



前言

PREFACE

近年来,我国固体废弃物的产生量不断增加,引发了一系列环境污染和生态破坏问题,已成为我国环境保护领域突出的问题之一。为有效提升固体废物管理水平,我国已构建起以《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》为核心,以《中华人民共和国清洁生产法》和《中华人民共和国循环经济促进法》等为补充的一整套固体废物管理与循环再利用的法律体系。

笔者对固体废物污染防治进行了长期广泛的研究,积累了较为丰富的经验。本书较全面而系统地介绍了固体废物污染防治技术,首先介绍了固体废物的定义、特征、来源与分类、危害与防治,然后介绍了固体废物管理、收集、运输与预处理,最后详细介绍了工业固体废物污染防治技术、城市固体废物污染防治技术、危险废弃物污染防治技术、农业固体废物污染防治技术、建筑垃圾污染防治技术。本书在内容组织安排上,力求少而精,通俗易懂,理论联系实际,切合生产实际的需要,突出了固体废物行业的特点。

本书具有以下特点。

(1) 本书所涵盖的内容十分全面,涉及固体废弃物的各个方面。无论是城市废弃物方面,还是工业废弃物方面,都在书中得到详细阐述,为读者提供了更具广泛适用性的知识体系。

(2) 注重课程思政教育。在结构内容编排上,注重课程思政教育,每章的前面中阐述了本章体现的德育重点,为培养新时代工业人才,全面建设社会主义现代化国家贡献力量。

本书在写作过程中,得到了许多专家、学者的帮助和指导,在此表示诚挚的谢意。由于作者水平有限,加之时间仓促,书中所涉及的内容难免有疏漏之处,希望各位读者多提宝贵的意见,以便进一步修改,使之更加完善。

编 者



CONTENTS

第一章 固体废弃物概述	1
● 第一节 固体废弃物的定义及特征	2
● 第二节 固体废弃物的来源与分类	3
● 第三节 固体废弃物的危害与防治	9
● 第四节 固体废弃物处理技术介绍	13
第二章 固体废弃物管理	23
● 第一节 固体废弃物的管理原则	24
● 第二节 固体废弃物的管理制度	25
● 第三节 固体废弃物管理的相关法律法规及标准	27
● 第四节 固体废弃物的环境监测	31
第三章 固体废弃物的收集、运输和预处理	35
● 第一节 生活垃圾的收集与运输	36
● 第二节 危险废弃物的收集与运输	49
● 第三节 生活垃圾转运站	51
● 第四节 固体废弃物破碎工艺及设备	55
● 第五节 固体废弃物分选及设备	59
第四章 工业固体废弃物污染防治技术	77
● 第一节 工业固体废弃物的主要组成	78
● 第二节 工业固体废弃物的处理与资源化	79
第五章 城市固体废弃物污染防治技术	99
● 第一节 城市固体废弃物的来源与组成	100
● 第二节 城市固体废弃物的管理与处理	103
● 第三节 城市固体废弃物的再生利用	107
● 第四节 城市固体废弃物的资源化技术	116

第六章	危险废弃物污染防治技术	131
● 第一节	危险废弃物的定义及特征	132
● 第二节	危险废弃物的化学处理技术	133
● 第三节	危险废弃物的固化/稳定化处理技术	136
● 第四节	特种危险废弃物的处理技术	150
第七章	农业固体废弃物污染防治技术	163
● 第一节	农业固体废弃物的定义与种类	164
● 第二节	农业固体废弃物与生态环境	166
● 第三节	农业固体废弃物的处理、处置及资源化利用	168
第八章	建筑垃圾污染防治技术	175
● 第一节	建筑垃圾的定义和组成	176
● 第二节	建筑垃圾的资源化利用	178
附录		185
参考文献		199

第一章

固体废弃物概述



学习目标

- 1.掌握固体废弃物的定义及特征。
- 2.熟悉固体废弃物的来源与分类。
- 3.了解固体废弃物的污染途径、固体废弃物的危害与环境防治。
- 4.熟悉固体废弃物常见的处理技术。



课程思政

教学内容	思政元素	融入思路
固体废弃物的定义及特征	环保意识 责任意识 节约意识	通过了解固体废弃物的定义及特征，引导学生自觉承担起保护环境的责任，培养学生的环保意识和责任意识；引导学生思考如何通过技术创新和制度创新，推动固体废弃物的资源化利用，培养他们的资源节约意识
固体废弃物的来源与分类	绿色消费观念 环保观念 分类与回收	通过了解废弃物的来源，引导人们树立绿色消费观念，减少废弃物的产生，实现可持续发展，培养环保意识和责任感；通过了解废弃物的分类，引导学生形成正确的环保观念和行为习惯，培养学生的分类与回收意识
固体废弃物的危害与防治	环境保护 可持续发展 社会责任感	通过了解固体废弃物的危害，引发人们对环境保护重要性的思考，帮助学生树立可持续发展观念，提升学生的环境保护意识；引导学生认识到固体废弃物处理的问题，培养学生的社会责任和公民道德
固体废弃物处理技术介绍	环保重要性 技术创新 创新精神	通过固体废弃物处理技术的认识，引导学生深刻认识到环保的重要性，学会节约资源、减少废弃物产生，提升环保意识；引导学生认识到技术创新在解决环境问题中的关键作用，培养学生的创新精神

第一节

固体废弃物的定义及特征

一、固体废弃物的定义

固体废物，也称“固体废弃物”，从宏观上讲，其来源于两个方面：一个是生产过程中产生的废物，另一个是社会产品使用消费过程中产生的生活废物。人类在开发资源和制造产品的过程中，必然产生废弃物料，这就是生产废物；而任何产品经过人类使用和消耗后，最终也将变成废物，这就是生活废物。

“固体废物”的定义有时间和空间的特点。从时间上讲，它表示相对于目前的科学技术和经济条件，一时无法利用，但是随着科学技术的发展，自然资源日益枯竭而无法满足人类需要，今日的固体废物必将成为明日的资源；从空间上讲，固体废物仅相对于某一过程或某一方面没有使用价值，但也可能是另一过程的原料。例如：高炉矿渣、煤矸石等，过去都是冶金废弃物，可是现在却成为重要的建筑材料，用来制砖；人畜粪便，从古到今，一直都是作为肥料的主要来源，而且肥效很好。因此可以说，固体废物不是无用之物，而是“放错了地方的资源”。

根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（于1995年10月30日通过，2020年4月29日最新修订）第九章附则第一百二十四条，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。经无害化加工处理，并且符合强制性国家产品质量标准，不会危害公众健康和生态安全，或者根据固体废物鉴别标准和鉴别程序认定为不属于固体废物的除外。

这里的生产包括基本建设、工农业，以及矿山、交通运输等各种工矿企业的生产建设活动；生活包括居民的日常生活活动，以及为保障居民生活所提供的各种社会服务及设施，如商业、医疗、园林等；其他活动则指国家各级事业及管理机关、各级学校、各种研究机构等非生产性单位的日常活动。

从广义而言，废物的形态有气、液、固三态，当废物是以液态或者气态存在，且污染成分主要是混入一定量（通常浓度很低）的水或气体（大气或气态物质）时，分别看作废水或废气，一般应纳入水环境或者大气环境管理体系，并分别有专项法规作为执法依据。而固体废物包括所有经过使用而被弃置的固态或半固态物质，甚至包括具有一定毒害性的液态或气态物质。

二、固体废弃物的特征

固体废物与废水和废气相比，主要有以下几个特点。

（一）成分的多样性和复杂性

现代社会产生的固体废物，其成分十分复杂，品种繁多，从大到小，从单一物质到聚合物质，从简单到复杂，从边角料到设备配件，从有机到无机，从金属到非金属，从无毒到有毒，从无味到有味，这样构成了五花八门的“垃圾世界”。

（二）环境与资源的双重价值

人类对固体废弃物的处理与利用，关系到人类对资源的有效利用，变无用为有用，变一用为多用，使自然资源能够永远地循环利用，实现资源和生态环境的可持续发展，以及经济和社会的可持续发展。当然，对固体废物进行资源化利用是有代价的。

（三）生产性固体废弃物的减少，消费性固体废弃物的增多

随着社会的发展，社会生产力水平的不断提高，人类对物质的需求不断膨胀，以及消费水平的不断提高，使得生产过程中产生的固体废弃物不断减少，而消费性固体废弃物不断增多。含塑料、纸张等组分的生活垃圾就是典型的消费性固体废弃物。

（四）有用与无用的集合体

从字面上理解，固体废弃物是人类废弃之物，但是，如前所述，固体废弃物这一概念具有明显的时间和空间的特征，废弃或不废弃是相对人们的观念意识和利用能力而言的。某些单位或个人所产生的固体废弃物，是以其生产能力和消费水平来说的，而对其他单位或个人来说，就不一定是废弃物了。因此，从更宽泛的产业角度看，固体废弃物本身都具有一定的资源价值。

（五）持久的危害性

固体废弃物是呈固态、半固态的物质，不具有流动性，因此，它不可能像废水、废气那样迁移到大容量的水体（如湖泊、江河、海洋）或溶入大气中，通过自然界中物理、化学、生物等多种途径进行稀释、降解和净化。部分固体废弃物可能通过释放渗滤液和气体进行“自我消化”处理，而这个过程是非常漫长、复杂和难以控制的，例如，堆放场中的生活垃圾不经任何处理，一般需要 10~30 年的时间才可以趋于稳定，而废旧塑料和橡胶则需要更长的时间才能降解。在这样一个漫长的时间段内，它们会对环境造成持续的危害。

第二节

固体废弃物的来源与分类

一、固体废弃物的来源

固体废弃物主要来源于人类的生产和生活，而且随着经济社会发展水平的提高，其来源更广泛、更复杂。从原始人类活动开始，就有固体废弃物产生，那时的固体废弃物主要是粪便、动植物残渣。随着人类社会的进步，生产逐渐发展，也产生了许许多多新的废物。17—18 世纪的工业生产主要是对自然物进行机械加工，多为改变物体的物理性质，这时主要产生一些简单的废物。随着化学工业的发展，19 世纪末到 20 世纪初，产生了许多含有有毒、有害元素和人工合成物质的废物，特别是含有汞、铅、砷、氰化物等的有毒、有害废渣。20 世纪以来，人们的视野深入原子核的层次，实现了人工重核裂变和轻核聚变，产生了原子能工业，这就有了放射性废物，并随着能源利用范围的扩大，又增加了许多新的废物。人类发展到今天，对自然界的认识及改造向纵深发展，人类需求变得多样化、高质量，生产效率更高、分工更细化、工业产品更多样化，于是无数个生产环节排出了无数种废物，另外人类任何消费和使用过的物品也变成了废物，这些庞杂的废物组成了一个“废物大家族”。表 1-1 为固体废弃物的分类、来源和主要组成。

表 1-1 固体废弃物的分类、来源和主要组成

分类	来源	主要组成
城市生活垃圾	居民生活	家庭日常生活过程中产生的废物，如食物垃圾、纸屑、衣物、庭院修剪物、金属、玻璃、塑料、陶瓷、炉渣、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，含有易爆、易燃、腐蚀性、放射性的废物，以及类似居民生活栏内的各种废物
	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弃物，如高炉渣、钢渣、铜渣、铅渣、铬渣、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弃物，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过程中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弃物，如各类食品糟渣、废纸、金属、橡胶、陶瓷、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弃物，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、绝缘材料以及废旧汽车、冰箱、微波炉、电视和电扇等
	电力工业	电力生产和使用过程中产生的废弃物，如煤渣、粉煤灰、烟道灰等
农业固体废物	种植业	农作物种植和生产过程中产生的废弃物，如稻草、麦秸、玉米秸、根茎、落叶、烂叶、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弃物，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弃物，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、果皮、果核、贝壳、羽毛、皮毛等
危险废物	化学工业、医疗单位、科研单位等	化学工业、医疗单位、制药业、科研单位等产生的废弃物，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、废弃农药、炸药、废油等

二、固体废弃物的分类

固体废弃物的分类方法有多种：按其组成可分为有机废弃物和无机废弃物；按其形态可分为固态废弃物、半固态废弃物和液态（气态）废弃物；按其污染特性可分为危险废弃物和一般废弃物；按其来源可分为矿业废弃物、工业废弃物、城市生活废弃物、农业废弃物和放射性废弃物；等等。此外，固体废弃物还可分为有毒和无毒两大类。有毒有害固体废弃物是指具有毒性、易燃性、腐蚀性、反应

性、放射性和传染性的固体、半固体废弃物。

在 2020 年新修订的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中，将固体废弃物按来源及污染特性分为工业固体废弃物、生活垃圾、建筑垃圾、农业固体废弃物及危险废弃物五类，如图 1-1 所示。

