



全国高职高专教育“十一五”规划教材



固体废物处理处置 与资源化

高艳玲 主编
刘海春 周长丽 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材

环境类

固体废物处理处置与资源化

高艳玲 主 编
刘海春 周长丽 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是全国高职高专教育“十一五”规划教材。

本书系统介绍了固体废物处理处置和资源化的先进技术和成果,涵盖了工业、农业、城市固体废物和能源废物等各个领域,并包括大量的工程实例,使读者在掌握理论知识的同时,能更贴近实践。

本书主要内容有固体废物的来源、分类及危害,固体废物的预处理,固体废物的处理,固体废物的处置,城市垃圾的资源化,工业固体废物的资源化,农业固体废物的资源化,能源工业固体废物的资源化。

本书可作环境保护类专业及相关专业应用型、技能型人才培养的教学用书,也适合环境卫生管理部门、企事业单位从事固体废物处理的工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

固体废物处理处置与资源化/高艳玲主编. —北京:
高等教育出版社, 2007. 5

ISBN 978 - 7 - 04 - 021259 - 4

I. 固… II. 高… III. ①固体废物 - 废物处理 - 高等学校: 技术学校 - 教材②固体废物 - 废物综合利用 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 037720 号

策划编辑 张庆波 责任编辑 谭燕 封面设计 于涛 责任绘图 尹文军
版式设计 王艳红 责任校对 殷然 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 58581000
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京地质印刷厂
开 本 787 × 1092 1/16
印 张 19.5
字 数 470 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>
版 次 2007 年 5 月第 1 版
印 次 2007 年 5 月第 1 次印刷
定 价 24.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21259 - 00

前 言

固体废物一般是指人类在生产、流通、消费以及生活等过程中提取有用的组分后，弃去的固状或泥浆状物质。固体废物污染和其他污染相比处置更难，且最晚受到重视；其次，固体废物可以重新资源化；同时，随着我国城市化进程的发展，垃圾数量增长速度加快，对人们的生活产生了严重的影响和威胁。

基于以上的情况，在教育部高等学校高职高专环保与气象类专业教学指导委员会的指导下，我们编写了《固体废物处理处置与资源化》一书。本书具有以下三个方面的特点：

1. 本书较系统地介绍了固体废物的处理、处置及资源化的基本技术，涵盖了工业、农业、城市固体废物和能源废物等各个领域；

2. 本书综合大量基础资料 and 实际工程，介绍了固体废物处理、处置及资源化领域的前沿技术；

3. 每一章节中都加入了大量的工程实例，使广大读者在掌握理论知识的同时，更贴近实践操作，做到理论与实践的结合；

通过本书的学习，读者不仅可以掌握扎实的理论，而且可以尽快投入实际工作中去，避免了只懂理论不懂实践的尴尬问题。

本书由中国环境管理干部学院高艳玲主编。全书共分为八章，第一章绪论，由高艳玲、河南纺织高等专科学校陈勇编写，介绍了固体废物的来源、分类及国内外的管理政策；第二章和第八章由河北工业职业技术学院周长丽编写，介绍了固体废物预处理的常用技术，能源工业固体废物的资源化；第三章由河南机电高等专科学校王振艳编写，介绍了固体废物的处理技术；第四章由山西工程职业技术学院范国斌、中国环境管理干部学院李敬苗、高艳玲编写，介绍了固体废物的处置技术；第五章由扬州环境资源职业技术学院刘海春编写，介绍了城市垃圾的资源化；第六章由邢台职业技术学院杨金梅编写，介绍了工业固体废物的资源化；第七章由河南机电高等专科学校刘国华编写，介绍了农业固体废物的资源化。中国环境管理干部学院刘佳做了大量文字校对工作，在此谨致感谢。

在固体废物处理及相关领域有资深理论和实践经验的耿世刚教授担任本书主审。

由于编者水平有限，本书难免有纰漏和不当之处，敬请读者提出宝贵的意见和建议，以待修订时加以更正。

编 者

2007年2月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 绪论	(1)	五、浮选	(58)
第一节 固体废物的来源、分类及危害	(1)	六、其他分选方法	(61)
一、固体废物的基本概念	(1)	复习思考题	(63)
二、固体废物的来源及分类	(2)	参考文献	(64)
三、固体废物对人类的危害	(4)	第三章 固体废物的处理	(65)
四、固体废物处理工程概述	(6)	第一节 固体废物的固化技术	(65)
五、我国固体废物的处理现状	(9)	一、包胶固化	(66)
第二节 固体废物的管理概论	(11)	二、自胶结固化	(72)
一、固体废物的管理政策和法规	(11)	三、玻璃固化	(73)
二、固体废物管理的经济政策	(14)	第二节 固体废物的化学处理法	(75)
三、固体废物的无害化	(16)	一、中和法	(75)
四、固体废物的减量化	(16)	二、氧化还原法	(77)
五、固体废物的资源化	(17)	三、化学浸出法	(77)
复习思考题	(18)	第三节 固体废物的焚烧处理法	(78)
参考文献	(18)	一、可燃固体废物的热值	(78)
第二章 固体废物的预处理	(19)	二、焚烧处理的作用及方式	(80)
第一节 固体废物的收集和运输	(19)	三、焚烧处理的基本工艺条件及工艺流程	(80)
一、固体废物的收集	(20)	四、焚烧系统及焚烧设备	(83)
二、固体废物的运输	(20)	五、焚烧实例	(89)
三、城市垃圾的收集与运输	(22)	六、垃圾焚烧法的新发明——全资源超热能城市垃圾焚烧法	(98)
第二节 固体废物的压实	(30)	七、我国焚烧处理固体废物的发展规划	(101)
一、压实的原理和目的	(30)	第四节 固体废物的热解	(101)
二、压实设备	(30)	一、热解的原理、特点及影响因素	(101)
三、压实流程	(32)	二、热解的工艺及设备	(104)
第三节 固体废物的破碎	(34)	三、热解处理实例	(112)
一、破碎的原理和目的	(34)	第五节 固体废物的生物处理法	(114)
二、破碎方法	(34)	一、好氧堆肥技术	(114)
三、破碎流程	(35)	二、厌氧发酵技术	(123)
四、破碎设备	(35)	复习思考题	(134)
第四节 固体废物的分选	(45)	参考文献	(134)
一、筛分	(45)	第四章 固体废物的处置	(135)
二、重力分选	(49)	第一节 固体废物处置的基本概念	(135)
三、磁力分选	(54)		
四、电力分选	(57)		



一、概述	(135)	三、废电池的综合利用技术	(192)
二、固体废物处置的概念	(136)	第五节 废塑料的资源化	(198)
三、处置基本要求	(136)	一、废塑料的产生	(198)
四、处置方法的分类	(137)	二、废塑料的分类和分选	(200)
第二节 固体废物的土地填埋和耕作		三、废塑料的回收利用技术	(201)
处置	(137)	四、可降解塑料	(202)
一、卫生填埋	(138)	第六节 电子废物的资源化利用	(203)
二、安全土地填埋	(153)	一、电子废物的产生	(203)
三、土地耕作法	(159)	二、电子废物的处理途径	(204)
第三节 固体废物的深井灌注法	(161)	三、电子废物的处理工序	(204)
一、概述	(161)	四、废电路板的机械处理方法	(205)
二、操作程序	(161)	五、废电路板的回收利用技术	(206)
第四节 固体废物的海洋处置	(162)	六、计算机元器件的回收利用技术	(207)
一、概述	(162)	第七节 废旧汽车的回收利用	(208)
二、海洋处置	(162)	一、废旧汽车回收利用概况	(208)
第五节 放射性固体废物的浅地层		二、回收配件的再生	(208)
处置	(165)	三、报废汽车中黑色金属材料的	
一、概述	(165)	回收	(208)
二、浅地层处置方法	(166)	四、报废汽车中有色金属的再生	(209)
三、场地选择	(167)	五、未来铝合金回收工艺与装置	
四、场地的设计	(168)	——铝合金液化分离装置	(210)
五、处置方法介绍	(168)	复习思考题	(210)
复习思考题	(169)	参考文献	(210)
参考文献	(169)	第六章 工业固体废物的	
第五章 城市垃圾的资源化	(171)	资源化	(213)
第一节 城市垃圾的资源化概述	(171)	第一节 废橡胶的资源化	(214)
一、城市垃圾的组成	(172)	一、概述	(214)
二、城市垃圾的资源化利用	(174)	二、废橡胶的资源化利用	(214)
三、城市垃圾的处理	(179)	第二节 废皮革资源化	(222)
第二节 废纸的资源化	(181)	一、概述	(222)
一、废纸的回收利用	(181)	二、废皮革的回收利用	(223)
二、回收废纸的技术要求	(182)	第三节 化工废渣的资源化	(226)
三、废纸的再生处理方法和工艺	(182)	一、铬渣	(226)
四、废纸的再生技术新发展	(184)	二、电石渣的回收利用	(230)
第三节 废玻璃的资源化	(185)	三、化学石膏的回收利用	(232)
一、废玻璃的产生	(185)	四、纯碱工业固体废物	(237)
二、废玻璃的回收利用	(186)	五、氮肥工业固体废物处理与利用	(240)
三、玻璃回收利用的技术要求	(189)	第四节 石油工业固体废物的资源化	(242)
第四节 废电池的资源化	(190)	一、概述	(242)
一、废电池的产生和分类	(190)	二、石油炼制工业固体废物处理与	
二、废电池的回收	(191)	利用	(243)



三、石油化工工业固体废物处理与利用	(253)	四、秸秆栽培食用菌技术	(277)
四、石油化纤工业固体废物处理与利用	(257)	五、秸秆的其他资源化途径	(283)
复习思考题	(261)	复习思考题	(283)
参考文献	(261)	参考文献	(283)
第七章 农业固体废物的资源化	(262)	第八章 能源工业固体废物的资源化	(284)
第一节 农业固体废物的组成及利用	(262)	第一节 粉煤灰的资源化	(284)
一、农业固体废物的组成、性质及利用途径	(262)	一、概述	(284)
二、农业固体废物的综合利用	(264)	二、粉煤灰的资源化	(286)
第二节 农作物秸秆的资源化	(269)	第二节 高炉渣的资源化	(294)
一、秸秆还田利用	(269)	一、概述	(294)
二、秸秆饲料化利用	(269)	二、高炉渣的加工处理工艺	(296)
三、秸秆气化技术	(272)	三、高炉渣的资源化	(299)
		复习思考题	(303)
		参考文献	(303)



第一章

绪 论



知识目标：

- 掌握固体废物的基本概念
- 了解固体废物的来源和分类
- 了解固体废物可能产生的危害
- 了解我国固体废物的处理处置方法与处理状况
- 掌握我国固体废物管理体制和标准体系
- 掌握固体废物的无害化、减量化、资源化概念



能力目标：

- 能对固体废物进行分类，能简要叙述我国固体废物的管理体制

固体废物广泛地存在于我们的生活之中，已经给人类环境造成了很大的威胁。本章的主要任务是介绍固体废物的概念；我国固体废物的分类方法；对环境来说，固体废物可能产生的危害；我国固体废物处理处置的现状、管理的方法，以及相关的主要法律法规和行业标准。

第一节 固体废物的来源、分类及危害

一、固体废物的基本概念

人们提到固体废物，一般认为是指生活垃圾、废旧塑料、废纸、固态工业残渣等。其实现在许多国家把污泥、人畜粪便等半固态物质和对环境危害较大的不能排入水体的液态废物如废酸、废碱、废有机溶剂等，以及不能排入大气的气态废物如废氯氟烃等也归为固体废物。我国在1995年颁布的《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》）中规定：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、半固态物质。此法在2004年12月29日第十届全国人民代表大会常务委员会第十三次会议修订通过，并于



2005年4月1日起开始正式施行。修订后的固体废物定义为“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。”

固体废物的处理在最初阶段只是对较容易再次利用的废旧物质进行简单的回收。直到20世纪初期，在发达国家，随着工业的快速发展，资源问题和环境问题已经日趋严重，固体废物的处理与资源化利用成了人们普遍关注的问题之一。尤其在20世纪50年代后，由于世界性的资源危机和环境恶化的巨大压力，使得各工业国家认识到了固体废物处理和资源化利用的紧迫性和必要性。固体废物的开发利用也因此发展到了一个新的阶段，形成了一门新型的工程学科，包括固体废物处理与利用工程技术、法律法规、技术标准等多个方面。固体废物管理也成为现代环境管理的一个重要方面。

固体废物的污染与废水、废气污染相比有明显的不同，它具有时间性、空间性和持久危害性。科学技术是不断发展的，在当时的技术和经济条件下，人们只利用了原料、商品或消费品中所需的部分，而将暂时无法利用的部分丢弃。而这一部分丢弃的物质，随着科学技术的发展和一次能源的枯竭，又有可能再次成为资源，如石油工业的残留物——沥青，最初是污染环境的废物，后来成为大量使用的铺路材料。因此说固体废物的污染是有时间性的。从空间角度来看，固体废物仅仅相对于某一过程或某一方面没有使用价值，而并非在一切过程和一切方面都没有价值。也就是说，某一过程的废物，往往可作为另一过程的原料；某一地点的废物，也可能成为另一地点的原料。如煤矸石是煤矿的废物，但可用于发电；粉煤灰是发电厂的废物，可用于制砖等。合理进行规划，甚至可以实现工业生产的零排放。固体废物进入环境后只能通过释放渗滤液和气体进行缓慢的代谢。这个代谢过程不仅非常复杂，难以人工控制，而且所需的时间也相当长。如堆放场中的城市生活垃圾需10~30年才能稳定，其中的塑料等石油化工产品即使是经历更长的时间也不能完全消化掉。在代谢期间，还会不停地释放含有多种危险污染物质的渗滤液和散发多种有害气体，污染堆放地的地下水、地表水和空气。即使在其中的有机物稳定后，无机物仍然会占用大量土地。因此固体废物对环境的危害比废水、废气更持久，危害更大。

二、固体废物的来源及分类

固体废物的产生是必然的，任何生产活动，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。在这之中，由生产过程产生的废物，称为生产废物；由产品在生活中被消费而产生的废物，称为生活垃圾。

生产废物主要来源于工业、农业等生产部门。如冶金、矿业、电力、植物种植、动物养殖等行业都会产生大量的生产废物。生活垃圾主要指的是在城乡居民日常生活中或者为城乡日常生活提供服务的活动中产生的固体废物，主要来自于家庭、商业、餐饮业和旅游业等。

因此，我国在新修订的《固废法》中，把固体废物分成生活垃圾、工业固体废物和危险废物。修订后的《固废法》首次将农村生活垃圾纳入管理范围。这是因为我国是农业大国，随着农业产业化发展和农村生活水平的提高，农业废物和农村垃圾所造成的污染问题已经非常突出。农业固体废物的产量已超过工业固体废物的产量。为了实现统筹、协调发展，改善农村环境卫生面貌，保障食品安全，加强对农村固体废物的管理是十分必要的。固体废物的分类、来源及主要组成物见表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
城市生活垃圾	居民生活	家庭日常生活中产生的废物：如食物垃圾、纸屑、衣物、庭院修剪物、金属、玻璃、塑料、陶瓷、炉渣、灰渣、碎砖瓦、废器具、粪便、杂品、废旧电器等
	商业、机关	商业、机关日常工作过程中产生的废物：如废纸、食物、管道、碎砌体、沥青及其他建筑材料、废汽车、废电器、废器具，含有易燃、易爆、腐蚀性、放射性的废物，以及类似居民生活垃圾的各种废物
	市政维护与管理	市政设施维护和管理过程中产生的废物：如碎砖瓦、树叶、死禽死畜、金属、锅炉灰渣、污泥、脏土等
工业固体废物	冶金工业	各种金属冶炼和加工过程中产生的废物：如高炉渣、钢渣、铜铬铅汞渣、赤泥、废矿石、烟尘、各种废旧建筑材料等
	矿业	各类矿物开发、加工利用过程中产生的废物：如废矿石、煤矸石、粉煤灰、烟道灰、炉渣等
	石油与化学工业	石油炼制及其产品加工、化学工业产生的固体废物：如废油、浮渣、含油污泥、炉渣、碱渣、塑料、橡胶、陶瓷、纤维、沥青、油毡、石棉、涂料、化学药剂、废催化剂和农药等
	轻工业	食品工业、造纸印刷、纺织服装、木材加工等轻工部门产生的废物：指各类食品糟渣、废纸、金属、皮革、塑料、橡胶、布头、线、纤维、染料、刨花、锯末、碎木、化学药剂、金属填料、塑料填料等
	机械电子工业	机械加工、电器制造及其使用过程中产生的废物：如金属碎料、铁屑、炉渣、模具、砂芯、润滑剂、酸洗剂、导线、玻璃、木材、橡胶、塑料、化学药剂、研磨料、陶瓷、其他绝缘材料以及废旧汽车、冰箱、微波炉、电视和电扇等
	建筑工业	建筑施工、建材生产和使用过程中产生的废物：如钢筋、水泥、黏土、陶瓷、石膏、石棉、沙石、砖瓦、纤维板等
	电力工业	电力生产和使用过程中产生的废物：如煤渣、粉煤灰、烟道灰等
农业固体废物	种植业	作物种植生产过程中产生的废物：如稻草、麦秸、玉米秸、根茎、落叶、烂菜、废农膜、农用塑料、农药等
	养殖业	动物养殖生产过程中产生的废物：如畜禽粪便、死禽死畜、死鱼死虾、脱落的羽毛等
	农副产品加工业	农副产品加工过程中产生的废物：如畜禽内容物、鱼虾内容物、未被利用的菜叶、菜梗和菜根、秕糠、稻壳、玉米芯、瓜皮、果核、贝壳、羽毛、皮毛等
危险废物	核工业、化学工业、医疗单位、科研单位等	主要来自于核工业、核电站、化学工业、医疗单位、制药业、科研单位等产生的废物：如放射性废渣、粉尘、污泥等，医院使用过的器械和产生的废物，化学药剂、制药厂药渣、废农药、炸药、废油等

(引自：聂永丰. 三废处理工程技术手册：固体废物卷. 2000)



表 1-1 只是我国对固体废物的分类方式。其实固体废物的分类方法有很多种, 比如按其组成分类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、液态和气态废物; 按其污染特性分类可分为一般废物和危险废物等。各国对固体废物的分类方法也不一样。如日本通常把固体废物分为产业废物和一般废物两大类, 而美国的分类方法和我国大致相同。

我国各类固体废物的产生量已十分惊人。据统计资料显示, 城市生活垃圾在 1992 年的清运量为 1.13×10^8 t, 到 2002 年已有 1.36×10^8 t。由于我国正处于经济的高速发展时期, 垃圾增长速度很快, 目前年增长率大约在 4% 左右。我国经济发展长期采用粗放的经营模式, 大量消耗原料和能源, 资源利用率很低, 导致工业固体废物大量产生。在 2000 年中国环境状况公报中显示, 2000 年全国工业固体废物产生量为 8.2×10^8 t, 危险废物产生量为 830×10^4 t。目前, 虽然我国在努力改变粗放型增长方式, 但工业固体废物的增长率大约在 7% 左右。这个问题已经得到重视并在修订的《固废法》中有了明确的体现。在未来几年中, 这一问题应该会有所转变。同时我国还是世界上最大的农业国家, 农业固体废物的产生量也十分惊人, 据估计, 目前我国每年大约要产生十几亿吨的农业固体废物。

三、固体废物对人类的危害

固体废物是环境的重要污染源之一, 除了对环境直接污染外, 还经常以水、大气和土壤为媒介污染环境。固体废物的污染具有潜伏性和长期性的特点。一旦形成污染, 消除污染很困难, 需要相当复杂的技术和大量的资金投入, 并且只能部分消除污染, 很难将被破坏的环境进行完全彻底的恢复。一般来说固体废物对环境的危害主要表现在以下几个方面:

(一) 侵占土地

固体废物不像废气、废水那样可以较容易地迁移和扩散, 而是必须占有大量的土地进行堆积。据估计, 每堆积 1×10^4 t 废渣约需 0.067 hm^2 的土地。城市固体废物侵占土地的现象日趋严重, 我国现在堆积的工业固体废物有 60×10^8 t, 生活垃圾有 5×10^8 t; 估计每年还有 1000×10^4 t 固体废物无法处理而堆积在城郊或公路两旁, 数万公顷的土地被它们侵吞, 进一步加剧了我国人多地少的矛盾。如广州市近郊堆放的各种废物就占地 168.5 hm^2 , 根据高空远红外探测结果显示, 北京市区几乎被环状的垃圾群所包围。目前我国有 $\frac{2}{3}$ 的城市陷于垃圾包围之中。另据报道美国有 $200 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的土地被固体废物侵占, 英国约为 $60 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

(二) 严重污染土壤

土壤是植物赖以生存的基础。固体废物及其渗滤液中所含的有害物质会对土壤产生严重污染。长期使用带有碎砖瓦砾的“垃圾肥”, 土壤就会严重“渣化”; 未经处理的有害废物在土壤中风化、淋溶后, 会渗入土壤, 可杀死土壤微生物, 破坏土壤的腐蚀分解能力, 导致土壤质量下降; 带有病菌、寄生虫卵的粪便施入农田, 一些根茎类蔬菜、瓜果就把土壤中的病菌、寄生虫卵吸进或带入体内, 人们食用后就会患病; 有害物质在土壤中积累, 土壤有害物质超标, 影响植物生长, 严重时甚至导致植物死亡; 植物吸收的有害物质, 通过食物链影响人类及其他动物的健康。例如, 我国包头市某处堆积的尾矿达 1500×10^4 t, 使其下游某乡的土地被大面积污染; 我国西南某地因农田长期使用垃圾, 土壤中汞的浓度超过本底值的 8 倍; 20 世纪 80 年代, 我国内蒙古一个尾矿坝污染了大片土地, 造成了一个乡的居民被迫搬迁。据 1992 年的统计, 我国受工



业废渣污染的农田已超过 $9 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。在国外也有类似情况，20 世纪 70 年代，美国密苏里州曾把混有 2, 3, 7, 8 - 四氯代二苯并 - 对 - 二噁英 (TCDD) 的废渣铺设路面，造成严重污染。土壤中的 TCDD 的质量分数达 300×10^{-9} ，污染深度达 60 cm，致使牲畜大量死亡，居民备受疾病折磨。最后，美国政府花 3 300 万美元买下了该城镇的全部地产，还赔偿了居民搬迁等一切损失。

(三) 污染水体

固体废物对水体的污染主要有两种途径：一种是把水体作为固体废物的接纳体，向水体中直接倾倒废物，称为直接污染；另一种是固体废物在堆积过程中，经雨水淋溶和自身代谢分解产生的渗滤液产生的污染，称为间接污染。许多国家把大量的固体废物直接向江河湖海倾倒，不仅减少了水域面积，淤塞航道，而且污染了水体，使水质下降。固体废物对水体的污染，可能是直接污染地表水，也可能下渗后污染地下水。例如，美国仅在 1968 年就向太平洋、大西洋和墨西哥湾倾倒了 $4 800 \times 10^4 \text{ t}$ 的固体废物。我国锦州某厂在 1950 年堆存的铬渣，由于没有经过安全处置，造成了严重的污染。数年后，使周围 70 km^2 以上的水质遭到六价铬的污染，使 7 个自然屯的 1 800 多眼井水不能饮用，花费了数千万元进行治理。我国仅燃煤电厂每年就向长江、黄河等水系排放灰渣 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 以上。未经无害化处理的畜禽粪便排入河流中，其携带的有害病菌会对水体造成生物污染，威胁人类健康和鱼类的生存。

美国的拉夫运河 (Love Canal) 事件是典型的固体废物污染水体事件。1930 - 1953 年期间，美国的虎克化学工业公司在纽约州附近的 Love Canal 废河谷填埋了约 2 800 t 桶装有害固体废物，1953 年用土填平。1978 年大雨和融化的雪水造成有害固体废物外溢，并陆续发现该地区井水变臭，婴儿畸形，居民得怪异疾病，大气中有害物质浓度超标 500 多倍，测出有毒物质 82 种，其中 11 种致癌，包括剧毒的二噁英。1978 年，美国政府颁布法令，该地 710 多户居民全部迁出，并拨款 2 700 万美元进行治理。

(四) 污染大气

固体废物在收运、堆放过程中未作密封处理，有的经日晒、风吹、雨淋、焚烧等作用，挥发了大量废气、粉尘。有的固体废物发酵分解后产生了有毒气体，向大气中飘散，造成大气污染。例如，露天堆放的固体废物会因为有机成分的分解产生有异味的气体，形成恶臭；垃圾在焚烧过程中会产生酸性气体、粉尘和二噁英等；垃圾在填埋处理后产生甲烷、硫化氢等对环境有不利影响的气体，若无填埋气收集措施，这些气体就会扩散到大气中污染环境。据 1970 年统计，美国有 42 % 的大气污染物来自于固体废物处理设施。此外，固体废物中的细粒、粉尘会随风飞扬，造成大面积的空气污染。如粉煤灰、尾矿堆场遇 4 级以上的风力时，灰尘可飞扬到 20 ~ 50 m 的高度。

某些固体废物如煤矸石等自燃也会散发出大量的 SO_2 、 CO_2 、 NH_3 等气体，可能造成严重的大气污染。例如，陕西铜川市由于煤矸石自燃产生的 SO_2 每天达 37 t。

(五) 影响市容和环境卫生

固体废物在城市里大量堆放而又处理不当，不仅妨碍市容，而且影响城市卫生。城市堆放的生活垃圾，非常容易发酵腐化，产生恶臭，招引蚊蝇、老鼠等孳生繁衍，容易传染疾病；在城市下水道的污泥中，还含有多种病菌和病毒。长期堆放的工业固体废物中的有毒物质潜伏期较长，会造成长期威胁。我国工业固体废物的综合利用率较低，而城市垃圾的清运能力也很低。大量未经处理的工业废渣、垃圾常常露天堆放在厂区、城市街区角落等处，除了直接导致



环境污染外，还严重影响了厂区、市区的景观容貌。其中“白色污染”对环境和市容的影响是最明显的例子。如水体中漂浮的和树枝上悬挂的塑料袋就严重影响了城市景观。

城市的清洁卫生文明，很大程度上同固体废物的收集、处理有关，尤其是作为国家卫生城市和风景旅游城市，对固体废物不妥善处理，将会造成非常不良的影响。

四、固体废物处理工程概述

现在所提到的固体废物处理工程是一个系统工程，其中包括各种处理过程、资源化利用和最终处置方法等内容。

（一）固体废物的处理方法

固体废物的处理是将固体废物转变成适于运输、贮存、利用以及最终处置的一种单元操作过程。通常使用的处理方式可分为物理处理、化学处理、生物处理、热处理和固化处理。现分别介绍如下：

1. 物理处理

物理处理的方式很简单，主要采用压实、粉碎、分选、增稠、脱水等物理方法。这些方法只改变固体废物的形状、大小、组成和结构，使得固体废物更符合运输、贮存、利用和处置的要求。这种处理方法一般作为从固体废物中回收可利用物质的重要手段。

2. 化学处理

化学处理是采用氧化、还原、中和、化学沉淀和化学溶出等方法，破坏固体废物中有害成分，使之发生化学性质上的变化，从而使其达到稳定化、无害化，或者将固体废物转化为适于进行进一步处理、处置的形态。在处理过程中，有些有害固体废物经化学处理后还可能产生富含毒性成分的残渣，此时，还需对残渣进行解毒处理或安全处理。

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，从而使固体废物达到无害化或综合利用。固体废物经过生物处理后，其容积、形态、组成和结构等方面一般都发生明显变化，使其更便于运输、贮存利用和处置。生物处理方法一般根据微生物生活的环境不同，可分为好氧处理、厌氧处理和兼性厌氧处理。

4. 热处理

热处理是通过高温破坏或改变固体废物的物质组成和结构，同时达到减容、无害化或综合利用的目的。常用的热处理方式主要有热解和焚烧两种形式。热解指的是在厌氧的条件下，通过间接加热使固体废物分解的热化学过程。最终产物为可燃的气、油、固定碳，可以通过多种方式回收利用。热解是吸热反应。焚烧需要充分供氧，固体废物中的可燃组分与空气中的氧发生剧烈的化学反应，转化为高温的气体和性质稳定的固体残渣，并放出热量。焚烧后可以利用的主要是显热。除焚烧和热解外，热处理方式还包括焙烧、烧结等处理方式。

5. 固化处理

固化处理是采用固化基材（如水泥、石灰以及塑料等）将固体废物固定或包裹起来避免固体废物与环境直接接触，以降低其对环境的危害性，并且适于安全运输和处置。固化处理的主要处理对象是含有毒有害组分的废物以及危险固体废物等。



(二) 固体废物的资源化利用

1. 固体废物资源化利用的原则

固体废物具有两重性，一方面它占有大量土地，污染环境；另一方面它又含有多种有用物质，可以作为一种资源。固体废物的资源化利用是指：采取特定的工艺技术回收其中的有用物质与能源，变废为宝，可以减少原生资源的消耗，节省投资，降低生产成本，并能够减少固体废物的排放量、运输量和处理量，从而减少环境污染，取得明显的环境效益、经济效益和社会效益。例如，用废铁代替铁矿石炼钢，可节约能源约 74%，减少空气污染约 85%，减少矿山垃圾约 97%，并且用铁矿石炼 1 t 钢约需 8 个工时，而用废铁炼钢时只需 2~3 个工时。

为保证固体废物资源化利用能够取得良好的效益，一般来说必须遵循下列原则：① 此项资源化技术确实可行；② 进行资源化利用的经济效益比较好，有较强的生命力；③ 固体废物应尽可能在其产生源附近进行资源化利用，以节省贮存、运输等方面的投资，使效益最大化；④ 资源化产品应符合国家相关产品的有关标准，并在市场中有一定的竞争力。

2. 固体废物资源化利用的途径

固体废物资源化利用的途径是多方面的，目前我国主要用于回收金属和能源、用于生产建筑材料、用于生产农用物质以及取代某些工业原料等方面。

(1) 回收金属和能源

许多废矿石、尾矿以及废渣中都含有一定量的金属元素或含有提炼金属元素所需的辅助成分，若用于冶金、化工生产，可取得良好的技术经济效果。可回收金属的主要固体废物见表 1-2。

表 1-2 可回收金属的主要固体废物

用途	主要固体废物及回收要点
炼铁熔剂	钢渣、铬渣等作为炼铁熔剂
炼铁原料	废钢铁、钢渣、钢铁尘泥、含铁量高的硫酸渣、铅锌渣等，作为炼铁炉料
回收铁	从粉煤灰、钢铁渣磁选回收铁，从煤矸石中选取氧化铁
回收有色金属	从铜、铅、锌、镍渣中回收铜、铅、锌、镍；从铅锌渣中回收金、银、锑等；从粉煤灰中回收铝、锑等；从煤矸石中回收锑、铟等；废有色金属重炼；从水银电解法制苛性钠的盐泥中，从乙炔法制氯乙烯的含氯化汞的废催化剂中，从处理含汞废水的污泥中回收汞等

(引自：李秀金. 固体废物工程. 2003)

煤矸石中往往含有一定量的炭，粉煤灰中的含炭量也常在 10% 以上，用这些废物烧制砖瓦，不仅可以节省占地，而且可以发挥能源效益。近年来我国还建设了一批利用煤矸石发电的电厂，减少大量煤炭的运输，所排放的粉煤灰又用于矿坑回填，一举两得，值得大力推广。

有机垃圾、植物秸秆、人畜粪便中的糖类、蛋白质、脂肪等，经过厌氧发酵，可以生成可燃沼气。其原料广泛，工艺简单，是从固体废物中回收生物能源、保护环境的重要途径。

(2) 生产建筑材料

许多工业废渣的物质组成及性质和天然或人工制成的建筑材料很相似，因此可以考虑将这些工业废渣用于建筑材料工业。含有 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等成分的工业废渣，如高炉渣、钢渣、粉煤灰等，具有或潜在具有水硬性胶凝性能，已广泛用于生产水泥、砖、砌块等硅酸盐建筑



品；具有一定强度、体积稳定的废渣和废石，如钢渣、铁合金渣等可用作混凝土骨料、道路材料和填垫材料等；此外，废旧塑料、污泥、尾矿、建筑垃圾、城市垃圾焚烧灰等也可用于生产建筑材料，而且品种繁多，如轻质骨料、隔热保温材料、装饰材料、防水卷材及涂料、建筑绝热板、生化纤维板、再生混凝土等。可用于生产建筑材料的主要固体废物见表 1-3。

表 1-3 可用于生产建筑材料的主要固体废物

建筑材料	可利用的固体废物
水泥	相当于石灰成分的废石、铁或铜的尾矿粉、煤矸石、粉煤灰、锅炉渣、高炉渣、钢渣、铜渣、铅渣、镍渣、赤泥、硫酸渣、铬渣、油母页岩渣、碎砖瓦、水泥窑灰、废石膏、电石渣、铁合金渣等，可用于生产水泥的生料配料、混合材料、外掺剂等
砖瓦	铁和铜尾矿粉、煤矸石、粉煤灰、锅炉渣、高炉渣、钢渣、赤泥、铜渣、硫酸渣、镍渣、电石渣等，可用来烧制、蒸制或高压蒸制砖瓦；铬渣、油母页岩渣等只能用于烧制砖瓦
砌块、墙板及混凝土制品	煤矸石、粉煤灰、锅炉渣、高炉渣、电石渣、废石膏、铁合金水渣等，可用于生产硅酸盐建筑制品
混凝土骨料	化学成分及体积稳定的各种废石、自然或焙烧膨胀的煤矸石、粉煤灰陶粒、高炉重矿渣、膨胀矿渣、膨珠、水渣、铜渣、膨胀镍渣、赤泥陶粒、烧胀页岩、锅炉渣、碎砖、铁合金水渣等，可作为普通混凝土及轻质混凝土骨料
道路材料	化学成分及体积稳定的废石、铁和铜尾矿、自然煤矸石、锅炉渣、粉煤灰、高炉渣、钢渣、铜铅锌镍渣，赤泥、电石渣、废石膏等，可作为道路垫层、路基结构层和面层用料
铸石及微晶玻璃	类似玄武岩或辉绿岩的废石、粉煤灰、煤矸石、废石、尾矿、高炉渣、铜镍渣、铬渣、铁合金渣等，可用于烧制硅酸盐制品
保温材料	高炉渣棉及其制品、高炉渣、粉煤灰及其微粒等，可用作保温隔热材料
其他材料	高炉渣可用作耐热混凝土骨料、陶瓷及搪瓷原料，粉煤灰可用作塑料填料，铬渣可用作玻璃着色剂等

(引自：李秀金. 固体废物工程. 2003)

(3) 生产农用物质

许多废渣含有植物生长所必需的成分，并具有一定改良土壤结构的作用，可作为农用物质。如粉煤灰、高炉渣、自然煤矸石所含硅、钙、锰和铜等微量元素可作为硅钙肥，直接施于农田，供植物吸收；钢渣中的钙、镁、磷等可作为肥料，并具有改良土壤的功能；可降解的有机固体废物可用于生产堆肥等。

(4) 取代某些工业原料

工业固体废物经一定加工处理后可代替某些工业原料，以节省资源。例如，高炉渣可代替沙、石用作滤料，用于废水处理行业；还可以作为吸收剂回收水面的石油制品。粉煤灰可作为塑料制品的填充料；并可以作为过滤介质，用于过滤造纸废水；并可从纸浆废液中回收木质素，可取得良好的效果。利用粉煤灰、煤矸石、赤泥、硫铁矿烧渣等作为原料，可生产高分子无机絮凝剂。此外，还可利用铬渣代替石灰石作为炼铁熔剂，用建筑垃圾代替天然骨料配制再生混凝土等。



（三）固体废物处置方法

固体废物处置是指最终处置或安全处置，是固体废物污染控制的末端环节，可解决固体废物的归宿问题。固体废物经过处理和利用，往往还会有部分残渣存在，而且很难再进行利用。这些残渣往往又会富集大量有毒有害物质。比如，焚烧后的残渣，一般富含大量重金属和其他有害物质，属于危险废物的范畴。另外，还有些固体废物目前尚无法利用，它们都将长期地存在于环境中，是一种潜在污染源。为了控制这些固体废物对环境的污染，必须对其进行最终处置，使之最大限度地与生物圈隔离。处置固体废物必须满足以下条件：① 处置场所要安全可靠，有良好的屏障系统，对人类的活动及附近的生态环境不会造成影响和危害；② 被处置的固体废物体积小，有害组分的含量尽可能少，以便于处置，减少处置成本；③ 处置场所要设置必需的环境监测设备、污染物控制设施等，要便于管理和维护；④ 处理方法要尽量简便、经济，既要符合现有的经济水平和环境保护要求，也要考虑长远的环境效益。

固体废物目前的处置方法有海洋处置和陆地处置两大类。其中，海洋处置有海洋倾倒和远洋焚烧等方法。陆地处置有土地耕作、土地填埋、深井灌注和永久贮存等多种方法。目前应用最多的是土地填埋技术。

五、我国固体废物的处理现状

（一）我国固体废物处理所面临的主要问题

我国固体废物的环境管理工作发展较慢，污染呈加重趋势。一些相对发达地区还出现了由于土地资源紧缺导致的废物处置危机。随着我国工业化、城市化的发展以及人民生活水平的提高，固体废物污染防治工作面临着许多新的情况和问题，主要表现在：固体废物产生量持续增长；固体废物处置能力明显不足，导致工业固体废物（很多是危险废物）长年堆积，垃圾围城的状况十分严重；固体废物处置标准不高，管理不严，不少工业固体废物仅仅做到简单堆放，城市生活垃圾无害化处置率仅达到 20% 左右；危险废物集中处置设施建设严重滞后，大部分危险废物处于低水平综合利用或简单贮存状态，不符合安全处置标准，2002 年工业危险废物处置率仅为 24.2%，1996—2002 年危险废物累计贮存量达到 2633.9×10^4 t；农村固体废物污染问题日益突出，畜禽养殖业污染严重，大多数农村生活垃圾没有得到妥善处置；废旧电器产品等新型废物不断增长，造成新的污染。同时，环境监督管理能力和工作基础依然薄弱，固体废物环境管理工作尚需加强。

（二）我国城市生活垃圾的主要处理方式及其特点

国内外普遍采用的城市生活垃圾处理方法有卫生填埋、高温堆肥和焚烧等。由于城市垃圾成分复杂，处理方式受经济发展、技术水平、自然条件以及传统习惯等因素的影响，一般随着所处地区不同存在一定的差别。但各种处理方式最终都是以“3R”（无害化、资源化、减量化）为处理目标。从应用技术上看，发达国家主要使用填埋、焚烧、堆肥及综合利用等方式，机械化程度高，具有成套设备。城市生活垃圾处理方式的发展趋势是：焚烧处理比例逐渐增加，最终处置填埋法占有较大比例，以农业为主的发展中国家以堆肥为主要处理方式，一些新技术（如热解、填海、堆山造景等）也在不断发展。

焚烧是目前世界各国广泛采用的城市垃圾处理技术。配备有热能回收与利用装置的垃圾焚

