

# 主观评价实验中声音样本剂量值的度量方法

闫靛<sup>1)2)†</sup> 陈克安<sup>1)</sup> Ruedi Stoop<sup>2)</sup>

1) (西北工业大学航海学院, 西安 710072)

2) (苏黎世联邦理工大学神经信息学院, 瑞士苏黎世 8057)

(2013年3月13日收到; 2013年3月20日收到修改稿)

提出了一种基于对播放时长短时化处理的的声音样本剂量值度量方法, 确定了十一种剂量值指标用于衡量具有固定播放时长声音样本的剂量值, 并分析了可能影响声音样本剂量值的主要因素; 随后, 对大量声音样本以各种指标度量的剂量值矩阵进行了聚类分析, 获得了三种类型的声音样本剂量值度量指标, 并确定了不同指标类型中的代表性指标; 最后, 分析了声音样本采用不同类型指标度量的剂量值与评价者对声音样本主观烦恼度等级之间的关系. 为利用主观评价实验进行固定播放时长声音样本作用下的主观烦恼度研究奠定了基础.

**关键词:** 声暴露量, 烦恼度, 声音样本, 主观评价

**PACS:** 43.50.Yw, 43.50.Ba, 43.50.Qp, 43.50.Rq

**DOI:** 10.7498/aps.62.124302

## 1 引言

为了研究声音引发的人群主观效应(如烦恼度), 组织开展针对固定播放时长声音样本的主观评价实验已被证实是一种非常有效的方法<sup>[1]</sup>. 实际中, 为了避免评价者因长时间听音而产生听觉疲劳, 必须严格控制声音样本的播放时长<sup>[2]</sup>. 换句话说, 评价者需要仔细聆听播放时间很短的声音样本, 并依据个人的真实感受即刻判断出声音样本引发的主观效应的类型与强度. 因此, 如何准确度量评价者在声音样本播放时段内接受到的噪声剂量值, 对整个研究工作来说至关重要.

声暴露量(sound exposure, SE, 单位: Pa<sup>2</sup>·s)兼顾了声事件随时间变化的瞬时声压级与声事件的作用时间这两个因素, 而被广泛应用于度量持续作用时间较长的环境噪声的剂量值. 然而, 主观评价实验中的声音样本作用时间相对较短, 在衡量其SE时, 是否需要及如何考虑时间因素的影响, 仍有待商榷.

以时长为  $T$  秒的声音样本为例, 其声暴露级

(记为  $SEL_T$ ) 为

$$SEL_T = 10 \log \left[ \sum \frac{\Delta t}{T} \cdot 10^{0.1 L_{eq, \Delta t}} \right], \quad (1)$$

其中,  $\Delta t$  为声音样本播放时长的短时化分析时段, 相应的  $L_{eq, \Delta t}$  为声音样本在短时分析时段内的等效连续声级.

当声音样本的采样频率一定时,  $SEL_T$  取决于分析时段  $\Delta t$  的划分模式<sup>[1,3]</sup>. 若不考虑对不同的短时化分析时段赋予不同的声压级修正值,  $SEL_T$  似乎与声音样本的等效连续声压级  $L_{eq, T}$  并无差别. 事实上, 声音样本在  $\Delta t$  内的  $L_{eq, \Delta t}$  和  $SEL_{\Delta t}$  是截然不同的两个剂量值指标. 前者以  $\Delta t$  内的平均强度衡量其剂量值, 后者则综合考虑了作用时间  $\Delta t$  的影响.

本文首先对声音样本的播放时长进行了短时化处理; 随后, 分别以  $L_{eq, \Delta t}$  和  $SEL_{\Delta t}$  度量了声音样本在播放时段内的短时化声剂量值, 分析了声音样本以上述两种剂量值指标度量得到的短时化声剂量值在声音样本播放时段内的统计特征及其与声音样本引发的人群主观烦恼度之间的相关性程度; 最后, 提出了更适用于主观评价实验研究的声音样本剂量度量指标.

† 通讯作者. E-mail: liyan1832@hotmail.com

## 2 声音样本短时声剂量值的度量

### 2.1 选取短时声剂量度量指标

录制车辆行驶过程中的外部声音样本, 每个声音样本的持续时间为 15 s [2,4], 对所有声音样本进行短时化处理, 进而分析各声音样本的短时化声剂量值, 具体过程如下.

