



固体废物

资源化工程原理

马丽萍 主 编
曾向东 宁 平 黄小凤 副主编



GUTI FEIWU
ZIYUANHUA
GONGCHENG
YUANLI

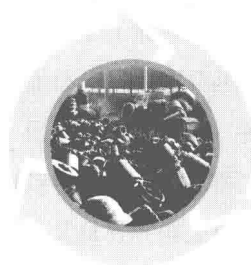


化学工业出版社

固体废物

资源化工程原理

马丽萍 主 编
曾向东 宁 平 黄小凤 副主编



GUTI FEIWU
ZIYUANHUA
GONGCHENG
YUANLI



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以固体废物收集、运输、储存、处理、利用和最终处置等全过程污染控制和资源化为主线,阐述了固体废物资源化工程涉及的基本原理和方法,并用实际工程案例说明了这些基本原理和方法在固体废物资源化工程中的应用思路或途径。

全书共分9章。第1章介绍了固体废物的来源、环境问题、资源化现状及发展趋势;第2章介绍了固体废物资源化工程的基础理论,颗粒及粉体的基本知识;第3章至第7章介绍了固体废物在收集、储存运输、提取与分离、转化与化学分离、能量回收利用等过程与环节的基本原理、技术方法和主要设备;第8章介绍了固体废物资源化的过程监控;第9章介绍了固体废物资源化的工程案例。

本书可作为资源循环科学与工程专业、环境工程专业本科教材,也可供从事环境保护、资源开发和利用、固废处理等相关行业的研发人员和工程技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

固体废物资源化工程原理/马丽萍主编. —北京:化学工业出版社, 2016.5

ISBN 978-7-122-26545-6

I. ①固… II. ①马… III. ①固体废物利用-研究
IV. ①X705

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第052938号

责任编辑:卢萌萌 董琳

装帧设计:王晓宇

责任校对:边涛

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:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张30 $\frac{3}{4}$ 字数831千字 2016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>

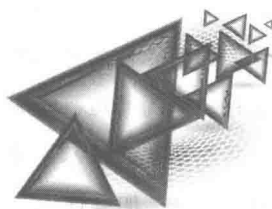
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定价:98.00元

版权所有 违者必究

前言

Foreword



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。实际上，在特定的生产或生活过程中，人们对原材料、半成品和制成品等物料的使用通常只是利用了其中的某种或某些组分，其余部分则因不再具有利用价值而被视为“废物”。但这种“废物”往往含有其他生产或生活过程所需的有用组分，经过必要的处理后，可转化为其他生产或生活过程的原材料、半成品和制成品，甚至可直接使用，变废为宝，实现废物的资源化。随着经济的快速发展和社会的不断进步，人们对资源种类和数量的需求也越来越大。当自然资源日趋枯竭和匮乏之时，废物资源化就成为一种必然选择。但废物资源化的实现，需要借助于工程技术手段。

固体废物资源化工程是由多学科相互交融而产生的一门综合性科学技术，涉及物理、化学、物理化学、生物化学等基本原理，以及质量、热量、动量传递和化学反应等基本过程。它既与化学工程、材料科学、冶金工程、生物工程等学科的理论与实践密不可分，又具有环境工程学科自身的特点。

2002年，经教育部批准，昆明理工大学在全国高校中率先创办再生资源科学与技术专业，并正式招收本科生。此后，多个高校相继申办了再生资源科学与技术专业。昆明理工大学再生资源科学与技术专业经过几年的建设，逐步形成专业特色鲜明、成绩突出的本科专业。2009年以宁平教授为核心的团队以其“创建及规范再生资源科学与技术专业的探索与实践”业绩获国家级教学成果一等奖。2012年教育部正式将“再生资源科学与技术”专业更名为“资源循环科学与工程”。目前全国已有近30所高校开办此专业，还有部分高校正在规划申办此专业，以适应建设资源节约型和环境友好型社会的发展趋势和专业人才需求。

“固体废物资源化工程”作为资源循环利用科学与工程专业的主干课程之一，其教材建设显得尤为重要。但本课程的教学目的和内容决定了难以直接选用传统学科的相关教材。因此，有必要在认真总结再生资源科学与专业10多年教学经验和研究成果的基础上，编写一本适合资源循环科学与工程专业特色的固体废物资源化工程教科书，用以满足本专业本科教学的需要。

本书在编写上注重体现固体废物资源化的主要环节和过程特色，一方面着重介绍

各过程或环节所涉及的基本理论和基础知识，并引导读者应用这些理论知识去分析和研究固体废物资源化的核心和本质问题；另一方面重点突出环境工程学科及资源循环科学与工程专业的特点，增加不同固体废物资源化的实际工程案例及反映学科发展前沿的有关新理论和新技术，便于读者进一步了解、熟悉和掌握固体废物资源化工程的基本原理和方法，加强理论和实际的联系，从而增强发现问题、分析问题和解决问题的能力。

