

国内外道路声屏障的研究与发展*

曹伟** (东南大学建筑系, 南京 210096)

薛玉宝 (河南沙颍河建工管理局, 漯河 462000)

杨昕 (河南省漯河市城市勘测设计院, 漯河 462000)

摘要 道路声屏障是控制交通噪声、保护城市居住环境的重要设施。本文作者通过对国内外道路声屏障的研究与发展的分析,为我国道路声屏障的研究、应用与开发提供一些可资借鉴的方法。

关键词 道路 声屏障 噪声

设置声屏障是控制交通噪声的重要措施,国外对穿过市区和居住区的高速公路、铁路、高架桥的两侧都普遍设有声屏障,实现了其它降噪手段所不能代替的效果。美、日、法等国早在60年代就已开展了声屏障理论的研究,并实施了许多具体工程。据统计,美国联邦公路局1979年列入计划或正在建设的道路声屏障为1400公里,截止1981年,已建造了300公里,其中许多工程由私人开发建造,费用高达1,100万元。目前香港已修建了6.313公里长的道路声屏障。日本至1990年全部道路的声屏障总长度已达1573公里,其中高速公路上的声屏障为137公里。

许多发达国家如日本、英国、法国,声屏障在1973年就已形成工业产品,每年的建造量达几万平方米,法国还在1988年由政府部门组织,举办了适用于各种场所使用的声屏障比赛。道路声屏障在发达国家已被普遍采用,而且实施标准、工程造价及其与道路景观的协调均较完善。

1 典型的城市道路声屏障

1.1 T型道路声屏障

国外许多高速公路声屏障的三维尺寸(长度、厚度、宽度)都已标准化,常用形式是直壁式,早期用砖石、砼等材料。为了减少现场作业,便于工厂化生产,标准化的金属结构声屏障得到广泛应用。面向道路的一侧通常做成吸声表面,声屏障被插入H形钢支架上。

对于车流量大的交通干道,简单的直壁式声屏障尚不能起到保护干道附近声环境的作用,在这种情况下,将屏障的顶端按一定角度折向道路内侧,

以改善屏障的降噪效果。图1所示为安装在日本某市区的T型道路声屏障。

对于临近居住区、学校、医院等公共社区的高速公路上的声屏障,其高度一般为2~5m。在一些特殊情况下,高度可达10m以上。图2所示为东京图门收费站附近的道路声屏障,高度12m,分别安装在道路的两侧和中间。经测试,附近房屋窗户处的噪声比安装前下降了15~25dB。



图1 市区T型道路声屏障

1.2 吸声屏障

道路声屏障附有吸声材料的降噪净效应的实验结果表明,当朝向声源一侧的障壁贴有玻璃纤维、岩棉或其它形式的吸声材料时,可以避免道路对侧接收点的声压级因反射声而升高。

图3所示,沿街道路一侧有一几十米长的厂房,墙外表面布置了吸声材料,从而减少了该墙面对交通噪声的反射,保护了厂房对面社区声环境质量。



图3 安装在工厂外墙上的吸声屏障

* 本文系河南省科技攻关项目(981140210)阶段性成果。

** 作者系宁波大学副教授,东南大学建筑系博士生。

1.3 隧道式声屏障

城市交通干道两侧的高层建筑物,形成城市“峡谷”。研究表明,平行“峡谷”中由于声反射而使该区的声压级相对于单侧屏障有所升高。此时,采用一般的声屏障来控制交通噪声向窗户处的辐射是困难的。掩蔽式声屏障则是一个解决问题的典型例子。如图4,该声屏障又称隧道式声屏障,造价高,在日本、加拿大都已采用,为了采光,顶部常用透明材料或设置采光罩。



图4 居住区高架路上的隧道式声屏障

1.4 缩尺模型和计算机求解

在现场布置或周围建筑物比较复杂的情况下,难以对声屏障的降噪效应进行计算和估计,这时就要进行缩尺模型实验和计算机求解,探讨和设计新的声屏障形式。

2 美国道路声屏障的评价

在美国, FHWA (联邦公路局)及 TRB (运输研究部,隶属于国家科学工程院)承担对已建成的声屏障进行评价的研究任务。位于田纳西州首府那士维的 Vanderbilt 大学被 FHWA 和 TRB 特邀来共同完成这项研究。

