结果真实反映部件温度。油液状态的现场快速检测可通过外观和触感判断。取少量油液滴在干净滤纸上,观察扩散形态,正常油液扩散均匀,无明显杂质沉淀;若中心有深色沉淀或边缘有乳化痕迹,说明油液已受污染。用手指蘸取油液揉搓,感受粘度和质感,正常油液有一定粘稠度且无颗粒感,粘度异常或有砂粒感时,需进一步检查油液品质。

3.3 故障预警响应流程

异常信号的初步判定标准需综合多方面信息。振动

数值超出日常运行的正常范围,伴随温度同步上升,可判定为需要关注的异常信号。油液检测显示污染迹象,设备运行声音出现异常,应列为可疑故障信号。单一指标出现轻微异常无其他伴随症状时,可暂列为观察对象,持续监测其变化趋势,避免误判或漏判。售后干预的优先级划分需依据影响程度。可能导致设备停机或存在安全隐患的异常信号,列为最高优先级,需立即安排人员赶赴现场处理。影响设备使用寿命但短期内不影响正常运行的异常,列为中优先级,制定计划在近期维护时解决。轻微异常且变化缓慢的情况,列为低优先级,纳入常规监测范围,定期跟踪即可。临时防护措施的实施步骤需快速且有效。针对振动异常,可先降低设备的运行载荷,减少冲击作用,为后续的详细检测争取时间。温度异常时,检查冷却系统是否正常工作,清理散热器表面的灰尘或增加临时散热装置,将温度控制在安全范围内。油液出现轻微污染时,及时更换滤芯并补充新油液,维持基本润滑功能,防止污染进一步加剧。临时措施实施后,需加强监测频率,确保设备状态稳定直至彻底修复。

4 售后维护保养执行规范

4.1 定期检修项目现场实施

润滑油更换的现场操作要点需注重流程严谨。先停机等待齿轮箱温度降至安全范围,再打开放油阀排空旧油,确保油液完全流出。拆卸放油螺栓时清理周围杂质,避免落入油箱。添加新油时使用专用注油设备,沿油箱壁缓慢注入,防止产生气泡。注油至规定液位后,启动齿轮箱空转一段时间,使油液充分循环,再检查液位并补充至标准位置^[4]。部件间隙调整的实操标准需结合部件特性。调整齿轮啮合间隙时,转动齿轮使啮合部位处于中间位置,用塞尺测量齿侧间隙,通过调整轴承位置或垫片厚度实现合理间隙。轴承间隙调整需根据轴承类型进行,滚动轴承通过端盖垫片控制,滑动轴承则需刮研轴瓦确保间隙均匀。调整后手动转动部件,感受无卡滞且转动顺畅,确认间隙符合运行要求。密封件更换的密封性能保障依赖安装细节。拆卸旧密封件时清理密封槽,去除残留胶层和杂质,检查槽体是否有划痕或变形。新密封件安装前涂抹适配的润滑脂,按正确方向嵌入密封槽,确保无扭曲或拉伸。安装密封件对应的部件

时,均匀紧固连接螺栓,避免局部受力过大导致密封件变形,安装后检查是否有渗漏迹象。

4.2 针对性保养方案

对于在风机中可拆卸的齿轮(例如高速齿轮轴)可视情况进行现场保养。拆卸前需记录齿轮安装位置与朝向,标记啮合齿的相对位置,避免回装时出现错位。用支架固定齿轮轴两端,防止拆卸过程中因重力产生变形,同时覆盖防尘布隔绝现场灰尘。若齿轮表面存在顽固油垢,可先用软毛刷蘸取清洗剂反复擦拭,再用干布吸干残留液体。拆卸后检查轴径与轴承配合处的磨损状况,测量间隙是否在允许范围,确保现场保养不影响齿轮的装配精度。齿轮啮合面的现场养护操作需兼顾清洁与保护。用专用清洗剂擦拭齿面,去除油污和金属碎屑,注意沿齿向擦拭避免划伤齿面。清洁后检查啮合面磨损情况,对轻微划痕用细研磨膏轻轻打磨。润滑系统清洁的现场流程需全面彻底。拆卸过滤器和滤网,用清洗剂冲洗去除附着杂质,检查滤芯是否完好,必要时更换新滤芯。用清洗剂冲洗油箱内部,重点清理角落和油道入口处的沉积物,冲洗后用布擦干残留液体。组装前检查各部件清洁度,确保无杂质残留后重新安装,组装完成后注入少量新油冲洗系统,再排空后正式注油。

结束语

风电机组齿轮箱的常见故障涉及多个部件与系统,成因复杂多样。通过详细剖析故障特征与成因,并针对性地提出售后防护实操措施、监测预警方法以及维护保养规范,可有效提升齿轮箱运行的稳定性与可靠性。在实际应用中,需严格按照规范执行各项操作,持续优化维护策略,以适应不断变化的运行环境,保障风电机组长期稳定发电,推动风电行业健康发展。

参考文献

- [1]郭阿童.风电机组齿轮箱常见故障及防护措施[J].仪器仪表用户,2023,30(10):92-94,84.
- [2]谭霖,张欣,陈仕祥.风电场风力发电机组运行故障及维护策略研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(9):108-110.
- [3]石良策,康纪黎,冯大为.风力发电机组齿轮箱故障分析及处理[J].水电站机电技术,2024,47(6):101-103.
- [4]潘帅.风电机组运行状态监测与故障诊断技术研究[J].汽车博览,2024(7):70-72.