

高速列车“通过噪声”的测试分析

孙召进¹, 郭建强¹, 葛剑敏²

(1. 南车青岛四方机车车辆股份有限公司国家工程研究中心, 山东青岛 266111; 2. 同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘要: 为了评估高速列车运行时对轨道周围环境的噪声污染程度, 对高速列车以不同速度工况通过时的车外辐射噪声(称为“通过噪声”)进行了测试, 得到了以最大 A 声级和 1/3 倍频程 A 声级标志的列车通过噪声的测量数据。分析了通过噪声的频谱特性、及其与列车速度的关系。测试数据表明高速列车通过噪声是宽频噪声, 最大 A 声级在标准规定测试点上的值达到约 90 dB, 对铁路附近的噪声污染比较大; 通过噪声随着列车速度增大而增大, 在时速 370 km 以上增幅变大。

关键词: 高速列车; 通过噪声; 频谱特性

中图分类号: TB52

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-02-0159-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.02.013

Measurement and analysis of high-speed train passing noise

SUN Zhao-jin¹, GUO Jian-qiang¹, GE Jian-min²

(1. CSR Qingdao Sifang Co., LTD, Qingdao 266111, Shandong, China;

2. Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to evaluate the wayside noise pollution caused by high-speed train passing, the passing noise of the high-speed train running at different speeds are measured. Maximum A-weighted sound pressure level and A-weighted sound pressure level in 1/3 octave are used as the quantities to indicate the noise level. Data analyses consist of spectral characteristics, relation of noise level with train speed, and decay estimation in terms of distance. It is found from the test result that the high-speed train passing noise is broadband noise. Maximum A-weighted sound pressure level is about 90dB, which creates a lot of noise pollution nearby railway. The noise level increases with the increase of train speed, and the growth rate rises above the speed 370km/h.

Key words: high-speed train; passing noise; spectral characteristics

0 引言

近年来, 随着我国列车制造技术的不断发展, 列车的运行速度不断提高, 铁路沿线的噪声污染问题日益突出。尤其是时速 200 km 以上的高速列车, 其通过时对铁路两侧一定范围内的居民、生物、甚至建筑物都造成了很大的影响。国内外针对高速列车辐射噪声已经开展了一些研究工作, 制定了一些初步的噪声限值标准和测试规范, 如: UIC 660-2002《保证高速列车技术兼容性的措施》、铁运[2008]28号文《高速动车组整车试验规范》^[1]。这些标准和规范大多是参考速度较低的列车制定的, 对于速度更高的列车需要做进一步的研究。

试验参考铁路机车车辆辐射噪声测量标准^[2,3]的要求, 通过现场测量, 以不同的声学参量评估高

速列车通过时的噪声水平, 分析测量所得数据, 得出列车通过噪声的特性, 试验和分析结果对车体降噪设计、声屏障设计和安装位置等方面的改进、铁路沿线规划以及高速列车噪声辐射限值标准的制定都有一定意义。

1 描述通过噪声的声学参量

列车通过观测点跟飞机起落、汽车通过等现象一样, 属于单次噪声事件, 相对于持续噪声现象, 描述这类事件的噪声水平有其特有的声学参量, 通常用以下物理量表征列车通过噪声。

1.1 最大 A 声级

列车通过时, 测点处声压级呈现先增大后减小的变化趋势, 如图 1 所示, 最大 A 声级(L_{Amax})是声压级变化过程中的最大值。

1.2 声暴露级

声暴露级(Sound Exposure Level, $SEL(L_E)$)用于评价单一噪声事件的累积效应对人造成的烦恼度,

收稿日期: 2012-12-28; 修回日期: 2013-03-10

作者简介: 孙召进(1973—), 男, 山东烟台人, 研究方向为噪声与振动控制。

通讯作者: 孙召进, E-mail: sunzhaojin@cqsf.com

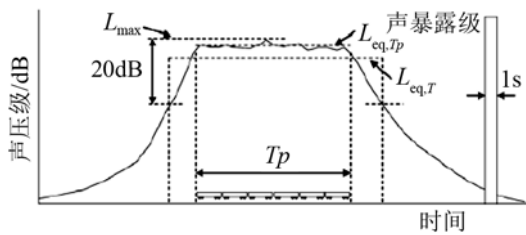


图 1 各声学参量在声压级和时间关系曲线上的示意图
Fig.1 Time history of train passing noise with various parameters

