



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

固体废物资源化

第二版

GUTI FEIWU
ZIYUANHUA

杨慧芬 张强 编著



化学工业出版社

X705
14-2

013034261



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

固体废物资源化

第二版

GUTI FEIWU
ZIYUANHUA

杨慧芬 张强 编著



全章通，排部字文
子，排，书部排并

云部改，排部升贵
云部改，排部升贵

(110001 邮编) 北京市昌平区羊坊店地区 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社

工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社

工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社

工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社

工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社 (北京) 工业出版社



化学工业出版社

· 北京 ·



北航

C1641546

X705
14-2

138330810

随着科学技术的发展,固体废物处理及资源化的技术和途径也发生了全面改进。本书在第一版的基础上更新完善了各章内容。介绍了固体废物资源化的一般原理、方法和技术,具体包括固体废物资源化的预处理技术、固体废物资源化技术、矿业固体废物的资源化、煤系固体废物的资源化、钢铁冶金渣的资源化、有色金属冶炼渣的资源化、化工固体废物的资源化、城市垃圾的资源化、废旧物资的资源化。

本书可供从事环境工程及其相关专业的有关人士阅读,也可作为高等院校相关专业学生的教材。

中国环境科学出版社

第二版

CHINA UNIVERSITY OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

环境 资源 生态

图书在版编目(CIP)数据

固体废物资源化/杨慧芬,张强编著. —2版. —北京:
化学工业出版社, 2013. 4
北京高等教育精品教材
ISBN 978-7-122-16642-5

I. ①固… II. ①杨…②张… III. ①固体废物利用-
高等学校-教材 IV. ①X705

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第042162号

责任编辑:刘俊之
责任校对:顾淑云

文字编辑:颜克俭
装帧设计:韩飞

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)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张20 $\frac{3}{4}$ 字数535千字 2013年6月北京第2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: 58.00 元

版权所有 违者必究

前言



《固体废物资源化》于2004年由化学工业出版社出版,2005年北京市教育委员会将该书评为北京高等教育精品教材(京教高[2005]4号)。本书出版后,一直作为北京科技大学及其他相关院校环境工程、矿物加工工程以及资源开发工程等专业的本科教学用书,同时,也深受广大从事固体废物资源化工程技术人员和管理人员的欢迎,现在已处于脱销状态,许多从事这一学科的有识之士纷纷来函、来电希望再次印刷。

考虑到近年来随着经济的快速发展和对环保的日益重视,从事固体废物资源化教学、研究以及工程应用更加广泛和深入,新的研究成果不断涌现,同时,编者基于多年的教学经历也觉得原书中的某些内容需要调整、补充。故此,决定进行再版修订。

本次再版,虽然仍基本保持了第一版的章节和内容安排,但已将近年来最新研究成果融入其中,以反映固体废物资源化国内外最新研究动向和发展趋势,对其中一些现在看来与这一学科关系并不十分密切的内容和一些相对陈旧的内容作了删除,使本书第二版既反映学科前沿,又更加具有可读性和实用性,使之更能满足不同读者群的需求。

再版过程中,参阅了大量最新相关论文及著作,在此谨向各位作者表示衷心的感谢。作为北京科技大学“十二五”规划立项教材,本书的出版得到了教育部“本科教学工程”专业综合改革和北京科技大学教材出版基金的资助。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免还有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2013年1月于北京

第一版前言



固体废物是指人类生产、生活过程中丢弃的固体和泥状物质，它是人类物质文明的产物。大量的固体废物排入环境，不仅占用大量土地，而且严重污染周围环境，破坏生态平衡。

固体废物资源化就是将固体废物视为二次资源，使它作为原材料再利用。目前，已有不少国家通过经济杠杆和强制性行政手段鼓励和支持固体废物资源化技术的开发和应用。我国1996年4月1日起施行《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，其中首先确立了固体废物污染防治的“减量化、资源化、无害化”原则，同时确立了对固体废物进行全过程管理的原则，并根据这些原则确立了我国固体废物管理体系的基本框架。

固体废物资源化，需要一系列行之有效的技术和手段，并有与之配套的设施。我国在这一领域与发达国家存在较大的差距，不少地方或工矿企业，不是找不到适合的开发技术，就是技术或设施过不了关，或者还停留于乱排乱堆的盲目状态。因此，加强对固体废物资源化技术的开发研究和工程化应用，交流固体废物资源化信息，具有重要的理论价值和现实意义。

本书在全面研究和总结国内外固体废物资源化最新成果的基础上，结合笔者多年来的教学、研究实践，首先阐述了固体废物资源化的一般原理、方法和技术，在此基础上从不同行业固体废物的组成、性质入手，详细介绍了不同行业固体废物资源化的具体方法和技术。全书内容的取舍力求做到系统性、科学性和先进性的统一，文字表达和编写体例强调可读性，适合从事环境工程及其相关专业的有关人士阅读，也可供高等院校相关专业师生参考。

