

Taking Line A as an Example to Analyze the Changes in Wheelset State of Urban Rail Transit Vehicles

Xin Lv

Tianjin Jinguo Rail Vehicle Co., Ltd., Tianjin, 300380, China

Abstract

In order to solve the problem of the impact of wheel rail noise on passengers and residents' experience and shorten equipment life in urban rail transit, as well as the single maintenance method of existing wheelsets (frequent wheel turning reduces wheel life, and whole vehicle turning affects vehicle efficiency), this study takes Line A as the object, and combines the on line monitoring system of running gear (axle box vibration, temperature, etc.), trackside monitoring system (wheel diameter jump value, tread size), and secondary vibration noise monitoring data of buildings near the main line to analyze the change law of wheelset status and optimize the turning maintenance strategy. The changes in wheelset status summarized in the research can be extended to other lines to reduce maintenance costs and improve operational experience.

Keywords

Urban rail transit; Wheel rail noise; Data collection; Turning strategy

以 A 线路为例分析城市轨道交通车辆轮对状态变化规律

吕鑫

天津津轨轨道车辆有限公司, 中国 · 天津 300380

摘要

为解决城市轨道交通轮轨噪声影响乘客与居民体验、缩短设备寿命, 且现有轮对维修方式单一(频繁镟修降低车轮寿命、整车镟修影响车辆效率)的问题, 本研究以 A 线路为对象, 结合走行部在线监测系统(轴箱振动、温度等)、轨旁监测系统(车轮径跳值、踏面尺寸)及正线附近建筑物二次振动噪声监测数据, 分析轮对状态变化规律并优化镟修策略。研究总结的轮对状态变化规律可推广至其他线路, 以降低镟修成本、提升运营体验。

关键词

城市轨道交通; 轮轨噪声; 数据采集; 镟修策略

1 研究背景

轮轨噪声问题一直是高速铁路与城市轨道交通发展不可避免的问题。随着各个城市轨道交通里程增加, 乘客数量大幅上升, 地铁沿线经过的居民区也越来越多, 轮轨噪声是影响乘客出行体验与周边居民居住体验的一项困扰。同时, 轮轨间的高频振动也对列车轮对、轴箱、轴承以及钢轨状态产生影响, 降低了相关设备的使用寿命, 对于列车运行也有一定的安全隐患。

监测轮轨的情况, 根据轮轨振动监测数据来判断轮轨的状态, 并进行轮轨状态的健康管理, 化计划修为状态性, 可以明显提高维修效率, 降低钢轨打磨和车轮镟修成本。^[1]

本次主要通过 A 线路电客车走行部在线监测系统中轴箱振动数据、轨旁监测系统车轮径跳值数据和正线附近建筑

物二次振动辐射噪声数据综合分析 A 线路车轮运用状态和镟修标准。计划通过车辆配属的走行部在线监测系统收集大量轮轨振动数据, 建立数据库, 通过大数据从车速、载荷、动拖车分类、轨道状态等角度精细分析总结车轮状态变化规律, 从整车周期镟修优化为单车、单轴的状态镟修和预防镟修, 延长车轮使用寿命, 提高车辆使用效率。总结出的轮对状态变化规律可推广到其他线路, 共同降低镟修成本, 提高乘客出行体验和地铁沿线居民居住体验。

2 数据收集

2.1 走行部在线监测系统

该系统是一种走行部与轮轨的安全监测装备。通过安装布设在转向架上的复合传感器, 同时监测轴箱轴承、小齿轮和电机传动端轴承的温度、振动、冲击等物理量, 实现走行部关键部件的车载在线实时诊断, 能够对故障实现早期报警和分级报警, 准确指导列车的运用和维修, 降低车辆维修工作量及成本, 提高车辆运用效率, 同时为车辆架大修检修

【作者简介】吕鑫(1993-), 男, 中国天津人, 本科, 工程师, 从事城市轨道交通设备管理研究。

周期延长提供数据支持。

走行部关键部件如轴箱轴承、齿轮箱轴承和齿轮、电机轴承的故障，都属于机械旋转体故障诊断。在旋转体的故障诊断中，一般采用频域分析方法。

设轴承参数中 D 为中径， d 为滚动体直径， z 为滚动体数量， β 为接触角， f_n 表示回转轴转频，通常情况下轴承外圈固定，内圈转动，等于轴承内圈转频。轴承故障特征频率的计算方式为：

$$f_{BPF1} = \frac{z}{2} (1 + \frac{d}{D} \cos \beta) f_n$$

$$f_{BPF0} = \frac{z}{2} (1 - \frac{d}{D} \cos \beta) f_n$$

$$f_{BSF} = \frac{D}{2d} (1 - \frac{d^2}{D^2} \cos^2 \beta) f_n$$

$$f_{FIF} = \frac{1}{2} (1 + \frac{d}{D} \cos \beta) f_n$$

基于以上轴承的特征频率，在轴承出现故障时，其对应的走行部系统振动故障预警数值如下表所示：

表 1 走行部系统振动故障预警统计表

	故障预警	一级故障告警	二级故障告警
数值 (g)	2.8	4.8	6.3

贵阳地铁 2 号线通过应用走行部在线监测系统，实现了对车辆走行部车轮踏面在线监测与持续跟踪，实时掌握车辆走行部关键部件的质量状态，为走行部运营维保提供了准确的监测数据和故障预警，有效提升了列车的运营安全质量。^[2]

2.2 轨旁监测系统

轨旁监测系统主要通过在轨道两侧布置的擦伤杆检测车轮轮径变化情况，当列车车轮通过时，车轮轮缘与擦伤杆直接接触，通过擦伤杆的位移量变化情况判断车轮踏面是否存在擦伤。当车轮无缺陷时，擦伤检测杆感应到的高度差为恒定值，当滚动圆踏面有擦伤时，在重力作用下，缺陷位置会在固定的高度差上形成不同的下压量，以此计算车轮径跳值的变化情况。

目前尚未有国标或地标要求当径跳值高于某一数值时需进行镟修，其他城市轨道交通运营公司也未制定过相关标准。中车青岛四方机车车辆股份有限公司企业标准规定当径跳值大于 0.5mm 时需进行镟修，欧洲标准 EN 15313:2010(使用中和离开车辆轮对维护标准)中要求当径跳值大于 0.5mm 时需进行镟修。

2.3 正线附近建筑物内二次振动噪声监测

正线附近建筑物二次振动辐射噪声测量依据《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》(JGJ/T 170-2009)相关要求，需要在建筑物室内布置三个测点，监测期间连续测量不少于上下行各 5 列电客车通过时产生的垂向振动数值和二次辐射噪声值。交通干线道路两侧属于 4 类振动噪声影响区域，该区域二次振动噪声限制如下表所示：

表 2 区域二次振动噪声限值

	昼间	夜间
振动限值 (dB)	75	72
二次辐射噪声限值 (dB)	45	42

此次对 A 线路近两年轴箱振动数据、21 列车开通(2022 年 10 月)至今的车轮径跳值数据和一次正线附近二次振动辐射噪声数据进行分析。

3 数据分析

车轮径跳值偏大则车内噪声会偏大。车轮高阶非圆化由于其造成的轮轨激励频率较高，会对噪声有很大影响，需引起注意。当较大的车轮径跳值是由于高阶车轮非圆化造成时，其对车内振动噪声的影响更加剧烈。^[3]对 A 线路配属的 21 列车轮对径跳值数据进行整理，以 0.5mm 为界限，分析列车走行公里数与新增 0.5mm 径跳值的动车轮对和拖车轮对数量进行综合分析，关系如下图所示：

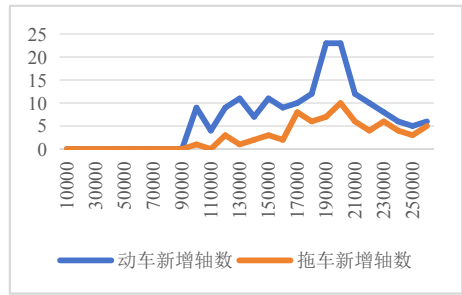


图 1 走行公里数与轮对径跳值变化图

如上图所示，当列车走行 9 万公里后，开始出现径跳值 0.5mm 以上的轮对，随着走行公里数上升，径跳值大于 0.5mm 的轮对数量也同步上升，并且动车轮对数量大于拖车轮对数量，在走行 20 万公里时达到峰值，随后呈下降趋势，此时轮轨关系趋于磨合完毕的态势，未过度磨损的车轮基本不会再被磨损。在列车走行 26 万公里后，径跳值超过 0.5mm 的轮对中，径跳值 0.5mm 的轮对占比 26.6%，径跳值超过 0.7mm 的轮对占比 51.4%，最大径跳值已超过 0.9mm。

另外结合动车车轮径跳值与轴箱垂向振动加速度进行分析，由下图可知，径跳值越大，轴箱垂向振动加速度越大，更有可能对走行部部件造成疲劳性损伤。

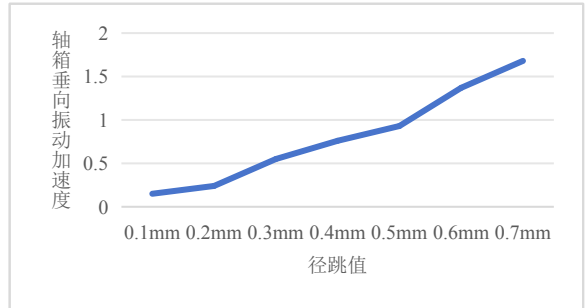


图 2 径跳值与轴箱垂向振动加速度关系图

结合径跳值与二次辐射噪声值进行分析，二者关系如下表所示：

表3 径跳值与二次辐射噪声关系表

车号	二次辐射噪声值	径跳值大于0.5mm 轮对数量	径跳值大于0.6mm 轮对数量	径跳值大于0.7mm 轮对数量	超标轮对 总数
1016	22.8	1	0	1	2
1013	23.1	0	0	0	0
1015	23.9	0	0	0	0
1018	24.9	0	0	1	1
1022	25.1	0	1	0	1
1018	25.9	0	0	1	1
1003	29.1	2	3	3	8
1020	29.5	1	4	2	7
1003	30	2	3	3	8
1004	30.4	2	3	1	6
1005	30.6	8	3	3	14
1009	31.3	2	4	9	15

如表所示，径跳值超过0.5mm的轮对数量越多，二次辐射振动值越大。另外径跳值大于0.6mm的轮对数量与振动值成正比，需重点关注列车中径跳值在0.6mm的轮对数量。目前监测到轮对状态较差的1009车也未超过《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》(JGJ/T 170-2009)的标准。

4 综合分析

降低列车启动速度、改善闸瓦-车轮匹配关系和降低轮轨动力作用均能有效减缓车轮失圆的发展。^[4]在A线路运用经验来看，消除径跳值的主要方法是镟修和增加空气制动参与的比例。此次另外收集了1号线和2号线的车轮径跳值数据和其他线路的电制动-空气制动转换速度值，如下表所示：

表4 电空转换速度值与径跳值关系表

线路	电空转换速度值 (km/h)	车轮最大径跳值 (mm)
1	7.5	0.34 (走行40万公里)
2	6	0.46 (走行67万公里)
3	6	0.21 (走行30万公里)
A	0	0.9 (走行26万公里)

若适当调整电制动-空气制动转换速度可有效改善径跳值突变的情况。

在优化车辆镟修标准方面，车轮镟修可以显著优化轴箱和构架的振动加速度，其中轴箱、构架测点振动加速度均方根值分别可以降低37.9%、47.7%。地板的横向和垂向振动都得到显著降低，其中横向振动减少更加明显，最大幅值

在个别区段减少50%以上。^[5]目前A线路已走行26万公里，轮对技术参数如下表所示：

表5 A线路车辆轮对技术参数

	初始值 (mm)	目前数据 (mm)	技术标准 (mm)	变化率 (mm/万公里)
轮径值	841.5	837.9	大于770	0.129
轮缘高	27	29.1	27-35	0.081
轮缘厚	32	32.7	23-33	0.027

车轮径跳值变化速率与列车走行公里数暂无相关性，可能与轮轨磨合状态有关，还需持续收集径跳值变化情况观察其与走行公里数的关系，现阶段可通过轨旁监测系统收集车轮径跳值变化情况。其他线路车辆轮对径跳值较为平稳，可继续沿用现有车轮镟修标准。虽然A线路列车振动数值目前未超过相关标准，但考虑降低列车振动数值的离散性，结合车辆年度走行公里数、轮对技术标准、车轮镟修对轮径值的影响以及《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》，预计每次镟修后轮径值下降10—15mm，车轮寿命周期内可开展4次整车镟修，列车年度走行公里数约为11万公里，A线路可考虑当车轮径跳值达到0.6mm时开展单轴镟修，整车走行30-40万公里时开展整车镟修，在保证轮径值的基础上适当降低轮缘厚度。

5 结语

城市轨道交通轮轨噪声的形成原因是多方面的，变化趋势波动较大，需要通过走行部在线监测系统、轨旁设备、人工测量等方式多维度监测轮轨噪声变化情况，通过数据整合找到线路本身噪声变化规律，一方面通过对重点路段轨道进行打磨从而优化轮轨关系，一方面通过车轮镟修消除其不圆度。车轮镟修对轮对寿命影响较大，需根据轮对状态、轮径值变化情况、车轮不圆度、镟床能力制定精确的镟修策略。另外适当调整车辆空气制动介入比例可以优化轮对不圆度，从而提高轮对寿命。

参考文献

[1] 陈湘, 李熙, 胡晓菲. 走行部故障诊断系统在轮轨振动状态监测中的应用. 轨道交通. 2003; 73-77.

[2] 胡瀚文. 走行部在线监测系统在贵阳地铁2号线的应用. 装备制造技术. 2003, 10: 201-204.

[3] 韩光旭, 温泽峰等. 车轮非圆化对高速列车振动噪声的影响. 噪声与振动控制. 2014, 8: 10-13

[4] 陶功权, 周小江等. B型地铁车辆失圆问题分析. 机械工程学报. 2020, 7: 153-158

[5] 张凯轩, 周劲松等. 车轮非圆化对地铁车辆振动的影响研究. 机械设计与制造工程. 2018, 4: 82-85.