准好氧填埋工艺温度变化特性研究

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100;

2 中国环境科学研究院 固体废物污染控制研究室,北京 100012)

[摘 要] 根据准好氧填埋理论,构建了大型模拟垃圾填埋场,并对填埋体温度、CH₄O₂等参数进行了长期 监测。结果表明,准好氧填埋场中温度分布规律为上层>中层>下层,平均温度分别为 73,69 7 和 55.4 ;填埋温 度参数与填埋体中氧气浓度存在着密切的相关关系;填埋体下层为厌氧环境,温度为 54.8~58.6 ,属于高温厌 氧发酵范围,甲烷浓度为 25%;将填埋装置自身产生的渗滤液回流后,堆体中的温度显著提高,与回流清水的填埋 处理相比,平均温度高出 5.4~11.7 ,更有利于有机质的快速分解和填埋场的快速稳定化。

[关键词] 准好氧填埋; 固体废物处理; 环境工程; 填埋工艺

[**中图分类号**] X705 [**文献标识码**] A

垃圾填埋场的稳定化过程主要是微生物对垃圾 中有机质的分解转化过程。温度作为微生物活性大 小的指标,对填埋场产气,渗滤液水质及垃圾稳定过 程等均具有重要影响[1]。在适宜的温度范围内,温度 越高, 甲烷菌产气效率越高, 垃圾中的有机组分降解 越快,渗滤液的挥发性随之增大,与此同时也能够加 速渗滤液中有机组分的降解,从而减少渗滤液后续 处理的压力[2-3]。通过强制通风供氧提高温度、加快 填埋场稳定化进程的填埋工艺,已经在国外得到应 用^[4]。 了解填埋场中温度的变化规律并对其加以控 制,一方面可为填埋场中微生物的生长、繁殖提供一 个较好的外部环境,从而提高微生物的活性,使其对 有机物的降解更快,进一步缩短稳定化所需要的时 间。另一方面通过了解垃圾填埋处理过程中温度的 变化规律,有利于深入探讨温度与微生物种群,沼气 产量、堆体稳定程度、封场时间等工程参数之间的相 关关系。

根据填埋方式的不同,填埋工艺可分为厌氧填 埋、好氧填埋和准好氧填埋,受填埋方式的影响,填 埋场中温度的变化规律也各不相同。Crutcher等^[5] 和 George 等^[6]研究了大型厌氧垃圾填埋场中的温 度变化规律,Rees^[7]讨论了环境温度对堆体中不同 深度温度的影响过程,Kenneth等^[8]和Robert等^[9] 对填埋场产气的最佳温度进行了探讨。国内关于垃 [文章编号] 1671-9387(2006)06-0085-06

圾填埋场温度变化方面的研究较少,研究内容主要 集中在温度对产气效率的影响方面^[10-11]。准好氧填 埋是一种新型的垃圾填埋工艺,其利用填埋层内外 的温度差和渗滤液收集管道的不满流设计,使空气 自然通入,保证填埋场内部存在一定的好氧区域,以 加快垃圾稳定化进程,降低渗滤液中污染物浓 度^[12-13]。目前,对于准好氧填埋工艺的研究主要集中 于填埋结构对渗滤液水质和产气的影响上^[14-15],但 对准好氧填埋场中温度变化规律的研究尚未见相关 报道。

本试验在准好氧填埋理论的基础上,结合生物 反应器技术,构建了大型模拟垃圾填埋试验装置,并 对其温度、填埋气进行长期监测,以期揭示准好氧垃 圾填埋场中温度的变化规律,为准好氧填埋技术的 深入研究提供基础参数。

1 材料与方法

1.1 填埋试验装置的建立

模拟填埋场规模 21 m × 3 8 m × 6 0 m (图 1), 填埋场底先铺 HDPE (高密度聚乙烯) 膜, 然后在膜 上放置一直径为 20 cm 的渗滤液收集管, 收集管周 围用碎石覆盖, 在收集管的 3 个等分处安装直径为 15 cm 的竖导气管, 竖导气管周围用石笼保护, 以利 于导气, 然后往填埋场内填埋生活垃圾并进行压实。

- [作者简介] 李 帆(1980-), 男, 河南驻马店人, 在读硕士, 主要从事固体废物处置研究。Email lifan4318@163 com
- [通讯作者] 张增强(1963-), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 主要从事固体废弃物处置与利用研究。E-mail: zhangzq58@126.com

