

910931

工程声学

北京声学学会编

Q
77
北京大学出版社

ENGINEERING ACOUSTICS

3320
10477

510031

工 程 声 学

北 京 声 学 学 会 编

北 京 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本文集是一本由北京声学学会主办的不定期出版物，共有文章24篇。内容包括声环境、噪声与振动、音质设计与评价、声学试验、超声应用、录音播音及演播室、声学实验室、扩声工程等8个方面。

本文集是我国应用声学方面的第一本文集，旨在沟通有关工程声学的科技信息，推广新技术，提高我国声学学科的水平及开拓声学在四化建设中的应用。

文中用到大量图表，有较大实用和参考价值。

工程声学

北京声学学会 编

责任编辑：李采华

*

北京大学出版社出版

(北京大学校内)

北京大学印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092毫米 16开本 14印张 350千字

1988年11月第一版 1988年11月第一次印刷

印数：0001—2,500册

ISBN7—301—00563—6/O·114

定价：4.70元

《工程声学》编委会

主 编: 杜连耀

副主编: 车世光 方丹群 姜天仕 项端祈

编 委: (按姓氏笔划)

车世光	方丹群	王炳麟	王 崢	叶恒健	刘发臣
刘永祥	冯瑞正	庄文雄	李 翔	李昌立	李先明
李明轩	杜连耀	项端祈	姜天仕	骆学聪	范宝元
赵志诚	郭万勤				

前 言

北京声学学会从成立到现在仅有五年的历史。因位于首都北京，直接得到北京市科协领导和兄弟学会的大力支持和帮助，再加上老一辈声学家和从事声学工作的同行们的关怀与协助，学会各项工作都已基本展开，如邀请专家作学术报告；主办长期及短期培训班，提高声学技术人员的工作能力和技术水平；组织国际间的学术交流；帮助企业引进国外先进技术等。这些工作对提高我国声学学科的水平及开拓声学在祖国四化建设中的应用，起了积极和明显的作用，这正是学会的重要宗旨之一。

声学本身具有与其它一些学科联系较广的特点，在北京地区从事声学工作或声学有关的单位和个人很多，他们在理论方面和应用方面颇多建树，但缺少有关的刊物。北京声学学会成立时就想填补这个空白，但因一些实际困难而未能实现。近年来随着学会情况的变化及声学技术迅速发展，科技信息急需沟通、新技术需要推广以发挥其社会效益及经济效益，因此，北京声学学会理事会研究决定不定期的陆续出版《工程声学》论文集，这是第一本，这里的“工程”两字具有“应用”的涵义，凡是与声学有关的实际问题或应用问题的文章，都是《工程声学》欢迎的稿件。需要时编辑部还将约请声学专家撰写文章。

本书除了起学术交流的作用外，还将密切北京声学学会会员之间及会员与学会之间的关系。限于水平和经验，本书的内容和安排，难免有这样或那样欠妥或谬误之处，诚恳地希望读者及本会会员不吝指正。

杜连耀

1988年3月

目 录

● 声 环 境 ●

- 我国住宅的声环境现状与改进.....车世光 (1)
中国2000年城市噪声污染预测及对策的研究.....刘 克 方丹群 陈 潜 (12)

● 噪 声 与 振 动 ●

- 微穿孔板消声器的理论、实验和应用.....方丹群 孙家其 (18)
炼油厂空分车间噪声与振动测量.....冯瑀正 刘长海 刘凯升 (30)
有梭织布机声源控制的理论研究.....庄文雄 周 迪 (39)
环境振动主观评价规律研究.....涂瑞和 孙家其 方丹群 战嘉恺 (49)
电磁式振动台冷却风机的噪声治理.....王能达 周笃强 (56)

● 音质设计与评价 ●

- 我国多功能剧场声学设计的研究.....项端祈 王 崢 吴竹莲 陈金京 葛砚刚 (62)
厅堂混响时间与每座容积关系的研究.....王 崢 (82)
厅堂音质主观评价中几个问题的探讨.....康 健 (90)
琴房音质的研究与实践.....项端祈 (96)

● 声 学 实 验 ●

- 剧场观众厅掠射吸收的模型实验.....王炳麟 (112)
走廊吸声效果的试验研究.....吴大胜 张锡英 (119)
声扩散界面的优化设计问题及其模型实验研究.....刘光华 叶恒健 (126)

● 超 声 应 用 ●

- 超声多普勒流量计研究.....刘其培 吴全福 刘连博 刘发臣 洪 伟 姜天仕 (136)
超声法测量材料的二、三阶弹性模量和应力.....王仁乾 李迎春 孙蓬德 (149)
超声功率测量.....唐玉华 (157)
B型超声诊断胎儿先天性尿道闭锁等多发畸形个案分析
.....李 翔 金 元 高仲桦 陈京京 (162)

