

基于峰度调整的职业性非稳态噪声暴露测量方法

胡勇¹, 施志豪², 高向景¹, 辛佳芮³, 周莉芳¹, 张美辨⁴

1. 浙江省疾病预防控制中心职业健康与辐射防护所, 浙江 杭州 310051

2. 宁波大学医学院, 浙江 宁波 315211

3. 杭州师范大学医学部, 浙江 杭州 310051

4. 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 北京 100050

摘要:

现有的噪声暴露测量方法基于等能量假说, 适用于稳态噪声, 不完全适用于非稳态噪声暴露测量。研究表明, 噪声时域结构指标(峰度)联合噪声能量指标, 有望有效定量非稳态噪声暴露, 目前缺少该联合指标统一的测量方法。本文介绍了基于峰度调整的非稳态噪声暴露测量方法, 详细阐述了该方法的测量指标、调整方案、适用对象、仪器要求和测量步骤。通过峰度对累积噪声暴露量(CNE)中暴露周期进行调整, 或基于动物或人群数据的调整系数对等效A声级(L_{Aeq})进行调整, 能更准确地测量劳动者的非稳态噪声暴露, 改善非稳态噪声所致听力损失被低估的情况。未来需要大量人群研究来验证两种调整方案的有效性。

关键词: 非稳态噪声; 测量; 峰度; 等效A声级; 累积噪声暴露量

Measuring method of occupational non-Gaussian noise exposure based on kurtosis adjustment

HU Yong¹, SHI Zhihao², GAO Xiangjing¹, XIN Jiarui³, ZHOU Lifang¹, ZHANG Meibian⁴
(1. Occupational Health and Radiation Protection Institute, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China; 2. School of Medicine, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China; 3. School of Medicine, Hangzhou Normal University, Hangzhou, Zhejiang 310051, China; 4. National Institute of Occupational Health and Poison Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China)

Abstract:

The existing measuring methods of noise exposure on the basis of equal energy hypothesis are applicable to Gaussian noise while not fully applicable to non-Gaussian noise. Studies have shown that temporal structure (kurtosis) combined with noise energy has the potential to quantify non-Gaussian noise exposure effectively. However, there is no unified measuring method adopting this joint metric. In this paper, the measuring method of non-Gaussian noise exposure based on kurtosis adjustment was introduced, detailing measurement indicators, adjustment schemes, applicable objects, instrument requirements, and measurement steps. Adjusting the exposure duration of cumulative noise exposure (CNE) by kurtosis or adjusting the equivalent continuous A-weighted sound pressure level (L_{Aeq}) by an adjustment coefficient based on animal or population studies can more accurately quantify workers' exposure to non-Gaussian noise and improve the underestimation of hearing loss caused by non-Gaussian noise. A large number of population studies are warranted in the future to verify the effectiveness of these two adjustment schemes.

Keywords: non-Gaussian noise; measurement; kurtosis; equivalent continuous A-weighted sound pressure level; cumulative noise exposure

噪声是工业生产中最常见的职业病危害因素之一, 噪声导致的听力问题日趋严峻。据统计, 我国工人职业噪声性听力损失的患病率约为 21.3%^[1]。近年来, 职业性噪声聋成为仅次于职业性尘肺病的第二大职业病^[2], 且每年以超过 10% 的速度递增^[3]。此外, 研究发现, 随着工业的发展, 工业噪声类型发生巨大变化, 非稳态噪声已取代稳态噪声成为工业中最常见的噪声类型, 目前大多数岗位接



DOI 10.11836/JEOM21578

组稿专家

张美辨(中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所), E-mail: zhangmb@niohp.chinacdc.cn

基金项目

浙江省重点研发项目(2015C03039); 2018 年度浙江省 151 人才工程培养项目(无编号); 2016 年度浙江省卫生创新人才培养项目(无编号); 职业健康标准前期研究项目(2021 0102); 浙江省医药卫生基金(2019KY057); 浙江省医药卫生基金(2021KY120)

