

Study on Heavy Metal Pollution Characteristics of Metal Processing Industry in Typical Village - level Industrial Parks in South China

Yunyun Li¹ Weiliang Liu²

1. Guangdong Oujie Environmental Technology Co., Ltd., Foshan, Guangdong, 528300, China

2. Guangzhou Software Institute, Guangzhou, Guangdong, 510900, China

Abstract

To address heavy metal pollution in legacy sites of the metal processing industry within village-level industrial parks in South China, two metal product-dominated plots in Shunde District were selected. A total of 144 soil samples from surface, subsurface, and saturated zones were collected and analyzed using the Single Factor Pollution Index method. The findings revealed: Primary Pollutants:Cr(VI) was undetectable.Both plots were primarily polluted by As, Ni, and Pb, with Cd, Cu, and Hg contributing to minor contamination. Vertical Distribution:As enriched in the surface layer of Plot A, but most significant in the subsurface layer of Plot B.Pb decreased with depth in Plot A, but concentrated in the surface layer of Plot B.Ni enriched in the saturated zone of Plot A, but dominated in the subsurface layer of Plot B. Pollution Causes: The contamination resulted from the combined effects of historical production activities and soil physicochemical properties. This study elucidates the migration patterns of heavy metals in sites historically occupied by small and medium-sized metal enterprises, offering valuable insights for related soil pollution investigations.

Keywords

Village-level industrial park; Metal processing industry,Heavy metal; Vertical distribution; As/Pb/Ni

华南典型村级工业园金属加工业重金属污染特征研究

李云云¹ 刘伟良²

1. 广东欧节环境科技有限公司, 中国·广东 佛山 528300

2. 广州软件学院, 中国·广东 广州 510900

摘要

针对华南村级工业园金属加工业遗留地块的重金属污染问题, 选取顺德区两个金属制品业主导地块, 采集表层、下层及饱和带土壤样品144个, 采用单项污染指数法进行分析。结果发现: 主要污染物: 六价铬未检出; 两个地块均以砷、镍、铅为主, 镉/铜/汞污染轻微; 垂向分异: 砷在A地块表层富集, 在B地块下层最显著; 铅在A地块自上而下递减, 在B地块表层集中; 镍在A地块饱和带富集, 在B地块下层占优; 污染成因: 受历史生产活动及土壤理化性质综合影响。研究揭示了中小微企业企业地块重金属迁移规律, 为相关土壤污染调查工作提供参考。

关键词

村级工业园; 金属加工业; 重金属; 垂向分布; 砷/铅/镍

1 引言

华南地区村级工业园数量庞大, 多形成于改革开放初期“村村点火、户户冒烟”的粗放发展模式, 导致空间分布零散^[1]。如顺德村级工业园占全区产业用地总面积的67%^[2], 却仅贡献了全区税收的4.3%, 存在土地利用率低、

产业低端、环保安全隐患突出等问题^[3]。

近年来, 多地推动村级工业园改造。顺德针对全区382个村级工业园开展的升级改造^[4], 包括“工改工”“工改商住”等灵活方式。顺德村级工业园更新改造(简称“村改”)为珠三角乃至全国县域工业园升级提供了样本, 2021年广东省将顺德经验推广至全省。根据《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019年1月1日起施行), 用途变更为住宅、公共管理与公共服务用地的, 变更前应当按照规定进行土壤污染状况调查。土地使用权人应当依法开展土壤污染状况调查和风险评估, 土壤污染调查因此成为村改的“前置关卡”和“价值杠杆”, 为地块后续开发的环境管理提供依据。

【作者简介】李云云(1987-), 女, 中国湖北襄阳人, 硕士, 工程师, 从事土壤污染状况调查研究。

【作者简介】刘伟良(1979-), 男, 中国广东省佛山市人, 硕士, 经济师, 从事经济教研工作研究。

顺德区村级工业园以金属制品业、家具制造业、橡胶和塑料制品业三大行业为现状主导产业，金属制品业是顺德区村级工业园中占比最高的制造业大类，存在高达40%的村级工业园以金属制品业为主导产业，这类村级工业园分布广泛，几乎覆盖顺德区全域^[3]，工业园内存有大批的中小微企业金属制品企业。

