

2009年5月

# 中国填埋气估算模型 用户手册

## 版本 1.1



美国环境保护局 (USEPA)  
填埋场甲烷推广计划 (LMOP)  
高睿智

编写

美国北卡罗来纳州  
东方研究集团 (Eastern Research Group, Inc.)  
Clint Burklin, 专业工程师

及

中国香港特别行政区  
浩宏环保 (香港) 有限公司  
包乐莱

美国环境保护局  
合同号 EP-W-06-022  
工作序列号 28

## 声 明

本用户手册是受美国环境保护局(USEPA)属下之填埋场甲烷推广计划(LMOP)委托特别为中国而编写。手册中所介绍的方法以工程的专业判断作为基础，并代表一些拥有专业填埋场气体估算知识及经验的人士的标准做法。美国环境保护局及其承办商东方研究集团和浩宏环保均不担保可以获得通过模型算出的填埋气量、亦未表达或暗示任何其它保证。我们也无意将本手册及其内容或其中所含的信息作为益处提供给任何第三方。如有第三方利用本报告，必须自行承担风险。美国环境保护局及其承办商东方研究集团和浩宏环保均不会对由第三方获取、编制或提供的资料的准确性负责。

## 摘 要

本用户手册介绍了一个计算机模型，该模型用于预测中国已有或拟建的城市生活垃圾填埋场内填埋气体产生量和回收量，版本号为1.1（中国填埋气估算模型版本1.1；以下简称“中国填埋气模型”）。此模型是由美国环境保护局填埋场甲烷推广计划承办商东方研究集团和浩宏环保共同开发的。中国填埋气模型可以用来预测填埋场填埋气的产生率，并为已安装或即将安装气体收集和控制系统的填埋场预测潜在填埋气回收率。

中国填埋气模型是以一阶衰减方程式作为基础的Excel<sup>®</sup>工作表。模型要求用户输入填埋场相关数据，包括填埋场开始营运和封场年份、垃圾年填埋量、填埋场地理位置（所处气候区域）、垃圾中大概的煤灰含量、填埋场火灾历史及其它一些决定收集效率的填埋场特征。模型会在用户提供的具体数据基础上，为输入参数选取推荐值，包括 $k$ 、 $L_0$ 、收集效率和火灾折扣因子等，并预测填埋气产生和回收率。若用户持有可靠数据，亦可自行输入这些参数的数值。输入参数的推荐值是基于气候、垃圾特征、中国垃圾填埋方式以及这些条件对填埋气产生量的影响等而得出的。我们评估了中国四个填埋场的实际填埋气回收率，但因未能得到充分的实际回收量的数据，难以校准模型结果，同时亦希望在收集更多的数据后推出改良版本。当填埋场相关数据不详或不充分时，我们建议了一些默认值以供使用。

此中国填埋气模型的目标是提供一个通用的工具，为填埋气产生和回收潜力作估算。本模型开发过程中参考了其它模型，包括美国环保局中美洲填埋气模型版本1（由SCS公司在2007年开发）及政府间气候变化工作小组（IPCC）2006年的模型。中国填埋气模型采用了上述两种模型的某些合适部分，以反映中国垃圾处理的实际情况。

# 目 录

段落	页
声明	i
摘要	i
图列	v
表列	v
术语表	vi
<b>1.0 引言</b>	<b>1-1</b>
1.1 填埋气产生量	1-3
1.1.1 甲烷产生率(k)	1-4
1.1.2 最终甲烷产生潜力(L <sub>0</sub> )	1-5
1.1.3 填埋场火灾	1-7
1.2 填埋气体回收	1-7
1.2.1 估算收集效率	1-7
1.3 模型	1-11
<b>2.0 估算填埋气产生和回收</b>	<b>2-1</b>
2.1 资料输入	2-1
2.2 模型输出 - 表格	2-7
2.3 模型输出 - 曲线图	2-9
<b>3.0 参考资料</b>	<b>3-1</b>

## 图 列

图1 – 模型输入截图

图2 – 中国气候区域图

图3 – 模型输入截图(续)

图4 – 输出表格示例

图5 – 输出曲线图示例

## 表 列

表1 – 甲烷产生率 (k)

表2 – 最终甲烷产生潜力(L<sub>0</sub>)

表3 – 填埋气收集效率

## 术 语 表

术 语	定 义
开始营运年份	指填埋场开始或预计开始接收垃圾的年份。
封场年份	填埋场停止或预计停止接收垃圾的年份。
气候区域	中国三大气候区域之一（即1 - 寒冷干燥；2 - 寒冷潮湿；3 - 炎热潮湿），由年平均气温、年平均降水量、年平均降水量与潜在蒸发量的比值决定。
煤基填埋场	煤基填埋场是指填埋场所处区域周围主要使用煤作为取暖和煮食燃料，而使用过的煤灰将堆放在该填埋场。
填埋气体	填埋气体是填埋场垃圾生物降解的产物，主要由甲烷和二氧化碳组成，亦含有其它非甲烷有机物质及空气污染物。
填埋场火灾	指已填垃圾不受控制的燃烧。填埋场火灾可能发生在地面或地下（地表以下）。填埋场火灾迹象包括冒烟（特别是垃圾体裂缝处冒烟）、比一般情况高的气体温度和一氧化碳含量、排气井被烟熏黑，冒烟的垃圾及过度沉降等。
甲烷产生率(k)	k是决定填埋气甲烷产生率的一个模型系数。一阶衰减模型假设填埋气产气高峰前后的k值相同。k受填埋场垃圾的含水量、产甲烷的微生物是否有足够的营养、pH值和温度影响。（单位为1/年）
最终甲烷产生潜力(L <sub>0</sub> )	L <sub>0</sub> 是确定填埋场产生甲烷（填埋气的主要成份）潜在能力的模型系数。L <sub>0</sub> 受垃圾中可降解的有机碳含量影响。（单位为立方米/吨）

术语	定义
收集系统面积覆盖率	已安装（或将会安装）一套在运行的完整填埋气收集系统的所覆盖面积占填埋场面积的百分率。
收集效率	指填埋气收集系统可以收集到填埋气产生量的百分率。

## 1.0 引言

中国填埋气模型是用来预测中国各地已有或拟建的城市生活垃圾填埋场填埋气体产生和回收量的一套自动化的估算工具。本手册对这模型作出介绍，并为使用该模型的用户提供详细的使用说明。

