

常见机械传动机构故障诊断方法研究与实例分析

徐东亚，高冲

摘要：机械传动机构是工业设备的动力传递核心，齿轮传动、带传动、链传动、蜗杆传动等常见类型广泛应用于矿山、机床、工程机械等领域，其运行状态直接决定设备可靠性与生产连续性。此类机构长期承受载荷冲击、摩擦磨损及环境侵蚀，易出现齿面磨损、带打滑、链条疲劳、蜗杆胶合等故障，且故障早期隐蔽性强、识别难度大，易引发设备停机甚至安全事故。

关键词：机械传动机构；故障诊断；振动分析

1 常见机械传动机构故障特征分析

1.1 齿轮传动故障特征

齿轮传动是工业设备中应用最广泛的传动类型，核心故障集中于轮齿与轴承组件。常见故障包括齿面磨损、齿面点蚀、齿面胶合、轮齿折断及齿轮变形。齿面磨损多由润滑不良、异物侵入、载荷过大引发，表现为齿面材料流失、齿厚减小，啮合间隙增大，伴随振动幅值升高。齿面点蚀源于轮齿啮合时的周期性接触挤压，表现为齿面出现细微凹坑与疲劳裂纹，严重时导致齿面剥落。齿面胶合多发生在高速重载工况，因润滑油失效、齿面温度过高引发，表现为齿面金属粘连、剥离，伴随焦糊异味。轮齿折断多由疲劳载荷、冲击过载引发，表现为齿根出现贝壳状疲劳裂纹，最终发生断裂，导致传动中断。

1.2 带传动故障特征

带传动依靠带与带轮间的摩擦力传递动力，常见故障包括带断裂、带打滑、带轮磨损及带老化。带断裂多由带材老化、张紧度过大、超载运行引发，表现为传动带横向断裂，断口伴随老化裂纹。带打滑源于张紧度过小、带轮表面磨损、摩擦力不足，表现为带与带轮间出现尖叫异响，输出扭矩下降，传动效率降低。带轮磨损多由带材过硬、异物侵入引发，表现为带轮槽底变浅，带与带轮接触面积减小，加剧打滑现象。带老化由长期拉伸、弯曲及环境侵蚀引发，表现为带材变硬、开裂、脱层，承载能力显著下降。

1.3 链传动故障特征

链传动通过链条与链轮的啮合传递动力，常见故障包括链条磨损、链条断裂、链轮齿磨损及跳齿。链条磨损多由润滑不良、载荷过大、滚子挤压引发，表现为滚子直径减小、链条节距增大，传动精度下降。链条断裂源于疲劳载荷、冲击过载、材质缺陷，表现为链条纵向断裂，断口有明显疲劳纹路。链轮齿磨损由链条磨损、干摩擦引发，表现为链轮齿顶变尖，齿面出现划痕，易导致链条跳齿。跳齿多由链条节距增大、链轮磨损、张紧度过小引发，表现为传动不稳定，伴随撞击异响。

1.4 蜗杆传动故障特征

蜗杆传动用于实现大传动比与空间交错轴动力传递，常见故障包括蜗轮齿面磨损、蜗杆轴变形、齿面胶合及润滑失效。蜗轮齿面磨损多由润滑不良、蜗杆硬度不足引发，表现为齿面出现凹坑、划痕，齿厚减小，传动效率下降。蜗杆轴变形源于径向载荷过大、温度过高，表现为蜗杆轴径向跳动增大，啮合时出现冲击振动。齿面胶合与齿轮传动类似，多由高速重载、润滑油选型不当引发，表现为齿面粘连、金属剥离。润滑失效由润滑油油量不足、油质恶化引发，表现为啮合处温度急剧升高，伴随焦糊味，加剧磨损与胶合故障。

