

城市环境污染与控制丛书

城市垃圾处理工程

李国建 赵爱华 张 益 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是《城市环境污染与控制丛书》之一。

本书介绍了城市固体废物的处理原则、处理技术体系、单项处理处置技术及其原理。全书共分十章,主要内容有城市固体废物的产生、特性、收集、运输、转运、预处理、填埋、焚烧、水解、堆肥、高温好氧、厌氧发酵、生物脱臭、生物修复、湿式氧化、超临界氧化、单细胞蛋白生产、有害废物等处理处置及资源化技术,力求反映目前在城市固体废物处理方面的国内外新技术。

本书适合大、中专院校师生,从事城市固体废物处理的工程技术人员及相关管理人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

城市垃圾处理工程/李国建,赵爱华,张益主编.—北京:科学出版社,2003

(城市环境污染与控制丛书)

ISBN 7-03-010925-2

I. 城… II. ①李… ②赵… ③张… III. 城市—垃圾处理—技术 IV. X799.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 086357 号

策划编辑:杨 震 刘俊来 / 文案编辑:吴寅泰 吴伶伶 /
责任校对:陈丽珠 / 责任印制:安春生 / 封面设计:李晓婷

出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 4 月 第 一 版 开本:A5(890×1240)

2006 年 4 月 第二次印刷 印张:14 3/8

印数:4 001—5 000 字数:442 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

序

环境保护是我国的基本国策,而城市垃圾处理是城市环境保护的重要内容,也是衡量城市文明程度和城市管理水平的重要标志之一。

我国《城市生活垃圾处理及污染防治政策》中明确指出:“应按照减量化、资源化、无害化的原则,加强对垃圾产生的全过程管理,从源头减少垃圾的产生。对已经产生的垃圾,要积极进行无害化处理和回收利用,防止污染环境”。近几年来,我国的大部分城市都已经或正在进行城市垃圾处理工程项目的建设,但城市垃圾的无害化处理率尚只有 20% 左右。同时,不少大专院校也开设了城市垃圾处理的专业或课程,并编写了有关这方面的一些教材,但从学科建设和教材系列来看,还有不小的差距。

总体而言,我国的城市垃圾处理工作可谓是任重而道远,需要多方面的协作和努力。这次由同济大学和上海市市容环境卫生管理局等单位组织部分工作在第一线的教授、专家编写的这本《城市垃圾处理工程》,既吸收了国内外相关教材的长处,又注重理论和实践的结合,结构完整、内容全面,是一本很有理论水平和实用价值的专业教材,相信它的出版对我国发展城市垃圾处理学科建设和促进城市垃圾处理工作是有帮助的。为此,我十分愿意将本书推荐给大专院校相关专业的师生、市容环境卫生管理部门、从事城市垃圾处理的相关单位,以及所有关心城市垃圾处理工作的同仁参阅。

上海市市容环境卫生管理局局长

胥传阳

2002 年 10 月

前 言

人类消耗地球资源的同时也创造了人类的幸福和繁荣。人类在开发资源、制造产品和生活的过程中,又产生大量的废物。城市垃圾是固体废物最主要的组成部分。随着经济的发展、城市规模的扩大、城市化进程的加快、城市数和人口的增加及人们生活的不断提高,城市垃圾的量还在不断增长。大量难处理物进入城市垃圾中,使城市垃圾成分变得日益庞杂。城市垃圾已成为一个严重影响环境、影响人们生活和影响经济发展的环境和社会问题。中国作为世界发展中的大国,经济发展迅速,城市生活垃圾的产生量也迅速增长,每年我国城市生活垃圾总量已达亿吨,城市生活垃圾的实际处理、处置能力远远跟不上经济、社会高速发展的需要。城市生活垃圾的管理和处理已成为城市发展的一项重要而十分紧迫的任务。

城市生活垃圾处理近年来不论以处理与处置为主的技术体系,还是在制定技术体系的主导思想、加强管理等方面都取得了显著的进展。但城市生活垃圾处理与垃圾组成有密切关系,世界各国地理环境、经济条件和生活水平不同,城市生活垃圾的产量和成分存在较大差异,为了促进我国城市生活垃圾的处理与处置,本书结合我国国情对成熟的处理与处置技术、工艺、设备和管理等进行了全面论述。

本书由李国建、赵爱华、张益主编,参加本书编写的人员有赵爱华(第一章和第二章),成效良(第三章),谭和平(第四章),盛金良(第五章),张益(第六章第一节),李国建(第六章第二节、第七章、第九章、第十章),赵爱华、李俊涛(第八章)。同济大学 2002 级研究生康瑾、曹群科为本书做了大量的文稿编辑工作。

本书得到上海市重点学科“环境工程”专业建设项目的资助,在此表示感谢。

由于本书内容广泛、学科多样、编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者提出建议和修改意见。

作者

2002 年 7 月

下同。 下同。

目 录

序

前言

第一章 引言	1
第一节 固体废物问题的提出	1
第二节 城市固体废物的来源和共性	1
第三节 固体废物的分类	2
一、生活废弃物	2
二、产业废弃物	2
三、危险废弃物	3
第四节 固体废物对环境的影响	4
一、固体废物污染环境的途径	4
二、固体废物对自然环境的影响	6
第二章 城市垃圾处理总论	9
第一节 城市垃圾特征	9
一、定义	9
二、成分及产量影响因素	9
三、发达国家生活垃圾产量	11
四、亚洲部分城市生活垃圾产量	12
五、国内部分城市生活垃圾产量	13
第二节 城市垃圾处理技术	16
一、国外发达国家生活垃圾处理技术研究应用现状和发展	17
二、国内城市生活垃圾处理现状	18
三、垃圾处理、处置方式比较	19
四、城市垃圾处理原则	23
第三节 城市垃圾处理的发展	26
一、环境保护现状和国际社会的作用	26
二、城市垃圾处理技术展望	27

第三章 城市垃圾收集与运输	37
第一节 收运概述	37
第二节 收运量的分析	38
一、生活垃圾产出量的计算	38
二、生活垃圾产量的预测	40
第三节 收集方式与设施	50
一、垃圾收集袋装化日益普及	50
二、城市生活垃圾收集的分类	50
三、国内外城市生活垃圾收集方式	51
四、我国城市生活垃圾收集方式的发展趋势	56
五、城市生活垃圾分类收集	59
六、城市生活垃圾收集设施设置	62
第四节 运输设备	68
一、自卸式垃圾车	68
二、自装卸式垃圾车	69
三、压缩式垃圾车	74
四、车箱可卸式垃圾车	76
五、摆臂式垃圾车	78
六、其他型式的垃圾车	79
第五节 收运系统规划的编制	83
一、规划的目的和意义	83
二、规划的范围	84
三、现状的调查和预测	84
四、设施选址	85
五、工艺方案	86
六、环境评价	88
七、投资及运营费估算	89
八、规划的评审	90
第六节 收运系统的发展及其未来	91
一、生活垃圾收运系统规划编制原则	91
二、建立垃圾收运系统的评价体系	93
三、建立垃圾收运系统的管理模式	93
四、垃圾收运系统发展的选择性	95

