

广东省某船舶维修企业噪声所致作业人员听力损失的风险评估

张敏红, 李天正, 田东超, 丘海丽, 杨光涛, 谢子煌, 周伟

深圳市职业病防治院职业危害评价所, 广东 深圳 518020

摘要:

[背景] 船舶维修企业的噪声危害严重且接噪环境复杂多变, 其作业人员噪声所致听力损失的风险难以评估。

[目的] 评估广东省某船舶维修企业噪声所致作业人员听力损失的风险。

[方法] 以2018年广东省某大型船舶维修企业的446名噪声作业工人为研究对象, 调查作业人员的基本信息和工作情况。用个体噪声剂量计测量作业人员接触的噪声强度, 计算各岗位的每周40h等效声级($L_{EX,W}$)和累积噪声暴露量(CNE)。运用ISO 1999:2013的风险评估方法, 计算各岗位听阈级变化、听力损失风险, 并依据AQ/T 4276—2016《噪声职业病危害风险管理指南》进行风险分级。用Pearson相关分析和偏相关分析法分析CNE、暴露年数与听力损失风险的关系。

[结果] 所有接触噪声岗位的 $L_{EX,W}$ 均超过国家职业接触限值。接噪员工双耳高频听力损失检出率及职业性噪声聋风险检出率随CNE的增加呈现增加趋势($P<0.05$)。接噪员工的单耳高频听力损失、单耳职业性噪声聋的程度均与CNE、暴露年数呈正相关($r=0.142\sim0.182$, $P<0.05$), 但均与 $L_{EX,W}$ 无关联。90%作业人员的噪声性永久性阈移(N_{90})随暴露年数($P<0.05$)和预测年龄($P<0.01$)增加而增加, 但 N_{10} 、 N_{50} 与暴露年数、预测年龄无关联。各噪声岗位作业人员发生高频听力损失的风险随噪声暴露年数($r=0.721$, $P<0.01$)的增加而增加, 且与噪声强度呈正相关($r=0.653$, $P<0.01$)。各噪声岗位作业人员发生职业性噪声聋的风险随噪声暴露年数($r=0.615$, $P<0.01$)的增加而增加, 且与噪声强度呈正相关($r=0.609$, $P<0.01$)。各噪声岗位的风险级别随着暴露年数的增加而升高。

[结论] 该船舶维修企业各噪声岗位噪声接触强度均超过职业接触限值, 发生听力损失的风险和程度随各岗位的累积噪声暴露量和暴露年数增加而升高。

关键词: 船舶维修; 听力损失; 噪声; 永久性听阈位移; 听阈级; 风险评价

Risk assessment of noise-induced hearing loss among workers in a ship maintenance enterprise in Guangdong Province ZHANG Min-hong, LI Tian-zheng, TIAN Dong-chao, QIU Hai-li, YANG Guang-tao, XIE Zi-huang, ZHOU Wei (Institute of Occupational Health Assessment, Shenzhen Prevention and Treatment Center for Occupational Diseases, Shenzhen, Guangdong 518020, China)

Abstract:

[Background] Noise hazards of ship maintenance companies are serious and the noise environment is complex and changeable. It is difficult to assess the risk of hearing loss caused by noise exposure of workers.

[Objective] This study is conducted to assess the risk of hearing loss caused by noise exposure of workers in a ship maintenance enterprise in Guangdong Province.

[Methods] A total of 446 noise-exposed workers from a large ship maintenance enterprise in Guangdong Province in 2018 were selected as study subjects, and were asked about their general information and work conditions. An individual noise dosimeter was used to measure noise intensity, to estimate the equivalent continuous A-weighted sound pressure level, and then converted to a nominal 40h working week ($L_{EX,W}$) and a cumulative noise exposure (CNE) for each workstation. The risk assessment method of ISO 1999:2013 was used to calculate the change of hearing threshold level and the risk of hearing loss for each workstation, followed by the risk classification according to the AQ/T 4276-2016 *Guidelines for Risk Management of Occupational*

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19374

组稿专家

陈青松 (广东药科大学公共卫生学院),
E-mail: qingsongchen@aliyun.com

基金项目

中国疾病预防控制中心职业卫生所职业健康风险评估与国家职业卫生标准制定项目 (131031109000160004)

作者简介

张敏红 (1985—), 女, 硕士, 副主任医师;
E-mail: zmh5472@163.com

通信作者

周伟, E-mail: zhouwei198007@163.com

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2019-05-30

录用日期 2020-02-20

文章编号 2095-9982(2020)04-0341-07

中图分类号 R135.8

文献标志码 A

►引用

张敏红, 李天正, 田东超, 等. 广东省某船舶维修企业噪声所致作业人员听力损失的风险评估[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(4): 341-347.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19374

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHOU Wei, E-mail: zhouwei198007@163.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2019-05-30

Accepted 2020-02-20

►To cite

ZHANG Min-hong, LI Tian-zheng, TIAN Dong-chao, et al. Risk assessment of noise-induced hearing loss among workers in a ship maintenance enterprise in Guangdong Province[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(4): 341-347.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19374

Noise Hazard. Pearson correlation analysis and partial correlation analysis were used to analyze the relationships of hearing loss risk with CNE and exposure years.