根据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1—2019)，金属制品业潜在特征污染物类型主要为重金属。金属制品业原材料含有不同种类的重金属，在原材料存放、生产加工过程中重金属通过垂直入渗、大气沉降等途径污染生产场所土壤。吴文伟等对涉及多行业的25个城市更新过程中的再开发利用地块的土壤重金属污染风险进行了研究^[5]，研究针对整个城市更新地块，未专注于金属制品业；陈敏毅等^[6]选取华南地区单个较大型金属制品厂遗留场地，开展土壤多重金属累积特征调查，对于中小微金属制品企业的重金属污染研究较少。

本研究选取以金属制品业为主导产业的村级工业园，开展土壤重金属污染特征研究，结合单项污染指数法，分析各重金属污染物在不同土层中的占标率和垂向分布规律。研究结果有助于了解中小微金属制品企业和以金属制品业为主的村级工业园的土壤重金属污染特征，为类似地块的土壤重金属污染调查工作提供参考和借鉴。

2 研究对象

根据佛山市在佛府〔2018〕1号文件中的定义，村级工业园主要是指面积在2公顷或以上的成片集体工业用地。本次选取2个村级工业区更新改造地块，A、B地块均以金属制品业为主导产业，用地面积分别为43191.31平方米、173427平方米，符合上述文件定义。

3 布点及采样

A、B地块中，为充分说明金属加工企业的潜在污染影响，筛选出潜在重金属污染仅来源于金属加工企业生产活动的区域，并布设土壤污染状况初步调查点位。同时在地块周边林地布设清洁对照点。

3.1 采样点布设及样品采集

根据《广东省建设用地土壤污染状况调查、风险评估及效果评估报告技术审查要点(试行)》，重点区域采用专业判断布点法布设点位，尽可能接近区域内的关键疑似污染位置。按正方形网格(40m×40m)划分工作单元，在每个工作单元中至少布设1个采样点。土壤样品采用非扰动采样，在表层、下层土壤均采集1个样品、饱和带土壤采集2个样品，进行实验室分析，对照点在0-0.5米采集1个样品，样品总数为144个。各点位钻探深度为6米，饱和带样品采样深度不低于5米。

样品采集、保存、流转、制备和预处理根据《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004)和上述审查要点的有关

要求开展。

3.2 监测项目

重金属检测项目按《土壤环境质量建设用地上壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600)表1执行，包括砷、镉、铬(六价)、铜、铅、汞、镍，共7项。另外，根据A、B地块原辅材料成分分析结果，涉及的潜在重金属污染物均在上述7项之内，不另设特征污染物。

3.3 筛选值

两个地块规划用地性质均为二类居住用地(R2)，属于GB36600-2018中第一类用地，土壤污染风险筛选值采用GB36600-2018中第一类用地污染风险筛选值。

4 污染物评价方法

单项污染指数法是针对某一污染物的污染程度进行评价的方法，可以直观地反映出该区域中主要的污染因子和其他单个重金属的污染程度^[7]。单项污染指数法计算公式为： $P_i=C_i/S_i$ ，其中 P_i 为污染物单项污染指数； C_i 为实测浓度，mg/kg； S_i 为土壤环境质量标准，mg/kg。

