紧跟前沿，关注工作场所复杂噪声测量与评估技术研究

张美辨[1]，高向景[2]

1. 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所，北京 100050
2. 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

CC BY NC ND

DOI 10.11836/JEOM22003

摘要：

复杂噪声是工作场所主要噪声类型。与稳态噪声相比，复杂噪声可导致更严重的听力损失，现有的基于“等能量假说”的噪声测量与评估技术不完全适用于复杂噪声。本文介绍了工作场所噪声测量与评估技术现状、工作场所复杂噪声测量评估技术研究进展，建议从完善人群数据库、标准制修订、峰度调整的方法学、峰度相关的职业性听力损失发病特征四方面完善今后研究思路，同时对“工作场所复杂噪声测量与评估技术”专栏进行了介绍。

关键词：复杂噪声；非稳态噪声；测量；峰度；噪声性听力损失

Keeping abreast with cutting-edge measurement and assessment techniques for complex noise in the workplace

ZHANG Meibian[1], GAO Xiangjing[2] (1. National Institute of Occupational Health and Poison Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China; 2. Occupational Health and Radiation Protection Institute, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China)

Abstract:

Complex noise is the dominant type of noise in workplaces. It can cause more serious hearing loss than steady-state noise. The existing noise measurement and evaluation standards based on the "equal energy hypothesis" are not completely suitable for complex noise. This paper introduced the status quo of workplace noise measurement and assessment techniques, and the research progress of workplace complex noise measurement and assessment techniques. In terms of future research in this area, four proposals were made, including to improve associated population database, develop and revise noise-related standards, establish methodology of kurtosis adjustment, and identify the incidence characteristics of kurtosis-related occupational hearing loss. The paper also introduced the special column "Measurement and assessment techniques of complex noise in the workplace".

Keywords: complex noise; non-steady noise; measurement; kurtosis; noise-induced hearing loss

噪声性听力损失是一种渐进性感音神经性听力损失，已成为全球公共卫生问题。据世界卫生组织估计，10%的全球人群暴露于噪声污染，其中 5.3%遭受噪声导致的听力损失[1]。职业噪声暴露是成人听力损失的主要原因之一，约占 16%[2]。在我国，职业性噪声聋已成为继尘肺病之后的第二大职业病[3]。2010—2019 年期间，职业性噪声聋发病率每年以 18.68%的速度递增[4]。噪声按其时域结构可分为稳态噪声和非稳态噪声（又称复杂噪声或非高斯噪声）。复杂噪声由稳态噪声背景上叠加瞬态高能量的脉冲性噪声组成[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。复杂噪声与连续稳态噪声的不同之处在于其复杂的时域结构，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]。动物实验研究和职业流行病学研究表明，在相同噪声强度和频谱下，复杂噪声比稳态噪声诱发更大的听力损失；除了噪声能量水平，噪声能量的时域分布（时域结构）也是评估噪声性听力损失的一个重要因素[7–12]。

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（20210102）；浙江省医药卫生基金（2021KY120）

作者简介

张美辨（1977—），博士，主任医师，硕士生导师，现为中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所副所长；兼任第八届国家职业健康标准委员会副秘书长兼委员、第九届中华预防医学会劳动卫生与职业病分会常务委员、中国职业安全健康协会噪声与振动控制专业委员会副主任委员、中国听力基金会专家指导委员会噪声防控专委会副主任委员等社会职务。担任 *Frontiers in Public Health*、《环境与职业医学》《中国职业医学》《预防医学》《职业卫生与应急救援》等杂志编委，主要从事职业卫生领域研究工作。

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 2022-01-09
录用日期 2022-02-17

文章编号 2095-9982(2022)04-0353-04
中图分类号 R13
文献标志码 A

▸引用
张美辨，高向景. 紧跟前沿，关注工作场所复杂噪声测量与评估技术研究 [J]. 环境与职业医学，2022，39（4）：353-356.

▸本文链接
www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22003

Funding
This study was funded.

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

Ethics approval Not required
Competing interests None declared
Received 2022-01-09
Accepted 2022-02-17

▸ To cite
ZHANG Meibian, GAO Xiangjing. Keeping abreast with cutting-edge measurement and assessment techniques for complex noise in the workplace[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(4): 353-356.

