

挤压造粒机组主减速箱故障分析

苗伟 刘艳丽

陕西省榆林市陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司 陕西榆林 719000

摘 要: 在化工生产中, 挤压造粒机组作为关键设备之一, 其运行稳定性和可靠性直接关系到生产效率和产品质量。主减速箱作为挤压造粒机组的核心部件, 承担着传递动力、减速增扭的重要任务。然而, 在实际运行过程中, 主减速箱常常会出现各种故障, 影响机组的正常运行。本文详细分析了日本制钢挤压造粒机组主减速箱的常见故障类型、故障原因, 并提出了相应的故障诊断技术和维修对策。

关键词: 挤压造粒机组; 主减速箱; 故障分析; 故障诊断; 维修对策

挤压造粒机组是化工生产中的核心设备, 主要用于将物料进行挤压、混合和造粒, 其工作原理是通过螺杆的旋转运动将物料在筒体内进行剪切、压缩和输送。作为挤压造粒机组的关键传动部件, 主减速箱承担着将电机的高速运动转化为适合工艺要求的低速大扭矩输出的重要任务。它不仅确保了螺杆的稳定运转, 还直接影响着产品的质量和产量。在实际生产过程中, 由于主减速箱长期承受高负荷、高转速的工作条件, 加之工作环境复杂, 往往会出现各类故障。这些故障不仅影响设备的正常运行, 还可能导致生产效率下降和维护成本增加。因此, 深入研究主减速箱的故障特征、诊断方法和维修策略, 对提高设备可靠性和延长使用寿命具有重要的现实意义。

1. 挤压造粒机组主减速箱常见故障类型及原因分析

1.1 齿轮故障及原因分析

在挤压造粒机组主减速箱运行过程中, 齿轮故障是最为常见的问题之一。主要表现为齿面点蚀、齿轮断裂和齿面磨损等形式。齿面点蚀往往始于齿根部位, 随着运行时间的延长逐渐向齿顶扩展。这种损伤主要由于齿轮承受的冲击载荷过大, 加之润滑油膜厚度不足导致金属表面直接接触所致。齿轮断裂则多发生在齿根过渡圆角处, 通常是由于齿轮材料疲劳强度不足, 或者在加工过程中热处理工艺不当造成的。齿面磨损则与润滑条件和工作环境密切相关。如果润滑油中含有杂质颗粒, 或者润滑油压力不足, 都会加速齿面磨损。

1.2 轴承故障及原因分析

轴承作为主减速箱中承受径向力和轴向力的关键部件, 其故障形式十分复杂。最典型的问题包括轴承内圈和外圈的

剥落、滚动体的裂纹以及保持架的变形损坏。这些故障往往与轴承的安装和使用条件密切相关。例如, 安装过程中配合间隙选择不当会导致轴承过紧或过松。过紧的配合会使轴承温度异常升高, 加速润滑油的氧化变质。而过松的配合则会引起轴承打滑, 造成滚动体和滚道的不均匀磨损。另外, 如果主减速箱长期处于过载运行状态, 或者频繁启停, 都会加速轴承的疲劳损伤。

1.3 油封泄漏故障及原因分析

主减速箱油封泄漏不仅会造成润滑油的流失, 还会导致外部污染物的侵入, 严重影响设备的运行可靠性。油封泄漏通常发生在输入轴和输出轴的密封部位。这种故障的产生与多个因素有关。首先, 长期运行导致的油封材料老化和弹性下降是最基本的原因。其次, 轴的跳动和振动会加剧油封唇口的磨损, 特别是当轴的表面粗糙度不符合要求时, 这种磨损会更加严重。此外, 工作温度过高会导致油封材料的性能下降, 加速其失效。

1.4 箱体变形故障及原因分析

箱体变形是一种较为严重的故障, 它会直接影响齿轮的啮合状态和轴承的工作条件。主减速箱箱体变形主要表现为箱体开裂、支撑面不平 and 箱体扭曲等形式。这类故障的形成过程通常较为缓慢, 但一旦发生则后果严重。变形的主要原因包括基础安装不当, 导致箱体受力不均匀。特别是在地基沉降不均匀的情况下, 箱体会产生额外的应力集中。另外, 由于主减速箱在运行过程中会产生较大的振动和热量, 如果箱体材料选择不当或者壁厚设计不合理, 也容易导致箱体局部变形。在某些情况下, 频繁的过载运行和剧烈的温度变化

