

# 低音刺激对主观情绪感知的影响

何 穆<sup>1,2,3</sup>, 杨永恩<sup>2</sup>, 罗超良<sup>1</sup>, 孟子厚<sup>2</sup>

(1. 广州飞达音响股份有限公司, 广东广州 510820; 2. 中国传媒大学, 北京 100024;  
3. 北部湾大学, 广西钦州 535011)

**摘要:** 以低频噪声对人的心理影响机理为基础, 从低音可改变主观情绪感知的角度, 采用等级评定法进行了主观评价试验。试验信号包括了低频多频声和 1/3 倍频程窄带信号两类, 试验结果显示, 低音可以增强被试的唤醒程度、使被试感觉受到信号的影响和支配, 以及引起较为明显和强烈的烦恼感、空间感和带入感, 可以增强主观情绪感知。该试验结果可应用于利用低音来增强电影情感方面。

**关键词:** 低音; 主观情绪感知; 等级评定法

中图分类号: B845.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2020)-02-0220-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2020.02.016

## The influence of low-frequency sound on subjective emotion perception

HE Mu<sup>1,2,3</sup>, YANG Yong'en<sup>2</sup>, LUO Chaoliang<sup>1</sup>, MENG Zihou<sup>2</sup>

(1. First Audio Manufacturing(Guangzhou) Ltd, Guangzhou 510820, Guangdong, China;  
2. Communication University of China, Beijing 100024, China; 3. Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, Guangxi, China)

**Abstract:** Based on the theoretical assertion that low-frequency noise has a significant influence on people, an experimental evaluation of subjects is conducted by using the graphic rating scale method. The hypothesis of this test is that low-frequency sound could modulate people's emotional response and subjective perception. The multifrequency sound and the narrowband signals of 1/3 Octave range, which are all at low frequencies are used as the test signals. The obtained results show that low-frequency sound could enhance subjective emotional perceptions, such as elevating arousal levels, causing subjects to feel overwhelmed by the perceived "domineering" effect of the sound, and causing intensified sensations of annoyance as well as altered perceptions of space and immersion. This scientific discovery could be applied to enhancing and manipulating the emotion experience of sensory media such as film, through the strategic use of low-frequency sound.

**Key words:** low frequency sound; subjective emotional perception; rating scale method

## 0 引言

目前对低音(15~120 Hz)的研究主要是集中在所包括的次声和可听频率范围的低频噪声对人的生理和心理影响方面<sup>[1]</sup>, 譬如在日常生活中的低频噪声的危害性方面<sup>[2]</sup>。生活环境中的低频噪声一般声压级不高且具有持续性, 最主要的是人从主观上不想听到的、会引起人负面的、烦恼感觉的声音<sup>[3]</sup>。但是在一些特殊场合, 譬如电影声音中的低频成分, 是频率范围与环境低频噪声相同, 但从主观上却是人们想听到的声音, 是可以使人感受到电影声音震

撼感的主要来源。即使是和生活中一样的低频噪声, 由于其在电影中出现的目的是配合视觉信息, 达到更真实的电影场景表现, 而不再被认为是噪声。对低音用于电影声音效果领域的研究非常少, 实际工程应用中也只是简单地通过均衡等方法对低频进行音量的控制<sup>[4]</sup>。

本文以研究低音在电影还音系统中的作用为应用背景, 采用的评价指标主要与电影情感场景有关, 通过主观评价的方法分析低音对人的主观感知的影响程度。研究的目的是找到可以增强某些电影场景所表达的情感的低音信号。

## 1 主观评价试验内容

### 1.1 试验人员及设备

共有 45 名被试(男 25 人, 女 20 人, 年龄为 20~45 岁)参与试验, 试验前接受过关于电影中低音方

收稿日期: 2018-12-11; 修回日期: 2019-02-10

基金项目: 广西自然科学基金(2019GXNSFBA245027)资助项目。

作者简介: 何穆(1983-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 在站博士后, 研究方向为低频噪声及脑电波测量研究。

通讯作者: 孟子厚, E-mail: mzh@cuc.edu.cn

面的相关培训，并对其解释主观评价所采用的评价参数的含义及尺度分类方法。试验采用两只 33 in (1 in= 2.54 cm)的超低音音箱进行放音，其频率下限可达 15 Hz。试验场地为飞达公司的试验电影院。

