

多声源共同作用下的混合声剂量值预测方法研究

闫靛^{1)†} 陈克安¹⁾ Ruedi Stoop²⁾

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7月28日收到; 2013年11月3日收到修改稿)

本文借助单一声样本与人工合成的混合声样本, 重点研究了由多个单一声源共同作用形成的混合声的剂量值预测方法. 首先, 提出了一种基于对作用时长短时化处理的声样本剂量值确定流程, 并利用该方法分别确定了单一声样本与人工合成的混合声样本的剂量值. 随后, 分析了混合声样本剂量值(亦称总剂量, 记为 L_{Total})与构成混合声样本的每个单一声样本剂量值(亦称组分剂量, 记为 L_i , $i = 1, 2, \dots, K$; K 为单一噪声样本的个数亦称组分数量)之间的关系, 实现了在已知所有单一声剂量值的前提下成功预测混合声的剂量值, 为深入开展复杂声环境下的噪声源控制和噪声总剂量控制、实现高效的环境噪声治理提供了理论依据.

关键词: 噪声剂量, 预测模型, 单一声源, 组合声源

PACS: 43.50.Yw, 43.50.Ba, 43.50.Qq, 43.50.Rq

DOI: 10.7498/aps.63.054302

1 引言

随着工业化进程的日益加快, 新型声源在数量和种类上与日俱增. 大量声源共同作用, 不但引发并加剧了环境中噪声污染的程度, 更使得以通过对声源强度的控制进行环境噪声污染治理的效果不甚理想^[1]. 单一声源和组合声源分别产生单一声与混合声^[2-4]. 环境噪声正是由大量噪声源共同作用而成的混合噪声. 如果能够已知单一声源强度的基础上, 预测复杂声环境的噪声水平, 明确对环境噪声总体水平影响作用显著的单一声源. 这样, 不但有利于设计并实施针对主要噪声源的高效噪声控制策略, 更有助于制定并实现针对总剂量控制的更加合理的噪声治理目标, 为此, 本文借助播放时长固定的声音样本, 采用十一种基于短时声剂量值的声强度衡量指标, 分别对所有单一声样本以及由三个单一声样本经人工合成而成的混合声样本的剂量值进行了评估; 重点研究了单一声样本的组分剂量(记为 L_i , $i = 1, 2, \dots, K$)与混合声样本的

总剂量(记为 L_{Total})之间的数量关系, 实现了在已知组分剂量的前提下成功预测混合声的总剂量值.

2 声剂量及其度量

声剂量主要用于衡量声事件的强度^[5]. 只有在准确获取声事件强度相关数据的基础上, 才能实现声事件综合性的分析和评估, 确定其对环境的影响程度, 采取具有针对性的解决和改善手段, 减少声事件对周围环境的影响.

声剂量兼顾了声事件随时间变化的瞬时声级与声事件的作用时间, 可用于考察受声音干扰对象实际接受到的噪声能量^[5]. 环境噪声中含有大量不同类型的噪声源, 非常复杂, 属于典型的混合噪声. 在评价环境噪声对人的影响时, 正确估计人耳实际接受到的噪声剂量至关重要. 如果能够在已知声环境中几种典型单一声源剂量值的基础上, 科学预测由其构成的组合声源的剂量值, 将对进一步开展各类针对组合声源与混合噪声的研究具有重要的意义.

† 通讯作者. E-mail: lyan1832@hotmail.com

2.1 声音样本

本次研究采用了212个具有固定播放时长的声音样本, 包括159个单一声样本和53个人工合成的混合声样本. 所有声音样本均取自Sound Ideas公司出版的The General Series 6000专业音效. 无背景噪声干扰、时序幅值平稳. 时长均为15 s. 其中, 混合声样本由随机选取的三个单一声样本, 利用CoolEdit Pro 2.1进行时域波形混缩而获得, 样本时长仍为15 s.

对声音样本剂量值的评估共涉及三种类型的十一个剂量值评价指标^[7].

2.2 声音样本剂量值的度量

在早前的研究中, 我们已经提出了确定声音样本剂量值的基本流程^[8], 如图1所示. 首先, 依据声音样本的频域特性, 设计专用低通数字滤波器并对所有声音样本进行时域滤波处理; 随后, 以 Δt 对滤波后的声音样本进行时域分帧并对每帧信号进行

傅里叶变换获得频域能量密度谱; 最后, 将各帧信号的能量谱经恰当的频率计权滤波处理, 获得短时剂量 $L_{eq,\Delta t}$.

本次研究采用的声音样本与文献^[8]一致, 均为车辆行驶过程中的外部噪声. 文献^[8]的研究表明: B计权为描述车辆噪声样本频率特性的最优计权. 于是, 采用B计权对经过时域分帧的声音样本进行了频率计权滤波处理, 获得相应的声音样本短时剂量 $L_{Beq,\Delta t}$, 单位: dB(B). 本文的研究同样基于文献^[8]中声音样本剂量值的计算结果. 对声音样本剂量值的评估共涉及三种类型的十一个剂量值评价指标^[7], 如表1所示.