本书由马丽萍教授策划和编写。曾向东教授参与策划和教材大纲的编写及拟定，其中，黄小凤副教授负责第3章的编写，宁平教授对全书的编写和定稿提出了指导意见。书稿相关资料的整理得到本课题组全体研究生的鼎力协助，郑大龙、彭思懿、李春情、颜晓丹、连艳、朱斌、马贵鹏等同学参加了本书的部分编写、录入和制图工作。在此向他们表示感谢！

本书的编写也参考借鉴了环境工程、化学工程、材料科学、冶金工程等多门学科领域诸多前辈和同仁的经典著作、教材和研究成果中的精彩著述。书中引用和所列参考文献可能挂一漏万，还望得到原作者的谅解，并向所有原作者致以深深的敬意。

本书的出版得到了化学工业出版社的大力支持和昆明理工大学再生资源科学与技术云南省重点专业建设和特色专业建设资金的资助。在此深表谢意！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏、不足，敬请各位前辈、同仁及其他读者批评指正。

编者

2015年5月于昆明理工大学

目录

CONTENTS

Chapter 1

第 1 章 绪论	1
1.1 固体废物来源及分类	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 来源	2
1.1.3 分类	2
1.2 固体废物资源化及其目的意义	3
1.2.1 固体废物的污染途径	3
1.2.2 固体废物污染危害	3
1.2.3 污染物的控制	6
1.2.4 固体废物资源化	7
1.3 固体废物资源化现状及发展趋势	8
1.3.1 我国工业固废(含危险固废)产生量大、增长快	8
1.3.2 环保约束力度加大,循环经济得到政策大力支持	9
1.3.3 废物资源化科技工程	10
1.3.4 废物资源化全过程控制支撑技术现状与趋势	12
1.3.5 资源化新思路——仿生群乐体	13
参考文献	13

Chapter 2

第 2 章 固体废物资源化工程基础	14
2.1 颗粒物的物理性质	14
2.1.1 颗粒物形状	14
2.1.2 颗粒物粒径和粒度分布	17
2.1.3 颗粒物密度	25
2.1.4 颗粒间的作用力	26
2.1.5 颗粒物的团聚性与分散	29
2.2 颗粒物的流体力学特性	33
2.2.1 颗粒的堆积	33
2.2.2 颗粒的压缩性	38
2.3 颗粒物(粉体)静力学	39
2.3.1 粉体的基本类型	39
2.3.2 粉体的摩擦性	39
2.3.3 粉体的流动性	43
2.3.4 粉体的压力计算	44
2.4 颗粒物(粉体)动力学	45
2.4.1 粉体的流动流型	45
2.4.2 应变莫尔(Mohr)圆	48
思考题	51

参考文献	52
------------	----

Chapter 3

第 3 章 固体废物的收集和分选	53
3.1 废物的收集	53
3.1.1 工业固废的收集	53
3.1.2 城市固废的收集	54
3.1.3 农业固废的收集	56
3.2 废物的分选	59
3.2.1 筛分	59
3.2.2 重力分选	62
3.2.3 电力/磁力分选	64
3.2.4 浮选	65
3.2.5 其他分选方法	66
思考题	67
参考文献	67

Chapter 4

第 4 章 固体废物的储存与输送	68
4.1 废物的储存与堆放	68
4.1.1 料仓及料斗	68
4.1.2 渣场和尾矿库	73
4.2 废物的输送	79
4.2.1 流态化基础	79
4.2.2 气力输送	102
4.2.3 机械输送	108
思考题	120
参考文献	122

Chapter 5

第 5 章 固体废物的提取与富集	123
5.1 废物的浸取	123
5.1.1 浸取理论与方法	123
5.1.2 浸取操作的计算	127
5.1.3 浸取设备	130
5.2 废物的吸附	133
5.2.1 吸附原理和吸附剂	133
5.2.2 吸附平衡和动力学	139
5.2.3 吸附富集过程	153
5.3 废物的离子交换	164
5.3.1 离子交换原理	164
5.3.2 离子交换树脂	172
5.3.3 离子交换过程	174
5.4 废物的结晶	176
5.4.1 结晶原理	176
5.4.2 结晶过程	197
5.5 废物的絮凝沉淀	206

5.5.1 絮凝原理	206
5.5.2 絮凝动力学	207
5.5.3 絮凝分类	210
5.5.4 絮凝剂	211
5.5.5 絮凝工艺	213
思考题	215
参考文献	216

Chapter 6

第 6 章 固体废物的转化与分离	217
6.1 废物的转化	217
6.1.1 热转化	217
6.1.2 生物转化	238
6.2 氧化还原	243
6.2.1 火法氧化还原	243
6.2.2 湿法氧化还原	255
6.2.3 催化氧化还原	263
6.3 废物的分离	266
6.3.1 物理分离	266
6.3.2 化学分离	301
6.3.3 膜分离	324
思考题	331
参考文献	332

