文章编号　1000-5269(2020)04-0044-04　　**DOI**:10.15958/j.cnki.gdxbzrb.2020.04.09

三角形声屏障的声学特性仿真分析

张琛良,陶　猛*

(贵州大学 机械工程学院,贵州 贵阳 550025)

摘　要:利用 COMSOL 软件建立并验证了声屏障隔声降噪的仿真分析模型。以表面带有三角形扩散体的声屏障作为研究对象,分别研究了声屏障不同结构参数(声扩散体的宽度、间隔和角度)对于插入损失的影响。研究结果表明:对于带三角形凸起的声屏障而言,扩散体的角度对于插入损失的影响较大,宽度和间隔等参数影响不明显,为以后声屏障结构的设计研究提供了一定的参考意义。

关键词:有限元仿真;插入损失;声屏障;三角形尖劈

中图分类号:TB56　　**文献标识码**: A

由于工业和道路交通的飞速发展,许多国家已经认识到噪声污染的严重危害,它与水污染、大气污染、固体废弃物污染并称为当今四大环境污染[1]。据全国的环境监测报告显示:约有 17%的城市道路交通噪声属于中度污染、49%的城市内交通噪声属于轻度污染。同时据世界卫生组织报告,美国每年由于噪声的影响带来的损失接近 40 亿美元[2]。采用声屏障是降低道路交通对周边环境噪声污染的有效途径。国外在交通污染防治方面的研究,主要集中在汽车尾气污染物排放对于城市道路环境的影响,以及道路拥挤引起的环境影响方面,国外在城市道路交通规划对环境影响的研究与实践较多,在进行城市道路交通规划的时候,美国更加注重土地的利用率和经济情况分析,对道路交通环境污染因素及城市道路环境空气质量的研究较少[3-5]。

欧美日等发达国家在道路和铁路的铺设阶段,采用了大规模的声屏障来降低噪声对坏境的污染。声屏障可以阻止声波的直达、隔离透射声,并且可以有效阻碍衍射声的传播,对于声影区的噪声有明显的降噪效果[6]。PIRINCHIEVA 等[7]通过点声源试验说明,在屏障长度远小于高度的情况下,由于不同部位绕射声波的干涉作用,可以当屏障为无限长模型进行研究;FAHY 等[8]认为若不考虑不利反射的情况下安装的声屏障的造价昂贵,提出了将模块化吸声器加入屏障的新型结构,通过测试表明,此种结构具有优秀的降噪性能,并且具有一定程度的吸湿功能,相比传统屏障更加简便和高效;梁李斯等[9]顺应工程应用要求,设计出一种附加闭孔泡沫铝材料的声屏障,降噪效果优于传统工程应用的屏障,在低频段效果尤为显著;赵阳等[10]利用传递函数法研究了不同参数对于微穿孔板吸声特性的影响,并通过实验进行验证,为微穿孔板与声屏障的结合使用提供了参考;刘萍等首先对厂房内的噪声传播和造成声衰减的因素进行分析,然后提出在厂房内使用双层隔声、隔声罩等多种方法治理厂房声污染[11]。声屏障的结构形式对于降噪效果的影响巨大,我国在声屏障结构形式方面以直立型,折壁型以及其他直立型改进形成的变形形式为主,对于屏障的结构形式缺乏深度研究[12]。本文基于有限元软件 COMSOL 建立带有三角形声扩散体的声屏障,分析在不同参数条件下声扩散体对于降噪效果的影响。

1　基于 COMSOL 的声屏障有限元方法的可靠性分析

利用有限元仿真方法,对声源辐射噪声进行分析是现阶段比较普遍的方法。本文基于有限元方法并利用 COMSOL 软件对声屏障的降噪效果进行

收稿日期:2020-02-15

基金项目:贵州省高层次创新型人才培养资助项目(黔科合人[2016]4033)

作者简介:张琛良(1995-),男,在读硕士,研究方向:机械振动与噪声控制,Email:420424806@qq.com.