^{* [}收稿日期] 2005-12-28

[[]基金项目] 国家"863"高技术研究与发展项目(2001AA 644010)

装填垃圾过程中,当垃圾倾倒至 1.5,30和45m 高度时,压实并进行采气点和温度检测探头的铺设, 其中每层 4个温度探头沿填埋场长度等距离分布, 在填到 5.5 m 高度时铺设模拟降雨(回流)装置,最 后用塑料薄膜代替粘土覆盖层实现密封效果。



图 1 填埋场结构示意图

Fig 1 Sketch of sem i- aerobic landfill

1.2 分析方法

填埋垃圾为江西省九江市生活垃圾,所填垃圾 量约 250 t,其理化性质见表 1。封场 1 周后开始各项 指标的监测。填埋场中温度的测量利用温度在线监 测软件LANCE TempV IEW 来实现;填埋场上、中、 下 3 层每层均布有 27 个气体采样点,并用硬质导管 引出填埋场外,利用便携式四组分气体红外分析 仪^[16]测定填埋气的成分和浓度。文中所采用气体的 体积分数均为 27 个采样点数据的加权平均值,具体 计算方法见文献[17]。试验前期气体采样频率为每 周1次,在垃圾进入相对稳定期后,每2周进行1次 采样分析。

表 1 填埋场垃圾的组分与物理性质

	1	1 1	
组分 Composition	质量分数/% Content	组分 Composition	质量分数/% Content
 厨余 Kitchen garbage	50 84	砖瓦Waste tile	3.83
草木Waste ruderal	2 30	玻璃Waste glass	1. 55
纸类Waste paper	4.56	金属W aste m etal	0 18
布类Waste fabric	1. 20	灰土W aste dust	26 77
塑料Wasteplastic	8 74	容重/(t · m ⁻³) W eight per cubic metre	0 52

Table 1 Components of experimental municipal solid waste

为研究回流对填埋场温度的影响,进行了一组 作」 对照试验,在封场后 1~16 周进行回流操作,具体操

作见表 2。

表 2 各填埋场试验控制条件

Table 2 Different operations of two landfills

处理编号 D ispo se sym bo l	填埋结构 L andfill structure	回流液 Component	回流量/m ³ Volume of recirculation	回流频率/(次・周 ⁻¹) Frequency of recirculation
A	准好氧 Sem i-aerobic	清水Water	1	1
В	准好氧 Sem i-aerobic	自身渗滤液Leachate	1	1

2 结果与分析

2.1 填埋场中温度层次变化与氧气浓度的关系

2 1.1 温度层次变化 由图 2 可以看出, 准好氧填
埋场中温度分布呈现上层> 中层> 下层的规律, 上、
中、下 3 层的平均温度分别为 73, 69, 7 和 55, 4 ,

各层温度均经历一个先升高后降低的过程。上层温 度于第4周达到最高温度78 ,然后以051 /周 的速度逐渐下降;中层于第6周达到最高温度73 ,然后进入持续降温阶段,温度下降速度为040 /周;下层最高温度为586 ,于第4周开始以 032 /周的速度下降。 2 1.2 氧气浓度层次变化 由图 3 可见,填埋上层 中氧气浓度从最初的 1.5% 迅速升高,于第 10 周开 始基本保持在 15% 左右; 中层氧气浓度相对上层较 低,于第6周开始基本稳定在35%左右;下层氧气 浓度基本上未超过1%。填埋初始阶段,垃圾中易分 解物质进行了短暂的好氧分解,使得填埋过程中垃 圾内夹带的氧气迅速被消耗,整个填埋场中氧气浓 度较低。随着空气通过穿孔导气管向填埋场中扩散。 各层中氧气的浓度开始增加。试验进行到第10周左 右,准好氧结构基本稳定,各层中氧气浓度也趋于恒 定。总体上氧气浓度层次变化表现出上层> 中层> 下层的规律,这是由于填埋场中垃圾受到重力沉降 作用,孔隙率发生改变,空气在下层难以扩散,所以 氧气浓度低于 1%,基本为厌氧状态;上层垃圾相对 较松散,氧气浓度较高,保持在15%;中层则介于 上、下层之间、氧气浓度为35%。



图 2 填埋场中温度的层次变化 ->-.上层;-□-.中层;-△-.下层 Fig. 2 Variation of temperature in semi-aerobic landfill -→-.Upper layer;-□+.Middle layer;-△-.Under layer