● 录音棚、播音室和演播室 ●

- 日本 NHK 电视演播室、播音室的声学设计和特性简介.....叶恒健 (166)
中国电影乐团音乐录音棚的声学设计.....陈金京 王 崢 项端祈 (176)

● 声 学 实 验 室 ●

- 简易消声室的声学设计与应用.....车世光 卢贤丰 (184)
混响室的声学设计.....项端祈 葛砚刚 (191)
英国的声学实验室建筑.....项端祈 (200)

● 扩 声 工 程 ●

- 兴安礼堂扩声设计.....陈金京 王 崢 陈 英 (211)

CONTENTS

Acoustical Environment

- Present Condition and Improvement in the Acoustical Environment of the
Apartment Houses in China Che Shiguang (1)
A Study of the Urban Noise Pollution Prediction and Control in China Through
Year 2000.....Liu Ke Fong Danqun Chen Qian (12)

Noise and Vibration

- Theory, Experiment and Application of Microperforated Panel Mufflers
.....Fang Danqun Sun Tiaqi (18)
Noise and Vibration Measurements of the Air Separation Shop in Oil Refinery
..... Feng Yuzheng Liu Changhai Liu Kaisheng (30)
A Theoretical Study of the Sound Source Control in Shuttle Loom
..... Zhuang Wenxiong Zhou Di (39)
Study on Subjective Evaluation Methods of Environmental vibration
..... Tu Reihe Sun Jiaqi Fang Danqun Zhan Jiaki (49)
Noise Control of the Cooling Wind Device of an Electromagnetic Vibration
TableWang Nengda Zhou Duqiang (56)

Acoustical Designs and Evaluations

- Study of Acoustics Design of Multipurpose Halls
.....Xiang Duanqi Wang Zheng Wu Zhulian Chen Jinjian Ge Yangang (62)
Relation Between Reverbration Time and Volume Per Seat in Auditoriums
..... Wang Zheng (82)
Investigation of Some Proplems in Subjective Evaluation of Auditorium
Acoustics Kang Jian (90)
Study and Practice on the Sound Quality of Piano RoomsXiang Duanqi (96)

Acoustics Experiments

- Scale Model Experiment on Attenuation of Direct Sound Over Theatre Steats
..... Wang Binglin (112)
Experimental Research on Absorption Effect in Corridor
..... Wu Dasheng Zhang Xiying (119)
Optimum Design and Model Experiments of Sound Diffusing Surfaces
..... Liu Kwanghua Ye Hengjian (126)

Ultrasonics Applications

Study on Ultrasonic Doppler Flowmeters

Liu Qipei Wu Quanfu Liu Lianbo Liu Fachen Hung Wei Jiang Tianshi (136)

Measurement the 2nd and 3rd Order of Elastic Modules and Stresses of

Materials Using an Ultrasonic Method

..... Wang Renqian Li Yingchun Sun Peugde (149)

Ultrasonic Power Measurement

Tang Yuhua (157)

Diagnosis of Fetal Urentlral Obstruction and Other Congenital Abnormalities

, with B-type Ultrasonic Echograph—Analysis Case of One

... ..Li Xiang Jin Yuan Gao Zhonghua Chen Jinjin (162)

Music Studios

Acoustical Design and Characteristics of TV Studio in NHK

Ye Hengjian (166)

Acoustic Design of the Music Studio of the Chinese Film Philharmonic

Society.....Chen Jinjing Wang Zheng Xiang Duanqi (176)

Acoustics Laboratories

Acoustics Design and Applications of Simple Anechoic Chambers

..... Che Shiguang Lu Xianfeng (184)

Acoustics Design of Reverberation Chambers.....

Xiang Duanqi Ge Yangang (191)

Acoustical Lab Buildings in Britain.....

Xiang Duanqi (200)

Sound Amplification Engineerings

Design of Sound Amplification System in Xingan Auditorium

..... Chen Jinjing Wang Zheng Chen Ying (211)

我国住宅的声环境现状与改进

车 世 光

(清华大学建筑系)

一、概 论

住宅是人类为了满足自己的生活需要,同时去适应环境、改造环境的产物,它是随着人类社会的进步而逐步发展起来的。人们正是在与自然斗争中,逐步掌握住宅的客观规律,运用先进的科学技术,使住宅日益现代化。

现在,住宅的规划设计工作的发展趋向是不仅仅从个体扩展到群组,而且已经从建筑扩展到环境,即满足人们物质需求这个基本条件以外,已渐渐重视居住环境质量,使其舒适实用,符合居住者生理与心理的要求。

我国住宅的质量远远落后于世界上的先进国,如日本、美国、联邦德国与瑞典等国家。在环境方面,由于社会对住宅的需求量大,建设投资有限;材料与技术水平不高等因素的影响,都是环境质量不高的原因。同时,人类起居内容的变化与丰富、物质和文化水平的提高,使得居住环境质量更是相对下降,其具体表现为:

