

文章编号:1006-1355(2019)03-0088-04+127

车轮高阶多边形磨耗对高速列车转向架区域 噪声影响研究

韩铁礼¹, 贾尚帅¹, 吴越², 韩健², 肖新标²

(1. 中车唐山机车车辆有限公司, 河北 唐山 064000;
2. 西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 成都 610031)

摘要:列车车轮多边形磨耗问题是目前高速列车运行过程中普遍存在的, 多边形的出现会加剧轮轨间的相互作用, 引发显著的异常振动噪声问题。通过跟踪测试车轮多边形发展和转向架区域振动噪声, 分析讨论高阶车轮多边形磨耗对高速列车转向架区域噪声的影响。研究表明, 当轮轨表出现显著多边形时, 转向架区域噪声的显著频率会变为与多边形和行车速度相关的频率范围, 随着车轮多边形磨耗水平的增加, 转向架区域噪声显著增大。当车轮多边形磨耗激励频率和车辆过轨跨频率发生信号调制时, 还会产生谐波噪声问题, 使车轮多边形对噪声的影响频率范围增大, 研究成果可以为车辆振动噪声控制提供依据和参考。

关键词:声学; 高速列车; 车轮多边形; 转向架区域噪声; 跟踪测试

中图分类号: U270.1⁺.6; O422.6

文献标志码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2019.03.017

Effect of High-order Wheel Polygonal Wear on the Noise of Bogie Area of High Speed Trains

HAN Tieli¹, JIA Shangshuai¹, WU Yue², HAN Jian², XIAO Xinbiao²

(1. CRRC Tangshan Co., Ltd., Tangshan 064000, Hebei China;
2. State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The polygonal wear of wheels of high-speed trains is a common problem, and it will increase the wheel/rail interaction and cause the abnormal vibration and noise problem. In this paper, the tracking test of polygonal wear and noise of bogie area was conducted to study the effect of high-order wheel polygon wear on the noise. The results show that when the polygonal wear is serious, the dominant frequency range in the bogie area is associated with the polygonal order and running speed. With the increasing of the polygonal wear, the noise of bogie area increases significantly. When the signal modulation happens between the wheel polygon wear excitation signal and the vehicle across-the-sleeper signal, the harmonic frequency of noise signal will occur and it will enlarge the frequency band of the polygonal wear excitation. The research results may provide a basis and a reference for vehicle vibration and noise control of vehicles.

Keywords: acoustics; high-speed train; polygonal wear; noise of bogie area; tracking test

随着我国高速铁路的快速发展, 伴随而来的噪声问题也日益突出。因此, 降低高速列车运行噪声是高速铁路进一步提速和发展无法回避的问题^[1-5]。

尤其是当轮轨表面存在纵向波浪形磨耗时, 会显著增大车辆振动噪声。

近年来, 高速列车运行噪声与车轮多边形的相关研究在我国得到了广泛关注。王兴宇^[6]研究了车内噪声主频和车轮多边形磨耗阶次的关系。研究表明, 当列车运行速度一定时, 车轮多边形磨耗阶次和车内噪声主频存在一一对应的关系。韩光旭等^[7-8]通过对车辆振动、噪声以及车轮多边形磨耗状态进行跟踪测试, 发现车辆存在声振共振频率区域。在车轮多边形磨耗激励下, 易显著增大车内噪声。Zhang等^[9]通过大量的跟踪试验, 初步分析高速列车车轮多边形磨耗状态对车内噪声的影响。探明车轮

收稿日期: 2018-09-11

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFB1200503-02/2016YFB1200506-08); 战略性国际科技创新合作重点专项资助(2016YFE0205200); 国家自然科学基金资助项目(U1434201/51475390)