本书的编写得到了许多有识之士的指导，特别是北京科技大学博士生导师张强教授从本书思路的形成、内容的取舍以及具体的编写过程都给予了重要的指导，北京科技大学博士生导师宋存义教授、倪文教授、孙体昌教授、王云琪博士等对本书的编写给予了许多的帮助，化工出版社刘俊之副编审对本书的编写和出版给予了大力的支持。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编者

2004年3月12日于北京

1	绪论	1
	1.1 固体废物的来源与污染	1
	1.1.1 固体废物的来源和分类	1
	1.1.2 固体废物的污染	3
	1.2 固体废物污染防治原则	5
	1.2.1 固体废物污染防治的基本原则	5
	1.2.2 固体废物污染防治的全过程管理原则	6
	1.3 固体废物资源化方法与途径	8
	1.3.1 固体废物资源化方法	8
	1.3.2 固体废物资源化途径	10
	1.3.3 固体废物的综合处理	12
	参考文献	13
	习题	13
2	固体废物资源化的预处理技术	14
	2.1 压实	14
	2.1.1 压实原理	14
	2.1.2 压实设备	15
	2.2 筛分	16
	2.2.1 筛分原理	16
	2.2.2 筛分设备	17
	2.3 破碎	19
	2.3.1 破碎原理	19
	2.3.2 破碎设备	22
	2.4 热处理	29
	2.4.1 干燥脱水	29
	2.4.2 无机固体废物的热分解	31
	2.4.3 无机固体废物的焙烧	33
	2.4.4 热处理设备	34
	参考文献	36
	习题	36
3	固体废物资源化技术	37
	3.1 固体废物的物理分选技术	37
	3.1.1 风选	37

3.1.2	浮选	40
3.1.3	磁选	45
3.1.4	电选	48
3.1.5	摩擦与弹跳分选	50
3.1.6	涡电流分选	51
3.2	固体废物的化学浸出技术	52
3.2.1	浸出过程的理论基础	52
3.2.2	浸出工艺与设备	55
3.2.3	浸出液中目的组分的提取和分离	59
3.3	固体废物的生物处理技术	62
3.3.1	生物冶金技术	62
3.3.2	生物转化技术	63
3.4	固体废物的热转化技术	69
3.4.1	固体废物的热解技术	69
3.4.2	固体废物的焚烧处理技术	73
3.5	固体废物制备建筑材料技术	81
3.5.1	胶凝材料生产技术	81
3.5.2	墙体材料生产技术	85
3.5.3	玻璃生产技术	87
3.5.4	铸石生产技术	89
3.5.5	骨料生产技术	91
	参考文献	93
	习题	93

4

矿业固体废物的资源化

95

4.1	矿业固体废物的组成和性质	95
4.1.1	矿业固体废物的组成	95
4.1.2	矿业固体废物的性质	98
4.2	尾矿的资源化	101
4.2.1	尾矿中有价组分的提取	101
4.2.2	尾矿生产建筑材料	107
4.2.3	尾矿用作井下充填材料	112
4.2.4	尾矿生产化工产品	113
4.3	废石的资源化	114
4.3.1	废石中有价金属的提取	114
4.3.2	废石生产建筑材料	115
	参考文献	116
	习题	116

5

煤系固体废物的资源化

117

5.1	煤矸石的资源化	117
-----	---------	-----

5.1.1	煤矸石的组成和性质	117
5.1.2	煤矸石中能源物质的回收	119
5.1.3	煤矸石生产建筑材料	121
5.1.4	煤矸石生产化工产品	126
5.2	粉煤灰的资源化	131
5.2.1	粉煤灰的组成和性质	131
5.2.2	粉煤灰中有价组分的提取	134
5.2.3	粉煤灰生产建筑材料	137
5.2.4	粉煤灰生产化工产品	143
5.2.5	粉煤灰的农业利用	148
5.3	锅炉渣的资源化	149
5.3.1	锅炉渣的组成	149
5.3.2	锅炉渣生产建筑材料	150
	参考文献	152
	习题	153

6

钢铁冶金渣的资源化

154

6.1	高炉渣的资源化	154
6.1.1	高炉渣的组成与性质	154
6.1.2	高炉渣的资源化途径	157
6.1.3	高炉渣资源化利用新技术	160
6.2	钢渣的资源化	163
6.2.1	钢渣的组成和性质	164
6.2.2	钢渣的资源化途径	166
6.3	铁合金渣的资源化	175
6.3.1	铁合金渣的组成与性质	175
6.3.2	铁合金渣的资源化途径	176
6.4	含铁尘泥的资源化	178
6.4.1	含铁尘泥的组成和性质	178
6.4.2	含铁尘泥的资源化途径	179
	参考文献	181
	习题	182

7

有色金属冶炼渣的资源化

183

7.1	赤泥的资源化	183
7.1.1	赤泥的组成和性质	183
7.1.2	赤泥中有价组分的综合回收	185
7.1.3	赤泥生产建筑材料	188
7.1.4	赤泥的其他利用方法	193
7.2	铜渣的资源化	195
7.2.1	铜渣的组成和性质	195

7.2.2	铜渣中有价金属的回收	195
7.2.3	铜渣生产建筑材料	203
7.3	铅锌渣的资源化	205
7.3.1	铅渣的资源化	206
7.3.2	锌渣的资源化	207
7.4	其他有色冶炼渣的资源化	211
7.4.1	镍渣的资源化	211
7.4.2	锡渣的资源化	214
7.4.3	锑渣的资源化	217
7.4.4	钨渣的资源化	218
7.4.5	钨渣的资源化	220
	参考文献	221
	习题	221

8

化工固体废物的资源化

223

8.1	硫酸渣的资源化	223
8.1.1	硫酸渣的来源与组成	223
8.1.2	硫酸渣中有价金属的回收	224
8.1.3	硫酸渣用于生产建筑材料	228
8.2	铬渣的资源化	228
8.2.1	铬渣的来源与组成	229
8.2.2	铬渣的熔融固化与利用	229
8.2.3	铬渣的其他资源化方法	232
8.3	氨碱法制碱废渣的资源化	233
8.3.1	氨碱废渣的来源与组成	233
8.3.2	制碱废渣的资源化途径	234
8.4	磷肥工业固体废物的资源化	236
8.4.1	磷石膏的资源化	236
8.4.2	黄磷炉渣和泥磷的资源化	238
8.5	电石渣的资源化	240
8.5.1	电石渣的来源与组成	240
8.5.2	电石渣的资源化利用途径	241
8.6	其他化工废物的资源化	242
8.6.1	废催化剂的资源化	242
8.6.2	硼泥的资源化	246
8.6.3	硫酸铝废渣的资源化	248
8.6.4	感光材料废物的资源化	249
	参考文献	250
	习题	251

9

城市垃圾的资源化

252

9.1	城市垃圾的组成和性质	252
9.1.1	城市垃圾的组成与分类	252
9.1.2	城市垃圾的性质	253
9.2	城市垃圾的分选	257
9.3	城市垃圾的焚烧	260
9.3.1	垃圾焚烧的典型工艺	261
9.3.2	工程实例	263
9.3.3	影响垃圾焚烧的主要因素	264
9.4	城市垃圾的堆肥化	266
9.4.1	堆肥的微生物学过程	266
9.4.2	堆肥的基本工艺	267
9.4.3	工程实例	269
9.4.4	影响堆肥的主要因素及堆肥质量	271
9.5	城市垃圾的厌氧发酵	273
9.5.1	厌氧发酵的微生物学过程	273
9.5.2	厌氧发酵工艺	274
9.6	城市垃圾资源化新技术	275
9.6.1	垃圾焚烧发展趋势	276
9.6.2	垃圾生物处理新技术	278
	参考文献	279
	习题	280

10

废旧物资的资源化

281

10.1	废金属的资源化	281
10.1.1	废钢铁回收利用流程	281
10.1.2	废有色金属的回收利用	283
10.2	废纸的资源化	285
10.2.1	废纸再生工序与设备	285
10.2.2	废纸脱墨工艺	289
10.2.3	废纸处理新技术	291
10.3	废塑料的资源化	293
10.3.1	废塑料的来源	293
10.3.2	废塑料的分选	293
10.3.3	废塑料生产建筑材料	296
10.3.4	废塑料热解油化技术	299
10.4	废橡胶的资源化	302
10.4.1	废橡胶的高温热解	302
10.4.2	废橡胶生产胶粉	305
10.5	废电池的资源化	307

10.5.1	废电池的种类与组成	308
10.5.2	废电池中提取有价值金属技术	310
10.6	电子废物的资源化	314
10.6.1	电子废物的来源与组成	314
10.6.2	电子废物的回收技术	315
10.6.3	日光灯的资源化	317
10.6.4	报废汽车的回收利用	317
	参考文献	318
	习题	319

309	.....	3.3.3
309	.....	4.9
308	.....	4.1
307	.....	4.2
306	.....	4.3
317	.....	4.4
318	.....	5.2
318	.....	5.1
317	.....	5.2
317	.....	6.6
316	.....	6.1
318	.....	6.2
319	.....	参考文献
380	.....	习题

废塑料的资源化

381	.....	1.1
381	.....	1.1
382	.....	1.2
382	.....	2.1
382	.....	2.2
381	.....	2.3
383	.....	3.1
383	.....	3.1
383	.....	3.2
384	.....	3.3
384	.....	3.4
385	.....	4.1
385	.....	4.1
385	.....	4.2
385	.....	5.1

绪论

根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2004年修订）》，固体废物是指在生产、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者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。

1.1 固体废物的来源与污染

固体废物来源于人类生产过程和生活过程的各个方面。一般，人类在生产过程中产生的固体废物俗称废渣（residue），在生活活动过程中产生的固体废物则称为垃圾（refuse）。由于固体废物排放量的不断增加，对环境造成的污染日益加重。

1.1.1 固体废物的来源和分类

无论是生产还是生活过程产生的废物种类均多种多样、组成复杂。为了管理和利用的方便，通常从不同的角度对固体废物进行不同的分类。按其组成，可分为有机废物和无机废物两类。按其来源可分为工业固体废物、农业固体废物、矿业固体废物、城市生活垃圾等。按其危害性可分为危险废物和一般废物，如图 1-1 所示。

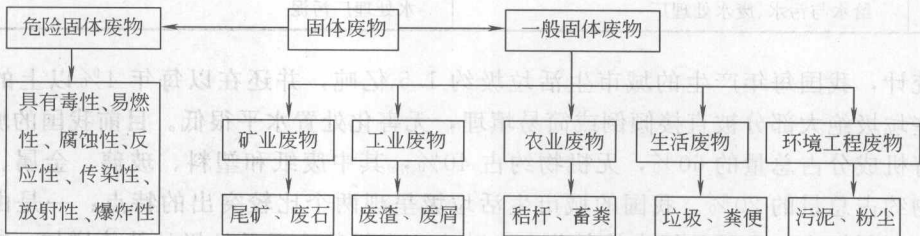


图 1-1 固体废物分类示意

根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，固体废物分为工业固体废物、生活垃圾和危险废物三大类。

(1) 工业固体废物 是指在工业生产活动中产生的固体废物。表 1-1 所示为主要工业固体废物的来源与分类。可见不同工业类型所产生的固体废物种类是迥然相异的，因此，所产生的固体废物组分、含量、性质也不同。

表 1-1 主要工业固体废物的来源和分类

来源	产生过程	分类
矿业	矿石开采和加工	废石、尾矿
冶金	金属冶炼和加工	高炉渣、钢渣、铁合金渣、赤泥、铜渣、铅锌渣、镍钴渣、汞渣等
能源	煤炭开采和使用	煤矸石、粉煤灰、炉渣等
石化	石油开采与加工	油泥、焦油页岩渣、废催化剂、硫酸渣、酸渣、碱渣、盐泥、釜底泥等
轻工	食品、造纸等加工	废果壳、废烟草、动物残骸、污泥、废纸、废物等
其他		金属碎屑、电镀污泥、建筑废料等

2 固体废物资源化

目前,我国工业固体废弃物的年产生量已经达到 20 亿吨左右,累计堆存量超过 200 亿吨。年产量最大的是矿山开采和以矿石为原料的冶炼工业产生的固体废物,超过工业固体废物产生量的 80% 以上。产生量大的几种工业固体废物包括尾矿、废石、煤矸石、粉煤灰、炉渣、冶炼废渣等。

虽然我国工业结构淘汰了一些能耗高、品质低、污染重的落后(低效)产品,关闭了一些生产能力低、运行费用高、效益差的企业,高新技术的采用和管理水平的提高将逐步减少单位产值工业固体废物的产生量,但由于我国仍处于经济高速发展的阶段,经济增长率仍将保持在 8% 左右,工业固体废物的年产生量仍将不断增长。

(2) 生活垃圾 是指在日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的固体废物以及法律、行政法规规定视为生活垃圾的固体废物。城市是产生生活垃圾最为集中的地方,城市生活垃圾已成为世界各国面临的共同问题。城市垃圾的产生途径很多,如表 1-2 所示。

表 1-2 城市生活垃圾的产生和分类

来源	产生过程	城市垃圾种类
居民	城镇居民生活过程	食品废物、生活垃圾、炉灰及某些特殊废物
商业	仓库、餐馆、商场、办公楼、旅馆、饭店及各类商业与维修业活动	食品废物垃圾、炉灰、某些特殊废物、偶尔产生危险的废物
公共地区	街道、小巷、公路、公园、游乐场、海滩及娱乐场所	垃圾及特殊废物
城市建设	居民楼、公用事业、工厂企业、建筑、旧建筑物拆迁修缮等	建筑渣土、废木料、碎砖瓦及其他建筑材料
水处理厂	给水与污水、废水处理厂	水处理厂污泥

据统计,我国每年产生的城市生活垃圾约 1.5 亿吨,并还在以每年 4% 以上的速度增加。这些垃圾绝大部分被直接倾倒或简易填埋,无害化处置水平很低。目前我国的城市生活垃圾中有机成分占总量的 60%,无机物约占 40%,其中废纸和塑料、玻璃、金属、织物等可回收物约占总量的 20%。我国的城市生活垃圾呈现两个比较突出的特点:一是由于城市燃气化率不断提高,生活垃圾中的灰分大大减少,有机物含量及垃圾的热值增加,有利于垃圾堆肥和垃圾焚烧发电,但垃圾中厨余垃圾比重还较大,致使垃圾中水分含量过高,影响了垃圾的热值,也不利于垃圾的分类回收处置;二是我国城市生活垃圾中包装废物的数量增长快速,废纸、金属、玻璃、塑料等绝大部分是使用后废弃的包装物。随着经济的发展,商品包装形式越来越繁多,包装物的种类和数量增加很快,采用复合材料包装以及进行过度包装和豪华包装的产品比比皆是,这在大城市尤为突出。目前我国包装废弃物约占城市家庭生活垃圾的 10% 以上,而其体积要构成家庭垃圾的 30% 以上。

(3) 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固体废物。

危险废物约占工业固体废物总量的 5%~10%。按种类分,主要有碱溶液和固态碱、无机氟化物、含铜废物、废酸或固态酸、无机氰化物、含砷废物、含锌废物、含铬废物等;按行业分,工业危险废物主要产生于 99 个行业,重点有 20 个行业,其中化学原料及化学制造业产生的危险废物占总量的 40%。表 1-3 所示为几种化学工业危险废物的组成及危害。

表 1-3 几种化学工业危险废物的组成及危害

名称	主要危险成分及含量	对人体或环境的危害
铬渣	含 Cr^{6+} 0.3%~2.9%	对人体消化道和皮肤具有强烈的刺激和腐蚀作用,对呼吸道造成损害,有致癌作用。铬蓄积在鱼类组织中对水体中动物和植物区系均有致死作用,含铬废水影响小麦、玉米等作物生长
氰渣	含 CN^- 1%~4%	引起头痛、头晕、心悸、甲状腺肿大、急性中毒时呼吸衰竭致死,对人体、鱼类危害很大
含汞盐泥	Hg 含量 0.2%~0.3%	无机汞对消化道黏膜有强烈地腐蚀作用,吸入较高浓度的汞蒸气可引起急性中毒和神经功能障碍;烷基汞在人体内能长期滞留,甲基汞会引起水俣病;汞对鸟类、水生脊椎动物会造成有害作用
无机盐渣	含 Zn^{2+} 7%~25%, Pb^{2+} 0.3%~2%, Cd^{2+} 100~500mg/kg, As^{3+} 40~400mg/kg	铅、镉对人体神经系统、造血系统、消化系统及肝、肾、骨骼等都会引起中毒伤害;含砷化合物有致癌作用;锌盐对皮肤和黏膜有刺激腐蚀作用;重金属对动植物、微生物有明显的危害作用
蒸馏釜液	苯、苯酚、腈类、硝基苯、芳香胺类、有机磷农药等	对人体中枢神经及肝、肾、胃、皮肤等造成障碍与损害;芳香胺类和亚硝胺类有致癌作用,对水生生物和鱼类等也有致毒作用
酸、碱渣	各种无机酸碱 10%~30%,含有大量金属离子和盐类	对人体皮肤、眼睛和黏膜有强烈的刺激作用,导致皮肤和内部器官损伤和腐蚀,对水生生物、鱼类有严重的有害影响

社会生活中也产生大量废弃的含有镉、汞、铅、镍等的废电池和日光灯管等危险废物。危险废物对人体健康和环境有着严重的危害。因此,通过立法对危险废物污染环境防治作出严格规定,是各国控制危险废物污染环境的基本措施和固体废物污染防治立法的共同经验和通行惯例,也是有关国际公约的主要内容。不少国家根据其积累的经验,将危险废物列成名目表,并以立法形式公布,使产生单位、操作人员、环境管理者以及各有关部门便于掌握。如美国已列表确定 96 种加工工业废物和近 400 种化学品,德国确定 570 种,丹麦确定 51 种;根据科学技术的发展,还不断加以修正补充。对有条件进行实际监测鉴别或必需的判定,均应按技术标准规定的方法作适当的处理。我国 1998 年颁布的《国家危险废物名录》包括废物 47 种,并明确废物的来源和常见危害组分或废物名称,凡“名录”中所列废物类别高于鉴别标准的属于危险废物,列入国家危险废物管理范围;低于鉴别标准的,不列入国家危险废物管理范围。对需要制定危险废物鉴别标准的废物类别,在其鉴别标准颁布以前,仅作为危险废物登记使用。

凡已判定属于危险废物者,应将其数量、性质、去向等登记入档,分别留存在产生点、处置单位和有关的环保部门,保存的年限为 20~30 年,各国不等。

危险废物由于对环境的污染严重,危害显著。因此,对它的严格管理,有特殊意义。20 世纪 70 年代末美国纽约州尼亚加拉县废物填埋场渗漏造成严重公害事故的“拉福运河案”曾经震惊了世界。由于对危险废物管理不当造成的严重教训,国内外均有不少。因而,1984 年联合国环境规划署把有毒废物的污染危害列为全球性环境问题之一。

1.1.2 固体废物的污染

固体废物对环境的污染与固体废物的数量和性质有关。只有当固体废物的数量达到一定程度时才会对环境造成污染,如城市垃圾、粉煤灰等。但有些危险固体废物,如废电池、废日光灯等即使数量不大,也会对环境造成严重污染。

(1) 污染途径 固体废物露天存放或置于处置场,其中的有害成分可通过环境介质——大气、土壤、地表或地下水体等直接或间接传至人体,对人体健康造成极大的危害。图 1-2 所示为固体废物污染途径。

可见,固体废物的污染与废水、废气污染相比具有显著的特点。首先,它是各种污染物

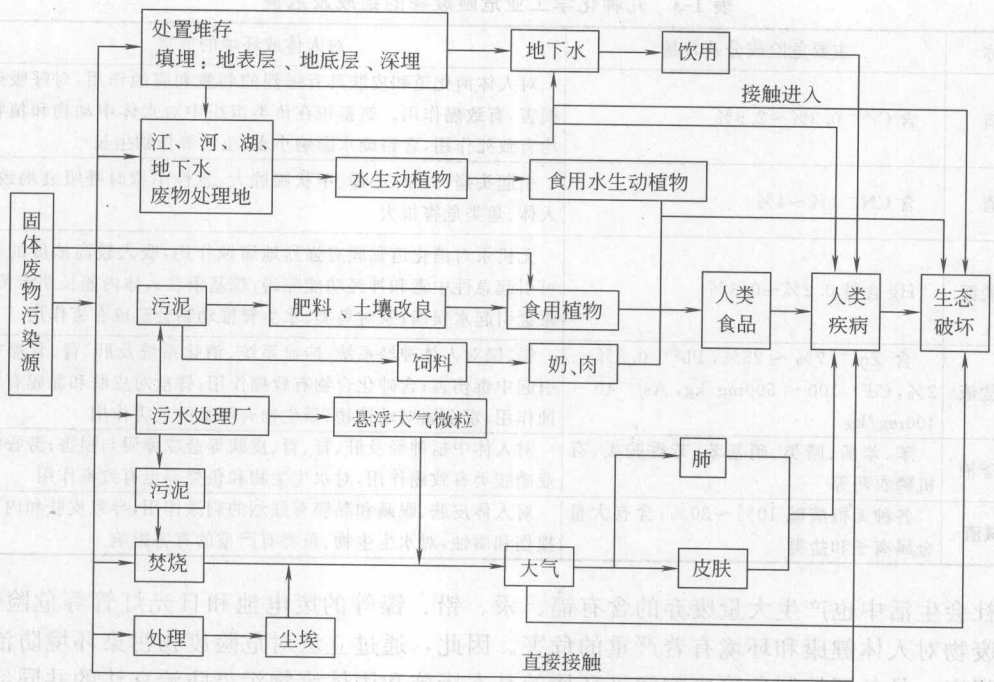


图 1-2 固体废物的污染途径

的终态，特别是从环境工程设施排出的固体废物，浓集了许多污染物成分。人们却往往对这类污染物产生一种稳定、污染慢的错觉。其次，除直接占用土地外，在自然条件下，固体废物中的一些有害成分会通过土壤、水、气等途径参与生态系统的物质循环，因此，它是土壤、水、气污染的“源头”，对生态系统具有潜在的、长期的危害。

(2) 污染危害 固体废物污染造成的危害主要包括如下几个方面。

① 占用土地 固体废物任意露天堆放，必将占用大量的土地，破坏地貌和植被。据估算，每堆积 $1 \times 10^4 \text{t}$ 渣约占地 1 亩。土地是十分宝贵的资源，尤其是耕地，我国虽幅员辽阔，耕地却十分紧张，人均不到 1km^2 。固体废物大量露天堆存，侵占大量土地（往往是良田），且有增无减，势必使我国本来就紧缺的土地更加紧缺。

② 对土壤环境的影响 固体废物露天堆存，长期受风吹、日晒、雨淋，其中的有害成分不断渗出，进入地下并向周围扩散，污染土壤（污染面积常达占地面积的 2~3 倍），并对土壤中微生物的活动产生影响，进一步影响土壤中微生物参与自然循环的作用，这将导致受污染土壤草木不生。如我国内蒙古包头市的某尾矿堆积使得尾矿坝下游一个乡的大片土地被污染，居民被迫搬迁。

另外，土壤中有毒成分的存在，不仅有碍植物根系的发育和生长，而且还会在植物有机体内积蓄，通过食物链危及人体健康。人如果与污染的土壤直接接触，或生吃此类土壤中种植的蔬菜、瓜果，就会致病。

③ 对水环境的影响 不少企事业单位将固体废物直接倾倒入河流、湖泊或海洋，使水质受到直接的污染，严重危害水生生物的生存条件，并影响水资源的充分利用。此外，堆积的固体废物经过雨水的浸渍和废物本身的分解，其渗滤液和有害化学物质的转化和迁移，将对附近地区的河流及地下水系和资源造成污染。固体废物露天堆存，也会随天然降水和地表径流直接进入水体或随风飘迁落入水体，增加水的浊度和有害成分含量。如我国一家铁合金

厂的铬渣堆场,由于缺乏防渗措施, Cr^{6+} 污染了 20 多平方公里的地下水,致使 7 个自然村的 1800 多眼水井无法饮用。我国某锡矿山的含砷废渣长期堆放,随雨水渗透进入地下水,污染水井,曾一次造成 308 人中毒、6 人死亡。

④ 对大气环境的影响 固体废物中原有的粉尘及其他颗粒物,或在堆存过程中产生的颗粒物,受日晒、风吹而进入大气,造成大气污染。如堆存的粉煤灰遇 4 级以上风力,一次可被剥离掉厚度为 1~1.5cm 的一层粉煤灰,粉煤灰飞扬高度可达 20~50m。在风大季节,平均视程降低 30%~70%。贮灰场常使附近出现所谓“黑风口”,使车辆行人难以通行。垃圾场附近,遇 4~5 级风,大气能见度剧烈下降,垃圾装卸时尤甚。

有的固体废物在堆存中产生和散发异臭或有害气体,则危害更甚。由于向大气中散发的颗粒物常是病原微生物的载体,所以,它是疾病传播的媒介。

某些固体废弃物,如煤矸石,因其中含硫而能在空气中自燃(含硫量 $>1.5\%$ 时),散发大量 SO_2 和煤烟,恶化大气环境。20 世纪 80 年代初,辽宁、山东、江苏三省的 100 余座矸石山中,自燃放火的有 40 座以上。陕西铜川市矸石堆自燃产生的 SO_2 每天达 20t 以上。

1.2 固体废物污染防治原则

1.2.1 固体废物污染防治的基本原则

固体废物污染环境的防治实行“减量化、资源化和无害化”原则,促进清洁生产和循环经济发展。这既是防治固体废物污染环境的基本原则,又是《固体法》的综合管理措施和要实现的目标。

(1) 减量化 是指采用适宜的手段减少固体废物数量、体积,并尽可能地减少固体废物的种类、降低危险废物的有害成分浓度、减轻或清除其危险特性等,从“源头”上直接减少或减轻固体废物对环境和人体健康的危害,最大限度地合理开发和利用资源和能源。减量化是防治固体废物污染环境的优先措施。它可通过以下 4 个途径实现。

① 合理选择和利用原材料、能源和其他资源 原料品位低、质量差,是造成固体废物大量产生的主要原因之一。如高炉炼铁时,如果入炉铁精矿品位越高,则所加造渣溶剂矿物可以越少,产生的高炉渣量越少。一些工业先进的国家采用精料炼铁,高炉渣产生量可减少一半。采用清洁能源、利用二次资源也是固体废物减量化的重要手段。

② 采用无废或低废工艺 工艺落后是固体废物产生量大的重要原因,首先应当结合技术改造,从工艺入手,采用无废或少废技术,从发生源消除或减少废物的产生。如工业固体废物的减量要从企业开展清洁生产、降低消耗、提高资源利用率着手。从深层次来说,要加大结构调整的力度,包括调整产业结构、企业结构、产品结构和原料燃料结构,关闭那些污染环境、浪费资源的企业。

③ 提高产品质量和使用寿命 任何产品都有其使用寿命,寿命的长短取决于产品的质量。质量越高的产品,使用寿命越长,废弃的废物量越少。也可通过提高物品重复利用次数减少固体废物数量,如城市居民生活中商品包装物的重复使用以及尽量减少一次性用品。

