

环境噪声学进展

程明昆

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

1994年8月26日收到

摘要 本文简要地回顾了30年来中国环境噪声学的发展,并从飞机噪声、地面运输噪声、环境噪声影响与评价以及工业噪声控制四个方面介绍了近年来环境噪声学的进展。

关键词 环境声学,噪声暴露,有源控制

Progress in environmental noise acoustics

Cheng mingkun

(Institute of Acoustics Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract A series of achievements on environmental acoustics in China for the past thirty years are briefly reviewed in this paper. Besides, the paper presents the latest progresses of environmental acoustics in the fields of aircraft noise, surface transportation noise, effect and assessment of environmental noise and industrial noise control.

Key words Environmental acoustics, Noise exposure, Active control

1 引言

环境声学,顾名思义,与我们生活和工作的环境密切相关。它包括室内环境和户外环境。具体说来,环境声学可分为三大部分:建筑声学、环境噪声和噪声与振动控制。30年来,环境声学走过了一段光辉的路程,在国内取得的成绩不少是与马大猷教授分不开的,最早做出的贡献是1959年人大会堂的音质设计,采用分布扩声系统解决了万人大会堂的音质问题。在噪声控制方面,有两项工作是对现代空气声学的发展,一个是马大猷教授提出的微穿孔板吸声理论,这一理论不仅在国内得到广泛应用,最近查雪琴等在德国应用微穿孔板吸声结构解决了新的德国议会大厅的声聚焦问题,震动了德国,得到了高度评价。一个是喷注噪声理论,提出了喷注噪声与驻点压力的关系式,从而突破

了Lighthill的声功率与速度8次方成正比的理论,便于实际应用。在此基础上,提出了小孔扩散消声器的设计原理,得到广泛应用。在城市环境噪声的方面,我国也取得了重要成果,这些成果推动了我国城市环境噪声控制,取得显著环境效益,并多次获得国家科技进步二等、三等奖,中科院科技进步一等、二等奖。环境声学研究中另一重要方面是高声强的产生和效应,1965年建立了我国第一个高声强实验室,曾为我国航空航天事业做出过重要贡献。目前高声强又进入到空气介质中非线性声学的理论研究,取得了重要成果。此外,30年来测量传声器的研究也取得了丰硕成果,从1987年开始,我们研制的传声器已出口到英、美等国,可与丹麦B&K公司的产品相比,在国际市场上享有良好的声誉,下面就几个方面来介绍一个环境声学近来的进展。

2 飞机噪声

随着民用航空运输的发展，飞机噪声在今天已成为最主要的噪声源之一。60 年代，美国民用航空研究与发展组织通过调查研究发现，机场的飞机噪声对周围环境的污染，已成为国内机场发展和民用航空系统增长的一个主要障碍。法律诉讼，环境影响评述以及各州和地方当局试图制定限制机场噪声的规定，已使现有机场的发展有如爬行，而新的主要机场的发展实际上处于停顿状态。这种情景已在全世界许多国家重复，因此，尽管人们花了近 40 年的努力去控制噪声，在 1991 年举行的国际机场协会欧洲区域的第一次年会仍然呼吁要加紧制定新飞机的噪声限值 and 现有的高噪声飞机的严格操作限制。

民用航空的喷气时代始于 1958 年，那时美国以波音 707 和道格拉斯 DC-8 喷气客机开始了洲际间和跨洋的飞行。英国也以它的彗星式和卡拉维尔式客机开始了喷气时代的飞行。由于呼啸的喷气飞机噪声比通常的螺旋桨飞机噪声要高出 20dB(A)，因此纽约的港口当局首先制定了起飞噪声规定，在离起飞跑动起点 2.5 英里处的噪声不能超过 112EPNdB。伦敦希思诺机场对夜间飞行和噪声级也做了限制，不久，一些其他的主要机场也相应地制定了规定以图控制机场噪声。

早期喷气噪声控制主要采用菊花瓣式的喷口，它可以将相当一部分声能推向更高的频段，但是，这些装置降低飞机的性能，每降 1dB，使飞机推力损失百分之一。因此，两年之内，厂家就引入了低涵道比的喷气发动机，即把一个分路的共环流风扇段加到第一代民用纯喷气发动机上。这一发展降低了满功率的喷气噪声，并增加了起飞的推力，从而改进了飞机性能，然而，风扇噪声听起来象哨子，这样一来，虽使起飞时的喷气噪声得到改善，却使进场时的噪声大大增加。