Chapter 7

第 7 章 固体废物能量的回收与利用	334
7.1 热力学基础	334
7.1.1 热力学第一定律	334
7.1.2 热力学第二定律	340
7.2 热力循环与能量转换	352
7.2.1 蒸气动力循环	352
7.2.2 再热循环	356
7.2.3 回热循环	358
7.2.4 热电联产循环	360
7.2.5 气体动力循环	362
7.2.6 制冷循环	374
7.2.7 其他热能的转化与利用	383
7.3 可再生能源的类型及利用	385
7.3.1 可再生能源的类型	385
7.3.2 可再生能源的利用	402
思考题	404
参考文献	406

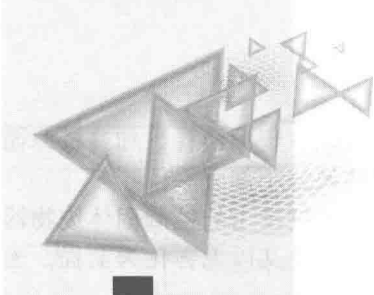
Chapter 8

第 8 章 固体废物资源化的过程监控	407
8.1 过程监控体系	407
8.1.1 监控体系的基本类型	407

8.1.2 监控体系的建设及运行	409
8.2 过程监控方法	414
8.2.1 监控程序	414
8.2.2 监控内容	416
8.2.3 监控手段	417
8.2.4 固体废物样品的采集和制备	420
8.2.5 危险特性的监测	424
8.2.6 生活垃圾特性分析	426
思考题	429
参考文献	429

Chapter 9

第 9 章 固体废物资源化工程案例	431
9.1 工业固废资源化案例	431
9.1.1 冶金固废	431
9.1.2 煤化工固废	437
9.1.3 磷化工固废	449
9.1.4 石油化工固废	454
9.1.5 采矿业固废	457
9.2 城市固废资源化案例	460
9.2.1 生活垃圾	460
9.2.2 建筑垃圾	469
9.2.3 电子废物	473
9.3 农业固废资源化案例	479
思考题	482
参考文献	482



第1章 | 绪论

1.1 固体废物来源及分类

1.1.1 基本概念

今天,人类享受着现代化带来的物质文明的同时,又将大量的各种废弃物抛向人类的生存空间,每年都有数百亿吨的各种固体、液体和气体废物排出,不仅占用大量土地,而且严重地污染了环境,破坏了生态平衡。

早在 21 世纪初,许多有识之士就已预见到与工业化社会结伴而来的资源危机和环境恶化的发展趋势,逐步引起公众的普遍关注。到 21 世纪下半叶,各工业发达国家迫于资源危机和环境恶化的巨大压力,开展了固体废物开发利用事业的研究,并把它视为第二矿业,从而使其成为一个新兴的工业体系。固体废物处理与处置工程也发展起来成为一门新兴应用技术型学科,即再生资源工程。由于其诞生不久,有些术语人们尚不熟悉,为了学习、交流和应用上的方便,下面对一些专有名词做一个简要介绍。

(1) 固体废物 (solid wastes)

什么是固体废物,人们的理解也完全不一致。其实,废与不废也是相对的,它与技术水平和经济条件密切相关,在有些地方或国家被看作废物的东西,在另一个地方可能就是原料或资源。过去认为是废物的东西,由于技术的发展,现在可能已不是废物。因此,按照《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的规定,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、半固态废弃物质。其中,包括从废气中分离出来的固体颗粒、垃圾、炉渣、废制品、破损器皿、残次品、动物尸体、变质食品、污泥、人蓄粪便等。

(2) 固体废物处理 (treatment of solid wastes)

指通过物理、化学、生物等不同方法,使固体废物转化为适于运输、储存、资源化利用以及最终处置的一种过程。

(3) 固体废物处置 (disposal of solid wastes)

指最终处置或安全处置,是解决固体废物的归宿问题,如堆置、填埋、海洋投弃等。

(4) 减量化

指通过适宜的手段减少固体废物的数量和减少其容积。这一任务要通过两条途径:一是通过改革工艺、产品设计或改变社会消耗结构和废物发生机械来减少固体废物的生产量;二是通过压缩、打包、焚烧和处理利用来减容。

(5) 无害化

指将固体废物通过工程处理,达到不损害人体健康,不污染周围自然环境的目的。

(6) 资源化

是指通过各种方法从固体废物中回收有用组分和能源，旨在减少资源消耗、加速资源循环，保护环境。广义的资源化包括物质回收、物质转换和能量转换三个部分。

固体废物的减量化、无害化和资源化是我国 20 世纪 80 年代中期提出的控制固体废物污染的三大技术政策。今后的发展趋势是从无害化走向资源化，资源化又以无害化为前提。无害化和减量化应以资源化为条件。这就是三者间的辩证关系。

1.1.2 来源

固体废物的来源大体上可分为两类：一是生产过程中所产生的废物（不包括废气和废水），称为生产废物；另一类是在产品进入市场后在流动过程中或使用消费后产生的固体废物，称为生活废物。生活废物的产生量随季节、生活水平、生活习惯、生活能源结构、城市规模和地理环境等因素而变化。工业发达国家城市垃圾产生量大致以每年 2%~4% 的速度增长，其主要产生源是冶金、煤炭、火力发电三大部门，其次是化工、石油、原子能等工业部门。日本最近 10 年平均每日垃圾抛弃量增加一倍，英国城市垃圾量 15 年增加了一倍。美国 1970~1987 年因经济萧条，生活垃圾增长不快，仅为 2%。1987 年后，随着经济复苏，增长率达 4% 以上，目前达到 5%。欧洲经济共同体国家生活垃圾平均增长率为 3%，德国为 4%，瑞典为 2%。从各国情况看，城市垃圾量的增长明显高于人口的增长速度，在国民经济复苏时期，垃圾量增长特别快。我国现在就处在这个时期，垃圾增长率每年约按 9% 以上的速度增加，全国城市垃圾年产量已达 $1.42 \times 10^8 \text{ t}$ ，我国垃圾组成的基本特点是经济价值较低，无机成分多于有机成分，不可燃成分高于可燃成分（据统计，我国城市垃圾中有机成分约为 27%，无机成分约为 67%），所以热值低，又因我国城市垃圾是混合收集，故成分复杂。因此，我国城市垃圾处理方法与国外垃圾处理方法不同，有其特殊性和更大的难度。

1.1.3 分类

固体废物分类方法很多，按组成可分为有机废物和无机废物；按其危害状况可分为有害废物（指腐蚀、腐败、剧毒、传染、自燃、锋刺、爆炸、放射性等废物）和一般废物；按其形状可分为固体废物（粉状、粒状、块状）和泥状废物（污泥）；通常按其来源分为工业固体废物、矿业固体废物、农业固体废物、有害固体废物和城市垃圾五类。本书按固体废物的来源进行分类（见表 1-1）。

表 1-1 固体废物的分类、来源和主要组成物

分类	来源	主要组成物
矿业废物	矿山选冶厂等	废石、尾矿、金属、废木、砖瓦、水泥、沙石等
工业废物	冶金、交通、金属结构等工业	金属、矿渣、砂石、模型、陶瓷边角料、黏结剂、塑料、橡胶、烟尘、各种废旧建筑材料等
	煤炭	矿石、木材、金属、煤矸石等
	食品加工	肉类、谷物、果类、蔬菜、烟草
	橡胶、皮革、塑料等工业	橡胶、皮革、塑料、布、纤维、染料、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
	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、塑料、橡胶、化学药剂、研磨料、绝缘材料
	纺织服装业	布头、纤维、金属、塑料、橡胶等
	建筑材料	金属、水泥、黏土、陶瓷、石膏、砂石、纸
	电力工业	炉渣、粉煤灰、烟灰

分类	来源	主要组成物
城市垃圾	居民生活	食物垃圾、植物残余、金属、玻璃、陶瓷、塑料、燃料、灰渣、碎砖瓦、废器具、粪便、杂品
	商业、机关	管道、沥青、建筑材料、废汽车、废电器、含有易燃、易爆、腐蚀性、放射性的废物、各种生活废物
	市政维护、管理部门	碎砖瓦、树叶、死禽兽、金属锅炉灰、污泥、脏土等
农业废物	农林	稻草、秸秆、蔬菜、水果、果树枝条、落叶、废塑料、禽粪、农药
	水产	腥臭死禽畜、腐烂鱼、虾、贝壳、污泥等
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、建筑材料等
	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

注：据振明、刘天齐等资料综合统计。

矿业固体废物主要是指来自矿业开采和矿石洗选过程中所产生的废物，主要包括废石和尾矿。工业固体废物是来自各个工业生产部门的生产和加工过程及流通中所产生的废渣、粉尘、碎屑、污泥等。产生废物的主要生产部门有冶金、化工、煤炭、电力、交通、轻工、石油等。农林业固体废物是指来自农林生产和禽畜饲养过程中所产生的废物。有害固体废物是指自核工业、放射性医疗科学研究等具有放射性危害的废物以及国外称之为危险固体物的一切具有毒性、易燃性、爆炸性、反应性、腐蚀性、传染性的物质，因而可能对人类的生活环境造成危害的废物。城市垃圾是指来自居民的消费、商业、市政建设和市政维护过程中所产生的废物。

国外固体废物的分类，在美国大致与我国相似，而日本通常分为产业废物和一般废物两大类。

1.2 固体废物资源化及其目的意义

1.2.1 固体废物的污染途径

与废水、废气相比，固体废物具有几个显著的特点。首先，固体废物是各种污染物的终态，特别是从污染控制设施排出的固体废物，浓集了许多污染成分。人们却往往对这类污染产生一种稳定、污染慢的错觉；第二，在自然条件影响下，固体废物中的一些有害成分会转入大气、水体和土壤中，参与生态系统的物质循环，具有潜在的，长期的危害性。因此，在固体废物，特别是有害固体废物处理处置不当时，能通过各种途径危害人体健康。例如，工矿业废物所含化学成分能形成化学物质型污染，生活垃圾是多种病源微生物的产生地，能形成病源体型污染。其传播疾病途径如图 1-1 所示。

1.2.2 固体废物污染危害

固体废物对人类环境的危害表现在以下五个方面。

(1) 侵占土地

固体废物产生以后，需占地堆放，堆积量越大，占地越多。据计算，每堆积 $1 \times 10^4 \text{ t}$ 渣约需占地 1 亩^❶。据统计，一些国家固体废物侵占土地为：前苏联 $10 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，美国 $60 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，波兰 $50 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。到 1994 年为止，我国仅工矿业废渣、煤矸石、尾矿堆累积量

❶ 1 亩 = $1/15 \text{ hm}^2$ 。

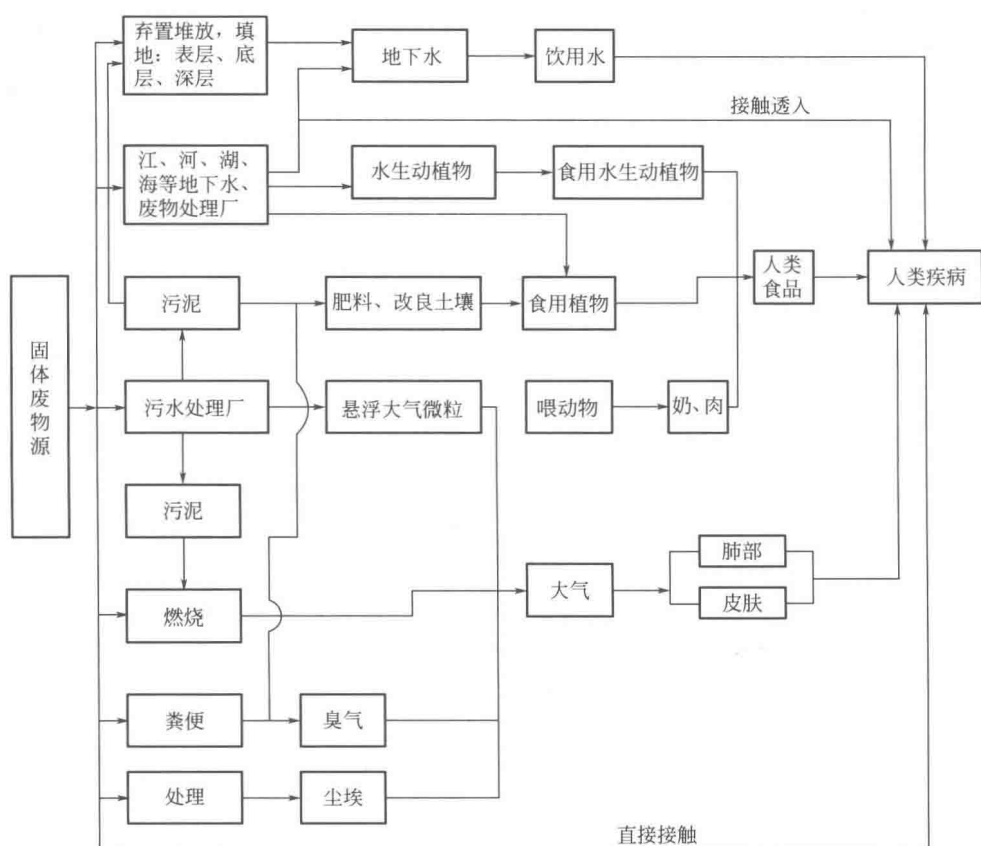


图 1-1 固体废物传播疾病的途径

就达 66 亿多吨，占地 90 多万亩。我国许多城市利用市郊设置垃圾堆场，也侵占了大量农田。这种垃圾任意侵占农田的现象，在我国许多城市相当普遍。随着生产的发展和消费的增长，垃圾占地的矛盾日益尖锐。

(2) 污染土壤

废物堆置，其中的有害组分容易污染土壤。如果直接利用来自医院、肉类联合厂、生物制品厂的废渣作为肥料施入农田，其中的病菌、寄生虫等，就会使土壤污染。人与污染的土壤直接接触，或生吃此类土壤上种植的蔬菜、瓜果，就会致病。当污染土壤中的病原微生物与其他有害物质随天然降水径流或渗流进入水体后就可能进一步危害人的健康。

工业固体废物还会破坏土壤内的生态平衡。土壤是许多细菌、真菌等微生物聚集的场所。这些微生物形成了一个生态系统，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。工业固体废物，特别是有害固体废物，经过风化、雨雪淋溶、地表径流的侵蚀，产生高温和毒水或其他反应，能杀灭土壤中的微生物，使土壤丧失腐解能力，导致草木不生。例如，我国内蒙古包头市的某尾矿堆积量已达 $1500 \times 10^4 \text{ t}$ ，使得下游一个乡的大片土地被污染，居民被迫搬迁。

固体废物中的有害物质进入土壤后，还可能在土壤中发生积累。我国西南某市郊因农田长期施用垃圾，土壤中的汞浓度已超过本底 8 倍，铜、铅分别增加 87% 和 55%，从而对作物的生长等带来危害。

来自大气层核爆炸实验生产的散落物，以及来自工业或科研单位的放射性固体废物，也能在土壤中积累，并被植物吸收，进而通过食物进入人体。

20 世纪 70 年代, 美国在密苏里州, 为了控制道路粉尘, 曾把混有四氯二苯一对二甲苯 (2,3,7,8-TCDD) 的淤泥废渣当作沥青铺洒路面, 造成多处污染。土壤中 TCDD 浓度高达 300×10^{-9} , 污染深度达 60cm, 致使牲畜大批死亡, 人们备受多种疾病折磨。在居民的强烈要求下, 美国环保局同意全市居民搬迁, 并花 3300 万美元买下该城镇的全部地产, 还赔偿了市民的一切损失。

据 1992 年统计, 我国受工业废渣污染的农田已超过 $90 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

(3) 污染水体

固体废物随天然降水或地表径流进入河流、湖泊, 或随风飘迁落入河流、湖泊, 污染地面水并随沥水渗透到土壤中, 进入地下水, 使地下水污染; 废渣直接排入河流, 湖泊或海洋, 能造成更大的水体污染。

美国的 Love canal 事件是典型的固体废物污染地下水事件。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 Love canal 废河谷填埋了 2800 多吨桶装有害废物, 1953 年填平覆土, 在上面兴建了学校和住宅。1987 年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, 包括剧毒的二噁英。1987 年, 美国总统颁布法令, 封闭了住宅, 关闭了学校, 710 多户居民迁出避难, 并拨款 2700 万美元进行补救治理。

生活垃圾未经无害化处理任意堆放, 也已造成许多城市地下水污染。哈尔滨市韩家洼子垃圾填埋场的地下水浓度、色度和锰、铁、酚、汞含量及细菌总数、大肠杆菌数等都大大超标, Mn 含量超标 >3 倍, Hg >20 倍, 细菌总数 >4.3 倍, 大肠杆菌 >11 倍。贵阳市两个垃圾堆场使其附近的饮用水源大肠杆菌值超过国家标准 70 倍以上, 为此, 市政府拨款 20 万元治理, 并关闭了这两个堆放场。

德国莱茵河地区的地下水因受废渣沥水污染, 导致自来水厂有的关闭, 有的减产。

目前, 一些国家把大量固体废物投入海洋, 海洋正面临着固体废物潜在的污染威胁。1990 年 12 月, 在伦敦召开的消除核工业废料国际会议上公布的数字表明, 近 40 年来, 主要由美、英两国在大西洋和太平洋北部的 50 多个“墓地”大约投弃过 46×10^{15} 贝克 (Bq) 放射性肥料, 尤其是美国倾倒最多, 仅 1968 年美国就向太平洋、大西洋和墨西哥湾投弃了各种固体废物 $4800 \times 10^4 \text{ t}$ 以上。1975 年, 美国向 153 处海洋垃圾投置区投弃了市政及工业固体废物 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 以上, 对海洋造成潜在的污染危害。

即使无害的固体废物排入河流、湖泊, 也会造成河床淤塞, 水面减少, 水体污染, 甚至导致水利工程设施的效益减少或废弃。我国沿河流、湖泊、海岸建立的许多企业, 每年向附近水域排放大量灰渣。仅燃煤电厂每年向长江、黄河等水系排放灰渣就达 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 以上。有的电厂的排污口外的灰滩已延伸到航道中心, 灰渣在河道中大量淤积, 从长远看对其下游的大型水利工程是一种潜在的威胁。

(4) 污染大气

一些有机固体废物在适宜的温度和湿度下被微生物分解, 能释放出有害气体, 以细粒状存在的废渣和垃圾, 在大风吹动下会随风飘移, 扩散到远处; 固体废物在运输和处理过程中, 也能产生有害气体和粉尘。

煤矸石自燃会散发大量的二氧化硫。辽宁、山东、江苏三省的 112 座煤矸石堆中, 自燃起火的有 42 座。陕西铜川市由于煤矸石自燃产生的二氧化硫量达 37 t/d 。美国 3/4 的垃圾堆散发臭气造成大气污染。华盛顿附近有一垃圾堆冒烟达 20 多年。

采用焚烧法处理固体废物已成为有些国家大气污染的主要污染源之一。据报道, 美国的几千座固体废物焚烧炉中有 2/3 由于缺乏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 $0.56\text{g}/\text{m}^3$ 。据 1970 年统计,美国大气污染物中有 42% 来自固体废物处理装置。

我国的部分企业,采用焚烧法处理塑料排出 Cl_2 、 HCl 和大量粉尘,也造成严重的大气污染。

(5) 影响环境卫生

我国的工业固体废物的综合利用率很低。城市垃圾、粪便清运能力不高,无害化处理率 1992 年仅达 28.3%,很大部分工业废渣、垃圾堆放在城市的一些死角,严重影响城市容貌和环境卫生,对人的健康构成潜在威胁。