五、垃圾收运系统发展的阶段性	95
六、垃圾收运系统的未来	96
第四章 城市垃圾的转运	98
第一节 概述	98
第二节 垃圾中转运输的类型	99
一、上海市生活垃圾水陆联运系统现状	99
二、上海市生活垃圾水陆联运系统发展趋向	100
第三节 中转站工艺及设备	101
一、直接转运式中转站	101
二、推入装箱式中转站	104
三、压实装箱式中转站	114
第四节 各种型式的生活垃圾中转站的适用性综述	120
一、直接转运式生活垃圾中转站	120
二、推入装箱式生活垃圾中转站	120
三、压实装箱式生活垃圾中转站	121
四、各种型式中转站的综合评价	122
第五节 中转站的选址	123
第六节 中转站设计概要	125
一、中转站的规模	125
二、中转站的环保措施	127
三、监控系统及其他	133
四、中转站配套的大型垃圾运输车	134
五、中转站的绿化	141
六、中转站的建筑和环境	141
第五章 城市垃圾的预处理	143
第一节 预处理技术的应用	143
一、生活垃圾堆肥化处理前的预处理	143
二、生活垃圾焚烧处理前的预处理	145
三、生活垃圾卫生填埋前的预处理	146
四、生活垃圾的回收利用	147
五、RDF 生产工艺	148
第二节 生活垃圾的输送技术与设备	150
一、带式输送机	150

二、螺旋输送机	154
三、气力输送机	157
第三节 生活垃圾的破碎	162
一、概述	162
二、剪断破碎	164
三、冲击破碎	165
四、低温破碎	167
第四节 分选技术与设备	169
一、筛分	169
二、磁力分选	186
三、风力分选	191
四、涡流分选	194
第六章 城市垃圾的化学处理	197
第一节 高温氧化处理—焚烧处理	197
一、焚烧原理	197
二、焚烧工艺	202
三、焚烧设备系统	214
四、焚烧工艺计算	229
五、焚烧排放物控制	235
六、焚烧技术的发展	242
第二节 化学分解处理	244
一、水解法	244
二、碱化处理	246
第七章 城市垃圾的生物处理	248
第一节 生物处理的意义与依据	248
第二节 生物处理的分类	248
第三节 堆肥处理	249
一、堆肥处理原理	249
二、堆肥处理工艺	252
三、堆肥处理设备系统	258
四、堆肥工艺参数控制	262
五、堆肥过程的热量衡算与物料衡算	275
六、堆肥腐熟度的讨论	278

七、高温好氧处理	281
第四节 厌氧发酵	284
一、厌氧发酵原理	285
二、厌氧发酵工艺	286
三、厌氧发酵的工艺参数及控制	288
四、厌氧发酵的计算	295
第五节 其他生物转化过程	298
一、生物修复处理技术	298
二、微生物脱臭	300
三、生产单细胞蛋白	306
四、湿式氧化	306
第八章 城市垃圾处理工程——垃圾填埋	308
第一节 填埋处置的作用和依据	308
一、填埋处置的作用	308
二、填埋处置的依据	309
第二节 填埋分类	311
一、构造分类	311
二、地质分类	312
三、地形分类	313
四、反应机制分类	315
五、建设规模或处理能力分类	316
第三节 填埋场选址原则与步骤	317
一、选址原则	317
二、选址步骤	318
三、环境影响评价	324
第四节 填埋场的防渗	327
一、防渗方式	327
二、防渗材料	327
三、防渗结构	333
四、防渗衬层的设置	337
第五节 填埋渗沥液的产生与控制净化	340
一、渗滤液的产生过程	340
二、填埋场水量的计算	347

三、填埋场渗滤液水质的估算	348
四、垃圾渗滤液处理技术的特点	354
五、渗滤液的处理	356
第六节 填埋气体的产生、控制与利用	364
一、填埋气(LFG)的产生与影响因素	364
二、LFG 的产量估算	367
三、LFG 的迁移运动	370
四、导排方式的确定	371
五、LFG 的收集利用	371
第七节 填埋场的修复与再利用	375
一、封场规划	375
二、填埋场最终覆盖系统的功能、组成和作用	376
三、封场后的填埋场影响植物生长的因素	379
四、填埋场的修复和开采利用	380
第八节 填埋场有机污染物的衰减过程	387
一、填埋场有机污染物衰减规律现场实验室的建造	387
二、垃圾降解的生化动力学模型	389
三、老港填埋场渗滤水污染物含量的衰减规律	392
四、老港填埋场表面沉降	394
五、老港填埋场垃圾降解规律研究	398
第九节 环境监测	402
第十节 填埋场总体设计概要	407
一、设计规模	407
二、填埋场基础工程设计	408
三、渗滤液的控制系統	411
四、气体的收集与处理系统	417
五、填埋场辅助设施	422
第九章 有害城市垃圾的处理	424
第一节 有害城市垃圾的来源	424
第二节 有害城市垃圾分流处理的作用	424
第三节 有害城市垃圾的热处理技术	425
第四节 有害城市垃圾的焚烧	426
一、有害城市废物的焚烧工艺	426

二、回转窑焚烧系统	427
三、水泥窑共焚烧系统	429
第五节 有害城市垃圾的安全填埋	430
第六节 其他处理概念与技术	432
第十章 城市垃圾处理技术系统规划	436
第一节 处理技术体系概述	436
第二节 处理技术系统的规划原则	437
第三节 城市垃圾处理系统规划程序及其优化	440
主要参考文献.....	443

第一章 引言

第一节 固体废物问题的提出

有人类生活的地方就有固体废物产生。早在一千多年前,古希腊人就把生活中产生的废物倒入深坑填埋。随着社会生产力的不断发展,废物的种类在不断扩大,废物的量也呈指数级上升。到了 20 世纪,废物由于其种类的繁多,数量的庞大,污染的严重性及部分物质的可资源性,已成为全球关注的热点和难点问题。

第二节 城市固体废物的来源和共性

在不同的国家,从不同的视角,固体废物的内涵各不相同。在学术界,固体废物一般是指在社会生产、流通和消费等一系列活动中产生的,相对于占有者来说不再具有原使用价值而被丢弃的,以固态和泥状存在的物质。以哲学的观点来看,废与不废是相对于占有者而言的,甲认为是废弃的东西,对乙来说可能是资源。废与不废只是相对的,世界上只有暂时没有被认知和利用的物质,而没有不可认知的物质,废与不废具有很强的空间性和时间性。随着人类改造自然的能力逐步提高和科学技术的不断发展,被认识和利用的物质越来越多,昨天的废物有可能成为今天的资源,此处的废物在另一时空也许就是资源和财富。因此,许多哲人都把固体废物称为“放错地方的资源”。

我国城市固体废物主要来自两大方面:人们日常生活中和社会生产过程中所产生的废弃物。自 20 世纪 80 年代以来,我国的社会、经济和文化均发生了深刻变化,经济迅猛发展,人民生活水平大幅度提高,城市固体废物数量呈指数级增长。以生活垃圾为例,1987 年全国城市生活垃圾清运量才 5 398 万 t,到了 1997 年猛增至 1.2 亿 t,人均日产生生活垃圾 0.8~1.0 kg。