为了控制飞机噪声，1969 年，美国联邦航空局制定了第一个噪声限制规定，称之为 1 级

表 1 一些民用飞机的噪声值

机 种	认证年代	噪声级 (EPNL)
Boeing B707-300	1960	123
DC-8-20	1960	118
Coronado CV990	1964	110
Trident HS21	1965	108
BAC One-Eleven	1966	104
Boeing B747-200	1970	105*
DC10-10	1971	99*
MD80	1980	93*
Airbus A300 B2	1981	88*
Boeing B767-200R	1985	91*
Airbus A310-300	1987	87*
Airbus A320	1988	84*

限值，要求所有申请类型证书的新飞机必须满足它的噪声限值。1975 年，联邦航空局又降低了最初的噪声限值，称之为 2 级限值，以后又制定了更安静的噪声限值，称之为 3 级。接着国际民航组织在它的文件附录 16 中，也规定了相应的限值。到 1985 年超过 75,000 磅的 1 级限值的飞机被禁止飞行。1991 年秋，联邦航空局规定到 2000 年，2 级飞机终止飞行。到 2000 年，超过 75,000 磅的民航飞机都应满足 3 级噪声限值。根据限值规定，当飞机以 3 度斜率降落时，位于着陆端 2,000m 处的 2 级限值比 1 级的到达噪声降低了 13EPNdB，3 级限值比 2 级限值低 4EPNdB，为了达到上述的噪声限值要求，最重要的措施是降低飞机本身的噪声，表 1 给出了一些认证飞机的噪声值。所有带 * 号飞机的噪声都低于国际民航组织规定的最安静飞机级别标准。目前，3 级飞机的噪声平均值比 3 级限值还要低 4EPNdB，就起飞噪声而言，目前大于 75,000 磅的具有高涵道比发动机 3 级现代民航机，其噪声平均值比 3 级限值低 5EPNdB，因此，今后的飞机噪声限值还可以降低，到一定时候，将会把安静飞机的噪声限值定为 90EPNdB，根据目前民航飞机发展的速度，飞机每年增加 5.5%，相应地，噪声污染每 4 年增加 1dB。因此，要想保持现有的噪声污染水平而不致增加，要求飞机噪声 10 年内必须降低 2.5dB。为此有人建议，1995 年，3 级噪声

限值应再降 5EPNdB, 并且到 2005 年, 应对亚音速飞机制定一个 5 级噪声限值标准。

在国内, 机场噪声也引起了有关民航管理单位的重视, 我们已经制定了机场周围环境噪声的标准, 并正在进行机场噪声测量规范的制作工作。

3 地面运输噪声

地面运输噪声的来源主要是机动车辆和火车, 其中尤以机动车辆噪声对环境影响最大, 要想减少地面运输噪声, 最根本的途径是限制运输工具, 特别是机动车辆本身的噪声辐射。1960—1990 年期间, 许多国家都规定了机动车辆的噪声限值, 并且要求所有的新车辆均要按照一个国际标准进行噪声测试。在 1970 年, 小轿车的限值大约是 84dB(A), 从那以后, 机动车辆的限值在逐步降低, 表 2 为欧洲各国不同时期的机动车辆噪声限值标准, 这就是说, 到 1995 年, 新生产的载重卡车噪声限值将从 84dB(A) 降到 80dB(A), 小轿车则从 77dB(A) 降为 74dB(A)。

表 2 欧洲机动车辆的噪声限值(dBA)

实行时间	小轿车	载重车
76—82	82	91
82—88	80	88
88—95	77	84
95年以后	74	80

虽然新的噪声限值被规定了, 但整个环境的交通噪声降低还需花相当长的时期。例如, 如果 50% 的机动车辆噪声降低了 10dB, 整个噪声的水平才降低 2.6dB, 如果是 90%, 才能达到 8.5dB 的降低。一般小轿车平均寿命为 8—14 年, 卡车 10—15 年, 而且在车辆更换期间, 一部分车辆又同时因为年龄、磨损或同时缺乏维修又变得更吵, 因此一个新标准的出现, 在短期内不会见到明显的效果。