[Results] The $L_{EX,W}$ of all workstations exceeded the national occupational exposure limit. With the increase of CNE, the positive rate of high frequency hearing loss and the risk of occupational noise-induced deafness were increased ($P < 0.05$). Both the levels of high frequency hearing loss of either ear and occupational noise-induced hearing loss of either ear had positive correlations with CNE and exposure years ($r = 0.142-0.182$, $P < 0.05$), but there were no correlations with $L_{EX,W}$. The permanent hearing threshold shift induced by noise exposure of 90% workers (N_{90}) was increased with the extension of exposure years ($P < 0.05$) and predicted age ($P < 0.01$), but N_{10} and N_{50} had no correlations with exposure years and predicted age. The risk of high frequency hearing loss of the employees was increased with the extension of noise exposure years ($r = 0.721$, $P < 0.01$), and was positively correlated with noise intensity ($r = 0.653$, $P < 0.01$). The risk of occupational noise-induced deafness of the employees was increased with the extension of noise exposure years ($r = 0.615$, $P < 0.01$), and was positively correlated with noise intensity ($r = 0.609$, $P < 0.01$). The risk levels of various workstations were increased with the increase of exposure years.

[Conclusion] The noise exposure intensity of noise-exposed workstations in the selected ship maintenance enterprise exceeds the national occupational exposure limit. The risk and severity of hearing loss increase with higher CNE and extension of years of noise exposure in each workstation.

Keywords: ship maintenance; hearing loss; noise; permanent hearing threshold shift; hearing threshold level; risk assessment

船舶维修是一项复杂的综合性工程,在维修过程中切割、打磨等工艺会产生高强度噪声,且存在作业人员流动性大、机械化程度较低的问题。目前国内针对船舶修理过程中噪声危害的研究极少,多数研究简单地将船舶修理合并到船舶修造中^[1]。船舶维修由于作业内容和作业场所不固定,作业人员多为流作业、手工作业,存在一岗多责的现象,这使得其噪声的工程防护措施难以实现,噪声危害更为严重,评估作业人员噪声接触的危害也存在较大难度。有研究显示船舶维修企业的噪声作业岗位中噪声接触强度超标率可超过70%,电测听异常率在8.00%以上^[2]。

目前国内用于评价噪声对工人听力损害的指标主要为8h等效声级(normalization of equivalent continuous A-weighted sound pressure level to a nominal 8h working day, $L_{EX, 8h}$),当作业班制并非为每周5d时,则采用每周40h等效声级(normalization of equivalent continuous A-weighted sound pressure level to a nominal 40h working week, $L_{EX, W}$)^[3]评价指标。另有文献报道累积噪声暴露量(cumulation noise exposure, CNE)是结合等效声级和接噪工龄的一个综合指标,能更有效反映噪声暴露水平和评估听力损失风险^[4]。国际标准化组织(International Standardization Organization, ISO)于2013年发布了用于定量评价职业噪声引起的潜在性听力损失的标准(ISO 1999:2013)^[5],2017年我国引进并应用了该标准,发布了GB/T 14366—2017《声学 噪声性听力损失的评估》^[6],但目前该方法在国内噪声研究的应用较少。本研究拟采用 $L_{EX, W}$ 、CNE及ISO 1999:2013的评估方法对船舶维修企业噪声所致作业人员听力损失的风险进行综合评估。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本课题组于2018年5—10月选取广东省某大型修船厂的噪声接触员工作为研究对象。该企业主要从事大型船舶和海工装备修理改装,主要包括管装、机电维修、船体外场维修、船体维修、涂装等工序。该企业员工1894人,其中生产岗位1310人,接触噪声岗位585人。根据研究对象的选择原则,最终纳入本研究的噪声接触员工446人,均为男性,主要接噪岗位为运输司机、铁工、下料工、焊工、涂装工、钳工、电工、铜工、舾装工、杂工。

研究对象的选择原则:①在该企业从事该岗位作业前未从事其他噪声作业;②无听力损伤家族史;③无耳疾或耳疾史;④无糖尿病史;⑤无耳毒性药物使用史;⑥无非职业噪声暴露史;⑦无影响听力损失的其他危险因素等。本研究已获中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所医学伦理委员会审批通过(编号:201808)。

1.2 基本情况调查

通过现场调查表收集各岗位的作业方式、作业内容、产噪设备、防护设施、个体防护用品等情况,通过职业性噪声接触作业人员调查表,收集每个作业人员的年龄、暴露年数、暴露频度、噪声接触史、疾病史等信息。

