

城市垃圾 处理与处置

王中民 主编 吴松华 主审

X705

中国建筑工业出版社

前 言

城市垃圾又叫城市固体废弃物。

我国城市垃圾长期以来，没有得到妥善解决。而作为世界人口最多的中国，城市垃圾的处理与处置问题，已到了非解决不可的时候了。

为了解决上述问题，本书搜集了国内外有关的科研、设计、实践方面的资料，以及我们在这方面的研究、设计、实践的成果。并对所搜集到的资料进行筛选，以达到为科研、设计、管理等方面提供成熟的经验、数据和方向的目的，使我国的城市垃圾处理与处置工作能够深入顺利地发展下去。

本书编写人：第一章为王炳礼，第二、三章为王宝祥、张振山、郝忠良，第四章为钟蔡昌，第五章为孟繁雨、黄一，第六章为黄一，第七、八章为万云，第九章为巫宇峰，第十章为杨军磐、徐水明。主编为王中民，主审为吴松华。

本书可供城市垃圾处理与处置的科研、设计、管理等方面的工作者参考，也可作为大学有关专业师生的参考书。

由于我国城市垃圾处理与处置技术正处于发展阶段，加之此项技术涉及的面广，限于编写人的水平，不足之处在所难免，希读者不吝指正。

目 录

第一章 概述	1
第一节 城市垃圾的来源及分类	1
第二节 城市垃圾的特点及发展趋势	2
第三节 城市垃圾的污染及其危害	5
第四节 垃圾处理与处置	7
第五节 城市垃圾处理现状和发展趋势	20
第六节 我国城市垃圾处理的规划目标、技术方针与对策	28
第二章 城市垃圾常用分析方法	33
第一节 城市垃圾的主要性质	33
第二节 常用的分析方法	37
第三章 城市垃圾的收集运输	59
第一节 概述	59
第二节 垃圾的收集	60
第三节 垃圾清运	67
第四节 垃圾中转运输与转运站	81
第四章 垃圾预处理	88
第一节 垃圾分选	88
第二节 垃圾的破碎	104
第三节 垃圾预处理场实例	110
第五章 垃圾卫生填埋	117
第一节 选址	117
第二节 渗滤液	120
第三节 气体控制	124
第四节 工程设施	127
第五节 经营管理及场地再利用	132

第六节	实例	135
第六章	堆肥技术	139
第一节	堆肥机理	139
第二节	好氧堆肥过程主要参数的选择	141
第三节	好氧堆肥的质量及卫生要求	149
第四节	几种典型的堆肥工艺	152
第五节	堆肥厂典型实例	156
第七章	焚烧	164
第一节	垃圾焚烧的特性	164
第二节	焚烧炉	165
第三节	焚烧厂设计	178
第四节	废热回收和利用	181
第五节	环境保护	183
第六节	焚烧的评价	188
第七节	我国运用焚烧的现状和前景	189
第八节	实例简介	191
第八章	垃圾热解	193
第一节	热解机理	193
第二节	各类热解系统	195
第三节	各类热解方法的比较	213
第四节	垃圾热解的评价	218
第九章	垃圾的其它处理方法	220
第一节	用无机垃圾作建筑材料及筑路材料	220
第二节	垃圾作燃料	226
第三节	垃圾养蚯蚓	233
第十章	经济及环境效益分析	239
第一节	经济效益分析	239
第二节	环境效益分析	245
附录:	常用的非法定计量单位换算关系	257

第一章 概 述

第一节 城市垃圾的来源及分类

废弃物是人类活动的产物，只要人类存在，就会从其活动中产生废弃物。城市系统是一个经常处于非平衡状态下的复杂有机体，为了保证和维持城市各项活动的正常开展和人们正常生活，需要不断地向城市输入食品、原料、商品等。这些物品经过城市生产、流通、消费等活动，除一部分以商品形式输出外，其余部分或早或迟最终将变成城市的废弃物，其中的固体废弃物，可统称为城市垃圾。