作者简介

胡勇(1985—), 男, 学士, 工程师;
E-mail: huyong@cdc.zj.cn

通信作者

张美辨, E-mail: zhangmb@niohp.chinacdc.cn

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2021-12-06

录用日期 2022-02-17

文章编号 2095-9982(2022)04-0362-06

中图分类号 R13

文献标志码 A

引用

胡勇, 施志豪, 高向景, 等. 基于峰度调整的职业性非稳态噪声暴露测量方法[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(4): 362-366, 381.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21578

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHANG Meibian, E-mail: zhangmb@niohp.chinacdc.cn

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2021-12-06

Accepted 2022-02-17

To cite

HU Yong, SHI Zhihao, GAO Xiangjing, et al. Measuring method of occupational non-Gaussian noise exposure based on kurtosis adjustment[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(4): 362-366, 381.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21578

触到的噪声属于非稳态噪声^[4]。非稳态噪声(又称复杂噪声)是由在稳态噪声背景下叠加瞬态高能量脉冲性噪声组成^[5],是除稳态噪声类型以外所有噪声类型的总和,包含典型的脉冲噪声。不同于稳态噪声,非稳态噪声具有复杂的时域结构,相对于稳态噪声的能量分布是正态的,而非稳态噪声的能量分布是非正态的,具有时变的特点^[6]。

现有的噪声暴露测量方法主要适用于稳态噪声,仅用噪声的能量指标——等效 A 声级(equivalent continuous A-weighted sound pressure level, L_{Aeq})来评估噪声暴露量。研究表明,应用稳态噪声的测量方法可能会低估非稳态噪声实际导致的听力损失^[7]。峰度是能间接反映噪声时域结构的敏感指标^[8]。国内外研究团队通过动物实验^[9]和人群调查^[10-12]发现,峰度可以作为噪声能量的辅助参量,用于非稳态噪声暴露的测量,峰度调整后的噪声能量指标比单一的能量指标能更有效反映非稳态噪声暴露对听力造成的损失。本文旨在全面地介绍基于峰度调整的职业性非稳态噪声暴露的测量方法,为非稳态噪声暴露的测量方法和相应标准制定提供思路。

1 指标选择

1.1 能量指标

现有噪声测量和评估标准中噪声的能量指标为强度,以 8 h 等效 A 声级(normalization of equivalent continuous A-weighted sound pressure level to a normal 8 h working day, $L_{Aeq,8h}$)表示。 $L_{Aeq,8h}$ 不仅能反映环境噪声水平,还考虑到了噪声持续时间产生的影响。其测量时间比 1 min L_{Aeq} 更长,能显示噪声水平的变化,可真实反映劳动者实际接触噪声水平^[13]。

根据“等能量学说”,噪声能量不仅与噪声强度有关,还与接噪时间密切相关,噪声强度越大,接噪时间越长,噪声能量就越大,造成听力损失的风险也越高^[14]。累积噪声暴露量(cumulative noise exposure, CNE)是结合 $L_{Aeq,8h}$ 和接噪时间(工龄)的综合性指标,是能更全面反映噪声暴露的能量指标。其计算公式如下:

$$V_{CNE} = L_{Aeq,8h} + 10 \lg t \quad (1)$$

(1)式中, V_{CNE} 是累积噪声暴露量, t 为接噪时间(通常以年为单位)。式中常数 10 表明 CNE 符合“等能量学说”中的 3 dB 交换率,即接噪时间增加一倍(即 2t),相当于 $L_{Aeq,8h}$ 增加 3 dB。CNE 与噪声性听力损失之间存在显著的剂量-反应关系,且与听力损失之间的

相关性比 $L_{Aeq,8h}$ 更好^[15]。

1.2 时域结构指标

噪声的时域结构包括脉冲的峰值分布、持续时间分布、间隔时间分布等,若定量地分析这些变量来描述时域结构,在实际测量中可操作性差。于是,Erdreich^[8]将这些必要变量归结为一个简单且易于计算的参数,提出用噪声峰度描述非稳态噪声的脉冲性,作为非稳态噪声时域结构的特异性指标,更具实用性。峰度本是描述随机变量概率分布相对于正态分布的统计量,计算公式如下:

$$\beta = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^2} \quad (2)$$

(2)式中, β 为峰度, x_i 是第 i 个值, $\bar{x}$ 是样本均值。研究证明,峰度与噪声性听力损失存在剂量-反应关系^[16-17],可用于非稳态噪声的测量和风险评估。纽约州立大学普拉茨堡校区听觉研究实验室提出了将峰度作为噪声能量辅助参量的概念,并通过大量研究证明了峰度作为非稳态噪声评估参量的有效性^[18-21]。

