

# 不同结构填埋场的环境污染分析

张正安, 屈明, 许泽宏\*, 贺胜英

(1. 宜宾学院长江水环境宜宾研究基地, 宜宾 464000; 2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

**摘要** 介绍了中国城市生活垃圾填埋处理状况、渗滤液和填埋气的特性及污染性; 分析了厌氧填埋、好氧填埋、准好氧填埋等3种不同结构填埋场内垃圾降解反应的特点及对环境的危害性; 探讨了适合中国国情的垃圾填埋处理技术, 建议采用准好氧填埋处理, 同时再辅以渗滤液回灌和微生物加速降解的组合工艺处理技术。

**关键词** 填埋结构; 厌氧; 准好氧; 环境污染

中图分类号 X132 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)09-04259-03

## Environmental Pollution Analysis of Landfill Yard with Different Structure

ZHANG Zheng-an et al (Research Base of Yangze Water Environment in Yibin, Yibin University, Yibin, Hubei 464000)

**Abstract** The situations of municipal domestic refuse landfill, characters and pollution of landfill leachate and gas in China were introduced. The characters and environmental harm of waste degradation reaction in landfill yard with three kinds of structure including anaerobic, aerobic and semi-aerobic landfill were analyzed. The waste landfill treatment technology for the actual situations of China was discussed. The combination treatment technologies of semi-aerobic landfill, leachate recirculation and microorganism accelerating degradation were suggested to be adopted.

**Key words** Landfill structure; Anaerobic; Semi-aerobic; Environmental pollution

目前中国人均生活垃圾年产量约为440 kg, 且每年以8.0%~10.0%的速度在递增, 全国历年垃圾堆存量已超过60亿t, 大量的垃圾被运到城郊裸露堆放, 堆占耕地超过5亿m<sup>2</sup>, 直接经济损失达80多亿元人民币, 垃圾已成为中国继能源、交通、工业三废之后又一重大难题<sup>[1]</sup>。焚烧、堆肥、填埋是城市生活垃圾的主要3种处置方式, 截止到2004年底, 采用填埋方式的比例约占无害化处置总量的90.0%左右, 而堆肥的方式只占约4.0%~8.0%, 焚烧的方式只占约1.4%~8.0%, 鉴于填埋方式垃圾处理量大、运行费用低、构筑和操作简单等优点, 适合中国国情, 其占主导地位的现状难以在可预见的将来改变<sup>[2,3]</sup>。填埋场内垃圾体中可降解物在微生物的作用下降解为小分子物质, 一部分以气态形式进入空气(即填埋气), 一部分溶解到水中以液态形式中排出场外(即渗滤液), 大部分难降解物和降解残留物滞留在场内被矿化, 进而实现填埋场的稳定, 这就是填埋对垃圾的处理功能<sup>[4]</sup>。

### 1 填埋处理的环境污染状况

相对于其他垃圾处理方式, 填埋处理的最大缺点就是可能会产生严重的环境污染, 其直接排除的污染物为垃圾降解过程中产生的渗滤液和填埋气。渗滤液是一种有机物、氨氮和重金属离子浓度都很高的废水, 高浓度渗滤液持续时间非常长。研究表明: 传统的卫生填埋渗滤液的COD<sub>G</sub>和氨氮质量浓度需要20年左右才能衰减到国家排放标准<sup>[5]</sup>。渗滤液中一方面由于所含有大量的氨氮、重金属、无机盐及有机污染物, 已经被视为地表水及地下水的潜在污染源, 如果得不到妥善处理, 会穿透地表土及地下土层, 对地下水体造成严重污染; 另一方面其内含的大量重金属离子会引起土壤污染, 进而会妨害地表植被、危害人体健康、破坏生态等。填埋气是填埋场内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, 主要由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, 其中CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>占填埋气总体积的90.0%以上<sup>[6]</sup>, 且均为温室气体。有研究表明, 填埋气是第2大温室