习惯上按照垃圾的来源不同分为以下六类：

1. 普通垃圾 普通垃圾是人们日常生活固体废弃物的总称。它主要来源于居民厨房、庭院、机关、文化事业单位、街道及小型工业企业、作坊等的废弃物。其中包括有废纸及纸制品、废塑料、破布及各种纺织品、废橡胶、废皮革制品、废木材及木制品、废玻璃陶瓷、罐头饮料盒及废金属制品、灰土等。

2. 商业垃圾 商业垃圾是商业活动中产生的固体废弃物的总称。它通常含有废纸与纸制品、废塑料、草编品、食物残渣、菜蒂菜叶、腐烂水果、灰土等。其主要来源于商业、公共饮食业、理发业、农贸市场、商品储藏及加工厂等。商业垃圾的主要特征是生物降解快，腐蚀性强，易产生恶臭。

3. 清扫垃圾 清扫垃圾是城市公共场所如公园、街道、体育场、绿化带的清扫物以及公共垃圾箱中的固体废弃物等。其产量和组成随季节、地区变化较大。

4. 建筑垃圾 建筑垃圾是指建设工地的固体废弃物及旧建筑物的维修、拆除所残留废弃物的总称，它主要包括泥土、砖瓦块、石头、混凝土块、废木材、废管道、电气废料等。建筑垃圾一般由建设单位自行处理，或由城市环卫部门代运。

5. 工业垃圾 工业生产过程中的各种废渣、粉尘及其它固体废弃物称作工业垃圾。工业垃圾按照“谁排放，谁管理”的原则，由工业企业自行收集和处理。

6. 危险垃圾 危险垃圾是指各种化学和生物的危险品、易燃易爆物、放射性固体废弃物及其它对人类和动、植物生命具有瞬间、短期或长期危险性的垃圾均为危险垃圾。它主要来自医院、生物制品厂、科研单位等，应由产生单位单独清运，并妥善处理 and 处置。

第二节 城市垃圾的特点及发展趋势

一、国外城市垃圾的特点及发展趋势

1. “量”急剧增加 按质量计算，工业发达国家的城市垃圾年增长率为2.5%。

2. “质”日趋复杂 随着城市燃料结构由煤和柴转变为煤气和电力，食品结构由未加工的蔬菜、家禽转变为经加工的半成品或成品，消费结构由节俭型转变为废弃型，城市生活废弃物中有机成分增多，无机成分减少，尤以废纸与塑料类增加显著。

3. “处理费用”十分昂贵 随着垃圾处理场与处置场地选址的日益困难, 劳务费及能源费的上涨, 城市垃圾处理费用不断增加。

二、我国城市垃圾的特点及发展趋势

1. 垃圾产量增长速度快 据统计我国城市垃圾清运量1979年为 $2508 \times 10^4 \text{t}$, 1986年为 $5008.7 \times 10^4 \text{t}$, 七年间增长99%, 扣除不可比因素, 年平均增长率为10%左右, 大大高出工业发达国家城市垃圾年增长率2.5%的速度。如按我国城市垃圾的清运量平均为垃圾产量的85%计, 由此推算我国城市垃圾人均产量为 $1.0 \sim 1.2 \text{kg/d} \cdot \text{人}$ 。

2. 垃圾成分经济价值低 从总体情况来看, 我国城市垃圾中无机成分多于有机成分(约为2.5:1); 不可燃成分多于可燃成分(约为20:1); 不可堆肥成分多于可堆肥成分(约为4:1)。表1-1给出了我国部分城市垃圾成分。

3. 垃圾成分变化较快 城市燃料结构的变化, 不仅会影响城市垃圾的产量, 而且是影响垃圾成分的重要因素。据北京、沈阳两市调查资料, 双气户(指使用煤气和区域采暖的住户)的人均垃圾产量只有纯烧煤户的 $1/3 \sim 1/6$; 垃圾中有机物、无机物的含量相差也较大, 见表1-2。

城市居民的消费习惯与消费结构也在变化。从北京市1976~1986年的垃圾成分分析(表1-3)可以看出: 垃圾中灰土、炉灰成分已由75%下降到42%; 有机物由14%提高为37.82%; 尤其是金属、塑料、玻璃、织物等经济价值较高的成分由2.22%上升到8.68%, 几乎增加了三倍。北京市垃圾成分的这种变化, 可以代表我国大中城市垃圾成分的变化趋势。

