

文章编号:1006-1355(2009)05-0170-06

汉语语境下水下噪声听觉属性评价用语研究

王 娜, 陈克安, 黄 凰

(西北工业大学 航海学院环境工程系, 西安 710072)

摘 要: 在水下噪声听觉属性的研究中,适当、全面的评价用语是获得准确的声音主观评价实验结论的关键。在汉语语境下进行了水下噪声听觉属性评价用语的调查研究。首先根据已有的声品质评价词和问卷调查结果获得大量噪声描述词,通过声音在听觉感受上的三要素——响度、音调和音色,确定其中 97 个词适用于评价噪声的听觉属性。然后采用成对比较实验和聚类分析手段,依据人对词的理解差异将词汇分成 10 类,避免了研究者个体分类词汇的不确定性。最后为确定少量的、语义不重叠的、具有代表性的水下噪声听觉属性评价用语,通过水下噪声重放,进行选词问卷调查,从中确定水下噪声听觉属性的评价术语。

关键词: 声学;听觉属性;主观评价;成对比较;聚类分析

中图分类号: X827 文献标识码: A

Investigation of Evaluation Descriptors of Auditory Attribute of Underwater Noise in Chinese Environment

WANG Na, CHEN Ke'an, HUANG Huang

(Department of Environmental Engineering, College of Marine, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Suitable evaluation descriptors are very important for reasonable subjective evaluation of auditory attribute of underwater noise. In this paper, firstly, a large number of Chinese descriptors is gained by questionnaire surveys and using on-hand sound-quality-evaluation descriptors. And then, according to three elements of auditory attribute, loudness, tone and acoustic quality, 97 descriptors are selected for evaluating the auditory attribute of the noises. Secondly, in order to avoid the subjectivity, the selected descriptors are divided into 10 categories by using Paired Comparison approach and Cluster Analysis method. Finally, through questionnaire survey and re-playing the selected descriptors, some commonly used descriptors are chosen from these categories as the evaluation descriptors of auditory attribute of underwater noise due to the highest selection probability.

Key words: acoustics; auditory attribute; subjective evaluation; Paired Comparison; Cluster Analysis

在声目标识别研究中,模仿人耳听觉系统,提取听觉特征用于目标识别,近年来成为新的研究热点,尤其在水下目标识别领域^[1,2]。其中,通过主观评价实验确定声音的听觉属性是模仿听觉功能的前提,而实验的关键部分是必须有适当的描述听觉

属性主观感觉的评价术语^[3],因此,在模仿听觉功能改善水下目标识别性能的研究中,水下噪声听觉属性评价用语的研究成为首要工作,这不仅为噪声听觉属性的主观评价提供评价术语,也为声纳员训练描述声音特性提供帮助,同时对声品质评价、室内声场评价等领域的研究也具有借鉴作用。

听觉属性是指由响度、音调、音色和持续时间给人的直接主观感受^[4,5],其中响度、音调和持续时间分别取决于声音的幅度、频率和时长,是可以用一个数值定量计算声音差别的一维感知属性;而音色相对较为复杂,是人判断具有相同响度、音调的

收稿日期: 2009-03-26

基金项目: 国家自然科学基金(10574104)和西北工业大学基础研究基金(W018104)资助项目

作者简介: 王娜(1981-),女,安徽省砀山县,在读博士,研究方向: 心理声学、声信息处理、噪声与振动控制。

E-mail: nawang@mail.nwpu.edu.cn

两个声音之间差别的重要听觉属性,是受声音时域、频域结构共同影响的多维感知属性,无法用一个数值对其进行定量计算。

主观评价实验中要求评价术语与声音类型具有一定的相关性,语义被大多数人都能理解且大体相同,并且语义上的重叠性应尽可能小。目前,乐音、语音、电声等领域主观评价的研究中,通过调查、实验验证等方式已提出大量反映听觉属性的汉语评价术语,文献[3]列出了音乐、语音、电声的标准汉语评价术语,文献[6]制定了中国针对广播节目声音质量的标准评价术语。随着经济社会的发展,噪声主观评价也成为目前的研究热点。国内的郑大瑞^[7]、张道永^[8]分别对多种不同噪声源的主观评价词进行研究;毛东兴研究了车辆噪声的主观评价词^[9];邵惠鑫对城市的声景观进行研究^[10],提出了大量汉语语境下的环境声描述词;文献[11]研究中提出了车辆单一噪声听觉属性的评价术语。

