

生活垃圾填埋 生物处理技术

主编 沈东升

副主编 何 若 刘宏远



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

生活垃圾填埋生物处理技术

主 编 沈东升

副主编 何 若 刘宏远

化 学 工 业 出 版 社

环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生活垃圾填埋生物处理技术/沈东升主编. 北京:
化学工业出版社, 2003.4
ISBN 7-5025-4366-X

I. 生… II. 沈… III. 垃圾处理: 生物处理
IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 020543 号

生活垃圾填埋生物处理技术

主 编 沈东升

副主编 何 若 刘宏远

责任编辑: 陈 丽

文字编辑: 邹 宁

责任校对: 李 林

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 13 字数 351 千字

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4366-X/X·256

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着国民经济的发展、城市人口的增加和人民生活水平的提高，城市生活垃圾也异常迅速地增加。“中国 21 世纪议程”白皮书指出，全国历年城市生活垃圾堆存量已达到 60 多亿吨，占地 5 万公顷，有 200 多个城市陷入了垃圾的包围之中。而且随着我国城市化进程的加快，乡镇经济较发达地区的村镇生活垃圾也日益成为一个重要的环境污染源。据估计，今后我国城市生活垃圾将以每年 10% 左右的速度增加，因此科学、合理、经济、有效地消纳城市生活垃圾已成为现代环境保护工作中一个刻不容缓的问题。

世界上生活垃圾的处理方法很多，主要有堆肥法、填埋法、焚烧法、蚯蚓床法和热解法等，但生活垃圾卫生填埋处理仍是世界各国一直普遍应用的一种处置方法，即使在发达国家，其填埋处理率也很高。对于普遍存在的城市膨胀、垃圾有机成分低、含水率高、污染日益严重而环保资金又不足的中国来说，在今后相当长一段时间内，生活垃圾仍将执行以卫生填埋为主（约 60%）、高温堆肥为辅（约 30%），以及在有条件的地方适当发展焚烧法（约 10%）的技术政策。

生活垃圾的卫生填埋处理技术，在国内外已进行了许多研究工作，制订了不少填埋场设计技术规范和措施，从而为防止填埋场垃圾对环境的污染起了积极的作用。但现行的填埋处理技术尚存在如下诸多问题：

- ① 填埋场环境卫生差、蚊蝇多；
- ② 渗滤液难处理、成本高；
- ③ 新填埋场址的选择越来越困难，距城市越来越远；
- ④ 填埋场爆炸、沼气不回收利用、就地排放污染大气等。

这些问题已严重影响了填埋处理技术的进一步普及应用和发展。

针对上述情况，现在包括美国、日本在内的世界各国都在想方设法改进填埋处理工艺，以最大限度地利用现有填埋场的消纳能力，延长填埋场的使用寿命，同时又在努力寻找经济有效地解决填埋场及其周围的环境卫生问题、渗滤液处理途径和填埋场沼气的回收利用技术，从而使无控制的填埋场垃圾降解转向有控制的生物反应器填埋场，实现生活垃圾填埋场设计由“年”向“月、周”的转换，反映出可持续发展的目标。

本书以环境生物技术为主线，在大量收集归纳国内外同类研究及应用资料基础上，结合作者国家自然科学基金、浙江省自然科学基金及其他纵横向项目的研究及应用，较全面地介绍了填埋场垃圾的微生物降解及稳定化进程、填埋场垃圾降解微生物学、填埋场渗滤液处理技术、填埋场气体的产生收集与提高利用技术及生物反应器填埋场技术。在写法上注重学科交叉，力求深入浅出和实用。本书可作为从事生活垃圾处理的科研人员、工程技术人员、管理人员及环卫、环保专业师生（尤其是博士生和硕士生）的参考书。

