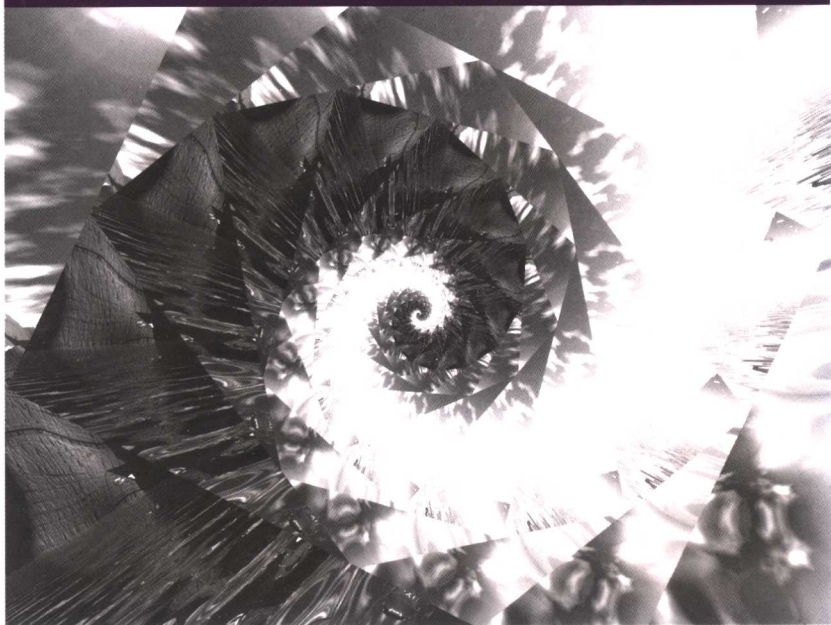


固体废物处理与资源化丛书

固体废物焚烧技术

柴晓利 赵爱华 赵由才 等编



Chemical Industry Press

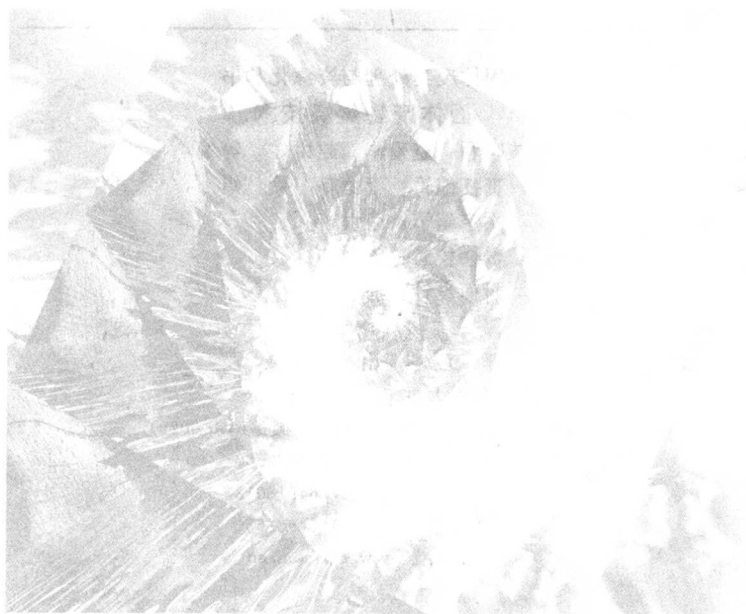


化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

固体废物处理与资源化丛书

固体废物焚烧技术

柴晓利 赵爱华 赵由才 等编



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

固体废物焚烧技术/柴晓利, 赵爱华, 赵由才等编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 8

(固体废物处理与资源化丛书)

ISBN 7-5025-7620-7

I. 固… II. ①柴…②赵…③赵… III. 固体废物-垃圾焚化 IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 102943 号

固体废物处理与资源化丛书

固体废物焚烧技术

柴晓利 赵爱华 赵由才 等编

责任编辑: 管德存 徐 娟

文字编辑: 荣世芳

责任校对: 陈 静

封面设计: 潘 峰

*

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)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<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

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 408 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7620-7

定 价: 38.00 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

编委会主任

赵由才

编委会成员

(按姓氏汉语拼音排列)

边炳鑫	柴晓利	陈彬
方建民	黄仁华	李广科
龙燕	牛冬杰	宋立杰
王罗春	吴军	张华

序

随着我国国民经济和社会的发展，固体废物产生量在迅速增加。在我国的城镇中，以生活垃圾为主的固体废物的收集、运输、处理与处置、分类与分选、资源化循环利用等，不仅是当地政府的重要日常工作，也是当今社会可持续发展的核心内容。

固体废物处理与资源化，首先强调的是资源化，即物质的循环使用。所谓固体废物的资源化，一方面是固体废物通过简单加工后的再利用，另一方面是通过功能的改变而得到再利用。通过简单维修或转换使用者，不能认为是固体废物的资源化过程。分类的固体废物资源化过程应该比混合的各种固体废物资源化过程更容易实现。因此，实行固体废物分类收集、运输、储存和加工，是资源化的最佳路径，应该持之以恒地加以实施。