* **通讯作者**:陶　猛,Email:tomn_in@163.com.

分析。

图 1 对比了有限元仿真所得和原文理论解的插入损失[13]。根据文献中的模型参数,设定声源距地面高 0.5 m,屏障高 3 m,与声源距离 7.5 m。监测点选取在声源左右各 50 m,高度 1.5 m 的取值线。地面与屏障壁均设置为硬声场边界。详细的仿真环境设定如下:

(1)声源及几何参数设置。为了方便计算,本次研究采用二维模型代替三维模型进行计算处理,声源频率为 250 Hz。根据公路噪声声源假设条件,声源采用无限长线声源,方向垂直于屏幕方向。声源高度距地面 0.5 m。声屏障高度为 3 m,距离声源 7.5 m。

(2)网格划分。根据网格划分经验,一般来说网格的最大剖分尺寸不能大于波长的 1/4 ~ 1/6。根据声源频率 250 Hz 和空气中的声速计算得出,网格最大单元尺寸为 0.136 m,采用自由三角形网格。

(3)边界条件设置。因考虑到声波向外部空间无限传播的特性,为计算更加精确,在模型外侧设置厚度为 2 m 的完美匹配层。为消除地面和屏障吸声对计算结果的影响,均设置为硬声场边界条件。

(4)测定线。选取距离地面高度 1.5 m 的平行线作为插入损失计算的取值线。范围以声源为中心,左右各取 50 m。

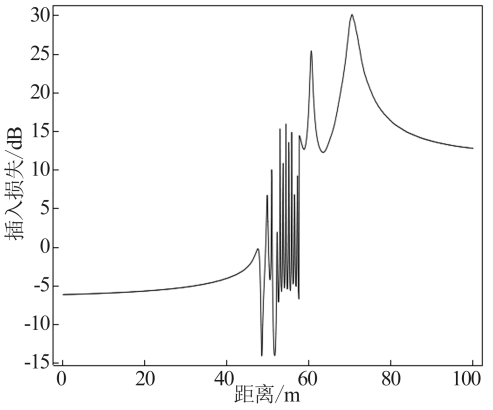


图 1　COMSOL 仿真的方法验证对比

Fig.1　COMSOL simulation method verification comparison

由图 1 可见,COMSOL 仿真的插入损失曲线与原文献计算结果曲线型式基本相同,说明用 COMSOL 进行仿真声屏障插入损失的方法是验证可靠的。

2　带三角尖劈形声屏障的参数分析

图 2 展示了带有三角形尖劈屏障的基本结构。声波在传播过程遇到屏障面的时候主要分为平面和凸面两种反射类型,而声波在碰到凸形面从而分散成为很多弱的反射声波的现象,称为扩散现象。为了使声能得到充分扩散,扩散体尺寸由式(1)—(3)来确定[14]:

$$\frac{2\pi fa}{c} \geqslant 4; \tag{1}$$

$$\frac{b}{a} \geqslant 0.15; \tag{2}$$

$$\lambda \leqslant g \leqslant 3\lambda 。 \tag{3}$$

式中:a 为扩散体宽度;b 为为扩散体高度;f 为入射频率;c 为声速;λ 为声波波长;g 为扩散体间距。

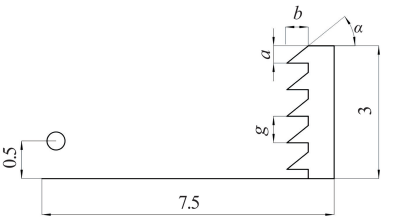


图 2　三角形声屏障尺寸参数

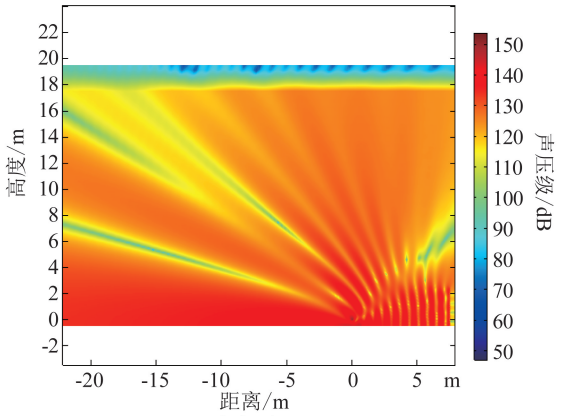
Fig.2　Triangle sound barrier size parameters

