

# 焦化工业场地建筑物和生产设施表面 Pb 的赋存特征及健康风险

王玉哲<sup>1,2</sup>, 阎秀兰<sup>2\*</sup>, 廖晓勇<sup>2</sup>, 孙璐<sup>2</sup>, 朱琨<sup>1</sup>

(1. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:**研究了某典型焦化工业场地建筑物和生产设施表面 Pb 的污染特征及其存在的健康风险. 在该场地选择了 56 个建筑物和生产设施, 采用美国环保局 (United States Environmental Protection Agency, US EPA) 的擦拭取样方法, 采集了 94 个擦拭样品, 分析了建筑物和生产设施表面 Pb 的含量, 目的是阐明焦化工业场地建筑物和生产设施表面 Pb 的含量和分布特征, 探讨其表面存在的 Pb 污染潜在健康风险. 分析结果表明, 焦化厂建筑物和生产设施表面 Pb 含量差异很大, 在 0 ~ 538  $\mu\text{g}/\text{dm}^2$  范围内, 78.7% 的擦拭样品超过美国住房和城乡建设部 (United States Department of Housing and Urban Development, US HUD) 规定的健康风险基准值 (2.69  $\mu\text{g}/\text{dm}^2$ ), 推焦车表面 Pb 含量最高. 办公和生活区、精制区、炼焦区和制气区擦拭样品 Pb 含量的超标率分别为 78.9%、75.0%、73.7% 和 78.6%. 在玻璃、防锈漆、水泥和砖这 4 种材质中, 防锈漆表面平均 Pb 含量最高, 其次为砖面和水泥, 玻璃表面最低, 94.4% 的防锈漆表面擦拭样品超过健康风险基准值.

**关键词:** 铅; 焦化工业场地; 建筑物和生产设施; 擦拭取样; 基准值; 风险评价

**中图分类号:** X82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2011)03-0834-08

## Pb Pollution on Surfaces in a Typical Coking Plant and Health Risk Assessment

WANG Yu-zhe<sup>1,2</sup>, YAN Xiu-lan<sup>2</sup>, LIAO Xiao-yong<sup>2</sup>, SUN Lu<sup>2</sup>, ZHU Kun<sup>1</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Pb pollution on the surfaces of buildings and devices at a coking plant was studied. The objectives of this study were to determine the Pb content and its spatial variation on the surfaces, and to assess the potential health risk from this Pb. Ninety-four wipe samples were collected from 56 buildings and devices at the coking plant, and their Pb contents were determined. Surface Pb concentrations ranged from 0-538  $\mu\text{g}/\text{dm}^2$ , and concentrations in 78.7% of the samples exceeded the US Department of Housing and Urban Development (HUD) standard (2.69  $\mu\text{g}/\text{dm}^2$ ). By area, the proportion of samples with concentrations greater than the US HUD standard were 78.9% in the office and living zone, 75.0% in the refining zone, 73.7% in the coking zone and 78.6% in the coke-gas zone. Among the various types of surfaces, the coke pusher had the highest average surface concentration of Pb. The average surface concentrations of Pb on common coking plant surface materials followed the order paints > brick > cement > glass, and the concentrations in 94.4% of the wipe samples taken from paint surfaces exceeded the US HUD standard.

**Key words:** Pb; coking plant; buildings and devices; wipe sampling; screening level; risk assessment

Pb 是一种毒害生物神经为主的重金属元素. 环境中 Pb 暴露对人的健康, 尤其是儿童的智力发育和神经行为有很大的威胁<sup>[1,2]</sup>. 环境 Pb 的暴露主要有以下途径: 呼入含 Pb 的大气颗粒物、粉尘和土壤等; 通过手等表面皮肤直接吸收摄入人体; 手-口接触摄入含 Pb 的环境介质; 由消化系统直接摄入, 如饮用含 Pb 地下水或食用长于含 Pb 土壤的食用作物<sup>[3,4]</sup>.

近年来, 环境中表面 Pb 污染已经引起人们的关注, 建筑物和生产设施表面附着的 Pb 也被认为是人体健康风险暴露的主要来源之一. 如室内含 Pb 表面灰尘是儿童 Pb 暴露的主要途径, 且表面 Pb 含量与儿童血铅浓度有很强的相关性<sup>[5~7]</sup>. 美国“911 事件”之后, 相关部门为评价世贸大楼倒塌产生灰尘

对人体的潜在健康风险, 也将 Pb 列为具有潜在风险的污染物<sup>[8]</sup>. Caravanos 等<sup>[9]</sup>对纽约市 5 个行政区的主要交通干线的设施表面 Pb 含量进行取样分析, 有 86.0% 的样品超过 US HUD 规定的健康风险基准值. Caravanos 等<sup>[10]</sup>在纽约市的研究表明, 持续的大气沉降是室内和户外环境中表面含 Pb 灰尘沉积的主要来源. 焦化行业以煤为生产原料, 我国煤中 Pb 的含量在 5.28 ~ 69.7 mg/kg 之间<sup>[11]</sup>, 有研究表明, 在 1 000 °C 下约 80% 的 Pb 从煤质中释放出来<sup>[12]</sup>, 并且大部分的 Pb 元素随飞灰进入环境中<sup>[13]</sup>. 焦化

收稿日期: 2010-06-05; 修订日期: 2010-09-01

基金项目: 北京市科技计划重大项目 (D08040900360803)

作者简介: 王玉哲 (1986 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为污染环境的风险评估, E-mail: wyztel314@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: yanxl@igsnnr.ac.cn

厂周围的大气降尘由于自重会沉降在厂区及其周围,降尘由于其吸附性、吸湿性、凝聚性等特点,易附着在建筑物及生产设施表面. 杨光冠等<sup>[14]</sup>研究发现焦化厂周边大气降尘中有很高的 Pb 含量,焦化厂周围降尘 Pb 的含量是对照区的 3.41 倍.