负责本书各章节编写的主要人员有方程冉（第一章）、贺永华和沈东升（第二章）、王君琴和沈东升（第三章）、刘宏远（第四章、第五章）和何若（第六章）。全书由冯孝善教授审核，最后由主编统一修改和定稿。刘新文同志参加了部分辅助工作。在本书的编写及出版过程中始终得到了化学工业出版社环境科学与工程出版中心陈丽主任的大力支持和帮助。在此，编者向所有对本书的出版给予关心和 support 的前辈、同事和朋友们，表示衷心的感谢！

由于编者的水平和能力所限，书中定有许多遗漏和不当之处，敬请读者批评指正。

沈东升

2002 年 12 月于浙江大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 生活垃圾成分的历史变迁	1
第二节 垃圾填埋处理简史	5
第三节 卫生填埋场	8
一、卫生填埋场的地位和作用	8
二、卫生填埋场的组成和工作要求	8
三、卫生填埋场污染物释放及其环境问题	10
四、卫生填埋场技术展望	11
第四节 可持续的卫生填埋场	11
一、生物反应器填埋场与常规卫生填埋场的差别	12
二、生物反应器填埋场的优势	13
第五节 填埋处理的社会和环境意义	15
第二章 填埋场垃圾的降解及稳定化进程	17
第一节 填埋垃圾微生物降解原理和潜力	17
一、垃圾微生物降解的基本原理	17
二、生物催化降解的必要条件	32
三、微生物的活性及种类	34
四、微生物降解转化物质的巨大潜力	35
五、目标化合物的特征	38
六、微生物适应——驯化	39
第二节 影响填埋场中垃圾降解的因素	40
一、填埋场操作方式	41
二、垃圾预处理	43
三、填埋场垃圾的组成	44
四、污染物的化学组成和结构	44
五、垃圾水分含量	46
六、填埋场地气温	46
七、填埋场地降雨量	48

八、渗滤液的 pH 值与氧化还原电位	49
九、微生物群落	49
十、营养	50
十一、氧	50
第三节 填埋场中垃圾的降解特性	51
一、填埋场垃圾的组成	51
二、垃圾降解的实质	52
三、垃圾降解动力学原理	52
四、垃圾降解速率的分析	57
五、垃圾中典型有机污染物生物降解的普遍规律	59
六、垃圾中有机污染物的可生物降解性	61
七、有机污染物生物降解性的评定	63
八、有机污染物降解特性与化学结构的关系	70
第四节 填埋垃圾降解及稳定化进程	71
一、稳定化进程定义	71
二、稳定化过程的划分	72
三、垃圾填埋场稳定化的研究现状	74
四、加速填埋场稳定化进程技术	80
五、垃圾填埋场稳定化评价	81
六、填埋场的终场覆盖技术	85
七、填埋场稳定化垃圾的开采利用	89
八、填埋场稳定化后的土地利用	91
第三章 填埋场垃圾降解微生物学	93
第一节 填埋场垃圾降解微生物的研究意义和研究方法	93
一、填埋场垃圾降解微生物的研究意义	93
二、填埋场垃圾降解微生物的研究方法	93
第二节 填埋场垃圾中的微生物生态及演替规律	124
一、填埋场垃圾中微生物群落	124
二、填埋场垃圾中主要微生物的消长	129
三、填埋场垃圾中重要微生物群落	141
第三节 填埋垃圾中微生物相互作用	146
一、好氧微生物与厌氧微生物的相互作用	146
二、填埋垃圾中厌氧微生物之间的相互关系	146
第四章 生活垃圾填埋场渗滤液的处理技术	153
第一节 渗滤液的来源和特点	153