2.1　宽度对插入损失的影响

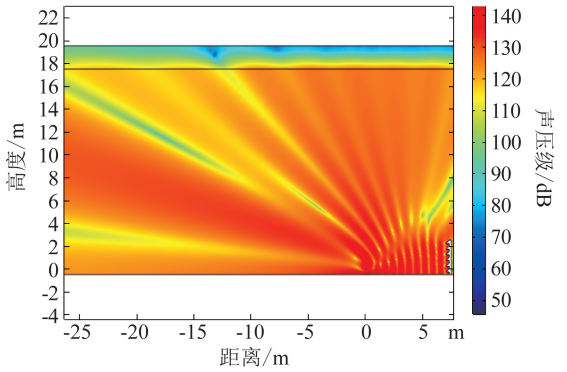
研究三角形尖劈的宽度 a 对降噪效果的影响。具体尺寸参数如下:三角尖劈间距 g 为 0.5 m 保持不变,在保证角度不改变的情况下,分别研究当扩散体宽度 a 分别为 0.28、0.38 和 0.48 m 时,与之对应的高度 b 各为 0.28、0.38 和 0.48 m。

图 3 为 250 Hz 三角形尖劈宽度不同时的声压级云图,图中还给出了直立型声屏障的声压级云图。可以看出,在声源的左侧,由于声反射的原因,直立板和三角形扩散体的声压级分布呈现出不同的发散形式。对于直立屏障而言,在距地面高度 1.5 m处的水平测定线上声压级为 140 dB 左右;而对于三角形声扩散体声屏障,由于扩散体形状和参数造成的声压级分布不同,测定线上的声压级比直立形声屏障有明显减少,数值在 115 dB 至 125 dB 之间,所以在声源左侧,如图 4 所示,三角形尖劈形声屏障的插入损失明显高于直立型声屏障的插入损失。在屏障右侧的声影区,插入损失数值呈相同的变化趋势,在 10 ~ 21 m 范围内递增,达到峰值后,在 21 ~ 50 m 范围内递减;在 21 ~ 50 m 范围内,

扩散体宽度为 0.28 m 的声屏障比直立型声屏障降噪量高 1~3 dB;而且随着扩散体宽度的减小,降噪量有不同程度的增加。因此对于三角形尖劈屏障,在一定范围内减小三角尖劈的宽度,可以提高隔声效果。



(a) 直立型 (250 Hz)



(b) 宽度为 0.28 m 三角扩散体 (250 Hz)

图 3　不同宽度的声压级云图(250 Hz)

Fig.3　Sound pressure level cloud map with different width(250 Hz)

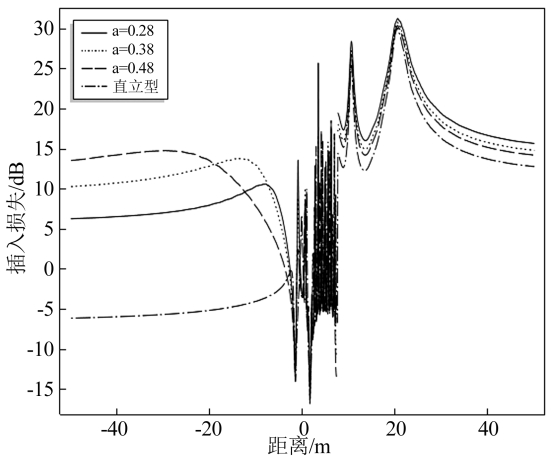


图 4　不同宽度插入损失曲线(250 Hz)

