

三种方法在涉铅岗位职业健康风险评估中的应用

Comparison of three methods applied in occupational health risk assessment of lead related posts

唐石树, 沈洪春, 陈振龙, 毛革诗, 梁娇君

(武汉市职业病防治院, 湖北 武汉 430015)

摘要: 采用定性、定量与半定量方法对某铅酸蓄电池企业主要涉铅岗位进行职业健康风险评估。结果显示, 定性、定量方法的职业健康风险评估结果与血铅测定结果完全不同; 半定量评估法与血铅结果也存在差别, 但相对接近真实情况, 更适合用于风险评估。企业应加强除封盖岗位外的其他涉铅岗位的风险管控。

关键词: 风险评估; 铅酸蓄电池; 职业健康

中图分类号: R135.11 **文献标识码:** B

文章编号: 1002-221X(2021)06-0543-03

DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2021.06.024

现已知用于职业健康风险评估的方法较多, 不同的评估方法对同一岗位的风险评估结果可能会存在差异, 故选择适用准确的评估方法尤为重要。本研究选取某铅酸蓄电池外资企业为研究对象, 应用国家推荐标准《工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则》(GBZ/T 298—2017) 中的定性、定量与半定量风险评估法对涉铅岗位进行职业健康风险评估, 并比较三种方法评估结果的差异, 探索适宜的风险评估方法, 为企业管理人员对岗位职业病危害的风险管控提供参考。

1 对象与方法

1.1 对象 选取武汉市一家具有代表性的铅酸蓄电池外资企业作为研究对象, 对其主要涉铅生产岗位进行职业健康风险评估。

1.2 方法

1.2.1 职业卫生学调查 主要包括作业人员个人防护用品的发放和使用、原辅料使用情况、职业病防护设施、职业卫生管理制度等。

按照《工作场所空气中有毒物质的采样规范》

(GBZ 159—2004) 进行现场采样, 《工作场所空气有毒物质测定 铅及其化合物》(GBZ/T 160.10) 进行涉铅岗位铅浓度检测。

1.2.2 涉铅岗位职业健康风险评估

1.2.2.1 定性评估 根据化学有害因素接触等级水平 (ER) 和健康危害等级水平 (HR), 确定风险等级水平 (R)。

1.2.2.2 定量评估 (非致癌风险评估) (1) 估算接触浓度 (EC), 根据化学有害因素浓度、日接触时间、年接触频率、工龄和平均接触时间估算 EC。(2) 计算危害商数 (HQ), $HQ = EC \times 1000 / RfC$; 当 $HQ > 1$ 时, 对人体健康危害的风险不可接受。

1.2.2.3 半定量评估法 (综合指数法) (1) 根据化学有害因素的急性毒性实验数据或毒性资料, 确定 HR; (2) 充分了解化学有害因素接触水平、接触时间、使用量、危害控制措施、理化特性等接触指数 (EI), 计算接触等级水平 $ER = [EI_1 \times EI_2 \times \dots \times EI_n]^{1/n}$, 再计算风险等级水平 $R = \sqrt{HR \times ER}$ 。

1.2.3 风险评估结果标准化 半定量与定量风险评估法的风险等级都可以分为 5 级^[1], 定性评估法的风险等级只分为 4 级。三种方法实际比较时, 可将评估结果进行标准化, 用风险比值 (risk ratio, RR) 表示结果, RR 为各风险评估方法对应的等级与该方法总等级的比值, 可分成 0.8~1.0 (5 级)、0.6~0.8 (4 级)、0.4~0.6 (3 级)、0.2~0.4 (2 级)、0~0.2 (1 级) 5 个等级^[2]。

1.3 统计分析 应用 SPSS25.0 版对 3 种风险评估法对应的等级 RR 进行一致性检验, 比较加权 Kappa 值, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 职业卫生学现场调查 铅尘和铅烟为企业最严重的职业病危害因素, 封盖、焊接、分刷片、极板化成、涂片、铸片、和膏、铅粉制作为 8 个主要涉铅

基金项目: 国家标准体系建设项目 (编号: 131031109000160010)

作者简介: 唐石树 (1988—), 男, 硕士, 主管医师, 从事职业病危害因素检测与评价工作。

通信作者: 梁娇君, 副主任医师, E-mail: liangjj009@126.com

危害生产岗位。涉铅岗位日接触铅毒物 7~12 h，年接触 250 d，铅烟/尘空气动力学直径均<10 μm。职业危害工程防护措施包括设置上/侧吸罩，定期维护，设施密闭且相对隔离，设备自动化、密闭化。应急救援预案合理，并定期演练；应急救援设施有效，且定期保养。职业病防护用品选用合理，工人能按要求佩

戴。企业职业卫生管理制度完善，执行良好。

2.2 化学有害因素检测结果 连续 3 d 对主要涉铅岗位进行职业病危害因素检测，计算时间加权平均容许浓度（ C_{TWA} ），取 3 d 中最大值计算 E/OEL。结果见表 1。