1.3 职业噪声暴露评估

按照GBZ/T 189.8—2007《工作场所物理因素测量 第8部分:噪声》^[7]、GB/T 21230—2014《声学 职业噪声暴露的测定 工程法》^[8]的规定选择测量噪声的仪器、测点、测量方法并计算声级。本研究使用SV104IS

个体噪声剂量计 (SVANTEK, 波兰) 对作业人员接触的噪声强度进行全工作班跟踪监测。依据 GBZ/T 189.8—2007^[7], 每个工作岗位劳动者不足 3 名时, 全部选为抽样对象, 3~5 名时至少抽取 2 名, 6~10 名时至少抽取 3 名, >10 名时至少抽取 4 名。作业人员在班前将个体噪声剂量计别于肩上, 当天工作结束后取下, 读取测量结果, 测量时间覆盖整个工作班。根据 GBZ 2.2—2007^[3] 的要求, 计算 $L_{EX, W}$ 并评价岗位接触噪声强度是否超标。在此基础上, 按等能量原理, 将 $L_{EX, W}$ 与作业人员的噪声作业暴露年数结合起来计算 CNE, $CNE=10\lg [10^{(L_{EX, W})/10} \times T]$, 其中, T 为该岗位的噪声作业暴露年数^[9]。根据 CNE 进行分层, 以 5 dB (A) · 年为组距, 共分成 3 个层级, 分析各层间的听力损失差异。

1.4 噪声暴露所致听力损失的风险评价

依据 ISO 1999 : 2013^[5] 对作业人员听力损失风险进行定量评估, 依据 AQ/T 4276—2016《噪声职业病危害风险管理指南》^[10] 进行风险分级。

与年龄有关的听阈级 (hearing threshold level associated with age, HTLA, 简称为 H) 的数据库选用 ISO 1999 : 2013 的数据库 A 作为基础数据, 预测 10%、50%、90% 的作业人员发生与年龄有关的听阈级变化, 分别用 H_{10} 、 H_{50} 、 H_{90} 表示。

噪声暴露所致听力损失可使用规定频率听阈级的综合值来评价, 结合噪声职业病风险评估的目的选择合适的频率及风险界线。根据目前比较常用的界线, 本研究选用: ①以双耳高频 (3 000、4 000 和 6 000 Hz) 平均听阈级 =40 dB 作为评估作业人员“高频听力损失”的职业病风险界线, 并将其作为噪声职业病危害风险的预警值, 该界线是依据 GBZ 49—2014《职业性噪声聋的诊断》^[11] 规定的诊断职业性噪声聋的前提条件来确定的, 其测听频率 3 000、4 000 和 6 000 Hz 比重各占 1/3, 当单耳的高频平均听阈级 >40 dB 时, 确定为单耳高频听力损失, 当双耳高频 (3 000、4 000 和 6 000 Hz) 平均听阈级 >40 dB 时, 确定为双耳高频听力损失; ②以较好言语频 (500、1 000 和 2 000 Hz) 和 4 000 Hz 的听阈加权值 =25 dB 作为评估作业人员发生“职业性噪声聋的风险”的风险界线, 并将其作为噪声职业病危害风险的警告值, 该界线是依据 GBZ 49—2014^[11] 规定的职业性轻度噪声聋的标准来确定的, 其测听频率 500、1 000 和 2 000 Hz 比重各占 3/10, 4 000 Hz 占 1/10, 当只有单耳的言语频和高频的听阈加权值 >25 dB 时, 确定为单耳职业性噪声聋。

依据 ISO 1999 : 2013^[5] 的要求计算 10%、50%、90% 的作业人员与年龄和噪声有关的听阈级 (hearing threshold level associated with age and noise, HTLAN, 简称为 H'), 分别用 H'_{10} 、 H'_{50} 、 H'_{90} 表示; 计算 10%、50%、90% 的作业人员的噪声性永久性阈移 (noise-induced permanent threshold shift, NIPTS, 简称为 N), 分别用 N_{10} 、 N_{50} 、 N_{90} 表示; 计算不同测听频率噪声性永久性阈移的中位数 (N_{50})。基于作业人员现有的暴露年数和年龄, 预测该船舶维修企业各岗位作业人员在 40、50 和 60 岁时以高频听力损失为界线 (40 dB) 的听阈级变化; 计算该船舶维修企业各岗位作业人员在不同年龄及暴露年数发生高频听力损失的风险及噪声聋的风险, 采用 Pearson 相关分析探究高频听力损失的风险及噪声聋的风险与年龄、暴露年数的关系; 对各岗位接触噪声强度与发生高频听力损失的风险及噪声聋的风险的相关性采用偏相关分析。

1.5 质量控制

现场调查及测量人员均有 5 年以上职业卫生检测、评价的工作经验, 经过统一培训, 且严格遵守相关法律、法规、标准的要求; 噪声测量设备均经过计量检定合格, 设备使用前均经过校准。当测量结果与当天作业内容不符时, 进行数据分析及重复测量。