固体废物一般具有如下共性:①无主性,即被丢弃后,不再属于谁,因而找不到具体责任者,尤其是城市生活垃圾;②分散性,丢弃、分散在各处,需要收集;③危害性,对人们的生产和生活产生不便,危害人体健康;④错位性,一个时空领域的废物在另一个时空领域也许就是宝贵的资源。

第三节 固体废物的分类

城市固体废物的分类根据其来源,可以分为两大类,即生活废弃物和产业废弃物。

生活废弃物和产业废弃物中又有一般废弃物和危险废弃物之分。通常把生活废弃物中的废电池、废荧光灯管、过期药品、废油漆罐及产业废弃物中具有爆炸性、毒性、感染性和其他有害于人体健康和生态环境的物质纳入危险废弃物的范畴。

一、生活废弃物

生活废弃物又称城市固体废物、城市生活垃圾、城市垃圾,它是指在城市居民日常生活中或为城市日常生活提供服务的活动中产生的固体废物。其主要成分包括厨余物、废纸、废塑料、废织物、废金属、废玻璃、陶瓷碎片、砖瓦渣土、园林树枝(草)、废旧电池、废旧家用电器等。城市生活垃圾主要来自于城市居民家庭、城市商业、旅游业、服务业、市政维护管理和企事业单位、机关、学校、军队、社会单位等。

二、产业废弃物

产业废弃物主要是指工业、农林业、畜牧业、医疗卫生业、城市污水处理等生产或执业过程中产生的废弃物。由于这些废弃物常带有一定毒性,破坏整个生态系统并对人体健康产生危害,因而越来越引起人们的重视,其中很多废物被划入危险废弃物一类进行安全处理。表 1-1 为产业固体废物(部分)来源分类。

表 1-1 产业固体废物来源分类

发生源	产生的主要固体废物
矿业	废石、尾矿、金属、废木、砖瓦和水泥、沙石等
冶金、金属结构、交通、机械等行业	金属、渣、沙石、模型、陶瓷、涂料、管道、绝热和绝缘材料、黏结剂、污垢、废木、塑料、橡胶、纸、各种建筑材料、烟尘等
建筑材料工业	金属、水泥、黏土、陶瓷、石膏、石棉、沙、石、纸、纤维等
食品加工工业	肉、谷物、蔬菜、硬壳果、水果、烟草等
橡胶、皮革、塑料等工业	橡胶、塑料、皮革、布、线、纤维、燃料、金属等
石油化工工业	化学药剂、金属、塑料、橡胶、陶瓷、沥青、污泥油毡、石棉、涂料等
电器、仪器仪表等工业	金属、玻璃、木、橡胶、塑料、化学药剂、研磨料、陶瓷、绝缘材料等
纺织服装工业	布头、纤维、金属、橡胶、塑料等
造纸、木材、印刷等工业	刨花、锯末、碎木、化学药剂、金属填料、塑料等
农林、畜牧业	喷洒过农药的残余物、秸秆、树枝、死家禽、死家畜等
医疗卫生	废弃药品、包扎器物、一次性医疗器具、残肢等
电子业	废旧计算器、手机、计算机等废弃的电子产品
核工业和放射性	含放射性的废弃金属、废渣、粉尘、污泥和建筑材料等

三、危险废弃物

我国危险固体废物是指列入国家危险废物名录或是根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定具有危险特性的废物。由于危险废物常具有毒害性、爆炸性、易燃性、腐蚀性、化学反应性、传染性、放射性等一种或几种危害特性,对人体和环境产生极大危害,因而,国内外均将其作为废物管理的重点,采取一切措施保证其妥善处理。据估计,我国工业危险废物的产生量约占工业固体废物产生量的 3%~5%,主要分布在化学原料和化学制造业、采掘业、黑色金属冶炼及其压延加工业、有色金属冶炼及其压延加工业、石油加工业及炼焦业、造纸及制品制造业等工业部门。城市生活垃圾中有害废物主要是混入的医院临床物、含汞电池等。

《国家危险废物名录》规定,医疗垃圾主要包括手术过程中产生的人体组织器官、血制品残余物、动物试验与生物培养残余物、一次性的医疗用品及敷料、废水处理的污泥、过期药品、废显(定)影液等,严格来说,也

包括病人用过的、与病人接触过的、来自病人身上的各种废物,以及医院办公室、医院食堂等地产生的生活垃圾。医院废物已被《国家危险废物名录》列为 01 号危险废物。

医院垃圾带有大量有毒有害致病菌,危害极大,未经严格处理的废物是绝对不能循环使用的。目前,全国对医院垃圾的管理问题刚刚提出来,远未解决。

第四节 固体废物对环境的影响

固体废物对环境的危害与该固体废物的性质和数量有关。任何固体废物,其对环境的危害都有一定的阈值,在其阈值以下就不会对环境产生危害。对这个阈值的确定,与固体废物的种类和性质有关。长期以来,世界各地的农村在自家的庭院里将家庭产生的有机废物(包括庭院垃圾)进行沤肥,并没有产生任何环境问题。当固体废物的量达到一定程度时,如果不加以控制,就可能产生环境污染,如城市生活垃圾,集中堆放到一定数量时,就会对堆放场周围的环境造成污染。另外,除了数量的因素以外,固体废物的性质也决定了固体废物的危害性。建筑垃圾属于无毒无害废物,量大占地,但并不会造成严重的环境污染,而废电池、废荧光灯管等,数量可能不大,但任意丢弃在环境中,就会对环境造成严重污染。

固体废物处理的依据主要是当地的环境污染控制标准。各国、各地所制定的标准差别非常大。对同一个有害有毒元素,不同国家制定的排放标准,其数值可能会相差几倍到几十倍。环境污染的控制,事实上也是相对的,其控制程度取决于经济发展和民众生活水平。

因此,在进行固体废物处理时,必须准确掌握处理的量和质。过分强调所涉及的固体废物的毒性和造成一定污染的数量,可能会增加处理成本。

一、固体废物污染环境的途径

固体废物特别是有害固体废物,如处理、处置不当,其中的有毒有害物质如化学物质、病原微生物等可以通过环境介质——大气、土壤、地表或地下水体进入生态系统形成化学物质型污染和病原体型污染,对人体

产生危害,同时破坏生态环境,导致不可逆生态变化,其具体途径取决于固体废物本身的物理、化学和生物性质,而且与固体废物处置所在场地的水质、水文条件有关,例如,有些可通过蒸发直接进入大气,但更多的是通过接触浸入、食用或咽入受污染的饮用水或食物进入人体。图 1-1 所示为固体废物中化学物质致人疾病的途径。图 1-2 所示为病原体型微生物传播疾病的途径。

