

国外道路声屏障结构形式的研究进展

段金明, 周敬宣

(华中科技大学环境科学与工程学院 武汉市 430074)

摘 要: 道路声屏障结构形式研究一直是国外学者研究的热点课题, 而国内从事声屏障理论研究的学者还不多。本文介绍国外研究的不同结构形式新型声屏障的降噪基本原理、性能特征及发展动态, 并对它们的降噪性能进行了分析比较。

关键词: 声屏障; 结构形式; 吸声处理; 软表面

传统道路声屏障不仅结构单调、比重大, 耐久性较差, 而且降噪效果欠佳, 特别是中、低频吸声性能很差。20 世纪 60 年代起, 国外一直有许多学者致力于声屏障声学性能的研究, 尤其近 10 年, 有关新型声屏障的研究论文屡有发表。

声屏障顶部既是声线的绕射点, 又是亮区与声影区的分界点。为了在不增加道路屏障高度条件下, 降低顶部绕射声波的传播, 从而提高屏障的降噪能力, 一方面可通过改善声屏障的形状, 另一方面是在声屏障上端面安置软体或吸声材料。

1 不同结构形式屏障

1.1 吸声型屏障(Absorptive barrier)

吸声型屏障即在声屏障面向道路的一侧外表面布置吸声材料(其吸声系数应大于 0.5), 做成吸声表面, 降低反射声, 从而改善屏障的降噪效果。

May D. N.^[1]等人在 Toronto 高速公路一侧分别安设 4 m 高的吸声型屏障和反射型屏障, 测得吸声型屏障降噪量比反射型屏障多不到 1 dB, 这表明附着的吸声材料并不能明显改善单侧声屏障的降噪性能; 但同时研究表明, 吸声型屏障能避免因反射而引起道路对侧的接收点声压级升高。Watts, G. R.^[2]利用缩尺模型试验研究表明吸声材料能改善道路两侧声屏障的降噪效果。总之, 应用各种形式表面吸声的声屏障可降低反射声及混响声。

1.2 “软表面”结构形式屏障

按照声学原理, 声学软表面的特性阻抗远远小

于空气的特性阻抗, 这样, 软表面的声压远远小于一般吸声表面, 理想的软表面声压几乎为 0。

早在 1976 年, Rawlins, A. D.^[3]首次提出, 附在刚性障板的边缘上的“声学软表面”能阻碍声屏障顶部绕射声的传播。后来, Alfredson R. J.、Fujiwara. K 等人^[4,5]继续研发“软表面”结构声屏障, 这些声屏障的一个共同特征是, 在原声屏障上边缘附着一层或一个带管状“声学软表面”结构。

用常规材料难以制成软表面, 该类声屏障开发的关键问题是寻找一种合适的“软表面”材料。

1.3 特殊形状屏障

声屏障顶部常见的结构形状有 T 形、管形、Y 形、多重边缘形等。

1.3.1 T 形屏障(T-shape barrier)

自从 1980 年 May 和 Osman 等人^[1]首先得出 T 形屏障比普通屏障(方形反射型屏障)具有更好的声学性能的观点至今, 一直有许多学者从事 T 形屏障的研究。

Hothersall 等人^[6]用数值计算和缩尺模拟试验方法研究得出一点重要的结论: 相对于高度相同的普通屏障, T 形屏障插入损失增大 2~3 dB。

2003 年 Defrance, J. 和 Jean, P.^[7]利用射线追踪(ray tracing)及边界元法研究了一种 T 形屏障模型(图 1)的声学性能。该屏障顶冠为 0.85 m×0.25 m 厚的水泥木屑板。

实际应用中, 考虑有限长声屏障对无限不连续的线声源情形, 该声屏障顶冠的附加声衰减量为

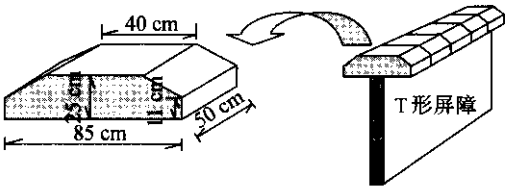


图 1 T 形屏障的顶冠模型

2~3 dB(视衍射角及声传播路径情况而定)。

1.3.2 带管状顶部的屏障(Tubular-top barrier)