1.6 统计学分析

采用 Excel 2007 进行数据录入和计算, 应用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析。计量资料服从正态分布者采用 $\bar{x} \pm s$ 进行描述, 各变量的相关性分析用 Pearson 相关分析和偏相关分析, 控制年龄因素后, 运用偏相关回归分析单耳高频听力损失程度及职业性噪声聋程度与 CNE、 $L_{EX, W}$ 及暴露年数的相关关系。检验水准 $\alpha=0.05$, 双侧检验。

2 结果

2.1 噪声接触岗位的噪声暴露情况

该船舶维修企业 446 名噪声接触作业人员平均年龄为 (35.85±8.71) 岁, 平均暴露年数为 (7.72±4.46) 年。本次共测量 10 个岗位的 117 个点, 各岗位的噪声接触强度均超过国家职业接触限值 [85dB (A)], 其中杂工接触的 $L_{EX, W}$ 和 CNE 均为最高 [(94.96±8.93) dB (A) 和 (104.63±4.28) dB (A) · 年], 下料工和涂装工接触的 $L_{EX, W}$ 分别高达 (94.35±8.70) dB (A) 和 (94.20±7.93) dB (A)。见表 1。

表1 2018年广东省某大型修船厂主要噪声接触岗位的噪声暴露情况

Table 1 Noise exposure levels of main noise exposure workstations of a large ship maintenance enterprise in Guangdong Province in 2018

岗位 Workstation	人数 Number	监测点数 Monitoring sites	40h等效声级 L _{Ex, w} /dB (A)	累积噪声暴露量 / [dB (A) · 年] CNE/ [dB (A) · year]	年龄 / 岁 Age/years	暴露年数 / 年 Exposure years/years
运输司机 (Transport driver)	132	6	91.40±4.74	98.03±4.04	39.09±7.35	8.27±4.51
铁工 (Iron worker)	43	19	92.61±5.43	99.78±3.73	33.93±8.58	6.35±4.00
下料工 (Cutting worker)	17	4	94.35±8.70	100.67±3.57	34.00±8.79	5.60±3.89
焊工 (Welder)	45	18	91.98±7.17	100.21±3.23	34.59±8.21	7.23±4.35
涂装工 (Painter)	28	26	94.20±7.93	101.31±4.57	31.75±3.90	6.50±3.60
钳工 (Bench worker)	57	6	85.65±3.47	93.28±4.35	32.08±8.95	7.47±5.24
电工 (Electrician)	41	6	90.46±1.77	99.36±3.83	35.02±9.28	7.54±5.16
铜工 (Copper worker)	36	6	89.50±8.35	97.43±3.48	32.73±9.35	7.22±4.05
舾装工 (Outfitter)	15	8	90.79±8.05	99.04±3.34	31.50±8.03	5.31±3.63
杂工 (Chore man)	32	18	94.96±8.93	104.63±4.28	39.79±8.82	9.48±3.60

2.2 双耳高频听力损失及职业性噪声聋风险

该企业噪声接触作业人员双耳高频听力损失检出率及职业性噪声聋风险检出率随CNE的增加呈现增加趋势 ($P<0.05$)。见表2。

表2 2018年广东省某大型修船厂累积噪声暴露量与听力损失的关系

Table 2 Relationship between cumulative noise exposure and hearing loss in a large ship maintenance enterprise in Guangdong Province in 2018

累积噪声暴露量 / [dB (A) · 年] CNE/ [dB (A) · year]	体检人数 Physical examination population	双耳高频听力损失 High frequency hearing loss in both ears		职业性噪声聋风险 Risk of occupational noise-induced deafness	
		人数 Number	检出率 Positive rate/%	人数 Number	检出率 Positive rate/%
90~	57	4	7.02	1	1.75
95~	267	28	10.49	10	3.75
100~105	122	22	18.03	18	14.75
合计 (Total)	446	54	12.11	29	6.50
χ^2/F			10.300 [#]		6.072
P			0.005		0.045

[注] #: 由于1个单元格的期望计数小于5, 此处为Fisher精确检验值。
[Note] #: Fisher's exact test value is used due to a less-than-5 expected frequency.

2.3 听力损失程度与暴露年数及噪声暴露量的关系

该企业噪声接触作业人员的单耳高频听力损失、单耳职业性噪声聋的程度均与CNE、暴露年数呈正相关 ($r=0.142\sim0.182$, $P<0.05$), 但均与 $L_{Ex, w}$ 无关联。见表3。

2.4 听力损失的预测结果

预测90%的作业人员工作到40、50、60岁时发生噪声性永久性阈移(N_{90})分别为2.5~8.8dB、3.0~11.4dB、3.3~12.7dB (见表4), 且 N_{90} 随暴露年数 ($P<0.05$) 和预测年龄 ($P<0.01$) 的增加而增加。但作业人员的 N_{10} 和 N_{50} 的增加与暴露年数、预测年龄的增加之间的相关无统计学意义 (见表5)。与年龄有关的听阈级 (包