此外, 车辆检测标准也存在问题, 它对路面的要求没有适当的技术规定。自 1970 年以来, 人们已发现在某些测试位置, 由于路面条件会

引起附加的噪声, 从而降低测试质量, 为此, 规定测试位置的路面的特殊标准已被提出, 并有望在 1996 年引入机动车辆的测试标准中。

铁路运输噪声对环境的影响相对来说比道路交通噪声小, 它的等效声级要低 5—15dB, 这是因为火车运行的间隔时间长, 但是随着货运发展的需要和高速列车的出现, 铁路噪声也日渐突出。在如何降低铁路噪声方面, 做了很多研究工作, 目前一种新的盘式刹车技术已被采用, 从而使轮轨噪声降低大约 10dB, 但这种技术的推广遇到一些困难, 主要是旧的车辆还不能淘汰, 特别是货车, 一般工作寿命在 40 年以上, 这就限制了这一新技术的使用, 铁路噪声的另一重要手段是声屏障, 但是铁路声屏障的设计要求很高, 考虑到乘客的旅途愉快, 障板高度应低于车窗, 然而对双轨或多轨线路而言, 障板太低会影响效果。

现代火车正朝高速发展以缩短行车时间, 这就要求设计更加安静的车厢和引擎。而磁悬浮列车的行驶噪声实际上不高, 在 100km/h 的行驶速度下, 其噪声要比传统的低 20dB, 为 72dB(A), 在 400km/h 时, 为 94dB(A)。

过去的 20 年, 人们对交通噪声预测和控制做了大量的研究工作, 由于随着现代科学技术的发展, 运输工具、控制技术也有了很大发展, 因此近年来这方面的研究相当活跃的。在 90 年代, 在交通和运输噪声领域里遇到的一些挑战是: (a) 开发改善后的噪声预测模型; (b) 进行可靠的社会和个人态度的调查, 以便确定非连续噪声源的影响的评价因子; (c) 发展评价道路和运输设备的影响的统一标准; (d) 找到减少道路和运输走廊的噪声的新办法。现有的预测模型被广泛用于最佳运输方式的选择和环境影响报告或建设项目的环

声辐射的数据,速度也不确定,并且原模型也没有考虑到街区复杂的反射方式。地面吸收条件也给原模型带来问题。随着对复杂的城区环境中噪声传播的了解,新的预测模型有机会出现。在考虑了所有的条件,如停止、行进的交通,平行障板的存在,坡度的变化等等因素,新的模型将会大大提高预测的精度。在交通噪声预测方面,最近有人进行了城市道路网的噪声预测和评价,从而将单一道路的线源预测变为路网的噪声预测和评价,其主要特点是预测噪声对住宅的人射而不是道路的噪声辐射,从而提供了城市路网噪声影响的一个明确的度量方法。

过去大量的交通噪声预测主要考虑的是开阔空间的道路,而实际的城区道路两侧多有建筑物,有如一条胡同。这种情况下的声场比开阔空间的道路复杂得多,是由大量不同的声源及它们的多重反射构成。它也可以看作为一个顶部全吸收的无限长的封闭空间。因此可以应用经典的房间统计声学理论来计算,从而得到一个简单的、直截了当的噪声估计。

目前国内正在对机动车辆噪声限值标准进行修改,以期对国产车辆提出更严的要求。对城市交通噪声的控制研究做了不少工作,但还没有得到一个标准的合适的预测模型。在环境噪声调查方面,南京大学提出了以噪声源为核心的普查方法以代替网络法,并已纳入新的城市环境噪声测量规范中。声屏障的设计使用已形成一个新的高潮,不仅在公路和城区高架道路两旁,而且在铁路线两旁已开始应用。

4 环境噪声影响与评价

环境噪声的实际评价方法已经提出了60多个评价指标,如 L_{eq} 、 L_{dn} 、SEL、 L_{np} 、 L_N 等等。这些评价量大致可分为两类,一类是与平均能量有关系的,如 L_{eq} ;一类是与噪声变化类型或概率分布有关的,如 L_N 。近来,国际上不少人对以能量平均为基础的评价指数如 L_{dn} 和 L_{eq} 提出了批评。有人批评 L_{dn} 与噪声对人的影响的相关性并不那么好,不能够对噪声的响度进行精确的描述; L_{eq} 也是如此。一些人