表 1 主要涉铅岗位化学有害因素检测结果 mg/m³

岗位	危害因素	C_{TWA}			职业接触限值 (OEL)	E/OEL	ER
		第 1 天	第 2 天	第 3 天			
封盖	铅尘	<0.004 4	<0.003 9	0.007 5	0.03	0.250	2
焊接	铅烟	<0.004 4	<0.003 9	<0.003 7	0.03	<0.1 *	1
分刷片	铅尘	0.025 0	0.007 6	0.006 3	0.05	0.500	2
极板化成	铅尘	<0.004 4	0.019 6	0.003 0	0.05	0.392	2
涂片	铅尘	<0.004 4	0.007 5	<0.003 7	0.05	0.150	2
铸片	铅烟	0.007 8	0.007 5	0.005 4	0.03	0.260	2
和膏	铅尘	<0.004 4	0.005 1	<0.003 7	0.05	0.102	2
铅粉制作	铅烟	<0.004 4	0.008 2	<0.003 7	0.03	0.273	2
	铅尘	0.005 1	0.009 2	<0.003 7	0.05	0.184	

注：*，表示 3 d 检测浓度均低于实验室检出限值，E/OEL 按最低<0.1 计。

2.3 三种方法风险评估结果

2.3.1 定性评估 除封盖岗位铅用量为少量外，其余岗位均大量使用。极板化成、涂片、和膏岗位铅尘的扬尘性为中等，封盖、焊接、分刷片、铸片、铅粉制作岗位铅尘或铅烟的扬尘性为高。各岗位铅尘、铅烟的危害等级为 D 级。依据 GBZ/T 298—2017，封盖岗位铅尘的风险等级为 3 级，其余岗位为 4 级。

2.3.2 定量评估 铅化合物为非致癌类型，毒性值 RfC 参考接触浓度 1.5×10^{-4} mg/m³[3]。涉铅岗位铅烟或铅尘采用定量评估法计算 HQ 值均>1，非致癌风险不可接受。

2.3.3 半定量评估 由《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1—2007）可知，铅及其无机化合物属于 G2A 类物质，根据 GBZ/T 298—2017，铅的危害分级为 4 级。根据现场调查、化学有害因素的理化性质，以及表 1 计算结果进行赋值。采用半定量综合指数评估封盖岗位铅尘的风险等级为 2 级，其他岗位 3 级。

2.4 三种评估方法结果比较 血铅作为生物监测指标，适宜评价职业性铅及其化合物对人体健康的危害。在上述三种风险评估方法结果出现较大的差异时，可根据血铅值来评估与实际情况更接近的方法。查阅企业最近 1 年接铅工人血铅检测结果，除铸片、分刷片岗位工人血铅指标异常（异常率分别为

5.9%、7.3%）外，其余岗位工人无血铅异常情况。

定量评估法参照相对危险度分级，将 $HQ<1.0$ 定义为 1 级，可忽略风险；1.0~1.5 为 2 级，低风险；1.5~3.0 为 3 级，中等风险；3.0~10 为 4 级，高风险；≥10 为 5 级，极高风险。将三种方法所得的等级 RR 进行一致性检验，加权 $Kappa$ 值≤0，因此认为三种方法的观测结果不一致或一致率完全是由随机因素造成的[4]。由表 2 可知，定性、定量评估法的评估结果为极高风险或高风险，均与岗位工人血铅结果完全不同；半定量评估法除封盖岗位为低风险外，其他岗位为中风险，与岗位工人血铅结果也有差别，但相对接近真实情况。

3 讨论

我国是世界最大的铅酸蓄电池生产、消耗和出口国，拥有庞大的上下游产业链[5]。铅酸蓄电池的生产与加工主要以金属铅（合金铅）为原料，在极板化成、铸片、铅粉制作等生产工序中可产生大量铅尘和铅烟[6,7]，铅酸蓄电池生产企业 80% 以上的作业人员密切接触铅等有毒有害物质，劳动者健康受到严重威胁[8]。因此，对铅酸蓄电池生产企业进行职业健康风险评估有其必要性。本研究采用的三种方法对主要涉铅岗位化学有害因素的风险评估结果存在较大的差异，且与血铅异常的实际结果差别较大。

表 2 3 种风险评估方法评估结果比较与验证

岗位	有害因素	血铅结果	定性评估法				定量评估法				半定量评估法			
			<i>R</i>	风险等级	<i>RR</i> 值	等级 <i>RR</i>	<i>HQ</i>	风险等级	<i>RR</i> 值	等级 <i>RR</i>	<i>R</i>	风险等级	<i>RR</i> 值	等级 <i>RR</i>
封盖	铅尘	正常	3	高	0.75	4	10.0	极高	1	5	2	低	0.4	2
焊接	铅烟	正常	4	极高	1	5	3.3	高	0.8	4	3	中等	0.6	3
分刷片	铅尘	异常	4	极高	1	5	38.0	极高	1	5	3	中等	0.6	3
极板化成	铅尘	正常	4	极高	1	5	44.7	极高	1	5	3	中等	0.6	3
涂片	铅尘	正常	4	极高	1	5	11.3	极高	1	5	3	中等	0.6	3
铸片	铅烟	异常	4	极高	1	5	12.0	极高	1	5	3	中等	0.6	3
和膏	铅尘	正常	4	极高	1	5	8.0	高	0.8	4	3	中等	0.6	3
铅粉制作	铅烟/尘	正常	4	极高	1	5	21.3	极高	1	5	3	中等	0.6	3

