

Research on comprehensive analysis and utilization standard of locomotive running gear monitoring device data

Minxuan Sun

Nanchang Rail Transit Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330038, China

Abstract

The PHM + Wheel System (Wheel Fault Prediction and Health Management System) integrates pre-alarm data from locomotive axle monitoring devices, TPDS, and wheelset online detection systems to predict wheel failures and manage maintenance. This study adopts a probabilistic framework and statistical methodology to analyze pre-alarm data from HXD2 locomotives in railway depots monitored by TPDS, along with polygonal data from non-landing lathe inspections before wheel overhauls. Through deep data mining, we propose practical applications of TPDS polygonal alarm data in the PHM + Wheel System to enhance maintenance efficiency.

Keywords

TPDS; Locomotive axle monitoring devices; Wheel fault prediction and health management; Wheel polygonal data.

关于机车走行部监测装置数据综合分析利用标准的研究

孙敏轩

南昌轨道交通集团有限公司, 中国·江西 南昌 330038

摘 要

PHM+车轮系统(车轮故障预测及健康管理系统)综合了机车车载走行部监测装置、TPDS及轮对在线检测系统的预报警数据以对机车车轮进行故障预测及健康管理,此次研究以概率为世界观、以统计为方法论,统计分析了TPDS监测的机务段配属HXD2型机车车轮预报警数据及车轮镟修前不落轮车床检测的多边形数据并深度挖潜,提出了PHM+车轮系统对TPDS多边形报警数据的利用建议,以提高PHM+车轮系统运维机车轮对的水平。

关键词

TPDS、机车车载走行部监测装置、车轮故障预测及健康管理、车轮多边形

1 研究背景

对铁路货运机车车轮运用状态进行动态监测的主要装置为 TPDS 及车载走行部监测装置,两者监测机车车轮踏面损伤及多边形特征并发出不同等级的报警,但两者监测的报警数据与真实的机车车轮状态的对应关系尚无统计数据支持并形成定论,一是由于机务段缺少车轮多边形检测设备,无法对预报警车轮进行形位尺寸检测;二是 TPDS 与车载走行部监测装置之间无预报警数据通讯,形成信息孤岛,无法进行数据衍生及深度对比挖潜;三是机务段轮对技术管理人员对两系统报警数据与车轮实际状态的对应关系及量化情况关注较少。本次研究意在通过对配属 HXD2 型机车 TPDS 检测的多边形预报警数据、轮对镟修前机车不落轮车床检测的径跳量及多边形阶次幅值数据进行横向关联性及对比分析,查找 PHM+ 车轮管理系统利用上述报警数据进行车轮

健康评估存在的不足,完善优化 PHM+ 车轮管理系统对车轮进行健康评估的当前判据及维度,形成完备评估车轮健康状态的诊断策略,提高 PHM+ 车轮系统对车轮健康状态评估的全面性、科学性。

2 研究内容

PHM+ 车轮系统利用车载走行部监测装置的踏面损伤各级报警数据、TPDS 检测装置多边形各级报警数据及踏面损伤各级报警数据、轮对在线自动检测系统检测的踏面损伤擦伤及尺寸数据,全面诊断车轮健康状态,诊断结果分为“关注”及“异常”供轮对技术管理人员进行管理决策;具体健康状态评估划分简表如下:

从表中可以看出存在两个问题:

一是诊断判据不全面:PHM+ 车轮系统缺少对车载走行部监测装置检测的车轮多边形结果的运用,而机务段配属的 HXD2 型机车车轮故障中,车轮多边形与踏面损伤均为车轮故障主要矛盾,所以,状态评估中须增加车载走行部监测装置发出的车轮多边形各级报警数据;当然,若 TPDS 检

【作者简介】孙敏轩(1990-),女,中国甘肃定西人,工程师,从事地铁车辆检修研究。

测的车轮多边形的准确性、灵敏度优于车载走行部检测装置时，评估车轮多边形特征时则以 TPDS 为主。

二是诊断结果待核实：PHM+ 车轮系统对 TPDS 检测的多边形信息关注级别较高，即车轮多边形预警不少于 1 次立刻判定为关注，多边形一级或二级报警时，车轮健康结果立刻判定为异常，PHM+ 车轮系统是否存在对 TPDS 发出的车轮多边形预警及一级报警过分关注的问题有待核实。

基于上述两个问题，确定研究内容为运达及唐智的车载走行部监测装置的灵敏度对比、摸清 TPDS 装置检测的车轮多边形各级报警与车载走行部监测装置报警的重叠情况、摸清 TPDS 监测多边形数据与车床检测的多边形实际情况的多维对比，基于以上统计分析提出 TPDS 各级报警数据参与车轮健康评估的建议。

