

研究报告

# 垃圾填埋场气体产生及其模型研究

黄文雄<sup>1</sup>, 彭绪亚<sup>2</sup>, 阎利<sup>3</sup>

(1. 建设部环境卫生工程技术研究中心, 北京 100029; 2. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 3. 安阳工学院建筑工程系, 河南安阳 455000)

**[摘要]** 对填埋气的回收利用, 既能减排温室气体, 又能回收能源。分析了填埋气产生的原理和过程, 对目前出现的填埋场产气模型进行了分类, 并系统地分析了各种产气模型的计算方法、优缺点以及适用条件, 为填埋气体大规模利用提供可靠的方法。

**[关键词]** 填埋气; 模型; 产气速率; 产气量; 甲烷

**[中图分类号]** X705 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)09-0074-06

## 1 引言

卫生填埋是城市生活垃圾最终处置的环节, 将在长时间内成为我国城市生活垃圾处理的主要方式和最终手段。作为填埋的副产物, 填埋气是一种温室气体, 它对于全球温室效应所做的贡献为3%, 其主要成分CH<sub>4</sub>的温室效应是CO<sub>2</sub>的21倍<sup>[1]</sup>。同时, 填埋气是一种可再生能源, 其高位热值为15 630~19 537 KJ/m<sup>3</sup>, 具有较高的利用价值。因此, 对填埋气的回收利用, 不仅能消除污染, 减少温室气体的排放, 还能回收能源, 做到资源循环使用。但是, 要利用填埋气, 分析其利用规模及经济效益, 首先须确定填埋气产量和产气速率, 尤其是产气速率参数。

填埋场产气一般持续几十年, 如何确定这期间的产气行为? 行之有效的方法是建立填埋气的产气模型。国外对填埋气的产气模型的研究始于上世纪

70年代, 并已经开发出不少的产气模型。我国在填埋场产气模型方面研究尚处于起步阶段, 缺乏准确的预测方法和评价数据。虽然我国的垃圾特性和填埋场条件与国外的情况差异较大, 一些模型不能直接利用, 但是这些模型对国内的填埋气利用有较好的借鉴和指导意义。我国已经有学者作了一些研究工作<sup>[2,3]</sup>, 但尚未见有关于填埋气产生及产气模型的系统研究报道。

## 2 填埋气的产生

### 2.1 填埋气产生原理和过程

填埋气是填埋场内的有机物质通过微生物降解、挥发和化学反应而产生的一种混合气体, 由CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>和多种痕量气体组成, 主要成分是CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>。

填埋气产生持续时间很长, 大致可以分为5个阶段<sup>[4]</sup>。每一阶段的主要特征见表1。

表1 填埋气体的产生过程<sup>[5]</sup>

Table 1 Production process of landfill gas

阶段	主要特征	结束标志	持续时间
I. 初期调整阶段	气体中主要为CO <sub>2</sub> , 温度急剧升高	填埋气体中不含O <sub>2</sub>	几小时~1周
II. 过渡阶段	ORP降低, 有H <sub>2</sub> 产生	气体中不含有N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> 浓度开始降低	1~6个月
III. 酸化阶段	气体主要成分是CO <sub>2</sub> , pH值达到最低	游离脂肪酸的形成达到峰值, 开始产生CH <sub>4</sub>	3个月~3年
IV. 甲烷发酵阶段	CH <sub>4</sub> 含量为50%左右, pH值升高	气体中CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> 开始减少且产生N <sub>2</sub>	8~40年
V. 成熟阶段	CH <sub>4</sub> 和CO <sub>2</sub> 浓度急剧下降, 重新出现N <sub>2</sub>	气体中以N <sub>2</sub> 为主且厌氧分反应结束	1~40年或更长

**[收稿日期]** 2005-07-11; **修回日期** 2006-02-13

**[作者简介]** 黄文雄(1975-), 男, 湖北黄梅县人, 硕士, 建设部环境卫生工程技术研究中心工程师, 主要研究领域: 固废处理与资源化; 彭绪亚(1963-), 男, 重庆市人, 重庆大学教授, 主要研究领域: 固废处理与资源化