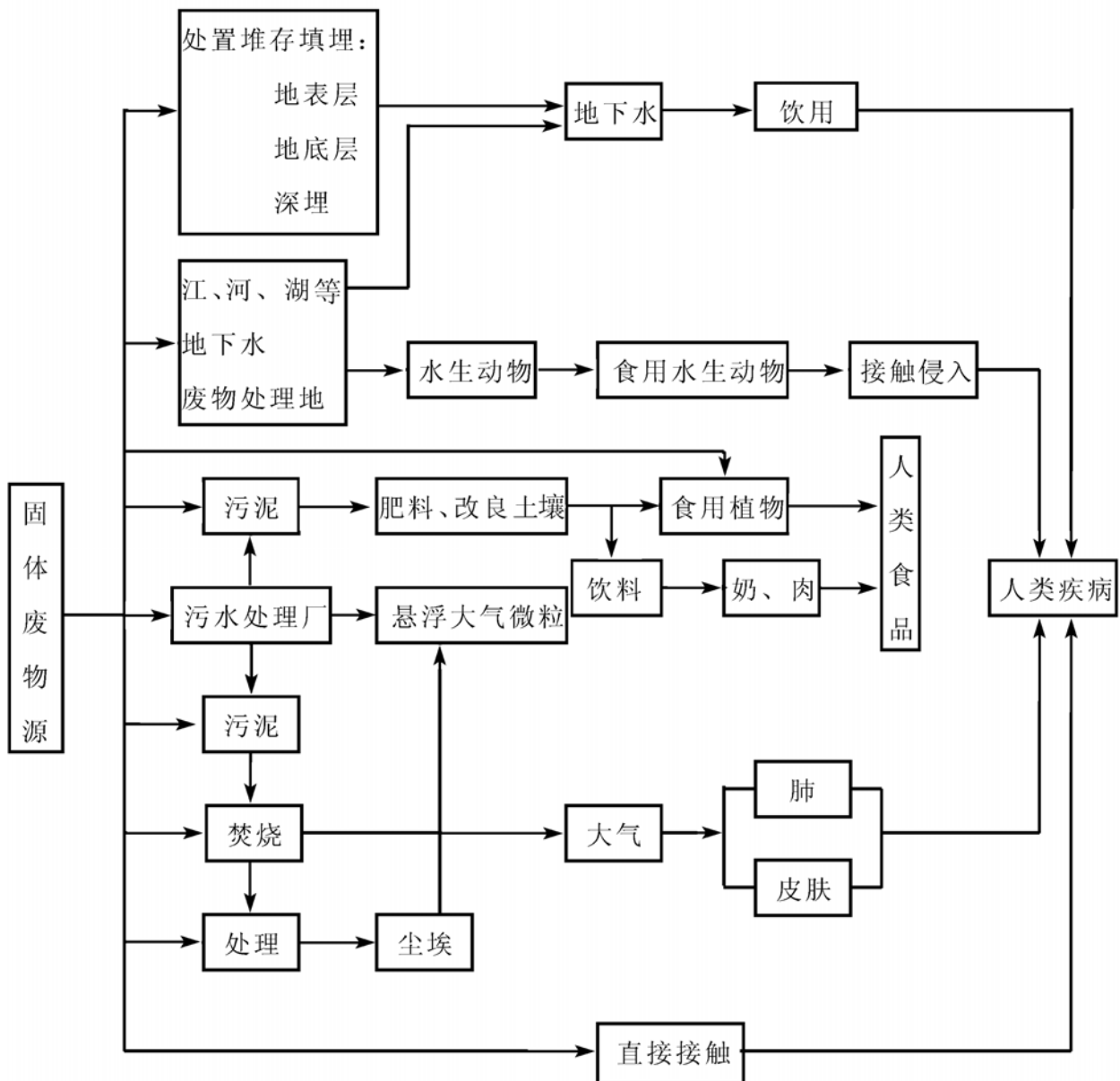


图 1-1 固体废物中化学物质致人疾病的途径

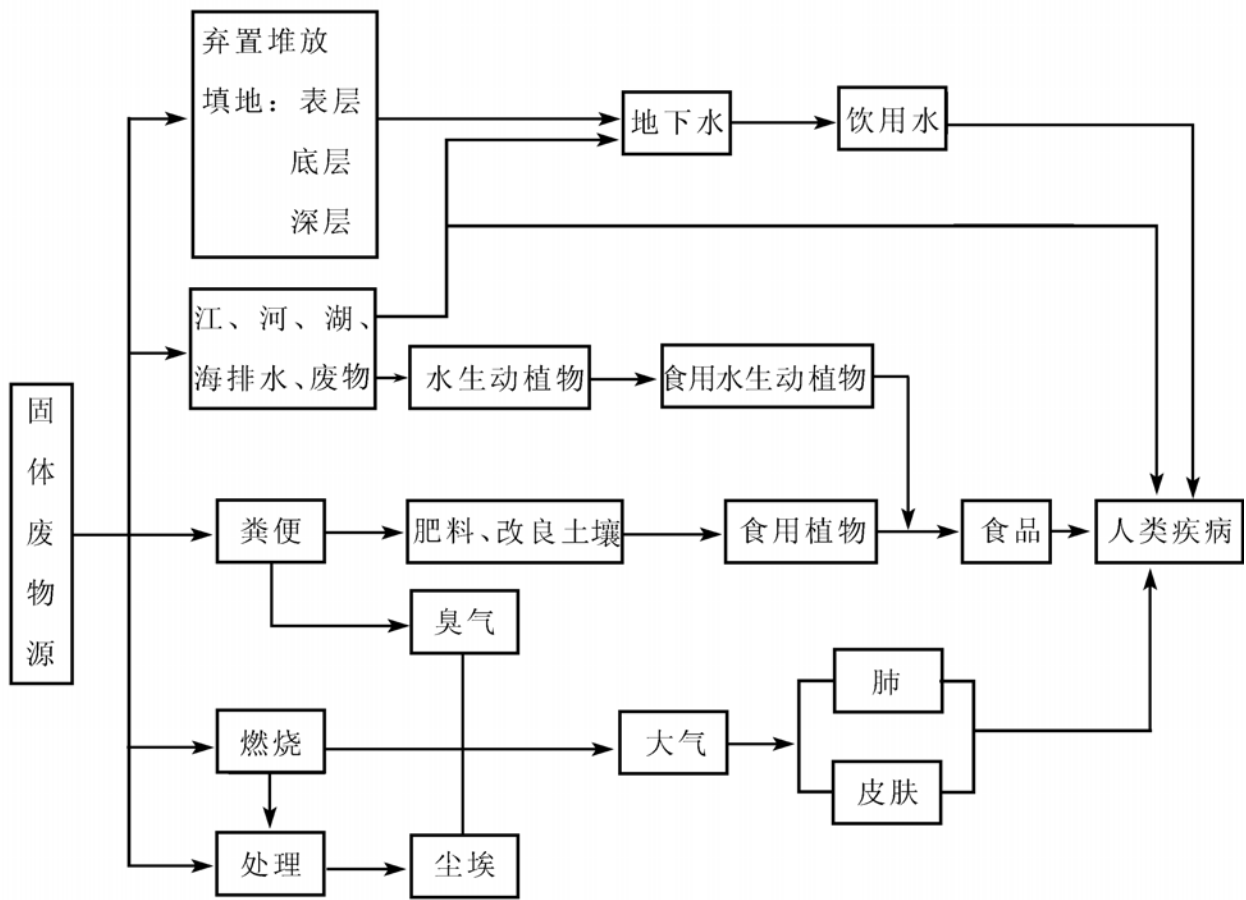


图 1-2 病原体型微生物传播疾病的途径

二、固体废物对自然环境的影响

固体废物对环境的影响主要表现在以下 4 个方面：

1. 对土壤环境的影响

固体废物不加以利用，任意露天堆放，不但占用一定的土地，导致可利用土地资源减少，而且如果填埋处置不当，不进行严密的场地工程处理和填埋后的科学管理，容易污染土壤环境。土壤是许多细菌、真菌等微生物聚集的场所，这些微生物与其周围环境构成一个生物系统，在大自然的物质循环中，担负着碳循环和氮循环的一部分重要任务。国际禁止使用的持续性有机污染物在环境中难以降解，这类废弃物进入水体或渗入土壤中，将会严重影响当代人和后代人的健康，对生态环境也会造成长期的不可低估的影响。残留毒害物质不仅在土壤里难以挥发消解，而且能杀死土壤中的微生物，破坏土壤的腐解能力，改变土壤的性质和结构，阻碍

