

杨慧芬 张 强 编著

固体废物资源化



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

固体废物资源化

杨慧芬 张 强 编著

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

固体废物资源化/杨慧芬, 张强编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 3
ISBN 7-5025-5258-8

I. 固… II. ①杨…②张… III. 固体废物-废物处理
IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 018854 号

固体废物资源化

杨慧芬 张强 编著

责任编辑: 刘俊之

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 顾淑云

封面设计: 蒋艳君

*

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)

发行电话: (010) 64982530

<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 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 24 $\frac{1}{4}$ 字数 598 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5258-8/X·392

定 价: 50.00 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

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相比还存在较大的差距，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，并强调可读性，适合从事环境工程及其相关专业的有关人员阅读，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工作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，化工出版社对本书的编写和出版给予了大力支持。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编著者

2003年12月于北京

内 容 提 要

全书共分 10 章，系统地介绍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，详细论述了不同行业固体废物资源化的具体方法和技术，例如矿业固体废物的资源化、钢铁冶金渣的资源化，化学工业固体废物的资源化等，以及城市垃圾和废旧物资的资源化也在此一并阐述。全书内容的取舍力求做到系统性、科学性和先进性的统一，并强调可读性。

本书适合从事环境工程、矿山冶金、城市环保等部门的相关专业的人员阅读和参考。

目 录

1 绪论	1
1.1 固体废物的产生与污染	1
1.1.1 固体废物的产生和分类	1
1.1.2 固体废物的污染	3
1.2 固体废物污染防治的原则	5
1.2.1 固体废物污染防治的“三化”原则	5
1.2.2 固体废物污染防治的全过程管理原则	7
1.3 固体废物资源化方法与途径	9
1.3.1 固体废物资源化方法	9
1.3.2 固体废物资源化途径	12
1.3.3 固体废物的综合处理	14
主要参考文献	15
2 固体废物资源化的预处理技术	16
2.1 固体废物的压实	16
2.1.1 压实原理	16
2.1.2 压实设备	17
2.2 固体废物的破碎	19
2.2.1 固体废物破碎原理	19
2.2.2 固体废物破碎设备	23
2.3 固体废物的脱水	30
2.3.1 浓缩脱水	30
2.3.2 机械过滤脱水	33
2.4 固体废物的热处理	36
2.4.1 固体废物的干燥脱水	36
2.4.2 固体废物的热分解	39
2.4.3 固体废物的烧成	41
2.4.4 固体废物的焙烧	43
2.4.5 固体废物的热处理设备	45
主要参考文献	47
3 固体废物资源化技术	48
3.1 固体废物的分选技术	48

3.1.1	筛选	48
3.1.2	风选	51
3.1.3	浮选	54
3.1.4	磁选	59
3.1.5	电选	62
3.1.6	摩擦与弹跳分选	64
3.1.7	光电分选	66
3.1.8	涡电流分选	67
3.1.9	固体废物分选效率的计算	67
3.2	固体废物的化学浸出技术	69
3.2.1	浸出过程的理论基础	69
3.2.2	浸出工艺与设备	72
3.2.3	浸出液中目的组分的提取和分离	77
3.3	固体废物的生物处理技术	80
3.3.1	生物冶金技术	80
3.3.2	生物浮选技术	82
3.3.3	生物转化技术	83
3.4	固体废物的热转化技术	90
3.4.1	固体废物的热解技术	90
3.4.2	固体废物的焚烧处理技术	94
3.5	固体废物制备建筑材料技术	104
3.5.1	胶凝材料生产技术	104
3.5.2	墙体材料生产技术	108
3.5.3	玻璃生产技术	110
3.5.4	铸石生产技术	112
3.5.5	建筑陶瓷生产技术	113
3.5.6	骨料生产技术	117
	主要参考文献	119
4	矿业固体废物的资源化	120
4.1	矿业固体废物的组成	120
4.1.1	含氧盐矿物	120
4.1.2	氧化物和氢氧化物矿物	124
4.1.3	硫化物及其类似化合物矿物	125
4.1.4	其他矿物	125
4.2	矿业固体废物的性质	126
4.2.1	物理性质	126
4.2.2	化学性质	130
4.3	尾矿的资源化	132
4.3.1	尾矿中 有价组分的提取	132

