

·调查与研究·

生活垃圾焚烧作业职业病危害风险评估研究

石峻岭, 吴世达, 陈健*

上海市疾病预防控制中心, 上海 200336

摘要: [目的] 对生活垃圾焚烧作业的职业病危害风险进行评估。[方法] 参照澳大利亚的风险管理手册, 依据职业病危害影响程度和可能性等级等参数, 对上海某生活垃圾焚烧厂的主要作业单元的风险开展评估。[结果] 通过系统的分析, 确定了生活垃圾焚烧作业主要作业单元的风险水平, 并依此提出了职业病危害风险管理的优先顺序。[结论] 有效的风险评估分析可为生活垃圾焚烧行业的职业病危害风险控制提供有针对性的参考。

关键词: 生活垃圾焚烧; 职业病危害; 风险评估

中图分类号: R135

文献标志码: A

文章编号: 1007-1326(2013)02-0074-04

Risk assessment for occupational hazards during domestic refuse incineration

SHI Jun-ling, WU Shi-da, CHEN Jian*

Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China

Abstract: [Objective] To assess the health risk caused by the occupational hazards during domestic refuse incineration. [Methods] Based on the potential impact severity and exposure probability of occupational hazards, the health risk in a certain domestic refuse incinerating factory of Shanghai was assessed using the available model. [Results] Through systematic analysis, the health risk level was evaluated and the priorities for the occupational health work in this company was determined in the main operation units. [Conclusion] Effective risk assessment and analysis could provide us with the directive information for risk control of occupational hazards in sectors of domestic refuse incineration.

Key words: Domestic refuse incineration; Occupational hazard; Risk assessment

在我国的城市生活垃圾无害化处理中, 采用焚烧处理方式的比重呈上升趋势。2006 ~ 2010 年, 我国城市生活垃圾的年焚烧处理量占垃圾无害化处理总量的比例由 14.5% 增加到 18.8%^[1]。生活垃圾成分复杂, 性质不均匀, 在生活垃圾焚烧过程中可发生多种化学反应, 产生多种职业病危害因素, 焚烧作业的职业病危害风险日益引起关注。

目前, 多通过评估有毒物质的职业病危害风险来确定作业场所的职业病危害水平^[2]。但是, 由于生活垃圾焚烧作业可产生粉尘、毒物、物理因素等多种职业病危害, 本文尝试通过一种相对简便、综合的风险水平分析方法对生活垃圾焚烧作业的职业病危害风险水平进

行评估并确定风险管理的优先顺序。

1 对象和方法

1.1 对象

选取上海某生活垃圾焚烧厂作为研究对象。

1.2 风险评估方法

参照澳大利亚的风险管理手册等方法原理^[3-5], 进行参数调整, 建立生活垃圾焚烧作业的风险评估方法。采用职业病危害影响程度和发生职业病危害的可能性两因素矩阵, 确定各作业单元的职业病危害风险。

1.2.1 职业病危害影响程度分级

根据垃圾焚烧厂的主要职业病危害因素, 选取有毒物质、粉尘、物理因素(噪声、高温)作为影响程度的分级指标。参照《职业性接触毒物危害程度分级》、《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分 化学有害因素》、《工作场所职业病危害作业分级 第 3 部分 高

基金项目: 国家卫生标准制定项目(编号: 2009-03-03)。

作者简介: 石峻岭(1978-), 男, 硕士研究生, 主管医师, 主要从事职业卫生工作。

* 通讯作者: 陈健, e-mail: jchen_3@scdc.sh.cn。

温》、《工作场所职业病危害作业分级 第 4 部分 噪声》、《高毒物品目录》等标准,根据职业病危害因素的急性毒性、刺激性与腐蚀性、致癌性、致敏性、生殖毒性、扩散性、蓄积性等指标,选取分级指标进行分级、赋

分,等级取各项判别标准所得结果的最高级。收录在《高毒物品目录》中粉尘和有毒物质,取最高等级。同一分级指标中,如存在多种危害因素,取等级最高毒物的等级。详见表 1。

表 1 职业病危害影响程度分级

等级	有毒物质	粉尘	物理因素
2	轻微危害	PC-TWA ≥ 8	噪声/高温作业分级 I
4	轻度危害	5 ≤ PC-TWA < 8	噪声/高温作业分级 II
8	中度危害	2 ≤ PC-TWA < 5	噪声/高温作业分级 III
16	高度危害	1 ≤ PC-TWA < 2	噪声/高温作业分级 IV
32	极度危害	PC-TWA < 1	/