### 2.2 填埋气产生的影响因素

垃圾填埋场气体产生受到很多条件影响，如图 1 所示。这方面国内外都已作了大量的研究。

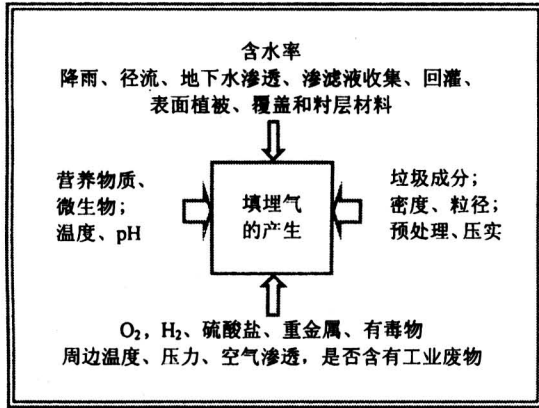


图 1 填埋气产生影响因素

Fig.1 Factors affected production of landfill gas

## 3 产气模型

填埋场产气模型有两种不同的分类方法。根据研究对象分类，可分为产气速率模型和产气量模型。

根据对系统的认识程度，可分为经验模型、化学计量模型、动力学模型和生态模型<sup>[6]</sup>。

### 3.1 经验模型

IPCC 模型是由政府间气候变化委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change) 提出的经验统计模型<sup>[7]</sup>，其计算公式为

$$E = MSW \times \eta \times DOC \times r \times 16/12 \times 0.5 \quad (1)$$

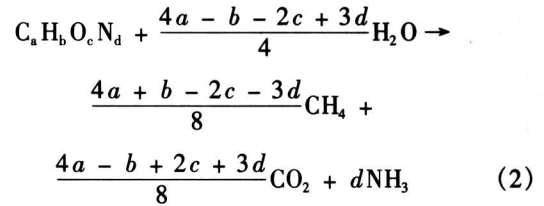
式中， $E$  为填埋气中甲烷产量 (t)； $MSW$  为城市生活垃圾总量 (t)； $\eta$  为填埋垃圾占生活垃圾总量的百分比 (%)； $DOC$  为垃圾中可降解有机碳的含量 (%)，IPCC 推荐发展中国家取值为 15%，发达国家为 22%； $r$  为垃圾中可降解有机碳的分解百分率，IPCC 推荐值为 77%；比值 16/12 为甲烷和碳的转化系数。

IPCC 模型计算产气量快捷方便，只要知道某城市的生活垃圾总量及填埋率就能估算出填埋气的产量。但是由于模型中使用的参数值均为统计均值，计算过于粗略，适合于估算较大范围的产气量，如一个国家、一个城市等。

### 3.2 化学计量模型

3.2.1 化学方程式模型 填埋气可以根据经验的化学方程式来估算，假定所有的有机物都能生物降

解，最终转化为填埋气。将可生物降解的有机物的经验分子式可以表示为  $C_aH_bO_cN_d$ ，其发酵过程可用下式表示<sup>[6]</sup>：



式 (2) 表明 1 mol 有机碳可生物转变为 1 mol 填埋气，即在标准状态下，1 mol 有机碳可产 22.4 L 填埋气。如果能够知道各种有机物的经验分子式，就可以按式 (2) 分别求出  $CH_4$  和  $CO_2$  的产量。如果城市垃圾的典型化学分子式为  $C_{99}H_{149}O_{59}N$ ，在含水率为 50 % 时，含碳量占垃圾湿重的 26%，1 kg 湿垃圾具有的产  $CH_4$  潜力约为 259 L (常温常压下)。

3.2.2 COD 估算模型 理论产气量可以按 COD 进行计算。根据理论推导可得：1 g  $COD_{有机物} = 0.35 L CH_4$  则有：

$$Y_{CH_4} = 0.35 \times (1 - \omega) \times P \times COD \quad (3)$$

式中， $Y_{CH_4}$  为 1 kg 填埋垃圾的理论产  $CH_4$  量 ( $m^3/kg$ )； $\omega$  为填埋垃圾的含水率 (%)； $P$  为 1 kg 填埋垃圾的有机物含量； $COD$  为填埋垃圾中 1 kg 有机物的 COD 值 ( $kg/kg$ )。