本研究选择某典型焦化工业场地,通过实地采样,分析了该场地建筑物和生产设施表面的 Pb 含量,并参照 US HUD 的健康风险基准值<sup>[15]</sup>,旨在评价焦化厂建筑物和生产设施表面的 Pb 污染水平及其对人体存在的健康风险,从而为焦化厂搬迁后的建筑物和土地资源再利用提供依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域背景信息

本研究选取焦化工业场地位于一个以供应管道煤气为主要任务的大型煤炭综合利用企业内,该企业始建于 1958 年,1959 年建成投产,主要产品包括

焦炭、焦炉煤气,同时还生产焦油、苯、硫铵、沥青、萘等 40 多种化工产品,主要生产车间有备煤分厂、炼焦分厂、筛焦分厂、煤气净化系统(一回收分厂、煤气精制分厂、二回收分厂)、焦油分厂、制气一分厂、制气二分厂等. 该厂有着 50 多年的工业建设历史,所以规划部门有意在此建立大型工业遗址公园. 原厂内的 94 项建筑物及设施包括大型气罐、冷却水塔、煤气初冷器、粗笨洗涤塔、推焦炉等将被保留.

1.2 采样

1.2.1 采样布点图

根据焦化厂内的具体情况,设置 56 个采样点,部分采样点采集了不同材质的擦拭样品,共采集了 94 个擦拭样品,采样点用 GPS 精确定位,并现场对采样地点、周围生产设施和建筑物情况进行详细记录. 采样点分布见图 1. 同时,采取了距焦化厂约 25 km 某办公园区内玻璃、防锈漆、水泥和砖表面的擦拭样品作为对照.

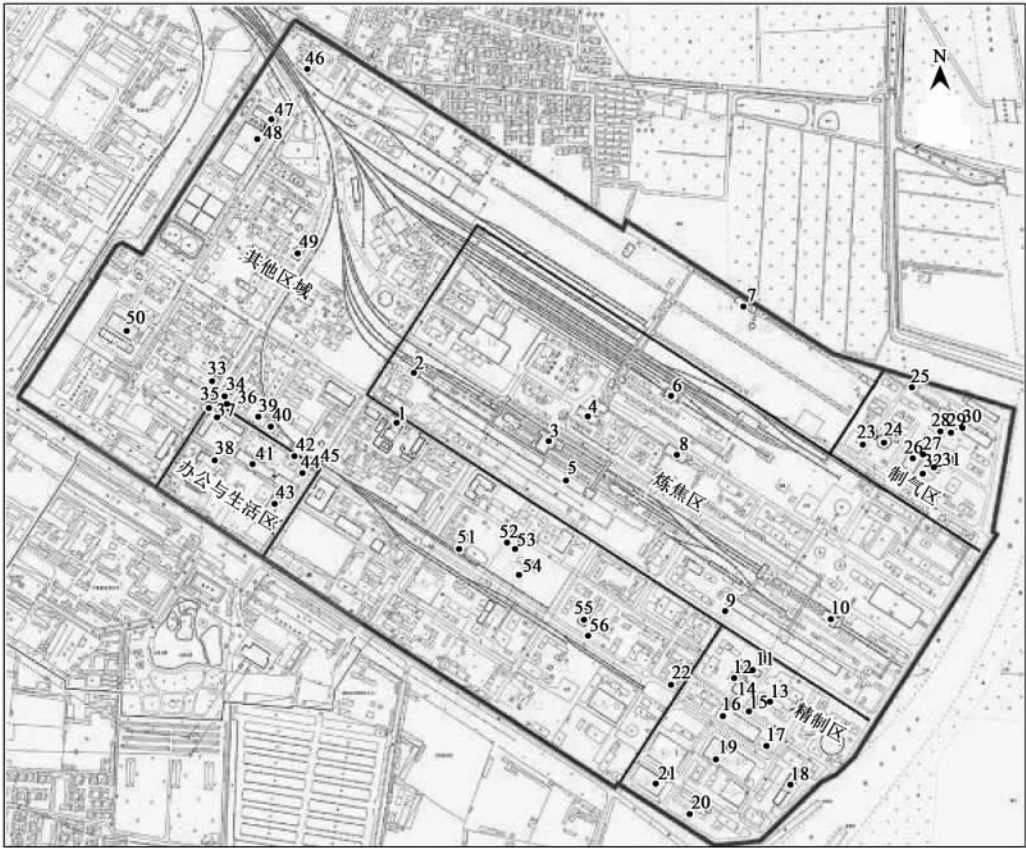


图 1 建筑物和生产设施采样点分布示意  
Fig. 1 Schematic graph of sampling sites

1.2.2 采样点信息

主要采样点信息描述见表 1.

1.3 取样方法

参照 US EPA 方法<sup>[16]</sup>,根据不同表面的污染物特征,采用擦拭法和切削法取样. 擦拭工具为无菌纱布片(7.5 cm × 7.5 cm),蘸取试剂为去离子水,擦

表 1 主要采样点信息描述

Table 1 Detail information of sampling sites

序号	采样点	表面材质	所在功能区
1	锅炉房	砖、玻璃	炼焦区
2	一炼熄焦塔	砖	
3	老中央筛焦楼	水泥	
4	老配煤盘厂房	砖	
5	推焦炉	涂层、玻璃	
6	翻车机房	不泥、玻璃	
7	原煤仓	水泥	
8	新配煤盘厂房	水泥	
9	推焦车	水泥	
10	储焦楼	水泥	
11	东初冷器装置	防锈漆、涂层、玻璃	精制区
12	通风机房	玻璃、防锈漆	
13	冷凝泵房	玻璃、水泥、砖	
14	水泥柱	水泥	
15	储油库	砖	
16	脱硫装置	防锈漆	
17	脱硫蒸氨泵房	涂层、玻璃、木材、防锈漆	
18	精制 8 m 冷却水塔	水泥	
19	燃烧炉	防锈漆	
20	脱苯塔	防锈漆	
21	粗苯储槽	硬海绵	制气区
22	砖墙	砖	
23	砖房	砖	
24	地压缩螺旋湿式气柜	防锈漆	
25	砖墙	砖	
26	脱硫塔	防锈漆	
27	水泥柱	水泥	
28	厂房	玻璃	
29	水泥柱	水泥	
30	发生炉主厂房	石膏、玻璃	
31	脱硫回收厂房	砖	办公和生活区
32	脱硫回收装置	水泥、防锈漆	
33	库房	水泥	
34	砖房	砖	
35	支撑柱	防锈漆	
36	支撑架	防锈漆	
37	碳化公司楼	大理石、玻璃	
38	砖墙	砖	
39	焦化厂食堂	瓷砖	
40	平房	涂层	
41	办公主楼	玻璃、木材、水泥	其它区域
42	支撑柱	防锈漆	
43	质检楼	瓷砖、玻璃	
44	办公楼	砖	
45	水泥柱	水泥	
46	工务检修库	砖	
47	污泥脱水楼	砖	
48	三期曝气池	水泥	
49	前混凝除油池	水泥	
50	脱硫回收装置	防锈漆	
51	厂房	玻璃	其它区域
52	砖房	砖	
53	砖房	砖	
54	水泥柱	水泥	
55	一回收冷却塔	水泥	
56	水泥柱	水泥	

拭面积 1 dm<sup>2</sup> (1 dm × 1 dm); 运用方铲、凿子等切削收集表面材料或污染物, 直到遇见坚硬密实层为止. 样品收集于塑料封口袋中, 对样品进行编号并记录取样信息<sup>[17]</sup>.

1.4 样品分析

1.4.1 擦拭样品分析

将擦拭纱布转移至三角瓶中, 加硝酸-过氧化氢在电热板上消解, 消解后的样品用超纯水转移、定容至 50 mL 容量瓶中待测, 实验所用水为超纯水, 试剂为优级纯. 所有器皿都经 1:5 (硝酸: 去离子水) 的酸液浸泡过夜, 用自来水冲洗干净再用去离子水冲洗 3 次. 采用 ICP-OES (5300DV, PerkinElmer U. S. ) 检测 Pb 含量. 擦拭取样时, 取一块干净的无菌纱布, 蘸取去离子水, 作为擦拭空白样品. 样品消解过程中, 只加等量消解液, 作为分析空白. 样品运输及保存冷藏 在 4℃ 下.

1.4.2 切削样品分析

将油漆切削样品磨碎, 称取 0.25 g 切削样品于 50 mL 离心管中, 加 5 mL 浓硝酸混合后在常温下反应 20 h, 之后加超纯水至 25 mL, 放至往复式振荡机中, 常温下振摇 1 h, 过滤定容至 50 mL<sup>[18]</sup>. 样品 Pb 含量用 ICP-OES (5300DV, PerkinElmer) 检测.

1.5 数据分析

采用 SAS 软件进行数据统计分析, 含量图用 Origin Pro 7.5 软件完成, 由 ArcGIS 9.2 软件完成差值图的绘制.

2 结果与分析

2.1 焦化厂不同建筑物和生产设施表面 Pb 含量

表 2 给出了该焦化厂建筑物和生产设施表面 Pb 含量基本统计信息. 焦化厂建筑物和生产设施表面 Pb 含量在 0 ~ 538 μg/dm<sup>2</sup> 之间. 推焦车表面 Pb 含量最高, 平均 Pb 含量为 421 μg/dm<sup>2</sup>; 发生炉主厂房次之, 平均 Pb 含量高达 282 μg/dm<sup>2</sup>; 此外东初冷器装置防锈漆表面也有很高的 Pb 含量为 266 μg/dm<sup>2</sup>. 碳化公司楼表面的 Pb 含量最低, 仅为 0.70 μg/dm<sup>2</sup>.

2.1.1 焦化厂建筑物和生产设施表面 Pb 含量空间分布

图 2 所示为基于 GIS 的焦化厂建筑物和生产设施表面 Pb 含量分布图 (由于样品 Pb 含量不服从正态分布, 取对数后进行插值). 在整个研究区域内, 便于与风险基准值进行对比, 分为 12 个浓度梯度,

表 2 建筑物和生产设施表面 Pb 含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$

Table 2 Pb concentrations of surfaces on the buildings and devices/ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$

项目	总样品	玻璃	防锈漆	水泥	砖
样品数	94	13	18	25	19
最小值	0	0	0	2.15	1.20
最大值	538	5.35	538	70.8	155
中值	7.00	1.20	68.6	8.10	6.75
平均值	44.4	1.72	131	13.5	23.1
标准偏差	99.2	1.52	166	16.7	43.6
变异系数	2.24	0.88	1.27	1.24	1.89
偏度	3.71	1.23	1.71	2.61	2.68
峰度	14.7	1.35	2.19	6.79	6.21
超标率/%	78.7	23.1	94.4	88.0	84.2

研究区域中部区域 Pb 浓度较低,高 Pb 浓度区域分布较为零散,主要分布在厂区东南精制区和炼焦区连接处、研究区域西区;在办公和生活区、制气区也

存在高 Pb 浓度区域. 风险基准值  $2.69\ \mu\text{g}/\text{dm}^2$ , 取对数后为  $1.43\ \mu\text{g}/\text{dm}^2$ , 研究区内黄色区域为未超标区域,零星分布在中部、南部和东部,其它区域均超标.