1.2.2 职业病危害可能性分级
选取有防护措施、管理措施和作业方式作为危害

可能性的分级指标,进行分级、赋分,等级取各项判别标准所得结果的最高级。详见表 2。

表 2 职业病危害可能性分级

等级	防护措施	管理措施	作业方式
2	密闭,个体防护	完善且完全执行	采取遥控操作,巡检
4	密闭但程度低,个体防护	较完善,不完全执行	密闭设备旁的机械化作业
8	不密闭,采取通风等措施,个体防护	较完善,不执行	非密闭设备旁的机械化作业
16	防护不当,仅有个体防护	措施有缺陷	偶用手工操作
32	无	无	手工操作为主

1.2.3 风险分级和风险管理先后顺序

根据影响程度分级和可能性分级两因素建立风险等级的矩阵。根据风险等级和风险水平确定风险管理的先后顺序。根据风险评估原理^[3-5],风险等级的基本公式是:风险 = 可能性 × 影响程度,而上文中可能性和影响程度的等级赋分均设置为 lg 等级,取 lg 值后,得到简单的风险等级:lg 风险= lg 可能性 + lg 影响程度。由此得到风险等级矩阵。详见表 3。相应的职业病危害风险水平分为 4 个:将 2 ~ 4 级定义为低风险,5 ~ 6 级定义为中等风险,7 ~ 8 级定义为高风险,9~10 级定义为极高风险。根据风险水平的相对大小确定风险管理的先后顺序。

表 3 职业病危害风险矩阵

可能性等级	影响程度等级				
	2	4	8	16	32
32	6	7	8	9	10
16	5	6	7	8	9
8	4	5	6	7	8
4	3	4	5	6	7
2	2	3	4	5	6

1.2.4 实施步骤

对研究对象进行职业卫生调查研究,查阅文献^[6],识别各作业单元职业病危害因素,确定工艺设备的防护措施、管理措施、作业方式。根据建立的风险评估方法,评估各单元的风险水平和风险管理优先顺序。

2 结果

2.1 工艺流程

生活垃圾焚烧作业主要由垃圾接收储存、垃圾焚烧、热能利用、烟气净化、渗沥液处理、灰渣处理等作业单元组成。主要工艺流程见图 1。

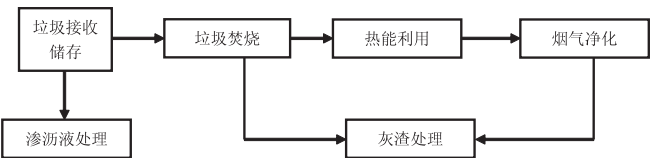


图 1 生活垃圾焚烧处理的主要工艺流程

2.2 职业病危害因素识别

垃圾接收储存单元和渗沥液处理单元的主要危害

因素为硫化氢、氨。垃圾焚烧单元的主要危害因素包括一氧化碳、二氧化碳、酸性气体(氯化氢、氟化氢、氮氧化物、氧化硫等)、金属类物质(镉及其化合物、铜烟(尘)、铅及其无机化合物、锰及其无机化合物、汞等)、二噁英类物质等有机物、高温、噪声。热能利用单元的主要危害因素包括一氧化碳、二氧化碳、酸性气体(氯化氢、氟化氢、氮氧化物、SO_x等)、金属类物质(镉及其化合物、铜烟(尘)、铅及其无机化合物、锰及其无机化合物、汞等)、二噁英类物质等有机物、高温、噪声等。烟气净化单元的主要危害因素包括一氧化碳、二氧化碳、氢氧化钠、酸性气体(氯化氢、氟化氢、氮氧化物、SO_x等)、金属类物质(镉及其化合物、铜烟(尘)、铅及

其无机化合物、锰及其无机化合物、汞等)、二噁英类物质等有机物、高温、噪声、活性炭粉尘、氢氧化钙、飞灰粉尘。灰渣处理单元的主要危害因素包括金属类物质(镉及其化合物、铜烟(尘)、铅及其无机化合物、锰及其无机化合物、汞等)、二噁英类物质等有机物、炉渣粉尘、水泥粉尘、飞灰粉尘、螯合剂粉尘、高温、噪声。辅助单元的主要危害因素包括尿素、氢氧化钠、盐酸、活性炭粉尘、氢氧化钙、水泥粉尘、螯合剂粉尘、煤尘、噪声等。