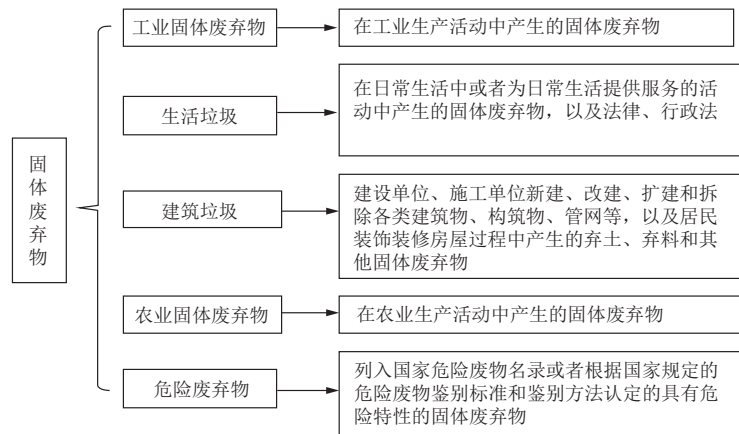


图 1-1 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中固体废弃物的分类

（一）工业固体废弃物

工业固体废弃物的主要类别有尾矿、赤泥、粉煤灰、煤矸石、冶炼废渣和炉渣等。工业固体废弃物具有资源和环境污染的双重属性，工业固体废弃物中含有大量的有价矿物和金属等有用物质，但种类繁多，成分复杂，若不进行妥善处理，将会给人体健康和生态环境带来重大风险。

工业固体废弃物按行业主要分为见表 1-2 所列的六类。

表 1-2 依据行业进行分类的工业固体废弃物

行业废物	说明
冶金工业固体废弃物	主要包括各种金属冶炼或加工过程中所产生的废渣，如高炉炼铁产生的高炉渣、平炉（转炉/电炉）炼钢产生的钢渣、铜镍铅锌等有色金属冶炼过程中产生的有色金属渣、铁合金渣及提炼氧化铝时产生的赤泥等
能源工业固体废弃物	主要包括燃煤电厂产生的粉煤灰、炉渣、烟道灰等，采煤及洗煤过程中产生的煤矸石等
石油化学工业固体废弃物	主要包括石油及其加工工业产生的油泥、焦油页岩渣、废催化剂、废有机溶剂等，化学工业生产过程中产生的硫铁矿渣、酸（碱）渣、盐泥、釜底泥、精（蒸）馏残渣以及医药和农药生产过程中产生的医药废物、废药品、废农药等
矿业固体废弃物	主要包括采矿废石和尾矿，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，尾矿是指在选矿过程中提取精矿以后剩下的尾渣
轻工业固体废弃物	主要包括食品工业、造纸印刷工业、纺织印染工业、皮革工业等工业加工过程中产生的污泥、废酸、废碱以及其他废物
其他工业固体废弃物	主要包括机械加工过程中产生的金属碎屑、电镀污泥、建筑废料以及其他工业加工过程中产生的废渣等

（二）生活垃圾

生活垃圾包括城市生活垃圾和农村生活垃圾。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定：任何单位和个人都应当依法在指定的地点分类投放生活垃圾。禁止随意倾倒、抛撒、堆放或者焚烧生活垃圾。

根据目前我国环卫部门的工作范围，城市生活垃圾包括居民生活垃圾、园林废物、机关单位排放的办公垃圾、街道清扫废物、公共场所（如公园、车站、机场、码头等）产生的废物等。在实际收集到的城市生活垃圾中，还可能包括部分小型企业产生的工业固体废弃物和少量危险废物（如废打火机、废油漆、废电池、废日光灯管等），由于后者具有潜在危害，需要在相应的法规特别是管理工作中逐步制定和采取有效措施对之进行分类收集和适当的处理、处置。农村生活垃圾指的是农村居民日常消费和生活产生的垃圾，主要包括厨余垃圾、商品包装物、废旧衣物、旧电器、旧家具、废金属、灰渣土等。在成分上除拥有城市生活垃圾的内容外，还有农作物秸秆、化肥农药包装物等农业生产废弃物。

根据中华人民共和国住房和城乡建设部发布的《生活垃圾分类标志》（GB/T 19095—2019），我国生活垃圾分为可回收物、有害垃圾、厨余垃圾及其他垃圾 4 个大类和纸类、塑料、金属等 11 个小类。生活垃圾构成如下。

1. 可回收物

可回收物为适宜回收利用的生活垃圾，包括纸类、塑料、金属、玻璃、织物等。

2. 有害垃圾

有害垃圾为《国家危险废物名录》（以下简称《名录》）中的家庭源危险废物，包括灯管、家用化学品和电池等。

3. 厨余垃圾（也可称为“湿垃圾”）

厨余垃圾为易腐烂的、含有机质的生活垃圾，包括家庭厨余垃圾、餐厨垃圾和其他厨余垃圾等。

4. 其他垃圾（也可称为“干垃圾”）

其他垃圾为除可回收物、有害垃圾、厨余垃圾外的生活垃圾。

（三）建筑垃圾

建筑垃圾的产生伴随着建筑的整个建设、使用生命周期。建筑垃圾按其来源可分为基础施工废弃物、主体施工废弃物、二次装修废弃物以及建筑拆除物；按是否可回收再生利用可分为无机非金属类可再生利用建筑固态废弃物、有机类可再生利用固态废弃物、金属类建筑固态废弃物和没有利用价值的废旧物料四大类；按物理成分可分为弃土、废混凝土、废砂浆、废沥青混凝土碎块、废砖、废砂石、废木材、废塑料、废纸、废石膏、废灰浆、废金属以及废旧包装等。具体分类方法和主要组成见表 1-3 所列。

表 1-3 建筑垃圾的分类方法与主要组成

分类方法	类别	主要组成	特点
按来源不同 分类	基础施工废弃物	弃土、废混凝土、废金属、废木材和废模板等	产量大，物理成分简单，产生时间集中，污染小
	主体施工废弃物	废砂石、废砂浆、废混凝土、废碎木材和废模板、废金属、破碎砌块、废装饰装修材料以及各种包装材料等	弃料的产生伴随整个施工过程，其产生量与管理力度有关
	二次装修废弃物	拆除的旧装饰材料、装饰弃料、废装饰装修材料、废弃包装等	成分复杂，含有害物质多，污染性较强
	建筑拆除物	废沥青混凝土、废混凝土、旧砖瓦及水泥制品、碎砖、废钢筋、各种废旧装饰材料、废弃管线、废塑料、废碎木、灰土等	物理成分复杂且与拆除物类别有关，具有污染性和可再生利用性强双重属性

续表

分类方法	类别	主要组成	特点
按是否可回收再利用分类	无机非金属类可再生利用建筑固态废弃物	废混凝土、废砂浆、废砂石、废旧砖瓦、废沥青混凝土、灰土、废石膏、废石材等	—
	有机类可再生利用固态废弃物	废旧塑料、废纸、废木材和模板等	—
	金属类建筑固态废弃物	废钢筋、废钢架等	—
	废旧物料	旧电线、旧门窗、各种旧管线、旧木材等	—
按物理成分不同分类	弃土	—	扬尘和占用大量土地，影响市容
	废混凝土	—	有一定的化学污染，有扬尘，影响市容
	废砂浆	—	有一定的化学污染
	沥青混凝土碎块	—	有一定的化学污染，有扬尘，影响市容
	废砖	—	扬尘和占用大量土地，影响市容
	废砂石	—	扬尘和占用大量土地，影响市容
	废木材	—	有一定的生物污染，影响市容
	废塑料、废纸	—	混入农田影响耕种和农作物生长，影响市容
	废石膏、废灰浆	—	化学污染严重，影响市容
	废金属	—	有一定的化学污染
	废旧包装	—	有一定的化学污染

(四) 农业固体废弃物

根据《农业固体废物污染控制技术导则》(HJ 588—2010)，农业固体废物指农业生产建设过程中产生的固体废弃物，主要来自植物种植业、动物养殖业和农用塑料残膜等。根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第九章附则界定，农业固体废物是指在农业生产活动中产生的固体废弃物。农业生产活动是人类有意识地利用动植物（种植业、畜牧业、林业、渔业和副业），以获得生活所必需的食物和其他物质资料的经济活动。农业固体废物源于农业生产活动，其外延非常广泛，既包括种养业直接产生的农作物秸秆、果木剪枝、尾菜烂果、畜禽粪便、病死畜禽等，也包括农产品初加工产生的果壳、玉米芯、花生壳等，还包括可回收的废旧农业投入品，如废旧农膜、废弃农药包装物、废弃水产养殖网箱等。具体分类方法与主要组成见表 1-4 所列。

表 1-4 农业固体废弃物的分类方法与主要组成

分类方法	类别	主要组成	备注
来源	农业种植固体废弃物	农作物秸秆、果木剪枝、废菌包、尾菜烂果等	废旧农业投入品来自农业种植、畜禽水产养殖和农产品初加工的各个环节，一般为塑料或金属类轻工业产品
	畜禽水产养殖固体废弃物	畜禽粪便、废垫料、病死畜禽、废饲料等	
	产地加工固体废弃物	花生壳、玉米芯、果皮、蛋壳、废羽毛等	
	废旧农业投入品	废旧农膜（地膜、棚膜、菌包膜）、农药包装物、废旧网箱等	
毒性	一般固体废弃物	秸秆、畜禽粪污、果木剪枝、废旧农膜、病死畜禽等	疫病病死畜禽及其排泄物具有危险特性，环境污染风险大
	危险废物	农药包装物等	
组分	易腐有机固体废弃物	秸秆、畜禽粪污、果木剪枝、尾菜、花生壳等	农业固体废弃物以有机固体废弃物为主，既有污染属性也有资源属性
	难降解有机固体废弃物	废旧农膜、农膜包装物（塑料类）等	
	无机固体废弃物	农药包装物（石英类、金属类）、废旧金属机具等	
形态	固体废物	作物秸秆、果木剪枝、废菌包、废旧农膜、农药包装物、花生壳、玉米芯等	农业固体废弃物以固体废物为主，封存性的液态与气态废物比较少见
	半固体废物	畜禽粪污、养殖废垫料等	

（五）危险废物

危险废物是危险固体废弃物的简称，通常带有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性以及感染性，这些垃圾的存在对人们生活的明显影响高于一般性固体废弃物。

依据《危险废物鉴别标准通则》（GB 5085.7—2019），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。

2020 年，中华人民共和国生态环境部、国家发展和改革委员会（以下简称“国家发改委”）、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会重新修订并出台了《名录》（2025 年版），共包括 46 个废物类别。其中，HW01~HW18 是按危险废物产生来源进行分类的，HW19~HW50 是按危险废物含有的危险废物成分进行分类的，具体见表 1-5 所列。

表 1-5 《名录》中危险废物的分类

编号	废物类别	编号	废物类别
HW01	医疗废物	HW24	含砷废物
HW02	医药废物	HW25	含硒废物
HW03	废药物、药品	HW26	含镉废物
HW04	农药废物	HW27	含锑废物
HW05	木材防腐剂废物	HW28	含碲废物

续表

编号	废物类别	编号	废物类别
HW06	废有机溶剂与含有机溶剂废物	HW29	含汞废物
HW07	热处理含氰废物	HW30	含铊废物
HW08	废矿物油与含矿物油废物	HW31	含铅废物
HW09	油-水、烃-水混合物或乳化液	HW32	无机氟化物废物
HW10	多氯（溴）联苯类废物	HW33	无机氰化物废物
HW11	精（蒸）馏残渣	HW34	废酸
HW12	染料、涂料废物	HW35	废碱
HW13	有机树脂类废物	HW36	石棉废物
HW14	新化学物质废物	HW37	有机磷化合物废物
HW15	爆炸性废物	HW38	有机氰化物废物
HW16	感光材料废物	HW39	含酚废物
HW17	表面处理废物	HW40	含醚废物
HW18	焚烧处置残渣	HW45	含有机卤化物废物
HW19	含金属羰基化合物废物	HW46	含镍废物
HW20	含铍废物	HW47	含钡废物
HW21	含铬废物	HW48	有色金属采选和冶炼废物
HW22	含铜废物	HW49	其他废物
HW23	含锌废物	HW50	废催化剂

按物理和化学性质分类，危险废物可分为无机危险废物、有机危险废物、油类危险废物、污泥危险废物等，见表 1-6 所列。

表 1-6 危险废物按物理和化学性质分类

分类	废物名
无机危险废物	酸、碱、重金属、氧化物、电镀废水等
有机危险废物	杀虫剂，石油类的烷烃和芳香烃，卤代物的卤代烃、卤代脂肪酸、卤代芳香烃化合物和多环芳香烃化合物等
油类危险废物	润滑油、液压传动装置的液体、受污染的燃料油等
污泥危险废物	金属工艺、油漆、废水处理等方面的污染物

第 三 节 固体废弃物的危害与防治

一、固体废弃物的污染途径

固体废弃物特别是有害固体废弃物，若处理处置不当，则其能通过不同途径危害人体健康。固体废弃物露天存放或置于处置场，弃置的有害成分可通过环境介质——大气、土壤、地表或地下水等间

接传至人体,对人体健康造成极大的危害。通常,工矿业固体废弃物所含化学成分能形成化学物质型污染;人畜粪便和生活垃圾是各种病原微生物的滋生地和繁殖场,能形成病原体型污染。固体废弃物污染的途径如图 1-2 所示。

