

中国制造业非稳态噪声性听力损失的 meta 分析

施志豪¹, 辛佳芮², 周洁娜³, 周莉芳³, 高向景³, 张美辨⁴

1. 宁波大学医学院, 浙江 宁波 315211
2. 杭州师范大学医学部, 浙江 杭州 310051
3. 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
4. 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 北京 100050



DOI [10.11836/JEOM21264](https://doi.org/10.11836/JEOM21264)

摘要：

[背景] 非稳态噪声已成为工业中最常见的噪声类型, 然而对非稳态噪声暴露及其相关的噪声性听力损失(NIHL)流行病学特征仍了解不足, 相关综述极少。

[目的] 总结中国制造业非稳态噪声相关的听力损失流行病学特征, 为职业噪声性听力损失的早期防控提供依据。

[方法] 检索有关中国制造业中非稳态噪声性听力损失的中英文文献; 根据各研究中的听力损失患病率数据, 统计合计患病率; 对带有稳态噪声对照组的研究作 meta 分析, 计算合并 OR 值以比较非稳态噪声与稳态噪声对听力损失的影响差异, 并通过绘制漏斗图、作 Egger 回归进行发表偏倚评价, 依次剔除文献作敏感性分析。

[结果] 共纳入 37 篇横断面研究, 共涉及 25 055 名接触非稳态噪声的中国制造业工人, 其中男性占 92.5%, 年龄为(32.7±9.6)岁, 接触噪声工龄为(6.8±4.9)年, 噪声暴露水平为(87.0±4.2) dB(A), 累积噪声暴露量(CNE)为(95.9±8.0) dB(A)·年。非稳态噪声接触工人的高频和语频听力损失患病率分别为 29.0% 和 14.2%。19 篓带有稳态噪声对照组的横断面研究的 meta 分析显示, 非稳态噪声组与稳态噪声对照组相比, 年龄、工龄、等效 A 声级(L_{Aeq})和 CNE 差异没有统计学意义, 而对高频听力损失影响的合并 OR 值为 1.87(95%CI: 1.46~2.41), 有统计学意义; 漏斗图对称性较好, Egger 回归结果显示 $t=-0.11$, $P=0.910$ (>0.05), 表明本次 meta 分析不存在发表偏倚; 敏感性分析显示结果变化不大, 表明结果较稳健。

[结论] 中国制造业中噪声作业工人以男性青壮年为主, 长期接触高水平有害的非稳态噪声, 听力损失患病率高, 相对于接触稳态噪声的工人, 会遭受更严重的听力损失。

关键词： 非稳态噪声 ; 听力损失 ; 制造业工人 ; 职业暴露 ; meta 分析

Noise-induced hearing loss associated with non-Gaussian noise in manufacturing industry of China: A systematic review and meta-analysis SHI Zhihao¹, XIN Jiarui², ZHOU Jienan³, ZHOU Lifang³, GAO Xiangjing³, ZHANG Meibian⁴ (1. School of Medicine, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China; 2. School of Medicine, Hangzhou Normal University, Hangzhou, Zhejiang 310051, China; 3. Occupational Health and Radiation Protection Institute, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China; 4. National Institute of Occupational Health and Poison Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China)

Abstract:

[Background] Non-Gaussian noise has become the dominant noise type in industry. However, the epidemiological characteristics of non-Gaussian noise exposure and associated noise-induced hearing loss (NIHL) are still unclear.

[Objective] To summarize the epidemiological characteristics of NIHL associated with non-Gaussian noise in manufacturing industry in China and provide a basis for the early prevention and control of occupational hearing loss.

[Methods] Chinese and English literature on hearing loss associated with non-Gaussian noise in China were retrieved. The overall prevalence was calculated based on the prevalence data

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@nioph.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(2019 KY057); 浙江省医药卫生基金(2021KY120)

作者简介

施志豪(1996—), 男, 硕士生;
E-mail: 1658766908@qq.com

通信作者

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

伦理审批 不需要
利益冲突 无申报
收稿日期 2021-06-13
录用日期 2021-08-02

文章编号 2095-9982(2022)04-0382-09
中图分类号 R13
文献标志码 A

▶引用

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.

▶本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21264

Funding

This study was funded.

Correspondence to

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

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2021-06-13

Accepted 2021-08-02

▶To cite

SHI Zhihao, XIN Jiarui, ZHOU Jienan, et al. Noise-induced hearing loss associated with non-Gaussian noise in manufacturing industry of China: A systematic review and meta-analysis[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(4): 382-390.

▶Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21264

provided by each included study. A meta-analysis of studies with Gaussian noise as a control group was also performed and the overall weighted odds ratio (*OR*) was calculated to compare the effects of non-Gaussian noise and Gaussian noise on hearing loss. Publication bias was evaluated by funnel plot and Egger regression, and a sensitivity analysis was performed by eliminating references in turn.

[Results] A total of 37 cross-sectional studies involving 25 055 Chinese manufacturing workers exposed to non-Gaussian noise were included, 92.5% of whom were male. These workers aged (32.7±9.6) years were exposed to non-Gaussian noise at (87.0±4.2) dB(A) for (6.8±4.9) years. The mean cumulative noise exposure (CNE) was (95.9±8.0) dB(A)-year. The prevalence rate of high-frequency NIHL (HFNIHL) and speech-frequency NIHL (SFNIHL) were 29.0% and 14.2%, respectively. The results of the meta-analysis treating 19 cross-sectional studies with Gaussian noise as a control group showed that there were no significant differences in age, exposure duration, and equivalent continuous A-weighted sound pressure level (L_{Aeq}), and CNE between the non-Gaussian noise group and the Gaussian noise group. The overall weighted *OR* of HFNIHL was 1.87 (95%CI: 1.46–2.41), which was statistically significant. The funnel plot showed good symmetry and the result of Egger regression was $t=-0.11$, $P=0.910$ (>0.05), suggesting a low risk of publication bias in this meta-analysis. The sensitivity analysis showed no significant changes of results after eliminating references in turn, indicating that the results were robust.

[Conclusion] Chinese manufacturing workers, mainly young adult males, are exposed to non-Gaussian noise at high levels for a long time and have a high prevalence of NIHL. Compared to workers exposed to Gaussian noise, those exposed to non-Gaussian noise suffer from more serious hearing loss.