居 室 内	没有多方面的视野与良好的通风,缺乏私密性,噪声的干扰,居住的现代要求——起居与使用面积不足
住 宅 楼	缺乏邻里交往的条件,不便照看儿童,相互干扰
居 住 小 区	没有室外活动场地,住宅单调压抑,环境的破坏,临街建筑的严重干扰,特别是噪声

居住环境涉及的内容很多,声环境是其中的重要组成部分。所谓“声环境”是指住宅内外各种噪声源所产生的声音对居住者在生理上、心理上所造成的影响。相对住宅热环境、光环境等住宅声环境的影响更是长时期的,对居住者而言想改变声环境质量是比较困难的。而长期的噪声干扰将使人们休息、工作与睡眠都受到影响。

二、我国住宅声环境现状

我国城市住宅受到各种噪声的干扰。从建筑物外部传来的噪声主要是交通噪声,其次是工厂噪声与社会噪声,但临时性的施工噪声则干扰更大。而建筑内部的噪声则主要为邻室或楼梯间传来的讲话声、音乐声与各种撞击声,有时水管的噪声更烦人。

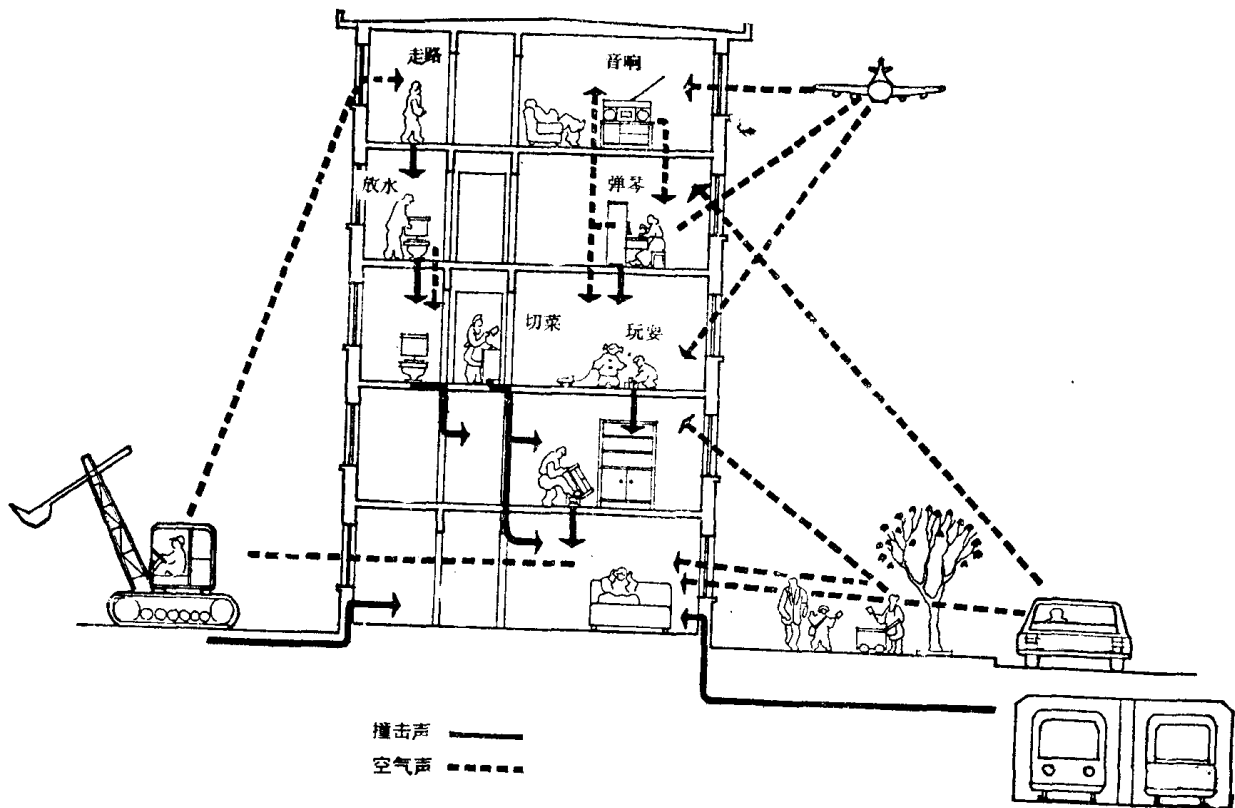


图1 住宅声环境

根据资料反映与调查结果，在各种污染源中噪声污染最严重，投诉者占首位。图2是“六五”期间人民来信分类的比重图（北京），噪声占49.1%。

在1986年的全国住宅调查中，住户改善意愿最强烈的也是在噪声方面，占总户数的35.15%，（表1）。

在我们南方四市的调查中，居民对噪声环境总的评价如表2所示。在190份合格的表格统计中满意与比较满意的住户占55.3%，比较不满意与不满意的占45.7%。但这一资料是包括整个居住小区的，如果是沿街住宅比例肯定会大大超过。