2.1.2 焦化厂不同材质表面 Pb 含量

玻璃、防锈漆、水泥和砖是焦化厂最常见的 4 种表面材质,4 种材质表面 Pb 含量如表 2 所示,样品间 Pb 含量差异最大的是防锈漆,差异最小的是玻璃. 对照区玻璃、防锈漆、水泥和砖表面 Pb 含量分别为  $0.73$ 、 $7.13$ 、 $1.16$  和  $0.74\ \mu\text{g}/\text{dm}^2$ . 焦化厂内同种材质表面 Pb 含量的平均值和中值均高于对照区内同种材质. 不同材质表面 Pb 含量存在很大的差异,表面 Pb 含量平均值和中值最高的是防锈漆,最小的是玻璃. 运用统计分析软件对 4 种材质擦拭样品的 Pb 含量进行显著性差异分析,防锈漆表面 Pb 含量与其它 3 种材质存在显著性差异.

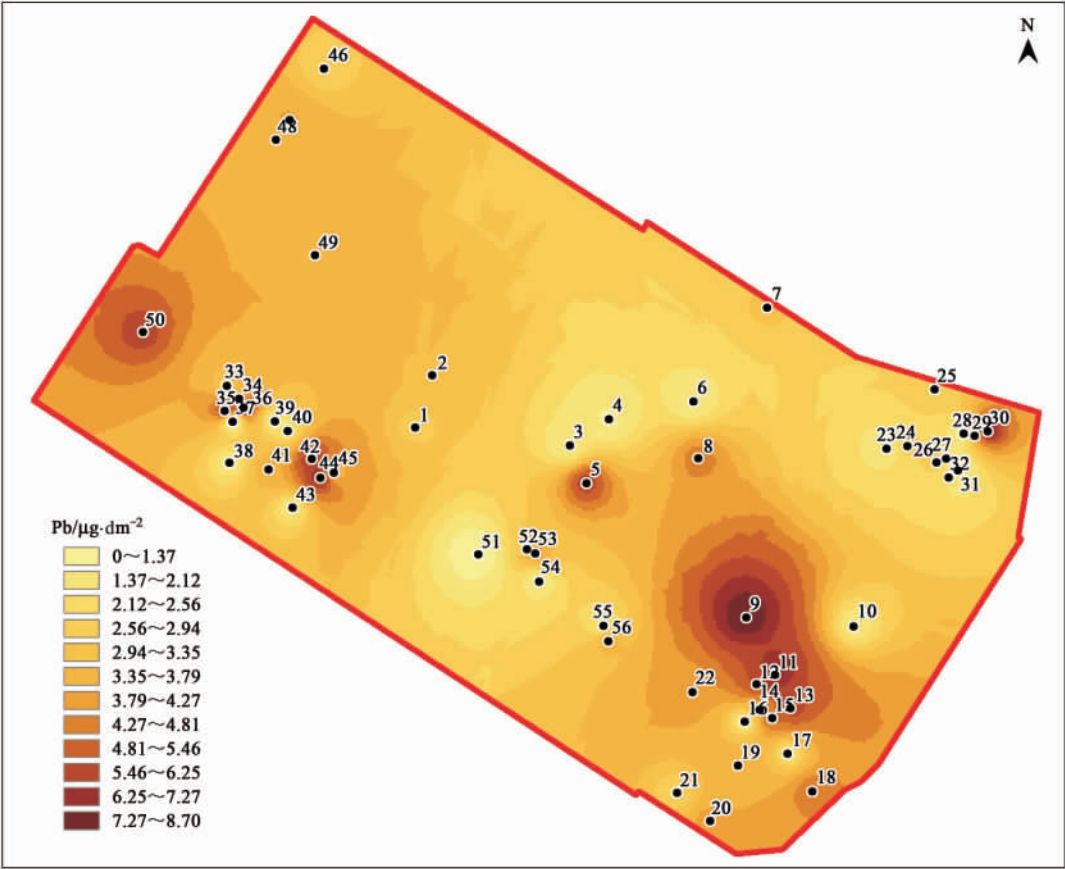


图 2 焦化厂建筑物和生产设施表面 Pb 含量分布

Fig. 2 Distribution patterns of Pb concentrations on the building and device surfaces

2.2 焦化厂不同功能区同种材质表面 Pb 含量

办公和生活区、炼焦区、精制区和制气区 4 个功能内均分布有玻璃、防锈漆、水泥和砖 4 种材质,如

图 3 所示,4 个功能区防锈漆表面 Pb 含量差异最大,玻璃表面 Pb 含量差异最小. 砖表面的最高含 Pb 量出现在办公和生活区,而防锈漆的最高含 Pb 量出

现在炼焦区,水泥的最高含 Pb 量出现在精制区,炼焦区玻璃表面 Pb 含量最低,仅为  $0.48\text{ }\mu\text{g}/\text{dm}^2$ . 运用统计分析软件对焦化厂内办公和生活区、精制区、炼焦区和制气区同种材质表面的 Pb 含量进行显著性差异分析. 结果表明,炼焦区防锈漆表面 Pb 含量与其它 3 个功能区存在显著性差异,而对于玻璃、水泥和砖 3 种材质,4 个区域内 Pb 含量均不存在显著性差异. 此外,4 个功能区的水泥和砖表面均存在不同程度的超标情况.

