

Application of Aerobic Aeration and Screening Technology of Informal Landfill in Yunnan

Dongliang Xu, Lei Wang, Zihao Yu, Qiang Guo

China Urban Construction Design & Research institute Co. Ltd., Beijing
Email: xudongliang@cucd.cn

Received: Mar. 20th, 2020; accepted: Apr. 13th, 2020; published: Apr. 20th, 2020

Abstract

In view of the characteristics of large garbage stock, relatively high organic matter content and deep groundwater in an informal landfill site in Yunnan, the aerobic aeration and screening technology was adopted to reduce the amount of organic matter, and the combined method of district aeration and district screening was used to accelerate the stabilization of organic matter and achieve the reuse of qualified materials. Through the engineering practice, the effect of aerobic aeration is obvious, the humus soil obtained by screening treatment has been tested and can meet the standard of garden soil, aggregates can be used for in-situ backfilling, and lightweight materials can be used for incineration. The smooth operation of this project has a high reference value for the management of informal landfill in China.

Keywords

Informal Landfill, Environmental Protection, Aerobic Aeration, Screening Reduction

好氧曝气 - 筛分减量技术在云南某非正规垃圾填埋场中的应用

徐栋梁, 王雷, 于子豪, 郭强

中国城市建设研究院有限公司, 北京
Email: xudongliang@cucd.cn

收稿日期: 2020年3月20日; 录用日期: 2020年4月13日; 发布日期: 2020年4月20日

摘要

针对云南某非正规垃圾填埋场垃圾存量、有机质含量局部较高、地下水偏深的特性，采用好氧曝气-筛分减量的工艺，利用分区曝气-分区筛分相结合的方法，加速有机质的稳定化，达到合格物料的再利用。经过工程实践，好氧曝气的效果明显，筛分处理得到的腐殖土经过检验，可以达到园林用土的标准，骨料可以用于就地回填，轻质物可以用于焚烧处理。该项目的顺利运行，对于国内非正规垃圾填埋场的治理有较高的参考价值。

关键词

非正规垃圾填埋场，环保治理，好氧曝气筛分减量

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

非正规垃圾填埋场是指将未经处理的生活垃圾直接倾倒在人工挖掘的废弃砂石坑(主要在平原地区)，或者天然洼地(如小沟壑、废弃河道等)，以及山底沟(峡谷)，从而形成的，其缺少按照垃圾卫生填埋场建设的标准规范进行完善的边坡、顶部、底部防渗设计和建设，同时缺少土地用地、规划、立项、环境保护等方面的合法批准手续[1] [2]。其主要特征是无垃圾渗滤液和填埋气体的导排系统、收集系统和处理系统。

非正规垃圾填埋场污染环境，其暴露的垃圾造成臭味飘散，同时产生一些有害气体向大气排放扩散，严重影响空气质量；垃圾堆体产生的渗滤液不仅污染周边土壤，同时通过不同的迁移方式流入地表水或地下水污染水体；占用大量土地资源，造成资源浪费，阻碍城市的发展，破坏城市形象；垃圾堆体产生的填埋气以甲烷和二氧化碳为主，是具有可燃性的混合气体，存在一定的安全隐患[3]。

为消除非正规垃圾填埋场对水、土壤和大气的污染，做好环境保护工作，保障居民生活安全，提升城市环境形象，加快我国城镇化建设步伐，消除非正规垃圾填埋场的污染已经迫在眉睫。

随着环保督查工作的展开及近年来土壤污染问题的频发，2016年国务院发布的《土壤污染防治行动计划》将治理非正规垃圾填埋场纳入了计划范围，随后各省相继发布了各自的工作方案，将非正规垃圾填埋场的调查、治理纳入了土壤污染防治工作范畴，并明确了工作目标。

2018年6月1日，住房城乡建设部、生态环境部、水利部、农业农村部联合印发《关于做好非正规垃圾堆放点排查和整治工作的通知》(建村[2018] 52号)，要求各地重点整治垃圾山、垃圾围村、垃圾围坝、工业污染“上山下乡”部署，积极消化非正规垃圾堆放点存量，严格控制增量。到2020年底，基本遏制城镇垃圾、工业固体废物违法违规向农村地区转移问题，基本完成农村地区非正规垃圾堆放点整治。