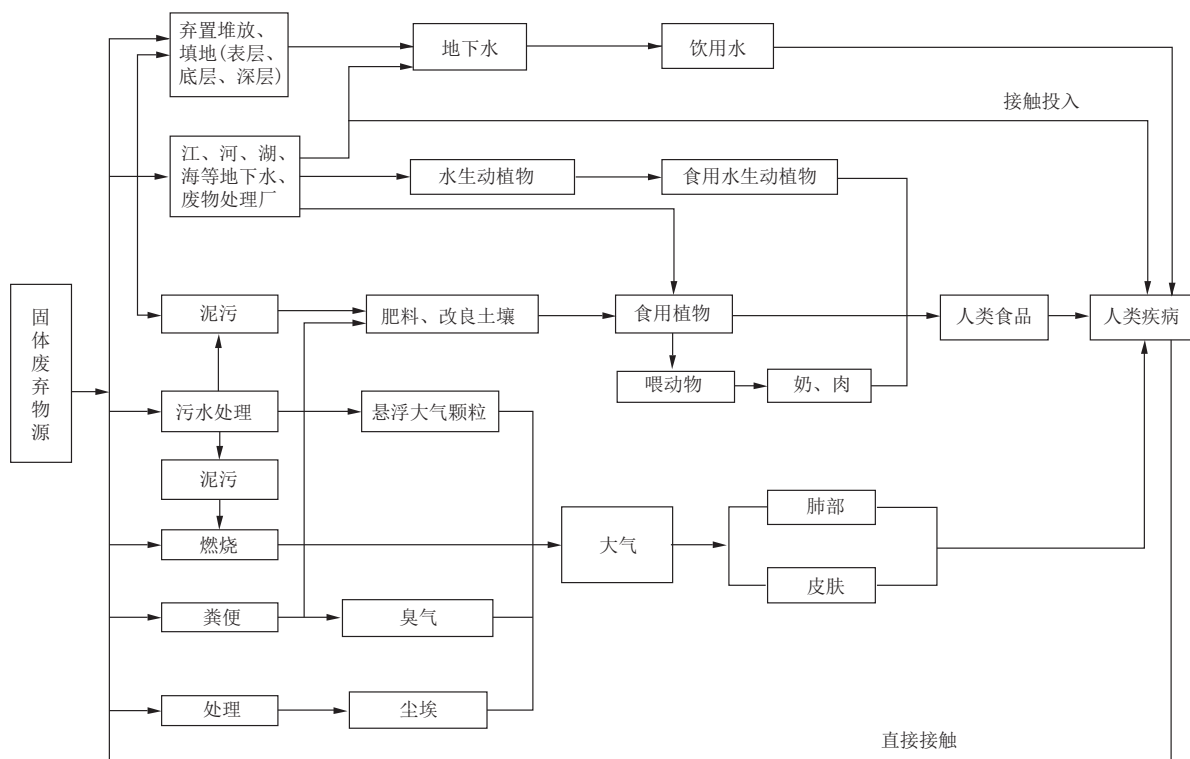


图 1-2 固体废弃物污染的途径

固体废弃物污染与废水、废气和噪声污染不同，其呆滞性大、扩散性小，对环境的污染主要是通过水、气和土壤进行的。气态污染物在净化过程中被富集成粉尘或废渣，水污染物在净化过程中以污泥的状态分离出，即以固体废弃物的状态存在。这些“最终物”中的有害成分，在长期的自然因素作用下，又会转入大气、水体和土壤，故又成为大气、水体和土壤环境的污染“源头”。因此，固体废弃物既是污染“源头”，也是污染“终态物”。固体废弃物这一污染“源头”和“终态物”的特性说明：控制“源头”，处理好“终态物”，是固体废弃物污染控制的关键。

二、固体废弃物的危害

固体废弃物在收集、运输和处理、处置过程中，其本身含有的和产生的有害成分，会对大气、土壤和水体造成污染，不仅严重影响环境质量，而且威胁人民的身体健康。

固体废弃物对环境的危害主要表现在如下几个方面。

（一）占用土地、损伤地表

固体废弃物特别是矿山固体废弃物产生量巨大，其堆存占用大量土地，并对土地产生破坏作用。为此，一些国家专门制定了相关的法律、法令及规章条例，对矿山企业占用和破坏土地严格加以控制。

我国不少矿山地处城市和风景区，占用和破坏的土地面积不容忽视。因此，国家在矿山占用土地及地面环境保护方面，公布了一系列的法律和规定，提出了十分严格的要求。

（二）污染水质和土壤，危害生物并影响农业生产

由于固体废弃物如矿山固体废弃物中一般含有多种有毒、有害物质，如重金属元素及一些放射性

的物质，这些固体废弃物在露天场所长期堆放，会与空气发生氧化、分解以及溶滤等作用，使其中的有毒、有害物质随着雨水流失，另外还有有毒的残留浮选药剂以及剥离废石中含硫矿物引发的酸性废水，一起污染水体和土壤，并被植物的根部吸收，影响农作物生长，造成农业减产。更可怕的是，这些有毒、有害物质会通过食物链进入人体，危及人体健康。

矿山废石和尾矿的长期堆积，还会导致固体废弃物的大量流失，造成水溪、河流堵塞，使水体受到严重污染，危害农业生产。

固体废弃物中的重金属元素，由于各种作用渗入土壤之后，会导致土壤毒化，严重破坏土质，使土壤中的微生物大量死亡，土逐渐失去腐解能力，最终土壤越发贫，最后砂化变成“死土”。

（三）引发重大地质与工程灾害

固体废弃物长期堆放，不仅在经济上带来巨大的损失，还会诱发重大的地质与工程灾害，如排土场滑坡、泥石流、尾矿库溃坝等，给社会带来极大的损失。在过去的 30 多年里，全世界几乎每年都会发生尾矿存储设施破坏的事故。

（四）污染环境，破坏生态平衡

长期堆放于地表的固体废弃物，由于终年暴露在大氣中，往往会因风化作用而变成粉状，特别是在干旱季节时，在一定的风速作用下扬起大量粉尘而污染矿区的大气环境。

有些矿山固体废弃物中含有硫铁矿、碳素等可燃物质，在大气供氧充分的条件下，有可能会導致自热和自燃，从而生成大量的 SO_2 等有毒、有害气体，严重污染矿区的大气环境，危害矿区植物以及附近农作物的生长，导致生态失调。如含有 FeS 的煤矸石，由于 FeS 的燃点低，在煤矸石中易氧化并产生大量的热能，随着热能的积累使其温度不断升高，逐步引起含碳物质的燃烧并蔓延扩大，最后导致整个煤矸石的自燃并释放出大量的 SO_2 。据国内外的统计资料显示，美国现有 500 多座煤矸石或含有硫化物的废石堆发生自燃，已造成巨大的损失。而我国现有 1/3 的矿山煤矸石发生过自燃。

另外，不少金属矿山的固体废弃物中还含有放射性物质。据实测资料统计，在非铀金属矿山当中，含铀 30% 以上矿山的矿岩中含有放射性物质。由于放射性元素对人体健康的主要危害是引起各种癌症，因此，含放射性元素的矿山固体废弃物不但不宜作建筑材料使用，而且必须进行严格的处理，否则会使矿区环境污染的范围扩大，引起严重的后果。

1. 对土壤环境的污染

土壤是许多细菌、真菌等微生物聚居的场所。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部分重要任务。工业固体废弃物，特别是有害固体废弃物，经过风化、雨雪淋溶、地表径流的侵蚀，发生各种化学反应，产生高温或毒水，能杀灭土中的微生物，使土壤丧失腐解能力，导致草木不生。

固体废弃物中的有害物质进入土壤后，还可能在土壤中发生积累。来自大气层核爆试验产生的散落物，以及来自工业或科研单位的放射性固体废弃物，也能在土壤中积累，并被植物吸收，进而通过食物链进入人体。

2. 对大气环境的污染

堆放的固体废弃物中的细微颗粒、粉尘等可随风飞扬，从而对大气环境造成污染。据研究表明：当风力为 4 级以上时，在粉煤灰或尾矿堆表层的粒径小于 1.5cm 的粉末将出现剥离，其飘扬的高度可达 20~50m，在风季期间可使平均视程降低 30%~70%。而且堆积的废物中某些物质的化学反应，可以不同程度上产生毒气或恶臭，造成地区性空气污染。

废物填埋场中逸出的沼气也会对大气环境造成影响，它在一定程度上会消耗填埋场上层空间的氧，从而使植物衰败。此外，固体废弃物在运输和处理过程中，也能产生有害气体和粉尘。

3. 对水环境的影响

在世界范围内，有不少国家直接将固体废物倾倒入河流、湖泊或海洋。应当指出，这是有违国际公约，理应严加管制的。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，会污染地面水，并随渗滤液渗透到土壤中，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。

即使无害的固体废物排入河流、湖泊，也会造成水体污染，河床淤塞，水面减小，甚至导致水利设施的效益减少或废弃。

生活垃圾未经无害化处理就任意堆放，也已造成许多城市的地下水污染。

(五) 严重浪费资源

矿山的固体废物中常含有多种金属元素，如果长期堆放和流失，不及时进行回收和综合利用，不仅污染环境，而且从国家矿产资源来说，也是一种极大的浪费。我国矿产资源利用率很低，其总回收率比发达国家低 20%，铁、锰等黑色金属矿山采选的平均回收率仅为 65%，国内有色金属矿山采选的综合回收率只有 60%~70%。以铁矿为例，我国资源共（伴）生组分很丰富，大约有 30 种，但目前能够回收的仅 20 余种。因此，大量有价值金属元素及可利用的非金属矿物遗留在固体废物中，造成每年矿产资源开发损失总值约 1 000 亿元。特别是老尾矿，由于受当时条件的限制，尾矿中损失的有价值组分会更多。

(六) 影响环境卫生，危害人体健康

20 世纪 30—70 年代，因工业固体废物处置不当，毒性物质在环境中扩散而引起公害的事件时有发生，如日本富山县含铬废渣倾倒引起“痛痛病”事件，美国纽约州拉夫运河河谷土壤污染事件，等等，这些事件都给人们带来了灾难性的后果。

随着《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的实施，全国地级及以上城市生活垃圾分类工作全面启动，各省（区、市）均已制定垃圾分类实施方案，使垃圾分类习惯加快养成。2024 年，全国地级及以上城市居民小区垃圾分类覆盖率达 92.6%，46 个重点城市已率先建立比较完备的垃圾分类投放、分类收集、分类运输、分类处理系统。这些数据表明中国在推动城市生活垃圾分类方面的积极措施和取得的初步成果。截至 2023 年，全国城市生活垃圾的无害化处理率达 99.9%，显示出中国在城市生活垃圾处理方面的效率和成效。此外，农村生活垃圾收运处理的行政村比例达 90% 以上，农村生活污水治理（管控）率达 40% 以上。这表明中国在城乡垃圾处理一体化方面取得的进展。同时，危险废物的监管和处置能力也在不断加强，体现了中国在固体废物污染环境防治方面的努力和成效。

三、固体废物污染环境防治

固体废物污染控制需从三方面考虑：一是减少固体废物污染，二是综合利用废物资源，三是无害化处理与处置。对应这三方面的主要控制措施如下。

(一) 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，从改革生产工艺着手，采用无废或少废的清洁生产技术，从而从源头上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，该法生产过程产生大量硝基苯、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 2500 kg 减少到 5 kg，还大幅降低了能耗。

(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，便可少加造渣溶剂和焦炭，并大幅降低高炉渣的产生量，一些工业先进国家采用精制炼铁，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，以减少固体废弃物的产生量。

(3) 提高产品质量和使用寿命,使其不过快地变成废物。

(4) 发展物质循环利用工艺。发展物质循环利用工艺,从废物中提取有用成分,循环使用,减少固体废弃物进入环境,以取得经济、环境和社会的综合效益。

(二) 综合利用

有些固体废弃物中含有可回收利用的成分。如,高炉渣中(含有 CaO 、 MgO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等)的成分可用来制砖和水泥;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。

(三) 无害化处理与处置

固体废弃物用焚烧、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。

第 四 节

固体废弃物处理技术介绍

固体废弃物处理都是以无害化、资源化、减量化为处理目标。本节着重生活垃圾的处理,所以主要讨论生活垃圾的处理方式,由于垃圾成分复杂,并受经济发展水平、能源结构、自然条件及传统习惯等因素的影响,所以国外对生活垃圾的处理一般随国情而不同,往往一个国家中各地区也采用不同的处理方式。从应用技术的角度看,国外的填埋、焚烧、堆肥、综合利用等方式的机械化程度较高,已形成系统及成套设备。从国外多种处理方式的情况看,有以下趋势:①工业发达国家由于能源、土地资源日益紧张,焚烧等热处理方式的比例逐渐增多;②填埋法作为垃圾的最终处置手段一直占有较大比例;③不分类的堆肥方式逐渐消失;④其他一些新技术,如热解法、填海、堆山造景等技术,正不断取得进展。

现行的处理方式介绍如下。

一、填埋处理

(一) 填埋概述

填埋是由传统的堆放和土地处置发展起来的一种最终处理技术,不是单纯的堆、填、埋,而是一种按工程理论、土地标准,对固体废弃物处理技术进行有效管理的综合性科学工程方法。在填埋方式上,它已从堆、填、埋、覆盖向包容、屏蔽、隔离的工程贮存方向发展。要进行土地填埋处置,首先需要进行科学的选址,在设计规划的基础上对场地进行防护、防渗处理,然后按严格的操作程序进行填埋操作和封场,要制定全面管理制度,定期对场地进行维护和监测。填埋技术主要应用于生活垃圾的卫生填埋。

