

文章编号:1000-582X(2003)04-0125-05

# 三峡库区垃圾堆放场稳定化指标体系\*

王里奥, 袁辉, 崔志强, 林建伟

(重庆大学资源及环境科学学院, 重庆 400044)

**摘要:**三峡库区的城市生活垃圾基本上都采用堆放的方式,这不仅占用了大量的土地,而且还对土壤、水体等环境造成影响和污染。因此判别垃圾堆放场是否已经稳定,这对减少它们的环境影响和重新利用土地至关重要。对于垃圾堆放场稳定化评判指标的选取,以及它们之间的相互关系的研究则关系到稳定化判别的准确性,因而十分重要。文章根据三峡库区具体情况,从宏观指标和微观指标入手,选择并确定了指标体系,然后就指标体系中的有机质和浸出液 COD 之间,浸出液 COD 和浸出液 TP、浸出液 TN 之间,以及有机质、浸出液 COD 与垃圾堆龄之间的相关性进行了分析,并确定了指标体系中各个指标的评价标准。

**关键词:**三峡库区;垃圾堆放场;指标体系;评价标准

**中图分类号:**X799.3

**文献标识码:**A

随着社会经济发展和人们生活水平的提高,垃圾的产生量与日剧增,而我国大部分城市的垃圾处理采用简易填埋,许多中小城镇采用的是堆放方式,不仅占用了大量的土地资源,而且垃圾场产生的污染严重影响了人体健康和生态环境。随着城市的发展,一些原本处于郊外的垃圾场逐渐进入市区。因此判别它们的稳定化程度是进行土地再利用的前提。稳定化程度的判别可以在稳定化指标体系的基础上进行,而指标体系的选择是否恰当,直接关系判定垃圾场稳定化程度的正确性。笔者根据三峡库区简易垃圾填埋场的具体情况,建立了指标体系,确定指标的评价标准,研究了它们之间的相关性,并就这些指标及稳定化的判别进行了讨论。

## 1 稳定化研究现状

稳定化状态是指垃圾场内垃圾的可降解有机组分达到矿化,垃圾层基本无气体产生,场地表面自然沉降停止时的状态。垃圾场达到稳定化状态时,对环境的影响将降至最低,并且人们将可以重新利用土地。目前对垃圾场稳定化的研究,一般是从沼气的组分和产量,渗

滤液的产量和水质,固体垃圾的组成,表面沉降量的变化4个方面进行。垃圾场稳定化的宏观指标是垃圾场地表(垃圾表面)的沉降速度、渗滤液和气体的产生速率和组成变化,有关垃圾场稳定化的报道,目前仅限于研究渗滤液 COD、BOD、挥发酸、气体组成、垃圾中纤维、半纤维、蛋白质、可降解物比例与时间的关系<sup>[1-5]</sup>,从微观上对垃圾的研究已经较为成熟。在填埋气的组成和产量,最大产气量的计算公式,渗滤液产量和水质。国内外许多学者这些方面做了大量的研究工作。

## 2 指标体系的选择

从2个方面,即宏观和微观方面考虑指标体系的建立。宏观指标有:表观指数、产气比指数、垃圾堆龄、渗滤液等;微观指标有:有机质含量、垃圾浸出液污染物指标、垃圾 COD 含量、TN 和 TP 等。

### 2.1 宏观指标

1) 表观指数。简易垃圾填埋场垃圾的稳定化程度可以通过观察初步确定。堆放时间较长的垃圾无臭味,不吸引蚊蝇,呈疏松的团粒结构,手感较细,与周围土壤外观较为相似,垃圾已经稳定化;当颜色呈褐色,

\* 收稿日期:2003-01-11

基金项目:国务院三峡工程建设委员会办公室项目(SX[2000]-001)

作者简介:王里奥(1956-),女,重庆人,重庆大学副教授,博士,主要从事环境科学与环境工程的教学与科研工作。

可以感觉到轻微臭的气息,不吸引蚊蝇,表现较疏松,有部分粒径较大时,垃圾较好稳定;垃圾呈浅褐色,略有臭味,迎风时较为明显,不吸引蚊蝇,表现较为疏松,但有部分结块,手感稍粗,垃圾基本稳定化;明显感觉到有臭味,周围有蚊蝇围绕,粒径较大,有部分或明显结块,手感较粗,或能看到明显的厨余残渣,垃圾处于未降解状态。