在各种噪声的干扰中交通噪声居首位，沿交通干道两侧建造的住宅中等效连续A声级高达60—70dB。

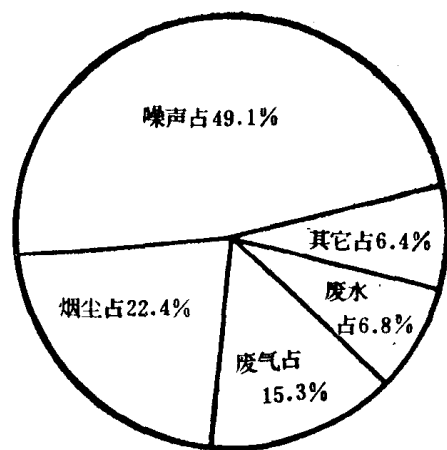


图2 “六五”期间人民来信分类比重图

表1 意愿改善方面填写户数与百分比

住户意愿 改善的方面	隔 声	地 面	环 境	门 窗	墙 面	隔 热	通 风	保 温	顶 棚	采 光	朝 向
填写户数	1420	1217	1210	999	913	886	709	676	618	613	353
占总户数%	35.14	30.12	29.95	24.73	22.60	21.93	17.55	16.73	15.30	15.17	8.74

表2 居民对声环境总的评价

内 容	户 数	%	总 %
满 意	14	7.4	55.3
比较满意	91	47.9	
比较不满意	43	22.6	22.6
不 满 意	24	12.6	23.1
很不满意	12	6.3	
无法忍受	8	4.2	

居民反映“白天无法工作，晚上无法休息”。严重的是在主干道两侧建造住宅的“北京经验”正在全国各省市“遍地开花”。在这些住宅中都无法达到国家即将颁布的允许噪声标准，相差20—30dB(A)之多，这一问题应引起有关方面的重视。

表3是北京市1981—1985年城区道路交通噪声评价参数对比表。从表中看出北京市交通噪声近年来是逐年下降的，这与市长亲自上街

监督汽车禁止鸣喇叭、制定噪声管理法规、对十四条干道进行改造等种种措施分不开的。但即使这样仍无法满足住宅允许噪声标准。而且从北京市看噪声逐渐由市区转向郊区，即“内低外高”。而这些地区正是住宅建设地区。

表3 1981—1985年北京城区道路交通噪声评价参数对比表

年	监测路段/条	监测路长/km	Leq/dB(A)		L ₉₀ /dB(A)		L ₅₀ /dB(A)		L ₁₀ /dB(A)	
			平均*	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
1981	102	147.6	73.5	84.1	62.1	70.0	68.6	75.0	76.7	86.0
1982	60	107.4	70.3	76.8	62.2	68.0	67.1	72.0	74.1	80.0
1983	101	160.63	69.3	76.2	60.7	69.2	66.5	73.8	72.3	80.2
1984	96	163.06	69.3	78.0	60.9	72.0	66.8	76.0	73.1	82.0
1985	133	184.18	69.9	76.0	61.7	69.0	66.7	75.0	72.8	79.0

在高交通噪声干扰的同时，近年来在城市中又出现了商业网点噪声（表4）与冷却塔的噪声。这些成了新的扰民噪声源（表5）。

表4 商业网点造成噪声情况

商 店 名 称	门前一米处噪声级dB(A)	商 店 名 称	门前一米处噪声级dB(A)
北京电视机厂牡丹实业公司	84	天坛北门吉利酒家	92
西四飞翔实业公司	80	天乐餐厅	78
西四佳佳百货商店	88	天桥南京香餐馆	80
新街口华鑫工艺品商店	86	北京友谊贸易公司批发部	79
广安门内中南百货商店	70	永安路零售批发商店	89
广安门内三隆百货商店	86	崇文区百货公司	82

表 5 北京几个冷却塔噪声影响调查表

单 位	使 用 台 数	工 作 时 间	噪声级/db(A)			扰民 户数
			塔 顶	塔 底	居民处	
民族饭店	3	05:00—23:00	93		57—63	299
燕京饭店	4	05:00—23:00	83	74—75	62—64	52
香山饭店	4	05:00—23:00	86	96—100	58—66	52
北京电影洗印厂	4	全 天	87	75—81	50—55	52
西郊冷冻厂	2	全 天	93—101	89—92	60—62	7100

