

电子废弃物资源再利用企业职业病危害风险评估分析

Risk assessment of occupational hazards in an electronic waste recycling enterprise

吴越芾, 戎艳, 张静波, 郭孔荣, 孙道远
(同济大学附属上海市肺科医院, 上海 200433)

摘要:通过现场职业卫生学调查、实验室检测,明确某电子废弃物资源再利用企业生产过程中存在的主要职业病危害因素,采用定性判定法(MES法)确定项目的职业病危害风险等级。本项目职业病危害因素检测结果均符合国家职业卫生标准限值要求。正常工况下,各岗位职业病危害风险等级5级,稍有危害。特殊工况下,产生氰化物、金属粉尘、聚乙烯/聚丙烯粉尘岗位职业病危害风险等级3级,为显著危害;其余岗位职业病危害风险等级4级,一般危害。

关键词:电子废弃物资源再利用;职业病危害
中图分类号:R135 **文献标识码:**B
文章编号:1002-221X(2016)04-0313-03
DOI:10.13631/j.cnki.zgggyx.2016.04.027

电子废弃物具有数量多、危害大、潜在价值高的特点。近年来,为实现电子废弃物的有序利用,我国长三角地区建成了一些较大规模的电子废弃物资源再利用企业。本研究将对某电子废弃物资源再利用项目生产过程中的职业病危害进行识别、分析与评价,确定项目职业病危害风险等级,为类似企业的卫生评价工作积累经验。

1 对象与方法

1.1 对象

某电子废弃物资源再利用企业2014年建成并投入生产,年拆解电子废弃物获得各类贵金属(铁、铜、铝、金、锌、锡、钴、镍等)及配件6万t。生产工人72人,实行两班制,每班工作8h。

1.2 方法

1.2.1 现场职业卫生学调查 包括生产过程及作业环境的卫生学调查、职业卫生管理等,以确定工作场所存在的职业病危害因素种类、数量、存在形态、存在部位,劳动者接触人数、接触职业病危害因素的工龄、方式及时间等,调查各项职业卫生防护措施的防护效果。

1.2.2 采样与检测 根据《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》(GBZ159—2004)对作业场所空气中有害因素进行现场采样。采样方法包括长时间定点和个体采样。长时间定点采样为连续2h(包括一个完整的操作过程),对操作工进行的个体采样为连续2h(包括一个完整的巡检或操作过

程)。

检测方法按照《工作场所空气中有毒物质的测定方法》(GBZ/T160),职业卫生标准限值依据《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》(GBZ2.1—2007)规定执行。

1.2.3 评估与分级 采用MES法^[1,2]进行职业病危害因素风险评估,从控制措施状态、暴露时间、后果严重程度三方面评分及进行风险分级(表1)。

表1 MES评价法风险分级

R 值	风险分级
>150	1 级/极其危险
90~	2 级/高度危险
50~	3 级/显著危险
20~	4 级/一般危险
<20	5 级/稍有危险

2 结果

2.1 职业病危害因素识别

2.1.1 生产工艺 拆解电子废弃物包括电视机、电冰箱、洗衣机、空调、打印机、手机等,生产过程基本采用全自动拆解设备、流水线拆解工艺。基本工艺流程为拆外壳至全面解体,拆解出的金属、塑料、锂电池、覆铜板、氟利昂、墨粉、灯管、玻璃破碎后出售,无铅焊锡料经熔炼后形成锡合金出售。线路板、含铅焊锡、含镍废物、氰化废液、表面处理废液、含锌废液、废酸等进入危险废弃物拆解流程:电器元件进行锤磨、分筛,形成纤维粉出售;不带元器件的线路板经氰化钠溶液脱镀、提炼出贵金属出售。氰化废液经次氯酸钠氧化,最终形成CO₂和N₂。拆解设备自带全封闭抽风集尘、排毒装置;噪声设备设置防噪减震垫;对生产热源和输热管道采取隔热保温措施。

2.1.2 职业病危害因素识别 按照废弃资源种类划分评价单元,包括家电拆解线、线路板处理线、废硒鼓墨盒处理线、废铜覆板处理线、无铅焊锡处理线、塑料生产线、氰化液处理线、废包装材料清洗处理线、酸碱废液处理线、含镍废物处理线、含锌废物处理线、贵金属精炼线、废锂电池处理线、含铅焊锡处理线、辅助设施(空压机站、配电站、剧毒品库)。

根据各单元生产工艺、使用原辅料情况,本项目可分为正常工况(S=1)和特殊工况(S=10)两种情形。特殊工况:(1)由于本项目使用氰化钠溶液进行贵金属脱镀,作为剧毒品,一旦发生泄漏,将造成严重的职业性急性中毒事故;(2)金属粉尘、塑料粉尘,在机械设备故障、雷电、静电、人为火源和生产操作失误等特殊情况下,极易造成粉尘爆炸

收稿日期:2016-01-08;修回日期:2016-03-01
基金项目:卫生公益性行业科研专项(201402021)——新增法定职业病防治关键技术研究
作者简介:吴越芾(1983—),男,研究方向:职业卫生检测与评价。
通讯作者:孙道远,主任医师,研究方向:职业病临床、职业卫生管理。

事故发生；（3）酸碱泄漏，可能导致职业性急性中毒事故；正常工况下，各评价单元作业岗位工人接触的职业病危害因素检测结果均符合国家职业卫生标准限值要求，见表 2。

（4）大量铅烟逸散，可能造成急性亚急性中毒，严重的可引起铅中毒性脑病。

表 2 评价单元作业岗位工人接触的职业病危害因素分布

评价单元	岗位	职业病危害因素	接触时间 (h/班)	接触 人数	检测结果
线路板处理	线路板投料	聚乙烯粉尘、噪声	0.5	2	聚乙烯粉尘 C_{TWA} 0.08 mg/m ³ ,
	锤磨	聚乙烯粉尘、噪声	0.5		铜尘 C_{TWA} 4.7×10 ⁻³ mg/m ³ ,
	磁选	铁尘、噪声	0.5		铁尘 C_{TWA} 2.1×10 ⁻³ mg/m ³ ,
	风选、点选	铜尘、噪声	0.5		噪声 72.5 dB(A)
	电选机出料	聚乙烯粉尘、噪声	0.5		
废硒鼓墨盒处理	硒鼓破碎	炭黑粉尘、噪声	0.5	1	炭黑粉尘 C_{TWA} 0.80 mg/m ³ , 噪声 72.5 dB(A),
废铜覆板处理	单辊破碎机	铜尘、其他粉尘、噪声	4	1	铜尘 C_{TWA} 4.7×10 ³ mg/m ³
无铅焊锡处理	熔炼炉	高温、二氧化锡	0.5	1	二氧化锡 C_{TWA} <0.10 mg/m ³
塑料生产	容积式喂料机	聚乙烯粉尘、聚丙烯粉尘、滑石粉尘、噪声	2	1	粉尘 C_{TWA} 0.08 mg/m ³
	混料机	聚乙烯粉尘、聚丙烯粉尘、滑石粉尘、噪声	2	1	噪声 65.0 dB (A)
	挤出机	乙烯、丙烯、塑料	2	1	
	切割机	热解气、高温、噪声	2	1	噪声 76.3 dB (A)
	破氧处理	氰化物、次氯酸钠、氢氧化钠、氯、氨	0.5	1	氰化物 C_{TWA} <0.024 mg/m ³ , 氢氧化钠 C_{MAC} 0.18 mg/m ³ , 氯 C_{TWA} <0.04 mg/m ³ , 氨 C_{TWA} <0.13 mg/m ³
废包装材料清洗处理	材料清洗	氰化物、次氯酸钠、氢氧化钠、氯、氨	0.5	1	氰化物 C_{TWA} <0.024 mg/m ³ , 氢氧化钠 C_{MAC} 0.18 mg/m ³
酸碱废液处理	反应釜巡检	硫酸、氢氧化钠	0.5	1	氢氧化钠 C_{MAC} 0.19 mg/m ³
含镍废物处理	反应釜巡检	硝酸、盐酸、氢氧化钠	0.5	1	盐酸 C_{MAC} 0.46 mg/m ³
含锌废物处理	反应釜巡检	氢氧化钠	0.5	1	二氧化氮 C_{TWA} 0.007 1 mg/m ³
贵金属精炼	贵金属脱镀-电解巡检	氰化物、氢氧化钠、间硝基苯磺酸	4	1	氰化物 C_{TWA} <0.024 mg/m ³ ,
	贵金属精炼	氯化氢及盐酸	4	1	氢氧化钠 C_{TWA} 0.18 mg/m ³
	熔化浇铸	高温	2	1	盐酸 C_{TWA} 0.09 mg/m ³
废锂电池处理	锂电池粉碎	钴及其氧化物、炭	8	1	钴及其氧化物 C_{MAC} <0.007 mg/m ³ ,
		黑粉尘、噪声			炭黑粉尘 C_{MAC} 0.80 mg/m ³ , 噪声 72.5 dB (A)
家电拆解	电视机/电脑拆解	聚乙烯粉尘、噪声	8	8	聚乙烯粉尘 C_{TWA} 0.87 mg/m ³ , 噪声 82.2 dB (A)
	空调/冰箱拆解	氟利昂、矿物油、噪声	1	6	噪声 81.3 dB (A)
	洗衣机拆解	噪声	1	4	噪声 81.5 dB (A)
线路板预处理	线路板拆解	聚乙烯粉尘、铅烟	8	3	聚乙烯粉尘 C_{TWA} 0.97 mg/m ³ , 铅烟 C_{TWA} 0.006 mg/m ³
含铅焊锡处理	工业隧道炉	铅烟、二氧化锡、高温	8	2	铅烟 C_{TWA} 0.006 mg/m ³ , 二氧化锡 C_{TWA} <0.10 mg/m ³
辅助设施	空压机巡检	噪声	0.5	6	噪声 80.5 dB (A)
	配电间巡检	工频电场	0.5	1	工频电场 0.002 kV/m
	剧毒品库巡检	氰化物	0.5	1	未检测

注：高温未检测。

2.2 职业病危害风险评估

该项目针对不同职业病危害因素采取了相应的工程防护措施，并设有监测预警系统，各职业病危害因素检测结果未见超标，*M* 值为 1。各生产岗位工人均以巡检为主，每天工作时间暴露，*E* 值为 6。正常和特殊工况风险分析见表 3。

2.3 职业病危害关键控制点分析

经风险评估分析，得出本项目特殊工况下关键控制点（表 4）。

2.4 结论

通过职业病危害风险评价，正常工况下，各岗位职业病危

表 3 风险评估结果

评价单元	<i>M</i>	<i>E</i>	<i>S</i>		<i>R</i>		风险水平	
			正常	特殊	正常	特殊	正常	特殊
线路板处理线	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级
废铜覆板处理线	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级
无铅焊锡处理线	1	6	1	1	6	6	5 级	5 级
塑料生产线	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级
氰化液处理线	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级
废包装材料处理线	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级
酸碱废液处理线	1	6	1	8	6	48	5 级	4 级
含镍废物处理线	1	6	1	8	6	48	5 级	4 级
含锌废物处理线	1	6	1	10	6	48	5 级	4 级
贵金属精炼线	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级
废锂电池处理线	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级
家电拆解线	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级
含铅焊锡处理线	1	6	1	8	6	48	5 级	4 级
辅助设施	1	6	1	10	6	60	5 级	3 级

表 4 职业病危害关键控制点及危害等级

工作场所	主要职业病危害因素	关键控制点	危害等级
线路板处理线	聚乙烯粉尘、铁尘	投料、锤磨、出料、磁选	3 级
废铜覆板处理线	聚乙烯粉尘	破碎	3 级
塑料生产线	聚乙烯粉尘、聚丙烯粉尘	喂料、混料	3 级
氰化液处理线	氰化物（氰化钠）	破氰处理	3 级
废包装材料处理线	氰化物（氰化钠）	清洗	3 级
贵金属精炼线	氰化物（氰化钠）	脱镀	3 级
废锂电池处理线	聚乙烯粉尘	拆解	3 级
含铅焊锡处理线	铅烟	焊锡	4 级
剧毒品库	氰化物（氰化钠）	巡检	3 级

害风险等级 5 级，稍有危害。特殊工况下，产生氰化物、金属粉尘、聚乙烯/聚丙烯粉尘岗位职业病危害风险等级 3 级，显著危害；其余岗位职业病危害风险等级 4 级，一般危害。综合分析确定为职业病危害严重的建设项目。

3 讨论

MES 法是一种定性的风险评估方法，有助于职业病危害

关键控制点的确定，有助于职业卫生管理部门对某项目的职业病危害关键控制点的宏观把握，但也存在一定的不足：（1）不能将关键控制点的危害程度具体量化；（2）该方法仅考虑了一次性的直接事故后果，未考虑长期累积的事故后果，不能全面反映风险产生的真实后果。

本项目关键控制因素为氰化钠、铅烟及金属粉尘。氰化钠属于《国家安监总局关于公布首批重点监管的危险化学品名录的通知》中公布的首批重点监管的危险化学品，应按照《重点监管的危险化学品安全措施和事故应急处置原则》的要求采取相应的安全措施。而氰化钠又属于高毒物品，对高毒物品氰化钠的管理应执行“五双”制度，即：双人验收、双人保管、双人发货、双把锁、双账本。应在氰化钠使用岗位附近储备特效解毒药物，如硫代硫酸钠、亚硝酸盐类、亚甲蓝等。

铅烟主要产生于本项目含铅焊锡处理线，在高温熔融状态下形成，在设备封闭性或吸风排毒设施效果不佳时，部分铅烟逸散，如果工人个体防护缺失极易引起职业性铅中毒，应做好该岗位的工程和个体防护工作。

电子废弃物具有很高的回收利用价值，电子废弃物资源再利用行业因此也被称为“阳光产业”。我国电子垃圾回收、资源化处理产业刚刚起步，尽管目前仍处于无序回收状态，但距离分类回收、集中处理、综合利用的格局已经不远。我们期望通过对该新兴产业的职业病危害风险评估，能够为类似行业的职业卫生评价提供参考。

参考文献：

[1] 宋大成. 风险评估方法——MES 法 [S]. 中国职业安全卫生管理体系认证. 2002, 5: 34-35.
[2] 邹华, 栾俞清, 周莉, 等. 油品码头职业病危害工程防护措施分析及风险评估 [J]. 浙江预防医学, 2004, 26 (9): 884-892.

（上接第 297 页）

[16] Madhurima D, Samaresh C, Sujata L. Benzene exposure——an experimental machinery for induction of myelodysplastic syndrome; stem cell and stem cell niche analysis in the bone marrow [J]. Journal of Stem Cells, 2012, 7 (1): 43-59.
[17] Shen S, Yuan L, Zeng S. An effort to test the embryotoxicity of benzene, toluene, xylene, and formaldehyde to murine embryonic stem cells using airborne exposure technique [J]. Inhalation Toxicology, 2009, 21 (12): 973-978.
[18] Bird M G, Wetmore B A, Letinski D J, et al. Influence of toluene co-exposure on the metabolism and genotoxicity of benzene in mice using continuous and intermittent exposures [J]. Chemico-Biological Interactions, 2010, 184 (1-2): 233-239.
[19] Albertini R J, Judice S A, Recio L, et al. Hprt mutant frequency and p53 gene status in mice chronically exposed by inhalation to benzene [J]. Chemico-Biological Interactions, 2010, 184 (s1-2): 77-85.
[20] Mullin A H, Rando R, Esmundo F, et al. Inhalation of benzene leads to an increase in the mutant frequencies of a lacI transgene in lung and spleen tissues of mice [J]. Mutation Research/fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 1995, 327 (s1-2): 121-129.
[21] Yoon B I, Hirabayashi Y Y, Kodama Y, et al. Aryl hydrocarbon

receptor mediates benzene-induced hematotoxicity [J]. Toxicological Sciences, 2002, 70 (1): 150-156.
[22] Kawasaki Y, Hirabayashi Y, Kaneko T, et al. Benzene-induced hematopoietic neoplasms including myeloid leukemia in Trp53-deficient C57BL/6 and C3H/He mice [J]. Toxicol Sci, 2009, 110 (2): 293-306.
[23] Rithidech K, Dunn J J, Bond V P, et al. Characterization of genetic instability in radiation-and benzene-induced murine acute leukemia [J]. Mutation Research, 1999, 428 (s1-2): 33-39.
[24] Mukhopadhyay M K, Nath D. Physiologically based toxicokinetic modeling of secondary acute myelolytic leukemia [J]. Environmental Toxicology Pharmacology, 2014, 37 (1): 378-389.
[25] 夏昭林, 金锡鹏. 许祖德, 等. 苯吸入染毒对 BALB/C 小鼠的诱癌作用 [J]. 工业卫生与职业病, 1994, 20 (5): 283-285.
[26] Hoffmann M J, Sinko P J, Meeker R J, et al. Pharmacokinetics of benzene following an oral or intradermal dose in FVB and Tg. AC mice [J]. Advances in Experimental Medicine & Biology, 2001, 500: 455-458.
[27] Sun R, Zhang J, Xiong M, et al. Altered expression of genes in signaling pathways regulating proliferation of hematopoietic stem and progenitor cells in mice with subchronic benzene exposure [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015, 12 (8): 9298-9313.