4. 垃圾的产量和成分随季节变化波动较大。由于我国城

市居民生活习惯及食物结构的特点，加之瓜果、蔬菜、水产品等季节性上市强的食品，造成垃圾产量和成分随季节变化较为明显。

我国部分城市垃圾成分

表 1-1

城 市	有机物(%)		无 机 物(%)			废 品(%)				
	植物	动物	炉灰	砖瓦	灰土	纸类	金属	塑料	玻璃	布类
上 海	42.57	0.13	47.62	1.60	4.57	1.63	0.53	0.40	0.43	0.47
北 京	48.48	1.81	20.53	9.83	11.91	4.17	0.80	0.61	0.92	1.16
哈 尔 滨	14.11	2.51	65.80	4.36	4.55	3.60	0.88	1.46	2.26	0.50
武 汉	26.53		64.82	3.18		2.36	0.17	0.31	0.85	0.74
广 州	30.00~38.00		55.00~65.00			5.20~6.60				
乐 山	15.49	0.96	1.85	52.08	26.34	1.04	0.53	0.23	0.36	0.54
十 堰	19.00	2.00	9.50	44.80	19.00	0.10	1.50	0.50	3.50	0.10
南 宁	13.86	0.71	3.88	46.64	30.98	1.83	0.47	0.56	0.64	0.60
景 德 镇	17.20		5.30	73.30		3.40	2.50	0.90	1.60	0.90

燃料结构对垃圾成分与产量的影响

表 1-2

城 市	燃料结构	有 机 物 (%)	无 机 物 (%)	废 品 (%)	人均垃圾产量 (kg/人)
北 京	双气户	92.60	7.40		0.14
	单气户	43.12	56.88		0.86
	纯煤户	30.26	69.74		1.08
沈 阳	双气户	86.94	9.34	3.72	0.39
	单气户	56.62	41.13	2.25	1.05
	纯煤户	37.97	60.97	1.66	1.15

北京市各年度垃圾成分百分率

表 1-3

年 度	金属	玻璃	纸类	塑料	织物	有机物	灰土	碎砖瓦
1976	0.47	0.19	1.05	0.08	0.43	14.90	75.42	12.27
1980	0.66	0.32	3.18	0.32	0.96	36.33	54.18	4.31
1986	0.91	2.57	5.84	1.63	0.63	37.82	42.63	5.80

表1-4是北京市1986年四个季度垃圾成分百分率。

北京市1986年四个季度垃圾成分百分率

表 1-4

季 度	金属	玻璃	纸类	塑料	织物	骨壳	食品	草木	灰土	砖瓦
一	1.17	0.72	4.34	1.21	0.57	1.52	21.93	0.66	62.71	5.17
二	1.00	6.11	8.33	1.94	0.81	0.58	27.36	6.19	34.49	13.28
三	0.94	1.61	5.87	1.72	0.44	0.60	54.25	0.80	31.78	1.97
四	0.53	1.05	3.81	1.65	0.70	0.40	31.11	7.74	49.35	2.86
平均	0.91	2.57	5.84	1.63	0.63	0.77	33.20	3.85	44.80	5.80

第三节 城市垃圾的污染及其危害

一、城市垃圾中主要污染物

城市垃圾污染物有以下几类：

(1) 有害微生物：病毒、致病菌、寄生虫卵、害虫等。

(2) 无机污染物：主要是重金属如汞、铅、镉、铬、锌等，也含有一般金属离子的污染。

(3) 有机污染物：碳氢化合物、洗涤剂、致癌物及其它形成COD、BOD等耗氧性有机物质。

(4) 其它污染物：如氮、磷等营养成分、放射性物质及产生色、臭的物质等。

二、城市垃圾的危害

1. 侵占大量土地 据北京市1983年统计资料，堆放城市垃圾占去市郊土地7000余亩，全国每年被垃圾所占用的土地面积达数万亩之多。

2. 污染水体 垃圾倾倒在江、河、湖、海中直接污染了水体。垃圾露天堆放而随风飘移及垃圾渗滤液透和径流也使水体受到污染。由于水体被垃圾污染，水传染病时有发生。

3. 污染大气 城市垃圾收运和堆放过程中未进行密闭处理，使垃圾微粒、灰尘飘散在空中，直接污染空气。垃圾堆放时由于厌氧发酵而产生大量甲烷、硫化氢、氨、甲硫醇等有害气体散发在空气中，恶化了大气环境。

