

某企业职业病危害的半定量风险评估

王志平¹, 郑文慧¹, 肖国兵²

摘要: [目的] 对某蓄电池企业职业病危害控制效果运用风险评估模型进行风险评估,为企业整改做好职业病危害控制评价提供依据。[方法] 应用新加坡化学毒物职业暴露半定量风险评价方法,系统地识别该企业化学有害因素、评价暴露可能性决定其危害级别,并按危害程度依次处理。[结果] 该企业化学有害危害因素为铅尘、铅烟、硫酸。检测结果时间加权平均容许浓度值分别为铅尘0.025~0.030 mg/m³、铅烟0.019~0.035 mg/m³、硫酸0.260 mg/m³,其危害等级都为5级;暴露等级铅尘作业为3级,铅烟组装岗位为3级,铅烟分片岗位为2级,硫酸化成岗位为3级。[结论] 该蓄电池企业各作业岗位风险等级为重度、中度风险。应根据岗位作业风险分级情况,在职业病危害防护和控制上全面采取重点防护措施,并定期进行风险评估。

关键词: 风险评估; 化学有害因素; 控制效果评价

Occupational Disease Hazards Evaluation in an Enterprise by a Semi-Quantitative Risk Assessment Method WANG Zhi-ping¹, ZHENG Wen-hui¹, XIAO Guo-bing² (1. Department of Health Surveillance, Ningbo Yinzhou District Center for Disease Control and Prevention, Zhejiang 315100, China; 2. Ningbo Health Supervision, Zhejiang 315010, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To evaluate the effect of an occupational hazards control program by a risk assessment model in a battery enterprise and to provide evidence for the enterprise's reform. [Methods] A semi-quantitative risk assessment designed for occupational exposure to chemicals in Singapore was applied to systematically identify chemical hazards in the selected enterprise, to grade related risk level by chemical exposure possibility, and to develop corresponding management strategy. [Results] The chemical hazards in this enterprise were lead dust, lead fume, and sulfuric acids. The time-weighted average concentration values of lead dust, lead fume, and sulfuric acids were 0.025-0.030 mg/m³, 0.019-0.035 mg/m³, and 0.260 mg/m³, respectively. All estimated hazard classes were 5. The exposure level for lead dust and lead fume at the assembling posts was 3, 2 for lead fume at the slicing posts, and 3 for sulfuric acid at the formation posts. [Conclusion] For all operating positions, the risk levels are defined as severe or medium. According to the risk classification of work posts, it is important to focus on the comprehensive prevention and control of occupational hazards, as well as regularly risk assessments.

Key Words: risk assessment; chemical hazards; control effect evaluation

近年来国内对职业病危害风险评估工作越来越重视,也开展了相应的课题工作,但职业危害的风险评估标准尚未建立。风险评估是识别与分析工作场所存在何种职业病危害^[1],评价这些危害对人身伤害可能性的过程,其目的是为了确定并提出相应的预防和控制措施,与建设项目的危害控制工作的相同。目前,对铅酸蓄电池企业职业病危害因素的评价亦仅停留在单个职业病危害因素浓度的检测值与标准中的容许浓度进行简单的比较上,而实际工作场所中有毒有害物质浓度即使符合职业接触限值,也仍然存在一定的健康危害风险^[2]。本研究拟通过对铅酸蓄电池企业风险评估模型的应用,建立危害与管理之间的相互联系,依据职业危害的风险评估水平,对职

业病危害的关键控制点确定采取切实可行的相应分级管理控制措施,达到控制效果评价的目的。

1 对象与方法

1.1 对象

根据某铅酸蓄电池企业专项整治项目——技改后职业病危害控制效果评价,对该蓄电池生产企业的磨粉车间、铸板车间、涂片车间、化成车间、磨片车间、电池组装车间、充电车间的铅酸蓄电池岗位的职业病危害因素进行识别分析。

