

强声效应的主观描述与定量评价

陈克安, 朱 岩

(西北工业大学航海学院, 陕西西安 710072)

摘要: 传统的有关噪声对人影响的描述与定量评价一般仅限于针对低强度的噪声(不至于引起听觉损伤的噪声)。近年来, 由于强声问题日益受到关注, 强声效应描述的研究变得尤为迫切。首先建立了初级描述词库, 然后通过主观评价实验进行一系列筛选, 最终获得强声对人心理效应的描述。此外, 完成了不同强声物理属性(声压级、持续时间和频率)下的主观评价实验, 获得了强声对人影响的定量描述数据, 为后续强声效应建模研究奠定了基础。

关键词: 强声, 描述词, 声音属性, 主观评价

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-05-0454-06

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.05.013

The subjective description and quantitative evaluation of strong sound

CHEN Ke-an, ZHU Yan

(College of Marine, Northwestern Polytechnical University Xi'an 710072, Shanxi, China)

Abstract: Traditional description and quantitative assessment of noise effects on human beings is generally limited to low-intensity noise (no human auditory injuries). In recent years, due to strong sounds draw more attention, research on strong sound effect description becomes urgent. This paper first builds a primary verbal description, makes a series of screening through subjective assessment tests, and finally obtains a descriptor of strong sound effect on human psychological. Furthermore, by completing subjective assessment tests with different strong sound physical parameters (sound pressure level, duration and frequency), and obtaining quantitative data of strong sound effect on human psychology, the basis for future modeling study of strong sound effect is provided.

Key words: strong sound, verbal descriptor, sound properties, subjective assessment

0 引言

长期以来, 有关声音对人影响的大部分研究都局限于低强度的环境声, 其声压级一般在 90 dB(A) 以下。对于大于 90 dB(A) 的声音, 人们一般将其归结为强声。随着现代社会中强声出现的次数日益增多, 以及强声危害日益受到重视, 有关强声特性及其应用的研究成为了当下的研究热点。

强声研究主要针对强声的物理损伤。国外对强声物理损伤的研究较为深入。一本有关骚乱控制的书籍提到了强声^[1], 许多科技论文都讨论了使用声音作为武器的理论。近几十年来, 研究者们对强声进行了一系列研究, 也将强声进行了实际应用, 如 1971 年, 《新科学》杂志报道英国军队在北爱尔兰

对示威者使用了声武器。在国内, 已有不少单位和研究人员对强声武器产生了兴趣, 对强声尤其是强次声对生物的生理效应进行了研究, 然而, 有关强声心理效应的研究领域仍然处于空白。

研究表明, 当人体暴露到强声中, 可能会出现物理危害有以下几种情况: 暴露到声压级为 90~120 dB(A) 的低频声(5~200 Hz) 1 min 就会产生极度的烦恼和心烦意乱感; 110~130 dB(A) 的次声将引起肠道疼痛和严重恶心; 当声压级达到 140~150 dB(A) 时就会产生巨大的身体创伤和组织损伤; 大于 170 dB(A) 的声音会产生瞬时冲击波型的创伤^[2]。这些都是强声对人体的伤害, 目前文献中涉及的比较多, 研究的也较为深入。

相比于强声的物理危害, 有关强声环境下人的心理感受的研究文献比较匮乏。近年来, 声武器以其独特的性能受到越来越多国家的重视。怎样合理有效地使用声武器, 是研究和开发声武器的关键。由于声武器具有非致命性、可控性强、无二次污染等一系列优点, 使其成为在不对人体造成物理损害的前提下驱散人群、控制人群的一种有效手段。怎

收稿日期: 2013-05-09; 修回日期: 2013-07-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11074202)