括 H_{10} 、 H_{50} 和 H_{90}) 随预测年龄的增加而增长, 与年龄和噪声有关的听阈级 (包括 H'_{10} 、 H'_{50} 和 H'_{90}) 随暴露年数和预测年龄的增加而增长 (见表5)。

该船舶维修企业各噪声岗位员工工作到40、50、60岁时发生高频听力损失的风险分别为0.0%~6.7%、0.0%~21.6%和5.3%~29.3%, 且随噪声暴露年数 ($r=0.721$, $P<0.01$) 的增加而增加, 其中杂工发生高频听力损失的风险最高; 各岗位员工工作到40、50、60岁时发生职业性噪声聋的风险分别为0.0%~5.0%、0.0%~11.2%和2.0%~15.2%, 且随噪声暴露年数 ($r=0.615$, $P<0.01$) 的增加呈增加趋势, 其中工作到60岁时, 涂装工、下料工发生职业性噪声聋的风险超过10%, 杂工发生职业性噪声聋的风险超过15% (见表4、5)。

各岗位发生高频听力损失的风险 ($r=0.653$, $P<0.01$) 及发生噪声聋的风险 ($r=0.609$, $P<0.01$) 均随着接触噪声强度的增加而增加。

表3 2018年广东省某大型修船厂噪声接触作业人员听力损失程度与暴露年数、噪声暴露量的偏相关关系 (r)

Table 3 Partial correlation of hearing loss with exposure years and noise exposure level of noise-exposed workers in a large ship maintenance enterprise in Guangdong Province in 2018

听力损失类型 Types of hearing loss	累积噪声暴露量 CNE	40h等效声级 L _{Ex, w}	暴露年数 Exposure years
右耳高频听阈损失 High frequency hearing threshold loss of right ear	0.162 [*]	0.071	0.145 [*]
左耳高频听阈损失 High frequency hearing threshold loss of left ear	0.182 [*]	0.054	0.162 [*]
右耳职业性噪声聋 Occupational noise-induced deafness of right ear	0.145 [*]	0.050	0.142 [*]
左耳职业性噪声聋 Occupational noise-induced deafness of left ear	0.160 [*]	0.019	0.182 [*]

[注 (Note)] *: $P<0.05$ 。

表4 2018年广东省某大型修船厂各噪声岗位听阈级变化及听力损失风险预测结果

Table 4 Prediction results of hearing threshold level change and hearing loss risk of noise-exposed workers in a large ship maintenance enterprise in Guangdong Province in 2018