固体废物的处理，一般是指不考虑再利用的无害化方法，如生活垃圾的填埋与焚烧、放射性废物的固化与稳定化、危险废物的去毒化与安全填埋等。有机可降解废物的堆肥既是一种固体废物的处理方法，也是一种资源化方法。

近二十年来，我国在固体废物处理与资源化方面发展较快，越来越多的高等院校和科研单位开始进行固体废物的研究工作，许多企业也积极介入固体废物的处理与资源化行业，从业人员数量迅速增加。同时，我国政府和企业对固体废物处理与资源化方面的投入逐年增加，研究开发了一系列新技术、新方法，在传统技术的改造和改良方面也有进展。另外，国外大量相关企业也在我国开展业务，在管理和技术方面积累了许多经验教训。因此，全面总结和介绍国内外固体废物处理与资源化技术，对于发展我国的环境保护事业，具有重要的意义。

本丛书反映了国内外固体废物处理与资源化领域的发展现状和趋势，内容覆盖了生活垃圾、危险废物、一般工业废物、建筑废物、放射性废物等的处理与资源化各个方面，适于从事固体废物研究、开发、教学、培训和管理等的人员阅读参考。

赵由才

2004年1月

前 言

固体废物焚烧处理技术具有无害化效果好、减量化程度高、资源化效果显著和占地面积小等优点，所以近年来在固体废物处理中所占比例呈上升趋势。和国外发达国家相比，我国焚烧技术的发展相对缓慢，但随着我国经济的迅速发展和人民环境保护意识的不断增强，焚烧作为固体废物特别是工业危险废物和医疗废物的有效处理技术，得到日益广泛的推广和应用；并且随着我国人民生活质量的不断改善，生活垃圾组分和性质发生了变化，热值不断提高，也为生活垃圾的焚烧处理奠定了物质基础。自 1988 年在深圳建立了第一个现代化的垃圾焚烧厂以来，我国已先后建立了十多个现代化的垃圾焚烧厂，特别是上海浦东、浦西两座现代化规模垃圾焚烧厂的建成，为我国垃圾焚烧处理技术积累了宝贵经验。但是，我国焚烧关键技术尚不能完全实现国产化，焚烧设备特别是炉排生产技术相对落后、国产化率低，限制了焚烧技术在我国广泛应用，从发展的角度看，我国对焚烧处理技术的研究和实践有待于进一步加强。

本书内容主要包括焚烧原理、焚烧工艺、焚烧设备以及焚烧厂的建设和运营，可作为环境卫生管理部门、生活垃圾焚烧厂建设单位、生活垃圾处理科研及设计单位以及大专院校有关专业人员的参考资料之一。

本书所列出的所有机器设备和生产厂家，仅仅是出于全书的完整性和论述的需要，撰写人员和出版社不为这些机器设备和厂家提供任何保证和推荐，也不为任何由于使用这些机器设备所造成的损失和其他任何问题承担任何经济 and 法律责任。

本书编写人员分工如下：第一、二章，杨玉江、楼紫阳、柴晓利；第三章，杨玉江、逯春民、柴晓利；第四章，柴晓利；第五章，孙晓杰、柴晓利；第六章，唐圣均、柴晓利；第七章，柴晓利、黄伟；第八章，郭强、柴晓利；第九章，李兵、柴晓利；第十章，郭强、柴晓利、王声东；第十一章，李兵、柴晓利。

由于编者水平有限，不可避免存在疏漏之处，我们真诚地希望同行、专家和广大读者批评指正。

柴晓利 赵由才
2005 年 5 月于上海

内 容 提 要

本书为固体废物与资源化丛书之一。

本书首先概括阐述了固体废物焚烧的原理、工艺和设备；然后结合实例，介绍了生活垃圾焚烧厂的建设和运营；最后，分别详细介绍了危险废物、医疗废物、工业废物的焚烧原理、工艺及设备。

本书有利于促进我国固体废物焚烧技术的研究与实践，可供环境卫生管理人员、生活垃圾焚烧厂建设单位人员、生活垃圾处理科研及设计工作者参考使用，也可供大专院校相关专业师生阅读。