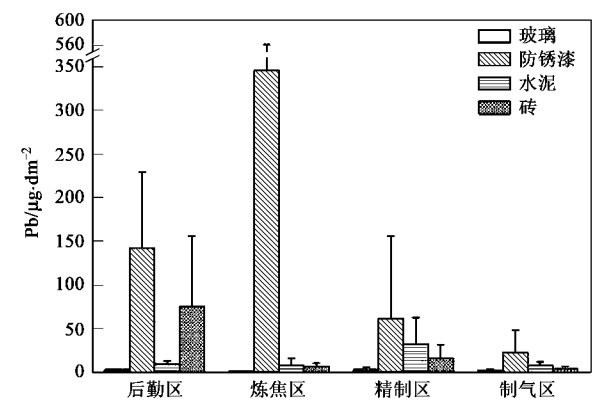


图3 不同功能区同种材质表面 Pb 含量

Fig. 3 Pb concentrations on the surfaces of the

2.3 焦化厂不同功能区建筑物表面 Pb 含量

焦化厂不同功能区建筑物和生产设施表面 Pb 含量如图 4 所示. 办公和生活区 Pb 含量范围为  $0.70\sim145\text{ }\mu\text{g}/\text{dm}^2$ , 碳化公司楼表面 Pb 含量最低, 办公楼表面 Pb 含量最高; 炼焦区 Pb 含量范围为  $2.30\sim421\text{ }\mu\text{g}/\text{dm}^2$ , 老配煤盘厂房表面 Pb 含量最低, 推焦车表面 Pb 含量最高; 精制区 Pb 含量范围为  $3.55\sim266\text{ }\mu\text{g}/\text{dm}^2$ , 脱硫蒸氨泵房表面 Pb 含量最低, 东初冷器装置表面 Pb 含量最高; 制气区 Pb 含量范围为  $1.20\sim282\text{ }\mu\text{g}/\text{dm}^2$ , 脱硫回收厂房表面 Pb 含量最低, 发生炉主厂房表面 Pb 含量最高. 运用统计分析软件对 4 个功能区擦拭样品的 Pb 含量做显著性差异分析, 结果显示没有显著性差异. 考虑到焦化厂建筑物表面 Pb 超标严重, 处于严重污染水平, 故对人体健康有影响.

同一功能区内建筑物和生产设施表面 Pb 含量差异很大. 对于接触焦化生产相对较少的办公和生活区, 一办公楼砖表面的 Pb 含量高达  $145\text{ }\mu\text{g}/\text{dm}^2$ , 取办公和生活区内另一砖房的擦拭 Pb 含量为  $6.80\text{ }\mu\text{g}/\text{dm}^2$ , 同样的材质 Pb 含量差异非常大, 取样时发现此办公楼砖表面用涂料粉刷过, 而对

