

# 城市垃圾地质环境影响 调查评价方法

主 编：刘长礼  
副 主 编：张 云 殷密英  
著 者：刘长礼 张 云 殷密英 张凤娥  
张 胜 杨丽娟 叶 浩 侯宏冰  
张礼中 肖 宇

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 简 介

本书作者长期从事城市垃圾处置及其对地质环境影响方面的研究工作。本书是在原地质矿产部重点科技攻关项目“上海浦东新区垃圾场地适宜性评价”(1991—1995)、国家自然科学基金资助项目“固体废物填埋场粘性土垫层阻隔能力研究”(1996—1998)、国土资源地质大调查项目“北京市垃圾处置的地质-生态环境评价”(1999—2001)等成果的基础上编写而成的。书中内容是作者十余年研究成果的结晶,其中比较深入地介绍了城市垃圾的组成、性质及其测定技术,系统总结了城市垃圾处置场状况、垃圾渗滤液、垃圾场稳定性、垃圾场地质微生物效应及垃圾对地下水、地表水、土壤、植物等的污染调查评价方法,阐述了垃圾场适宜性评价、垃圾处置场优选和垃圾场污染防控理论与方法,具有很强的理论价值和实用意义。

为方便读者阅读,本书还将所涉及的相关标准或规范作为附录列于书后。本书可作为城市垃圾地质环境影响调查评价的指南,适合于从事环境保护、环境工程、城市环境规划、城市生态系统建设、生态环境地质、水文地质和工程地质等专业的技术及管理人员参考,也可作为大专院校相关专业的本科生、研究生的阅读材料或教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市垃圾地质环境影响调查评价方法/刘长礼主编.  
北京:地质出版社,2006.6  
ISBN 7-116-04834-0

I. 城... II. 刘... III. 垃圾-地质环境-环境影响-调查方法 IV. X799.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第038532号

---

责任编辑:杨友爱

责任校对:郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324581(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

印 张:17.375 彩 版:4 页

字 数:410千字

印 数:1—1500册

版 次:2006年6月北京第一版·第一次印刷

定 价:70.00元

ISBN 7-116-04834-0/X·27

---

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

# 前 言

垃圾是人类生活、生产中必然产生的遗留废料，是人类新陈代谢排泄物和消费品消费后的废弃物品。随着自然资源不断被开发利用和社会文明的不断发展，特别是人口的增长和高度向城市集中，以及城市化的迅速发展，世界各国的垃圾以快于其经济近3倍的速度增长。垃圾的高速增长，使垃圾包围城市及泛滥乡镇的问题日趋严重，垃圾处理、处置日趋困难，成为现代都市越来越严重的环境问题。无论是发达国家或是发展中国家，都不可避免地受到垃圾成灾的严重威胁，并因此付出了高昂的代价。长期以来，我国绝大部分城市采用露天堆放、自然填沟和填坑的原始方式消纳垃圾，对地下水、地表水、土壤、空气造成现实或潜在危害，已成为最严重的公害之一。城市垃圾占用、破坏和污染土地、污染地下水资源，严重地制约着城市社会、经济和生态可持续发展，影响了和谐社会的建设，早已引起有关部门的高度重视。中国地质调查局已把城市垃圾对地质环境的影响列为城市环境地质问题调查评价的主要内容之一。

20世纪90年代初以来，我们开始从事城市垃圾卫生填埋对环境的影响、填埋场的地质选址、垃圾污染物在地下土层及水中的迁移、填埋场防渗材料对污染物的净化能力和阻隔能力、防渗系统的设计与铺设方法技术、填埋场渗滤液的处理、填埋场终期开发利用等方面的研究，先后承担了原地质矿产部“八五”科技攻关项目“上海浦东新区选定地段垃圾堆放对区域环境影响评价”、“上海浦东新区选定地段垃圾场地适宜性评价”，国家自然科学基金资助项目“城市垃圾堆放填埋场的地质地球化学效应及作用机理研究”（批准号：49472167）、“固体废物填埋场粘性土垫层阻隔能力研究”和国土资源地质大调查项目“北京市垃圾处置的地质-生态环境评价”（1999—2001）等项目的研究工作，取得了大量的研究数据和资料，获得了丰富的研究成果，其中，获得部级二等奖1项、三等奖1项，出版专著2部，发表相关论文30多篇。

本书多数内容或实际例子来源于地质大调查项目“北京市垃圾处置的地质-生态环境评价”（项目编号：J3—2—2，任务书编号：02999209076，1999—2001），部分内容反映了作者承担的原地质矿产部“八五”科技攻关项目“上

海浦东新区选定地段垃圾堆放对区域环境影响评价”、“上海浦东新区选定地段垃圾场地适宜性评价”和国家自然科学基金资助项目“固体废物填埋场粘性土垫层阻隔能力研究”（批准号：49502043）等项目的部分相关研究成果。本书引用的资料和文献，一般均注明了出处，否则即是已完成的地质调查项目“北京市垃圾处置的地质-生态环境评价”及其他科研项目研究成果。