Fig.4　Different width insertion loss curve(250 Hz)

2.2　间距对插入损失的影响

扩散体宽度 a 和高度 b 相等为 0.28 m,选取四个不同的扩散体间距分别为 g_1 = 1.0 m, g_2 = 0.75 m, g_3 = 0.6 m, g_4 = 0.5 m。由此参数设置,仿真计算得到插入损失数据如图 5 所示。

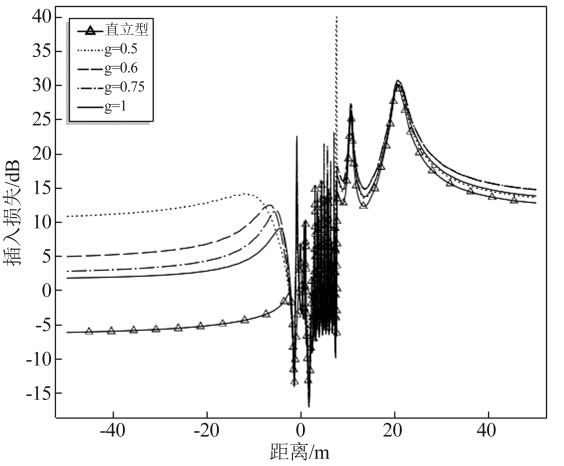


图 5　扩散体不同间距插入损失曲线图(250 Hz)

Fig.5　Insertion loss curve of diffuser at different pitches(250 Hz)

因间距不同而造成的不同插入损失如图 5 所示,在屏障右侧的声影区,随着间距的变化,不同间距的屏障保持相似的变化规律,在 21 m 处插入损失到达峰值至 50 m 范围内,间距 g_2 和 g_3 的插入损失基本相同,且隔声效果最好,直立型效果最差。在最右端 50 m 处,间距为 g_2 的声屏障比直立型插入损失高 2 dB 左右,总体来说,随着三角形间距的改变,降噪效果呈现出一致性的变化规律,但不同间距之间插入损失变化较小,所以改变扩散体间距对声屏障的降噪效果影响不大。

2.3　角度对插入损失的影响

扩散体宽度 a 为 0.28 m,间距 g 为 0.5 m 保持恒定,随着突出高度的变化,角度 α_1 = 30°, α_2 = 45°, α_3 = 60°, α_4 = 75°。由此参数设置,仿真计算得到插入损失如图 6 所示。

图 6 是不同角度的插入损失曲线图,在整个测定范围内,不同角度的声屏障随着距离的变化,插入损失的变化规律和趋势基本相同,在 7~20 m范围内,随着距离的增加,插入损失也在不断增加,降噪效果提升,在距屏障右侧 20 m 处内,插入损失达到峰值,降噪效果最好,20 m 之后,随着距离增加,降噪效果持续下降。在 20 ~50 m 的范围内,角度为 75°的扩散体屏障插入损失最大,比插入损失最小的直立型声屏障降噪效果好1~5 dbA,在声源右侧为 50 m 处的差值最大,降噪效果较为明显。由

此可以看出,在应用三角形声扩散体 形声屏障时,可以考虑通过增大扩散体的角度来提高降噪效果。

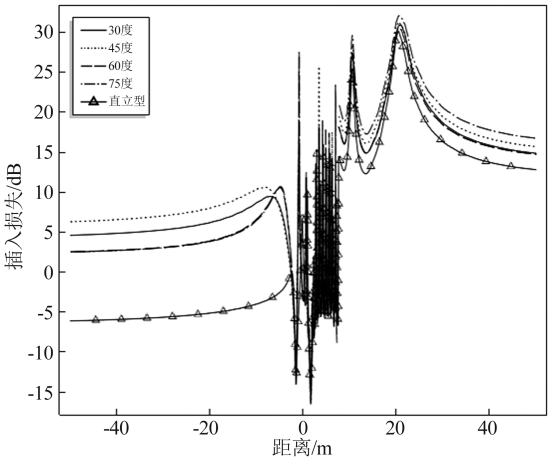


图 6　不同角度插入损失曲线图(250 Hz)