▸ Link to this article
www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22003

1 工作场所噪声测量与评估技术现状

目前，国际噪声暴露标准（ISO 1999:2013，即 ISO 1999 标准的 2013 版本）和我国的噪声暴露测量标准（GBZ/T 189.8）均基于“等能量假说”，把噪声的能量［等效 A 声级（equivalent continuous A-weighted sound pressure level, L_{Aeq}）］作为唯一的测量和评估标准[13–14]。“等能量假说”的含义包括两方面：一是无论何种噪声类型，如果噪声 L_{Aeq} 是相同的，噪声暴露所导致的听力损失均是等效的；二是噪声对听力的等效作用基于 3 dB 时间交换率来描述，即噪声暴露的时间延长一倍，允许的接触限值应减少 3 dB。反之，如果噪声暴露强度增加 3 dB，那么允许的暴露时间应该减少一半。国内外噪声测量标准规定噪声测量的指标为 L_{Aeq}，使用声级计测量声压，根据等能量原理将实际工作时间内接触噪声强度规格化到 8 h 或 40 h L_{Aeq}，然后与工作场所噪声职业接触限值进行比较评价。我国、英国等多数国家将噪声职业接触限值 8 h 等效 A 声级（normalization of equivalent continuous A-weighted sound pressure level to a normal 8 h working day, $L_{Aeq,8\,h}$）设置为 85 dB(A)，作为听力保护计划强制水平。英国工作噪声控制规定将 80 dB(A) 作为听力保护计划行动水平；美国职业安全与健康管理局规定工人暴露的噪声水平大于 85 dB(A)时，用人单位必须执行听力保护计划[13, 15]。

复杂噪声在职业环境中很常见。由于复杂噪声中含有脉冲成分，如何准确定量职业性复杂噪声暴露具有挑战性。由于对具有脉冲成分的噪声具有“削峰效应”，不能捕捉峰值变化，传统的噪声测量技术（使用噪声剂量计或声级计）不适用于复杂噪声的测量[16]。此外，这些传统的噪声测量方法不能反映噪声的时域结构。对于单个脉冲噪声，通常建议测量以下参数：峰值、上升和衰减时间、脉冲持续时间[17]。研究表明噪声峰度对上述三个变量非常敏感，可间接反映复杂噪声的时域结构[8]。已有人群证据显示，现有的 ISO 1999 预测模型对复杂噪声导致永久性听阈位移（noise-induced permanent threshold shift, NIPTS）低估了 13.6 dB（听力级）[11]。因此，为了正确测量和评估复杂噪声，基于噪声峰度指标对现有的噪声测量和评估方法进行调整或纠正是本研究领域一个前沿动态。

2 工作场所复杂噪声测量评估技术研究进展

现有的噪声暴露及风险评估方法是基于连续稳态噪声所致的听力损失数据。研究表明，复杂噪声会比稳态噪声导致更严重的听力损失[18–20]。针对我国职业人群噪声性听力损失的一项综述分析显示，接触非稳态噪声的职业人群高频听力损失的患病率为 34.5%，明显高于稳态噪声组（25.6%）[21]。接触高峰度水平噪声的制造业工人比接触低峰度水平噪声的工人遭受更严重的高频听力损失[22]。以上研究表明有必要应用峰度对噪声能量指标进行调整，以准确定量不同噪声类型的职业暴露水平。

峰度（kurtosis）是四阶中心矩除以二阶矩，是一个能间接反映噪声时域结构的敏感指标[23]。已有动物研究发现，在相同的噪声暴露水平下，峰度可以区分不同时域结构噪声所致的听力损失程度，而这些发现也被随后的流行病学调查数据所证实[8–9, 11, 24]。目前，峰度作为噪声能量的辅助参量用于评估噪声性听力损失有两种方法。一种是通过峰度修正噪声暴露时间，来校正噪声累积暴露量（cumulative noise exposure, CNE），进而评估听力损失。这一联合指标的有效性已在人群中得到验证。Zhao 等[12]发现经峰度对 CNE 进行调整后，非稳态噪声组的剂量-反应曲线与稳态噪声组的剂量-反应曲线几乎重合。同样，Zhang 等[22]研究发现在峰度调整 CNE 前，复杂噪声暴露人群的高频听力损失患病率比稳态噪声暴露人群平均高 7.63%，而经峰度调整后，两组听力损失患病率差异仅为 1.12%。这些结果表明峰度调整后复杂噪声性听力损失被低估的程度得到了改善。Xie 等[10]通过建立 NIPTS与 CNE 的多元线性回归方程，发现峰度调整后 CNE 对听力损失的贡献程度增大，这也说明了峰度调整 CNE 对评估职业性听力损失的有效性。另一种方法是通过峰度修正噪声强度。Goley 等[25]提出了利用峰度调整噪声 L_{Aeq} 的方法，分析了动物实验数据，发现峰度调整后的指标 L'_{Aeq} 能更准确反映动物的噪声暴露量，显著提升了 L_{Aeq} 与听力损失之间的相关性，复杂噪声相关的听力损失低估现象得到改善。由于动物与人的听觉系统对噪声的敏感性不同，因此 Goley 模型中调整系数 λ 的数值可能不适用于人类，有必要通过人群流行病学调查获得适用于接触噪声职业人群的调整系数。目前，国际标准组织已经启动噪声暴露标准 ISO 1999:2013 的修订程序，将采纳峰度对 L_{Aeq} 的调整方法。中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所组织实施了职业健康标准前期研究项目“基于峰度的噪声职业接触限值及其测量标准修订”，研究成果将为我国职业噪声测量和评估相关标准的制修订提供科学依据。

