

城市生活垃圾 处理处置工程及应用

李定龙 主 编
王 晋 副主编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

城市生活垃圾 处理处置工程及应用

李定龙 主 编
王 晋 副主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书全面介绍了城市生活垃圾的来源与分类、成分与性质及国内外处理处置现状；重点阐述城市生活垃圾处理处置技术方法，包括填埋、焚烧、堆肥、综合处置与利用；详细介绍城市生活垃圾处理处置规划及其处理处置技术方案选择模型。本书在处理技术方法、规划和技术方法选择方面均提供了运行可靠或有代表性的相关实例分析。

本书可作为大专院校相关专业的教师、学生教材和参考书，也可以供从事城市生活垃圾研究、处理行业 and 环境保护系统的工作人员和科技人员阅读、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市生活垃圾处理处置工程及应用 / 李定龙主编.
—北京：中国石化出版社，2008
ISBN 978 - 7 - 80229 - 766 - 1

I. 城… II. 李… III. 城市 - 垃圾处理 IV. X799.305

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 169130 号

中国石化出版社出版发行

地址：北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编：100011 电话：(010)84271850

读者服务部电话：(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京密云红光制版公司排版

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 15 印张 371 千字

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

定价：35.00 元

前 言

城市生活垃圾是人类面临的一个普遍性问题，关系人口、资源、环境是否能够协调发展。近些年来，许多国家都在寻求治理垃圾的有效途径，特别是欧美一些发达国家，已将垃圾处理纳入市政管理的重要内容。但城市生活垃圾处理处置尤其是模式选择方面的应用专著目前我国尚不多见，为弥补这一不足，我院在对生活垃圾多年研究和工作体会的基础上，组织编写了以介绍生活垃圾处理处置规划、技术及选择模式为主要内容的本教材，供参考选用。

全书共分六章。第一章概论，主要介绍了城市生活垃圾的来源与分类、成分与性质及国内外处理处置现状，第二、三、四、五章分别从填埋、焚烧、堆肥、综合处置与利用重点阐述了城市生活垃圾处理处置技术方法及其应用实例，第六章探讨了城市生活垃圾处理处置规划及其处理处置技术方案选择模型及其应用。

本书由江苏工业学院环境与安全工程学院的部分老师编写完成。书稿在编写过程中，参阅并引用了国内外许多学者的文献、研究成果及图表资料；徐杰、赵宋敏、胡林凯、张志祥、杨彦等教师和研究生为书稿的文字录入和图片加工提供了很大帮助，在此一并深表谢意。

由于作者水平有限，时间仓促，书中某些观点和认识可能有失偏颇，缺点甚至谬误在所难免，在此敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概述