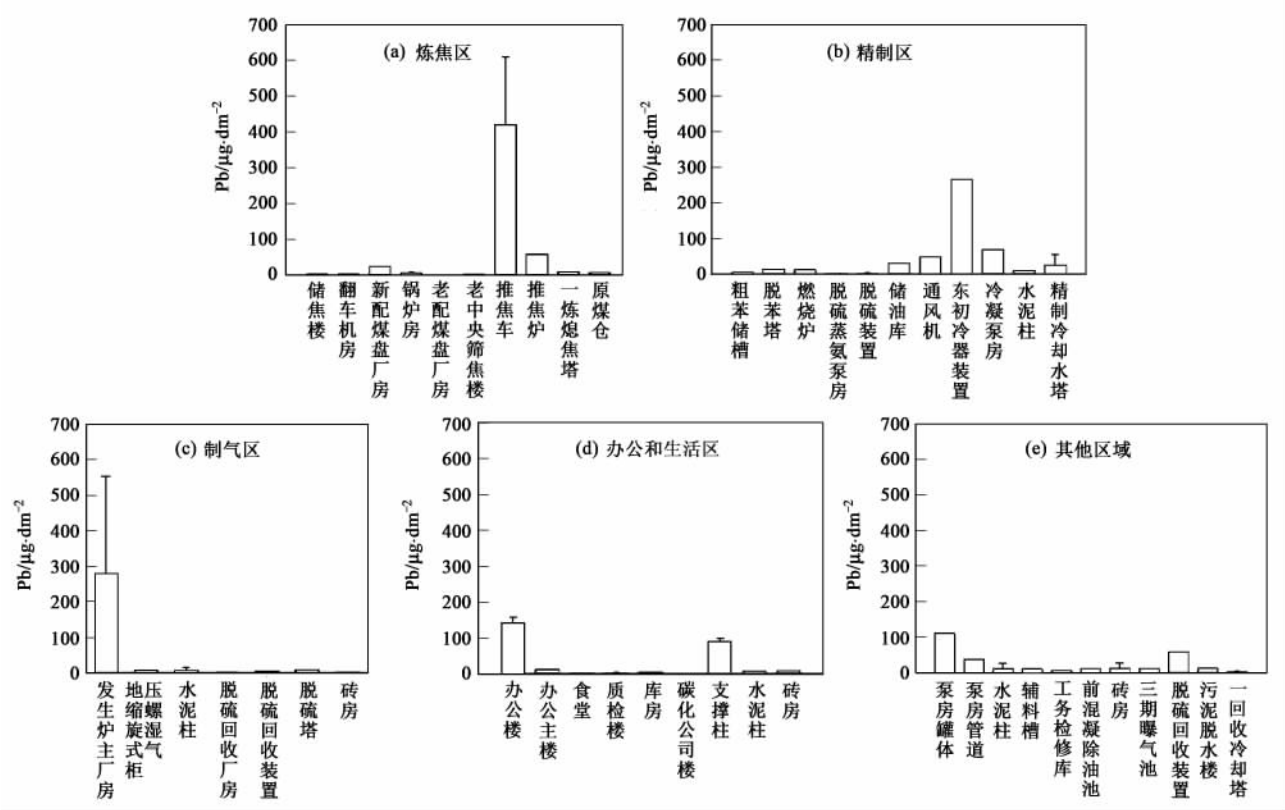


图4 不同功能区建筑物和生产设施表面 Pb 含量

Fig. 4 Pb concentrations of the building and device surfaces in different zones

焦化厂涂层切削样品的分析表明涂料中含有很高的 Pb 含量,故办公楼表面的高 Pb 含量可能来自于涂料,而非大气中的含 Pb 大气和颗粒物的沉积。推焦车表面一擦拭样品检测出有最高的 Pb 含量,为  $538 \mu\text{g}/\text{dm}^2$ ,远远高于炼焦区的平均水平。此外,东初冷器装置管道的防锈漆表面也有很高的 Pb 含量,高于精制区的其它建筑物和生产设施。对推焦车和东初冷器装置表面防锈漆进行取样分析,Pb 含量分别高达  $21\,093 \text{ mg}/\text{kg}$  和  $49\,703 \text{ mg}/\text{kg}$ 。同样表面材质为防锈漆,地压缩螺旋湿式气柜表面油漆中 Pb 含量  $732.1 \text{ mg}/\text{kg}$ ,擦拭 Pb 含量也较低,为  $6.90 \mu\text{g}/\text{dm}^2$ 。所以,推焦车、东初冷器装置和地压缩螺旋湿式气柜等生产设施表面的 Pb 含量可能来自于其表面油漆。

## 2.4 建筑物和生产设施表面 Pb 风险暴露值

在焦化厂的 94 个擦拭样品中,78.7% 的样品 Pb 含量超过 US HUD 规定的健康风险基准值  $2.69 \mu\text{g}/\text{dm}^2$ 。

除玻璃外,防锈漆、砖和水泥表面 Pb 含量的平均值和中值均超过 US HUD 风险基准值。玻璃、防锈漆、水泥和砖表面擦拭样品中 Pb 的超标率分别为 23.1%、94.4%、88.0% 和 84.2%,防锈漆表面 Pb 含量超标最严重,玻璃表面 Pb 污染水平最低。

参考 US HUD 规定的健康风险基准值,4 个功能区的玻璃表面平均 Pb 含量均未超标,炼焦区防锈漆表面平均 Pb 含量超标最严重。

办公和生活区、精制区、炼焦区和制气区擦拭样品 Pb 含量的超标率分别为 78.9%、75.0%、73.7% 和 78.6%。

## 3 讨论

### 3.1 焦化厂建筑物和生产设施表面 Pb 的来源、赋存形式和影响因素分析

焦化厂生产设施表面的 Pb 主要来源:①煤的装卸、混配、粉碎、皮带运输过程中煤尘和焦化生产过程的排放物如飞灰等<sup>[13]</sup>,如本研究中炼焦区的推焦车、推焦炉和新配煤盘厂房等有较高表面 Pb 浓度;②生产设施的一些表面材质中本身含有 Pb,由于 Pb 能提高涂抹后油漆的干燥速度、耐用性、防湿、防潮、防霉、防锈蚀等效果,常作为装饰用建筑材料如油漆、涂料、染色剂的添加剂<sup>[19]</sup>,有些研究表明其含量远远超过了美国等国家规定的限值<sup>[20~23]</sup>。在本研究中,表面 Pb 含量最高的推焦车表面材质为防锈漆,此外东初冷器装置防锈漆表面 Pb 含量也很高。对焦化厂表面油漆的切削进行分析,东初冷器装置表面

防锈漆中最高 Pb 含量达到  $55\,083 \text{ mg}/\text{kg}$ ,切削样品中的最低 Pb 含量也高达  $732 \text{ mg}/\text{kg}$ 。

焦化厂生产设施表面 Pb 的赋存形式:①物理附着在建筑物和生产设施表面。有研究表明焦化厂附近大气降尘中含有较高的 Pb 含量,这些含 Pb 的煤粉、飞灰等颗粒物物理吸附在建筑物和生产设施表面,这些污染物通常可以通过擦洗、风吹等机械作用去除;②吸入建筑物和生产设施表面的内部。如建筑物和生产设施表面的油漆涂层表面污染物,会在附着性污染的基础上,进入到涂层膜的内部,这种污染一般不容易通过物理方法去除<sup>[24]</sup>;③赋存在玻璃等不透水表面的有机膜中。Law 等<sup>[25]</sup>提出了一种假设:在城市的玻璃等不透水表面存在一层类似地表水表面膜和叶片表皮的有机膜。后来研究证实了这种有机膜普遍存在于城市和偏远地区的不透水表面<sup>[26~30]</sup>。这种表面膜的形成主要通过 2 个阶段:一是气相颗粒排放物及其二次反应产物在玻璃等表面的直接沉积,另一个是沉积物通过凝聚和沉积形成有机膜<sup>[25]</sup>。存在于玻璃表面的有机膜能提高含金属大气颗粒物的沉积量,增加金属元素在表面的积累<sup>[30]</sup>。焦化厂排放的大量含 Pb 烟尘会沉积在玻璃等表面形成的有机膜中。玻璃、防锈漆、水泥和砖是焦化厂最常见的 4 种材质,研究表明这 4 种材质均含有一定的 Pb。物理附着是 Pb 在这 4 种材质表面的主要赋存形式之一,但也存在其它不同的赋存机制,如玻璃表面的有机膜中可能赋存 Pb;油漆本身含有 Pb,其表面赋存的 Pb 也可能进入其涂层内部;水泥和砖表面粗糙,Pb 也可能进入其结构内部。