岗位 Workstation	预测年 龄/岁 Predicted age/years	暴露年 数/年 Exposure years/years	H' ₁₀ / dB	H' ₅₀ / dB	H' ₉₀ / dB	H ₁₀ / dB	H ₅₀ / dB	H ₉₀ / dB	N ₁₀ / dB	N ₅₀ / dB	N ₉₀ / dB	噪声引起的听力损失风险 (%) Risk of hearing loss caused by noise	
												高频听力损失 High frequency hearing loss	噪声聋 Noise-induced deafness
运输司机 (Transport driver)	40	9.18	29.8	13.5	-0.5	18.7	5.6	-5.0	11.1	7.9	4.4	0.0~5.0	0.0~5.0
	50	19.18	40.7	21.3	5.5	28.5	11.8	-1.6	12.2	9.5	7.1	5.9~10.9	1.0~6.0
	60	29.18	53.1	30.0	11.3	41.8	20.3	3.0	11.2	9.7	8.3	17.4	7.4
铁工 (Iron worker)	40	12.42	33.1	15.9	1.6	18.7	5.6	-5.0	14.4	10.4	6.5	0.0~5.0	0.0~5.0
	50	22.42	43.5	23.5	7.4	28.5	11.8	-1.6	15.0	11.7	9.0	9.7~14.7	2.7~7.7
	60	32.42	55.5	32.1	13.2	41.8	20.3	3.0	13.6	11.8	10.1	21.8	9.9
下料工 (Cutting worker)	40	11.60	36.2	18.0	2.6	18.7	5.6	-5.0	17.5	12.4	7.6	0.8~5.8	0.0~5.0
	50	21.60	47.0	26.1	9.3	28.5	11.8	-1.6	18.5	14.4	10.8	15.2~20.2	5.6~10.6
	60	31.60	58.8	34.9	15.4	41.8	20.3	3.0	16.9	14.6	12.4	27.6	14.1
焊工 (Welder)	40	12.64	32.0	15.2	1.2	18.7	5.6	-5.0	13.3	9.6	6.1	0.0~5.0	0.0~5.0
	50	22.64	42.3	22.6	6.7	28.5	11.8	-1.6	13.8	10.8	8.3	8.0~13.0	1.9~6.9
	60	32.64	54.4	31.2	12.4	41.8	20.3	3.0	12.5	10.9	9.4	19.8	8.7
涂装工 (Painter)	40	14.75	37.1	18.9	3.9	18.7	5.6	-5.0	18.4	13.3	8.8	1.7~6.7	0.0~5.0
	50	24.75	47.3	26.5	9.8	28.5	11.8	-1.6	18.8	14.7	11.4	15.7~20.7	5.8~10.8
	60	34.75	58.9	35.0	15.7	41.8	20.3	3.0	17.0	14.7	12.7	27.9	14.1
钳工 (Bench worker)	40	15.39	23.3	9.1	-2.4	18.7	5.6	-5.0	4.6	3.5	2.5	0.0~5.0	0.0~5.0
	50	25.39	33.0	15.5	1.5	28.5	11.8	-1.6	4.5	3.7	3.0	0.0~5.0	0.0~5.0
	60	35.39	45.7	23.9	6.3	41.8	20.3	3.0	3.9	3.6	3.3	5.3	2.0
电工 (Electrician)	40	12.52	29.4	13.3	0.0	18.7	5.6	-5.0	10.7	7.8	5.0	0.0~5.0	0.0~5.0
	50	22.52	39.5	20.5	5.2	28.5	11.8	-1.6	11.1	8.7	6.7	4.5~9.5	0.4~5.4
	60	32.52	51.8	29.0	10.6	41.8	20.3	3.0	10.0	8.7	7.6	15.3	6.3
铜工 (Copper worker)	40	14.49	28.3	12.6	-0.2	18.7	5.6	-5.0	9.6	7.1	4.8	0.0~5.0	0.0~5.0
	50	24.49	38.2	19.5	4.5	28.5	11.8	-1.6	9.7	7.7	6.1	2.9~7.9	0.0~5.0
	60	34.49	50.5	27.9	9.7	41.8	20.3	3.0	8.6	7.6	6.7	13.0	5.1
舾装工 (Outfitter)	40	13.81	30.2	14.0	0.6	18.7	5.6	-5.0	11.5	8.4	5.6	0.0~5.0	0.0~5.0
	50	23.81	40.3	21.1	5.7	28.5	11.8	-1.6	11.8	9.3	7.3	5.4~10.4	0.7~5.7
	60	33.81	52.4	29.6	11.1	41.8	20.3	3.0	10.6	9.3	8.1	16.4	6.8
杂工 (Chore man)	40	9.69	18.0	2.0	18.7	5.6	-5.0	17.7	12.4	7.0	6.1	0.0~5.0	0.0~5.0
	50	19.69	26.7	9.5	28.5	11.8	-1.6	19.4	14.9	11.0	10.4	16.6~21.6	6.5~11.2
	60	29.69	35.6	16.0	41.8	20.3	3.0	17.9	15.4	12.9	12.5	29.3	15.2

[注] H₁₀、H₅₀、H₉₀ 分别表示 10%、50%、90% 的作业人员发生与年龄有关的听阈级变化；H'₁₀、H'₅₀、H'₉₀ 分别表示 10%、50%、90% 的作业人员与年龄和噪声有关的听阈级；N₁₀、N₅₀、N₉₀ 分别表示 10%、50%、90% 的作业人员的噪声性永久性阈移。

[Note] H₁₀, H₅₀, and H₉₀ respectively indicate that 10%, 50%, and 90% of the workers have age-related hearing threshold changes; H'₁₀, H'₅₀, and H'₉₀ respectively indicate that 10%, 50%, and 90% of the workers have age- and noise-related hearing threshold changes; N₁₀, N₅₀, and N₉₀ respectively indicate that 10%, 50%, and 90% of the workers have permanent hearing threshold shifts induced by noise exposure.

表5 暴露年数、预测年龄与各听阈级变化的 Pearson 相关分析结果 (r)

Table 5 Pearson correlation analysis results of exposure years, predicted age, and changes of hearing threshold levels

变量 Variable	H' ₁₀	H' ₅₀	H' ₉₀	H ₁₀	H ₅₀	H ₉₀	N ₁₀	N ₅₀	N ₉₀	噪声引起的听力损失风险 (%) Risk of hearing loss caused by noise	
										高频听力损失 High frequency hearing loss	噪声聋 Noise-induced deafness
预测年龄 (Predicted age)	0.832**	0.794**	0.553**	0.864**	0.804**	0.445*	-0.037	0.217	0.500**	0.793**	0.688**
暴露年数 (Exposure years)	0.837**	0.808**	0.435*	0.897**	0.850**	0.329	-0.113	0.149	0.421*	0.721**	0.615**

[注] *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。H₁₀、H₅₀、H₉₀ 分别表示 10%、50%、90% 的作业人员发生与年龄有关的听阈级变化；用 H'₁₀、H'₅₀、H'₉₀ 分别表示 10%、50%、90% 的作业人员与年龄和噪声有关的听阈级，N₁₀、N₅₀、N₉₀ 分别表示 10%、50%、90% 的作业人员的噪声性永久性阈移。

[Note] *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$. H₁₀, H₅₀, and H₉₀ respectively indicate that 10%, 50%, and 90% of the workers have age-related hearing threshold changes; H'₁₀, H'₅₀, and H'₉₀ respectively indicate that 10%, 50%, and 90% of the workers have age- and noise-related hearing threshold changes; N₁₀, N₅₀, and N₉₀ respectively indicate that 10%, 50%, and 90% of the workers have permanent hearing threshold shifts induced by noise exposure.