Keywords: non-Gaussian noise; hearing loss; manufacturing worker; occupational exposure; meta-analysis

噪声是导致听力损失最常见的危险因素之一,16%的致残性听力损失是因为职业噪声暴露引起^[1]。随着工业化进展,职业噪声性听力损失(occupational noise-induced hearing loss, NIHL)逐渐成为一个全球性公共卫生问题。据统计我国职业接噪人群 NIHL 患病率在 20%以上^[2-3]。近年来,职业性噪声聋已成为仅次于尘肺病的第二大职业病^[4]。在各行业中,制造业 NIHL 患病风险最高,美国 72%以上的 NIHL 发生在制造业中^[5],我国患 NIHL 的工人主要来自一些典型的制造业^[3]。

随着工业化程度提升,噪声源呈现多样性,产生的噪声更具脉冲性,加上工作场所复杂的声学环境,使得非稳态噪声成为最常见的工业噪声类型^[6]。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^[6],是除稳态噪声类型以外所有噪声类型的总和,包含脉冲噪声。国内研究团队通过记录噪声波形发现了汽车制造等制造业大多数工种的噪声是非稳态噪声类型^[7]。动物实验和一些流行病学研究发现,因为其特殊的时域结构,非稳态噪声导致的听力损失比稳态噪声更严重^[8-12]。应用现有的噪声测量和评估标准可能会低估非稳态噪声导致的听力损失。

目前国内关于制造业非稳态噪声所致 NIHL 研究的综述较少,对非稳态噪声暴露及其导致的听力损失流行病学特征了解不足。本研究旨在回顾相关横断面研究,用 meta 分析的方法,探究我国制造业工人接触非稳态噪声的暴露特点,分析职业性听力损失的流行病学特征,为我国制造业 NIHL 的早期防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 文献检索

在三大中文数据库(中国知网、维普、万方)和英文数据库 Pubmed 中检索已发表的有关中国制造业非稳态噪声所致听力损失的横断面研究。检索语言仅为中文及英文,检索时间为建库至 2021 年 4 月 20 日。为确保检索全面,以“非稳态噪声”及其近义词为关键词检索(每个关键词之间以 OR 连接),以“听力”为主题词检索,并用 AND 连接词对两次检索历史进行合并。此外,通过参考文献追溯等其他方法,补充未检索到的符合纳入标准的文献。中文检索词为“非稳态噪声”“复杂噪声”“工业噪声”“职业噪声”“脉冲噪声”和“听力”,英文检索词为“non-Gaussian noise” “complex noise” “industrial noise” “occupational noise” “impulse noise” “impact noise” 和 “hearing”。根据纳入和排除标准,最终共有 37 篇文献被纳入研究,检索过程见图 1。

1.2 纳入和排除标准

纳入标准: (1)包括针对中国制造业工人进行的横断面调查研究,不包括其他行业(军事、交通、音乐、采矿、建筑等)。考虑到我国针对制造业非稳态噪声听力损失的队列研究甚少,本次研究不纳入队列研究和其他研究类型的文献。(2)结局指标至少包含高频听力损失(high-frequency noise-induced hearing loss, HFNIHL)患病率或语频听力损失(speech-frequency noise-induced hearing loss, SFNIHL)患病率中的一项。(3)受试者有明确的非稳态噪声暴露史,即应至少满足以下一项: ①研究中明确说明受试者所暴露噪声为“非稳态噪声”或“复杂噪声”或“脉冲噪声”。②研究

中采用峰度指标描述噪声的时域结构,且噪声的平均峰度值 ≥ 10 ,或峰度中位数 ≥ 4 。峰度是一个可以反映随机变量的分布偏离高斯分布的统计量,即峰度可以描述噪声的脉冲性,峰度越大,说明非稳态噪声的脉冲性越高^[13]。根据 Davis 等^[10]的研究,平均峰度值 ≥ 10 ,或峰度中位数 ≥ 4 是非稳态噪声区别于稳态噪声的较好定义。^③满足以上两个条件之一的研究所涉及的工种可以认为是暴露于非稳态噪声,若有研究涉及相同的工种,则也可认为是暴露于非稳态噪声。

排除标准:(1)排除仅以听力测试听阈值为唯一结局或以听力损失耳朵数量代替听力损失人数的研究;(2)排除受试者自述听力状况的研究;(3)排除噪声与其他有害因素联合暴露的研究;(4)排除数据有误或者有矛盾的研究;(5)排除书籍、会议论文、综述等。

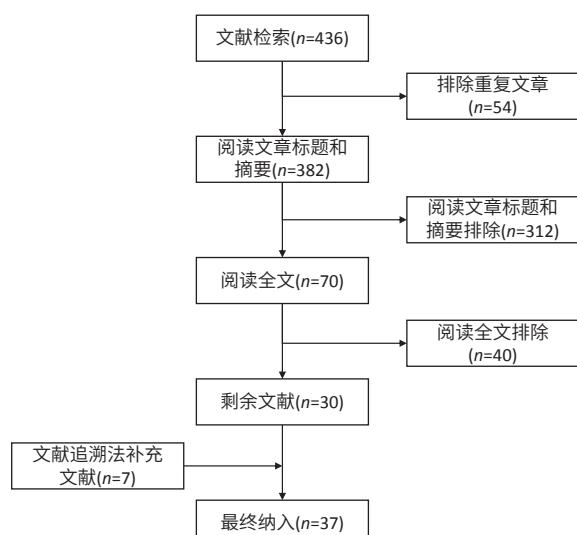


图 1 文献筛选流程
Figure 1 Literature screening process

1.3 文献质量评价

依据澳大利亚乔安娜(Joanna Briggs Institute, JBI)循证卫生保健中心针对横断面研究的推荐量表^[14],从研究对象、疾病、影响因素和混杂因素的测量及资料分析等 8 个条目评价纳入研究的文献质量,每个条目采用是、否、不清楚及不适用进行判定。“是”记 1 分,“否”“不清楚”及“不适用”记 0 分,认为不少于 5 分为高质量,少于 5 分为低质量。

1.4 数据整理和统计分析

使用 Endnote X7 进行文献管理,使用 Excel 2019 进行数据整理。提取文献中研究对象的基本信息(年龄、性别、工龄、行业、工种、听力保护设备佩戴状况等)、噪声暴露特征 [等效 A 声级 (equivalent

continuous A-weighted sound pressure level, L_{Aeq}) 和累积噪声暴露量(cumulative noise exposure, CNE)] 以及结局指标(总人数、HFNIHL 患病数、SFNIHL 患病数)。连续性变量(如年龄、工龄、 L_{Aeq} 、CNE)采用“平均值±标准差”描述,文中若未交代则采用“最小值~最大值”来描述。分类变量(如男性构成比、患病率)采用百分比(%)形式描述。CNE 是指把接噪工龄和噪声强度结合起来的综合指标,其计算公式为^[11]:

$$V_{CNE} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_{ref}} \sum_{i=1}^n (T_i \times 10^{L_{Aeq}/10}) \right] \quad (1)$$

