

垃圾填埋气体处理和利用的可行性研究

黄 婷^{1,2}, 庄毅璇^{1,2}, 林楚娟^{1,2}

(1. 重庆市环境保护工程设计研究院有限公司, 重庆 400000; 2. 深圳市深港产学研环保工程技术股份有限公司, 广东 深圳 518057)

摘 要: 鉴于现有非规范城市垃圾堆放场或填埋场存在气体大多无组织释放, 易产生爆炸, 对环境造成不同程度危害等现状, 在查阅国内外垃圾填埋气体现有处理和利用技术的基础上, 以深圳市宝安区某垃圾填埋场为例, 根据其填埋气体产气量、特性及其危害, 分析该填埋场填埋气体处理和利用的可行性, 为填埋气体的处理提供设计和运行参考。

关键词: 非规范; 城市生活垃圾; 填埋气体; 处理; 利用

中图分类号: X 705 文献标识码: A 文章编号: 1671-0460 (2012) 03-0298-04

Feasibility Study on Treatment and Utilization of Waste Landfill Gas

HUANG Ting^{1,2}, ZHUANG Yi-xuan^{1,2}, LIN Chu-juan^{1,2}

(1. Chongqing Environmental Protection Engineering Design Institute Co., Ltd., Chongqing 400000, China; 2. Shenzhen-Hongkong IER Environmental Engineering Technique Co., Ltd., Guangdong Shenzhen 518057, China)

Abstract: In view of the problem that uncontrollable discharge of waste gas from current non-sanitary municipal waste dumps or landfill is easily to produce explosion and cause harms to the environment, referring to treatment and utilization technologies of landfill gas at home and abroad, taking a landfill in Bao'an district, Shenzhen city as an example, the feasibility of treatment and utilization of waste landfill gas was analyzed in accordance with its gas production, characteristics and hazards, which can provide some references for design and operation of processing landfill gas.

Key words: Non-sanitary; Municipal solid waste; Landfill gas; Treatment; Utilization

随着人口的急剧增长和自然资源的不断开发利用, 城市生活垃圾(以下简称垃圾)正以高于经济增长的速度增长。目前, 我国垃圾的处理(处置)方法主要有填埋、焚烧、发酵堆肥及新一代热解气化处理等, 其中由于填埋法成本低、技术相对简单、处理迅速, 是目前国内外应用最为广泛的垃圾处置方式。但由于资金限制和技术瓶颈, 我国目前大多数填埋场还只是进行简单的填埋处理, 必要的环保设施不完善, 例如在填埋场建设过程中未考虑填埋气体的收集利用问题, 缺少完善的垃圾填埋气体收集系统, 使填埋气体处于自然生产和自然排放状态, 填埋气体无法收集^[1-3]。填埋气体的无序扩散对周围环境和居民是一个很大的安全隐患。

根据深圳市宝安区石岩阿婆髻垃圾填埋场产气的实际情况, 结合填埋气体的特性及可利用性, 分析垃圾填埋气体处理和利用的可行性, 为填埋气体的处理提供设计和运行参考。

1 国内外垃圾填埋气体现有的处理和利用技术

垃圾填埋气体中主要成分为 CH_4 和 CO_2 , 给温室效应带来了负面的影响, 且甲烷还是易燃气体, 容易发生填埋气火灾爆炸事故, 但这种气体又是一种宝贵的能源, 可以作为一种利用价值较高的燃料。目前世界上共有 20 多个国家的 280 多个垃圾填埋场安装了填埋气体的回收利用装置, 利用途径包括: 直接燃烧产生蒸汽, 用于生活或工业供热; 通过内燃机发电, 作为运输工具的动力燃料; 经脱水净化处理后用作管道煤气和 CO_2 工业; 另外还可用于制造甲醇的原料及用于垃圾渗滤液的蒸发处理等。其中发电、民用燃料和汽车燃料是三种最为普遍的利用方式^[4]。当垃圾填埋气体在不足以作为燃料的情况下, 为了严防爆炸危险发生, 在《城市生活垃圾卫生填埋技术规范》(CJJ17-2001) 中规定垃圾填埋场必须安装填埋气体收集系统并进行火炬燃烧。

2 阿婆髻垃圾填埋场填埋气体的处理和利用

2.1 概况

深圳市宝安区石岩阿婆髻垃圾填埋场是深圳

收稿日期: 2011-12-07

作者简介: 黄婷(1985-), 女, 广东人, 从事环境影响评价工作。E-mail: htzqw@qq.com.