3.2.3 可生物降解成分模型 化学方程式模型和 COD 模型是假设垃圾中的有机碳均可降解，其计算结果是甲烷产量的理想值。实际上，垃圾中有机物分为可生物降解的和不可生物降解的两类，而且在许多情况下填埋场并非严格的厌氧条件，所以上述两个模型的计算结果将远高于实际值。因此，确定垃圾中的能生物降解有机物的量是计算关键，其填埋气的产量可以用下式进行计算<sup>[6]</sup>：

$$Y_{LFG} = 1.867 C_i (f_b)_i (1 - \omega_i) p_i \quad (4)$$

式中， $Y_{LFG}$  填埋气产量 ( $L/kg$ ，湿垃圾)； $C_i$  为垃圾中第  $i$  种成分在干态下其有机碳的含量 ( $kg, C/kg$ ，干垃圾  $i$ )； $(f_b)_i$  为  $C_i$  中可生物降解的成分 ( $kg/kg$ )； $\omega_i$  为第  $i$  种成分的含水率 (%)； $p_i$  为第  $i$  种成分的湿重 ( $kg/kg$ ，干垃圾)。

由于可生物降解碳的含量不易确定，工程上通常采用挥发性固体含量中可生物降解率来计算填埋气的产生量。垃圾各组分可生成的甲烷气产量  $L$  按下式计算：

$$L = kk'W_i \sum P_i(1 - \omega) V_i E_i \quad (5)$$

式中,  $L$  为可产生的甲烷总体积;  $W_i$  为垃圾的总湿重;  $P_i$  为第  $i$  种成分占的百分比 (%);  $w_i$  为第  $i$  种成分的含水率 (%);  $V_i$  为第  $i$  种成分中挥发性固体的含量;  $E_i$  为第  $i$  种成分中挥发性固体中的可生物降解部分的含量;  $k = 351 \text{ L CH}_4 \text{ (kg, COD)}$ ;  $k' = 1.5 \text{ kgCOD/kg VS}$  (VS 为挥发性固体)。垃圾总的产气量是各不同成分产气量之和。

以上模型均属产气量模型, 其主要作用是根据垃圾成分和垃圾量计算理论产甲烷潜能, 对于估算填埋场的可能产气量和评价甲烷对气候变化的贡献有重要意义。但是在回收利用时, 不能直接作为填埋场甲烷利用的计算依据, 只有填埋气产气速率才能用来确定回收利用的可行性和规模。同时产生速率也是填埋场中有机物降解速率的重要指标, 为预测填埋场的稳定化进程提供依据。从这个意义上

讲, 产气速率模型显得更为重要, 而动力学模型就是研究填埋气产量的时间变化关系的。

### 3.3 动力学模型

3.3.1 零级和一级模型 一般, 填埋气产生速率可用图 2 中公式表示:

$$\frac{dC}{dt} = f(t, C^n) \quad (6)$$

式中,  $t$  为时间;  $C$  为甲烷产量或可生物降解的有机物的量; 指数  $n$  称为动力学级数。当  $n = 0$  时, 为零级反应; 当  $n = 1$  时, 为一级反应。

零级模型表明甲烷产生速率与垃圾量、已产生的甲烷量无关。Ham 等认为<sup>[8]</sup>, 一些填埋场产气服从零级动力学规律, 尤其是在产气活跃的阶段。Cossu 则认为<sup>[6]</sup>, 零级动力学是由于填埋场没有形成有利于甲烷产生的条件, 如含水率低、营养物短缺, 导致了相对恒定的气体产生速率, 如图 2 (a) 所示。