2 调整方案

噪声能量与噪声强度和接噪时间均密切相关,所以峰度调整能量有两种调整方案,从 CNE 的公式也可看出,一种是调整接噪时间 t ,一种是调整噪声强度 $L_{Aeq,8h}$ 。

2.1 峰度调整接噪时间 t

有学者曾提出峰度调整接噪时间的方案^[6],根据 CNE 的公式,将公式中常数项 10 修改成 $(\ln \beta + 1.9) / \lg 2$ 。当 β 等于 3(稳态噪声)时, $(\ln \beta + 1.9) / \lg 2$ 便等于 10,调整前后 CNE 相等;当 β 大于 3 时, $(\ln \beta + 1.9) / \lg 2$ 便大于 10,相当于在 $L_{Aeq,8h}$ 不变的情况下增加接噪时间 t 。调整后使得 CNE 增加,更准确反映非稳态噪声的真实暴露,符合非稳态噪声对听力危害更大的事实。调整公式如下:

$$V_{CNE'} = L_{Aeq,8h} + \frac{(\ln \beta + 1.9)}{\lg 2} \times \lg t \quad (3)$$

(3)式中, β 为所测噪声的峰度, $V_{CNE'}$ 为峰度调整后的 CNE,可用于衡量非稳态噪声的暴露量,评价非稳态噪声导致的听力损失。

2.2 峰度调整噪声强度 $L_{Aeq,8h}$

Goley 等^[9]曾提出峰度调整噪声强度 $L_{Aeq,8h}$ 的方案,直接给 $L_{Aeq,8h}$ 增加含有峰度的调整项 $\lg(\beta/3)$,调

整公式如下:

$$L'_{Aeq,8h} = L_{Aeq,8h} + \lambda \lg(\beta/3) \quad (4)$$

(4) 式中, β 为所测噪声的峰度值, $L'_{Aeq,8h}$ 为调整后的 $L_{Aeq,8h}$ 。 λ 为调整系数, 是一个正数常量, 需要通过大量噪声数据和听力损失数据的剂量-反应关系求得。根据 Goley 的研究, 由噪声导致的永久性听阈位移 (permanent threshold shift, PTS) 与噪声的 $L_{Aeq,8h}$ 可得简单线性回归方程 [公式(5)]。同理, 假设 PTS 与 $L'_{Aeq,8h}$ 也可得到类似的简单线性回归方程, 并将公式(4)代入, 则得到一个含有 $L_{Aeq,8h}$ 和 $\lg(\beta/3)$ 的方程 [公式(6)]。而该方程实际上就是以 PTS 为应变量, 以 $L_{Aeq,8h}$ 和 $\lg(\beta/3)$ 为自变量的多元回归方程 [公式(7)], 所以 λ 就是 $\lg(\beta/3)$ 的偏回归系数和 $L_{Aeq,8h}$ 偏回归系数两者之商 ($\lambda = b_B/b_A$)。

当噪声类型为非稳态噪声时, 峰度大于 3, 则 $\lambda \lg(\beta/3)$ 大于 0, 相当于增加了噪声的 $L_{Aeq,8h}$ 。例如, 当用峰度计测得劳动者接触的噪声峰度等于 15, 则相当于 $L_{Aeq,8h}$ 增加了 0.7λ 。 $L_{Aeq,8h}$ 的增大是将噪声时域结构纳入测量指标的反映, 使得非稳态噪声暴露的测量更接近真实。