第一节 城市生活垃圾的来源与分类

一、垃圾的来源与分类

二、影响垃圾产生量的因素

第二节 城市生活垃圾特性

一、城市生活垃圾组成

二、城市生活垃圾性质

第三节 国内外城市生活垃圾处理处置现状

一、国外城市生活垃圾处理处置现状

二、我国城市生活垃圾处理处置现状

第二章 城市生活垃圾卫生填埋处置技术及应用

第一节 概述

一、处置的定义

二、填埋处置技术的多重屏障原理分类及其意义

第二节 卫生填埋场总体规划及场址选择

一、填埋场总体规划

二、填埋场场址选择

三、填埋场库容和规模

第三节 城市生活垃圾的卫生填埋处置技术工艺

一、城市生活垃圾卫生填埋处置的基本要求

二、城市生活垃圾卫生填埋的工艺流程

三、城市生活垃圾卫生填埋处理处置方法

四、城市生活垃圾卫生填埋场封场作业

第四节 城市生活垃圾的卫生填埋设备

一、推土机

二、压实机

三、挖掘机

四、铲运机

第五节 填埋场防渗

一、渗滤液产生量	(28)
二、渗滤液水质	(29)
三、渗滤液处理方法	(31)
四、填埋场防渗技术类型	(36)
五、填埋场防渗技术典型结构	(37)
六、地表水和地下水控制系统	(38)
七、填埋气体产生、迁移及控制	(43)
第六节 城市生活垃圾卫生填埋场的建设规划	(50)
一、垃圾坝	(50)
二、道路	(51)
三、截洪沟	(51)
四、防渗层	(52)
五、渗滤液收集系统	(53)
六、气体收集系统	(53)
七、地下水导排系统	(54)
八、污水调蓄池	(54)
九、环境监测设施	(54)
十、污水处理场	(54)
十一、封场层	(54)
第七节 工程应用实例	(55)
一、填埋工艺	(55)
二、填埋设备	(56)
三、主要工程指标	(57)
第三章 城市生活垃圾焚烧处理处置技术及应用	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 城市生活垃圾焚烧处置原理	(61)
一、焚烧过程	(61)
二、燃烧反应计算	(62)
三、影响废物焚烧的因素	(68)
第三节 城市生活垃圾焚烧处置技术工艺	(69)
一、概述	(69)
二、垃圾焚烧厂一般工艺	(70)
第四节 城市生活垃圾焚烧处置设备	(73)
一、垃圾接受设备	(73)
二、垃圾焚烧炉	(74)
三、供料助燃设备系统	(80)
四、自动控制设备	(81)
第五节 城市生活垃圾焚烧处理的二次污染控制	(82)
一、烟尘控制和酸性气体治理技术	(82)

二、二噁英的产生与控制	(84)
三、恶臭的产生与防治	(84)
四、煤烟的产生与防治	(84)
五、灰渣控制技术及残渣的处理和利用	(85)
六、垃圾焚烧厂的废水处理	(87)
七、垃圾焚烧的环保标准	(87)
第六节 城市生活垃圾焚烧处置项目的建设管理	(89)
一、厂址选择与用地面积确定	(89)
二、焚烧厂建设总体规划	(90)
三、焚烧厂设备	(93)
第七节 工程实例	(94)
一、引言	(94)
二、新区垃圾的现状	(95)
三、新区生活垃圾焚烧厂工艺设计方案	(97)
四、小结	(99)
第四章 城市生活垃圾堆肥处理处置技术及应用	(101)
第一节 概述	(101)
一、堆肥化的定义	(101)
二、堆肥化的意义	(101)
三、堆肥的作用	(101)
四、堆肥化原料特性的评价指标	(102)
五、堆肥产品质量及卫生要求	(102)
第二节 城市生活垃圾堆肥处置基本概念及原理	(102)
一、城市生活垃圾堆肥处置的类型	(102)
二、好氧堆肥化原理	(104)
三、好氧法堆肥化影响因素	(104)
四、厌氧堆肥化过程的原理	(106)
第三节 城市生活垃圾堆肥处置技术工艺	(107)
一、好氧堆肥化的基本工艺流程	(107)
二、高温好氧堆肥工艺	(108)
三、堆肥化工艺系统	(109)
第四节 城市生活垃圾堆肥处置设备	(110)
一、物料处理设备	(110)
二、翻堆设备	(111)
三、反应器堆肥系统	(111)
四、除臭设备	(112)
五、发酵设备的类型	(113)
第五节 城市生活垃圾堆肥处置项目的建设管理	(118)
一、建设管理概述	(118)

二、建设项目的进度管理	(119)
三、建设项目的费用管理	(119)
四、建设项目的质量管理	(120)
第六节 工程应用实例	(121)
第五章 城市生活垃圾综合处理处置技术及应用	(124)
第一节 概述	(124)
第二节 城市生活垃圾综合处置原理	(125)
一、概述	(125)
二、城市生活垃圾处置原理	(126)
第三节 城市生活垃圾综合处置技术工艺	(129)
一、城市生活垃圾综合处理处置技术	(129)
二、城市生活垃圾综合处理处置技术的原理	(130)
第四节 城市生活垃圾综合处置设备	(134)
一、垃圾分拣系统	(134)
二、垃圾给料系统	(134)
三、排渣排灰系统	(134)
四、石灰浆制备和输送系统	(134)
五、汽轮发电系统	(135)
六、渗沥水处理系统	(135)
七、锅炉汽、水系统	(135)
第五节 城市生活垃圾综合处理的二次污染控制	(136)
一、“填埋法”占用大量土地，生态环境恶化	(136)
二、“堆肥工艺”污染土壤，肥效低	(136)
三、“焚烧工艺”热值低，同时污染空气	(136)
第六节 城市生活垃圾综合处置项目的建设管理	(137)
一、垃圾基本特征	(137)
二、经济可行性	(138)
三、技术可行性	(138)
四、环境因素	(138)
五、行业管理	(139)
六、社会环境	(139)
第七节 工程应用实例	(140)
一、概述	(140)
二、处理工艺概况	(143)
第六章 城市生活垃圾处理处置规划及工程模式选择	(152)
第一节 概述	(152)
第二节 城市生活垃圾处理处置规划	(152)
一、技术介绍	(152)