云南某非正规垃圾填埋场从1994年开始使用，至2014年底停止使用，已填埋生活垃圾约44.3万吨。垃圾堆体表面大部分面积已进行了覆盖，仅边坡较陡的局部存在垃圾裸露的情况。随着城市的发展，该填埋场的存在可能会对周边环境以及地下水存在危害，因此急需治理。本文针对该填埋场的特性，采用好氧曝气-筛分减量的工艺，利用分区曝气-分区筛分相结合的方法，对垃圾堆体中的有机物进行好氧

处置, 加速其稳定化, 污染气体综合处置后达标排放。稳定后的土壤经过筛分减量处理, 达标物料得到再利用。

2. 技术分析

目前, 非正规垃圾填埋场的治理技术主要可分为筛分综合利用、异地搬迁填埋、原位封场生态化治理、好氧加速稳定化技术等, 具体见表 1。

Table 1. Overview of informal landfill management technology

表 1. 非正规垃圾填埋场治理技术概述

技术名称	技术概述	技术特点
垃圾筛分综合利用	1) 将已有垃圾堆体开挖后利用机械分离设备对垃圾进行筛分, 各项组分综合利用或无害化处理; 2) 筛分工艺的原理是根据物料中各组分在密度、颗粒大小、磁化率和光电性质等方面的差异选用适当的设备, 将物料分成性质相近的若干类, 例如轻质筛上物、无机骨料、腐殖土及金属等。	1) 轻质筛上物热值较高, 可送往垃圾焚烧发电厂焚烧或制成垃圾衍生燃料(RDF); 2) 无机骨料无害化经粉碎可以再生为骨料、混凝土、烧结砖等产品或直接作为路面基层或垫层填料; 3) 腐殖土可能受到重金属等污染, 同时还有腐殖质等可被植物利用的有机质, 经土壤修复达标后的营养土可用于绿化种植、矿山修复等, 也可通过适当调整后堆肥生产肥料, 无法达标的则需要规范填埋处理。
异地搬迁	将垃圾清运至标准的生活垃圾卫生填埋场进行卫生填埋, 以达到彻底消除污染的目的。	1) 优点: 能彻底解决非正规垃圾填埋场的污染问题, 原址可再次开发利用; 2) 缺点: 清运及处理成本高, 运输过程中可能造成二次污染, 需再占用新的土地资源, 若需新建填埋场, 选址和审批建设流程复杂、周期长。
原位封场	1) 通过工程阻隔措施将垃圾填埋场区与外部环境阻隔并进行景观生态建设, 可分为垂向阻隔和水平阻隔; 2) 垂向阻隔是在垃圾填埋区边界建设人工隔水帷幕, 将垃圾填埋区与外部环境的水力联系隔断, 控制垃圾填埋场渗滤液对地下水的污染; 3) 水平阻隔是在垃圾填埋区的顶部铺设天然或合成材料, 并建设响应的排水系统, 以减少自然降水深入垃圾堆体, 减少渗滤液的产生量。	1) 优点: 操作简单、施工工期短、见效快、费用可控, 场地通过生态化改造措施可实现二次开发利用。适合于垃圾存量、挖运费用过高的非正规垃圾填埋场的治理; 2) 缺点: 污染和危害未完全消除, 投资强度与客观条件的制约将决定治理后对污染控制的效果, 从长远看依然存在环境污染风险。若填埋场尚未稳定, 则需要较长周期的运行维护, 包括渗滤液处理、填埋气导排等, 因此通常与好氧加速稳定化技术同时使用。
好氧加速稳定化	通过在填埋堆体中埋设注气井、注液井和抽气井, 通过风机将空气注入垃圾堆体, 并将收集的渗滤液和其他液体回注至垃圾堆体, 使堆体中的有机物在适宜的含氧量、温度、湿度条件下, 经过微生物的作用快速降解, 生成以 CO ₂ 为主要成分的垃圾填埋气体, 通过抽气风机从抽气井中抽出, 经气水分离器后进入尾气处理设施处理达标后排放。	1) 好氧加速稳定化技术比传统的厌氧降解法降解速度快。治理周期短, 一般为 2~4 年; 2) 有机物好氧降解的产物是 CO ₂ 、H ₂ O 等, 可有效减少有害气体的产生, 减少 CH ₄ 排放, 可以降低气体爆炸的风险。垃圾渗滤液回灌到垃圾堆体中, 减少了其对水体的污染。好氧生物反应放热使垃圾堆体的温度升高, 有助于杀灭垃圾中的病原菌, 减少对环境的危害; 3) 渗滤液循环注入堆体起到了增加堆体湿度、提高有机物的降解速率的作用, 同时大大降低渗滤液处理量, 可有效降低投资和运行成本。垃圾可以在较短时间内达到稳定化, 减少封场后填埋场维护的工作量, 降低运行成本。