定性评估法主要受化学物使用量、理化性质影响。本次评估为极高风险或高风险的结果，均高于半定量评估法和血铅异常的实际结果，这可能与定性评估法未考虑现场控制措施、化学有害因素浓度的影响，因而出现高估结果^[9,10]。

定量评估法主要受暴露频率、暴露时间、暴露浓度、毒物危害等多方面因素影响，参数中的 *IUR* 和 *RfD/RfC* 值均建立在大量的职业人群化学毒物暴露或实验动物吸入毒性研究数据的基础上，被研究者主观判断因素影响的可能性较小^[11,12]。本次评估结果均为极高风险或高风险，且高于半定量评估法和血铅异常的实际结果，这可能与该方法评估暴露浓度时未考虑危害控制措施，特别是劳动者佩戴劳动防护用品后实际吸入毒物浓度降低的影响，因此也出现了高估结果。

半定量综合指数评估法主要受危害控制措施、工人接触时间、现场浓度、化学品使用量、化学物的颗粒大小或蒸汽压等多方面因素影响，可比较客观地评估工作场所职业病危害的风险程度^[13]。本次评估结果除封盖岗位为低风险外，其他岗位均为中风险，虽与作业工人血铅结果存在差别，但相对接近真实情况，这可能与该方法评估时综合考虑的因素较多，各因素经赋值计算后提高了结果值，使评估结果偏高^[14]。

在对涉铅岗位职业健康风险评估实践中，定性、定量与半定量风险评估法均高估了评价结果，但半定量评估法结果与血铅值更为接近，更适宜风险评估。依据此评估结果，企业应加强对焊接、分刷片、极板化成、涂片、铸片、和膏、铅粉制作等接铅岗位的风险控制，切实保护作业人员的职业健康。

参考文献

[1] 韩世丽, 邱劲松. 定量和半定量评估法评估某家具制造企业职业

健康风险 [J]. 职业卫生与病伤, 2020, 35 (1): 5-9.

[2] 张美辨, 唐仕川. 职业健康风险评估方法学实践应用 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2016: 1-29.

[3] United States Environmental Protection Agency. Dose-response assessment for assessing health risks associated with exposure to hazardous air pollutants [EB/OL]. <https://www.epa.gov/iris>.

[4] 郭轶斌, 郭威, 秦宇辰, 等. 基于 *Kappa* 系数的一致性检验及其软件实现 [J]. 中国卫生统计, 2016, 33 (1): 169-170, 174.

[5] 白文波, 伊晓波. 我国蓄电池行业发展现状与趋势分析 [J]. 电器工业, 2020 (9): 12-16.

[6] 胡飞飞, 周倩倩, 张恒东, 等. 某铅酸蓄电池企业职业危害因素识别与评价 [J]. 中国工业医学杂志, 2013, 26 (2): 114-117.

[7] 张秀莲, 姬有仓, 彭唯, 等. 某公司阀控式密封铅酸蓄电池生产项目职业危害现状评价 [J]. 职业与健康, 2011, 27 (5): 488-491.

[8] 周倩倩, 胡飞飞, 夏超一, 等. 职业接触铅人群健康危害的研究进展 [J]. 中国工业医学杂志, 2013, 26 (5): 353-356.

[9] 田亚锋, 刘开钊, 吴礼康, 等. 3 种职业健康风险评估模型在深圳市某变压器生产企业中的应用 [J]. 职业与健康, 2018, 34 (18): 2449-2452.

[10] 边洪英, 胡伟江, 张恒东, 等. 不同职业健康风险评估方法在铅酸蓄电池生产行业的应用比较 [J]. 中国职业医学, 2018, 45 (6): 713-718.

[11] 袁伟明, 冷朋波, 周莉芳, 等. 应用国外两种风险模型评估职业危害的对比研究 [J]. 环境与职业医学, 2015, 32 (1): 51-55.

[12] 周莉芳, 张美辨, 袁伟明, 等. 应用美国国家环境保护署吸入风险模型评估职业危害的研究 [J]. 浙江预防医学, 2014, 26 (2): 109-113, 127.

[13] Ministry of Manpower. A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harmful chemicals [R]. Singapore: Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division, 2005.

[14] 唐石树, 梁娇君, 陈振龙, 等. 三种职业健康风险评估方法在某铅酸蓄电池企业中的应用 [J]. 卫生研究, 2020, 49 (2): 298-301.

(收稿日期: 2021-01-20; 修回日期: 2021-07-02)