制作中国填埋气模型的主要目的是为填埋场业主、运营方和潜在开发商提供一套工具，让他们评估回收和利用产生的填埋气体，作为能源回收或其它用途的可行性和潜在减排。要达到这个目的，这套计算机模型提供了潜在填埋气回收率和可获得减排量的估算。这是通过对模型估算的填埋气产生率和回收产生填埋气的收集系统的效率（即收集效率）的运算而得出。这套模型中的填埋气回收估量是填埋气产生量乘以估算的收集效率得出的；潜在可获得的减排量是将填埋气回收估量乘以甲烷含量、甲烷密度和甲烷全球变暖潜力（21）得出的。该模型亦估算出直接利用项目或发电项目的能源输出量。

填埋气是由填埋场里的垃圾无氧降解而产生的，气体可通过在填埋场安装收集设施进行回收。评估填埋气产生和回收所需要的数据如下（参见术语表）：

- 填埋场垃圾年填埋量；
- 甲烷产生率（ $k$ ）；
- 最终甲烷产生潜力（ $L_0$ ）；
- 气体收集系统的收集效率；
- 目前（或以往）是否存在填埋场火灾；
- 填埋场开始填埋和封场年份等。

模型利用的一阶衰减方程式假设填埋气产生高峰与垃圾填埋之间有一段时间间隔。该模型假设垃圾填埋后六个月填埋气才会开始产生。换句话说，模型假设每一个单位垃圾的产气量将在六个月后随着垃圾有机成份的消耗开始按一阶衰减方程式下降。

对于已知（或可估计）每年生活垃圾填埋量的填埋场，模型采用下列美国环境保护局填埋气排放模型(LandGEM)（版本3.02，由美国环保署在2005年开发）中的公式估算年填埋气产生量：

$$Q_M = \frac{1}{C_{CH_4}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) \left( e^{-kt_{ij}} \right)$$

其中：

$Q_M$	=	最大预计填埋气产生量(立方米/年)；
$i$	=	某年；
$n$	=	(计算时的年份) - (开始接收垃圾的年份)；
$j$	=	每1/10年；
$k$	=	甲烷产生率（1/年）；
$L_0$	=	最终甲烷产生潜力(立方米/吨)；
$M_i$	=	第 <i>i</i> 年里填埋的垃圾量(吨)；
$t_{ij}$	=	第 <i>i</i> 年里填埋的第 <i>j</i> 部分垃圾的年龄。
$C_{CH_4}$	=	甲烷浓度 (以体积算)。

以上公式是用来估算历年已填埋的垃圾在某既定年份中的填埋气产量。长时间预测只需变更预测年份并重复应用上述公式即可。最大填埋气产生量一般在封场当年或封场之后一年达到（取决于最后一年的填埋量和甲烷产生率系数值）。

除 $k$ 和 $L_0$ 值外，中国填埋气模型中用于估算产气量的所有信息均要求填埋场的具体数据。模型会根据用户提供的填埋场地理位置和垃圾中大致的煤灰含量等信息选取 $k$ 和 $L_0$ 系数的推荐值。推荐值是通过采用IPCC 2006指引中所述方法、在中国不同城市收集有代表性的垃圾成份数据计算得出的。 $k$ 和 $L_0$ 系数推荐值会根据气候区域和垃圾成份的不同而有所变化，可用于估算在中国三个不同气候区域的填埋场的典型产气量。如用户有可靠数据，亦可自行选择 $k$ 及 $L_0$ 值。

中国填埋气模型亦要求用户提供实际或预计的填埋场建设和运营特征，以推算已有或拟建气体收集系统的填埋气收集效率。模型将根据用户提供的数据推荐收集效率值。收

集效率推荐值将与填埋气产生估量结合从而得出填埋气回收量。用户也可以选择输入一个假设的收集效率或填埋场特有的收集效率。

美国环境保护局认识到，由于难以准确地获得模型输入所需的有关数据，模拟出的填埋气产生量和回收量将与实际情况会有所出入。但是，随着新填埋场落成及运营，会有更好的数据管理，我们可利用这些数据改进现有的模型。另外，中国越来越多的填埋场正在开发气体收集和控制系統，我们可获得更多关于填埋气产生和回收的真实数据，以用于模型校准及增加模型推荐值的准确性。

## 1.1 填埋气产生量

中国填埋气模型估算的是由填埋场垃圾中的生物降解而产生的填埋气气量。填埋气是生活垃圾填埋场的垃圾在厌氧降解过程中产生的，模型假设生活垃圾产生的填埋气含约50%的甲烷(CH<sub>4</sub>)和50%的其它气体，主要是二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和少量其它化合物。

此计算机模型利用一阶衰减方程式估算填埋气产生量，并以立方米/分钟(m<sup>3</sup>/min)和立方米/小时(m<sup>3</sup>/hr)为单位。甲烷产生的估算采用了两个参数：分别是L<sub>0</sub> (垃圾最终甲烷产生潜力)及k (甲烷产生率)。模型假设一个单位垃圾的填埋气将在堆放于填埋场后一年达到产气高峰，而模型会根据用户输入的数据提供L<sub>0</sub>和k的推荐值。但模型也同时允许用户自行输入，利用在填埋场收集的具体数据而得出的L<sub>0</sub>和k值<sup>1</sup>。

---

<sup>1</sup> 可使用确实可知的气体回收数据而校准中国填埋气模型，以推算在运行中的填埋气收集和控制系统的填埋场的实际L<sub>0</sub>和k值；或者，也可通过IPCC方法学根据气候和垃圾成分来估算L<sub>0</sub>和k值。

### 1.1.1 甲烷产生率 (k)

甲烷产生率，即k值，决定了填埋场垃圾甲烷的产生速率。其单位为1/年，是指堆放在一个填埋场的垃圾降解而产生填埋气的速率。k值越高，填埋场总体甲烷产生量在填埋垃圾期间会上升得越快，同时在封场后也会下降得越快。k值由以下因素决定：（1）垃圾湿度，（2）产甲烷的微生物是否有足够的营养，（3）pH值和（4）温度。

不同的垃圾类型由于衰减速率不同，其k值也可能相差甚远。如食物比纸张或木材衰减得快。k值也会随着气候、特别是温度、降水和蒸发量而变化。本模型根据IPCC 2006指引内表3.4，按照以下两种标准将中国地理位置分为“寒冷或炎热”和“干燥或潮湿”地区。

