

# 基于实测数据的钢轨波磨与车内噪声相关性分析

郭世豪

北京市市政工程设计研究总院有限公司 北京 100082

**摘要:**随着城市轨道交通的快速发展,全国各地部分线路发生了严重的异常波磨,产生严重的噪音问题,乘客和居民反映强烈,钢轨异常波磨造成的车内噪声超标问题已成为地铁建设和运营亟待解决的关键问题之一。为明确钢轨波磨对车内噪声的相关性,对某地铁全区段上行、下行进行了噪声测试,并对该线路钢轨波磨情况进行了检测。根据噪声测试及波磨检测结果,综合考虑曲线半径、列车速度、钢轨波磨等因素对车内噪声的贡献情况,通过大量数据拟合分析得出钢轨波磨对车内噪声的贡献率。

**关键词:**地铁;钢轨波磨;车内噪声

## Correlation analysis of rail wave wear and in-car noise noise based on measured data

Guo Shihao

Beijing Municipal Engineering Design Research Institute Co., LTD., Beijing 100082, China

**Abstract:** With the rapid development of urban rail transit, some lines across the country have serious abnormal wave wear, resulting in serious noise problems, passengers and residents have strong reaction, rail abnormal wave wear caused by excessive noise in the car has become one of the key problems to be solved in subway construction and operation. In order to make clear the correlation between rail wave wear and the noise inside the car, the noise test was carried out for the whole section of a subway, and the rail wave wear of the line was detected. According to the results of noise test and wave wear test, considering the contribution of curve radius, train speed, rail wave wear and other factors to the interior noise, the contribution of rail wave wear to the interior noise was obtained through a large number of data fitting analysis.

**Key words:** subway; rail wave wear; In-car noise

2003年在“环境影响评价导则”中,增加了“减少地铁振动及噪声”的技术要求,同年《地铁设计规范》开始使用,增加了减振轨道设计要求,全国同期建设的地铁中开始广泛采用轨道减振技术<sup>[1-2]</sup>。

因减振轨道的普遍使用,据不完全统计,自2005年至2019年,全国大部分城市新建地铁线路中大量出现钢轨异常波磨现象,部分线路甚至开通2个月即出现异常波磨现象,数量快速增多,采用常规养护维修手段无法根治<sup>[3-5]</sup>。

异常波磨给地铁运营安全造成隐患,带来的啸叫声已成为轨道交通噪声的主要来源之一。为明确钢轨波磨对轨道交通车内异常噪声的影响,基于某地铁线路进行钢轨波磨检测及轨道车辆内部噪声试验,本文主要考虑曲线半径、列车速度、钢轨波磨等因素对车内噪声的贡献情况,通过大量数据拟合分析得出钢轨波磨对车内噪声的贡献率。

### 1 测试方法及现场试验方案

为明确轨道波磨情况与车辆内部噪声的相关性,对轨道

结构开展如下方面的检测及试验工作:

#### (1) 钢轨波磨检测

轨道的波磨特征分别采用基尺和塞尺的方式、钢轨平直度测量仪和CAT钢轨波磨测量仪进行了测量;钢轨磨耗采用Mini Prof轨廓仪测量。

#### (2) 轨道车辆内部噪声试验

按照试验规程对某地铁权限上下行进行车内噪声测试试验,根据GB/T3449-2011《声学·轨道车辆内部噪声测量》和GB/T14892-2006《城市轨道交通列车噪声限值 and 测量方法》。由测试人员在车厢内安装噪音测试仪进行测量。

### 2 测试结果与分析

根据地铁线路钢轨波磨测试结果,该线路钢轨波磨主要波长为30-63mm。为研究钢轨波磨对车内噪声的影响,该地铁线路噪声在315Hz-1600Hz频段内的声压级较高,最大声压级对应的频率为500Hz。该地铁列车的运行时速在85km/h,根据波磨与对应频率的换算关系,列车通过30-63mm的钢轨

波磨时的频率在375Hz-787Hz之间,这与车内噪声主频基本一致。因此,钢轨波磨波长对车内噪声的声压值在各频段内的分布情况具有较大影响。当钢轨波磨的波长较大时,列车通过波磨引起的轮轨振动频率较低。虽然长波长波磨也会引起较低频段的车内噪声增大,但是由于较低频段不是车内噪声最为显著的频段,车内噪声总值对该频段噪声变化的敏感度较低,因此长波磨导致的车内噪声增大贡献率较小。