表 1：PHM+ 车轮系统根据各系统的报警信息评估车轮健康状态的等级划分简表

报警来源	伤损类型	报警级别	次数	健康结果	
				关注	异常
车载走行部监测装置	踏面损伤	踏面预警	$N \geq 7$	√	
	踏面损伤	1 级报警	$1 \leq N \leq 6$	√	
	踏面损伤	1 级报警	$N \geq 7$		√
	踏面损伤	2 级报警	$N \geq 1$		√
TPDS	多边形	踏面预警	$N \geq 1$	√	
	多边形	1 级报警	$N \geq 1$		√
	多边形	2 级报警	$N \geq 1$		√
	踏面损伤	踏面预警	$N \geq 7$	√	
	踏面损伤	1 级报警	$1 \leq N \leq 6$	√	
	踏面损伤	2 级报警	$N \geq 7$		√
	踏面损伤	2 级报警	$N \geq 1$		√
轮对在线自动检测系统	踏面损伤	一级报警	$N \geq 1$	√	
	踏面损伤	二级报警	$N \geq 1$		√
	踏面擦伤	报警		√	
	踏面剥离	报警		√	
	尺寸检测	报警		√	

3 研究结果

3.1 运达及唐智的车载走行部监测装置的灵敏度对比

统计不落轮车床检测出 HXD2 型机车车轮多边形阶次在 17 至 18 阶之间，且镟修无踏面剥离的车轮检测数据，分别统计成都运达公司及北京唐智公司的车载走行部装置发出踏面预警时车轮径跳量及多边形幅值，具体如下图：

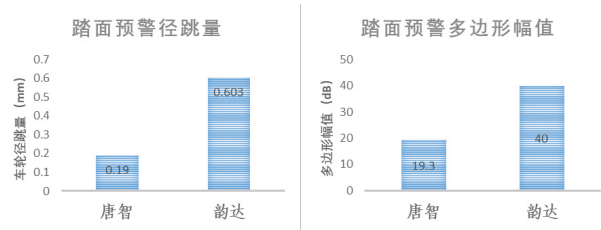


图 1：运达及唐智的车载走行部监测装置发出踏面预警时车轮形位尺寸对比

图 1 显示运达公司车载走行部监测装置发出踏面预警时车轮径跳及多边形幅值约为唐智公司监测装置发出踏面预警时的 2 倍之多，车轮故障提前预警作用弱于唐智公司的车载走行部监测装置，已通过运达公司优化报警诊断策略解

决该问题。

3.2 TPDS 与车载走行部监测装置报警重叠率统计分析

分类、分级分别统计 7 月份机务段配属 HXD2 型机车被 TPDS 与车载走行部监测装置监测到的车轮多边形与踏面伤损的重叠率，汇总如下图：

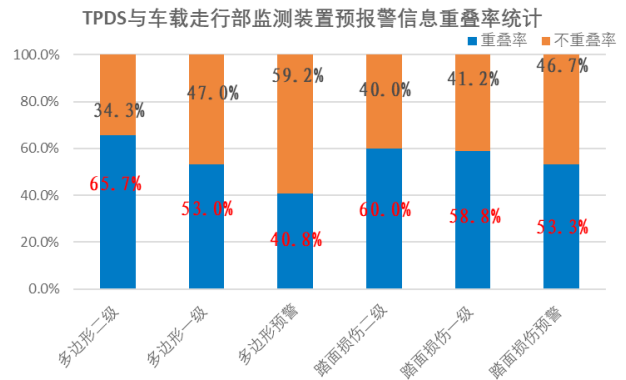


图 2：7 月 HXD2 型机车 TPDS 与车载走行部检测装置报警重叠对比图

图2说明两种设备检测车轮故障（多边形及伤损）的重叠率随着故障严重性的增加而提高。

3.3 TPDS 多边形报警数据与车床检测多边形数据对比分析

筛选出7月份机务段配属HXD2型机车车轮镟修前5天内，TPDS发出的该车轮最高级别的多边形报警信息，按照报警级别分别计算冲击当量平均值，再按照报警级别分类统计多边形报警车轮在镟修前机车不落轮车床检测的多边形幅值及车轮径跳量，最后将TPDS发出的车轮多边形报警信息与车床检测的车轮多边形尺寸信息进行对应汇总整理，

具体如表2：

将表2的“5T装置监测的冲击当量平均值”、“车床实际测量的多边形幅值平均值(dB)”、“车床实际测量的车轮径跳(mm)”均按照下列方式作图：将预警与一级报警对比，一级报警与二级报警制作柱状图对比，再分别将前者之差（预警与一级报警）及后者（二级报警与一级报警）之差也绘制在对应柱状图的上方，形成如图3、图4、图5的TPDS各级报警冲击当量、报警车轮实测径跳量、实测多边形幅值的对比图。

表 2：TPDS 车轮多边形报警数据与不落轮车床检测对应数据汇总表

项目 \ 5T 装置报警级别	多边形预警	多边形一级	多边形二级
样本数量（个）	57	44	19
5T 装置监测的多边形阶次（阶）	16.5	17.0	15.8
车床实际测量的多边形阶次（阶）	17.7	17.7	18.7
阶次误差	-1.20%	-0.70%	-2.90%
5T 装置监测的冲击当量平均值	16.7	17.8	21.5
车床实际测量的多边形幅值平均值 (dB)	28.05	29.01	30.95
车床实际测量的车轮径跳 (mm)	0.261	0.272	0.471