$$V_{PTS} = b_0 + b_1 L_{Aeq,8h} + \varepsilon \quad (5)$$

$$V_{PTS} = b_0 + b_1 L_{Aeq,8h} + b_2 \lg(\beta/3) + \varepsilon \quad (6)$$

$$V_{PTS} = b_0 + b_A L_{Aeq,8h} + b_B \lg(\beta/3) + \varepsilon \quad (7)$$

其中, ε 为随机误差, 且 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。

3 适用对象

稳态噪声测量仍依照现有的稳态噪声测量方法, 本文介绍的峰度调整方法是针对工业中的非稳态噪声, 所以适用对象为接触非稳态噪声的劳动者。稳态噪声的峰度值等于 3, 然而在实际的工业生产中, 稳态噪声环境少, 峰度为 3~10 的准稳态噪声环境多, 其能量分布接近正态分布。稳态/准稳态噪声的典型工种有造纸行业的制浆工、纺织行业的纺纱工等, 非稳态噪声的典型工种有家具厂的枪钉工、金属制造业的焊工、锻工、冲压工等^[12]。

Qiu 等^[20]在进行动物实验时发现, 当 L_{Aeq} 达到很高水平时 [例如大于 95 dB(A)] 时非稳态噪声与稳态噪声造成的听力损失无明显差异。Zhang 等^[7]也发现, 随着噪声强度和工龄的增加, 非稳态噪声与稳态噪声造成听力损失的差异也逐渐减弱, 当噪声强度大于 94 dB(A) 而工龄超过 10 年时, 峰度小于 75 的非稳态噪声导致的听力损失与稳态噪声所造成的趋向一致。此外, 研究人员还发现, 当噪声的 L_{Aeq} 小于 70 dB(A) 时,

噪声峰度的大小与听力损失无关。这表明在噪声能量很高或很低的情况下, 噪声能量对听力损失的作用远大于时域结构, 峰度作为辅助参量参与评估非稳态噪声所致听力损失有一定的适用范围, 只有在一定的强度范围内才能起到显著作用, 即峰度作用阈值。目前关于峰度作用阈值的人群研究较少, 要进一步证明基于峰度调整的非稳态噪声测量方法的有效性, 还需要开展大规模人群调查研究峰度作用阈值。

4 仪器要求

稳态噪声只需测量 $L_{Aeq,8h}$, 使用 2 型或以上、具有 A 计权、“S(慢)”档的声级计或个人噪声剂量计即可。非稳态噪声则不仅需要测量 $L_{Aeq,8h}$, 还需要测量峰度。许多文献^[7,10,12]报道应用了特定的噪声剂量计记录声波, 该仪器具有频率计权 A、时间计权 F, 使用“预极化 1/4 英寸自由场型测试电容传声器”(1 英寸=2.54 cm), 录音精度为 48 kHz/32 bit, 灵敏度高 ($2.24 \text{ mV} \cdot \text{Pa}^{-1}$)。噪声强度测量范围为 40~141 dB(A), 频率范围为 20 Hz~20 kHz。根据谢红卫^[22]和 Zhang^[12]等学者的报道, 他们采用能记录声波的特定噪声剂量计先录下劳动者整个班次接触到的噪声, 之后由专业人员通过 MATLAB 软件编程分析噪声波形, 从而计算得到 $L_{Aeq,8h}$ 和峰度值。这种方法不能直接读数, 需要特定软件对声波进行分析, 在实际测量时仍存在一些不便。已有研发团队将峰度测量和计算的软件程序内嵌在噪声剂量计中, 在实测 $L_{Aeq,8h}$ 的基础上, 自动计算峰度调整噪声能量指标, 直接给出相应数值 ($L'_{Aeq,8h}$)。

计算峰度的程序中, 时间窗口设为 40~60 s, 窗口移动时不重叠。每个时间窗口可以得到一个峰度值, 将这些峰度的平均值作为该劳动者接触噪声的最终峰度值^[16]。Hamernik 等^[16]发现, 采用 40 s 或更长的时间窗口时, 得到的峰度达到一个稳定的值。Tian 等^[23]推荐 60 s 作为听力损失相关峰度计算的时间窗口长度, 因为其兼具了较好的计算性能和听力损失评估准确度。在噪声采样频率为 48 kHz 的条件下, 综合考虑了计算时效性、噪声动态特性的跟踪能力, 经过不同窗口长度对不同噪声暴露的计算对比, 最终选定计算窗口长度为 40~60 s。