上述研究中提出了大量不同类型声音的描述词,但对水下噪声的汉语评价术语几乎没有,虽然国外研究者 Geoffrey 通过调查统计了大量水下生物声和舰船辐射声的英文描述词^[12],但并未给出针对水下噪声听觉属性的评价用语,因此,本文在汉语语境下,通过问卷调查和总结已提出的评价词,依据声音在响度、音调和音色属性上的描述方法,确定噪声听觉属性的评价词;然后采用成对比较实验和聚类分析的手段,根据人主观的理解差异将词汇进行分类;最后进行听音选词的问卷调查,利用选择概率确定少量的、适当的和全面的水下噪声听觉属性评价术语,为水下噪声的主观评价实验打下基础。

1 噪声听觉属性的评价词

本节借鉴乐音和语音等领域的声品质评价词,

利用听音写词和问卷调查对词汇进行补充,建立一个涵盖范围广泛的噪声听觉属性评价词汇体系。虽然噪声的评价词还没有形成标准,但国内研究者通过长期调查研究,已得出大量噪声的汉语评价词^[3,6-11]。在以英语为主的国家中,声音主观评价的研究较为成熟^[12-16],依据文献[17]对已提出的英文评价词进行翻译,获得适合描述声音的中文评价词。

为保证词汇的全面性,在借鉴各领域声音评价词的基础上,本文进行了问卷调查。首先是听音写词问卷调查,声音样本是无背景噪声干扰的单一噪声,包括不同类型的舰船噪声、车辆噪声和飞机噪声等,样本的持续时间为6 s。通过耳机循环播放噪声,被调查者反复听后写出描述词。然后为防止被调查者写词时受声样本的局限,请被调查者在不听声音的情况下写出可以描述噪声的其它词汇。

只有具备声学背景知识的人群在调查中才能更好地写出噪声听觉属性评价词,所以被调查者是无听力损伤的在校大学生和汽车公司声学部门的员工。两次调查分别收回有效问卷23份,男女比例为16:7。统计结果发现人们对噪声的描述词与之前总结文献得到的词汇类型相同,主要分为对声音自身的描述(拟声法和类比法),发声体和声场的描述,声音的印象描述(主观感受和声音特性)。因此通过总结已有评价词和问卷调查建立了噪声汉语评价词汇体系。

由于后期实验是评价水下噪声听觉属性,并与客观参量建立联系,因此需要从中选择适合的评价词。导致噪声听觉属性的物理特性主要是声音在时间、频率、振幅和能量上的变化特性,因此,依据表1提出的原则对词汇进行筛选,得到97个适合噪声听觉属性评价词。

表 1 剔除词汇类型及理由
Table 1 Types of eliminated descriptors and the reasons

类型	理由
拟声词	如“哗哗的”,无法从本质上反映人对噪声听觉属性的主观感受。
声源材料描述词	如“金属的”,无法直接与声音的听觉属性建立联系。
心理和生理感受形容词	如“厌烦的”、“心痛的”,虽然是由声音的听觉属性导致的听觉感受,但无法直接反映与某种听觉属性之间的关系。
特定类型声音的形容词	如“圆润的”等,这些词只适合形容乐音中谐音的主观感受,不适合形容非谐音占主要的噪声。