2 1.4 环境温度对堆体的影响 本试验条件下,外 界环境温度由冬季的7 上升到夏季的28 ,变化 波动较大(图4),但对垃圾填埋体内各层的温度基 本没有影响。Rees^[7]的研究结果表明,随着填埋场深 度的增加,垃圾层中的温度受外界气温的影响逐渐 变小,当填埋深度大于2 1 m 时,其温度受场地温 度影响不明显;当深度大于4 7 m 时,其温度可场地温度影响不明显;当深度大于4 7 m 时,其温度不受 场地温度影响。本试验中由于好氧分解所产生的高 温,填埋体的中、上层温度最少高出外界40 以上, 使得环境温度变化对其影响可以忽略;而下层垃圾 因填埋较深,基本不受外界影响。该结果与Rees的 次的温度差异可能是由氧气浓度在不同层次的空间 变化特性引起的。由图 2 和图 3 可见,填埋场上层中 好氧微生物对垃圾中有机质的降解起主导作用,有 机质分解产生热量导致温度迅速升高,达到最高温 度 78 。一般来说,高温菌最适宜的温度是 50~60 ,最高耐受温度为 70~85 ^[18],当温度超过 65

时,高温菌生长受到过高温度的抑制活性降低,有 机质的分解变慢,同时垃圾中易分解的蛋白质和糖 类迅速被微生物分解,剩下纤维素等难降解的物质, 所以上层堆体中温度在经历短暂的上升阶段后进入 降温阶段。中层同时存在着好氧和兼性厌氧分解,使 得中层温度变化较为平稳且总体低于上层。下层垃 圾基本处于厌氧状态,所以温度较低,平均温度分别 低于中、上层 14 3 和 17.6 。综上所述,在填埋场 的上、中、下 3 层内,温度的层次变化受到各层中氧 气浓度的影响,氧气浓度越高温度越高。





研究结果基本一致。

2.2 温度对填埋气浓度变化规律的影响

本试验中由于填埋结构的影响, 堆体中甲烷浓 度呈现出下层>中层>上层的规律(图 5)。随着上 层堆体中好氧环境的逐渐形成, 甲烷浓度从填埋最 初的 6 3% 迅速减少, 从第 10 周开始低于 0 8%, 平 均浓度仅为 0 3%。中层兼有厌氧和好氧的环境, 甲 烷浓度处于较低水平, 基本维持在 6% 左右。下层处 于厌氧环境, 有利于甲烷的产生, 因此甲烷浓度随时 间呈现出缓慢上升趋势, 大致可分为 2 个阶段: 从填 埋初期的 6 1% 到第 15 周的 23 5%, 其上升速率约

2 1.3 温度与氧气浓度的关系 填埋场中不同层

本保持在 25% 左右。





产甲烷的过程即厌氧发酵过程,其与温度有着 密切的关系,厌氧发酵通常在2个温度范围内微生 物代谢速度会达到高峰,即位于35~38 的中温发 酵和50~65 的高温发酵^[19];但也有研究^[89]表 明,产甲烷的最适宜温度为41 。2种结论的不同 主要是由垃圾中有机组分含量和含水率等差异引起 的。准好氧填埋结构中,中、上层垃圾中甲烷浓度低.

一方面是由于受到好氧环境的影响(图 3),另一方 面与过高的温度有关。选取离通风管道较远的采气 点进行分析结果表明,在中层氧气浓度低于 1% 的 厌氧区域,甲烷浓度均低于 20%,而下层对应位置 的采气点,甲烷浓度可高达 30%~40%。这一现象 表明,同样是厌氧区域,下层甲烷浓度明显高于中 层。这是因为填埋场中下层的温度 54.8~58.6 , 属于高温发酵范围,而中层最低温度为 66.3 ,平 均温度高达 69.7 ,远远超出高温发酵的最高温 度。过高的温度将抑制产甲烷菌的活性,导致产气效 率降低^[5]。传统厌氧填埋场中温度一般较低,约为 30~50 ,甲烷浓度可达 50%~70%^[20],而本试验 中下层甲烷浓度仅为 25%,可见温度过高对产气过 程有较大影响.