④ 废物综合利用 有些固体废物中含有很大一部分未起变化的原料或副产物,可以回收利用。仅城市垃圾中就有许多成分可以回收与再利用,如废纸类、金属类与废玻璃等都具有重要的回收价值。硫铁矿烧渣含 Fe_2O_3 33%~57%、 SiO_2 10%~18%、 Al_2O_3 26.6% 及 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。因此,应从资源开发利用的起点,综合运用一切有关的现代科技成就,进行资源综合开发和利用的全面规划和设计,从而进行系统的资源联合开发和全面利用,以创

建和实现资源的低废或无废利用生产线，这是最根本、最彻底、也是最理想的减量化过程。当前，在条件许可的情况下，力争为实现这一目标积极创造条件。

(2) 资源化 是指通过回收、加工、循环利用、交换等方式，对固体废物进行综合利用，使之转化为可利用的二次原料或再生资源。自然界中，并不存在绝对的废物。所谓废物是失去原有使用价值而被弃置的物质，并不是永远没有使用价值。现在不能利用的，也许将来可以利用。这一生产过程的废物，可能是另一生产过程的原料，所以固体废物有“放错地方的原料”之称。

一切废物，都是尚未被利用的资源，是人类拥有的有限资源的一部分，不能随意抛弃，更不能使之危害环境和生态，必须确立废物资源化的方针，寻求废物开发利用途径，使其充分发挥经济效益，达到化害为利、变废为宝，既消除其对环境的污染，又实现物尽其用。这是两全其美的环境和经济政策。

工业固体废物的综合利用，是资源化的重要环节。目前，工业发达国家出于资源危机和治理环境的考虑，已把固体废物资源化纳入资源和能源开发利用之中，逐步形成了一个新兴的工业体系：资源再生工程。如欧洲各国把固体废物资源化作为解决固体废物污染和能源紧张的方式之一，并将其列入国民经济政策的一部分，投入巨资进行开发。日本由于资源贫乏，将固体废物资源化列为国家的重要政策，当作紧迫课题进行研究。美国把固体废物列入资源范畴，将固体废物资源化作为固体废物处理的替代方案。我国固体废物资源化虽然起步较晚，但 20 世纪 90 年代已把八大固体废物资源化列为国家的重大技术经济政策之中。

固体废物资源化具有以下优势。①环境效益高。固体废物资源化可以从环境中除去某些潜在的有毒性废物，减少废物堆置场地和废物贮放量。②生产成本低。有人计算过，用废铝炼铝比用铝矾土炼铝能减少能源消耗 90%~97%，减少空气污染 95%，减少水质污染 97%。用废钢炼钢可减少资源消耗 47%~70%，减少空气污染 85%，减少矿山垃圾 97%。③生产效率高。如用铁矿石炼 1t 钢材需 8 个工时，而用废铁炼 1t 电炉钢仅需 2~3 个工时。④能耗低。用废钢炼钢比用铁矿石炼钢可节约能耗 74%，用铁矿石炼钢的能耗为 $2200 \times 10^4 \text{ kJ/t}$ ，用废钢炼钢只需 6000kJ/t。

我国是一个发展中国家，面对经济建设的巨大需求与资源、能源供应严重不足的严峻局面，推行固体废物资源化，不但可为国家节约投资、降低能耗和生产成本，并可减少自然资源的开采，还可治理环境，维持生态系统良性循环，是一项强国富民的有效措施。

(3) 无害化 是指对固体废物进行无害化处置。固体废物中虽有些可以综合利用，但最终也有相当部分废物需要进行处置，将固体废物焚烧和用其他改变固体废物的物理、化学、生物特性的方法，达到减少已产生的固体废物数量、缩小固体废物体积、减少或者消除其危险成分的活动，或者将固体废物最终置于符合环境保护规定要求的填埋场。固体废物处置不当，会造成严重的环境污染。如，填埋固体废物特别是危险废物，不符合安全填埋标准和要求，其产生的渗滤液就会污染土壤和地下水、地表水水源；焚烧处置固体废物如不符合焚烧标准和要求，会造成大气污染。有些固体废物在利用前，也需要先进行无害化处置，否则将会造成环境污染。如生活垃圾中的粪便如不经无害化处置就用于蔬菜施肥，会滋生蔬菜的寄生虫卵及大肠杆菌。因此，应当逐步提高垃圾无害化处理水平。在废物处置过程中，必须符合标准和技术要求，防止发生二次污染。特别是对危险废物及其医疗废物必须进行集中处置，确保无害化要求，确保人民群众的身体健

1.2.2 固体废物污染防治的全过程管理原则

所谓全过程管理是指对固体废物的产生、收集、运输、利用、贮存、处理、处置的全过