

# 非正规垃圾填埋场危害风险评估与治理

吴文伟<sup>1</sup>, 苏昭辉<sup>1</sup>, 王峰<sup>2</sup>, 刘竞<sup>1</sup>, 韩华<sup>2</sup>

(1. 北京市环境卫生设计科学研究所, 北京 100028; 2. 北京市勘察设计研究院有限公司, 北京 100038)

**摘要:** 对非正规垃圾填埋场形成、特征和存在的危害性进行了分析, 提出了危害风险的评估方法、级别和治理技术, 例示了非正规垃圾填埋场治理工程的实例。

**关键词:** 环境卫生; 垃圾处理; 存量垃圾治理; 非正规垃圾填埋场; 污染治理

**中图分类号:** X820.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8206 (2013) 05-0011-04

## Hazard Risk Assessment and Management of Denormal Waste Landfill Sites

Wu Wenwei<sup>1</sup>, Su Zhaohui<sup>1</sup>, Wang Feng<sup>2</sup>, Liu Jing<sup>1</sup>, Han Hua<sup>2</sup>

(1. Beijing Environmental Sanitation Design Science Research Institute, Beijing 100028;

2. BGI Engineering Consultants Ltd, Beijing 100038)

**Abstract:** The formation, characteristics and hazard of denormal waste landfill sites were analyzed. The risk assessment methods, risk levels and controlling technologies were put forward. And some management projects of denormal waste landfill sites were exemplified.

**Key words:** environmental sanitation; waste treatment; stock waste management; denormal waste landfill site; pollution management

1993年以前我国除有极少数生活垃圾以堆肥方式进行处理, 绝大多数生活垃圾都是利用自然条件直接填埋。1993年第1座按标准建设的生活垃圾卫生填埋场建成使用, 之后尽管按标准建设的生活垃圾处理设施不断增加, 但由于处理设施能力不足, 仍有部分垃圾直接填埋。利用自然条件, 未按相关标准进行设计和建设的生活垃圾填埋场所, 称之为非正规垃圾填埋场。

### 1 非正规垃圾填埋场状况分析

#### 1.1 非正规填埋场形成和特征

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), 或是天然洼地(如小沟壑、废弃河道等), 以及山地沟(峡)谷, 从而形成非正规垃圾填埋场。其主要特征是无垃圾渗沥液和填埋气体的导排系统、收集系统和处理设施。

#### 1.2 非正规垃圾填埋场污染与危害

##### 1.2.1 占用大量土地资源

根据调查统计, 某市在治理非正规垃圾填埋前, 垃圾总囤积量9 000万t, 占地面积约1 333.3 hm<sup>2</sup>, 这些土壤已被污染, 不治理无法使用。

##### 1.2.2 水污染

非正规垃圾填埋场对水污染主要是由垃圾在填埋过程中厌氧发酵、雨水淋刷和地表水、地下水浸泡而渗滤出来的污水造成的。对地表水的影

响会长期存在, 对地下水的污染会随着时间扩大污染范围。表1为某非正规垃圾填埋场填埋时间与地下水污染范围变化的关系。

表1 垃圾填埋时间与地下水污染范围变化

年份	1997	2000	2004	2005
污染范围/km <sup>2</sup>	0.45	1.18	4.67	5.51

### 1.2.3 大气污染和安全隐患

垃圾在填埋场中厌氧分解, 产生大量的垃圾填埋气体, 主要成分为CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>和微量成分(如N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub>等), 还产生恶臭气体, 由于无气体收集和處理系统, 气体直接排入大气中, 污染附近空气。且CH<sub>4</sub>是易燃易爆气体, 存在安全隐患。

## 2 非正规垃圾填埋场危害风险评估

### 2.1 对环境危害风险评估

#### 2.1.1 垃圾中有机质含量

当非正规垃圾填埋场垃圾中的有机质含量低于5%时, 垃圾基本达到稳定化。根据对非正规垃圾填埋场中垃圾调查结果和不同垃圾处理设施产出物成分调查结果, 把垃圾中有机质含量分为四级: 小于5%、5%~10%、10%~20%、大于20%。