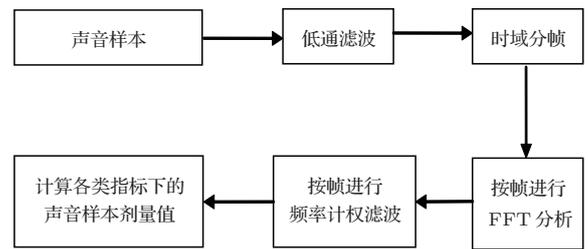


图1 确定声音样本剂量值的基本流程

表1 基于 $L_{eq,\Delta t}$ 的声音样本剂量值评价指标

指标名称	表示符与计算公式	说明
样本等效连续声级	$L_{eq,T} = 10 \log_{10} \left[\left(\sum_n 10^{L_{eq,\Delta t}/10} \right) / n \right]$ 其中, n 为样本播放时长分帧数, $n = T/\Delta t$	声音样本在播放时长 T 内的能量平均声级
样本平均声级	$L_{mean,T} = \sum_n L_{eq,\Delta t} / n$	声音样本在播放时长 T 内短时声级的算数平均值
样本声级标准偏差	$L_{std,T} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_n (L_{eq,\Delta t} - L_{mean,T})^2}$	声音样本在播放时长 T 内短时声级的标准偏差
样本最大声级	$L_{max,T} = \max_n L_{eq,\Delta t}$	声音样本在播放时长 T 内短时声级的最大值
样本最小声级	$L_{min,T} = \min_n L_{eq,\Delta t}$	声音样本在播放时长 T 内短时声级的最小值
样本累积百分声级	$L_{10,T}, L_{50,T}, L_{90,T}$	声音样本的在其播放时长 T 内有 10%, 50% 和 90% 的时间所超越的声级大小
样本污染级	$NPL_T = L_{eq,T} + 2.56L_{std,T}$	在样本等效连续声级的基础上加入描述短时剂量 $L_{Beq,\Delta t}$ 时域变化性的修正项
样本波动级	$L_{max-min,T} = L_{max,T} - L_{min,T}$ $L_{10-90,T} = L_{10,T} - L_{90,T}$	衡量声音样本在播放时长内短时剂量 $L_{Beq,\Delta t}$ 的变化程度

以表1中的十一种指标评估全部声音样本(单一声样本与混合声样本)的剂量值并以 K 均值聚类法对相应的声音样本剂量值矩阵进行聚类分析后发现: 十一种声音样本剂量指标原则上可以分为三种类型, 即衡量 $L_{eq,\Delta t}$ 在声音样本播放时段内变化程度的剂量变化指标, 包括 $L_{max-min,T}$, $L_{10-90,T}$ 和 $L_{std,T}$; 衡量 $L_{eq,\Delta t}$ 在声音样本播放时

段内平均水平的绝对剂量指标, 包含 $L_{90,T}$, $L_{50,T}$, $L_{10,T}$, $L_{mean,T}$, $L_{eq,T}$, $L_{max,T}$ 和 $L_{min,T}$ 以及综合考察 $L_{eq,\Delta t}$ 在声音样本播放时段内的平均水平与变化程度的综合剂量指标 NPL_T . 此时, 类间距离大于40; 衡量聚类效果理想程度的Cophenetic系数(即共性分类相关系数)等于0.8442, 接近于1, 说明聚类效果理想.

对聚合后的三种指标类别, 可以从每一类中挑选出一个代表性指标作为该类的典型指标. 确定典型指标的方法为: 针对同种类型中的不同指标, 计算每一个指标与其他指标相关指数(相关系数的平方和)的平均值, 具体公式如下:

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

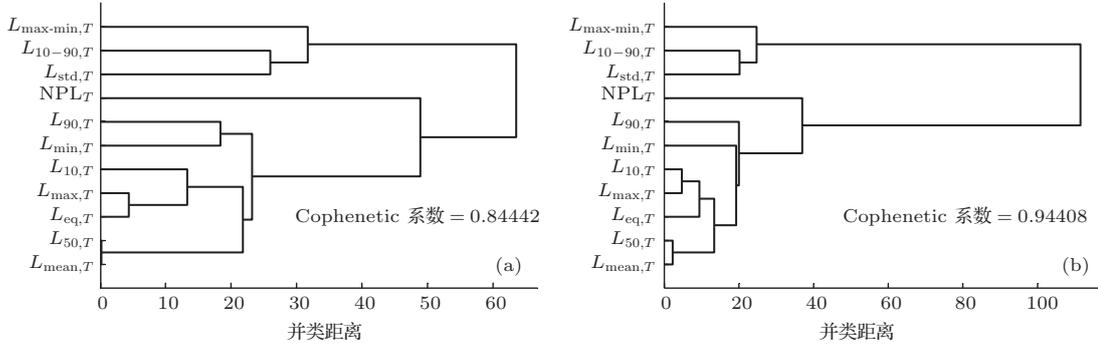


图2 十一种剂量指标的聚类结果 (a) 单一声样本聚类结果; (b) 混合声样本聚类结果

表2 声音样本剂量指标的分类及相应的典型指标

单一声样本剂量指标				混合声样本剂量指标			
指标类型	指标符号	相关指数	典型指标	指标类型	指标符号	相关指数	典型指标
剂量变化	$L_{\max - \min, T}$	0.95		剂量变化	$L_{\max - \min, T}$	0.96	
	$L_{10-90, T}$	0.98	$L_{10-90, T}$	剂量变化	$L_{10-90, T}$	0.95	$L_{\text{std}, T}$
	$L_{\text{std}, T}$	0.96			$L_{\text{std}, T}$	0.98	
	$L_{90, T}$	0.97			$L_{90, T}$	0.89	
	$L_{50, T}$	0.97			$L_{50, T}$	0.79	
绝对剂量	$L_{10, T}$	0.97			$L_{10, T}$	0.88	
	$L_{\text{mean}, T}$	0.98	$L_{\text{eq}, T}$	绝对剂量	$L_{\text{mean}, T}$	0.92	$L_{\text{mean}, T}$
	$L_{\text{eq}, T}$	0.99			$L_{\text{eq}, T}$	0.86	
	$L_{\max, T}$	0.95			$L_{\max, T}$	0.87	
综合剂量	$L_{\min, T}$	0.96			$L_{\min, T}$	0.70	
	NPL_T	—	NPL_T	综合剂量	NPL_T	—	NPL_T

可见, 对单一声样本而言, 对应三类指标的典型指标分别为 $L_{10-90, T}$, $L_{\text{eq}, T}$ 和 NPL_T ; 对混合声样本而言, 相应的典型指标依次为 $L_{\text{std}, T}$, $L_{\text{mean}, T}$ 和 NPL_T . 文献[4]对造成这一差异的原因进行了详细讨论. 在此, 主要研究指标选取对预测 L_{Total} 效果的影响, 故不再分析产生上述差异的原因.

3 混合声样本总剂量分析与预测

重点考察构成混合声样本的每个单一声样本的剂量值 L_i ($i = 1, 2, 3$) 与混合声样本的剂量

其中, $i = 1, 2, \dots, m$, m 为某一类型指标的个数; r_{ij} 为指标剂量间的相关系数, $i \neq j$, $j = 1, 2, \dots, n$, n 为指标分类的类型数, 本文中 $n = 3$. 对 n 种类型的指标, 利用(1)式分别计算其所含有的 m 个指标的相关指数, 确定具有最大 R_i^2 ($i = 1, 2, \dots, m$) 的指标, 即可获得能够代表对应指标类型的典型指标.