2) 产气比指数。垃圾填埋场主要气体的产生过的各个阶段气体的成份和量各不相同,而且产率变化范围很大。因此,准确预测气体的产率是很难办到的。笔者采用将三峡库区的新鲜垃圾和垃圾堆放场的垃圾进行采样分析,测定其中的各种组分含量,选用有机碳法计算新鲜垃圾和沿江生活垃圾堆放场垃圾产气最大理论产气量,用新鲜垃圾最大理论产气量除堆存垃圾的最大理论产气量得到比值作为一个指标来反映垃圾稳定化程度。本文将这个比值定义为产气比指数,比值越大表示产气潜势越大,越不稳定。

3) 垃圾堆龄。简易填埋场的垃圾随着时间而降解,垃圾的堆龄越长,垃圾的降解越充分。国外的某些资料表明,在正常情况下,卫生填埋场中城市垃圾的降解周期大约为 25~30 a。而我国发表的若干调研报告或研究结果则较为普遍地认为,我国填埋场中垃圾的降解速率较国外为高,因而降解周期也要短一些。因此,选择堆龄作为宏观评价指标。

## 2.2 微观指标

1) 有机质含量。重庆市及三峡库区新鲜生活垃圾组中容腐组分一般为 30%~40%,新鲜垃圾的有机质含量垃圾中的有机成分进行发酵的物质基础,无机部分只有很少部分发生变化,不稳定部分主要是有机组分,有机质的含量可以直接反映垃圾的稳定化程度。就自身性质而言,有机质含量是垃圾稳定研究的最主要的指标。

2) 垃圾浸出液污染物指标。垃圾渗滤液水质表示溶于水中的各种污染物质的量,其中有机组分占很大比例,但是,也含有不可降解的可溶无机物,垃圾对环境造成的污染大多是由垃圾渗滤液引起。垃圾浸出液是在实验条件下,按照一定的规范,对垃圾样品进行浸泡后得到的试样液。垃圾浸出液中的 COD、TP、TN 等指标也可以在一定程度上反映垃圾稳定化程度。垃圾浸出液中 COD 一般很高,当完全稳定化后,可以低达几十 mg/L,堆龄达到 20 年时,COD 会降至 30 mg/L

左右。生活垃圾完全稳定化以后,其状态会介于堆肥和土壤之间,不再是污染物。通过垃圾浸出液可以反映垃圾场的稳定化程度。

3) 垃圾 COD 含量。垃圾 COD 表示垃圾的耗氧速率,耗氧速率的高低表征了垃圾稳定化的进程,它实质上是微生物繁衍和抑制的外部表现。有实验证明<sup>[6]</sup>:耗氧速率既表征了微生物活动的强弱,又表征了垃圾中有机物的分解程度,而且不受原料的影响。

4) TN 和 TP。由于微生物的生命活动,垃圾稳定后,相对于新鲜垃圾,全磷和全氮的含量均有所下降,垃圾稳定化程度不同,TN 和 TP 的含量范围会有很大不同,TN 和 TP 可以作为垃圾稳定化的指标。作为垃圾的自身性质进行研究可以大体观察出垃圾状态,但分级标准较难确定。

笔者选择表观指数、产气比指数、垃圾堆龄作为宏观指标,浸出液 COD、有机质作为微观指标作为判别三峡库区垃圾场稳定化程度的指标。

## 3 指标的相关性分析

### 3.1 有机质和浸出液 COD 的相关性分析

图 1 为对奉节较场垃圾场和锅底池垃圾场、丰都麻柳林垃圾场和万州和尚桥垃圾场 4 个大型垃圾堆放场(堆放量在 20 万 t 以上)有机质含量和垃圾浸出液 COD 相关性分析,相关系数  $R$  为 0.3,属于弱相关。图 2 为对云阳和姊归两县的 3 个垃圾堆放场(堆放量在 1 万 t 以下)进行有机质含量和浸出液 COD 相关性分析,相关系数为  $0.15 < 0.4$ ,属于弱相关。可以得出有机质和垃圾浸出液 COD 两组数据属于弱相关。