其定如公式(1)所示:

$$SEL=10\lg\left\{\int_{t_1}^{t_2}\frac{p^2(t)}{p_{ref}^2}dt\right\} \quad (1)$$

$T=t_2-t_1$ 是单次噪声事件中, 对声能有显著贡献的时间间隔。

1.3 短时等效连续声压级

评价非稳态噪声污染程度的另一个重要物理量是等效连续声压级($L_{eq,T}$), 其定义如公式(2)所示:

$$L_{Aeq,T}=10\lg\left\{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2}\frac{p^2(t)}{p_{ref}^2}dt\right\} \quad (2)$$

其中 $T=t_2-t_1$, 是积分时间, 对于列车单次通过的噪声事件来说, 这个时间通常由车长除以车速得到, 或者取声压级和时间的关系曲线上从最大声压级向下降低 20 dB 两点间所跨的时间段, 如图 1 所示。因为这是一个单次噪声事件的噪声延续时间, 因此称其为短时连续声压级。

2 测试要求

对于速度超过 350 km/h 以上运行的高速列车, 国内还没有相关的通过噪声的测试规范及车外噪声辐射限值标准。参考列车低速运行时的测试规范及标准^[3,4]的要求, 为了保证测试结果的准确可靠, 本试验在测试场地选择、测试点布置等都有一定要求, 具体要求见下文。

2.1 周围环境

传声器周围 3 倍于测量距离之内没有大的声反射体(如小山、桥梁、建筑物等障碍物)。

传声器与被测机车车辆之间, 地面应尽可能没有声吸收覆盖物(如耕地、草地等)。

铁路背景噪声应至少比被测机车车辆噪声低 10 dB(A)。频谱分析时, 各频带的上述差值也应符合这种要求。

2.2 天气情况

在下列条件下不能测量: (1) 地面有雪层; (2) 下雨或下雪时; (3) 轨面上 2 m 高处的风速超过 8

m/s。

2.3 测点布置

传声器布置时要求传声器应垂直指向通过轨道中心线的垂面, 置于距轨道中心线垂面 25 m, 距轨面高 3.5 m 处, 如图 2 所示。

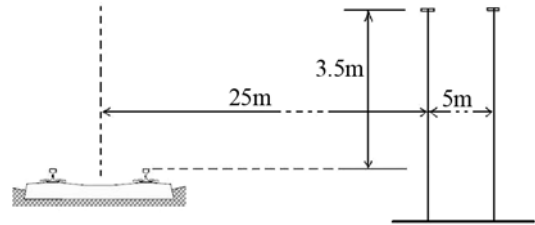


图 2 传感器布置示意图
Fig.2 Illustration of transducer layout

2.4 其它要求

在保证安全的前提下, 为使测试结果具有普遍性, 对路轨(如弯曲半径、坡度、焊缝等)、机车车辆(负载、设备开启状态、速度等)也有相应的要求。

3 测试内容

3.1 测试对象

测试车辆为目前正大量运行在京沪线的新一代高速动车组, 其中测试的列车为刚出厂即将交付的 CRH380A-6041L, 具体如图 3 所示。

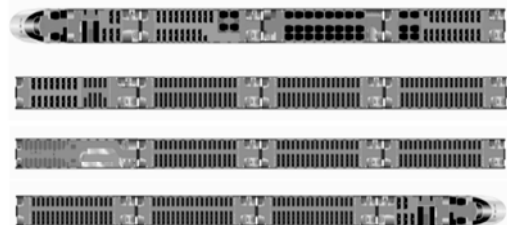


图 3 CRH380AL 动车组编组图
Fig.3 Diagram of CRH380AL EMU trains

此型号列车的编组、重量、车体尺寸、运行速度等参数如下所示:

- 编组车辆数: 16 辆
- 宽度: 3380 mm
- 高度: 3700 mm
- 最大轴重: ≤15 T
- 持续运行速度: 350 km/h

3.2 测点选择

经过现场踏勘, 选择了京沪线河北境内铁路旁一片空旷的平地作为测试点。测点周围几百米内没有山或者建筑物, 地势平坦, 地表无树木、杂草等吸声覆盖物, 周围无其他明显噪声源。

