

自然通风采光隔声窗的研究与应用

蒋智元

(上海机电设计研究院)

本文介绍一种控制城市环境噪声的新型装置技术。以透光率 80% 以上的无色透明塑料作为面板而穿以微孔构成的共振吸声结构, 在与其间的通风道所组成的自然通风采光隔声窗上, 能一定程度地解决自然通风、天然采光和隔绝噪声三种使用功能之间的矛盾, 将这三种功能比较协调地体现在同一装置上, 而不需要耗用能源。

自然通风采光隔声窗可有效地控制交通噪声对高(多)层建筑物室内环境的污染, 或安装在发生严重噪声的车间或其他声源室的窗口用以减少对周围环境的噪声危害。经实际使用和现场实测, 证明其声学性能良好, 对汽车喇叭声的实际插入损失值已达到 18dB(A), 与关窗时效果相当。

引言

目前在世界各国的大城市中, 城市环境噪声已成为主要的社会公害之一, 引起国内外普遍的重视和关心, 城市环境噪声主要由交通噪声、工厂生产噪声(工业噪声)、建筑施工噪声和人群喧闹声等噪声组成。其中, 对城市环境影响最大、涉及面最广的, 当推交通噪声中的机动车辆噪声, 其次为工厂的生产噪声。

据上海市交通噪声调查, 市内机动车辆喇叭噪声相当严重, 有些地段交通高峰时每小时鸣号次数高达 3600~5200 次, 即平均每秒钟内鸣号有 1~1.4 次之多^[1]。根据区域环境噪声调查, 由交通噪声和工厂生产噪声影响而使环境噪声达到 70~80 分贝(A)的情况亦复不少, 有些测点已超过 80 分贝(A), 个别情况更有超过此值者。^[2]上海市许多高(多)层建筑紧贴干道, 受直接声干扰严重, 又由于街道狭窄, 高楼林立, 声能难以扩散, 从而使声级更为提高。市区内工厂和居住建筑交叉混杂, 相互邻接, 工厂生产噪声对周围的污染严重, 影响附近区域工作人员的生

产效率和居民的睡眠休息。

从系统设计原理出发解决噪声控制问题, 实现环境噪声控制的途径大致可分为对噪声源、传播途径和接收位置等三方面采取措施。就城市环境而言, 散发生产噪声的工厂车间整个地可看作为一个噪声源, 这个噪声源的外围结构中隔绝噪声最为薄弱的环节主要是工厂车间的窗户。同样, 如果把沿街的高(多)层建筑当作城市环境中的接受位置, 窗户也是最为关键的必经之途。

一般窗子关闭时的隔声量可达 15~20 分贝(A), 可以有效地抑制车间内部噪声向外传播, 或隔绝交通噪声自窗外传入室内。但由于关闭普通窗子或采用双层密闭窗的控制方法, 需要同时进行全室空调, 而因此要求耗损大量能源及添置空调设备和管路系统, 由于经济上的原因, 短期内无法在我国大多数地区或大多数建筑物上加以推广应用。因此, 如何寻找一种方法以有效地实现对城市环境噪声的控制, 这是上海市重点科研项目“工业噪声和交通噪声的控制技术研究”所提出的任务。减噪装置“自然通风采光隔声窗”就是根据这一任务要求而进行技术研究的。