他们的研究方法是对 50 个州的公路局采用问卷调查方式收集有关研究数据。问题包括两类:一是各州屏障的外形设计方法;二是各州关于屏障的形状和材料,造价,设计细则,声学设计,噪声衰减,感觉效果,居民参与,结构,耐久性,改造工程的优先制,美学,安全等 12 个方面的经验概括。调查表被送到 TRB 的分委员会 A IF04,在数据收集阶段,委员会主席要对道路声屏障建设比较好的州进行现场参观并接见工程主要负责人。

美国道路声屏障大多由木材、金属、水泥、土堤或它们的组合物建成。表 1 给出了 1980 年全美各类声屏障的总长度及费用。

表 1 1980 年美国各类声屏障情况统计表

| 屏障类型 | 总长度(m) | 费用(万美元) | 单价(美元/每延长米) |
|------|----------|---------|-------------|
| 砼 | 133, 120 | 4, 542 | 341 |
| 组合物 | 69, 449 | 3, 325 | 479 |
| 木材 | 48, 081 | 1, 658 | 345 |
| 土堤 | 39, 688 | 588 | 148 |
| 金属 | 4, 445 | 203 | 456 |
| 其它 | 754 | 47 | 619 |

根据各州公路局的报告统计,公众喜欢的道路声屏障依次是由土堤、组合物、木材、金属制成的屏障。无论用什么材料,各州的报告均表明,道路声屏障的最终效果及认可程度与社会对工程的参与水平成正比。最重要的问题依然是建造什么材料和什么样式的道路声屏障。

由于道路维护资金的短缺,各州关于声屏障维护方面存在一些困难,比如景观的破坏(通常指在屏障上面乱刻乱划),阴影区积雪的铲除,垃圾的处理,绿化修剪,去除杂草等。尽管资金紧张,仍有 11 个州得到联邦基金优先资助,用以开发声屏障工程,这些州是加利福尼亚、科罗拉多、康乃狄格等。

优先权的排序由一个较公正的评价指标来确定,即

$$\text{评价指标} = \frac{IL \times (PL - 67)^2 \times DU}{C/1000}$$

式中 IL —— 插入损失;

PL —— 第一排房子处屏障插入前的等效声级;

DU (Dwelling U nits) 是第一排房子的单元数;

C (Cost) 是整个工程的总费用(美元)。

3 平行道路声屏障 IL 下降的研究及对策

平行道路声屏障是指道路两侧均设有与路面垂直的障板,用以阻挡车辆噪声向路两旁社区的辐射。平行道路声屏障 IL 下降系指平行道路声屏障相对于同种情况下的单侧屏障,因多次反射而引起的声压级升高而使 IL 变小的声屏障。

60 年代,国外有人开始从理论、现场实测及模型实验诸方面进行研究。其内容可分为:(1)城市噪声传播:道路两旁有密集的高层建筑,声源及观察者均在“峡谷”内;(2)平行道路声屏障:观察者在“峡谷”之外。上述两者由于尺度差别大,其声学特性不尽相同。

3.1 城市噪声传播

W inner 等人对两边有高层建筑、狭长的街道传播喇叭声的研究,发现混响声场的强度与声源指向性及墙壁吸声系数成反比。Delany 等人测量两侧有密集房屋的道路上交通噪声,发现距离在 20~80m 之时, A 计权 L_{10} 的衰减率为 9dB。在房屋前 1m 处测得的自由场声压级增加 3.5dB;仅路一侧有房屋时,则增加 2.5dB。Dejaver 和 Shadley 在公路“峡谷”和隧道里,测量了往复反射的主要效应。例如,在

15.2m 宽, 6.1m 高反射强烈的隧道中, 测得交通噪声的平均声级比自由场高 13.5dB, 而在段面相同但顶部敞开的场所, 声级比自由场高 4.5dB。

Ullrich 的研究也表明, 在隧道中部和末端, 由于镜面反射而使声级比自由场分别增加 15.5dB 和 12.5dB。在早期的研究中, Schlatter 在反射隧道中模拟点源进行测量, 并预言每当至点源的距离加倍, 可获得 3dB 的衰减。这项研究证明了用几何声学来解释往复反射的有效性。

Lee 和 Davies 研究发现, 当房屋高度超过路宽时, 出现混响声。Davies 认为, 混响声场是由多次反射声场与由散射产生的扩散场之和。若墙的高度等于峡谷宽度时, 散射可使反射效应略有增加; 若墙的高度为峡谷宽度 5 倍时, 可增加 4~5dB。对于远场, 散射可以忽略。Mishina 发现, 当墙壁接近全反射时, 近墙处声级提高 3dB。