一、渗滤液的来源	153
二、渗滤液的特点	155
三、渗滤液的危害	165
四、渗滤液的水量和水质的估算与预测	166
第二节 渗滤液处理方案的选择	171
一、与城市污水厂的合并处理（场外处理）	171
二、渗滤液的场内单独处理	172
三、预处理-合并处理方案（场内-场外联合处理方案）	173
四、循环喷洒处理（场内处理）	174
五、方案的选择	175
第三节 渗滤液的预处理	176
一、格栅或格栅	176
二、调节池	178
第四节 物化处理	183
一、混凝沉淀气浮法	183
二、氨氮的吹脱技术	186
三、吸附	189
四、膜分离技术	191
五、化学氧化法	194
六、蒸干技术	199
第五节 生物化学处理方法	200
一、厌氧生物处理技术	200
二、好氧处理生物技术	206
三、厌氧与好氧的组合工艺	210
四、其他处理方法	212
五、渗滤液处理工艺的选择	215
第六节 可持续的渗滤液污染控制和管理技术	218
一、好氧发酵无害化工艺	218
二、垃圾层中含水量的调控	219
三、生物反应器填埋技术	220
第七节 经济技术比较与分析	222
一、技术分析	222
二、经济分析	223
第五章 填埋场气体的产生、收集与提高利用	225
第一节 填埋场气体的特点	225

一、填埋场气体的产生及变迁	225
二、填埋场气体的组成	227
三、填埋场产气量的估算	229
四、填埋场气体的危害与控制	234
第二节 影响填埋场产 CH_4 的因素	239
一、填埋垃圾的特性	239
二、微生物的因素	242
三、环境因素的影响	243
四、填埋操作方式的影响	243
第三节 提高填埋场产气技术	245
第四节 填埋场气体的收集与预处理	248
一、填埋场气体的收集	248
二、填埋场气体的预处理	251
第五节 填埋场气体的利用	257
一、填埋场气体利用的可能性	257
二、填埋场气体的应用前景	258
三、填埋场气体产量的评估	259
四、填埋场气体的应用	260
第六章 生物反应器填埋场技术	266
第一节 生物反应器填埋场技术的提出及意义	266
一、填埋场微生态系统	266
二、填埋场污染物的释放、迁移及其环境问题	267
三、垃圾填埋场的沉降及封场后的维护问题	268
四、填埋场的功能	269
五、生物反应器填埋场的提出与意义	271
第二节 生物反应器填埋场的基本原理	272
一、生物降解	272
二、吸附	273
三、沉积	276
四、络合	280
五、氧化还原	282
六、挥发	284
七、扩散迁移	286
第三节 生物反应器填埋场的水力学特性	287
一、垃圾含水率	287

二、垃圾水的形态与水势	290
三、垃圾水流动	293
四、填埋场表层覆土的蒸发	298
第四节 渗滤液回灌型生物反应器填埋场	303
一、回灌型生物反应器填埋场的结构	303
二、回灌型生物反应器填埋场稳定化过程中的微生物变化	309
三、渗滤液回灌对填埋场的影响	314
四、影响回灌型生物反应器填埋场性能的因素	325
五、回灌型生物反应器填埋场污染物质溶出模型	330
六、回灌型生物反应器填埋场处理渗滤液的设计应用实例	333
第五节 两相型生物反应器填埋场	335
一、两相厌氧消化微生物学基本原理	335
二、两相型生物反应器填埋场系统工艺和工作原理	340
三、填埋场渗滤液水质的变化趋势	342
四、两相型生物反应器填埋场垃圾降解动力学	345
五、产甲烷生物反应器的运行特性	347
第六节 脱氮型生物反应器填埋场	350
一、脱氮型生物反应器填埋场的设计原理及结构	350
二、生物硝化过程与动力学	356
三、生物反硝化过程与动力学	364
四、脱氮型生物反应器填埋场的结构及运行性能	368
第七节 序批式生物反应器填埋场	372
一、序批式生物反应器填埋场的结构和原理	373
二、序批式生物反应器填埋场的运行性能	382
三、序批式生物反应器填埋场评价指标	383
参考文献	386

第一章 绪 论

第一节 生活垃圾成分的历史变迁

城市垃圾是指在城市日常生活中或者为城市日常生活提供服务的活动中产生的固体废物，以及法律、行政法规规定视为城市垃圾的固体废物，如菜叶、废纸、废玻璃制品、废瓷器、废家具、废塑料、厨房垃圾和建筑垃圾等，但不包括工厂排出的工业固体废物。