认为等能量声级测量既没有心理声学也没有生物声学的基础。噪声的调查和实验室试验表明,等能量概念并不适于评价白天飞机噪声的烦恼度,而睡眠的干扰与最大声级和噪声事件数最相关。瑞士人认为, Q 或WECPNL是对飞机噪声暴露的最佳评价指标,非常适于评价对飞机噪声暴露的地点的接受能力。而机场周围的 L_{eq} 或NNI噪声等值线却不能正确评价个人或社会对飞机噪声的响应,并可能导致对机场周围“噪声气候”改善的错误的评述。因此,在有关机场噪声的法规中采用 L_{eq} 和它的变种指数是很成问题的。由于 L_{eq} 或 L_{dn} 对单次事件的评价有缺点,因此对于飞机噪声、交通噪声的预测和评价,声暴露级SEL又引起了人们的兴趣。

在环境噪声评价时,总需大量环境噪声的观测数据。然而这些数据不可避免地要受到随机的背景噪声的干扰,因此,为了得到准确的评价,需要从实际测量的数据中把背景噪声除掉,通常将这一过程称之为环境噪声的状况估算。完成这一功能的算法称之为滤波器,这类数字滤波器之一就是卡尔曼滤波器,但常规的卡尔曼滤波器在此并不适用。为此,日本的太田光雄提出了通用贝叶斯滤波器的新估算方法,并已经在户外环境噪声、道路交通噪声等的估量问题中加以应用,证实了这一方法的正确性和有效性。

如今,噪声对听力的影响与评价仍然受到关注,有关听力损伤的等能量原理受到挑战,受到一些人的怀疑,其主要理由是:

(1) 单次的射击或爆炸噪声能够引起严重的听力损伤,而考虑一个很长时间的能量平均,这样的脉冲声所暴露的 L_{eq} 并不高,这就是说,等能量原理对短持续时间、高声级的脉冲声并不适用。

(2) 根据W. Passchier-Vermeer对不同种类工业的 L_{eq} 与听力损伤的研究,木材工业工人显然比金属加工工业的工人能够忍受更高的 L_{eq} ,其差值约12—15dB,这就是说,不同工业噪声特性的差异对噪声危害扮演着十分重

要的角色,这是有悖于等能量原理的。

(3) 令人十分惊奇的是虽然所有工业的噪声都是在 250—1000Hz 范围内最高,噪声性听力损伤几乎总是在 4—6kHz 最大。等能量原理不能给予合情合理的解释。

(4) 等能量原理即使在噪声很高的情况下,仍用 A 声级,而且在这种情况下, A 声级与听力损伤的相关性高于 C 声级,等能量原理不能给出顺乎自然的解释。

有关脉冲噪声引起的听力损伤的机理,许多人做了大量的工作,研究证明,最大峰值声压级对听力损伤起着主要的作用,比如,金属加工厂的噪声峰值比 L_{eq} 要高 30—40dB,甚至到 50dB,而木材加工厂的脉冲峰值比 L_{eq} 高 20—25dB,故金属加工厂的听力损伤危险比木材加工厂的大得多。因此,为了更好地预测噪声性听力损伤,人们一段时间以来一直试图弄清楚噪声级与持续时间之间的关系,研究证明,等能量原理,即 3dB 的换算率,仅仅适用于对连续噪声的暴露,对间歇性的暴露,考虑到暂时听力阈移的恢复,OHSA 提出了 5dB 的换算率,但是也有人对 5dB 的换算率提出了异议,认为它过高地估计了噪声猝发很短的情况下,间歇性引起的“储能”效应。目前,对脉冲性或间歇性的噪声,人们正在试图去寻找一个合适的修正值,对 3dB 换算率进行修正,而这个修正值是噪声级和持续时间的一个函数。

5 工业噪声控制

本问题涉及到声学测量、分析、声学材料、听力保护、控制数据、控制技术等内容,这里就如下几个主要方面加以介绍。

5.1 声强测量 已广泛用于声功率、吸声、隔声、声源识别和近场研究以及声能流传播和绕射的测量诸多方面的应用。离散点的测量标准已正式颁布 (ISO 9614-1),扫描测量的标准草案(DRAFT ISO/CD 9614-2)也已交付各成员国讨论,作为精密方法的标准的提案也已提出,声强测量设备也在不断发展和改进,整个分析系统即将提供一个在 IEC 29/11 范围