#### 寒冷或炎热：

- 如年平均气温在20°C或以下，则属于“寒冷”地区；
- 如年平均气温高于20°C，则属于“炎热”地区。

#### 干燥或潮湿：

在“炎热”的地区：

- 如年平均降水量少于1,000毫米，则属于干燥地区；
- 如年平均降水量为1,000毫米或以上，则属于潮湿地区；

在“寒冷”的地区：

- 如年平均降水量与潜在蒸发量的比数小于1，则属于干燥地区；
- 如年平均降水量与潜在蒸发量的数大于1，则属于潮湿地区。

根据上述两项标准，中国的每个地理位置大致可划分为以下的三种气候区域：

- 区域 1: 寒冷和干燥  
区域 2: 寒冷和潮湿  
区域 3: 炎热和潮湿

请注意，按此标准，中国并没有炎热和干燥的区域。为了判断一个填埋场所处位置所属的气候区域，模型提供了一幅划分气候区域的中国地图（参见章节2.1，图2）；用户只需在地图上找出填埋场位置便可确定相应的气候区域。

除非用户输入特定k值外，本模型会根据填埋场所处的气候区域选取k的推荐值。k的推荐值是根据IPCC方法通过中国不同地理位置的垃圾成份数据计算，并与中国数个填埋场实际气体回收量的数据进行对比调整后得出。下表1列出三个气候区域k的推荐值。

表 1: 甲烷产生率 (k)

气候区域	k (1/年)
寒冷和干燥	0.04
寒冷和潮湿	0.11
炎热和潮湿	0.18

请注意，由于在模型开发时“寒冷和潮湿”区域垃圾成份数据不详，上表1中的k值是根据我国一般垃圾成份得出的；由于该地区实际气体回收量的数据不详，该k值亦未与实际数据进行对比调整。

### 1.1.2 最终甲烷产生潜力 ( $L_0$ )

除了在干燥区域因为缺乏水分而限制甲烷产生外，垃圾的最终甲烷产生潜力值基本上受填埋场垃圾类型所决定。垃圾中可生物降解有机碳含量越高， $L_0$ 值就越高。 $L_0$ 的单位为立方米甲烷/吨垃圾，即 $L_0$ 是指一吨垃圾在其整个降解过程中可以产生的甲烷气体总量。根据理论和实际结果得出， $L_0$ 值一般在6.2到270立方米甲烷/吨垃圾之间（EPA, 1991）。

除非用户输入特定 $L_0$ 值外，本模型会根据填埋场位置所处的气候区域选取 $L_0$ 的推荐值。 $L_0$ 的推荐值是根据IPCC方法通过中国不同地理位置垃圾成份数据计算，并与中国数个填埋场实际气体回收量的数据进行对比调整后得出。

除填埋场地理位置外，影响中国垃圾成份（因而影响 $L_0$ ）的一个主要因素是该填埋场所处区域的居民和企业是否使用煤作为主要取暖和煮食的燃料（这些区域可被称为“煤基”）。若大部分煤灰被填埋在填埋场的话，煤基区域的垃圾很可能含有较高惰性/灰成份（一般在30%以上）。在确切数据不详的情况下，本模型假设在中国寒冷区域的煤基填埋场的垃圾 $L_0$ 值仅为非煤基填埋场垃圾 $L_0$ 值的一半。而在炎热地区，煤基填埋场垃圾的 $L_0$ 值则假设为非煤基填埋场垃圾 $L_0$ 值的四分之三。

若能得到垃圾成份数据，可以根据煤灰在垃圾中的含量是否偏高来判断一个填埋场是否处于煤基区域。即如果数据显示煤灰在垃圾中的份量超过30%，垃圾的煤灰的含量可算偏高，该填埋场可被认为是处于煤基区域。

下表2为三个气候区域 $L_0$ 的推荐值：

**表 2: 最终甲烷产生潜力 ( $L_0$ )**

气候区域	$L_0$ (立方米/吨)	
	煤灰含量<30% (非煤基填埋场)	煤灰含量 >30% (煤基填埋场)
寒冷和干燥	70	35
寒冷和潮湿	56	28
炎热和潮湿	56	42

由于模型开发期间未能获得该区域典型垃圾成份数据，表2中“寒冷和潮湿”区域的 $L_0$ 值是根据我国一般垃圾成份而得出的；该区域的 $L_0$ 值亦未与实际填埋气回收量的数据进行比较及调整。

### 1.1.3 填埋场火灾

根据报道或观察，中国有一定数量的填埋场曾经发生填埋场火灾。填埋场火灾可以在地面或地表以下（地下）发生。火灾一旦发生，特别是地下火灾，一般很难扑灭或控制。填埋场火灾一般的迹象包括冒烟（特别是在垃圾体裂缝处）、比一般情况高的气体温度和一氧化碳含量、排气井被烟熏黑，冒烟的垃圾及过度沉降等。

由于填埋场火灾会消耗大量的有机物质，因此会大大减少填埋气的产生率。填埋场火灾也可以破坏填埋气收集系统、杀死产甲烷的微生物及降低收集效率。在过去或目前曾经发生或未来很可能发生火灾的填埋场，甲烷量会因为有机物的减少和收集系统的破坏而减少20%到40%。如用户说明当前或曾经发生填埋场火灾，模型会在进行甲烷估算时对填埋场有机物含量打折，即火灾折扣因子（默认值为30%）。

## 1.2 填埋气体回收

填埋场产生的填埋气可通过气体收集和控制系统进行回收，典型的处理方式是将回收到的气体在火炬里燃烧，或进行有效利用。有效利用方式包括将其作为燃料用于能源回收设施，如内燃机、燃气轮机、微型燃机、蒸汽锅炉、锅炉、窑或其它用气体作燃料的设备发电或产生热能。

回收和控制填埋气，除了有能源效益外，亦会减少有害物质的排放。控制填埋气不仅消除甲烷这种导致全球气候变化的温室气体，亦可消除其它对人体有害的有机污染物。回收和控制填埋气同时也可以降低甲烷在场内及场外迁移的可能性，因此降低爆炸或火灾风险。

### 1.2.1 估算收集效率

收集效率是填埋气收集系统收集填埋气能力的一个度量。收集效率一般以百分比值表示，并应用在填埋气产生量上，以估算可以回收的填埋气量。虽然可以测量填埋气回收

量，但是产生量则不可以（因此才需要一个模型估算产气量）；因此填埋场实际达到的收集效率有着很大的不确定性。

美国环境保护局针对收集效率的不确定性，在1998年发布了符合美国设计标准和已安装完整填埋气收集系统的填埋场的收集效率。据美国环境保护局的资料，这些填埋场的收集效率一般在60%到85%之间，平均效率为75%。一个完整的填埋气收集系统是指一个在垃圾填埋一年内即在有关垃圾体上安装竖井和/或水平井，且抽气井的覆盖率达到100%的系统。大多数填埋场，特别是那些正在填埋垃圾的填埋场，收集系统的覆盖率一般少于100%，因此，需要加入一个覆盖因子才能估算收集效率。由于不可能在一些存在保安问题或有大量不受控的拾荒者的填埋场区域安装设备，收集系统覆盖率普遍不能达到完整的水平。