#### 2.1.2 填埋场封场时间

大量的勘测研究表明, 垃圾填埋时间可以反映出填埋物中可降解污染物所处的状态, 随着垃圾填埋时间的延续, 垃圾堆体内的可降解污染物含量会逐渐降低, 危害程度逐渐下降。为此, 将垃圾填埋封场时间分为四级: 小于3 a、3~5 a、

收稿日期: 2013-08-20

5~10 a、大于 10 a。

### 2.1.3 垃圾填埋量

填埋垃圾量越大，非正规垃圾填埋场产生的污染物越多，目前广泛使用的规模分级方法是：大型垃圾填埋量大于 50 000 m<sup>3</sup>、中型垃圾填埋量为 5 000~50 000 m<sup>3</sup>、小型垃圾填埋量小于 5 000 m<sup>3</sup>。

根据调查，有许多非正规垃圾填埋场填埋量远大于 5 万 m<sup>3</sup>。因此，填埋规模分级增加填埋量 30 万 m<sup>3</sup> 的超大型填埋场，即垃圾规模分为 4 级。

### 2.1.4 因子分值和权重

各因子对环境危害分值见表 2。

表 2 评估因子分值

分值	0~2.5	2.5~5	5~7.5	7.5~10
有机质/%	<5	5~10	10~20	>20
填埋封场时间/a	>10	5~10	3~5	<3
垃圾填埋量/万 m <sup>3</sup>	<0.5	0.5~5	5~30	>30

各因子的权重见表 3。

表 3 评估因子权重

因子	有机质含量	填埋封场时间	垃圾填埋量
权重	0.3	0.2	0.5

### 2.1.5 对环境危害风险分级

风险分值 (F) 计算公式：

$$F = \sum_{i=1}^3 \gamma_i X_i \quad (1)$$

式中： $\gamma_i$  为第  $i$  个因子权重； $X_i$  为第  $i$  个因子分值。

根据计算的分值 (F)，对环境危害程度风险分为 3 级： $F > 7$  高度危害； $3 < F \leq 7$  中度危害； $F \leq 3$  低度危害。

## 2.2 对地下水污染风险评估

### 2.2.1 平原区非正规垃圾填埋场对地下水污染风险分级

1) 垃圾渗沥液从垃圾体侧向地层进入含水层的可能性，用地层水平方向的等效渗透系数  $K_p$  计算 (见图 1)。

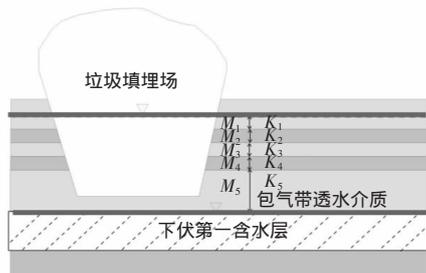


图 1 垃圾渗沥液侧向地层中的水平渗透

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n K_i M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (2)$$

式中： $K_i$  为某单一岩性地层的渗透系数； $M_i$  为某单一岩性地层的厚度。

2) 垃圾渗沥液从垃圾体下伏地层进入含水层的可能性，用隔污指数  $PI$  计算 (见图 2)。

$$PI = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{M_{eff}^i} \quad (3)$$

式中： $M_i$  为垃圾体下伏包气带中第  $i$  层黏性土的实际厚度； $M_{eff}^i$  为垃圾体下伏包气带中第  $i$  层黏性土的有效隔污厚度。

$$M_{eff}^i = \frac{K_z t^i + \sqrt{(K_z t^i)^2 + 4K_z t^i H_n}}{2n} \quad (4)$$

式中： $t^i$  为垃圾体的安全处置期。当渗沥液穿透包气带的历时与其相当时，可认为污染物在包气带地层中得到充分衰减，不会对地下水产生污染； $K_z$  为黏性土层垂向渗透系数； $H$  为垃圾体内渗沥液的水头高度； $n$  为黏性土层的孔隙度。