非正规垃圾填埋场的治理一般要从以下几个方面进行综合分析:

- 1) 非正规垃圾填埋场的基本情况。
- 2) 国家和地方法律、法规等对非正规垃圾填埋场的治理要求。
- 3) 行政管理范围内其它垃圾处理设施的基本情况。
- 4) 政府规划情况。
- 5) 可供非正规垃圾填埋场治理的资金情况。

云南某非正规填埋场地形复杂, 存量垃圾存量较多, 部分区域有机物含量较高, 治理周期要求较短, 土地亟待开发, 周边有生活垃圾焚烧发电厂。针对其实际情况, 借鉴国内外比较成熟的非正规垃圾填埋场治理工艺, 本项目采用好氧加速稳定化和垃圾筛分综合利用相结合的处理工艺, 对资源进行综合利用, 有较高的参考价值。

3. 系统设计

3.1. 原料特性

非正规垃圾填埋场是根据自然地形地貌状况进行填埋, 按照不同的垃圾填埋风险等级[4], 对周边环境具有不同程度的污染或污染可能性。非正规垃圾填埋垃圾的治理工艺一定程度上由其特性决定。

委托专业机构对填埋场中不同部位的垃圾进行采样分析[5], 钻孔取样照片见图 1。



Figure 1. Borehole Sampling Photograph

图 1. 钻孔取样照片

对钻孔数据进行成分分析, 见表 2。

Table 2. Waste composition analysis table

表 2. 垃圾成分分析表(%)

测定位置	可燃物、塑料	金属	有机物	无机物
南侧	27.7%	0.8%	59.2%	12.3%
北侧	28.6%	0.7%	60.8%	9.9%
中部	25.9%	1%	61.5%	11.6%
平均	27.4%	0.8%	60.5%	11.3%

从表 2 可以看出, 垃圾成分中以有机物为主, 平均含量达 60.5%, 其次为可燃物、塑料, 含量达 27.4%。

3.2. 系统设计

勘察报告显示, 该场地内未见河流、湖泊等地表水体, 地下水较为贫乏。

该场地内特殊土主要为红粘土, 该层红粘土具有高含水量、高孔隙比和高液限、塑限以及低重度等特性。

钻孔深度为 11.0~20.3 m, 未发现地下水, 由于其红粘土的特性, 对地下水以及填埋场地下土壤的污染程度较小。

针对其垃圾存量较大、有机质含量局部较高、地下水偏深的特性，采用好氧曝气-筛分减量的工艺，利用分区曝气-分区筛分相结合的方法，加速有机质的稳定化，达到合格物料的再利用。综合考虑，本工程治理采取的处理流程为：好氧曝气 → 垃圾分区开挖 → 筛分减量 + 垃圾焚烧/回填 → 场地修复，该技术路线能够解决环境污染问题，技术路线成熟、实施周期可控。