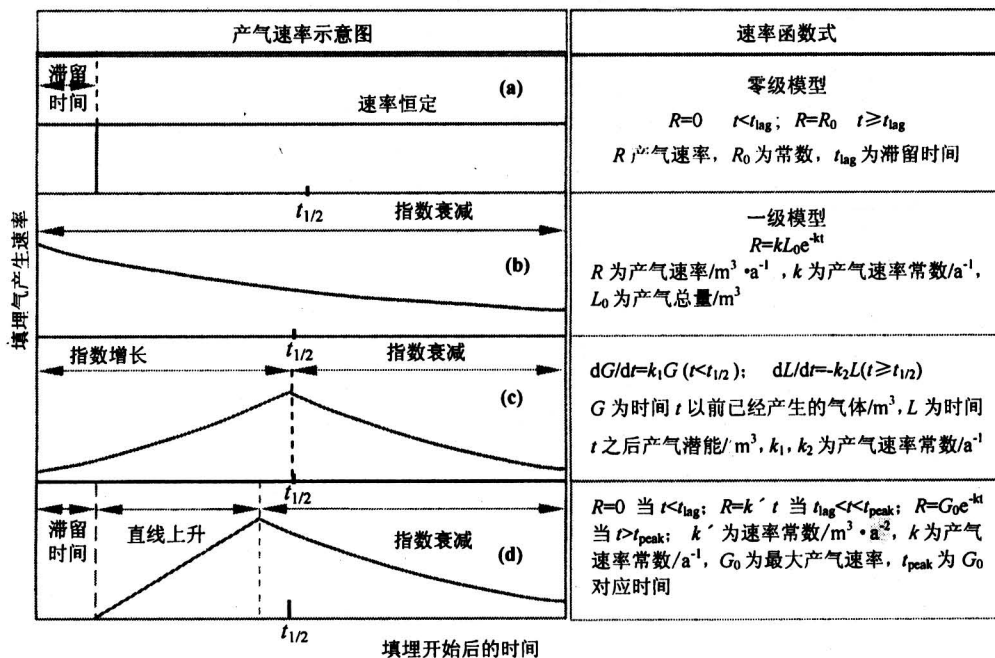


图 2 零级和一级动力学模型产气速率

Fig.2 Gas production rates of zero-order and first-order kinetic models

大部分产气速率模型服从一级反应动力学规律, 即产期速率的限制因素是剩余底物的量或待产生的填埋气量, 是影响产气速度的主要因素。从长期的产气行为来看, 产气速率逐渐下降这一事实也证实了这点。下面介绍几个早期的代表性的一级动力学产气模型。

Scholl Canyon 模型假设经历一段可以忽略的时

间后<sup>[9]</sup>, 填埋气的产生速率迅速地达到它的最大值, 随后产气速率随可降解的有机物的减少而降低, 如图 2 (b) 所示。模型把填埋场中的垃圾按年划分, 总的产气速率是每年填入垃圾的产气速率之和。Scholl Canyon 模型的优点是模型简单, 需要的参数较少。

Palos Verdes 模型<sup>[9]</sup>, 认为甲烷产生经历两个

阶段，在第一阶段中，甲烷产生速度正比于已经产生的甲烷的体积，第二阶段中，余下的产甲烷潜能减少速度正比于剩余的产气潜能。并且假设最大的产气速率和半衰期  $t_{1/2}$  ( $t_{1/2}$ 指填埋场中一半的产甲烷潜能转化为甲烷的时间) 都发生在两个阶段的连接点处，其产气速率如图 2 (c) 示。模型将可降解的有机垃圾分为三类：快速降解的（食品等）、中等程度降解的（纸张、木材、织物等）和难降解的（橡胶、塑料等），总的产气速率是三者之和。

MGM EMCON 模型形象地描述了填埋气的产生过程<sup>[6]</sup>，有典型的滞留期、增长期和下降期，如图 2 (d) 所示。该模型需要确定滞留时间、最大速率时间和转化时间（可降解的物质转化为沼气所需的时间）等参数，可降解有机物的理论产甲烷量可以用式 (5) 计算。填埋场总的产气速率是每层产气速率之和。

以上模型结构比较简单，使用起来较为方便。但是也存在很多不足，如 Scholl Canyon 模型忽略了垃圾降解自开始产气到产气速率达到最大这段时间；Palos Verdes 模型假设最大的产气速率发生在半衰期处，而实际上最大的产气速率往往在半衰期之前就已经到达；MGM EMCON 则依赖经验选择  $t_{lag}$ ,  $t_{peak}$  等参数。

3.3.2 其他一级动力学模型 Findikakis 等对加州的 Mountain view 填埋场的产气情况进行了研究<sup>[10]</sup>，得到较为简单的函数关系式：

$$R_k(t) = \begin{cases} 0, & \text{当}(t \leq t_{0k}) \\ \text{coth}\alpha_k(t_{2k-t}) - \text{coth}\alpha_k(t_{2k} - t_{0k}), & \text{当}(t_{0k} < t \leq t_{1k}) \\ R_{pk} \exp[-\lambda_k(t - t_{1k})], & \text{当}(t > t_{1k}) \end{cases} \quad (7)$$