焦化厂生产设施表面 Pb 赋存的影响因素:①降雨、风等自然气候因素能影响表面 Pb 的赋存。如一些含 Pb 的颗粒物会物理吸附在建筑物和生产设施表面孔隙中,雨水夹带的尘垢粒子可被雨水带到油漆膜表面的孔隙中,进入到漆膜内而造成漆膜的永久性污染<sup>[24]</sup>,如防锈漆表面的 Pb 可能有 2 种赋存形式,油漆本身含有的 Pb 和通过雨水带入到漆膜内部的含 Pb 尘垢粒子。风吹等作用会扰动物理吸附在建筑物表面孔隙中的含 Pb 污染物,使其脱离表面重新进入大气中<sup>[31]</sup>,不同的风向会将含 Pb 污染物带入不同的下风向区域,从而造成不同的 Pb 污染,如盛行西北季风的秋冬季节推焦车表面含 Pb 污染物可能进入精制区;②表面材质本身的性质,如憎水性、吸水保水性等,表面材质如呈强憎水性,则亲油性污渍极易粘附;如具吸水保水性,污染物能渗透到材质内部<sup>[32]</sup>。从本研究的分析可以看出,不同材质

表面 Pb 含量存在一定的差异,说明材质本身的性质会影响 Pb 在其表面的赋存. ③人为活动因素,如拆迁,修葺、粉刷和交通运输等活动. 建筑物和生产设施表面的 Pb 会随着拆迁从表面脱离,也可以通过表面喷漆、粉刷等方式随含 Pb 油漆涂料进入到表面. 交通运输如机动车辆行驶也会影响含 Pb 颗粒在表面的附着<sup>[33]</sup>.

3.2 焦化厂建筑物和生产设施表面 Pb 污染的环境风险

焦化生产工艺复杂,产品多样,所涉及到的建筑物和生产设施表面材质和功能也不尽相同,不同材质、不同功能区和不同功能区同种材质表面的 Pb 含量存在很大的差异,存在不同程度的 Pb 污染健康风险.

与 US HUD 规定的健康风险基准值相比,焦化厂常见的玻璃、防锈漆、水泥和砖 4 种材质中,防锈漆表面具有最高的 Pb 污染风险. 推焦车表面的平均 Pb 含量为 421  $\mu\text{g}/\text{dm}^2$ ,是 US HUD 基准值的 156 倍. 此外,东初冷器装置、推焦炉、通风机和精制 8 m 冷却水塔表面也存在较大的 Pb 污染风险. 在焦化厂的 94 个擦拭样品中,有 78.7% 的擦拭表面 Pb 含量超过风险基准值. 办公和生活区、精制区、炼焦区和制气区擦拭样品中超标样品所占比例都在 70% 以上,所以对 4 个功能区都应给予足够的重视.

4 建议

(1)需清除工业场地焦化厂建筑物和生产设施的表面积灰,生产设施表面防锈漆出现脱落现象,应及时清理和重新喷漆.

(2)表面 Pb 含量高于风险基准值的建筑物和生产设施,应采取清洗等表面处理技术,以去除 Pb 对人体和环境存在的潜在风险.

(3)工业场地的建筑物和生产设施,也应禁止使用含 Pb 量高的表面处理材料.

5 结论

(1)在焦化厂的 94 个擦拭样品中,78.7% 的样品 Pb 含量超过 US HUD 规定的健康风险基准值 2.69  $\mu\text{g}/\text{dm}^2$ .

(2)焦化厂内玻璃、防锈漆、水泥和砖 4 种材质表面 Pb 含量的平均值和中值均高于对照区内同种材质. 防锈漆表面 Pb 含量超标最严重,玻璃表面 Pb 污染水平最低.

(3)办公和生活区、精制区、炼焦区和制气区擦

拭样品 Pb 含量的超标率分别为 78.9%、75.0%、73.7% 和 78.6%. 运用统计分析软件对 4 个功能区擦拭样品的 Pb 含量做显著性差异分析,结果显示没有显著性差异.

(4)4 个功能区的玻璃表面平均 Pb 含量均未超标,炼焦区防锈漆表面平均 Pb 含量超标最严重.

参考文献:

[ 1 ] Canfield R L, Henderson C R, Cory-Slechta D A, *et al.* Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 mg per deciliter [ J ]. The New England Journal of Medicine, 2003, **348** ( 16 ): 1517-1526.

[ 2 ] Needleman H. Lead poisoning [ J ]. Annual Review of Medicine, 2004, **55** ( 1 ): 209-222.

[ 3 ] Freeman N C G, Sheldon L, Jimenez M, *et al.* Contribution of children's activities to lead contamination of food [ J ]. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 2001, **11** ( 5 ): 407-413.

[ 4 ] 任慧敏,王金达,张学林,等. 沈阳市儿童环境铅暴露评价 [ J ]. 环境科学学报, 2005, **25** ( 9 ): 1236-1241.

[ 5 ] Lanphear B P, Weitzman M, Winter N L, *et al.* Lead-contaminated house dust and urban children's blood lead levels [ J ]. American Journal of Public Health, 1996, **86** ( 10 ): 1416-1421.

[ 6 ] Lanphear B P, Matte T D, Rogers J, *et al.* The Contribution of lead contaminated house dust and residential soil to children's blood lead levels [ J ]. Environmental Research, 1998, **79** ( 1 ): 51-68.

