

“生物反应器型”垃圾填埋技术特点和应用前景

李秀金

(北京化工大学环境工程系)

摘 要: 分析了常规卫生填埋场(CL)的缺点,对“生物反应器型”垃圾填埋场(BL)的结构特点进行了简要的描述,并以美国加利福尼亚州“生物反应器型”垃圾填埋技术研究项目为例,对该技术的生物降解特性进行了介绍。目前已获得的试验结果显示,由于增加了渗滤液的循环、垃圾水分的控制等措施,使得BL的生物消化能力明显提高,与常规无控制的卫生填埋方法CL相比,BL的垃圾填埋气产量可提高75%,体积减少量增加约4倍,且渗滤液稳定快,一般不需渗滤液处理设施。最后,对我国垃圾处理技术的现状进行了简要的分析,说明BL技术对我国有良好的借鉴作用和较好的应用前景。

关键词: 垃圾; 卫生填埋场; 生物反应器; 填埋气; 渗滤液

中图分类号: X71; X799.3

文献标识码: B

文章编号: 100226819(2002)0120111204

目前,城镇垃圾的处理主要有3种方法,即卫生填埋、焚烧和堆肥。由于卫生填埋场构筑简单、建设和运行费用低,还可生产填埋气,因而,是目前国内外普遍应用的主要垃圾处理方法,如美国的垃圾填埋率为75%,英国为88%^[1,2]。

但是,现行传统的卫生填埋场除了占地面积大之外,还具有降解过程缓慢、稳定化时间长、降解不完全、产气率低、渗滤液成分复杂、难以处理等缺点。其主要原因是,传统的卫生填埋场中,垃圾的生物降解是一个无任何控制的自然降解过程。由于垃圾组成成分复杂,物理、化学和生物特性差异很大,以及垃圾填埋场结构设计上的问题,其无法为微生物提供适宜的生长条件,垃圾的生物降解过程因而受到限制。为了解决这些问题,20世纪90年代,美国率先开展了“生物反应器型”填埋技术的研究,称作Bioreactor Landfill(以下简称BL)。生物反应器型填埋技术与传统卫生填埋场的本质不同在于其生物降解过程是加以控制的。一个填埋单元就是一个小型的可控“生物反应器”(Bioreactor)。许多这样的填埋单元构成的填埋场就是一个大的生物反应器。它具有生物降解速度快、稳定化时间短、填埋气产气量高、收集完全,一般无需渗滤液处理设施等特点。据美国环境保护署(EPA)估计,若美国有一半的垃圾填埋场应用BL技术,则每年可多生产相当于36 000 000桶石油的能量^[3]。

在EPA和加州有关部门的支持下,加州YOLO县于1996年开始对BL填埋技术进行了较大规模的研究,建立了两个填埋量皆为9 000 t的试

验填埋场,一个为常规卫生填埋场(CL),另一个为“生物反应器型”填埋场(BL)。本文简要地描述一般“生物反应器型”垃圾填埋场的结构特点,介绍了YOLO县BL技术研究项目的部分试验结果^[3],为国内从事垃圾处理技术研究的同行提供国外最新技术信息,并供借鉴和参考。

1 BL 结构特点

与常规卫生填埋场明显的不同,除“生物反应器型”(BL)垃圾填埋场增加了液体添加和水分调节系统外,它的填埋气收集系统、渗滤液收集系统和覆盖方法也有明显的差别。

1.1 液体添加和水分调节系统

城镇生活垃圾成分复杂多样,这有利于满足厌氧微生物对各种养分的需求。而美国不少地区的垃圾含水率较低,一般在15%~20%,不能满足微生物生命活动对水分的需要。此外,由于垃圾组份的复杂性、填埋位置的不同等,造成填埋场中各处的水分分布不均。在水分不足的地方,厌氧微生物的活动受到限制甚至完全停止活动,垃圾的降解就不完全、降解速率会变慢、产气量也会明显降低甚至完全停止产气。通过控制使垃圾内部的水分足量、均布,以最大限度地满足厌氧微生物的生长需要,可加快垃圾的降解速率、提高垃圾的降解量^[4,5]。研究表明,保持填埋场内部垃圾含水率在40%~45%对厌氧微生物的生长活动最为适宜^[3]。采用BL系统即在填埋垃圾的同时,在每个操作单元内铺设渗滤液回流管道,并在管道上每隔一定的间隔设置一个出水控制阀和水分传感器。将各操作单元内的回流管道与主管道连接,从而形成了一个渗滤液回流与布水网络系统。管道上的水分传感器用于测量各处垃圾的含

收稿日期: 2001210223

作者简介: 李秀金(1965-),男,博士,副教授,北京化工大学环境工程系,100029。主要从事污水和固废处理方面的教学与研究。Email: Lxiujin@hotmail.com

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

水率,如某处含水率低于设定值,控制计算机则操作打开水泵和该处控制阀,把主管道中的渗滤液泵入该处以调整该处水分,以保证整个填埋场内各处垃圾的含水大致均布并尽可能达到设定值。

1.2 填埋气收集系统

填埋气的产生是垃圾厌氧消化降解的结果,填埋气产出速率、产量和甲烷含量是反映垃圾生物降解速率和降解程度的重要指标。为避免填埋场内部气体的积聚和气压的升高,产生的填埋气需要及时完全的排出,以增加填埋气得率和填埋气进一步地产生,在BL的内部铺设与液体添加系统相似的填埋气抽取管道网络系统。该系统有两个特点,一是通过气体压力传感器与抽气泵配合,保持导气管道内始终处于微负压状态,以加快填埋气的抽取;二是每个操作单元的面上先铺盖一层切碎的废旧轮胎,然后再加覆土层,在抽气管道周围充填的也是切碎的废旧轮胎。切碎的废旧轮胎的透气性好,便于填埋气的迁移和抽取,同时还解决了废旧轮胎的处置问题。从而使填埋场内部产生的填埋气得到几乎百分之百的收集。

1.3 渗滤液收集和监测系统

BL的底部是常规的防渗系统,但在最后一层衬里上铺设了一层约0.5m厚的切碎的废旧轮胎,以聚集产生的渗滤液在该废旧轮胎层里,其水位数据通过传感器监测并被传到控制计算机里。当需要时,渗滤液就会通过回流管道被水泵抽出用于调节填埋场内部垃圾的水分。被循环的渗滤液在自上而下的流动过程中,经过垃圾的吸附、过滤等生物、物理和化学过程,其自身可得到净化处理。垃圾实际上可看作是一个复合“净化反应器”。为保持40%~45%的垃圾含水率,BL的渗滤液常需全部循环,有时还需额外添加水分。因此,BL一般不需渗滤液处理设施。因而可节约填埋场投资和后期管理费用。

2 BL 生物降解特性

2.1 填埋气产量和甲烷含量

填埋气产量和填埋气中甲烷含量是反映填埋场内垃圾降解特性的重要指标。填埋气产量和甲烷含量越高,反映垃圾降解量越大,降解也就越完全。常规卫生填埋场CL和生物反应填埋场BL的年产气量和1996~1999年间累积产气量示于图1、图2^[3]。可以看出,CL的年产气量在前两年有较大幅度的增加,之后变化不大。如1997年的产气量为 $4.2 \times 10^5 \text{ m}^3$,1998年为 $4.3 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。说明此时无控制的常规卫生填埋场内厌氧微生物的活动受到了限制。BL的年产气量不仅普遍高于CL的,而且始终保持

持续增长趋势,随着时间的延长,填埋气的年产量也越来越高。说明有控制的生物反应填埋场内厌氧微生物的活力强、消化降解速率快,BL为微生物提供了较好的生长环境。由于BL的年产气量一直高于CL的,其累积产气量明显高于CL的(图2)。BL三年累积产气量达 $1.92 \times 10^5 \text{ m}^3$,比CL的提高了75%。随着时间的延长,两者填埋气的甲烷含量变化不大。但BL填埋气中甲烷含量为53%~54%,CL为45%~47%,前者比后者平均高15.1%(图3)。这意味着对同样体积的气体,BL的填埋气含有较高的能量。

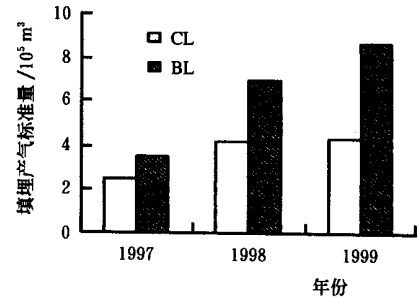


图1 CL和BL填埋气年产量对比

Fig. 1 Comparison of BL and CL landfill gas production

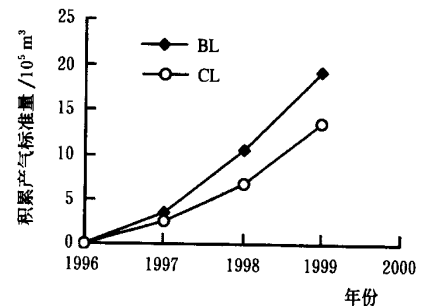


图2 1996~1999年间CL和BL累积产气量对比

Fig. 2 Comparison of BL and CL accumulated landfill gas production during 1996~1999

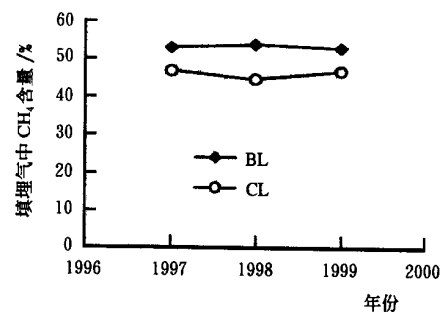


图3 CL和BL填埋气中CH₄含量的变化

Fig. 3 Change of CH₄ content in CL and BL landfill gas

2.2 体积减少量

随着垃圾的降解,填埋场的体积会不断减少,而且,垃圾降解量越大,填埋场体积减少也就越多。填埋场体积的缩小和变化快慢是垃圾消化降解程度和

降解速率的另一具体反映。1996~ 2000 年间,CL 和 BL 体积变化的测量结果见图 4^[3]。随着时间的延长,两者的体积皆逐渐减少。但 CL 体积的减少量明显低于 BL 的,且随着时间的推移,CL 体积减少量变化不大,而 BL 的体积一直保持较大的减少趋势。至 2000 年初,在约三年半的时间里,BL 的体积减少量达 16%,而 CL 的只有 3.4%,前者约为后者的 5 倍。这进一步说明,由于较好的环境条件控制,BL 的生物降解能力和速率都明显高于 CL。BL 较高的体积减少量和减少速率具有重要的实际意义。它可延长填埋场的使用寿命、缩短填埋场稳定时间。若按 BL 的体积减少速率是 CL 的 5 倍计算,若 CL 稳定时间为 30~ 50 年,则 BL 只需 6~ 10 年即可达稳定状态。填埋场稳定时间短可减少填埋气的逃逸机会,减少填埋气对大气的污染。同时,垃圾体积减少越多,填埋场可容纳的垃圾量越大,填埋场的使用寿命延长;这样的话,消纳同样数量的垃圾,所需填埋场的用地就可减少。初步试验数据表明,BL 的消纳能力和使用寿命比 CL 高 12.6%;或者说,消纳同样数量的垃圾,BL 所需填埋场占地可比 CL 减少 12.6%。这对人口密集、土地紧张的大城市和地区是有重要意义的。

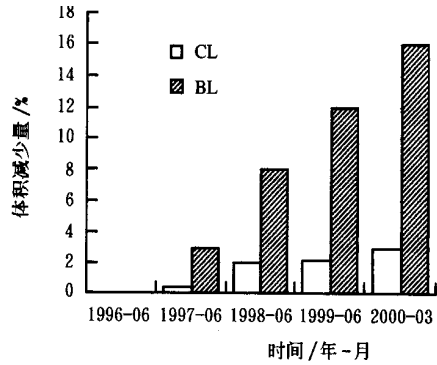


图 4 1996~ 2000 年间 CL 和 BL 体积减少量的对比
Fig. 4 Comparison of CL and BL volume reduction during 1996~ 2000

2.3 渗滤液特性

CL 的渗滤液需要专门的污水处理设施进行处理,以避免其对地下和地表水的污染。CL 渗滤液的处理费用在整个填埋场后期管理费用中占有较高的比例,因而增加了 CL 的整个运行费用。BL 的渗滤液作为调节用水被不断地循环到垃圾内部。为维持垃圾内部 40%~ 45% 的水分,除了渗滤液需全部循环外,通常还需额外补充水分。因此,BL 一般不需要渗滤液处理设施,因而可节约投资和后期运行费用。此外,堆埋的垃圾实际上就相当于净化反应器,当渗滤液通过其中时,渗滤液中污染成分会由于各种复杂的生物、物理和化学反应而得到去除。仅需一

年的时间,BL 渗滤液中的 COD、BOD、TDS 和 TOC 即达稳定状态,去除率分别达 89.0%、98.4%、63.4% 和 89.0% (图 5 和 6)。渗滤液的 pH 值也由初始时的 5.8 高到一年后的 7.0,说明 BL 的渗滤液很快即呈中性(图 5)。BL 渗滤液中金属离子的去除率和去除速率也很高,在一年的时间里,铁、锰、钙的去除率即达 99.9%、97.5% 和 85.9%,渗滤液中的铅一直未检出(图 7)。

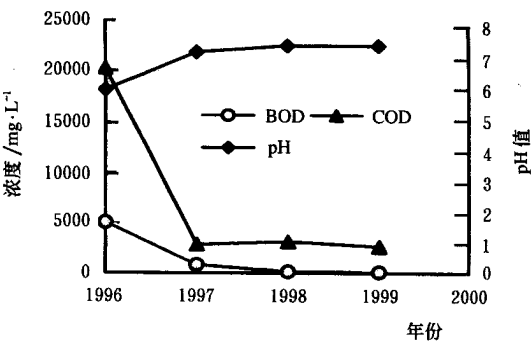


图 5 渗滤液 pH、COD 和 BOD 随时间的变化
Fig. 5 Changes of pH, COD and BOD concentration in BL leachate with time

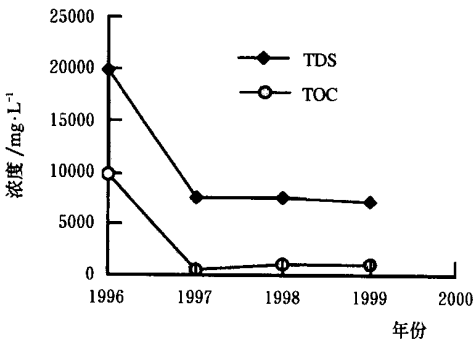


图 6 渗滤液中 TDS 和 TOC 随时间的变化
Fig. 6 Changes of TDS and TOC concentrations in BL leachate with time

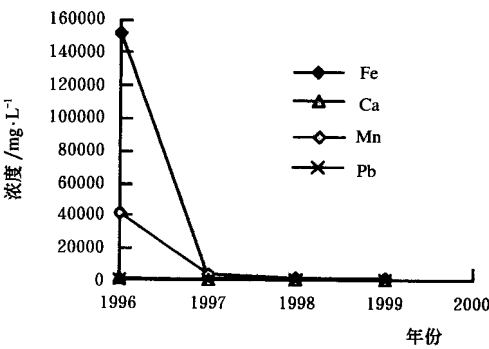


图 7 渗滤液中金属离子浓度随时间的变化
Fig. 7 Changes of metal ion concentrations in BL leachate with time

3 应用前景

我国是世界上人口最多的国家,同时也是垃圾

生产大国。据估计,我国城市 2000 年产生生活垃圾已达 1.4 亿 t^[6]。目前,达到真正意义上的、符合环境卫生要求处理的垃圾只有 3% 左右,大部分垃圾仍是通过简单的“堆填”来消纳^[7]。垃圾的“堆填”实际上是垃圾在某处的“存放”,它通常既不设防衬层,也无渗滤液收集处理和填埋气利用设施,因而,并没有改变垃圾对环境的污染状况。随着我国社会经济的发展 and 人们生活水平的提高,对城市生活环境的要求越来越高,需要寻求新的垃圾处理技术。就目前垃圾处理的 3 种主要方法而言,焚烧由于投资大、运行费用高、烟气处理困难,在我国的应用受到了很大的限制;堆肥也由于我国的垃圾大多没有分类收集和存放,导致堆肥产品品质低下,推广困难;卫生填埋由于技术简单、投资少、运行和管理费用低,可以预见在今后相当长的一段时间内将是我国垃圾处理的主要方法。

“生物反应器型”垃圾填埋技术是传统的卫生填埋技术的最新发展。它除了具有一般卫生填埋场的垃圾贮留功能外,还有较强的生物降解功能。它由于增加了渗滤液的循环、垃圾水分的控制等措施,为微生物提供了较好的生长环境,微生物的活力增强,垃圾的降解量和降解速率得到了明显的提高。与常规无控制的卫生填埋方法 CL 相比,BL 具有较好的动力学特性,包括可获得较高的填埋气产量和甲烷含量,消纳能力和使用寿命增加,渗滤液稳定快,无需渗滤液处理设施等,代表了当今垃圾填埋技术的发展方向,BL 对我国将有良好的应用前景。

4 结 语

垃圾填埋技术已从传统的以贮留垃圾为主向多功能方向发展,即一个垃圾填埋场应同时具有贮留垃圾、隔断污染、生物降解和资源恢复等多个功能。近年来,垃圾填埋场生物降解和资源恢复功能受到

了越来越多的重视。“生物反应器型”垃圾填埋技术代表了这方面的最新发展,它通过独特的设计和合适的控制,把垃圾填埋场变成了“生物反应器”,可明显提高垃圾的生物降解速度和效率,提高垃圾的资源化、无害化水平。我国的垃圾处理需要引进新的技术,因此,有必要结合我国垃圾组成的特点,对该技术进行进一步的研究,并最终达到实际应用的目的。

[参 考 文 献]

- [1] George Tchobanoglous, Hillary Theisen, Samuel Vig2 il Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues [M]. McGraw Hill, 1993
- [2] Roger T. H. The Practical Handbook of Composting Engineering[M]. Lewis Publishers, U.S.A. 1993
- [3] Yazdani R, Augenstein D, Pacey J. U. S. EPA Project XT: Yolo county's accelerated anaerobic and aerobic composting project[A]. In: Proceedings of California Integrated Waste Management Board Symposium on Landfill Gas Assessment and Management[C], LA, CA. U. S. A. 2000
- [4] Augenstein D, Yazdani R, Dahl K, et al Yolo county controlled landfill project[A]. In: Proceedings of California Integrated Waste Management Board Symposium on Landfill Gas Assessment and Management[C], Ontario, CA. U. S. A. 1998
- [5] Moore R, Dahl K, Yazdani Hydraulic characteristics of solid waste: findings of the Yolo county bioreactor landfill project [A]. Thirteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management[C]. Philadelphia U. S. A. 1997
- [6] 聂永丰. 三废处理技术手册- 固体废物卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000
- [7] Li J, Bai J, Overend R. Assessment of Biomass Resource Availability in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000

temperature Effects of environmental temperature on body temperature and heart rate are very significant, effect of environmental humidity on body temperature is significant, environmental humidity makes little effect on heart rate of pig

Key words: ambient temperature; relative humidity; physiological parameters; growing pigs

· Rural Energy, Agricultural Waste Treatment and Environmental Protection Engineering ·

Fuzzy Hierarchy Comprehensive Evaluation of Energy-saving Projects of Township Enterprises With Computer (103)

Xi Xim ing¹, Qiu Ling² (1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northw estern Science & Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Arid & Semiarid Agricultural Research Center, Northw estern Science & Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Using the method of multi2aim fuzzy analytical hierarchy process, the indexes system and the judgement model of comprehensive evaluation of the energy2saving projects of township enterprise were established. The author studied the subordinate function, the numerical method to conform the subordinate degree of the judgement indexes and the method of combination operation. The evaluation software system on computer was designed by using Visual Basic (6.0). Through the typical cases, the method and the system were verified in application. The result indicated the established indexes system reflected the integrated effect of energy2saving project in impersonality and reality through three aspects of technology, economy and social environment. The established judgement model reflected the characteristics of fuzzy, integration and multi2hierarchy in comprehensive evaluation to energy2saving project, also offered the scientific basis for evaluating the overall excellence or badness of the project and investment decision2making.

Key words: energy2saving project; fuzzy comprehensive evaluation; township enterprise

Pyrolysis Kinetics of Rice Straw (107)

Zhao Ming, Wu Wenquan, Lu Mei, Wei Xiaoyang (College of Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The pyrolysis of biomass is one of the most promising renewable forms of future energy. The optimal parameters of pyrolysis and the proper equipment design require the knowledge of kinetics. In this paper, Thermogravimetric Analysis (TGA) was used to study the thermal degradation of rice straw at different heating rates (10, 15, 20, 30 2/min) under a nitrogen atmosphere. The kinetic model for first2order paralled linear reaction is provided and details are presented such as weight2loss, temperature and kinetic data obtained during the pyrolysis of rice straw.

Key words: biomass; rice straw pyrolysis; kinetic model; Thermogravimetric Analysis (TGA)

Characteristics of Bioreactor Landfill Technology and Its Future Application (111)

Li Xiujin (Department of Environmental Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The disadvantages of conventional Sanitary Landfill (CL) were analyzed, and the structural characteristics of Bioreactor Landfill (BL) were described, and the biodegrading characteristics of BL technology was introduced by taking a BL research project conducted in California as an example. The preliminary experimental results showed that the biodegradation capability of BL was strongly enhanced due to the leachate recirculation and moisture content adjustment. As compared with CL, BL could increase 75% landfill gas amount and approximately 42fold landfill volume reduction, and faster leachate stabilization. Finally, the current status of refuse treatment technologies in China was analyzed, and the potential application of BL technology in China was investigated as well.

Key words: refuse; sanitary landfill; bioreactor; landfill gas; leachate

K Cycle of Rubber-Tea-Chicken Agro-Forestry Model in Tropical Areas of China (115)