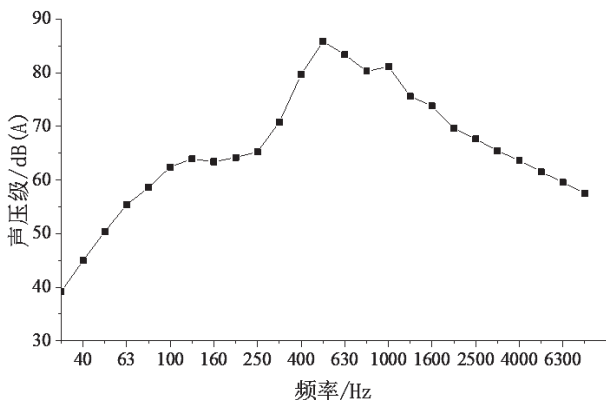


图1 区间车内噪声测试结果

为了进一步明确钢轨波磨对车内噪声的贡献,特别是短波长波磨波深对车内噪声的影响。根据线路钢轨波磨情况分析发现,该地铁全线短波长波磨主要以30mm-65mm的波长为主,因此本文主要针对30mm-65mm短波长波磨对车内噪声的贡献率进行研究。除了钢轨波磨对车内噪声具有较大影响外,根据现有文献研究,曲线半径、列车速度对车内噪声也有较大贡献,因此本文考虑曲线半径、列车速度、钢轨波磨等因素对车内噪声的贡献情况。

### 2.1 钢轨波磨的影响

选取试验中列车以85km/h的速度匀速通过30mm~65mm波磨区段时车内噪声和对应的钢轨波磨波深情况进行统计分析,结果如图2所示。为排除其他因素对车内噪声的影响,仅选择采用整体道床轨道形式的曲线段(曲线半径400m)进行分析。同时由于对车内噪声测试时选取的是同一列车,因此也可排除列车对测试结果的影响。

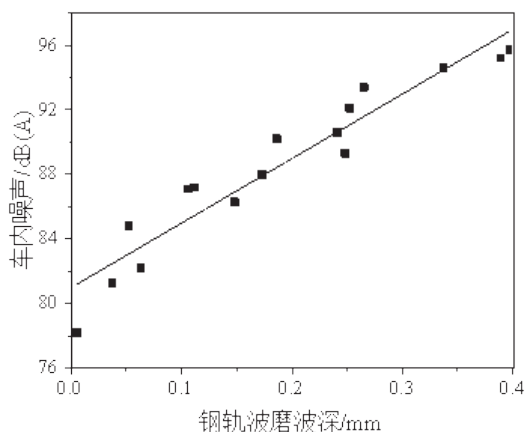


图2 车内噪声和钢轨波磨波深的关系

将统计结果进行分析,并进行线性拟合。根据拟合曲线,列车以85 km/h 的速度匀速通过波磨波长为30mm-65mm,曲线半径400m区段时车内噪声为

$$L_A = 39.97h + 80.97 \quad (1)$$

式中,  $L_A$ 为车内噪声预测值, dB(A);  $h$ 为钢轨波磨波深, mm。

在统计学中,通常采用R2来检验拟合优度。R2反映了回归方程所能解释的变差比例,其取值在0~1之间,R2越接近1,说明回归方程对于样本数据点的拟合优度越高;反之,说明回归方程对于样本数据点的拟合优度越低。该拟合曲线R2 = 0.908,因此该回归方程对于样本数据点的拟合优度较高,具有一定可信度。

因此根据拟合公式(1),波磨波深每增大0.1mm,车内噪声则增大4dB(A)。

### 2.2 曲线半径的影响

选取试验中列车以85km/h的速度匀速通过波长为30mm-65mm波磨曲线区段(不同曲线半径)时车内噪声和对应的钢轨波磨波深情况进行统计分析。由于测试中,不同曲线段的钢轨波磨情况不同,为控制变量,根据拟合公式(1)将测得的车内噪声换算为无波磨时的车内噪声。

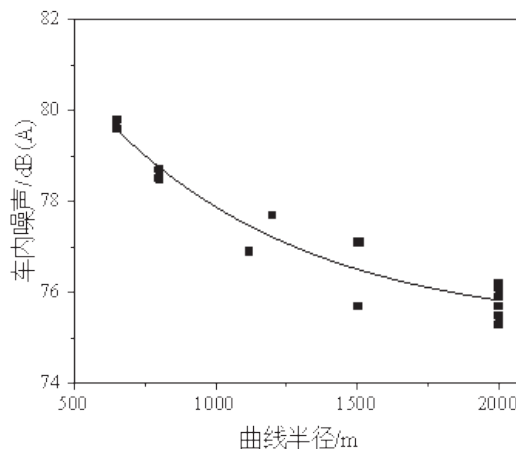


图3 车内噪声和曲线半径的关系

将统计结果进行分析,并进行曲线拟合。根据拟合曲线,列车以85 km/h 的速度匀速无波磨曲线地段时车内噪声为

$$L_A = \frac{2388}{R} + 74.9 \quad (2)$$

式中,  $L_A$ 为车内噪声预测值, dB(A);  $R$ 为曲线半径, m。

对于公式(2),当 $R = 400$ m时,  $L_A = 80.87$  dB(A);对于公式(1),当 $h = 0$ 时,  $L_A = 80.97$  dB(A),两者相近,即可验证公式(2)的准确性。