随着工业化国家的城市化和居民生活消费水平的提高，城市垃圾的增长十分迅速。发达国家垃圾年增长率为 3.2%~4.5%，发展中国家为 2%~3%。全球年产垃圾超过 100 亿吨，其中美国达 30 亿吨。我国城市垃圾的产生量近几年增长也较快。垃圾增长率每年约按 10% 以上的速度增长，全国 1 年垃圾产生量达 1.42 亿吨。由于处置设施严重不足，目前已有 2/3 的城市陷入垃圾的包围之中。据统计，2000 年中国城市垃圾的产生量达到 1.5 亿吨，占地达 6 万公顷。

今后 50 年是我国人口和城市化的高峰期。根据城市化水平推算，2010 年、2030 年和 2050 年我国将分别有 6×10^8 、 9.3×10^8 和 11.99×10^8 人口居住在城市。按照目前我国城市人均年产 440kg 生活垃圾的水平推算，将分别产生生活垃圾 2.64×10^8 吨、 4.09×10^8 吨和 5.28×10^8 吨（见表 1-1）。由此可见，21 世纪前 50 年，随着我国人口增长和城市化双高峰的到来，城市生活垃圾增长的高峰也将滚滚而来，这无疑是新世纪对我国城市可持续发展的严峻挑战。

在城市垃圾产量剧增的同时，垃圾的组成比也发生了很大的变

表 1-1 中国城市人口、生活垃圾现状及其增长趋势^①

项 目	1997 年	2010 年	2030 年	2050 年
全国总人口/ $\times 10^8$ 人	12.36	13.95	15.50	15.87
城市人口/ $\times 10^8$ 人	3.70	6.00	9.30	11.99
城市生活垃圾/ $\times 10^6$ t	1.30	2.64	4.09	5.28

① 摘自董锁成, 2001 年。

化。影响城市生活垃圾组成的主要因素有三个：一是城市经济的发展水平；二是城市居民的生活习惯；三是城市的燃料结构等。经济发达、生活水平较高的城市，有机物如厨余、纸张、塑料、橡胶的含量均较高。以燃煤为主的北方城市，受采暖期影响，垃圾中煤渣、沙石所占的份额较多。许多国家城市居民的日常食品改为冷冻、干缩、预制的成品和半成品，家庭垃圾中的有机物，如瓜皮、果核等大为减少；而各类纸张或塑料包装物、金属、玻璃器皿以及废旧家用电器等品种大大增加。几个国家城市垃圾的组成见表 1-2。

表 1-2 几个国家城市垃圾的组成^① (单位: %)

成 分	英 国	法 国	荷 兰	瑞 士	意大利	美 国
有机物	27	22	2	20	25	12
纸	38	34	25	45	20	50
灰、渣	11	20	20	20	25	7
金属	9	8	3	5	3	9
玻璃	9	8	10	5	7	9
塑料	2.5	4	4	3	5	5
其他	3.5	4	17	2	15	8
平均含水量	25	35	25	35	30	25
每人每年平均量/kg	320	270	210	250	210	820

① 摘自毕新慧, 2000 年。

我国垃圾成分与工业发达国家的显著差别是：无机物多，有机物少，可回收的废品也少。我国部分城市的垃圾组成见表 1-3。

随着城市中家庭燃料构成从过去用煤、木柴改用现在的煤气、电力，垃圾中间占很大比例的炉渣大为减少。表 1-4 列出了杭州市城市垃圾组分变化的情况。从表中可以看出，垃圾中煤渣等无机组

表 1-3 我国部分城市的垃圾组成^① (单位: %)