(1)式中, V_{CNE} 是累积噪声暴露量, L_{Aeq} 是等效 A 声级, T_i 为接噪时间, n 为工人在工作中暴露的不同类型噪声的总个数, T_{ref} 为参考时间,通常取值 1 年。

运用 Stata 12.0 软件对非稳态噪声组与稳态噪声组进行 meta 分析,连续性变量的合并效应量指标采用加权均数差(weighted mean difference, WMD)和 95% 置信区间(95%CI),分类变量的合并效应量指标采用总体加权比值比(odds ratio, OR)和 95%CI。异质性检验采用 I^2 统计量评价,若 $I^2 \geq 50\%$,则可认为各研究间的异质性大,应选择随机效应模型进行分析,反之选择固定效应模型进行分析。采用漏斗图法定性判断发表偏倚,采用 Egger 回归法定量评价发表偏倚;依次剔除文献进行敏感性分析。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 与非稳态噪声相关的听力损失的流行病学特征

本研究共纳入 37 篇关于我国制造业非稳态噪声所致听力损失的横断面研究^[15-51],见表 1。这些研究共涉及 25 055 名接触非稳态噪声的工人,其中男性占 92.5%,平均年龄为(32.7±9.6)岁,接触噪声时长为(6.8±4.9)年。这些工人所暴露噪声的 L_{Aeq} 为(87.0±4.2) dB(A),最低为 78.5 dB(A),最高为 129.0 dB(A)。CNE 为(95.9±8.0) dB(A)·年。非稳态噪声接触工人的 HFNIHL 患病率和 SFNIHL 患病率分别为 29.0%、14.2%。在这些研究中有 10 篇研究的工人听力防护设备(hearing protection device, HPD)佩戴情况差,企业没有给工人配备 HPD 或工人没有佩戴 HPD;有 5 篇研究的工人 HPD 佩戴情况中等,原因包括企业没有配备足额的 HPD,或者部分工人佩戴不规范(即佩戴方法不正确或佩戴时间不能完全覆盖噪声接触时间);有 5 篇研究中工人 HPD 佩戴情况较好;其余 17 篇研究未提及 HPD 佩戴情况。

表 1 纳入研究的基本信息和统计结果
Table 1 Basic characteristics and statistical results of included studies

文献序号	企业类型	工种	研究对象			噪声暴露			<i>n</i>	HFNHL患病率/%	SFNIHL患病率/%
			年龄/岁	男性比例/%	工龄/年	HPD佩戴	$L_{Aeq}/dB(A)$	CNE/[dB(A)·年]			
[15]	汽车厂	冲压工、锻压工	—	—	—	—	96.0	—	66	59.1	40.9
[16]	车辆制造厂	机械加工	35.1±7.2	37.5	12.3±7.1	差	—	103.2±4.2	32	68.8	—
[17]	钢铁厂	—	38.1±7.5	100.0	13.0±8.0	差	93.6±5.7	103.6±7.2	178	48.3	—
[18]	锻压毛坯制造厂	锻压工	32.9±5.5	100.0	—	—	95.2±3.9	97.0±6.4	38	55.3	—
[19]	船舶工业	预处理工、切割工、电焊工、打磨工、碳刨工、埋弧焊工、冷加工操作工、冲砂工、轮机检验工	40.4±8.8	90.2	7.7±3.8	中	80.5~112.1	—	3 260	11.8	15.2
[20]	电子企业	冲压工	—	—	—	—	100.0~114.0	—	120	54.2	18.2
[21]	锻造厂	锻工	33.7	—	4.2	差	102.0~129.0	—	272	26.1	—
[22]	电缆厂、钢结构厂、电器生产工厂、机械加工	—	36.2±6.5	100.0	5.3±5.4	好	—	—	500	51.4	—
[23]	机械加工、钢构、家用电器生产	焊接、冷作、打磨、冲压、锻工	35.1±7.5	100.0	5.2	好	—	—	571	52.5	—
[24]	纺织袋生产、厨卫用具生产、水泥厂、机电、管道生产	—	—	—	11.1±7.0	—	91.9±4.9	96.0±6.0	277	49.8	—
[25]	水力发电设备生产	铲磨工、冲压工、焊工、铆工	36.1±7.6	100.0	19.5±4.2	中	—	—	212	30.7	—
[26]	五金加工厂	冲压工	27.5±5.7	59.3	2.6±2.6	—	89.2±2.8	92.0±3.9	442	44.3	—
[27]	锅炉制造厂	焊工、铆工、钳工等	32.6±9.7	—	4.8±2.8	差	100.0	—	120	59.2	15.0
[28]	机械行业	冲压工、锻工、铆工	30.6±8.8	86.7	10.1±8.2	差	90.5~102.1	104.8±5.0	271	79.3	39.1
[29]	机械行业	锻压、打磨、切割、焊接、抛光等	35.5±7.9	87.8	4.8±5.5	差	94.8±9.3	99.7±9.7	204	59.3	17.2
[30]	金属加工业	—	—	—	—	—	—	92.4±6.5	558	41.4	—
[31]	汽车制造业	冲压工、铸造清理工、空压机运行工、汽机运行工等	35.5±7.6	65.7	11.1±7.8	差	84.4±7.8	92.4±8.4	706	59.8	9.1
[32]	轧钢厂、钢结构厂	轧钢、精整岗位和钻孔、拼装岗位	37.4±6.5	84.7	9.9±7.4	—	94.9±4.0	103.5±6.3	98	61.2	17.4
[33]	—	板金工、锤锻工、冲压工和铆焊工	—	—	—	差	—	—	553	62.4	6.7
[34]	—	锻压工、冲压工	—	—	11.4	—	—	—	410	64.9	—
[35]	—	板金作业工人	31.3±6.9	87.3	7.8±7.1	—	—	—	63	57.1	27.0
[36]	电子企业	数控机床作业员、冲床作业员、动力车间的巡检工和机加质检员	—	—	—	差	83.1~91.6	—	2 285	13.7	—
[37]	钢管制造厂	剪切对焊、高频焊接、精整、水压测试和涂敷防腐	29.8±2.4	100.0	7.6	—	89.6±9.7	97.3	106	28.3	—
[38]	轮胎制造厂	—	37.9±8.6	90.4	11.8±7.1	中	82.0~91.2	—	953	10.5	—
[39]	金属锻造加工企业	—	41.4	90.8	17.8	差	—	—	130	13.9	16.9
[40]	汽车制造业	—	22.4±3.0	100.0	4.3±3.0	中	85.6	—	3 241	15.7	—
[41]	饮料厂灌装生产线	—	29.9±5.5	—	5.3±3.7	—	78.5~89.6	—	154	20.8	—
[42]	金属加工企业	—	—	—	—	好	—	—	536	35.8	—
[43]	空调厂	机械冷式冲压串管	32.3	100.0	5.5	—	97.0	—	278	5.8	—
[44]	重钢动力厂	汽锤	—	—	—	—	—	—	50	64.0	32.0
[45]	—	冲压工	—	—	—	—	—	—	55	45.5	9.1
[46]	船厂	组立车间、内业车间	25.0±4.5	100.0	5.7±3.3	好	92.4±3.4	100.3±2.1	96	17.7	—