结合公式(1)、(2),列车以85 km/h 的速度匀速通过时车内噪声为

$$L_A = \frac{2388}{R} + 39.97h + 74.9 \quad (3)$$

式中,  $L_A$ 为车内噪声预测值, dB(A);  $R$ 为曲线半径, m;  $h$ 为钢轨波磨波深, mm。

### 2.3 列车速度的影响

针对列车运行情况, 本文针对列车速度为65km/h~90km/h进行研究。为控制变量, 本文通过公式(3)将不同曲线半径, 不同波磨波深所对应的车内噪声均换算为无波磨地段直线地段时的车内噪声。

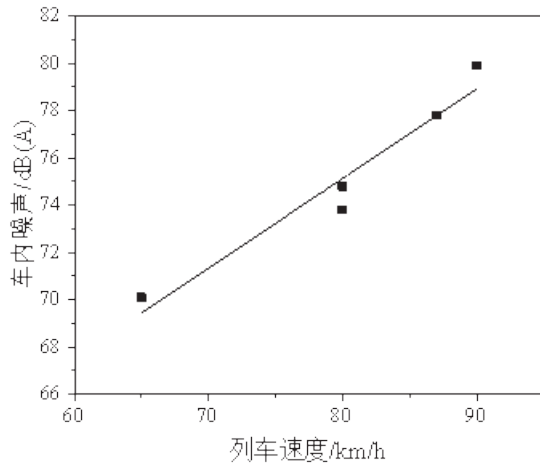


图4 车内噪声和列车速度的关系

将统计结果进行分析, 并进行曲线拟合。根据拟合曲线, 列车匀速无波磨直线地段时车内噪声为

$$L_A = 0.379v + 43.69 \quad (4)$$

式中,  $L_A$ 为车内噪声预测值, dB(A);  $v$ 为列车速度, km/h, 取值范围: 65km/h~90km/h。

对于公式(4), 当 $v = 85$ km/h时,  $L_A = 75.9$  dB(A); 对于公式(3), 当 $h = 0$ 时,  $R = \infty$ 时,  $L_A = 74.9$  dB(A), 两者相近, 即可验证公式(4)的准确性。

结合公式(3)、(4), 该列车匀速运行时车内噪声为

$$L_A = \frac{2388}{R} + 39.97h + 0.379v + 43.69 \quad (5)$$

式中,  $L_A$ 为车内噪声预测值, dB(A);  $R$ 为曲线半径, m;  $h$ 为钢轨波磨波深, mm;  $v$ 为列车速度, km/h, 取值范

围: 65km/h~90km/h。

因此钢轨波磨对车内噪声的贡献率为

$$C = \frac{39.97h}{\frac{2388}{R} + 39.97h + 0.379v + 43.69} \times 100\% \quad (6)$$

式中,  $C$ 为车内噪声贡献率;  $R$ 为曲线半径, m;  $h$ 为钢轨波磨波深, mm;  $v$ 为列车速度, km/h, 取值范围: 65km/h~90km/h。

### 3 结论

根据线路情况与波磨情况数据、车内噪声数据, 综合考虑曲线半径、列车速度、钢轨波磨等因素对车内噪声的影响, 通过大量数据进行拟合分析得出, 钢轨波磨对车内噪声的贡献率为

$$C = \frac{39.97h}{\frac{2388}{R} + 39.97h + 0.379v + 43.69} \times 100\%$$

式中,  $C$ 为车内噪声贡献率;  $R$ 为曲线半径, m;  $h$ 为钢轨波磨波深, mm;  $v$ 为列车速度, km/h, 取值范围: 65km/h~90km/h。

### 参考文献

- [1]张艳平,杨宜谦,柯在田,等. 城市轨道交通振动和噪声的控制[J]. 中国铁路,2000(3):43-45.
- [2]张慧慧. 城市轨道交通轨道结构型式的选择[J]. 铁道建筑技术, 2013, 000(010):70-73.
- [3]徐力, 沈钢. 波浪磨耗对重载钢轨安定性级轮轨接触力的影响. 铁道机车车辆, 2009, 29(4): 22-26.
- [4]钟硕乔, 吴磊, 李伟等. 钢轨波磨对地铁车辆动力学响应的影响[J]. 计算机辅助工程, 2012, 21(6): 26-30.
- [5]蔡小培, 钟阳龙, 郭亮武, 谭希. 钢轨波磨对剪切型减振器段振动影响试验[J]. 振动.测试与诊断, 2019, 39(02): 382-388+448-449.