当代生活垃圾卫生填埋处置的基本概念是运用各种天然屏障和工程屏障,尽可能地将其与生活环境相隔离。对生活垃圾卫生填埋处置而言,由于生活垃圾中的有机物具有可生物降解性,因此,为了保证被填埋的固体废弃物的稳定化过程不致延长,容许一定量的大气降水进入填埋场和渗滤液少量地泄漏。通过填埋场底部衬层渗漏少量渗滤液,它的有机污染物在通过包气带土壤向下运移的过程中会因吸附、生物降解等原因而得到净化。

设置生活垃圾卫生填埋场的目的,就是保护生活环境和自然环境,防止生活垃圾产生各种可能的环境污染。生活垃圾填埋场的功能大致可以分为三类:贮存、隔断生活垃圾与外界环境的水力联系,

以及处理水、气和生活垃圾。

填埋场的贮存功能，即利用自然地形或人工修筑形成的一定空间，将一定年限内产生的生活垃圾贮留在内，待空间充满后封闭，恢复这一地区的原貌。这是填埋场的基本功能，但不是主要功能，随着技术的进步和环境保护要求的提高，这一功能在整个功能中所占的比重越来越小。

隔水功能是填埋场的主要功能，一方面，要防止由于生活垃圾本身所带来的水分以及降水与生活垃圾接触产生的渗滤液对地下水和地面水的污染，必须将渗滤液与外界的联系切断，同时收集后引出处理。这就要求填埋场必须设有防渗层、渗滤液集排系统；另一方面，还要防止外界降水和地表径流、地下水进入填埋场，以减少渗滤液的产生。这样，就要求填埋场还要有必要的场内雨水集排系统、周边雨水排泄系统、地下水集排系统和每日封闭系统、封顶层等。

填埋场的处理功能表现在两方面：一方面，填埋场要对渗滤液以及排出的填埋气进行必要的处理；另一方面，生活垃圾在填埋层中的生物和其他物理化学作用下达到稳定的过程，这实际上也是一种生活垃圾的处理过程。在这一过程中，微生物的作用最大。如生活垃圾中的厨余物、纸类、纤维、草木类、有机污泥等可分解有机物质，在微生物的作用下，逐步分解为气态物质（ CO_2 、 H_2S 等）、水和无机盐类等，达到减容和稳定的目的。有人提出“生物反应器”的概念，即利用填埋层作为有机物降解的生物反应器，处理填埋场产生的含高浓度有机物的渗滤液和使生活垃圾中的有机物迅速降解。这实际上也是充分利用了填埋场的“处理”功能。

（二）填埋的种类

填埋场的种类很多，采用的名称也不尽相同，一般可以按如下几个方面分类。

1. 按构造分类

填埋场按构造通常可以分为三种：自然衰减型填埋场、全封闭型填埋场和半封闭型填埋场。

（1）自然衰减型填埋场。自然衰减型填埋场不设防渗层和渗滤液收集设施，其主要理念是可以允许部分渗滤液渗入地下黏土层，并向填埋场周围慢慢扩散，同时借助渗滤液在垃圾场内及填埋场底部地层的非饱和区内发生的各种衰减作用，包括稀释、扩散等，使渗滤液逐步得到净化，并减少对填埋场周围水域的影响。它的主要设计指标是黏土不饱和区的最小厚度，即距基岩的深度与取水井间的最小距离等。

（2）全封闭型填埋场。顾名思义，全封闭型填埋场就是从填埋场设计启用开始到填埋场结束封场，利用地层结构的低渗透性或工程型密封系统，将生活垃圾与周围环境完全隔离开，减少渗滤液产生量和渗入蓄水层中的渗滤液量，并对场区内的渗滤液进行收集和处理，使填埋场对地下水及周围的环境污染降低到最低限度。全封闭型填埋场的底部、边坡和顶部均须设置由黏土、人工衬层等一种或几种防渗材料组合而成的防渗系统，并设有渗滤液的收集、导排和检测系统。

（3）半封闭型填埋场。半封闭型填埋场介于自然衰减型填埋场和全封闭型填埋场之间。一般而言，半封闭型填埋场与外界隔离的程度没有全封闭型填埋场的程度高，处于“准封闭状态”。一般它的底部也设有单密封系统，并设有渗滤液收集和导排系统，但由于它的顶部密封没有严格采用防渗衬层，因此，仍可能有部分降水进入填埋作业区，以致扩散到周边环境。

2. 按地质分类

填埋场的类别很大程度上取决于用作填埋场的地质类型，如使用空地，也选择沼泽、荒地和沿海地区。不同性质的土地对填埋场的建设影响很大。

（1）包容性场地。包容性场地指周围都被滞水层包围的填埋场，填埋场产生的渗滤液滞留其中，不会对地下水造成污染。

（2）衰减性场地。衰减性场地指被渗透率低的地层包围的填埋场，填埋场中形成的渗滤液迁移速度很慢，当其到达地下水位时，已经被很大程度地稀释了。当最后进入地下水时，其对水质的影响较小。填埋场底部与地下水位之间的距离越长，稀释程度越高。

(3) 快速迁移场地。快速迁移场地指被渗透率高的地层包围的填埋场，渗滤液在没有经过充分稀释之前，就进入了地下水。

按照卫生填埋要求，必须防止渗滤液对地下水的污染，所以现在一般要求对填埋场的底部进行防渗处理。对于包容性场地，可以将砾石层铺在场地的底部和四周，这可以使渗滤液得到稀释，对于衰减性场地和快速迁移场地，则必须在场地的底部及四周铺设不透水的衬层，防止渗滤液污染地下水，衬层的材质可选用胶质性黏土及土工布等。

3.按地形分类

填埋场的构筑方式和填埋方式还与地形地貌有关，可以分为山谷型卫生填埋场、滩涂型卫生填埋场和平地型卫生填埋场。平地型卫生填埋场又称为平原型卫生填埋场，可以分为地上式和地下式两种。

(1) 山谷型卫生填埋场。山谷型卫生填埋场是一种利用天然沟、山谷对生活垃圾进行处理的填埋场。这种类型填埋场的高差比一般较大，而且地质介于稀释性与渗透性之间，因此，雨污水的分流与导排及防渗系统的设计是此类填埋场安全运营的关键。

(2) 滩涂型卫生填埋场。滩涂型卫生填埋场主要指位于海滩附近、经过长期冲击淤积而成的滩地。它的场地标高低于正常地面。设计此类填埋场时，首先要在规划填埋区域建造人工防渗堤坝。由于这类填埋场的地下水位较高，因此，其关键点在于地下水防渗系统的设计。

(3) 平地型卫生填埋场。平地型卫生填埋场适用于地形比较平坦且地下水较浅的地区，一般采取高层堆放垃圾的方式，确定高于地平面的填埋高度时，必须充分考虑作业的边坡比。填埋场顶部的面积能保证垃圾车和推铺压实机械设备在上面安全工作，但是存在覆盖土源短缺的突出问题，所以过去使用在填埋场的底部开挖基坑的土的方法来保证覆盖土的供应。

4.按反应机制分类

生活垃圾填埋处理、处置过程可以看成是一个“最大限度地利用自然循环和分解机制”的过程。从这种观点出发，填埋场可以分为厌氧性填埋场、好氧性填埋场和准好氧性填埋场。

(1) 厌氧性填埋场。厌氧性填埋场的工作原理：在水浸渍的状态下填埋，空气无法进入，在填埋体内部形成厌氧状态，生活垃圾中的有机物分解缓慢。厌氧分解分为两步：第一步是有机物被分解为有机酸或乙醇，第二步分解为甲烷和二氧化碳。从生活垃圾填埋开始到填埋物稳定需要一个很长的时间。在一些地域宽阔的国家，填埋场地无须恢复利用，多采用厌氧性填埋方式，同时收集甲烷气体用于发电。可是近年来由于甲烷气体破坏臭氧层，使厌氧性填埋方式受到一定限制，好氧性填埋方式成了研究的重点。

(2) 好氧性填埋场。好氧性填埋也分为两种：一种是用鼓风机直接向填埋场中鼓风的“好氧性填埋”，另一种是在集水管末端利用自然通风使填埋体中空气流通的“准好氧性填埋”。这两种都有早期稳定有机物的效果，但是“好氧性填埋”需要动力，费用是一个制约因素。

(3) 准好氧性填埋场。准好氧性填埋场的结构是集水井末端敞开，利用自然通风，空气通过集水管向填埋体中流通。填埋体中的有机物与空气接触，好氧分解，产生二氧化碳气体，气体经过排气设备放出。随着堆积的生活垃圾越来越多，空气被上层的生活垃圾和覆盖土挡住无法进入下层，下层生成的气体穿过生活垃圾间的空隙，由排气设施放出。这样，在填埋体中形成一定的负压，空气就可以从开放的集水管中吸入，向填埋体扩散，扩大好氧范围，促进有机物的分解，但是空气无法到达整个填埋体。当生活垃圾层变厚以后，填埋地表层、集水管附近、立渠和排气设施周围成为好氧状态，而空气接近不了的填埋体中部则处于厌氧状态。在厌氧状态区域，部分有机物被分解，硫化物被还原成硫化氢，生活垃圾中含有的镉、汞和铅等重金属与硫化氢反应，生成不溶于水的硫化物，存留在填埋体中。这种好氧厌氧共存的方式，称为“准好氧性填埋”。准好氧性填埋在费用上与厌氧性填埋相差不大，而在有机物管理方面不比好氧性填埋差，因此其应用也是很普遍的。

5.其他分类方式

除了上述几种主要的和典型的分类方式，填埋场还有其他分类方式，例如，按废物填埋的深度可

分为浅地层填埋场和深地层填埋场；按处置对象的性质和填埋场的结构形式可以分为卫生填埋场、安全填埋场和惰性填埋场等；按固体废物污染防治法规，可分为一般固体废物填埋场和工业固体废物填埋场，其中工业固体废物填埋场又可分为遮断型、管理型和安定型三种；还有按填埋场建设规模和处理能力分类的。

目前被普遍承认的分类法是将其分为卫生填埋和安全填埋两种。前者主要处置生活垃圾等一般固体废物，而后者则主要以危险废物为处置对象。这两种处置方式的基本原则相同，事实上安全填埋在技术上完全可以包含卫生填埋的内容，但更严格，费用也更高。所谓卫生填埋，就是对生活垃圾填埋场按环境卫生工程技术进行施工，使填埋的生活垃圾对地下水、地表水、土地、空气及周边环境不至于造成污染。

二、生化处理

生物化学方法在固体废物资源化和处理中具有重要意义，它不仅可以使有机固体废物变成能源、食品、饲料和肥料，而且可以从废品和废渣中提取金属。可以说，生物化学方法是各种固体废物处理方式中高效而又经济的方法，但仅适合处理有机物质。

目前，国内外利用生物化学方法处理固体废物在以下几个方面比较成熟。

- (1) 有机垃圾的堆肥化。主要用于处理生活垃圾、农林牧渔业和食品加工业废物。
- (2) 纤维素糖化。主要用于各种废纤维素糖化生产食品和饲料。
- (3) 沼气化。主要用于生活垃圾、粪便、有机污泥、农林牧渔和食品加工废物制取沼气。
- (4) 提取金属。主要从废品和废渣中提取铜、铀、镍、锰、锌、钨以及若干种稀有元素。

此处主要介绍堆肥化。

(一) 堆肥化的定义

堆肥化是在人工控制的条件下，使来源于生物的有机固体废物进行生物稳定作用的过程。这个定义有三层含义：第一，强调作为堆肥化的原料是来自生物质的固体废物；第二，强调这一过程是在人工控制条件下进行的，即采取有效措施促进生物分解，说明它不同于卫生填埋、废物的自然腐烂与腐化等形式的分解；第三，强调这一过程发生“生物稳定”作用，既讲明了堆肥化的实质是生物化学过程，又讲明了实现无害化的条件。所谓稳定是相对的，是指堆肥产品对环境无害，并不是废物达到完全稳定。固体废物经过堆肥化处理，制得的产品叫作堆肥。

(二) 堆肥化的分类

堆肥化有三种分类方法，如图 1-3 所示。习惯上都按需氧程度区分，即分为好氧堆肥化与厌氧堆肥化。现代化堆肥工艺，基本上都是好氧堆肥化，这是因为好氧堆肥化温度高、基质分解比较彻底、堆制周期短、异味小、可以大规模采用机械处理等。厌氧堆肥化是利用厌氧微生物完成分解反应的，空气与堆肥隔绝，温度低，工艺比较简单，产品中氮的保存量比较多；但堆制周期太长、异味浓烈、产品中掺杂有分解不充分的物质。

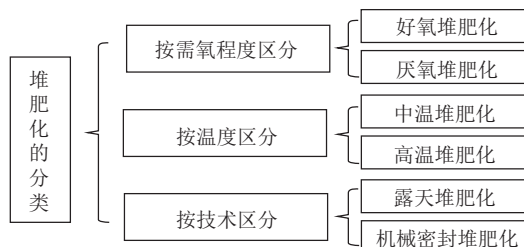


图 1-3 堆肥化的分类

(三) 堆肥基质

堆肥基质是指固体废弃物中来源于生物本身的可以作为微生物的营养物的各种有机物质。生活垃圾、粪便、污泥、农林废物中都有这种基质。

(1) 生活垃圾。生活垃圾是指城市居民日常生活、商业活动、机关办公、市政维护过程中产生的固体废弃物，包括厨房废物、废纸、废织物、废旧家具、玻璃陶瓷碎物、废旧塑料制品、废交通工具、煤灰渣、脏土等。生活垃圾中金属、陶瓷、塑料等物质需要经过分选回收，只有剩余有机质才能用于生产堆肥。