2.3 作业单元风险水平

依据表 1、表 2、表 3 的等级设定,对各焚烧作业单元中职业病危害发生的可能性和影响程度进行分级的结果见表 4 和表 5,危害的风险水平评估结果见表 6。

表 4 作业单元的职业病危害影响程度分级

作业单元	分级指标			等级
	有毒物质	粉尘	物理因素	
垃圾接收储存	极度危害(硫化氢、氨)	/	噪声作业分级 I	32
垃圾焚烧	极度危害(铅、镉、二噁英等)	/	噪声和作业分级 II	32
热能利用	极度危害(铅、镉、二噁英等)	/	噪声作业分级 III, 高温作业分级 II	32
烟气净化	极度危害(铅、镉、二噁英等)	5 ≤ PC-TWA(活性炭粉尘)	噪声作业分级 I, 高温作业分级 II	32
渗沥液处理	极度危害(硫化氢、氨)	/	噪声作业分级 I	32
灰渣处理	极度危害(铅、镉、二噁英等)	2 ≤ PC-TWA < 5(水泥粉尘)	噪声作业分级 I	32
辅助单元	中度危害(盐酸等)	2 ≤ PC-TWA < 5(水泥粉尘等)	噪声作业分级 I	8

表 5 作业单元的职业病危害可能性分级

作业单元	防护措施	管理措施	作业方式	等级
垃圾接收储存	密闭但程度低,个体防护	较完善,不完全执行	位于密闭设备附近作业	4
垃圾焚烧	密闭,个体防护	较完善,不完全执行	采取遥控操作,巡检	4
热能利用	密闭,个体防护	较完善,不完全执行	采取遥控操作,巡检	4
烟气净化	密闭,个体防护	较完善,不完全执行	采取遥控操作,巡检	4
渗沥液处理	密闭但程度低,个体防护	较完善,不完全执行	采取遥控操作,巡检	4
灰渣处理	不密闭,采取通风措施,个体防护	较完善,不完全执行	偶用手工操作	16
辅助单元	密闭,个体防护	较完善,不完全执行	采取遥控操作,巡检	4

表 6 作业单元的职业病危害风险水平

作业单元	可能性分级	危害影响程度分级	风险等级	风险水平
垃圾接收储存	4	32	7	高
垃圾焚烧	4	32	7	高
热能利用	4	32	7	高
烟气净化	4	32	7	高
渗沥液处理	4	32	7	高
灰渣处理	8	32	9	极高
辅助单元	4	8	5	中

2.2.4 风险管理优先顺序

由上述分析可见,生活垃圾焚烧作业各作业单元职业病危害风险的整体水平仍较高。根据各作业单元的风险水平高低,生活垃圾焚烧作业风险管理的优先顺序依次为灰渣处理、垃圾接收储存、垃圾焚烧、热能利用、渗沥液处理、烟气净化、辅助单元。未采取预防措施的,应及时采取措施;已采取预防措施的,要使之形成有效的制度并加强监管,降低危害发生的可能性。

3 讨论

3.1 焚烧单元的职业病危害风险控制

生活垃圾组分复杂,焚烧后可产生较多的职业病危害因素。本文也显示,焚烧单元的职业病危害风险水平高。更重要的是,焚烧单元垃圾不充分燃烧的情况下,会有更多的二噁英类物质、一氧化碳等产生^[7-8],增加后续单元有害物质的种类和数量。减少焚烧过程中有害物质的产生种类和数量是生活垃圾焚烧作业职业病危害控制的首要步骤。焚烧的过程中,需控制焚烧温度、搅拌混合程度、气体停留时间和过剩空气率等参数,保证二噁英充分分解。

3.2 灰渣处理单元的职业病危害风险控制

本次研究也显示,灰渣处理单元的职业病危害风险最高。生活垃圾焚烧后的灰渣中,吸附有二噁英类物质和重金属等高毒物质^[9-12]。应参照世界卫生组织的策略等要求^[13-15],采取发生源控制、散发途径控制、工人层面的防护及其他控制措施等相应的风险控制措施。炉渣、飞灰输送过程中宜保持湿式作业的方式;确保灰仓等处除尘装置的正常运行;输送机转运的落差处应尽量使用湿式喷淋、局部封闭或吸风设施;飞灰稳定化处理过程中,应尽量密闭操作,设置局部吸风装置;巡检和作业人员要佩戴有效的个体防护用品;对地面等处积尘进行及时的湿式清扫,减少二次扬尘。