图 3 是住宅区中不同情况下的声级变化，可以看出户外噪声是在中低频范围。

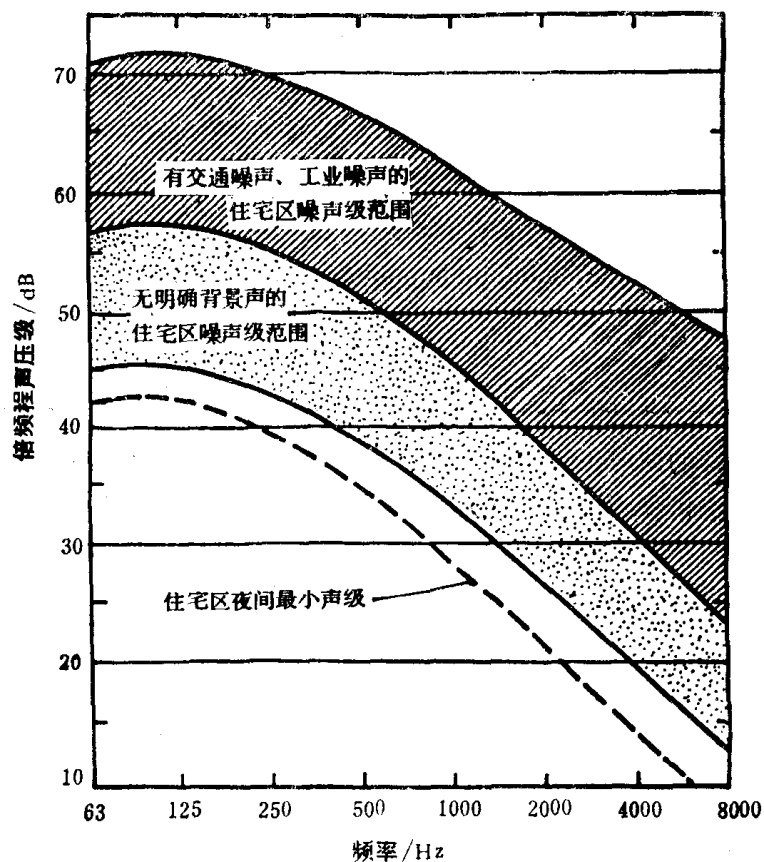


图 3 住宅区倍频程声压级范围

三、我国住宅中墙板与楼板的现状

按照民用建筑设计隔声规范的规定，住宅内声环境的三项控制指标是：1.室内允许噪声级，是控制室外环境噪声与室内设备、管道噪声的要求；2.空气声隔声标准，是对建筑围护

结构隔声性能的要求，以控制邻室传来的空气声噪声的干扰；3. 楼板撞击声隔声标准，是对楼板隔撞击声性能的要求，以控制各个方向撞击声的干扰。

据近年来调查，除沿街建筑与临近工地的建筑，居民主要抱怨的是对分户墙、分户门的隔声与楼板的撞击声。据大量测定中，有的分户墙隔声量只有30dB，邻居的谈话声清晰可闻。而现有的楼板（大孔板）对隔声而言都是“等外品”，烦人的撞击声引起居民强烈的不满，特别是在以下情况：1. 楼上、下居民的起居生活习惯差异较大，因而影响楼下的人睡眠休息，引起很大的矛盾；2. 楼下居住老年人或容易失眠的人。噪声突出的原因之一是建国以来住宅的分户墙与楼板不是有所改善，而是每况愈下。由于高层建筑要求自重轻，因而结构愈来愈薄，分户墙由24cm砖墙改为纸面石膏板墙；楼板取消了垫层、面层、最薄的只有2—3cm。它们的撞击声级是80—85dB，与国际标准化组织的要求67dB相差甚远，与日本的标准50—60dB相比差得更远，这一问题应引起国内有关部门的重视。图4是现有几种轻墙的隔声特性与过去24cm砖墙的比较。图5是现有楼板与国内标准的比较，可以看出在中高频范围相差甚远。