目 录

第一章 固体废物概述..... 1	三、可燃组分元素的物料平衡 21
第一节 固体废物的定义与分类..... 1	四、灰分元素的物料平衡 23
一、固体废物的定义和特性..... 1	第四节 焚烧过程的热平衡 23
二、固体废物的来源和分类..... 1	一、固体废物的热值 23
第二节 固体废物的环境影响..... 2	二、燃烧火焰温度 24
一、固体废物的污染途径..... 3	三、热平衡分析 24
二、固体废物的污染危害..... 3	四、固体废物热值的利用 26
第三节 固体废物的处理、处置及资源化 技术..... 5	第四章 生活垃圾焚烧工艺 27
一、固体废物的技术政策..... 5	第一节 概述 27
二、固体废物的处理处置技术..... 6	一、垃圾接受系统 27
第二章 固体废物焚烧技术 8	二、焚烧系统 28
第一节 焚烧技术的发展历史..... 8	第二节 焚烧炉及其工艺 28
一、焚烧技术的发展历史..... 8	第三节 焚烧炉的设计 33
二、现代垃圾焚烧技术..... 8	第四节 助燃空气系统 34
第二节 焚烧技术的特点 10	第五节 灰渣处理系统 36
第三节 焚烧技术的应用现状和前景展望 11	第六节 飞灰处理系统 41
一、国外的应用现状 11	第七节 余热利用系统 43
二、国内的应用现状 12	一、直接热能利用 43
三、发展前景 12	二、余热锅炉结构的发展历程 44
四、我国的对策 13	三、余热发电和热电联供 47
第四节 焚烧技术的指标和标准 13	四、垃圾焚烧的余热利用及其技术发展 方向 50
一、焚烧处理技术指标 13	第八节 烟气净化系统 51
二、焚烧处理技术标准 14	第九节 自动控制系统 57
第三章 固体废物的焚烧过程 17	一、集散型控制系统组成 58
第一节 固体废物燃烧的基本原理 17	二、PCS系统 58
一、燃烧的定义 17	三、仪表选型 58
二、燃烧的基本过程 17	四、主要控制系统 59
三、影响焚烧过程的因素 17	五、上海浦东新区垃圾焚烧厂的自动 控制系统 60
第二节 固体废物的焚烧产物 18	第五章 生活垃圾焚烧设备 61
一、粉尘的产生和特性 18	第一节 前处理及供料系统 61
二、炉渣、飞灰的产生和特性 19	一、概述 61
三、烟气的产生与特性 19	二、垃圾称重系统 61
四、恶臭的产生 20	三、垃圾卸料系统 62
五、白烟的形成 20	四、分选、破碎系统 64
第三节 焚烧过程的物质平衡 21	五、大件垃圾破碎机 65
一、生活垃圾的燃烧特性分析 21	六、吊车及抓斗 66
二、垃圾焚烧物质转化分析 21	七、上料系统 68

八、除臭和灭蚊蝇系统	68	一、焚烧厂的设备组成	132
第二节 生活垃圾焚烧炉	68	二、焚烧炉的选择	133
一、炉排型焚烧炉技术	68	三、余热利用设备的选择	133
二、流化床焚烧炉技术	73	第四节 厂址选择与用地面积确定	135
三、回转窑焚烧炉技术	76	一、焚烧厂厂址选择要求	135
四、垃圾热解汽化焚烧炉技术	77	二、用地面积确定	135
第六章 焚烧厂的污染控制	81	第五节 我国垃圾焚烧厂的融资模式	136
第一节 烟气的净化与处理	81	一、政府向银行融资的不便	136
一、焚烧烟气的特点与组成	81	二、主要融资方式	136
二、焚烧烟气污染物的形成机理	82	三、关于 BOT 模式	137
三、垃圾焚烧烟气净化技术	86	四、如何创造条件	138
四、焚烧烟气净化工艺	90	第六节 我国垃圾焚烧厂的建厂模式	138
五、垃圾焚烧烟气排放标准	94	一、关键成套设备引进国外先进技术的	
第二节 焚烧厂的污水处理	96	炉排炉	138
一、焚烧厂污水的发生源及其性质	96	二、关键设备的核心部件引进国外先进	
二、焚烧厂污水的处理与处置技术概述	98	技术的炉排炉	139
第三节 焚烧灰渣的处理与利用	100	三、消化吸收国外先进技术自行开发	
一、灰渣的特性	101	的炉排炉	139
二、焚烧灰渣的利用	107	四、以国产化技术为主的循环流化床焚	
三、焚烧灰渣处理技术现状	109	烧炉	139
四、我国对固化/稳定化生活垃圾的有关		第八章 生活垃圾焚烧厂实例	141
规定	116	第一节 浦东新区生活垃圾焚烧厂工程	
第四节 噪声控制与污染	116	实例	141
一、垃圾焚烧厂噪声发生源分析	117	一、引言	141
二、垃圾焚烧厂噪声控制原则	117	二、新区垃圾现状	141
三、垃圾焚烧厂噪声源的降噪控制		三、新区生活垃圾焚烧厂工艺设计	
方法	118	方案	143
第五节 恶臭污染控制与防治	120	四、小结	145
一、生活垃圾焚烧厂恶臭污染的发生源		第二节 绍兴市垃圾焚烧发电厂工程	
分析	121	实例	146
二、生活垃圾焚烧厂恶臭污染的控制		一、引言	146
措施	122	二、绍兴生活垃圾成分分析	146
三、恶臭污染的治理技术简介	122	三、主要工艺流程及特点	146
四、恶臭的分析与评价方法	124	四、小结	149
五、恶臭污染的评价方法	125	第三节 宁波垃圾焚烧厂工程实例	150
第七章 垃圾焚烧厂的建设	127	一、引言	150
第一节 垃圾焚烧在世界上的应用	127	二、宁波市垃圾现状及特性分析	150
一、垃圾焚烧在国外的应用	127	三、主要工艺流程及技术特点	151
二、国内的生活垃圾焚烧厂建设现状	128	四、小结	152
第二节 焚烧厂建设总体规划	129	第九章 危险废物的焚烧处理	154
一、焚烧厂建设基本原则	129	第一节 危险废物的定义	154
二、焚烧建设所需的条件	130	一、危险废物的定义与特性	154
三、焚烧厂建设流程	131	二、危险废物名录	155
第三节 焚烧厂设备	132	三、危险废物的鉴别方法	157

第二节 危险废物的来源	158
一、危险废物的来源和种类	158
二、危险废物的危害性	162
第三节 危险废物的焚烧概述	163
一、可焚烧处理的危险废物的种类	163
二、危险废物处理的技术要求	163
三、危险废物焚烧处理技术指标及定义	164
四、焚烧技术的特点和发展前景	164
第四节 危险废物焚烧过程及技术原理	165
一、焚烧过程	165
二、焚烧技术布置	168
三、危险废物焚烧过程污染物的形成	169
四、危险废物焚烧过程的主要控制参数	171
第五节 危险废物焚烧处理技术	173
一、危险废物的收运系统	173
二、危险废物的进料系统	175
三、危险废物的焚烧系统	176
四、危险废物焚烧炉设备	181
五、尾气处理技术与设备	188
六、焚烧灰渣处理技术	193
第十章 医疗废物的焚烧	195
第一节 医疗废物的定义	195
第二节 医疗废物的分类	195
一、国外对医疗废物的分类	196
二、我国对医疗废物的分类	198
第三节 医疗废物的来源	199
一、我国医疗废物产生量估算	199
二、医疗废物来源分类	199
第四节 医疗废物的危害	200
一、危害特性具体含义	200
二、医疗废物对环境的影响	201
第五节 医疗废物的处理与处置技术	202
一、高温焚烧法	202
二、高压蒸汽灭菌法	204
三、等离子体技术	204
四、微波辐射灭菌法	204
五、化学消毒法	205

第六节 医疗废物焚烧处理工艺	205
一、收运系统	205
二、进料系统	212
三、焚烧系统	213
四、尾气处理系统及余热利用系统	221
五、灰渣处理系统	223
第十一章 工业危险废物污染控制与资源化	225
第一节 工业危险废物概况	225
一、概论	225
二、工业危险废物的分类	225
第二节 工业危险废物常用污染控制技术	226
一、概述	226
二、工业危险废物的处理与处置	226
三、工业危险废物的热处理	226
四、固化/稳定化	227
五、安全填埋	227
第三节 有色金属工业危险废物污染控制与资源化	227
一、概况	227
二、回收有价金属	228
三、从挥发性烟尘中回收有价金属	228
四、赤泥	228
五、有色金属冶炼渣	229
第四节 化学工业危险废物污染控制与资源化	229
一、概况	229
二、几种典型化学工业危险废物的资源化	229
第五节 石油化工工业危险废物污染控制与资源化	230
一、概况	230
二、废催化剂	231
三、含油污泥	232
四、废酸液	233
五、废碱液	234
参考文献	235

第一章 固体废物概述

第一节 固体废物的定义与分类

一、固体废物的定义和特性

固体废物主要来源于人类的生产和消费活动，人们在开发资源和制造产品的过程中，必然产生废物；任何产品经过使用和消耗后，最终都将变成废物。固体废物的定义因产生过程、具体性质和法律法规的不同而存在明显差异。在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中，固体废物是指在生产建设、日常生活和其他活动中产生的污染环境的固态、半固态废弃物物质。

对于固体废物的定义应当强调两点。一是就固体废物的形态而言，广义的固体废物还要包括具有高环境危害性的液态和气态危险废物。二是固体废物的范畴是相对的，具有很强的空间性和时间性。随着固体废物资源化技术的发展，某一特定时空领域的废物在另一个时空领域也许就是宝贵的资源，因此固体废物又被称为“在时空上错位的资源”。

固体废物一般具有如下特性：①无主性，即被丢弃后，不再属于谁，找不到具体的负责者，特别是城市固体废物；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可能是宝贵的资源。

二、固体废物的来源和分类

固体废物的种类繁多而且性质各异，为了便于固体废物的全过程管理，有必要对固体废物进行分类。固体废物有多种分类方法：按其产生来源可分为工业废物和生活垃圾等；按其污染特性可分为危险废物和一般废物等；按其组成可分为有机废物和无机废物；按其形态可分为固态废物、半固态废物和液态（气态）废物。

我国采用固体废物的来源和特殊性质相结合的方法来对固体废物进行分类。在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中，固体废物分为城市生活垃圾、工业固体废物和危险废物三类。

1. 城市生活垃圾

城市生活垃圾又称为城市固体废物，是指在城市日常生活中或为城市日常生活服务的活动中产生的固体废物，以及法律、行政法规视作城市生活垃圾的固体废物。城市生活垃圾主要来自于城市居民家庭、城市商业、餐饮业、旅馆业、旅游业、服务业、市政环卫业、交通运输业、街道打扫垃圾、建筑遗留垃圾、文教卫生业、行政事业单位、工业企业单位、水处理污泥和其他零散垃圾等。城市生活垃圾的成分复杂，主要包括厨余物、废纸、废塑料、废织物、废金属、废玻璃陶瓷碎片、砖瓦渣土、废旧电池、废旧家用电器等。影响城市生活垃圾成分的主要因素有居民的生活水平、生活质量、生活习惯、季节、气候等。

目前我国城市生活垃圾主要是根据城市垃圾产生或收集来源进行分类，通常可分为以下几种。①家庭垃圾。是居民住户排出的包括厨余垃圾和纸类、废旧塑料、罐头盒、玻璃、陶瓷、木片等零散垃圾在内的日常生活废物。②庭院垃圾。包括植物残余、树叶、树杈及庭院其他清扫杂物。③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。④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。⑤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。⑥其他垃圾。是除以上各类产生源以外场所排放的垃圾的统称。

另外,可根据处理处置方式或资源回收利用可能性,将城市生活垃圾简易分为可回收废品、易堆腐物、可燃物及其他无机废物四大类;或者有机物、无机物、可回收物品三大类。

2. 工业固体废物

工业固体废物是指在工业交通等生产活动过程中产生的固体废物。按工业体废物的产生行业划分,具有代表性的工业固体废物有冶金、能源、石油化学、矿业、轻工业固体废物。

(1) 冶金工业固体废物 冶金工业固体废物主要包括各种金属冶炼或加工过程中所产生的废渣,如高炉炼铁产生的高炉渣,平炉、转炉、电炉炼钢产生的钢渣,铜、镍、铅、锌等有色金属冶炼过程产生的有色金属渣,铁合金渣及提炼氧化铝时产生的赤泥等。

(2) 能源工业固体废物 能源工业固体废物主要包括燃煤电厂产生的粉煤灰、炉渣、烟道灰、采煤及洗煤过程中产生的煤矸石等。

(3) 石油化学工业固体废物 石油化学工业固体废物主要包括石油及加工工业产生的油泥、焦油页岩渣、废催化剂、废有机溶剂等,化学工业生产过程中产生的硫铁矿渣、酸渣、碱渣、盐泥、釜底泥、精(蒸)馏残渣以及医药和农药生产过程中产生的医药废物、废药品、废农药等。

(4) 矿业固体废物 主要包括采矿废石和尾矿,废石是指各种金属、非金属矿山开采过程中从主矿上剥离下来的各种围岩,尾矿是指在选矿过程中提取精矿以后剩下的尾渣。

(5) 轻工业固体废物 轻工业固体废物主要包括食品工业、造纸印刷工业、纺织印染工业、皮革工业等工业加工过程中产生的污泥、动物残物、废酸、废碱以及其他废物。

(6) 其他工业固体废物 其他工业固体废物主要包括加工过程产生的金属碎屑、电镀污泥、建筑废料以及其他工业加工过程产生的废渣等。

3. 危险废物

危险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。我国危险废物的相关标准主要包括《国家危险废物名录》和《危险废物鉴别标准》。危险废物的主要来源是工业固体废物,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、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、石油加工业及炼焦业、造纸及制品制造业等工业部门。城市生活垃圾的废电池、废日光灯、废弃日用化工产品以及医疗废物也是危险废物中不容忽视的一部分。

由于危险废物含有高度持久元素、化学品或化合物,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,对人体健康和环境具有极大的直接或潜在危害,因此是废物管理、处置体系的工作重点。

第二节 固体废物的环境影响

固体废物特别是有害固体废物,如处理或处置不当,就会对环境造成不同程度的影响和危害。固体废物中有害物质对环境的影响或危害存在一个阈值,这取决于固体废物的性质和数量或浓度。如果固体废物中环境有害物质含量或浓度低于这个阈值,就不会对环境产生危害。生活垃圾中废电池、废日光灯等虽然比重较小,如在环境中不断积累,就会对环境造成严重污染和危害。因此,在进行固体废物处理时,必须准确掌握处理的量和度。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,都可能增加处理成本。

一、固体废物的污染途径

固体废物中的化学物质、病原体等可以通过大气、土壤、地表或地下水进入生态系统，影响危害生态环境，最终对人体健康产生影响，即分别形成化学物质型污染和病原体型污染。这两种固体废物污染的具体途径取决于固体废物本身的物理、化学和生物性质，也与固体废物处置所在场地的水质、水文条件有关。图 1-1 和图 1-2 分别给出了化学物质型污染和病原体型污染的致病途径。