1) 以 0.1 s 为短时分析时段, 对声音样本的播放时长进行短时化处理; 计算声音样本每帧的等效连续声级  $L_{eq,0.1}$  和声暴露级  $SEL_{0.1}$ , 如图 1 所示. 显然, 若不考虑对不同的短时分析时段  $\Delta t$  赋予不同的声能量修正值,  $SEL_{\Delta t}$  和  $L_{eq,\Delta t}$  仅存在绝对值大小上的差异. 以极差变换法 [3] 对声音样本沿播放时程的短时剂量值  $SEL_{0.1}$  和  $L_{eq,0.1}$  进行无量纲化处理的结果如图 2 所示. 显然, 以  $L_{eq,\Delta t}$  和  $SEL_{\Delta t}$  衡量的声音样本的短时剂量值沿样本播放时长的变化趋势并无差别.

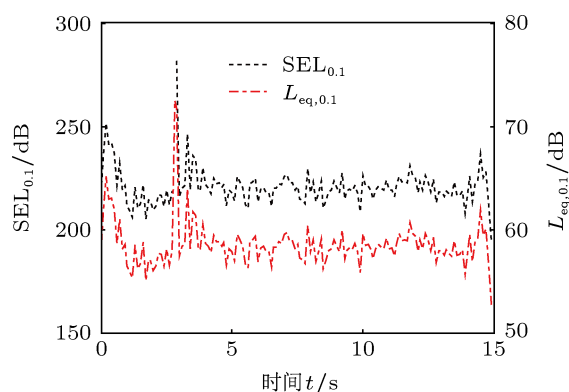


图 1  $SEL_{\Delta t}$  和  $L_{eq,\Delta t}$  ( $\Delta t = 0.1$  s)

2) 分别以  $\Delta t=0.01, 0.03, 0.05$  s;  $0.1, 0.3, 0.5$  s;  $1, 3, 5$  s 计算所有车辆声音样本在 15 s 播放时长内的  $SEL_{\Delta t}$  和  $L_{eq,\Delta t}$ ; 分析  $SEL_{\Delta t}$  和  $L_{eq,\Delta t}$  在样本播放时程内的统计特性, 涉及到的统计量数字特征有: 均值 (mean)、标准差 (std)、最大值 (max)、最小值 (min)、极差 ( $r$ )、中位数 (median)、众数 (mode)、变异系数 (c.v.)、偏度 (skewness) 和峰度 (kurtosis); 比较以  $SEL_{\Delta t}$  和  $L_{eq,\Delta t}$  度量的声音样本短时剂量统计值与声音样本主观烦恼度评价价值的相关性, 如表 1 和表 2 所示. 依据“短时剂量统计特征与主观烦恼度显著相关”的原则, 选取适合的恰当的声音样本分析短时时段与短时剂量值度量指标.

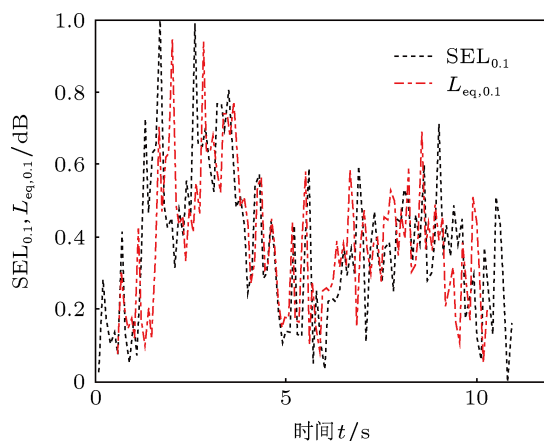


图 2 无量纲化的  $SEL_{\Delta t}$  和  $L_{eq,\Delta t}$  ( $\Delta t = 0.1$  s)

比较表 1 与表 2 中的数据可知,  $L_{eq,\Delta t}$  的统计特性与样本烦恼度的相关性相对稳定且更加显著. 因此, 决定以  $L_{eq,\Delta t}$  作为衡量噪声样本短时剂量值的指标.

