

内燃机车走行部轴承故障诊断方法研究

李红锋

安阳钢铁股份有限公司 运输作业部机务作业区 河南 安阳 455000

摘要: 走行部轴承是保障内燃机车安全稳定运行的核心承重部件, 复杂多变的野外服役工况极易诱发各类结构损伤, 威胁机车运行安全。现有传统诊断技术抗干扰能力弱、识别精度有限, 难以适配复杂工况下的精细化故障研判需求。本文结合轴承结构特性与失效机理, 系统分析轴承故障振动信号的时域、频域特征, 梳理常规诊断技术的应用短板与工况适配难题, 从信号降噪、特征融合、技术优化多个角度, 完善适配复杂工况的轴承故障诊断优化思路, 有效提升机车轴承故障识别的精准性与稳定性。

关键词: 内燃机车; 走行部轴承; 故障机理; 信号特征; 故障诊断

引言: 轨道交通重载运输模式快速普及, 内燃机车作为线路运输的核心设备, 其运行稳定性直接关系轨道交通运输的安全性有序性。走行部轴承长期处于重载、冲击、交变载荷及复杂野外环境中, 结构损耗与故障发生率居高不下, 是机车运维管控的重点部位。传统故障诊断方式难以甄别微弱故障特征, 易出现故障漏判、误判等问题, 无法满足现代化机车精细化运维的发展需求。深入剖析轴承故障产生规律与信号特征, 优化现有诊断技术体系, 有效提升机车设备故障管控水平。

1 内燃机车走行部轴承基础理论与故障机理

1.1 走行部轴承基本结构与运行特性

内燃机车走行部轴承是保障机车轮对平稳运转的关键承载构件, 整体结构由滚动体、内外套圈、保持架及润滑结构共同组成^[1]。各结构部件相互配合, 承担机车运行过程中的径向载荷与轴向载荷, 支撑轮对完成持续转动作业。轴承整体采用高强度合金材质加工成型, 具备较强的刚度与耐磨性能, 适配轨道交通重载运转的基础需求。内部精密的组合结构可以降低机械摩擦损耗, 保障走行部传动系统运转平稳。轴承长期处于高速转动状态, 内部构件持续接触摩擦, 结构受力位置相对集中。精密的装配结构对运行环境、润滑状态、载荷稳定性有着较高要求, 工况环境出现波动, 会直接影响轴承整体运转状态与结构寿命。

1.2 走行部轴承复杂服役工况分析

内燃机车日常运行线路环境复杂多变, 走行部轴承始终处于动态多变的服役条件中。机车启停交替、变速运行、变载行驶等作业状态, 都会让轴承承受不稳定的交变载荷。线路颠簸、轨道接缝冲击会产生持续性机械振动, 持续传导至轴承内部结构, 造成内部构件反复挤压与摩擦。户外温差变化、雨雪侵蚀、粉尘侵入等外部

环境因素, 会持续作用于轴承表层与内部间隙, 改变润滑介质的物理状态。长期重载、冲击振动、环境侵蚀等多重条件叠加, 会持续损耗轴承结构性能。恶劣且多变的服役环境, 逐步加速构件老化进程, 让走行部轴承成为机车故障高发的核心部件之一。

1.3 轴承典型故障类型与失效机理分析

内燃机车走行部轴承在长期服役过程中, 会因力学损耗、环境侵蚀、润滑失效等多种因素诱发各类结构故障。常见故障包含表层磨损、疲劳剥落、滚道点蚀、保持架变形、润滑失效卡滞等多种形式。磨损问题源于内部构件长期接触摩擦, 会造成表层材料逐步损耗, 改变轴承原始配合精度。疲劳剥落与点蚀由反复交变载荷引发, 内部金属结构产生微观疲劳损伤, 逐步扩展为表层脱落与坑洼缺陷。保持架变形多来自冲击载荷与振动挤压, 破坏滚动体的均匀运转状态。润滑失效会加剧内部干摩擦作业, 提升构件温升速度, 诱发卡顿、过热等问题。各类故障的演化均遵循循序渐进的规律, 微观损伤持续积累, 最终引发轴承整体失效, 影响机车走行部运行稳定性。

2 内燃机车走行部轴承故障信号特征分析

2.1 轴承故障振动信号生成机制

内燃机车走行部轴承在健康工况下, 内部滚动体、滚道与保持架配合状态良好, 整体运转过程平稳顺畅, 接触面摩擦状态均匀稳定。设备运行产生的振动波形规整, 波动幅度维持在较低水平, 整体信号状态相对平稳。轴承长期承受交变载荷与路面冲击, 金属表面会逐步产生点蚀、剥落、磨损等各类损伤, 原有光滑完整的接触表面被破坏。轴承持续转动的过程中, 滚动体反复掠过损伤区域, 会产生周期性的机械冲击, 全新的振动激励由此产生^[2]。不同损伤形式、不同损伤程度会带来