值 L_{Total} 之间的关系, 尝试以 L_i ($i = 1, 2, 3$) 预测 L_{Total} .

3.1 基于绝对剂量指标的 L_{Total} 分析与预测

图3(a)和(b)分别为以绝对剂量指标类型的典型指标 $L_{\text{mean}, T}$ 与 $L_{\text{eq}, T}$ 度量的组分剂量与总剂量. 显然, L_{Total} 明显高于 L_i ($i = 1, 2, 3$); 以 $L_{\text{eq}, T}$ 为剂量评价指标时, L_{Total} 明显高于组分剂量的最大值(记为 $L_{\max, i}$, $i = 1, 2, 3$); 以

$L_{\text{mean},T}$ 为剂量评价指标时, L_{Total} 则更接近于 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$). 于是, 决定采用以 $L_{\text{mean},T}$ 度量的 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} .

图 4(a) 为“采用以 $L_{\text{mean},T}$ 度量的 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} ”的结果. 可见, 以 $L_{\text{mean},T}$ 为剂量值评价指标获得的 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 明显低估了 L_{Total} 的实际值. 图 4(b) 的两条点划线分别代表全部混合声样本总剂量实际值的平均值(黑色)与估计值的平均值(红色)以及相应的估计误差. 显

然, 估计剂量明显低于实际剂量且其低估率可达 98% 以上. 进一步分析发现: 当 L_i ($i = 1, 2, 3$) 彼此间的差异不大时, 低估程度愈加显著. 在此, 提出以组分剂量极差(记为 ρ ; $\rho = L_{\text{max},i} - L_{\text{min},i}$, $i = 1, 2, 3, \dots, K$) 衡量 L_i 之间的差异程度, 并获得估计误差(记为 ε) 随 ρ 的变化规律, 如图 5 所示. 显然, 随着混合声中组分剂量极差的增加, 采用以 $L_{\text{mean},T}$ 度量的 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} , 估计误差 ε 逐渐降低.

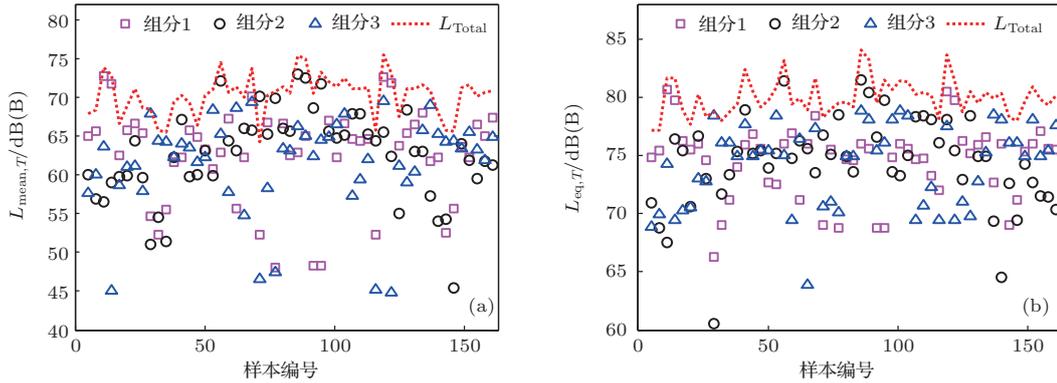


图 3 以绝对剂量评价指标获得的 L_i ($i = 1, 2, 3$) 与 L_{Total} (a) 以 $L_{\text{mean},T}$ 为剂量评价指标; (b) 以 $L_{\text{eq},T}$ 为剂量评价指标

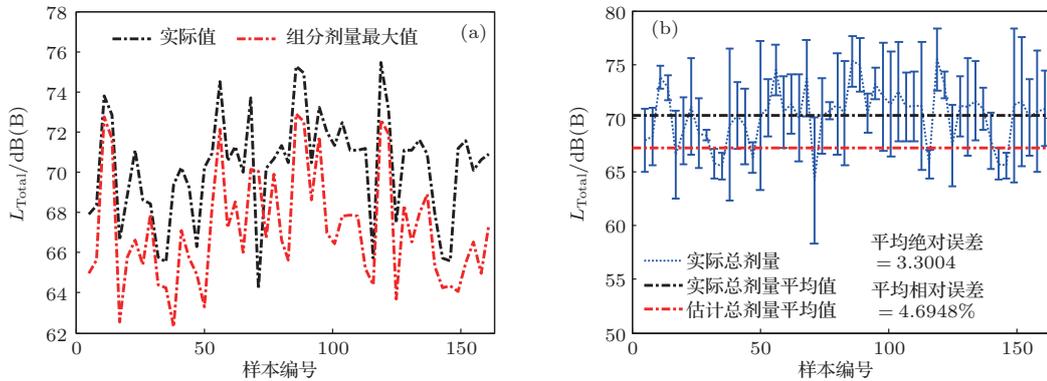


图 4 以 $L_{\text{mean},T}$ 为评价指标, 采用 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} (a) L_{Total} , L_{Total} 与 $L_{\text{min},i}$ ($i = 1, 2, 3$); (b) 估计误差

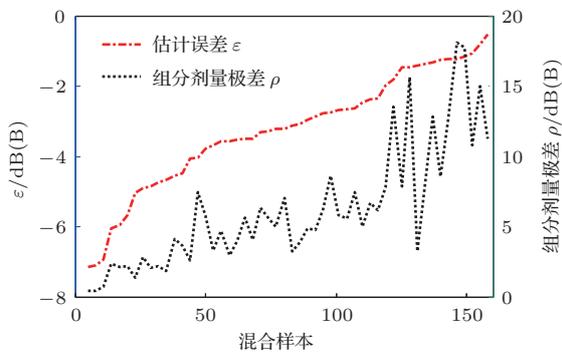


图 5 评价指标为 $L_{\text{mean},T}$ 时的组分剂量极差 ρ 与相应的 L_{Total} 估计误差 ε

通过对 ε 与 ρ 进行曲线拟合, 如图 6(a) 所示, 得到计算 ε 的公式为

$$\varepsilon = \theta \times \ln(0.1\rho) - \ln(2K), \quad (2)$$

其中, K 为构成混合声的所有单一声组分的数量; ρ 为组分剂量极差; θ 为与组分数量有关的修正系数, 且 $\theta = (2K + 1)/(2K - 1)$.

求取误差拟合曲线关于 x 轴的对称曲线, 即可获得总剂量修正值(记为 ΔL_{Total}) 曲线, 如图 6(b) 所示. 相应的修正值计算公式为

$$\Delta L_{\text{Total}} = (-1) \times \theta \times \ln(0.1\rho) + \ln(2K). \quad (3)$$

综上所述, 采用以 $L_{\text{mean},T}$ 度量的 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} 的具体步骤为: 首先, 以 $L_{\text{mean},T}$ 为剂量评价指标, 确定混合声中所有组分的剂量值 L_i ($i = 1, 2, 3, \dots, K$) 并确定出组分剂量的最大值 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$); 随后, 利用由 (3) 式计算的修正值 ΔL_{Total} 对 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 进行修正, 进

而获得混合声样本总剂量近似值 (记为 L'_{Total}), 即 $L'_{\text{Total}} = \max_i(L_i) + \Delta L_{\text{Total}}$.

采用 L'_{Total} 估计 L_{Total} 的结果与相应的误差分析结果, 如图 7 所示. 显然, 以 $L_{\text{mean},T}$ 为评价指标, 采用修正后的 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} , 不但可以有效缓解以 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} 时

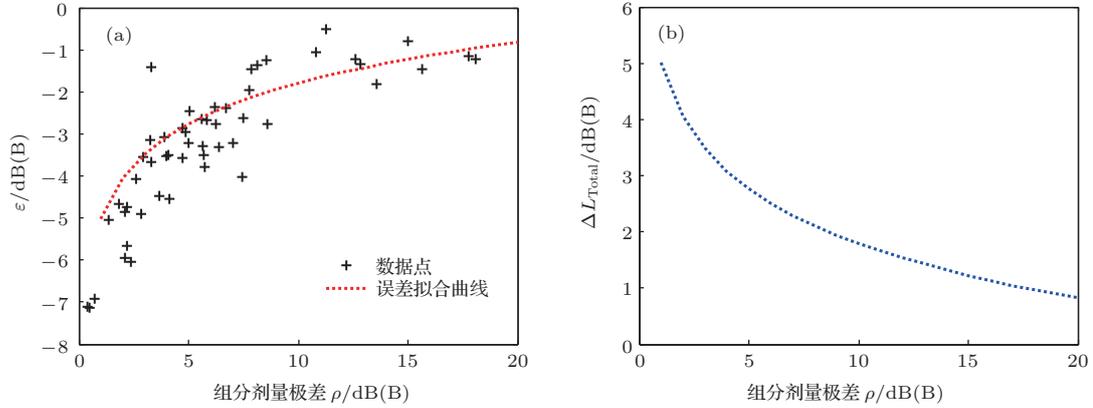


图 6 以 $L_{\text{mean},T}$ 为评价指标, 采用 $L_{\text{max},i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} 时的估计误差与修正值曲线 (a) 估计误差曲线拟合; (b) 修正值曲线

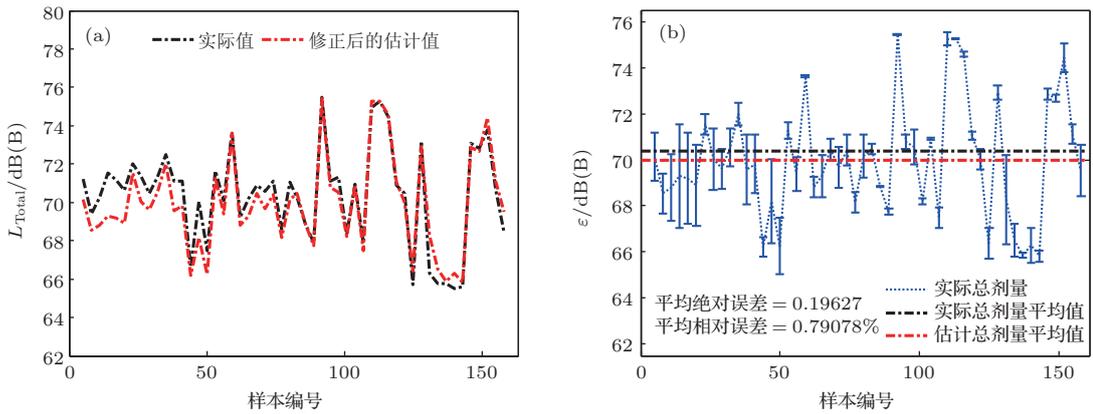


图 7 以 $L'_{\text{Total}} = \max_i(L_i) + \Delta L_{\text{Total}}$ 估计 L_{Total} (a) 总剂量实际值 L_{Total} 与估计值 L'_{Total} ; (b) 估计误差

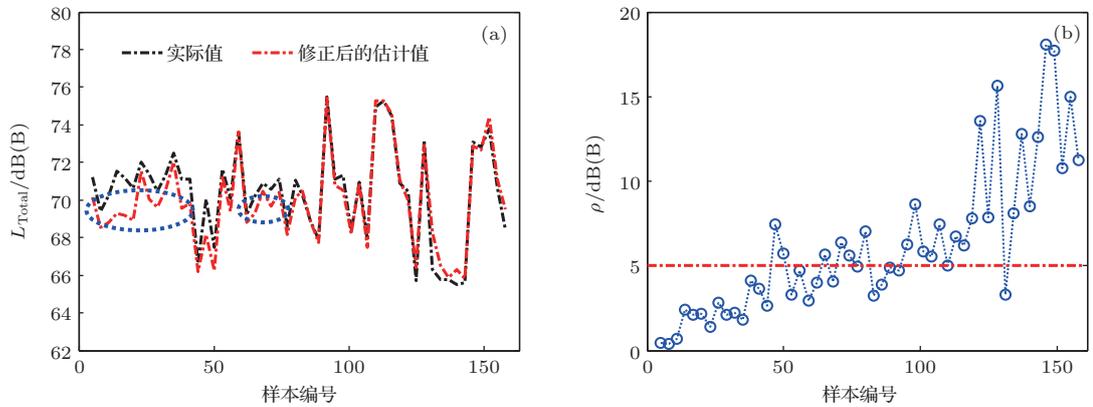


图 8 以 $L'_{\text{Total}} = \max_i(L_i) + \Delta L_{\text{Total}}$ 估计 L_{Total} 时对估计误差较大值点的分析 (a) 估计误差较大值点; (b) 组分剂量极差

估计值偏低的不足, 亦可明显减小估计误差. 图8(a)中椭圆形标注部分的拟合效果似乎并不理想. 分析发现: 若构成混合声的所有单一声的组分剂量极差 $\rho < 5$ dB(B), 尽管 L'_{Total} 仍会低估 L_{Total} , 然而其低估程度已得到明显改善, 如图8(b)所示.