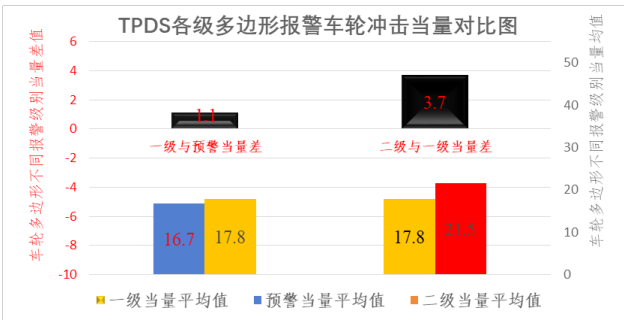


图 3：TPDS 各级多边形报警车轮冲击当量对比图

图3显示TPDS预报警级别随着冲击当量增加的而升级，多边形预警升级为一级的当量跨距远小于一级升级为二级的当量跨距，也说明预警发展到一级报警所需的时间远小于一级报警恶化为二级报警的时间。

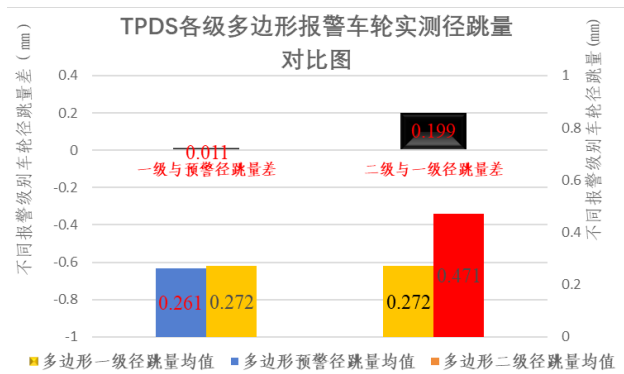


图 4：TPDS 各级多边形报警车轮实测径跳量对比图

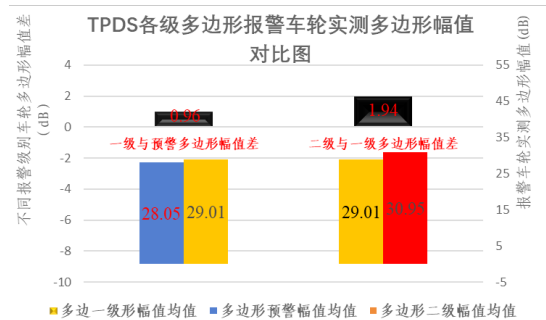


图 5：TPDS 各级多边形报警车轮实测多边形幅值对比图

图4及图5显示TPDS发出多边形预报警级别随着车轮径跳量、高阶多边形（阶数不小于10阶）幅值增加的而提高报警级别，多边形预警升级为一级时车轮径跳量及多边形幅值跨距远小于一级报警升级为二级报警的径跳及多边形幅值跨距（径跳量：前者跨距0.011mm，后者跨距：0.199mm；多边形幅值：前者跨距0.96dB，后者跨距1.94dB），量化的数据说明一级报警升级为二级报警的过程中，车轮长期处于多边形的恶劣工况。

综上，形成以下建议：

1.PHM+ 车轮系统应针对不同的车载走行部监测装置对车轮故障报警灵敏度地不同设置不同的车轮健康诊断策略，排除不同监测装置灵敏度不同造成的不能真实反应车轮多边形幅值及径跳的问题，使系统更精准地判断车轮健康状态。

2.TPDS发出车轮多边形预警到一级报警、一级报警到二级报警时车轮径跳量及高阶多边形幅值跨距相差较大，建

议增加一级报警后车轮运用跟踪限制条件，如车轮观察运用时间或多边形一级报警次数判据，防止车轮多边形在未发展至二级报警前长期处于恶劣工况。

3.TPDS 发出车轮多边形预警时的车轮径跳及多边形幅值与一级报警时相差较小，建议将 PHM+ 车轮系统的车轮健康状态评估等级划分简表按下表修改。

报警来源	伤损类型	报警级别	原有判据			建议判据		
			次数	健康结果		次数	健康结果	
				关注	异常		关注	异常
TPDS	多边形	踏面预警	$N \geq 1$	√		$N \geq 1$		
	多边形	1 级报警	$N \geq 1$		√	$N \geq 1$	√	
	多边形	1 级报警				$N \geq 10$		√
	多边形	2 级报警	$N \geq 1$		√	$N \geq 1$		√

参考文献

[1] 石珮挺, 杨延锋, 杨兴宽, 等.HXD2 型机车车轮踏面斜裂纹产生机制及旋修对策研究[J].铁道机车车辆, 2024(02):130-137.

[2] 宁有波, 张宏, 吴斯, 等。机车车轮故障预测及健康管理技术研究 [J]. 铁道技术监督, 2018 (05):31-36.

[3] 温世湖。基于 PHM 技术的机车车轮检修策略优化技术研究及应用 [D]. 中国铁道科学研究院, 2022.