带管状顶部的屏障即在原有方形屏障的顶部加置一个管状单元,该单元常见有圆柱形和蘑菇形两种形式。

Fujiwara 和 Furuta 分别从理论、缩尺试验及高速公路声屏障现场测试上,对顶部带吸声柱体的屏障进行了系统的研究^[8]。该研究指出,声屏障顶部安置的吸声体可降低声屏障顶部的声压,从而减小声屏障背后衍射区 2~3 dB 的声压值。

Yamamoto 等人^[9]沿原声屏障顶部安置一个直径为 0.5 m 的蘑菇形吸声体,测得该声屏障附加的声衰减量为 2 dB。

顶部带蘑菇形吸声体的屏障将逐渐取代顶部带圆柱形吸声体的屏障,成为现代声屏障建设的主流。因为前者景观效应更好。

1.3.3 Y 形屏障(Y-shaped barrier)

Y 形屏障的结构形式设计比 T 形屏障更合理,因为前者排水性能更好。

Crombie 等人^[10]是综合运用边界元和缩尺模型试验法预测 Y 形屏障的附加插入损失的,其研究结论是:在垂直形声屏障顶部附加板,形成“叉形”结构(fork-like profile),不仅能提高屏障的降噪效果,而且能降低屏障的高度,造价也合理。

Shima H. 等人^[11]在传统 Y 形屏障的基础上开发出一种声学性能更好的新颖 Y 形屏障(图 2)。他们利用实体模型(Full-Scale Model)、边界元对比研究此种声屏障与等高度的普通方形声屏障的插入损失,表明在 1 000 Hz 频段(交通噪声中心频率),前者的声衰减比后者高 10 dB。

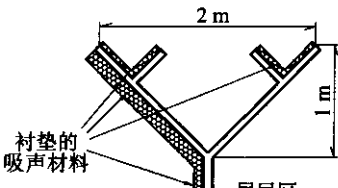


图 2 新颖 Y 形屏障结构

1.3.4 多重边缘声屏障(Multiple-Edge Noise Barriers)

Crombie D. H.^[12]及 Fujiwara K.^[13]等学者先后对多重边缘的声屏障进行了研究,以尽可能多地降低衍射声。

多重边缘屏障设计的基本思想是,在原有单层屏障板上增加二道(或更多)边板,边板最好置于原主障板的声源一侧,这明显增大屏障的声衰减量,一般可获得 3 dB 左右的附加衰减量(高频区的附加衰减量比低频区大)。多重边缘屏障板上一般不加吸声材料,因为吸声材料对该类屏障降噪作用不大。

1.4 有源声屏障(Actively controlled noise barrier)

1991 年,Ise 等人^[13]首次证明了有源声屏障对降低声影区的声压级(主要是低频噪声)有较大的附加衰减。之后,Omoto 等人继续进行研究^[14],他们在考虑初级源是点源的情形时,通过引入多个点次级源,使屏障上边缘多个离散点处声压为零(声压相消)来实现有源控制的目的,并用数值模拟手段研究屏障上边缘声压相消点间隔大小和次级源排布两参数对有源控制效果的影响,获得了两条有价值的结论:(1)相邻声压相消点的间隔必须小于声波波长的一半,有源控制才能稳定而有效;(2)次级源应尽可能地靠近初级源,以取得较好的控制效果。

在前人基础上,Duhamel 等人^[15]研究了有源控制效果与次级源个数及其位置的关系。为此,他们对声屏障的主动控制降噪效果进行了现场测试,其实验方案设计见图 3,其中,次级声源是通过扬声器(其位置固定)以周期噪声或粉红噪声形式产生的,其噪声值大小可调节。