2.3 渗滤液回流对填埋层温度的影响

渗滤液回流技术是指将不经任何处理或略加处 理的渗滤液直接回流入垃圾层,利用垃圾层的"生物 滤床"作用,经一系列物理、化学和生物作用降低渗 滤液中污染物的浓度,它能较好地适应渗滤液水质



水量的变化,减低投资与运行费用,加速填埋场稳定 化进程,目前在国外已得到广泛的应用^[21]。

本试验设回流清水(A 处理)和回流渗滤液(B 处理)2 种处理,各填埋层的温度变化如图 6 所示。



图 6 回流操作对填埋层温度的影响

-	× A 上层; -	A 中层; - + A 下层
-	B 上层; -	B 中层; B 下层

Fig. 6 Effect of leachate recirculation on temperature

- ×- . A upper layer; - - . A m iddle layer;

- + - . A under layer; - - . B upper layer;

- - . B m iddle layer; - - . B under layer

由图 6 可知, B 处理各层次温度普遍高于A 处 理。A 处理中, 上、中、下 3 层的平均温度分别为 69. 8, 64. 9 和 45 ; B 处理对应各层的平均温度分 别为 75. 2, 71. 2 和 56. 7 。B 处理各层温度分别较 A 处理对应位置高出 5 4,6 3 和 11.7 。即使是A 处理中温度最高的上层,其温度也从第 4 周开始整 体低于B 处理的中层温度。而B 处理中温度最低的 下层,其平均温度也仅低于A 处理中层 8 2 ,且 高于A 下层 11.7 。

由此可见,回流渗滤液对垃圾填埋体中温度的 影响非常明显,与回流清水相比,回流自身渗滤液在 提高垃圾含水率的同时,还能将大量的营养物质输 送到填埋场中,为微生物代谢活动提供更有利的条 件,使其对垃圾的分解更迅速,从而产生更高的温 度,有利于填埋场的快速稳定化。

3 结 论

(1)在准好氧填埋场中温度的层次分布表现为 上层>中层>下层;在上、中、下3层中,温度的层次 变化受到各层中氧气浓度的影响,氧气浓度越高,温 度越高。 (2)除了填埋层中氧气浓度对产甲烷过程有重 要影响外,温度对于甲烷浓度也具有明显的影响、下 层平均温度为 55.4 ,甲烷浓度为 25%;中、上层 平均温度分别为 69.7 和 73 ,甲烷浓度分别为 6% 和 0.3%,过高的温度及好氧环境对中、上层甲 烷的产生有很大的抑制作用。

(3)回流渗滤液能显著提高垃圾填埋体中的温度,与回流清水的对照试验相比,上、中、下各层平均 温度分别高约 5 4,6 3 和 11.7 ,可加快对垃圾中 有机物的分解,有利于填埋场的稳定化。

准好氧填埋作为一种较新型的填埋工艺, 国内 对其研究较少, 本试验首次对大型模拟填埋装置中 温度的变化规律分层次进行了探讨, 可以看出准好 氧填埋在抑制甲烷排放, 减缓温室效应方面具有很 大潜力; 此外, 如何对准好氧填埋场中温度、水分、含 氧量等参数进行优化控制, 以使填埋场最快速达到 稳定化, 有待于更进一步的研究。

[参考文献]