城市	有机废物					无机废物			其他
	厨余	废纸	纤维	竹、木制品	塑料、橡胶	废金属	玻璃、陶瓷	煤灰、水泥、碎石	
北京	39.00	18.18	3.56		10.35	2.96	13.02	10.93	2.00
天津	50.11	5.53	0.68	0.74	4.81				
上海	70.00	8.00	2.80	0.89	12.00	0.12	4.00	2.19	
杭州	52.48	4.90	3.80	1.66	11.30	0.67	1.15	24.03	
南京	5200	4.90	1.18	1.08	11.20	1.28	4.09	20.64	3.00
无锡	41.00	2.90	4.98	3.05	9.83	0.90	9.47	25.29	2.58
常州	48.00	4.28	1.70	1.01	10.02	1.10	5.80	25.09	3.00
南通	40.05	4.20	1.72	1.31	8.90	0.82	5.10	34.40	3.50
合肥	44.97	3.57	2.98	2.52	10.22	0.80	4.24	28.40	2.30
九江	47.27	4.18	1.93	1.00	12.50	0.54	3.50	27.08	2.00
武汉	39.16	4.33	1.33	3.20	7.50	0.69	6.55	32.74	4.50
宜昌	29.54	1.22	0.73	1.05	1.18	0.41	8.03	55.84	2.00
重庆	38.76	1.04	0.97	1.58	9.10	0.53	9.03	37.99	1.00
广州	63.00	4.80	3.60	2.80	14.10	3.90	4.00	3.80	
深圳	58.00	7.91	2.80	5.19	13.70	1.20	3.20	8.00	
惠州	50.00	2.10	2.12	3.27	12.00	2.91	2.20	25.40	
肇庆	50.00	2.10	1.89	4.10	12.60	2.50	4.35	22.46	
清远	53.00	2.00	1.51	3.20	11.12	2.40	2.10	24.67	

① 部分摘自高光, 2000 年。

表 1-4 1984~1998 年杭州市生活垃圾组分调查^① (单位: %)

年份	易腐垃圾			煤 渣			废 品							水分
	动物性	植物性	合计	渣	灰土	合计	纸	布	塑料	金属	玻璃	竹木	合计	
				(>15 mm)	(<15 mm)									
1984	0.28	39.99	40.27	2.07	54.50	56.57	0.78	0.65	0.33	0.47	0.35	0.58	0.31	
1985	0.27	33.82	34.09	1.23	62.68	63.91	0.54	0.39	0.25	0.25	0.26	0.31	2.00	
1986	0.83	38.44	39.27	1.65	54.85	56.50	1.09	0.80	0.62	0.38	0.91	0.43	4.23	
1987	0.87	43.52	44.39	1.82	48.87	50.69	1.08	0.98	0.73	0.46	1.12	0.46	4.92	
1988	0.93	44.74	45.67	1.22	48.35	49.57	1.02	0.82	0.63	0.54	1.25	0.50	4.26	
1989	0.82	46.20	47.20	1.21	47.02	48.23	0.96	0.77	0.64	0.56	1.31	0.51	4.25	
1990	1.30	41.36	42.86	1.58	49.86	51.44	1.16	0.96	1.03	0.59	1.27	0.76	5.73	
1991	0.98	46.11	47.09	1.08	44.36	45.44	1.51	1.18	1.54	0.90	1.40	0.94	7.47	
1992	1.57	49.58	51.16	1.24	39.50	40.74	1.71	1.17	1.68	0.62	1.87	0.94	7.98	

续表

年份	易腐垃圾			煤 渣			废 品							水分
	动物性	植物性	合计	渣 (>15 mm)	灰土 (<15 mm)	合计	纸	布	塑料	金属	玻璃	竹木	合计	
1993	1.67	50.20	51.87	2.28	36.48	38.76	1.80	1.63	2.50	0.84	1.87	0.95	9.59	
1994	1.67	50.20	51.87	2.28	36.48	38.76	1.80	1.63	2.50	0.84	1.87	0.95	9.50	
1995	1.91	50.53	52.44	1.73	36.02	37.25	1.74	1.15	3.14	0.83	1.94	1.01	9.81	
1996	2.00	53.28	55.28	2.56	30.61	33.17	1.80	1.50	5.02	1.12	1.42	0.39	11.5	52.8
1997	2.99	55.21	58.20	1.66	22.48	24.14	3.68	2.23	7.62	0.98	2.09	1.20	17.8	55.5
1998	3.35	49.13	52.48	4.47	19.56	24.03	4.90	3.80	11.3	0.67	1.15	1.66	23.5	55.7

① 摘自周启星, 1999 年。

分逐年降低, 而有机物(易腐垃圾)以及塑料、纸张、玻璃、金属等可回收物质的量逐年增加。与 1984 年相比, 1998 年垃圾中煤渣所占的比例减少了 32.54%, 可回收物质所占的比例增加 23.17%, 其中主要为塑料。1991 年以后, 生活垃圾中有机物年平均上升 0.67%, 无机物年平均下降 2.68%, 废品年上升 2.0%。

我国城市生活垃圾的变化特点可概括如下。

① 随着我国城市规模的扩大和居民生活水平的提高, 城市垃圾总量以平均每年 10% 左右的速度增加。

② 随着城市煤气化率的上升, 厨余垃圾中的煤渣、灰土明显减少, 而易腐有机物的比例逐年增加。

③ 随着消费水平的提高, 生活用品和食品等包装的日益讲究, 城市垃圾中的废品类物质显著增加。其中塑料类成分增长最快, 主要是塑料包装材料和廉价的一次性用品。

④ 随着城市垃圾构成比例的变化, 垃圾的发热值也有了很大的提高, 已达到中等发达国家的水平。

随着我国农村生活水平的不断提高, 而环保意识和环卫设施相对较落后, 我国农村生活垃圾污染现象也日趋严重。农村垃圾对土壤生态环境、大气质量和水环境均有严重的污染, 从而影响粮食、蔬菜、水产、禽蛋和肉类等产品的质量, 这些产品最终进入食物链, 从而会对人们的身体健康构成极大的威胁。目前, 由于大多数

农村还没有从根本上建立一套生活垃圾收集、处置的管理系统，大多数农户还是采用沿袭千年的自行随意处置的传统办法，致使农村的暴露垃圾日益增多，已成为农村环境整治和我国农村城市化进程中的难点、热点问题。

造成农村生活垃圾污染的原因有三个。一是随着农民生活水平的提高，农村生活垃圾的构成起了很大的变化，许多塑料、玻璃、物品包装材料难以分解。二是随着农村住房改善，燃气普及和用肥习惯改变，许多有机垃圾未被利用还田，秸秆、果蔬和稻草被作为垃圾随意丢弃，农村垃圾数量增加。三是随着农村城市化进程的加快，农民居住相对集中，农村生活垃圾管理跟不上，加上农村部分村民环境卫生意识较差，造成垃圾乱倒、乱堆、乱抛现象比较普遍。农村垃圾，特别是农户的生活垃圾已成了影响农村环境的重要污染源之一。因此，治理农村垃圾污染也是保护人类生存环境、提高生活质量的重要措施。

第二节 垃圾填埋处理简史

1. 卫生填埋处置方法和技术的研究发展历史

垃圾的填埋处理有较长历史了，但卫生填埋场的历史却只有几十年。从20世纪60年代开始到70年代早期，垃圾的简单露天堆放造成严重的环境污染和破坏事件不断增多，特别是1972年在瑞典斯德哥尔摩召开“人类环境会议”以后，环境问题在世界范围内受到关注。至20世纪90年代初，美国卫生填埋场已达75 000个。此外，加拿大、英国、澳大利亚、新西兰、挪威、法国、丹麦、德国、意大利等国已建立了大量卫生填埋场。这些发达国家的政府、科研机构 and 高等院校十分重视卫生填埋这种生活垃圾填埋处置方法和技术的研究。通过文献分析，可发现卫生填埋处置方法和技术的研究发展历史可分为下列几个阶段。

① 前期阶段 这一阶段在20世纪40~50年代，卫生填埋法很少使用，垃圾以简单的露天堆放为主。

② 初期阶段 这一阶段，在进行填埋场场址的选择时，地质、

水文地质、工程地质、环境地质等各条件成为调查、分析和评价的对象。此阶段的主要特点是对场地的定性分析与评价。

③ 填埋环境影响的机理研究阶段 这阶段起于 20 世纪 70 年代后期到 80 年代中期。这一阶段的主要特点是着重对单个污染组分与地下水或地层矿物成分相互作用机理的研究。在方法和手段上,采用了物探、同位素、示踪技术等,以及应用溶质迁移的解析模型、数值模型、零通量面法计算等,垃圾对环境的影响分析开始从定性走向定量。

④ 全面系统化研究阶段 这阶段从 20 世纪 80 年代后期开始,对填埋场的研究更加全面,深入和系统,具体表现在:填埋场设计更加系统和完善;场地地质环境效应研究综合化和系统化;填埋场阻隔材料性能的研究日趋活跃;计算机人工智能系统引用于该领域。

2. 我国城市垃圾填埋处置的主要进展

我国“七五”期间,在全国范围内开展了城市垃圾无害化处置技术的试点研究。在借鉴发达国家先进经验的基础上,对卫生填埋、堆肥、焚烧和资源回收利用等各试点项目的经济技术进行全面分析评估后,确认卫生填埋处置技术是最适宜我国国情的实用处置技术之一。建设部和科委于 1991 年 9 月正式把卫生填埋处置技术确定为我国近期推广的首选技术,并将是否建立城市垃圾的卫生填埋场作为国家级卫生城市的一个重要指标。随后与之相关的法律法规性文件相继出现,如《生活垃圾填埋场环境监测技术标准》(GB/T 3037—1995)、《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB 16889—1997)、2000 年 5 月 29 日建设部颁布的《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》及 2002 年 6 月 6 日国家环保总局颁布实施的《关于生活垃圾填埋污染控制标准有关问题的复函》等都明确规定了城市生活垃圾填埋场的设计操作规范等。这标志着我国城市垃圾填埋处置工作进入了新阶段。大量初步研究成果开始出现,主要进展如下。

① 采用了实体物理模拟实验,应用了化学动力学、水动力学弥散理论,建立了垃圾渗滤液中有机氮、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、

Cl^- 等离子迁移和转换的准二维联合数学模型，对垃圾填埋场环境影响程度和速度进行了模拟、计算和预测。

② 较深入、系统地研究了垃圾填埋场系统中微生物对氮化物及某些元素的迁移转化和相互作用机理，探索了硝化菌和反硝化菌对 NO_2^- 、 NO_3^- 、化学需氧量（Chemical Oxygen Demand, COD）等的硝化、反硝化作用和去氮作用，得出了垃圾填埋场各种微生物作用不但有去除有机物和氮化物的能力，还有净化某些金属离子能力的结论。

③ 深入、全面、系统地研究了垃圾填埋场对环境影响的评价方法，并对某些垃圾填埋场的环境污染进行了分析评价。

④ 探索出了一套适合于垃圾填埋场场址综合、系统的优化选择理论和方法。

⑤ 研究了填埋场地土壤中污染物质在不同层次不同孔隙组成土壤中的迁移规律，得出了用孔隙水临界水力梯度来计算垃圾填埋场与地表水、地下水体之间的距离、场底黏土衬垫厚度、密度等参数的计算方法。

⑥ 深入系统地研究了各种土体（黏土、重黏土、粉质黏土）及其不同比例的混合材料对各种污染物质的阻隔能力及各种材料衬垫的铺高方法。

⑦ 研究得出了分别适合于南方和北方垃圾填埋场的不同堆填模式和管理模式。

所有这些研究成果都为卫生填埋场的合理选址及科学规划设计提供依据，为实现对垃圾填埋场系统的科学有效的管理、对填埋场污染治理及生态环境系统的整治和规划的完善起了重大作用。

3. 垃圾填埋处置的国内外研究热点和发展方向

目前，该领域的国内外研究热点和发展方向主要如下。

① 填埋垃圾污染物在场地土体及地下水中的迁移规律和归属的物理化学及生物化学作用机理。

② 微生物对污染物在地下水和包气带中的积累、降解和消散的调控机制。