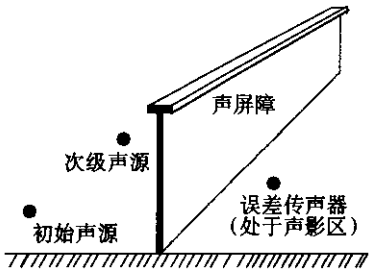


图 3 有源声屏障实验示意

Duhamel 文中研究结果表明:(1)开空间中声屏障噪声有源控制是合理的,且受外界环境干扰较少;(2)至少可获得 10 dB 的衰减量,预估此类屏障与传统的屏障相比,低频声衰减明显;(3)距声屏障 40 m 范围内噪声都能得到有效控制。此外,文中预

估了次级声源与误差传声器间的位置关系、声源数目及误差传声器等因素对系统性能的影响,且用边界元软件对实验测试数据进行了验算。




















以上研究虽涉及有源屏障的性能特征,但为了使之实用于实践,还需进一步研究声屏障有源控制作用机理,完善有源控制系统。例如,有源声屏障对几种重要的运动声源噪声控制问题有待于研究。

2 不同结构形式声屏障降噪性能对比

Fujiwara K^[5]及 Ishizuka 等人^[16]较系统地对比研究不同结构形式声屏障降噪性能,其中后者利用

欧洲标准模型(European Standard model)、日本声学协会模型(ASJ)及边界元(BEM)等三种不同交通噪声预测方法分别对比研究了 15 种声屏障的降噪效果。

图 4 利用 BEM 计算结果。其中在声影区选择 6 个受声点插入损失的算术平均值 IL_{mean} 作为某类声屏障插入损失值 IL 。6 个点布置情况是:它们都分布在声屏障同一中心线上,其中 3 个受声点距地高都为 1.5 m,距屏障的水平距离分别为 20 m、50 m、100 m;另 3 个受声点距地高都为 3 m,距屏障的水平距离分别为 20 m、50 m、100 m。

刚性结构	 (普通) 15.2	 1.0/16.2	 1.7/16.9	 -0.7/14.5	 2.5/17.7	 3.3/18.5	 0.2/15.4
吸声结构	 5.0/20.2	 5.6/20.8	 4.4/19.6	 5.4/20.6	 5.6/20.8		 2.4/17.6
软体结构	 7.8/23	 8.2/23.4	 7.6/22.8	 8.0/23.2			
—: 刚性  : 吸声  : 软性							

注:图表中的分数(例如 5.5/20.8)的含义:分母值(20.8)代表 3 m 高某类声屏障插入损失值 $IL=20.8$ dB,分子值(5.5)代表相对于 3 m 高普通屏障插入损失值(15.2 dB)的附加衰减量 ΔIL 为 5.5 dB。

图 4 各种声屏障的降噪效果比较

ΔIL 是在 3 m 高普通型声屏障平均插入损失($IL=15.2$ dB)基础上的附加衰减量。

由图 4 可见,吸声、软体边缘结构都能较好地改善声屏障的声学性能,但结构形状的改变对声屏障的声学性能改善并不明显。刚性屏障中只有多重衍射边缘型屏障有较好的降噪效果。软体边缘 T 形屏障降噪效果最明显,其 3 m 高屏障可达到 10 m 高普通型屏障的降噪效果。

Ishizuka 等人为方便研究声屏障的降噪效果,边缘表面都被假设成理想情形。但由于声屏障的实际表面声学特征与理想情况有差别,因此在实际应用中声屏障的插入损失要小于上述预测结果。

参考文献:

[1] May D N,ect. The performance of sound absorptive.

reflective and T-profile noise barriers in Toronto[J]. Journal of Sound and Vibration,1980,71.
[2] Watts G R, Godfrey N S. Effects on roadside noise levels of sound Absorptive materials in noise barriers [J]. Applied Acoustics, 1999,58(4).
[3] Rawlins A D. Diffraction of Sound by a Rigid Screen with a Soft or Perfectly Absorbing Edge[J]. Journal of Sound and Vibration,1976,53.
[4] Alfredson R J,ect. Special Shapes and Treatment for Noise Barriers[C]. Inter-Noise,1995.
[5] Fujiwara K. Efficiency of a noisebarrer on the ground with an acoustically soft cylindrical edge [J]. Journal of Sound Vibration, 1998,216(5).
[6] Hothersall, ect. The Performance of Profile and Associated Noise T-Barriers[J]. Applied Acoustics, 1991,32.