4. 污染土壤及农作物 未经处理的垃圾长期用于农业后，使农田土壤“渣化”，降低了土壤的保水、保肥能力。同时，土壤中大肠菌、寄生虫卵明显增加，使土壤和蔬菜等农作物遭到污染。

5. 影响城乡环境卫生 城市生活垃圾极易发酵腐化，产生恶臭、招引鼠、鸟，孳生蚊、蝇及其它害虫，有害城乡环境卫生，易引起传染性疾病传播。

6. 有碍市容观瞻 城市的清洁文明，很大程度上与垃圾的收运、处理及处置工作息息相关，尤其对风景名胜及旅游地区，垃圾未进行妥善处理，其不良影响更大。

7. 易引起其它灾害 由于城市垃圾收运和处置不当，时有发生火灾及爆炸性灾害的事例。

第四节 垃圾处理与处置

一、垃圾处理的意义和目的

城市垃圾处理的实质是改变原垃圾的物理、化学性质及减少垃圾数量的过程。垃圾处置则是在环境容量允许条件下，使垃圾长期地置于一定空间位置的过程。规划及处理城市垃圾的目的在于使垃圾从产生、收集、运输、处理到回收利用都能衔接配套，从而保证城市垃圾迅速清运并得以妥善处理、处置及合理利用。其最终目标是实现城市垃圾无害化、减量化、资源化，既消除垃圾的污染危害，又为社会创造财富，在环境、社会、经济三方面的效益兼而得之，达到化害为利的目的。

二、垃圾处理方法分类

垃圾处理方法按性质不同分为物理方法、化学方法及生物化学方法三类。就处理对象而言，又分为混合垃圾处理、单一成分垃圾处理、垃圾与粪便处理、垃圾与城市下水污泥混合处理等方法。通常是以其处理过程及用途的不同来划分，如下所示：

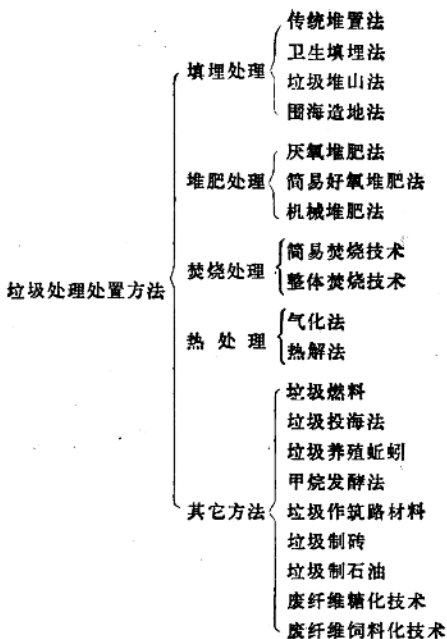
三、垃圾处理基本方法概述

(一) 垃圾填埋处理

垃圾填埋处理分为传统填埋与卫生填埋两类。

1. 传统填埋法 这种方法实际上是在自然条件下，利用坑、塘、洼地，将垃圾集中堆置在一起，不加掩盖，未进行科学处理的堆填方法。

2. 卫生填埋法 卫生填埋法是采用工程技术措施，防止产生污染及危害环境的土地处理方法。



(二) 垃圾堆肥处理

垃圾堆肥处理是在有控制的条件下，依靠自然界广泛分布的微生物，使垃圾中有机成分分解，转化为腐植土状的有机肥或土壤改良剂。

垃圾堆肥处置按需氧程度分为厌氧堆肥与好氧堆肥；按温度范围分为中温堆肥与高温堆肥；按技术条件又分为露天堆肥（长堆）与封闭机械装置堆肥。

1. 厌氧堆肥 厌氧堆肥是在不供给空气的条件下，利用厌氧微生物促使垃圾中有机物质分解的过程。

2. 好氧堆肥 好氧堆肥是在有空气的条件下，利用好氧

性微生物分解垃圾中有机物的过程。好氧堆肥又分露天堆肥法与机械装置化堆肥法：

(1) 露天堆肥法。这种堆肥的好氧过程依赖于自然通风。氧的供给是由堆体的表面向内部扩散，生化反应受氧的扩散速率的限制。露天堆肥的优点：(a) 投资省，处理费用较低；(b) 工艺简单，易于操作。其缺点是：(a) 受自然条件限制，堆肥时间较长，占地面积也较大；(b) 人工翻堆劳动强度大；(c) 易招引蚊、蝇、鼠类等害虫，环境条件稍差。露天堆肥法在发展中国家采用得较多，适合于小规模垃圾堆肥处理。

