文章编号：1006-1355(2014)04-0044-04+61

V型声屏障隔声性能测试及降噪效果预测

周 强，肖新标，何 宾，屈 磊，金学松

（西南交通大学 牵引动力国家重点实验室，成都 610031）

摘 要：为了评价V型声屏障的降噪效果，通过试验及预测相结合的方法对低载荷V型声屏障进行研究。首先对V型声屏障进行实验室隔声性能测试，结果显示其计权隔声量比直立型声屏障小23.8 dB，隔声性能较差。而高速列车车外噪声声源有其本身的源强分布特性。为预测实际列车运行下V型声屏障降噪效果，通过线路测试识别出高速列车声源空间分布特征，确定预测模型声源，对声屏障总降噪效果进行预测分析。结果表明，V型声屏障针对实测高速列车车外噪声降噪效果显著，相对直立声屏障而言，约降低1 dBA左右；针对轮轨区域声源，V型声屏障的降噪效果降低4 dBA左右，尤其是在500 Hz、1 250 Hz和2 000 Hz频率处降噪效果最好。

关键词：声学；声屏障；隔声测试；预测；降噪效果

中图分类号：O42；U270.1+6 **文献标识码**：A **DOI编码**：10.3969/j.issn.1006-1335.2014.04.010

Experimental Study on the Sound Insulation Performance and Noise Reduction Effect Prediction of V-type Noise Barriers

ZHOU Qiang, XIAO Xin-biao, HE Bin, QU Lei, JIN Xue-song

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

Abstract : To evaluating the noise reduction effect of the V-shaped noise barriers, their sound insulation performance is studied by combining experiment method with numerical prediction. First of all, the insulation of V-type noise barrier is measured in the lab. The result shows that the weighted sound insulation of the V-type barrier is 23.8 dB smaller than that of the vertical sound barrier, which means that its performance is poor. But high-speed trains have their own source intensity distribution characteristics. In order to predict the actual in-situ noise reduction effect of the V-shaped noise barrier, the spatial distribution characteristic of the sound sources of the traveling high speed train is identified by measurement. On this basis the model for prediction is established. The sound insulation effect of the barrier is predicted and analyzed. The results show that the V-type sound barrier can effectively reduce the exterior noise of the high-speed train, it can approximately reduce the noise by 1 dB(A) in comparison with the vertical barrier. For the sound sources in the wheel-rail area, the V-shaped noise barrier can reduce the noise by 4 dB. And the noise reduction effect is very good at 500 Hz, 1 250 Hz and 2 000 Hz frequencies.

Key words : acoustics ; noise barriers ; sound insulation testing ; prediction ; noise reduction effect

铁路噪声严重影响铁路周边居民的生活和身体健康，通常在铁轨两侧设声屏障，以减小铁路沿线的噪声污染。随着近几年高速铁路的快速发展，普通铁路声屏障发展为高速铁路声屏障。但在列车脉动风力作用下，H型钢立柱出现螺栓松动及声屏障结构疲劳破坏现象。为了减小声屏障的作用载荷，有必要对声屏障结构进行改变，因此提出了一种低载荷的V型声屏障。

在过去几十年，苏卫青、周信[1]等国内学者对直立型声屏障的降噪效果进行了预测和测试分析；Ekici[2]、Watts等国内外学者对直立型、倒L型[3]、Y

收稿日期：2013-10-10

基金项目：2012博士创新基金A0920502051214）；
国家863计划(2011AA11A103-4-2)；
教育部创新团队(IRT1178)

作者简介：周 强（1990-），男，四川自贡人，硕士研究生，目前从事高速列车振动与噪声研究。
E-mail: 18108270132@163.com

通讯作者：金学松，男，教授，博导。
E-mail: xsjin@home.swjtu.edu.cn

型、T型、多重边型、圆柱型等声屏障形式做了完整的总结。但国内外对低载荷声屏障的降噪效果研究较少。本文综合考虑声屏障声源至声屏障距离、声源和受声点高度、声源频谱等因素，对V型声屏障的降噪效果和隔声量进行研究。

1 隔声性能混响室测试

目前高速铁路声屏障为直立型声屏障，由背板、面板和吸声材料组成；隔声试验的V型声屏障由V型面板和吸声材料组成。如图1所示，其中V型声屏障开口率为50 %，V型和直立声屏障使用同种吸声材料。

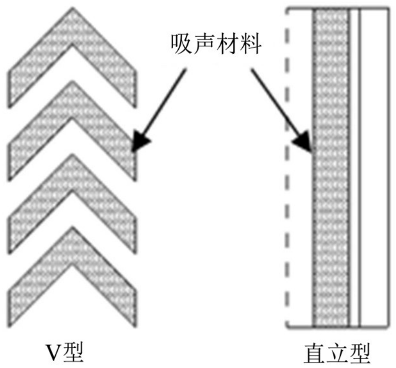

图1 声屏障结构示意图

1.1 隔声测试原理

障碍物造成声音在传播过程中能量的减少，一般用隔声量TL来度量障碍物的隔声效果，如公式(1) [4]所示

$$TL = 10\lg\left(\frac{1}{\tau}\right) \tag{1}$$

式中TL为隔声量，单位为dB；τ为透射系数。

实验值和真实值有差距，取决于建筑建造的细节和做工。投射系数τ为透过试件的透射声功率 W_2 与入射到受测试件上的声功率 W_1之比值，带入式(1)可得到实验室测试的隔声量R [5]，如公式(2)所示

$$R = L_1 - L_2 + 10\lg\frac{ST}{0.16V} \tag{2}$$

式中R为隔声量，单位dB；L_1为声源室内平均声压级，单位dB；L_2为接收室内平均声压级，单位dB；S为试件表面积，单位m^2；T为接收室内混响时间，单位s；V为接收室的容积，单位m^3。

1.2 现场测试与结果分析

根据GB/T50121《建筑隔声评价标准》，测试了V型声屏障隔声量。将声屏障安装在隔声室洞口内，将样件四周密封固定，防止侧向传声。试件安装完成后如图2所示。在房间里随意摆放安装一定数量的麦克风，测得声源室和接受室内的平均声压级及接受室的混响时间T。根据隔声量计算公式，得到其实际隔声曲线和计权隔声量如图3。在工程上，通常以计权隔声量R_w作为被测试件隔声量的单值评价标准。将已测隔声构件在1/3倍频程下的隔声曲线与规定的参考曲线族进行比较，从而得到试件的计权隔声曲线，该曲线在500 Hz频率下的隔声量即作为计权隔声量R_w。

图2 隔声测试现场

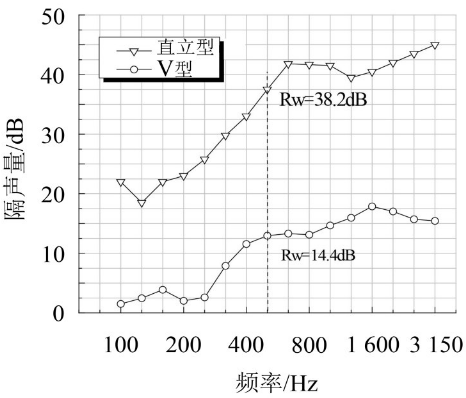

图3 实测隔声曲线

图3给出了V型和直立声屏障[6]的实测隔声曲线。声屏障V型开口处理后，隔声量在每个1/3倍频程中心频率下均降低16 dB以上，其中，V型声屏障隔声量随着的频率而增大，在1 600 Hz出现峰值，直立声屏障隔声量在3 150 Hz处达到最大；两种声 屏障相应计权隔声量分别为14.4 dB和38.2 dB。直立声屏障隔声性能明显优于V型声屏障。

2 声屏障降噪效果仿真预测

2.1 高速列车车外噪声空间分布

为预测V型声屏障在实际高速列车声源下的隔声性能，线路识别了高速列车车外声源。以高架区段高速列车314 km/h速度的噪声特性为研究对象，识别出高速列车车外噪声特性。图4为高速铁路运行车辆前8节车的车体表面声场云图，云图动态范

围为100 dBA～110 dBA，频率叠加范围为500～5 000 Hz。云图声源分布状态的典型特征表现为：

（1）最大声源一般发生在头车前转向架后部位置；

（2）轮轨位置是最大的声源来源；

（3）气动噪声显著的区域主要有：头车转向架和车头挡风玻璃位置、两节车辆连接处上部位置；

（4）升起的受电弓（包括底座）位置存在显著的声源。

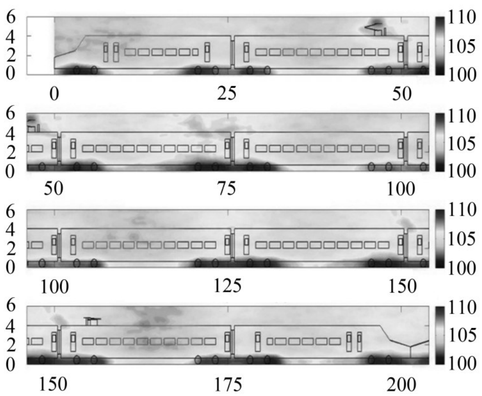

图4 高架桥区域车体表面声强云图（314 km/h）

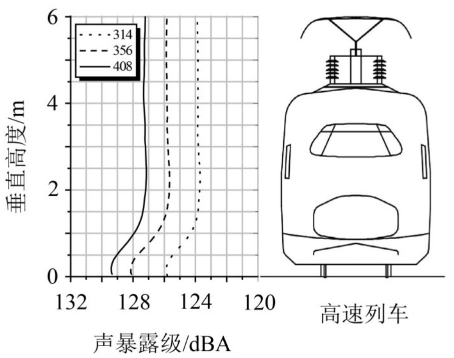

图5 不同速度下列车表面声暴露级

为了解列车垂向声源对声屏障总降噪效果的影响，对高速列车车外噪声垂向分布特性进行分析，根据ISO3095-2005中的声暴露级衡量瞬态噪声中所含能量大小。图5三条曲线分别表示列车以314 km/h、356 km/h和408 km/h通过时，列车一侧表面的声暴露级垂向分布实测值。从测试结果可以看出，高速列车在300 km/h～400 km/h运行下，声暴露级垂向分布规律一致，具体表现为：

（1）最大声暴露级分别为125.9 dBA、128.1 dBA和129.4 dBA；

（2）声暴露级在轮轨接触面上0.2 m处最大，并且比车身部位大2 dBA左右。随着高度增大，声暴露级减小；

（3）受电弓区域噪声在垂直高度上不显著；

（4）从声暴露级倍频程可知车外噪声主要集中在中高频[7]。

高速列车车外噪声特性实测研究表明：轮轨区域噪声所占总能量最大，始终为车外噪声关注的重点，声屏障对这一区域的隔声性能对其总降噪性能影响较大。因此，声屏障对轮轨噪声的隔声性能是声屏障隔声性能的一个重要指标，值得进一步预测和研究。

2.2 建立边界元模型

为计算声屏障对轮轨区域噪声源的隔声性能和总降噪效果。建立二维边界元模型[1, 8]，高速列车高架桥模型如图6所示。总降噪计算模型中从上而下设置受电弓区域声源、车间上部连接区域声源、车体气动声源和轮轨区域声源。

图6 声屏障降噪效果预测模型

仿真模型中，声屏障高为2.15 m，宽为0.14 m。根据目前常用吸声材料添加如图7所示的吸声材料属性[9]，在计算模型中需要加入吸声边界条件。现用高速铁路声屏障一般为2.15 m高，采用铝制的背板和面板，面板和背板中间的玻璃吸声棉用混泥土固定。在声屏障靠近车体侧设置吸声边界条件；V型声屏障设置为2.15 m高，在V型构件靠近车体侧设置吸声边界条件。

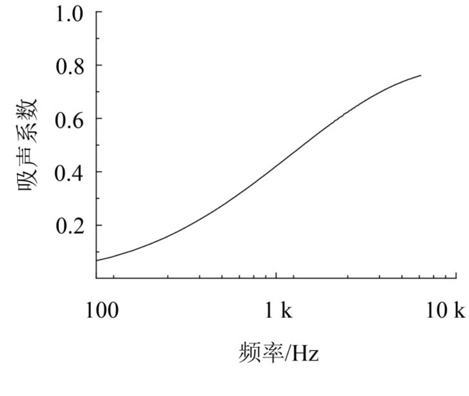

图7 吸声系数随频率变化图

2.3 预测结果分析

根据高速列车车外噪声垂向分布特征，在计算模型中设置轮轨区域声源、车体声源、车间上部连接处声源和受电弓声源，预测V型声屏障总的降噪效果，结果如图8所示。图中直立型和V型声屏障云图的动态范围为70 dBA～105 dBA，差值云图的动态范围为－3 dBA～3 dBA。结果表明直立和V型声屏障声传播规律相似；对轨道以上声场，V型声屏障和直立声屏障声压级基本相同；对轨面下20 m以内和20 m外的声场，V型声屏障声压级比直立声屏障分别大1 dBA～2 dBA和0～1 dBA。

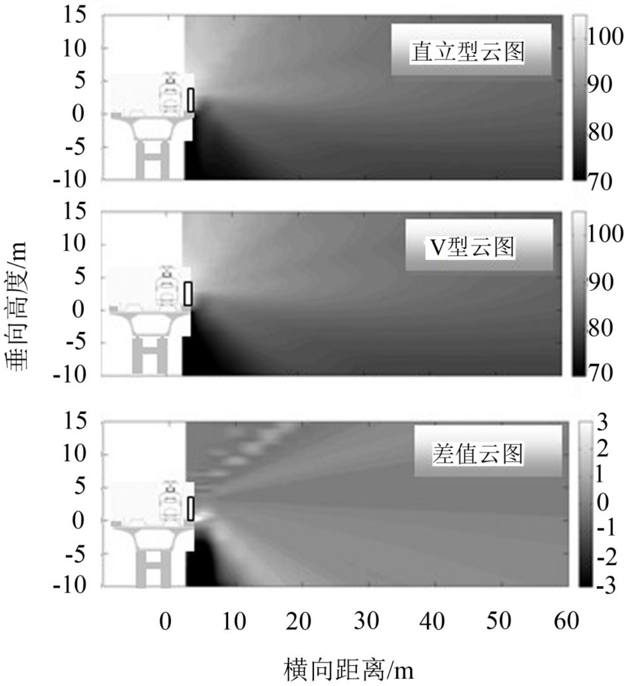

图8 总声场云图

轮轨区域噪声作为高速列车主要声源，V型声屏障对其的降噪效果对总的降噪效果影响较大，因此仅设置轮轨区域噪声源计算结果进行分析。图9中直立型和V型声屏障声场云图的动态范围为60 dBA～110 dBA，差值云图的动态范围为－2 dBA～6 dBA。从两声屏障声场差值云图可以看出，轨面以下的声场差异较大：其中V型声屏障声压级在紧贴声屏障后方位置比直立型大6 dBA左右，距轨道20 m处比直立型大4 dBA左右；距离轨道20 m～60 m处比直立型大4 dBA～5 dBA，降噪性能较差。

图10为距轨道7.5 m远轨面1.2 m高的ISO 3095 [10]车外噪声评价标准点1/3倍频程。在标准点处V型声屏障声压级比直立型大4.1 dBA，这个差值与两者之间的计权隔声量差值相比，低了大约一个数量级；在500 Hz、1 250 Hz和2 000 Hz处，V型声屏障和直立型声压级差值较小，即V型声屏障在3个

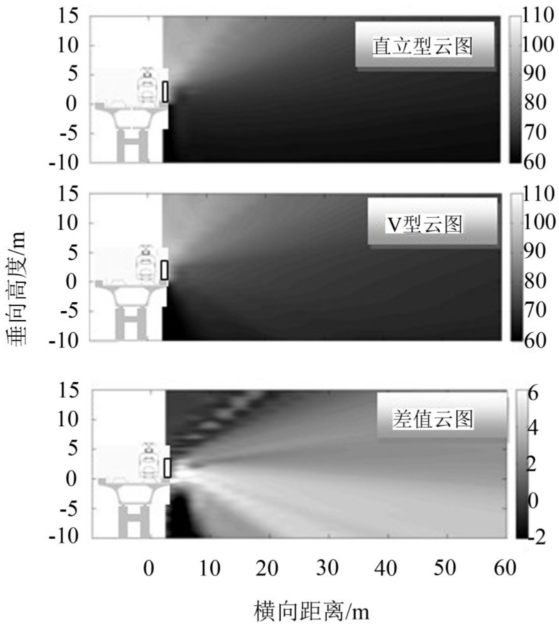

图9 轮轨区域噪声声场云图

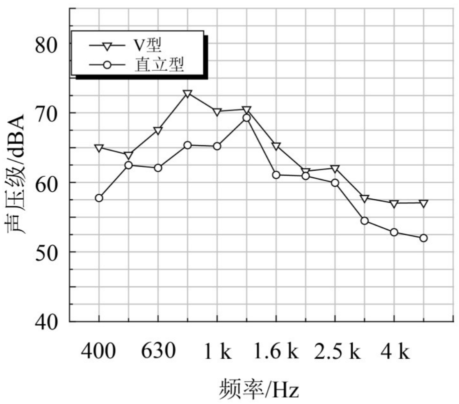

图10 轮轨声源作用下测点1/3倍频程

频率段降噪效果较好；在800 Hz处直立型和V型相差最大，达到7.5 dBA。

3 结 语

V型声屏障因其能降低高速列车风载作用而受到广泛关注，但减载的同时，要保证其降噪效果。通过对V型声屏障混响室隔声性能测试和基于线路声源识别的降噪效果预测分析，得到如下结论：

（1）V型和直立声屏障的计权隔声量混响室实测值分别为14.4 dB和38.2 dB，最大隔声量所在频率分别为1 600 Hz和3 150 Hz。V型声屏障隔声性能较差；

（2）线路实测车外声源识别结果表明，轮轨区域噪声所占总能量最大，始终为车外噪声关注的重点，其次是车体气动噪声较为显著，受电弓区域噪声所占能量最小。因此声屏障设计预测应优先考虑其对轮轨噪声的降噪效果；

（下转第61页）