作者简介: 陈克安(1965-), 男, 四川达县人, 教授, 研究方向为心理声学和有源噪声控制。

通讯作者: 朱岩, E-mail: wdzhuyaya@163.com

样在不造成人群物理损害的前提下达到最优的人群控制效果，就需要研究强声下人的心理感知变化。

噪声总体上会引起人的烦恼，这其中包含的情绪有不适、难忍、生气和恼怒等一系列负面情绪。目前来说，“烦恼”作为一般噪声下心理感知的描述词，已经得到了广泛认可。烦恼度是一种复杂的心理体验，它涵盖多种负面情绪。不同的情感组分在构成综合性烦恼心理时，权重效应各异。然而，烦恼度却不足以作为强声描述词。相比于一般噪声，强声具有声压级更高、能量更大的特点，以至于可能会对人体器官和组织造成损伤，也必然会对人群产生远超普通噪声的负面心理影响，这就超出了“烦恼”的描述范畴。因此，寻找合适的强声描述词变得尤为迫切。

在确定了强声描述词之后，还需要对强声的心理效应进行定量分析，进而建立强声心理效应的数学模型。不过，这是一个十分艰巨的工作。作为初步研究，本文主要通过主观评价实验，获取声压级、持续时间和频率对强声心理效应影响的测量数据，为强声心理效应建模奠定基础。

2 描述词的选取

只有确定了强声描述词，才能对强声心理效应进行定量描述。确定强声心理效应描述词是研究的基础。强声描述词的确定步骤如图 1 所示。

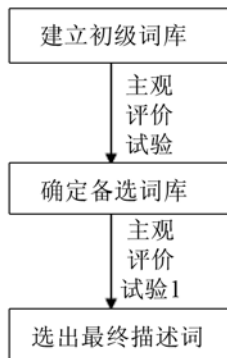


图 1 强声描述词选取流程图
Fig.1 Flowchart of selecting acoustic descriptors

2.1 强声心理效应描述

有相关文献对强声下人群的心理感受进行过描述：1989 年，美国入侵巴拿马后，美军运用声武器将时任总统诺列加大使馆地下室驱赶出来，据悉，诺列加忽感血压升高，头晕目眩，全身不适继而呕吐不止^[3]。有文献提到^[4]，用 115 dB(A)的声音作用于人体时，听者已经很难完成简单的数学运算，并出现头晕、目眩、疲倦、物理、恶心、呕吐、

焦躁不安、工作效率显著下降等症状。以 135 dB(A)的声音作用于 19~23 岁的健康男青年，持续时间为 15 min，均出现内脏器官震动感，尤以胸腔、腹腔和背部最为明显。还有的文献中提到^[5]，在被试暴露到 135 dB(A)的声音 15 min 后，脏器有震动感，胸、腹和背部最明显；鼓膜有震动感，进而出现中耳钝痛；上下肢肌肉紧张，不时有明显的颤抖。主诉有头痛、头晕、头重、口干、吞咽困难、恶心和食欲缺乏、手脚潮湿和明显的疲劳感，并且会出现某种惊慌失措，有时表现为恐慌。其他文献中也提到^[6]，4 名男性自愿者暴露于频率范围为 1~20 Hz、声压级为 120~144 dB(A)的次声下达 8 min，听者中耳均有疼痛性、压迫感，同时发声变调。当噪声频率升高时，心理性紧张和注意力不集中的情况增多，受试者中出现头痛、头晕、食欲减退、恶心、呕吐的人数增加。这些文献中虽然对被试的心理感知做出了一定的描述，但是并没有提出一个像“烦恼”那样相对综合全面的声学描述词，在此基础上本文首先进行的就是寻找合适的强声描述词。

2.2 建立初级词库

建立初级词库，原则上应当发放问卷，让受访者提出一些相关描述词。然而，在日常生活中，120 dB(A)的声音是不常见的，并且存在听阈危险，听阈危险是指在一定条件下(噪声大小、持续时间、暴露次数、时间进度和个体变量)超出了该阈值就存在永久性听力损失的危险。声压接近阈值，每天几个小时暴露、持续时间长达几年会造成永久性听力损失。通常，人们在 120 dB(A)时就开始感觉到不适，甚至较短或几次暴露(脉冲声除外)都有较高的引起听力损失的风险。一般来说，在 120 dB(A)的条件下暴露较短时间有可能会对被试造成永久性听力损失，所以无法直接进行人体实验，只能从早期一些自愿进行实验的被试、以及一些强声意外事故的遭遇者的描述中^[3-5,7]来揣摩当时的具体感受。