2 常见机械传动机构故障诊断方法研究

2.1 感官诊断方法

感官诊断是现场最常用的初级诊断方法，依靠运维人员的视、听、触、闻四种感官，结合经验判断故障类型与位置。视觉检查可观察传动部件的外观状态，识别齿面磨损、带开裂、链条变形等表面故障。听觉检查通过听诊器或设备壳体，识别异常异响，齿轮啮合异常多为咔咔声，带打滑为尖叫声，链传动跳齿为撞击声。触觉检查可感知设备振动与温度，振动剧烈、温度超标多表明存在磨损、胶合等故障。嗅觉检查可识别润滑失效、带打滑引发的焦糊味，判断故障严重程度。该方法操作简便、成本低廉，适用于现场快速排查，但诊断精度低、主观性强，难以识别早期隐蔽性故障，不适用于复杂传动系统。

2.2 振动分析诊断方法

振动分析是机械传动故障诊断的核心精准方法，通过振动传感器采集设备运行时的振动信号，提取信号特征参数，识别故障类型与严重程度。正常运行时，传动机构振动信号平稳，故障发生后，振动幅值、频率成分发生明显变化。齿轮故障会导致啮合频率及边带频率处峰值升高，轴承故障会出现特征频率峰值异常，链条磨损会导致振动幅值周期性波动。该方法诊断精度高、响应速度快，可实现早期故障预警与精准定位，适用于齿轮传动、蜗杆传动等高速重载传动机构，但对传感器安装位置、信号处理技术要求较高，易受环境干扰影响诊断结果。

2.3 油液分析诊断方法

油液分析通过采集传动系统润滑油样本，检测油液中磨粒的成分、尺寸、数量及油液理化指标，判断部件磨损状态与故障类型。铁谱分析可观察磨粒形状，片状磨粒表明轴承磨损，颗粒状磨粒表明齿轮磨损，块状磨粒表明严重断裂。光谱分析可检测油液中金属元素含量，铁含量升高表明齿轮、轴承磨损，铜含量升高表明蜗轮磨损。油液理化指标变化可判断润滑失效程度。该方法可实现磨损故障的早期识别，适用于封闭性传动系统，但分析周期较长，难以实现实时诊断，对分析设备与操作人员专业能力要求较高。

3.4 其他诊断方法

红外热成像诊断通过检测传动部件表面温度分布，识别故障部位，故障部位因摩擦、过载会出现明显温度异常，适用于轴承、带轮等部件的故障定位。超声检测利用超声波反射原理，检测齿轮、轴的内部裂纹，可发现表面看不到的早期隐蔽故障，但对检测角度与操作技能要求较高。各类诊断方法各有优劣，实际应用中需结合传动类型、工况条件，采用多方法融合诊断，提升诊断精度与可靠性。

3 故障诊断实例分析

3.1 齿轮传动故障诊断实例

某矿山破碎机齿轮箱采用斜齿轮传动，运行过程中出现振动加剧、啮合异

响，伴随齿轮箱温度升高，影响设备正常运行。采用振动分析与油液分析相结合的诊断方法，首先通过振动传感器采集齿轮箱振动信号，分析发现啮合频率及边带频率处峰值显著升高，判断存在轮齿磨损或裂纹故障。采集润滑油样本进行铁谱分析，发现大量颗粒状磨粒与少量块状磨粒，光谱分析显示铁元素含量显著超标，进一步确认轮齿存在严重磨损并伴随局部裂纹。拆解检查后，发现主动轮齿面严重磨损，齿根出现疲劳裂纹，与诊断结果一致。采用振动分析与油液分析融合诊断，精准定位故障部位与类型，指导维修人员更换受损齿轮，设备恢复正常运行，验证了融合诊断方法的精准性。

3.2 链传动故障诊断实例

某流水线输送设备采用滚子链传动，运行过程中出现传动不稳定、跳齿异响，输出转速波动较大，影响生产效率。采用感官诊断与振动分析相结合的方法，视觉检查发现链条滚子磨损严重，链轮齿顶变尖；听觉检查听到明显撞击异响，判断存在链条磨损与链轮齿磨损故障。通过振动传感器采集振动信号，分析发现振动幅值周期性波动，频率与链条节距频率一致，进一步确认故障类型。拆解检查后，发现链条节距增大超过允许范围，链轮齿面严重磨损，与诊断结果吻合。更换链条与链轮后，设备传动恢复稳定，验证了该诊断方法的实用性。

参考文献

[1]杨磊.基于信号分析的机械液压传动系统故障诊断方法[J].工程机械文摘,2023,(2):10-13.