表 1  $L_{eq,\Delta t}$  与主观烦恼度的 Pearson 相关系数 ( $\alpha = 0.01$ )

分析时段/s	$L_{eq,\Delta t}$ 统计特征值与主观烦恼度的相关系数									
	mean	std	max	min	$r$	median	mode	c.v.	skewness	kurtosis
0.01	0.58	0.42	0.19	0.26	0.15*	0.49	0.26	-0.52	-0.50	-0.37
0.03	0.58	0.37	—	0.24	—	0.47	0.24	-0.52	-0.51	-0.41
0.05	0.58	0.35	—	0.24	—	0.47	0.24	-0.52	-0.53	-0.45
0.1	0.58	0.32	—	0.25	—	0.47	0.25	-0.52	-0.54	-0.51
0.3	0.58	0.25	0.17	0.29	—	0.48	0.29	-0.52	-0.54	-0.52
0.5	0.58	0.23	0.26	0.32	—	0.48	0.32	-0.52	-0.51	-0.51
1	0.58	0.21	0.39	0.34	—	0.49	0.34	-0.49	-0.46	-0.42
3	0.58	0.16*	0.53	0.37	0.15*	0.53	0.37	-0.44	-0.45	-0.35
5	0.57	—	0.56	0.40	—	0.53	0.40	-0.38	-0.33	—

\* 表示在  $\alpha = 0.05$  水平上具有显著性意义; — 表示两者之间无线性相关性.

表 2 声音样本短时剂量值与主观烦恼度的 Pearson 相关系数 ( $\alpha=0.01$ )

分析时段/s	SEL $_{\Delta t}$ 的统计特征值与主观烦恼度的相关系数									
	mean	std	max	min	r	median	mode	c.v.	skewness	kurtosis
0.01	0.50	0.42	0.14*	0.16*	0.14*	0.37	0.16*	-0.55	-0.37	-0.26
0.03	0.50	0.40	—	0.16*	—	0.37	0.16*	-0.57	-0.44	-0.31
0.05	0.50	0.38	—	0.16*	—	0.37	0.16*	-0.58	-0.49	-0.37
0.1	0.50	0.36	—	0.17*	—	0.37	0.17*	-0.58	-0.54	-0.49
0.3	0.50	0.31	0.16*	0.22	—	0.38	0.22	-0.57	-0.56	-0.58
0.5	0.50	0.31	0.24	0.25	—	0.37	0.25	-0.56	-0.53	-0.57
1	0.50	0.32	0.37	0.27	0.28	0.39	0.27	-0.52	-0.46	-0.48
3	0.50	0.32	0.48	0.29	0.33	0.42	0.29	-0.45	-0.41	-0.35
5	0.49	0.30	0.49	0.31	0.30	0.44	0.31	-0.35	-0.32	—

\* 表示在  $\alpha = 0.05$  水平上具有显著性意义; — 表示两者之间无线性相关性.

## 2.2 确定短时声剂量分析时段

由表 1 和表 2 可知: 声音样本短时剂量的统计特征及其与样本主观烦恼度的相关程度直接取决于短时分析时段 ( $\Delta t$ ) 的划分模式. 于是, 选取  $\Delta t=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 2, 3, 4, 5$  s, 共 23 种分析时段, 研究声音样本  $L_{eq,\Delta t}$  的统计值随  $\Delta t$  的变化规律及其与样本烦恼度的相关性.

研究发现: 不论  $\Delta t$  取何值,  $L_{eq,\Delta t}$  的均值、最小值、中位数、众数、变异系数和偏度始终与样本烦恼度显著相关. 其中, 变异系数、偏度与烦恼度呈稳定的负相关关系, 其余统计特征均与烦恼度呈稳定的正相关关系. 另外,  $L_{eq,\Delta t}$  的最小值和众数与烦恼度的相关性一致.  $L_{eq,\Delta t}$  的方差、最大值和峰度与烦恼度的显著相关性 ( $\alpha = 0.01$ ) 则取决于  $\Delta t$  的划分模式. 如  $L_{eq,\Delta t}$  的方差与烦恼度呈显著性正相关的前提是  $\Delta t \leq 1$  s,  $L_{eq,\Delta t}$  的最大值与烦恼度呈显著性正相关的条件为  $\Delta t = 0.01$  s 或  $\Delta t \geq 0.3$  s,  $L_{eq,\Delta t}$  的偏度与烦恼度的显著负相关关系仅在  $\Delta t \leq 3$  s 时成立.

可见, 为使声音样本短时剂量的统计特征与主观烦恼度的相关性在  $\alpha = 0.01$  的水平上具备显著性, 则短时分析时段的划分必须满足  $0.3 \text{ s} \leq \Delta t \leq 1 \text{ s}$ . 以此为基础, 考察不同  $\Delta t$  取值下声音样本短时剂量的统计值与样本烦恼度的 Pearson 相关系数, 选取合适的  $\Delta t$ , 使声音样本短时剂量  $L_{eq,\Delta t}$  的最小值、中位数、变异系数、偏度系数和峰度系数与样本烦恼度的 Pearson 相关系数取值最为接近, 使样本短时剂量的集中趋势、离

中趋势与分布形态与样本烦恼度的相关性程度接近一致.

