

文章编号:1006-1355(2018)06-0113-04

短波长钢轨波磨对地铁车辆车内噪声的影响

冯陈程, 刘晓龙, 李 伟, 韩 健, 温泽峰

(西南交通大学 牵引动力国家重点实验室, 成都 610031)

摘要:针对国内某地铁线路的车内噪声超标问题,进行车内噪声和线路钢轨波磨的现场测量。测试发现,列车经过波磨区间时的车内噪声高达90.3 dB(A),而对该区间的钢轨打磨后,车内噪声可以降低11.6 dB(A)。对车内噪声进行频谱分析后发现车内噪声主频均在400 Hz~700 Hz,这与车辆通过区间轨道的波长为30 mm~50 mm的波磨通过频率基本一致。对比分析发现波长为160 mm~200 mm的波磨对车内噪声的影响要远小于短波长波磨。因此,短波长波磨是造成车内噪声异常的主要原因。通过对大量试验数据的统计分析,得出车内噪声与30 mm~50 mm短波长波磨粗糙度水平的关系曲线,并根据该曲线提出针对30 mm~50 mm短波长波磨的打磨限值。

关键词:声学;地铁;车内噪声;钢轨波磨;钢轨打磨限值

中图分类号:U260.16

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2018.06.022

Influence of Short Pitch Rail Corrugation on Interior Noise of Metro Vehicles

FENG Chencheng, LIU Xiaolong, LI Wei, HAN Jian, WEN Zefeng

(State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Interior noise of metro vehicle and rail corrugation are measured due to the problem of excessive interior noise. The results show that interior noise can reach up to 90.3 dB(A) when the metro vehicle passes the track with serious rail corrugation. After the corrugation section is ground, the value of the interior noise is reduced by 11.6 dB(A). Through the frequency spectrum analysis, it is found that the main frequency of interior noise is in the range of 400 Hz-700 Hz, which is essentially the same as the frequency of the wheel passing the corrugation section with wavelength of 30 mm-50 mm. The effect of the corrugation with wavelength of 160 mm-200 mm on the interior noise is much smaller than that for the corrugation with wavelength of 30 mm-50 mm. Thus, the corrugation with wavelength of 30 mm-50 mm is the main cause of interior noise. Based on the analysis of a large amount of test data, the relationship curve between the interior noise of metro vehicle and the amplitude of rail corrugation with wavelength of 30 mm-50 mm is obtained. According to the relationship curve, a limit of rail grinding for the rail corrugation with the wavelength of 30 mm-50 mm is proposed.

Keywords: acoustics; metro vehicle; interior noise; rail corrugation; limit of rail grinding

目前,以地铁为代表的城市轨道交通以其安全快捷、全天候、运量大、污染少等特点已发展成为现代化大中型城市公共交通的骨干。但是随着地铁列车的运行,部分线路上的列车车内噪声显著,严重影响了司机和乘客的乘车舒适性。因此降低车内噪声,变得尤为重要和迫切,是提升地铁列车产品市场

竞争力的关键因素^[1]。

目前我国地铁列车的运行速度通常为60 km/h~120 km/h,该运行速度下的列车主要声源为轮轨噪声^[2]。但轮轨噪声是在车厢外产生的,对于影响车厢内部噪声的主要因素,国内外专家学者也做了大量研究。刘维宁等^[3]针对北京地铁车内噪声异常问题进行了试验调查分析,发现车内主要噪声频段为280 Hz~400 Hz,与55 mm~60 mm波长波磨对应的特征频率相吻合。罗斌^[4]通过地铁车辆的声学边界元仿真分析,认为地铁动车的车内声源主要是车厢的壁板振动,而车外噪声主要是轮轨噪声的辐射。王晓^[5]通过实际测量,认为地铁客车内噪声的主要来源有通过车体透射入车内的中高频的轮轨噪声、中低频的空调机组噪声和贯通道处风挡和电气设备噪

收稿日期:2018-03-19

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFB1201103-08)

