

机电一体化设备机械传动系统故障诊断与优化研究

作者：刘爱学

单位：昆明德亿机床设备制造有限公司

摘要：机械传动系统是机电一体化设备动力传输与运动执行的核心载体，运行稳定性直接决定设备加工精度与生产效率。工业复杂工况下，传动系统长期承受交变载荷、摩擦损耗与环境干扰，易出现齿轮磨损、轴承失效、轴系偏移等故障，引发设备振动超标、精度下降、停机停产等问题。本文梳理机电一体化设备传动系统常见故障类型，剖析故障产生机理，总结精准高效的故障诊断技术，结合工程实际提出系统优化与运维改进策略，可有效提升传动系统运行可靠性，为机电设备稳定运维与提质增效提供技术支撑。

关键词：机电一体化设备；机械传动系统；故障诊断；故障机理；系统优化

一、引言

机电一体化设备融合多领域技术，广泛应用于工业自动化、精密加工生产线。机械传动系统承担动力传递、转速调节的核心功能，是设备稳定运行的基础。设备长期高速重载运行，易出现部件磨损、装配偏差、润滑失效等故障，传统人工排查、事后维修模式效率偏低，无法适配现代工业运维需求。开展传动系统故障诊断与结构优化，是保障设备长效稳定运行、提升生产效率的重要举措。

二、机电一体化设备传动系统常见故障类型及特征

（一）齿轮传动故障

齿轮是传动系统核心啮合部件，长期运行易出现齿面磨损、点蚀剥落、胶合及齿根疲劳断裂等故障。齿面磨损会增大齿轮啮合间隙，引发设备周期性振动异响，降低传动精度；润滑不足、过载运行造成的点蚀与胶合，会破坏啮合结构，导致传动卡顿、动力不稳；严重齿根疲劳裂纹扩展会引发齿轮断裂，造成设备突发停机，其振动幅值异常、噪声杂乱的特征可作为故障识别依据。

（二）轴承运行故障

滚动轴承是轴系支撑关键部件，长期承受交变载荷，易出现滚道剥落、磨损锈蚀、保持架损坏等故障。轻微损伤会造成设备温升异常、微弱振动，随着故障加剧，振动频率稳定升高、运行噪声显著增大。若未及时处理，会出现轴承卡滞、转动受阻，引发转速波动、传动卡顿，严重时造成轴系抱死停机，是机电一体化设备的高发故障点位。

（三）轴系与连接件故障

传动主轴、联轴器、键连接等部件常见故障为轴系不对中、主轴弯曲、连接件松动磨损。设备装配偏差、长期重载冲击、设备基础变形，都会造成轴系同轴度偏移，运行时产生偏心振动，加剧齿轮、轴承的附加磨损。联轴器与键连接松动会导致传动扭矩不均，出现启停冲击、运动滞后问题，直接影响设备加工精度与运行平稳性。

（四）润滑与装配故障

润滑失效、装配不规范是传动系统故障的重要诱因。油脂变质、加注不足、油品选型不当，会大幅增加部件摩擦阻力，加速磨损并引发设备异常温升。同时，部件安装错位、紧固力矩不达标等装配问题，会改变系统原有受力状态，产生应力集中与附加载荷，提升故障概率，缩短传动系统服役寿命。

三、传动系统故障产生核心机理

（一）力学载荷交变疲劳损伤

设备运行中，传动部件长期承受交变载荷与冲击载荷，持续受力会造成金属材料疲劳累积，表层微观裂纹不断扩展，最终形成磨损、剥落、断裂等宏观故障。疲劳损伤具备渐进、不可逆特点，高频启停、重载工况会加速损伤进程，是传动系统长期运行失效的核心因素。

（二）摩擦磨损与润滑失效耦合作用

机械传动运行过程中摩擦损耗无法避免，规范的润滑体系可形成防护油膜，隔绝金属接触、降低磨损。润滑失效后，部件直接干摩擦运转，会快速造成接触

面磨损、设备温升异常，引发部件热变形。形变会进一步加剧传动偏差，恶化设备运行工况，形成磨损、升温、形变的恶性循环，加速传动系统故障失效。

（三）装配误差与动态运行偏差叠加

设备装配、检修产生的微小精度偏差，会在高速重载运行中持续放大。同轴度误差、啮合间隙偏差会转化为周期性振动与附加载荷，持续损耗部件性能。偏差不断累积会造成系统运行状态持续劣化，最终诱发各类结构性故障，影响设备稳定运行。