2 噪声听觉属性评价词的分类

为确保后期评价术语的冗余信息少,有必要从语义理解差异上对词汇进行分类,挑选每类中最具代表性(选择概率最高的)的词作评价术语,这样才能保证后期挑选的评价术语具有全面性和代表性。以往词汇的分类是研究人员通过经验和个体感受对词汇进行大致分类,不具有客观性和标准性,由于分类的不得当,导致某些与时域结构有关的听觉属性的评价词常常被忽略,因此本文提出利用成对比较法对词汇之间主观感受的差异进行不相似性评价,通过聚类分析对词汇进行定量、直观的分类,避免目前词汇分类的不确定性。

2.1 词汇的成对比较实验

成对比较法是通过被评价对象的两两比较关系来间接地估计出所有被评价对象的相对心理尺度^[3]。因此告知评价者在两两词汇比较时,考虑用于描述噪声时两个词的理解差异程度,对词汇进行不相似性评价。通常评价尺度分为 5 个或 7 个等级,本文的评价尺度为 5 级,如表 2 所示,在两端分别为“非常相似”和“非常不相似”的,用 1-5 数字来描述评价的不同等级。

表 2 5 级不相似性评价尺度的评价语及相应赋值

Table 2 Description of dissimilar evaluative rating scale and the corresponding value

评价语	非常相似	比较相似	有点不相似	很不相似	非常不相似
赋值	1	2	3	4	5

评价者对描述噪声时词汇的不相似性进行两两比较,获得不相似度矩阵后,利用聚类分析手段进行定量分析。聚类方法是数值分类法^[18],将不相似程度小的词划分为一类,大的分为不同类,可定量地得到词汇的准确分类,能很好地提示客观事物内在的本质差别与联系,特别适用于受多种因素影响的分类问题。

完全成对比较的工作量是进行 97² 次比较,为降低实验量,依据响度、音调 and 持续时间这三类听觉属性,将 97 个词分成区别明显的三大组,组内在音色属性上是交叉的,每组分别进行缺失一半的成对比较。第一组包括 30 个词,主要描述声音的幅度和频率变化次数多少产生的主观听觉感受;第二组 36 个词主要描述幅度大小和频率高低产生的主观感受,第三组 31 个词主要描述时间及其变化产生的主观感受。

为保证成对比较实验的准确性,所有词汇反映

的主观感受必须保持一致,因此将“平静的”这一类词汇改为“不平静的”与其他词汇进行成对比较调查。评价主体是在读大学生、研究生和公司员工,共 32 人,年龄在 16 岁至 36 岁之间。

2.2 基于 MDS 和聚类方法的实验结果分析

第一组词进行成对比较后,首先进行重复性检验和相关性检验。重复性检验是根据汉语词典从第一组词中挑选 7 对近义词,检验其评价分值,不是“1”或者“2”则认为是误判;相关性检验是计算每个人评价结果与平均结果的相关系数。误判概率小于 40%、相关系数大于 0.7 的数据被认为是可信数据。27 份可靠数据平均后得到第一组词的不相似度矩阵,利用分层聚类分析得到评价词的聚类结果,聚类图见图 1。

图 1 显示了聚类分析的过程,图中的每条竖线代表一类,分析步骤如下:

步骤 1:标准化不相似度矩阵,将该组各词看成是单独一类;

步骤 2:根据主观评价的分值,计算各词汇间的不相似性(距离),将不相似性最小的两个合并生成新类,例如“糙的”和“毛糙的”首先合并为一类;

步骤 3:重新计算新类与其它类之间的不相似性测度,再合并最接近的两类,例如“糙的”和“毛糙的”组成的新类与“粗糙的”距离最近,三个词合并为一类;