2.5 噪声暴露所致听力损失的风险分级

各岗位的噪声风险级别随着暴露年数的增加而升高, 运输司机、铁工、焊工工作到60岁时发生高频听力损失的风险为较高风险, 而下料工、涂装工、杂工工作到50岁时即可出现较高的高频听力损失风险。见表6。

表6 2018年广东省某大型修船厂各岗位噪声暴露所致听力损失的风险分级

Table 6 Risk classification of noise-induced hearing loss of each workstation in a large ship maintenance enterprise in Guangdong Province in 2018

岗位 Workstation	预测年龄 / 岁 Predicted age/ years	暴露年数 / 年 Exposure years/ years	高频听力损失风险 Risk of high frequency hearing loss
运输司机 (Transport driver)	40	9.18	可接受 (Acceptable)
	50	19.18	中等 (Medium)
	60	29.18	较高 (Higher)
铁工 (Iron worker)	40	12.42	可接受 (Acceptable)
	50	22.42	中等 (Medium)
	60	32.42	较高 (Higher)
下料工 (Cutting workers)	40	11.60	可接受 (Acceptable)
	50	21.60	较高 (Higher)
	60	31.60	较高 (Higher)
焊工 (Welder)	40	12.64	可接受 (Acceptable)
	50	22.64	中等 (Medium)
	60	32.64	较高 (Higher)
涂装工 (Painter)	40	14.75	可接受 (Acceptable)
	50	24.75	较高 (Higher)
	60	34.75	较高 (Higher)
钳工 (Bench worker)	40	15.39	可接受 (Acceptable)
	50	25.39	可接受 (Acceptable)
	60	35.39	可接受 (Acceptable)
电工 (Electrician)	40	12.52	可接受 (Acceptable)
	50	22.52	中等 (Medium)
	60	32.52	中等 (Medium)
铜工 (Copper worker)	40	14.49	可接受 (Acceptable)
	50	24.49	可接受 (Acceptable)
	60	34.49	中等 (Medium)
舾装工 (Outfitter)	40	13.81	可接受 (Acceptable)
	50	23.81	中等 (Medium)
	60	33.81	中等 (Medium)
杂工 (Chore man)	40	9.69	可接受 (Acceptable)
	50	19.69	较高 (Higher)
	60	29.69	较高 (Higher)

3 讨论

本课题组通过对该船舶维修企业各接噪岗位的CNE及听力损失情况的分析, 发现该企业接噪员工双耳高频听力损失检出率及职业性噪声聋风险检出率随CNE的增加呈现明显的增加趋势, 单耳高频听力损

失、单耳职业性噪声聋程度均与CNE及暴露年数呈正相关, 但两者与 $L_{EX, W}$ 不相关, 已知噪声导致的听觉系统损害具有累积效应, 而CNE是根据噪声作用于人耳的声音叠加与能量平均原则来反映噪声接触量^[4]。本研究采用CNE评估岗位的噪声接触水平, 更为准确和有效。这说明该企业的噪声接触岗位员工听力损失程度和发生风险主要与CNE、暴露年数相关, 且暴露年数在其中起了非常重要的作用, 控制好员工的暴露年数是控制该企业职业性噪声聋发生的重要措施。

ISO 1999: 2013的听力损失风险评估方法是目前国际上认同的噪声所致听力损失定量评估方法^[12], 该方法以等能量学说为依据, 预测工业噪声所致的听力损失及其发生概率^[13], 可以在群体层面上发现早期的听力损失风险^[14], 且用岗位噪声强度预测可能出现的听力损失与实际的听力损失情况相近^[15]。Leensen等^[16]研究发现该方法适合预测噪声暴露10年以上的作业人员的听力损失。本研究运用该方法从员工40岁开始预测, 各岗位的实际噪声暴露年数除运输司机(9.18年)和杂工(9.69年)接近10年之外, 其他岗位的噪声暴露年数均超过10年, 因此应用该方法可有效预测各岗位发生高频听力损失和噪声聋的风险, 指导企业根据不同的风险水平采取相应的噪声防控措施以保护劳动者健康。

ISO 1999: 2013的听力损失风险评估结果显示 N_{90} 随噪声暴露年数的增加而增长, 最高可达12.7 dB。 N_{10} 和 N_{50} 的增加与噪声暴露年数增加的相关性无统计学意义, 但随着噪声暴露年数增加, 该船舶维修企业的各岗位工人发生噪声引起的永久性阈移程度增加。其中涂装工N值为最高, 杂工的噪声暴露强度较涂装工高, 但N值较涂装工低, 这与涂装工的噪声暴露年数最长且噪声的暴露强度较高有关, 由此进一步说明噪声暴露时间是影响噪声永久性阈移程度的关键因素, 缩短该企业各岗位的噪声暴露时间, 可有效地降低噪声引起的永久性听阈级上移程度。