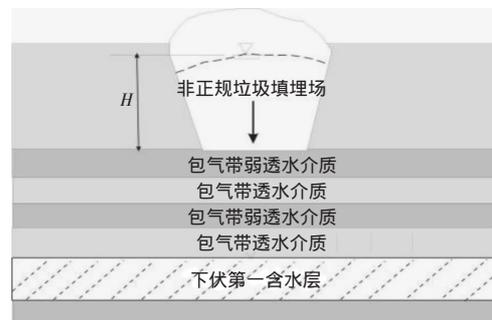


图 2 平原区隔污指数计算示意

3) 渗沥液进入垃圾体下伏第一含水层可能性 (P) 的计算，见表 4。

$$P = 0.3P_1 + 0.7P_2 \quad (5)$$

表 4 渗沥液进入垃圾体下伏第一含水层可能性 (P) 计算

要素层	指标层	指标权重	指标分类	评价分值 (P)
渗沥液污染物进入垃圾体下伏第一含水层的可能性 P	渗沥液从垃圾体侧向地层进入含水层的可能性 P <sub>1</sub> (侧向污染路径)	0.3	$K_p \leq 0.02$	0
			$0.02 < K_p < 2$	$10 \times \frac{K_p - 0.02}{2 - 0.02}$
			$K_p \geq 2$	10
	渗沥液从垃圾体底部地层进入含水层的可能性 P <sub>2</sub> (垂向污染路径)	0.7	$PI \geq 1$	0
			$0 < PI < 1$	$10 \times (1 - PI)$
			$PI = 0$	10

注：如果垃圾体受地下水浸泡，垃圾体对地下水污染的风险更大，应当提高风险评价分值，区分风险高低，因此，对于间歇浸泡的垃圾体，评分 P 乘以修正系数 1.1；对于持续受浸泡的垃圾体，评分 P 乘以修正系数 1.2。

4) 渗沥液进入垃圾体下伏第一含水层可能性分级，见表 5。

表 5 渗沥液进入垃圾体下伏第一含水层可能性分级

P	0 ≤ P < 3.5	3.5 ≤ P < 7.0	7.0 ≤ P < 12
可能性分级	小	中	大

5) 平原区含水层介质敏感性可按表 6 评价。

表 6 平原区含水层介质敏感性分级

含水层介质	砂砾石、砾卵石等大粒径	中粗砂	粉土、粉细砂
敏感性分级	高	中	低

6) 平原区地下水污染风险分级, 见表 7。

表 7 平原区地下水污染风险分级

污染物进入垃圾体下伏第一含水层的可能性 (P) ↑	大	中风险	高风险	高风险
	中	中风险	中风险	高风险
	小	低风险	低风险	低风险
含水层敏感性 →		低	中	高

注: 对于同为“高风险”的平原区非正规垃圾填埋场, 应先按含水层敏感性排序, 再按污染物进入垃圾体下伏第一含水层的可能性排序。

### 2.2.2 山区非正规垃圾填埋场对地下水污染风险分级

1) 山区地下水污染风险评价指标体系, 见表 8。

表 8 山区地下水污染风险评价指标体系

要素层	指标层	指标分类	定性评价
山区地下水污染风险	裂隙发育程度 (污染物进入基岩含水系统的可能性)	发育、极发育	大
		较发育	中
		不发育	小
	含水系统岩性 (含水系统敏感性)	碳酸岩类	高
碎屑岩类		中	
其他岩类		低	

2) 山区地下水污染风险分级, 见表 9。

表 9 山区地下水污染风险分级

污染物进入垃圾体下伏基岩含水系统的可能性 ↑	大	低风险	高风险	高风险
	中 <td>低风险 <td>中风险 <td>高风险 </td></td></td>	低风险 <td>中风险 <td>高风险 </td></td>	中风险 <td>高风险 </td>	高风险
	小 <td>低风险 <td>低风险 <td>中风险 </td></td></td>	低风险 <td>低风险 <td>中风险 </td></td>	低风险 <td>中风险 </td>	中风险
含水层敏感性 →		低	中	高