经济特区早期垃圾填埋场之一，位于石岩街道料坑社区，处于铁岗水库 - 石岩水库二级水源保护区内，其下游是铁岗水库，邻近有石岩水库和阿婆髻水库，占地面积约 5 万 m²，为坡地型填埋场。2001 年起采用垃圾填埋覆盖处理方法，覆盖土源于垃圾场东南角山体取得。鉴于历史原因，深圳市宝安区石岩阿婆髻垃圾填埋场受经济、技术条件的限制，未按卫生填埋的要求进行设计及建设。场内无气体导排和处理设施，填埋气体处于无序扩散状态。为了避免对铁岗水库等水资源造成了污染，次年底该垃圾填埋场停止了垃圾进场，2003 年 5 月开始实施封场工程建设。

由于该垃圾填埋场东侧建垃圾转运站，为确保转运站的安全，在封场工程建设过程中，在该垃圾填埋场与垃圾转运站相邻的边界处建有一垂直导气盲沟，以阻止气体迁移至垃圾转运站内。导气盲沟深度建至垃圾底部以下 2 m，盲沟上部每 5 m 设一导气管。在垃圾堆体上建有竖向气体导排井，导排井间距 30 m，排与排之间错列布置，以提高覆盖率，根据垃圾堆体面积设有 28 座导气井，每座导气井直径为 600 mm，深度为 12 m，导排气体排放管高出地面 2 m。填埋场气体导排井的布置见图 1。

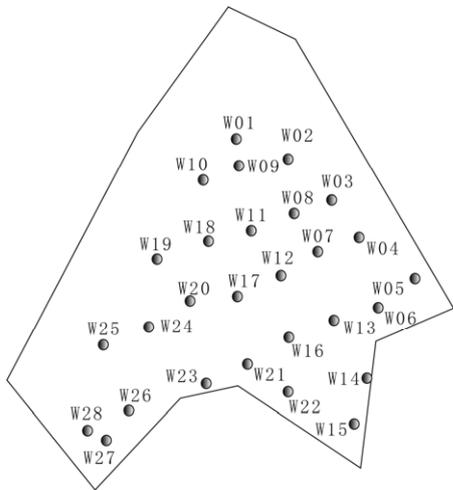


图 1 阿婆髻垃圾填埋场导气管布置图
Fig.1 The airway layout diagram of Po-ji landfill

现项目已完成竖向气体导排系统建设，但未对垃圾填埋气体采取相应的处理和利用的措施，场内填埋气体仍处于自然生产和自然排放状态。

2.2 垃圾成分及产气情况

从 2001 年 1 月到 2002 年 12 月，垃圾填埋场经过两年时间填埋，在该填埋场实施封场时，总垃圾填埋量约为 35 万 t，约 44 万 m³。其主要成分有：动物、植物、灰土、砖瓦陶瓷、纸类、塑料橡胶、纺织物、玻璃、金属、木竹等。

填埋场气体的产生是个非常复杂的生物、化学、物理等综合过程，目前比较普遍认可的说法：填埋气体产生过程可划分为如下所述的五个阶段，产期过程如图 2 所示^[6]。

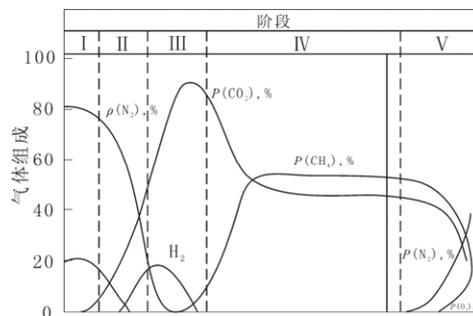


图 2 填埋气体各成分随时间（5 个阶段）变化规律图
Fig.2 The variation diagram of different components in landfill gas with time (five stages)