### 1.2 试验信号

共有 20 个试验信号(如表 1 所示)。 $S_1 \sim S_{11}$  为 120 Hz 以下的以 1/12 倍频程的粉红噪声按照谐波原理组合并调整声压级的多频声信号，其中  $f_1$  是基频， $f_2 \sim f_5$  依次为 2 至 5 次谐波频率，声压级按照各个谐波分量依次降低 17、26、35 和 43 dB 进行调整。 $S_8 \sim S_{11}$  则以虚拟基频理论从 2 次谐波开始进行组合。 $S_{12} \sim S_{20}$  为 1/3 倍频程窄带粉红噪声信号。调整每个信号的声压级在听音位置处为 91 dB。

表 1 20 个试验信号的频率参数  
Table 1 Frequency parameters of 20 test signals

试验信号	$f_1/\text{Hz}$	$f_2/\text{Hz}$	$f_3/\text{Hz}$	$f_4/\text{Hz}$	$f_5/\text{Hz}$
$S_1$	23.5	47	70.5	94	117.5
$S_2$	22.5	45	-	90	-
$S_3$	22.5	45	67.5	90	-
$S_4$	23.5	47	70.5	94	-
$S_5$	25	50	75	100	-
$S_6$	34	51	68	-	-
$S_7$	38	57	76	-	-
$S_8$	(虚拟 20 Hz)	40	60	80	-
$S_9$	(虚拟 23.5 Hz)	47	70.5	94	-
$S_{10}$	(虚拟 28 Hz)	56	84	112	-
$S_{11}$	(虚拟 30 Hz)	60	90	120	-
$S_{12}$	1/3 倍频程，中心频率 20 Hz				
$S_{13}$	1/3 倍频程，中心频率 25 Hz				
$S_{14}$	1/3 倍频程，中心频率 31.5 Hz				
$S_{15}$	1/3 倍频程，中心频率 40 Hz				
$S_{16}$	1/3 倍频程，中心频率 50 Hz				
$S_{17}$	1/3 倍频程，中心频率 63 Hz				
$S_{18}$	1/3 倍频程，中心频率 80 Hz				
$S_{19}$	1/3 倍频程，中心频率 100 Hz				
$S_{20}$	1/3 倍频程，中心频率 125 Hz				

### 1.3 评价方法

采用等级评定法(Rating Scale Method)<sup>[5-7]</sup>进行试验，共 6 个主观评价参数，其中愉悦度、唤醒度和优势度是按照自我报告(Self-Assessment Manikin)的方式进行评价<sup>[8]</sup>，每个评价参数包含了 1~9 个等级，分别对应情绪感知从低状态(1)到中立状态(5)至高状态(9)。另外对烦恼感、空间感和带入感按照“无感、略微、明显、较强和很强”5 个等级进行评定。每个信号时长为 10 s，间隔为 25 s，试验时间约为 45 min。在被试听音过程中要求其闭上眼睛进行听音，信号结束后睁开眼睛进行主观评价参量等级的评分。