另外, Bullen, Anderson, Slutsky, Pande 等人在这方面进行了多种尝试性的研究。他们的工作表明, 在平行峡谷中, 由于镜面反射或散射使声级增加, 模型测量与预测结果基本符合。证明吸声材料对于减少墙壁之间的混响是有效的。

法国 CSTB 的研究人员 Rapin 和 Gilbert 在改进声屏障设计方法上对吸声材料作用的研究表明, 在 3.5m 高的墙后 5m 处, 吸声处理可使倍频带声压级下降 1~4dB。

前西德学者将三种方法相结合对平行屏障进行了研究。Reinhold 等计算了墙高和接收点(R)有关的多次反射效应, 当 R 的高度为 3m 时, 屏障有、无吸声材料时的等效声压级差值为 3~4dB, 和屏障高度关系不大; 而 R 高度 15m 时, 差值和屏障高度关系很大。

Ullrich 的缩尺模型, 其原型为 8m 深, 16m 宽的路堑(高地上挖的低于原地面的路基), 研究表明, 有反射性墙的路堑并不是减噪的一项适宜措施。宽度和深度相同的路堑, 采取不同的处理方式会产生不同的效果。Ullrich 研究了路堑的降噪效果并发现, IL 的下降与凹下深度和宽度、镜面反射系数、R 点高度及距离相关。

日本学者充分利用数学技巧及缩尺模型方法对多次反射进行研究, O satant 等人研究了段面为半圆形且上端开口的道路声屏障。Maekawa 的研究表明, 对于吸声墙($\alpha = 0.9, f = 500\text{Hz}$), 可使多次反射效应下降, 他的估计与实验值相比高出约 2dB。

英国学者对倾斜墙的降噪效应以及与现场测量相关的问题有独到见解。Nelson 等人在建造声屏障时, 对比测量了无屏障, 单侧、平行屏障的 18 小时的 L_{10} 值, 测量地点及屏障结构相同, 结论如下: (1) 多次反射并不会使测点声压级升高; (2) 在近乎垂直的挡土墙(Retaining Wall)之间的多次反射是重要的, 并发现将墙倾斜 $10^\circ \sim 15^\circ$ 很有效。

加拿大 OMTC (安大略省交通运输部) 的 May 和 Osman 研究了不同形状道路声屏障, 如薄屏、厚顶、T 型、Y 型以及倾斜墙、顶部有圆管吸声体型的降噪效应。实验表明, 吸声(NRC = 0.76)处理效果为 2~3dB。Hajek 和 Blaney 认为, 在屏障面向住宅的一面做吸声处理效果不大。

Simpson 根据 DeJaver 和 Shsdley 早期对平行屏障从理论和模型上研究的假设和结果, 发展了一种平行屏障的 IL 下降的诺谟图, 并已成为 FHWA 的分析工具。在屏障未做吸声处理时, 现场测得单墙屏障顶部的声级比预测高 3dB, 墙后则高 5dB。4.9m 高吸声和反射的垂直墙, 在 500Hz 时, IL 分别为 11.5dB 和 4dB; 5.5m 高的墙其 IL 分别为 13.5dB 和 5dB。因此, 7.5~8.5dB 的多次反射效应大都靠吸声来减小。当墙向外倾斜 10° ; 4.9m 和 5.5m 高的墙其 IL 约为 10dB、12dB。Morgan 等测量铁路声屏障时, 发现有吸声处理的 IL 明显地高出 8~9dB。

3.2 分析及对策

(1) 平行声屏障的缩尺模型研究普遍表明, 由于多次反射而使“峡谷”内外的声级相对增加, 城市“峡谷”可增加 4~5dB, 公路“峡谷”和隧道的交通噪声比自由场增加 12.5dB 以上。

(2) 应用几何声学来解释镜面反射是一种可行而又较准确地给出定量效应的方法。

(3) 足尺的现场实测资料尚少, 亦存在由于一些因素的忽略所带来的困难, 例如风、温湿度梯度对 IL 有重大影响, 以至多次反射效应不甚明显。故需更仔细地鉴定足尺屏障的有关实测资料, 来弥补模型结果的不足, 并证实 IL 下降的现象。

(4) 现有数据研究表明: “峡谷”外的地面反射对单障板或平行屏障的 IL 有影响。然而, 地面反射效应对单障板 IL 的下降尚不清楚。

(5) 倾斜墙和应用吸声材料对控制 IL 的下降均有效, 分别有 6~8dB、3~4dB 的改善。

(6) 大多数平行声屏障的数学模型分析尚未涉及, 诸如不对称形状、不同位置上的多声源和屏障上

局部布置吸声材料等现实情况。随着研究的深入,这方面的许多限制将逐渐被克服。

4 有源噪声控制的声屏障

近年来有源噪声控制理论与技术迅速发展,已成功地运用于管道噪声和闭空间噪声的控制中。开空间噪声控制亦得到很大发展,Omoto 等人的工作已对有源声屏障降噪性能与机理已有初步认识,但真正搞清楚有源控制作用机理并付诸实践,还需要进一步研究。