1.2 职业卫生现场调查

调查企业存在的职业病危害因素、职业病防护设施设置情况,收集用人单位职业卫生管理情况、个人防护用品使用及职业健康监护资料、辅助用室设置。

1.3 职业病危害因素监测

按GBZ 159—2004《工作场所中有害物质监测采样规范》进行定点采样与长时间采样相结合,检验方法参照GBZ/T

[作者简介] 王志平(1963—),男,大专,副主任医师;研究方向:职业卫生检测与评价;E-mail: wzp0504@126.com

[作者单位] 1.宁波市鄞州区疾病预防控制中心卫生监测科,浙江315100; 2.宁波市卫生监督所,浙江 315010

160.10—2004《工作场所空气中毒物质测定》。

1.4 评估方法

通过系统识别化学物质危害, 评价暴露、或暴露的可能性, 然后根据新加坡化学毒物职业暴露半定量风险评估方法评估^[3], 风险水平根据危害等级和暴露等级进行计算, 公式为: $Risk = \sqrt{HR \cdot ER}$ 。式中, HR 为危害等级, ER 为暴露等级。

1.4.1 危害等级 化学品危害的大小取决于其毒性、暴露途径及其他因素。危害等级划分主要根据美国工业学家协会(ACGIH)和国际癌症研究中心(IARC)的化学物质致癌作用分类, 根据化学品的毒作用对其危害分级(表 1); 或根据化学物的急性毒性资料(半数致死剂量 LD_{50} 和半数致死浓度 LC_{50})进行分级^[1]; 均划分为 5 级。

表 1 化学品危害等级(依据毒作用)

危害等级	危害描述	ACGIH 致癌物分级	IARC 分级	化学物举例
1	未知健康危害影响, 未被列为有毒或有害物质	A5	4	氯化钠、丁烷、碳酸钙
2	皮肤、眼睛或黏膜可逆作用, 不产生严重的健康损害	A4	3	丙酮、醋酸、铝粉尘
3	可能对人类或动物致癌物或致突变物、但资料不足。腐蚀性(PH3-5 或 9-11), 呼吸道过敏物, 有害化学物	A3	2B	甲苯、二甲苯、氨基胺、醋酸酐
4	潜在人类致癌物、诱变物或基于动物研究的致畸物, 高度腐蚀性、有毒化学物	A2	2A	甲醛、镉、亚甲兰、丙烯腈、丁二烯
5	已知的人类致癌物、诱变物或致畸物, 高度有毒化学物	A1	1	苯、联苯胺、铅、砷、铍、汞晶体硅

1.4.2 暴露等级 暴露等级划分为 5 个等级^[4]。(1)暴露等级可根据实际暴露浓度(E)与容许接触限值(PEL)的比值来计算: 1 级($E/PEL < 0.1$)代表极低水平; 3 级($E/PEL=0.5\sim 1.0$)代表中等水平; 5 级($E/PEL \geq 2.0$)代表极高水平; 当计算值为非整数时, 四舍五入。实际暴露浓度计算公式为 $E=F \times D \times M/W$ 。式中, E 为每周暴露量(mg/m^3), F 为每周暴露频率(次/周),

M 为暴露量(mg/m^3), W 为每周平均工作时间(40 h), D 为每次暴露的平均持续时间(h)。(2)如果没有暴露浓度监测资料, 可应用暴露指数(EI)来确定暴露等级, 计算公式: $ER=[EI_1 \times EI_2 \times \dots \times EI_n]/n$ 。式中, n 为使用暴露因子个数。本研究暴露因子包括了蒸汽压、颗粒大小、危害控制措施、毒物每周使用量、每周工作时间等。暴露因子及指数的划分见表 2。

表 2 暴露因子及暴露指数

暴露因子	暴露指数				
	1	2	3	4	5
蒸汽压(mmHg)	< 0.1	0.1~1	> 1~10	> 10~100	> 100
颗粒大小(空气动力直径)	粗、块状 潮湿物质	粗 干燥物质	干燥小颗粒 粒径 > 100 μm	干燥细颗粒 粒径 10~100 μm	干燥粉末状 粒径 < 10 μm
危害控制措施	适当控制 定期保养	适当控制 非定期保养	适当控制 不需保养中等灰尘	不定期控制 灰尘	不需控制 很多灰尘
毒物每周使用量(kg)	可忽略不计 < 1	较少使用量 1~10	中等使用量 10~100	大量使用 100~1000	极量使用 > 1000
每周工作时间(h)	≤ 8	8~16	16~24	24~36	32~40

1.4.3 风险水平 风险水平划分为 5 个等级, 当计算值为非整数时, 四舍五入。风险分级由危险度等级 1~5 由低到高表示, 分级依次为: 可忽略风险、低风险、中等风险、高风险、极高风险。

2 结果

2.1 企业概况

该项目为铅酸蓄电池整治提升、技改项目, 年产各种铅酸蓄电池 160 万 KVAH, 企业主要以生产极板为主, 产品包括密封式电动车蓄电池(极板)、汽车动力蓄电池和汽车启动蓄电池。通过对生产车间、工艺生产设备、卫生防护工程设施和卫生辅助用室等进行改进和技术改造, 以达到职业卫生管理部门职业病防护措施验收标准。该企业内现有职工 129 人, 生产一线各岗位工人每天按一班制配置, 全年生产约 290 d。每班工作时间均为 8 h。

2.2 生产工艺

该企业的生产工艺流程包括熔铅、磨粉、铸板、涂板、化

成、磨片、组装、充电等工序, 见图 1。采用机械化作业方式; 铅锭经熔铅炉制成小铅球自动送入球磨机出铅粉。用熔铅炉加热系统, 将合金铅融化并通过自动铸片机浇铸成极片; 铅粉通过密闭管道输送, 铅粉及酸液在和膏机内和膏, 经涂膏后的极板烘干后涂板, 极板表面的铅尘可能会脱落, 从而产生铅尘危害。机械设备的运转及室外的风机运转会产生噪声危害。该工艺流程中主要存在的职业病危害因素为铅尘、铅烟、噪声。化成车间生产工序为极板化成。整个化成的过程中使用的硫酸, 会产生硫酸雾, 故主要存在的职业病危害因素为硫酸。整个工艺流程中的化学有害物质为铅尘、铅烟、硫酸。



图 1 某铅酸蓄电池企业生产工艺流程图

2.3 作业场所化学危害因素检测结果

根据该企业的生产工艺和原、辅材料分析, 主要化学有害危害因素为铅烟、铅尘、硫酸。职业病危害因素检测结果见表3。

表3 某铅酸蓄电池企业岗位化学物质浓度检测结果

毒物种类	岗位名称	检测结果		职业接触限值		结果判定
		C-TWA [*] (mg/m ³)	超限倍数	PC-TWA [△] (mg/m ³)	最大超限倍数	
铅尘	磨粉	0.025	1.9	0.03	3	合格
	涂板	0.030	1.5	0.03	3	合格
	铸板	0.029	1.2	0.03	3	合格
	磨片	0.030	1.6	0.03	3	合格
铅烟	熔铅	0.021	1.6	0.05	3	合格
	分片	0.019	1.5	0.05	3	合格
	组装	0.035	1.4	0.05	3	合格
硫酸	化成	0.260	—	1.00	—	合格

[注]*: 时间加权平均容许浓度值; △: 时间加权平均容许浓度标准。

2.4 危害等级

该企业作业岗位中存在的化学物质主要为铅烟、铅尘、硫酸。依据分级方法可能造成的危害程度分成不同的等级, 该项目化学物质的危害等级区分结果铅烟、铅尘、硫酸危害等级为5级。

2.5 暴露等级

2.5.1 依据暴露浓度 根据作业场所职业病危害因素的检测结果, 计算暴露水平, 获得暴露等级数值见表4。确定职业病危害控制要通过劳动者按涉铅作业要求进行个体防护和完善的职业卫生管理制度达到控制目的。

表4 某铅酸蓄电池企业作业岗位的暴露等级

作业岗位	毒物种类	暴露浓度/容许接触限值	暴露等级
磨粉	铅尘	0.7	3
涂板	铅尘	0.9	3
铸板	铅尘	0.8	3
磨片	铅尘	0.9	3
熔铅	铅烟	0.4	2
分片	铅烟	0.3	2
组装	铅烟	0.6	3
化成	硫酸	0.2	2

2.5.2 依据暴露指数 该企业的各暴露因子核定数值为: 铅及其化合物的蒸汽压为0.24 mmHg(20℃), 硫酸蒸汽压为0.13 mmHg, EI₁都为2; 铅烟、铅尘为颗粒大小为细颗粒, EI₂为4, 硫酸为1; 职业病危害防护控制措施要包括涉铅作业的卫生工程防护设施、职业卫生台账设立、应急救护预案、职业卫生培训、个人卫生习惯、卫生辅助用室设置, EI₃为1; 铅及硫酸每周使用量为大量使用, EI₄为4; 每周工作时间为40 h, EI₅都为5。按公式计算可得: 铅尘、铅烟的暴露等级为3级, 硫酸的暴露等级为2级。

2.6 风险水平

根据危害等级及暴露等级计算该企业风险水平, 结果可知: 铅尘、铅烟、硫酸为中、高风险的职业病危害因素, 见表5。

依据风险等级建议用人单位采取纠正措施, 包括做好通风除尘措施、个人防护用品的使用与管理, 职业卫生知识培训、健康监护、生物监测等措施。

表5 某铅酸蓄电池企业化学物质风险职业病危害风险等级

作业岗位	毒物种类	风险等级	风险等级描述
磨粉	铅尘	4	高风险
涂板	铅尘	4	高风险
铸板	铅尘	4	高风险
磨片	铅尘	4	高风险
熔铅	铅烟	3	中等风险
分片	铅烟	3	中等风险
组装	铅烟	4	高风险
化成	硫酸	4	高风险

3 讨论

铅酸蓄电池企业属于职业病危害严重企业, 在职业病危害控制效果评价时, 由于标准滞后, 在企业技改时未开展职业病危害风险评估, 而忽略职业病危害风险分级管理, 导致铅中毒事件的发生。该企业职业病危害因素检测结果显示, 其浓度低于国家规定的职业接触限值, 说明目前防护设施的职业病危害控制效果是有效的。但长期动态的职业病危害状况则不能简单的从检测结果中获得, 只有定期通过对化学物质的风险评估, 确定职业病危害因素的风险等级, 才能定性、定量地预测评价职业病危害程度, 调整职业病危害风险管理策略, 以降低职业危害风险。

风险等级4级岗位属高风险级等级, 按风险处理优先原则, 应按照GB 13746—2008《铅作业安全卫生规范》条款要求逐条落实。保证对作业场所化学物危害因素要每月进行一次作业场所检测, 上岗前职工的血铅浓度应符合限值要求。由于铅接触不可避免, 因此要求作业工人血铅水平保持在30 μmol/L。每年应进行一次风险评估, 根据空气检测及生物监测血铅浓度的结果, 采取严格的职业卫生管理和防护措施来控制风险。加强后续措施的落实, 可以降低职业病危害风险水平。

通过新加坡化学毒物职业暴露半定量风险评估模型在建设项目的危害评价中应用, 能够使用人单位明确理解职业病预防与控制工作。该方法为半定量评估方法, 危害等级和暴露等级的划分标准较客观, 实用性强。缺点是仅限于化学物质, 不适用于物理因素。由于该模型与职业病危害因素浓度达标与否关系不大, 对于暴露在化学有害因素的工人, 应考虑其暴露的频率、持续时间。如果有二种以上化学物时, 应考虑联合暴露剂量的使用。如果作业场所不能获得空气监测结果, 则应使用暴露指数计算暴露等级。本调查结果显示, 通过空气检测获得暴露浓度计算与直接利用暴露指数计算结果, 暴露等级基本相同。但在风险评估过程中使用暴露指数时选用不同变量参数(暴露因子)的权重, 对风险等级结果会产生影响。

应用化学毒物职业暴露半定量风险评估方法, 分析该企业化学物质的职业病危害风险, 结果显示重度风险等级占75%、中度风险等级占25%。根据岗位作业风险分级情况, 在职业病危害防护和控制上应突出重点, 对重度、中度岗位作业点强化

职业病防护设施的使用维护, 加强作业场所毒物浓度的定期监测, 做好健康监护、生物监测, 从个人使用的皮肤病防护用品、应急救援、卫生辅助用室、职业卫生监管等方面, 采取适宜的职业卫生风险分级管理措施, 并对其皮肤病危害防护措施工程技术的完备性及控制效果进行评价。企业需要通过日常职业卫生知识的教育和培训, 提高工人的防护意识, 让工人认识到铅中毒的危害, 从健康教育知、信、行方面强化劳动者的自我保护意识; 进一步提升铅酸蓄电池企业的规范化管理, 提高技改水平, 使生产工艺向自动化、密闭化方向发展, 降低工人接触有害因素的程度; 确保通风效果, 使生产区、生活区分区明确, 做到车间分隔、工序分离, 避免二次污染。

本项目采用的职业危害风险评估主要考虑化学有害因素风险分级, 尚未对粉尘、物理因素对人体健康的危害进行分级, 由于物理因素与粉尘采用不同的风险评估模块(如暴露比值、健康效应等级等许多方法)目前仍处于尝试和探索阶段, 风险值计算的合理性与科学性尚有待于今后根据现场暴露与结局

的关系作进一步的完善^[5]。

· 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 张美辨, 邹华, 袁伟明, 等. 职业危害风险评估方法的研究进展[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2012, 12(30): 972-974.
- [2] 王延让, 刘静, 张鸿, 等. 风险评估在化工行业职业危害评价中的应用[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2009, 27(2): 122-125.
- [3] 王忠旭. 国外工作场所危险性评价和管理模式介绍[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2006, 24(10): 631-633.
- [4] 黄德寅, 薄亚莉, 管树利, 等. 化学物质职业暴露健康风险分级方法的研究及应用[J]. 中国工业医学杂志, 2009, 22(1): 69-72.
- [5] 唐文娟, 柯宗枝, 魏陈军, 等. 纺织印染中小企业主要职业病风险综合评估[J]. 海峡预防医学杂志, 2011, 17(4): 49-51.

(收稿日期: 2013-01-21)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 王晓宇; 校对: 郑轻舟)

【EHP 专栏】

地质和卫生科学联合评估尼日利亚手工掘金所致的儿童铅中毒

Geoffrey S. Plumlee, James T. Durant, Suzette A. Morman, Antonio Neri, Ruth E. Wolf, Carrie A. Dooyema, Philip L. Hageman, Heather A. Lowers, Gregory L. Fernette, Gregory P. Meeker, William M. Benzel, Rhonda L. Driscoll, Cyrus J. Berry, James G. Crock, Harland L. Goldstein, Monique Adams, Casey L. Bartrem, Simba Tirima, Behrooz Behbod, Ian von Lindern, Mary Jean Brown

摘要: [背景] 2010年, 无国界医生组织发现尼日利亚西北部爆发与手工黄金加工相关的铅中毒。疫情已造成约400名幼儿死亡, 数千人受影响。[目的] 旨在进行一项跨地质和卫生科学的评估, 以明确铅的来源和暴露途径, 确定更多相关毒物和高危人群, 并探讨全球类似的铅中毒发生的可能性。[方法] 采用不同的方法, 对矿石样品、来自村庄和家庭化合物中的土壤和清扫样品、植物性食物样品进行分析。[结果] 富铅金矿石在开采前的自然风化形成大量、高度胃-生物可及性的碳酸铅。在所有类型的样品中发现相同的铅矿指纹, 从而确定矿石处理过程造成了极大的污染, 土壤/清扫样品中的铅高达 $185\,000 \times 10^{-7}$, 植物性食品中高达 145×10^{-7} 。意外摄入经过手口传播的土壤和从呼吸道排出的灰尘是主要暴露途径。食用受到加工过程污染的水和食品可能铅摄入量较小, 但这些仍然是重要的暴露途径。虽然幼儿遭受了最直接和最严重的后果, 但研究结果表明, 年龄较大的儿童、成年工人、孕妇和哺乳期婴儿也处于铅中毒的风险之中。汞、砷、锰、锑、二氧化硅结晶暴露对健康造成额外的威胁。[结论] 研究结果为尼日利亚正在进行的工作提供了信息, 以评估铅污染和铅中毒、治疗受害者、减少暴露以及治理污染。矿床地质、开采前风化以及新兴的手工采矿几种因素可能会综合导致全球其他地方类似的铅中毒灾难。

关键词: 手工采矿; 环境健康; 铅中毒; 汞污染; 矿床地质

原文详见 *Environmental Health Perspectives*, 2013, 121(6): 744-750.