步骤 4:重复进行步骤 3 直至所有的词归为一类。

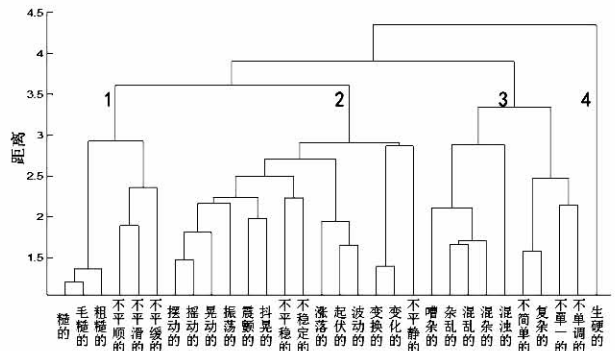


图 1 第一组噪声描述词聚类图

Fig.1 Cluster graph of noise descriptors in first group

分析图 1,确定适当的分类距离在 3.5 处,第一组词被分为 4 类。图中 1 号竖线以下的分支为第一类,评价词是横坐标上从“糙的”至“不平缓的”,可见评价者在描述噪声的角度上认为这类词的含义接近;2 号竖线以下的词“晃动的”至“不平缓的”为第二类;3 号竖线以下的词“嘈杂的”至“不单调的”

为第三类,4号竖线以下的词“生硬的”为第四类。第二组和第三组词汇的具体分析过程与第一组相同,聚类图分别见图2和图3。

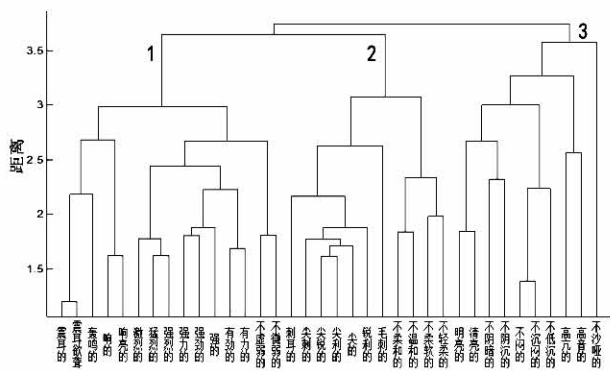


图2 第二组噪声描述词聚类图

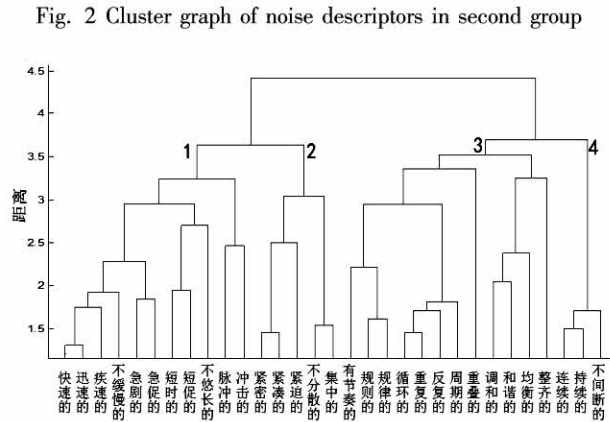


图3 第三组噪声描述词聚类图

Fig. 2 Cluster graph of noise descriptors in second group

Fig. 3 Cluster graph of noise descriptors in third group

分析图2第二组词分为3类最为合适,1号竖线以下的分支所指的词“震耳的”至“不微弱的”为第一类,2号竖线以下的词“刺耳的”至“不轻柔的”为第二类,3号竖线以下的词“明亮的”至“不沙哑的”为第三类。

观察图3中发现,第三组词分4类最为合适,1号竖线以下的分支所指的词“快速的”至“冲击的”为第一类,2号竖线以下的词“紧密的”至“集中的”为第二类,3号竖线以下的词“有节奏的”至“整齐的”为第三类,4号竖线以下的词“连续的”至“不间断的”为第四类词。