3.2 基于剂量变化指标的 L_{Total} 分析与预测

图9(a)和(b)分别为以剂量变化指标的典型指标 $L_{std,T}$ 与 $L_{10-90,T}$ 获得的 L_i ($i = 1, 2, 3$) 与 L_{Total} . 显然, L_{Total} 明显低于 L_i ($i = 1, 2, 3$). 可见, 混合声的剂量变化程度明显低于各组分剂量的变化程度. 于是, 分别以 $L_{std,T}$ 和 $L_{10-90,T}$ 为声音样本剂量评价指标, 以组分剂量最小值(记为 $L_{min,i}$) 估计 L_{Total} , 结果如图10和图11所示. 显然, 采用以 $L_{std,T}$ 度量的 $L_{min,i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} , 估计效果更加理想.

分析估计误差 ε 与组分剂量极差 ρ 之间的关系后发现: 采用 $L_{std,T}$ 为剂量评价指标, 以

$L_{min,i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} , 会同时出现对 L_{Total} 的低估和高估, 如图12(a)所示. 当 $\rho > 5$ dB(B) 时, 估计值低于实际值且估计误差 ε 随 ρ 的自然对数增加; 当 $\rho < 5$ dB(B) 时, 上述方法有可能低估亦或高估 L_{Total} . 进一步分析估计误差的绝对值 $|\varepsilon|$ 随 ρ 的变化情况, 如图12(b)所示. 显然, 估计误差的绝对值 $|\varepsilon|$ 随组分剂量极差的自然对数 $\ln \rho$ 增加且估计误差集中分布在 $[2K \cdot \ln \rho, \ln \rho / (2K)]$ 的区间范围内; 其中, K 为混合噪声中所含有的单一噪声组分的个数.

3.3 基于综合剂量指标的 L_{Total} 分析与预测

图13为采用指标 NPL_T 度量的 L_i ($i = 1, 2, 3$) 与 L_{Total} . 由于 NPL_T 综合了 $L_{eq,T}$ 与 $L_{std,T}$, 因此, 在以 NPL_T 估计混合声样本的总剂量时, 应分别以 $L_{eq,T}$ 和 $L_{std,T}$ 获得相应的混合声总剂量估计值, 在以表2中的公式直接计算出混合声样本以 NPL_T 度量的总剂量.

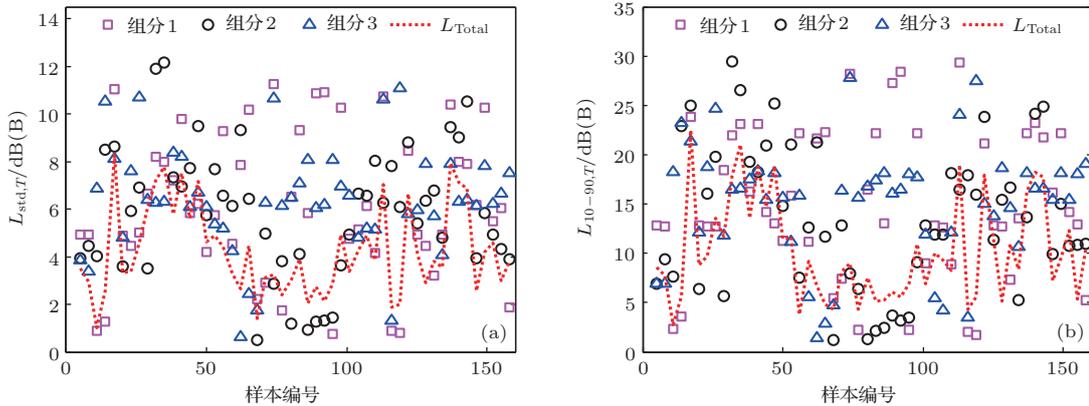


图9 以剂量变化指标获得的 L_i ($i = 1, 2, 3$) 与 L_{Total} (a) 以 $L_{std,T}$ 为剂量评价指标; (b) 以 $L_{10-90,T}$ 为剂量评价指标

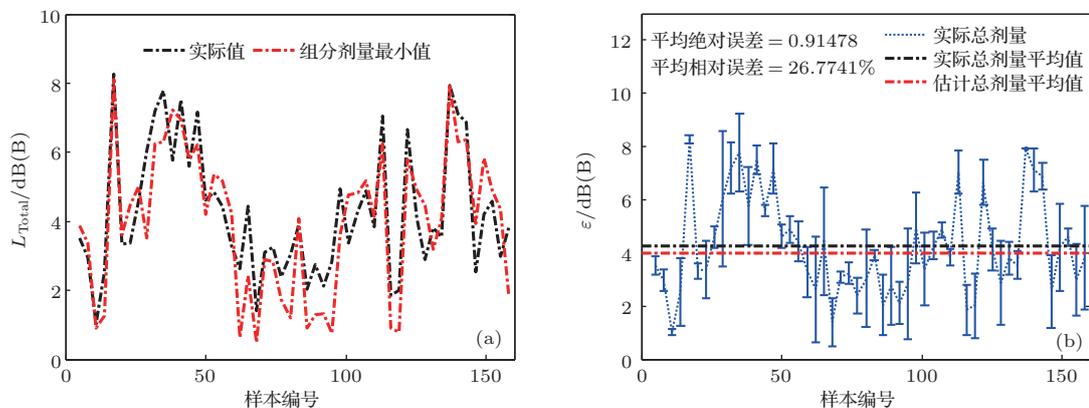


图10 采用以 $L_{std,T}$ 度量的 $L_{min,i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} (a) L_{Total} 与 $L_{min,i}$ ($i = 1, 2, 3$); (b) 估计误差分析