式中， $R_k$  为产气速率； $t_{0k}$  为开始产气的时间； $t_{1k}$  为产气速率到达最大的时间； $t_{2k}$  为双曲线分支无限延伸并超出其最大点，到达其渐进线的时间； $R_{pk}$  为最大产气速率；下标  $k$  为垃圾中的第  $k$  种成分； $\lambda_k$  是产气速率常数。

N. Gardner 提出下述公式<sup>[11]</sup>，

$$R = C_d X \sum_{i=1}^n F_i k_i \exp[-k_i(t - t_a)] \quad (8)$$

式中， $R$  为单位质量垃圾在  $t$  年内产  $\text{CH}_4$  量 ( $\text{kg}/\text{kg}$ )； $C_d$  为垃圾中可降解有机碳的比率 ( $\text{kg}/\text{kg}$ )； $X$  为填埋场产气中  $\text{CH}_4$  的分额； $n$  为可降解

组分的总数； $F_i$  为各降解组分中有机碳占总有机碳分数； $k_i$  为各降解组分的降解系数 ( $1/a$ )； $t$  为填埋时间 ( $a$ )。由于考虑了总有机碳中各组分可降解有机碳的含量，该模型提高了计算的准确度。

Marticorena 提出的一级动力学模型<sup>[12]</sup>，应用的前提是认为填埋场中的垃圾是按年份分层填埋的。其表达式为：

$$R = \sum_{i=1}^n T_i r_i = \sum_{i=1}^n T_i \left[ \frac{MP_0}{d} \exp\left(-\frac{t}{d}\right) \right]_i \quad (9)$$

式中， $R$  为填埋场的产气速率 ( $\text{m}^3/a$ )； $r_i$  为第  $i$  年单位重量垃圾产气速率 ( $\text{m}^3/t \cdot a$ )； $T_i$  为第  $i$  年填埋的垃圾吨数 ( $t$ )； $MP_0$  为新鲜垃圾产  $\text{CH}_4$  的潜能 ( $\text{m}^3/t$ )； $t$  为时间 ( $a$ )； $d$  为垃圾可持续产  $\text{CH}_4$  时间 ( $a$ )。该模型中增加了描述垃圾产气周期的参数  $d$ ，因为  $d$  值可以利用现场取样测定较为精确地计算，所以其估算结果比较具有针对性和相对接近真值。

### 3.4 生态模型

前面讨论的产气模型均是由有机物直接转化为  $\text{CH}_4$ ，忽略了所经历的中间过程，一些学者根据垃圾厌氧降解经历的不同阶段，结合微生物生长情况，提出了较为精确的模型。

El-Fadel 等认为由  $\text{H}_2$  还原  $\text{CO}_2$  生成的  $\text{CH}_4$  可以忽略不计<sup>[13]</sup>，将可降解的垃圾分为碳水化合物、脂肪和蛋白质等三类，并且认为经水解后三类液态碳有相同的降解速率，按照垃圾厌氧降解的四个阶段，将有机碳的存在形式以碳链表示，其存在形式有 7 种，如图 3 所示。按照每一阶段反应，根据 Monod 模式和质量守恒关系，得出  $\text{CH}_4$  的产气速率为：

$$\frac{d\text{CH}_4}{dt} = Y_{\text{CH}_4} \left( \frac{1 - Y_M}{Y_M} \mu_M \frac{C_{\text{AC}}}{K_{\text{SM}} + C_{\text{AC}}} + d_{\text{AM}} \right) C_{\text{XM}} \quad (10)$$

式中， $d\text{CH}_4/dt$  为  $\text{CH}_4$  的净产生速率 ( $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot d$ )； $Y_M$  为利用单位质量的乙酸所形成的产甲烷菌碳的质量 ( $\text{kg}/\text{kg}$ )； $\mu_M$  为产甲烷菌的最大比增长速率 ( $1/a$ )； $K_{\text{SM}}$  为产甲烷菌的半速率常数 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^3$ )； $k_{\text{AM}}$  为产甲烷菌的衰减速率常数 ( $1/a$ )； $C_{\text{AC}}$  为乙酸含碳浓度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )； $C_{\text{XM}}$  为甲烷菌含碳浓度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )； $Y_{\text{CH}_4}$  为甲烷菌的产率系数 ( $\text{kg}/\text{kg}$ )。

