

大型填埋场垃圾降解规律研究

赵由才, 黄仁华, 赵爱华, 刘疆鹰 (同济大学环境科学与工程学院污染控制与资源化研究国家重点实验室 上海 200092)

摘要: 在上海市老港垃圾填埋场建造了一座面积为 3000 m², 高度为 4 m, 内填生活垃圾 10800 t 的小型卫生填埋场. 对该卫生填埋场进行了 40 个月的监测, 分析了垃圾中的总糖、总碳、挥发性物质和有机碳、生物可降解物含量 (BDM)、粗纤维含量与填埋时间的关系. 同时, 也对 1991 年至 1994 年每年 4 月份的填埋单元垃圾组成进行了分析. 通过数学拟合, 预测了填埋单元封场后的若干年内垃圾组成. 对填埋场稳定化程度和垃圾矿化程度进行了判断. 结果表明, 该场的稳定化时间大约为 22—23 年, 届时, 该场的垃圾基本上达到无害化和稳定化. 绝大部分可降解的有机物得到充分降解.

关键词: 垃圾填埋场; 填埋场稳定化; 垃圾组成; 预测

Degradation of refuse in large-scale landfill

ZHAO Youcai, HUANG Renhua, ZHAO Aihua, LIU Jiangying (National Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: A large-scale experimental landfill with an area of 3000 m² (50 m × 60 m) was constructed in situ in Shanghai Refuse Landfill in April 1995. The refuse height is 4 m and 10800 tons of refuse was placed in the experimental landfill. Contents of Biodegradable Matter, volatile substance (weight loss under burning), organic carbon, cellulose and total sugar in refuse were monitored from April 1995 through October 1998. The mathematical simulation formulas between these parameters and refuse age were developed and justified by corresponding parameter for refuse taken in the closed landfill units from 1991 to 1994 in the Landfill. The long-term predictions for the refuse compositions were made using the formulas. It was predicted that the refuse might be fully mineralized after 22—23 years of stabilization. Hence it can be considered that the time for the Landfill to reach a high stability after closure is around 22—23 years from the viewpoint of refuse composition.

Keywords: refuse landfill; landfill stabilization; refuse composition; predictions

随着我国人口的增加, 土地资源日益紧缺, 垃圾填埋场的再利用问题倍受关注, 这势必涉及到填埋场的稳定化评价问题. 填埋场稳定化的一个重要指标是垃圾组成^[1-3]. 为了科学地利用填埋场的土地和垃圾, 从本质上把握填埋场的日常管理、设计、安全防护等, 有必要对填埋场中的垃圾进行深入系统地研究. 这方面我国所作的研究工作非常有限. 国外所做的研究工作, 其研究结果对我国有参考价值^[6-10]. 本工作研究了垃圾降解过程中固体残余物的含量及 BDM 与填埋时间的定量关系, 从微观垃圾组成的角度来预测垃圾的矿化程度.

1 试验场的建立和垃圾组成的监测

1.1 试验场的建造

在上海市老港垃圾填埋场建造了国内外规模最大的垃圾填埋场稳定化试验场. 该试验场位于老港填埋场北侧的试验小区 (17 号单元). 试验场底部和四周铺设粘土和高分子材料衬

收稿日期: 1999-09-24; 修订日期: 2000-02-23

基金项目: 国家自然科学基金 (项目号: 29777019) 资助

作者简介: 赵由才 (1963—), 男, 教授 (博导)

底及排水管道. 填埋完毕后在垃圾表面覆盖了 30 cm 的粘土, 并设有排水沟. 可以认为该试验场是小型的标准垃圾卫生填埋场. 1995-04-10 开始向试验场填入垃圾, 至 1995-04-25 填毕. 共填埋垃圾 10858 t, 垃圾填埋高度 4 m, 有效填埋面积 3000 m² (50 m× 60 m). 填入后垃圾的初始容重为 0.905 t/m³. 所用垃圾未掺有建筑垃圾和工业垃圾, 也看不出有明显的煤灰存在, 是典型的燃气居民区生活垃圾. 其组成为含水率 43 %, 有机物(干重)38 %, 无机物(干重) 44 %.

1.2 垃圾组成分析

(1)沿试验场对角线的两角和中心各设一个采样点, 每点取 5—10 kg 的垃圾样品. 烘干后挑出石头、砖头、玻璃等无机硬废物和无法降解的橡胶、塑料盖、塑料瓶后的剩余部分用球磨机和破碎机破碎至 20 目以下. 取其粉末进行分析测试. 同时, 分别对老港填埋场 1991、1992、1993、1994 年 4 月份的填埋单元进行了挖掘, 取出垃圾进行相同物化参数的测定, 以便检验通过试验场垃圾取样测定结果所得出的数学模型的准确性.