由图 3 可知, 当  $\Delta t = 0.5$  s 时,  $L_{eq,\Delta t}$  的五种统计特征值与样本烦恼度的 Pearson 相关系数取值最为接近. 可见, 在对声音样本进行短时剂量分析时, 应取  $\Delta t = 0.5$  s.

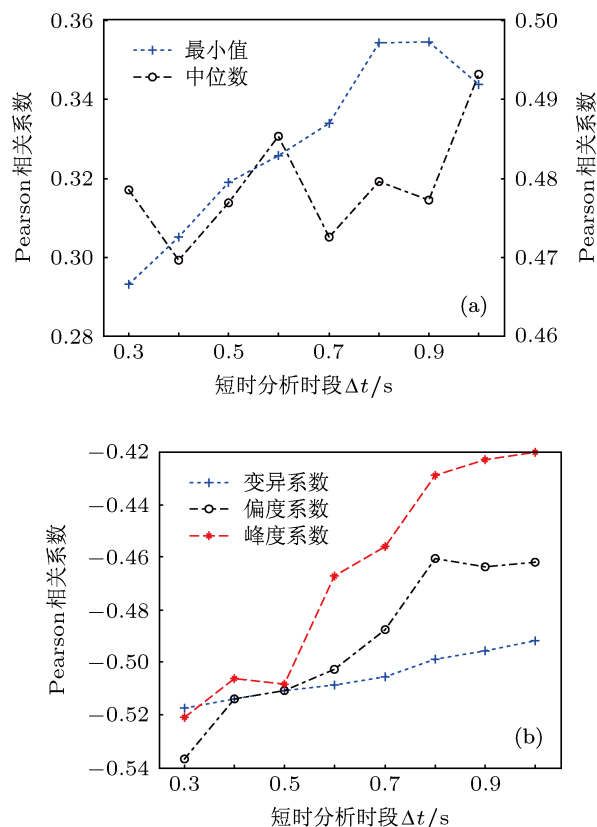


图 3 分析时段对  $L_{eq,\Delta t}$  统计特征与样本烦恼度相关程度的影响 (a) 与烦恼度呈正相关的  $L_{eq,\Delta t}$  统计特征; (b) 与烦恼度呈负相关的  $L_{eq,\Delta t}$  统计特征

### 2.3 频率计权对声音样本短时剂量值的影响

人耳对不同频段的声信号强度存在感觉差异, 为了突出人耳对 1—3 kHz 的声音相对敏感、对 500 Hz 以下、8 kHz 以上的声音敏感性相对较弱的特质, 在考察声音样本的强度特性之前, 有必要引入不同的频率计权网络 [5], 以“更接近人耳真实感受”为标准, 结合声音样本的频率分布特性, 选取最佳的频率计权网络, 度量声音样本的剂量值。

在此, 分别以 A, B, C, D 四种频率计权滤波方式, 对 180 个车辆噪声样本进行滤波处理, 以  $\Delta t = 0.5$  s 对所有声音样本进行时域短时化处理, 获取声音样本在四种频率计权下的短时剂量  $L_{eq,0.5s}$ ; 求取声音样本 15 s 内的剂量值  $L_{eq,15s}$ ,  $L_{Aeq}$ ,  $L_{Beq}$ ,  $L_{Ceq}$  和  $L_{Deq}$ , 并与其主观烦恼度进行相关分析如表 3 所示。

表 3 不同频率计权下的声音样本剂量与主观烦恼度的相关性 ( $\alpha = 0.01$ )

Pearson 相关系数	$L_{eq,15s}$	$L_{Aeq}$	$L_{Beq}$	$L_{Ceq}$	$L_{Deq}$
样本烦恼度	0.65	0.67	0.74	0.65	0.74
P 值	0	0	0	0	0