此后不少学者对此模型做了进一步修改与完善。S. Pareck 等认为不能忽略硫酸盐还原菌

(SRB) 与产甲烷菌的竞争<sup>[14]</sup>, 同样按照 Monod 方程得出每一步的反应式, 得到较上面模型更为复杂的模型。J. J. Lee 等将  $H_2$  还原  $CO_2$  反应生成的  $CH_4$  也算在内<sup>[15]</sup>, 因此所得的模型表达式也更复杂些。

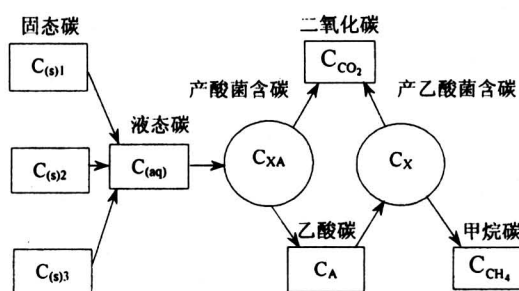


Fig.3 Gas produces process of organic matters in landfills

El-Fadel 本人也对上述的模型进行了改进<sup>[16]</sup>, 他考虑了填埋场中温度作用于产甲烷效应, 将热量产生与气体生成模型结合起来, 模拟出填埋场中的气体和热量在时间和空间上的分布。由于这一模型考虑了热量对于产甲烷的效应, 因此更好地模拟出了填埋场的过程, 但是却更为复杂。

#### 4 模型讨论

由上述讨论可见, 国外已经开发出了多种填埋气的产气模型。在这些模型中, 化学计量模型主要用来预测填埋气的理论产气量, 动力学模型和生态模型则主要用来预测填埋气的产气速率, 而这种预测更有现实意义。零级和一级模型结构简单, 参数较少, 应用方便, 更多地应用在工程实际中。而生态模型则结构相对复杂, 中间参数较多, 工程应用中难以确定, 当前这些中间参数主要从受控的厌氧消化器中获得, 由于垃圾填埋场中发生十分庞杂的物理、化学、及生物变化, 这些数据不一定完全适用于垃圾填埋场。但是, 它为定性分析填埋场生态系统提供依据, 使得人们在填埋气项目的运行和管理中自觉地运用成为可能。

这些模型虽然能够较好地模拟一些填埋场的短期产气行为, 但是由于实际填埋场长期产气数据不可获得性, 几乎所有的模型都没有据此进行校正, 因此, 从这个意义上讲, 迫切地需要填埋场长期的产气数据。几乎所有的模型都假设填埋场中可降解的有机碳, 甚至是全部有机碳, 都转化为填埋气,

但实际上, 这些有机碳除了转化为填埋气, 还有一部分随着渗滤液排走, 以及用于填埋场中微生物的生长。A. K. Katsiri 的研究发现大约有相当于垃圾湿重的 12% 以渗滤液 COD 的形式排出<sup>[17]</sup>, 如果换算成碳形式, 则有占湿重 4.5% 的有机碳随渗滤液排走。同时, 考虑到收集系统的效率、甲烷被氧化(硫酸盐还原菌和氧气)等因素, 因此, 在计算产气量和产气速率时, 建议采用校正因子对模型结果进行修正, 校正因子取值根据采用的模型不同而不同。

由于垃圾在填埋场中的产气过程是一致的, 因此国外开发的控制填埋气产生模型本身是可以为我国所用的, 关键是模型中的参数取值。但是, 我国垃圾特点和填埋场特点与国外的存在较大差异, 表现在: 1. 垃圾中有机物含量低, 但食品垃圾的含量高; 2. 垃圾含水率较大, 我国垃圾含水率一般在 40% ~ 60%, 而国外在 20% ~ 40% 左右; 3. 垃圾中的碳氮比较低。国外垃圾 C/N 典型值为 49:1, 我国垃圾 C/N 约为 20:1, 实践证明 20:1 ~ 30:1 的 C/N 为细菌厌氧发酵的最佳 C/N 比。如前所述, 除了填埋场中的有机物含量, 填埋气的产生还受到很多因素影响, 具体反应到产气模型中, 就是模型参数的取值(如一级动力学模型中的速率常数  $k$  值)与这些条件相关。因此, 有必要结合我国垃圾特性和填埋场的特点, 研究我国垃圾的产气模型, 更重要的是, 确定在我国垃圾和填埋场特点的情况下, 产气模型的参数取值范围。