(2) 机械装置化堆肥。这种堆肥法需要专门的反应设备，在反应器内靠空气对流扩散或采取强制通风的方法来满足生化需氧要求。反应设备有固定仓式、滚筒式等多种形式。除了反应器主体设备外，还有垃圾物料输送及进出料等配套机械设备。机械装置化堆肥的优点是：(a) 堆肥周期短，占地面积小；(b) 机械化程度高，便于工业性运行和规范化管理；(c) 环境卫生条件较好。其缺点是：(a) 动力消耗增加，增大了堆肥能耗；(b) 建设投资及运行费用较高。

(三) 垃圾焚烧处理

垃圾焚烧处理是使可燃性垃圾与空气中的氧进行燃烧反应，将可燃垃圾转换成惰性残渣的过程。垃圾经过燃烧后，残渣量只有原垃圾量的5~20%，垃圾中的病原体和寄生虫卵被彻底杀灭。在某些情况下，垃圾焚烧时释放出的热量可以转换成其它形式的能量而进行有效的利用。所以垃圾焚烧处理能使垃圾达到无害化、减量化、资源化的目的。

垃圾焚烧处理可分为单纯焚烧处理与整体焚烧系统。

1. 单纯焚烧处理 国外早期的垃圾焚烧厂多采用固定式炉排炉，不带烟气净化设备的单纯焚烧装置，处理量100~200t/d，多为一台或两台炉子交替使用。国内乐山市建成两座简易焚烧炉，双桥固定式炉排，处理能力分别为20t/d和50t/d。据研究结果，当垃圾热值大于4000kJ/kg时，即可实现自燃方式焚烧，而不需任何外加燃料。

2. 整体焚烧系统 整体焚烧系统多见于现代垃圾焚烧厂。它是由垃圾的接收、贮存、进料、焚烧炉、烟囱、烟气冷却与净化、污水及灰渣处理等部分组成，另外还备有金属分选、废热锅炉等资源回收设备。主体设备焚烧炉按进料与烟气间运动方向的不同，分为逆流、顺流、交叉流三种类型。

垃圾焚烧时，还可能产生毒性大的多环芳香氯化物二噁英。由于其毒性强，而为人们所关注。据介绍，这种剧毒物质是由杀虫剂、除莠剂及合成树脂浸渍过的木头等燃烧时产生的。当燃烧温度较低时，二噁英不能完全分解，被烟尘吸附并随烟气排放，危害环境。关于它对环境潜在危害的评价尚有争论，故垃圾焚烧过程宜保持较高的温度条件。

(四) 垃圾热解处理

垃圾热解处理是热处理的一种。从热力学角度来说，热解又分为纯热解或干馏(过剩空气系数 $\alpha = 0$)与气化($0 < \alpha < 1$)。

1. 气化法 气化法是把垃圾投入气化炉内，在空气、蒸气等气化剂作用下使垃圾产生燃气的方法。

2. 热解法 热解法是在隔绝空气的条件下，垃圾在热解装置中受热而使有机质分解，转化成燃气，焦油及焦渣等多种产品。

（五）其它垃圾处理方法

除上述广泛采用的垃圾填埋、堆肥、焚烧处理方法外，其它垃圾处理与利用技术也得到一定的发展。如国外用垃圾制造石油、垃圾用作燃料、废纤维糖化与饲料化以及垃圾投海等技术均有较快的发展。国内利用垃圾养殖蚯蚓、作筑路材料、制砖及发酵法处理技术等方面也都开展了研究工作和小规模实际应用。这里不再一一赘述。