工艺流程见图 2 所示。

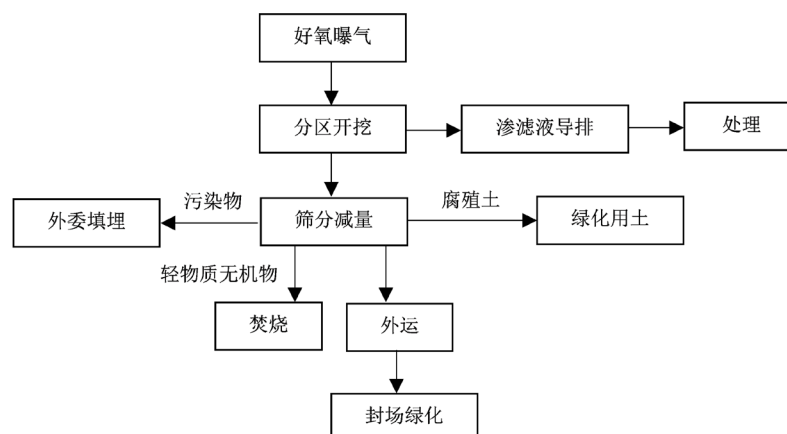


Figure 2. Flow chart of waste disposal process
图 2. 垃圾处理工艺流程图

整个垃圾处理工艺由好氧曝气系统和筛分减量系统组成。有机物含量较高的区域采用好氧曝气处置，加速其稳定化，待稳定化完成后进入筛分减量处理工艺；有机物含量较低的区域直接进入筛分减量处理工艺。

好氧曝气处置需要控制治理区域堆体内的温度、湿度、气体成分等，因此，调节和控制进气、排气、水分的含量，使堆体内的可降解有机物始终保持在一个最佳的好氧工作状态，快速降解。同时密切关注地下水、沉降观测点的变化，保证整个工程在一个安全的范围。

筛分减量处理需要控制稳定化物料的水分，防止堵塞筛孔，影响分选效率。因此，在此工序之前，需要将挖掘出的物料进行晾晒处置，采用阳光棚的建筑设计，即充分利用光照，又适应了多变的复杂天气。增加除臭设施，将收集到的臭气进行处置，达标排放。

3.3. 好氧曝气系统

好氧曝气处置方法采用好氧生物法进行有机垃圾降解，就是将新鲜空气加压后，用管道注入垃圾深处，同时把垃圾中的二氧化碳等气体抽出，并对反应物的温度、湿度、气体进行监控，激活垃圾中的微生物再生，创造一个比较理想的有氧反应环境，使反应达到最佳状态，从而加速有机物的降解，消除有毒有害物质的再生，使提高填埋空间或者在垃圾场上重新建设成为可能[6]。

通过对其有机物分布区域图的分析(见图 3)，充分考虑场地的复杂性，采用分区曝气的方式对垃圾堆体进行处理。

抽气井和注气井分别按等边三角形布置，每 3 眼抽气井和每 3 眼注气井组成等边六角形布置。区域内同类井之间的间距为 25 m，该设计数据和井的结构主要参考《生活垃圾填埋场填埋气体收集处理及利用工程技术规范》(CJJ 133-2009)和相关工程经验。如图 4 所示。

集中处理的恶臭污染物排放量执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)中 15 米排气筒高度对应的规定。为了保证好氧曝气系统的尾气达标排放，采用两级化学洗涤工艺对尾气进行处理达标后排放。

