

异构降凝段, 催化剂的配方影响异构选择性: 厂商3的催化剂在355℃即可将凝点降至-4℃, 液相总收率80.2%, 裂化产生生物石脑油收率小于1%; 厂商1、2需380~390℃才能达0℃凝点, 并伴随15%与4.6%的裂化反应产生生物石脑油。工业装置若采用厂商3的催化剂, 有助于降低能耗并提升生物柴油收率。

厂商1和2的脱氧催化剂直接脱氧选择性分别为63%、67.9%, 厂商3的直接脱氧选择性最高(79.8%)。直接脱氧选择性为95%时较传统柴油加氢精制催化剂可再提高1.76%生物柴油收率。综合考虑活性、选择性、凝点及液体收率, 推荐工业装置优先选用厂商3的脱氧和异构催化剂, 以实现高收率、低能耗的废弃油脂转化。

参考文献

- [1] International Energy Agency. Renewable Energy Market Update 2023[R]. Paris:IEA Publications,2023.
- [2] KULKARNI M G,DALAI A K.Waste cooking oil-an economical source for biodiesel:A review[J].Industrial & Engineering Chemistry Research,2006,45(9):2901-2913. DOI:10.1021/ie0510766.
- [3] 赵光辉,姜伟,金书含,等.废弃油脂的精炼及微量组分析[J].粮食与油脂,2019,32(5):76-78.
- [4] Li X, Zhang Q, Wang T. Hydrothermal deactivation of sulfided NiMo/ γ -Al₂O₃ during hydrodeoxygenation of waste oils: A review[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2023, 325: 122330. DOI:10.1016/j.apcatb.2022.122330.
- [5] ASTM D975-21 Standard Specification for Diesel Fuel Oils[S]. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.
- [6] 冯锡兰,柳云骐,陈为超,等.辛酸甘油酯催化加氢脱氧反应规律[J].中国石油大学学报(自然科学版),2009,33(5):144-147.
- [7] Kochetkova D,Blažek J,Šimáček P,et al.Influence of rapeseed oil hydrotreating on hydrogenation activity of CoMo catalyst[J]. Fuel Processing Technology,2016,142:319-325. DOI:10.1016/j.fuproc.2015.09.031.
- [8] Şenol O İ,Viljava T R,Krause A O I.Hydrodeoxygenation of aliphatic esters on sulphided NiMo/ γ -Al₂O₃ and CoMo/ γ -Al₂O₃ catalyst:the effect of water[J]. Catalysis Today,2005,106:186-189. DOI:10.1016/j.cattod.2005.07.155.
- [9] Mc Ardle S, Leahy J J,Curtin T, et al.Hydrogenation of sunflower oil over Pt-Ni bimetallic supported catalysts:Preparation, characterization and catalytic activity[J].Applied Catalysis A: General,2014,474:78-86.DOI:10.1016/j.apcata.2014.01.047.
- [10] Liu Y,Sotelo-Boyás R,Murata K, et al.Hydrotreatment of vegetable oils to produce bio-hydrogenated diesel and liquefied petroleum gas fuel over catalysts containing sulfided Ni-Mo and solid acids[J]. Energy & Fuels,2011,25: 4675-4685. DOI:10.1021/ef2008589.
- [11] Šimáček, P., Kochetkova, D., Blažek, J., & Štěpánek, L. (2023). Quantitative analysis of hydrodeoxygenation pathways of fatty acids over sulfided NiMo catalysts: Effect of metal-support interaction and hydrogen partial pressure. Fuel Processing Technology, 244, 107711.
- [12] 张超,聂红,高晓冬,等.棕榈油加氢脱氧反应的规律[J].石油学报(石油加工),2014,30(4):587-594. DOI:10.3969/j.issn.1001-8719.2014.04.003.
- [13] 李继涛,张晓燕,沈健,等.地沟油加氢脱氧制备第二代生物柴油技术[J].广州化工,2017,45(12):80-83.
- [14] 杨庆,林新祝.长链多不饱和脂肪酸对新生儿的影响研究进展[J].中国当代儿科杂志,2021,23(07):755-760.
- [15] 郑云武,王继大,李冬华,等.生物质催化转化制备生物基航空燃料的研究进展[J].林产化学与工业,2023,43(01):140-154. DOI:10.3969/j.issn.0253-2417.2023.01.016.
- [16] 苗彩霞,周桂林,焦昭杰,等.油酯加氢脱氧反应机理研究进展[J].石油学报(石油加工),2019,35(01):196-206. DOI:10.3969/j.issn.1001-8719.2019.01.025.
- [17] NB/T 10798-2021 烃基生物柴油[S]. 北京: 国家能源局, 2021.