二、技术选用	(153)
三、系统布置	(154)
四、设施、设备类型和特点	(156)
五、设施、设备选型和配置	(157)
第三节 城市生活垃圾处理模式	(159)
一、堆肥	(159)
二、焚烧	(160)
三、填埋	(160)
四、综合处理	(161)
第四节 垃圾处理模式选择的影响因素	(161)
一、城市概况评价	(162)
二、技术评价	(163)
三、经济评价	(164)
四、环境影响评价	(164)
五、法律, 政策评价	(164)
六、整体方案评价	(165)
第五节 城市生活垃圾处理方案选择的评价模型	(165)
一、建立评价因子的赋分标准	(165)
二、定性评价模型	(167)
三、定量评价模型	(168)
第六节 模型应用的典型实例	(172)
一、大城市——淮安市(苏北地区)	(172)
二、特大型城市——南京市	(182)
三、大城市——扬州市(苏中地区)	(187)
四、大城市——无锡市(苏南地区)	(194)
五、县级城市——建湖县(苏北地区)	(200)
六、县级城市——仪征市(苏中地区)	(206)
七、县级城市——金坛市(苏南地区)	(212)
八、中心镇——黄桥镇	(217)
九、对典型实例评价的几点认识	(220)
附录 《生活垃圾堆肥厂运行管理规范》	(222)

参考文献	(229)
------------	-------

第一章

概 述

第一节 城市生活垃圾的来源与分类

一、垃圾的来源与分类

城市中生产、流通、生活、娱乐、教育、卫生等领域及其各个环节，所产生的固体废弃物统称为垃圾。其中，生产部门、医药卫生部门所产生的有毒、有害物品属于危险废物，按规定是不能进入城市垃圾流的，而应予以专门处理；城市建筑行业中所产生的建筑废弃物，如废砖石、水泥砌块等也需单独处理，这类废弃物通常可根据城市统一规划用于填洼或筑路等；玻璃、金属、废纸、塑料、纤维等物质，称为可回收废品，可通过收运和处理过程，经分类重新进入生产领域。最后剩余的才是城市垃圾处理的主要对象，也是本书讨论的主要对象。

城市垃圾中常见的物品有：

(一) 废品类

金属：罐头盒、废电池、各种金属制品等；

玻璃：碎玻璃、玻璃瓶；

塑料：塑料袋、塑料制品、塑料包装等；

织物：纺织品、服饰类；

草木：花草、落叶、枯枝、草制品等；

纸类：纸板、书籍、报纸、杂志等；

砖瓦：陶瓷、砖、瓦、石等。

(二) 厨余类

粮食：米、面制品；

蔬菜：各种蔬菜及不可食部分；

水果：各种水果及不过食部分；

动物：动物的皮、毛、骨等。

(三) 灰土类

炉灰：各种民用炉所产生的炉灰渣；

清扫物：尘土及各种杂品的碎片。

城市垃圾构成如此复杂，因而难于对其理化特性进行定性和定量描述，这也给城市生活垃圾的研究和管理带来了许多困难。因此，在城市垃圾管理及研究上可根据不同的目的对城市垃圾分类。常用以下分类方法有。

(1) 以清扫管理为目的，按垃圾产源可分为居民垃圾，商业垃圾，事业垃圾和工业垃圾。(如表1-1所示)。这种分类方法有助于特别垃圾的专门管理和处置，也有助于针对不同产源垃圾的特性进行处理。

表 1-1 垃圾产源分类表

划分标准	种 类		特点描述	来 源
垃圾 产生 源	居民垃圾	平房	大量的蔬菜、食品废物、炉灰、少量的纸、塑料袋	胡同
		高楼	主要成分为食品废物、少量的纸、塑料袋、玻璃瓶、罐头盒	高楼小区、宿舍
		公寓	含大量的纸类、食品、塑料包装、花木、玻璃瓶、罐头盒、织物	公寓使馆
		街道	街道清扫物，如灰土、纸、树叶、草	街道
	商业垃圾	商场	含有大量的包装纸、纸板、扫地木屑、塑料盒（袋）、食品、竹筐、草筐等	
		饭店	含大量的报纸、包装纸、食品、玻璃瓶、塑料盒（袋）、织物	
		机关	食堂废物、办公室扫集物、文件纸、烟头、花木、玻璃瓶、塑料袋	
		公园	花木、草地废物、灰土、罐头盒、纸盒、食品、玻璃瓶、塑料袋	
		医院	含大量的废纸、食品、棉花、纱布、玻璃瓶、花木、废物	医疗区
		机场	含大量的纸袋、塑料袋、塑料餐具、手巾、食品、罐头盒	交通枢纽
		火车站	含大量的扫地木屑、包装纸、食品、塑料袋	
	事业垃圾	办公楼	各种印刷材料、文件、复印件、油印纸、复写纸、少量的塑料袋、花草、食品	行政事业单位 科研院所、学校
		学院	含有各种纸张、灰土、花木废物、玻璃器皿、灯管、灯泡及其他实验用品	
	工业垃圾	工地	建筑垃圾：砖瓦、灰土、石子、沙子、水泥块、废木料、金属架等	施工现场 生产车间
		车间	由被加工物决定它的种类，一般为金属、塑料	