我国城市垃圾的特性与国外相比，最大的差别在于我国城市垃圾中易降解有机物含量较大（食品类），而中等易降解有机物（纸张、纸板类）含量较少。各种组成上的差异决定了我国城市垃圾具有产期周期短、降解快、达到产期高峰后产气量素数降低的特征。一般来讲，填埋气体产生的前三个过程所用时间少于一年，而第四个过程可持续十几年甚至几十年^[6]。该垃圾填埋场从 2001 年开始使用垃圾填埋覆盖处理方法，至今已有 10 年的填埋时间，其产气阶段已进入稳定阶段，应处于第 4 阶段产甲烷阶段的中后期（为图 2 实线处）。

根据华中科技大学《阿婆髻填埋场产气情况现状调查报告》，对该垃圾填埋场填埋气体产气量进行了气体试验和检测。根据垃圾高度、产气量大小、静压力分布及填埋气体成分的不同，将填埋场划分为三个区域：I 区、II 区、III 区，对现场产气量进行现场测试，分区图见图 3，各导管的测试结果见表 1。

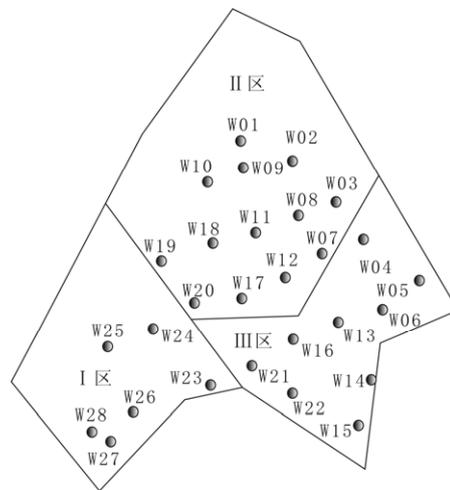


图 3 阿婆髻垃圾填埋场填埋气体实验划分区域图
Fig.3 Experiment zoning map of landfill gas in Po-ji landfill

表1 各气体导排井的实测值
Table 1 The measured value of gas wells

区域	井号参数	气体流速/(m·s ⁻¹)	CH ₄ 浓度/%	均值
区	23	0.00	6.5	气体流速: 0.09 m/s CH ₄ 浓度: 42.8%
	24	0.05	45.7	
	25	0.16	53.6	
	26	0.04	0.0	
	27	0.01	0.0	
	28	0.07	29.2	
	01	0.17	51.3	
	02	0.21	50.0	
区	03	0.35	51.9	气体流速: 0.16 m/s CH ₄ 浓度: 45.1%
	07	0.04	53.1	
	08	0.06	48.0	
	09	0.48	52.1	
	10	0.05	44.7	
	11	0.25	52.3	
	12	0.03	53.5	
	17	0.00	19.8	
	18	0.25	43.5	
	19	0.04	41.0	
	20	0.20	25.3	
	区	4	0.17	
5		0.05	50.4	
6		0.06	45.5	
13		0.06	39.0	
14		0.07	37.6	
15		0.00	46.4	
16		0.15	28.7	
21		0.02	20.7	
22		0.00	29.6	

根据现场实验和计算结果所得,阿婆髻垃圾填埋场三组平行实验获得的产甲烷速率见表2。

表2 产甲烷速率典型值
Table 2 Typical values of methane production rate

区域	平均值			
产甲烷速率/ (10 ⁻⁵ m ³ CH ₄ ·t ⁻¹ ·h)	5.8	10.8	3.5	6.7

由于、三个区难以截然区分开,该垃圾填埋场的历年填埋记录也难以统计得到各区的垃圾填埋量,因此对该垃圾填埋场气体产生现状的评价只能采用表1中数据的平均值。根据资料统计,该填埋场填埋总量为35万t,甲烷产生速率为23m³/h。

根据现场实验结果,将现场实验的各个导气井中甲烷浓度取平均值,甲烷平均浓度为41.2%,则垃圾填埋场填埋气体产生速率为:56m³/h,填埋气体平均组成见表3。

表3 阿婆髻稳定阶段填埋气体产气平均组成
Table 3 Average composition of landfill gas in Po-ji landfill under stable phase