#### 参考文献

- [1] Gardner N, Probert S D. Gas emissions from landfills and their contributions to global warming[J]. Applied Energy, 1993, (44): 165 ~ 174
- [2] 徐新华. 垃圾中甲烷产率计算及全国垃圾甲烷气资源估算[J]. 自然资源学报, 1997, 12 (1): 89 ~ 93
- [3] 王伟, 韩飞, 袁光钰, 等: 垃圾填埋场气体产量的预测[J]. 中国沼气, 2001, 19(2): 20 ~ 24
- [4] Gorge tehobanogous, Hilary Theisen, Samuel Vigil, integrated solid waste management engineering: principles and management issues[M]. McGraw-Hill 1993
- [5] Augenstein D. Modeling landfill methane generation[A]. Proceedings Sardinia 91, Third International landfill Symposium[C]. Cagliari, Italy, 1991, 115 ~ 148
- [6] Cossu T H, Stegmann R. Landfill of waste: biogas[M]. London: E&FN spon, 1996



- [7] IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [M]. printed in France, 1995
- [8] Ham P K, Barlaz M A. Measurement and prediction of landfill gas quality and quantity, in Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact [C]. Academic Press, London, 1989, 155 ~ 166
- [9] EMCON (1980), Methane generation and recovery from landfills [M]. EMCON Associates, Ann Arbor Science Publishers. Michigan, 1982, 25 ~ 58
- [10] Findikakis A N, El-fadel, J. Leckie. Modeling gas production in managed sanitary landfills [J]. Waste management & research, 1988, (6): 115 ~ 123
- [11] Gardner N, Probert S D. Forecasting landfill-gas yields [J]. Applied Energy, 1993, (44): 131 ~ 163
- [12] Marticorena B, Attal A, Camacho P. Prediction rules for biogas valorization in municipal solid waste landfill [J]. Wat Sci Tech 1993, 27(2): 235 ~ 241
- [13] El-fadel, Findikakis A N, Leckie J O. A numerical model for methane production in managed sanitary landfills [J]. Waste Management & Research, 1989, (7): 31 ~ 42
- [14] Lee J J, Jung, I H; Lee W B. Computer and experimental simulations of production of methane gas from municipal solid waste [J]. Wat Sci Tech 1993, 27(2): 225 ~ 234
- [15] Sandeep Pareek. Mathematical modeling and simulation of methane gas production in simulated landfill column reactors under sulfidogenic and methanogenesis environment [J]. Wat Sci Tech 1999, 39(7): 235 ~ 242
- [16] El-Fadel, Findikakis A. N, Leckie J. Numerical modeling of generation and transport of gas and heat in landfills I: model formulation [J]. Waste Management & Research, 1996, (14): 483 ~ 504
- [17] Katsiri A. K, Bosdogianni A., Christoulas D. Prediction of leachate quality from sanitary landfills [J]. Journal of Environmental Engineering, ASCE 1999, 125(10): 950 ~ 958

## Study on Landfill Biogas Generation Model

Huang Wenxiong<sup>1</sup>, Peng Xuya<sup>2</sup>, Yan Li<sup>3</sup>

- (1. China Environmental Sanitation Engineering and Technology Research Center, Beijing 100029, China;  
2. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 3. Department of Civil Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang, Henan 455000, China)

[Abstract] Recovery and utilization of landfill biogas can not only reduce greenhouse effect but recover energy. This article presents the principle and process of landfill biogas generation, and classifies reported models on biogas generation from landfills. Systematic summary and analysis of methodologies, advantages, disadvantages and application conditions, which will provide credible methods for biogas recovery, are put forward also.

[Key words] landfill gas; model; generation rate; gas production; methane