下表3“填埋场收集效率”列举了怎样利用关于填埋场建设和运营方面问题的答案确定对收集效率的折扣和估算收集效率。例如，问题1至2及4至7的答案是“是”而问题3的答案是“否”，则无需打折而收集效率维持在85%。另外，如填埋气系统面积覆盖率属于级别I（即填埋气系统面积覆盖率在80-100%之间），最终收集效率应为81%，即85%乘以面积覆盖因子（在该情况下为0.95）。

**表 3: 填埋气收集效率**

序号	问题	收集效率折扣 (从85%开始打折)	
		是	否
1	填埋场填埋的垃圾是否定期进行适当的压实？	0%	3%
2	填埋场是否有集中的垃圾倾倒区域？	0%	5%
3	填埋场边坡是否有渗滤液渗漏？或填埋场表面是否有水坑/渗滤液坑？	10%	0%
4	垃圾平均深度是否有10米或以上？	0%	10%
5	新填埋垃圾是否每日或每周进行覆盖？	0%	10%

6	已填埋至中期或最终高度的区域是否进行了中期/最终覆盖?	0%	5%
7	填埋场是否有铺设土工布或粘土的防渗层?	0%	5%
8	填埋气系统面积覆盖率属于那个级别 (I至V)?	乘以面积覆盖因子(见下文)	

填埋气系统面积覆盖率是指在已填埋面积中，有完整而在运行的填埋气收集系统的面积的百分率；下表界定了I到V不同的覆盖级别。收集效率将按面积覆盖因子减少而降低，面积覆盖因子按下表进行估算：

填埋气系统 面积覆盖率	覆盖 级别	面积覆盖因子(ACF)
80 – 100%	I	95%
60 – 80%	II	75%
40 – 60%	III	55%
20 – 40%	IV	35%
< 20%	V	15%

请注意，我们推荐的估算收集效率方法假设，无论填埋场设计多么合理或气体收集系统覆盖多么完整全面，一部分（至少15%）产生的填埋气将未能被回收。建议采取以下步骤调整收集效率至85%以下：

- 从85%开始，根据表3和下列7个问题的每一个答案，应用合适的折扣率以评估收集效率。
- 我们建议，如问题1的答案为“否”，折扣率为3%，如问题2的答案为“否”，折扣率为5%，如问题3的答案为“是”，折扣率为10%，如问题4和5的答案均为“否”，每个问题的折扣率为10%，如问题6和7的答案均为“否”，每个问题的折扣率为5%（即七条问题最大折扣率总和为48%）。
- 问题1针对在填埋场填埋的垃圾是否定期进行合理压实。只有当进场的垃圾在填埋时定期进行了彻底压实（或垃圾进场前已经进行了压实和打捆），才能回答“是”。彻底和及时压实能减少空气（氧气）深入垃圾体，因而加快厌氧降解

并产生填埋气体。合理压实亦能尽量减少不均衡沉降（因而减少收集管线可能产生的问题），减少表面水渗入垃圾，从而减少渗滤液。

- 问题2涉及填埋场是否有集中的倾倒区域。只有当倾倒面积小于约30米乘以30米左右时，方能回答“是”。集中的倾倒区域可尽量减少空气和地表水渗入垃圾体。这也是一个良好的填埋场营运习惯，因为垃圾裸露面越小，臭气和蝇虫的问题更容易解决。
- 问题3主要问填埋场边坡是否有渗滤液渗漏，及填埋场表面是否有水坑/渗滤液坑。只有在无渗滤液渗漏和水坑/渗滤液坑时，才能回答“否”。没有渗滤液渗漏和没有表面水坑/渗滤液坑说明垃圾体的排水情况相对良好，渗滤液水位较低，有利于填埋气体回收。
- 问题4针对垃圾平均深度是否在10米或以上。只有在整个填埋场垃圾平均深度超过10米时，才可以回答“是”。因为接近填埋场表面的垃圾趋于好氧分解，不会产生填埋气，填埋深度较浅的填埋场由于上述情况较多，收集效率将明显较低。
- 问题5涉及新填埋的垃圾是否每日或每周进行覆盖。只有在新填埋的垃圾以适当材料（如土壤、塑料布或土工布）经常（最好是每日，至少每周）进行覆盖时，才能回答“是”；那些较大直径的物料，如碎石、建筑废物或树叶和树枝等材料不属于适当覆盖材料之列。采用适当覆盖材料和及时覆盖新填埋垃圾能够尽量减缓垃圾（如食物）的好氧分解；亦可减少空气和地表水渗入、并加速厌氧分解。另外，适当的覆盖可以使收集系统更容易达到必需的负压状态、而不会有多余空气/氧气渗入收集系统。
- 问题6询问已填埋至中期或最终高度的区域是否进行了中期/最终覆盖。只有当已填埋至中期或最终高度的区域及时（即在达到上述高度一年内）进行了中期/最终覆盖时，才能回答“是”。与每日或每周覆盖相同，中期/最终覆盖也可以减少空气和地表水渗入、对收集系统在必需的负压状态下运行十分重要。
- 问题7针对填埋场是否有土工布或粘土的防渗层。只有当填埋场大部分（或全

部) 底部面积铺设了设计合理的土工布、粘土或其它适当材料构成的底部防渗层时, 方能回答“是”。

- 问题 8 与填埋气收集系统面积覆盖率和相关的覆盖级别 (I 至 V) 有关。填埋气收集系统面积覆盖率是指完整且在运行的填埋气收集系统覆盖占填埋面积的百分比。问题 8 的答案需要参照下表, 参考填埋气体系统面积覆盖率值选择相应的覆盖级别:

填埋气体系统 面积覆盖率	覆盖 级别
80 – 100%	I
60 – 80%	II
40 – 60%	III
20 – 40%	IV
< 20%	V

模型对收集效率的估算是半自动的; 只要用户对上述7个问题进行了“是”或“否”的选择, 模型便会自动调整收集效率到85%或以下。用户只要选择适当的系统面积覆盖率及相应的覆盖级别, 模型会自动选择合适的面积覆盖因子 (ACF)。然后模型会自动用面积覆盖因子降低收集效率从而得出最终的收集效率。如用户持有确实可靠的数据, 亦可自行输入收集效率。