这就使得让受访者提出描述词不可行，因此设立了讨论小组负责描述词的选取。描述词的主要来源是网络、词典和相关参考文献^[1-5,7]。早期的描述词库几乎都是从各个文献里面直接提取或间接得出的，总计 24 个描述词。需要对词汇进行筛选获得备选词库。

筛选出备选词库主要是通过问卷调查的方式。问卷的发送主要通过互联网和实体问卷发放两条途径进行，发放对象是在校本科生、硕士研究生和博士生。总计发放问卷 120 份，回收 110 份有效问卷，将被试数据作图，将数据偏离平均值较大的数

据筛选,选出 100 份相对有效的问卷,对其进行数据统计和结果分析。最终问卷人群主要包括:男 71 人、女 29 人,年龄范围为 20~34 岁,文化程度为本科及以上学历,专业覆盖面较广。

问卷所使用的评分等级为 5 级,即合适程度按五级评分,非常合适给 5 分,很合适给 4 分,比较合适给 3 分,有点合适给 2 分,不合适给 1 分。根据语义细分评价尺度对初级词库中所有的描述词评分,结果如表 1 所示。其中调查者给出的平均分在 3 分以上的(即在比较合适程度以上)强声描述词为:不适(3.22)、烦躁(3.75)、刺耳(3.60)、焦躁(3.65)、难忍(3.54)、崩溃(3.14)、躁乱(3.05)、躁怒(3.07)。

表 1 全体被试的评分结果
Table 1 Rating of all subjects

描述词	分值	描述词	分值	描述词	分值
不适	3.22	刺痛	2.63	崩溃	3.14
疼痛	2.52	烦躁	3.75	胀痛	2.51
抱怨	2.45	失调	2.30	窒息	2.33
焦躁	3.65	应激	2.02	愤怒	2.50
疲劳	2.68	刺耳	3.60	慌乱	2.38
惊噪	2.77	难忍	3.54	抗拒	2.89
躁乱	3.05	胀裂	2.20	躁怒	3.37
憋痛	2.11	惊慌	2.43	惊颤	2.16

从表 1 可以看出,不适、烦躁、刺耳、难忍、崩溃这五个词简单易懂,也较能描述人的心理感受。从词意上来讲,焦躁、躁乱和躁怒包含更加广泛的声学含义,能更为贴切地表达出强声下人的心理感知。与噪声烦恼度调查相比,由于参加调查的人员基本上都没有感受 120 dB(A)强噪声的经历或经验,因此不宜完全根据分值高低进行选取,需要进一步的分析筛选来确定强声心理效应描述词。

2.3 确定备选词库

初级词库的总体评分结果具有很强的参考性,因此选取了总体评分在 3 分以上的描述词作为备选词库,再次进行主观评价实验。在对初级词库进行筛选的过程中,将数据按照被试的学历、专业分类并分别进行对比。对比结果显示,数据结果与被试的学历和专业都相关。具有一定声学基础的声学专业被试给出的选词比较集中、评分比较一致,相对来说选词结果比较综合、准确^[6]。因此在进一步确定最终描述词的工作中,选择直接让有声学基础的被试来进行评分,给出的评分结果可信度相对较高。被试对评分 3 分及以上的备选词库进行评分,其结果如图 2 所示。

2.4 确定最终描述词

在备选词库的主观评价实验评分过程中,被试

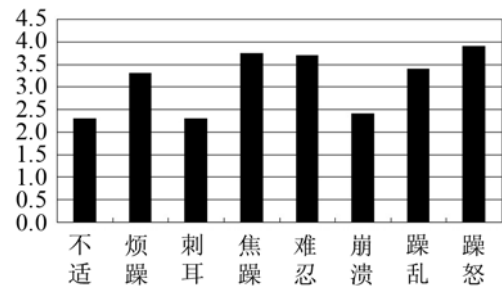


图 2 小组成员评价结果
Fig.2 Members' evaluation results

都有相关声学的背景知识。备选词库的针对性较强,评分结果具有较强的参考性。小组成员评分结果显示:描述词躁怒的评分最高、方差最小、置信水平最高(如表 2 所示)、声学含义广泛。因此,本次实验最终选取“躁怒”作为强声描述词,其具体含义为:焦躁、烦躁以及因受到惊吓而产生的愤怒。

表 2 次级词库的统计分析

Table 2 Sound pressure levels at different frequencies and different points of anechoic room

描述词	单个样本检验				
	检验值=0				
	t	df	Sig. (双侧)	均值 差值	差分的 90% 置信区间 下限 上限
不适	6.21	11	.000	2.33	1.66 3.01
烦躁	9.38	11	.000	3.33	2.70 3.97
刺耳	5.40	11	.000	2.33	1.56 3.11
焦躁	12.31	11	.000	3.75	3.20 4.30
难忍	9.75	11	.000	3.67	2.30 4.34
崩溃	4.70	11	.001	2.42	1.50 3.34
躁乱	11.88	11	.000	3.42	2.90 3.93
躁怒	15.07	11	.000	3.92	3.45 4.38

我们定义定量描述“躁怒”程度的指标为“躁怒度”,从“一点也不躁怒”到“非常躁怒”的评分范围为 0~5。

3 强声物理属性对躁怒度的影响

确定了强声描述词“躁怒”之后,需弄清楚哪些声音属性影响着强声的躁怒度。前面提到的强声实验文献里,提出的一些声音属性包括声压级、频率和声音持续时间。但是这几组实验都是在一个相对单一的声压级、频率和时长条件下进行的。这样,强声下影响人群心理感知的声音属性没有得到任何系统性的描述,接下来将会对此进行详细分析。

3.1 实验研究

3.1.1 实验设置

背景噪声对人群的心理感知也有一定的影响,

本次实验通过在不同背景声环境下进行主观评价实验，来确定强声下背景噪声能否忽略。在此基础上，我们分别在全消声室、自由声场和普通房间进行了强声实验。声源是由 25 个扬声器单元组成的 5×5 矩形扬声器阵。该扬声器系统在 1 kHz 和 2 kHz 处最大能够发出 140 dB(A) 的声音，而在 0.5 kHz 和 4 kHz 处发出的声音只能分别达到 108 dB(A) 和 120 dB(A)。稳定性良好，声辐射声压级、频率和时长可调。

在声样本的设置上主要选取了三个变量：声压级、声音频率和声音持续时间。有文献指出^[8]，对于普通噪声，在中高频(1~8 kHz)烦恼度随着频率的增加而增加。基于实验的合理性与实验数据的全面性，本次实验分别选取了频率为 0.5、1、2 和 4 kHz 的纯音样本。

声音的持续时间对被试的心理感知有着极大的影响。但是时长对被试心理感知的影响的量化研究，很少有文献涉及到。本次实验对时长的量化研究主要集中在研究强声是否符合等能量模型^[8]这一点上。在此基础上，时长分别选为 4、8、12 和 16 s，强声扬声器阵在 0.5 kHz 和 4 kHz 处所能够达到的最大 A 声级要低于其他两个频率处的 A 声级，每个频率下都设置了声压级差为 6 dB(A) 的四个声样本。这样，声样本的数目是 4×4×4=64 个。

本次实验中选取的三个实验场地分别是：位于陕西省宝鸡市某县的一个 10 m×10 m×8 m 的全消声室、宝鸡市烽火中学操场(测试时间为周末，操场空旷无人)、某公司的一个 6 m×6 m×3 m 的普通房间(室内环境安静)。由于消声室实验和外场实验背景环境差距较大，进行这两组实验主要是对背景噪声的影响进行研究。

3.1.2 实验研究

在本次实验的设计及进行过程中有数十名工作人员，并对强声有一定的了解也有强声经历，从中选取男女比例为 1:1，总计 10 名听力良好、年龄在 20~26 岁之间的被试。通过被试填写问卷的形式对相应声样本进行评分。基于实验结果的可靠性，实验中所选取的被试全部从工作人员中选取。主观评价实验中声样本的播放顺序是随机的，被试事先不知道声样本的播放顺序。为了减小被试因疲劳而产生的误差以及强声对被试的伤害，实验过程中将声样本分为四组播放，每组之间有 20 min 的休息时间。被试对播放的声样本进行躁怒度评分，分数在 1~5 分之间，其中 1 分代表一点也不躁怒，2 分代表有点躁怒，3 分代表一般躁怒、4 分代表比较躁