不一样的冲击强度与振动规律,形成差异化的振动信号表现。机车走行部结构复杂,运行过程中会产生车体共振、轨道冲击、机械摩擦等多种基础振动干扰。各类背景振动会和轴承故障引发的振动相互叠加,让采集得到的原始信号包含大量环境噪声。故障引发的周期性冲击依然具备稳定的变化规律,能够作为判别轴承健康状态的核心依据。

2.2 轴承故障信号时域特征挖掘

时域分析依托原始振动波形开展特征提取,直接反映振动幅值随时间演变的变化规律,是轴承故障初步筛查的基础手段。健康轴承运行产生的时域波形起伏平缓,整体走势均匀规整,幅值波动范围相对稳定,不存在突兀的波形变化。轴承内部出现结构损伤后,周期性冲击会改变原有波形形态,平稳的曲线出现异常起伏,局部位置会生成明显的脉冲波形。损伤程度不断加深的过程中,脉冲出现频次持续增多,波形震荡幅度逐步增大,整体波动的无序性明显提升。轻微损伤只会造成零星的小幅波动,不容易被人工识别。重度损伤会形成连续密集的脉冲冲击,波形畸变特征十分突出。通过统计振动幅值、脉冲分布、波形平稳度等各类基础特征,能够精准捕捉轴承运行过程中的细微异常,完成故障问题的初步识别与等级区分。

2.3 轴承故障信号频域特征分析

时域波形只能呈现直观的表层波动状态,难以挖掘隐藏在杂乱波形内部的深层故障信息。频域分析通过信号转换手段,将时域振动信号拆解为不同频率的分量,梳理信号能量的分布规律,完成故障特征的深度挖掘。健康轴承的振动频率构成简单,能量集中在固定的低频区间,图谱中不会出现多余的异常峰值。轴承滚道、滚动体出现结构性损伤后,运转过程的周期性冲击会激发对应固定频率的振动分量。图谱会生成全新的特征峰值,原有能量分布格局被打破,伴随数量不等的谐波成分。磨损、点蚀、剥落等不同故障的振动激励频率存在差异,峰值位置、幅值大小、谐波分布形态均表现出独有特征。分析频域参数的变化规律,可以精准判别故障类型,分辨故障发展阶段,为走行部轴承故障精细化诊断、状态研判提供可靠的技术支撑。

3 内燃机车走行部轴承常规故障诊断技术分析

3.1 基于信号分析的传统诊断技术梳理

内燃机车走行部轴承运行状态判别高度依赖振动信号采集与解析,传统故障诊断体系以基础信号处理方法为核心,构建出较为成熟的现场检测框架。时域分析手段聚焦原始振动波形的动态变化,依托波形波动幅度、

脉冲分布密度、整体平稳程度等多项基础指标,判断轴承运转状态是否出现异常波动。这类手段操作流程简易,硬件投入成本低,现场落地门槛更低,能够满足日常巡检的初步排查需求。频域分析手段依托频谱变换原理完成信号解构,拆分复杂振动信号包含的各类频率成分,挖掘隐藏在杂乱波形内部的深层故障特征^[3]。工作人员通过辨识频谱峰值变化、能量分布偏移情况,初步判断轴承内部损伤的产生位置与大致损伤程度。多数传统诊断流程会搭配基础滤波、降噪处理方式,优化原始采集信号质量,削弱外界环境带来的信号失真问题。多种基础信号分析方式相互配合,构成轴承故障基础诊断体系,长期服务于机车走行部设备巡检,为日常运维管控提供稳定的技术支撑。

3.2 常规诊断技术的应用短板与局限

传统信号分析诊断技术具备操作简便、落地性强的优势,适配简单工况下的常规故障筛查,长期实践中也暴露出较为突出的技术短板。时域分析只能捕捉波形表层的直观异常变化,难以拆解信号内部的细微特征信息,对萌芽阶段的轻微损伤识别灵敏度偏低,很难实现早期故障预判。频域分析对稳态、规律性较强的振动信号适配效果更好,机车运行产生的振动多具备非平稳、非线性特征,大幅降低特征提取的精准度。传统技术抗干扰能力偏弱,现场采集的混杂信号会淹没微弱故障特征,造成故障漏判、错判问题。故障判别环节依托人工经验完成解读,人员专业储备、研判思路存在个体差异,会带入不可避免的主观误差。传统诊断模式仅可以完成故障是否存在的基础判定,无法精准区分故障类别、量化损伤程度,精细化水平难以匹配现阶段机车运维的高标准管控需求。