1.2.3 污染物的控制

我国固体废物污染控制工作开始于 20 世纪 80 年代初期,由于技术能力和经济能力有限,近期内还不可能在较大的范围实现“资源化”。但必须着手于当前,放眼于未来,以寻求我国固体废物处理的途径。我国于 20 世纪 80 年代中期提出了以“资源化”、“无害化”、“减量化”作为控制固体废物污染的技术政策。进入 20 世纪 90 年代以后,根据世界形势,面对我国经济建设的巨大需求与资源供应严重不足的紧张局面,我国已把回收利用再生资源作为重要的发展战略。《中国 21 世纪议程》指出:“中国认识到固体废物问题的严重性,认识到解决该问题是改变传统发展模式和消费模式的重要组成部分,总目标是完善固体废物法规体系和管理制度,实施废物最小量化;为废物最小量化、资源化和无害化提供技术支持,分别建成废物最小量化、资源化和无害化示范工程”。

(1) “无害化”

固体废物“无害化”处理是将固体废物通过工程处理,达到不损害人体健康,不污染周围的自然环境的目。

目前,固废“无害化”处理工程已经发展成为一门崭新的工程技术,如垃圾的焚烧、卫生填埋、堆肥、粪便的厌氧发酵、有害废物的热处理和解毒处理等。其中,“高温快速堆肥处理工艺”、“高温厌氧发酵处理工艺”,在我国都已达到实用程度,“厌氧发酵工艺”用于废物“无害化”处理工程的理论已经成熟,具有我国特点的“粪便高温厌氧发酵处理工艺”在国际上一直处于领先地位。在对固废进行“无害化”处理时,必须认识到各种“无害化”处理工程技术的通用性是有限的,它们的优劣程度往往不是由技术、设备条件本身所决定。以生活垃圾处理为例,焚烧处理绝对不失为一种先进的“无害化”处理方法,但它必须以垃圾含有高热值和可能的经济投入为条件,否则便没有引用的意义。根据我国大多数城市生活垃圾的特点,在近期内,着重发展卫生填埋和高温堆肥处理技术是适宜的。卫生填埋,处理量大,投资少,见效快;将高温堆肥进行深加工成为垃圾复混肥则有更为广阔的发展前景。这两种处理方式可以迅速提高生活垃圾处理率,可以解决当前带有“爆炸性”的垃圾出路问题。

(2) “减量化”

固体废物“减量化”是通过适宜的手段减少和减小固体废物的数量和容积。这需要从两个方面着手,一是对固体废物进行处理利用,二是减少固体废物的产生。

生活垃圾采用焚烧法处理后,体积可减小 80%~90%,便于运输和处置。固体废物采用压实、破碎等方法处理也可以达到减量和方便运输、处理的目的。

从国际上资源开发利用与环境保护的发展趋势看,世界各国为解决人类面临的资源、人口、环境三大问题,越来越关注资源的合理利用。实现固体废物“减量化”,必须从“固体废物资源化”延伸到“资源综合利用”上来,其工作重点包括采用经济合理的综合利用工艺和技术,制定科学的资源消耗定额等。



(3) “资源化”

固体废物“资源化”是采取工艺技术,从固体废物中回收有用的物质与能源。

① 资源危机问题。

近40年来,世界资源正以惊人的速度被开发和消耗,有些资源已经濒于枯竭。根据推算,世界石油资源按已探明的储量和消耗量的增长,只需要五六十年就可耗尽,既短于一代人的寿命的时间,将耗去全部储量的80%;世界煤炭资源按已探明的储量的消耗推算,到公元2350年,也将消耗储量的80%左右。

20世纪70年代出现的能源危机,增强了人们对固体废物资源化的紧迫感。欧洲国家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,将其列为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。美国把固体废物引入资源范畴,将固体废物资源化作为废物处理的替代方案。

我国资源形势也十分严峻。首先,我国资源总量丰富,但人均资源不足。从世界45种主要矿产储量总计来看,我国居第3位,但人均占有量仅为世界人均水平的1/2。其次,我国资源利用率低,浪费严重,很大一部分资源没有发挥效益,变成了废物。几十年来,我国走的是一条资源消耗型发展经济的道路。第三,我国废物资源利用率很低,与发达国家比尚有很大的差距。如此下去,固体废物将造成大量的积存,给环境带来巨大的威胁。我国“再生资源”流失造成的直接经济损失每年达300亿元以上,如果没有大幅度提高回收利用,预计到2000年造成的经济损失将高达400亿~450亿元。

② 资源危机的出路——开发再生资源。

众所周知,固体废物属于“二次资源”或“再生资源”,虽然它一般不再具有它原有的使用价值,但是通过回收、加工等途径,可以获得新的使用价值。概括起来,目前固体废物主要用于生产建材、回收能源、回收原材料、提取金属、化工产品、农用生产资源、肥料、饲料等多种用途。据我国有关资料,在国民经济运行中,社会需要的最终产品仅占原料的20%~30%,即70%~80%成为废物。

目前,我国工业废渣和尾矿的年排出量高达 $6.4 \times 10^8 \text{ t}$,其累计量则已高达60多亿吨。这些废物中含有大量的黑色金属、有色金属和稀有金属,规模之大已完全具备了开采的价值。

我国城市生活垃圾年排放量已达 $1.4 \times 10^8 \text{ t}$,其中,含有大量可循环再用的纸类、纤维类、塑料、金属、玻璃等,但回收率低,流失量大。

生活垃圾中可燃物的发热量只要达到 $4.18 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$ 以上,便具有燃烧回收热能的价值,有些国家的垃圾变能已在其全部能耗中占一定比例。前西德4%~5%的能耗由垃圾焚烧获得,法国巴黎垃圾发电可满足全市能量的20%,日本正在全国各大、中、小城市推广垃圾发电技术,美国及其他西欧国家也在投入巨资加强开发。目前,我国城市生活垃圾的基本特点是无机成分多于有机成分,不可燃成分多于可燃成分,不可堆腐成分多于可堆腐成分,因此,目前尚不具备能量回收条件。但随着人民生活水平的提高和饮食结构的变化,这一情况将会有较大变化。

③ “资源化”是我国强国富民的有效措施。

再生资源和原生资源相比,可以省去开矿、采掘、选矿、富集等一系列复杂程序,保护和延长原生资源寿命,弥补资源不足,保证资源永续,且可以节省大量的投资,降低成本,减少环境污染,保持生态平衡,具有显著的社会效益。

1.2.4 固体废物资源化

固体废物对环境的污染主要是通过水、气和土壤进行的。废水和废气既是水体、大气和土壤环境的污染源,又是接受其所含污染物的环境。固体废物则不同,它们往往是许多污染

成分的终极状态。一些有害气体或飘尘，通过治理最终富集成为废渣；一些有害物质和悬浮物，通过治理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。这些“终态”物质汇总的有害成分，在长期的自然因素作用下又会转入大气、水体和土壤中，故又成为大气、水体和土壤环境的污染“源头”。固体废物这一污染“源头”和“终态”特性告诉我们，控制“源头”，处理好“终态物”是固体废物污染控制的关键。固体废物污染控制需从两方面着手，一是防治固体废物污染，二是综合利用废物资源。主要控制措施如下。

(1) 改革生产工艺

① 采用清洁生产。生产工艺落后是产生固体废物的主要原因，因而首先应当结合技术改造，从工艺入手，采用无废或少废的清洁生产技术，从发生源消除或减少污染物的产生。例如，传统的苯胺生产工艺是采用铁粉还原法，该法生产过程中产生大量含硝基苯、苯胺的铁泥和废水，造成环境污染和巨大的资源浪费。南京化工厂通过改革，成功地开发了加氢制苯胺新工艺，便不再产生铁泥废渣就是一典型的实例。

② 采用精料。原料品位低、质量差，也是造成固体废物大量产生的主要原因。如一些选矿技术落后、缺乏烧结能力的中小型炼铁厂，渣铁比相当高，如果在选矿过程中提高矿石品位，便可少加造渣熔剂和焦炭，并大大降低高炉渣铁产生量。一些工业先进国家采用精料炼铁，高炉渣产生量可减少一半以上。因此，应当进行原料精选，采用精料，以减少固体废物的产量。

③ 提高产品质量和使用寿命，以使其不会过快地变成废物。

(2) 发展物质循环利用工艺

使第一种产品的废物成为第二种产品的原料，使第二种产品的废物又成为第三种产品的原料等，最后只剩下少量废物进入环境，以取得经济的、环境的和社会的综合效益。

(3) 进行综合利用

有些固体废物含有很大的一部分未起变化的原料或副产物，可以回收利用。如硫铁矿烧渣（含 Fe_2O_3 18%~33%， Al_2O_3 26.6%）等可用来制砖和水泥。再如，硫铁矿烧渣、废胶片、废催化剂中含有 Au、Ag、Pt 等贵金属，只要采用适当的物理、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，用焚烧、热解等方式，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。

20 世纪 60 年代中期以后，环境保护受到重视，污染治理技术迅速发展，形成了一系列处理方法。20 世纪 70 年代以来，一些工业发达国家由于资源缺乏，提出了“资源循环”的口号，开始从固体废物中回收资源和能源，逐步发展成为控制废物污染的途径——资源化。当前，各发达国家已经将再生资源的开发利用视为“第二矿业”，给予了高度重视，形成了一个新兴工业体系。

1.3 固体废物资源化现状及发展趋势

1.3.1 我国工业固废（含危险固废）产生量大、增长快

我国的自然资源并不十分丰富，从世界 45 种主要矿物来看，我国居第三位，但人均占有量仅为世界平均水平的 1/2，属中下等水平。由于粗放式经营，资源利用率低，浪费严重，很大一部分资源没有发挥效益，形成了废弃物。我国的废弃物利用率仅为世界平均水平的 1/3~1/2。如此下去，势必造成大量固体废弃物积存，给环境带来巨大威胁。