

国家重点研发计划项目“东部草原区大型煤电基地生态修复与综合整治技术及示范”（项目编号：2016YFC0501107）资助  
国家自然科学基金项目“煤矿采空区固体密实充填介质污染组分溶解-释放-运移过程研究”（项目编号：51504241）资助  
国家自然科学基金项目“黄土丘陵煤矿区采动地裂缝早期发育规律与实时监测方法研究”（项目编号：U1710120）资助

# 现代工矿业固体废弃物 资源化再生与利用技术

黄 超 著

Xiandai Gongkuangye Gutu Feiqiwu  
Ziyuanhua Zaisheng Yu Liyong Jishu

Xiandai Gongkuangye Gutu Feiqiwu  
Ziyuanhua Zaisheng Yu Liyong Jishu



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家重点研发计划项目“东部草原区大型煤电基地生态修复与综合整治技术及示范”(项目编号:2016YFC0501107)资助  
国家自然科学基金项目“煤矿采空区固体密实充填介质污染组分溶解-释放-运移过程研究”(项目编号:51504241)资助  
国家自然科学基金项目“黄土丘陵煤矿区采动地裂缝早期发育规律与实时监测方法研究”(项目编号:U1710120)资助

# 现代工矿业固体废弃物 资源化再生与利用技术

黄 赓 著



中国矿业大学出版社

## 内 容 摘 要

本书以工矿业固体废弃物的再生资源化为研究目标,依据产业生态学与循环经济的原理,选取最具典型性的汽车制造业和煤矿开采行业的固体废弃物进行研究,二者分别代表了大型设备制造业与大型能源矿产采掘业的固体废弃物再生资源化利用。相关研究主要来源于两个方面:基于现代信息技术与工程传感技术辅助测量与识别的固体废弃物精细解离与预处理,以及基于井工煤矿固体机械化密实充填开采技术的矿山固体废弃物的再生利用。本书同时介绍了相应的工艺流程,分析了相关的经济效益。

本书可作为再生资源、城市矿产、矿区环境修复、资源与环境可持续发展等领域研究人员的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代工矿业固体废弃物资源化再生与利用技术 / 黄赳著.

徐州:中国矿业大学出版社,2017.11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3742 - 2

I. ①现… II. ①黄… III. ①矿山—固体废物—废物综合利用 IV. ①X751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 264378 号

书 名 现代工矿业固体废弃物资源化再生与利用技术  
著 者 黄 赳  
责任编辑 李 敬  
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司  
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)  
营销热线 (0516)83884103 83885105  
出版服务 (0516)83995789 83884920  
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com  
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司  
开 本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数 422 千字  
版次印次 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷  
定 价 42.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

自第二次世界大战以来,世界经济进入繁荣发展的黄金时代。世界各国大规模发展经济,加速工业化进程。这种经济发展至高无上的传统的发展观错误地认为自然资源的供给能力具有无限性,经济增长和物质财富增长所依赖的自然资源在数窗上不会枯竭;自然资源的自净能力具有无限性,人类生产和生活的废弃物排放所需要的环境容量也不会降低。而事实证明,这些认识都是完全错误的。

成熟的发展模式,要保持其合理性,不仅要有动力学的机制,而且应当具有自我评价、自我约束、自我反省、自我规范的伦理学机制。只有如此,才能避免付出那些本来可以避免付出的代价。近代西方工业文明的发展模式就是一种只有动力机制而没有自我约束、自我评价机制的发展模式。通过对发展的终极价值的追问,我们可以看到,我们人类面临的各种危机,实质是传统的发展模式的意义(价值)危机。我们不得不反思这样一个问题:这种发展对人类的健康生存和可持续发展来说是值得的吗?

通过对问题的分析可以看到:人类的健康生存和可持续发展,是发展伦理的终极尺度。要实现可持续发展,就必须改变传统的经济与环境二元化的经济模式,建立一种把二者内在统一起来的生态经济模式。

由于工矿业活动是造成污染问题的主要根源,因此,自工业化革命以来的环境治理主要集中在工业环境治理。然而长期以来,人们采用的是“先污染,后治理”的方法,又称“末端治理”,即在污染产生之后,再寻求适当的技术治理,以减少对环境的污染。这种污染治理的模式导致环境污染日趋严重、资源日趋短缺的局面。工业发达国家在对其经济发展过程进行反思的基础上,认识到不改变长期沿用的大量消耗资源和能源来推动经济增长的传统模式、单靠一些补救的环境保护措施,是不能从根本上解决环境问题的。这就要求人们寻找新的环境治理手段,从根本上寻找污染的根源,并进而避免产生污染,这就要求实行“清洁生产”。

清洁生产又称清洁技术、废物最小化、源控制、污染预防等。清洁生产是对生产过程、产品及服务中不断采用的一体化预防性环境策略,它可以全面提高效率以减少产业发展对人类与环境的危害,可以在生产过程中节约原材料和能源、消除有毒原材料或减少所有排放物和废弃物的总量和危害性。

随着中国的经济特别是第二产业的飞速发展,对于能源和原材料的需求不断攀升,进而推动采掘业与制造业的飞速发展,相关产业的固体废弃物产量也呈现快速的增长,其中矿山采掘业已经成为我国最大的固体废弃物来源。大宗消费品制造业,例如汽车制造和消费电子行业的固体废弃物产量也很可观。因此,相关产业固体废弃物处理与处置的重点逐渐由单纯的无害化处理向再生资源化利用,特别是再生原材料利用转移。相应的,对于相关领域里的工程技术人员,需要尽快研发能够适应需求的先进技术和工艺流程。作者自2008年以来,先后在德国与中国的大学、研究机构和企业从事工矿业固体废弃物资源化再利用的研究,其中包括欧盟委员会(EC)项目、德国联邦教育和研究部(BMBF)项目,以及中国国家自

然科学基金项目等。本书在整体介绍的基础上,重点选择了汽车行业与煤炭开采行业,分别作为大宗消费品制造业与能源矿产采掘行业的固体废弃物再生资源化研究对象,集中研究了基于现代信息技术的报废车辆废弃物的传感器辅助解离与分选回收,以及煤矿固体废弃物机械化密实充填开采等先进技术与工艺流程,取得了一定的成果。

全书共5章。南京师范大学李传统教授以及中国矿业大学缪协兴教授、卞正富教授对本书进行了审阅,提出了许多宝贵的意见和建议,这些意见和建议已经反映在本书中,在此对李传统教授、缪协兴教授和卞正富教授的辛勤劳动表示衷心的感谢。同时,对本书中所引用文献的作者表示深深的谢意。本书的出版得到了国家重点研发计划项目“东部草原区大型煤电基地生态修复与综合整治技术及示范”(项目编号:2016YFC0501107)、国家自然科学基金项目“煤矿采空区固体密实充填介质污染组分溶解-释放-运移过程研究”(项目编号:51504241)、国家自然科学基金项目“黄土丘陵煤矿区采动地裂缝早期发育规律与实时监测方法研究”(项目编号:U1710120)的资助,在此一并表示感谢。

著 者

2017年9月

## 目 录

1	绪论	1
1.1	固体废弃物的定义、来源、特性、分类和预测	1
1.2	固体废弃物的分类	4
1.3	固体废弃物对环境的污染	5
1.4	固体废弃物及其控制标准体系	9
1.5	固体废弃物污染防治法规体系	11
1.6	固体废弃物的管理体系	13
1.7	固体废弃物处理技术的现状和发展趋势	14
2	工矿业固体废弃物再生资源化的理论基础	16
2.1	可持续发展理论	18
2.2	产业生态学理论	26
2.3	循环经济理论	30
3	固体废弃物的预处理与资源化技术	36
3.1	固体废弃物的压实	36
3.2	固体废弃物的破碎	40
3.3	固体废弃物的分选与回收	52
3.4	工业固体废弃物的主要组成	68
3.5	废塑料的资源化	70
3.6	废橡胶的资源化	77
3.7	矿业固体废弃物的主要组成	92
3.8	煤矸石的资源化利用	95
3.9	粉煤灰的资源化利用	98
4	现代工业固体废弃物综合资源化技术——以报废汽车资源化为例	107
4.1	报废车辆资源化与再利用的法律法规体系	115
4.2	我国报废车辆综合资源化与再生产业现状	120
4.3	现代报废车辆综合资源化与再利用技术	131
4.4	现代报废车辆回收残留物的精细分选与回收技术	137
5	现代矿业固体废弃物综合资源化利用概况	182
5.1	现代矿业固体废弃物综合资源化利用——以矿区固体废弃物充填为例	182

5.2 绿色可持续采矿——煤矿全机械化固体废弃物充填开采技术 .....	187
5.3 充填开采物料污染物迁移能力与赋存状态研究 .....	202
5.4 研究的总体结论 .....	242
参考文献 .....	244

# 1 绪 论

## 1.1 固体废弃物的定义、来源、特性、分类和预测

固体废弃物在不同国家、不同场合、不同时期有着不同的含义。因此,在对固体废弃物进行分类、处理和处置时,应对固体废弃物给予准确的定义。在界定固体废弃物之后,应了解固体废弃物的来源、固体废弃物的特性、固体废弃物的分类方法和如何对固体废弃物的产生量进行预测,以便对固体废弃物进行合理的减量化、无害化、资源化、能源化综合处理与处置,本章对固体废弃物的定义、来源、特性、分类和预测分别进行介绍。

### 1.1.1 固体废弃物的定义

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中,对固体废物进行了明确的定义: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。

德国是在固体废物管理、处理和处置方面处于世界领先水平的国家。德国对固体废弃物的定义为:在社会生产、商品流通和消费等一系列活动中产生的,相对于占有者来说一般不具有原有使用价值而被丢弃的以固态和泥态存在的物质。

日本的《推进建立循环型社会基本法》将“废弃物”分为三种类型:① 没有价值的物质;② 废弃的物品,包括报废的产品和可以再直接使用的二手产品;③ 副产品,指的是人类活动中产生的副产品,例如制造过程产生的副产品。

《巴塞尔公约》(Basel Convention)是各国建立废弃物管理法规的基础。该公约对“废弃物”(waste)给出了比较确切的定义:“废弃物”是指处置的或打算予以处置的或按照国家法律规定必须加以处置的物质或物品。而“处置”(disposal)分为 A、B 两类。A 类处置是指不能达到资源的回收、再生循环、直接再用或改变使用用途的各种操作。B 类处置是指能够达到资源的回收、再生循环、直接再用或改变使用用途的各种操作。

根据《巴塞尔公约》的定义,拥有者的丢弃或处置行为分为三种状态:处置、打算予以处置和必须处置。在前两种状态下,物质或物品是否成为废物取决于拥有者的决心和态度,而第三种情况需要更为严谨的解释。如果某种物质或物品具有安全隐患,或者危及人类健康或环境,考虑到公共安全,法律就能够授权权力部门对该物质或物品给予适当的处置。在《巴塞尔公约》中,此类处置本身就蕴涵着政府可以根据法律、法规对废物进行强制措施。这些措施指再生循环或者改变用途。由此可以看出,该定义针对“废物”使用价值不同,将废物划分为“可循环利用”和“不可循环利用”两类;强调了“拥有者的态度决定了废物的生产量”;考虑废物可能造成的危害,将处置的行为分为自愿处置和强行处置。

我国对于废弃物的定义考虑了废物的使用价值(是否丧失原有的使用价值)及所有者的行为(抛弃或放弃),包括了可回用的部分,因而与《巴塞尔公约》有关文件中对此的理解是一致的。

### 1.1.2 固体废弃物的一般特性

固体废弃物一般具有如下特性:

(1) 无主性。即固体废弃物在丢弃以后,不再属于固体废弃物的产生者,也不属于其他人。

(2) 分散性。即固体废弃物分散在不同的地方,需要进行收集。

(3) 危害性。即固体废弃物对人类的生产和生活带来不利的影响,对生态环境和人类健康造成不同程度的危害。

(4) 错位性。一个时空领域的废弃物可能是另外一个时空领域的可用资源。

### 1.1.3 固体废弃物常见的分类方法

由于环境自身具有自净化能力,因此对于所有固体废弃物,当其数量较少时,不会对环境造成危害。当固体废弃物的数量超过环境的自净化能力时,固体废弃物就会对环境造成危害。不同性质的固体废弃物,对环境造成危害的程度是不同的。为了对固体废弃物进行合理的管理、处理和处置,应对固体废弃物进行科学的分类。固体废弃物常见的分类方法有:

(1) 按其组成可分为有机废弃物和无机废弃物。有机废弃物是指废弃物的化学成分主要是有机物的混合物;无机废弃物是指废弃物的化学成分主要是无机物的混合物。

(2) 按其形态可分为固态、半固态和液(气)态废弃物。固态废弃物是指以固体形态存在的废弃物;半固态废弃物是指以膏状或糊状存在并具有一定流动性的废弃物;液(气)态废弃物是指以液态(或气态)形式存在的废弃物。