研究途径

从声学技术上看,满足天然采光和隔声功能的普通隔声窗,和满足自然通风和隔声功能的消声装置的基本技术已获得解决。但要求同时满足天然采光、自然通风和隔绝噪声三种功能的技术措施,无论在理论上或实践上都有待于进一步探索。近年来世界各国能源短缺,从节约能源出发,许多国家,包括一些经济比较发达的国家也在寻找密闭窗户之外的新的控制途径,并在历年国际噪声控制工程会议上发表研究结果。其中,在交通干道两侧或工厂车间附近设置声屏障,以声屏障后部产生较大范围的声影区从而保证该范围内建筑物开窗自然通风而不致受到噪声危害的方法,可以认为是解决城市环境噪声的有效手段。但在许多情况下声屏障的应用受到一定的限制。因此,近年来一些声学家致力于从建筑物自身上采取控制噪声措施的研究工作,如对沿街建筑的外廊或阳台底部加置吸声材料的方法,使传入室内的反射声得到吸收,从而对交通噪声可获得1~2分贝的减噪量。^[9]在上述情况下,为进一步对外廊或阳台栏板加以封闭,对交通噪声的室内减噪量可增加到3~5分贝。为了解决不带外廊或阳台的一般建筑,另一种研究工作采取的噪声控制措施,是在窗口下部设置一个斗状凸出物作为遮挡直达声波的屏障,同时在室内顶棚处加设一定大小的吸声装置以吸收衍射声波或一部分直达声波。根据要求的减噪量的大小,适当调节斗状凸出物的尺度和顶棚上吸声装置的宽窄,以改变直达声场和衍射声场的范围。根据该试验的资料表明,其减噪效果较之文献^[9]的效果有了显著提高。但该研究工作只停留在理论分析和模型试验阶段,尚未能应用于实际控制工程,因为它不适用于建筑物高度密集的情况,附近建筑物的声反射会极大地破坏其预计的声场和减噪

效果。^[4]

如上所述,对于城市环境噪声的控制还缺乏比较完善的方法。在总结国外有关声学研究的基础上,我们决定另辟途径,致力于研究探索一种设置在窗洞中的声学新装置的技术。这种装置应当符合以下几项原则:

- 1)从节约能源出发,以采用自然通风为目标;
- 2)装置的声学性能应不受声波入射方向的影响;
- 3)装置的厚度应尽量薄,体积尽量小;
- 4)声学性能好,隔声频带应当相当宽,特别在中高频范围内应当有良好的声学性能。

从上述原则出发,设想这种装置应当由可以自然通风的通道和声学性能特别好、吸收频带宽的高效吸声体所组成。位于窗洞内的这种装置的厚度不能过大,而且为了尽量争取更多的通道面积,吸声体的厚度又不能尽量缩减,这两者是相互矛盾的。因为对于一定的中、低频衰减,吸声体厚度减薄时就应当增加通道或吸声体的长度,反之亦然。为了研究出各向尺度较小而减噪效果又较好的吸声体,我们结合通道的宽度和形式,对吸声体的吸声机理进行分析,从吸声体的材料、几何形状、孔径、穿孔率、空气层厚度等方面进行多种试验,最后确定选用以无色透明塑料板穿以微孔作面板的共振吸声结构和弯曲通道构成的基本形式——A型及B型自然通风采光隔声窗。这种形式的优点是通风道宽度较大,透光率较高,减噪特性明显高于其他几种型式的吸声结构,以此可获得自然通风、采光和隔声三个方面较好的综合效果。

现场实测及分析

为验证这种装置的实际减噪效果,即测出其插入损失,必须采用现场测试方法。这

种方法是在装设这种装置的前后,在相同环境条件下各进行一次声级测量,即在开启原有窗扇,发送连续噪声的条件下,在安装A型及B型装置之前进行一次测定;待该装置安装完毕后,再在同一测点进行一次测定。两次测定的声压级之差值即为实际上获得的插入损失。

现场实测以上海市环境保护局科技处的办公室窗口为治理试点。该窗口位于二楼沿街,面临交通比较频繁的四川中路汉口路口,街道比较狭窄,两侧高楼鳞次栉比,具有较强的声反射特性。该办公室受交通噪声干扰严重,噪声组成成份以中、高频为主。声源采用为改善上海市城市交通噪声专门研究成功的新型汽车喇叭JDL131型和JDL121型,布置在窗口正前方12米(A型装置)和15米(B型装置)处。测试仪器采用丹麦B.&K.2215型精密声级计连倍频程分析器。测点位于二楼室内距窗1米处的中轴线上,离地高度1.2米,并置有风罩。

实测表明,以JDL131型和JDL121型为噪声源时,A型和B型自然通风采光隔声窗的实际插入损失分别达到15、16、19、21分贝(A),即声强分别下降为原来声强的1/32、1/40、1/80、1/120。在主观评价方面,按平均插入损失18分贝计,响度衰减72%,亦即由于自然通风采光隔声窗的安装,室内感到的响度已下降为原有响度的28%左右。