怒、5 分代表非常躁怒。

3.2 实验结果分析

3.2.1 消声室和自由声场实验

在消声室和自由声场进行的实验主要是测量实验中所使用的扬声器性能、强声下人的身体感知以及背景噪声对测试结果的影响，用以估量能否进行强声实验。先进行消声室和自由声场部分实验，以便确定一般被试能接受的最大限声压级，扬声器的主波束角为±30°，被试集中在主法向±10°以内，为后续实验做准备。

在消声室，测量了离声源 1、2 和 4 m 处的声压级并进行数据测量以及躁怒度评分。该实验中，声样本播放时长均为 10 s，结果如图 3 所示。理论上，其他条件不变，距离每增加一倍，声压级就减小 6 dB(A)，在消声室里测得的实验数据也基本符合这一理论，各测量点的声压级见表 3。从图 3 中可见，被试离扬声器越远，对躁怒度评分就越低。即声压级越低，被试对声样本的躁怒度评分就越低。

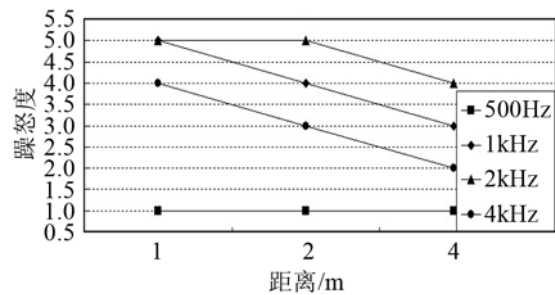


图 3 消声室实验数据

Fig.3 Experimental data in an anechoic room

表 3 消声室中各点声压级

Table 3 Each point's sound pressure level in anechoic room

频率/kHz	测点声压级/dB		
	1m	2m	4m
0.5	102.5	96.5	90.1
1	132.0	126.5	120.5
2	131.5	126.0	120.0
4	121.3	116.1	111.5

图 3 中显示，在低频(0.5 kHz)处，躁怒度评分相近，分值也较小，在高频(4 kHz)处，躁怒度评分略低于中频处，在 1~2 kHz 处躁怒度评分较高，这极有可能与声样本的声压级大小有关。相对来说，0.5 kHz 的现场声比较厚重低沉，较不易引起躁怒，而 4 kHz 现场声比较尖锐，在时长与声压级相同的情况下，较易引起身体和心理的不适。在 1 kHz 和 2 kHz 频率处，扬声器所能达到的最大声压级一致，在图 3 中被试对 2 kHz 声样本的躁怒度评分值要明显高于 1 kHz 的。这与烦恼度实验基本一致^[9]，即

在中高频(1~8 kHz)范围内烦恼度随着频率的增加而增加。

本次实验做完后,被试休息 20 天,用以判断能不能恢复听力损失。20 天之后,总体没有异样感,随后进行了外场的实验,其结果与消声室结果基本一致,即背景噪声对实验结果没有影响。在消声室和外场的实验里,测得了扬声器的各个参数,以便于在最终进行强声现场实验时能较好地控制实验条件,保护被试。

3.2.2 普通房间实验

在普通房间进行实验,被试为 10 名工作人员,有强声接触经历和主观评价实验经验,对躁怒度评分规则也较为了解。实验进行过程中,被试在声源正前方 1 m 处。声样本的播放顺序是随机的,实验结果见图 4。

一般来说,相同条件下声样本持续时间越长躁怒度评分就越大,图 4 显示的实验结果基本符合这一结论。在 2 kHz 评分图里最小声压级处有一次例外,有可能是被试因疲劳产生的误判。通常在强声环境下,声样本持续时间越长被试越难以忍受。实验结果也与我们设置时长这一参数时的预期目标一样。