续表 1

文献序号	企业类型	工种	研究对象		噪声暴露			n	HFNIHL患病率/%	SFNIHL患病率/%
			年龄/岁	男性比例/%	工龄/年	HPD佩戴	$L_{Aeq}/dB(A)$			
[47]	船舶制造、机械制造	电焊工	32.4±7.5	94.6	10.0±6.5	好	81.9~100.7	—	913	48.3
[48]	—	—	—	—	—	—	—	—	130	34.6
[49]	钢铁厂	精整、剪切、轧钢	37.0	—	19.0	—	99.3±3.7	—	120	75.8
[50]	机械制造厂	冲压、粉碎、打磨	28.8	56.0	—	—	80.5~104.5	—	500	19.8
[51]	汽车制造业	冲压、焊接、打磨、动力总成、总装、铸造、模塑、金属切割、锻造、表面处理	18.0~63.0	96.4	5.2	中	86.0	80.1~120.1	6 557	28.8
合计	—	—	32.7±9.6 (18.0~63.0)	92.5	6.8±4.9	—	87.0±4.2 (78.5~129.0)(80.1~120.1)	95.9±8.0	25 055	29.0
										14.2

[注] “—”表示该文献未提及该项内容；“差”表示企业未配备 HPD 或工人未佩戴 HPD；“中”表示企业未配备足额的 HPD，或者部分工人佩戴不规范；“好”表示企业配备 HPD 且工人规范佩戴。连续性变量采用“平均值±标准差”或“最小值~最大值”来描述。

2.2 非稳态噪声与稳态噪声对听力损失影响的 meta 分析

在这 37 篇研究中有 19 篇以稳态噪声暴露工人作为对照组，比较了非稳态噪声与稳态噪声导致的听力损失大小。本研究采用随机效应模型对这 19 篓研究进行了 meta 分析，文献质量评价结果见表 2，meta 分析结果见表 3 及图 2。非稳态噪声组共 6 275 名工人，稳态噪声组 3 579 名工人，meta 分析结果显示两组间年龄差异没有统计学意义($P>0.05$)，而男性构成比差异有统计学意义($P<0.05$)，非稳态噪声组的男性构成比更高。噪声能量指标(接噪工龄、 L_{Aeq} 、CNE)在两组间差异均没有统计学意义($P>0.05$)。非稳态噪声对 HFNIHL($OR=1.87$, 95%CI: 1.46~2.41)的影响高于稳态噪声($P<0.05$)。对纳入的研究绘制漏斗图定性评价发表偏倚，见图 3，图形显示对称性尚好。同时作 Egger 回归进行定量评价，结果显示 $t=-0.11$, $P=0.910$ ，故尚不能认为纳入的文献存在发表偏倚。依次剔除文献进行敏感性分析后发现结果变化不大，说明本次 meta 分析结果较稳健，见图 4。

表 2 文献质量评价结果表

Table 2 Quality evaluation for included studies

第一作者(发表年份)	条目1	条目2	条目3	条目4	条目5	条目6	条目7	条目8	评分
郑建如(1996) ^[15]	0	0	1	1	1	0	1	1	5
Zhao Y M(2010) ^[16]	0	1	1	1	1	0	1	1	6
Xie H W(2016) ^[17]	1	1	1	1	1	1	1	1	8
张国英(2012) ^[18]	1	1	1	1	1	1	1	1	8
陶龙扣(1995) ^[20]	0	0	1	1	1	1	1	1	6
曾毅强(2018) ^[24]	0	1	1	1	1	1	1	1	7
张静(2010) ^[25]	0	1	1	1	1	0	1	1	6
祖爱华(2012) ^[26]	1	1	1	1	1	1	1	1	8
郑建如(1997) ^[28]	0	1	1	1	1	1	1	1	7
雷松(2019) ^[30]	1	1	1	1	1	1	1	1	8

续表 2

第一作者(发表年份)	条目1	条目2	条目3	条目4	条目5	条目6	条目7	条目8	评分
谢红卫(2014) ^[32]	0	1	1	1	1	1	1	1	8
丁茂平(1995) ^[33]	0	1	1	1	1	1	1	1	7
李旭春(2016) ^[36]	0	1	1	1	1	0	1	0	6
张海燕(2018) ^[42]	0	1	1	1	1	0	1	1	6
黄颖(1998) ^[43]	1	1	1	1	1	1	1	1	8
田考聪(1996) ^[44]	1	1	1	1	1	0	1	1	7
陈利军(1998) ^[45]	1	1	1	1	1	0	1	1	7
陆春花(2014) ^[46]	1	1	1	1	1	1	1	1	8
邓建和(2002) ^[48]	0	1	1	1	1	1	1	1	7

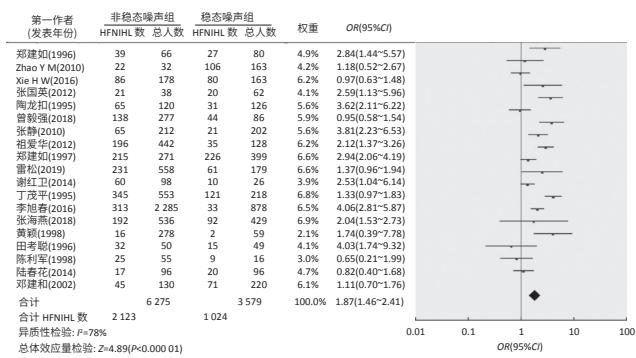
[注] 条目 1: 是否清晰界定了样本的纳入条目？条目 2: 是否详细描述了研究对象和研究场所？条目 3: 暴露因素的测量是否具有信度和效度？条目 4: 疾病或健康问题的界定是否有客观、一致的条目？条目 5: 是否识别了混杂因素？条目 6: 是否采取措施控制混杂因素？条目 7: 结局指标的测量方法是否具有信度和效度？条目 8: 资料分析方法是否恰当？1=是，0=否。