5 测量步骤

5.1 现场调查

为正确选择测量仪器、测量方法和测量时间等, 在测量前需进行现场调查。通过现场勘察和询问的方

式,了解工作场所的面积、空间、工艺区划,调查噪声设备布局、工艺流程的划分、各生产程序的噪声特征、噪声变化规律,以及各岗位接触劳动者的数量、工作路线、工作方式、停留时间、工作班次等。现场调查需确保在正常生产状况下进行,并覆盖服务范围内全部工作场所,调查时间至少覆盖1个工作日。

在现场调查的同时,对接触噪声的劳动者开展工作日写实,应包括写实对象及其所在的岗位、工作日内从事的工作内容及活动的工作场所和接触噪声的时间及频率;每个作业岗位选择1~2名劳动者作为写实对象;对多条生产状况相同生产线的同类岗位,选择有代表性的1~2条生产线上的劳动者进行写实;对生产随意性大,每个工作日工作量和工作内容不稳定的岗位,应选择接触噪声强度最大、接触时间最长的劳动者进行工作日写实;对生产连续、稳定的作业岗位,或每个工作日生产状况相同的岗位,按1个工作日写实;对周期性生产作业的岗位,按生产周期写实。

在现场调查和工作日写实的基础上,制定噪声检测方案,绘制现场采样/测量点设置示意图。

5.2 仪器准备

稳态噪声需要测量劳动者接触噪声的 $L_{Aeq,8h}$ 。固定的工作岗位选用声级计,流动的工作岗位优先选用个体噪声剂量计,或对工作地点使用声级计分别测量,并计算 L_{Aeq} 。非稳态噪声不仅要测量 $L_{Aeq,8h}$,还要测量噪声的峰度,需要用到能记录声波的特定噪声剂量计。测量前应将仪器充好电,并准备好传声器的防风罩,以备在风速较大处使用。正式测量前根据仪器校正要求完成测量仪器的校正。

5.3 测量

正式测量之前,需对每个岗位噪声暴露情况进行预测量,判定噪声性质是属于稳态噪声[测量时间内声压级波动 $<3\text{ dB(A)}$]还是非稳态噪声,预测量时间为一个完整工艺流程。稳态噪声与非稳态噪声采用不一样的测量方法。预测量可以在现场调查时完成。

5.3.1 稳态噪声的测量 通过预测量确定为稳态噪声的,测量 $L_{Aeq,8h}$ 时,使用2型或以上的声级计并设置为A计权、“S(慢)”档,取值为声级(L_{pA})或 L_{Aeq} 。将声级计放置在三角架上,或手持声级计,但应保持测试者与传声器的间距 $>0.5\text{ m}$ 。传声器放置在劳动者耳部高度(站姿为 1.50 m ,坐姿为 1.10 m),指向声源方向。每个岗位测量3次,取平均值。流动岗位使用个体噪声剂量计。

5.3.2 非稳态噪声的测量 如“4 仪器要求”中介绍,峰

度可以通过录下噪声波形然后用MATLAB软件分析计算得到,也可以通过内置峰度测量和计算的噪声剂量计直接读出数值,因此非稳态噪声的测量也有相应的两种测量方法——“声波分析法”和“仪器直读法”。

(1) 声波分析法。该法采用能记录声波的特定噪声剂量计,夹在劳动者的衣领处,固定在肩部,保持在劳动者耳部高度。录音时将传声器竖起,充分暴露于噪声,先录下劳动者整个班次接触到的噪声。录音时应正常生产情况下进行。若风速超过 $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,传声器应戴防风罩,应尽量避免电磁场的干扰。录音完成之后,由专业人员通过MATLAB软件编程分析噪声波形,从而计算得到 $L_{Aeq,8h}$ 和峰度值,并计算峰度调整噪声能量指标(CNE' 或 $L'_{Aeq,8h}$)。