(2) 粪便。粪便的 C/N 比较低，是微生物的良好营养物质，非常适于作堆肥原料。

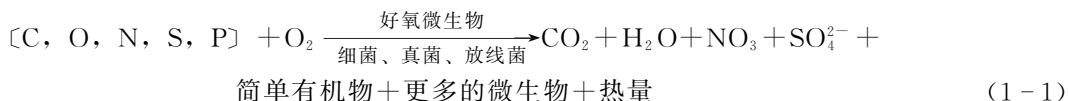
(3) 污泥。污泥是指城市生活污水及某些工业废水处理过程中产生的污泥。城市污水处理过程中产生的污泥含有机物 30%~50%，含氮 2%~6%，含磷 1%~4%，含钾 0.2%~0.4%；食品、制革、造纸、炼油等行业的工业废水处理过程中产生的污泥中也含有大量有机物，都适于生产堆肥。

(4) 农林废物。农林废物是指农、林、牧、渔各业生产及农民日常生活过程中产生的植物秸秆、牲畜粪便，都是微生物的良好营养物质，适于生产堆肥。

(四) 堆肥化原理

1. 好氧过程

固体废弃物的好氧堆肥化是基质的微生物发酵过程，可用下式表示：



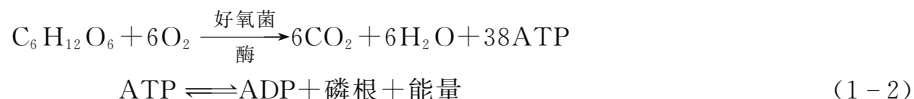
(1) 中温发酵和高温发酵。

好氧堆肥化包括中温和高温两个阶段。中温范围是 15~45℃，高温范围是 45~80℃。现代化堆肥生产全部过程，以高温时间持续最长，故称为高温堆肥化。在中温范围和高温范围活动的微生物，主要分为嗜温性微生物和嗜热性微生物两类。嗜温性微生物包括细菌和真菌，所利用的基质有糖和淀粉；嗜热性微生物主要包括细菌、真菌和放线菌，所利用的基质有脂类、蛋白质、纤维素等。各种嗜温性微生物适于在中温发酵阶段活动。各种嗜热性微生物适于在高温发酵阶段活动，现代化堆肥生产的最低温度确定为 55℃，这是因为大多数微生物在 45~80℃最活跃，最易分解有机物。其中的病原菌和寄生虫大多可被杀死。

(2) 前期发酵和后期发酵。

堆肥化开始，温度慢慢上升，嗜温菌较为活跃，大量增殖，在转换和利用有机物的化学过程中，有一部分变成热能，加上堆肥物料具有良好的保温作用，温度不断上升，可达到 65~70℃或者更高。到达此温度时，嗜温菌受到抑制，甚至死亡。除残留的和形成的可溶性有机物继续分解转化外，复杂的有机物像半纤维素、纤维素和蛋白质也受到分解。在好氧堆肥化过程中，固体废弃物中各种有机物分解的难易程度不同，糖、淀粉最容易被微生物分解利用；脂类物质抗微生物分解的能力不强，能够被分解；木质素抗微生物分解的能力最强。在好氧堆肥化过程中，由于好氧微生物赖以生存的氧气有限，一旦耗尽，好氧微生物便濒于死亡，故需采用通风或翻堆以供给氧气。

生态动力学研究表明，好氧分解中发挥主要作用的是菌体硕大、性能活泼的嗜热菌群。这类菌群分解有机物的作用是在大量氧分子存在下将有机物氧化，其氧化作用一定要在细胞的线粒体中进行，并且伴随着大量的能量产生，可用下式表示：



式中：ATP 是三磷酸腺苷，是储存细胞能量的物质；ADP 是二磷酸腺苷。

2. 厌氧过程

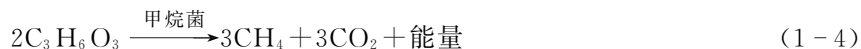
固体废弃物的厌氧堆肥化，实际上也是基质的微生物发酵过程。

这个发酵过程共分为两个阶段。

第一阶段主要是产酸菌将大分子有机物降解为小分子有机酸和乙醇、丙酮等物质，并提供部分能量因子 ATP。以乳酸菌分解有机物为例：



乳酸并非最终产物，它仅为甲烷菌继续分解提供小分子有机酸原料，使厌氧反应进入第二阶段：



式 (1-4) 厌氧反应表明，反应没有氧分子参加，酸化过程只产生 2 个 ATP。许多能量留存于有机酸分子中，需要甲烷菌进行第二次分解才能释放出来。整个厌氧反应步骤多、速度慢，是造成厌氧分解周期长的直接原因。同时厌氧反应不如好氧反应产能多，靠厌氧反应产生的热量难以维持较高的反应温度。

三、焚烧处理

(一) 焚烧的含义

焚烧是固体废弃物能源化利用的主要途径，而要合理设计焚烧炉，必须对固体废弃物的物化特性与热解、燃烧机理有深入的了解。焚烧法是一种高温热处理技术，即以过量的空气与被处理的有机废物在焚烧炉内进行氧化燃烧反应，废物中的有害、有毒物质在 800~1 200 ℃ 的高温下氧化而被破坏，是一种可同时实现废物无害化、减量化和资源化的处理技术。将垃圾进行焚烧处理后，垃圾能减量化，节省用地，还可消灭各种病原体，将有毒、有害物质转化为无害物。现代的垃圾焚烧炉皆配有良好的烟尘净化装置，以减轻对大气的污染。

西方发达国家目前通用的垃圾焚烧系统主要有层燃、流化床式和旋转窑式焚烧系统。

(1) 层燃焚烧系统。层燃焚烧系统采用滚动炉排、水平往复推饲炉排或倾斜往复炉排（包括顺推和逆推倾斜往复炉排）等方式。层燃焚烧方式的主要特点是生活垃圾无须严格的预处理。滚动炉排和水平往复推饲炉排的拨火作用强，比较适用于低热值、高灰分的生活垃圾的焚烧。

(2) 流化床式焚烧系统。流化床式焚烧系统的特点是垃圾的燃烧在流态化状态下进行，空气与垃圾充分接触，燃烧效果好。但是流化床燃烧需要颗粒大小较均匀的燃料，同时要求燃料给料均匀，一般难以焚烧大块垃圾，因此流化床式焚烧系统对垃圾的预处理要求严格，由此限制了其在工业废物和危险废物焚烧领域的发展。

(3) 旋转窑式焚烧系统。旋转窑式焚烧系统的特点是将垃圾投入连续、缓慢转动的筒体内焚烧直到燃尽，故能够实现固体废弃物与空气的良好接触和均匀充分的燃烧。西方国家多将该类焚烧系统用于有毒、有害工业固体废弃物的处理。

(二) 生活垃圾焚烧的优缺点

焚烧处理与其他处理方式相比具有以下一些优点。

(1) 消毒彻底。经焚烧处理后，生活垃圾中的细菌、病毒等病原体被彻底消灭，燃烧过程中产生的有害气体和烟尘经过处理后达到排放标准，无害化程度高。

(2) 减容效果好。经焚烧处理后，生活垃圾中的可燃成分被高温分解，一般可减容 80%~90%，可节约大量的填埋场占地。

(3) 有利于实现生活垃圾的资源化。生活垃圾焚烧过程所产生的高温烟气，其热能被余热锅炉吸收转变为蒸汽，可用来进行余热发电或供热，生活垃圾可作为能源来利用，同时可用固体废弃物热处理技术回收生活垃圾中有价值的金属，可以实现生活垃圾的资源化。

(4) 处理效率高。生活垃圾焚烧处理厂占地面积小，排放的尾气经处理后污染小，可以靠近市区建厂，节约了生活垃圾的运费。

(5) 不受气候的影响。焚烧处理可以实现全天候操作，不易受气候的影响。

(6) 卫生条件好。生活垃圾所释放的带恶臭的氨气和有机废气在高温下被分解,有利于环境保护。

(7) 发展前景好。随着城市人口密度的增大,地价的不断提高,以及生活垃圾卫生填埋要求的日益严格,卫生填埋费用与日俱增,焚烧处理的费用可望与卫生填埋相媲美。

但是焚烧处理技术也存在一些问题,主要表现在以下几个方面:①投资和运行费用高;②操作运行复杂;③焚烧使垃圾利用率降低;④可能带来严重的二次污染,如尾气中排放的 SO_2 、 NO_x 、二噁英、呋喃等有毒气体,需设尾气净化装置。

(三) 焚烧过程的影响因素

影响生活垃圾等固体废弃物焚烧的因素很多,包括焚烧温度、停留时间、搅拌强度、过剩空气量、生活垃圾性质及其他因素。

1. 焚烧温度

废物的焚烧温度是指废物中有害组分在高温下氧化、分解直至破坏所需达到的温度。它比废物的着火温度要高得多。

一般来说,提高焚烧温度有利于废物中有机毒物的分解和破坏,并可抑制黑烟的产生,减少燃烧所需的时间。但过高的焚烧温度不仅会增加燃烧消耗,而且会增加废物中金属的挥发量和氧化氮的产生量,容易引起二次污染,并会损坏焚烧炉的耐火材料、锅炉受热面及管道。因此,不宜随意使用过高的焚烧温度。

合适的焚烧温度是在一定的停留时间下由实验确定的。大多数有机物的焚烧温度范围为 $800 \sim 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$,一般为 $800 \sim 900\text{ }^\circ\text{C}$ 。为了保证烧尽,通常要求焚烧温度大于 $850\text{ }^\circ\text{C}$ 。

2. 停留时间

停留时间的长短会直接影响废物的焚烧效果、尾气组成等,停留时间也是决定炉体容积尺寸和燃烧能力的重要依据。

废物在炉内焚烧所需的停留时间是由许多因素决定的。例如,废物进入炉内的形态(固体废弃物颗粒的大小、液体雾化后液滴的大小及黏度等)对焚烧所需的停留时间就有较大的影响。当废物的颗粒较小时,与空气接触表面积大,则氧化、燃烧条件就好,停留时间就可短些。一般情况下,应尽可能通过生产性模拟实验来获得设计数据。对于缺少实验手段或难以确定废物焚烧所需停留时间的情况,可参阅经验数据。对于垃圾焚烧,若温度维持在 $850 \sim 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$,并有良好的搅拌和混合,则燃烧气体在燃烧室的停留时间为 $1 \sim 2\text{ s}$ 。

3. 搅拌强度

要使废物完全燃烧,减少污染物的形成,必须使废物与助燃空气充分接触、可燃气体与助燃空气充分混合。

为增大固体废弃物与助燃空气接触和混合的程度,搅动方式是关键所在。焚烧炉所采用的搅动方式有空气流搅动、机械炉排搅动、流态化搅动及旋转搅动等,其中以流态化搅动的效果最好。

二次燃烧室内氧气与燃烧气体的混合程度取决于二次助燃空气与燃烧气体的相互流动方式和气体的湍流程度。一般来说,二次燃烧室内气体的速度在 $3 \sim 7\text{ m/s}$ 即可满足要求。气体速度过大时,混合强度加大,但气体在二次燃烧室的停留时间会降低,反而不利于燃烧的完全进行。

4. 过剩空气量

在实际的燃烧系统中,氧气与可燃物质无法完全达到理想程度的混合及反应。仅供给理论空气量很难使其完全燃烧,因此,需要供给比理论空气量更多的助燃空气量,以使固体废弃物与空气能完全混合燃烧,这就是过剩空气量。它常用过量空气系数 x 表示,即过量空气系数为实际供应空气量与理论空气量的比值,定义为

$$x = A/A_0 \quad (1-5)$$

式中: A_0 为理论空气量; A 为实际供应空气量。

根据经验,在通常情况下,过量空气系数一般需要大于 1.5,常为 $1.5 \sim 1.9$,但在某些特殊情况

下, 过量空气系数可能在 2 以上, 才能达到较完全的焚烧效果。

5. 生活垃圾性质

生活垃圾的热值、组成成分和各组分的尺寸是影响生活垃圾焚烧的主要因素。热值越高, 燃烧过程越易进行, 焚烧效果也就越好。生活垃圾组成成分的尺寸越小, 单位质量或体积生活垃圾的比表面积越大, 生活垃圾与周围氧气的接触面积也就越大, 焚烧过程中传热及传质效果越好, 燃烧越完全; 反之, 传热及传质效果越差, 越易发生不完全燃烧。因此, 在生活垃圾被送入焚烧炉之前, 对其进行破碎预处理, 可增加其比表面积, 改善焚烧效果。