研究结果表明, 该船舶维修企业各岗位员工随噪声暴露年数的增加, 发生高频听力损失和职业性噪声聋的风险增加, 其风险等级也随之增加, 其中杂工发生高频听力损失的风险最高。杂工发生高频听力损失的风险和职业性噪声聋的风险在各岗位中均最高, 这主要与杂工接触的噪声强度最高有关, 本研究结果显示, 员工的单耳高频听力损失程度、职业性噪声聋程度与 $L_{EX, W}$ 关联无统计学意义, 但ISO 1999: 2013预测

结果显示,发生高频听力损失的风险及发生噪声聋的风险均随着接触噪声强度的增加而增加,这可能与本企业接噪岗位的 $L_{EX, W}$ 均超过85 dB(A),差异性较小有关。之前有研究显示工人听力损失检出率随噪声接触强度增加而增加^[17],陆晓桐等^[18]的发现平均噪声强度每增加1 dB(A),发生噪声性听力损失的风险增加1.085倍,刘虎等^[19]发现噪声暴露水平和工龄对双耳语频和低频听阈均有影响。高频听力损失风险评估数据可作为噪声职业危害风险的预警指标^[10],因此该企业应根据评估结果及早采取噪声防控措施。由于船舶维修内容和维修场所的不确定性,通过工程防护降低噪声强度难以实现,因此通过提供符合防护效果要求的护听器,并培训、监督员工全程正确佩戴是降低实际噪声接触强度的重要措施。

根据该企业各岗位的风险级别分析结果,提出以下噪声防控建议:①针对可接受风险的岗位,企业应建立听力保护计划,为劳动者提供健康监护,定期检测作业场所,当作业方式或控制效果发生改变,应重新进行风险评估;②针对中等风险的岗位,企业除采取上述措施外,应设置噪声警示标识,提供并督促员工佩戴护听器,进行听力保护培训等;③针对较高风险的岗位,企业除采取上述措施外,还应通过减少接触时间、安排工间休息、提供安静的休息室、改变操作方式等措施控制噪声危害。

参考文献

- [1] 陈坚,刘丽芬,钟坤鹏,等.船舶修造企业职业病危害因素及其关键控制点分析[J].中国职业医学,2013,40(6):603-605.
- [2] 王欣,莫民帅,赖洪飘,等.深圳市某大型修船厂职业危害因素分析[J].公共卫生与预防医学,2015,26(3):36-38.
- [3] 工作场所所有害因素职业接触限值 第2部分:物理因素:GBZ 2.2—2007[S].北京:人民卫生出版社,2007.
- [4] 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.
- [5] Acoustics—estimation of noise-induced hearing loss:ISO 1999:2013[S].Switzerland:ISO,2013.
- [6] 声学 噪声性听力损失的评估:GB/T 14366—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [7] 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.
- [8] 声学 职业噪声暴露的测定 工程法:GB/T 21230—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [9] 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.
- [10] 噪声职业病危害风险管理指南:AQ/T 4276—2016[S].北京:煤炭工业出版社,2017.
- [11] 职业性噪声聋的诊断:GBZ 49—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [12] 刘明,苏世标,胡世杰,等.噪声所致职业性听力损伤风险评估方法及其研究进展[J].中国职业医学,2016,43(5):611-614.
- [13] 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.
- [14] LIE A, SKOGSTAD M, JOHNSEN TS, et al. A cross-sectional study of hearing thresholds among 4627 Norwegian train and track maintenance workers [J]. BMJ Open, 2014, 4(10):e005529.
- [15] SCHMIDT J, PEDERSEN E, PAARUP H, et al. Hearing loss in relation to sound exposure of professional symphony orchestra musicians [J]. Ear Hear, 2014, 35(4):448-460.
- [16] LEENSEN M CJ, VAN DUIVENBOODEN JC, DRESCHLER WA. A retrospective analysis of noise-induced hearing loss in the Dutch construction industry [J]. Int Arch Occup Environ Health, 2011, 84(5):577-590.
- [17] 麦诗琪,肖晓琴,范小猛,等.某电缆制造厂噪声危害现状调查[J].中国卫生工程学,2018,17(1):1-3.
- [18] 陆晓桐,张家祥,许述海,等.合肥市某大型轮胎制造厂不同部门工人噪声性听力损失及影响因素[J].职业与健康,2018,34(18):2476-2480.
- [19] 刘虎,闫梦璠,宁宇,等.海上石油生产支持船舶作业人员的噪声暴露和听力状况[J].环境与职业医学,2019,36(5):474-478.

(英文编辑:汪源;编辑:陈姣;校对:汪源)