植物根系的生长和发育,并在植物体内积蓄;残留毒害物质还能破坏生态环境,使毒害物质积存在人体内,对人的肝脏和神经系统造成严重损害,诱发癌症和导致胎儿畸形等。例如,20世纪70年代,美国在密苏里州为了控制道路粉尘,曾把混有2、3、7、8-TCDD的淤泥废渣当作沥青铺洒路面,造成土壤污染,土壤中TCDD含量高达300ng/g,污染深度达60cm,致使牲畜大批死亡,人们备受各种疾病折磨。在市民强烈的要求下,美国环保局同意全体市民搬迁,并花了3300万美元买下该城市的全部地产,还赔偿了市民的一切损失。20世纪80年代,我国内蒙古的某尾矿堆污染了大片土地,造成一个乡的居民被迫搬迁。据报道,我国受工业废渣污染的农田已达25万亩¹⁾

2. 对水体环境的影响

固体废物可随地表径流进入河流湖泊,或者随风迁徙落入水体,从而将有毒有害物质带入水体,杀死水中生物,污染人类饮用水水源,危害人体健康;固体废物产生的渗滤液危害更大,它可进入土壤污染地下水,或者直接流入河流、湖泊和海洋,造成水资源的水质型短缺。

值得一提的是,在固废处理初期,人们常将固体废物排入河流、湖泊和海洋作为一种处置方法,现在仍有许多国家将废物直接排入大海进行处置,其引起的环境影响应该加以警惕,理由如下:将固体废物直接倒入江河,会缩小江河的有效面积,降低其排洪和灌溉能力,并使水体受到直接污染,严重危害水生生物的生存条件,并影响水资源的充分利用;将固体废物排入大海,也有很大的危害性,只是因海洋的环境容量较大,其生态平衡变化不大或尚未被发觉,对人体的危害和生态平衡的影响还不明显,且人们现在盼向海洋倾倒废物能导致的后果尚未研究透彻。据有关资料表明,由于固体废物排入江河,20世纪80年代我国的水面比50年代减少2000多万亩。目前,我国仍有很多地方每年将成千上万吨的固体废物直接倾入江湖之中,其所产生的严重后果是不言而喻的。

3. 对大气环境的影响

堆放的固体废物中的细微颗粒、粉尘等可随风飞扬,进入大气并扩散

1) 亩为非法定计量单位,1亩=666.67m²。下同。

到很远的地方；一些有机固体废物在适宜的温度和湿度下还可发生生物降解，释放出沼气，在一定程度上消耗其上层空间的氧气，使植物衰败；有毒有害废物还可发生化学反应产生有毒气体，扩散到大气中危害人体健康。

值得一提的是，焚烧作为一种废物处理法会导致二次污染，这已成为有些国家主要的大气污染源。据报道，美国废物焚烧炉约有 2/3 由于缺少空气净化装置而污染大气，有的露天焚烧炉排出的粉尘在接近地面处的浓度达到 $0.56\text{g}/\text{m}^3$ 。特别是最近发现焚烧垃圾可以产生致癌物质二噁英，因此，对固体废物进行处置时要注意二次污染问题。

4. 对人体健康及生态的影响

20 世纪 30 年代到 70 年代，国内外发生了不少因固体废弃物处置不当而引起的人群大面积中毒的公害事件。例如，美国的罗芙运河事件，1930~1953 年美国胡克化学工业公司，在纽约州尼亚加拉瀑布附近的罗芙运河废河谷填埋了 2 800 多 t 筒装有害废物，1953 年填平覆土后兴建了学校和住宅。1978 年，由于大雨和融化的雪水造成有害废物外溢，之后，就陆续发现该地区井水变臭，婴儿畸形，居民身患怪异疾病，大气中有害物质浓度超标 500 多倍，测出有毒物质 82 种，致癌物质 11 种，其中包括致癌物质二噁英。1978 年，美国总统颁布了一项紧急法令，封闭住宅，关闭学校，710 多户居民迁出避难，并拨款 2 700 万元补救治理。又如，日本富山县含镉废渣排入土壤引起的痛痛病事件。不难看出，这些公害事件已给人类带来灾难性后果。尽管近几年来，严重的污染事件发生较少，但固体废物污染环境对人类健康将会遭受的潜在危害和影响是难以估计的。

固体废物中的有毒有害物质可以通过各种不同的途径进入大气、水，进而进入生物圈和食物链，进入人体，危害健康(见图 1-1 和图 1-2)。

随着科学技术的发展，人工合成的化合物越来越多，每年都有大量新的化合物进入人类生存的环境，其中包括工业品、农药、医药品、食品添加剂、化妆品等，造成大量的化学污染，给人类的生活和人体环境健康带来严重的影响。其中有害化学物质在环境中长期低剂量存在造成的损伤尤为突出，例如，诱发了生物体遗传突变、致癌、致畸、促进衰老和代谢障碍等。

本书将主要就城市垃圾(垃圾)问题展开论述。

第二章 城市垃圾处理总论

第一节 城市垃圾特征

一、定义

城市垃圾通常是指居民生活、商业活动、旅游、市政维护、企事业、机关单位办公等过程中产生生活废弃物,如厨余物、餐饮残余物、废纸、织物、家具、玻璃陶瓷碎片、废旧塑料制品、煤灰渣、废交通工具等。

二、成分及产量影响因素

影响垃圾质和量的因素很多,主要有 3 个方面。

一是影响垃圾质和量变化的内在因素。主要是指直接导致生活垃圾质和量变化的因素,如影响生活垃圾产量变化的人口数量,居民生活水平,城市建设水平等。人口增加,在其他因素不变的情况下垃圾产量必然增加;同样,由于经济的发展,居民生活水平的提高,居民消费品数量与类别增加,相应垃圾产量也会增加;城区范围增大,保洁区面积增大,垃圾产生量也增大。影响生活垃圾质变化的因素有居民生活水平、能源结构、生活的地域气候差异及消费方式等。在以燃煤为主的地区,以及北方采暖期,生活垃圾中无机灰渣的含量较高;生活水平提高,丢弃的厨余及废品量则有较大幅度上升;此外,以一次性塑料制品及过度包装为消费时尚的当今社会,塑料在垃圾中的含量近几年有很大幅度的上升。

二是影响垃圾质和量变化的社会因素。主要是指社会行为准则、社会道德规范、法律规章制度等,是一种外部的、间接的因素。它实际上是人类对垃圾产生系统的干预。如国外推行垃圾减量、回收和再利用措施,可以大幅度减少垃圾最终处理量;垃圾分类收集则是从源头改善垃圾的质,减少后续垃圾的处理难度,而且利于垃圾回收而减少垃圾最终处理量。

三是影响垃圾质和量变化的个体因素。主要是指垃圾产生的主体——人类本身个体的行为习惯和受教育程度等。

对生活垃圾的质和量进行预测,需综合以上 3 方面因素,通过这些因素的变化情况,分析垃圾质和量的变化趋势,从而得出预测值。但是,以上 3 方面因素并不是孤立的,它们之间存在极其复杂的联系。例如,经济增长,通过消费导致垃圾产量增加,另一方面则通过对社会因素的影响及个体因素的配合,导致垃圾减量、回收与再利用措施的加强,使垃圾产量减少。

1. 垃圾成分

影响生活垃圾成分的主要因素有城市的经济发展水平、城市居民的生活习俗和城市所处的地理位置(自然气候)和不同的季节等。一般来说,居民生活方式、消费习惯将直接影响到生活垃圾中厨余部分的变化,另外,季节的变化,垃圾成分也会相应发生很大变化。表 2-1 例举了发达国家城市垃圾组成情况;表 2-2 为我国部分大城市垃圾组成情况。(来源于“UNDP/GEF 推动中国垃圾填埋气体回收利用”项目研究,1998)

表 2-1 发达国家城市垃圾组成成分(单位:%)

国家	城市	有机物	纸	玻璃	金属	塑料	织物	无机废物
美国	纽约	22.0	44.8	11.6	8.0	5.1	4.0	4.5
法国	巴黎	28.8	25.3	13.1	4.1	14.3	7.1	7.3
英国	伦敦	28.0	37.0	10.8	6.0	5.2	3.4	9.6

表 2-2 我国部分大城市垃圾组成成分(单位:%)

城市	有机物	纸	玻璃	金属	塑料	织物	无机废物
北京	56.1	11.8	3.8	1.7	12.6	2.8	11.2
上海	70.4	6.7	4.1	0.8	11.8	2.3	3.9
大连	73.4	3.4	2.6	0.5	5.7	1.6	12.8

生活垃圾成分预测主要是预测生活垃圾中纸类、塑料、玻璃、金属和厨余等主要成分的变化趋势。一般可采用线性统计回归方法进行预测。研究表明,随着社会的发展和经济水平的提高,生活垃圾中可回收部分的含量呈增加趋势,而垃圾中有机成分的含量将逐渐下降。

上海环境科学设计研究院根据长期对生活垃圾成分的测定结果建立

了预测模型。预测结果显示：上海市生活垃圾中纸类和塑料的含量将逐年递增，其发生量随生活垃圾总量的增加增幅将更大；厨余的含量将逐渐减少，但其发生量随生活垃圾总量的增加而小幅增加；玻璃和金属的含量在小范围内波动。预测结果如表 2-3 所示。

表 2-3 主要成分含量和发生量预测结果

项目	指标	2000 年	2005 年	2010 年
纸类	含量/%	5.34	6.71	8.43
	发生量/(t/d)	388.3	605.5	922.9
塑料	含量/%	8.44	9.64	10.38
	发生量/(t/d)	603.7	870.1	1 136.6
玻璃	含量/%	4	4	4
	发生量/(t/d)	286.0	361.0	437.9
金属	含量/%	0.7	0.7	0.7
	发生量/(t/d)	50.0	63.2	76.6
厨余	含量/%	63.49	56.71	50.21
	发生量/(t/d)	4 539.9	5 117.4	5 497.0

2. 垃圾产量

影响生活垃圾产量的因素主要有统计因素、人口因素、经济因素和政策因素。

统计因素对垃圾产量的影响是外在的，主要表现在统计数据的准确性；人口因素对垃圾产量的影响是内在的，一般来说，人口越多的城市，垃圾产量也越大；经济因素对垃圾产量的影响是多方面的，一般经济越发达的地区，居民生活垃圾的产量会越大（经济因素的定量表述可采用以下经济指标：国内生产总值、GDP 中本市总消费、总投资、居民消费、非农业居民消费、职工工资总额、平均每人年可支配收入和社会消费品零售总额等）；政策因素对垃圾产量的影响最复杂。

三、发达国家生活垃圾产量

美国、日本及欧洲等发达国家的垃圾产量随时间的变化均有一定的

规律,在一定阶段以前,垃圾总产量及人均产量逐年上升,据统计,美、欧、日等 16 个发达国家的人均垃圾产量在 1975 年为 0.86kg/d,到 1980 年为 1.04kg/d,而 1990 年为 1.23kg/d,但经济发展到一定阶段以后,其总产量及人均产量逐渐稳定并稍有下降趋势,如表 2-4 所示。从表 2-4 中的数据可看出,法国、德国、英国等欧洲国家及日本,对垃圾回收利用比较重视,其人均生活垃圾产量相对较低。

表 2-4 美、欧、日等发达国家生活垃圾产量

国家	人均垃圾产量/(kg/d)				
	1975 年	1980 年	1985 年	1989 年	1990 年
加拿大		1.44	1.74	1.71	1.65
美国	1.78	1.93	2.04	2.37	1.98
日本	0.93	0.97	0.94	1.08	1.13
奥地利	0.51	0.61	0.62	0.97	0.89
丹麦		1.09	1.28		1.30
芬兰		1.40	1.23	1.38	1.71
法国	0.62	0.71	0.75	0.83	0.90
德国	0.92	0.95	0.87	0.87	0.91
意大利	0.70	0.69	0.72	0.82	0.95
卢森堡	0.90	0.96	0.98	1.28	
荷兰		1.34	1.17	1.27	1.36
挪威	1.16	1.14	1.30	1.30	
西班牙	0.62	0.74	0.75	0.88	
瑞典	0.80	0.83	0.87		1.02
瑞士	0.81	0.96	1.05	1.16	
英国	0.61	0.85	0.93	0.98	0.95
平均	0.86	1.04	1.08	1.21	1.23

四、亚洲部分城市生活垃圾产量

亚洲部分城市 20 世纪 90 年代人均垃圾产量为 1.1~1.41kg/d,如表 2-5 所示。

表 2-5 亚洲城市 20 世纪 90 年代生活垃圾产量

城市名称	生活垃圾总产量/(t/d)	人均垃圾产量/(kg/d)
香港	8 200(1994、1995 年平均)	1.30(1994、1995 年平均)
新加坡	3 415(1996 年)	1.1(1996 年)
汉城	—	1.33(1995 年)
东京	5 120(1993 年)	1.33(1993 年)
大阪	3 288(1993 年)	1.41(1993 年)
平均	5 005.75	1.29