表 3 非稳态噪声组与稳态噪声组的特征比较

Table 3 Characteristic comparisons between non-Gaussian noise group and Gaussian noise group

特征	噪声		WMD (95%CI)	OR (95%CI)	P
	非稳态	稳态			
连续性变量					
年龄/岁	31.8±7.6	32.7±8.7	-0.06 (-2.64~2.51)	—	0.961
工龄/年	8.9±7.6	10.9±8.2	0.81 (-0.95~2.58)	—	0.365
$L_{Aeq}/dB(A)$	92.8±4.6	95.6±5.8	-2.06 (-5.58~1.47)	—	0.254
CNE/[dB(A)·年]	96.6±7.5	100.0±8.5	-1.90 (-5.23~1.44)	—	0.266
分类变量					
男性构成比/%	84.7	62.0	—	4.73 (1.50~14.91)	0.008
HFNIHL患病率/%	33.8	28.6	—	1.87 (1.46~2.41)	<0.001

[注] HFNIHL 指噪声性高频听力损失；WMD 指连续性变量的 meta 分析合效应量指标——加权均数差。



[注] HFNIHL 指噪声性高频听力损失。

图 2 非稳态噪声与稳态噪声两组 HFNIHL 比较的 meta 分析森林图

Figure 2 The forest plot of meta-analysis between non-Gaussian noise group and Gaussian noise group

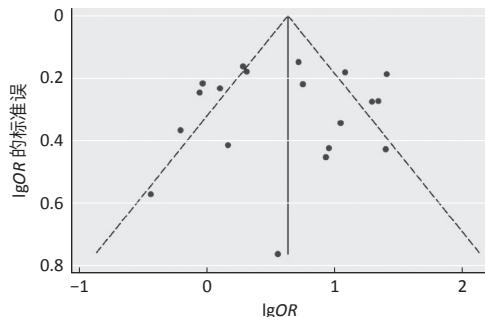


图 3 纳入 meta 分析的文献发表偏倚漏斗图

Figure 3 The funnel plot to evaluate possible publication bias for the included studies

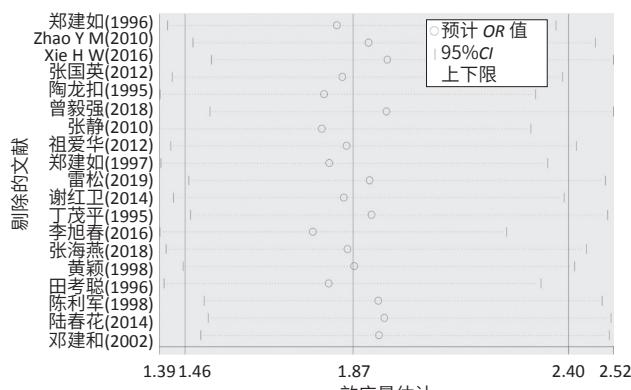


图 4 敏感性分析结果

Figure 4 Sensitivity analysis for included studies

3 讨论

非稳态噪声已成为最常见的工业噪声类型, 制造业中除纺织行业、造纸行业为稳态噪声外, 其他制造业产生的噪声基本上为非稳态噪声。本次纳入的研究中工人主要来自汽车制造、金属加工、船舶、电子、机械及其他生产制造行业, 工种多为锻压、冲压、焊接、铸造、打磨、铆焊等, 均为产生非稳态噪声的典型行业与工种。结果显示, 这些工人与非稳态噪声相关的

HFNIHL 患病率为 29.0%, SFNIHL 患病率为 14.2%。其他国家报道与此接近: 丹麦接噪工人 HFNIHL 患病率为 27.8%^[52], 美国制造业工人的 SFNIHL 患病率为 13.74%^[53]。噪声对听力的影响早期常表现为 HFNIHL, 随着噪声暴露的累积, 逐渐影响到语言频段的听力^[54]。因此, HFNIHL 患病率高于 SFNIHL 患病率可能是因为较多暴露者处在噪声对听力影响的早期阶段。

噪声的能量(如接噪工龄和噪声强度)是影响 NIHL 发生发展的重要因素。本研究中工人接触噪声时长为(6.8±4.9)年, 接触工龄较长。有研究表明, 听力损失在噪声暴露的前 10 年发展最快, 在 10~15 年间达到峰值, 意味着接触噪声 10 年内的听力保护尤为重要^[37, 55~56]。工人接触的噪声强度 L_{Aeq} 为(87.0±4.2) dB(A), 最高达 129.0 dB(A), 且几乎每项研究中噪声强度均超过我国噪声职业接触限值 [85 dB(A)], 这表明我国制造业中工业噪声超标现象比较严重, 工人长期接触高水平的有害噪声。何健民等^[57]对广东省 37 个工业生产行业共 4 479 个作业场所进行了噪声测量, 发现 48.67% 的测量点噪声超标。

个体噪声防护也是 NIHL 的重要影响因素。本研究中制造业工人所采取的噪声个体防护比较薄弱, 在提及 HPD 佩戴情况的所有纳入研究中, 有 3/4 的结果显示 HPD 佩戴情况不好。一方面可能是因为企业不够重视, 未开展相关职业卫生培训和监督检查, 没有为所有接触噪声工人配备 HPD, 或者工人佩戴方法不正确。另一方面可能是因为工人缺乏听力保护意识, 不能保证 HPD 佩戴时间完全覆盖噪声接触时间。HPD 能减轻噪声损害, 降低听力损失发生风险, 是最经济也是最常见的工业噪声防护方法^[58~59], 也是保护劳动者听力健康最后一道屏障。劳动者个人防护意识的缺乏让 HPD 起不到理想的防护效果。一项杭州市噪声从业人员现状调查显示, 在发放 HPD 的工人中只有 33.8% 的人会经常佩戴^[60]。长期连续高水平的噪声暴露, 加上薄弱的噪声个体防护, 使得接噪工人发生 NIHL 风险大大增加。

此外, 噪声的时域结构也是影响听力损失的关键因素。本研究对 19 篇带有稳态噪声对照组的横断面研究进行了 meta 分析, 结果显示非稳态噪声组与稳态噪声组的年龄、工龄、 L_{Aeq} 和 CNE 差异均没有统计学意义, 但是非稳态噪声对 HFNIHL 影响的合并 OR 值大于 1, 表明非稳态噪声在相同噪声能量暴露条件下, 比稳态噪声对听力损失的影响更大, 这可能归因于非稳态噪声复杂的时域结构。峰度是灵敏反映非稳态噪