作者简介: 韩铁礼(1984-), 男, 河北省唐山市人, 工程师, 主要研究方向为: 车辆振动噪声控制。

E-mail: hantieli@tangche.com

通信作者: 肖新标, 男, 副研究员, 硕士生导师。

E-mail: xiaoxinbiao@home.swjtu.edu.cn

多边形参数、车轮径跳和车内噪声之间的相互关系。以上研究主要是针对车内噪声展开的,而与车轮多边形关系最为密切的为转向架区域噪声,然后再通过结构传声和空气传声传入车内,因此,转向架区域噪声对车内、外噪声至关重要。然而,对于高速列车转向架区域的噪声特性研究以及与高阶车轮多边形关系的研究较少。本文通过跟踪测试车轮多边形发展和转向架区域振动噪声,分析讨论高阶车轮多边形磨耗对高速列车转向架区域噪声的影响。

1 转向架区域噪声特性

为研究转向架区域噪声特性,在转向架区域布置传声器单元,如图1所示。

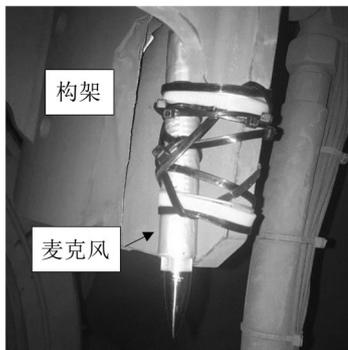


图1 转向架区域噪声测点照片

对车轮镟修后列车以300 km/h速度运行通过轨道表面状态良好区段时的噪声进行分析。图2给出了车轮镟修后列车以300 km/h速度运行通过轨道表面状态良好区段时的噪声1/3倍频程谱图。分析频率为20 Hz~5 000 Hz。

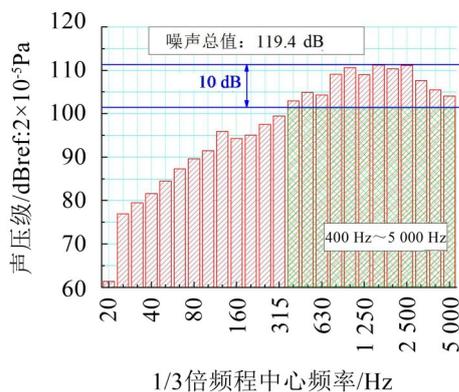


图2 转向架区域噪声1/3倍频程谱图

由图2可知,车轮镟修后列车运行通过轨道表面状态良好区段时,转向架区域噪声总值为119.4 dB,其噪声显著频段为400 Hz~5 000 Hz。尤其是在1 600 Hz频段内噪声最为显著,与高速列车轮轨噪声声源频谱特性一致。

为进一步分析噪声峰值频率,对噪声进行FFT

分析。图3给出了车轮镟修后列车运行通过轨道表面状态良好区段时的噪声窄带FFT频谱谱图。分析频率为0~6 400 Hz。

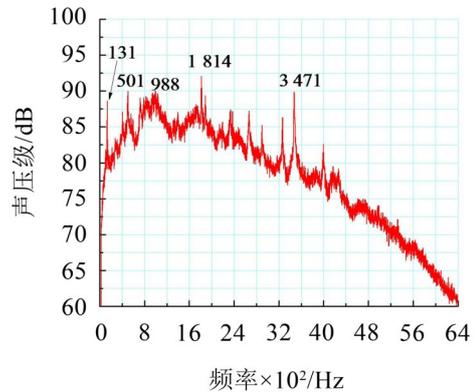


图3 转向架区域噪声窄带FFT频谱图

图4给出了转向架区域噪声和轮对和钢轨振动加速度的关系。

由图3可知,车轮镟修后列车运行通过轨道表面状态良好区段时,转向架区域噪声峰值频率为131 Hz、501 Hz、988 Hz、1 814 Hz和3 471 Hz。为进一步分析其噪声峰值的来源,结合车辆系统和轨道系统振动特性测试进行讨论。