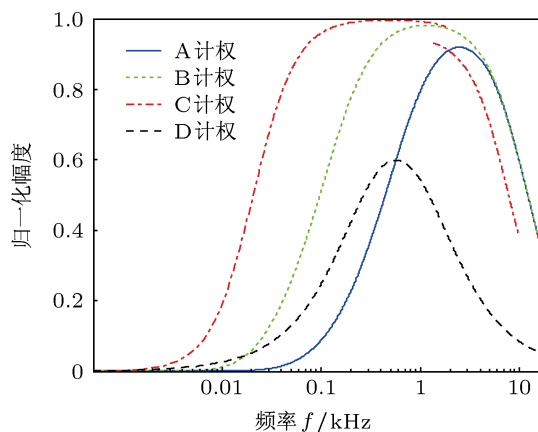


图 4 计权网络频率响应

由表 3 可知: 不同频率计权下的声音样本剂量与样本烦恼度的相关程度不同. 对车辆行驶噪声样本而言, 在计算样本剂量时, 应优先考虑选取 B 计权或 D 计权. 与 D 计权相比, B 计权的频率响应更加宽广 (如图 4 和图 5 所示) 且实用性更强 [6], 故决定以 B 计权为描述车辆噪声样本频率特性的最优

计权方式。

图 6 分别以  $L_{Aeq}$  和  $L_{Beq}$  为自变量对全部车辆噪声样本的烦恼度进行了线性拟合. 显然, 评价数据相对集中于以  $L_{Beq}$  构建的拟合模型周围. 因此, 最终决定在衡量车辆噪声样本的剂量时以 B 计权滤波网络对噪声样本进行处理。

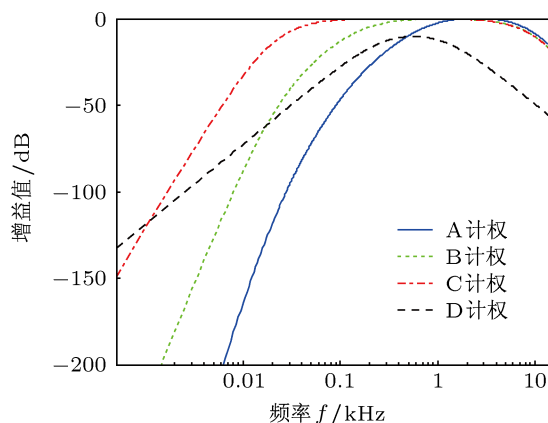


图 5 计权网络的低频衰减作用

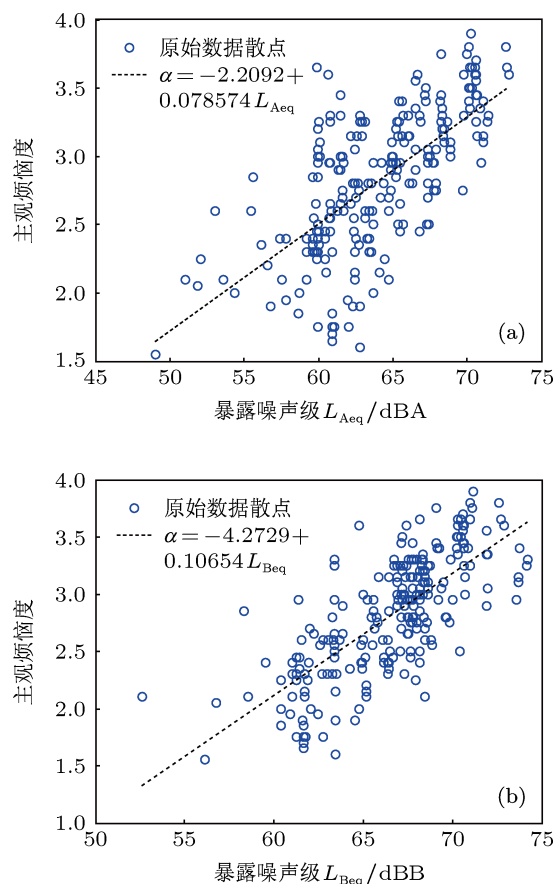


图 6 不同频率计权下的车辆噪声样本剂量值与烦恼度关系 (a) A 计权样本剂量与烦恼度; (b) B 计权样本剂量与烦恼度

### 3 固定时长声音样本剂量的度量

#### 3.1 固定时长声音样本剂量的度量指标

固定时长声音样本时域处理的基本流程如图 7 所示。

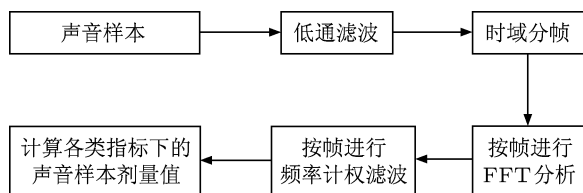


图 7 声音样本时域分析处理基本流程

首先,从声音样本的频域特性出发,以专门设计的低通数字滤波器(截止频率为 10 kHz,衰减率为每倍频程 28 dB)对所有声音样本进行时域滤波处理;随后,以  $\Delta t = 0.5$  s 对滤波后的声音样本进行时域分帧,对每帧信号进行傅里叶变换求其频域能量密度谱;最后,将各帧信号的能量谱经 B 计权处理获得噪声样本短时剂量  $L_{\text{Beq},0.5\text{s}}$  计算各种指标度量下的声音样本剂量值,所涉及到的指标主要有:

1) 样本等效连续声级  $L_{\text{eq},T}$ ,即样本在播放时长  $T$  内的能量平均声级,单位为 dBB

$$L_{\text{eq},T} = 10 \log_{10} \left[ \left( \sum_n 10^{L_{\text{Beq},\Delta t}/10} / n \right) \right], \quad (2)$$

式中,  $L_{\text{Beq},\Delta t}$  为噪声样本每一帧内的 B 计权声级;  $n$  为样本帧数,且  $n = T/\Delta t$ ;

2) 样本平均声级  $L_{\text{mean},T}$ ,即声音样本短时声级的算数平均值,单位为 dBB

$$L_{\text{mean},T} = \sum_n L_{\text{Beq},\Delta t} / n; \quad (3)$$

3) 样本声级标准偏差  $L_{\text{std},T}$ ,即声音样本短时声级的标准偏差,单位为 dBB

$$L_{\text{std},T} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_n (L_{\text{Beq},\Delta t} - L_{\text{mean},T})^2}; \quad (4)$$

4) 样本最大声级  $L_{\text{max},T}$ ,即声音样本短时声级的最大值,单位为 dBB

$$L_{\text{max},T} = \max_n L_{\text{Beq},\Delta t}; \quad (5)$$

5) 样本最小声级  $L_{\text{min},T}$ ,即声音样本有短时声级的最小值,单位为 dBB

$$L_{\text{min},T} = \min_n L_{\text{Beq},\Delta t}; \quad (6)$$

6) 样本累积百分声级  $L_{10,T}$ ,  $L_{50,T}$  和  $L_{90,T}$ ,即声音样本短时剂量  $L_{\text{Beq},\Delta t}$  在播放时长  $T$  内有 10%, 50% 和 90% 的时间所超越的声级大小,单位均为 dBB;

7) 样本污染级 NPL,在样本等效连续声级的基础上加入描述声音样本在播放时长内声级变化性的修正项,单位为 dBB

$$NPL_T = L_{\text{eq},T} + 2.56L_{\text{std}}; \quad (7)$$

8) 考虑到声音样本短时剂量的变化可能对其主观效应产生的影响,补充两个衡量声音样本在播放时长内剂量变化性的指标,即

$$L_{\text{max-min},T} = L_{\text{max},T} - L_{\text{min},T}, \quad (8)$$

$$L_{10-90,T} = L_{10,T} - L_{90,T}. \quad (9)$$

#### 3.2 声音样本剂量指标的聚类分析

以 3.1 中的十一种指标度量全部声音样本的剂量值,采用  $K$  均值聚类法对所得到的剂量值矩阵进行指标聚类分析,结果显示: 3.1 中的十一种指标可以分为三类,即可用于衡量声音样本在播放时段  $T$  内短时剂量值变化程度的“剂量变化”类指标,包括  $L_{\text{max-min},T}$ ,  $L_{10-90,T}$  和  $L_{\text{std},T}$ ; 可用于表征噪声样本在播放时段内短时剂量绝对大小的“绝对剂量”类指标,包含  $L_{90,T}$ ,  $L_{50,T}$ ,  $L_{10,T}$ ,  $L_{\text{mean},T}$ ,  $L_{\text{eq},T}$ ,  $L_{\text{max},T}$  和  $L_{\text{min},T}$  以及综合考虑了声音样本短时剂量绝对大小和变化程度的“综合剂量”类指标  $NPL_T$ . 分类结果显示,类间距离大于 40, Cophenetic 系数为 0.8442, 接近 1, 说明聚类效果理想,如图 8 所示。