3.3 复杂工况下轴承诊断技术适配难题

内燃机车野外运行环境复杂多变,特殊工况条件会大幅提升轴承故障诊断的实施难度。机车重载运行、频繁启停、线路颠簸都会产生高强度背景振动,和轴承故障振动信号相互叠加,造成有效故障特征被大量噪声覆盖。不同运行速度、不同载荷状态下的轴承振动规律存在明显差异,固定的诊断判别标准难以适配动态变化的工况状态。线路温差、风沙粉尘等外界环境因素,会影响信号采集设备的工作精度,造成采集数据失真、特征偏移等问题。走行部整体结构紧凑,多部件联动振动特征交叉重叠,单一轴承的故障信号难以实现有效剥离。复杂工况带来的多重干扰,让常规诊断技术难以精准筛选有效故障信息,技术适配性不足的问题持续凸显,制约轴承故障精准诊断与提前预警工作开展。

4 内燃机车走行部轴承故障诊断优化方法与应用思路

4.1 轴承故障信号降噪与特征提取优化方式

内燃机车走行部轴承采集的原始振动信号掺杂大量环境噪声与设备干扰信息,纯净度不足会直接影响故障特征提取的有效性,拖累整体诊断精准度。常规降噪手段处理模式较为单一,对复杂混杂信号的净化能力有限,微弱的早期故障信号容易在降噪环节被剔除。针对性优化降噪处理模式,可以结合机车工况信号的噪声分布规律,选用适配的分层降噪处理手段。区分背景噪声、设备共振干扰与真实故障信号的分布差异,逐层过滤无效干扰信息,保留低幅值、隐蔽性强的早期故障特征信号。特征提取环节可突破单一指标提取的局限,深度挖掘振动信号中隐藏的细微损伤信息。围绕时域、频域多维参数开展特征筛选,剔除重复性、无效性特征参数,留存辨识度更高、关联性更强的故障特征^[4]。优化后的处理流程可以改善传统方法特征提取片面、噪声抵抗能力薄弱的问题,提升故障信号的纯净度与特征利用率,为后续精准诊断筑牢数据基础。

4.2 多维度特征融合的故障诊断优化思路

单一维度的信号特征很难全面反映轴承的真实损伤状态,仅依靠时域或频域单一参数开展诊断分析,容易出现特征遗漏、判别偏差等问题。多维度特征融合模式可以整合不同分析维度的优势,弥补单一诊断视角存在的短板。该优化思路对时域统计特征、频域频谱特征进行统筹整合,搭建内容丰富、层次完整的故障特征数据集。梳理不同特征参数与各类轴承故障的对应关联关系,筛选出适配点蚀、剥落、磨损等不同损伤类型的核心特征组合。打破传统单一参数判别模式的局限性,依托多元特征的互补性优势,提升故障识别的全面性。融合后的特征体系可以精准区分相似故障的信号差异,弱化单一特征波动带来的误判问题,强化诊断体系的稳定性。通过完善特征融合逻辑,丰富故障识别依据,能够有效提升轴承故障分类识别的精准程度,强化诊断技术的实用性。

4.3 适配复杂工况的轴承诊断技术改进方向

内燃机车野外多变的运行工况,是限制传统诊断技

术落地效果的核心因素,技术改进需要围绕工况适配性开展深度优化。结合重载、变速、线路颠簸等典型复杂工况的信号干扰特点,调整诊断技术的适用逻辑,弱化工况波动对诊断结果的负面影响。摒弃固定单一的诊断判定标准,结合不同工况的振动信号变化规律,建立动态化的特征判别体系,适配机车运行状态的动态变化。针对多部件振动信号交叉叠加的问题,优化信号分离技术路径,实现单一轴承故障信号的有效剥离,降低结构耦合振动带来的干扰。结合野外温湿度变化、粉尘侵蚀等环境特点,优化信号采集设备的适配参数,提升数据采集的稳定性^[5]。持续打磨技术细节、完善工况适配逻辑,可以大幅提升诊断技术在复杂现场的落地能力,解决传统技术适配性差、准确率低的实际问题,推动轴承故障诊断工作向精细化、可靠化方向发展。

结束语

走行部轴承故障诊断是内燃机车运维管理的重要核心内容,复杂工况、信号干扰与技术短板,是影响轴承故障精准研判的主要因素。通过梳理轴承结构运行特性与各类失效机理,剖析不同维度故障信号特征,总结传统诊断技术的应用局限与工况适配难题,从信号处理、特征融合、技术改良层面完善诊断体系,可有效弥补常规诊断模式的不足。持续优化故障诊断技术路径,有效提升内燃机车走行部设备的运维质量,夯实轨道交通设备安全运行基础。

参考文献

- [1]李璐.基于深度学习技术的内燃机车发动机轴承故障诊断方法[J].今日制造与升级,2025(9):154-157.
- [2]孟泽宇.内燃机车主轴承失效故障分析及控制措施研究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(5):266-267,270.
- [3]谭小磊.内燃机车电机传动轴机械振动的原因和处理探讨[J].中国设备工程,2024(7):109-111.
- [4]朱高玲.基于振动信号的轴承智能诊断方法研究[J].机械工程学报,2025(2):62-70.
- [5]韩治国.多源信息融合在机车轴承智能诊断中的应用[J].工程科学与技术,2025(4):101-109.