### 1.3 模型

中国填埋气模型能在Windows 2000<sup>®</sup>、Windows XP<sup>®</sup>或Vista<sup>®</sup>系统环境下作业。该模型是一个Excel<sup>®</sup>工作表。如需打开模型文件 (“LMOP China Model v1-1.xls”), 选择“文件”、“打开”, 及点击该文件后就可以打开。用户必须启用宏, 以确保模型能正确运行。由于Excel<sup>®</sup>软件预设的安全性设置可能会阻止宏的运行, 用户可能需要改变Excel<sup>®</sup>软件的安全性设置。

气体模型包括以下三个工作表:

- 一个模型输入工作表;

- 一个模型输出表格；及
- 一个模型输出曲线图

最初用户只能在输入工作表上输入资料。当用户输入所有相关数据后，点击“浏览输出表格”和“浏览输出曲线图”才能看到输出表格和曲线图。

使用模型时，用户只需要在“输入”工作表中输入资料。

## 2.0 估算填埋气产生和回收

### 2.1 资料输入

模型所有数据输入工作均在“输入”工作表中进行（参见图1）。需要用户输入的单元格均有黄色标注。用户需按照下列步骤输入数据，模型才能正确运行及产生合理的输出结果（表格和曲线图）。如填埋场已经建成并投入营运，用户应根据档案中的数据和实际情况输入资料。对未建设的填埋场，只能根据预计或规划内的情形输入相关资料。

**步骤1.** 输入填埋场名称和项目标题（E10单元格），此处输入的信息将自动在输出表格和曲线图的主标题显示。

**步骤2.** 输入填埋场的地理位置（省、市）（E11单元格），此处输入的信息将自动在输出表格和曲线图的副标题显示。

**步骤3.** 输入填埋场开始（或计划开始）填埋垃圾的年份（E12单元格）。此数据将自动计入在每年填埋数据表格和输出表格中。

**步骤4.** 输入填埋场封场（或计划封场）年份（E13单元格）。此数据将自动计入在每年填埋活动数据表格和输出表格中。

**步骤5.** 输入预期填埋气甲烷含量（E14单元格）。此数据将用来计算填埋气的净流量。我们建议使用50%，但如能够从填埋场获取确切数据，也可选用其它值。

如果用户想使用本模型推荐的 $k$ 值和 $L_0$ 值、收集效率和火灾折扣因子的话，必须按照步骤6至16进行输入。用户如已经掌握上述参数的可靠数据，倾向于自行输入这些参数（火灾折扣因子除外）具体值的话，可跳过中间步骤直接到步骤17。

**步骤6.** 选择填埋场所处的气候区域。这将影响 $k$ 值和 $L_0$ 值。用户可点击“显示中国区域

图”按钮查看划分了三个气候区域的中国地图（参见图2）；输入合适的气候区域后，点击“隐藏中国区域图”继续下面的输入。

**步骤7.** 针对“填埋场填埋的垃圾中煤灰含量是否偏高（即30%以上）？”选择适当答案。这将影响 $L_0$ 值，若垃圾中的煤灰含量偏高的话， $L_0$ 值将降低。

**步骤8.** 说明当前或过去是否发生过填埋场火灾。这将影响 $L_0$ 值。

下列8个步骤要求用户提供填埋场建设运行的信息，这些信息决定了气体收集系统的收集效率。步骤9到15的问题，请选择“是”或“否”回答；针对步骤16的问题，请根据填埋气收集系统面积覆盖率值选择适当覆盖级别（I到V）。参见章节1.2.1具体了解如何回答这8个问题。

**步骤9.** 填埋场填埋的垃圾是否定期进行适当的压实？

**步骤10.** 填埋场是否有集中的垃圾倾倒区域？

**步骤11.** 填埋场边坡是否有渗滤液渗漏？或填埋场表面是否有水坑/渗滤液坑？

**步骤12.** 垃圾平均深度是否有10米以上？

**步骤13.** 新填埋的垃圾是否每日或每周进行覆盖？

**步骤14.** 已填埋至中期或最终高度的区域是否进行了中期/最终覆盖？

**步骤15.** 填埋场是否有铺设土工布或粘土的防渗层？

**步骤16.** 填埋气收集系统面积覆盖率属于那个级别？填埋气收集系统面积覆盖率是指有完整且在运行的填埋气收集系统的面积占全填埋场面积的百分比。

填埋气体系统 面积覆盖率	覆盖 级别
80 – 100%	I
60 – 80%	II
40 – 60%	III
20 – 40%	IV
< 20%	V

如用户缺乏数据而不能具体回答步骤9至16的问题，模型将不能提供收集效率的推荐值。在这种情况下，用户可以直接跳到步骤17输入收集效率假设或一般值。一个按中国一般填埋场行业标准来建设和运行的填埋场，封场前的收集效率通常在25%至40%之间，封场后在50%至65%之间。

图 1 – 模型输入截图

**中国填埋气估算模型 (版本1.1)**

[使用说明](#)

**请在黄色单元格中输入信息。这些信息是确保本模型能够正确运行所必需的。**

基本信息		
填埋场名称和项目标题标题:	填埋场名称及项目标题	左侧输入的信息将在输出表格和曲线图中显示为主标题和副标题。
填埋场的地理位置:	填埋场位置, 所属城市和省份	
开始 (或计划开始) 填埋年份:	1993	输入填埋场开始接收垃圾的年份。
填埋场封场/预计封场年份:	2013	输入封场年份 (即填埋场终止接收垃圾的年份)。
预期填埋气甲烷含量:	50%	请输入填埋气预期的甲烷含量。推荐值为50%，但如拥有具体信息，也可输入其它数值。此甲烷含量值将用于计算回收气体的净流量。

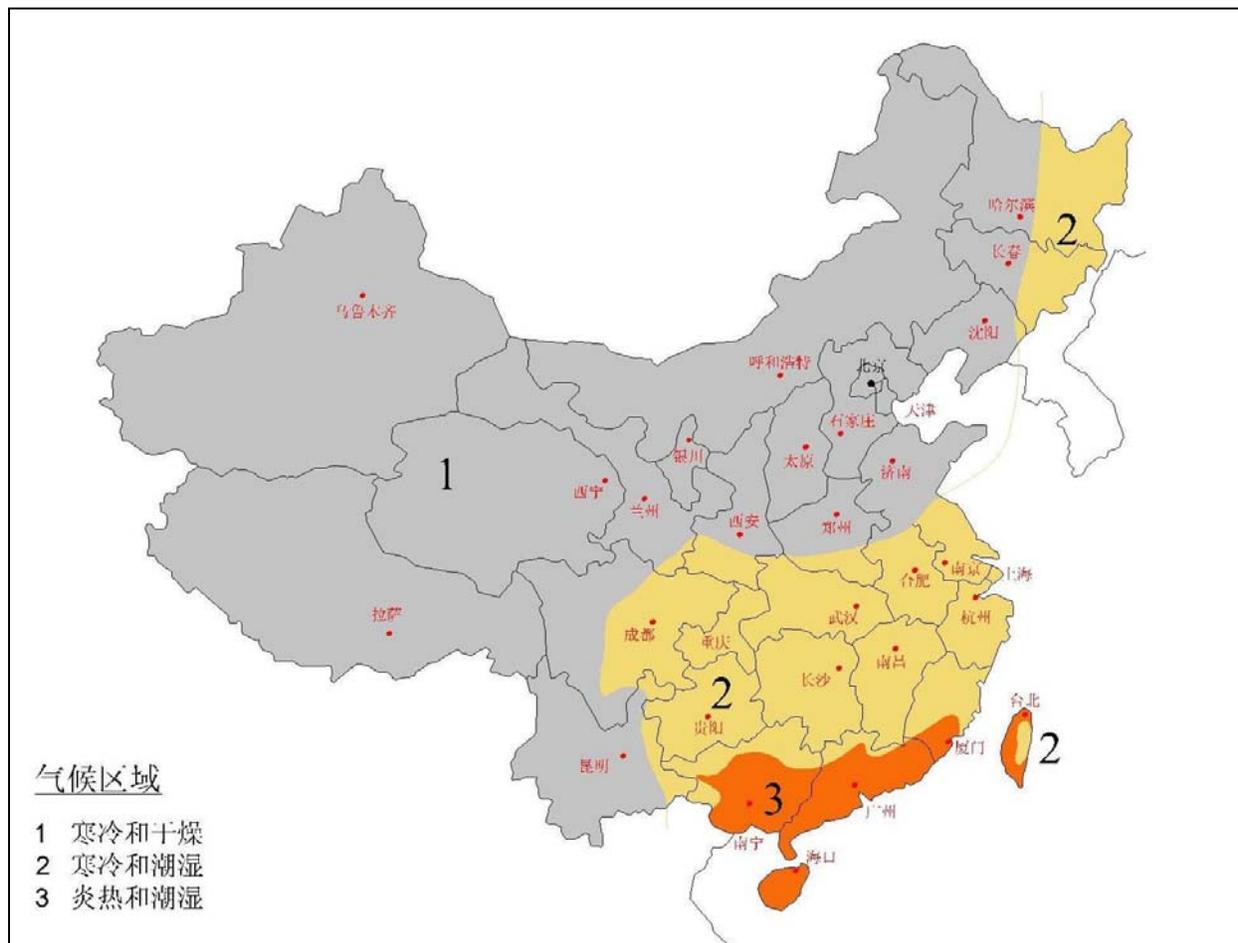
填埋场特征	
填埋场地理位置所处的气候区域 (请点击右方按钮参考中国区域图选取):	区域 2 (寒冷和潮湿)
填埋场堆放的垃圾中煤灰含量是否偏高 (多于 30%) ?	否
填埋场是否曾经或现在发生地下火灾?	没有

决定收集效率的标准		
1.	填埋场填埋的垃圾是否定期进行适当的压实?	是
2.	填埋场是否有集中的垃圾倾倒区域?	是
3.	填埋场边坡是否有渗滤液渗漏? 或填埋场表面是否有水坑/渗滤液坑?	否
4.	垃圾平均深度是否有10米或以上?	是
5.	新填埋的垃圾是否每日或每周进行覆盖?	是
6.	已填埋至中期或最终高度的区域是否进行了中期/最终覆盖?	是
7.	填埋场是否有铺设土工布或粘土的防渗层?	是
8.	填埋气系统面积覆盖率属于那个级别? (选择I至V其中一项)	II (60 - 80%)

请参照用户手册，了解如何回答上述问题或如何在下列表格中输入用户指定或假设的收集效率。

图 2- 中国气候区域图



**步骤17.** 用户可以在“模型推荐值”一栏中，查看模型根据在步骤6至16中输入的数据而推荐的 $k$ 值、 $L_0$ 值、收集效率和火灾折扣因子。如用户想更改上述值，或当用户未完成步骤6至16，却想自行输入这些参数（除火灾折扣因子外），可以在“用户指定值”一栏中输入。即在H43至H45单元格分别自行输入 $k$ 值、 $L_0$ 值和收集效率值。上述输入方式仅在用户拥有关于这些参数可靠而具体的数据时，或在未有充分的数据以回答步骤9至16的问题而有意输入收集效率的假设值时方可使用。用户在H45单元格输入收集效率值后，模型会将输入值计入在每年填埋活动数据表格，并用于计算填埋气回收率。

**步骤18.** 如用户想输入每年不同的收集效率值，可以在每年填埋活动数据表中第4栏的相

应单元格中输入，参见图3。否则可以跳至步骤19。模型默认假设每年的收集效率与以前一年的收集效率相同，故收集效率值只需在有变化的年份里输入即可。例如，如填埋场某年提升了气体收集系统或进行了最终覆盖，用户可在第4栏对应的年份里输入较高的收集效率。模型将自动将此收集效率在该年及以后使用。

**步骤19.**在每年填埋活动数据表第2栏（E56单元格）中输入填埋场在开始填埋年份的垃圾填埋量。模型默认假设填埋场从开始填埋至封场（包括头尾两年）每年的垃圾填埋量不变。如用户想输入每年不同的垃圾填埋量，请继续到步骤20，否则可以跳到步骤21。

**步骤20.**在第2栏输入填埋场在填埋时每年垃圾填埋量（吨）（参见图3）。模型容许最多100年的垃圾填埋历史或预测数据，同时模型默认每年垃圾填埋量与以前一年相同，故垃圾填埋量只需在有变化的年份里输入即可。年填埋量需根据实际记录的每日填埋量来估算，并与实际已填埋量、总库容和预计封场年限吻合。对于无历史数据的填埋场，需调整其填埋量直到计算出的已填埋总量与估计的已填埋量相当（直至有已填埋数据的最近一年为止）。