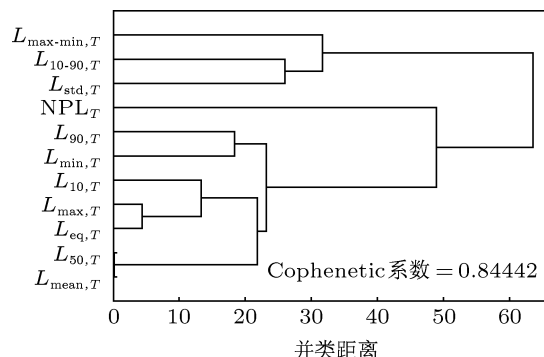


图 8 声音样本剂量指标的聚类结果

对上述三种指标类别,从每类中挑选出一个代表性指标作为该类的典型指标. 计算各指标类中每一个指标与其他指标相关指数(相关系数的平方)

的平均值, 具体公式如下:

$$R_i^2 = \frac{\sum r_{ij}^2}{m-1}, \quad (10)$$

其中,  $i = 1, 2, \dots, m, m$  为所在类中的指标个数;  $r_{ij}$  为指标剂量间的相关系数,  $i \neq j, j = 1, 2, \dots, m$  且  $\sum m =$  所分析的指标总数. 各指标类中具有最大  $R_i^2$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 的指标即为该指标类别的典型指标.

由表 4 可知: 对播放时长为  $T$  的声音样本而言, 可以采用三种类型的指标衡量声音样本的剂量, 其中“变化剂量”指标以  $L_{10-90,T}$  为代表; “绝对剂量”指标以  $L_{eq,T}$  为代表; “综合剂量”指标以  $NPL_T$  为代表该类指标的典型指标.

表 4 声音样本剂量指标聚类

指标类型	指标符号	相关指数	典型指标
变化剂量	$L_{\max-\min,T}$	0.95	$L_{10-90,T}$
	$L_{10-90,T}$	0.98	
	$L_{\text{std},T}$	0.96	
	$L_{90,T}$	0.97	
	$L_{50,T}$	0.97	
绝对剂量	$L_{10,T}$	0.97	$L_{eq,T}$
	$L_{\text{mean},T}$	0.98	
	$L_{eq,T}$	0.99	
	$L_{\max,T}$	0.95	
	$L_{\min,T}$	0.96	
综合剂量	$NPL_T$	—	$NPL_T$

### 3.3 声音样本的“剂量 - 烦恼度”关系

对致人烦恼程度不同的声音样本, 统计以  $L_{10-90,T}$ ,  $L_{eq,T}$  和  $NPL_T$  三类指标度量的声音样本剂量值随烦恼度均值的变化规律如图 9 所示. 可知, 声音样本以“变化剂量”类指标度量的剂量值与其主观烦恼度评价价值之间具有显著的负线性相关关系; 声音样本以“绝对剂量”类指标度量的剂量值与其主观烦恼度评价价值之间具有显著的正线性相关关系; 在以“综合剂量”类指标衡量声音样本的剂量值时, 声音样本致人烦恼度的程度将随着声音样本剂量值的增加, 以不同的递增速率阶段性增强.

因此, 在研究声音样本的剂量值与烦恼度的关系时, 首先需要明确所选用的剂量指标的类型, 了解相关剂量指标与烦恼度之间的基本关系, 在此基础上, 综合考虑样本其他特性与烦恼度的定性或定

量关系, 进一步完善声音样本烦恼度的综合性评价.