5 评价

7项重金属检测项目中，六价铬在144个样品中均未检出，不列入评价。镉在8个样品中未检出，镍在2个样品中未检出，未检出样品取相应检测方法检出限的一半参与计算。

5.1 污染物占标率计算结果

采用单项污染指数法，计算A、B地块6项重金属污染物占标率(见图1、图2)，各土层占标率取该土层所有样品占标率的平均值。

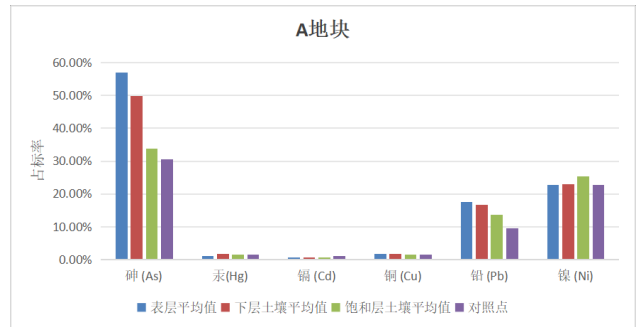


图1 A地块各土层重金属分布情况示意图

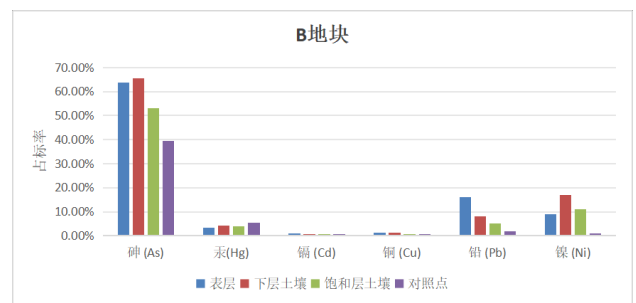


图2 B地块各土层重金属分布情况示意图

A 地块内 72 个土壤样品 6 项重金属占标率均值排序为: 砷>镍>铅>铜>汞>镉, 按此顺序, 表层土壤样品占标率均值分别为 0.570、0.229、0.175、0.018、0.011、0.006, 下层土壤样品占标率均值分别为 0.498、0.231、0.166、0.017、0.017、0.007, 饱和带土壤样品占标率均值分别为 0.338、0.254、0.136、0.014、0.015、0.007; 各土壤层中重金属占标率排序与 A 地块占标率排序基本相同。铜、汞、镉、镍占标率均值与对照点相当, 砷、铅占标率均值高于对照点, 说明历史金属加工企业生产活动未造成铜、汞、镉、镍污染, 潜在重金属污染物主要为砷和铅。

B 地块内 72 个土壤样品 6 项重金属占标率均值排序为: 砷>铅>镍>汞>铜>镉, 按此顺序, 表层土壤样品占标率均值分别为 0.6375、0.1596、0.0907、0.0343、0.0135、0.0034, 下层土壤样品占标率均值分别为 0.6551、0.0803、0.1702、0.0432、0.0133、0.0080, 饱和带土壤样品占标率均值分别为 0.5306、0.0520、0.1093、0.0398、0.0073、0.0069; 各土壤层中重金属占标率排序与 B 地块占标率排序大致相同。铜、镉占标率均值与对照点相当, 汞占标率均值略低于对照点, 砷、铅、镍占标率均值高于对照点, 说明历史金属加工企业的生产活动未造成铜、汞、镉污染, 潜在重金属污染物主要为砷、铅、镍。

5.2 重金属污染物的垂向分布特点

5.2.1 砷

A 地块表层占标率最高, 其次是下层、饱和层、对照点。整体呈现随土壤深度加深占标率下降趋势, 富集在表层, 并在不同土层中垂直迁移。对照点相对各土层占标率低。B 地块下层土壤占标率最高, 表层、饱和层、对照点占标率依次降低。表现为下层土壤砷污染相对更突出, 随深度变化占标率先升后降, 对照点占标率低于土层。

比较发现, A 地块砷污染表层更突出, B 地块砷污染下层土壤突出, 说明砷在两个地块的土壤垂向迁移、累积特征有差异, 可能与地块历史砷输入方式(如表层堆放、深层渗漏等)不同有关。砷是占标率较高的污染物, 在不同土层及对照点都有相对突出的占标表现, 说明砷污染在两个地块具有一定普遍性。