本期专栏介绍了研究团队对工作场所复杂噪声测量与评估技术的相关研究成果，包括对职业性噪声聋发病趋势及高频听力损失患病规律进行分析[26]，对非稳态噪声导致职业性听力损失进行了系统性综述[27]，评估峰度调整不同噪声能量指标（L_{Aeq}、CNE）对定量评估复杂噪声暴露及其所致听力损失的适用性[28–29]，介绍基于峰度调整的工作场所非稳态噪声的测量方法[30]。上述研究既有基于国内外研究进展的文献综述，也有重点职业病监测数据的统计分析和职业人群横断面调查研究，可为我国基于噪声时域结构的职业性噪声测量和评估方法的建立奠定基础。

3 今后研究思路

复杂噪声是工作场所的主要噪声类型，现有的噪声测量和评估标准不完全适用于复杂噪声。峰度作为一个敏感的针对复杂噪声暴露的时域结构指标，可作为噪声能量指标的辅助参量来有效评估职业性听力损失。可考虑从以下几个方面开展研究工作。

（1）人群数据库的建立完善。通过大规模的、设计良好的流行病学调查来建立和完善人群数据库。数据库应涵盖高、中、低峰度水平的噪声暴露数据，并尽量纳入不同噪声危害行业及其主要工种。另外，还需要考虑我国普通人群的听阈水平基础值。

（2）职业性噪声测量和评估标准的制修订。通过人群数据分析，可以重建基于峰度和噪声能量联合指标的复杂噪声剂量-反应（效应）关系，建立更加科学的噪声测量方法和听力损失预测模型，从而制修定相应国家标准。

（3）峰度调整噪声强度的方法学研究。峰度直接修正噪声强度的方法在动物实验方面已经得到证实，但尚未得到人群调查数据的验证和修正。因此，有必要通过人群流行病学资料重新计算调整系数，并验证峰度调整噪声强度的新指标在职业性听力损失评估中的适用性和有效性。

（4）噪声时域结构对职业性听力损失发病特征的影响研究。噪声时域结构是职业性听力损失的一个危险因素，时域结构对职业性听力损失的发病特征会产生影响，例如高频听阈凹陷特征、不同频率的最大听阈位移、与暴露工龄相关的听力损失发病周期或潜伏期等均会发生变化。加强这些与噪声时域结构相关的职业性听力损失发病特征和发病规律研究，对职业性听力损失或噪声聋的诊断、早期预防和听力保护计划完善具有重要意义。

参考文献

[1] World Health Organization. Prevention of blindness and deafness and grades of hearing impairment[R]. Geneva: World Health Organization, 2020.

[2] BEYAN A C, DEMIRAL Y, CIMRIN A H, et al. Call centers and noise-induced hearing loss[J]. Noise Health, 2016, 18(81): 113-116.

[3] 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[R]. 北京: 国家卫生健康委员会, 2020.
National Health Commission. 2019 statistical bulletin of China's health development[R]. Beijing: National Health Commission, 2020.

[4] SUN X. Occupational Noise Exposure and Worker's Health in China[J]. China CDC Weekly, 2021, 3: 375-377.

[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): 700-707.
QIU W, ZHANG M B, XU W C, et al. The application of the kurtosis metric in evaluating hearing trauma from complex noise exposures[J]. Chin J Otol, 2016, 14(6): 700-707.

[7] QIU W, HAMERNIK R P, DAVIS B. The kurtosis metric as an adjunct to energy in the prediction of trauma from continuous, nonGaussian noise exposures[J]. J Acoust Soc Am, 2006, 120(6): 3901-3906.

[8] QIU W, HAMERNIK R P, DAVIS R I. The value of a kurtosis metric in estimating the hazard to hearing of complex industrial noise exposures[J]. J Acoust Soc Am, 2013, 133(5): 2856-2866.

[9] DAVIS R I, QIU W, HAMERNIK R P. Role of the kurtosis statistic in evaluating complex noise exposures for the protection of hearing[J]. Ear Hear, 2009, 30(5): 628-634.

[10] XIE H W, WEI Q, HEYER N J, 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] 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, 2020, 42(2): 290-300.

[12] ZHAO Y M, 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.

[13] Acoustics—determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment: ISO 1999: 1990[S]. Geneva: ISO, 1990.

[14] 工作场所物理因素测量 第8部分: 噪声: GBZ/T 189.8—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
Measurement of physical agents in workplace Part 8: noise: GBZ/T 189.8—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.