## 2 试验结果及分析

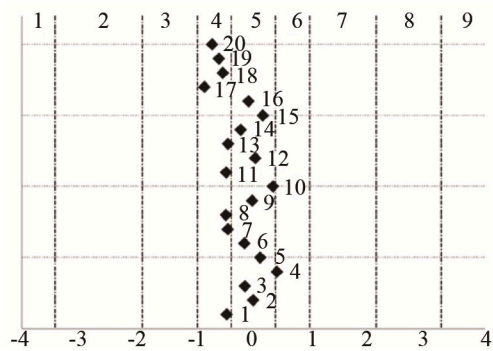
### 2.1 等级评定法计算结果

首先对每个评价指标的结果进行信度检验，由于试验信号由两类低音信号组成，因此对 20 个信号整体以及两类信号分别进行信度检验，去掉内部一致性信度值得分低的被试结果。再按照等级评定法进行计算，得到 20 个信号在每个主观评价参数内的等级值和尺度值。另外计算了男女被试的结果用于比较性别之间的差异性。图 1 是 6 个主观评价参数的结果，横坐标是该参数的相对评价等级值(无单位)，根据等级评定法的数据处理原理，每个评价参数的等级值是不同的<sup>[5-6]</sup>。图中 1~20 对应的是  $S_1 \sim S_{20}$  在这个主观评价参数的评价尺度值，结果表示 20 个信号的愉悦度在 4~6 之间，属于刚刚可以引起愉悦或者不愉悦的状态；唤醒度在 4~7 等级内，属于已经可以唤醒到很激动和清醒的状态；优势度在 4~7 之间，处于被试觉得自己居于支配的状态；烦恼感的结果是在略微感到烦恼和明显感到烦恼两个等级内；空间感则包括了略微、明显和较强 3 种等级，大部分都处于明显可以引起空间感的等级内；带入感有一半信号处于略微等级，另一半则被评价为明显和较强的结果。这些结果表明，文中采用的低音信号并不能使被试产生明显的愉悦或者不愉悦的感觉，但是可以起到唤醒被试注意力的作用并产生较强的烦恼的感觉，同时可以增强被试对空间感知的判定，并且由于低音的存在，被试更容易被带入某种情景或感觉中。

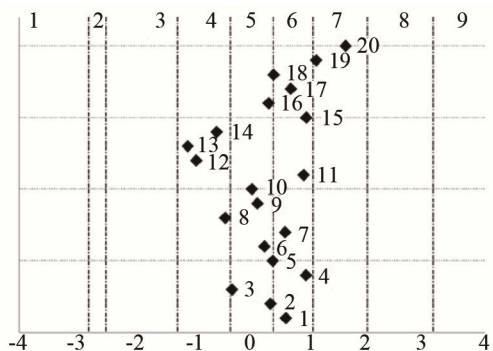
### 2.2 相关性及差异性统计结果

对 6 个主观参数之间的尺度值进行了 Spearman 相关性计算，按照显著性值  $p < 0.05$  标注显著性。结果显示愉悦度与其他 5 个主观参数之间不存在显著的相关性。唤醒度、烦恼度、空间感以及带入感 4 个参量之间有着显著的正相关性，而优势度和带入感之间存在着显著的负相关性。唤醒度、烦恼感和空间感相对于带入感是较为单一的评价指标，而带入感则较为综合，相关性结果表明当低音可以唤醒被试注意力，或者被试感觉到烦恼以及所处空间有变化时都可以认为被带入了某个状态中。除此之外，由于低音信号是在等声压级情况下进行的试验，频率差异会造成响度的区别，因此根据文献[9]中的方法对 20 个信号的响度进行了计算。再计算 6 个主观评价尺度值和响度值的相关性，结果显示响度与愉悦度和优势度有显著的负相关性，即被试认为低音信号越响则越不愉悦，并且会觉得自己被该声音控制和影响，而响度与

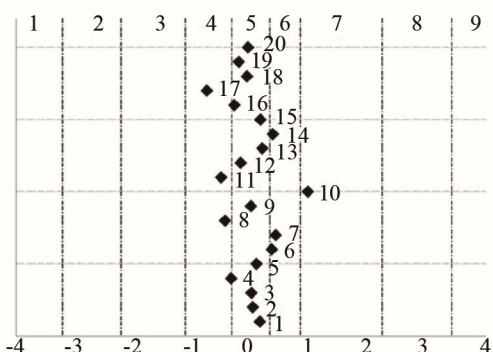
其他 4 个参数之间有着显著的正相关性。同时比较了整体计算和分开两类信号计算之间是否存在差异,结果显示只有  $S_1 \sim S_{11}$  的优势度结果与整体得到的优势度结果没有显著正相关性,其他结果都表示 20 个信号一起进行等级评定法的计算和分开计算得到的结