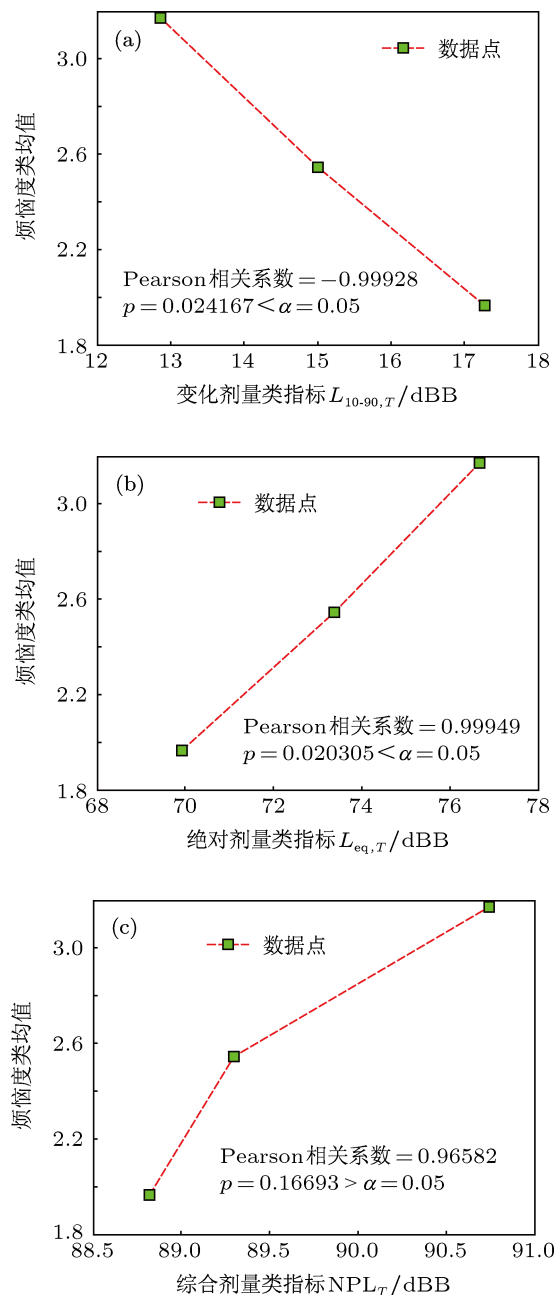


图 9 声音样本以不同类型指标度量的剂量值与烦恼度的相关性分析 (a) 变化剂量与烦恼度; (b) 绝对剂量与烦恼度; (c) 综合剂量与烦恼度

## 4 结论

本文针对声音样本主观评价实验研究中如何确定声音样本剂量值的问题展开研究, 规范了确定声音样本剂量值的具体流程, 分析了可能影响声音样本剂量值的具体因素. 研究发现: 基于短时段化处理的的声音样本剂量值指标原则上可以分为以  $L_{10-90,T}$  为代表的“剂量变化”类指标, 以  $L_{eq,T}$  为代

表的“绝对剂量”类指标和以  $NPL_T$  为代表的“综合剂量”类指标; 声音样本的“剂量 - 烦恼度”关系取决于度量样本剂量值的具体指标.

本文所开展的研究工作不但弥补了噪声主观

效应研究中的不足, 为深入开展声音样本的主观效应研究提供了有力支持. 相关研究结论亦可为制定合理的噪声控制方案、有效地开展噪声控制提供科学的理论依据.

[1] Yaniv S L 1982 *J. Sound Vib.* **81** 200

[2] Yan L, Chen K A 2011 *Acta Acoust.* **36** 43 (in Chinese) [闫靓, 陈克安 2010 声学学报 **36** 43]

[3] Zhang D F, Zhou Y 2010 Application of Matlab on Statistical and Engineering Data (Beijing: Publishing House of Electronics Industry) p148 (in Chinese) [张德丰, 周燕 2010 详解 Matlab 在统计与工程数据分

析中的应用 (北京: 电子工业出版社) 第 148 页]

[4] Yan L, Chen K A Ruedi S 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 164301-1

[5] Watts G R 1993 *J. Sound Vib.* **164** 425

[6] Yan L 2011 *Ph. D. Dissertation* (Xi'an: Northwestern Polytechnical University) (in Chinese) [闫靓 2011 博士学位论文 (西安: 西北工业大学)]

## Study on measuring the exposure of sound samples in subjective experiments

Yan Liang<sup>1)2)†</sup> Chen Ke-An<sup>1)</sup> Ruedi Stoop<sup>2)</sup>

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

2) (Institute of Neuroinformatics, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich 8057, Switzerland)

(Received 13 March 2013; revised manuscript received 20 March 2013)

### Abstract

The traditional measurements for environmental noise exposure-dose are inapplicable to the sound samples with fixed playing duration used in subjective evaluation experiment. In this paper, we propose a method for exposure-dose measurement of sound samples with fixed duration. The method based on the short-term exposure-dose values during the playing time of the sound samples. An entire analysis on the potential influencing factors are carried out, including the short-term analysis period, the statistical properties of the short-term exposure-dose values and four different frequency weightings. Then 11 indices are used to measure the exposure-dose of the fixed duration sound sample, which lays the groundwork for establishing the dose-annoyance relationships via subjective evaluating experiments.

**Keywords:** sound exposure, noise annoyance, sound sample, subjective evaluation

**PACS:** 43.50.Yw, 43.50.Ba, 43.50.Qp, 43.50.Rq

**DOI:** 10.7498/aps.62.124302

† Corresponding author. E-mail: liyan1832@hotmail.com