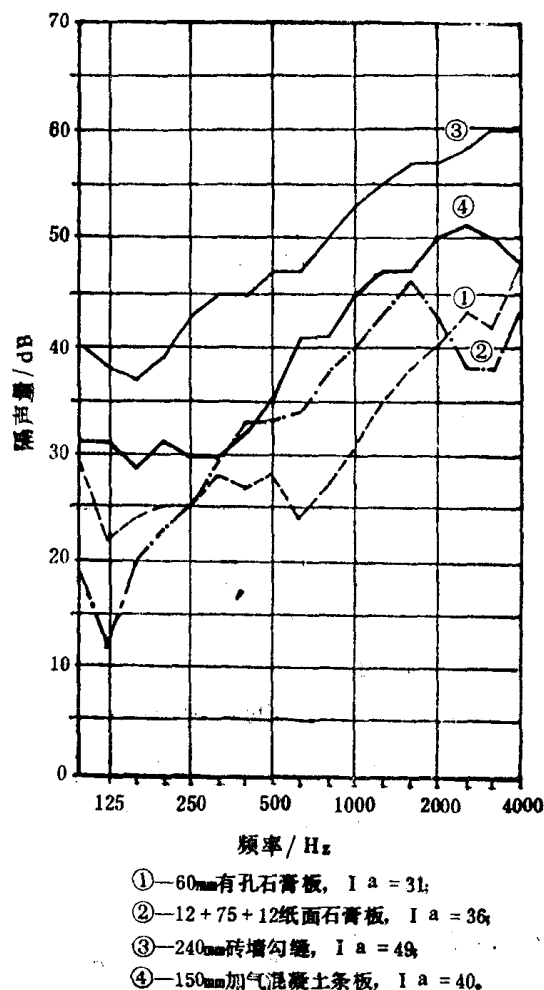


图4 几种墙板隔声量的比较

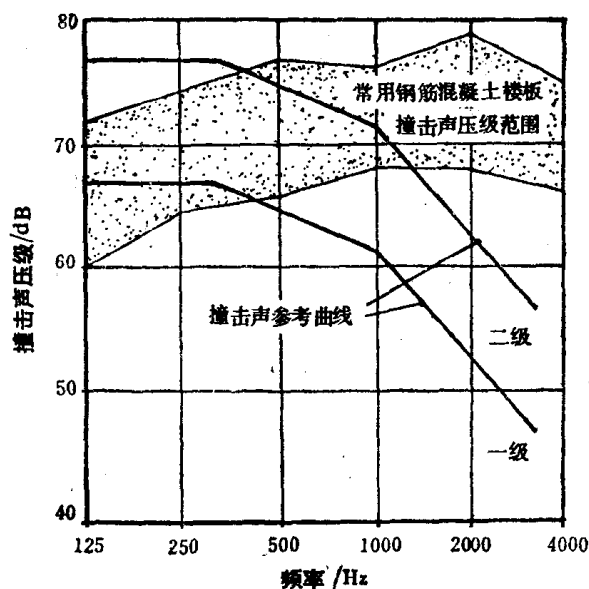


图5 现有楼板的隔声特性

除此之外，住宅的分户门的隔声特性也不能满足要求，其隔声量只有14—17dB_L，门外各种声音清晰可闻。而住宅的外窗也是户外噪音传入的途径，其隔声量只有15dB左右，也是值得改善的。

四、我国声学标准及其与先进国家的比较

制定住宅的声学标准的要求与原则是：1.符合人们需要；2.经济与技术条件的允许；3.领导部门重视。

首先要调查的是人们在睡眠、工作、交谈与休息时对声环境的要求。表6是中国科学院声学所提出人在不同情况下对噪声要求的理想值与极限值。表7是我国制定的城市住宅室内允许噪声标准，按建筑等级分为三级，它是民用建筑设计规范的一部分。在晚间应将表中数值减去10dB。表8是不同国家提出的室内允许标准。

表6 保证睡眠与劳动的A声级

适用范围	理想值/dB(A)	极限值/dB(A)
睡 眠	30	50
脑力劳动	40	60
体力劳动	70	90

表7 我国城市住宅室内允许噪声标准

房向名称	允许标准/dB (A)		
	一级	二级	三级
卧室(或兼起居室)	40	45	50
起居室	45	50	50

表8 有关国家对住宅或公寓规定的容许A声级/dB(A)

	捷克斯洛伐克 1967	瑞 士 1970	苏联 1971	瑞典	美国ASHRAE 1967	中 国 1986
住宅：卧室	40	35—45	35	25	25—35	30—40
起居室	40	35—45	35	25	30—40	40—50
公寓	40	35—50			35—45	

从表8中可以看出，我国的室内允许噪声标准与先进国家相比，大致有5—15dB的差别。实践证明，对于住宅而言，等效连续A声级是不适宜的；如深夜通过一重型卡车，它可以使沿街住宅中的住户惊醒，扰乱了人们正常的睡眠，但从夜晚的等效声级讲，并不会超标。因此，作者建议住宅的评价标准应以 L_1 或绝对A声级为标准，才符合人们的主观感受。

除此之外，在“城市区域环境噪声标准”中规定交通干道两侧的允许噪声为 $L_{eq} \leq 70\text{dB}$ ，传入室内约为60dB(开窗时)，与室内允许噪声标准一级相差20dB，二级相差15dB，这说明噪声标准之间有矛盾，最终在建筑上要采取措施才行。

五、城市住宅的发展趋势与2000年应达到的标准

由于改革的洪流势不可挡和人民生活水平与要求的不断提高，将对住宅的环境，包括声环境的标准要求更高。同时，新技术的发展与建筑节能的提出，亦将对建筑质量提出更高的要求。这将导致各种环境的综合考虑、建筑构件各种功能的结合；如分户门的防火、防盗与隔声的综合设计，窗的采光、保温与隔热以及通风又隔声的综合设计等等。