内规定的验收标准,便携式的声强计已经问世。

5.2 其他的声成像技术 声强测量仅是成像技术的一种。全息照像法能够根据在单一表面(平面或柱面)所做的测量来确定声源处或声源周围空间的声学量。

5.3 计算机在噪声控制中的应用 一是作信号的分析检测;二是利用计算机作数值近似分析,这对声源分析、声源辐射、声场分布和减噪措施的效果改进都有很大用途。在数值计算方面,主要发展了四种方法,即统计能量分析(SEA),有限元和边界元方法(FEM、BEM),模态分析以及半经验方法。半经验方法被用在 MASAK 和 SAO 软件中,它依赖于几个 1/3 倍频带的传递函数(输入导纳、传递速度、辐射效率)的估算,并确定对一给定的激励的响应。能够模型化的结构类型有板、壳和匣子之类的结构。

5.4 有源控制 目前有源控制是噪声控制领域里的热门话题,92 年国际噪声控制工程会议有 273 篇文章,其中有源控制就占了 30 篇,当前控制的趋势是有源结构声的控制,以前的控制方法是使用声源来控制弹性结构振动的声辐射,这种方法往往需要很多声源来控制复杂结构的声辐射,而有源结构声控制(ASAC)不用扬声器来控制结构振动辐射的中、低频噪声,而是将控制力直接作用于结构上,使辐射的声能为最小。其优点是可以使用较少的激励器来实现有效的控制,并可将换能器安排合理紧凑。

有源结构声控制最初的工作重点在于使用时域多通道自适应最小均方算法。最近的工作是使用与辐射滤波相结合的状态空间反馈方法来模拟结构声的耦合。

国内在工业噪声的控制和声学测量技术、声学材料和听力保护等方面的研究也取得了很大进展,比如,对传递函数法修正声强测量系统相位的不匹配误差进行了研究,特别是在有源噪声与振动控制方面的研究,象中科院声学研究所、南京大学、西北工业大学等单位,都取得了相当的成绩,但要达到实用的目的,则还有一

基于二次剩余序列的扩散吸声体的研究

盛胜我 王毅刚 赵松龄

(同济大学声学研究所 上海 200092)

1994 年 7 月 8 日收到

摘要 本文对基于二次剩余序列的声学结构的吸声性能进行实验研究,并定性分析了它的吸声机理。研究表明,除了结构振动所产生的损耗之外,更重要的吸收源是结构表面由于声干涉所形成的附加声阻抗的影响。

关键词 吸声,二次剩余序列,扩散体

A Study on Sound Absorption of QRD

Sheng Shengwo, Wang Yigang, Zhao Songling

(Institute of Acoustics Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract This paper studies the sound absorption of quadratic residue-diffuser (QRD) and attempts to explain the high sound absorption at low-frequencies.

Key words Sound absorption, quadratic residue sequence, diffuser

1 引言

目前,以数论为基础的新一代声学结构的研究在国际上正蓬勃开展^[1]。70年代末德国 Schroeder 教授首先提出将数论与声扩散联系起来,设计一种具有非常良好的扩散效果的平面反射表面,这种结构的局部声阻抗沿表面按数论中的二次剩余序列规律变化。由理论推导可得出,当声波入射到结构表面时,能得到各个散射波幅值相等的扩散效果^[2]。从这项开创性的工作开始,工程师们发展了各种适合于不同场合的扩散体,给声学结构的设计注入了崭新的思想^[3]。

段路要走。

近年来,日本 Fujiwara 教授发现,这种扩散体同时还具有良好的吸声效果,特别在低频范围^[4]。实际上这种结构已成为一种兼有两种效果的扩散吸声体。在他的工作中采用二维声学结构,分别在混响室与驻波管内进行了实验分析^[5],但是对于这种扩散吸声体的吸声机理,尚未作出满意的解释。

本文以更为实用的一维扩散吸声体为基础,进一步对其吸声性能作实验研究,并且对其吸声机理作定性的分析。分析表明,除了结构振动所产生的损耗之外,更重要的来源在于扩散吸声体表面附加的声阻抗的影响。本文的实验结果以及初步的理论分析,为深入了解这种

参 考 文 献

[1] Kenreth Mck. Eldred, "Airport Noise: Solving a World Class Problem", Proceedings of Inter-

noise 92, Toronto, 1992, 3—12.

[2] 吕如榆,程明昆,吴卫彬,中国安全科学学报,1992, 2(1): 27—34.

[3] Alice H. Suter, Noise/News, 1993, 1(3): 131—151.