注: 对于同为“高风险”的山区非正规垃圾填埋场, 应按基岩岩性排序 (即高风险的“灰岩”优先于高风险的“砂岩”), 再按裂隙发育程度排序。

### 2.3 非正规垃圾填埋场危害风险分级

将非正规垃圾填埋场对环境危害风险分级和对地下水污染风险分级综合, 通过表 10 可得出非正规垃圾填埋场危害风险等级。表中的 A 级风险, 表明对污染源实施彻底治理, B 级风险需有选择性地实施彻底治理或采用有效控制技术, 如封场、顶部防渗等。

表 10 非正规垃圾填埋场危害风险分级

环境危害风险	地下水污染风险		
	大风险	中风险	小风险
高度危害	A 级	A 级	B 级
中度危害	A 级	B 级	C 级
低度危害	B 级	C 级	C 级

### 3 非正规垃圾填埋污染治理技术

非正规垃圾填埋场治理技术的选择, 应根据危害风险等级和对垃圾污染源控制、阻断垃圾污染途径、填埋场土地利用、填埋场封场植被恢复等不同要求进行确定。

#### 3.1 筛分减量技术

此技术的原理是, 将从非正规垃圾填埋场挖掘出来的垃圾借助筛网等设备, 将垃圾按照颗粒大小进行分离的方法。筛分出来的细颗粒土可作为腐殖土、塑料类垃圾回收利用、无机垃圾填埋处理或制砖等。

筛分法的优点是, 可以实现垃圾的减量化, 消除污染隐患, 有效释放填埋场土地, 提高填埋场土地利用效率。

此技术适用的基本条件: 一是垃圾填埋场封场时间较长, 垃圾中的纤维素、半纤维素类物质基本降解完成; 二是筛分出来的有机质腐殖土和无机物有地方接纳。

#### 3.2 输氧抽取技术

此技术的原理是, 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、湿度与垃圾气体进行监控, 激活垃圾中的微生物再生, 从而加速有机物的降解。

采用此技术的垃圾堆体应满足如下条件: 可降解有机物含量大于 20%、含水率 40%~50%、pH 为 6.5~7.5、垃圾容量大于 5 万 m<sup>3</sup>。

#### 3.3 地下防渗帷幕技术

地下防渗帷幕技术包括帷幕注浆技术和地下连续墙技术。此技术的原理是, 通过帷幕注浆等技术, 在垃圾堆体四周形成防渗连续墙, 阻隔垃圾渗沥液从横向迁移, 进入地下水。此连续墙应与垃圾体底部下的隔水层相连接。

此技术适用的基本条件是, 垃圾体底部下方埋深不大处应有稳定的隔水层。

#### 3.4 封场植被恢复技术

此技术的植物种类选择很重要。一般来讲, 非正规垃圾填埋场生态恢复顺序, 宜选择“草木—灌木—乔木”的次序。

封场 5 a 内, 宜全部种植草木植物及藤本植物, 目的是逐渐恢复填埋场的植被。封场 5 a 以后, 可以逐渐种植一些浅根系灌木, 以改善填埋场的外观景致。

植物品种要求有一定的抗旱性、抗寒性、抗

污性等特性。

#### 4 非正规垃圾填埋场治理实例

##### 4.1 基本情况

北京市丰台区某非正规垃圾填埋场位于永定河漫滩，地形较平坦，原为采砂石坑，占地约 14 hm<sup>2</sup>。1988 年 3 月开始填埋，1997 年 10 月封场，主要填埋生活垃圾，最厚处 14.8 m，平均厚度 10.09 m，估算垃圾填埋量约 125 万 m<sup>3</sup>。

##### 4.2 场地勘察与检测

在填埋场地布置了 9 个钻孔，设计为穿透垃圾钻至天然土层。根据检测结果，垃圾平均密度 1 030 kg/m<sup>3</sup>，有机质平均含量 6.17%，甲烷含量加权平均值为 8.1%。