参加地质大调查项目“北京市垃圾处置的地质-生态环境评价”工作的同志有水文地质环境地质研究所刘长礼、张云、殷密英、张凤娥、张胜、杨丽娟、叶浩、肖宇、侯宏冰、宋淑红、刘平贵。本书编著者主要为刘长礼、张云、殷密英等同志。其中，刘长礼主持并亲自编写了本书绝大部分章节，并负责统稿、定稿工作。张云和张胜编写了第五章，张云还参加编写了第八章和第十章的部分内容，殷密英参加编写了第七章和第九章的部分内容，张礼中参加编写了第十章第五节。张云和殷密英等在编写过程中收集、查阅了大量文献和资料，并绘制了大部分图件。姜建梅和裴丽欣为本书的编写提供了帮助。

以上工作离不开水文地质环境地质研究所老一辈科学家及领导的关怀、鼓励和指导，特别是张宗祜院士的支持。这本专著凝结着一批中青年科技工作者的心血和辛勤耕耘的汗水。我们在此谨致衷心地感谢。同时，对曾给予我们的项目科研和本书编写、出版工作以支持和帮助的石建省副所长、张发旺副所长、王秀艳研究员、董华副研究员、梁国玲高级工程师以及有关部门、单位一并致以崇高的谢意。

城市垃圾地质环境影响调查评价，不仅涉及卫生填埋地质理论方法、遥感技术及相关的环境科学技术，而且还广泛地涉及到城市社会、经济、环境和资源与可持续发展等众多领域，是一个理论层次高深的大题目。在写作过程中，笔者紧紧追踪这一领域的最新发展趋势，尽力使本书的理论、方法和调查工作紧密结合，并与国内外最新发展同步。目前，中国地质调查局正组织实施国土资源大调查项目“全国主要城市环境地质调查评价”，其中城市垃圾处置的地质环境影响和处置场的选择是每个城市调查评价时要求的重要内容，而开展这项内容的调查评价工作正需要有关理论和方法作为指导。我们不揣浅陋写成此书，以期对读者有所帮助。书中不妥之处恳请读者不吝赐教。

本书共分十一章。第一章主要介绍城市垃圾的组成、性质及其测定方法、国内外城市生活垃圾及其回收利用状况等；第二章较详细地说明了城市垃圾处置场分布状况调查评价方法，包括地面调查、遥感调查技术和调查结果的表达

## 前 言

等；第三章对垃圾渗滤液污染成分调查评价方法，包括对淋滤液污染成分及其特点、淋滤液样品采集与污染成分的测试和垃圾淋滤液产生量的估算方法等做了阐述；第四章则系统地阐述了垃圾场稳定性的调查评价方法，包括影响处置场设计、运行和稳定性安全评价的垃圾的工程性质、处置场边坡破坏模式、稳定性影响因素与失稳的机理分析、土坡和处置场稳定性分析计算等；第五章介绍了垃圾场地质环境中微生物效应调查评价方法、微生物对污染物的净化能力的研究方法及其最新研究成果，包括微生物细菌样品的采集与分析、垃圾场的地质环境微生物效应、微生物对土层中垃圾污染物的净化作用及其实验研究方法等；第六章提出了粘性土层对垃圾污染物的阻隔能力研究理论与实验方法，包括地下水防控的新理念及其理论基础、粘性土层的阻隔能力构成、粘性土层的阻隔能力实验研究及计算方法和平原区垃圾处置场分区参数的确定理论与方法等；第七章集成了我们十多年来的研究成果，针对垃圾场对地下水污染调查评价中可能出现的本底样品的采集、评价标准的采用等问题，提出“距离衰减理论”和“垃圾场群理论”，并用之指导污染地下水监测布孔和样品采集，同时用实例说明了垃圾污染地下水的调查评价方法；第八章阐明了垃圾场对地表水污染的调查与评价方法；第九章提出了污染物在土层运移的“浓度随距离衰减”及“浓度随深度衰减”理论，并用此原理指导垃圾对土壤或植物污染的监测布孔和样品采集点的布设，阐述了垃圾场对土壤或植物污染的调查与评价方法；第十章介绍了正受到国内外日益重视的垃圾填埋处置的地质环境风险评价方法和实例；第十一章介绍了一个既成垃圾场适宜性的评价标准和评价方法，指出了垃圾卫生填埋场址应具备的条件，提出了如何运用层次分析法综合考虑垃圾填埋场的交通运输、场地建设、地质环境、环境保护等条件进行场区的最优选择理论与方法，并用实例加以说明。

刘长礼

中国地质科学院水文地质环境地质研究所

2006年2月3日

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 城市垃圾的一般状况</b> .....	(1)
第一节 城市垃圾的组成及其测定 .....	(1)
第二节 城市垃圾的物理和化学特性 .....	(4)
第三节 我国城市生活垃圾状况 .....	(8)
<b>第二章 城市垃圾处置场分布状况调查</b> .....	(15)
第一节 调查方法 .....	(15)
第二节 垃圾场分布现状调查 .....	(16)
第三节 调查成果表达 .....	(24)
<b>第三章 垃圾淋滤液调查评价</b> .....	(25)
第一节 垃圾淋滤液污染成分调查评价 .....	(25)
第二节 垃圾淋滤液量的估算 .....	(31)
<b>第四章 垃圾场稳定性调查评价</b> .....	(45)
第一节 城市垃圾的工程性质 .....	(45)
第二节 垃圾场稳定性影响因素与失稳的机理 .....	(54)
第三节 垃圾填埋场稳定性的计算 .....	(58)
结 论 .....	(73)
<b>第五章 垃圾场地质环境中微生物效应及其对污染物的净化能力</b> .....	(75)
第一节 垃圾场的地质环境微生物细菌样品的采集与分析 .....	(75)
第二节 垃圾场的地质环境微生物效应 .....	(76)
第三节 微生物对土层中垃圾污染物的净化作用 .....	(84)
<b>第六章 粘性土层对垃圾污染物的阻隔能力</b> .....	(89)
第一节 垃圾污染地下水防控的新理念及其理论基础 .....	(89)
第二节 粘性土层的阻隔能力构成 .....	(90)
第三节 浅层粘性土层的阻隔能力实验研究 .....	(91)
第四节 平原区地下水防护能力分区参数的确定 .....	(96)
<b>第七章 垃圾场对地下水的污染调查评价</b> .....	(98)
第一节 垃圾场对地下水的污染评价方法 .....	(98)
第二节 垃圾场对地下水的污染调查 .....	(100)
第三节 垃圾污染物在地下水含水层中迁移模拟实验研究 .....	(109)

## 目 录

第四节 平原区垃圾场地下水污染分区评价 .....	(119)
第五节 垃圾场对地下水的污染评价新方法探索 .....	(142)
<b>第八章 垃圾场对地表水的污染调查评价 .....</b>	<b>(151)</b>
第一节 垃圾场对地表水的污染评价方法 .....	(151)
第二节 垃圾场对地表水的污染调查方法 .....	(152)
第三节 北京市垃圾场对地表水的污染调查评价实例 .....	(152)
<b>第九章 垃圾场对土壤和植物的污染调查评价 .....</b>	<b>(155)</b>
第一节 垃圾场对土壤的污染调查评价 .....	(155)
第二节 垃圾污染物对植物的影响评价 .....	(164)
<b>第十章 垃圾处置的地质环境风险评价 .....</b>	<b>(169)</b>
第一节 地质环境风险评价 .....	(169)
第二节 卫生填埋场淋滤液渗漏的风险评价 .....	(173)
第三节 垃圾处置场污染地下水危险性评价 .....	(179)
第四节 滹沱河石家庄段两侧垃圾处置的地下水污染风险评价 .....	(190)
<b>第十一章 垃圾场适宜性评价及未来处置场区优选 .....</b>	<b>(195)</b>
第一节 垃圾填埋场选址暨适宜性评价因素分析 .....	(195)
第二节 平原区未来垃圾处置规划区的优选 .....	(209)
第三节 实例——已建垃圾场适宜性评价 .....	(218)
第四节 实例——北京市平原区未来垃圾处置规划区优选 .....	(221)
第五节 基于 MAPGIS 的平原区城市垃圾处置场优选分区及图件编制 .....	(229)
<b>附录 相关技术标准与规范 .....</b>	<b>(233)</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>(266)</b>
<b>彩 图</b>	

# 第一章 城市垃圾的一般状况

本章介绍了城市垃圾的一般组成、物理与化学特性及其测定方法，以及我国城市生活垃圾的状况等内容。

## 第一节 城市垃圾的组成及其测定

城市垃圾种类很多，主要包括来自居民生活与消费、市政建设与维护、商业活动、市区的园林及耕种生产、医疗和娱乐场所等方面产生的一般性垃圾，以及人畜粪便、厨房垃圾、污水处理的污泥、垃圾处理收集的残渣和粉尘等垃圾。由于我国有些城市下水道系统尚未完善，城市污水处理厂设施也未普及，故这些城市居民的粪便需要收集、清运，亦是城市垃圾的组成部分。

### 一、城市垃圾的分类与特点

#### (一) 城市垃圾的分类

城市垃圾种类繁多，各国的分类方法亦不尽相同。

根据城市垃圾的性质，如可燃性能、化学成分、燃烧热值及容重等指标来进行分类。按可燃性能分为可燃性垃圾与不可燃性垃圾，按发热量分为高热值垃圾与低热值垃圾，按化学成分分为有机垃圾与无机垃圾，按可堆肥性分为可堆肥垃圾与不可堆肥垃圾。

国内外常将城市垃圾按组成详细分类，但较多的是结合城市垃圾处理处置方式或资源回收利用可能性来作简易分类。如可分为可回收废品、易堆腐物、可燃物及其他无机废物等四大类；亦可将城市生活垃圾简易分为有机物、无机物、可回收物品等。

用得更多的是根据城市垃圾产生或收集来源进行分类，通常可分为下列几类<sup>[4,5,6,9,10]</sup>：

- (1) 食品垃圾（亦称厨房垃圾）。是居民住户排出垃圾的主要成分。
  - (2) 普通垃圾（亦称零散垃圾）。指纸类、废旧塑料、罐头盒、玻璃、陶瓷、木片等日用废物。
  - (3) 庭院垃圾。包括植物残余、树叶、树杈及庭院其他清扫杂物。
  - (4) 清扫垃圾。指城市道路、桥梁、广场、公园及其他露天公共场所由环卫系统清扫收集的垃圾。
  - (5) 商业垃圾。指城市商业、各类商业性服务网点或专业性营业场所（如菜市场、饮食店等）产生的垃圾。
  - (6) 建筑垃圾。指城市建筑物、构筑物进行维修或兴建的施工现场产生的垃圾。
  - (7) 危险垃圾。包括医院传染病房、放射治疗系统、核试验室等场所排放的各种废物。
  - (8) 其他垃圾。除以上各类产生源以外场所排放的垃圾的统称。
- 以上(1)、(2)两项包括无机炉灰，亦可统称为家庭垃圾，是城市中可回收利用的

主要对象。

在一般的城市中，城市垃圾主要由生活垃圾、工业垃圾和建筑垃圾组成，而垃圾处置场则除了这三种外，还有混合垃圾场。

## (二) 城市垃圾的特点<sup>[5]</sup>

### 1. 数量剧增

我国城市生活垃圾的平均日产量为每人 0.8 ~ 1.5 kg。1980 年全国城市垃圾总清运量为 3132 万 t，1985 年达到 6395 万 t。20 世纪 80 年代以来，我国城市垃圾以每年 10% 的速度递增，近年已超过 1.5 亿 t/a。

### 2. 成分多变

城市垃圾成分本来就复杂，由于各地气候、季节、生活水平与习惯、能源结构等方面的差异，造成城市生活垃圾成分和产量随时间不断变化。例如我国近年来，家庭燃料构成改变导致垃圾中无机炉灰比重大为降低；冷冻食品、预制成品及半成品的逐年普及，有些大城市还做到净菜进市，使家庭垃圾成分也发生明显改变，食品废物明显减少；随着包装技术与材料的改革，纸、塑料、金属、玻璃等废物则大大增加。垃圾成分多变的另一原因是随着劳务费用及工业消费品维修费用的提高，维修保养不合算，促使人们提前抛弃废旧物品，故废旧家庭工业消费品（如废旧家用电器等）呈现大幅度增加，这不仅在发达国家很突出，在我国也越来越明显。

### 3. 产生量的不均匀性

主要指生活垃圾的排出量会随季节的变化而明显不同，并呈现一定的变化规律。以北京市为例子，第一季度（尤其是元月份）量最多，3 月份到第二季度开始减少，三季度（约 7 ~ 8 月份）出现最低点，然后随着天气变冷，第四季度逐渐增加，并迅速增加到元月份高峰产量。

另外，从环卫部门统计数量看，垃圾产量一天之中也有明显波动，并呈现一定的规律，这和各城市收集垃圾时间、方式及居民习惯有一定关系。

## 二、城市垃圾的组成<sup>[3,9]</sup>

城市垃圾的组成很复杂，其组成（这里主要指物理成分）受到多种因素的影响，如自然环境、气候条件、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有不同程度的影响。故各国、各地区甚至各城市产生的城市垃圾组成都不同。一般来说，工业发达国家垃圾成分是有机物多，无机物少，不发达国家无机物多，有机物少；我国南方城市较北方城市有机物多，无机物少。

表 1-1、1-2 列出不同国家和地区较典型的垃圾组成表，供比较参考。

表 1-3 到表 1-5 为我国几个城市的垃圾组成情况。

## 三、城市垃圾组成的测定<sup>[3,4,9]</sup>

由于城市垃圾扩散性小，不易流动，成分又极不均匀，所以其组成的测定是一项极其复杂的工作，难以用机械分离开来，目前国内仍以人工取样分选后再分别称量进行测定。一般以各成分含量占新鲜湿垃圾质量百分数来表示，即以湿基率（%）表示；亦可烘干后，去掉水分再称量，按干基率（%）表示。

## 第一章 城市垃圾的一般状况

**表 1-1 发达国家城市垃圾的平均组成<sup>[5]</sup> (质量分数/%)**

国家 组成	国家										
	美国	英国	日本	原苏联	法国	荷兰	原西德	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	8	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
平均含水量	25	25.0	23	24.7	3.5	25	35	35	25	30	28
含热量*	1260 k	1058.4	1109	1099	1008	907.2	908.2	1083.6	1001	796	765

\* 1 kcal/1 b ≈ 9.2 kJ/kg。

**表 1-2 英国、中东及亚洲城市垃圾组成比较<sup>[5]</sup> (质量分数/%)**

组成	英国	亚洲城市	中东城市	组成	英国	亚洲城市	中东城市
蔬菜	28	75	50	织物	3	3	3
纸	37	2	16	塑料	2	1	1
金属	9	0.1	5	其他	12	12.7	23
玻璃	9	0.2	0.2	质量/(kg/天·人)	0.85	0.42	1.06

**表 1-3 北京市垃圾中动植物、无机物、废品等含量季度变化情况<sup>[5]</sup> (质量分数/%)**

季度 年度	一季度			二季度			三季度			四季度		
	动植物	无机物	废品	动植物	无机物	废品	动植物	无机物	废品	动植物	无机物	废品
1980	17.72	78.91	3.37	31.42	6.74	6.47	57.00	36.44	6.56	44.79	50.12	5.09
1981	24.04	72.91	3.45	25.53	4.5	4.5	46.12	48.29	5.59	41.82	54.99	3.19
1982	38.89	54.77	6.45	33.30	5.20	5.20	47.6	45.29	7.11	51.75	39.97	3.29
1983	38.05	52.53	9.42	50.25	7.66	7.66	65.2	27.81	6.99	54.79	40.46	4.75
1984	43.055	45.775	11.17	56.775	32.175	11.05	81.11	12.1	6.79			

**表 1-4 广州市生活垃圾组成与性质表<sup>[5]</sup>**

垃圾类型	质量比(干基) %	灰分(干基) %	分类水分 %	燃烧热值 (cal/g)	烧失量 (cal/g)	残余量 mg	烧失率 %
纸、布类	3.42	17.55	31.75	1325	1.37	0.65	69.82
木、竹、草类	0.63	8.37	47.86	203.032	1.71	0.26	86.80
塑料类	0.41	16.37	17.92	3893.25	1.70	0.42	80.19
厨余类	10.92	30.80	74.20	1080.18	1.98	0.47	80.82
不燃物类	84.62	100	18.76				

注: 1 cal = 4.1868 J。

表 1-5 乐山市垃圾典型组成

有机物/%			无机物/%			废品类/%						
植物	动物	合计	炉灰	砖石渣土	合计	纸类	塑料	布类	陶瓷	玻璃	金属	合计
21.98	1.08	23.1	65.81	7.37	73.18	1.6	0.51	0.36	1.04	0.26	3.78	7.54

城市垃圾组成的测定可按环卫部门制定的技术规范进行。为了能够得到正确而可靠的测定数据，关键在于取样的代表性。城市垃圾取样方法有蛇形式、梅花点法、棋盘法等多种形式，但比较常用的是“四分法”。四分法取样是将垃圾卸在平整干净的土地上（水泥地或铁板上），将垃圾一分为四，按对角线取出其中二份混合，再平均分为四份，再按对角线取两份混合，一直到最后样品的质量达到约 90 kg 为止。

通常应用统计学原理进行抽样分析，只要方案设计合理，操作方法严格科学，即可通过对少量样品分析获得完整准确的总体资料。

在废物的统计抽样分析中，样品的采集是核心，也是关键，应做到准确性与科学性相结合，随机性与代表性相结合。只有依据这些原则采集样品，其分析的结果才具备总体性（即由样本推断总体）。

### 1. 实验器材

0.5 t 小型手推货车；100 kg 磅秤；铁锹；竹夹；橡皮手套；剪刀；小铁锤。

### 2. 方法和步骤

(1) 采样点的确定。为了使样品具有代表性，采用点面结合，确定几个采样点，在市区选择 2~3 个居民生活水平与燃料结构具代表性的居民生活区作为点；再选择一个或几个垃圾堆放场所为面，定期采样。作生活垃圾全面调查分析时，点面采样时间定为半月一次。

(2) 方法与步骤。采样点确定后即可按下列步骤采集样品。

①将 50 L 容器（搪瓷盘）洗净、干燥、称量、记录；然后布置于点上，每个点若干个容器；面上采集时，带好备用容器。②点上采样量为该点 24 h 内的全部生活垃圾，到时间后收回容器，并将同一点上若干容器内的样品全部集中；面上的取样数量为 50 L 为一个单位，要求从当日卸到垃圾堆放场的每车垃圾中进行采样，共取 1 m<sup>3</sup> 左右。③将各点集中或面上采集的样品中大块物料现场人工破碎，然后用铁锹充分混匀，此过程尽可能迅速完成，以免水分散失。④混合后的样品现场用四分法，把样品缩分到 90~100 kg 为止，即为初样品。⑤将初样品装入容器，取回分析。

## 第二节 城市垃圾的物理和化学特性<sup>[4,5,9]</sup>

城市垃圾的性质主要包括物理、化学、生物化学及感观性能。感观性能是指废物的颜色、嗅味、新鲜性或者腐败程度等，一般可通过感观直接判断。下面将主要讨论垃圾的物理、化学和生物化学三种性质。

### 一、城市垃圾的物理性质

城市垃圾的物理性质与城市垃圾的组成密切相关，组成不同，物理性质也不同。通常

以组分、含水率和容重三个物理量来表示城市垃圾的物理性质。

(一) 含水率

1. 定义

含水率被定义为单位质量垃圾之含水量，用质量分数 (%) 表示。其计算式为：

$$W = (A - B) / A \times 100\% \quad (1-1)$$

式中：A 为新鲜垃圾（或湿垃圾）试样原始质量；B 为试样在 105℃ 烘干后的质量。

2. 影响因素

垃圾的含水率随成分、季节、气候等条件而变化，其变化幅度为 11% ~ 53%（典型值 15% ~ 40%）。城市垃圾的含水率与食品垃圾的含量有关。据调查，影响垃圾含水率的主要因素是垃圾中动、植物含量和无机物含量。当垃圾动、植物的含量高、无机物的含量低时，垃圾含水率就高；反之则含水率低。这种变化是有一定规律的，如表 1-6 所列，按其变化可得出  $y = 0.67x + 12.38$  的关系，其中  $y$  为含水率， $x$  为动、植物含量。垃圾含水率还受到收运方式（如不同收集容器，是小车收集还是集装箱，有无盖子，密封好坏等）的影响。

表 1-6 垃圾中动植物含水率关系表<sup>[5]</sup>

动、植物	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
含水率/%	12.38	15.72	19.07	22.42	25.76	29.11	32.458	35.8	39.15	42.84	
动、植物	5	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
含水率/%	45.844	49.19	52.54	55.83	59.23	62.58	65.92	69.27	72.65	75.96	79.31

3. 含水率的测定

收集的垃圾与污泥中水分类似，除含有内部结合水外，还含有吸附水、薄膜水、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、蒸发会随时间改变，而垃圾含水类型和总量则依垃圾组成及自然环境而定。一般将这种不定态的垃圾水含量称为自然含水量。垃圾中所含水分质量与垃圾总质量之比的百分数，就是垃圾含水率。测定垃圾含水率的目的主要有三：①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，以便科学地计算垃圾堆放场或填埋场产生的淋滤液数量；③当垃圾直接送去堆肥或焚烧时，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。

(1) 需用设备与材料。烘箱，干燥器，天平（百分之一），大坩埚（或大铝盒、搪瓷盘），坩埚钳、剪刀、菜刀，劳保用品（橡皮手套、口罩等）。

(2) 测定方法与步骤。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困难的。所以一般以二次连续称量的误差小于总质量 4% 为标准。或根据经验烘烤 4 ~ 5 h。另外，当垃圾主要为可燃物时，温度以 70 ~ 75 °C 为宜，烘烤时间 24 h，在 600

℃温度下，灼烧2小时，取出后，置干燥器中冷却到室温再称量。计算式为：

$$W = (W_w/W_s) \times 100\% \quad (1-2)$$

式中：W为用重量表示的垃圾含水量，%；W<sub>w</sub>为垃圾中水的质量；W<sub>s</sub>为垃圾的烘干质量。

### (二) 容重及其测定

城市垃圾在自然状态下，单位体积的质量称为垃圾的容重，以kg/L、kg/m<sup>3</sup>或t/m<sup>3</sup>表示。垃圾容重随成分和压实程度而有所不同，见表1-7和表1-8中所列。

表1-7 垃圾不同压实情况的容重值<sup>[5]</sup>

生活垃圾	容重/(kg/m <sup>3</sup> )		生活垃圾	容重/(kg/m <sup>3</sup> )	
	范围	典型值		范围	典型值
压缩的普通垃圾	90~180	130	填埋场中良好压缩垃圾	600~740	600
未压缩的园林废物	60~150	100	加工后压缩成型	600~1070	710
未压缩的炉灰	650~830	740	粉碎但未压缩的垃圾	120~270	210
经运输车压缩的垃圾	180~440	300	粉碎且已压缩的垃圾	650~1070	770
填埋场中正常压缩垃圾	360~500	440			

表1-8 某些垃圾成分的容重<sup>[5]</sup>

物料	容重/(g/cm <sup>3</sup> )	物料	容重/(g/cm <sup>3</sup> )	物料	容重/(g/cm <sup>3</sup> )
轻的黑色金属	0.100	报纸	0.099	庭园废物	0.071
铝	0.038	塑料	0.037	橡胶	0.238
玻璃	0.295	硬纸板	0.030		
杂纸	0.061	食物	0.368		

垃圾的容重是垃圾的重要特性之一，它是选择和设计贮存容器、收运机具大小及计算处理利用构筑物 and 填埋处置场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样测定法；而测定填埋场垃圾容量则较多采用反挖法、钻孔法等。下面介绍常用的小样测定法是将经“四分法”缩分后的垃圾初试样，装满一定容积广口容器，按下计算确定垃圾容重值

$$D = (W_2 - W_1)/V \quad (1-3)$$

式中：D为垃圾容重，kg/L或kg/m<sup>3</sup>；W<sub>1</sub>为容器质量，kg；W<sub>2</sub>为装有试样的容器总质量，kg；V为容器体积，L或m<sup>3</sup>。

通常需测定三个以上试样，用平均值来代表垃圾的容重。

我国环卫系统现场采用的是所谓“多次称量平均法”。此法是用一定体积的容器，在一年12个月内，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，再除以容器体积，即得垃圾的容重，其表达式为：

$$D = [(a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n)/n]/V \quad (1-4)$$

式中： $D$  为垃圾的容量， $\text{kg}/\text{m}^3$ ； $a_n$  为每次称得的垃圾质量， $\text{kg}$ ； $n$  为称量的次数； $V$  为称量容器的体积， $\text{m}^3$ 。

## 二、城市固体废物的化学性质

城市垃圾的化学性质对选择加工处理和回收利用工艺十分重要，表示城市垃圾化学性质的特征参数有挥发分、灰分、灰分熔点、元素组成、固定碳及发热值。

### (一) 挥发组分

挥发分又称挥发性固体含量，用  $V_s$  (%) 表示。

$V_s$  是反映垃圾中有机物含量近似值的指标参数，它以垃圾在  $600\text{ }^\circ\text{C}$  温度下的灼燃减量作为指标。其测定方法是用普通天平称取一定量的烘干试样  $W_2$ ，装入坩埚内。将坩埚置马福炉内，在  $600\text{ }^\circ\text{C}$  温度下，灼烧 2 小时，取出后，置干燥器中冷却到室温再称量。计算式为：

$$V_s = (W_3 - W_4) / (W_3 - W_1) \times 100\% \quad (1-5)$$

式中： $V_s$  为垃圾的挥发性固体含量，%； $W_1$  为坩埚质量； $W_3$  为烘干垃圾质量 ( $W_2$ ) + 坩埚质量； $W_4$  为灼烧残留量 + 坩埚质量。

注意：有的方法规定灼烧温度为  $700\text{ }^\circ\text{C}$ 。灼烧减量包括有机质和结合水  $700\text{ }^\circ\text{C}$  高温灼烧后，完全消失的有机质和结合水。

### (二) 灰分及灰分熔点

灰分是指垃圾中不能燃烧也不挥发的物质，即灰分是反映垃圾中无机物含量的参数，用符号  $A$  表示，其数值即是灼烧残留量 (%)，测定方法同挥发分。灰分质量分数 (%) 算式为：

$$A = 1 - V_s \quad (1-6)$$

灰分熔点符号为  $T_A$ ，熔点高低受灰分的化学组成影响，垃圾的组成成分不同，则灰分含量及灰分熔点也不同，主要取决于 Si、Al 等元素含量的多少。

注意：亦有方法将垃圾放入高温炉内灰化，以  $(815 \pm 10)\text{ }^\circ\text{C}$  灼烧到质量恒定，取其残留物质量所占试样原质量的百分数作为灰分的。

### (三) 元素组成

城市垃圾中化学元素组成是很重要的特征性参数。测知垃圾化学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处理方法中生化需氧量的估算，所以，对选择垃圾处理工艺是很必要的。

垃圾的化学元素组成很复杂，其测定方法亦很繁琐，需要用到常规的化学分析方法和仪器分析方法，有的还要用到先进的精密仪器。其中，C、H 元素联合测定要用到碳氢全自动测定仪，全氮测定用凯氏消化蒸馏法，全磷测定用硫酸过氯酸铜蓝比色法，全钾测定用火焰光度法，有些金属元素测定更要用到原子吸收光度法等精密仪器，故垃圾化学元素测定较之物理组成分析难以普及。一般城市环卫系统较少进行这项工作，现将北京环卫科研所对北京市生活垃圾元素测定数据列于表 1-9。

表 1-9 北京垃圾中化学元素含量表<sup>[5]</sup>

大量营养元素			微量营养元素			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/(mg/L)	元素名称	元素符号	含量/(mg/L)	元素名称	元素符号	含量/(mg/L)	元素名称	元素符号	含量/(mg/L)
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	10.21	铪	Hf	7.08	钕	Nd	35.7
镁	Mg	0.63	铜	Cu	37.09				铊	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	0.11				钍	Th	11.1	镥	Lu	0.154

### 第三节 我国城市生活垃圾状况

#### 一、城市生活垃圾的产生情况和影响因素分析

##### (一) 城市生活垃圾产生量

随着城市规模的扩大和城市化进程的加速,中国城市生活垃圾的产生量和堆积量均在逐年增加。据对666座城市调查统计,1996年垃圾清运量达10825万t(见表1-10、图1-1)。

表 1-10 全国垃圾产生情况调查统计表<sup>[5]</sup>

年份	实际城市数	统计城市数	城市非农业人口数/万人	垃圾清扫面积/万 m <sup>2</sup>	垃圾清运量/万 t	粪便清运量/万 t	人均垃圾产量(kg/人·天)
1979					2508		
1980					3132	1643	
1981					2606		
1982					3125	1689	
1983					3452	1641	
1984					3758	1537	
1985					4477	1731	
1986	353	348	12233.8	44507	5008.7	2709.8	1.12
1987	381	371	12893.1	51141	5397.7	2421.8	1.15
1988	434	424	13969.5	58876	5751.3	2352.6	1.12
1989	450	441	14377.7	64708	6291.4	2602.8	1.21
1990	467	455	14752.1	69198	6766.8	2384.7	1.26
1991	479	473	14921.0	78251	7636	2764	1.40
1993	570	553	16550.1	92410	8791	3168	1.45
1995	640	633	18490.0	111040	10671	3066	1.59
1996	666	666	20739	122788.3	10825.4	2930.47	1.45

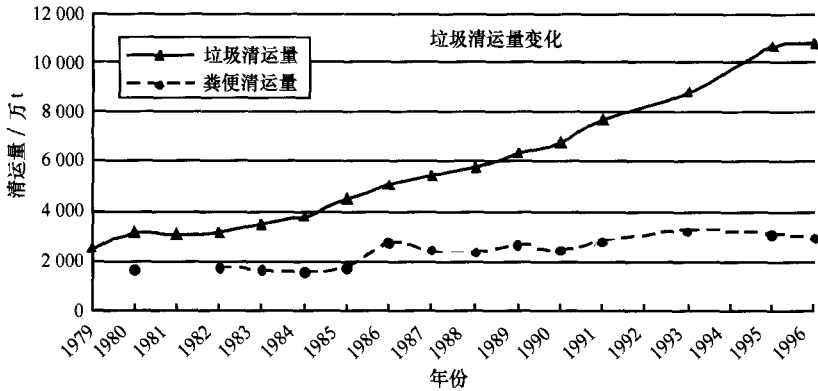


图 1-1 城市垃圾、粪便清运量变化趋势<sup>[5]</sup>

近几年城市生活垃圾的年增长率均在 8% ~ 10%。少数城市，如北京，垃圾增长率则达 15% ~ 20%。折合成人均日产垃圾量已超过 1.0 kg，接近工业中等发达国家水平。