4.3.2	尾矿生产建筑材料	138
4.3.3	尾矿用做井下充填材料	142
4.3.4	尾矿生产化工产品	144
4.4	废石的资源化	145
4.4.1	废石中有价金属的提取	145
4.4.2	废石生产建筑材料	145
	主要参考文献	147
5	煤系固体废物的资源化	148
5.1	煤矸石的资源化	148
5.1.1	煤矸石的组成和性质	148
5.1.2	煤矸石中能源物质的回收	150
5.1.3	煤矸石生产建筑材料	153
5.1.4	煤矸石生产化工产品	158
5.2	粉煤灰的资源化	163
5.2.1	粉煤灰的组成和性质	164
5.2.2	粉煤灰中有价组分的提取	167
5.2.3	粉煤灰生产建筑材料	171
5.2.4	粉煤灰生产化工产品	177
5.2.5	粉煤灰的农业利用	183
5.3	锅炉渣的资源化	184
5.3.1	锅炉渣的组成	184
5.3.2	锅炉渣生产建筑材料	185
	主要参考文献	187
6	钢铁冶金渣的资源化	189
6.1	高炉渣的资源化	189
6.1.1	高炉渣的组成与性质	189
6.1.2	高炉渣的资源化途径	195
6.1.3	高炉渣资源化利用新技术	198
6.2	钢渣的资源化	201
6.2.1	钢渣的组成和性质	201
6.2.2	钢渣的资源化途径	204
6.3	铁合金渣的资源化	211
6.3.1	铁合金渣的组成与性质	211
6.3.2	铁合金渣的资源化途径	212
6.4	含铁尘泥的资源化	214
6.4.1	含铁尘泥的组成和性质	214
6.4.2	含铁尘泥的资源化途径	215

主要参考文献·····	216
7 有色金属冶炼渣的资源化 ·····	217
7.1 赤泥的资源化 ·····	217
7.1.1 赤泥的组成和性质 ·····	217
7.1.2 赤泥中有价金属的综合回收 ·····	218
7.1.3 赤泥生产环境材料 ·····	221
7.2 铜渣的资源化 ·····	223
7.2.1 铜渣的组成和性质 ·····	223
7.2.2 铜渣中有价金属的回收 ·····	224
7.2.3 铜渣生产建筑材料 ·····	229
7.3 铅锌渣的资源化 ·····	233
7.3.1 铅渣的资源化 ·····	233
7.3.2 锌渣的资源化 ·····	235
7.4 其他有色冶炼渣的资源化 ·····	239
7.4.1 镍渣的资源化 ·····	239
7.4.2 锡渣的资源化 ·····	241
7.4.3 锑渣的资源化 ·····	245
7.4.4 钼渣的资源化 ·····	246
7.4.5 钨渣的资源化 ·····	248
主要参考文献·····	249
8 化学工业固体废物的资源化 ·····	250
8.1 硫酸渣的资源化 ·····	250
8.1.1 硫酸渣的来源与组成 ·····	250
8.1.2 硫酸渣中有价金属的回收 ·····	251
8.1.3 硫酸渣用于生产建筑材料 ·····	255
8.2 铬渣的资源化 ·····	256
8.2.1 铬渣的来源与组成 ·····	256
8.2.2 铬渣的熔融固化与利用 ·····	257
8.2.3 铬渣的其他资源化方法 ·····	260
8.3 氨碱法制碱废渣的资源化 ·····	261
8.3.1 氨碱废渣的来源与组成 ·····	261
8.3.2 制碱废渣的资源化途径 ·····	262
8.4 磷肥工业固体废物的资源化 ·····	264
8.4.1 磷石膏的资源化 ·····	264
8.4.2 黄磷炉渣和泥磷的资源化 ·····	267
8.5 电石渣的资源化 ·····	269
8.5.1 电石渣的来源与组成 ·····	269
8.5.2 电石渣的资源化利用途径 ·····	269

8.6 其他化工废物的资源化	270
8.6.1 废催化剂的资源化	271
8.6.2 硼泥的资源化	272
8.6.3 硫酸铝废渣的资源化	274
8.6.4 感光材料废物的资源化	275
主要参考文献	277
9 城市垃圾的资源化	278
9.1 城市垃圾的组成和性质	278
9.1.1 城市垃圾的组成与分类	278
9.1.2 城市垃圾的性质	280
9.2 城市垃圾的收运系统	284
9.2.1 城市垃圾的收集	284
9.2.2 城市垃圾的运输	287
9.2.3 城市垃圾的转运	291
9.3 城市垃圾的资源化系统	292
9.3.1 城市垃圾的分选	292
9.3.2 城市垃圾的焚烧	298
9.3.3 城市垃圾的堆肥化	316
9.3.4 城市垃圾的厌氧发酵	322
9.4 城市垃圾资源化新技术	327
9.4.1 垃圾焚烧的发展趋势	327
9.4.2 垃圾生物处理新技术	329
主要参考文献	331
10 废旧物资的资源化	332
10.1 废金属的资源化	332
10.1.1 废钢铁的回收	332
10.1.2 废有色金属的回收	334
10.2 废纸的资源化	336
10.2.1 废纸再生工序与设备	336
10.2.2 废纸脱墨工艺	341
10.2.3 废纸处理新技术	343
10.3 废塑料的资源化	345
10.3.1 废塑料的种类与来源	346
10.3.2 废塑料的分选	348
10.3.3 废塑料生产建筑材料	350
10.3.4 废塑料热解油化技术	353
10.4 废橡胶的资源化	356
10.4.1 废橡胶的高温热解	356

10.4.2 废橡胶生产胶粉.....	359
10.5 废电池的资源化.....	362
10.5.1 废电池的种类与组成.....	362
10.5.2 废电池中提取有价金属技术.....	365
10.6 电子废物的资源化.....	369
10.6.1 电子废物的来源与组成.....	369
10.6.2 电子废物的回收技术.....	371
10.6.3 日光灯的资源化.....	372
10.6.4 报废汽车的回收利用.....	373
主要参考文献.....	374

绪 论

固体废物是指人类在生产、生活过程中产生的对所有者不再具有使用价值而被废弃的固态和半固态物质。一般，人类在生产过程中产生的固体废物俗称废渣（residue），在生活活动中产生的固体废物则称为垃圾（refuse）。

1.1 固体废物的产生与污染

固体废物来源于人类生产过程和生活过程的各个方面，由于排放量的不断增加，对环境的污染已日益加重。

1.1.1 固体废物的产生和分类

无论是生产还是生活过程产生的废物种类均多种多样，且组成复杂。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。

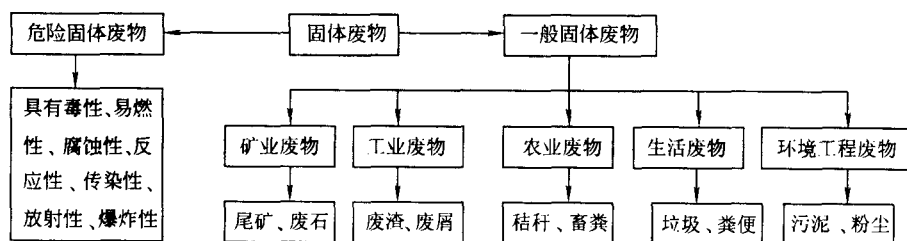


图 1-1 固体废物分类示意图

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

1.1.1.1 城市生活垃圾

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，见表 1-1。

据统计，日本最近 10 年垃圾平均每日抛弃量增加一倍，英国城市垃圾量 15 年增加了一倍。美国 1970~1978 年因经济萧条，生活垃圾增长不快，仅为 2%；1978 年后，随着经济复苏，增长率达 4% 以上，目前达到 5%。欧盟国家生活垃圾平均增长率为 3%，德国为 4%，

表 1-1 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	产生于城镇居民生活过程	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

瑞典为 2%，韩国生活垃圾增长率达 11%。我国城市垃圾年产量已达 1.5 亿吨，并以 8%~10% 的年增长率在递增。

1.1.1.2 工业固体废物

表 1-2 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 1-2 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、废织物等
其他		金属碎屑、电镀污泥、建筑废料等

全世界每天新增固体废物 419.49 万吨，年产量平均增长率达到 8.24%，高出世界经济平均增长速度 2.5~3 倍。工业废物主要发生在采掘、冶金、煤炭、火力发电四大部门，其次是化工、石油、原子能等工业部门。表 1-3 所示为李金惠等人预测的我国县及县以上工业企业固体废物排放量数值。

表 1-3 李金惠等人预测的我国县及县以上工业企业固体废物排放量数值/万吨

年度	采掘业	电力、煤气及水的生产供应业	黑色金属冶炼及压延业	化工原料及化学制品制造业	有色金属冶炼及压延业	食品、烟草及饮料制造业	非金属矿物制造业	机械、电子、电气设备制造业
2005 年	34721	14420	12699	6699	2805	2230	1411	754
2010 年	37846	14602	12857	7741	3080	2245	1424	642
2015 年	40972	14662	12909	8783	3355	2260	1429	546

1.1.1.3 危险废物

危险废物，又称有害废物，主要是指其有害成分能通过环境媒介，使人引起严重的、难以治愈的疾病和死亡率增高的固体废物，或指由于对其管理、贮存、运输、处置和处理不善

而能导致环境质量恶化，从而对人体健康造成明显的或潜在的危害的固体废物。一般，具有毒性、腐蚀性、易燃性、反应性、放射性和传染性等特性之一的固体废物均属有害固体废物。对上述有害特性，在各国的有关法规中，均有具体的规定和说明。如美国对反应性有害废物的规定是：通常情况下不稳定，极易发生剧烈化学反应，与水猛烈反应，或形成爆炸性混合物，或产生有毒气体、臭气、含氰化物或硫化物，在常温常压下能发生爆炸反应，在加热或引发时可爆炸。对热或机械冲击不稳定等。

危险废物同一般固体废物的区别就在于其特有的危害性。有害与无害是相对而言的，一般固体废物并非无任何危害，只是与有害固体废物相比，其危害性较小罢了。因此，划分出有害固体废物需要有一定的依据和标准，通常应经过试验鉴别，但这项工作十分复杂而在不少厂、点难于实现。因而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，还根据科学技术的发展，不断加以修正补充。对有条件进行实际监测鉴别或必须的判定，均应按技术标准规定的方法作适当的处理。

凡已判定属危险废物者，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 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。

近年来，一些发达国家由于处置危险废物在征地、投资、技术、环保等方面的困难，有的不法厂商千方百计将自己的危险废物向不发达国家出口，致使进口国深受其害。为了控制危险废物的污染转嫁，联合国环境署主持于 1989 年 3 月 22 日通过了《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》（简称巴塞尔公约）。我国政府于 1991 年 9 月批准了该公约。

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，如城市垃圾等。但废电池、废日光灯等危险废物即使数量不大，也会对环境造成严重污染。

1.1.2.1 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。

1.1.2.2 固体废物的污染危害

(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 1×10^4 t 渣约占地 1 亩（1 亩 = 666.7 m²，下同）。土地是十分宝贵的资源，尤其是耕地，我