由图4(a)和图4(b)可知,转向架区域噪声在显著频率范围内与轮对和钢轨的振动存在对应关系,由此可见,当轮轨表面状态良好时,转向架区域噪声主要受轮轨自身振动影响。

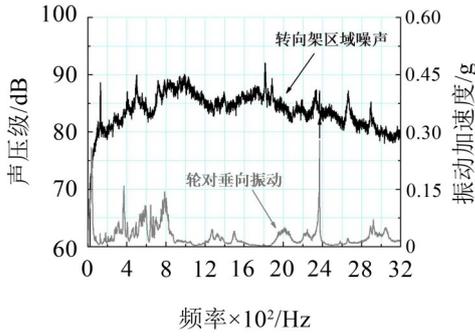
2 车轮多边形磨耗存在时转向架区域噪声特性

本节主要考虑到当列车运行一定里程后,车轮存在多边形磨耗时(如图5所示),列车以300 km/h速度运行通过表面状态良好轨道时的转向架区域噪声特性。

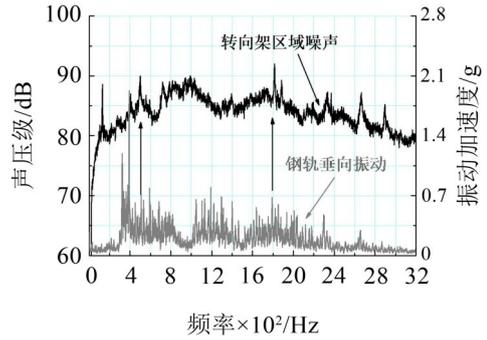
由图5可知,当列车镟修后运行一定里程时,车轮出现显著的18阶多边形磨耗,此时车轮直径约为830 mm。当列车以300 km/h速度运行时,车轮多边形磨耗的激励频率约为580 Hz。

图6给出了车轮存在18阶多边形磨耗时,列车以300 km/h速度运行通过轨道表面状态良好区段时的噪声1/3倍频程谱图。分析频率为20 Hz~5 000 Hz。

由图6可知,列车以300 km/h速度运行通过轨道表面状态良好区段时,转向架区域噪声总体为127.6 dB(A),相较于镟后转向架区域噪声提高了8.2 dB(A)。其噪声显著频段由400 Hz~5 000 Hz的较宽频率范围变为400 Hz~1 600 Hz较为集中的频率



(a) 转向架区域噪声和轮对振动的关系



(b) 转向架区域噪声和钢轨振动的关系

图4 转向架区域噪声和轮轨系统振动的关系

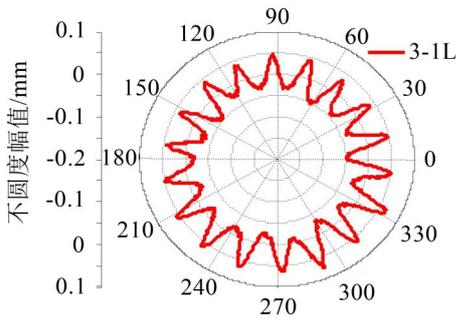


图5 车轮多边形磨耗测试结果

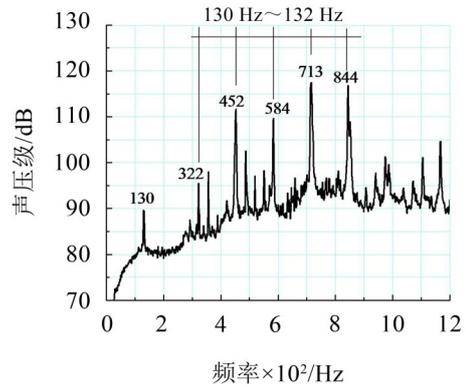


图7 转向架区域噪声窄带FFT频谱图

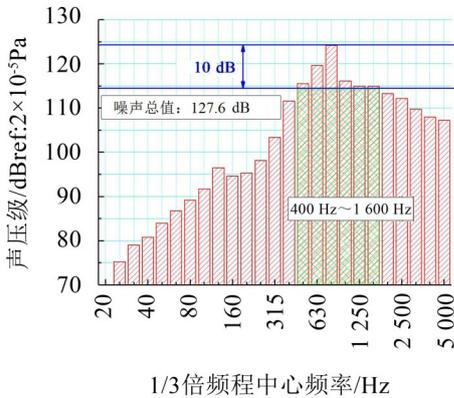


图6 转向架区域噪声1/3倍频程谱图

范围,最显著频段也由1600 Hz频段变为630 Hz~800 Hz频段。由此可见,当高阶车轮多边形出现之后,转向架区域噪声主要受车轮多边形激励影响。

图7给出了车轮存在多边形磨耗时,列车以300 km/h速度运行通过轨道表面状态良好区段时的噪声窄带FFT频谱谱图。分析频率为0~1200 Hz。

由图7可知,转向架区域噪声在322 Hz~844 Hz频段存在以130 Hz~132 Hz频率为间隔,等间距分布的噪声峰值。而131 Hz频率恰好为列车以300 km/h速度运行时的过轨跨频率。车轮的多边形磨耗激励频率和过轨跨频率发生信号调制,使得在高频段存在以多边形磨耗激励频率(584 Hz)为中心,以过轨跨频率(131 Hz)为间隔的噪声谐波。

3 车轮多边形磨耗发展对转向架区域噪声的影响

通过上述分析可知,车轮多边形磨耗能够主导转向架区域的噪声,现分析车轮多边形磨耗发展过程中,转向架区域噪声的变化。图8给出了随着运行里程改变,车轮多边形磨耗发展情况。

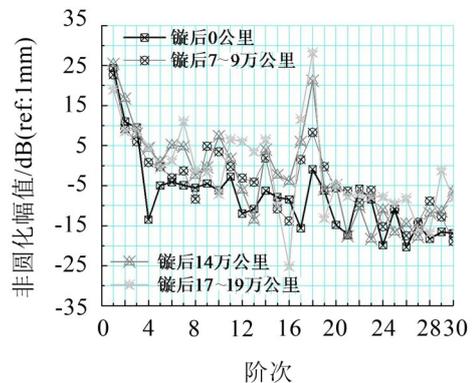


图8 车轮多边形磨耗发展

图9给出了随着运行里程改变,转向架区域噪声总值的变化。

由图8、图9可知,从车轮镟后开始的一个完整镟轮周期内,车轮18阶多边形磨耗发展显著,当列车运行至19万公里时,车轮多边形磨耗水平接近30 dB。

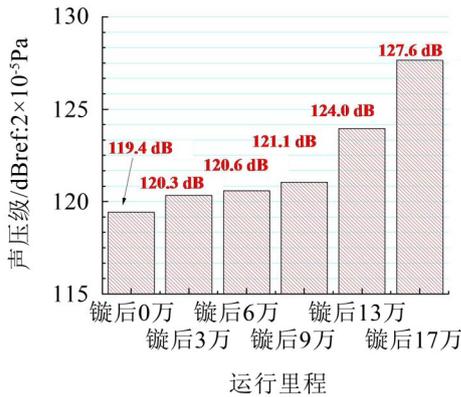
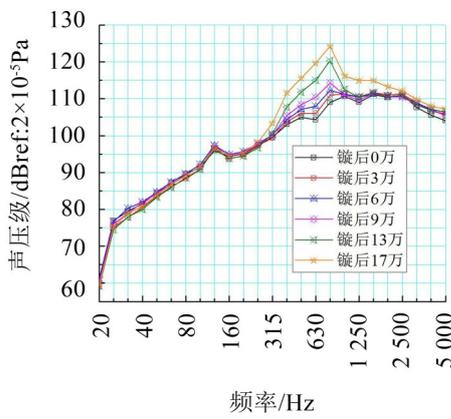


图9 转向架区域噪声随里程变化情况

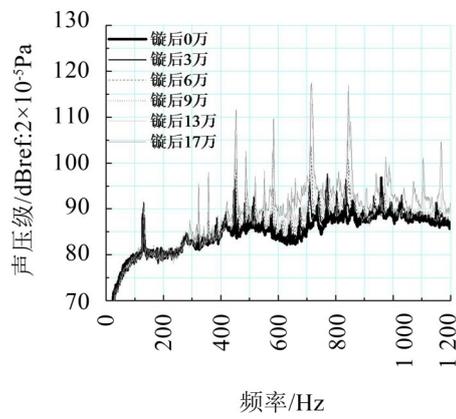
而随着车轮多边形磨耗发展,转向架区域噪声也增大明显。由119. dB(A)增加到了127.6 dB(A),并且在镟后运行9万公里后,增长速度提高。同时,从车轮多边形磨耗变化水平上来看,也是在镟后运行9万公里后,18阶多边形磨耗发展迅速。

对转向架区域噪声进行频谱特性分析,如图10所示。其中图(a)为1/3倍频程结果,图(b)为窄带FFT分析结果。

由图10(a)可知,转向架区域噪声随里程增大而变化的频段主要为400 Hz~800 Hz频段,而从图10(b)中可以看出,主要是453 Hz、584 Hz、714 Hz和



(a) 1/3倍频程谱图



(b) 窄带FFT谱图

图10 转向架区域噪声频谱特性

844 Hz 频率处噪声峰值随着里程增加而增加,其中584 Hz 恰好为车轮多边形磨耗激励频率,其他频率是车轮的多边形磨耗激励频率和过轨跨频率发生信号调制所致,表现为随车轮多边形发展而发展。

现比较车轮多边形磨耗幅值和转向架区域噪声水平,结果如图11所示。图11中给出了584 Hz处的噪声幅值和车轮多边形磨耗幅值之间的关系。

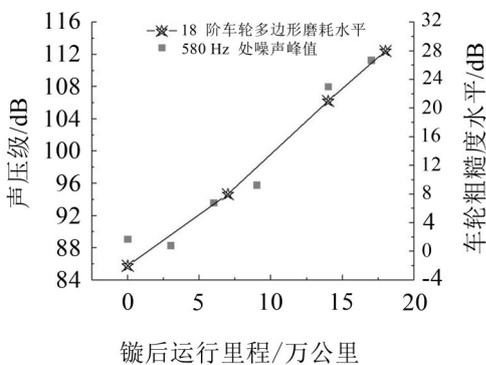


图11 转向架区域噪声和多边形磨耗的关系

由图11可知,车轮多边形磨耗水平由-4 dB增加到28 dB,转向架区域584 Hz频率处的噪声水平由88 dB(A)增大到112 dB(A),增大约24 dB(A)。由

此可见,以dB为单位,车轮多边形磨耗激励频率处的噪声水平和车轮多边形磨耗水平大致为线性关系。

4 结语

本文通过测试转向架区域噪声,并结合车辆轨道振动测试数据及车轮多边形磨耗测试数据,分析讨论车轮多边形磨耗对高速列车转向架区域噪声特性的影响。主要得到以下结论:

(1) 当轮轨表面状态良好时,转向架区域噪声主要受轮轨自身振动影响,当车轮表面存在多边形磨耗时,转向架区域噪声主要由车轮多边形磨耗决定,转向架区域噪声显著的频率会变为与多边形和行车速度相关的频率范围,随着车轮多边形磨耗水平的增加,转向架区域噪声显著增大;

(2) 特别地,当车轮多边形磨耗励频率和列车过轨跨频率发生频率调制时,导致转向架区域噪声频谱存在以多边形磨耗激励频率为中心频率,以过轨跨频率为间隔的谐频,扩大了车轮多边形磨耗的影响频段;

(下转第127页)