(2) 仪器直读法。该法采用内置峰度测量和计算的噪声剂量计,夹在劳动者的衣领处,固定在肩部,保持在劳动者耳部高度。测量时将传声器竖起,充分暴露于噪声。峰度是通过对每个时间窗口内的峰度取平均值而得出,峰度计的时间窗口为 $40\sim60\text{ s}$,为尽可能测量出真实噪声水平,非稳态噪声应至少测量 30 min ,但需涵盖一个完整的作业周期。测量应在正常生产情况下进行。若风速超过 $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,传声器应戴防风罩,应尽量避免电磁场的干扰。测量完成之后,通过仪器直接读出峰度值、实测 $L_{Aeq,8h}$ 值,或直接读出经峰度调整后的 $L'_{Aeq,8h}$ 值。该类型直读仪器的样机已经研发成功。

两种方法没有本质差别,均可以要求记录或分析劳动者整个班次接触的噪声。为了方便实际操作,仪器直读法要求涵盖一个完整的作业周期,至少测量 30 min 以上。

5.4 测量记录

测量记录应包括以下内容:测量日期、测量时间、气象条件(温度、相对湿度、风速)、仪器校准、测量地点(单位、厂矿名称、车间和具体测量岗位)、被测仪器设备型号和参数、测量仪器型号、噪声接触时长和测量时长、测量数据、峰度调整后数据、计算公式和过程、测量人员和陪同人员签名等。

6 讨论与展望

现有的噪声测量标准是基于“等能量学说”建立的,“等能量学说”的原理是噪声对听力的损害仅与噪声能量成正比,即不管何种类型的噪声,只要其能量相等,造成的听力损害都应该相同^[6]。而大量动物实验^[18-21, 24-25]和流行病学调查^[10-12]证明了,在相等噪声

能量的条件下,非稳态噪声的暴露比稳态噪声能产生更严重的听觉系统损害,这表明“等能量学说”并不适用于非稳态噪声。因此,现有的基于“等能量学说”的噪声暴露检测、评估标准也不适用于非稳态噪声。现有标准的问题在于并未考虑到非稳态噪声的时域结构对听力的影响,而单单用能量来描述噪声暴露,故并不能完全反映非稳态噪声导致的听力损失。非稳态噪声暴露的描述应该结合噪声的能量指标和时域结构指标,即本文中介绍的使用峰度调整噪声能量。

根据“等能量学说”,峰度调整可以有两种方案,一种是调整接噪时间 t ,另一种调整噪声强度($L_{Aeq,8h}$)。峰度调整接噪时间的方案已在人群研究中得到验证。Zhao 等^[11]分别收集了非稳态噪声暴露和稳态噪声暴露工人的噪声和听力数据,发现调整前两组工人的剂量-反应关系曲线存在显著差异,进行峰度调整后两曲线几乎重合。同样,Zhang 等^[12]研究发现在进行峰度调整前,非稳态噪声暴露者听力损失患病率比稳态噪声暴露者平均高 7.63%,而在峰度调整 CNE 后仅仅只高 1.12%。这表明峰度调整后使得不同类型的噪声在等能量条件下产生相等的效应,非稳态噪声性听力损失被低估的情况得到改善。Xie 等^[10]还分别建立 PTS 关于 CNE 和 CNE' 的多元线性回归方程,发现峰度调整使得方程的决定系数升高,且 CNE' 对回归的相对贡献增大,这也说明了峰度调整 CNE 在人群中的有效性。未来仍需开展样本量更大的人群研究,用更丰富的方法验证这一调整方案。

另一种调整方案——峰度调整 $L_{Aeq,8h}$ 相关的研究较少。Goley 等^[9]曾开展动物实验验证这一调整效果,发现峰度调整后显著提升了 L_{Aeq} 与听力损失之间的相关性,大大减小了对非稳态噪声性听力损失的低估。调整后的指标 $L'_{Aeq,8h}$ 能更真实地反映劳动者的噪声暴露量,与听力损失之间存在剂量-反应关系,符合“等能量学说”原理,且可以基于现有噪声标准修改来实现,科学性和操作性较强,有望为制定非稳态噪声的职业接触限值和测量标准制修订提供理论依据。在 Goley 的研究中,得到的调整系数 λ 为 4.02,是通过动物(南美栗鼠)实验收集的数据计算,结果不一定适合人类。将来可基于人群调查收集到的数据,来重新计算调整系数,预计会大于 4.02,这是因为南美栗鼠的听觉比人类灵敏。未来仍需要开展关于峰度调整 $L_{Aeq,8h}$ 的人群研究,充实人群数据库,以得到更准确的调整系数。本调整方法尚存一定不足之处:峰度调整的非稳态噪声测量方法存在作用阈值,但目前尚不明确;此外,峰

度调整的非稳态噪声测量标准体系尚不完善,也不利于此方法的推广应用。

参考文献

- [1] ZHOU J, SHI Z, ZHOU L, et al. Occupational noise-induced hearing loss in China: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ Open*, 2020, 10(9): e039576.
- [2] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 2019年我国卫生健康事业发展统计公报[EB/OL]. [2021-05-27]. <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/s10748/202006/ebfe31f24cc145b198dd730603ec4442.shtml>. National Health Commission of the People's Republic of China. Statistical bulletin on health development in China in 2019[EB/OL]. [2021-05-27]. <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/s10748/202006/ebfe31f24cc145b198dd730603ec4442.shtml>.
- [3] 聂武, 胡伟江. 船舶工业企业噪声危害调查[J]. *中国工业医学杂志*, 2016, 29(3): 167-170.
NIE W, HU WJ. Survey on noise hazard in shipbuilding industry[J]. *Chin J Ind Med*, 2016, 29(3): 167-170.
- [4] CHEN Y, ZHANG M, QIU W, et al. Prevalence and determinants of noise-induced hearing loss among workers in the automotive industry in China: A pilot study[J]. *J Occup Health*, 2019, 61(5): 387-397.
- [5] SUTER A H. Occupational hearing loss from non-Gaussian noise[J]. *Semin Hear*, 2017, 38(3): 225-262.
- [6] 邱伟, 张美辨, 徐维超, 等. 峰度在评估复杂噪声所引起听力损失中的应用[J]. *中华耳科学杂志*, 2016, 14(6): 701-707.
QIU W, ZHANG MB, XU WC, et al. The application of the kurtosis metric in evaluating hearing trauma from complex noise exposures[J]. *Chin J Otol*, 2016, 14(6): 701-707.
- [7] ZHANG M, XIE H, ZHOU J, et al. New metrics needed in the evaluation of hearing hazard associated with industrial noise exposure[J]. *Ear Hear*, 2021, 42(2): 290-300.
- [8] ERDREICH J. A distribution based definition of impulse noise[J]. *J Acoust Soc Am*, 1986, 79(4): 990-998.
- [9] GOLEY GS, SONG WJ, KIM JH. Kurtosis corrected sound pressure level as a noise metric for risk assessment of occupational noises[J]. *J Acoust Soc Am*, 2011, 129(3): 1475-1481.
- [10] XIE HW, QIU W, HEYER NJ, et al. The use of the kurtosis-adjusted cumulative noise exposure metric in evaluating the hearing loss risk for complex noise[J]. *Ear Hear*, 2016, 37(3): 312-323.
- [11] ZHAO YM, QIU W, ZENG L, et al. Application of the kurtosis statistic to the evaluation of the risk of hearing loss in workers exposed to high-level complex noise[J]. *Ear Hear*, 2010, 31(4): 527-532.
- [12] ZHANG M, QIU W, XIE H, et al. Applying kurtosis as an indirect metric of noise temporal structure in the assessment of hearing loss associated with occupational complex noise exposure[J]. *Ear Hear*, 2021, 42(6): 1782-1796.
- [13] 陈辉, 蒋健敏, 张美辨, 等. 工业噪声测量指标研究进展[J]. *浙江预防医学*, 2016, 28(4): 376-379.
CHEN H, JIANG JM, ZHANG MB, et al. Research progress of industrial noise measurement index[J]. *Zhejiang J Prev Med*, 2016, 28(4): 376-379.
- [14] SHI Z, ZHOU J, HUANG Y, et al. Occupational hearing loss associated with non-Gaussian noise: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ear Hear*, 2021, 42(6): 1472-1484.