(2) 以垃圾研究为目的，按垃圾构成比例可分为有机垃圾，无机垃圾和废品。(如表 1-2 所示)。这种分类法是我国开展城市研究调查所采用的分类法，它便于掌握城市垃圾的基本构成和基本特征。

表 1-2 垃圾构成比例分类表

有机物/%		无机物/%		废品/%				
植物	动物	砖瓦	灰土	纸类	金属	塑料	玻璃	布料
43.1	1.9	1.5	40.0	2.6	0.4	5.7	2.5	2.0

(3) 以垃圾处理为目的，按垃圾可处理性可分为焚烧垃圾，堆肥垃圾和填埋垃圾(如表 1-3 所示)。这种分类方法是根据当今世界上常见的 3 种垃圾处理技术所适应的垃圾总类来进行划分的。

表 1-3 垃圾可处理性分类

回收垃圾(废品)	含有大量可回收利用的废旧物资	公寓区、事业区、商业区
焚烧垃圾	含大量的可燃物	公寓区、事业区、商业区
堆肥垃圾	含大量的生物类有机物	居民区、垃圾场
填埋垃圾	一切废弃物及处理后的最终产物都可作为填埋垃圾	城市的各种区域及垃圾处理场

二、影响垃圾产生量的因素

城市生活垃圾产生量受多种因素的影响,其中主要与城市人口、城市经济发展水平、居民收入和消费水平、燃料结构、地理位置、消费习惯等因素有关。

(一) 人口的影响

近 20 年来,我国的城市化进程逐年加快,城市数量大幅增加,城市规模不断扩大,城市非农业人口迅速增长。目前,我国城市数量大约为 800 个,小城镇 2 万余个,城市人口约 4.5 亿,其中非农业人口 2.8 亿。城市规模、数量和人口的迅速增长导致城市生活垃圾量的大幅增加,尤其是在大中城市。我国城市生活垃圾产生量的 60% 集中在 52 座人口在 50 万以上的大中城市,其中北京、上海和沈阳 3 个城市的垃圾产量之和约占全国垃圾产生总量的 10%。

城市生活垃圾产生量随着城市人口的增加呈直线增长态势。随着我国未来城市发展进程的加快,这一趋势在今后若干年内还将持续下去。可以说,城市人口的增加是影响城市生活垃圾产生量的最主要的因素。

(二) 经济发展水平的影响

在改革开放初期,随着 GDP 的迅速增加,城市生活垃圾产生量几乎呈直线上升。这与工业发达国家经济高度增长时期的情况非常相似。当 GDP 达到一定数值后,垃圾产生量的增长速度开始减缓,并逐渐趋于稳定。

世界各国垃圾年产生量一般都呈逐年增长趋势,全球大致维持在 1%~3% 的增长率。这与全球经济的发展水平基本相对应。经济发展水平较高的国家产生的垃圾量也较多。例如:美国城市生活垃圾年增长率在经济快速发展时期接近 5%,在经济萧条时期保持在 2%~4%。发展中国家垃圾增长率相对较低,但在经济快速发展时期垃圾的产生量也会大幅增加,如韩国的垃圾增长率曾高达 12%。

(三) 居民生活水平的影响

城市生活垃圾产生量与居民生活水平也有很大关系。发达国家和发达地区居民的生活水平较高,产生的垃圾量也要高于居民生活水平较低的国家 and 地区。表 1-4 是部分发达国家以及我国不同地区垃圾产生的情况。可以看出,美国和日本的经济较为发达,人均垃圾产生量也明显高于其他发达国家。我国的发达地区如北京、上海、广州和深圳的人均垃圾产生量也明显高于其他欠发达地区。