四、垃圾处理方法分布及评述

1. 垃圾处理方法分布情况 由于城市垃圾成分复杂，又受经济发展水平、自然条件及传统习惯等因素的制约，因而各国对城市垃圾的处理一般是随国情而异，往往一个国家中各地也采取不同的处理方案与工艺，难有统一的模式。就广泛应用的填埋、焚烧及堆肥等基本垃圾处理方法来看，各国采用这些方法的比例也因诸多因素而有较大差别，详见表1-5。

我国幅员广大，各地垃圾成分有一定差异，垃圾中有机物含量在20%~50%之间。过去，城市垃圾处置的主要方式是直接用于农田、填坑及裸露堆放，占用了大量土地，污染了环境，而且垃圾消纳困难日益突出。为此，建设部及各有关部门、单位十分重视垃圾处理对策和工艺技术的研究工作，制定了以卫生填埋和高温堆肥为主，有条件的地方发展焚烧技术的政策。

2. 垃圾处理方法评述 选择垃圾处理工艺的影响要素颇多，可归纳为：技术可靠程度；处理费用承受能力；环境污染的危险性；资源化价值及某些特殊的制约因素等。表1-6是垃圾卫生填埋、高温堆肥、焚烧三种基本处理方法的概括比较。

从基建投资方向来看，卫生填埋法的投资最省，约为高

温堆肥的1/3~1/4、焚烧法的1/10, 运行费用也低。对于中小城市来说, 近期采取卫生填埋或是简易高温堆肥为主的处理工艺, 综合优势较为明显, 如有适当的填埋地点和易于解决堆肥产品的消纳问题, 可首先考虑以这类方法为主的工艺。

部分国家垃圾处理方法比例(%)

表 1-5

国 家	年 度	填埋处理	焚烧处理	堆肥处理	其它方法
荷 兰	1979	50	30	20	
瑞 典	1983	20	41	24	15
瑞 士	1983	20	70	10	
挪 威	1980	79	14	7	
丹 麦	1980	36	63	1	
奥 地 利	1983	43	22	21	14
联邦德国	1983	67.6	30	2.4	
法 国	1979	50	30	20	
英 国	1980	9.4	3	1	16.6
比 利 时	1978	62	29	9	
意 大 利		68	24		8
美 国	1979	95	5		
日 本	1982	32.3	65.3	2.4	
新 西 兰	1975	64	30	6	
澳大利亚	1979	65	24	11	

大中城市, 垃圾填埋用地较多, 选址困难的因素将会增加, 可考虑将垃圾进行适当分流, 分别以填埋、堆肥、焚烧法进行综合处理。垃圾分流的最有效方法是分类收集。将无机垃圾以简易填埋方式或其它利用方式加以处置; 有机垃圾中的可堆腐物作堆肥处理或填埋回收沼气; 分流后的可燃性垃圾热值如大于4000kJ/kg, 条件可能时宜作焚烧处理。

三种垃圾处理方法比较

表 1-6

项 目	方 法		
	填 埋	焚 烧	高温堆肥
技术可靠性	可 靠	可 靠	可靠、国内有一定经验
操作安全性	较大、注意防火	好	好
选 址	较困难, 要考虑地理条件, 防止水体受污染, 一般远离市区, 运输距离大于20km	易, 可靠近市区建设, 运输距离可小于10km	较易, 需避开住宅密集区, 气味影响半径小于200m, 运输距离10~20km
占地面积	大	小	中 等
适用条件	适用范围广, 对垃圾成分无严格要求	要求垃圾热值大于4000kJ/kg	垃圾中生物可降解有机物含量大于40%
最终处置	无	残渣需作处置占初始量的10~20%	非堆肥物需作处置占初始量25~35%
产品市场	有沼气回收的填埋场, 沼气可作发电等利用	热能或电能易为社会使用	落实堆肥市场有一定困难, 需采用多种措施
能源化意义	部分有	部分有	无
资源利用	恢复土地利用或再生土地资源	垃圾分选可回收部分物质	作农肥和回收部分物资
地面水污染	有可能, 但可采取措施防止污染	残渣填埋时与填埋方法相仿	无
地下水污染	有可能需采取防渗保护, 但仍有可能渗漏	无	可能性较小