五、国内部分城市生活垃圾产量

1. 历年来生活垃圾产量统计

国内各大城市近年来生活垃圾产量一直呈增长趋势。目前,我国城市垃圾年产量已超过 1.4 亿 t,在近 10 年里,随着城市化进程的加快和人民生活水平的提高,年均增长率达 8% 左右。表 2-6 为 1995 年的城市人口、GDP 和垃圾产量统计表。表 2-7 为历年上海市生活垃圾产量统计表。表 2-8 为上海市生活垃圾产量五年平均增长率。

表 2-6 1995 年城市人口、GDP 和垃圾产量统计表

城市	城市人口/万人	国内生产总值 GDP/亿元	垃圾产量/(万 t/a)
北京	710	1 615.73	311.0
天津	513	1 102.4	185.3
上海	932	2 902.2	418.3
沈阳	420	771.8	156.9
大连	253.92	733.07	71.5
杭州	196.68	906.61	66.0
深圳	78.91	950	75.5
广州	403.27	1 444.9	176.4
马鞍山	38.73	87.8	9.4
鞍山	144.94	395.04	40.2

表 2-7 上海市生活垃圾产量统计表

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
日产量/t	3 817	4 049	4 115	4 591	4 571	5 097	5 730	6 217
年产量/万 t	139.3	147.8	150.2	167.6	166.8	186.0	209.1	226.9
增长率/%	11.30	6.08	1.63	11.60	-0.40	11.50	12.40	8.50

表 2-8 上海市生活垃圾产量五年平均增长率

年度	1987~1992	1988~1993	1989~1994	1990~1995	1991~1996	1992~1997
增长率/%	5.61	6.94	5.92	5.95	7.19	8.60

大量研究表明,生活垃圾的产量与人均 GDP 呈正相关性,只有当经济发展到一定程度时,产量才逐渐趋于稳定。图 2-1 为上海市区生活垃圾产量与 GDP 的关系(1990~2000 年)。

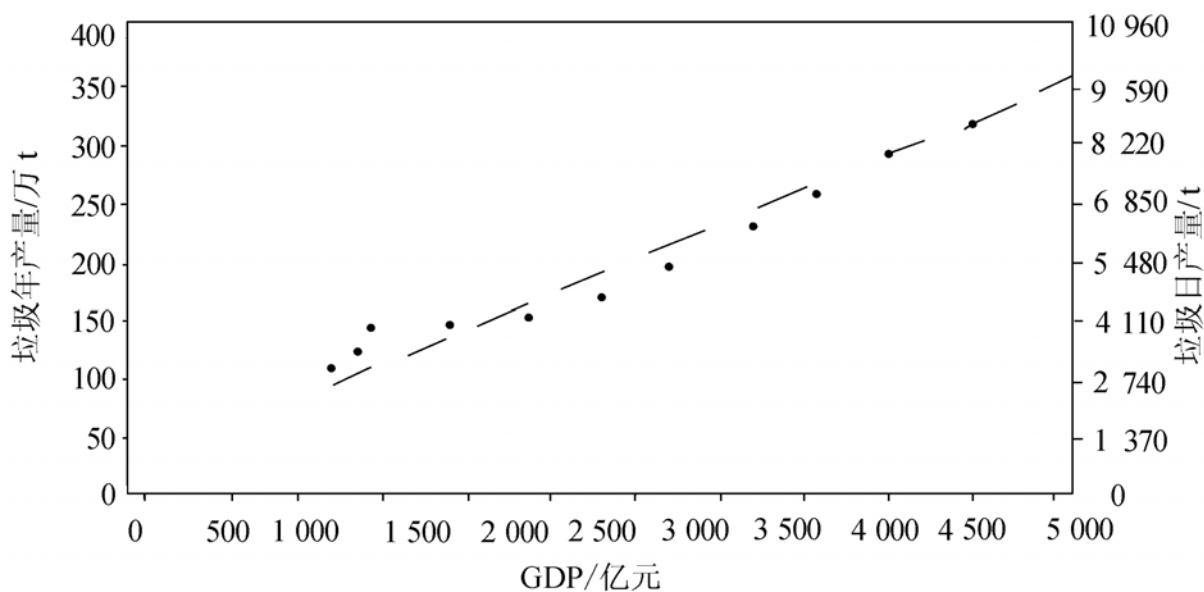


图 2-1 上海市区生活垃圾产量与 GDP 的关系(1990~2000 年)

2. 生活垃圾产量预测

生活垃圾产量预测的方法很多,比较常用的有以下几种:

(1) 线性统计回归法

线性统计回归法是统计学中最为基本的方法,也是运用最为广泛的方法。由于这一方法简单实用,因此很受欢迎。线性回归统计法是根据

统计样本的测定结果,用直线进行拟合,因此对许多发展趋势比较明显的事件,能进行比较准确的预测。

国家建设部制订的《城市生活垃圾产量计算及预测方法》(CJ/T-1997),使用的就是线性回归方法。

(2) 物流平衡预测法

物流平衡预测法是根据物流平衡对影响生活垃圾产量因素的分析,得到的一个简化的生活垃圾产量预测模型。该模型显示:①人是生活垃圾的产生源,人口数量是决定城市生活垃圾产量的主要因素;②燃料结构是决定城市生活垃圾产量的重要因素;③城市居民的生活方式与生活垃圾的产量密切相关。在该模式中,人口数量、人均垃圾产量、煤气气化率是必不可少的基础数据。

(3) GM 模型

GM 模型是以灰色系统理论为基础建立起来的预测模型。该方法对随机变化、没有规律的数据进行处理,建立一个复杂的微分模型。

除此之外,还可以采用系统动力学、投入产出分析表、动态规划等模型进行预测,由于方法比较复杂,涉及的指标也较多,因此目前在垃圾产量预测中还没有应用。

上海市环境科学设计研究院曾以历年上海市区生活垃圾产量统计值为基础,采用线性统计回归方法,对上海市区的生活垃圾产量进行预测。线性统计回归方法预测垃圾产量情况分析如表 2-9 和表 2-10 所示。

表 2-9 一元线性回归预测综合结果

年 度	生活垃圾 产量中值 /(t/d)	生活垃圾 产量高值 /(t/d)	生活垃圾 产量低值 /(t/d)	中值平均 递增率 /%	高值平均 递增率 /%	低值平均 递增率 /%
1995~2000				6.9	7.5	5.9
2000	7 126	7 328	6 792			
2000~2005				4.7	5.2	3.9
2005	8 982	9 179	8 644			
2005~2010				3.8	4.2	3.2
2010	10 838	11 030	10 495			
2010~2015				3.2	3.5	2.6
2015	12 694	12 881	12 346			

表 2-10 线性回归法—逐步回归预测结果

预测时间	1995 年	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
		预测中值	预测区间	预测中值	预测区间	预测中值	预测区间	预测中值	预测区间
生活垃圾 产量/(t/d)	5 097	6 975	(6 328, 7 616)	8 666	(7 746, 9 580)	10 358	(9 145, 11 564)	12 049	(10 550, 13 603)
五年平均 递增率/%		6.47	(4.42, 8.36)	4.44	(2.12, 6.55)	3.63	(1.08, 5.94)	3.07	(0.36, 5.60)