- [1] BoniM, Delle-Site A, Lombardi G Aerobic-anaerobic operation of a lab-scale municipal solid waste sanitary landfill[J]. Solid Waste TechnolM anage, 1997, 24(3): 137-142
- [2] Warith M A, Shama R. Review of methods to enhance biological degradation in sanitary landfills[J] Water Quality Research Journal of Canada, 1998, 33(3): 17-37.
- [3] Warith M A. Bioreactor landfills: experimental and field results[J]. Waste M anagement, 2002, 22: 7-17.
- [4] Bernreuter J, Stessel R. A review of aerobic biocell research and technology [R] New York: Earth Engineering Centre, 1999.
- [5] Crutcher A J, Rovers F A. Temperature as an indicator of landfill behavior [J] Waste, A ir, and Solid Pollution, 1982, 17: 218-222
- [6] George B Kasali, Eric Senior Effects of temperature and moisture on the anaerobic digestion of refuse [J]. Chem Tech Biotechnol, 1989, 44: 34-40
- [7] Rees J F. The fate of carbon compounds in the landfill disposal of organic matter [J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 1980, 30: 160-170
- [8] Kenneth E H, Robert E K, Robert K H. Temperature effects: methane generation from landfill samples [J]. Jorunal of the Environmental Engineering Division, 1982, 108: 629-638
- [9] Robert K H, M ichele R N, Paul F. Fritschel chem ical characterization of fresh kills landfill refuse and extracts[J] Journal of Environmental Engineering, 1993, 119(6): 1176-1195.
- [10] 罗 锋,陈万志,李小鹏,等 三种垃圾填埋单元模拟器对废物降解的对比试验[1],中国环境科学,2004,24(4):474-479.
- [11] 李启彬, 刘 丹, 欧阳峰 生物反应器填埋场固相垃圾的水解速率[J]. 西南交通大学学报, 2005, 40(1): 126-130
- [12] YasushiM atsufuji, M asataka Hanashima Characteristic and mechanism of sem i-aerobic landfill on stabilization of solid waste[R]. Proceedings of the first Korea-Japan Society of Solid W aste M anagement, 1997: 87-94.
- [13] Fukuoka The Fukuoka M ethod, W hat is Sem i-A erobic L and fill[M] Japan: Fukuoka City Environmental Bureau, 1999: 226-275.
- [14] 王 琪, 董 路, 黄树华, 等. 垃圾填埋场渗滤液回流技术的研究[J] 环境科学研究, 2000, 13(3): 1-5.
- [15] 张陆良, 刘 丹 准好氧填埋早期渗滤液特征浅析[J] 四川环境, 2004, 23(3): 28-31.
- [16] 唐青云, 王 琪, 董 路 便携式红外线分析系统在垃圾填埋场的应用[J]. 分析仪器, 2002(3): 40-42
- [17] 董 路, 刘玉强, 黄启飞, 等. 准好氧填埋结构CH4含量分布变化研究[J]. 环境科学研究, 2005, 18(3): 20-23.
- [18] 杨 琦, 张亚雷, 汪立忠, 等 垃圾填埋场的厌氧降解作用及微生物类群[J] 中国沼气, 1997, 15(3): 7-10
- [19] 聂永丰. 三废处理工程技术手册: 固体废物卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 293-320
- [20] Bagchi A Design, Construction and Monitoring of Landfill[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1994
- [21] Debra R Reinhart Full-scale experiences with leachate recirculation landfill: case studies[J]. W aste M anagement & Research, 1996, 14: 347-356

89

Temperature variation in sem i-aerobic landfilling of municipal solid waste

L I Fan^{1, 2}, ZHANG Zeng-qiang¹, HUANG Qi-fei², WANG Qi², TIAN Yan-jin²

(1 College of L if e S cience, N orthw est A & F U niversity, Yang ling, S haanx i 712100, China;
2 Chinese R esearch A cadeny of Environmental S ciences, B eijing 100012, China)

Abstract L arge-scale landfilling installation was built according to sem i-aerobic landfilling theories The temperature and concentrations of CH₄ and O₂ were detected regularly. The results showed that the spatial variation of temperature declined with the sequence of up level, middle level and under level The average temperature of each level was 73, 69. 7 and 55. 4 respectively. The temperature rose with the increase of the concentration of oxygen. It was anaerobic condition in the underlayer and the temperature area was 54. 8- 58. 6 , the concentration of methane was about 25%. Leachate recirculation can enhance the temperature of sem i-aerobic landfill distinctly, about 5. 4- 11. 7 higher than that of the water recirculation landfill

Key words: sem i-aerobic landfill; solid waste treatment; environment engineering; landfilling technique

(上接第 84 页) Abstract D: 1671-9387 (2006) 06-0082-EA

Effects of high temperature stress on antioxidant system in two cyclamen cultivars

GAO Tian, MA Feng-wang, L IANG Dong

(College of H orticulture, N orthwest A & F U niversity, Yang ling, S haanx i 712100, China)

Abstract Seedlings of two cyclamen (1011 and 1051) cultivars were stressed with high temperature (day 35 /night 27), the temperature for comparison was day 22 /night 17 , and the antioxidant system of cyclamen leaves were determ ined The results show ed that under high temperature stress, the activities of superoxide dismutase (SOD) decreased in both cultivars, but the decrease in 1011 was less than that in 1051; the activities of catalase (CAT), peroxidase (POD) and ascorbic acid peroxides (APX) increased in 1011, while the activities of CAT and APX decreased in 1051, though POD activity slightly increased The content of A scorbic acid (A sA) increased in 1011, but decreased in 1051. These results indicated that the ability to scavenge the active oxygen of enzyme and nonenzyme system in 1011 was better than that in 1051 under high temperature stress

Key words: cyclamen; high temperature stress; antioxidant system; heat-to lerance