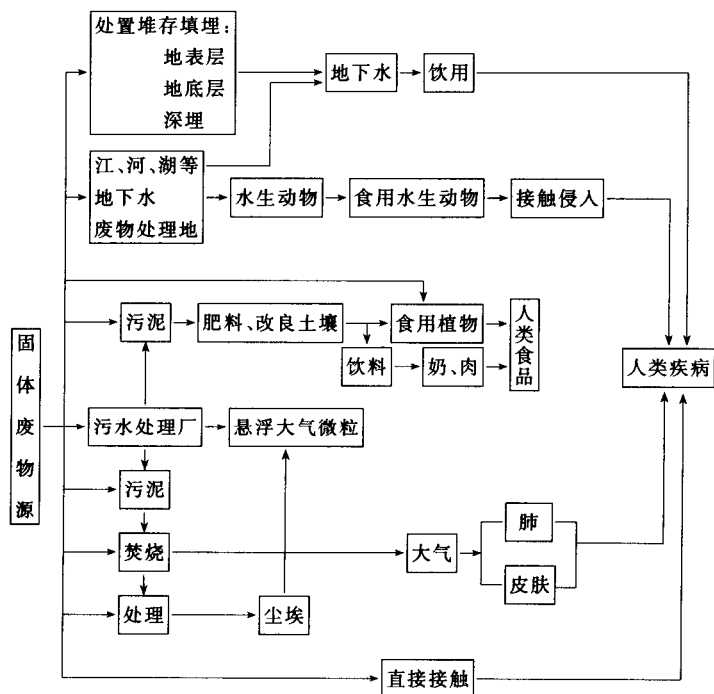


图 1-1 化学物质型污染的致病途径

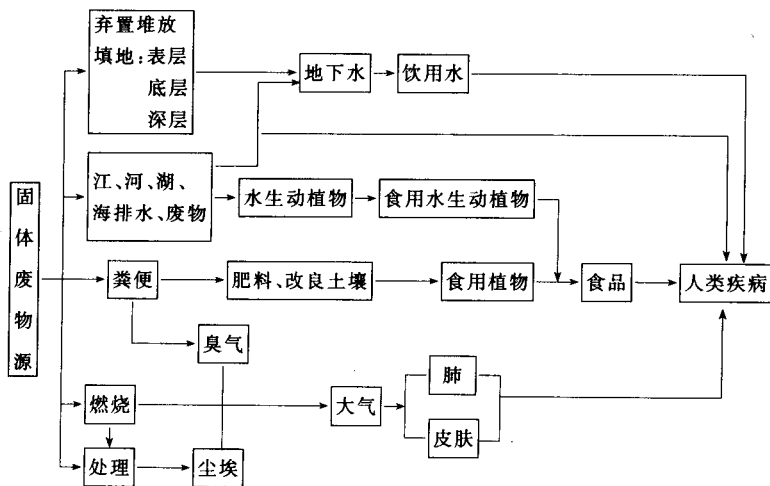


图 1-2 病原体型污染的致病途径

二、固体废物的污染危害

固体废物特别是有害固体废物，如处理或处置不当，就会对环境造成不同程度的影响和

危害。固体废物的环境危害主要表现在以下几个方面。

1. 侵占土地

固体废物不经减量化处理或处置直接露天堆放，堆积量越大则占地越多。固体废物中工业固体废物侵占土地的问题尤其突出。据估算，每堆积1万吨废渣约占地1亩[●]，每年几亿吨的工业废渣则占地几万亩。固体废物堆放侵占建设用地和农业耕地的现象，在我国许多城市尤其是中小城市和采矿区相当普遍。在目前土地资源日趋紧张的情况下，固体废物露天堆放肆意侵占土地的问题已不容忽视。

2. 污染土壤

土壤是由许多细菌、真菌等微生物形成的生态系统，在自然界的物质循环中担负着碳循环和部分氮循环等重要任务。通常固体废物中含有少量持续性有机污染物和重金属元素，但固体废物长期大量露天堆放，环境有害物质会随降雨和渗出液渗入土壤。持续性有机污染物和重金属元素在土壤里难以挥发降解，不断积累，毒害土壤中微生物，对土壤生态环境也会造成长期的不可低估的影响。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浓度高达300 $\mu\text{g/L}$ ，污染深度达60cm，致使牲畜大批死亡，人们备受各种疾病折磨。

3. 污染水体

固体废物引起水体污染的途径有：随天然降水径流进入河流、湖泊，或因较小颗粒随风飘迁，落入河流、湖泊，污染地面水；随渗滤液渗透到土壤中，进入地下水，使地下水污染；废渣直接排入河流、湖泊或海洋，造成污染。

目前我国许多城市的郊区存在相当数目的生活垃圾露天堆场。生活垃圾中的有害物质随垃圾渗滤液渗入周边地表水或地下水，已经造成了严重的水体污染问题。例如在哈尔滨市韩家洼生活垃圾简易填埋场周边，地下水浊度、色度，锰、铁、酚、汞含量和大肠杆菌数严重超标，其中汞含量超标29倍，细菌总数超标4.3倍。

4. 污染大气

有机固体废物在适宜的温度和湿度下，经某些有机微生物的分解，释放出有害气体；有毒有害废物还可发生化学反应产生有毒气体；颗粒粒度小的废渣，如粉煤灰堆，遇大风产生扬尘，造成大气的粉尘污染；在固体废物的运输和处理过程中，也会产生有害气体和粉尘。

焚烧是固体废物处置技术之一，经过焚烧固体废物可以达到理想的减量化。但是不恰当的焚烧可以导致二次污染，已成为有些国家大气污染的主要源泉之一。固体废物露天焚烧炉烟气中的粉尘在接近地面处的浓度达到0.56g/m³。同时固体废物焚烧的二噁英污染问题已在国际上引起了高度重视。因此对固体废物进行处置时必须充分注意二次污染问题。

5. 影响环境卫生

目前随着城市人口剧增，垃圾粪便排放量很大。据全国300个城市的统计，城市垃圾的清运量仅占产生量的40%~60%，无害化处理率平均只有1.6%，50%以上的垃圾任意倾倒或堆积在城市的一些死角。固体废物露天堆放，既有碍市容市貌，又容易孳生蚊、蝇、老鼠、蟑螂，传染疾病。

值得强调的一点是，以上是固体废物环境影响的几个方面，所用实例也是实际污染事件的一小部分。今后，随着经济和科技的迅速发展，固体废物的组成也就越来越复杂，将给固体废物的管理、处理和处置提出更多的课题。

● 1亩=666.7m²，下同。

第三节 固体废物的处理、处置及资源化技术

一、固体废物的技术政策

固体废物污染的控制技术政策是固体废物管理的直接体现,固体废物管理思想是建立城市固体废物处理处置技术体系的原则。目前固体废物管理的思想的核心是“三化”原则,即无害化、减量化与资源化。只是不同国家不同发展阶段固体废物管理的“三化”原则的侧重有所不同。

西方发达工业国家经历工业化进程后,资源和能源短缺问题日益突出,同时固体废物的管理、处理和处置技术有了长足发展。因此提出了“资源循环”口号,固体废物处理、处置也开始向“资源化”方向发展,走可持续发展的固体废物管理道路。

我国固体废物污染控制工作起步较晚,开始于20世纪80年代初期。同时由于技术力量和经济因素的限制,近期内还是以解决固体废物的环境压力为主,还不可能在较大范围内实现“资源化”。在总结国内外经验的基础上,我国提出了以“资源化”、“无害化”、“减量化”作为控制固体废物污染的技术控制政策,在一段时间内以“无害化”为主,随着经济、技术和管理体制的发展,逐步从“无害化”向“资源化”过渡。

1. 无害化

固体废物无害化处理的基本任务就是将固体废物通过工程处理,达到不污染周围自然环境和不会危害人体健康的目的。目前,废物的“无害化”处理工程已发展成为一个由多种处理处置技术组成的有机体系,主要包括固体废物的焚烧、卫生或安全填埋、堆肥、厌氧发酵、有害废物的化学处理等。

对废物进行无害化处理时也必须看到两点:一是固体废物处理技术是一个多种处理技术组成的有机体系,没有一种技术可以完全解决所有的固体废物问题;二是固体废物的“无害化”并不是单纯的固体废物的处理和处置,危险废物的源头分离也是一种有效的无害化方法。

2. 减量化

固体废物的减量化任务主要是通过适宜的手段减小固体废物的数量和容积。“减量化”的实现包括两个层次:一是单纯通过处理和利用对已经生成的固体废物进行减量,即固体废物综合利用,如生活垃圾采用焚烧法处理后,体积可减少80%~90%,余烬便于运输和处置;二是要通过产品设计和销售过程的规范,将“减量化”延伸到固体废物产生源的控制与管理,从而实现固体废物的根本减量化。

因此有必要通过政府颁布法律、法规以推广“3R”思想(减量,Reduce;再使用,Reuse;再生利用,Recycle),从量和质方面对生产、流通、消费等环节加以限制,从而真正实现固体废物的“减量化”。如可通过税收优惠,使再生包装材料的价格低于其他材料;或通过征收废物处置费,提高非再生包装材料的成本,从而提高再生包装的环保意识。

3. 资源化

固体废物资源化的基本任务是采取工艺措施从固体废物中回收有用的物质和能源。“资源化”并不是单纯地通过固体废物的末端综合利用来实现的,而是应该贯穿固体废物的产生、收集、运输和处理处置的每一个环节。如可回用产品的设计、分类收集也是实现固体废物“资源化”的重要途径。

固体废物的资源化必须同时兼顾经济和技术可行性,否则只会造成投资和资源的浪费。资源化应遵循的原则如下。①技术可行性:资源化过程实现的技术方案是否具有可操作性和工程化的可能,同时资源化技术能否保证二次产品可达到原生产品的质量水平。②经济可行

性：主要指资源综合利用中系统的投入和产出的平衡，再生资源的处理、处置与再利用的平衡，一次资源与二次资源的经济性比较。③资源化的环境效益：资源化过程的二次污染要明显小于固体废物的直接污染问题。

二、固体废物的处理处置技术

固体废物的处理处置技术主要有卫生填埋法、焚烧法、生物处理和资源化综合处理。

1. 卫生填埋法

20 世纪 30 年代初，美国开始在对传统填埋法进行改良的基础上，提出一套系统化、机械化的科学填埋法，称为卫生填埋法。卫生填埋的定义是：利用工程手段，采取有效技术措施，防止渗滤液及有害气体对水体和大气的污染，并将垃圾压实减容至最小，填埋占地面积也最小，在每天操作结束或每隔一定时间用土覆盖，使整个过程对公共卫生安全及环境污染均无危害的一种土地处理垃圾方法。

固体废物的卫生填埋主要采用水平防渗、垂直防渗和中间覆盖或终场覆盖的技术措施构建独立的水文地质单元，使固体废物及其二次污染物质与周边环境隔绝，同时通过填埋气体的导排系统和渗滤液的收集系统，将二次污染物质控制在相对封闭的有限空间中进行处理，从而在最大程度上减小了固体废物对生态环境的危害，真正实现固体废物的“无害化”。

我国目前正在运行之中的填埋场多数为准卫生填埋。虽然准卫生填埋在今后一段时间还将是一些中小城市固体废物最终处置技术，但在我国东部沿海的一些大城市，高标准的卫生填埋技术已经成为了固体废物处置的主流技术，如杭州、福州、南昌、深圳、广州、北京、漳州、厦门、泉州等。这其中不乏技术水平和建设标准相当高的卫生填埋场，如广州兴丰生活垃圾卫生填埋场。

我国固体废物填埋处置依然存在以下几个问题。①填埋专用设备的开发和制造水平尚处于初级阶段。现在运行的填埋设备和防渗层的施工机械，如推土机、压实机和 HDPE 的焊接和铺设机械主要依赖国外进口，国产化水平较低。②渗滤液处理技术也是固体废物填埋中的难题。目前国内外没有高效低耗的渗滤液处理技术和设备，因此渗滤液处理成为固体废物填埋中二次污染控制的关键问题。③填埋场防渗材料的自主研发是固体废物填埋的一个重要研究内容。目前国内开发的防渗材料如 HDPE 膜存在耐久性差和使用年限短的问题，大多防渗材料主要依赖进口，成本较高。

固体废物的填埋处置是我国固体废物处理和处置技术体系中主要的和不可缺少的处置技术，而且在今后相当长的一段时间内固体废物填埋处理的比例较焚烧有所提高。

2. 焚烧法

焚烧法始于 19 世纪末的简易焚烧，20 世纪 60 年代后在西方国家得到了广泛应用。焚烧法是一种高温热处理技术，即以一定的过剩空气量与被处理的有机废物在焚烧炉内进行氧化燃烧反应，废物中的有害有毒物质在 800~1200℃ 的高温下氧化、热解而被破坏，是一种可同时实现废物无害化、减量化和回收能量的处理技术。

我国固体废物焚烧处置依然存在以下几个问题。①焚烧成套设备国产化水平较低，主要依赖进口。垃圾焚烧厂的吨投资在 40 万~70 万元。投资规模大，制约焚烧法的推广应用。②我国垃圾热值较西方国家低，焚烧发电等热量利用方式的技术可行性和经济可行性存在问题。③从生态可持续发展的角度来讲，垃圾焚烧造成了巨大的物质资源的浪费，无法实现物质资源的生态循环。

由于焚烧技术具有减量化和无害化程度高的优点，因此在土地资源紧张的国家中所占比重呈现上升趋势。但进入 20 世纪 90 年代以来，随着人们对重金属和烟气二次污染问题尤其

是二噁英污染问题的重视，许多国家开始对建造焚烧厂持慎重态度。

3. 生物处理

固体废物的生物处理主要有好氧堆肥和厌氧发酵技术。生物处理的原理是创造适宜的微生物生存环境，利用自然界的原有微生物或投加优势菌种，氧化或分解固体废物中有机组分，从而达到无害化和资源化的目的。

固体废物的生物处理主要有以下几个方面的问题。①传统生物处理周期长、占地大，处理能力有限，难以大规模处理固体废物。②好氧堆肥和厌氧发酵成本高、品质差，不具有同化肥进行竞争的优势，很难打开销路。

近年来，国内外正在兴起优势菌种高温好氧快速降解有机废物的应用热潮。目前堆肥法的发展方向是堆肥和化肥相结合的有机复合肥制造和在优势菌种存在下的快速厌氧堆肥。寻找非农业用途的堆肥应用新领域也是堆肥法得以广泛应用的条件之一。

4. 垃圾资源化技术

近年来发达国家大力推行固体废物回收和综合利用，以实现固体废物减量化和资源化，走循环经济和可持续发展的道路。西方国家通过制定适合本国国情的循环经济法，实行固体废物分类收集和垃圾收费制度，同时利用税收政策、价格机制和政府补贴等经济手段，最大限度地回收和综合利用固体废物，从固体废物产生的源头实现资源化和减量化。

我国城市生活垃圾资源化技术体系落后，与国际水平相差很大，主要表现在两个方面。一方面是固体废物的分类收集普及率较低，导致国外成熟的垃圾资源化技术在国内无法得到推广。另一方面是固体废物机械分选集成技术水平低，垃圾分选以手工分选为主，分选效率低。因此只有纸张、部分玻璃、塑料、金属容器等可以回收处理，垃圾中绝大部分则送往填埋场或焚烧厂进行最终处置。这是对资源的极大浪费。因此对城市生活垃圾进行最大限度地资源化，是今后固体废物管理的重要目标。