[15] Office US. The control of noise at work regulations[R]. UK: The Stationery Office Limited, 2005: 16.

[16] DAVIS R R, CLAVIER O. Impulsive noise: a brief review[J]. Hear Res, 2017, 349: 34-36.

[17] HENDERSON D, HAMERNIK R P. Impulse noise: critical review[J]. J Acoust Soc Am, 1986, 80(2): 569-584.

[18] DUNN D E, DAVIS R R, MERRY C J, et al. Hearing loss in the chinchilla from impact and continuous noise exposure[J]. J Acoust Soc Am, 1991, 90(4): 1979-1985.

[19] HAMERNIK R P, QIU W. Energy-independent factors influencing noise-induced hearing loss in the chinchilla model[J]. J Acoust Soc Am, 2001,

110(6): 3163-3168.

[20] HAMERNIK RP, QIU W, DAVIS B. Hearing loss from interrupted, intermittent, and time varying non-Gaussian noise exposure: the applicability of the equal energy hypothesis[J]. J Acoust Soc Am, 2007, 122(4): 2245-2254.

[21] 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.

[22] 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.

[23] ERDREICH J. A distribution based definition of impulse noise[J]. J Acoust Soc Am, 1986, 79(4): 990-998.

[24] HAMERNIK RP, QIU W, DAVIS B. The effects of the amplitude distribution of equal energy exposures on noise-induced hearing loss: the kurtosis metric[J]. J Acoust Soc Am, 2003, 114(1): 386-395.

[25] 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.

[26] 邹华, 方兴林, 周莉芳, 等. 2006—2020年浙江省职业性噪声聋报告病例特征分析[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(4): 357-361.
ZOU H, FANG XL, ZHOU LF, et al. Characteristics of occupational hearing loss in Zhejiang Province from 2006 to 2020[J]. J Environ Occup Med, 2022, 39(4): 357-361.

[27] 施志豪, 辛佳芮, 周洁娜, 等. 中国制造业非稳态噪声性听力损失的meta分析[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(4): 382-390.
SHI ZH, XIN JR, ZHOU JN, et al. Noise-induced hearing loss associated with non-Gaussian noise in manufacturing industry of China: A systematic review and meta-analysis[J]. J Environ Occup Med, 2022, 39(4): 382-390.

[28] 辛佳芮, 施志豪, 陈莹琦, 等. 应用峰度调整噪声累积暴露量新指标评估家具制造工人的职业性听力损失[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(4): 367-373.
XIN JR, SHI ZH, CHEN YQ, et al. Applying kurtosis-adjusted cumulative noise exposure to assess occupational hearing loss among furniture manufacturing workers[J]. J Environ Occup Med, 2022, 39(4): 367-373.

[29] 高向景, 任鸿, 袁伟明, 等. 峰度调整噪声等效A声级对评估非稳态噪声导致职业性听力损失的作用[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(4): 374-381.
GAO XJ, REN H, YUAN WM, et al. Applying kurtosis-adjusted equivalent continuous A-weighted sound pressure level to evaluate risk of occupational hearing loss associated with non-steady state noise[J]. J Environ Occup Med, 2022, 39(4): 374-381.

[30] 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.
HU Y, SHI ZH, GAO XJ, et al. Measuring method of occupational non-Gaussian noise exposure based on kurtosis adjustment[J]. J Environ Occup Med, 2022, 39(4): 362-366,381.

(**英文编辑**: 汪源; **责任编辑**: 陈姣, 王晓宇)

· 告知栏 ·

关于假冒《环境与职业医学》编辑相关诈骗邮件和微信的声明

近期发现有个人或机构通过电子邮件和微信冒用《环境与职业医学》编辑身份，以组稿或确认稿件信息等名义，请求添加作者的微信；以稿件转让为由，广发邮件进行诈骗，涉及学术不端行为。此类行为严重侵犯本刊的学术声誉，我们对此表示深恶痛绝。本刊严正声明，《环境与职业医学》杂志是一本优秀的学术期刊，绝无此类买卖稿件等有损学术声誉的行为。希望广大作者和专家不要上当受骗。

另外，我们也特此郑重声明：本刊编辑不会以私人微信添加作者帐号，所有编辑均使用以 scdc.sh.cn 为后缀的邮箱，请作者务必注意甄别。

本刊网址：www.jeom.org；微信公众号：环境与职业医学；E-mail：jeom@scdc.sh.cn；电话：021-62084529!

提醒：不要轻易点开网址链接，不要扫码或添加来路不明的微信号，不要向假冒个人或机构转账或发送稿件。如有疑问，请及时与编辑部沟通确认。

《环境与职业医学》编辑部

2022 年 4 月 25 日