也会加速箱体的疲劳损伤，最终导致变形或开裂。

2. 挤压造粒机组主减速箱故障诊断技术

2.1 振动诊断技术

振动诊断技术是主减速箱故障诊断的基础手段，其核心原理是通过分析设备振动信号的时域特征和频域特征来识别潜在故障。在实际应用中，通常采用高精度压电式加速度传感器采集振动信号，并结合快速傅里叶变换（FFT）进行频谱分析。不同类型的故障会在特定频率上产生特征峰值，例如轴承故障通常表现为轴承各部件的特征频率，而齿轮故障则主要体现在啮合频率及其边带上。通过对振动信号进行包络解调分析，可以有效提取出调制信号中的故障特征。此外，现代振动诊断还常常结合小波分析和经验模态分解等先进信号处理方法，以提高对早期故障的诊断能力。在挤压造粒机组主减速箱的预测性维护中，振动诊断不仅能够及时发现故障，还能通过趋势分析预测设备的剩余使用寿命。

2.2 油液分析技术

油液分析技术通过对主减速箱润滑油的理化特性和磨粒特征进行系统分析，实现对设备健康状态的评估。现代油液分析采用铁谱分析、光谱分析和颗粒计数等多种手段相结合的方法。其中，铁谱分析主要关注磨粒的形态、尺寸和数量分布，不同的磨损类型会产生特征各异的磨粒。例如，黏着磨损产生的磨粒呈片状，而疲劳剥落产生的磨粒则呈块状。光谱分析能够定量检测出油液中各种金属元素的含量，通过监测这些元素含量的变化趋势，可以判断出不同部件的磨损状况。此外，油液分析还包括对油液本身性能的评估，如粘度、酸值、水分含量等指标，这些参数的异常变化往往预示着设备潜在的故障风险。通过建立完善的油液分析数据库，结合机器学习算法，可以实现对设备状态的精确评估和预测。

2.3 声发射诊断技术

声发射诊断技术利用材料在产生微观变形或损伤时释放的瞬态弹性波进行故障检测。这种技术的独特之处在于能够捕捉到材料损伤的动态过程。在主减速箱的诊断中，通常使用宽带压电传感器阵列来采集声发射信号。通过分析声发射信号的特征参数，如计数率、能量、幅值和持续时间等，可以识别出不同类型的损伤机理。例如，疲劳裂纹的扩展通常会产生持续性的声发射信号，而突发性的冲击则会产生瞬态的高能量声发射。现代声发射诊断系统还采用波形特征识

别和信号定位技术，能够实现对故障源的精确定位。通过对声发射信号进行模式识别和聚类分析，结合专家系统，可以建立起完整的故障诊断体系。这种技术对早期损伤特别敏感，能够在常规振动诊断发现问题之前预警潜在故障。

2.4 红外热成像技术

红外热成像技术基于物体表面温度分布的红外辐射特性进行故障诊断。现代红外热像仪能够实现微小温差（0.05℃）的检测，并提供高分辨率的热图像。在主减速箱诊断中，温度异常往往是机械故障的第一个表征。例如，轴承发生故障时，由于摩擦增加会在局部产生显著的温升。通过建立设备正常运行时的温度分布基准，采用温度梯度分析和热点追踪技术，可以及早发现潜在的故障部位。先进的红外诊断系统还结合了图像处理技术，能够实现自动温度异常检测和报警。此外，通过对温度场的动态监测和分析，结合热力学模型，可以评估设备的运行状态和能量损失情况。在预测性维护中，红外热成像技术因其直观性和可靠性，已成为不可或缺的诊断手段。

3. 挤压造粒机组主减速箱维修对策

3.1 齿轮故障维修对策

面对齿轮故障的维修，首先需要进行全面的损伤评估，确定故障的具体类型和程度。对于齿面点蚀问题，如果损伤面积小于齿面总面积的15%，可采用精密研磨方式进行修复，同时调整齿面接触斑点以优化载荷分布。当出现齿轮断裂时，必须立即更换新齿轮，并对断裂原因进行分析。在更换过程中，应特别注意新齿轮的材质选择，推荐采用经过真空渗碳处理的18CrNiMo7-6等高性能齿轮钢，以提高疲劳强度和耐磨性。安装时需采用激光对中技术确保齿轮轴线的同轴度，偏差应控制在0.02mm以内。对于齿面磨损问题，除更换齿轮外，还应优化润滑系统，可考虑增设在线润滑油过滤装置，并将过滤精度提升至10μm。同时，建议安装齿轮箱在线监测系统，实时监控齿轮的振动、温度和磨损状况，实现预测性维护。