测定时同时进行了频谱分析,测得125、250、500、1000、2000、4000六个倍频带声压级。可以看到500、1000、2000、4000四个倍频带的声压级衰减相当明显,平均获得15分贝的衰减值。125和250两个倍频带声压级的数值有一定误差,这主要是由于声源采用汽车喇叭,以及这两个倍频带的声压级较低,容易受背景噪声的干扰所造成。同时,由于测试现场处于闹市,背景噪声也时有起伏,在一定程度上影响测定效果的精确性。

自然通风采光隔声窗安装后,具有一定

的通风效果,光线遮挡少,室内感觉明亮,人耳主观感觉上相当于一般窗扇关闭时的隔声效果。作为控制城市环境噪声危害的一种新的技术手段,是行之有效的。

表1 A型及B型自然通风采光隔声窗插入损失(现场实测) 单位:分贝

测定条件			倍频带中心频率(Hz)						计权声级	
型号	声源	装置	125	250	500	1000	2000	4000	A	插入损失
A	JDL 131	无	53	66	72	78	75	61	82	
		有	48	50	61	64	57	41	67	15
	JDL 121	无	56	50	59	58	74	66	75	
		有	45	44	45	39	55	48	54	21
B	JDL 131	无	48	63	75	79	77	60	86	
		有	46	55	61	65	60	43	70	16
	JDL 121	无	52	54	58	56	70	65	74	
		有	49	50	42	41	55	46	55	19

原理及构造简述

自然通风采光隔声窗是以无色透明塑料为面板,穿以微孔而与空气层构成的共振吸声体作为主体结构的。

普通的穿孔板结构系利用穿孔板和背后设置的空气层面构成的吸声构造体。穿孔面板和背后空气层所构成的空气可以认为是质量和弹簧的一个共振系统,相同于亥姆霍兹共振器的情况。穿孔板结构的声阻要和大气中的声阻相匹配才能获得较高的吸声系数,而其声质量则须尽量降低以加宽吸收频带。但普通穿孔板为了加工方便起见,孔径一般都比较小,当背后空气层不很厚时,它的吸声特性呈现出以一定频率为峰值的“山”字形。这种吸收频带比较窄的特性,对于控制由多种声源复合而成的城市环境噪声相当不利。倘若降低声质量以加宽吸收频带,则会使声阻过低。所以,通常情况下为了加宽其吸收频带,就在穿孔面板后的空气层内充填以玻璃棉之类多孔材料,以补充声阻之不足。

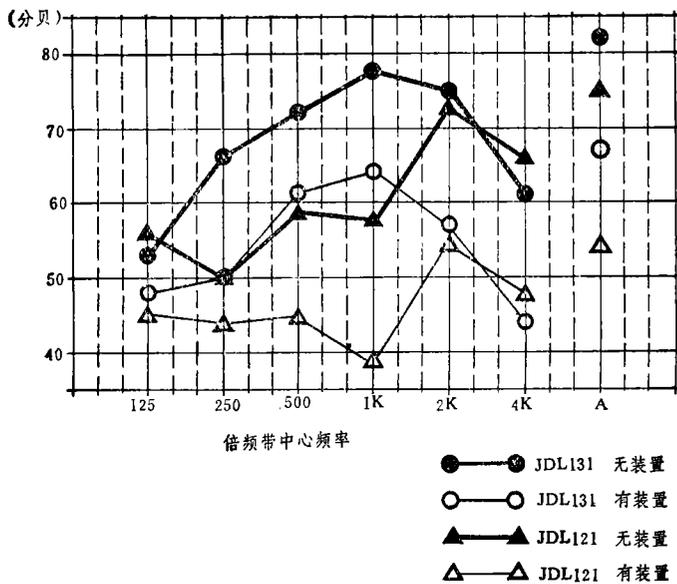


图1 A型自然通风采光隔声窗隔声性能(现场实测)