声时域结构复杂性的一个指标^[13]。美国一研究团队将南美栗鼠暴露于具有不同分级峰度但是相等 L_{Aeq} 水平的噪声，结果观察到非稳态噪声比稳态噪声导致更严重的听毛细胞损失和更大的听阈位移，且这两个听力损失指标随着峰度增大而增加，直至趋向饱和^[61-64]。人群调查中也发现在等能量条件下，高峰度噪声暴露工人比低峰度噪声暴露工人有更大的高频听阈位移^[65-67]。

未能纳入有关非稳态噪声导致 NIHL 的队列研究是本研究的不足之一。横断面研究能描述非稳态噪声相关的 NIHL 现患状况，但不能验证非稳态噪声与 NIHL 的因果关系。队列研究不仅可以确定先因后果的时相关系，还可以研究与非稳态噪声相关的 NIHL 发生发展的自然规律。目前国内关于非稳态噪声导致职业性听力损失的队列研究数量甚少，未来仍需进一步开展研究。此外，所纳入各研究的 HFNIHL 和 SFNIHL 的判定标准，以及 HPD 的佩戴情况不尽相同，可能会产生偏倚，这也是本研究的另一不足之处。

综上所述，我国制造业中噪声作业工人以男性青年为主，长期接触高水平有害的非稳态噪声，听力损失患病率较高，相对于接触稳态噪声的工人，会遭受更严重的听力损失。亟需采取和完善相关措施来保护制造业工人听力健康。我国需针对非稳态噪声开展大规模的、设计良好的流行病学调查，包括横断面研究和队列研究，建立人群暴露数据库，分析非稳态噪声暴露与听力损失之间的剂量-反应关系。

参考文献

- [1] NELSON DI, NELSON RY, CONCHA-BARRIENTOS M, et al. The global burden of occupational noise-induced hearing loss[J]. *Am J Ind Med*, 2005, 48(6): 446-458.
- [2] 李艳红, 焦洁, 余善法. 噪声性听力损失影响因素的研究现状[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2014, 32(6): 469-473.
- LI YH, JIAO J, YU SF. Current status of influencing factors of noise-induced hearing loss[J]. *Chin J Ind Hyg Occup Dis*, 2014, 32(6): 469-473.
- [3] 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.
- [4] 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>.
- [5] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Occupationally-induced hearing loss[EB/OL]. [2021-05-27]. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2010-136/default.html>.
- [6] SUTER A H. Occupational hearing loss from non-Gaussian noise[J]. *Semin Hear*, 2017, 38(3): 225-262.
- [7] 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.
- [8] HAMERNIK RP, QIU W. Energy-independent factors influencing noise-induced hearing loss in the chinchilla model[J]. *J Acoust Soc Am*, 2001, 110(6): 3163-3168.
- [9] AHROON WA, HAMERNIK RP, DAVIS RI. Complex noise exposures: an energy analysis[J]. *J Acoust Soc Am*, 1993, 93(2): 997-1006.
- [10] DAVIS RI, QIU W, HAMERNIK RP. Role of the kurtosis statistic in evaluating complex noise exposures for the protection of hearing[J]. *Ear Hear*, 2009, 30(5): 628-634.
- [11] 谢红卫, 唐仕川, 周莉芳, 等. 非稳态噪声累积暴露量与听力损失的关系[J]. 环境与职业医学, 2015, 32(1): 56-60.
- XIE HW, TANG SC, ZHOU LF, et al. Relationship between cumulative noise exposure and human hearing loss caused by non-stationary noise[J]. *J Environ Occup Med*, 2015, 32(1): 56-60.
- [12] TAYLOR W, LEMPERT B, PELMEAR P, et al. Noise levels and hearing thresholds in the drop forging industry[J]. *J Acoust Soc Am*, 1984, 76(3): 807-819.
- [13] ERDREICH J. A distribution based definition of impulse noise[J]. *J Acoust Soc Am*, 1986, 79(4): 990-998.
- [14] MOOLA S, MUNN Z, TUFANARU C, et al. Chapter 7: systematic reviews of etiology and risk[M]//AROMATARIS E, MUNN Z. Joanna Briggs Institute Reviewer's Manual. Adelaide: The Joanna Briggs Institute, 2017: 217-269.
- [15] 郑建如, 刘福英, 高学习. 218例噪声作业工人健康状况分析[J]. 职业医学, 1996, 23(4): 24-25.
- ZHENG JR, LIU FY, GAO XX. Analysis on health status of 218 workers exposed to noise[J]. *China Occup Med*, 1996, 23(4): 24-25.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 张国英, 唐智峰, 姚永平. 冲床噪声与稳态噪声致工人高频听力损害的对比研究[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2012, 30(5): 356-358.
- ZHANG GY, TANG ZF, YAO YP. Comparative investigation of hearing injury in workers exposed to punching machine noise and to steady state noise[J]. *Chin J Ind Hyg Occup Dis*, 2012, 30(5): 356-358.
- [19] 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.
- [20] 陶龙扣, 付美秀, 于咏梅. 电子工业脉冲噪声对工人健康影响的调查研究[J]. 中国安全科学学报, 1995, 5(S2): 274-277.
- TAO LK, FU MX, YU YM. Survey studies of the effect of pulse noise on worker's health in electronics industry[J]. *China Saf Sci J*, 1995, 5(S2): 274-277.
- [21] 徐士超. 锻造行业脉冲噪声对工人听力损伤的调查[J]. 上海预防医学杂志, 1999, 11(12): 553-554.
- XU SC. Investigation on hearing damage caused by impulse noise in forging industry[J]. *Shanghai J Prev Med*, 1999, 11(12): 553-554.
- [22] 郭鑫, 张琼琼, 王芳. 非稳态噪声与作业工人高频听力损失的剂量—反