Fig.6　Insertion loss curve at different angles (250 Hz)

3　结论

(1)按照理论文献的结构建模,得到了与原文采用数值计算方法结果相同的插入损失曲线图,从而验证说明了使用 COMSOL 软件进行有限元仿真来研究声屏障的降噪效果的的可行性。

(2)对带有三角形尖劈结构的声屏障进行仿真研究,从不同的宽度,间距和角度三个方面进行了研究对比。发现对于三角形声屏障而言,尖劈的角度对降噪效果影响最大,可以通过增大声扩散体角度的方法提高降噪效果。

参考文献:

[1]相增辉, 王双闪, 兰桂柳, 等. 声屏障的发展历程及其发展趋势[J]. 声学技术, 2016(01): 58-62.

[2]张彬, 宋雷鸣, 张新华. 城市道路声屏障研究与设计[J]. 噪声与振动控制, 2004(04): 32-34.

[3]WANG G, SONG B, OGDEN J M. Identifying contributions of on-road motor vehicles to urban air pollution using travel demand model data[J]. Transportation Research Part D Transport & Environment, 2009,14(3): 168-179.

[4]GIULIO. E C, STEFANO. D L, MASSIMO. D G, et al. Macroscopic vs mesoscopic traffic flow models in signal setting design[C]. Qingdao: Chinese Association of Automation, 2014: 590-595.

[5]HUJN WU Y,WANG Z S. Real-world fuel efficiency and exhaust emissions of light-duty diesel vehicles and their correlation with road conditions[J]. Journal of Environmental Sciences, 2012,24(05): 865-874.

[6]王海丰. 高速公路声屏障设计[J]. 北方交通, 2013(03): 110-112.

[7]PIRINCHIEVA R K. The influence of barrier size on its sound diffraction[J]. Journal of Sound & Vibration, 1991,148: 183-192.

[8]FAHY F J, RAMBLE D G, WALKER J G, et al. Development of a novel modular form of sound absorbent facing for traffic noise barriers[J]. Applied Acoustics, 1994,44(1): 39-51.

[9]梁李斯, 姚广春, 穆永亮, 等. 闭孔泡沫铝声屏障设计[J]. 噪声与振动控制, 2011,31(2): 71-74.

[10]赵阳, 陶猛, 孟伟娜. 微穿孔板的吸声特性研究[J]. 机械设计与制造, 2016(6): 259-261.

[11]刘承华, 刘萍. 贵州松河煤矿瓦斯电厂噪声综合治理[J]. 贵州大学学报(自然科学版),27(6): 128-130.

[12]陈继浩, 冀志江, 张忠伦, 等. 计算机模拟研究声屏障结构对降噪性能的影响[J]. 噪声与振动控制, 2010,30(1): 63-66.

[13]MURADALI A, FYFE K R. A study of 2D and 3D barrier insertion loss using improved diffraction-based methods[J]. Applied Acoustics, 1998,53(1-3): 49-75.

[14]耿传智, 孙维娜, 张健, 等. 关于轨道交通声屏障结构优化的仿真分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2014(4): 127-134.

(责任编辑:于慧梅)

Simulation Analysis of Acoustic Characteristics of Triangular Sound Barrier

ZHANG Chenliang, TAO Meng*

(School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The simulation analysis model of sound barrier noise reduction is established and verified by COMSOL software. The acoustic barrier with a triangular diffuser on the surface was used as the research object. The effects of different structural parameters of the sound barrier (width, spacing and angle of the sound diffuser) on the insertion loss were studied. The results show that for the sound barrier with triangular protrusions, the angle of the diffuser has a great influence on the insertion loss, and the influence of parameters such as width and spacing is not obvious, which provides a certain reference for the design of the sound barrier structure.

Key words: finite element simulation; insertion loss; noise barrier; triangular bulge