注:表中 1995 年生活垃圾日产量为实测量。

从以上两个预测结果(表 2-9 和表 2-10)可以看出,一元线性回归预测的结果较高,而逐步回归的预测结果较低,且预测的区间跨度更大。综合这两个预测结果,进行适当修正后可得表 2-11。

表 2-11 综合预测结果

年 度	生活垃圾 产量中值 /(t/d)	生活垃圾 产量高值 /(t/d)	生活垃圾 产量低值 /(t/d)	中值平均 递增率 /%	高值平均 递增率 /%	低值平均 递增率 /%
1995~2000				6.71	7.95	5.18
2000	7 051	7 472	6 560			
2000~2005				4.59	5.87	3.05
2005	8 824	9 380	8 195			
2005~2010				3.73	5.07	2.16
2010	10 598	11 297	9 820			
2010~2015				3.14	4.56	1.55
2015	12 372	13 242	11 448			

第二节 城市垃圾处理技术

目前,城市垃圾无害化处理方法主要有卫生填埋法、焚烧法、堆肥法和资源化综合处理法。

一、国外发达国家生活垃圾处理技术研究应用现状和发展

卫生填埋、焚烧、堆肥、回收和综合利用仍是国外普遍采用的成熟的垃圾处理技术和方法。表 2-12 反映了部分发达国家采用上述几种处理方法及垃圾回收利用的情况,表 2-13 是日本在 20 世纪 80 年代末、90 年代初采用以上几种处理方法的情况。

表 2-12 部分国外发达国家生活垃圾处理方式的比例

国家	年份	垃圾总量/万 t	填埋所占比例/%	焚烧所占比例/%	堆肥所占比例/%	回收所占比例/%
美国	1996	32 746	62	10	—	28
英国	1993	2 000	83	13	—	4
日本	1993	5 000	15	74	11	—
奥地利	1993	290	48	24	8	20
比利时	1993	358	49	35	—	16
加拿大	1995	2 059	73	4	—	23
丹麦	1993	180	16	71	4	9
芬兰	1990	130	65	4	15	16
法国	1993	2 000	45	42	10	3
德国	1993	3 380	61	36	3	—
爱尔兰	1993	910	97	—	—	3
意大利	1993	2 000	74	16	7	3
卢森堡	1993	18	22	75	1	2
荷兰	1993	770	45	35	5	15
挪威	1993	220	67	22	5	—
葡萄牙	1993	265	—	90	10	—
西班牙	1993	1 330	64	6	17	13
瑞典	1993	320	30	60	—	10
瑞士	1993	370	11	76	13	—

表 2-13 日本生活垃圾处理方式的比例(单位:%)

年份	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
填埋	23.4	23.0	21.6	20.4	17.0	14.9	15
焚烧	72.6	72.8	73.9	74.4	72.8	74.3	74
堆肥	4.0	4.2	4.5	5.2	8.7	8.9	11
其他	—	—	—	—	1.5	2.1	—

二、国内城市生活垃圾处理现状

我国绝大部分垃圾是采用填埋法进行处理及处置的,其中部分已达到卫生填埋的要求,但更多的是采用简易填埋法处理的。“七五”及“八五”期间,深圳、北京、上海、杭州、成都、苏州、福州等城市相继建成了投资额约为 1 亿元人民币的大型垃圾卫生填埋场,而更多的中小城市则建造了数百个投资额在几百万元到上千万元的中小型卫生填埋场。

焚烧处理技术在我国的应用整体水平滞后于填埋技术和堆肥技术 5~10 年,焚烧法处理的垃圾量是 3 种基本处理方法中所占比例最小的。除个别城市如深圳将焚烧法作为处理城市垃圾的主要方法外,我国绝大多数省(市)未将焚烧法作为主要处理手段,有相当一部分省(市)根本没有采用焚烧法处理生活垃圾。目前,上海、北京、广州等一些大都市都正在规划或建设一些日处理达千吨的垃圾焚烧厂。

我国垃圾堆肥处理技术应用的历史较长。从最初的农村利用人畜粪便和农田废弃物就地沤肥生产农家肥,发展到采用厌氧或通风好氧堆肥解决垃圾出路问题,这期间开展了大量的堆肥化技术及相关设备开发研制的科技攻关,并在上海、杭州、无锡、桂林、天津、重庆等城市陆续建立了一批城市生活垃圾机械化堆肥设施。从运行情况看,由于堆肥机械设备技术水平较低,难以保证设施正常、稳定运行;进入堆肥系统的垃圾没有进行分类和细分选,堆肥产品肥效不高,杂质较多和化肥的大量推广使用等诸因素,使堆肥产品出路日益困难,一些堆肥场处于停产状态。针对上述存在的问题,20 世纪 90 年代以后,开展了城市垃圾制生物复混肥的研究,并在四川广汉和北京石景山得以实施。

我国在垃圾回收及综合利用方面有着长期实践和成功经验,如上海

20 世纪六七十年代曾建有遍布全市的废品回收站,但由于种种原因正常经营的废品回收站已越来越少。20 世纪 90 年代以来,政府日益重视垃圾的减量化和资源化,一部分城市还开展了垃圾分类收集的试点工作,并且绝大部分城市已将垃圾分类收集、资源化综合利用作为城市垃圾处理的重要内容进行规划,但就整体水平而言,我国城市垃圾的减量化与资源化工作才刚刚起步,远远落后于发达国家,垃圾回收和综合利用的前景十分广阔。

三、垃圾处理、处置方式比较

1. 卫生填埋技术

卫生填埋技术起步于 20 世纪 30 年代,经过 60 多年的研究和发展,各国在卫生填埋的规划、设计、施工、管理等方面积累了丰富的经验,并开发出成套技术及设备。目前,卫生填埋仍是各国广泛采用的垃圾处理方式。虽然各国在填埋工艺、填埋作业机械、防渗、渗滤液处理、填埋气处理和利用等方面进行了大量的研究并取得了很多成果,但是由于卫生填埋研究涉及化学、微生物学、水文地质学和工程学等多种学科,特别是垃圾成分复杂、变化规律性差,还有一些技术问题未得到解决,如渗滤水的深度处理、人工衬底材料的耐久性和经济性问题尚需进一步研究。

进入 20 世纪 90 年代,发达国家在卫生填埋技术方面,除继续研究各重点问题外,出现了垃圾填埋处理比例有所缩减的趋势。部分国家从政策上或技术上限制城市垃圾的填埋处理,如法国计划到 2000 年,将填埋处理垃圾的比例缩减一半;奥地利首都维也纳市已明确规定从 1996 年下半年开始,凡是未经过处理的垃圾不得直接填埋;丹麦从 2000 年起禁止填埋易腐物质;荷兰禁止填埋可燃废物等。

2. 焚烧技术

焚烧技术开始于 19 世纪末,但直到 20 世纪 60 年代才得到广泛应用。由于焚烧技术具有无害化、减量化和资源化程度高的特点,因此在一些发达国家尤其在像日本等经济发达而土地资源紧张的国家受到欢迎,并且所占比例呈逐年上升趋势。目前全世界共有约 2 400 座垃圾焚烧