气体	(CH ₄),%	(CO ₂),%	(O ₂),%	(CO) × 10 ⁻⁶	(H ₂ S),%
含量	41.2	29.0	4.8	38	7

2.3 填埋气体利用的可行性分析

规范垃圾填埋场内的气体通过收集设施导出地面后,根据国内外现有的处理和利用技术分为两种:直接燃烧和综合利用。当所收集到的填埋气体没有达到可利用的浓度(20% < ρ(CH₄) < 45%)和流量时,不考虑收集利用,但需要采用导气装置加设密封套管、集中至垃圾填埋气体火炬燃烧的方法;当从导气装置导排出的垃圾填埋气体达到燃烧浓度(ρ(CH₄) > 45%)和流量时,将收集到的气体,经过抽送机送往净化处理设施,进行净化,储存,再经过加压、冷凝后可用于内燃发电或锅炉生产蒸汽,发出的电并入电网,蒸汽则送至用户^[7]。

根据上述可知,该垃圾填埋场中每根垂直排气竖管的产气速率和甲烷浓度均不一样,而且差别较大,场中的28根导气管的甲烷浓度范围为0%~53.6%,气体流速范围为0~0.48m/s,甲烷产生速率为23m³/h,甲烷平均浓度为41.2%,填埋气体产生速率为56m³/h。

该垃圾填埋场填埋气体的产气量较小,甲烷浓度变化范围在20%~45%(均值41.2%)。虽已无利用价值,但可以用直接燃烧的方式处理无序排放状态垃圾填埋气体。

2.4 填埋气体处理技术的选择

深圳市玉龙坑垃圾填埋场是早期将垃圾填埋气体收集后集中燃烧的场址之一,由于其设计时没有安装排气管,垃圾填埋后,所产生的气体自然排出,为了减少其危险程度,之后才增设了排气设施,并且将气体集中收集点燃。而阿婆髻垃圾填埋场的情况与玉龙坑垃圾填埋场的情况较为相似,因此,在垃圾填埋气体收集系统可以借鉴深圳市玉龙坑垃圾填埋场的填埋气体收集系统。

填埋场内产生的气体,借压差流向特定的垂直导气井,气体从导气井将气体导排到地面后,通过横向气体收集管引至集气柜,气体由集气柜输往气体收集站。填埋场垂直导气井每隔20~50m设置一个,每3~5个收集井设置1个集气柜,组成一组输送系统,每个集气柜设有独立的管道接至收集站。集气柜可以相互连通,以适应故障和检修。为有效地抽出管中气体,导气管应保持约200mbar(即2m水柱)的负压,并以此考虑管道设计和设备的选择。

设计废气收集系统示意图见图4^[8]。

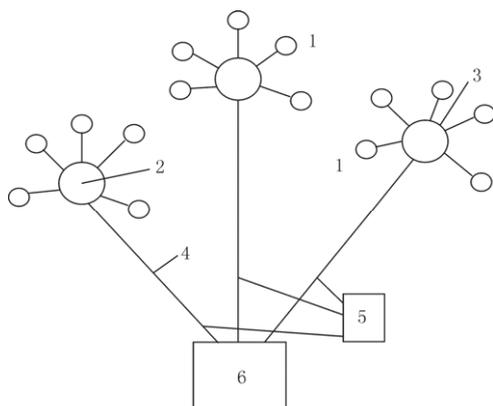


图4 垃圾填埋气体收集系统示意图

Fig.4 The schematic diagram of collection system for landfill gas

注：1-收集井（竖井）；2-集气柜；3-沼气收集管；4-收集管；5控制站；6-收集站

当填埋场内的气体通过收集设施导出地面后，需安装垃圾填埋点燃装置，即火炬。火炬是垃圾填埋场一种安全设施，同时也是减少温室气体排放、降低恶臭和异味、改善周边环境的一种重要手段。火炬主要部分组成：燃烧器本体（进气分配管、喷嘴组、排污管路等）焚烧塔（底座、塔体、窥视孔、防雨罩等）点火系统（液化气罐、电子点火器、高压包、火焰探头等）和安全保障及控制系统。火炬的基本技术参数见表4。