3.3 传声器安装

在离轨道中心距离 25 m 处布置了一个传声器，为了研究衰减情况在同一条直线上 30 m 处也布置了一个传声器，如图 2 所示。

3.4 测试工况

为了研究运行速度和噪声量值之间的关系，保持其它条件不变，列车以不同速度(分别为 300、350、360、370、380 km/h)通过测试点时，记录整个过程中的列车通过噪声以及无列车通过时的背景噪声。

4 测试及分析

4.1 背景噪声

图 4 是背景噪声和列车以 300 km/h 通过时的噪声 1/3 倍频程频谱图，可以看出在整个频带上 A 声级的差值都大于 25 dB。根据测试数据，两种工况下最大 A 声级(L_{Amax})的差值为 42.8 dB，满足测试环境对背景噪声要求。

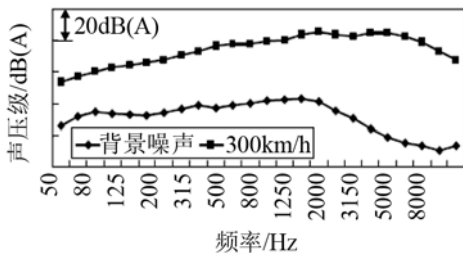


图 4 背景和 300km 时速时的 1/3 倍频程频谱
Fig.4 One third octave spectra of background noise and the train passing noise at 300km/h

4.2 噪声频谱特性

高速列车的噪声源有轮轨噪声、车载设备噪声和气动噪声，而车外噪声主要是轮轨噪声和受电弓等突起部件(受电弓跟气流作用、受电弓跟电网摩擦)的气动噪声。噪声频谱分析是噪声源识别以及各声源对总噪声贡献量分析的重要手段。

由图 4 可见，高速列车通过噪声在整个 1/3 倍频程频带上的 A 声级都有比较高的值，尤其在 500~5000 Hz 频率范围内更为突出，是频率成分复杂的宽频噪声。

4.3 最大 A 声级随速度的变化

随着列车运行速度的增加，轮轨相互作用加剧，轮轨系统振动增大，从而引起轮轨噪声增强。轮轨噪声随着速度的增长规律为 $30 \log_{10} V$ ^[4]。相对于轮轨噪声，气动噪声随速度的增加率更大，其增长率关系的经验公式为 $60 \log_{10} V$ ^[4]。

线路实测各速度级下的声压级及频谱如图 5 和图 6 所示。

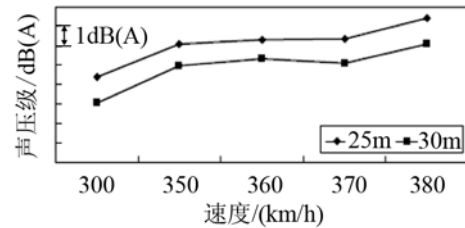


图 5 不同时速下不同测点处最大声压级
Fig.5 Maximum sound pressure levels at different testing points for different train speeds

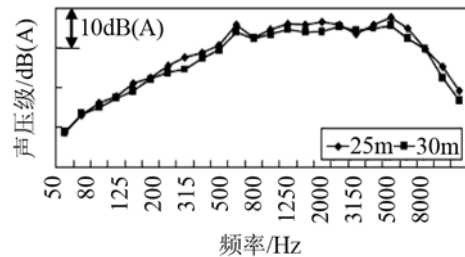


图 6 不同距离测点处的 1/3 倍频程频谱
Fig.6 One third octave spectra at different testing points

由图 5 可以看出，最大声压级随速度呈增大趋势，在时速为 350~370 km/h 时变化较平缓，时速为 370~380 km/h 时变化率增大。沿着垂直于轨道的直线远离列车方向，噪声随距离增大而衰减。从距轨道中心 25m 到 30m，最大 A 声级(L_{Amax})的衰减量约为 1.2dB(A)

4.4 噪声随距离衰减

比较列车整车的纵向和横向尺寸以及测点到列车的距离，假设把列车通过测点的过程近似看成是一个线声源发声。线声源发出的声波在大气中传播时，声压级随距离增大而衰减，其衰减规律由式(3)表示^[5]：

$$L_p = L_{r_0} - \alpha(r - r_0) - 10 \lg \left(\frac{r}{r_0} \right) \quad (3)$$