表 1 三峡库区堆存垃圾特性

采样地点	推算的垃圾堆龄/a	有机质/%	浸出液 COD <sub>Cr</sub> 浓度/mg·L <sup>-1</sup>
巫山 礁石岩	10	10.81	26.98
	10	13.70	13.10
奉节 较场	5~6	13.04	15.4
	锅底池	20	11.30
万州 和尚桥	10~12	4.77	12.74
	6~10	14.47	19.17
丰都 麻柳林	10	14.43	18.87
	<5	15.58	23.30
云阳 小河口	<5	13.91	59.89
	>5	12.53	16.01
姊归 软桥头	<5	10.56	23.44
	>5	10.72	26.37

说明:表中列出的是各个堆龄段垃圾样品的平均值。

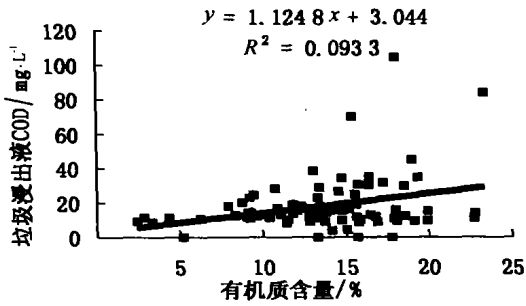


图1 垃圾浸出液 COD 与有机质含量的关系(1)

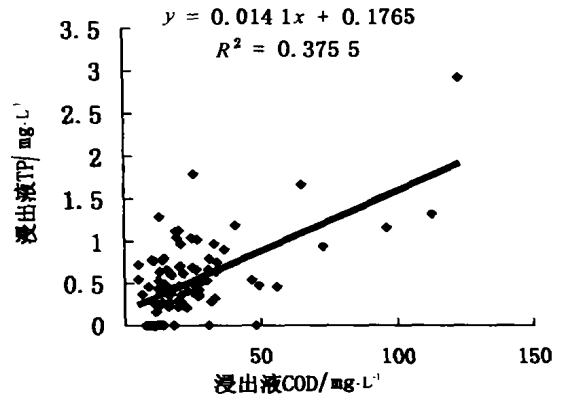


图3 浸出液和浸出液 TP 之间的关系

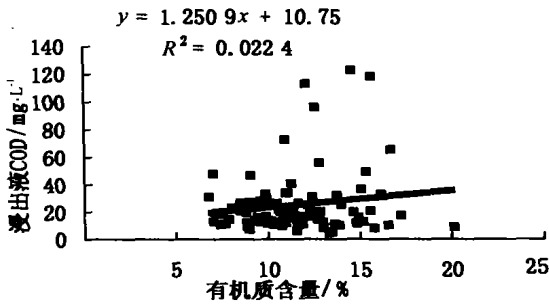


图2 垃圾浸出液 COD 与有机质含量的关系(2)

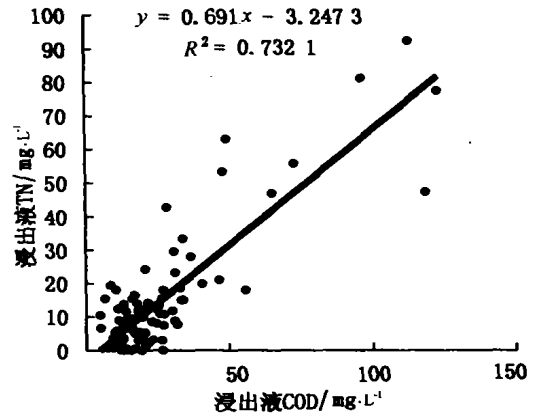


图4 浸出液 COD 和浸出液 TN 之间的关系

由于有机质含量和浸出液 COD 都为垃圾降解特性的微观指标,在研究三峡库区沿江生活垃圾堆放场稳定化时,为了避免出现较大的误差,需对二者都进行分析。

### 3.2 浸出液 COD 和浸出液 TP、TN 相关性分析

浸出液 COD 和浸出液 TP 的相关性分析也可以通过实验确定。通过对云阳和姊归两地的垃圾场的浸出液 COD 与 TN 和 TP 的分析,结果如下:

图3-图4可以看出,浸出液 COD 和浸出液 TP 的相关系数为 0.613,属于中度相关;浸出液 COD 和浸出液 TN 的相关性系数为 0.856,属于强相关。由于三者有着较大的相关性,且浸出液 TP 和浸出液 TN 的标准确定较难,因此采用浸出液 COD 作为微观指标之一。

### 3.3 有机质、浸出液 COD 与垃圾堆龄的关系分析

垃圾是否降解达到稳定化,主要根据垃圾中有机物含量确定。在此,将样品按堆龄分为三大类:即堆龄小于 5 a、堆龄 5~10 a 和堆龄大于 10 a。第 1 类样品的有机质与浸出液 COD 浓度之间的关系见图 5,第 2 类样品的有机质与浸出液 COD 的关系见图 6,第 3 类样品的有机质与浸出液 COD 的关系见图 7。

从图 5~图 7 可以看出,垃圾堆龄小于 5 a 时,曲线跳跃较大,浸出液 COD 在 4~123 mg/L 之间变化,规律性不强。当垃圾堆龄为 5 a 以上时,曲线变得平

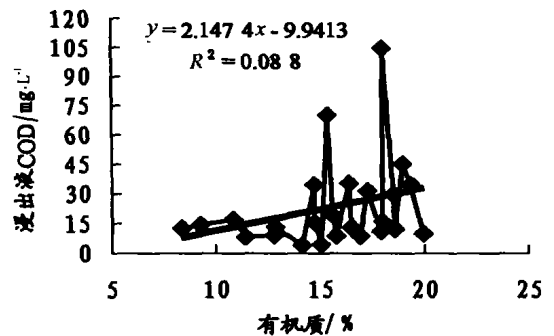


图5 堆龄 <5 a 垃圾有机质和浸出液关系图

稳,跳跃点减少,浸出液 COD 均小于 60 mg/L。

相关性分析表明,堆龄小于 10 a 的垃圾堆放场中垃圾的有机质含量与浸出液 COD 浓度之间的相关性系数较小,堆龄大于 10 a 的垃圾堆放场中垃圾的有机质含量与浸出液 COD 浓度之间的相关性系数为 0.52,属中度相关。但浸出液 COD 浓度随垃圾堆龄的增加呈下降趋势,有机质与堆龄的关系亦如此。当垃圾堆龄小于 5 a,由于垃圾堆场中成分不均匀,降解不均匀、也不充分,浸出液浓度与有机质变化较大;当垃圾堆龄大于

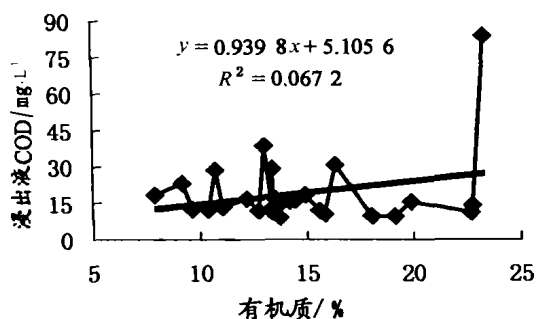


图6 堆龄5~10 a垃圾浸出液和有机质关系图

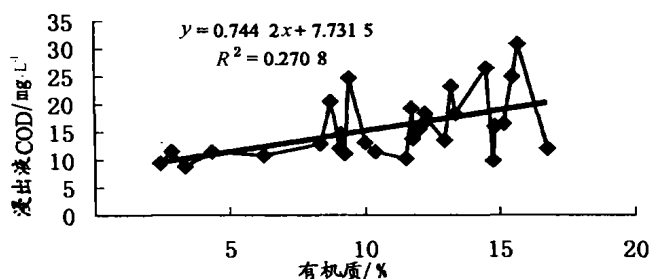


图7 堆龄&gt;10 a垃圾有机质和浸出液关系图

5 a, 浸出液 COD 浓度变化小。从上面分析可知, 有机质、浸出液 COD 和堆龄具有一定的相关性。

#### 4 评价标准的确定

1) 垃圾堆龄。只有当垃圾中的有机质全部矿化时, 垃圾场才可能达到真正意义上的稳定化。研究结果普遍地认为, 我国填埋场中垃圾的降解速率较国外高, 降解周期也较短。根据北京地区的垃圾堆放场的资料表明<sup>[7]</sup>, 在填埋 1.5~2 a 内垃圾渗滤液中有有机污染物浓度达到最高峰, 到 5 a 后渗滤液 COD 已经低于 4 000 mg/L。产气中甲烷浓度也在 2 a 左右达到最高峰, 比渗滤液的高峰期略微靠后, 在持续 1~2 后迅速下降。如果以渗滤液的 COD 值低于 500 mg/L, 甲烷浓度低于 5% 作为堆放场稳定的界限, 大体上认为其稳定期在 10 a 左右。如果将北京海淀区堆放场作为国内中部大城市简单堆放垃圾场的代表, 可以大体上认为我国大城市历史遗留简单堆放场的稳定期确实远远低于国外公认的 20~30 a 的时间。平均温度较高、湿度较大的南方地区更是如此。因此, 笔者认为三峡库区的垃圾场 10 a 已经稳定。

2) 产气比指数。产气比指数可以定义为堆存垃圾产气量与新鲜垃圾产气量的比值。研究表明, 对于垃圾卫生填埋场, 前 5 a 处于不稳定阶段, 垃圾表面沉

降较大, 年度沉降可以达到垃圾填埋高度的 1.5%, 垃圾渗滤液浓度 COD 较大; 经过 20 a 可以达到稳定化<sup>[8-9]</sup>, 垃圾表面沉降较小, 年度沉降小于垃圾填埋高度的 0.5%, 渗滤液 COD 浓度低于 20 mg/L。垃圾场中的垃圾产气速率随着填埋场中有机组分(用产气潜能  $L$  表示)的减少而递减。可以描述为:

$$-\frac{dL}{dt} = kL$$

式中:  $k$  为产气速率常数,  $1/a$ , 通常取 0.11;  $t$  为垃圾填埋后的时间,  $a$ 。

积分可以得出:  $L = L_0 \exp(-kt)$  其中  $L$  为堆存垃圾最大理论产气量;  $L_0$  为新鲜垃圾最大理论产气量。填埋时间为 20 a 时, 可以计算出  $L = 0.15L_0$ ; 填埋时间为 5 a 时, 可以计算出  $L = 0.52L_0$ 。

国内外资料表明, 当垃圾运入垃圾场后 3 a 到 4 a, 实际垃圾场产气量可以达到最大产气量的 50% 左右, 经过 20 a 以后垃圾降解可以达到 80%~90%<sup>[8-9]</sup>, 产气比指数的标准见表 2。

3) 有机质。关于有机质标准的研究很少。土壤中的有机质(以腐殖质为主)含量在 1%~2%, 高的可达 5%~10% 以上。以土壤中的有机质含量值作为垃圾稳定的有机质含量的上限, 同时, 根据上海市老港垃圾填埋场研究表明的稳定化时间为 22 a, 此时, 有机质为 12%, 所以认为有机质含量小于 12% 的垃圾已经稳定。

根据研究测定的库区城市, 其新鲜垃圾的有机质均大于 25% 以上。经实验表明, 新鲜垃圾的有机质含量都 > 25%, 处于有机质含量 > 30% 的新鲜垃圾比率较大, 故以有机质含量 25% 为不稳定垃圾的下限, 当垃圾中有有机质含量 > 25% 时, 处于不稳定状态; 当垃圾中有有机质含量 < 15% 时, 垃圾表现出较好稳定化的状态。有机质含量是垃圾稳定研究的最主要的指标, 有机质含量越高, 垃圾越不稳定, 反之, 越稳定。