Analysis and countermeasures of common faults of locomotive gear alarm and tread alarm

Dengsong Cheng

CRRC Lanzhou Locomotive Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730070, China

Abstract

The operational safety and reliability of locomotives are crucial to railway transportation efficiency. Gear transmission systems and wheel treads serve as key components for traction power and operational stability, making their condition monitoring and fault diagnosis particularly vital. This study focuses on a typical electric locomotive, analyzing alarm types, causes, and signal characteristics of gear and tread issues through monitoring data and case studies. Diagnostic and repair strategies are proposed using vibration spectrum analysis, oil fluid testing, and wheel-rail coupling simulation. Results indicate that gear alarms primarily stem from meshing damage, bearing wear, and lubrication failure, while tread alarms are mainly associated with wheelset imbalance, wear, and slip control failures. The developed “signal analysis—condition identification—dynamic repair” approach provides theoretical and practical support for intelligent locomotive maintenance.

Keywords

gear alarm; tread alarm; fault analysis; condition monitoring; maintenance strategy

机车齿轮报警、踏面报警常见故障分析及应对措施

程登松

中车兰州机车有限公司, 中国·甘肃 兰州 730070

摘要

机车运行安全与可靠性关系铁路运输效率。齿轮传动与车轮踏面是牵引动力与运行平稳的关键部件, 其状态监测与故障诊断尤为重要。本文以典型电力机车为对象, 结合监测数据与典型案例, 分析齿轮和踏面报警的主要类型、成因及信号特征, 并运用振动频谱、油液检测与轮轨耦合仿真等方法提出诊断与修复策略。结果表明, 齿轮报警多由啮合损伤、轴承磨损、润滑失效引起; 踏面报警主要与轮对不平衡、磨损及打滑控制故障有关。研究构建的“信号分析—状态识别—动态修复”路径为机车智能检修提供了理论与实践支撑。

关键词

齿轮报警; 踏面报警; 故障分析; 状态监测; 维修策略

1 引言

现代铁路运输对机车安全与稳定运行的要求日益提高。齿轮传动系统作为牵引电机与车轮之间的动力中枢, 其运行状态直接影响牵引效率与噪声水平。与此同时, 车轮踏面的磨损、剥落、偏磨等问题也在长期运行中不断累积, 成为机车振动、打滑与轮轨冲击的主要诱因。随着智能检测与车载监控系统的推广, 齿轮报警与踏面报警信息的自动采集与识别成为机车安全可靠运行的重要数据来源。然而, 在实际运用中, 报警信号往往受传感器噪声、信号耦合与环境干扰等因素影响, 易出现误报或漏报现象, 给检修工作带来一定困扰。本文结合现场监测数据与多台机车的运行记录, 从齿轮与踏面系统的结构特性出发, 分析报警信号背后的物理机理

与故障类型, 构建了面向齿轮啮合与轮轨接触的状态评估模型。研究旨在为机务系统提供可量化、可追溯的故障诊断依据, 并提出可实施的预防与处置对策, 以提高检修的精准性与经济性。

2 机车齿轮报警的常见故障类型与机理分析

2.1 齿轮啮合损伤与动态不平衡

机车齿轮长期在高载荷、高速啮合条件下运行, 若加工精度或安装同轴度偏差过大, 易引起齿面啮合冲击。啮合不良会导致齿顶剥落、点蚀与疲劳裂纹, 出现周期性振动信号。传感器监测的齿轮报警频率多集中于齿轮啮合频率及其倍频位置。现场分析表明, 当齿面磨损量超过 0.25 mm 或齿向误差超限时, 报警信号显著增强。此类故障若未及时处理, 会导致齿轮啮合噪声增加、齿根应力集中并诱发断齿事故。

【作者简介】程登松(1993-), 男, 中国甘肃兰州人, 本科, 工程师, 从事企业质量管理与科技创新研究。

2.2 轴承磨损与支撑松动

齿轮箱轴承是保障传动系统平稳运行的重要支撑部件。长期运行后，润滑油劣化、滚道疲劳及安装预紧力不足会导致轴承间隙增大，出现“齿轮不对中”与“轴系摆动”现象。监测数据中，轴承故障常表现为 $1\times$ 转频与谐波能量上升。若齿轮报警伴随温度异常，可判断为轴承内圈剥落或外圈偏磨所致。通过拆解验证发现，70%以上的齿轮报警与轴承支撑系统劣化密切相关。

2.3 润滑系统异常与油液污染

润滑失效是齿轮报警的重要诱因。油液粘度过低或污染颗粒超标会削弱油膜承载能力，使金属接触率上升，产生粘着磨损与异常噪声。油液铁谱分析结果表明，当铁屑浓度超过 80 mg/L 或颗粒直径大于 $40\text{ }\mu\text{m}$ 时，齿轮振动幅值明显增大。若润滑不及时更新，齿面热疲劳与胶合现象将加剧，导致齿轮箱温升、振动与报警信号同步上升。

3 机车踏面报警的特征表现与形成原因

3.1 踏面磨耗与椭圆化变形

车轮踏面在机车运行过程中承受周期性冲击载荷与滚动接触疲劳，其受力复杂且长期累积效应显著。若车轮钢材组织分布不均或热处理质量不佳，易导致踏面材料局部硬度差异，从而在长期运行中形成不规则磨耗。制动过程中若制动频繁或制动力矩控制不均，也会诱发热应力集中，使踏面形状发生椭圆化变形，导致轮径不一致。实测结果显示，当轮径差超过 2 mm 或踏面圆度偏差大于 0.4 mm 时，轮轨系统的低频振动能量显著上升，踏面加速度信号在 $10\text{--}40\text{ Hz}$ 频段内出现明显峰值。该现象不仅会加剧轮轨冲击、提升噪声水平，还会对车体振动及乘坐舒适性产生不利影响。若不及时校正，椭圆化变形将加速轮轨耦合疲劳，最终可能引发轮对结构性损伤。研究表明，通过周期性踏面车削与动态平衡调整，可有效抑制磨耗累积并延缓椭圆化发展，是降低踏面报警频率的关键手段。

3.2 滑行打滑与粘着力下降

在湿滑、结冰或沙尘环境中，轮轨接触面粘着系数下降，机车牵引或制动控制系统若响应滞后，极易引发打滑现象。打滑时轮对相对轨道滑行，摩擦热瞬间集中于局部区域，使表层温度急剧上升并发生热疲劳。多次滑行后，踏面表面出现热斑、烧蚀痕迹及剥落坑，导致几何形状破坏并引发高频振动。根据机车相关运行监测数据分析，当滑行持续时间超过 3 s 或轮轨速度差超过 7 km/h 时，踏面报警信号会被系统实时触发。此类滑伤若未及时处理，剥落区会在运行中进一步扩大，严重时需更换整轮。为防止该类故障，应在牵引系统中引入粘着控制算法与打滑自动防护功能，并在恶劣天气条件下合理调整牵引电流与制动力矩。通过结合实时速度反馈与轮滑监测，可有效控制打滑程度，延长踏面使用寿命。

3.3 制动系统异常与不均匀受力

制动系统性能直接影响轮对受力均衡与踏面状态。若

闸瓦间隙调整不当或制动缸压力分配不均，会导致制动力矩分布差异，使部分踏面受力过大而局部磨耗加剧。长期运行下，该不均匀受力会引起踏面几何偏差和材料组织疲劳，触发低幅值但持续时间较长的踏面报警信号。通过联合分析制动缸压力与踏面温度变化可发现，当制动力矩差异超过 15% 时，轮对表面偏磨明显，制动热应力集中区域的温度高出正常区域约 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 。这类故障不仅会影响制动平稳性，还会诱发轮轨冲击与噪声增加，严重时导致裂纹萌生与扩展。为防控此类隐患，应建立制动系统的动态监测机制，实时采集制动压力与温度分布数据，通过数据驱动的自适应平衡调节算法实现自动补偿。实践表明，该方法可使制动力矩差异降低至 8% 以内，显著提升踏面受力均衡性与系统安全性。

4 齿轮与踏面故障的信号特征与诊断方法

4.1 振动信号与频谱特征识别

齿轮和踏面故障在机车运行过程中均会通过振动信号的形式表现出来，其频谱特征可为早期诊断提供重要依据。齿轮啮合损伤通常在啮合频率及其倍频位置上产生明显峰值，伴随侧频带与调制信号的出现，而踏面故障则表现为轮径偏差引起的周期性调制频率波动。通过短时傅里叶变换(STFT)与包络分析，可实现对非平稳信号的时频特征提取；同时采用经验模态分解(EMD)或自适应噪声分离算法，能够有效去除轨道不平整等背景干扰，提高故障特征识别的信噪比。实际应用中，当齿轮箱振动加速度峰值超过 2.5 g 、踏面振动幅值大于 1.8 g 时，系统报警准确率可达 90% 以上。研究表明，频谱分析结合时域统计特征(如峭度、均方根值等)可实现齿轮与踏面故障的多维识别，为建立智能监测模型奠定了信号基础。

4.2 油液与温度联合监测诊断

齿轮润滑状态与温度变化是机车传动系统健康监测的重要参考参数。通过在线油液监测系统实时获取油温、粘度及金属颗粒浓度等数据，可判断齿轮磨损程度与润滑油性能衰退情况。当油液中铁屑浓度超过 80 mg/L 或温度持续高于 $85\text{ }^\circ\text{C}$ 时，往往预示齿面微磨损或局部胶合的发生。踏面系统方面，红外热像监测技术能够准确识别制动盘或轮对的局部过热区域，揭示制动压力不均与打滑导致的热斑分布。通过温度曲线的时间序列分析，可提前捕捉热应力积聚趋势，提前预警潜在裂纹风险。实践表明，油液分析与温度监测的联合诊断比单一振动法准确率提升约 12% ，显著增强了故障判别的时效性与可追溯性。

4.3 数据融合与智能诊断模型构建

在多源监测数据快速增长的背景下，基于人工智能的数据融合诊断方法成为机车智能运维的重要方向。通过引入BP神经网络与支持向量机(SVM)相结合的混合算法模型，可建立齿轮啮合状态—振动能量—油液参数之间的非线性映射关系，从而实现复杂工况下的多维特征识别。模型训练