式(3)中：左边表示待测点的声压级；右边第一项 L_{r_0} 是已知点的声压级；第二项 $\alpha(r - r_0)$ 是空气吸收引起的衰减， α 是衰减系数，跟温湿度和频率有关；第三项 $10 \lg \left(\frac{r}{r_0} \right)$ 是声波波前扩张引起的衰减。根据式(3)，如果已知离噪声源距离 r_0 处的声压级 L_{r_0} ，可以求出 r 处声压级 L_p 。

由式(3)计算得噪声衰减量约为 0.9~1.4 dB(不同的频率衰减系数 α 不同，所以衰减量不同)，与实际测得值相近。

4.5 声压随时间变化关系曲线

列车通过时，列车离测点的距离先减小再增

大,所以通过噪声声压的变化规律是先增大后减小,声压随时间变化关系曲线如图7所示。

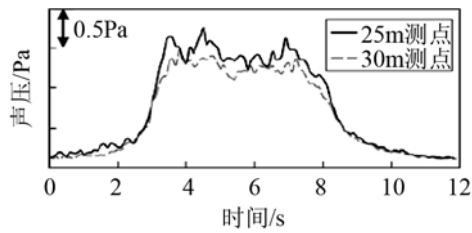


图7 通过噪声声压随时间变化曲线
Fig.7 Time history of train passing noise

图7记录了列车通过时,两测点处噪声声压随时间的变化过程,可以看出有列车驶来时的声压上升段、列车车身通过时的保持段和列车驶离时的下降段。图中曲线的上升段斜率比下降段更陡峭,即斜率大,说明在列车高速通过时有明显的多普勒效应。在列车车身通过时的保持段上,噪声声压并不是稳态的,而是有较大的波动,声压曲线上有几个突出的尖峰,由文献[5]中分析知道,这是受电弓等突起物的气动噪声形成的。

4.6 以各声学量表示的通过噪声值

表1是列车以300km/h运行时,两测点处的通过噪声量值,分别以最大A声级、声暴露级和短时等效连续声压级表示。

表1 以不同声学参量表征的列车通过噪声值

Table 1 Train pass-by noise level represented by various quantities

测点/m	$L_{Amax}/dB(A)$	$SEL/dB(A)$	$L_{Aeq,T}/dB(A)$
25	97.2	104.3	93.9
30	96.6	103.1	92.5

在上述 SEL 和 $L_{Aeq,T}$ 的测量中, $t_1=3.3s$, $t_2=7.7s$ 。

5 结论

经过现场试验和数据分析,得出高速列车通过

噪声的具体量值和特点:

(1) 声压级 1/3 倍频程频带上在 500~5000 Hz 频率范围内的 A 声级都比较高,属于宽频噪声。

(2) 声压级 1/3 倍频程频谱上在 800 Hz 附近处有尖峰,声压随时间变化曲线上在中间部分也有尖峰出现,说明有固定频率强噪声声源辐射,有可能是受电弓引起的湍流激励噪声,需要进一步研究。

(3) 最大 A 声级随速度增大而增大,呈“分段式”变化规律:时速 370 km 以上声压级随速度增幅变大(由于测试速度工况的限制,需要取更多速度条件才能发现进一步规律);

(4) 由于测试点周围地面平坦,空气介质均稳定,通过噪声随距离的衰减在一定范围内近似于线声源的衰减,可做为通过噪声向远处传播时衰减关系预测的依据。

参 考 文 献

- [1] International Union of Railways. UIC 660-2002 Measures to ensure the technical compatibility of high-speed trains[S]. France: International Union of Railways, 2002.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. GB/T5111-2011 声学 轨道机车车辆发射噪声测量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T5111-2011 Acoustics-Measurement of noise emitted by railbound vehicle[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [3] International Organization for Standardization. ISO 3095-2005 Railway applications- Acoustics- measurement of noise emitted by Railbound vehicles[S]. Switzerland: IHS, 2005.
- [4] David Thompson. Railway Noise and Vibration [M]. Oxford, UK. 2009.
- [5] 赵松龄. 噪声的降低与隔离(上册)[M]. 上海: 同济大学出版社, 1985, 39-40. ZHAO Songling. Noise reduction and insulation(volume 1)[M]. Shanghai: Tongji University Press, 1985, 39-40.