[ 7 ] Rhoads G G, Ettinger A S, Weisel C P, *et al.* The effect of dust lead control on blood lead in toddlers; A randomized trial [ J ]. Pediatrics, 1999, **103** ( 3 ): 551-555.

[ 8 ] Committee of the World Trade Center Indoor Air Task Force Working Group ( WTCWG ). World Trade Center indoor environment assessment: selecting contaminants of potential concern and setting health-based benchmarks [ R ]. New York ( NY ): US Environmental Protection Agency, 2003.

[ 9 ] Caravanos J, Weiss A L, Blaise M J, *et al.* A survey of spatially distributed exterior dust lead loadings in New York City [ J ]. Environmental Research, 2006, **100** ( 2 ): 165-172.

[ 10 ] Caravanos J, Weiss A L, Jaeger R J. An exterior and interior leaded dust deposition survey in New York City: results of a 2-year study [ J ]. Environmental Research, 2006, **100** ( 2 ): 159-164.

[ 11 ] Ren D Y, Zhao F H, Wang Y Q, *et al.* Distributions of minor and trace elements in Chinese coals [ J ]. International Journal of Coal Geology, 1999, **40** ( 2-3 ): 109-118.

[ 12 ] Elwira Z Z, Jan K. Dynamics of trace elements release in a coal pyrolysis process [ J ]. Fuel, 2003, **82** ( 10 ): 1281-1290.

[ 13 ] Furimsky E. Characterization of trace element emissions from coal combustion by equilibrium calculations [ J ]. Fuel Processing Technology, 2000, **63** ( 1 ): 29-44.

[ 14 ] 杨光冠,张磊,张占恩. 焦化厂附近大气降尘量及降尘中金属元素的分析 [ J ]. 苏州科技学院学报 ( 工程技术版 ), 2006, **19** ( 4 ): 49-53.



[15] U. S. Department of Housing and Urban Development ( HUD ). Lead-Safe Housing Rule,24 CFR 35 ,Subparts B-R [ S ]. Federal Register,2004. 34262-34276.

[16] US EPA SOP#2011-Chip wipe and sweep sampling[ S ].

[17] A literature review of wipe sampling methods for chemical warfare agents and toxic industrial chemicals [ R ]. U S EPA Report: EPA/600/R-07/004.

[18] Mielke H W, Gonzales C. Mercury ( Hg ) and lead ( Pb ) in interior and exterior New Orleans house paint films [ J ]. Chemosphere,2008 ,**72**( 6 ) : 882-885.

[19] 何嫁敏. 用 X 线荧光衍射法和原子吸收光谱法测定油漆中的铅含量[ J ]. 广东微量元素科学,1998 ,**5**( 6 ) : 26-29.

[20] Montgomery M,Mathee A. A preliminary study of residential paint lead concentrations in Johannesburg [ J ]. Environmental Research,2005 ,**98**( 3 ) : 279-283.

[21] Clark C S, Rampal K G, Thuppil V, *et al.* The lead content of currently available new residential paint in several Asian countries [ J ]. Environmental Research,2006 ,**102**( 1 ) : 9-12.

[22] Adebamowo E O, Clark C S, Roda S, *et al.* Lead content of dried films of domestic paints currently sold in Nigeria[ J ]. Science of the Total Environment,2007 ,**388**( 1-3 ) : 116-120.

[23] Kumar A, Gottesfeld P. Lead content in household paints in India [ J ]. Science of the Total Environment,2008 ,**407**( 1 ) : 333-337.

[24] Alan S, Oliver W. 影响乳胶漆积尘沾污性的因素[ J ]. 中国涂料,1997, ( 3 ) : 45-48.

[25] Law N L, Diamond M L. The role of organic films and the effect on hydrophobic organic compounds in urban areas; An hypothesis [ J ]. Chemosphere,1998 ,**36**( 12 ) : 2607-2620.

[26] Diamond M L, Gingrich S E, Fertuck K, *et al.* Evidence for organic film on an impervious urban surfaces; characterization and potential teratogenic effects [ J ]. Environmental Science & Technology,2000 ,**34**( 14 ) : 2900-2908.

[27] Gingrich S E, Diamond M L. Atmospherically derived organic surface films along an urban-rural gradient [ J ]. Environmental Science & Technology,2001 ,**35**( 20 ) : 4031-4037.

[28] Hodge E M, Diamond M L, McCarry B E, *et al.* Sticky windows: chemical and biological characteristics of the organic film derived from particulate and gas-phase air contaminants found on an urban impervious surface [ J ]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology,2003 ,**44**( 4 ) : 421-429.

[29] Liu Q T, Chen R, McCarry B E, *et al.* Characterization of polar organic compounds in the organic film on indoor and outdoor glass windows [ J ]. Environmental Science & Technology, 2003, **37**( 11 ) : 2340-2349.

[30] Liu Q T, Diamond M L, Gingrich S E, *et al.* Accumulation of metals, trace elements and semi-volatile organic compounds on exterior window surfaces in Baltimore [ J ]. Environmental Pollution,2003 ,**122**( 1 ) : 51-61.

[31] Filippelli G M, Laidlaw M A S, Latimer J C, *et al.* Urban lead poisoning and medical geology; an unfinished story[ J ]. Geological Society of America Today,2005 ,**15**( 1 ) : 4-11.

[32] 汪宏, 王联果. 道路建筑物表面污染机理分析及治理对策 [ J ]. 公路交通技术,2002, ( 1 ) : 68-70.

[33] Al-Chalabi A S, Hawker D. Response of vehicular lead to the presence of street dust in the atmospheric environment of major roads[ J ]. Science of the Total Environment,1997 ,**206**( 2 ) : 195-202.