气体排放源。而且甲烷是一种易燃易爆的气体, 其爆炸极限量为5.0%~15.0%, 管理不当就会引发爆炸事故, 在北京、成都、杭州和重庆均发生过有人身伤亡的垃圾填埋爆炸事故<sup>[7]</sup>。此外填埋场的占地面积大, 稳定化时间长也是填埋处理方式的重要缺陷。目前国内外改善填埋场的处理能力的主要途径是改造填埋场的结构, 通过工程措施使有机物的厌氧降解转化为好氧降解过程, 可以有效地使垃圾中大部分有机组分(在传统填埋场中是潜在的污染物)降解, 降低甲烷的产量和渗滤液进入环境的可能性, 提高填埋场的使用年限<sup>[8]</sup>。另外一种途径是欧美学者提出的“生物反应器”技术, 即利用填埋层作为有机物降解的生物反应器, 通过回流技术处理渗滤液并使垃圾中的有机物快速降解<sup>[9]</sup>。

### 2 不同结构填埋场的反应特性及污染状况

填埋场的分类方法有多种, 其中按照填埋场结构或者填埋垃圾层中氧气的存在状况可分为厌氧填埋、好氧填埋和准好氧填埋3种结构<sup>[10]</sup>。他们各自发生的垃圾降解反应以及对环境污染程度均不相同。

**2.1 厌氧填埋** 厌氧填埋是目前应用最广泛的城市生活垃圾处置方法, 此方法的原理是将垃圾填埋体独立于周围环境之外, 经过漫长的厌氧发酵使垃圾实现最终稳定化、无害化。在厌氧填埋场内垃圾降解主要依靠厌氧反应, 即垃圾中大分子有机物质在厌氧微生物的作用下首先水解酸化分解为溶解性或不溶解性小分子有机物如丁酸、丙酸、乙醇等, 然后再进一步分解为甲烷、二氧化碳、挥发性有机物等气体物质。厌氧填埋一般具有垃圾降解速率慢, 分解不彻底, 气化率低(即降解过程中转化为气态部分的垃圾与转化为液态部分垃圾的比值)等特点, 而且产生的少量填埋气还多为还原性气体。Pohland等<sup>[11-12]</sup>通过厌氧填埋模拟实验证明垃圾中的有机污染物约90.0%最终转化为渗滤液, 产生的填埋气中CH<sub>4</sub>含量高达50.0%左右, NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S等还原性气体含量一般均高于1.0%。袁光钰等根据厌氧填埋渗滤液COD<sub>G</sub>变化趋势进行预测得出厌氧填埋场达到稳定化的时间很长, 一般至少需要30年以上<sup>[13]</sup>; 原因是垃圾体中有机质主要靠自身异化分解而没有外界动力的促进作用, 所以反应速率很慢。大部分

作者简介 张正安(1978-), 男, 河南信阳人, 硕士, 助教, 从事固体废物处理研究。\* 通讯作者。

收稿日期 2009-01-04

有机物质在分解为小分子有机物质后就直接溶入水中以渗滤液的形式直接排出填埋场,只有少部分有机物质能最终彻底分解转化为甲烷、二氧化碳等填埋气体。由于厌氧填埋场内长期处于厌氧环境,产生的少量填埋气也主要为  $\text{CH}_4$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  及挥发性有机物等还原性气体。综上所述,可知厌氧填埋是一种环境污染性很强的填埋处理方式,由于垃圾中有机质降解不彻底,且大部分产物都转化溶入渗滤液,所以渗滤液中有有机物和重金属等污染物质浓度很高,  $\text{COD}_G$  浓度可达  $60\ 000 \sim 70\ 000\ \text{ng/L}$ , 氨氮浓度可达  $1\ 000\ \text{ng/L}$  以上<sup>[14-15]</sup>。厌氧填埋的气化率低虽然很低,但含有大量的还原性气体,其危害性更是不可小觑。因此,国家要求填埋场产生的渗滤液必须经过生化、脱氮、脱硫等净化处理之后才能排放,产生填埋气也要求尽可能对其中的甲烷等还原性气体加以回收利用以降低其温室效应。同时寻求一种能加速垃圾分解,缩短垃圾稳定化时间,使2次污染降至最低。