四、传动系统精准故障诊断技术

（一）振动信号检测诊断技术

振动检测是机械传动故障主流且精准的无损诊断方式，不同故障具备专属的振动频率与幅值特征。齿轮啮合故障多表现为高频周期性振动，轴承损伤对应固定特征频率振动，轴系不对中以低频振动为主。通过专业设备采集振动信号并开展频谱分析，可精准定位故障位置、判断故障严重程度，实现故障早期预判，无需拆机即可完成检测。

（二）温度与噪声监测诊断技术

传动部件卡滞、磨损故障会伴随摩擦热量激增，利用红外测温设备监测齿轮箱、轴承温度，可快速识别异常工况。不同故障对应的运行噪声特征差异显著，磨损故障噪声杂乱，部件断裂故障噪声尖锐。结合噪声频谱分析可辅助判定故障类型，实现多维度、高精度的故障诊断。

（三）油液分析诊断技术

针对闭式齿轮箱与轴承润滑系统，检测润滑油金属磨粒含量、粘度及污染程度，可精准判定内部部件磨损状态。油品杂质增多、磨粒浓度上升，直观体现部件磨损加剧，能够有效识别早期隐性故障，为设备预防性检修提供可靠数据支撑。

五、机械传动系统优化改进策略

（一）结构优化，提升传动稳定性

优化传动系统结构布局，合理匹配齿轮模数与传动比，改善部件受力状态，有效降低应力集中问题。选用高强度、耐磨合金材质制作传动部件，提升结构抗疲劳、耐磨损性能。优化轴系支撑结构，增设辅助定位装置，严格控制轴系同轴度偏差，从结构层面抑制运行振动与偏移缺陷，全面提升传动系统的运行平稳性与精度稳定性。

（二）规范润滑体系，减少基础损耗

建立标准化润滑管理制度，结合设备工况与环境条件选用适配润滑油脂，定期完成换油、油路清洗与油位校核。采用自动润滑设备替代人工加注，保证润滑持续均匀，稳定形成防护油膜，降低部件摩擦损耗，从源头减少磨损类故障发生。

（三）优化装配工艺，严控安装精度

统一设备装配与检修工艺标准，利用精密仪器校核轴系同轴度、齿轮间隙、螺栓紧固力矩，杜绝人为装配误差。检修完成后通过空载、负载试运行校验设备运行参数，确保装配精度达标，规避偏差累积引发的次生故障。

（四）建立预测性运维体系

依托振动、温度、油液在线监测技术搭建状态监测平台，实时采集设备运行数据，研判部件劣化规律。摒弃传统被动维修模式，推行预测性运维，依据设备运行状态制定精准检修方案，及时处理隐性故障，有效降低设备故障率与生产停机损失。

六、结论

机电一体化设备机械传动系统主要故障为齿轮磨损、轴承失效、轴系偏移及润滑失效，多由疲劳损伤、摩擦损耗、装配偏差耦合引发。依托振动检测、油液分析、温噪监测等技术，可精准预判早期隐性故障。通过优化传动结构、规范润滑体系、严控装配精度、搭建智能运维体系，可有效提升传动系统稳定性与使用寿命，降低设备故障率，保障机电设备持续高效运行，满足工业自动化生产需求。

参考文献

- [1]李洪泽. 机电一体化工程机械传动链故障诊断与改进[J]. 现代工程技术与管理, 2025, 1 (04): 136-140.
- [2]王健,刘思远. 机械传动系统振动故障特征提取与诊断技术研究[J]. 机械传动, 2024, 48 (09): 112-117.
- [3]张磊,陈阳. 机电一体化设备轴承故障机理与优化维护策略[J]. 设备管理与维修, 2025 (06): 78-81.
- [4]赵文峰. 智能制造设备机械传动系统结构优化设计研究[J]. 机械设计与制造, 2024 (12): 203-206.
- [5]孙凯. 基于状态监测的机电设备预测性运维技术应用[J]. 工程机械与维修, 2025 (03): 92-95.