**步骤21.**在每年填埋活动的数据表格第5栏输入实际填埋气回收率，以立方米/小时为单位（只适用于安装了主动气体收集系统的填埋场），参见图3。这个数据应该是火炬和/能源回收厂年均总填埋气流量（而非每口气井流量总和），基本上是经过填埋气流量测量得出的。如用户未在步骤5输入甲烷浓度值，则应通过测量流量乘以测量填埋气的甲烷浓度然后除以50%，将所有流量调整至50%甲烷含量（如用户已在步骤5输入了甲烷浓度，则无需进行此过程）。用户在这些单元输入的数据将会在输出曲线图中以数据点的形式显示出来，故无流量数据时请不要输入0（将此处空出即可）。用户输入具体测量值不会改变气体产生和回收率曲线。将模型的气体回收预测与实际数据点对比，可以了解模型在预测填埋场气体回收率的准确性。

调整甲烷浓度至50%的公式:

$$\text{真实测量的流量} \times \frac{\text{真实测量的甲烷浓度 \%}}{50 \% \text{ 甲烷}} = \text{甲烷浓度为50\%的流量}$$

图 3 - 模型输入截图(续)

**模型参数**  
模型将根据您的输入，应用下面的“模型推荐值”进行产气和回收量的估算。如您有可信的数据并认为应该输入其它值的话，请在“用户指定值”一栏填写，该值将取代左边的推荐值并将用于估算产气量和回收量上。

	模型推荐值	用户指定值
k (1/年)	0.11	
L <sub>0</sub> (立方米/吨)	56	
收集效率	64%	
火灾折扣因子	没有	不能变更

**每年填埋数据**  
在下面第2栏中输入填埋场每一年的垃圾填埋量。模型推荐或用户指定收集效率已自动在第4栏中计入。如您拥有任何特定年份更可靠的数据，您也可变更此列值。如填埋场已安装气体收集系统并测量了确实的气体回收率的话，您可在第5栏中输入这些数据（如无数据，请勿输入0）。

1	2	3	4	5
年份	年填埋量 (吨/年)	已填埋垃圾 (吨)	收集效率	实际测量回收率 (立方米/小时)
1993	20,671	20,671	64%	
1994	637,940	658,611	64%	
1995	710,128	1,368,739	64%	
1996	683,853	2,052,592	64%	
1997	796,020	2,848,612	64%	
1998	839,742	3,668,354	64%	
1999	891,953	4,580,307	64%	
2000	581,686	5,161,993	64%	
2001	657,914	5,819,907	64%	
2002	794,154	6,614,061	64%	
2003	1,176,472	7,790,533	64%	
2004	1,212,000	9,002,533	64%	
2005	1,343,320	10,345,853	64%	
2006	1,477,016	11,822,869	64%	
2007	1,681,515	13,504,384	64%	2,468
2008	1,788,500	15,292,884	64%	3,947
2009	1,860,040	17,152,924	64%	
2010	1,934,442	19,087,366	64%	
2011	1,354,819	20,442,185	64%	
2012	1,435,292	21,877,477	64%	
2013	1,227,323	23,104,800	64%	
2014	0	23,104,800	64%	





## 2.2 模型输出—表格

模型结果在“输出表格”工作表中以表格的形式显示（见下图4，输出表格示例）。用户必须在输入工作表中输入所有必需信息，才能进入输出表格工作表（及输出曲线图工作表）。表格标题在用户填写“输入工作表”时已经设定。表格提供了以下信息，这些信息或直接从输入工作表引用或由模型计算得出：

- 预测年期是从填埋场开始填埋起持续100年的时间。
- 年填埋量。
- 每个预测年年底已填埋的垃圾量。
- 每个预测年填埋气产生率，以立方米/分钟和立方米/小时计。
- 每个预测年的收集效率。
- 每个预测年填埋气回收率，以立方米/分钟和立方米/小时计。
- 回收甲烷气体换算成二氧化碳当量，以吨/年计。
- 直接利用项目潜在可得的能源输出量，以兆焦耳/小时计（假设气体用于锅炉燃烧产生蒸汽，转换效率为85%）
- 发电项目潜在可得的能源输出量，以兆瓦计（假设气体用于机组消耗发电，转换效率为30%）

表格下方提供了如下信息：

- 模型预测时用的假设甲烷浓度（50%，用户在输入工作表中自行变更除外）
- 模型运行选用的k值。
- 模型运行选用的L<sub>0</sub>值。

如需打印表格，选择“文件”“打印”“确定”即可。

图4 - 输出表格示例

<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">返回"输入"界面</div> 填埋场名称及项目标题 填埋场位置, 所属城市和省份										
年份	年填埋量	已填埋垃圾	填埋气产生率		收集效率	已有或拟建收集系统 填埋气回收率			直接利用项目 能源 输出量 <sup>a</sup>	发电项目 能源 输出量 <sup>b</sup>
	吨/年	吨	(立方米/分钟)	(立方米/小时)	(%)	(立方米/分钟)	(立方米/小时)	二氧化碳当量(吨)	(兆焦耳/小时)	(兆瓦)
1993	20,671	20,671	0	0	64%	0	0	0	0	0.000
1994	637,940	658,611	0	28	64%	0	18	1,163	298	0.028
1995	710,128	1,368,739	15	879	64%	9	560	36,937	9,452	0.902
1996	683,853	2,052,592	29	1,737	64%	18	1,108	73,046	18,692	1.783
1997	796,020	2,848,612	41	2,472	64%	26	1,576	103,916	26,591	2.537
1998	839,742	3,688,354	55	3,280	64%	35	2,091	137,881	35,282	3.366
1999	891,953	4,680,307	68	4,062	64%	43	2,589	170,769	43,698	4.169
2000	581,686	5,161,993	81	4,832	64%	51	3,081	203,168	51,988	4.960
2001	657,914	5,819,907	85	5,108	64%	54	3,256	214,735	54,948	5.242
2002	794,154	6,614,061	91	5,456	64%	58	3,478	229,386	58,697	5.600
2003	1,176,472	7,790,533	99	5,951	64%	63	3,793	250,176	64,017	6.107
2004	1,212,000	9,002,533	115	6,905	64%	73	4,402	290,313	74,287	7.087
2005	1,343,320	10,345,853	130	7,808	64%	83	4,978	328,268	84,000	8.014
2006	1,477,016	11,822,869	147	8,792	64%	93	5,605	369,659	94,591	9.024
2007	1,681,515	13,504,384	164	9,853	64%	105	6,281	414,261	106,004	10.113
2008	1,788,500	15,292,884	185	11,077	64%	118	7,062	465,723	119,173	11.369
2009	1,860,040	17,152,924	205	12,317	64%	131	7,852	517,844	132,510	12.641
2010	1,934,442	19,087,366	225	13,523	64%	144	8,621	568,562	145,488	13.880
2011	1,354,819	20,442,185	245	14,704	64%	156	9,374	618,183	158,185	15.091
2012	1,435,292	21,877,477	250	14,985	64%	159	9,553	630,021	161,214	15.380
2013	1,227,323	23,104,800	256	15,345	64%	163	9,783	645,154	165,087	15.749
2014	0	23,104,800	256	15,389	64%	164	9,811	647,009	165,561	15.795
2015	0	23,104,800	230	13,786	64%	146	8,789	579,613	148,316	14.149
2016	0	23,104,800	206	12,350	64%	131	7,873	519,237	132,866	12.675
2017	0	23,104,800	184	11,064	64%	118	7,063	465,150	119,026	11.355
2018	0	23,104,800	165	9,911	64%	105	6,318	416,698	106,628	10.172
2019	0	23,104,800	148	8,879	64%	94	5,660	373,292	95,521	9.113
2020	0	23,104,800	133	7,954	64%	85	5,071	334,408	85,571	8.163