作者简介:冯陈程(1993-),男,江苏省东台市人,硕士研究生,主要研究方向为车辆系统动力学和振动噪声控制。

通信作者:温泽峰(1976-),男,南宁市人,研究员,博士,博士生导师,主要研究方向为轨道交通轮轨关系和减振降噪。

E-mail: zefengwen@126.com

声。Zhao 等^[6]研究发现钢轨打磨可以使地铁车内噪声降低 3 dB(A)~4 dB(A),如果在轨道上加装阻尼器,能使车内噪声进一步降低 6 dB(A)~8 dB(A)。雷鹏^[7]测量分析发现空气噪声贡献量大于结构噪声贡献量,主要原因是地铁在隧道中运行,声音会产生反射经由车体产生声辐射和车体缝隙传入车内。刘晓龙^[8]通过实际测量以及仿真分析,认为线路的钢轨不平顺以及司机室车门的隔声性能薄弱共同导致了地铁列车司机室噪声较大。

通过前人的研究可以发现,针对不同车辆和不同线路,造成车内噪声的主要原因不尽相同,本文主要针对国内某地铁线路开通运行两年后出现的较为严重的车内噪声问题展开试验研究。

1 测试方案

选取了某条地铁线路一列正常运行的列车,对其 1 车(拖车)和 2 车(动车)进行车内噪声测试。根据 GB/T 3449-2011《声学—轨道车辆内部噪声测量》和 GB/T 14892-2006《城市轨道交通列车噪声限值和测量方法》,分别在 1 车的司机室前转向架正上方、前空调正下方、客室中间、后转向架正上方、1 车和 2 车的连接风挡处和 2 车的前转向架正上方、客室中间、后转向架正上方处布置了麦克风进行标准点噪声测试。测点均在地板上方 1.6 m 处。具体测点如图 1 所示,图中深色正方形位置即为麦克风布置位置。

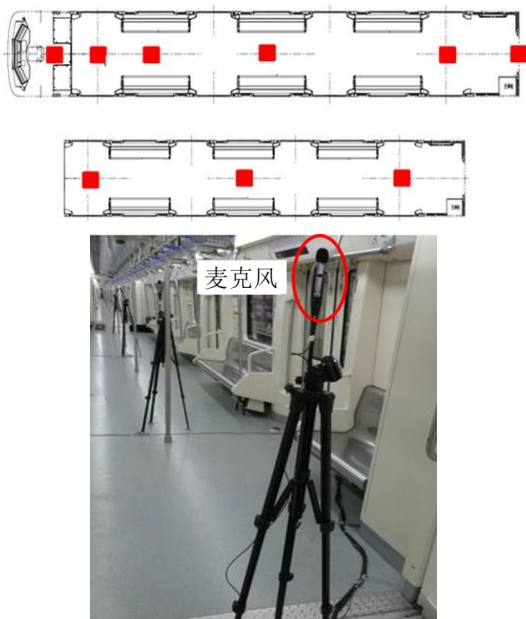


图 1 车内噪声测点

分别对车辆在静置和运行工况下的车内噪声进行了测量。运行工况包括了列车在未打磨区段和打磨区段运行。试验时,列车在 AW0 工况下以 75 km/h 的速度匀速运行。

2 测试结果分析

在车辆动态测试之前先对车辆静置状态下的车内噪声进行了测量,通过测试结果发现车辆在静置状态下且空调未运行时的车内噪声均低于 60 dB(A),当空调运行时的车内噪声在 70 dB(A)左右,均远低于地铁车辆车内噪声的限值,所以排除车内零部件及辅助设备噪声对车内严重噪声的影响。

对列车全线运行时的 1 车客室中间测点噪声进行总值计算,结果如图 2 所示。

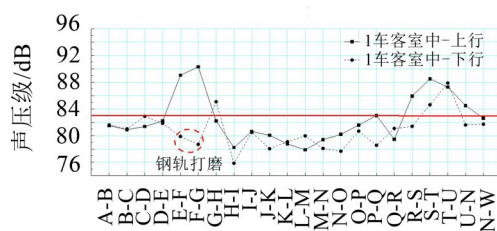


图 2 各区间车内噪声总值

可以发现 E-F-G 区间和 R-S-T-U 区间噪声较大,其中 F-G 区间上行线的车内噪声总值高达 90.3 dBA,大大超过了 83 dB(A)的车内噪声限值。为对比钢轨打磨对车内噪声的影响,对 E-F-G 区间下行线区间波磨严重区段进行钢轨打磨,测试后可以发现,相比于未打磨的上行线,车内噪声总值分别降低了 9.2 dB(A)和 11.6 dB(A),且均低于车内噪声限值。因为该区间上下行轨道形式和钢轨波磨情况基本相同,且其余未打磨区间的上下行车内噪声基本一致,所以可以近似看作同一轨道打磨前后的车内噪声。所以可以初步明确钢轨波磨是导致车内噪声较大的主要因素。

对噪声较大区间的车内各测点噪声进行 1/3 倍频程频谱分析,结果如图 3 所示。

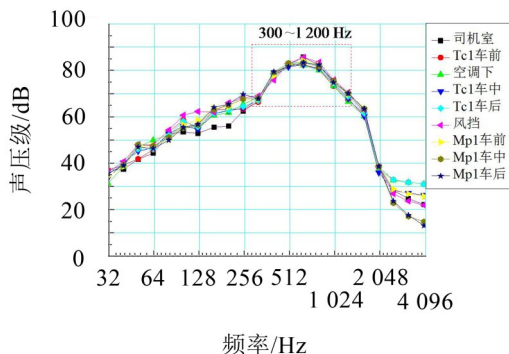


图 3 车内各点噪声 1/3 倍频程

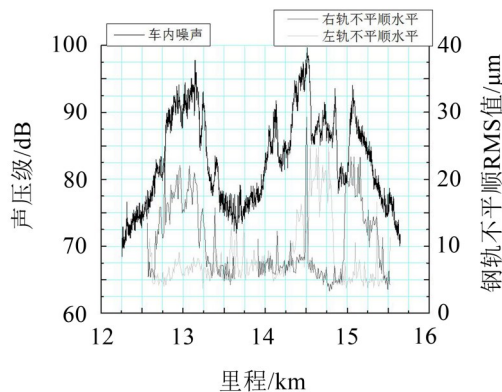
噪声在 300 Hz~1 200 Hz 频段内的声压级较高。根据噪声叠加原理,如果声压级相差超过 10 dB(A)的 2 个声源相叠加,那么总的声压级近似等于较大的声源的声压级。所以,300 Hz~1 200 Hz 的噪

声是造成车内噪声异常的主要原因,同时在这个频段内,车内各测点噪声的1/3倍频程值基本一致。为了简化分析,下文的分析均选取1车客室中测点的噪声进行分析。

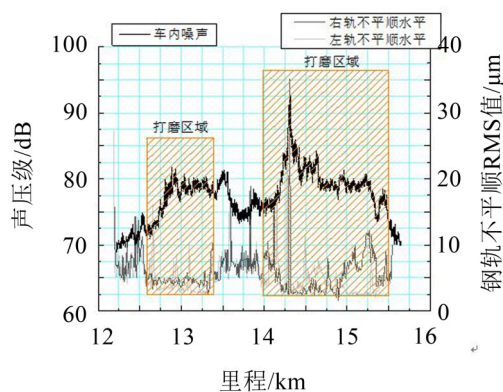
对E-F-G区间车内噪声和钢轨波磨作进一步分析。图4是车内噪声与钢轨不平顺RMS值的关系,图中颜色最深的曲线是车内噪声总值,而颜色较浅的两条曲线分别是钢轨右轨和左轨的不平顺RMS值。由图可知,车内噪声总值曲线和钢轨不平顺水

平曲线走势基本一致,当钢轨不平顺水平较低时,车内噪声处于较低的水平。而当钢轨不平顺水平逐渐增大,车内噪声也逐渐增大,最大接近100 dB(A)。而对波磨严重区段进行钢轨打磨后,打磨区段的钢轨不平顺水平明显降低,对应的车内噪声水平也明显降低至80 dB(A)左右。

选择噪声较大的断面进行车内噪声窄带分析。发现车内噪声在446 Hz和694 Hz存在明显峰值,如图5所示。



(a) 打磨前



(b) 打磨后

图4 车内噪声与钢轨不平顺水平关系

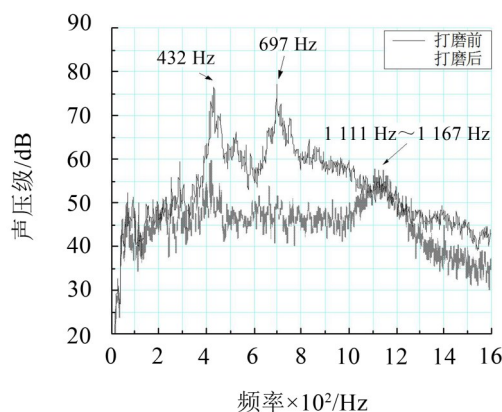


图5 车内噪声窄带频谱分析

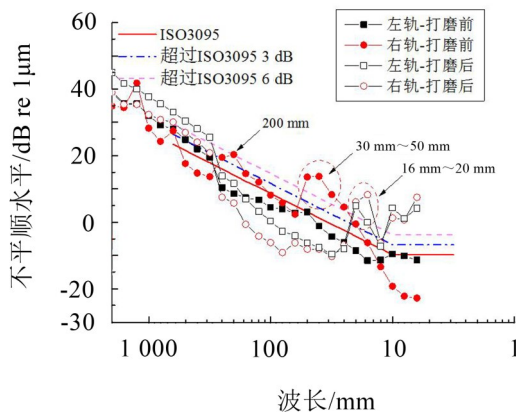
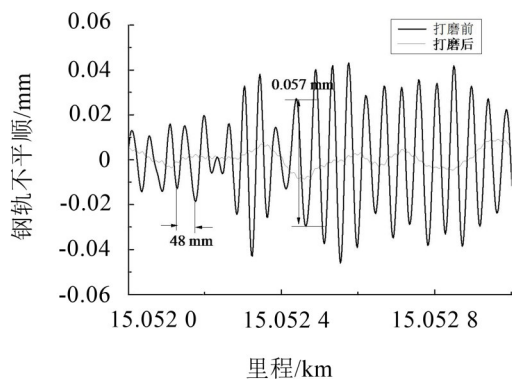
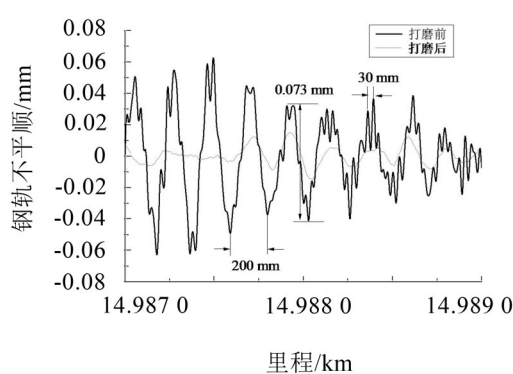


图6 打磨前后钢轨不平顺1/3倍频程



(a) 短波长波磨区段



(b) 长波长和短波长波磨混合区段

图7 钢轨不平顺局部放大图

通过对该断面轨道波磨调查发现,轨道存在明显的30 mm和48 mm的短波长钢轨波磨,如图7和图8(a)所示。

列车以75 km/h的速度通过30 mm和48 mm波磨时的通过频率分别为694 Hz和434 Hz,这与车内噪声的主频基本一致。另外选择多个车内噪声断面进行分析,发现车内噪声均在400 Hz~700 Hz的频段范围内存在明显峰值。而对应断面的轨道均存在明显的30 mm~50 mm短波长钢轨波磨,且通过计算发现,列车在75 km/h速度下的波磨通过频率和车内噪声主频基本一致。对钢轨进行打磨后,钢轨波磨消失。车辆经过打磨区段时的车内噪声在400 Hz~700 Hz频段并没有明显峰值,反而在1 111 Hz~1 167 Hz频段存在一定峰值。这与列车以75 km/h的速度通过钢轨打磨后产生的波长为16 mm~20 mm波磨时的通过频率基本一致。这说明波长30 mm~50 mm的短波长波磨是造成车内噪声异常的主要原因。

试验还发现E-F-G区间存在160 mm~200 mm的长波长波磨如图7(b)所示,但由于长波长波磨存在区段较短,同时长波长波磨中还包含着30 mm的短波长波磨,这都干扰了对长波长波磨对车内噪声影响的分析。



(a) 打磨前 (b) 打磨后

图8 现场钢轨波磨

为了进一步分析长波长波磨对车内噪声的影响,选取列车经过只存在160 mm~200 mm长波长波磨的区段的车内噪声进行分析,如图9(a)所示。当列车以50 km/h和60 km/h的速度匀速通过该区段

时,车内噪声分别约为75 dB(A)和78 dB(A)。而对应的列车以相同的速度通过相同轨道形式的30 mm~50 mm短波长区段时的车内噪声却分别高达82 dB(A)和86 dB(A)。同时,长波长波磨区段的钢轨不平顺RMS值要远大于短波长磨波区域的钢轨不平顺RMS值。通过对比可知,160 mm~200 mm的长波长波磨对车内噪声影响较小,远不及30 mm~50 mm短波长波磨对车内噪声的影响。

3 短波长波磨打磨限值研究

通过上文的研究发现:30 mm~50 mm短波长波磨是造成车内噪声异常的主要因素,因此抑制短波长波磨的发展是控制车内噪声的主要方法。目前已有的抑制减缓钢轨波磨产生和发展的方法有:

- (1) 钢轨打磨;
- (2) 钢轨轨头硬化处理;
- (3) 采用摩擦调节剂;
- (4) 车辆或轨道上安装振动阻尼器;
- (5) 定期变化运营速度等。

其中钢轨打磨是目前减缓钢轨波磨最为普遍的措施。但由于钢轨打磨工作量大、效率不高,地铁公司的人力物力有限,不能及时地对钢轨就进行打磨。同时,频繁地打磨钢轨会大大降低钢轨寿命,增大运营成本,所以制定一套合理的钢轨打磨限值标准是非常有必要的。

本文基于试验数据统计结果给出了基于车内噪声大小的钢轨30 mm~50 mm短波长波磨的打磨限值。对试验中列车以75 km/h的速度匀速通过30 mm~50 mm波磨区段时车内噪声和对应的钢轨粗糙度水平进行了统计分析,如图10所示。

由图可知:当钢轨粗糙度水平低于10 dB时,车内噪声处于一个较低的水平,且随钢轨粗糙度水平的变化较小。而当钢轨粗糙度由10 dB逐渐增大至15 dB时,车内噪声声压级也逐渐增大。而当钢轨粗糙度水平超过15 dB后车内噪声快速增大,且此时

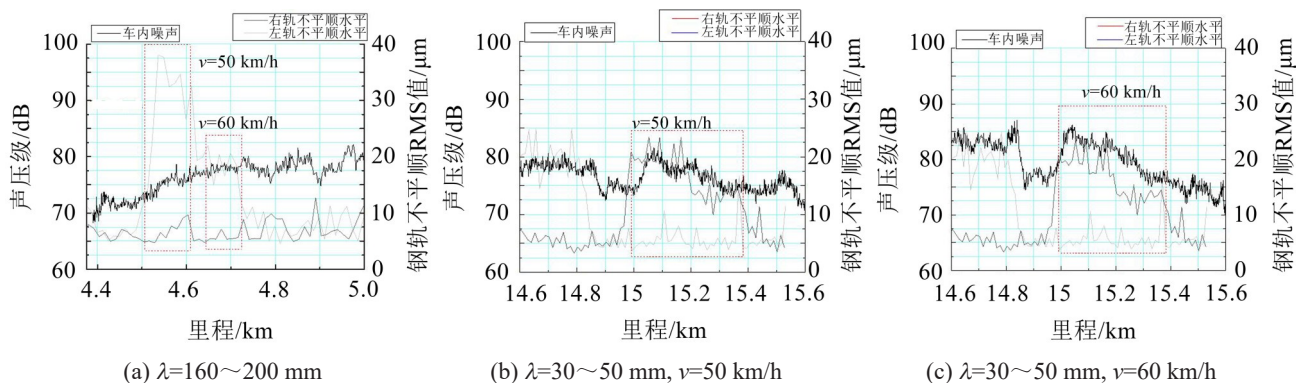


图9 不同波长波磨与车内噪声关系

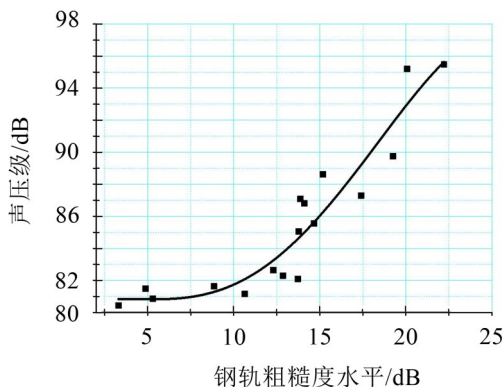


图10 声压级与短波长波磨粗糙度关系图

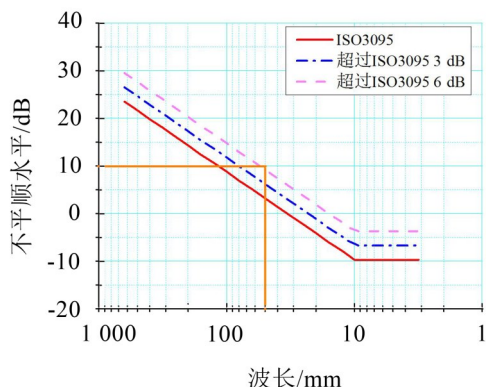


图11 ISO 3095中钢轨波磨限值

的车内噪声总值均超过了车内噪声限值。因此,对于30 mm~50 mm的短波长波磨,其粗糙度水平未超过10 dB时,无需对该区段钢轨进行打磨;当其粗糙度水平在10 dB~15 dB时,可对该区段钢轨进行打磨;当其粗糙度水平大于15 dB时,应立即对该区段钢轨进行打磨。

由图11我们可以发现,在ISO 3095的钢轨波磨限值标准中,50 mm短波长波磨的打磨限值就是10 dB。这也进一步验证了本文所得结论的准确性。同时根据图10中的车内声压级与短波长波磨粗糙度水平的关系曲线,可以通过测量车内噪声水平,经过总值和频谱分析后即可得出对应区段的钢轨粗糙度水平。与传统的钢轨波磨测试相比,这种方法大大提高了钢轨波磨测量的效率。

4 结 语

本文通过对地铁车辆在不同钢轨波磨水平情况下运行时的车内噪声水平的测量,将车内噪声情况和对应区段的钢轨粗糙度水平进行对比分析,得出钢轨的30 mm~50 mm短波长波磨会造成车内噪声的大幅度增大。抑制短波长波磨发展是控制车内噪声的主要方法,基于测试结果得到了车内声压级与短波长波磨粗糙度水平的关系曲线,并针对短波长波磨对车内噪声的影响提出了30 mm~50 mm短波长波磨的打磨限值,具体如下:

- (1) 粗糙度小于10 dB无需打磨;
- (2) 粗糙度在10 dB~15 dB建议打磨;
- (3) 粗糙度大于15 dB必须打磨。

此外,通过测量车内噪声而得出钢轨短波长波磨的粗糙度水平的方法,可以大大提高钢轨波磨测量的效率。

参考文献:

- [1] 任海,肖友刚. 地铁车内噪声的成因及控制策略[J]. **铁道学报**,2009,47(4):25-29.
- [2] THOMPSON DAVID. Railway noise and vibration[M]. Elsevier Science, 2008: 12-36
- [3] 刘维宁,任静,刘卫丰,等. 北京地铁钢轨波磨测试分析[J]. **都市快轨交通**,2011,24(3):6-9.
- [4] 罗斌. SFM05型地铁动车噪声预测及声学贡献度分析[D]. 长沙:中南大学硕士论文,2010.
- [5] 王晓. 地铁客车减振降噪技术研究[D]. 大连:大连交通大学,2009.
- [6] ZHAO C, WANG P, YI Q. Internal noise reduction in railway vehicles by means of rail grinding and rail dampers [J]. **Noise Control Engineering Journal**, 2017, 65: 1-13.
- [7] 雷鹏. 地铁车辆车内噪声源传递路径分析研究[D]. 北京:北京交通大学,2016.
- [8] 刘晓龙. 地铁司机室车内噪声异响原因探析[D]. 成都:西南交通大学,2017.