根据地质勘探报告，垃圾体侧向地层可概化为 3.5 m 砂土，垃圾体底部至下伏第一含水层之间的弱透水层可概化为 1.5 m 黏质粉土，砂类土水平渗透系数取 2 m/d，黏质粉土垂向渗透系数取  $2.5 \times 10^{-7}$  cm/s，黏性土的有效隔污厚度为 5.5 m，第一含水层岩性为卵砾石。

##### 4.3 危害风险确定

###### 4.3.1 对环境危害风险评估

根据获取的数据和计算方法，环境危害评估因子分值分别为：有机质含量 3.1、填埋场封场时间 2.2、垃圾填埋量 10。风险分值  $F=6.37$ ，属中度危害。

###### 4.3.2 对地下水污染风险评估

该非正规垃圾填埋场属平原区，根据地质勘探报告，可计算出渗沥液从垃圾体侧向地层进入含水层的可能性  $P_1$  为 10，从垃圾体底部地层进入含水层的可能性  $P_2$  为 7.3。由此，渗沥液进入垃圾下伏第一含水层的可能性  $P=8.11$ ，可判断为渗沥液进入垃圾下伏第一含水层可能性大。第一含水层岩性为卵砾石，由此，含水层介质敏感性分级为高。所以，根据表 7 可判断地下水污染风险分级为高风险。

###### 4.3.3 危害风险分级

根据对环境和地下水污染风险评估及表 10 分级方法，该非正规垃圾填埋场危害风险为 A 级。

#### 4.4 治理方法

非正规垃圾填埋场危害风险为 A 级时，应对污染源实施彻底治理。由于该区正在使用的垃圾卫生填埋场将到服务年限，急需建设新的垃圾处理设施。所以，决定对该非正规垃圾填埋场进行彻底治理，治理后的用途是在原址上新建垃圾卫生填埋场。根据论证，治理方法采用筛分减量技术。

#### 4.5 治理工程实施和场地利用

施工队自 2009 年 12 月 19 日进场，2010 年 7 月步入正轨，于 2011 年 6 月 16 日完工，共 544 d。施工开始由 2 条组合筛分生产线作业。为加快进度，后调整为 6 条生产线作业。

整个治理过程中，开挖筛分陈腐垃圾 143.5 万 m<sup>3</sup>，其中腐殖土 92.2 万 m<sup>3</sup>，轻质物料（如织物布料、废塑料等）18.09 万 m<sup>3</sup>，无机骨料 10.6 万 m<sup>3</sup> 及其他。腐殖土用于山体恢复和园林绿化，无机骨料经破碎后用于道路路基填筑和场区回填。

治理工程完成后，设计建设了新的垃圾卫生填埋场，其占地面积 12.93 hm<sup>2</sup>，设计填埋量 160 万 m<sup>3</sup>，现已投入运行。

#### 参考文献

- [1] Collin M L, Meloul A J. Combined Land-use and Environmental Factors for Sustainable Groundwater Management[J]. Urban Water, 2001, 3 (1): 229-237.
- [2] Secunda S, Collin M L, Melloul A J. Groundwater Vulnerability Assessment Using a Composite Model Combining DRASTIC with Extensive Agricultural Land Use in Israel's Sharon Region[J]. J Environ Manage, 1998, 54 (1): 39-57.
- [3] Morris B, Foster S. Assessment of Groundwater Pollution Risk[M/OL]. [2006-05-06]. <http://www.inweb18.worldbank.org/essd/essd.nsf>.
- [4] Civita M V, De Maio M. Assessing Groundwater Contamination Risk Using Arc Info via GRID Function[M]. 薛禹群, 译. 地下水动力学 (2 版). 北京: 地质出版社, 2001.
- [5] 国家环境保护总局环境工程评估中心. 环境影响评价技术方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [6] U. S EPA. EPA530-R-93-017 Solid Waste Disposal Facility Criteria: Technical Manual[S]. 1998.

作者简介: 吴文伟 (1951—), 高级工程师, 主要从事环境卫生技术和管理等方面研究。

(责任编辑: 刘冬梅)