## (二) 影响垃圾产生量的因素

### 1. 城市垃圾产生量主要与地理条件、城市人口、经济发展水平、居民收入、居民消费水平和城市居民燃气化率有关

一些大城市虽然居民收入大幅度提高，但人均垃圾日产量却一直在 1.12 ~ 1.56 kg/(人·日)之间，增加比较缓慢，其原因主要是燃气普及率提高所致。

我国城市垃圾总量的大幅度增长主要是由于城市规模、数量和城市人口的增加所造成的。目前我国城市人均年产生生活垃圾 440 kg 左右，人口多的城市其垃圾的绝对产生量就多，在城市垃圾管理中承受的压力也越大。直辖市和省会城市在垃圾产生量方面占有重要比例。生活垃圾产生量的 60% 集中在全国 50 万以上人口的 52 座重点城市。其中以北京、上海和沈阳所占比例最大，分别为 4.12%、3.49% 和 2.18%。三个城市的垃圾产量之和约占全国垃圾总量的 10%。

近 20 年来，我国的城市化进程逐年加快，城市数量大幅度增加，城市规模不断扩大，城市非农业人口迅速增长。我国 2005 年人口已达 13 亿，城市 687 个，城市化水平为 32%。其中，200 万人以上的超大城市 15 个，50 万 ~ 200 万人口的大城市 69 个，20 万 ~ 50 万人口的中等城市 198 个，20 万人以下的小城市 397 个。预计到 21 世纪末，我国城市数量将达到 800 个，小城镇 2 万余个，城市人口将达 5 亿至 6 亿，城市化整体水平将达到 40%。由于城市数量的增加、城市规模的扩大、非农业人口比例的增长、市场的开放、农村剩余劳动力的进城以及旅游事业的发展，大大增加了城市垃圾的产生量，加重了城市环境卫生管理的负荷。图 1-2 显示，中国城市生活垃圾产生量和城市人口的相关关系，表明城市垃圾产生量随城市人口的增加呈直线增长态势，而且随着中国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垃圾产生量的最主要因素。

图 1-3 显示了城市垃圾产生量与国内生产总值 (GDP) 的关系，表明城市垃圾产生

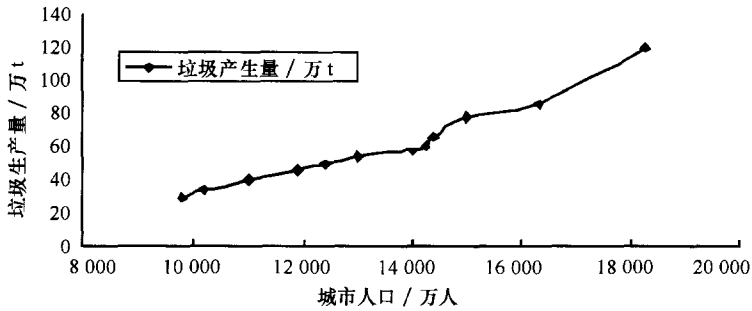


图 1-2 垃圾产生量与城市人口的关系<sup>[5]</sup>

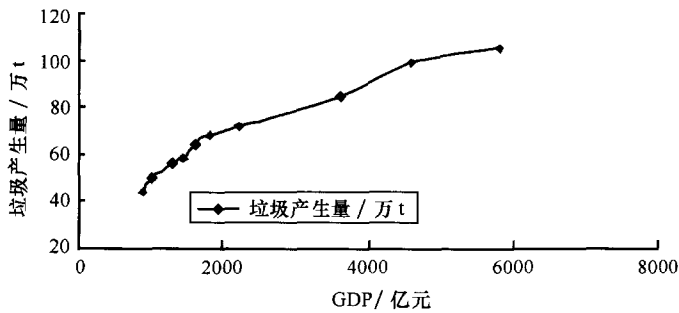


图 1-3 城市垃圾产生量与国内生产总值 (GDP) 的关系<sup>[5]</sup>

量随国内生产总值 (GDP) 的增加几乎呈直线上升, 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。这与工业发达国家经济高度增长时期的情况极其相似。

### 2. 居民生活水平的影响

调查表明, 城市垃圾产生量与居民生活水平也有很大关系。经济发达、居民生活水平高的城市, 垃圾产生量要高出居民生活水平相对较低的地区。

表 1-11 列出了由调查资料直接获取或经过计算得到的被调查城市的城市生活垃圾的产率。

表 1-11 中国主要城市的城市生活垃圾生率 (2003 年)<sup>[5]</sup> (kg/(天·人))

城市	北京	天津	上海	沈阳	大连	杭州	深圳	广州	马鞍山	鞍山	平均
垃圾产生量	1.20	0.99	1.23	1.02	1.03	0.92	2.62	1.20	0.66	0.76	1.16

### 3. 燃料结构的影响

燃料结构对城市生活垃圾影响很大, 从表 1-11 可以看出, 杭州与沈阳同样是人口相近的省会大城市, 杭州的 GDP 高于沈阳, 但是杭州的人均垃圾产生量低于沈阳。这与位于北方的沈阳取暖期长, 燃料消费主要以煤为主, 致使垃圾产生量要远高于位于南方的杭州。