**2.2 好氧填埋** 好氧填埋是利用鼓风机直接向垃圾填埋体中鼓风,使填埋场内完全处于好氧环境,在氧气强氧化性的促进作用下,垃圾中有机质垃圾主要发生好氧降解,分解速率较快,而且比较彻底,最终大部分有机物被转化为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{N}_2$  等性质稳定的气体。好氧填埋垃圾降解的气化率很高, Matsufuji 等实验研究表明,垃圾中的有机污染物约 70.0% 以上最终转化为填埋气,且主要为几乎不会产生2次污染的稳定气体<sup>[16]</sup>。好氧填埋气化率高,所以其产生的渗滤液中有有机污染物和氨氮浓度低,在封场后其  $\text{COD}_G$  只有  $1\ 000\ \text{ng/L}$  左右<sup>[17]</sup>。好氧填埋还可以使垃圾体达到稳定的时间大大缩短,美国 Peter 的研究表明一般好氧填埋场封场 1~2 年时间基本上就可达到稳定<sup>[18]</sup>。综上所述相对于传统的厌氧填埋方式,好氧填埋具有环境污染小、填埋场稳定化速率快、占用土地很快可得到再利用等优点。因此在 20 世纪 70 年代,西方很多学者开始研究好氧填埋的方式,如第一座好氧填埋场由 USEPA 于 1969 年在加州建立和运行,空气通过渗滤液收集系统鼓入;德国在 70 年代后期也进行了好氧生物条件下对垃圾进行预处理的研究<sup>[19]</sup>。好氧填埋具有清洁环保的优点,但是同时也存在着致命缺点,就是要向宽厚的垃圾填埋体中强制通风,所需工艺设备复杂,动力消耗大,运行管理费用高,故没有实际应用价值。

**2.3 准好氧填埋** 准好氧填埋是日本的花岛正孝提出的一种新型的填埋工艺,它结合了好氧、厌氧两种填埋结构的优点<sup>[20]</sup>。其设计原理是不用动力供氧,而是利用渗滤液收集管道的不满流设计,利用填埋堆体的内外温差,使堆体外空气自然通入,在渗滤液收集管和竖直通风管道周围存在一定的好氧区域,此处的垃圾进行好氧分解,空气扩散不到的区域处于厌氧状态,此处的垃圾进行厌氧分解。因此也有学者把准好氧填埋称之为半好氧填埋。相对于传统的厌氧填埋,准好氧填埋方式加快了渗滤液的排出,抑制了甲烷和硫化氢等气体的产生,加速垃圾稳定化进程,降低了渗滤液中污染物浓度,其对环境的污染明显小得多<sup>[21-22]</sup>。Berreuter 对马来西亚一准好氧填埋场渗滤液水质进行了为期 2 年的现场监测表明,渗滤液中  $\text{COD}$ 、 $\text{BOD}_5$  和氨氮浓度明显比厌氧填埋场下降迅速<sup>[23]</sup>。花岛正孝等<sup>[20]</sup> 学者进行循环式准好氧填埋

实验测定:3 年间垃圾中的有机污染物 70.0% 以上转入气相成为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  等气体;而厌氧填埋,有机污染物约 90.0% 转入渗滤液中。王琪<sup>[24]</sup> 的实验室研究表明,通过工程措施,允许一部分空气进入填埋层,能使渗滤液中有有机污染物的浓度下降快,且对氨氮去除效果极佳,能降低到  $10\ \text{ng/L}$ 。刘丹等<sup>[25]</sup> 研究表明准好氧柱渗滤液  $\text{COD}$  比厌氧柱更早达到最高值,且穿孔管的直径越大就更容易达到最高值,中心穿孔管管径越大,导入的空气越多,对渗滤液中污染物的降解越有利。李国建等<sup>[26]</sup> 通过每天向填埋层中输送 1~2 h 氧气体积分数大于 3.0% 的气体,就可以使微生物进行有氧呼吸,迅速去除垃圾和渗滤液中的氨氮;同时,填埋层与环境的温差,可以强化空气通过集气管、集水管与外界大气的对流,扩大填埋层中的好氧区域,更有利于垃圾和渗滤液中氨氮的去除。与好氧填埋相比,准好氧填埋对周围环境的污染危害相对略大,但是如果填埋场设计、操作合理,其对某些污染物的处理效果甚至好于好氧填埋。杨玉飞等通过中试规模的对比模拟试验研究发现,准好氧填埋处理渗滤液中总氮和硝态氮含量均低于好氧填埋<sup>[22]</sup>,其原因可能是由于准好氧填埋场内同时存在好养区域、厌氧区域和兼氧区域,硝酸盐物质在遇到厌氧区域或兼氧区域是会发生消化反硝化反应,使氮类污染物最终转化氮气,并伴随填埋气而释放大气中,而好氧填埋场内氮类污染物大部分都转化为硝态氮而溶入渗滤液中。

### 3 适合中国国情的垃圾填埋处理技术

中国在今后相当长的一段时间内仍是以填埋为主。同时中国垃圾中有机质含量一般是发达国家的 2~4 倍,且渗滤液和填埋气处理技术落后,其产生的渗滤液和填埋气对环境危害性均很大。一般准好氧填埋封场 2 年后  $\text{BOD}_5$  即可由运行期间  $40\ 000 \sim 50\ 000\ \text{ng/L}$  下降到小于  $300\ \text{ng/L}$ <sup>[22]</sup>,由表 1<sup>[27]</sup> 可以看出准好氧填埋气中甲烷浓度明显低于厌氧填埋,且 5 个月后达到最大值约 18.0%, 然后开始下降。因此,根据中国垃圾渗滤液的水质特点,笔者认为适宜采用准好氧填埋,同时再辅以渗滤液回灌及微生物调节加速降解的组合工艺处理技术,即在填埋初期(1~3 年)或在填埋层不太厚的情况下,采用好氧或准好氧的填埋工艺,尽快使填埋场底层的垃圾稳定化,然后调整为生物反应器型填埋工艺,充分发挥稳定化的垃圾层所具有的天然厌氧生物滤床作用,最大限度地降低排放渗滤液的污染强度,以减轻后续渗滤液处理的负担。

表1 各种结构填埋场的渗滤液水质状况

Table 1 The water quality situations of leachate in landfill yard with different structure

填埋结构 Landfill structure	指标 Index	填埋期间 Landfill period	封场后6个月 After dosure 6 months	封场后1年 After closure one year	封场后2年 After dosure two years
厌氧填埋 Anaerobic landfill	$\text{BOD}_5$	40.0 ~50.0	40.0 ~50.0	30.0 ~40.0	10.0 ~20.0
	$\text{COD}$	40.0 ~50.0	40.0 ~50.0	30.0 ~40.0	10.0 ~20.0
	$\text{NH}_3\text{-N}$	0.8 ~1.0	1.0	0.8	0.6
好氧填埋 Aerobic landfill	$\text{BOD}_5$	40.0 ~50.0	7.0 ~80.0	0.3	0.2 ~0.3
	$\text{COD}$	40.0 ~50.0	10.0 ~20.0	1.0 ~2.0	1.0 ~2.0
	$\text{NH}_3\text{-N}$	0.8 ~1.0	0.8	0.5 ~0.6	0.5 ~0.6
准好氧填埋 Semi-aerobic landfill	$\text{BOD}_5$	40.0 ~50.0	5.0 ~6.0	0.1 ~0.2	0.05
	$\text{COD}$	40.0 ~50.0	10.0	1.0 ~2.0	1.0
	$\text{NH}_3\text{-N}$	0.8 ~1.0	0.5	0.1 ~0.2	0.1