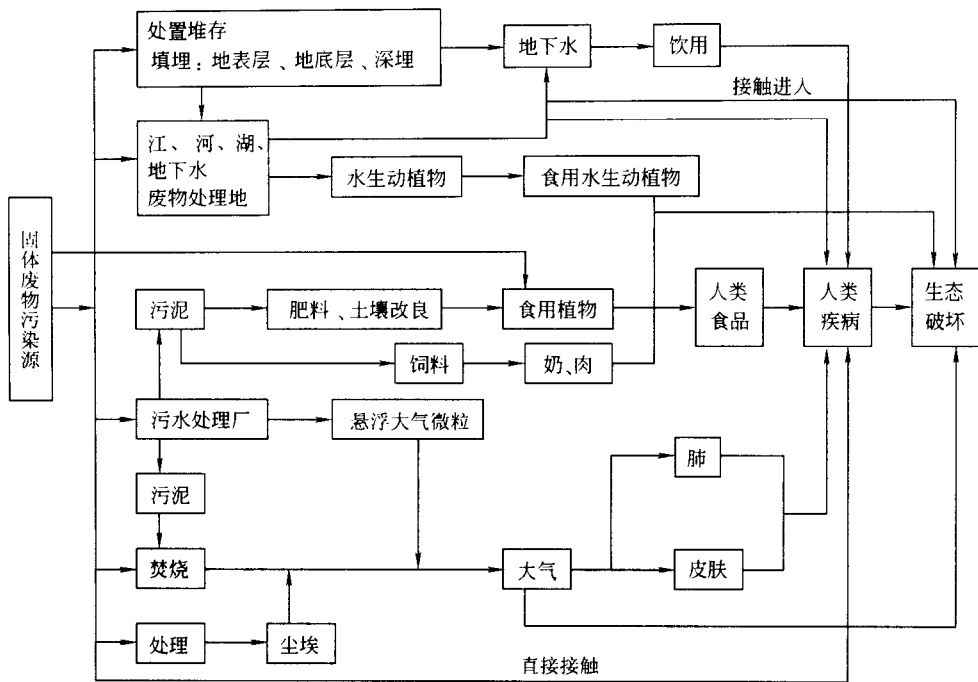


图 1-2 固体废物的污染途径

国虽幅员辽阔，耕地却十分紧张，人均不到 1km^2 ，比世界平均少 3 倍。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。例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，土壤中有有害成分的存在，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进入水体或随风飘移落入水体，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。如粉煤灰堆遇 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 SO₂ 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，自燃发火的有 40 座以上。陕西铜川市矸石堆自燃产生的 SO₂ 每天达 20t 以上。

1.2 固体废物污染防治的原则

1996 年 4 月 1 日起我国施行《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（以下简称固体废物法），其中首先确立了固体废物污染防治的“三化”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。

1.2.1 固体废物污染防治的“三化”原则

固体废物污染防治实施“减量化、资源化和无害化”原则。从“无害化”走向“资源化”，“资源化”以“无害化”为前提，“无害化”和“减量化”以资源化为条件。

1.2.1.1 减量化

减量化就是通过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与能源。因此，减量化是防治固体废物污染环境的优先措施。它可通过以下四个途径实现。

(1) 选用合适的生产原料 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。例如高炉炼铁时，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。例如，传统的苯胺生产工艺是采用铁粉还原法。该法生产过程产生大量含硝基苯、苯胺的铁泥和废水，造成环境污染和巨大的资源浪费。南京化工厂开发的流化床气相加氢制苯胺工艺，便不再产生铁泥废渣，固体废物产生量由原来每吨产品 2500kg 减少到每吨产品 5kg，还大大降低了能耗，是一个很好的典型。

(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。

(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 Fe₂O₃ 33%~57%、SiO₂ 10%~18%、Al₂O₃ 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。

1.2.1.2 资源化

资源化就是采用适当的技术从固体废物中回收物质和能源，加速物质和能源的循环，再创经济价值的方法。自然界中，并不存在绝对的废物，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。

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，但在20世纪90年代就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。目前，日本、西欧各国固体废物资源化率已达60%左右，我国固体废物资源化率仍很低。

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钢需8个工时，而用废铁炼1t电炉钢只需要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 $2200 \times 10^4 \text{ kJ}/(\text{kg}/\text{t})$ ，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。

1.2.1.3 无害化

固体废物一旦产生，就得千方百计设法利用，使之资源化，发挥其经济效益，这是上策。但由于科学技术水平或其他限制，当前总会有些固体废物无法或不可能利用，对这样的固体废物，尤其是其中的有害废物，必须无害化，以避免造成环境问题和公害。

因此，无害化是指对已产生又无法或暂时尚不能资源化利用的固体废物，经过物理、化学或生物方法，进行对环境无害或低危害的安全处理、处置，达到废物的消毒、解毒或稳定化，以防止并减少固体废物的污染危害。对不同的固体废物，可根据不同的条件，采用各种