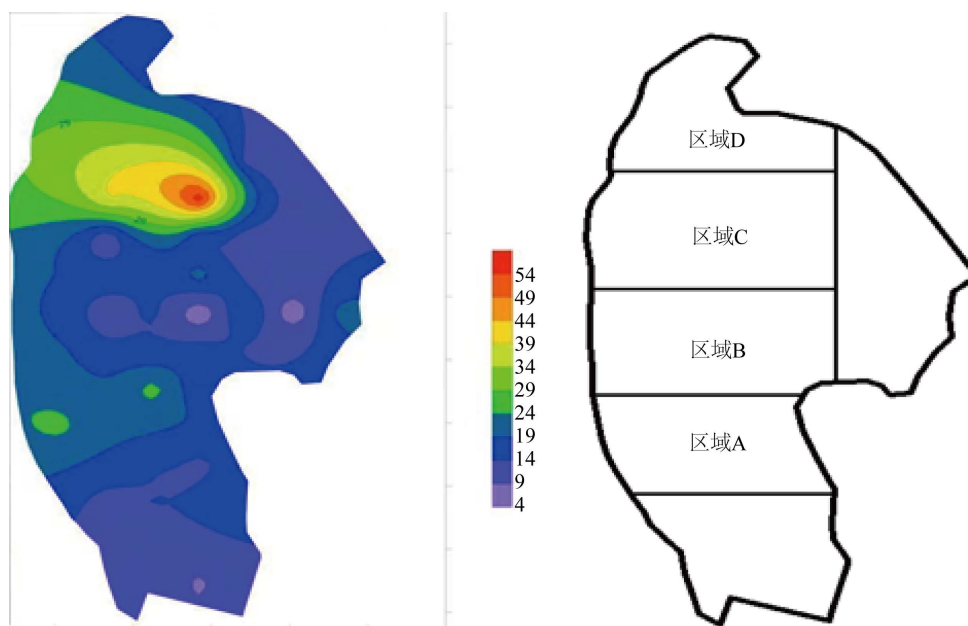


Figure 3. Organic distribution (left) and zone aerobic aeration (right)
图 3. 有机物分布图(左)及分区好氧曝气图(右)

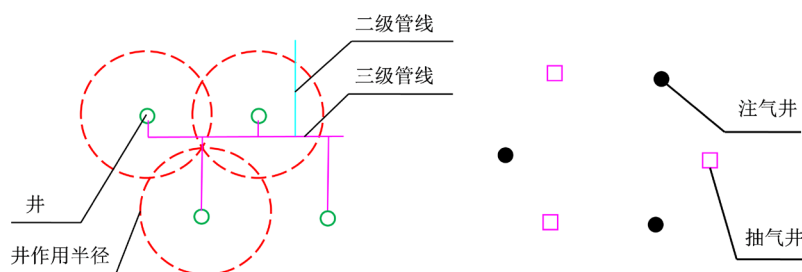


Figure 4. Pipeline and gas well layout
图 4. 管线及气井布置方式

3.4. 筛分减量系统

筛分分选技术是一种按物料粒度差异进行分选的技术，其原理是利用筛子将物料中小于筛孔的细颗粒物透过筛面，而大于筛孔的粗物料则留在筛面上，从而完成粗、细物料分离的过程[7]。

本项目处理工艺中垃圾筛分减量，是利用滚筒筛、圆盘筛、风选机等设备，辅助于人工分拣、磁选等对有机物含量低于 16% 和稳定化后的垃圾进行筛分处理，分选出的各种不同物料进行资源化再利用的过程。工艺流程图见图 5。

筛分系统由皮带输送机和联合分选系统组成。滚筒筛孔尺寸为 60 mm，圆盘筛的筛分等效孔径为 20 mm。经筛分处理后的垃圾可以分为三类：筛上轻质可燃物、无机物、腐殖土。

4. 运行效果

该非正规垃圾填埋场需要治理的区域填埋垃圾成分主要为混合垃圾。经过筛分后，组分主要为腐殖土、无机骨料和轻物质等。

对不同批次的垃圾筛分后的不同组分进行成分分析，见表 3 和表 4。

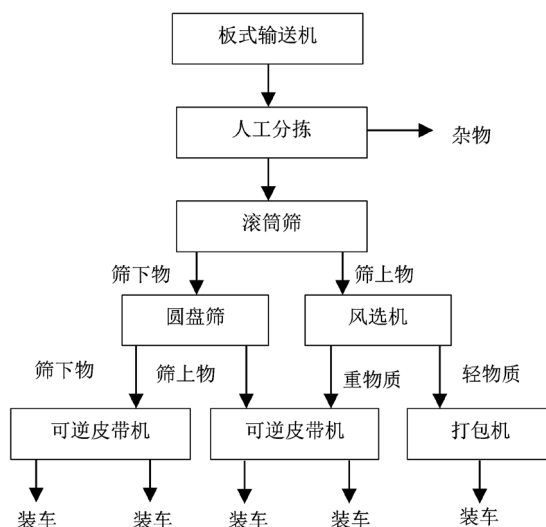


Figure 5. Flow chart of screening reduction process
图 5. 筛分减量工艺流程图

Table 3. Composition analysis table of humus soil
表 3. 腐殖土成分分析表(%)