(四) 燃料结构和地理位置的影响

燃料结构和地理位置对城市生活垃圾产生的影响也很大。如杭州与沈阳同样是人口相近的省会大都市,杭州的经济比较发达,GDP 高于沈阳,但是杭州的人均垃圾产生量却低于沈阳(表 1-4)。原因是沈阳位于北方,取暖期长,燃料以煤为主,垃圾产生量因而高于位于南方的杭州。

表 1-4 部分发达国家和我国不同地区垃圾产生的情况

国 外				国 内			
国 家	垃圾总量/ (10 ⁴ t/a)	年增长率/ %	单位产量/ [kg/(人·d)]	地 区	垃圾总量/ (10 ⁴ t/a)	年增长率/ %	单位产量/ [kg/(人·d)]
美 国	160000	3.5	2.39	北京	3110		1.20
英 国	200	3.2	0.87	天津	1853		0.99
日 本	11365	5.0	2.46	沈阳	1569		1.02
法 国	1200	2.9	0.75	鞍山	401.5		0.76
荷 兰	520	3.0	0.57	上海	4182.9		1.23
瑞 士	378	2.0	0.66	杭州	660		0.92
瑞 典	259	2.5	0.82	广州	1764.2		1.20
意大利	2100	3.0	0.59	深圳	754.8		2.62

(五) 消费习惯的影响

近年来，由于生活节奏的加快，方便食品和快餐的消费量越来越大，导致包装材料和一次性使用材料和用具日益增多；此外，随着劳务费用及工业消费品维修费用的提高，使维修保养不合算，许多物品被提前丢弃掉(如废旧家用电器等)，也导致了垃圾量的大幅增加。这在发达国家和经济比较发达的地区尤为突出。

第二节 城市生活垃圾特性

一、城市生活垃圾组成

城市垃圾的组成很复杂，自然环境、气象条件、城市发展规模、居民生活习性(食品结构)、家用燃料(能源结构)以及经济发展水平等都对其组成有不同程度的影响。因此，各国、各城市甚至各个地区产生的城市垃圾组成都有所不同。一般，工业发达的国家垃圾成分使有机物多，无机物少。而可回收组分的数量视垃圾是否分类收集而有所不同，表 1-5 所示为发达国家城市垃圾的组成情况。

表 1-5 发达国家城市垃圾的平均组成/%(质量)

组 成	美国	英国	日本	前苏联	法国	荷兰	前联邦 德国	瑞士	瑞典	意大利	比利时
食品垃圾	12	27	22.7	23	22	21	15	20	20~30	25	21
纸 类	50	38	38.2	26.9	34	25	28	45	45	20	30.1
细碎物	7	11	21.1	29	20	20	28	20	5	25	26
金 属	9	9	4.1	6.9	8	3	7	5	7	3	2
玻 璃	9	9	7.1	7.3	84	10	9	5	7	7	4
塑 料	5	2.5	7.3	5.5	4	4	3	3	9	5	9
其 他	8	3.5	0.5	2	4	17	10	2	5	15	10
平均含水	25	25.0	23	24.7	3.5	25	35	35	25	30	28
热值/(kJ/lb)	1260.0	1058.4	1109	1099	1008	907.2	908.2	1083.6	1001.0	796.0	765.0

注：1kcal/lb≈9.2kJ/kg。

表 1-6 所示为我国部分城市垃圾的组成；可见，垃圾中可回收组分较发达国家少得多。

表 1-6 我国部分城市生活垃圾的组成/%

城市	纸张	塑料	织物	生物	灰土砖石	玻璃	金属	其他
北 京	4.2	0.6	1.2	50.6	42.2	0.9	0.8	4.2
上 海	0.4	0.5	0.5	42.7	44.6	0.4		
哈尔滨	3.6	1.5	0.5	16.6	74.8	2.2	0.9	
湛 江	0.9	1.5	0.4	37.1	59.4	0.02	0.7	
福 州	0.6	0.4		21.8	62.2	1.1	0.5	3.4