总糖含量分析: 糖与硫酸作用, 脱水生成羟甲基呋喃甲醛(羟甲基糖醛), 再与蒽酮缩合生成蓝色化合物, 其呈色强度与溶液中糖的浓度成正比, 在 610 nm 波长处定量测定. 单糖、双糖、糊精、淀粉等都直接与试剂发生作用. (2)挥发分和有机碳含量分析: 通过在 650 °C 温度下灼烧的方法来测定垃圾中有机物(挥发性固体)的含量. 又因为垃圾中的碳含量大约是有机物质的 47 %, 因此可以通过测定易挥发性物体的含量再乘以 47 % 来估算有机碳的含量. (3)BDM 分析: 在强酸性条件下, 以强氧化剂重铬酸钾在常温下氧化样品中有机质, 过量的重铬酸钾以硫酸亚铁回滴. 根据所消耗氧化剂的量, 计算样品中有机质的量, 再换算为生物可降解度. (4)粗纤维含量分析: 垃圾样品经一定浓度的酸处理后, 去除其中的糖类杂质, 最后的残渣减去灰分, 即得粗纤维.

2 结果与讨论

2.1 垃圾组成与填埋时间的关系

图 1 为试验场 3 个取样点垃圾组成监测结果, 从图中可以看出, 在 2 年内, 垃圾组成的监

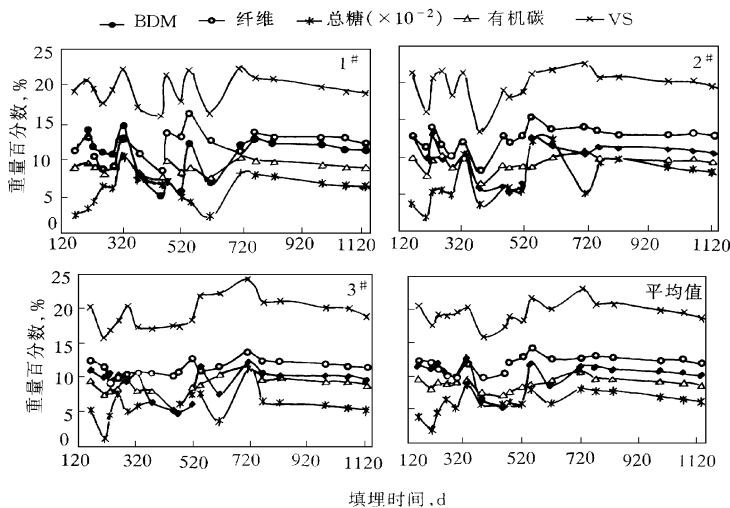


图 1 垃圾组成与填埋时间的关系

Fig. 1 Relationship between refuse composition and refuse age

测结果波动比较大. 而经 2 年左右的时间填埋后, 取出的垃圾却臭味大减, 也易晾干. 1990 年和 1991 年填入的垃圾则基本上无味, 呈黑色, 放在实验室会很快自然晾干而且不产生渗滤液. 由图 1 可以看出, 3 个取样点的垃圾组成是非常接近的. 表明取样和分析是可靠的. 显然, 垃圾分析的重现性非常好. 在进行数学模拟时, 只能应用填埋 2 年后的垃圾组成监测数据.

2.2 实验场垃圾组成与填埋时间关系的数学拟合和验证

用 3 个取样点的垃圾组成的平均值. 通过数学拟合, 得到各垃圾成分与填埋时间的拟合关系式, 结果见表 1.

2.3 老港垃圾填埋场 1991—1994 年 4 月封场填埋单元垃圾组成监测

老港垃圾填埋场属于平原式填埋场. 整个填埋场被划分为几十个填埋单元. 填埋单元之间用 3 m 厚的土坝相隔. 可以认为, 填埋单元之间是相互独立的. 每个填埋单元可使用 3 个月时间. 从 1997 年 3 月开始, 对老港垃圾填埋场 1991, 1992, 1993 和 1994 年 4 月份封场的填埋单元的垃圾进行取样分析. 结果见表 2.