为了分析声压级、频率和时长与躁怒度之间的相关性,用 spss 软件对其作了 Pearson 相关性分析,其结果如表 4 所示。从 Pearson 相关系数可以看出躁怒度与声压级的相关性最大,频率次之,持续时间最次。表 4 中显著性数据(显著性数据 <0.01 则视为显著相关)显示:声压级和频率都与躁怒度显著相关,持续时间与躁怒度相关但不显著。

通常情况下,相同条件下声样本的声压级越大,被试越难忍受,对躁怒度评分也就越高。图 4 中的实验结果也基本符合这一理论。被试的躁怒度评分与声样本的声压级之间具有显著的相关性。即,声压级与躁怒度评分之间的相关性要大于其他两个声属性的。这与类似的烦恼度实验结果一致^[10]。在 108 dB(A)和 114 dB(A)处,4 kHz 的躁怒度大于 2 kHz 的,2 kHz 的躁怒度大于 1 kHz 的,查等响曲线可知,4 kHz 处四个时长响度级均大于 2 kHz 处的,2 kHz 处四个时长响度级均大于 1 kHz 处的。实验结果显示,在 1~4 kHz 的范围内,声音的频率越高,响度级越大,被试对躁怒度评分值越高。

从图 4 中可看出,在 1~2 kHz 频率范围内的躁怒度评分斜率较其他两个要高一些,这说明人耳对该频率范围在的声音比较敏感,从而躁怒度评分差值也大一些。实验结果显示,强声下被试对躁怒度

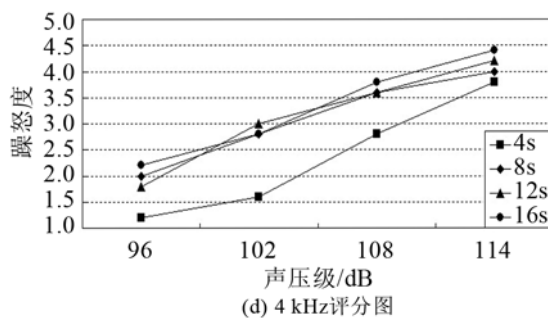
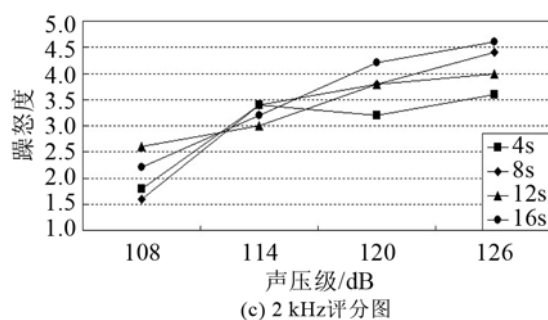
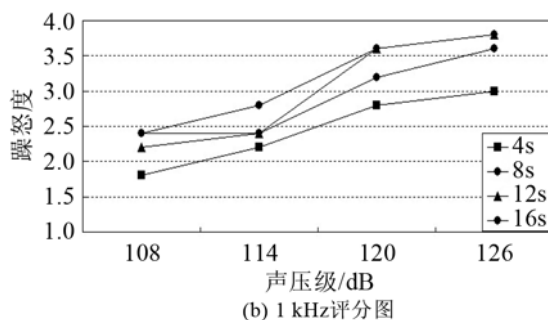
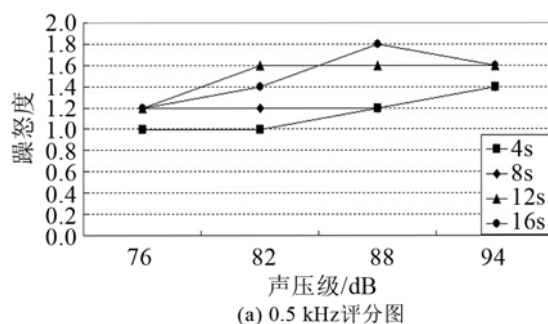


图 4 普通房间实验数据

Fig.4 Experimental data in a common room

表 4 相关性分析
Table 4 Correlation analysis

声学参数	躁怒度		
	Pearson 相关性	显著性(双侧)	N
频率	0.421**	0.001	64
声压级/dBA	0.848**	0.000	64
时长	0.216	0.086	64