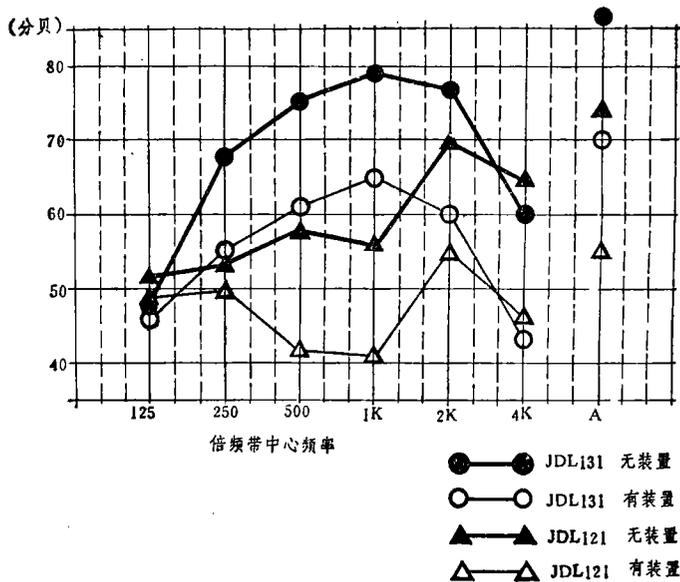


图2 B型自然通风采光隔声窗隔声性能(现场实测)

当采用微孔面板时,利用微孔声质量小而声阻大的特点,就可不必设置多孔材料而同样获得吸收频带相当宽的吸声结构。取消玻璃棉等多孔材料,就为采用透明微孔面板,研制透明的吸声结构创造必要的前提。^[5]

整个吸声体的各个组成部分,包括板厚、孔径、穿孔率、空气层厚度以及板的刚度等

的变化,都可用以调节吸收特性。

微孔板吸声结构中不同厚度的空气层和面板孔径、穿孔率等参数的改变,对吸声性能影响颇大。其相对声阻和相对声质量分别为:

$$r_A = \frac{0.335}{d^2} \frac{t}{P} K_r$$

$$m_A = 0.294(10^{-3}) \frac{t}{P} K_m$$

其中 K_r 、 K_m 分别为声阻常数和声质量常数；

$$K_r = \sqrt{1 + \frac{x^2}{32}} + \frac{\sqrt{2} x}{8} \cdot \frac{d}{t}$$

$$K_m = 1 + \frac{1}{\sqrt{9 + x^2/2}} + 0.85 \frac{d}{t}$$

$$x = 0.21d\sqrt{f}$$

共振频率为

$$f_r = \frac{C}{2\pi} \sqrt{S/l_k \cdot V}$$

其中 $l_k = t + 0.8d + PD/3$

l_k ——有效颈长；

D ——腔深；

V ——空腔体积；

C ——声速；

t ——板厚；

P ——穿孔率；

D ——孔径；

S ——小孔面积。

共振时的吸声系数

$$\alpha = 4r_A / (1 + r_A)^2$$

吸收角频率宽度（频带宽度乘以 2π ）大致等于声阻 r_A 与声质量 m_A 之比。

$$\frac{r_A}{r_m} = \frac{1140}{d^2} \cdot \frac{k_r}{k_m}$$

未穿孔的面板对低频声波的吸收，考虑到板的刚度时为：

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot$$

$$\sqrt{\frac{\rho C^2}{mh} + \frac{\pi^4}{m} \left[\left(\frac{M}{a} \right)^2 + \left(\frac{N}{b} \right)^2 \right]^2 \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)}}$$

式中 ρC ——空气的特性阻抗；

a, b ——材料各边长；

M, N ——正整数 1、2、3…；

E ——杨氏模量；

μ ——泊松比；

t ——板厚；

m ——板的面密度。

根据上述原理及通道型式所获得的装置厚度在 30 厘米左右，其减噪效果明显超过普通直列式通道及片式吸声体。因为根据别洛夫公式，对于同样宽度的通道（吸声系数假设为 0.8），则衰减 15、18 和 21 分贝所需要的吸声片长度应分别不小于 0.82、1.00 和 1.15 米，可见 A 型和 B 型装置的减噪效果是相当明显的。

结 论

1. 自然通风采光隔声窗的研究是一次声学技术上的探索。它在一定程度上解决了自然通风-天然采光-隔除噪声三种使用功能上的矛盾，证明将上述三种功能比较协调地体现在同一装置上，在技术上是可能的，从而成为有效地控制城市环境噪声的新技术。