因此,为了解决住宅声环境的改善,不留下后遗症,在2000年建造的城市住宅应有良好的环境——既安静、舒适,又应使住户满足必要的需求。对2000年应达到的声环境建议如下:

1. 城市住宅应按国家一、二级标准设计,取消三级标准;标准中采用 L_1 或绝对 A 声级;
2. 解决交通噪声对沿街建筑的干扰;
3. 提高楼板隔声能力,达到国家标准;
4. 提高住宅分户墙的隔声能力;
5. 门、窗隔声质量的改善。

最后,也是最强烈的要求,希望今后在建筑总造价中应有声环境设计费的定额,具体建议为:一般建筑占总造价 5%;沿街建筑占总造价 10—15%。

六、改善城市住宅声环境的途径

综上所述,可以看出住宅声环境质量总的是较差的,有的甚至很糟。但实践与科学研究证明,采取必要的措施是可以改善声环境质量的。一般来讲,各种措施的效果如下:

总体布局与合理的平剖面设计可降低	10—30dB;
吸声减噪处理	8—10dB;
构件隔声处理	10—40dB;
楼板隔撞击处理	5—20dB;
消声处理	10—40dB。

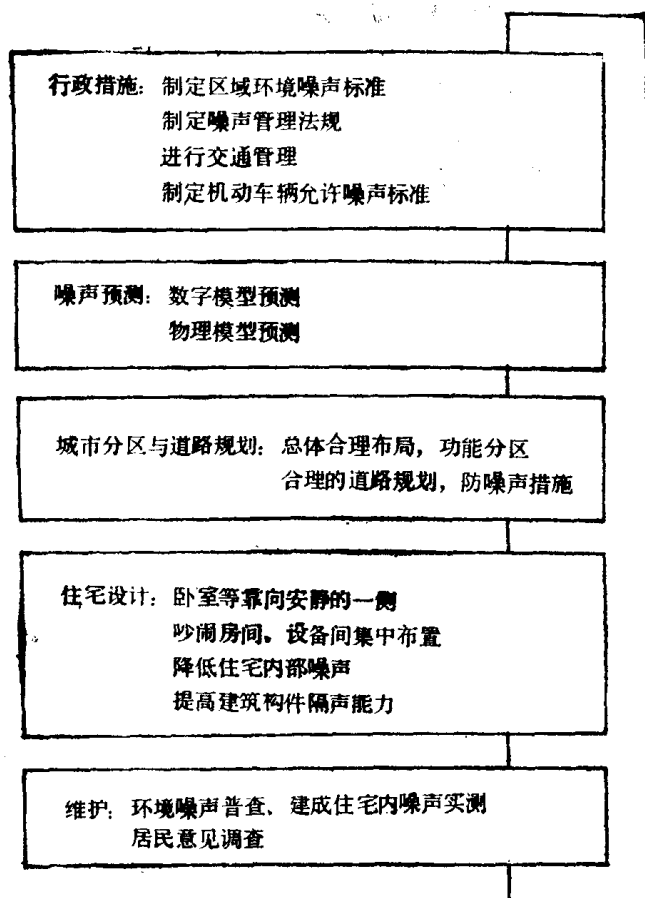


图 6 住宅噪声控制图

住宅声环境改善一般包括以下几个方面：

1. 调查环境噪声现状与住户反应的意见，制定出切实可行的标准，以及相应的噪声法规。调查噪声源现状，根据标准限制其声级。对难以控制的固定噪声源，如工厂设备噪声动员其搬迁。对于交通噪声进行车流整理，限制重型卡车行走路线。2. 在住宅区建设前应对环境噪声进行预测，这可用物理模型或数学模型进行。根据预测结果与室内允许噪声标准采用相应的防噪与隔声措施。3. 在城市总体规划时，应按噪声等级进行合理分区，尽量使噪声源远离居住区，在小区设计时应考虑防噪措施。4. 在住宅平剖面设计中，使卧室等要求安静的房间布置在较安静的一侧。安静的房间的上下方亦应为安静的房间。降低住宅中设备的噪声级，提高构件的隔声能力。综上所述，可归纳为住宅噪声控制图，见上页图6。

在城市住宅的噪声控制的种种措施中，如区域规划、平剖面设计以及隔声屏与绿化等，在有关资料中皆有介绍，下面重点讨论一下沿街住宅的噪声控制。

七、沿街住宅的噪声控制

户外的噪声源主要是交通噪声，有时亦有工地噪声或其他噪声。这些噪声都是通过窗户或是阳台门进入室内的。北京中国科学院声学所曾对有外廊的住宅进行了测试，其效果见表9，表中数据是空室情况下测试的，如满室则效果会更好。

表9 外廊的降噪效果（单位：dB）

	窗 全 开			窗 全 关		
	户外1m	房 间 内	衰 减 量	户外1m	房 间 内	衰 减 量
无外廊	67	61.5	5.5	68	49	19
有外廊	70.5	58.5	12	68	38	30

