

普通高等教育“十一五”规划教材

固体废物处理与处置

沈伯雄 主 编

唐雪娇 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

固体废物处理与处置

沈伯雄 主 编
唐雪娇 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书共分为 11 章, 主要内容包括固体废物的来源和分类, 固体废物的收集、运输和压实, 固体废物的破碎与细磨, 固体废物的分选、脱水、焚烧热解和生物处理, 固体废物的处置方法, 固体废物制备建筑材料, 危险废物处理与处置等。

本书可作为高等院校环境工程、环境科学等专业师生的教材, 也可供环境保护领域的研究人员、管理人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

固体废物处理与处置/沈伯雄主编. —北京: 化学工业出版社, 2010.7

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-08743-0

I. 固… II. 沈… III. 固体废物-废物处理-高等学校-教材 IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 101839 号

责任编辑: 满悦芝

文字编辑: 荣世芳

责任校对: 战河红

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 393 千字 2010 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着社会和经济的发展，能源和资源的消耗量不断增加，中国成为世界最大的固体废物产生国之一。大量生活和工业垃圾如缺少处理而露天堆放，会使城市垃圾围城现象严重，有毒物质污染地表水和地下水，严重危害人类的健康。进行固体废物的处理处置成为环境保护的一个重要方面。

“固体废物处理与处置”是高等学校环境工程专业重要的专业课程。本教材参照教育部高等学校环境工程专业教学指导分委员会制定的教学基本要求，结合环境工程注册工程师考试大纲的基本要求编写而成。本教材的主要读者对象是环境工程专业本科生，建议的教学学时数为40~60学时。本教材也可以供环境科学、环境监测和环境管理等专业的本科生选用，同时还可供环境机械与环境化工工程技术人员、环境工程专业研究生参考。

本教材主要介绍固体废物的来源、分类、特性及“三化”处理系统等基本知识；以城市生活垃圾、工业固体废物和危险废物为中心，以典型固体废物处理技术工艺和设备为实例，说明固体废物处理处置的基本原理和方法，并简单介绍了近期先进的处理处置技术。教材内容丰富、系统全面、原理简明、案例实用，符合本科教学的基本要求。本教材配有电子课件，选用本书作为教材的读者可免费索取：manyuezhi@sina.com。

本书由沈伯雄担任主编，唐雪娇担任副主编。各章编写分工如下：唐雪娇、沈伯雄（第1章~第4章、第6章、第8章），陈建宏、沈伯雄（第5章），郝小翠、沈伯雄（第7章），马娟、左琛、沈伯雄（第9章），吴丰鹏、沈伯雄（第10章），沈伯雄（第11章）。

由于时间和水平有限，书中疏漏之处在所难免，诚恳地希望同行在使用本教材的过程中不断提出宝贵意见，以便有机会再版时予以吸纳和改进。

沈伯雄

2010年6月于南开园

目 录

第 1 章 绪论	1	思考题	31
1.1 固体废物的来源和分类	1	第 3 章 固体废物的破碎和细磨	32
1.1.1 固体废物的来源	1	3.1 破碎	32
1.1.2 固体废物的分类	2	3.1.1 破碎的概念和目的	32
1.2 固体废物的污染及其控制	5	3.1.2 破碎理论	32
1.2.1 固体废物的特点和特征	5	3.1.3 固体废物的机械强度和破碎 方法	33
1.2.2 我国固体废物污染	6	3.1.4 破碎设备	36
1.2.3 固体废物污染途径	7	3.2 细磨	47
1.2.4 固体废物污染危害	7	3.2.1 细磨原理和方法	47
1.2.5 固体废物污染控制	8	3.2.2 细磨设备	47
1.3 固体废物处理处置方法	9	3.3 低温破碎	51
1.3.1 固体废物处理	9	3.3.1 低温破碎的原理和流程	51
1.3.2 固体废物处置	10	3.3.2 低温破碎的应用	51
1.4 控制固体废物污染的技术政策	10	思考题	52
1.4.1 我国控制固体废物污染技术政策 的产生	10	第 4 章 固体废物分选	53
1.4.2 “无害化”	11	4.1 分选方法	53
1.4.3 “减量化”	11	4.2 筛选	54
1.4.4 “资源化”	11	4.2.1 筛选的基本原理	54
1.5 固体废物管理	12	4.2.2 筛选效率的影响因素	57
1.5.1 固体废物管理理念与原则	13	4.2.3 筛选设备	58
1.5.2 固体废物管理法规体系	13	4.3 重力分选	61
1.5.3 固体废物环境标准体系	14	4.3.1 重介质分选	62
1.5.4 加强危险固体废物管理, 控制 危险废物越境转移	15	4.3.2 跳汰分选	64
思考题	16	4.3.3 风力分选	65
第 2 章 固体废物的收集、运输与压实 ..	17	4.3.4 摇床分选	67
2.1 工业固体废物的收集、运输	17	4.4 磁力分选	69
2.2 城市垃圾的收集、运输	18	4.4.1 磁力分选原理	69
2.2.1 生活垃圾的搬运	18	4.4.2 磁选设备	70
2.2.2 生活垃圾的收集与运输	19	4.4.3 磁流体分选	71
2.2.3 生活垃圾的转运及中转站设置	24	4.5 电力分选	72
2.3 固体废物压实	25	4.5.1 电力分选原理	72
2.3.1 概述	25	4.5.2 电选设备及应用	73
2.3.2 压实设备与流程	27	4.6 浮选	74
2.4 危险废物的收集、贮存与运输	30	4.6.1 浮选的基本原理	74
2.4.1 危险废物的收集容器	30	4.6.2 浮选药剂	74
2.4.2 危险废物的收集、贮存	30	4.6.3 浮选设备	76
2.4.3 危险固体废物的运输	31	4.6.4 浮选工艺	78
		4.7 其他分选方法	79

4.7.1 摩擦与弹跳分选	79	7.1.3 热解方式	132
4.7.2 光电分选	80	7.1.4 影响热解的主要因素	133
4.8 分选处理系统	81	7.2 几种固体废物的热解工艺流程	134
思考题	82	7.2.1 污泥的热解	134
第5章 固体废物的脱水	83	7.2.2 废塑料的热解	135
5.1 概述	83	7.2.3 废橡胶的热解	138
5.1.1 高湿废物	83	7.2.4 城市垃圾的热解	139
5.1.2 污泥中水分的存在形式	84	7.2.5 生物质的热解	142
5.2 脱水方法	84	思考题	145
5.2.1 污泥的浓缩	84	第8章 固体废物的生物处理	146
5.2.2 污泥的调理	87	8.1 好氧生物降解制堆肥	146
5.2.3 污泥的机械脱水	94	8.1.1 堆肥的概念	146
思考题	102	8.1.2 堆肥的原理	147
第6章 固体废物的焚烧	103	8.1.3 堆肥过程影响因素	149
6.1 固体废物热值的测定和计算	103	8.1.4 堆肥工艺分类	151
6.1.1 热值的测定	104	8.1.5 堆肥的基本程序	153
6.1.2 热值的计算	104	8.1.6 堆肥发酵装置	157
6.2 固体废物的燃烧	105	8.1.7 堆肥质量	159
6.2.1 燃烧的基本概念	105	8.2 厌氧发酵制沼气	161
6.2.2 理论燃烧温度的计算	107	8.2.1 厌氧发酵原理	162
6.2.3 停留时间的计算	108	8.2.2 厌氧发酵原料	163
6.2.4 燃烧方式分类	109	8.2.3 厌氧发酵影响因素	166
6.2.5 固体废物燃烧过程	110	8.2.4 沼气发酵设备	168
6.2.6 影响固体废物燃烧的因素	111	8.2.5 厌氧发酵工艺	172
6.3 固体废物的焚烧系统和设备	112	思考题	174
6.3.1 焚烧系统	112	第9章 固体废物的处置方法	175
6.3.2 焚烧设备和焚烧工艺系统	115	9.1 卫生土地填埋	175
6.4 固体废物焚烧热能的回收利用	119	9.1.1 概述	175
6.4.1 焚烧废气冷却方式	120	9.1.2 填埋场的选址	176
6.4.2 废热回收利用方式	121	9.1.3 卫生填埋工艺	178
6.4.3 焚烧热能回收利用促进“节能 减排”	123	9.1.4 渗滤液的产生与处置	179
6.5 固体废物焚烧污染物控制	123	9.1.5 填埋气的收集与利用	187
6.5.1 固体废物焚烧污染物	123	9.1.6 填埋场封场及其综合利用	188
6.5.2 酸性气体的控制	124	9.2 安全土地填埋	190
6.5.3 二噁英的产生与控制	124	9.2.1 概述	190
6.5.4 恶臭的产生与控制	127	9.2.2 场地的选择	190
6.5.5 煤烟的产生与控制	128	9.2.3 填埋场结构和填埋方式	192
6.5.6 重金属控制技术	128	9.2.4 填埋场防渗系统	193
6.5.7 焚烧残渣的处理与利用	128	9.2.5 填埋气体导排	193
思考题	129	9.2.6 渗滤液产生与收集系统	194
第7章 固体废物的热解	130	9.2.7 终场覆盖与封场	194
7.1 热解的基本原理和方式	130	思考题	195
7.1.1 概述	130	第10章 固体废物制备建筑材料	196
7.1.2 热解原理	130	10.1 建筑材料	196
		10.1.1 无机建筑材料	196

10.1.2	水泥	197	10.2.11	利用赤泥生产水泥	216
10.1.3	建筑玻璃	201	思考题		217
10.1.4	混凝土	201	第 11 章 危险废物处理与处置		218
10.1.5	建筑陶瓷	202	11.1	危险废物概述	218
10.2	典型固体废物制备建筑材料的方法	202	11.1.1	危险废物的定义	218
10.2.1	黄磷炉渣制取水泥矿化剂和 混合材料	202	11.1.2	危险废物来源及分类	218
10.2.2	氨碱废渣制建筑胶凝材料	203	11.1.3	危险废物产生量	218
10.2.3	纯碱废渣烧制水泥	204	11.1.4	危险废物鉴别	218
10.2.4	电石渣	206	11.1.5	危险废物的危害	222
10.2.5	钡渣制取建材砖	207	11.2	危险废物的典型处理处置方法	223
10.2.6	铬渣	208	11.2.1	概述	223
10.2.7	粉煤灰	211	11.2.2	几种危险废物的典型处理处置 方法	224
10.2.8	煤矸石	212	思考题		238
10.2.9	高炉渣	213	参考文献		239
10.2.10	钢渣	215			

第 1 章 绪 论

固体废物（简称固废）是指由人类在生产建设、日常生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或放弃的固态、半固态物质，置于容器中的非固态物质，以及法律、法规规定纳入固体废物管理的物质。

根据最新修订的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（以下简称《固废法》）规定，固体废物包括在工业、交通等生产活动中产生的工业固体废物，在日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的生活垃圾和列入国家危险废物名录中或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的危险废物。固体废物具有以下四个特征：①产生于生产建设、日常生活和其他活动之中；②不再具有原使用价值；③固态、半固态和置于容器中的非固态物质；④对环境有可能产生污染和危害。

随着科技的发展，以前被人们认为是无价值的废物，现在又可以重新被认识并加以利用，即变废为宝；由于科技水平的提高，一些在某一生产环节中要被丢弃的废料，在另一个生产环节中可作为原料被循环利用，从而延长了该物料的生命周期。固体废物的这种时间性、地域性和行业性特点，决定了其在此处为废物，在彼处可能是宝贵的资源，因此被称为“放错了地方的资源”。例如，燃煤产生的大量粉煤灰对发电厂来说是废物，但是在脱硫厂可以被制成高效的吸附剂、脱硫剂；采矿业的煤矸石是煤矿的废物，但是可以成为水泥厂制水泥的原料。因此，要遵循循环经济的理念来看待固体废物，这是解决固废污染问题的根本的和有效的途径。

1.1 固体废物的来源和分类

1.1.1 固体废物的来源

固体废物来自人类活动的许多环节。按其来源一般分成两大类：一类是在生产过程中所产生的固体废物，即生产废物，如工业废渣和尾矿等；另一类是人们在消费过程中产生的固体废物，即生活垃圾，如塑料饭盒、废旧电视和冰箱等。

随着经济的发展、人类消费结构的改变和消费水平的不断提升，固体废物的来源更加多样，品种不断增多，数量不断增大。从各类发生源产生的主要固体废物详见表 1-1。

表 1-1 从各类发生源产生的主要固体废物分类及组成

分类	来源	主要组成物
矿业废物	矿山、冶炼厂等	废石、尾矿、煤矸石、金属、废木、砖瓦、灰石、水泥、砂石等
工业废物	冶金、交通、机械、金属结构等工业	金属、矿渣、砂石、模型、芯、陶瓷边角料、涂料、管道、绝热和绝缘材料、黏结剂、废木、塑料、橡胶、烟尘、各种废旧建筑材料等
	食品加工	肉类、谷物、果类、蔬菜、烟草、各加工厂污水和污泥等
	橡胶、皮革、塑料等工业	橡胶、皮革、塑料、布、线、纤维、燃料、金属等
	造纸、木材、印刷等工业	刨花、锯木、碎木、化学药剂、金属填料、塑料填料、塑料等

续表

分类	来源	主要组成物
工业废物	石油化工	化学药剂、金属、塑料、橡胶、陶瓷、沥青、油毡、石棉、涂料等
	电器、仪器仪表等工业	金属、玻璃、木材、橡胶、塑料、化学药剂、研磨料、陶瓷、绝缘材料
	纺织服装业	布头、纤维、橡胶、塑料、金属等
	建筑材料	金属、水泥、废木、黏土、陶瓷、石膏、石棉、砂石、纸、纤维等
	电力工业	炉渣、粉煤灰、烟灰
城市垃圾	居民生活	食物垃圾、果皮菜叶、纸屑、布料、塑料袋、金属、玻璃、泡沫塑料餐盒、陶瓷、灰渣、碎砖瓦、废电池、废旧家电、电子垃圾、粪便、杂品
	商业、机关	管道、碎砌体、沥青及其他建筑材料、废汽车、废电器、废器具,含有易爆、易燃、腐蚀性、放射性的废物及类似“居民生活”栏内的各种废物
	市政维护、管理部门	碎砖瓦、树叶、死禽畜、金属、锅炉灰渣、污泥、脏土等
农业废物	农、林、畜牧业	稻草、秸秆、蔬菜、水果、果树枝条、糠秕、落叶、废塑料、人畜粪便、禽粪、农药、禽畜加工皮毛、污水、污泥等
	水产	腥臭腐烂鱼、虾、贝壳,水产加工污水、污泥等,水体富营养化生成的大量藻类
有害废物	核工业、核电站、放射性医疗单位、科研单位	金属、含放射性废渣、粉尘、污泥、器具、劳保用品、建筑材料
	其他有关单位	含有易燃、易爆和有毒性、腐蚀性、反应性、传染性的固体废物

据《中国环境状况公报》，2008年我国工业固体废物产生量为19.0亿吨，比上年增加8.3%，其中危险废物产生量为1357万吨。随着电子电器在人们日常生活中的普及和更新换代速度的加快，电子废弃物（e-waste）的数量正以惊人的速度增长。世界上每小时有4000t的电子垃圾产生，美国是世界上最大的电子电器生产国和电子垃圾的制造国，每年产生的电子废弃物高达700万~800万吨，而且呈不断增长趋势。在我国，电子电器产品也以惊人的速度激增，报废后产生的电子废弃物数量十分巨大。据中国家用电器协会的报告数据，仅电视机、洗衣机、电冰箱、空调器、电脑五种电器的年报废量就超过1.5亿台。

1.1.2 固体废物的分类

固体废物来源广泛、组成复杂，其分类方法很多。

按固体废物的化学特性，可分为无机废物和有机废物两大类；有机废物又可分为快速降解有机物、缓慢降解有机物和不可降解有机物。例如食品废物、纸类等属于快速降解有机物，皮革、橡胶和木头等属于慢速降解有机物，而聚乙烯薄膜和聚苯乙烯泡沫塑料餐盒等为不可降解有机物。

按固体废物的物理形态，可分为固体（块状、粒状、粉状）的和泥状（污泥）的废物。有些废物的使用价值与其形状有很大关系。例如，发电厂燃煤产生的粉煤灰作为脱硫剂原料，颗粒大小、孔隙率、孔径大小及比表面积等都是重要参数。

按固体废物的危害性，可分为一般固体废物和危险废物。

按来源不同，可分为矿业固体废物、工业固体废物、城市垃圾、农业固体废物和危险废物。如表1-1所列，根据来源对固体废物进行了分类，并列出了其主要组成。

1.1.2.1 矿业固体废物

矿业固体废物主要是矿业开采和矿石洗选过程中产生的废物，包括煤矸石、废石和尾矿。煤矸石是在成煤过程中与煤层伴生的一种含碳量低、比较坚硬的黑色岩石，是在采煤和

洗煤过程中排放出来的固体废物；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；尾矿是在选矿过程中提取精矿以后剩下的尾渣。

我国是煤炭生产和消费大国，煤矸石是煤炭生产和加工中必然产生的废物，是目前我国排放量和堆存量最大的工业固体废物之一，2008年产量达4.3亿吨，目前已累计堆积煤矸石共50多亿吨。我国每年的煤矸石排放量占当年煤炭产量的10%~15%。图1-1为我国近几年（2001~2008年）煤矸石产量增长趋势图。随着经济水平的提高和煤炭消耗的增大，煤矸石年总产量一直持续攀升。大量煤矸石长期堆放不仅占用大面积土地，而且造成环境污染和生态破坏。

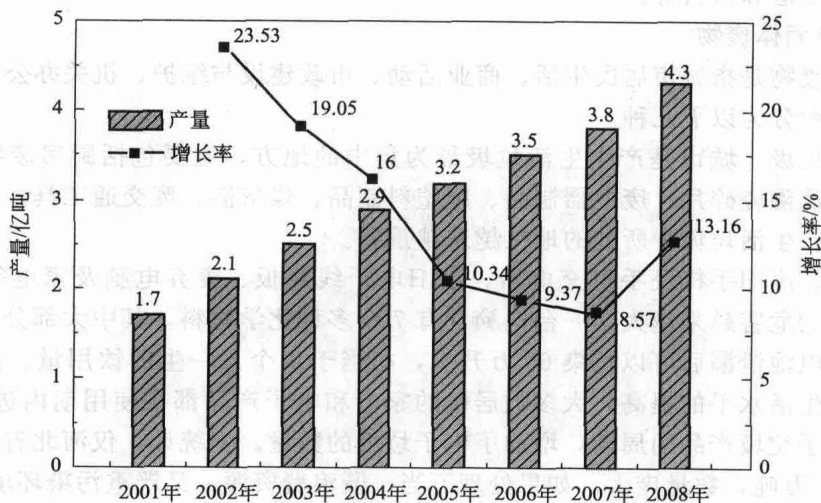


图 1-1 2001~2008 年我国煤矸石产量增长趋势图

数据来源：国家统计局

1.1.2.2 工业固体废物

工业固体废物是指工业生产过程和工业加工过程中产生的废渣、粉尘、碎屑、污泥等，主要有以下几种。

(1) 冶金固体废物 冶金固体废物主要是指各种金属冶炼过程中排出的残渣，如高炉渣、钢渣、铁合金渣、铜渣、锌渣、铅渣、镍渣、铬渣、镉渣、汞渣、赤泥等。

在铬盐生产中，铬铁矿等经过煅烧、用水浸出铬酸钠后剩下的残渣统称为铬渣。由于其含有大量水溶性六价铬，具有很大毒性，属于有毒固体废物，对环境污染严重。据不完全统计，铬盐行业每年无控制排入到环境中的含铬粉尘达3600t。由于铬渣的极大危害性，铬渣的污染防治工作一直受到重视。据《中国环境状况公报》，截至2008年底，全国累计处置铬渣130多万吨。列入《铬渣污染综合整治方案》的19个省（直辖市）中，山东、浙江两省的铬渣已全部处置完毕，其他各省铬渣处置设施已投入使用或在建设之中。

(2) 燃料灰渣 燃料灰渣是指煤炭开采、加工、利用过程中排出的煤矸石、燃煤电厂产生的粉煤灰、炉渣、烟道灰、页岩灰等。

(3) 化学工业固体废物 化学工业固体废物是指化学工业生产过程产生的种类繁多的工艺废渣。如硫铁矿烧渣、煤造气炉渣、油造气炭黑、黄磷炉渣、磷泥、磷石膏、烧碱盐泥、纯碱盐泥、化学矿山尾矿渣、蒸馏釜残渣、废母液、废催化剂等。

不同化工生产过程产生的废物差异很大，例如，氯碱化工生产过程产生的固体废物包括

燃煤灰渣、废电石渣、废盐泥、含汞废活性炭、吸附器活性炭和废催化剂、水处理废污泥等；纯碱工业固体废物主要有氨碱法生产中产生的蒸氨废液、一次盐泥、二次盐泥、苛化泥及石灰返砂、碎石等，还有联合制碱法生产中产生的洗盐泥、氨泥等。

(4) 石油工业固体废物 石油工业固体废物是指炼油和油品精制过程中排出的固体废物。如碱渣、酸渣以及炼油厂污水处理过程中排出的浮渣、含油污泥等。

(5) 粮食、食品工业固体废物 粮食、食品工业固体废物是指粮食、食品加工过程中排弃的谷屑、下脚料、渣滓等。

(6) 其他 此外，尚有机械和木材加工工业产生的碎屑、边角下料、刨花以及纺织、印染工业产生的泥渣和边料等。

1.1.2.3 城市固体废物

城市固体废物是指城市居民生活、商业活动、市政建设与维护、机关办公等过程产生的固体废物，一般分为以下几种。

(1) 生活垃圾 城市是产生生活垃圾最为集中的地方，主要包括厨房废物、废纸、织物、家具、玻璃陶瓷碎片、废电器制品、废塑料制品、煤灰渣、废交通工具，近十几年废家电等电子垃圾在生活垃圾中所处的地位越来越重要。

废弃电池、废旧手机及手机充电器、废旧电子线路板、废弃电脑及家电等都是电子垃圾。电子垃圾的危害越来越大。一台电脑含有 700 多种化学材料，其中大部分是对人体有害的；一个纽扣电池泄漏后可以污染 60 万升水，相当于 1 个人一生的饮用量。由于科技发展的加快和居民生活水平的提高，大多数居民的家电和电子产品都在使用期内进行更新换代，这也缩短了电子垃圾产品的周期，增加了电子垃圾的数量。据统计，仅河北省每年产生电子废弃物就达 20 万吨，数量庞大。如果处理不当，既浪费资源，又严重污染环境。

(2) 城建渣土 城建渣土是城市固体废物的重要组成部分，它与生活垃圾、工业废物有极大的区别，它是指施工单位或个人从事建筑工程、装饰工程、修缮和养护工程过程中所产生的建筑垃圾和工程渣土。近年来随着我国城市建设的飞速发展和城市居民住宅面积的提高，我国建筑渣土的产生量大幅度增加，主要包括废砖瓦、碎石、渣土、混凝土碎块(板)等。

(3) 商业固体废物 商业活动产生的各种固体废物包括废纸、各种废旧的包装材料(袋、箱、瓶、罐和包装填充物等)、丢弃的小型工具废品、一次性用品残余等。

(4) 粪便 发达国家城市居民产生的粪便大都通过下水道输入污水处理厂处理。我国情况不同，城市下水处理设施少，其中一部分是通过环卫专业队伍采用特殊工具进行收集、清运。粪便是城市固体废物的重要组成部分。

一般的，城市垃圾的组成主要受地理条件、生活习惯、居民生活水平和民用燃料结构的影响。在发展程度不同的国家，其城市居民的生活垃圾成分大不相同，详见表 1-2。

表 1-2 世界部分国家近几年城市废弃物的成分组成

单位：%

国家	年份	纸类	有机物	塑料	玻璃	金属	纺织品	其他无机物
美国	2005	34.0	25.0	12.0	5.0	8.0	—	34.0
瑞典	2005	68.0	—	2.0	11.0	2.0	—	17.0
新加坡	2005	24.3	21.4	14.9	1.4	20.0	2.0	16.0
意大利	2005	28.0	29.0	5.0	13.0	2.0	—	22.0
加拿大	2004	47.0	24.0	3.0	6.0	13.0	—	8.0

续表

国家	年份	纸类	有机物	塑料	玻璃	金属	纺织品	其他无机物
墨西哥	2006	15.0	51.0	6.0	6.0	3.0	—	18.0
印度	2004	2.8	35.0	1.6	0.9	0.3	1.0	58.0
印度尼西亚	2005	20.6	55.4	13.3	1.9	1.1	0.6	4.7
巴西	2004	12.6	59.9	15.5	3.4	1.7	1.5	5.4

注：数据来源于联合国统计司/环境规划署 2004 年和 2006 年的环境统计调查问卷，废弃物部分；经合组织/欧盟统计局 2004 年环境统计调查问卷，废弃物部分；经合组织环境数据，2006 年/2007 年汇编，废弃物部分。

如表 1-2 所列，经济较发达且环保投入和成果突出的国家城市垃圾中纸类比例较大，塑料比例很小，如瑞典；而经济比较落后的国家和地区则相反，城市垃圾中无机物居多，纸类很少，如印度。发展中国家城市垃圾中除纸类、塑料之外的有机物比例明显高于发达国家，更适于堆肥处理。

1.1.2.4 农业固体废物

农业固体废物是指农业生产、畜禽饲养、农副产品加工以及农村居民生活活动排出的废物，如植物秸秆、腐烂的蔬菜和水果、果树枝、糠秕、落叶等植物废料以及人和畜禽粪便、农药、农用塑料薄膜等。

1.1.2.5 放射性固体废物

放射性固体废物包括核燃料的生产和加工，同位素的应用，核电站、核研究机构、医疗单位、放射性废物处理设施产生的废物。如从含铀矿石提取铀的过程中产生的废矿渣；受人工或天然放射性物质污染的废旧设备、器物、防护用品等；放射性废液经过浓缩、固化处理形成的固体废物等。

这些含有放射性物质的固体废物会通过外照射或其他途径进入人体，产生内照射而危害人体健康。随着世界各国大力发展核电能源技术，放射性固体废物迅速增加，控制和防治环境中放射性固体废物的污染已成为环境保护的一项重要内容。

1.1.2.6 有害固体废物

有害固体废物国际上称之为危险固体废物 (hazardous solid waste)。这类废物泛指放射性废物以外，具有毒性、易燃性、反应性、腐蚀性、爆炸性、传染性而可能对人类的生活环境和健康产生危害的废物。基于环境保护的需要，许多国家将这部分废物单独列出加以管理。1983 年，联合国环境规划署已经将有害废物污染控制问题列为全球重大的环境问题之一。

美国环保局在《资源保护和回收法》中对危险废物定义如下：“危险废物是固体废物，由于不适当的处理、贮存、运输、处置或其他管理因素等原因，它能引起或明显地影响各种疾病和死亡，或对人体健康及环境造成显著的威胁。”我国《固废法》中规定：“危险废物是指列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的废物。”

目前根据我国《固废法》，主要将固体废物分为城市生活垃圾、一般工业固体废物和危险废物；美国固体废物的分类大致同于我国；日本通常将固体废物分为产业固体废物和一般固体废物，其中前者包括有害固体废物。

1.2 固体废物的污染及其控制

1.2.1 固体废物的特点和特征

1.2.1.1 “资源”和“废物”的相对性

从固体废物定义可知，它是在一定时间和地点被丢弃的物质，是“放错地方的资源”。

因此，此处的“废物”，具有明显的时间和空间的特征。

(1) 从时间方面看 固体废物仅仅相对于当前的科技水平还不够高、经济条件还不允许的情况下暂时无法加以利用，但随着时间的推移、科技水平的提高及经济的发展，资源滞后于人类需求的矛盾也日益突出，今天的废物势必会成为明日的资源。

(2) 从空间角度看 废物仅仅相对于某一过程或某一方面没有使用价值，但并非在一切过程或一切方面都没有使用价值，某一生产过程中的废物，往往会成为另一生产过程中的原料。例如，煤矸石发电、高炉渣生产水泥、电镀污泥中回收贵重金属等，都是此处产生的废物彼处成为资源加以利用。

相对于日趋枯竭的不可再生资源，固体废物成为一类量大而源广的新资源将是必然趋势。“资源”和“废物”的相对性是固体废物最主要的特征。

1.2.1.2 成分的多样性和复杂性

固体废物成分复杂、种类繁多、大小各异，既有无机物又有有机物，既有非金属又有金属，既有无味的又有有味的，既有无毒物又有有毒物，既有单质又有合金，既有单一物质又有聚合物，既有边角料又有设备配件，其构成可谓五花八门、琳琅满目。“垃圾为人类提供的信息几乎多于其他任何东西。”成分的多样性和复杂性决定了其处理、处置方法的多样性，增加了处理工作的难度。

1.2.1.3 危害的潜在性、长期性和灾难性

固体废物对环境的污染不同于废水、废气和噪声，它呆滞性大、扩散性小，它对环境的影响主要是通过水体、大气和土壤进行的。其中污染成分的迁移转化，如浸出液在土壤中的迁移是一个比较缓慢的过程，其危害可能在数年甚至数十年后才能发现。从某种意义上讲，固体废物特别是危险废物对环境造成的危害可能要比废水、废气造成的危害严重得多。

1.2.1.4 污染“源头”和富集“终态”的双重性

废水和废气既是水体、大气和土壤环境的污染源，又是接受污染物的环境。固体废物则不同，它们往往是许多污染成分的终极状态。例如一些有害气体或飘尘，通过污染大气处理技术最终富集成废渣；一些有害溶质和悬浮物，通过水处理技术最终被分离出来成为污泥或残渣；一些含重金属的可燃固体废物，通过焚烧处理有害金属浓集于灰烬中。但是，这些“终态”物质中的有害成分，在长期的自然因素作用下，又会流入水体、进入大气和渗入土壤中，成为水体、大气和土壤环境污染的“源头”。许多固体废物因毒性集中和危害性大，暂时无法处理，对环境污染和人类健康有很大潜在威胁。

固体废物的这些特点和特性决定了其对环境和人类的危害性及危害途径，同时，人类也可以此为依据对其进行有效的控制和管理。

1.2.2 我国固体废物污染

1.2.2.1 我国固体废物产生情况

经济不断增长，生产规模不断扩大，人类需求不断提高，随之而来的是固体废物生成量也不断增加。表 1-3 为我国近几年（1992~2008 年）工业固体废物及危险废物的产生量统计数

表 1-3 我国工业固体废物和危险废物产生量（1992~2008 年）

年份	1992	1996	2000	2004	2008
工业固体废物/亿吨	6.2	6.6	8.2	12.0	19.0
危险废物/亿吨	—	0.1	0.083	0.0963	0.1357

注：数据来源于原国家环境保护总局《中国环境状况公报》。

据,由表 1-3 可知,我国工业固体废物产生量不但数量逐年递增,并且增长速度也在不断加快,危险废物的年产生量也相当巨大。

1.2.2.2 我国固体废物污染现状

总体来说,我国固体废物污染呈加重趋势。主要表现在:固体废物产生量持续增长,工业固体废物平均每年增长 7%,城市生活垃圾每年增长 4%;固体废物处置能力明显不足,大部分危险废物处于低水平综合利用或简单储存状态,城市生活垃圾无害化处置率偏低,农村环境卫生明显下降,农村固体废物污染问题日益突出。中国堆存的垃圾至少 85% 被掩埋在农村,而重金属、氨水以及细菌则渗入土壤和地下水中。

我国工业固体废物综合利用和垃圾无害化情况具有明显的地域性,见表 1-4,各部分地区的经济发展水平为主要影响因素。

表 1-4 我国各部分地区工业固体废物综合利用和垃圾无害化情况 (2007 年)

地区	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区	全国总计
工业固体废物综合利用率/%	80.2	60.0	50.1	48.8	62.1
城市生活垃圾无害化处理率/%	76.2	50.0	58.8	38.0	62.0
农村无害化卫生厕所普及率/%	46.6	34.7	26.9	8.9	34.81

注:数据来源于国家统计局环境统计数据。

1.2.3 固体废物污染途径

固体废物在一定的条件下会发生化学的、物理的或生物的转化,对周围环境造成一定的影响,如果采取的处理方法不当,其中的有毒有害物质就会通过环境介质——大气、土壤、地表或地下水进入生态系统,破坏生态环境,甚至通过食物链等途径危害人体健康。

通常,工矿业固体废物和电子垃圾等所含化学成分能形成化学物质型污染;人畜粪便和有机垃圾是各种病原微生物的孳生地 and 繁殖场,能形成病原体型污染。化学型污染途径示于图 1-2;病原体型污染途径示于图 1-3。

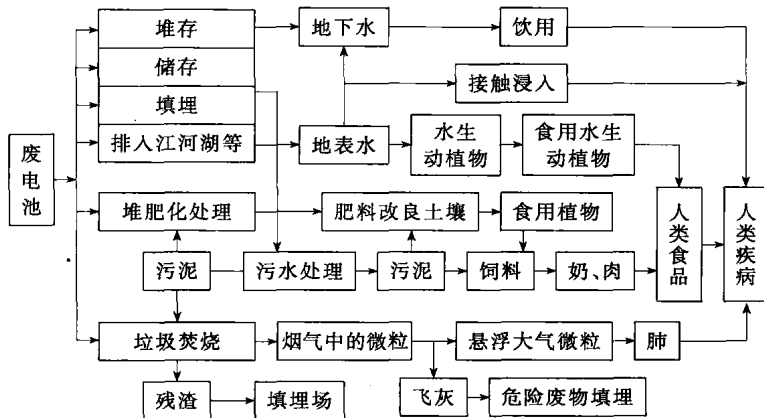


图 1-2 化学物质型固体废物致病的途径

1.2.4 固体废物污染危害

鉴于固体废物的特点和特性,其对环境和生态的污染危害主要表现在以下几个方面。

(1) 污染水体 不少国家把固体废物直接倾倒入河流、湖泊、海洋中,甚至以海洋投弃作为一种处置方法。固体废物进入水体,不仅减少江湖面积,而且严重影响水生生物的生存和水资源的利用,投弃在海洋的废物会在一定海域范围内造成生物的死区。

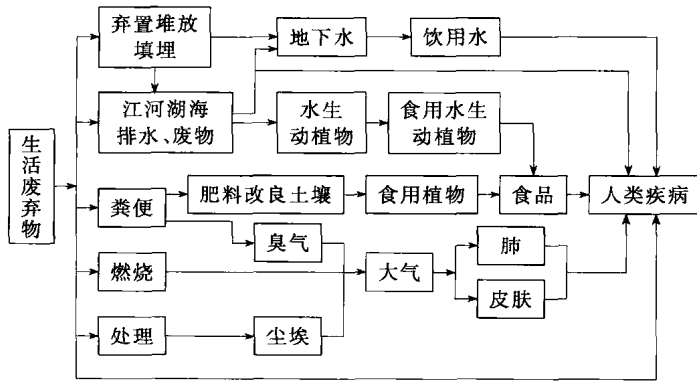


图 1-3 病原体型固体废物传播疾病的途径

(2) 污染大气 固体灰渣中的细粒、粉末经风吹日晒产生扬尘，污染周围大气环境。粉煤灰、尾矿堆放场遇 4 级以上风力可剥离 1~41.5cm，灰尘飞扬高度达 20~50m，在多风季节平均视程降低 30%~70%。固体废物中的有害物质经长期堆放发生自燃，向大气中散发出大量有害气体。长期堆放的煤矸石中含硫量达 1.5% 即会自燃，达 3% 以上即会着火，散发大量的二氧化硫。多种固体废物本身或在焚烧时会散发毒气和臭味，恶化环境。

(3) 侵占土地 固体废物如不加利用则需占地堆放，堆积量越大，占地越多。截至 2006 年，我国固体废物历年堆存量达 80 亿多吨，占用和损毁土地 13.3 万公顷以上。我国许多城市利用四郊设置垃圾堆场，也侵占了大量农田。

(4) 污染土壤 固体废物堆置或垃圾填埋处理，经雨淋渗出液及沥滤液中含有的有害成分会改变土质和土壤结构，影响土壤中的微生物活动，妨碍周围植物的根系生长。一般的，受污染的土地面积往往大于堆渣占地的 1~2 倍。城市固体垃圾弃在城郊使土壤碱度增高，重金属富集，过量施用后，会使土质和土壤结构遭到破坏。一般的有色金属冶炼厂附近的土壤里铅含量为正常土壤中含量的 10~40 倍，铜含量为 5~200 倍，锌含量为 5~50 倍。这些有毒物质一方面通过土壤进入水体，另一方面在土壤中发生积累而被植物吸收，毒害农作物。

(5) 影响环境卫生 目前我国城市粪便无害化处理率不到 50%，多数只是经过化粪池简单处理就被直接排放，粪便也得不到妥善处置。而且医院的粪便、垃圾也混入普通粪便、垃圾之中，广泛传播肝炎、肠炎、痢疾以及各种蠕虫病（即寄生虫病）等，成为严重的环境污染源。

(6) 对人体的危害 生活在环境中的人，以大气、水体、土壤为媒介，可以将环境中的有害物质直接由呼吸道、消化道或皮肤摄入人体，使人致病。美国的腊芙运河（Love Canal）污染事件就是一个典型的事例。20 世纪 40 年代，美国一家化学公司利用腊芙运河废弃的河谷填埋生产有机氯农药、塑料等产生的残余有害废物 2 万吨。10 多年后在该地区陆续发生了一些如井水变臭、婴儿畸形、人患怪病等现象。经化验研究，当地空气、用作水源的地下水和土壤中都含有六六六、三氯苯、三氯乙烯、二氯苯酚等 82 种有毒化学物质，其中列在美国环保局优先污染清单上的就有 27 种，被怀疑是人类致癌物质的多达 11 种。许多住宅的地下室和周围庭院里渗进了有毒化学浸出液，于是迫使总统在 1978 年 8 月宣布该地区处于“卫生紧急状态”，先后两次近千户被迫搬迁，造成了极大的社会问题和经济损失。

1.2.5 固体废物污染控制

面对日趋增多的固体废物，如果处理不当，势必造成严重的环境污染和重大的经济损

失，所以一定要对其进行严格的控制和管理。根据固体废物的特点和特性，对其污染控制主要从两个方面着手，一是控制固体废物的产生，即“源头控制”，二是综合利用废物资源，即资源化利用。主要措施有以下几项。

(1) 采用清洁的生产工艺 “清洁生产”是指将综合预防的环境保护策略持续应用于生产过程和产品中，以期减少对人类和环境的风险。该定义包含了两个全过程控制：生产全过程和产品整个生命周期全过程。

对生产过程而言，清洁生产包括节约原材料和能源，淘汰有毒有害的原材料，在全部排放物和废物离开生产过程以前，尽最大可能减少它们的排放量和毒性。如无氰电镀工艺取代氰化物电镀工艺，从源头淘汰有毒氰化物的使用；流化床气化加氢制苯胺工艺代替铁粉还原工艺，避免了铁泥废渣的产生，固体废物排出量减少 99.8%，还大大降低了能耗，真正实现节能减排。

对产品而言，清洁生产旨在减少产品整个生命周期过程中从原料的提取到产品的最终处置对人类和环境的影响。通过采用清洁生产工艺，选用可再生材料，生产质量高和使用寿命长的产品来实现。

(2) 发展物质循环利用工艺 传统的物质生产是一种“原材料-产品-污染排放”单向流动的线性过程，其特征是高开采、低利用、高排放。这种工艺中，对物质的利用是粗放的和一次性的，经过一次生产过程就成为废物被抛弃，进入环境中。与此不同，物质循环利用倡导的是一种与环境和谐的生产模式。它要求生产过程组成一个“原材料—产品—再生资源”的反馈式流程，第一种产品的废物可以被资源化利用成为第二种产品的原料，第二种产品的废物又可成为第三种产品的原料，依此类推，经过多个流程，最后只剩下少量废物进入环境，其特征是低开采、高利用、低排放。所有物质和能源都能在这个不断进行的物质循环中得到合理和持久的利用，该生产工艺对自然环境的影响可以降低到尽可能小的程度。

(3) 开发资源综合利用技术 世上本没有废物，只有“放错地方的资源”，开发废物资源的综合利用技术具有很重要的战略意义。高炉水渣制水泥和混凝土，高炉重矿渣作骨料和路材，利用磷石膏制造半水石膏和石膏板，粉煤灰制备化肥，煤矸石发电等，都是废物资源化利用的典型例子。再如，硫铁矿烧渣、废胶片、废催化剂中含有 Au、Ag、Pt 等贵金属，只要采取适当的物理、化学熔炼等加工方法，就可以将其中有价值的物质回收利用。

(4) 进行无害化处理与处置 有害固体废物通过焚烧、热解、氧化-还原等方式或利用改进技术等，改变废物中有害物质的性质，可使之转化为无害物质或使有害物质含量达到国家规定的排放标准。

塑料在传统的焚烧处理过程中会产生大量有毒气体，污染环境。而利用现有成熟的焦化工艺和设备大规模处理废塑料，使废塑料在高温、全封闭和还原气氛下转化为焦炭、焦油和煤气，使废塑料中的有害元素氯以氯化铵可溶性盐的方式进入炼焦氨水中，不产生剧毒物质二噁英 (Dioxin) 和腐蚀性气体，不产生二氧化硫、氮氧化物及粉尘等常规燃烧污染物，彻底实现废塑料大规模无害化处理和资源化利用。目前该技术已实现商业化。

1.3 固体废物处理处置方法

1.3.1 固体废物处理

固体废物处理是指将固体废物转变成适于运输、利用、贮存或最终处置的过程。固体废物处理的目的是实现固体废物的减量化、资源化和无害化。固体废物处理方法有物理处理、

化学处理、生物处理、热处理、固化处理。

(1) 物理处理 物理处理是通过浓缩或相变化改变固体废物的结构，使之成为便于运输、贮存、利用或处置的形态。物理处理方法包括压实、破碎、分选、增稠、吸附、萃取等。物理处理也往往是回收固体废物中有价值物质的重要手段。

(2) 化学处理 化学处理是采用化学方法破坏固体废物中的有害成分从而达到无害化，或将其转变成为适于进一步处理、处置的形态。由于化学反应条件复杂，影响因素较多，故化学处理方法通常只用在所含成分单一或所含几种化学成分特性相似的废物处理方面。对于混合废物，化学处理可能达不到预期的目的。化学处理方法包括氧化、还原、中和、化学沉淀和化学溶出等。有些有害固体废物经过化学处理，还可能产生富含毒性成分的残渣，还须对残渣进行无害化处理或安全处置。

(3) 生物处理 生物处理是利用微生物分解固体废物中可降解的有机物，从而达到无害化或综合利用。固体废物经过生物处理，在容积、形态、组成等方面均发生重大变化，因而便于运输、贮存、利用和处置。生物处理方法包括好氧处理、厌氧处理和兼性厌氧处理。与化学处理方法相比，生物处理在经济上一般比较便宜，应用也相当普遍，但处理过程所需时间较长，处理效率有时不够稳定。

(4) 热处理 热处理是通过高温破坏和改变固体废物组成和结构，同时达到减量化、无害化和资源化的目的。热处理方法包括焚化、热解、湿式氧化以及焙烧、烧结。焚烧法是利用燃烧使固体废物中的可燃性物质发生氧化反应达到减容并利用其热能的目的。通过焚烧法可以消灭细菌和病毒，占地面积小，还可利用其热能发电等。目前日本等发达国家的城市生活垃圾多采用焚烧法来处理。热解处理是指将固体废物中的有机物在高温下裂解，可获取轻质燃料，如废塑料、废橡胶的热解等。

(5) 固化处理 固化处理是采用一种惰性的固化基材将废物固定或包裹起来以降低其对环境的危害，因而能较安全地运输和处置的一种处理过程。固化处理的对象主要是有害废物和放射性废物。由于处理过程需加入较多的固化基材，因而固化体的容积远比原废物的容积大。

1.3.2 固体废物处置

固体废物处置是指最终处置 (final disposal) 或安全处置，是固体废物污染控制的末端环节，是解决固体废物的归宿问题。一些固体废物经过处理和利用，由于技术原因或其他原因，总还会有部分残渣很难或无法再加以利用，这些残渣往往又富集了大量有毒有害成分，将长期地保留在环境中，是一种潜在的污染源。为了控制其对环境的污染，必须进行最终处置，使之最大限度地与生物圈隔离，故又称安全处置。

固体废物处置方法包括海洋处置和陆地处置两大类。海洋处置方法包括深海投弃和海上焚烧；陆地处置包括土地耕作、工程库或贮留池贮存、土地填埋和深井灌注几种。

1.4 控制固体废物污染的技术政策

1.4.1 我国控制固体废物污染技术政策的产生

20 世纪 60 年代中期开始，环境保护在国际上开始受到重视，污染治理技术迅速发展，人们开发了一系列处理方法。70 年代以后，一些工业发达国家开始出现废物处置场地紧张、处理费用浩大、资源短缺等一系列问题。此刻为寻求一条可持续发展的道路，提出了“资源循环”口号，着手开发从固体废物中回收资源和能源的技术，逐步发展成为控制废物污染的