[7] Defrance J, Jean P. Integration of the efficiency of noise barrier caps in a 3D ray tracing method. Case of a T-shaped diffracting device [J]. Applied Acoustics, 2003,64(8).

[8] Fujiwara K. &Furuta N. Sound Shielding Efficiency of a Barrier with a Cylinder at the Edge [J]. Noise Control Engineering Journal,1991,37.

[9] Yamamoto K,ect. Measurements of Noise Reduction by Absorptive Devices Mounted at the top of Highway Noise Barriers[C]. Inter-Noise95,1995.

[10] Crombie D H,ect. Multiple-Edge Noise Barriers [J]. Applied Acoustics, 1995,44(4).

[11] Shima H,ect.Noise Reduction of a Multiple Noise Barrier[C]. Inter-Noise96,1996.

[12] Fujiwara K, Ishiduka T. Noise Shielding Efficiency of Barrier with Multiple Aborbing Edge Obstacles [C]. Proceedings of Inter-Noise 99, 1999.

[13] Ise S,ect.Basic study on active noise barrier[J]. J. Acoust. Soc. Jpn,1991,12(6).

[14] Omoto A, Fujiwara K. A study of an actively controlled noisebarrier[J]. J. Acoust. Soc. Am,1993, 94(4).

[15] Duhamel, ect. Measurement of active control efficiency around noise barriers[J]. Ap. Acoustics, 1998,55(3).

[16] Ishizuka, ect. Performance of noise barriers with various edgeshapes and acoustical conditions [J]. Applied Acoustics, 2004, 65(2).

Foreign Research Development of Configurations
of Road Noise Barriers

DUAN Jin-ming, ZHOU Jin-xuan

(College of Environment Sci. & Eng., HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: The research of configurations of road noise barriers is a hot topic that many foreign scholars have been studying. However,the minority of our national scholars have engaged in the theory study of noise barriers. In the paper, the basic principle to reduce noises, performance characteristics and developing trend of different novel noise-barriers are generally introduced. In addition, these noise barriers inducing-noise performances are compared.

Key words: noise barrier; configuration; dispose of sound absorption;soft face

塔里木沙漠公路防护林生态工程完工

近日,由交通等部门共同建设的塔里木沙漠公路防护林生态工程全面完工,一条世界上最长的穿越流动沙漠的绿色走廊在塔克拉玛干沙漠出现。公路两侧,是由沙拐枣、梭梭等沙漠植物构成的 436 km 长的绿色走廊。

塔里木沙漠公路是世界上首条在流动性沙漠中修建的等级公路,全长逾 500 km,其中沙漠路段长 446 km.该公路防护林生态工程于 2003 年 8 月动工,总投资两亿多元。公路两侧的绿化带宽约 72~78 m,种有怪柳、梭梭、沙拐枣等优良防风固沙灌木。防护林生态工程全线采用管道供水技术,就地采水、分散供水、滴水灌溉,同时解决了种植及苗木成活等一系列关键技术难题。

塔里木沙漠公路是我国基础建设深入沙漠腹地、大规模开发沙漠资源的标志性工程。沙漠公路修通后,就面临着流沙侵蚀路面路基的问题,科技人员通过科技攻关成功地找到就地利用高矿化度地下水进行造林绿化的途径,并筛选出适应沙漠环境的造林树种。防护林生态工程一次性投入较大,但年维护费用低,经济上合算,目前,生态、社会效益已经开始显现。