图7是上海市政设计院对阳台栏杆与天花板进行各种声学处理的测试结果，最佳情况为7—8 dB(A)。

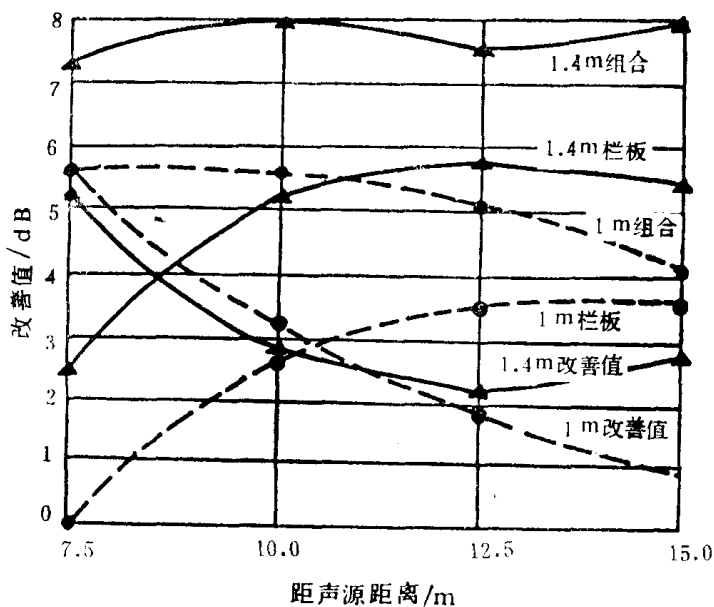


图7 阳台与栏杆声学处理后的效果

从以上处理看是有一定效果的，但要满足室内允许噪声水平的要求，还有一定的差距。一般要将噪声衰减15—25dB方能满足要求。因此，我们研制了一种“通风隔声窗”，它既能隔声，又能通风、采光与满足视野要求。经过大量测试，结果是令人满意的；隔声量最大可达25—40dB，热舒适指标还略好于夏季开窗的情况，每月耗电量还不到15 kW/h。“通风隔声窗”的构造见图8。改建的旧房只要将窗中间下方玻璃改换上通风消声器即可，对今后沿街住宅声环境

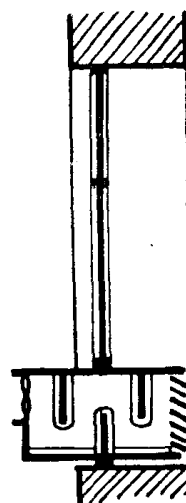
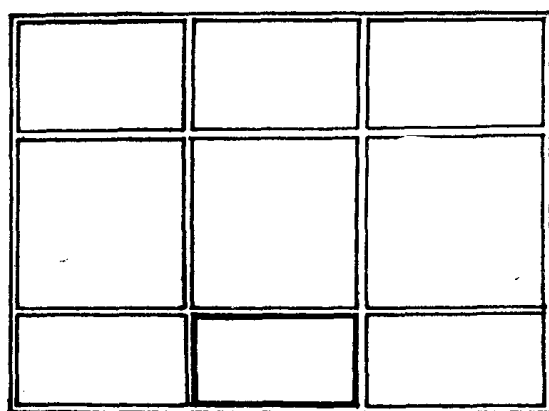


图8 通风隔声窗示意图

表10 窗隔声量测试结果

序号	玻璃厚度与空腔尺寸/mm	窗洞边缘处理	墙上排风管道	其他情况	Ia/dB
1	3			固定玻璃石膏未干透	27
2	3				26
3	3			窗缝完全密缝	29
4	5				26
5	5			窗缝完全密封	29
6	3 (100) 3*	无			34
7	3 (100) 3	硅酸铝板.28m ²			34
8	3 (100) 5	无			34
9	3 (100) 5	硅酸铝板.28m ²			35
10	3 (200) 3	无			36
11	3 (200) 3	硅酸铝板0.67m ²			38
12	3 (200) 5	无			36
13	3 (200) 5	硅酸铝板0.67m ²			38
14	3 (200) 5	泡沫塑料0.9m ²			39
15	3 (300) 3	无			38
16	3 (300) 3	硅酸铝板1.1m ²			40
17	3 (200) 5	泡沫塑料0.9m ²	弯管剖面40×33cm	管道两面有吸声材料	31
18	3 (200) 5	同上	同上 35×28cm	管道四面都有吸声材料	35
19	3	同上	同上 35×28cm	在18方案下开启一层窗	27
20	3 (200) 5	同上	直管剖面19×19cm	管道四面都有吸声材料	31
21	3	同上	同上 19×19cm	在20方案下开启一层窗	25

* 3 (100) 3表示两层玻璃3mm厚, 相距100mm。