国外开始有人将有源控制理论与技术应用到声屏障噪声控制中,试图弥补声屏障对低频噪声衰减能力不足的缺陷。尽管有源噪声控制的声屏障研究有待进一步深化,但这种在不增加声屏障高度前提下,来提高声屏障的降噪性能的新方法与新技术将有着广泛的应用前景。

5 我国道路声屏障状况

我国虽然高速公路数量少,高速铁路的建设亦尚未开始,但目前已有的交通干道噪声对周围环境的影响已非常严重。

近年来,交通车辆迅速增加与道路运力之间的矛盾日益突出。1989年的“上海市与国外若干大城市道路交通概况”统计表明:上海市道路总长度仅为伦敦市的77%,而每公里道路汽车拥有量却为伦敦市的2.88倍。北京市的汽车拥有量从80年代的11.6万辆猛增到1994年底的80多万辆,而交通道路未增加多少,因此,道路拥挤,噪声有增无减,二环、三环路的交通噪声现已达78dB。

我国大、中城市多有铁路穿过市区,例如武汉市内铁路线长50公里,贵阳市内为25公里,北京市内为20公里,鞍山市的火车噪声是该市的主要噪声源。京广、京山、津山等沿线城市铁路货车流量平均达100~200列/日,沿线声级提高20dB(A),波及200m的范围。

在大车流量和高速行驶情况下,交通噪声声级大大超过环境指标,迫切需要采用道路声屏障。据调查,我国交通干线噪声大部分超过70dB(A),几乎未采用声屏障或其它控制措施。当然,原则上讲应从声源上解决,即对车辆本身进行噪声控制,但这与制造业的技术水平有关,而且每降低1dB的耗资巨大。从广义上讲,道路又是一个系统工程,其中规划、管理、道路结构(包括构造、吸声路面)又是解决问题的另

一方面,相对于车辆本身来说是被动的,道路声屏障仍是改善沿街道路两侧居住区声环境的一项有力措施。

1992年贵州省贵黄高速公路上安装了百米圪工结构的试验性声屏障,这可能是我国将声屏障应用于道路上作为降噪措施的先例。目前上海的内环路、成都路高架桥、杨浦大桥接线13个区段约5.5公里均已设置或考虑设置声屏障;北京西三环路局部区段安装了长315m、高2.6m的声屏障;京通和京昌高速公路经过市区的部分路段均设置了声屏障,说明道路声屏障的研究、设计与应用在我国也已开始并引起重视。虽然主要从保护对象的实际出发进行设计,但从系统的观点看,有时声学设计上甚至要牺牲某些可能达到的指标,以保证道路声屏障的整体效果。

道路声屏障的研究与设计对城市“峡谷”效应的探讨、城市声环境的改善具有长远意义,我们可以借鉴国外的成熟经验,逐步完善道路声屏障技术的研究与开发。

参 考 文 献

- 1 William Bow lby. Traffic Barrier in United States, inter-noiso, 1980: 575
- 2 Maekawa Z. Noise Reduction by Screen. Applied Acoustics, 1968: 157
- 3 Kurze U J, Anderson G S. Sound Attenuation by Barrier. Applied Acoustics, 1971, (4): 35~ 53
- 4 Simpson M A. Noise Barrier Design Handbook Report FHWA-RD-76-58 FHWA Wash, D, 1987
- 5 May D N, Osman M M. Highway Noise Barrier. Transp Reserch Rec, 1983, 937: 45~ 52
- 6 Masiak J E. Thesis M Sc Massachusetts Institute of Technology. Model Studies of Acoustical Barriers, 1973
- 7 William Bow lby, Louis F C, Harris R A. A Review of Studies of Insertion Loss Degradation for Parallel Highway Noise Barrier. Noise Control Engineering Journal, March-April, 1987: 40~ 53
- 8 Omoto, A. et al J. acoust Soc Am, 1993, 94(4): 2173~ 2180
- 9 Omoto, A. et al Proceedings of Inter-Noise 91, 513~ 516
- 10 曹 伟. 道路声屏障研究. 清华大学硕士学位论文