2. 在声学上，自然通风采光隔声窗具有吸收效率高，吸收频带宽，构造体积小的优点。经实际使用可达到平均 18 分贝（A）左右的插入损失，与一般关闭的窗子的隔声量相当。

3. 这种装置可用以控制城市环境噪声对室内的影响，也可安装在发生严重噪声的车间窗口，用以减少对周围居住环境的噪声危害。

4. 研究中获得的透明吸声结构不仅声学性能良好，且可以经受日晒、雨淋，并能防尘，因此可以用于室外。

5. 目前该装置的价格还较高，有待从加工成型工艺方面进行研究，予以降低。

参加测试工作的还有上海市环境保护局科技处夏德荣，环境监测中心蔡国本，上海机电设计研究院曹伟国、张存厚同志。

参 考 文 献

[1] 同济大学声学研究室，机动车喇叭噪声与城市交通噪声污染，1981。

（下转第 38 页）

声诊断仪研制的。该诊断仪经上海市第六人民医院、上海市中山医院、上海市肿瘤医院经三个月的临床诊断试用，表明该诊断仪所显示的图象清晰，基本满足临床诊断要求。详见(9)(10)

四、结 束 语

国内外把多晶片超声聚焦探头作为超声医疗仪器的重要课题来进行研究。这一方面说明了探头的重要性。另一方面研制性能优良的探头涉及到许多问题，如曲面形声学基阵的近场理论、宽频带换能器的研究、曲配层的传输特性理论研究、扫描波束的旁瓣仰制、声场测试，还涉及到压电材料的特性研究和探头工艺过程的研究，即涉及到许多方面的研究工作。另外由于工作频率较高。波长为毫米量级，所以必须设计专门的制备方法才能保证所需的精度，上面这些问题对研制性能优良的探头增加了复杂性。

本文定性地论述了多晶片超声聚焦探头的基本原理，简要地介绍了我们所研制的聚焦探头的性能。我们从压电元件曲面加工、阵元分割、匹配层的制备初步建立了一套方法。并在理论上进行了一些研究，但这些工作还是初步的。

在研制过程中，我们得到了向大威、冯

绍松两位同志的关心和帮助，上海东明厂对我们的支持还有其他一些同志提出了宝贵意见，在此，一并表示谢意。另外我们和沈志华同志作了许多有益讨论，在此也表谢意。

参 考 文 献

- [1] Kossoff, G. Robinson, D. E. and Garrett, W. J. "Ultrasonic Two-Dimensional Visualization Techniques" IEEE. Vol SU-12 No.2 June 1965
- [2] Kossoff, G. Robinson, D. E. and Garrett, W. J. "Ultrasonic Two-Dimensional Visualization for Medical Diagnostic" T. A. S. A Vol.44 No.5 November 1968.
- [3] 奥岛基良、大槻茂雄
“凹面振動子のビーム幅の近似評価法上可変開口振動子”
- [4] 飯沼一浩、橋口六雄
“凹面振動子による超音波ビーム幅の作図法”日超医论文集24: 43、1973
- [5] 朱儒良、陆宝琴“超声聚焦探头的近场声束计算”(东海站内部报告)
- [6] 朱儒良、陆宝琴
超声聚焦探头的凹面声场
- [7] 布列霍夫斯基
“分层介质中的波”
- [8] 陕西师大应用声学所超声研究室
全国生物医学超声工程学术医用超声仪器科技情报会议资料
医用相控阵超声换能器的初步研究
- [9] STS-1 超声实时图象诊断仪试用报告上海市第六人民医院 周永昌 闻恽
- [10] STS-1 超声实时图象诊断仪试用报告
上海市中山医院 徐智章

(上接第 11 页)

[2] 上海市区域环境噪声标准研究组，上海市区域环境噪声标准(建议)研究说明，1981。

[3] Jan-Inge Gustafson and Stafon Einarsson, Gallery Houses with Respect to Traffic Noise 1973

inter-noise.

[4] Czarnecki, S. Complex Method of Noise Control in Urban Areas, 1978 inter-noise.

[5] 马大猷，微穿孔板吸声结构的理论和设计，中国科学，No.1,1975.