的评分与声压级和频率都显著相关,时长对躁怒度的影响最次。总之,本次实验基本符合预期的结果。

4 结论

本文通过对强声下人群心理感知的研究, 确定了强声描述词, 并对强声效应的定量分析进行了测量。通过主观评价实验进行强声描述词筛选, 最终确定“躁怒”为强声描述词。同时, 确定“躁怒度”为强声对人心理影响的定量描述指标, 通过强声评分实验, 分析了声样本时长、声压级和频率对躁怒度的影响。

实验结果证明, 这三个变量都与强声下被试的心理感知相关。相同条件下: 声样本持续时间越长, 躁怒度值越大; 声压级越高, 躁怒度值越大; 频率越高, 躁怒度值越大。

参 考 文 献

- [1] Jürgen Altmann. 声武器: 前瞻性评估[J]. 科学与全球安全, 2001, 9(3): 165-234.
Jürgen Altmann. Acoustic Weapons-A prospective assessment[J]. Science & Global Security, 2001, 9(3): 165-234
- [2] 杜木. 现代声武器及其应用[J]. 现代兵器, 2012, 23-24.
DU Mu. Modern sound weapons applications[J]. Modern weapons, 2012, 23-24.
- [3] 李阿楠, 翟晓军. 使用非致命武器在未来战争中的重要意义[J]. 山西科技, 2008(11): 31-33.
LI A'nan, ZHAI Xiaojun. The significance of the non-lethal weapons using in future wars[J]. Shanxi Science and Technology, 2008(11): 31-33.
- [4] 陈景藻. 次声的产生及生物学效应[J]. 国外医学:物理医学与康复学分册, 1999, 19(4): 15-17.
CHEN Jingzao. The infrasound generated and the biological effects[J]. Foreign Medical-Physical Medicine and Rehabilitation, 1999, 19(4): 15-17.
- [5] 汤家骥. 次声武器杀伤因素的生物效应及防护[J]. 人民军医, 1995, 38(5): 4-6.
TANG Jiayi. The biological effects and protective factors of the infrasound weapon destructions[J]. People's Medical, 1995, 38(5): 4-6.
- [6] 裴朝辉, 陈景藻, 朱妙章, 等. 次声对人类的影响[J]. 中国自然医学杂志, 2004, 6(2): 125-127.
PEI Chaohui, CHEN Jingzao, ZHU Miaozhang et al. Infrasound effects on humans[J]. Chinese Journal of Natural Medicine, 2004, 6(2): 125-127
- [7] 陈克安, 王娜, 王金昌. 人耳辨识非语言声目标能力的实验研究[J]. 物理学报, 2009, 58(7): 5075-5082
CHEN Ke'an, WANG Na, WANG Jinchang. Investigation on human ear's capability for identifying non-speech objects[J]. Acta Physica Sinica, 2009, 58(7): 5075-5082.
- [8] 赵一鸣, 程明昆. 噪声累积暴露研究的进展[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1998, 16(2): 123-124.
ZHAO Yiming, CHENG Mingkun. The progress of the study of the noise cumulative exposure[J]. China academic journal electronic publishing house, 1998, 16(2): 123-124.
- [9] 朱艺婷, 翟国庆, 贾丽, 等. 低频声烦恼度研究[C]// 声频工程学术交流年会及三省一市会议论文集, 2008, 312-317.
ZHU Yiting, ZHAI Guoqing, JIA Li, et al. Study on the subjects annoyance rating of low frequency sound[C]// The Audio Engineering Academic Exchanges Annual Meeting and Provinces and One City Conference Proceedings, 2008, 312-317.
- [10] 闫靓, 陈克安, 金义. 低频纯音不愉悦感主观评价的实验研究[J]. 应用声学, 2006, 25(5): 319-324.
YAN Liang, CHEN Ke'an, JIN Yi. Subject evaluation of unpleasantness of low-frequency pure tone[J]. Applied Acoustics, 2006, 25(5): 319-324.