表 1 垃圾组成与填埋时间(d)关系的数学拟合式
Table 1 Mathematical simulations between refuse composition (%) and landfill times (days)

垃圾组成	数学拟合式	相关系数
总糖	$0.09142 \times 0.999743t$	0.84
有机碳	$9.66102 \times 0.999951t$	0.90
挥发性固体	$20.867 \times 0.999931t$	0.90
粗纤维	$13.4552 \times 0.999931t$	0.87
生物可降解物	$13.0276 \times 0.999814t$	0.89

2.4 数学拟合方程的验证

利用表 1 的方程式, 就可计算出垃圾组成与填埋时间的定量关系. 用表 2 的数据与表 1 的方程式计算值进行对比, 发现表 2 的数据在与计算值相差 $\pm(3\%—5\%)$ 左右(总糖除外). 因此, 表 1 的方程式是可靠的, 完全能够用于老港垃圾填埋场垃圾组成与填埋时间的关系预测, 其结果见表 3(由于总糖含量实在太低, 误差较大).

从表 3 可以看出, 垃圾各成分含量的降低是非常缓慢的. 垃圾无害化过程, 实际上也是垃圾中有机质含量的下降过程. 经测定, 老港垃圾填埋场覆盖土的 BDM 含量为 2.5%, 若垃圾中的 BDM 含量降低到这个数值, 大约需要 22—23 年. 根据同时进行的渗滤水浓度预测结果, 老港垃圾填埋场渗滤水下降到国家一级排放标准所需的时间也是 22—23 年^[1-2].

3 讨论与结论

垃圾无害化程度除了一些微生物和病理指标外, 似乎无其它规范标准可参照. 从本报告看, 随着填埋时间的延长, 垃圾中挥发性物质含量、有机碳含量、粗纤维含量、BDM、总糖含量等均会缓慢下降. 对于一个填埋场, 只要建立起这些参数的方程, 通过测定该场任何点的垃圾组成, 就可较准确判断填埋年限.

对垃圾无害化程度与本项目所测得的各物化参数进行关联看来还不可行. 但若在分析测试这些参数的同时也对垃圾中的病原微生物等进行分析, 通过卫生指标确定垃圾无害化程度, 再与物化参数进行关联, 就有可能用物理化学方法判定垃圾无害化程度与填埋时间的关系^[2]. 这方面的工作还有待于进行. 全国每年产生 1.2 亿 t 垃圾, 基本上是采用填埋方法处理. 经若干年降解而转化为矿化垃圾后, 其数量至少有 1 亿 t. 历年来我国堆存的矿化垃圾数量有几亿 t, 利用价值很大.

表 2 老港垃圾填埋场 1991—1994 年 4 月份封场填埋单元垃圾监测

Table 2 Refuse monitoring in the landfill units closed in Aprils of 1991 through 1994

取样日期	填埋时间, d	1994 年 4 月份封场填埋单元				
		BDM, %	OC, %	RC, %	VS, %	TS, %
1997-03-12	1062	10.03	10.8	14.9	22.97	0.007
1997-04-30	1111	3.01	7.26	9.65	15.44	0.027
1997-06-19	1160	9.31	7.71	12.49	16.41	0.019
1997-12-12	1339	11.23	9.17	14	19.51	0.05
1998-02-20	1394	9.64	8.88	13.46	18.9	0.072
1998-04-25	1470	5.73	5.59	10.43	11.9	0.042

取样日期	填埋时间, d	1993 年 4 月份封场填埋单元				
		BDM, %	OC, %	RC, %	VS, %	TS, %
1997-03-12	1427	7.92	9.59	14.36	20.4	0.017
1997-04-30	1474	9.43	10.11	14.54	21.5	0.024
1997-06-19	1525	10.23	11.1	13.16	23.62	0.052
1997-12-12	1704	10.27	9.65	13.77	20.54	0.039
1998-02-20	1759	9.17	8.68	13.1	18.47	0.062
1998-04-25	1792	7.96	9.87	14.19	21	0.068

取样日期	填埋时间, d	1992 年 4 月份封场填埋单元				
		BDM, %	OC, %	RC, %	VS, %	TS, %
1997-03-12	1835	8.44	8.42	12.63	17.92	0.03
1997-04-30	1839	8.91	8.91	12.2	18.96	0.062
1997-06-19	1890	7.75	9.58	14.22	20.38	0.027
1997-12-12	2069	9.58	9.48	12.81	20.16	0.026
1998-02-20	2124	9.17	8.75	13.56	18.62	0.032
1998-04-25	2157	7.75	9.39	14.15	19.97	0.023