注：数据来源：张衍国，吕俊复．国内外城市垃圾能源化焚烧技术发展现状及前景．综合利用，1998，(7)：38~41。

我国城市垃圾的组成近年来发生了很大的变化：一是由于家庭燃料的构成改变导致了垃圾中无机炉灰比重大为降低；二是由于冷冻食品、预制成品及半成品的逐年普及，再加上有些大城市还做到净菜进市，使家庭垃圾成分也发生了明显改变，食品废物明显减少；三是由于随着包装技术与材料的改革，纸、塑料、金属、玻璃等可回收废物的比例大大增加；四是由于人们消费观念的变化促使人们提前抛弃废旧物品而使得废旧家庭工业消费品（如废旧家用电器等）在垃圾中呈现了大幅度增加的趋势。

二、城市生活垃圾性质

城市生活垃圾的性质主要包括物理、化学、生物化学及感官性能，其中，感官性能是指废物的颜色、臭味、新鲜或腐败的程度等，往往可通过感官直接判断。垃圾的其他性质则需通过某种测定才能认知。

(一) 物理性质

垃圾的物理性质与垃圾的组成密切相关。组成不同，物理性质也不同。一般用垃圾组成、含水率和容重 3 个物理量来表示城市垃圾的物理性质。

1. 垃圾含水率

单位质量垃圾的含水量，其值随垃圾成分、季节、气候等条件变化，变化幅度一般为 11%~53%。表 1-7 所示为城市垃圾中各成分及其混合物含水率的典型值。

表 1-7 城市垃圾含水率

成 分	含水率/%		成 分	含水率/%	
	范 围	典型值		范 围	典型值
食品废品	50~80	70	废木料	10~40	20
废纸类	4~10	6	玻璃陶瓷	1~4	2
硬纸板	4~8	5	马口铁罐头盒	2~4	3
塑料	1~4	2	非铁金属	2~4	2
纺织品	6~15	10	钢铁类	2~6	3
橡胶	1~4	2	渣土类	2~12	8
皮革类	8~12	10	混合垃圾	15~40	30
庭院废物	30~80	60			

垃圾中水分与污泥中水分类似，除含有内部结合水外，还含有吸附水、膜状水、毛细管

水等。新鲜垃圾在收集容器中各成分的含水量，因扩散、蒸发会随时间变化，而垃圾含水类型和总量则依垃圾组成及自然环境而定。

测定垃圾含水率的主要目的有 3 点：①在于以垃圾干物质为基础，计算垃圾中各种成分的含量，故有时候把含水率称为干燥质量换算系数；②及时了解垃圾中水的存在状况，以便科学的计算垃圾堆放场或填埋场产生的渗滤液数量；③当垃圾直接送去堆肥化或焚烧时，可作为处理过程的重要调节控制参数。因此，含水率参数是研究垃圾特性，调节确定垃圾处理过程中必不可少的测定项目。

垃圾水分的测定一般采用烘干法，温度通常控制在 $(105 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，烘烤时间应以达到质量恒定为准。但当垃圾中有机物含量高时，完全达到质量恒定是很困难的，所以一般以二次连续称量的误差小于总质量千分之四为标准。或根据经验烘烤 4 ~ 5h。另外，当垃圾主要为可燃物时，温度以 70 ~ 75℃ 为宜，烘烤时间为 24h。

2. 垃圾容重

在自然堆放状态下单位体积垃圾的质量。垃圾容重随成分和压实程度不同而有所不同，表 1-8 所示为城市垃圾单一成分与混合物的容重数据。根据这些数据，可估算城市垃圾成分的质量分布。

表 1-8 城市垃圾的容重

成 分	容重/(kg/m ³)		成 分	容重/(kg/m ³)	
	范 围	典型值		范 围	典型值
食品废品	120 ~ 480	290	玻璃陶瓷	160 ~ 480	195
废纸类	30 ~ 130	85	马口铁罐头盒	45 ~ 160	90
硬纸板	30 ~ 80	50	非铁金属	60 ~ 240	160
塑料	30 ~ 130	65	钢铁类	120 ~ 1200	320
纺织品	30 ~ 100	65	渣土类	360 ~ 960	480
橡胶	90 ~ 200	130	未压实混合垃圾	90 ~ 180	130
皮革类	90 ~ 260	160	在卡车容器内压实的混合垃圾	180 ~ 450	300
庭院废物	60 ~ 225	105	填埋场一般压实垃圾	350 ~ 550	475
废木料	120 ~ 320	240	填埋场紧密压实垃圾	600 ~ 750	600
杂类有机物	90 ~ 360	240			