聚类分析发现第一组词中“生硬的”被单独分为一类,在一定程度上反映了心理的综合感受,用声音的物理特性或者听觉特征无法直接反映该感受,因此在本文研究中不适用于描述噪声的听觉属性,所以三组共96个词汇分为10类,分别反应不同的听觉感受,具体分类见表3。表3是统计了多数人对词汇的理解差异获得的分类,相对与个体“常识性”的分类结果更具有客观性和普遍性,例如“常识性”分类中常常将“沙哑的”与“尖锐的”分为一组^[8],认为“明亮的”与“刺耳的”是同一类词汇,但通过成对比较和聚类分析结果发现在描述噪声时,多数评价者认为二者是有明显区别的,因此,通过聚类分析方式获得的评价词的分类更适合用于后期水下噪声听觉属性评价术语的选词调查。

表3 噪声听觉属性评价词的分类

Table 3 Sorts of evaluation descriptors of noise's auditory attribute

1	微弱的 响的 响亮的	轰鸣的 虚弱的	强(弱)的 无/有力的	猛烈的 强劲的	强烈的 强力的	激烈的 震耳的	震耳欲聋的 无/有劲的
2	抖晃的 起伏的	摆动的 平稳的	摇动的 震颤的	涨落的 变换的	变化的 波动的	振荡的 晃动的	(不)稳定的 平静的
3	糙的	粗糙的	毛糙的	平顺的	平滑的	平缓的	
4	锐利的 柔和的	尖利的 温和的	尖锐的 柔软的	尖刺的 轻柔的	刺耳的	尖(钝)的	毛刺的
5	杂乱的 单一的	复杂的 单调的	嘈杂的	混杂的	混乱的	混浊的	简单的
6	闷的 阴暗的	沙哑的 明亮的	阴沉的 高亢的	低沉的	沉闷的	清亮的	高(低)音的
7	缓慢的 急促的	快速的 疾速的	急剧的 短促的	迅速的 悠长的	冲击的	脉冲的	短时的
8	重叠的 反复的	调和的 周期的	(不)整齐的 (不)规律的	循环的 重复的	(不)规则的 (不)均衡的	(不)和谐的	无/有节奏的
9	持续的	间断的	(不)连续的				
10	紧凑的	紧密的	紧迫的	分散的	集中的		

分析表 3 发现:第 1 类词反映了受幅度大小影响的听觉属性,与响度直接相关;第 4、6 类词受频率高低影响,但两类所反映的主观感受有所差别,与音调直接相关;第 2 类词受幅度变化影响,第 3 类受频率变化影响,第 5 类词受频率成分多少影响,第 7、10 类词受幅度、频率变化速度和时间共同影响,第 8 类词受频率成分和时间共同影响,它们与音色直接相关;第 9 类词与持续时间直接相关。

3 水下噪声听觉属性评价术语的确定

虽然表 3 中的词适合评价噪声的听觉属性,但评价词数量仍然过多,且语义上存在重叠现象,因此,对于水下噪声来说,必须进行选词调查,有针对性地从中挑选出能反映该类噪声听觉属性的、适当的评价术语。

由于普通人对水下声音都较为陌生,因此有必要采用听音选词的方式进行调查。为保证调查结果的准确性,选择不同发声体在不同工况下的水下噪声共 29 个声样本,包括水流声、海豚声和潜艇声等,每个样本的持续时间为 5 ~ 6s。采用四通道耳机放大器(B & K ZE0769)和森海塞尔的 HD250 II 线性监听级耳机(动圈封闭式)进行听音测试。

调查者是均无听力障碍的在校大学生和研究生。实验中首先要求被调查者删除描述词库中无法理解中文含义的词汇,然后在正式听音前对所有声样本播放一遍同时说明声源类型。正式听音时,声样本不断循环播放,听音者可以从表 3 中自由选择会使用的词,直至问卷填写完毕。通过分析得到的 53 份有效问卷,分析发现约 40% 的被调查者认为“阴暗的”和“调和的”的含义不易理解,其它词汇含义基本都能理解。对 10 类词分别进行选择概率排序,从每类词中挑选出选择概率最高且语义有明显差别的两个词,见表 4。

表 4 水下噪声听觉属性评价术语及其选择概率

Table 4 Evaluation glossaries of auditory attribute of underwater noise and their selection probabilities

1	轰鸣的	0.867 9	强(弱)的	0.753 8
2	震颤的	0.886 8	变化的	0.811 3
3	(不)平缓的	0.641 5	粗糙的	0.509 4
4	刺耳的	0.905 7	(不)柔和的	0.603 8
5	嘈杂的	0.905 7	单调的	0.792 5
6	沉闷的	0.849 1	低沉的	0.830 2
7	急促的	0.886 8	短促的	0.867 6
8	无/有节奏的	0.907 5	重复的	0.792 5
9	持续的	0.907 5		
10	紧凑的	0.679 2		

主观评价实验时根据实验目的从表 4 中挑选合适的评价用语,例如:研究水下噪声音色属性时,由于噪声无法等音调调节,可以选择第 2 至 10 组术语进行主观评价;在确定水下噪声听觉感知空间为 3 ~ 4 维的前提下,可以选择表 4 中选择概率最高的 3 ~ 4 类词作为评价术语,建立主观感受与客观特征之间的联系(如“无/有节奏的”、“嘈杂的”、“沉闷的”、“急促的”和“震颤的”是水下噪声的主要听觉属性)。基于表 4 的评价术语,可以快速、有效地开展主观评价研究工作,进而建立水下噪声听觉属性的数学模型,不仅有助于改善人工训练听音员的训练方式和声样本库的建立,还有利于改善水下目标自动识别系统。

4 结 语

本文通过问卷调查和已提出的评价词,依据声音的在响度、音调和音色属性上的描述方法,确定 97 个全面的、系统的噪声听觉属性的评价用语;然后采用成对比较实验和聚类分析的手段,首次根据人主观感受噪声时的对语义的理解差异将 97 个词汇定量分类分为 10 类,既避免了实验人员个体分类词汇的不确定性,同时又为后期确定语义上重叠性尽可能少的评价术语提供了保证;最后通过耳机重放水下噪声样本,对分类的评价词进行听音选词的问卷调查,依据选择概率确定 18 个易于理解的、语义冗余信息少的和反映全面的水下噪声听觉属性评价术语,为水下噪声的主观评价实验打下基础。

后期将会利用上述评价术语进行主观评价实验,进一步研究水下噪声听觉属性反映的主观感受的差别,与听觉特征量(心理声学 and 物理声学参量)建立联系,建立水下噪声听觉属性的数学模型,以达到提高水下目标识别率的目的。

参考文献:

[1] 王 娜. 基于人耳主观反应的听觉特征量及其在目标识别中的应用[D]. 西安:西北工业大学,2006.

[2] S. Tucker, G. J. Brown. C Lassification of Transient Sonar Sounds Using Perceptually Motivated Features [J]. IEEE J. Ocean Eng., 2005, 30(3): 588 - 600.

[3] 孟子厚. 音质主观评价的实验心理学方法[M]. 北京:国防工业出版社, 2008.

[4] 陈小平. 声音与人耳听觉[M]. 北京:中国广播电视出版社, 2006.

[5] 马大猷. 现代声学理论基础[M]. 北京:科学出版社, 2004.

[6] GB/T 16463 - 1996. 广播节目声音质量主观评价方法和技术指标要求[S]. 北京:中国标准出版社, 1996.

- [7] 郑大瑞, 蔡秀兰, 等. 关于噪声评价用语的研究[J]. *声学学报*, 1993, 18(6): 444-454.
- [8] 毛东兴. 车内声品质主观评价与分析方法的研究[D]. 上海: 同济大学, 2003.
- [9] 张道永. 噪声品质主观评价中若干问题的研究及其应用[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2006.
- [10] 邵惠鑫. 城市住区的声景研究[D]. 南京: 东南大学, 2004.
- [11] 陈克安, 马苗等. 汉语语境下的车辆噪声听觉属性评价与分析[J]. *声学学报*, 2008, 33(4): 348-353.
- [12] G. L. Collier. A comparison of Novices and Experts in the Identification of Sonar Signals[J]. *Speech Communication*, 2004, 43: 297-310.
- [13] G. Von Bismarck. Timbre of Steady Sounds: A Factorial Investigation of its Verbal Attributes [J]. *Acustica*, 1974, 30: 146-158.
- [14] R. L. Pratt, P. E. Doak. A Subjective Rating Scale for Timbre[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1976, 45(3): 317-328.
- [15] S. Koji, K. Takaharu, S. Shigeki. The Relationship Between KANSEI and Bowing Parameters in the Scale Playing on the Violin[C]. *IEEE SMC '99 Conference Proceedings, Tokyo, Japan*, 1999, 4: 305-310.
- [16] B. Barbot, C. Lavandier, P. Chemine'e. Perceptual Representation of Aircraft Sounds [J]. *Applied Acoustics*, 2008, 69: 1003-1016.
- [17] 三民书局. 最新简明英汉词典[M]. 北京: 外语教学与研究出版社, 2005. .
- [18] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.

(上接第 143 页)

参考文献:

- [1] Cox M D, Guan H H. Vibration and Audible Noise of Capacitors Subjected to Non-sinusoidal Waveforms [J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 856-862.
- [2] Smede J, Johansson C G, Winroth O, et al. Design of HVDC Converter Stations with Respect to Audible Noise Requirements [J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 1995, 10(2): 747-758.
- [3] CIGRE Technical report. HVDC Stations Audible Noise [R]. No. 202 W. G 14. 26, France, 2002.
- [4] 尹克宁. 电力电容器噪声的产生机理及其特性分析[J]. **中国电机工程学报**, 2006, 26(3): 112-118.
- [5] 孙新波, 陈花玲, 姚成. 电容器装置噪声水平的估算方法[J]. **电力电容器与无功补偿**, 2008, 29(1): 13-16.
- [6] 马大猷. 现代声学理论基础[M]. 科学出版社, 2004: 89-100.
- [7] 申罗杰夫, OE. U. (苏). 水声学波动问题[M]. 何祚镛, 赵晋英译, 国防工业出版社, 1983. 12: 12-23.
- [8] 马大猷. 噪声控制学[M]. 科学出版社, 1987: 40-55.

(简讯)

2009 中国西部首届交通噪声控制技术交流会在成都市举行

由四川省环境保护局主办、四川省环保产业发展中心协办、四川正升环保科技有限公司承办的“2009 中国西部首届交通噪声控制技术交流会”于 2009 年 8 月 7 日在成都市举行。来自四川省科研、设计、大学、监测、管理、生产企业等单位的 50 余名代表出席了会议。大会邀请中科院声学所程明昆、清华大学燕翔、北京劳保所邵斌、上海中船九院吕玉恒等专家在大会上就环境噪声控制新进展、交通噪声控制设计、道路声屏障的物理学、心理学与美学观以及声屏障的结构、材料等进行了专题讲座并互动交流。四川省环保局领导与会讲了话。会议期间与会代表参观了四川正升环保科技有限公司,该公司是中国环保产业噪声控制骨干企业之一,主要从事环保、能源产业的设计、生产、销售业务,是四川省高新技术企业,已获得 20 余项专利证书,在能源技术、噪声治理、固废处理三大领域已完成上百项大型工程的施工安装任务,取得了满意的治理效果,深受用户欢迎。本次交流会沟通了信息、交流了经验、增进了联系、促进了西部地区环境保护噪声治理技术的发展。

中船第九设计研究院工程有限公司 吕玉恒报导