### 2.3 模型输出—曲线图

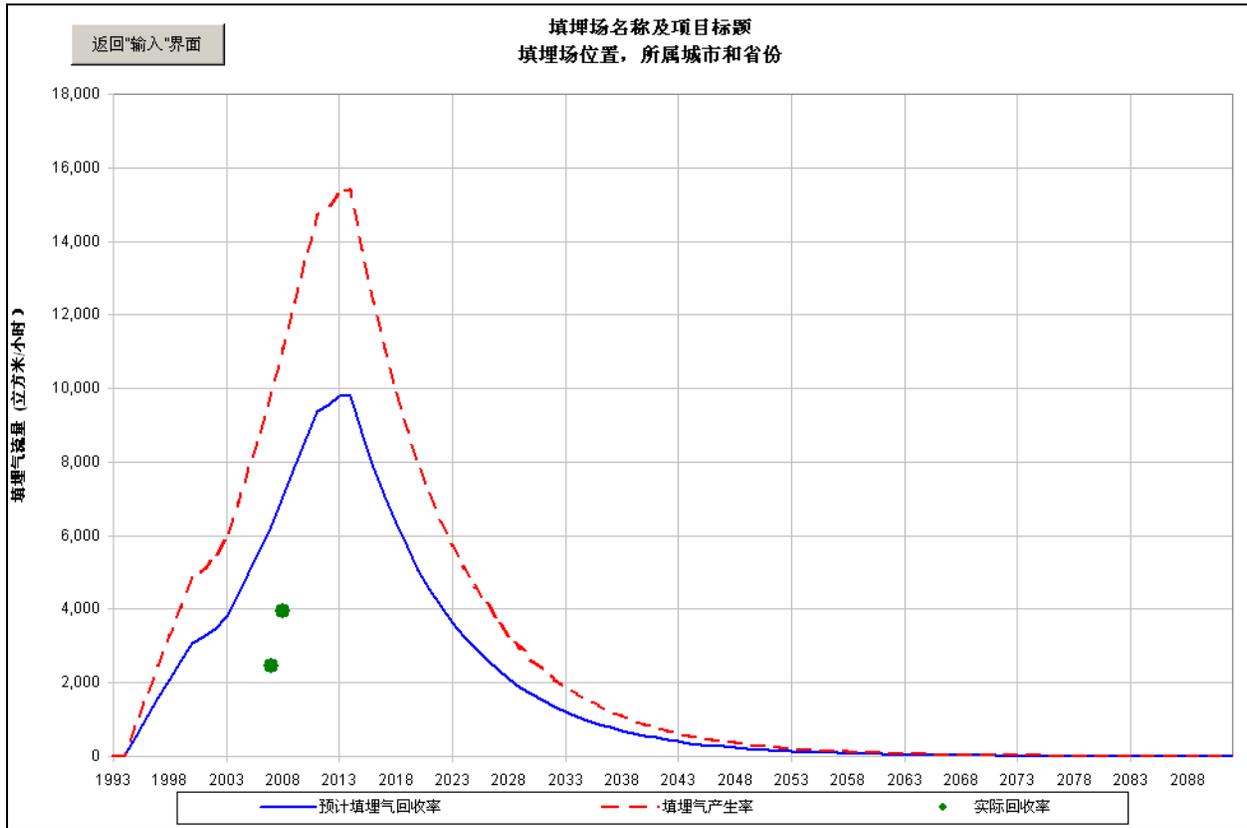
模型结果也在“输出曲线图”工作表中以图的形式显示。见下图5，输出曲线图示例。曲线图所显示的数据包括：

- 预测年份里填埋气产生率曲线图，以立方米/小时计。
- 预测年份里填埋气回收率曲线图，以立方米/小时计。
- 实际（历史）填埋气回收率，以立方米/小时计，作为单独数据点标示。

曲线图标题在用户填写输入工作表时已经设定。

如需打印曲线图，点击曲线图，选择“文件”“打印”“确定”即可。

图 5 – 输出曲线图示例



### 3.0 参考资料

美国环境保护局, 1991年: 《新污染源执行标准及城市生活垃圾气体排放指南III(d)》, 公共纪要号A-88-09 (1991年5月拟议)。美国环境保护局, Research Triangle Park, 北卡罗莱纳州。

美国环境保护局, 1998年: 《*Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*》, 5th ed., Chapter 2.4。 Office of Air Quality Planning and Standards, 美国环境保护局, Research Triangle Park, 北卡罗莱纳州。

美国环境保护局, 2005年: *填埋气体排放模型 (LandGEM)*, 版本3.02 用户指南。 EPA-600/R-05/047 (2005年5月)。美国环境保护局, Research Triangle Park, 北卡罗莱纳州。

IPCC, 2006年: 《2006年国家温室气体清单》, 政府间气候变化工作小组 (IPCC), 第5卷 (垃圾), 第3章 (固体垃圾处理)。

美国环境保护局, 2007年: 《*中美洲填埋气模型 (版本1.0) 用户手册 (2007年3月)*》。