检测项目 编号	pH	砷/mg/kg	汞/mg/kg	镉/mg/kg	铜/mg/kg	铅/mg/kg	镍/mg/kg	铬/mg/kg	锌/mg/kg
1#腐殖土	7.75	14.4	1.71	0.77	171	86.2	21	98.1	200
2#腐殖土	7.12	19.3	1.53	0.62	139	52.3	23	102.2	185
3#腐殖土	7.42	16.3	1.67	0.58	165	65.8	42	65.9	163
4#腐殖土	7.38	11.2	1.45	0.72	143	72.9	21	122.3	197
5#腐殖土	7.64	15.7	1.69	0.45	118	65.7	31	78.5	180
6#腐殖土	7.15	18.1	1.87	0.68	139	79.3	28	84.8	154

Table 4. Composition analysis table of lightweight material
表 4. 轻物质成分分析表(%)

样品名称	检测项目	检测结果	单位
轻物质	1	含水率	7.37 %
	2	灰分	32.98 %
	3	氯	1.32 %
	4	氢	9.25 %
		干基高位热值	9374 kJ/kg
	5	热值	湿基高位热值 8684 kJ/kg
			湿基低位热值 6622 kJ/kg

检测结果表明,筛下腐殖土砷、汞、镉、铜、铅、镍、铬、锌等重金属指标低于 GB 15618-2018《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》中的农用地土壤污染风险管控值。腐殖土可以用做园林绿化用土,对于检测不达标的腐殖土,运送至正规填埋场安全填埋。

筛上轻物质的热值较高,可以用于生活垃圾焚烧发电,资源得到充分利用。

5. 结语

1) 该处理工艺的选择应在技术可行、工艺先进、处理达标的原则下, 选取能耗低、处理稳定、经济性佳的成熟工艺。

2) 该生产线投产以来, 运行良好, 好氧曝气加速了有机物的稳定化进度, 筛分减量有效的减少了垃圾总量, 且腐殖土、无机物、轻物质得到了综合利用, 不达标腐殖土运送至正规填埋场安全填埋。

3) 综合表明, 好氧曝气-筛分减量技术适用于该垃圾填埋场, 达到了垃圾减量化、资源化的目的。

4) 该项目的顺利运行及良好的效果, 可以为国内非正规垃圾填埋场的治理提供参考。

参考文献

- [1] 吴文伟, 苏昭辉, 王峰, 等. 非正规垃圾填埋场危害风险评估与治理[J]. 环境卫生工程, 2013, 21(5): 11-14.
- [2] 田光. 非正规垃圾填埋场治理工程的监管和治理效果评估[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(5): 46-47.
- [3] 温智玄. 非正规垃圾填埋场治理流程设计与评价分级[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国科学院大学, 2013: 1-2.
- [4] 韩华, 李胜勇, 于岩. 非正规垃圾填埋场初步勘察与评价方法探讨[J]. 工程地质学报, 2011, 19(5): 771-777.
- [5] 徐宏声, 韩华. 非正规垃圾填埋场治理效果评价勘测方法应用研究[J]. 工程勘察, 2014(3): 28-31.
- [6] 李黎杰, 田辉, 颜廷山, 程益锋. 好氧治理技术在非正规垃圾填埋场处置中的应用[J]. 广东化工, 2015, 42(2): 102.
- [7] 朱远超. 筛分技术在非正规垃圾填埋场治理中的适用性研究[J]. 环境卫生工程, 2018, 26(5): 63.