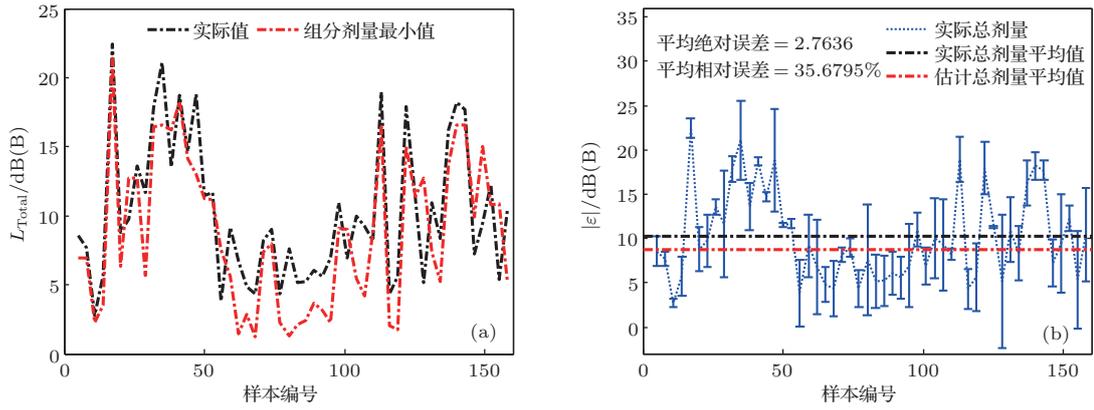


图 11 采用以 $L_{10-90,T}$ 度量的 $L_{\min,i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} (a) L_{Total} 与 $L_{\min,i}$ ($i = 1, 2, 3$); (b) 估计误差分析

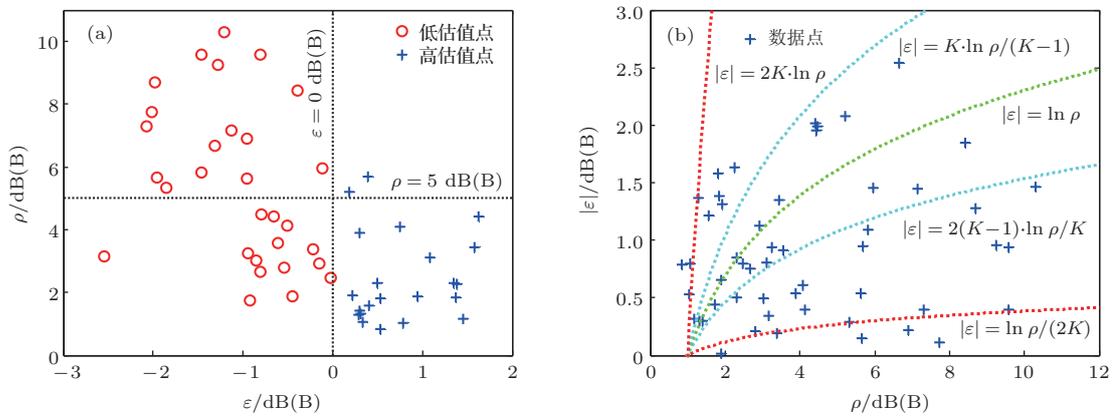


图 12 以 $L_{\text{std},T}$ 为评价指标时的组分剂量极差 ρ 与总剂量估计误差 ε 之间的关系 (a) ε 与 ρ 的关系; (b) $|\varepsilon|$ 与 ρ 的关系

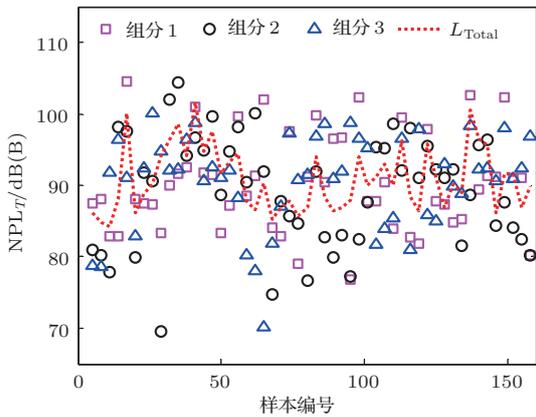


图 13 以 NPL_T 为评价指标获得的 L_i ($i = 1, 2, 3$) 与 L_{Total}

在此, 首先采用 $L_{\text{eq},T}$ 估计 L_{Total} . 由 3.1 可知, 不宜采用以 $L_{\text{eq},T}$ 度量的 $L_{\max,i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} . 故而, 决定采用对 L_i ($i = 1, 2, 3$) 进行能量求和获得混合声以 $L_{\text{eq},T}$ 度量的总剂量, 即

$$L_{\text{Total}} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}. \quad (4)$$

由图 14 可知, 以 $L_{\text{eq},T}$ 为评价 L_i ($i = 1, 2, 3$) 并利用能量叠加法获得的总剂量估计值与实际值非常接近, 估计效果理想. 对于以 $L_{\text{std},T}$ 为评价指标时的混合声总剂量, 建议采用以该指标获得的 $L_{\min,i}$ ($i = 1, 2, 3$) 进行估计. 随后, 利用表 2 中的相关公式直接计算并估计混合声样本以 NPL_T 度量的总剂量. 上述过程可以被称为: 采用公式法估计以 NPL_T 度量的 L_{Total} . 由图 15 可知, 采用公式法获得的总剂量估计值与实际值非常接近, 平均相对估计误差低于 2.5%, 估计效果理想.

以公式法计算并估计混合声以 NPL_T 度量的总剂量时, 有可能低估或高估 L_{Total} 的实际值; 当 $\rho \geq 15$ dB(B) 时, 低估误差 ε 可达 -5 dB(B) 以上且 ε 随 ρ 的增加而增大; 当 $10 \leq \rho < 15$ dB(B) 时, ε 主要分布于 $[-5, 5]$ 的区间内且低估和高估情况的出现概率近似相等; 当 $5 \leq \rho < 10$ dB(B) 时, 估计效果以高估为主. 因此, 在 $\rho \geq 5$ dB(B) 的约束条件下, $|\varepsilon|$ 集中在 $[0, 5]$ 的区间范围内且随 ρ 的增加而

减小, 如图 16 所示. 当 $\rho \geq 5$ dB(B) 时, ρ 与 $|\varepsilon|$ 之间存在如下关系:

$$|\varepsilon| = (2K - 1) \cdot \left[1 - \ln \left(\frac{\rho}{2K - 1} \right) \right], \quad (5)$$

$$\rho \geq 5 \text{ dB(B)}, \quad (5)$$

其中, K 为混合声中所含有的单一噪声组分的个数.