取样日期	填埋时间, d	1991 年 4 月份封场填埋单元				
		BDM, %	OC, %	RC, %	VS, %	TS, %
1997-03-12	2200	5.87	8.15	11.77	17.34	0.03
1997-04-30	2204	6.67	7.55	12.06	16.06	0.02
1997-06-19	2255	6.23	9.44	15.18	20.08	0.041
1997-12-12	2434	7.59	8.92	12.73	18.97	0.024
1998-02-20	2489	10.08	8.57	12.99	18.23	0.094
1998-04-25	2565	7.09	7.32	11.7	15.58	0.033

BDM: 生物可降解物含量; OC: 有机碳; RC: 粗纤维; VS: 挥发性固体; TS: 总糖

表 3 垃圾组成预测值

Table 3 Prediction of refuse composition

垃圾组成	填埋时间, 年											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
总糖, %	0.063	0.057	0.052	0.047	0.043	0.039	0.036	0.033	0.03	0.027	0.025	0.022
挥发性固体, %	18.87	18.40	17.94	17.49	17.06	16.63	16.22	15.82	15.42	15.04	14.66	14.30
有机碳, %	8.99	8.83	8.68	8.52	8.37	8.22	8.08	7.94	7.79	7.66	7.52	7.39
BDM, %	9.93	9.28	8.67	8.10	7.57	7.07	6.61	6.17	5.77	5.39	5.04	4.70
粗纤维, %	12.17	11.86	11.57	11.28	11.00	10.73	10.46	10.20	9.95	9.70	9.46	9.22

从垃圾组成的衰减规律来看,老港垃圾填埋场稳定化时间大约为 22—23 年.此时渗滤水污染物浓度也自然衰减到国家一级排放标准.一般的安全性也能保证,只要不用作修建房屋等建筑用地,填埋场就可安全地被再利用.

参考文献:

- [1] 王罗春. 垃圾填埋场稳定化进程研究[D]. 上海同济大学. 博士学位论文. 1999
- [2] 刘疆鹰. 大型垃圾填埋场试验场稳定化进程研究—数学模拟[D]. 上海同济大学. 硕士学位论文. 1999
- [3] 赵由才, 郭兴民, 朱琳楠. 垃圾填埋场稳定化研究[J], 重庆环境科学, 1994, 16(5): 8—11
- [4] 朱青山, 赵由才, 徐迪民. 垃圾填埋场中垃圾降解与稳定化模拟试验[J]. 同济大学学报(自然科学版), 1996 24(5): 596—600
- [5] 朱青山, 赵由才, 赵爱华, 等. 添加物对填埋场稳定化的影响[J]. 城市环境与城市生态, 1996, 9(2): 19—21
- [6] 赵由才, 朱青山. 城市生活垃圾卫生填埋场技术与管理手册[M]. 北京: 化学工业出版社. 1999
- [7] Robert K Ham, Todd J Bookter. Decomposition of solid waste in test lysimeters[J]. Journal of Environmental Engineering Division ASCE, 1982, 108(EE2): 1147—1170
- [8] Todd J Bookter, A M ASCE, Robert K Ham. Stabilization of solid waste in landfills[J]. Journal of Environmental Engineering Division ASCE, 1982, 108(EE2): 629—638
- [9] Robert K Ham, Michele Robbins Noman, Paul R Fritschel. Chemical characterization of Freshkills Landfill refuse and extracts[J]. Journal of Environmental Engineering, 1993, 119(6): 1176—1195
- [10] Dean K Wall, Chris Zeiss. Municipal landfill biodegradation and settlement[J]. Journal of Environmental Engineering, 1993, 121(3): 214—224
- [11] Castagnoly O, Musmeci L, Zavattiero E. Humic substances and humification rate in a municipal refuse disposed in a landfill [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1990, 53: 1—12

欢迎订阅《产业与环境》

《产业与环境》是联合国环境规划署技术、工业与环境司出版的《Industry and Environment》的中文版,是国际上较有影响的刊物之一.英文版在世界上 180 多个国家中广泛发行.中英文版内容完全相同.受联合国环境规划署的赞助和委托,中国科学院生态环境研究中心自 1991 年起出版其中文版,即《产业与环境》杂志.主要报道有广泛国际意义的环境问题研究与发展 and 各国在环境保护领域内的各项活动,具有每期围绕一个与可持续发展有关的特定主题展开、信息量大且集中的特色.

《产业与环境》为季刊,大 16 开,季末月 30 日出版.自 2001 年起由北京报刊发行局发行,邮发代号 2—303,有愿意了解自 1991 年起所有过刊及完整目录者,请与《产业与环境》编辑部联系.

联系人: 刘晓光 电 话: 62941072 邮 编: 100085

编辑部地址: 北京市海淀区双清路 18 号 北京市 2871 信箱

<http://www.ekee.net> Email: ie@ekee.net