垃圾的容重是垃圾的重要特征之一，它是选择和设计储存容器、收运机具大小及计算处理和填埋处置规模等必不可少的参数。

测定原始垃圾容重的方法有全试样测定法和小试样测定法，而测定填埋场垃圾容重则较多采用反挖法和钻孔法等。小样测定法测定垃圾容重常采用采用“四分法”。经“四分法”缩分后的垃圾试样，装满一定容积广口容器，按下式计算确定垃圾容重值：

$$D = (W_2 - W_1)/V_1$$

式中，D 为垃圾容重，kg/L 或 kg/m³；W₁ 容器质量，kg；W₂ 为装有试样的容器总质量，kg；V 为容器体积，L 或 m³。测定 3 个以上试样，用平均值来求得垃圾的容重。

我国环卫系统现场测定容重采用“多次测量平均法”，此法是用一定体积的容器，在一年十二月内，每月抽样称量一次，在年终时，将所有各次称得的质量相加除以称量次数，得到年平均城市垃圾的质量，再除以容积体积，得垃圾得容重，其表达式为：

$$D = [(a_1 + a_2 + a_3 + \cdots a_n)/n]/V$$

式中， a_n 为每次称得的垃圾质量，kg； n 为称量的次数； V 为称量容器的体积， m^3 。

3. 孔隙率

孔隙率时垃圾中物料之间孔隙的容积占垃圾堆容积的比例，它是垃圾通风间隙(通风能力)的表征参数，并与垃圾的容重相互关联。即容重小的垃圾，其孔隙率一般比较大，孔隙率越大，物料之间的空隙越大，物料的通风断面积也越大，空气的流动阻力相应就越小，越有利于垃圾的通风。因此，孔隙率广泛应用于堆肥供氧通风以及焚烧炉内垃圾强制通风的阻力计算和通风机参数的选取。

影响孔隙率的主要元素是物料尺寸、物料强度及含水率。由于孔隙率是物料之间孔隙的数量和孔隙平均容积的乘积与垃圾总堆积容积的比值。因此，物料尺寸越小，孔隙数就越多；物料结构强度越好，孔隙平均容积就越大。这就导致孔隙总容积和孔隙率的增加。含水率对孔隙率的影响在于：水会占据物料之间的空隙并影响物料结构强度，最终导致孔隙率减少。垃圾在不同状况下的孔隙率实测值见表 1-9。

表 1-9 实际垃圾孔隙率的值

孔隙率	生垃圾		熟垃圾		煤 灰			菜叶	菜叶灰混合
	未振动	振动	未振动	振动	粗	细	喷水		
1	0.780	0.725	0.571	0.498	0.790	0.764	0.638	0.608	0.618
2	0.773	0.721	0.572	0.496	0.784	0.765	0.640	0.609	0.619
3	0.779	0.725	0.576	0.499	0.782	0.765	0.642	0.610	0.617
4	0.781	0.726	0.577	0.500	0.735	0.765	0.642	0.614	0.620
5	0.776	0.724	0.576	0.499	0.789	0.763	0.640	0.611	0.621
6	0.788	0.725	0.574	0.498	0.786	0.764	0.640	0.610	0.619
a_4^{-1}	3.27×10^{-3}	8.37×10^{-4}	2.70×10^{-3}	1.52×10^{-3}	3.40×10^{-3}	8.96×10^{-4}	2.38×10^{-3}	2.28×10^{-3}	1.58×10^{-3}

4. 内摩擦力

混合垃圾中，由于不同形状物料之间的嵌合、不同大小物料间的填充、大量物料的缠绕和牵连以及垃圾降解液和其他液态物质的黏合等综合作用，使混合垃圾物料之间和垃圾与外接触表面间存在着较大的摩擦力(静摩擦)。这种摩擦力不利于垃圾的流动和输送，如在一些垃圾料斗中，往往出现难以自流、下料的情况，在设计储存、输送、处理设施和设备时都必须考虑到这一特征。然而，这一特征却有利于垃圾皮带输送，利用垃圾的摩擦力来增大皮带的最大输送倾角，以减少设备之间距离，节约场地。

(二) 化学性质

1. 挥发分

垃圾在隔绝空气加热到一定温度时，分解析出的气体产物即为挥发分，挥发分又称为挥发性固体含量，用 $V_L(\%)$ 表示。挥发分的主要成分是由气态碳氢化合物(甲烷和非饱和烷烃)、氢、一氧化碳、硫化氢等组成的可燃混合气体。它近似反应垃圾中有机物含量多少的参数。

垃圾中的各种组成物由于分子结构不同，断键的条件也不同，这就决定了它们析出挥发分的初始温度是不相同的，但常见的 4 种有机物(塑料、橡胶、木屑、纸张)的挥发分析出的初始温度都在 200℃ 左右。