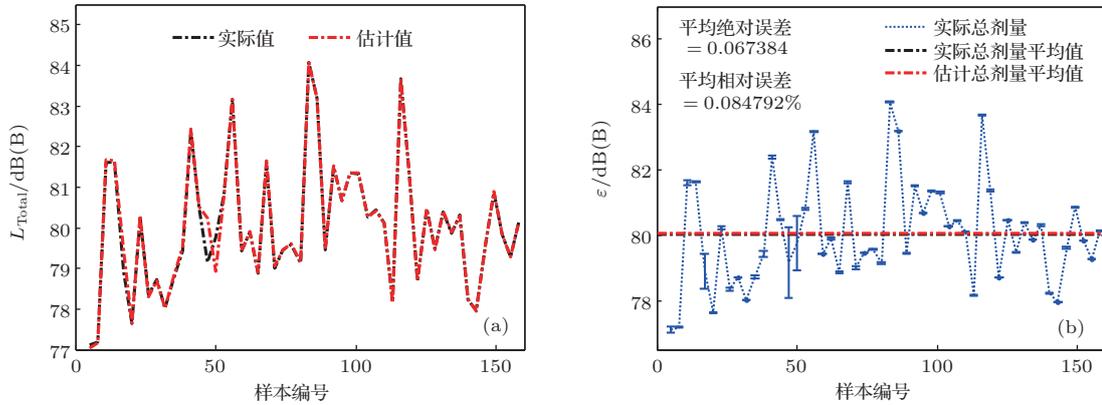


图 14 采用以 $L_{eq,T}$ 为评价指标的能量叠加法估计 L_{Total} (a) L_{Total} 的实际值与估计值; (b) 估计误差分析

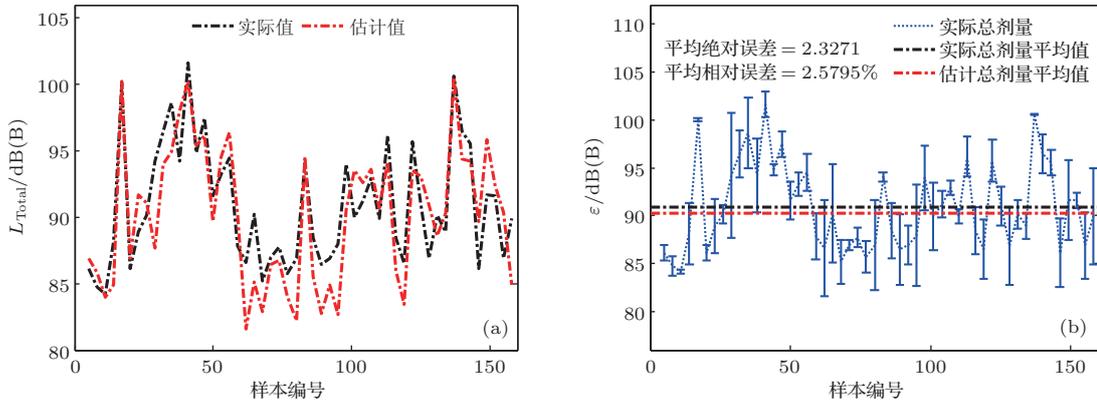


图 15 采用公式法估计评价指标为 NPL_T 时的 L_{Total} (a) L_{Total} 的实际值与估计值; (b) 估计误差分析

针对上述误差分析结果, 以 $\Delta L_{Total} = |\varepsilon|$ 对公式法的估计结果进行修正, 即

$$L_{Total} = \begin{cases} L'_{Total} + \Delta L_{Total}, & \varepsilon \leq 0, \\ L'_{Total} - \Delta L_{Total}, & \varepsilon > 0, \end{cases} \quad (6)$$

其中, L'_{Total} 为采用公式法获得的以 NPL_T 为评价指标时的总剂量估计值.

显然, 采用修正后的公式法估计以 NPL_T 度量的混合声总剂量, 估计结果的平均绝对误差和平均相对误差明显降低, 如图 17 所示.

综上所述, 以 NPL_T 为剂量评价指标, 由 L_i ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} 时, 应分别以 $L_{eq,T}$ 和 $L_{std,T}$ 为评价指标, 各自采用能量叠加法和组分剂量最小值法估计相应指标度量下的总剂量值并利用公式 $NPL_T = L_{eq,T} + 2.56L_{std,T}$ 直接计算出混

合声样本以 NPL_T 表征的总剂量, 再以 (6) 式对计算结果进行修正, 获得较为理想的预测结果.

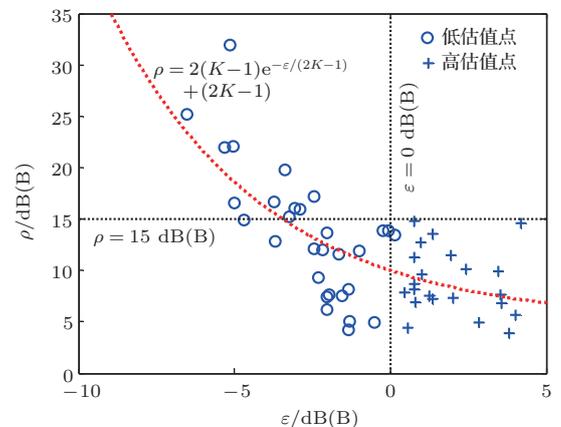


图 16 以 NPL_T 为评价指标获得的组分剂量极差 ρ 与估计误差 ε 之间的关系

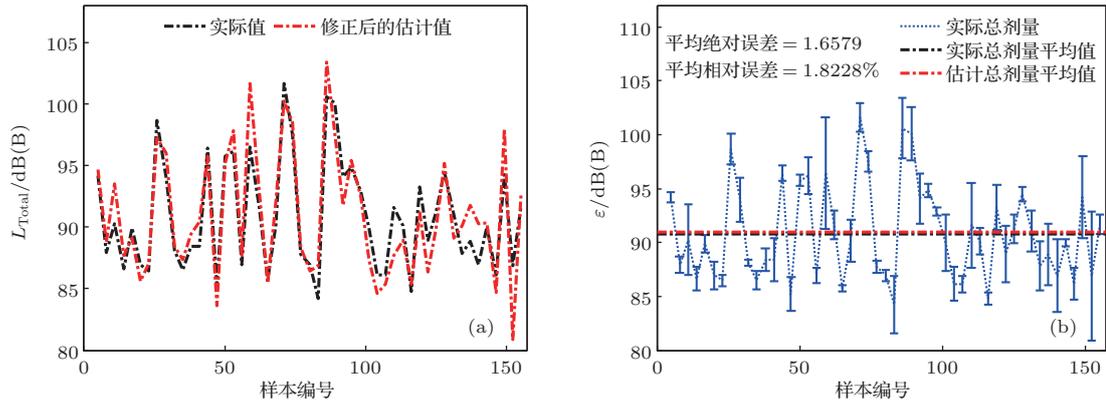


图 17 采用修正后的公式法估计以 NPL_T 度量的 L_{Total} (a) L_{Total} 的实际值与估计值; (b) 估计误差分析

4 结 论

本文利用播放时长固定的声音样本开展了混合声剂量值预测方法的研究,明确了三个单一声同时作用下的混合声在三类评价指标度量下的剂量值变化规律,实现了在已知全部单一声组分剂量的前提下,估计混合声的总剂量。

研究发现: 1) 若以 $L_{eq,T}$ 为评价指标, 由 L_i ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} 时, 采用能量叠加法可以获得非常理想的估计结果; 2) 若以 $L_{mean,T}$ 为评价指标, 可采用 $L_{max,i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} 并辅之以基于单一声组分数量 K 与组分剂量级差 ρ 的误差修正公式, 获得较为理想的估计结果; 3) 若以 $L_{std,T}$ 为评价指标, 可采用 $L_{min,i}$ ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} , 估计误差的绝对值 $|\varepsilon|$ 随组分剂量极差的自然对数 $\ln \rho$ 增加且估计误差集中分布在 $[2K \cdot \ln \rho, \ln \rho / (2K)]$ 的区间范围内; 4) 若以 NPL_T 为评价指标, 由 L_i ($i = 1, 2, 3$) 估计 L_{Total} , 应分别以 $L_{eq,T}$ 和 $L_{std,T}$ 作为 L_i ($i = 1, 2, 3$) 的评价指标, 各自采用能量叠加法和组分剂量最小值法估计相应指标度量下的总剂量值, 并利用公式 $NPL_T = L_{eq,T} + 2.56L_{std,T}$ 直接计算出混合声样本以 NPL_T 表征的总剂量, 再对计算结果进行修正, 即可获得较为理想的估计结果。

实际应用中, 需首先明确对声环境整体具有显著作用的单一噪声源。当声源位置确定、听觉辨识

度高、视觉可见时, 独立作用的单一噪声源可直接确定; 当环境中背景噪声干扰较大、声源独立性不显著或者无法通过听觉分辨或仪器测量确定显著作用的单一噪声源时, 可以采用对整体环境区域划分网格的方法, 以每一个网格近似独立作用的单一噪声源, 随后, 选定剂量指标并结合相应的预测方法对复杂声环境整体的声剂量值进行预测。本文的研究工作, 为深入开展复杂声环境下的噪声源控制和噪声总剂量控制、实现高效的环境噪声治理提供了理论依据, 对深入开展各类针对组合声源与混合声的研究, 均具有非常重要的理论与现实意义。

参考文献

- [1] Soeta Y 2004 *J. Acoust. Soc. Am.* **116** 3275
- [2] Taylor S M 1982 *J. Sound Vib.* **81** 123
- [3] Vos J 1992 *J. Acoust. Soc. Am.* **91** 3330
- [4] Yan L 2011 *Ph. D. Dissertation* (Xi'an: Northwestern Polytechnical University) (in Chinese) [闫靛 2011 博士学位论文(西安:西北工业大学)]
- [5] Wang X Y, Zhang X Q, CHEN X H 2001 *Auto. & Instru.* **94** 46 (in Chinese) [汪建宇, 张筱琪, 陈新华 2001 噪声剂量与噪声剂量计 **94** 46]
- [6] Cheng M K 1994 *Appl. Acoust.* **14** 1 (in Chinese) [程明昆 1994 应用声学 **14** 1]
- [7] Yan L, Chen K A, Ruedi S 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 164301 (in Chinese) [闫靛, 陈克安, Ruedi Stoop 2012 物理学报 **61** 164301]
- [8] Yan L, Chen K A, Ruedi S 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 124302 (in Chinese) [闫靛, 陈克安, Ruedi Stoop 2013 物理学报 **62** 124302]

Research on prediction and methods of evaluating sound exposure from a mixture of multiple single sources

Yan Liang^{1)†} Chen Ke-An¹⁾ Ruedi Stoop²⁾

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 28 July 2013; revised manuscript received 3 November 2013)

Abstract

In this paper, the prediction and the way for calculating the total exposure level (to be denoted by L_{Total}) from a mixture of multiple single sources are proposed, on the premise that each single exposure level from every component single source (to be denoted by L_i , where i denotes the number of single sources and $i = 1, 2, \dots, K$) is known. Firstly, a novel method for sound exposure level evaluation, based on a short-term exposure level in the duration of the sound event, is proposed. Using this method, each single exposure level obtained from all the single sound samples and the total exposure level obtained from every artificially combined sound samples are evaluated. Then, we lay special stress on analyzing the quantitative relationships between L_{Total} and L_i ($i = 1, 2, \dots, K$) measured in three types of sound exposure indicators. All analytical results indicate that our anticipative gain of the total exposure level L_{Total} from a mixture of multiple single sources can be predicted on the premise that each single exposure level from every componential single source is known. To modify the predicted results, we just need to know the number of specific independent components K and the range of the single exposure levels ρ .

Keywords: sound exposure, predicting model, single source, combined source

PACS: 43.50.Yw, 43.50.Ba, 43.50.Qq, 43.50.Rq

DOI: 10.7498/aps.63.054302

† Corresponding author. E-mail: lyan1832@hotmail.com