6. 其他因素

影响生活垃圾焚烧的其他因素包括生活垃圾在炉中的运动方式及生活垃圾层的厚度等。对炉中的生活垃圾进行翻转、搅拌, 可以使生活垃圾与空气充分混合, 改善条件。炉中生活垃圾层的厚度必须适当, 厚度太大, 在同等条件下可能导致不完全燃烧; 厚度太小, 又会减少焚烧炉的处理量。

综上所述, 在生活垃圾焚烧的过程中, 应在可能的条件下合理控制各种因素, 使其综合效应向着有利于生活垃圾完全燃烧的方向发展。

四、综合处理

生活垃圾综合处理就是卫生填埋、焚烧、堆肥等多种处理系统的有机结合, 应因地制宜, 充分发挥各种处理系统的优势, 扬长避短, 从而真正实现生活垃圾的无害化、减量化和资源化。通过综合处理工艺, 做到最大限度地利用生活垃圾中的再生资源, 并回收其中的可利用物质, 以恢复再生原料资源, 保护自然环境。

生活垃圾综合处理技术以生化处理和机械分选等预处理工艺为基础, 在处理前首先要实现水分和有机质减量, 利用生活垃圾转运站、转运站, 加大中间过程的处理力度, 将生活垃圾中的有用物质资源如金属、塑料、纸类等拣出, 最大限度地回收有用资源。然后按照易腐有机物堆肥、易燃有机物热处理回收热能、无机物填埋的分类处置原则, 在转运站对生活垃圾作进一步的分拣、粉碎、压缩等预处理, 把分拣出的可腐有机物送往堆肥场进行堆肥发酵, 制成堆肥产品出售, 把剩余可燃有机物送往焚烧炉进行焚烧, 回收热量发电, 把少量无机物和焚烧残渣送往填埋场进行卫生填埋处置。对于一些有毒有害的危险物质, 如电池和各种重金属等, 进行特殊的处理和回收利用。

(一) 生活垃圾的分类预处理

综合处理的关键是建立完善的生活垃圾收集分拣系统。先进行生活垃圾分选是必需的, 分选不仅可回收有用物质, 分选出危险废物, 而且是后续各种处理的基础。综合处理系统是建立在生活垃圾有效分选的基础之上的。

1. 生活垃圾分类收集

源头分类收集是最理想的。分类收集是在生活垃圾产生源头按不同组分分类的一种收集方式。生活垃圾分类收集不仅能降低垃圾中塑料、纸张、金属等物资的回收成本, 提高物资回收率和回收质量, 促进资源化, 同时也有利于生活垃圾的后续处理, 如提高了可用于堆肥的有机物资源化效益, 避免了有害物质如废电池、废油漆等进入堆肥中。所以要实现生活垃圾资源化, 必须加强管理, 实现分类收集, 也便于有害物质的单独处置。

2. 废品回收利用

“废品”是指生活垃圾中的塑料、纸张、金属等有价值的物资。我国传统的做法是城镇居民通常将生活中产生的有价值的废物挑选出来出售, 而将其余废物扔到垃圾桶, 采用混合收集方式收运生活垃圾。这种直接回收废品的方式, 对减少生活垃圾收运量起到了重要作用。但由于这种废品回收只是为了经济效益, 没有从减少生活垃圾量、保护资源、保护环境的角度出发, 回收还没有作为一种义务而

仅是赚钱的手段，回收对象多集中为废旧报纸、废旧书刊、废旧金属等利润高的物资，而对废旧塑料、玻璃制品、废电池等的回收不重视，因此废品回收的种类少，回收率比较低。

3.分选回收

混合的生活垃圾回收利用时，分选是重要的操作工序。以前广泛采用的分选方法是从传送带上进行人工分选，这种方法效率低，不能适应大规模的生活垃圾资源化再生利用，所以，近些年国内外研究和开发了各种先进的分选技术和设备，以适应大规模的生活垃圾的处理，而人工分选作为辅助的分选方法。经过收集运输的生活垃圾进入处理系统，通过一系列破碎、筛选、重力分选、磁力分选、浮选等，从生活垃圾中分选出几类产品：①可燃物，主要有塑料、纸类、布料等有机物质；②金属类，主要有废钢铁、铜、铝等；③玻璃；④有机可堆肥物；⑤其他筛上物 and 无机物。

（二）有价值组分的回收利用

生活垃圾经分类收集、物资回收部门回收或分选机械的分离，将分选出来的金属、玻璃、塑料、纸类和橡胶等分送不同部门，直接回收利用或制作新产品。

1.金属的回收利用

生活垃圾中往往含有一定量的废金属，废金属再生的生产工艺相对简单，流程短，工序少，有害杂质少。如果分类回收效果好，许多废金属均可直接利用，几乎没有污染，还可节约投资，降低成本，提高经济效益。金属废料可提取和精炼得到再生金属，发达国家使用的再生金属量为总消费量的25%，有的金属（如铜）可达52.6%。

2.塑料的回收利用

塑料袋、塑料瓶和各种塑料包装材料是不可降解的聚合物。废塑料的回收利用有极大的经济意义。以废塑料而论，它可再生（分单纯再生与复合再生两类），也可经热解为单体再聚合为高聚物或直接得到燃油燃气；它是可燃物质，可直接用焚烧法处理，也可与其他固体废弃物混合焚烧，回收热量或用于发电，但焚烧塑料必须净化烟气，否则会污染大气；还可制作建筑材料、化工新产品与日杂用品等。

废塑料经清理、剪切、碾压，然后进入高强冲洗系统进行冲洗，可初步获得较纯的废塑料原料。在分类过程中，用水把不同质量的塑料分离开，然后干燥。干净干燥的塑料被挤出机械制成新的用于工业生产的颗粒。尽管大多数废塑料并不能达到原始材料特性要求的水平，但可回收的塑料能够满足许多产品应用的质量和性能标准。例如，它能被用于生产花盆、塑料碗碟等小型塑料制品。有时废塑料和原始树脂混合，可以达到更高的性能指标。

废塑料比较好的资源化途径有两条：一是用废塑料生产塑料再生制品，如生产花盆、塑料碗碟等小型塑料制品；二是在高温下裂解，使高分子变成小分子和大分子，生产燃油和燃气。随着石油资源逐渐枯竭，该技术将获得广泛应用。

3.玻璃的回收利用

玻璃瓶是饮料和药品的主要包装材料之一。除啤酒瓶目前仍允许回收再灌装之外，一般玻璃瓶都成为垃圾。玻璃分有色玻璃和无色玻璃两大类。无色玻璃可在高温下熔化、抽丝，经化学处理后的玻璃丝具有柔性，可反复折叠20多次而不断裂，可纺成线，再织成玻璃布。这种玻璃布除做玻璃袋之外，还可做玻璃钢的增强纤维。另外，比较简单的资源化方法，就是废玻璃返回做生产玻璃器皿的原料，用于再生产各类制品，也可综合利用，如制造微晶玻璃、泡沫玻璃、玻璃微珠、玻璃化肥等，或用于生产通用建材（如陶瓷质建材、水磨石、玻璃、马赛克和人造大理石、花岗岩等）以及公路路面覆盖层等。

4.纸类的回收利用

废纸回收和再利用的意义极大。废纸的回收利用不仅投资少、成本低、收效快，而且可以节约化工原料和能源，保护森林，减缓水体的污染并节省外汇支出。当今世界环境日趋恶化，人们的环保意识不断加强，为了保护环境，减少固体废弃物处理负荷，应加大废纸回收利用的力度。

回收废纸的方法可分为两种：机械处理法和化学处理法。机械处理法不用化学药品，废纸经破碎制浆后，通过除渣器除去杂物，用水量很少，水污染较轻，但由于没有脱墨，只能用来制造低档纸或纸板。化学处理法主要用于废纸脱墨，原料可以是新闻纸、印刷纸或书写纸等。

废纸的再生技术包括拆开废纸纤维的解离工序和除去废纸中油墨及其他异物的工序，具体分为制浆、筛选、除渣、洗涤和浓缩、分散和搓揉、浮选、漂白、脱墨等。

（三）生活垃圾的分类处理

堆肥是实现生活垃圾综合利用的主要手段；焚烧作为处理部分不可腐化并具有较高热值有机质的手段，实现热能转换与利用；填埋是垃圾最终处置的保证。生活垃圾综合处理通过分选与回收将易腐有机物堆肥、易燃有机物焚烧、渣土填埋等技术结合起来，形成优势互补，在很大程度上避免了单一处理技术所对应问题的出现。

1. 易腐有机物堆肥

分类处理可将易腐有机物分选出来用于堆肥，这不仅可避免高水分含量给焚烧带来的麻烦，也可避免渗滤液造成的二次污染。

堆肥技术是实现生活垃圾资源化、无害化的一条重要途径。它不仅可以杀死垃圾中的病原菌，有效处理垃圾中的有机物，而且可生产有机肥料，特别适合以农业为主的国家。使用堆肥可以增加土壤中的有机成分，提高农业产量。

2. 易燃有机物热处理回收热能

分类处理可将生活垃圾中的易燃有机物分选出来进行焚烧或者气化热解处理，这就避免了可燃有机物直接进行填埋和堆肥造成的极大浪费。分类后的易燃有机物垃圾含水量低、热值较高，容易燃烧。

3. 无机物填埋

生活垃圾中的碎石、灰渣、玻璃等无机物被分选后进行填埋，这样不仅有效地改善了焚烧和堆肥的条件，同时由于填埋废物已去除了大量有机物，其填埋渗滤液产生量和污染物浓度会大幅降低，处置组分相对简单，减少了各污染物间的复杂反应，从而减少了二次污染，使填埋处置的技术难度和运行成本相对减少，填埋场寿命得到延长。

（四）其他生活垃圾综合利用技术

其他生活垃圾综合利用技术还包括热解法、垃圾衍生燃料技术。下面进行简要介绍。

1. 热解法

传统的热解法，也叫“裂解法”，是垃圾热化学转化的一种。

2. 垃圾衍生燃料技术

垃圾衍生燃料技术是指从生活垃圾中除去金属、玻璃、砂土等不可燃物，将生活垃圾中的可燃物（如塑料、纤维、橡胶、木头、食物废料等）破碎、干燥后，加入添加剂，压缩成所需形状的固体燃料。这种固体燃料可作为供热锅炉、发电锅炉、水泥窑炉的燃料。燃烧后的灰渣可作为制造水泥的有效成分，不需填埋，为生活垃圾的资源化处理拓宽了道路，符合环保发展的趋势。

思考与练习

1. 什么是固体废弃物？固体废弃物有哪些显著特征？
2. 根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，固体废弃物有哪些类型？
3. 固体废弃物有哪些危害？
4. 固体废弃物的常见处理技术有哪些？

第二章

固体废弃物管理



学习目标

- 1. 了解固体废弃物的管理原则。
- 2. 掌握固体废弃物的管理制度。
- 3. 掌握固体废弃物管理的相关法律法规及标准。
- 4. 熟悉固体废弃物的环境监测。



课程思政

教学内容	思政元素	融入思路
固体废弃物的管理原则	环境保护 社会责任 公民道德	通过了解固体废弃物的管理原则，培养学生的环保意识和社会责任感；引导学生学会对废物的安全处理和合理利用，培养学生的环保意识和可持续发展理念
固体废弃物的管理制度	环保意识 法制观念 规则意识	通过了解固体废弃物的管理制度，培养学生的环保自觉性和责任感，推动社会形成绿色发展的共识；培养学生具备法制观念，遵守相关规则，维护制度的权威性和严肃性；鼓励学生自觉遵守环保规定，积极参与环保活动，共同建设美好家园
固体废弃物管理的相关法律法规及标准	法律意识 环保理念 社会责任	通过了解固体废弃物管理的相关法律法规及标准，要求学生必须严格遵守相关法规，不得违法排放和处理固体废弃物；培养学生的环保理念，引导学生自觉履行环保责任，提升学生的社会责任感
固体废弃物的环境监测	科学精神 实践能力 公正公平公开	通过了解固体废弃物的环境监测，鼓励学生积极学习环境监测的科学方法和手段，能够科学、规范地进行环境监测，培养学生的科学精神和实践能力；引导学生自觉遵循科学、客观、公正的原则，确保数据的真实性和可靠性

解决固体废物污染控制的首要问题是建立和健全固体废弃物的管理体系、法律法规制度和技术标准。自 20 世纪 70 年代以来，我国逐渐加深了对固体废弃物的环境管理的重视，逐步完善了固体废物管理的法律法规，不断加强对固体废弃物的科学管理，形成了固体废物处理项目的立项、运营、管理的制度体系，构建了多行业资源化利用固体废弃物的标准体系和技术规范，实现了“绿水青山就是金山银山”的生态治理理念。

第一节

固体废弃物的管理原则

《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》”）确立了固体废物管理必须遵循的基本原则是废物污染防治的减量化、资源化、无害化（以下简称“三化”）原则和全过程管理原则，同时固体废弃物的管理需要结合企业发展的实际。

一、减量化、资源化、无害化原则

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中，首先确立了固体废物污染防治的“三化”原则。

固体废物污染防治的减量化是指减少固体废弃物的产生量和排放量。目前我国固体废弃物的排放量十分巨大，如果能采取措施，最小限度地产生和排放固体废物，就可以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，可以最大限度地合理开发利用资源和能源。减量化的要求不只是减少固体废弃物的数量和减少其体积，还包括尽可能地减少其种类，降低危险废物的有害成分的浓度，减轻或清除其危害特性等。减量化是对固体废弃物的数量、体积、种类、有害性质的全面管理。因此，减量化是防止固体废物污染环境的优先措施，应当改变粗放经营的发展模式，鼓励和支持开展清洁生产，开发和推广先进的采选工艺和设备，保证矿山资源的充分利用。

资源化是指采取管理和工艺措施从固体废物中回收物质和能源，加速物质和能量活动循环，创造经济价值的广泛的技术方法，就是要通过物质回收和物质转换对固体废物进行资源化利用。

无害化是指对已产生又无法或暂时尚不能综合利用的固体废物，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弃物的污染危害。

二、全过程管理原则

由于固体废物本身往往在其他污染的“源头”，故需要对其产生—收集—运输—综合利用—处理—储存—处置实行全过程管理，在每一个环节都将其作为污染源进行严格的控制。因此，解决固体废物污染控制问题的基本对策是避免产生（clean）、综合利用（cycle）和妥善处置（control）的“3C 原则”。近年来，随着循环经济、生态工业园及清洁生产和绿色制造理论、实践的发展，可以通过对固体废物实施减少产生、再利用、再循环策略实现节约资源、降低环境污染及资源永续循环利用的理想目标。

三、环境保护同经济协调发展原则

经济发展尤其是工业生产是人类生活的物质基础，保障和改善人民的生活需要是经济发展的主要目标。而环境问题的解决，也需要通过发展经济来为其提供资金和技术。但是，经济的发展，意味着取自环境的矿产资源和排向环境的废弃物都要增加，因而受到矿产资源可供量和环境容量的限制，正确处理

企业发展与环境保护的关系，必须衡量企业发展与环境保护相互制约的临界线，把企业发展带来的环境问题限制在一定的限度内，在不降低环境质量的要求下使经济能够持续稳定发展、环境保护与经济协调发展，就是把环境保护纳入企业发展规划中，把环境污染和矿产资源破坏解决于生产过程中。

四、预防为主、防治结合原则

西方国家在矿业发展过程中，大体都走了一条“先污染后治理”的道路，但是，以牺牲环境为代价发展工业，其后果是使社会和经济为之付出更大的代价。从这一历史教训中，我们认识到在处理固体废弃物的环境问题上，采取“预防为主”的原则是最为重要的。

预防为主是指在环境管理中，通过经济规划及各种管理手段，采取防范性措施，防止工业固体废物破坏环境的发生。我国是一个发展中国家，在项目建设过程中，由于资金、技术方面的限制，采取预防为主、防治结合原则，可以尽量避免环境破坏或者将污染消除于生产过程中，做到防患于未然。面对不可避免的污染和破坏，则通过各种恢复治理措施，达到环境保护的要求，这无疑是一种投资少、收获大的指导思想。

五、国家宏观调控和市场调节的有机配合原则

对固体废弃物的管理一定要尊重经济规律，充分利用市场竞争机制，因为环境管理是一项政府职能，属于上层建筑范畴。因此，要适应经济基础，同时政府也要适度地实施一些国家干预和宏观调控措施，以弥补市场缺陷与不足，市场调节与国家宏观调控的有机配合，相辅相成，才能有效地保护环境。

随着市场经济体制的建立及经济全球化和全球经济市场化，市场调节在经济活动中起着越来越重要的作用，市场经济的灵敏性、灵活性很好地补充了宏观政策的相对滞后性。在环境保护中，市场机制可以很好地解决固体废弃物治理的资金瓶颈问题和技术成果的转化问题。因此，在实行固体废弃物管理时，要充分利用市场机制，但要摒弃以前的宏观调控手段而单纯依靠市场调控手段也不行，市场的缺陷和失灵呼吁国家的宏观调控，国家介入市场可以为市场提供必要的规则和制度框架。

第二节

固体废弃物的管理制度

根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》及固体废弃物的特点，固体废弃物的管理可以建立以下几种重要管理制度。

一、分类管理制度

固体废弃物具有量多面广、成分复杂的特点，因此《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》确立了对城市生活垃圾、工业固体废弃物和危险废物分别管理的原则，明确规定了主管部门和处置原则。在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中明确规定：“禁止混合收集贮存、运输、处置性质不相容的未经安全性处理的危险废物，禁止将危险废物混入非危险废物中贮存。”

二、工业固体废弃物和危险废弃物申报登记制度

为了使与环境保护相关的主管部门掌握工业废物和危险废物的种类、产生量、流向以及对环境的影响等情况，进而有效地防治工业固体废弃物和危险废物对环境的污染，《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》要求实施工业固体废弃物和危险废物申报登记制度。

三、固体废物污染环境评价和“三同时”制度

固体废物污染环境评价和“三同时”制度是我国环境保护的基本制度,《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》进一步重申了这一制度。《中华人民共和国环境保护法》第四十一条规定:“建设项目中防治污染的设施,应当与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。防治污染的设施应当符合经批准的环境影响评价文件的要求,不得擅自拆除或者闲置。”这一规定在我国环境立法中通称为“三同时”制度。

四、排污收费制度

排污收费制度也是我国环境保护的基本制度,但是,固体废弃物的排放与废水、废气有着本质的不同。废水、废气排放进入环境后,可以在自然中通过物理、化学、生物等多种途径进行稀释、降解,并有着明确的环境容量。而固体废物进入环境后,并没有被其形态相同的环境体接纳。固体废物对环境的污染是通过释放出水 and 大气污染物进行的,而这一过程是长期和复杂的,并且难以控制。因此,从严格意义上来讲,固体废物是严禁不经任何处理处置排入环境中的。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定:“企业事业单位对其产生的不能利用或者暂时不利用的工业固体废物,应当按照国务院环境等主管部门的规定建设储存设施、场所。”这样,任何单位都被禁止向环境排放固体废物。因此,固体废物排污费的交纳,是对那些在按照规定和环境保护标准建成固体废物储存或者处置的设施、场所,或者经改造这些设施、场所达到环境保护标准之前产生的固体废物而言的。

五、限期治理制度

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定:没有建设工业固体废物储存或者处置设施、场所,或者已建设但不符合环境保护规定的单位,必须限期建成或者改造。实行限期治理制度是为了解决重点污染源污染环境问题。对于排放或处置不当的固体废物造成环境污染的企业和责任者,实行限期治理,是有效防治固体废物污染环境的措施。限期治理就是抓住重点污染源,集中有限的人力和物力,解决最突出的问题。如果限期内不能达到标准,就要采取经济手段甚至停产的手段进行制裁。

六、矿山环境恢复治理保证金制度

对矿山企业来说,矿山环境恢复治理保证金制度是一项结合矿山环境特点新增加的制度,通过启动矿山企业缴纳的保证金来开展矿山环境的恢复治理工作,一旦矿山企业没有履行应尽的义务,没有恢复治理或者恢复治理不达标,就可以启动矿山企业缴纳的保证金来开展矿山固体废物复垦等环境恢复治理工作。如果矿山企业很好地履行了其应尽的义务,较好地完成了矿山环境恢复治理的工作,那么该矿山企业缴纳的矿山环境治理恢复的保证金在规定的时限内本息全部返还给矿山企业。

七、危险废物行政代执行制度

由于危险废物的有害特性,其产生后如不进行适当的处理而任由产生者向环境排放,则可能造成严重危害,因此必须采取一切措施保证危险废物得到妥善的处理处置。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定:产生危险废物的单位,必须按照国家有关规定处置危险废物;不处置的,由所在地县级以上地方人民政府生态环境主管部门责令限期改正,逾期不处置或者处置不符合国家有关规定的,由所在地县级以上地方人民政府生态环境主管部门指定单位按照国家有关规定代为处置,处置费用由产生危险废物单位承担。危险废物行政代执行制度是一种行政强制执行措施,这一措施保证了危险废物能得到妥善、适当的处置,而处置费由危险废物产生者承担,也符合我国“谁污染谁治理”的原则。

八、危险废物经营单位许可证制度

危险废物的危险特性决定了并非任何单位或个人都能从事危险废物的收集、储存、处理、处置等经营活动，其必须既具备达到一定要求的设施、设备，又要有相应的技术能力；必须对从事这方面工作的企业、个人进行审批和培训，建立专门的管理制度和配套的管理程序。因此，对从事这一行的单位的资质进行审查是非常必要的。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定：“从事收集、贮存、处置危险废物经营活动的单位，应当按照国家有关规定申请取得许可证。”危险废物经营单位许可证制度将有助于我国危险废物管理和技术水平的提高，保证危险废物的严格控制，防止危险废物污染环境事故的发生。

九、危险废物转移报告单制度

危险废物转移报告单制度的建立，是为了保证危险废物的运输安全，以及防止危险废物的非法转移和非法处置，保证危险废物的安全监控，防止危险废物污染环境事故的发生。

第三节

固体废弃物管理的相关法律法规及标准

一、与固体废弃物处理有关的法律和法规概述

（一）固体废物污染环境防治法概述

20 世纪 70 年代，我国就开展了有关固体废物综合利用和管理的工作。1989 在巴塞尔签署的《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》对固体废物越境转移问题作了详细的规定，我国于 1992 年加入该公约。为履行国际承诺，全国人民代表大会常务委员会于 1995 年 10 月 30 日颁布了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，并于 2004 年、2020 年进行了修订。该法是我国防治固体废物污染环境的第一部专项法律，规定了许多新的管理原则、制度和措施。此后，针对固体废物污染的法律法规和部委规章逐个出台。为了规范固体废物进口的环境管理，防止进口固体废物污染环境，原环境保护部、商务部等联合制定了《固体废物进口管理办法》（2011 年）。它们构成了我国固体废物处理的法规体系。

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》适用于中华人民共和国境内固体废物污染环境的防治，固体废物污染海洋环境的防治和放射性固体废物污染环境的防治不适用该法。减少固体废弃物的产生量和危害性，充分合理利用固体废物和无害化处置固体废物是指导固体废物污染防治的主要原则。

（二）固体废物污染环境防治的监督管理体制

固体废物污染涉及生产生活的各个方面，其监督管理也涉及许多部门。国务院环境保护行政主管部门对全国固体废物污染环境的防治工作实施统一监督管理，对固体废物污染环境防治工作进行全面的检查、指导和督促，并依法对有关事项做出处理决定。国务院有关部门在各自的职责范围内负责固体废物污染环境防治的监督管理工作。

县级以上地方人民政府的环境保护主管部门对本行政区域内的固体废物污染环境防治工作实施统一监督管理，主要职责是：负责工业固体废物申报登记，审批危险废物经营许可证、进口废物许可证等。县级以上地方人民政府有关部门在各自的职责范围内负责固体废物污染环境防治的监督管理

理工作。例如，卫生主管部门，对医疗废物收集、运输、贮存、处置活动中的疾病防治工作实施统一监督管理；对外贸易主管部门、海关、质量监督检验检疫部门，负责固体废弃物的进口管理；铁路、交通、民航部门负责旅客产生的生活垃圾的监督管理。

县级以上人民政府应当统筹安排城乡生活垃圾的处置。生活垃圾的清扫、收集、贮存、运输和处置的监督管理工作由国务院建设行政主管部门和县级以上地方人民政府的环境卫生主管部门负责。依据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第四十六条的规定：“地方各级人民政府应当加强农村生活垃圾污染环境的防治，保护和改善农村人居环境。”

（三）固体废物污染环境防治法的基本制度

1. 固体废物回收制度

近年来，随着我国经济的持续高速增长和人民生活水平的不断提高，包装产业也得到了快速发展。包装的过度化现象在我国也比较严重，不仅浪费了本就非常有限的资源，还产生了大量固体废物，污染了环境。为了节约资源，减少固体废弃物的产生量，《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第六十八条规定：“产品和包装物的设计、制造应当遵守国家有关清洁生产的规定。国务院标准化主管部门应当根据国家经济和技术条件、固体废物污染环境防治状况以及产品的技术要求，组织制定有关标准，防止过度包装造成环境污染。生产、销售、进口依法被列入强制回收目录的产品和包装物的企业，应当按照国家有关规定对产品和包装物进行回收。”

据此，法律上主要通过标准控制和加大生产者责任对过度包装进行控制。从固体废物污染环境防治原则的角度看，通过制定标准防止过度包装污染环境，可以从源头上解决固体废物问题。而产品和包装物的强制回收制度是生产者责任延伸制度的具体体现。按照生产者责任延伸制度，产品的生产者不仅要对所生产产品的质量瑕疵以及生产过程中造成的环境污染负责，还要对无瑕疵的产品或包装物废弃后承担回收利用或者处置的责任。它通过延伸生产者的责任，将生产、消费、废物回收处置三种不同类型和阶段的责任有机地统一在一起，利于生产材料的减量化和资源化。

2. 固体废物转移申请制度

固体废物在转移的过程中，如果管理不到位，可能造成环境污染，因此，对固体废弃物的转移实行审批管理是必要的。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第二十二条规定：“转移固体废物出省、自治区、直辖市行政区域贮存、处置的，应当向固体废物移出地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门提出申请，移出地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门应及时商经接受地的省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门同意后，在规定期限内批准转移该固体废物出省、自治区、直辖市行政区域。”第八十二条规定：“转移危险废弃物的，应当按照国家有关规定填写危险废物转移联单，并向危险废物移出地设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门提出申请，移出地设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门应当商经接受地设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门同意后，方可批准转移该危险废物，转移危险废物途经移出地、接受地以外行政区域的，危险废物移出地设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门应当及时通知沿途经过的、设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门；未经批准的，均不得转移。