表4 火炬基本技术参数

Table 4 Basic technical parameters of the torch

序号	项目	设计值
1	处理能力	300 m ³ /h(N)
2	负荷变化范围	30 ~ 300 m ³ /h(N)
3	甲烷体积含量	30% ~ 70%
4	离开燃烧塔外部 1 m 处的噪音	55 dB

火炬的燃烧器根据填埋场垃圾填埋气体产生速

率的不同而规格有所差异。根阿婆髻垃圾填埋场的产气速率情况，选择一个适当的燃烧器（如 30~300 m³/h 的燃烧器），类比同类型规模相当的垃圾填埋气体点燃装置，其安装费用约 60 万元，包括火炬系统、控制测量仪表、阀门与辅材等。

4 结论与建议

目前国内外对于垃圾填埋气体的处理利用方式主要为直接燃烧、发电、民用燃料和汽车燃料。本文通过对深圳市宝安区石岩阿婆髻垃圾填埋场的预测产气量、现场实验的数据分析，结合国内外对于垃圾填埋气体的处理利用方式，认为该垃圾填埋场填埋气体可以采用直接燃烧的处理方式进行处理，但已无利用价值。为了防止火灾和爆炸的发生，建议应对该垃圾填埋场填埋气体采用直接燃烧法处理，并安装与其产气速率相匹配的点燃装置。

参考文献：

- [1] 赵由才, 龙燕, 张华. 生活垃圾卫生填埋技术[M].北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 光明, 邹安华, 邢奕, 等. 城市生活垃圾卫生填埋场工艺设计及存在问题探讨[J]. 环境工程, 2007, 25(5): 67-69.
- [3] 肖衡林, 肖斌, 张苏杭. 复合土合成材料在垃圾填埋场中的应用[J].环境工程, 2007,25(1): 56-60.
- [4] 时景丽, 王仲颖, 胡润青, 等. 我国垃圾填埋场填埋气体排放和回收利用现状分析[J].中国能源, 2008(8): 26-28.
- [5] 刘富强, 唐薇, 聂永丰. 城市生活垃圾填埋场气体的产生、控制及利用综述[J]. 重庆环境科学, 2000, 22(6): 72-76.
- [6] 陈金平. 福州市红庙岭生活垃圾填埋场气体产生和收集的探讨[J]. 能源与环境, 2006(6): 44-45
- [7] 阮建国. 深圳下坪垃圾卫生填埋场沼气收集与利用方式研究[J]. 建筑热能通风空调, 2003, 22(1): 43-45.
- [8] 顾建良, 李霞. 垃圾填埋场气体的收集与处理[J]. 燃气与热力, 1998(2): 18-20.
- [9] Saiwan C, Krathong S, Anukulprasert T, et al. Nano ~ Titanium Dioxide Synthesis in ATO Microemulsion System with Salinity Scan[J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 2004, 37(2): 279-285.
- [10] Zheng Y, Shi E, Cui S, et al. Hydrothermal Preparation of Nanosized Brookite Powders[J]. J. Am. Ceram. Soc., 2000, 83: 2634-2636.
- [11] 施尔畏. 水热法的应用与发展[J]. 无机材料学报, 1996, 11(2): 194-197.
- [12] 赵文宽. 高热稳定性锐钛型 TiO₂ 纳米粉体的制备[J]. 无机材料学报, 1998, 13(4): 607-613.
- [13] Moulik S P, Paul B K. Structure, dynamics and transport properties of microemulsions[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 1998(8): 99-195.
- [14] 施尔畏, 李春忠, 房鼎业, 等. 二氧化钛超细粒子的制备及其光催化降解古酚溶液[J]. 华东理工大学学报, 1998, 24(3): 291.
- [15] 王玉龙, 李长德, 张银生, 等. 纳米技术与纳米塑料[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2002: 44.
- [16] 王世敏, 许祖勋, 傅晶, 等. 纳米材料制备技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 35-50.
- [17] 徐惠, 孙涛. 纳米二氧化钛制备技术的研究进展[J]. 菏泽学院学报, 2007, 29(2): 59-62.

(上接第 297 页)