## 4 小结

填埋是中国目前以及未来一段时间内最主要的垃圾处理方式,但从环保角度考虑,这种方法不仅占用大量的土地资源,而且其产生的填埋气和渗滤液可能会产生严重的2次污染问题。不同结构填埋场对环境的危害程度不同,好氧填埋对环境污染轻,但是操作管理复杂,且运行费用太高,不具备可行性;厌氧填埋具有垃圾处理量大,操作简单方便,且处理费用低,但环境污染严重;准好氧性填埋兼有好氧性填埋和厌氧性填埋的优点,若管理操作得当,其处理效果以及环境危害性接近于好氧填埋,是很多国家积极提倡的一种垃圾填埋技术。针对中国国情,笔者认为目前适合于采用准好氧填埋处理,同时再辅以渗滤液回灌及微生物调节加速降解的组合工艺处理技术,一方面加快填埋场的稳定化速率,减少占地面积;另一方面可以减轻填埋场对环境的污染危害。

## 参考文献

- [1] 曹霞,刘丹.对城市生活垃圾填埋处置技术的思考[J].四川环境,2004,23(3):12-16.
- [2] 赵由才.生活垃圾卫生填埋技术[M].北京:化学工业出版社,2004:274-275.
- [3] 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.
- [4] 沈东升.生活垃圾填埋生物处理技术[M].北京:化学工业出版社,2003:5-6.
- [5] KJEDSEN P, BARLAZE M A, ROOKER A P. Present and long term composition of MSW landfill leachate: A review[J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2002, 32(4): 297-336.
- [6] 董路,刘玉强,黄启飞.准好氧填埋结构CH<sub>4</sub>含量分布变化研究[J].环境科学研究,2005,4(6):32-36.
- [7] 邹春,廖利.垃圾填埋场气体横向迁移数学模型[J].环境卫生工程,1998,6(3):85-87.
- [8] 杨玉飞,黄启飞,董路,等.填埋结构对填埋场稳定化的影响[J].中国环境科学,2005,5(9):47-50.
- [9] MATSUTO T, TANAKA N, KOYAMA K. Stabilization mechanism of leachate from semi-aerobic sanitary landfills of organic-rich waste[M]. Proceedings Sardinia 91, Third International Landfill Symposium, ISA, Cagliari, 1991:876-888.
- [10] 杨玉飞,董路,黄启飞,等.填埋结构对渗滤液回流效果的影响[J].环境科学与技术,2006,4(9):29-31.
- [11] MAISUFUI Y, LEE N, KUSUDA T, et al. Pollutant transformations in landfill layers[J]. Waste Management & Research, 1999, 12(5): 33-48.
- [12] POHLANDT G. Landfill bioreactors fundamental and practice[J]. Water Quality International, 1996, 5: 18-22.
- [13] 袁光钰,匡胜利,张丽云.我国城市垃圾填埋场降解速率分析[J].新疆环境保护,2000,22(1):11-15.
- [14] 王琪,董路,李姁.垃圾填埋场渗滤液回流技术的研究[J].环境科学研究,2003,13(3):1-5.
- [15] ONAY T T. In situ heavy metal attenuation in landfills under methanogenic conditions[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, 1(8): 159-175.
- [16] MAISUFUI Y, HANASHIMA M, NAGANOS, et al. Generation of greenhouse effect gases by different landfill types and methane gas control[J]. Engineering Geology, 1993, 4: 181-187.
- [17] 朱国营.城市固体废物好氧填埋方式的研究[D].长春:吉林大学,2001:12-13.
- [18] PETER K, MORTON A B. Present and long term composition of MSW landfill Leachate: A review[J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2002, 32(4): 297-336.