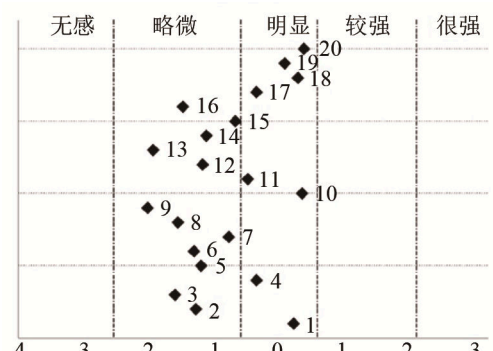
(a) 愉悦度



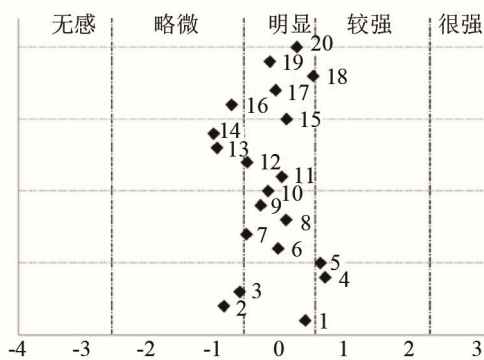
(b) 唤醒度



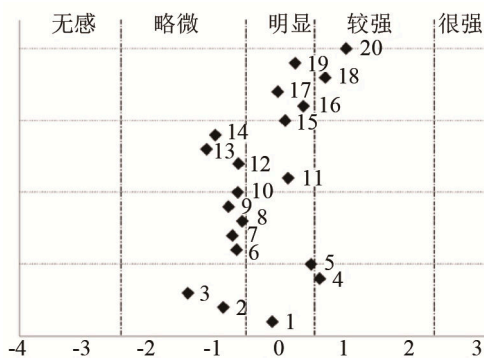
(c) 优势度



(d) 烦恼感



(e) 空间感



(f) 带入感

图 1 评定 6 个主观评价参数的等级评定测试结果  
Fig.1 Test results of 6 subjective evaluation parameters by the rating scale method

果是相同的。优势度结果的差异可能是由于被试认为该评价参数较难掌握评价标准造成的,这个指标的信度检验表示结果呈两极化。

对男女被试的结果进行了差异性比较,采用的是独立样本 T 检验,表 2 中的结果显示男女被试在愉悦度和优势度的选择上有显著性差异。表 2 中:  $t$  表示变量显著性检验的  $t$  统计量;  $df$  为自由度;  $Sig(2-tailed)$  表示差异性显著的检验值(双侧)。另外相关性计算也验证了这个结果,男女被试在唤醒度、烦恼感、空间感和带入感的尺度值之间都有显著正相关性。

为了比较两类低音信号的频率成分与主观评价结果之间的关联性,根据表 3 中等级值进行了比

表 2 男女受试者的测试结果比较  
Table 2 Comparison of the test results between male and female subjects

感受	平均数		标准偏差		$t$	$df$	Sig (2-tailed)
	男	女	男	女			
愉悦度	-0.14	-0.5	0.40	0.66	2.057	31	<b>0.048</b>
唤醒度	0.28	0.51	0.74	0.97	-0.848	38	0.402
优势度	0.17	-0.32	0.40	0.63	2.895	38	<b>0.006</b>
烦恼感	-0.88	-1.1	0.88	1.05	0.735	38	0.467
空间感	-0.08	-0.36	0.5	0.65	1.541	38	0.132
带入感	-0.44	-0.44	0.93	0.93	0.748	38	0.459

较并统计等级值相同的个数，例如  $S_1$  和  $S_2$  的等级值结果中只有优势度都在“5”级别，其他都不相同，则统计相同的等级值个数为 1； $S_2$  和  $S_3$  的等级值结果都相同，则统计值为 6，以此类推，统计 20 个信号两两比较的结果，相同等级值的个数大于等于 4 时，认为这样的两个信号之间的关联性较强。将统计结果按照两类信号组内和组间进行比较分析。多频声的规律性不太明显，其中  $S_2$  和  $S_3$  之间虽然少了 3 次谐波成分但是等级值等级完全相同，而  $S_1$  和  $S_4$  之间也只有 5 次谐波的区别(见表 1)却只有 2 个等级值相同；另外  $S_7$  和  $S_8$ 、 $S_9$  和  $S_{10}$  之间分别有 4 个等级值相同(见表 3)，可以认为是因为其频率较为相近并且只有 3 个谐波成分。1/3 倍频程窄带低音信号的结果规律性较强，较低频率的  $S_{12}$  和  $S_{13}$  之间相同等级值以及较高频率的  $S_{17}$ 、 $S_{18}$ 、 $S_{19}$ 、 $S_{20}$  之间相同等级值都超过 4 个，可以认为当此类型的低音信号在 31.5 Hz 以下和 63 Hz 以上有相似的主观评价结果。另外， $S_{15}$  作为  $S_{12}$  的 2 次谐波也得到了相同的等级结果。两类低音信号之间的比较结果表明  $S_1$  与  $S_{17} \sim S_{20}$  这 4 个信号都有非常相似的结果，这可能是因为  $S_1$  中包含了 5 次谐波成分的原因，在  $S_{11}$  与  $S_{17} \sim S_{19}$  中也可得到类似的结果。