随着加热温度的升高，垃圾析出挥发分的总量也会增加，据热失重实验测试得到的不同温度下物料失重数据表明：在 600℃ 时，塑料失重(即析出挥发分)达到 99.94%(总量百分

比), 橡胶则达到 55%, 木屑和纸张都达到 80%。因此, 一般以此温度下的垃圾灼烧减量来衡量挥发分。操作方法如下: 用普通天平称取一定量的烘干试样 W_1 , 装入重 W_2 的坩埚内, 将坩埚置于马弗炉内, 600℃灼烧 2h 后取出, 置于干燥器中冷却到室温并称量得到 W_3 , 则挥发分可按下式计算:

$$V_s = (W_3 - W_2) / W_1 \times 100\%$$

2. 灰分

灰分是指垃圾中既不能燃烧也不挥发的物质, 其数值即是灼烧残留量(%), 用符号 A 表示。灰分反映的是垃圾中无机物的含量。

灰分的测定方法同挥发分的测定方法相同, 灰分质量分数(%)的计算式为:

$$A = 1 - V_s$$

式中, A 为灰分质量分数, %; V_s 为垃圾的挥发性固体含量, %。

3. 元素组成

元素组成主要指 C、H、O、N、S 及灰分的百分比含量。城市生活垃圾中化学元素组成是很重要的特征参数, 测知垃圾元素组成可估算垃圾的发热值, 以确定垃圾焚烧方法的适用性; 亦可用于垃圾堆肥化等好氧处理方法中生化生化需氧量的估算等, 它是选择垃圾处理方法和工艺路线的重要依据之一。

垃圾的化学元素组成很复杂, 其测定方法亦很繁琐, 除了要使用常规的化学分析方法和分析一起外, 有时候还要用到先进的精密仪器。因此, 一般情况下较少进行垃圾的化学元素分析。表 1-10 是北京市垃圾元素测定的结果, 供需要时参考。

表 1-10 北京市垃圾化学元素含量表

大量元素			微量元素			有毒元素			其他元素(包括稀有元素)					
元素名称	元素符号	含量/%	元素名称	元素符号	含量/%	元素名称	元素符号	含量/%	元素名称	元素符号	含量/%	元素名称	元素符号	含量/%
碳	C	12~38	硅	Si	19.9	铅	Pb	14.51	铷	Rb	71.0	锆	Zr	119
氮	N	0.6~2.0	锰	Mn	350.6	汞	Hg	0.0262	钡	Ba	826.0	镓	Ga	15.9
磷	P	0.14~0.2	铁	Fe	2.57	铬	Cr	52.47	钽	Ta	0.84	镧	La	40.5
钾	K	0.6~2.0	钴	Co	14.1	镉	Cd	0.00442	钪	Sc	9.52	铈	Ce	71.8
钠	Na	0.65	镍	Ni	12.9	砷	As	0.21	铪	Hf	7.08	钕	Nd	35.7
镁	Mg	0.63	铜	Cu	37.09				铈	Sb	2.02	钐	Sm	6.2
钙	Ca	0.57	锌	Zn	86.72				铯	Cs	4.43	铕	Eu	2.36
			铝	Al	3.5				铀	U	1.80	镱	Yb	2.07
			铍	Be	0.1027				钍	Th	11.1	镱	Lu	0.154

国外有资料报道采用元素分析法测定垃圾的化组成, 其成分(质量分数)大致为 C: 10%~20%; H: 1%~3%; O: 10%~20%; N: 0.5%~1.0%; S: 0.1%~1.2%; 灰分: 10%~25%; 水分: 40%~60%; 热值约: 2930~5020kJ(约 700~1200kcal/kg)。

4. 发热值

单位质量的垃圾完全燃烧时所放出的热量, 称垃圾的发热量或发热值。它是分析垃圾燃烧性能、设计焚烧设备、选用焚烧处理工艺的重要依据。

根据燃烧产物中水分存在状态的不同又可分为高位发热值和低位发热值。高位发热值 Q_H (简称高热值)是指单位质量垃圾完全燃烧后, 燃烧产物中的水分冷凝为 0℃ 的液态水时放出的热量。低位发热值 Q_L (简称低热值)是指单位质量垃圾完全燃烧后, 燃烧产物中的水分冷却为 20℃ 的水蒸气时所放出的热量。两者的关系是: