

• 污染防治技术 •

# 垃圾填埋场室内模拟试验注水量确定方法及其应用

曹江英, 黄涛, 张西华, 刘辉

(西南交通大学环境科学与工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:** 针对填埋场室内模拟试验往往忽略降雨径流和初损的问题, 提出运用 SCS 模型确定室内模拟试验日注水量的方法, 并将计算结果应用于成都长安填埋场室内模拟试验中。结果表明, 采用 SCS 模型计算所得的日入渗量进行注水的模拟柱渗滤液产量和水质变化能够更准确的模拟填埋场实际情况。

**关键词:** 垃圾填埋场; 室内试验; 降水; 模拟试验; SCS 模型

中图分类号: X 705 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2007)03-0039-04

## Method for Determination Water Injection Volume in Room Landfill Test and Its Application

CAO Jiang-ying HUANG Tao, ZHANG Xi-hua, LIU Hui

(School of Environmental Science and Engineering, Southwest Jiaotong University,

Chengdu, Sichuan 610031, China)

**Abstract** A method using SCS model for determination of daily water injection volume is applied in chengdu city landfill test to supply the precipitation-runoff and initial abstraction in laboratory simulation. The result indicated that the daily infiltration volume of the simulation column and water quality change calculated with SCS model can accurately simulate the actual situation of chengdu city landfill.

**Key words** Landfill; In room Test; Precipitation; Simulation test; SCS model

通过覆盖层渗透到垃圾层的雨水, 改变了垃圾填埋场中水分的分布, 也是填埋场垃圾渗滤液的主要来源。渗滤液中多种高浓度污染物会随水分运移下渗, 对垃圾填埋场底部的土壤和地下水造成污染<sup>[1]</sup>。由于地表径流、初损、蒸发等因素的影响, 填埋场内实际入渗量小于降雨量。

填埋场室内模拟试验中, 往往没有考虑地表径流等因素的影响, 一般以年均降雨量直接确定试验中的注水量, 注水量全部入渗到垃圾填埋体中, 与实际相差很大。因此在室内模拟填埋垃圾降解规律时, 应考虑降雨条件下场区的径流和初损量, 通过注水方式的控制, 进行填埋场降雨室内模拟。

美国水土保持局 (Soil Conservation Service) 提出的降雨 SCS 模型是一种较好的计算小流域降雨径流量的方法。尽管 SCS 模型的确定性系数没有 GAML (Mein-Larson-Green-Ampt) 和 Phillip 计算结果的模型确定性系数高, 若无降雨过程资料

时, 可用 SCS 径流曲线数进行径流计算<sup>[2]</sup>。现提出应用 SCS 模型计算室内模拟试验日灌水量的方法, 并通过以日均降雨量和日入渗量确定的两种不同灌水方式下的室内模拟试验填埋垃圾前期降解比较, 研究降雨入渗对填埋垃圾渗滤液产量及降解的影响。

### 1 降雨入渗对填埋垃圾降解的影响

水是微生物代谢过程中必不可少的。垃圾水分含量高, 可使垃圾体内微生物得到营养物质, 有利于微生物繁殖, 从而加快垃圾降解速度。填埋场降雨入渗量多, 则单位质量干垃圾中微生物可利用

收稿日期: 2006-10-09 修订日期: 2007-01-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40302033); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目 (2007-24)

作者简介: 曹江英 (1981-), 女, 浙江湖州人, 硕士研究生, 现从事城市垃圾处理理论与技术方面的研究工作。

的水分增加,更有利于微生物活动和垃圾的降解。如果通过覆盖层渗透到垃圾层的雨水过多,过多的渗滤液会使微生物的营养物“冲洗”过快,则不利于垃圾的降解。Ham<sup>[3]</sup>的试验研究表明,在一定范围内通过覆盖层渗透到垃圾层的雨水量越多,垃圾降解得越快。

由于年内降雨波动较大,导致填埋体内含水率及渗滤液产量随之波动,是影响填埋垃圾的降解速度和填埋场稳定化的主要因素之一。

## 2 SCS模型在室内模拟试验中的应用

### 2.1 SCS模型的基本原理<sup>[4-6]</sup>

SCS径流模型可反映不同土壤类型,不同土地利用方式及前期土壤含水量对降雨径流的影响。它是基于流域的实际入渗量(F)与实际径流量(Q)之比等于流域该场降雨前的最大可能入渗量(或潜在入渗量S)与潜在径流量(Q<sub>m</sub>)之比的假定基础上建立的。假定潜在径流量为降雨量(P)与由径流产生前植物截流、初渗和填洼蓄水构成流域初损量I<sub>a</sub>的差值。实际入渗量为降雨量减去初损和径流量,采用如下公式计算入渗量:

$$\begin{cases} F = P - I_a - Q, & P \geq I_a \\ F = P, & P < I_a \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a}, & P \geq I_a \\ Q = 0, & P < I_a \end{cases} \quad (2)$$

初损量 I<sub>a</sub> 与土壤最大可能入渗量 S 呈一定的正比关系。

### 2.2 参数 CN (Curve Number) 的确定

流域的径流量取决于降雨量与该场降雨前流域的潜在入渗量,而潜在入渗量又与流域的土壤质地、土地利用方式和降雨前的土壤湿度状况有关。为了估计流域土壤的最大可能入渗量 S, SCS 模型提出了一个径流曲线数 CN, 作为反映降雨前流域特征的一个综合参数, 则有:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

决定 CN 的主要因素为土壤前期湿度、土壤类型、植被覆盖类型、管理状况和水文条件, 同时坡度也对 CN 有一定影响。根据土壤特性, 将土壤划分为 A、B、C、D 四种类型<sup>[5]</sup>, 填埋场顶盖设计的土壤按以下类别划分<sup>[7]</sup>: 中粗至中细颗粒的密实土为 B 类, 土体完全湿润时渗透速度适中; 中细颗粒的密

实土为 C 类, 土体完全湿润时渗透速度较低; 低渗透性的粘土为 D 类, 土体完全湿润时渗透速度很低。考虑所研究流域土壤前期湿度条件, 可将土壤湿润状况根据径流事件发生前 5 d 的降雨总量 (即前期降雨指数 API) 划分为 (干旱)、(中等湿润) 和 (湿润) 3 种状态。表 1 给出了对应于填埋场顶盖设计在不同土类和不同土地使用条件下的 CN<sub>2</sub> 值。

表 1 对应于填埋场顶盖设计在不同土类和不同土地使用条件下的 CN<sub>2</sub> 值 (SCS 1972)<sup>[7]</sup>

土地使用情况	农业措施	水文条件	土体类别		
			B	C	D
休闲	等高种植	差	79	84	88
	等高种植	好	75	82	86
	等高种植, 梯田	差	74	80	82
	等高种植, 梯田	好	71	78	81
草地或牧场	等高种植	差	57	81	88
	等高种植	一般	59	75	83
	等高种植	好	35	70	79

植被稀少, 没有表层覆盖物或者植被覆盖率少于 50%; 植被均匀, 覆盖率在 75% 以上; 植被适中, 覆盖率为 50% ~ 70%。

土壤湿润状况在 、 条件下相应的径流曲线数分别表示为 CN<sub>1</sub>, CN<sub>3</sub>, 可根据以下公式<sup>[8]</sup>计算得到。

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20 \times (100 - CN_2)}{\{100 - CN_2 + \exp[2.533 - 0.0636 \times (100 - CN_2)]\}} \quad (4)$$

$$CN_3 = CN_2 \times \exp[0.00673 \times (100 - CN_2)] \quad (5)$$

## 3 长安垃圾填埋场室内模拟试验

### 3.1 垃圾填埋场概述

成都市长安垃圾卫生填埋场, 位于成都市东郊, 距成都市区 29 km。该地区气候温暖潮湿, 雨量充沛, 降雨对填埋垃圾的稳定化及渗滤液的产生量影响很大。多年平均降水量 947 mm, 丰水年降水量 1 126 mm, 干旱年降水量 593.9 mm。平均年降雨日数 183 d, 雨量多集中在 6~9 月, 平均降雨量为 698.9 mm, 占全年降雨量的 74%。

长安垃圾填埋场的封场覆盖土料, 全部取自场地上的残坡积土, 属粘土或粉质粘土。根据勘查所揭露的谷底及近谷底处的包气带细粒土的渗透系

数为  $10^{-7}$  cm / 量级, 平均值为  $3.03 \times 10^{-7}$  cm / s, 渗透性较差, 经压实后能够达到更低的渗透系数。场内基本无绿化, 植被稀少。

### 3.2 材料与方法

#### 3.2.1 试验装置

试验垃圾柱采用 PVC 管制作, 内径 400 mm, 高为 2 000 mm, 覆盖层表面积为  $0.1256 \text{ m}^2$ 。为保证水分均匀入渗到垃圾体内, 在试验垃圾柱的顶盖设置均匀布水器。试验采用在封盖下部安装螺旋型穿孔管布水器模拟填埋场区入渗量, 布水器与一个 5 L 的下口玻璃瓶连接, 以自来水模拟雨水, 组成灌水系统, 见图 1。

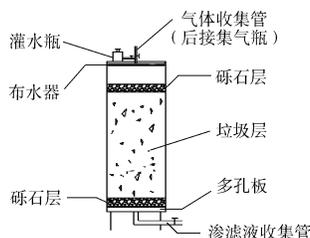


图 1 试验装置结构

#### 3.2.2 试验运行

柱内填装垃圾取自长安填埋场的新鲜垃圾, 其中厨余及园林树叶、果皮、竹木和纸类等易降解物占垃圾总量的 49.75%, 织物、塑料、玻璃、金属和渣土无机物等难降解物占 50.25%, 搅拌均匀后装柱进行厌氧填埋。1#模拟柱填装质量为 131.8 kg, 密度为  $662.06 \text{ kg/m}^3$ , 含水率为 53%, 每天灌水 300 mL; 2#模拟柱, 填装质量为 130.6 kg, 密度为  $655.62 \text{ kg/m}^3$ , 含水率为 53%, 每天的灌水量为模型计算所得的日入渗量, 装置底部和垃圾顶部均覆以 8 cm 的小石子。

长安垃圾填埋场多年平均降雨量为 947 mm, 1#模拟柱忽略地表径流和初损对覆盖层渗透到垃圾层的雨量的影响, 根据长安填埋场多年平均降雨量, 计算灌清水的频率为每天 300 mL ( $\approx 947 \times 0.1256 \times 1000 / 366$ ); 2#模拟柱根据 SCS 模型计算所得的日入渗量灌清水。

#### 3.2.3 注水量的确定

从地貌特征上看, 长安垃圾填埋场的水文土壤类型为低渗透性土壤, 模型参数可选为 D 类。由于地面植被覆盖较差, 由表 1 可知, 对应于中等湿

润条件下的值为 88。根据成都市龙泉驿区气象局 2004 年的降雨量统计, 年降雨量为 773.5 mm, 根据日降雨量资料可计算出相应的入渗量。对于不产生径流的情况, 假定该日降雨量全部渗入填埋场内, 则应用 SCS 模型计算得年总入渗量为 520.1 mm。对于该试验的年总注水量为 65.325 mL ( $\approx 520.1 \times 0.1256 \times 1000$ ), 日均注水量为 178.5 mL。

## 4 试验结果及分析

### 4.1 渗滤液水量

渗滤液产生量变化曲线及 2#柱日灌水量见图 2。

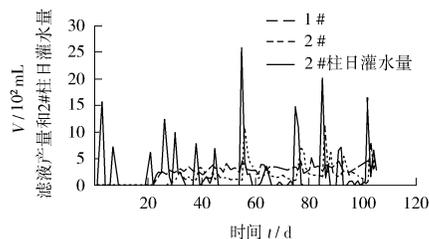


图 2 渗滤液产生量变化曲线及 2#柱日灌水量

由图 2 可见, 1#模拟柱灌水 21 d 后开始产渗滤液, 产液前共注水 6.30 L, 日渗滤液产量总体变化不大, 主要集中在 200 mL ~ 400 mL; 2#模拟柱灌水 27 d 后开始产渗滤液, 产液前共注水 6.56 L, 日渗滤液产量主要受灌水量影响, 波动较大。试验运行 105 d 后, 1#模拟柱渗滤液总产量为 25.49 L, 2#模拟柱渗滤液总产量为 18.65 L; 此时 1#模拟柱共注水 31.20 L, 2#模拟柱共注水 24.45 L。

### 4.2 渗滤液水质

#### 4.2.1 渗滤液 pH 值变化

1#模拟柱渗滤液的 pH 值在 5.9 ~ 7.9 之间, 前 9 周偏酸性, 第 10 周开始向上波动, 呈弱碱性; 2#模拟柱渗滤液 pH 值在 5.7 ~ 6.2 之间, 相对稳定。可见 1#模拟柱内渗滤液经历了一个从酸性环境向中性偏微碱环境转变的过程, 即在最初的 63 d 中, 所填埋的垃圾经过短暂的水解过渡期, 很快进入活跃的产酸阶段, 有机物被持续水解并被产酸菌转化为小分子有机酸, 并在垃圾及渗滤液中积累, 导致 pH 值的逐渐下降, 使渗滤液呈酸性。试验进行到第 12 周, 1#模拟柱已经进入了产酸阶段向产

甲烷阶段的过渡期,而 2# 模拟柱垃圾的降解仍处于产酸阶段。

#### 4.2.2 渗滤液 COD 质量浓度变化

渗滤液 COD 质量浓度变化趋势见图 3。

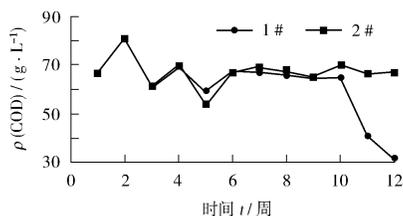


图 3 渗滤液 COD 质量浓度变化趋势

由图 3 可见,两模拟柱渗滤液 COD 质量浓度均在第 2 周达到最大值,之后呈现下降趋势,前 10 周两柱 COD 质量浓度相差不大,之后 1# 模拟柱 COD 质量浓度大幅度下降,2# 柱仍在其 60 g/L 左右。

#### 4.2.3 渗滤液氨氮质量浓度变化

两模拟柱渗滤液氨氮质量浓度的变化趋势基本相同,前 9 周逐渐上升至最高值,然后开始下降。2# 柱渗滤液氨氮质量浓度在前 9 周小于 1# 模拟柱,第 10 周开始 2# 柱渗滤液氨氮质量浓度稳定性在 2.1 g/L 左右,高于 1# 柱。

#### 4.3 分析与讨论

1# 模拟柱渗滤液日产量总体比较稳定,2# 模拟柱渗滤液日产量波动较大,主要受日灌水量的影响。1# 柱在灌水 6.30 L 时开始产液,而 2# 柱在灌水 6.56 L 才开始产液,这表明高灌水频率更有利于改善填埋垃圾的含水率。试验期间 1# 模拟柱总注水量比 2# 柱多 6.75 L,渗滤液总产量比 2# 柱多 6.84 L,显然由于两柱填装垃圾成分相同、质量相近,垃圾持水能力也相近。

在厌氧填埋场运行期间, pH 值在产酸期为 4.7~7.7,产甲烷期为 6.3~8.8, COD 质量浓度在产酸期为 1.50 g/L~71.00 g/L,产甲烷期为 0.58 g/L~9.76 g/L<sup>[9]</sup>。渗滤液水质表明,1# 模拟柱内垃圾降解应处于从产酸期向产甲烷期过渡阶段,2# 柱内垃圾降解应仍处于产酸期,2# 柱内垃圾柱比 1# 柱慢。

#### 5 结论

(1) 填埋场渗滤液的产量主要取决于降雨入渗量,同时降雨入渗对填埋垃圾降解速率也影响较

大。因此,雨量大、雨强小和降雨历时长的地区,易产生大量的渗滤液,也易于填埋场的垃圾降解和稳定化。

(2) 根据 SCS 模型对填埋场内降雨径流和初损量的计算,估算出填埋场室内模拟试验的日灌水量,使模拟试验更接近实际条件,更准确地模拟实际填埋场渗滤液水量和水质变化。尤其是对于雨量大、雨强大和降雨历时短的填埋场区,更容易产生径流,初损也很大,此时场区内的入渗量远小于降雨量。

(3) SCS 模型所需资料简单易取,它不仅能反映不同土壤和地表覆盖条件下的产流情况,而且充分考虑了土壤前期湿度对降雨产流的影响。通过对初损和参数的合理调整,在缺乏降雨资料的小流域径流量计算中不失为一种较为适用的方法模型。SCS 所提出的前期土壤湿度等级划分及土地利用与管理方式,可通过填埋场实际径流量的几组观测值对初损和参数进行修正,取得更可靠的结果<sup>[6-10]</sup>。

#### [参考文献]

- [1] 方满,朱俊林,刘洪海,等. 垃圾填埋场底土层污染状况调查[J]. 环境监测管理与技术, 2000, 12(1): 23-25.
- [2] 符素华,刘宝元,吴敬东,等. 北京地区坡面径流计算模型比较研究[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 604-608.
- [3] HAM R K, BOOKTER T J. Decomposition of solid waste in test lysimeters[J]. Journal of the Environmental Engineering Division, 1982, 108(E6): 1147-1170.
- [4] BOSZNYAI M. Generalization of SCS curve number method[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1989, 115(1): 139-144.
- [5] 王兴鹏,马轶,张维江,等. SCS 模型在黄土丘陵因子径流场中的应用[J]. 宁夏工程技术, 2005, 4(2): 157-159.
- [6] 张美华,王晓燕,秦福来. SCS 模型在密云石匣试验小区降雨径流量估算中的应用[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2004(S1): 156-159.
- [7] 钱学德,郭志平,施建勇,等. 现代卫生填埋场的设计与施工[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2001: 94-96.
- [8] NEITSCH S L, ARNOLD J G, KING R Y JR, et al. Soil and water assessment tool theoretical documentation (Version 2000)[M]. College Station: Texas Water Resources Institute, 2000: 94-99.
- [9] RENHART D R, TOWNSEND T G. Landfill bioreactor design and operation[M]. Florida: CRC Press, 1997: 117-118.
- [10] 张秀英,孟飞,丁宁. SCS 模型在干旱半干旱区小流域径流估算中的应用[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 172-174.

本栏目责任编辑 李文峻