一般固体废物和危险废弃物境内转移都需要申请，但是申请的条件不同。一般固体废物跨省转移时才需要申请，危险废弃物跨市转移就要申请。与一般固体废弃物的转移相比，危险废弃物的转移还涉及联单制度和报告制度。这是因为危险废弃物比一般固体废物产生危险的可能性更大，更严格的措施是为了最大程度地保障转移的安全性。

此外，固体废物越境转移时也要遵循相应的规则。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》禁止经我国过境转移危险废弃物，禁止境外的固体废物进境倾倒、堆放、处置。《固体废物进口管理

办法》对固体废弃物的进口作了规定。

（四）固体废物污染环境防治法的主要领域

1.防治生活垃圾污染

生活垃圾是指在居民日常生活中产生的和为居民日常生活提供服务产生的固体废物，如废旧包装物品、厨房垃圾等。

县级以上人民政府应当统筹安排城乡生活垃圾的处置，完善生活垃圾污染环境防治的社会服务体系。生态环境主管部门应当组织对生活垃圾进行清扫、收集、运输和处置。

建设生活垃圾处置的设施、场所，必须符合国务院生态环境主管部门规定的环境保护和环境卫生标准。

2.防治工业固体废物污染

工业固体废物，泛指工业、交通、建筑等企业在生产、经营、建设活动中产生的固体废物，如废渣、废油、废旧材料等。

国务院相关部门负责推广能够减少工业固体废物产生量和危害性的先进生产工艺和设备，推动工业固体废物污染的环境防治工作。

产生工业固体废弃物的单位必须向所在地县级以上人民政府生态环境主管部门申报排污情况，应当建立、健全污染环境防治责任制度，采取防治工业固体废物污染环境的措施。单位需要终止的，应当事先对工业固体废物贮存、处置的设施、场所采取污染防治措施，并对未处置的工业固体废物进行妥善处置，防止污染环境。

矿山企业应当采取科学的开采方法和选矿工艺，减少尾矿、矸石、废石等矿业固体废弃物的产生量和贮存量。拆解、利用、处置废弃电器产品和废弃机动车船，应当遵守有关法律、法规的规定，采取措施，防止污染环境。

3.防治危险废物污染

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，这些废物具有急性毒性、浸出毒性、腐蚀性、感染性、易燃易爆性和反应性，对健康和环境的威胁极大，是固体废物污染环境管理和防治的重点。现行《国家危险废物名录》是由生态环境部、国家发展和改革委员会等部门共同制定的，于2021年1月1日起施行。

国务院生态环境主管部门会同国务院经济综合宏观调控部门组织编制危险废物集中处置设施、场所的建设规划，报国务院批准后实施。县级以上人民政府应当依据危险废物集中处置设施、场所的建设规划组织建设危险废物集中处置设施、场所。

从事收集、贮存、处置危险废物经营活动的单位，必须向县级以上人民政府生态环境主管部门申请领取经营许可证；从事利用危险废物经营活动的单位，必须向国务院生态环境主管部门或者省、自治区、直辖市人民政府生态环境主管部门申请领取经营许可证。具体管理办法由国务院规定。

对于危险废物的容器和包装物以及收集、贮存、运输、处置危险废物的设施、场所，必须设置危险废物识别标志。产生危险废物的单位，必须按照国家有关规定处置危险废物，不得擅自倾倒、堆放。收集、贮存危险废物时，必须按照危险废物的特性进行分类。运输危险废物时，必须采取防止污染环境的措施，并遵守国家有关危险货物运输管理的规定。禁止将危险废物与旅客在同一运输工具上载运。

产生、收集、贮存、运输、利用、处置危险废物的单位，应当制订意外事故的防范措施和应急预案，并向所在地县级以上人民政府生态环境主管部门备案；生态环境主管部门应当进行检查。

因发生事故或者其他突发性事件，造成危险废物严重污染环境的单位，必须立即采取措施消除或者减轻对环境的污染危害，及时通报可能受到污染危害的单位和居民，并向所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门和有关部门报告，接受调查处理。

二、与固体废物有关的环境保护标准和规范

为保护人民群众健康，维持生态平衡，对大气、水、土壤等环境质量，对污染源、监测方法以及其他需要所制定的标准总称为环境标准。环境标准体系由国家标准、地方标准和行业标准构成，在内容上又分为环境质量标准、污染物排放标准、基础标准和方法标准 4 类。

（一）国家标准

国家标准是由生态环境部发布并在全中国范围内或特定区域内使用的标准，如《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485—2014）适用于全国范围。

（二）地方标准

地方标准是由省、自治区、直辖市人民政府批准颁布的，在特定行政区适用。如《上海市危险废物污染防治办法》适用于上海市范围。

（三）行业标准

根据《中华人民共和国标准化法》的规定，由我国各主管部、委（局）批准发布，在该部门范围内统一使用的标准，称为行业标准。例如，机械、电子、建筑、化工、冶金、轻工、纺织、交通、能源、农业、林业、水利等行业，都制定有行业标准。此处所涉及行业标准，大多由住房和城乡建设部或生态环境部批准发布，一般地，以“HJ”和“CJ”开头的标准和规范均是行业规范。

所有这些标准均为强制性标准，而且地方标准必须严于国家标准，有地方标准时必须执行地方标准。

（四）各种标准之间的关系

不同标准之间的框架如图 2-1 所示。

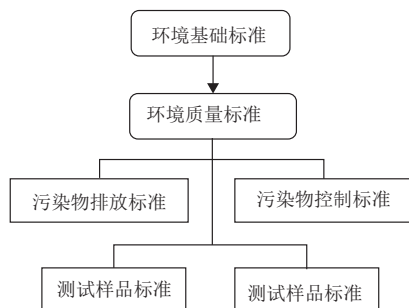


图 2-1 不同标准之间的框架

近年发布的与生活垃圾热处理有关的主要标准有《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485—2014）、《水泥窑协同处置固体废物技术规范》（GB/T 30760—2024）、《大中型沼气工程技术规范》（GB/T 51063—2014）等。

与固体废物管理相关的标准见表 2-1 所列。

表 2-1 固体废弃物管理相关标准

序号	标准号	标准名称
1	HJ 2.1—2016	环境影响评价技术导则 总纲
2	HJ 2.2—2018	环境影响评价技术导则 大气环境
3	HJ 1.9—2022	环境影响评价技术导则 生态影响
4	HJ 2.3—2018	环境影响评价技术导则 地表水环境
5	GB 3095—2012	环境空气质量标准
6	GB 8978—1996	污水综合排放标准
7	GB 16297—1996	大气污染物综合排放标准
8	GB 3838—2002	地表水环境质量标准
9	GB 5085.1—2007	危险废物鉴别标准 腐蚀性鉴别
10	GB 5085.2—2007	危险废物鉴别标准 急性毒性初筛
11	GB 5085.3—2007	危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
12	原环境保护部公告 2017 年第 65 号公告	放射性废物分类
13	GB 6566—2010	建筑材料放射性核素限量
14	GB/T 14848—2017	地下水质量标准
15	GB 18597—2023	危险废物贮存污染控制标准
16	GB 18598—2019	危险废物填埋污染控制标准
17	GB 18599—2020	一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
18	GB 14500—2002	放射性废物管理规定
19	GB 14585—2024	铀矿冶放射性废物辐射环境管理技术规定
20	GB 14586—1993	铀矿冶设施退役环境管理技术规定
21	HJ/T 294—2006	清洁生产标准 铁矿采选业

第 四 节

固体废弃物的环境监测

一、固体废弃物环境监测的目的和任务

为了控制环境污染和生态破坏，必须要寻求导致环境恶化的原因和规律，环境监测就是为解决人类面临的环境问题的重要认识工具之一。环境监测是环境保护工作的重要技术支持，它通过一系列的技术活动，测定表征环境因素质量的代表值，为环境管理和环境污染与生态破坏的治理提供科学依据。

作为环境监测的一个重要组成部分，固体废弃物环境监测的根本目的、任务是有针对性地采取预防和治理措施，有效地控制固体废弃物污染源对环境可能造成的不利影响，同时也是企业检查自己是否符合国家和地方环境法规与标准，指导环境保护措施和清洁生产运行情况，改进环境保护工作的直接手段。

二、固体废弃物环境监测的对象和项目

固体废弃物对环境的影响主要在于诱发地质灾害、侵占土地、破坏植被，造成土地退化、沙漠化

以及粉尘污染、水体污染等。因此，固体废弃物的环境监测对象和项目主要有以下几点。

（一）固体废物污染源监测

（1）固体废物中的有价值元素和资源监测。对尾矿、废石等固体废物中的有价值元素和资源进行分析监测，以便结合经济技术的发展及时进行综合回收利用。

（2）固体废物有害特性监测。根据《危险废物鉴别标准通则》（GB 5085.7—2019），对固体废弃物的腐蚀性、急性毒性初筛和浸出毒性进行鉴别监测。

（3）固体废物处理场粉尘监测。

（4）固体废物处理场地下、地表水监测。监测项目包括水温、pH 值、溶解氧、COD、BOD、氨氮、总磷、总氮、铜、锌、氟化物、汞、镉、六价铬、铅、总氰化物、挥发分、石油类等。

（二）固体废物水土保持和植被监测

按照有关建设项目水土保持法规及技术规范，需对固体废物处理场等项目水土流失防治责任区进行水土保持监测。

水土保持监测的内容有：水土流失因子监测、水土流失量监测、水土保持设施效益监测。主要项目有：降雨、面蚀、沟蚀、重力侵蚀、防治区林草覆盖度、土壤侵蚀模数以及水土保持工程措施的运行状况、损害程度等。

（三）固体废物处理场地质安全监测

对固体废物处理场的地质沉降、地下水水位进行长期观测，随时掌握地面沉降情况，建立地质监测档案和预警、预报机制，为安全生产积累资料。

三、环境监测方法标准及质量管理

（一）环境监测方法标准

环境监测的基本要求之一是可比性，为满足这一要求，就需要各个监测单位执行同样的技术规范，使用同样的监测方法，达到同样的技术水平。监测方法标准就是为满足这一要求而制定的，项目环境监测站从建站设计、仪器设备配置计划到日常工作规范都必须遵循环境监测方法标准。由于环境监测项目多，都要制定相应的标准监测方法，有时同一项目还有多种方法供选择，因此环境监测方法标准是我国环境标准中数量最多的一个分支，在已颁布的环境标准中占 60% 以上。由于环境监测方法具有普及意义，为使各个单位都能采用具有权威性、可比性的环境统一监测方法，标准规定的监测方法并不追求高、新、难，而是强调方法的可行性要强，稳定性和可靠性要高，易于普及推广。

环境监测方法标准属于推荐性标准，但是由于某种原因采用非标准监测方法时，必须与标准监测方法进行比对、验证，证明所用非标准监测方法的可比性和准确性。

（二）环境监测质量管理

环境监测质量管理是对环境监测全过程的质量管理。环境监测是一项科学性较强的工作，其直接产品是监测数据，环境监测质量的好坏集中反映在数据上。环境监测数据的准确与否关系到判断企业是否遵守环境法规，关系到企业的切身利益和形象，因此环境监测工作的质量就是环境监测的关键。

环境监测质量管理是提高监测质量、保证监测数据和成果具有代表性、准确性、精密性、可比性和完整性的有效措施，是环境监测全过程的全面质量管理。要在保证监测数据有效性的前提下，采取一系列有效措施，把监测误差控制在一定的允许误差之内。

监测质量是监测站综合素质和管理水平的体现，只有严格地执行监测质量管理的程序，认真地检查并解决好上述各个问题，才能保证监测的结果可靠。

四、固体废物环境监测方法

(一) 固体废物污染源监测方法

固体废物处理场地下、地表水监测的监测方法按照《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91—2002) 执行；固体废弃物的腐蚀性、急性毒性初筛和浸出毒性的鉴别监测按照《危险废物鉴别标准通则》(GB 5085.7—2019) 执行；固体废物处置场粉尘监测可根据《环境空气质量手工监测技术规范》(HJ 194—2017) 执行。

(二) 固体废物水土保持监测方法

根据项目区水土流失特点，可拟定监测方法与监测技术，监测点布设方式、监测频率、监测时间、步骤、所需设备等具体内容应由监控单位强审批的水土保持方案，依据《水土保持监测技术规范》(SL/T 227—2024)，在编制监测细则时确定并实施。

(三) 固体废物处理场植被状况监测

主要指标包括植物种类、植被类型、林草生长量、林草植被覆盖度、郁闭度（乔木）等，采用典型样方进行调查，样方大小视具体情况而定，每一样方重复 2 次，一般情况下草本样方为 1 m×1 m，灌木样方为 5 m×5 m，乔木样方为 20 m×20 m。

思考与练习

1. 固体废物管理需要遵循哪些原则？
2. 固体废弃物的管理制度包含哪些方面？
3. 与固体废物有关的环境保护标准有哪些？
4. 固体废物环境监测的目的是什么？
5. 固体废物环境监测的方法有哪些？