- 应关系分析[J]. 医学理论与实践, 2020, 33(21): 3667-3669.
- GUO X, ZHANG Q.Q, WANG F. Analysis of dose-response relationship between unsteady noise and high-frequency hearing loss among workers[J]. J Med Theor Prac, 2020, 33(21): 3667-3669.
- [23] 张旭慧, 张磊, 夏勇等. 非稳态噪声与作业工人高频听力损失的剂量-反应关系研究[J]. 浙江预防医学, 2015, 27(5): 433-435,449.
- ZHANG X H, ZHANG L, XIA Y Y, et al. A study on dose-response relationship between human hearing loss and non-stationary noise among workers[J]. Zhejiang J Prev Med, 2015, 27(5): 433-435,449.
- [24] 曾毅强. 噪声所致工人听力损伤评价指标的研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2018.
- ZENG Y Q. Research on the evaluation index of workers hearing damage caused by noise[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2018.
- [25] 张静, 贾莉. 复杂的非稳态噪声对工人听力损害状况的分析[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2010, 28(6): 478-479.
- ZHANG J, JIA L. Complicated non-steady state noise induced hearing injury of workers[J]. Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2010, 28(6): 478-479.
- [26] 祖爱华, 崔晨, 王欣, 等. 工业脉冲噪声对冲压工听力影响的调查[J]. 国际医药卫生导报, 2012, 18(3): 429-433.
- ZU AH, CUI C, WANG X, et al. A survey on effect of industrial impulse noise on hearing in workers for punching[J]. Int Med Health Guid News, 2012, 18(3): 429-433.
- [27] 李保卫, 李富德, 张玉庚, 等. 锅炉制造业工人噪声性听力损伤的调查研究[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2003, 21(5): 374-375.
- LI B W, LI F D, ZHANG Y G, et al. Investigation on noise-induced hearing loss among boiler manufacturing workers[J]. Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2003, 21(5): 374-375.
- [28] 郑建如, 万学文, 赵一鸣, 等. 机械工业脉冲噪声对工人听力损害的研究[J]. 中国工业医学杂志, 1997, 10(1): 19-20.
- ZHENG J R, WAN X W, ZHAO Y M, et al. Study on hearing impairment of workers caused by impulse noise in engineering industry[J]. Chin J Ind Med, 1997, 10(1): 19-20.
- [29] 郑文慧, 王志平, 柴鹏飞, 等. 接触非稳态噪声与听力损伤的剂量-反应关系研究[J]. 工业卫生与职业病, 2013, 39(1): 36-39.
- ZHENG W H, WANG Z P, CHAI P F, et al. Dose-response relationship of the unsteady noise exposure and hearing loss[J]. Ind Health Occup Dis, 2013, 39(1): 36-39.
- [30] 雷松. 金属加工业复杂噪声职业暴露及其导致听力损失风险评估研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2019.
- LEI S. The risk assessment for hearing loss caused by occupational exposure to complex noise in the metal processing manufacturing industry[D]. Shihezi: Shihezi University, 2019.
- [31] 彭丽华, 郑建如, 徐增光. 累积噪声暴露量与听力损伤的剂量反应关系[J]. 公共卫生与预防医学, 2005, 16(1): 58-59.
- PENG L H, ZHENG J R, XU Z G. The relation between exposure and hearing loss among exposed workers[J]. J Public Health Prev Med, 2005, 16(1): 58-59.
- [32] 谢红卫, 张美辨, 全长健. 累计噪声暴露量与人听力损失的剂量反应关系研究[J]. 浙江预防医学, 2014, 26(4): 340-344,348.
- XIE H W, ZHANG M B, QUAN C J. A study on dose-response relationship between cumulative noise exposure and human hearing loss[J]. Zhejiang J Prev Med, 2014, 26(4): 340-344,348.
- [33] 丁茂平, 赵一鸣, 穆玉梅, 等. 脉冲与稳态噪声引起工人听力损伤的差异[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1995, 13(2): 72-74.
- DING M P, ZHAO Y M, MU Y M, et al. Differences of noise induced hearing loss between impulse noise and continuous steady state noise exposure workers[J]. Chin J Ind Hyg Occup Dis, 1995, 13(2): 72-74.
- [34] 莫云芳, 宋秀丽. 脉冲噪声对工人听力的影响及临床转归[J]. 中国职业医学, 2006, 33(1): 76-77.
- MO Y F, SONG X L. A clinical investigation and the effects of the pulsive noise on the hearing of the involved workers[J]. China Occup Med, 2006, 33(1): 76-77.
- [35] 杨超敏, 邱毅. 脉冲噪声对作业工人神衰与听力影响的调查分析[J]. 中国职业医学, 1999, 26(4): 51-52.
- YANG C M, QIU Y. Investigation and analysis on the effect of pulse noise on workers' neurasthenia and hearing[J]. China Occup Med, 1999, 26(4): 51-52.
- [36] 李旭春. 某电子集团工业园区噪声作业人员噪声暴露及听力损失现状调查[J]. 山西医药杂志, 2016, 45(23): 2749-2750.
- LI X C. Investigation on noise exposure and hearing loss of workers exposed to noise in an electronics corporation's industrial park[J]. Shanxi Med J, 2016, 45(23): 2749-2750.
- [37] 李益琪, 邵仁朝. 某钢管制造企业生产性噪声危害调查[J]. 浙江预防医学, 2015, 27(3): 298-299,305.
- LI Y Q, SHAO R C. Research on the hazard of industrial noise in a steel pipe manufacturing enterprise[J]. Zhejiang J Prev Med, 2015, 27(3): 298-299, 305.
- [38] 陈蕾, 郭庆华. 某轮胎制造厂噪声作业人员高频听力损失分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2018, 36(4): 305-307.
- CHEN L, GUO Q H. High frequency hearing loss of noise-exposed workers in a tire factory[J]. Occup Health Emerg Rescue, 2018, 36(4): 305-307.
- [39] 张攀, 王驰, 李章, 等. 某企业噪声作业工人听力损失状况分析[J]. 预防医学情报杂志, 2013, 29(12): 1084-1085.
- ZHANG P, WANG C, LI Z, et al. Hearing loss in workers exposed to noise in an enterprise[J]. J Prev Med Inf, 2013, 29(12): 1084-1085.
- [40] 鲍二宝, 苏艺伟, 薛昌红, 等. 某汽车制造企业噪声作业工人听力损失影响因素[J]. 职业卫生与应急救援, 2019, 37(2): 122-125.
- BAO E B, SU Y W, XUE C H, et al. Risk factors related to occupational noise-induced hearing loss among workers in an automobile manufacturing enterprise[J]. Occup Health Emerg Rescue, 2019, 37(2): 122-125.
- [41] 陈利杰. 瓶装饮料灌装噪声暴露与作业工人高频听力损失的关系[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2017, 35(4): 286-288.
- CHEN L J. Relationships between exposure to bottled beverage filling noise and high-frequency hearing loss among workers[J]. Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2017, 35(4): 286-288.
- [42] 张海燕, 华如月, 高楠, 等. 秦皇岛市金属加工企业噪声危害及作业人员健康状况[J]. 职业与健康, 2018, 34(22): 3155-3157.
- ZHANG H Y, HUA R Y, GAO N, et al. Noise hazards and health status of exposed workers in metal processing enterprises in Qinhuangdao City[J]. Occup Health, 2018, 34(22): 3155-3157.
- [43] 黄颖, 任坚. 生产性脉冲与稳态噪声对作业工人听力损伤的调查分析[J]. 职业医学, 1998, 25(5): 63-64.
- HUANG Y, REN J. Investigation and analysis on hearing impairment of workers caused by industrial impulse and steady-state noise[J]. China Occup Med, 1998, 25(5): 63-64.
- [44] 田考聪, 曾庆, 李学海, 等. 生产性脉冲噪声对工人听力的影响[J]. 重庆医科大学学报, 1996, 21(T): 114-117.
- TIAN K C, ZENG Q, LI X H, et al. The effects of impulsive industrial noise on worker hearing[J]. Acta Univ Sci Med Chongqing, 1996, 21(T): 114-117.
- [45] 陈利军. 生产性噪声对人体健康的影响[J]. 右江民族医学院学报, 1998, 20(4): 534-536.