3.3 本分析方法的意義

风险评估中,风险的大小是由职业病危害发生的可能性及其影响程度两部分共同决定的^[4]。与多数职业病危害风险评估不同的是,本文建立的方法整合有毒物质、粉尘和部分物理因素对影响程度进行分级;采用防护措施、管理措施、作业方式作为决定因素对可能性进行分级。这种风险评估有利于进行有针对性的风险管理,为生活垃圾焚烧作业的风险管理提供有针对性的信息和依据。另外,在实际应用中,职业病危害发生的可能性、影响程度及风险水平矩阵中,参数的设置可进行调整、细化,对风险水平进行更加深入的分析研究。

3.4 本分析方法的局限性

这种风险分析方法中的危害识别和风险水平评估

环节需要进行主观判断,不可避免地使结果具有不确定性。同时,在生活垃圾焚烧作业的过程中,无法预料的事件和罕见事件也有可能发生。因此,应对生活垃圾焚烧作业的各个环节进行进一步的研究,增加各个环节中尤其是检维修、事故状态下可能更新或改变的风险水平的认知。同时,应制订应急预案,建立、健全应急机制,以使不同的危害事件发生时能够进行有效的响应。

参考文献

- [1] 刘峰,张益.我国生活垃圾焚烧行业发展现状与趋势[J].环境卫生工程,2012,20(2):7-8.
- [2] 杨艳,余善法,王思华.职业病危害风险评估与管理模式关系初探[J].职业卫生与应急救援,2012,30(3):127-130.
- [3] Council of Standards Australia, Council of Standards New Zealand. Risk management[S]. Sedney: Standards Australia International Ltd, 2004: 11-22.
- [4] Council of Standards Australia, Council of Standards New Zealand. Risk management guidelines companion to AS/NZS4360:2004 [S]. Sedney: Standards Australia International Ltd, 2005: 48-55.
- [5] Vose, D. Risk Analysis a quantitative guide [M]. England: Wiley, 2008: 34-35.
- [6] 杨泽云,覃江纯,徐雯,等.某垃圾焚烧热电联产项目职业病危害控制效果评价[J].中国安全生产科学技术,2011,7(6):130-133.
- [7] 刘玉成,刘玉斌,李太福.城市固体垃圾焚烧的二次污染控制实现技术[J].环境科学与技术,2006,29(5):97-99.
- [8] 罗嘉.大型垃圾焚烧发电厂燃烧控制策略[J].电力自动化设备,2009,29(7):146-148.
- [9] Lu SY, Du Y, Yan J H, *et al.* Dioxins and their fingerprint in size-classified fly ash fractions from municipal solid waste incinerators in China: mechanical grate and fluidized bed units [J]. J Air Waste Manag Assoc, 2012, 62(6):717-724.
- [10] Hajizadeh Y, Onwudili J A, Williams P T. Effects of gaseous NH₃ and SO₂ on the concentration profiles of PCDD/F in fly ash under post-combustion zone conditions[J]. Waste Manag, 2012, 32(7): 1378-1386.
- [11] Yao J, Li W, Xia F, *et al.* Heavy metals and PCDD/Fs in solid waste incinerator fly ash in Zhejiang province, China: chemical and bio-analytical characterization[J]. Environ Monit Assess, 2012, 184(6): 3711-3720.
- [12] Nam S, Namkoong W. Irradiation effect on leaching behavior and form of heavy metals in fly ash of municipal solid waste incinerator [J]. J Hazard Mater, 2012, 199-200: 440-447.
- [13] WHO. Hazard prevention and control in the work environment[DB/OL]. Geneva: WHO, 1995 [2013-03-01]. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/60994/1/WHO_OCH_95.3.pdf.
- [14] WHO. Guidelines on the prevention of toxic exposures [DB/OL]. Geneva: WHO, 2004 [2013-03-01]. file://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42714/1/9241546115_eng.pdf.
- [15] NOISH. Qualitative Risk Characterization and Management of Occupational Hazards [DB/OL]. Atlanta: NOISH, 2009 [2013-03-02]. <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-152/pdfs/2009-152.pdf>.

(收稿日期:2013-02-06;修回日期:2013-03-03)