表 3 20 个信号的 6 个主观参数的等级值等级  
Table 3 The evaluation category results of 6 subjective parameters for 20 signals

试验信号	愉悦度	唤醒度	优势度	烦恼感	空间感	带入感
$S_1$	4	6	5	明显	明显	明显
$S_2$	5	5	5	略微	略微	略微
$S_3$	5	5	5	略微	略微	略微
$S_4$	6	6	4	明显	较强	较强
$S_5$	5	5	5	略微	较强	明显
$S_6$	5	5	6	略微	明显	略微
$S_7$	4	6	6	略微	明显	略微
$S_8$	4	4	4	略微	明显	略微
$S_9$	5	5	5	略微	明显	略微
$S_{10}$	5	5	7	明显	明显	略微
$S_{11}$	4	6	4	明显	明显	明显
$S_{12}$	5	4	5	略微	明显	略微
$S_{13}$	4	4	5	略微	略微	略微
$S_{14}$	5	4	6	略微	略微	明显
$S_{15}$	5	6	5	略微	明显	明显
$S_{16}$	5	5	5	略微	略微	明显
$S_{17}$	4	6	4	明显	明显	明显
$S_{18}$	4	6	5	明显	明显	较强
$S_{19}$	4	7	5	明显	明显	明显
$S_{20}$	4	7	5	明显	明显	较强

### 3 结论

本文采用主观评价的方法，以 15~120 Hz 范围

内的低频多频声和 1/3 倍频程窄带粉红噪声为低音信号进行愉悦度、唤醒度、优势度、烦恼感、空间感和带入感 6 个主观参量的等级评价。依据等级评定法的结果表明了低音可以增强被试的唤醒程度、提高注意力；使被试感觉到受到低音信号的影响和支配时自身的优势度下降，并可以引起较为明显和强烈的烦恼感觉；增强被试对空间感知的判定，并且由于低音的存在使被试更容易被带入某种情景或感觉中。男女被试在评价低音引起的愉悦程度和受到信号影响、控制的程度有显著的差异性，这个差异性可能与不同性别对愉悦感以及对自我优势程度级别设定的不同有关。1/3 倍频程粉红噪声信号的结果可以大致以 31.5 Hz 和 63 Hz 进行划分，由于人耳对低音的敏感性较低，120 Hz 以下的窄带低音信号对主观情绪感知的影响可能大致分为 3 个等级。低频多频声的结果规律性不强，主要是各谐波成分之间的影响规律并不清楚，因此需要增加试验信号的组合以及数量进一步进行试验研究。

本文通过分析结果证明了低音可以增强主观情绪感知，这个结论可以应用于已有这些情绪感知的场合中并起到进一步增强的作用，或者通过低音来制作想要体现这些主观情绪感知的音效。对于本文的应用背景，即具体哪些电影场景可以通过低音进行情绪感知的调节需要进一步的研究。

### 参 考 文 献

- [1] LEVENTHALL G. Low frequency noise: What we know, what we do not know, and what we would like to know[J]. J Low Freq Noise, Vib Act Control, 2009, 28(2): 79-104.
- [2] MOHR G C, COLE J N, GUILD E, et al. Effects of low frequency and infrasonic noise on man[J]. Aerosp Med, 1965, 36: 817-824.
- [3] POULSEN T, MORTENSEN F R. Laboratory evaluation annoyance of low frequency noise[R]. Denmark: Danish Environmental Protection Agency, 2002: 1-66.
- [4] 孟子厚, 戴璐, 李志雄, 等. 观演环境声场声效控制技术的研究与应用[J]. 演艺科技, 2019(3): 22-31.  
MENG Zihou, DAI Lu, LI Zhixiong, et al. Research and application of acoustic field control technology in theatrical environment[J]. Entertainment Technology, 2019(3): 22-31.
- [5] 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.
- [6] 中国演艺设备技术协会演出场馆设备专业委员会. WH/T 82-2019 演出用专业音响设备音质主观评价方法[S]. 中华人民共和国文化和旅游部, 2019.
- [7] ANDRICH D.A rating formulation for ordered response categories[J]. Psychometrika, 1978, 43(4): 561-573.
- [8] BRADLEY M M, LANG P J. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential[J]. J Behav Ther Exp Psychiatry, 1994, 25(1): 49-59.
- [9] FASTL H, ZWICKER E. Psychoacoustics-facts and models[M]. Berlin: Springer, 2007.