4) 浸出液 COD。垃圾浸出液的污染物浓度可以表征垃圾的污染能力也可以表示垃圾的稳定化程度。在此, 不妨参考污水综合排放标准, 以此作为分级依据。

以污染物排放标准作参考(城镇二级污水处理厂 COD 的排放标准), 制定出浸出液 COD 的垃圾稳定化评价指标分级体系(见表 2), 垃圾浸出液各项指标即为垃圾渗滤液相应指标的极限值, 也就是生活垃圾的污染负荷, 随着垃圾稳定, 污染负荷会有所下降。

表 2 三峡库区垃圾堆放场稳定化指标评价标准

指标	稳定	较好稳定	基本稳定	未稳定
堆龄/a	>10	5~10	3~5	<3
产气比指数	<0.15	0.15, ~0.25	0.25~0.50	>0.50
有机质	<12%	12%~15%	15%~25%	>25%
浸出液 COD	<30l	30~60	60~120	>120

## 5 结 语

提出的指标体系中,由于表观指标不易量化,可以作为一个约束条件,即通过表观分析得出一个大概结论。再运用表观指标分析结果对其它指标得出的评价结果进行修正。通过对上面的多个指标进行分析,可以看出,垃圾有机质含量、浸出液 COD、产气量、稳定化时间有一定相关性,但都属于弱相关。因此,可以通过分析确定三峡库区沿江生活垃圾堆放场垃圾的稳定化程度研究指标。即包括表观指标、最大理论产气量、垃圾堆龄以及垃圾中有机质含量和浸出液污染物含量等微观指标。

对三峡库区沿江生活垃圾堆放场的稳定化进行判别时,可采用未稳定、基本稳定、较好稳定和稳定 4 个评价等级,再对每个指标都进行分析,得出每个指标的分级标准,建立三峡库区沿江生活垃圾自然堆放场垃圾稳定化程度评价分级体系。

运用以上指标体系分别对整个三峡水库 20 年一遇洪水线下生活垃圾堆放场垃圾采用统计分析,得到

每种指标的库区垃圾稳定化程度,然后利用权重系数进行综合分析,在对库区的垃圾堆放场进行稳定化程度的判别后,即可根据具体的情况提出处置的方案。

## 参考文献:

- [1] OTIENO F A O. Stabilization of solid waste through leachate recycling [J]. Waste management & research, 1994, (12): 93-100.
- [2] HAM R K, NORMAN M R, FRITACHET P R. Chemical characterization of fresh kill landfill refuse and extracts [J]. Journal of Environmental Engineering Division, 1993, 119 (6): 1176-1195.
- [3] ETTALA M. Water Sampling in a Sanitary Landfill [J]. Aqua Fennica, 1990, 20(2): 199-201.
- [4] 朱青山, 赵由才, 赵爱华, 等. 添加物对填埋场稳定化的影响 [J]. 城市环境与城市生态, 1996, 9(2): 19-21.
- [5] 刘元元. 三峡库区沿江生活垃圾堆放场垃圾稳定化研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [6] 张所明, 陈世和. 城市生活垃圾堆肥原理和工艺 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 1997.
- [7] 袁光钰, 匡胜利, 曹丽云. 我国城市垃圾填埋场降解速率的分析 [J]. 新疆环境科学, 2000, 22(1): 11-15.
- [8] 王罗春. 城市生活垃圾填埋场稳定化进程研究 [D]. 上海: 同济大学, 1999.
- [9] 刘疆鹰. 大型垃圾填埋场试验场稳定化进程数值模拟 [D]. 上海: 同济大学, 1998.

## Stabilization Index System of Simple Landfill

WANG Li-ao, YUAN Hui, CUI Zhi-qiang, LIN Jian-wei

(College of Resource and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** As the MSW (municipal solid waste) of the counties or towns in the Three Gorges areas is simply piled up, the piling-up yard has occupied large amount of land and will pollute the earth and water environment. So it is very important to judge whether a MSW piling-up yard is stabilized for the lands' reuse and pollution prevention. The accuracy of judgment depends on the index system of stabilization. The index system is established and the correlation between lixivium COD, organic matter, age of piling-up etc., are also analyzed. The index system is confirmed and the evaluation standard is also established.

**Key words:** three gorges region; MSW piling-up yard; index system; evaluation criterion

(责任编辑 姚 飞)