3.2 轴承故障维修对策

轴承维修首先要根据损伤程度决定是修复还是更换。对于轻微的表面损伤，可通过精密研磨和抛光改善滚道表面质量。更换轴承时，应严格执行轴承安装的“三清一查”原则：清洁、清点、清查和检查。安装前需使用感应加热器将轴承加热至80-90℃，确保与轴的过盈配合。配合间隙的选

择尤为关键,对于高速重载工况,建议采用CN级间隙,并使用千分表检测实际安装间隙。为防止轴承早期失效,应改进润滑方式,可考虑采用油气润滑系统,既能确保充分润滑,又可降低功耗。同时,建议在轴承室安装测温传感器和振动传感器,通过在线监测系统及时发现异常。对于频繁出现轴承故障的部位,可考虑进行结构优化,如增加轴承预紧力或改善轴承座的刚性。

3.3 油封泄漏故障维修对策

油封泄漏是主减速箱最常见的故障之一,其维修需要从密封结构设计、材料选择和安装工艺等多个层面综合考虑。在更换油封时,首选氟橡胶(FKM)材质的高性能油封,其耐温范围可达 -40°C 至 240°C ,具有优异的耐油性和抗老化性能。特别要注意的是,油封的唇口结构设计应采用双唇式结构,内唇口负责密封油液,外唇口防止外部污染物侵入,两个唇口之间填充高温润滑脂 MoS_2 ,以提高密封可靠性。轴的表面处理尤为关键,应采用等离子喷涂碳化钨涂层,使表面硬度达到HRC60以上,同时通过精密研磨确保表面粗糙度 $Ra \leq 0.2\mu\text{m}$ 。安装过程必须使用专用液压工具,确保油封安装的同轴度误差控制在 0.02mm 以内。对于高速重载工况,建议在油封外侧设计复合式迷宫结构,包括三层迷宫环和两道甩油槽,形成气液分离区,有效防止油雾泄漏。同时,应在箱体上设置呼吸器和油位平衡装置,呼吸器需配备 $0.01\mu\text{m}$ 级的过滤芯,防止细小颗粒侵入。在维修完成后,必须进行严格的密封性能测试,包括静压试验(0.5MPa 持续24小时)和动态运行测试(额定转速运行48小时),确保无渗漏现象。

3.4 箱体变形故障维修对策

箱体变形问题的解决需要从结构应力分析、加工工艺和安装调试等方面系统施治。首先,利用三维激光扫描技术对箱体进行全方位测量,建立数字模型,结合有限元分析确定应力集中区域和变形趋势。对于局部变形区域,如果变形量在 $0.1\text{--}0.3\text{mm}$ 范围内,可采用定向焊接应力释放技术,通过控制焊接顺序和热输入量来矫正变形。当变形量超过 0.3mm 时,需要采用大型落地镗铣床进行整体加工。加工过程中,箱体装夹必须采用可调式浮动工装,确保加工过程中

不引入新的应力。对于箱体支撑面,采用超精密平面磨床加工,使其平面度控制在 0.02mm/m 以内,表面粗糙度达到 $Ra0.8\mu\text{m}$ 。基础安装是防止变形复发的关键,应采用预埋钢板和预应力锚栓结构,基础混凝土标号不低于C40,并进行振动时效处理。地脚螺栓采用分区域、分步骤紧固工艺,使用数显扭矩扳手确保预紧力均匀。为实现箱体应力的实时监控,在关键位置布置光纤光栅应变传感器阵列,构建应力监测网络。同时,设计可调式隔振支撑系统,包括金属弹簧和粘滞阻尼器的组合,能够有效吸收运行过程中的振动能量,防止共振导致的变形。在日常维护中,定期使用精密水平仪检查箱体的水平度,发现偏差及时进行楔铁调整,确保箱体始终处于理想的支撑状态。

结束语:

通过对挤压造粒机组主减速箱的故障分析和维修对策研究,不仅明确了各类故障的成因和特征,还提出了系统的诊断方法和维修策略。这些研究成果对提高设备可靠性、延长使用寿命和降低维护成本具有重要的指导意义,同时也为后续设备的优化设计提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 周新生,李家鹏.挤压造粒机齿轮减速箱振动诊断与精准检修[J].大众标准化,2024,(20):36-38.
- [2] 张宝祥.JSW _ CMP387 挤压造粒机运行优化探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(16):110-112.
- [3] 王聪.挤压造粒机平稳运行的影响因素研究[J].化工技术与开发,2023,52(11):90-91.

作者简介:

姓名:苗伟、刘艳丽

出生年:1987.08

性别:男

民族(汉族略):汉

籍贯(省、市/县):陕西省榆林市靖边县

学历:本科

目前职称:中级

所在单位:陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司

研究方向:化工生产