5.2.2 汞、镉、铜

汞、镉、铜等在 B 地块各土层有微弱占标, 在 A 地块占标更不明显。说明这三种污染物在 A、B 地块整体污染水平低, 不是主要污染因子, 与地块历史生产活动中这几种污染物排放少有关, 也可能与土壤对其吸附固定能力强等有关。

5.2.3 铅

A 地块表层、下层、饱和层、对照点占标率依次降低, 呈下降趋势。B 地块表层占标率相对突出, 下层、饱和层、对照点占标率较低且差异小。比较发现, A 地块铅污染随土壤深度变化占标率递减趋势相对明显; B 地块铅污染集中在表层, 深层及对照点污染弱, 反映出铅在两个地块的来源和迁移路径不同, A 地块可能有一定垂向迁移, B 地块铅输入

更集中在表层。

5.2.4 镍

A 地块饱和层占标率相对最高, 表层平均、下层、对照点占标率相当, 呈现饱和层土壤镍污染相对突出特征。B 地块下层土壤占标率相对高, 表层、饱和层、对照点占标率依次降低。比较发现, A 地块镍在饱和层富集相对明显, B 地块镍在下层占优, 体现出镍在不同地块土壤环境中因理化性质(如土壤孔隙、渗透性)等差异, 垂向分布特征不同。

5.3 地块重金属污染物整体分布特征

重金属在土壤垂向分布受污染源输入方式、土壤理化性质影响(包括土层的吸附作用、pH 值、水文地质条件等)^[8], 同时污染物分布与历史生产活动紧密相关, 不同污染物因地块历史活动不同, 呈现分布规律有别的现象。

总体来看, A 地块垂直分层特征显著, 表层污染物浓度最高, 下层浓度低于表层, 饱和层浓度最低。对照点显著低于其他层, 验证地块存在人为污染源。因此, A 地块污染以表层富集型为主, 随深度增加浓度递减, 符合典型工业排放面源污染特征。

B 地块重金属污染分异明显, 砷表现为深层富集、饱和层浓度异常, 铅表现为表层富集, 镍表现为向下迁移。因此, B 地块潜在污染源复杂, 存在工业污染源和可能的历史遗留。

参考文献

- [1] 梁雄飞,李汉飞,朱墨,等.村级工业园升级改造助推高质量发展的新举措——以佛山市《顺德区高质量推动村级工业园升级改造总体规划》为例[J].规划师,2021,37(4):51-56.DOI:10.3969/j.issn.1006-0022.2021.04.008.
- [2] 蔡立球,何继红,梁雄飞,等.存量低效工业园区改造全周期监管策略——以佛山市顺德区村级工业园升级改造实践为例[J].规划师,2021,37(6):45-49,55. DOI:10.3969/j.issn. 1006-0022.2021.06.007.
- [3] 王燕雨,刘威. 村级工业园空间格局分布特征及形成因素探讨——以佛山市顺德区为例[J]. 地理信息世界,2022,29(3):96-102. DOI:10.3969/j.issn.1672-1586.2022.03.018.
- [4] 田小玲. 佛山市顺德区村级工业园升级改造中的政府作用研究[D]. 广东:华南理工大学,2023.
- [5] 吴文伟,沈城,沙晨燕,等.城市工业地块土壤重金属污染风险评价与源解析[J].生态环境学报,2024,33(5):791-801.DOI:10.16258/j.cnki.1674-5906.2024.05.012.
- [6] 陈敏毅,宋清梅,叶权运,等.华南典型金属制品遗留生产场地重金属空间分布特征[J].生态环境学报,2023,32(12):2228-2235. DOI:10.16258/j.cnki.1674-5906.2023.12.014.
- [7] 胡永兴,宿虎,张斌,等. 土壤重金属污染及其评价方法概述[J]. 江苏农业科学,2020,48(17):33-39. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.17.006.
- [8] 项广鑫,张建新,吕焕哲. 工业污染场地重金属的垂向分布及影响因素——以株洲霞湾港为例[J]. 科学技术与工程,2015,15(10):21-26,36. DOI:10.3969/j.issn.1671-1815.2015.10.004.