- [19] ROBINSON H D. The treatment of leachate from domestic wastes in landfill-I: Aerobic biological treatment of a medium strength leachate[J]. Water Res, 1983, 17(7): 1537-1548.
- [20] HANASHIMA M. Pollution control and stabilization process by semi-aerobic landfill type[C]. The Fukuoka method, proceedings of Sardinia 99 — 7th International Waste Management and Landfill Symposium, 1999: 238-256.
- [21] 刘玉强.准好氧填埋气体时空变化特性研究[D].北京:中国环境科学研究院,2004:33-39.
- [22] 杨玉飞.填埋结构对渗滤液水质变化影响[D].重庆:西南大学,2004:36-40.
- [23] BERNREUTER J, STESSEL R. A review of aerobic bio-cell research and technology[M]. New York: Draft Report by Columbia University for the SWANA Semi-aerobic Sub-committee. Earth Engineering Centre, 1999.
- [24] 王琪,杨玉飞,黄启飞,等.填埋结构对渗滤液水质变化的影响研究[J].环境工程,2005(4):69-72,5.
- [25] 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):28-30,34.
- [26] 于晓华,李国建,何品晶,等.城市垃圾渗滤液场内循环处理的探讨[J].新疆环境保护,2003,25(1):24-27.
- [27] 张正安.不同填埋方式下气体及温度变化特性研究[D].重庆:西南大学,2004:33-37.
- [6] TIYAGI S A, 申继忠.用香茅叶提出物浸根防治植物寄生线虫[J].农业新技术新方法译丛,1991,37(2):8.
- [7] 文艳华,冯志新,徐汉虹,等.植物抽提物对几种植物病原线虫的杀线活性筛选[J].华中农业大学学报,2001,20(3):235-238.
- [8] 郑良, EDWARD FERRIS. 58种中(草)药对植物寄生线虫 *Meloidogyne javanica* 和 *Pratylenchus vulnus* 的药效研究[J].植物病理学报,2001,31(2):175-183.
- [9] 杨秀娟,何玉仙,陈福如,等.不同植物提取液的杀线虫活性评价[J].江西农业大学学报:自然科学版,2002,24(3):386-389.
- [10] 杨秀娟,何玉仙,卢学松,等.植物提取液对南方根结线虫的抑杀作用[J].福建农业学报,2004,19(2):78-81.
- [11] 杨秀娟,何玉仙,卢学松,等.若干植物粗提物对根结线虫幼虫的杀线虫活性测定[J].福建农业学报,2005,20(1):19-22.
- [12] 翁群芳,钟国华,王文祥,等.植物提取物对南方根结线虫的控制作用[J].华南农业大学学报,2006,27(1):55-60.
- [13] 蒋妮,高微微,缪剑华.乌柏乙醇提取物对罗汉果根结线虫的生物活性初报[J].中国农学通报,2007,23(11):305-308.
- [14] 吴慧平,徐晓莉,王军.茶籽醇提取物对松材线虫及根结线虫室内活性测定分析[J].植物检疫,2007,21(6):335-337.
- [15] 柯云,潘沧桑.几种植物提取液对根结线虫的抑杀作用[J].厦门大学学报:自然科学版,2007,46(5):711-714.
- [16] 徐汉虹,张志祥.我国植物性农药的产业化现状及问题与建议(上)[J].新农药,2005,43(5):11-14.
- [17] 徐汉虹,张志祥.我国植物性农药的产业化现状及问题与建议(下)[J].新农药,2005,44(6):3-8.

(上接第4227页)

的活性植物资源为其提供研究基础。10余年来的我国科研人员依托本土丰富的植物资源,已进行了60多种植物的杀线活性筛选,其中以菊科植物种杀线活性的鉴定最为广泛,其中活性物质的作用机理可以进行对比研究。在植物源农用药剂的开发中,大科多属的植物无疑更有利于后续的应用推广。而对于单科单属植物,如银杏和三尖杉,因为其可能含特有的杀线虫成分,所以研究单科单属、单属单种植物的杀线活性,也许能为专属高效杀线虫成分的开发提供依据。

## 参考文献

- [1] 王文桥,刘金朵,张文渊,等.植物抗生活性及植物源农药研究进展[J].河北农业科学,2005,9(4):74-79.
- [2] 谢辉.植物线虫分类学[M].北京:高等教育出版社,2005:9-51.
- [3] 杨秀娟,何玉仙.国外利用杀线植物防治植物寄生线虫[J].世界农业,1998,228(4):37.
- [4] 汪安秋.天然精油应用于农药的研究进展[J].林业化工通讯,1998(5):28-30.
- [5] 屠豫钦.天然源农药的研究利用-机遇与问题[J].世界农药,1999,21(4):4-12.