- CHEN LJ. Influence of industrial noise on health [J]. *J Youjiang Med Coll National*, 1998, 20(4): 534-536.
- [46] 陆春花, 杨继红, 沙磊, 等. 稳态噪声与非稳态噪声对工人听力损伤的对比研究 [J]. *工业卫生与职业病*, 2014, 40(4): 243-246.
- LU CH, YANG JH, SHA L, et al. Comparative investigation of hearing injury in workers exposed to steady and non-steady state noise [J]. *Ind Health Occup Dis*, 2014, 40(4): 243-246.
- [47] 周萍, 陆春花, 尹仕伟, 等. 噪声对电焊工听力影响 [J]. *职业卫生与应急救援*, 2015, 33(5): 343-345.
- ZHOU P, LU CH, YIN SW, et al. Effect of noise on welder's hearing [J]. *Occup Health Emerg Rescue*, 2015, 33(5): 343-345.
- [48] 邓建和, 阮一帆, 黄德祥, 等. 噪声对作业工人健康影响的调查 [J]. *海峡预防医学杂志*, 2002, 8(6): 38-39.
- DENG JH, RUAN YF, HUANG DX, et al. Study on effect of noise on workers' health [J]. *Strait J Prev Med*, 2002, 8(6): 38-39.
- [49] 王林超, 魏杨州, 单永乐, 等. 轧钢作业非稳态噪声对作业工人听力的影响 [J]. *中国冶金工业医学杂志*, 2007, 24(5): 612-613.
- WANG LC, WEI YZ, SHAN YL, et al. Influence of non-Gaussian noise on hearing among steel rolling workers [J]. *Chin Med J Metall Ind*, 2007, 24(5): 612-613.
- [50] 林琳, 陈海玲, 刘炳燕, 等. 职业性噪声对工人听力的影响 [J]. *现代预防医学*, 2005, 32(9): 1234-1235.
- LIN L, CHEN HL, LIU LY, et al. Study on effect of noise on hearing loss of workers [J]. *Mod Prev Med*, 2005, 32(9): 1234-1235.
- [51] 陈雅丽. 汽车制造企业噪声致听力损失的流行病学调查及风险评估 [D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2019.
- CHEN Y L. Epidemiological investigation and risk assessment of noise-induced hearing loss in Chinese automotive industry [D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2019.
- [52] RUBAK T, KOCK SA, KOEFOED-NIELSEN B, et al. The risk of noise-induced hearing loss in the Danish workforce [J]. *Noise Health*, 2006, 8(31): 80-87.
- [53] MASTERTON EA, BUSHNELL PT, THEMANN CL, et al. Hearing impairment among noise-exposed workers—United States, 2003-2012 [J]. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2016, 65(15): 389-394.
- [54] MCBRIDE DI, WILLIAMS S. Audiometric notch as a sign of noise induced hearing loss [J]. *Occup Environ Med*, 2001, 58(1): 46-51.
- [55] BAUER P, KÖRPERT K, NEUBERGER M, et al. Risk factors for hearing loss at different frequencies in a population of 47 388 noise-exposed workers [J]. *J Acoust Soc Am*, 1991, 90(6): 3086-3098.
- [56] CHEN TJ, CHIANG HC, CHEN SS. Effects of aircraft noise on hearing and auditory pathway function of airport employees [J]. *J Occup Med*, 1992, 34(6): 613-619.
- [57] 何健民, 杜伟佳, 李建林, 等. 37个工业生产行业职业噪声暴露监测结果评价 [J]. *中国卫生工程学*, 2005, 4(3): 155-158.
- HE JM, DU WJ, LI JL, et al. Monitoring occupational noise exposures in 37 industrial productive trades [J]. *Chin J Public Health Eng*, 2005, 4(3): 155-158.
- [58] VERBEEK J H, KATEMAN E, MORATA T C, et al. Interventions to prevent occupational noise-induced hearing loss: a Cochrane systematic review [J]. *Int J Audiol*, 2014, 53 Suppl 2(2): S84-S96.
- [59] MŁYŃSKI R, KOZŁOWSKI E. Assessment of the impulse noise attenuation by earplugs in metalworking processes [J]. *Med Pr*, 2014, 65(2): 197-207.
- [60] 谢文倩, 曹承建, 邵玉仙, 等. 杭州市噪声作业工人听力损失的现状及影响因素 [J]. *环境与职业医学*, 2016, 33(5): 475-479.
- XIE WQ, CAO CJ, SHAO YX, et al. Hearing loss and related influencing factors in workers exposed to noise in Hangzhou [J]. *J Environ Occup Med*, 2016, 33(5): 475-479.
- [61] 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.
- [62] 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.
- [63] QIU W, HAMERNIK RP, 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.
- [64] QIU W, HAMERNIK RP, DAVIS RI. 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.
- [65] DAVIS RI, QIU W, HEYER NJ, et al. The use of the kurtosis metric in the evaluation of occupational hearing loss in workers in China: implications for hearing risk assessment [J]. *Noise Health*, 2012, 14(61): 330-342.
- [66] ZHANG M, GAO X, QIU W, et al. The role of the kurtosis metric in evaluating the risk of occupational hearing loss associated with complex noise—Zhejiang Province, China, 2010–2019 [J]. *China CDC Wkly*, 2021, 3(18): 378-382.
- [67] 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.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣, 王晓宇)