(3) 按其污染特性可分为危险废弃物和一般废弃物。危险废弃物是指列入国家危险废弃物名录或者根据国家规定的危险废弃物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的废弃物;一般废弃物是指除危险废弃物以外的废弃物。

(4) 按其来源可分为城市生活垃圾、工业固体废弃物、矿业固体废弃物、危险废弃物和农林业固体废弃物。城市生活垃圾是指在城市日常生活中或者为城市日常生活提供服务的活动中产生的固体废弃物以及法律、行政法规规定视为城市生活垃圾的固体废弃物;工业固体废弃物是指在工业、交通等生产活动中产生的固体废弃物;矿业固体废弃物是指在矿业生产过程中产生的尾矿、废石、矸石等固体废弃物;危险废弃物是指对人类或其他生物构成直接危害或潜在危害的废弃物及其混合物,是具有腐蚀性、急性毒性、浸出毒性、反应性、传染性、放射性等一种及一种以上危害特性的废弃物;农林业固体废弃物是指农业和林业生产过程中产生的农作物秸秆、林产品废弃物等固体废弃物。

(5) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中,将固体废物分为三大类:生活垃圾;工业固体废弃物;危险废物。

### 1.1.4 固体废弃物的来源和预测

固体废弃物的来源如图 1-1 所示。

影响固体废弃物质量和数量的因素很多。以城市生活垃圾为例,直接影响城市生活垃

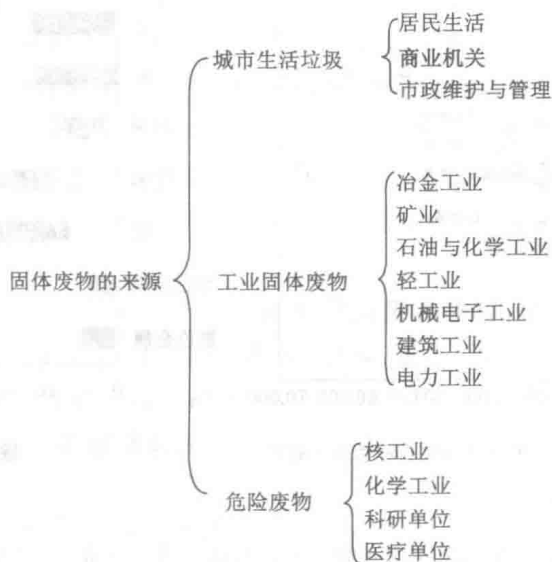


图 1-1 固体废物来源示意图

圾质量和数量变化的因素有居民生活水平、能源结构、生活地域差异和消费方式等。可以将这些影响因素归纳为以下三类：

一是直接导致生活垃圾质和量变化的因素，即内在因素，它包括人口数量、居民生活水平和城市建设水平。在其他因素不变的情况下，人口增加会导致城市生活垃圾量增加；同样，由于城市规模的扩大、经济的发展、居民生活水平的提高，居民的消费品数量和种类增加，也会使城市生活垃圾量随之增加。以煤炭为主要一次能源的城市，产生的城市生活垃圾中无机灰渣的含量要高于以石油和天然气为主要一次能源的城市。居民生活水平的提高，也使厨余的成分发生很大的变化。在商品过度包装盛行的今天，包装材料在城市生活垃圾中的比例也在不断上升。

二是影响城市生活垃圾质和量变化的社会因素，主要是指社会行为准则、社会道德规范、法律规章制度等。它们是外部的、间接的因素，可以对垃圾产生系统进行有效的干预，从源头改善垃圾的质和减少垃圾产生的量。

三是影响垃圾质和量的个体因素，主要是指居民自身的行为习惯和受教育程度，居民具有良好的生活习惯和较高的文化程度可以从源头控制垃圾的质和量。

在对城市生活垃圾进行管理和处理过程中，需要准确了解城市生活垃圾的质量和数量，而城市生活垃圾的质和量都是随时间变化的，因此，要对已经产生的城市生活垃圾的质和量进行统计，对未来将要产生的城市生活垃圾的质和量进行预测。

世界范围内快速的城市化和工业化使世界城市固体废物(MSW)的产出处于前所未有的快速增长中。国民生产总值相对较高的国家往往会产生更多的城市固体废物[图 1-2(a)]。预测显示，世界各大城市的城市固体废弃物总量将从 2012 年的 13 亿 t 增加到 2025 年的 22 亿 t。MSW 通常含有各种有用的可回收材料，如金属、纸张、塑料和玻璃[图 1-2(b)]。

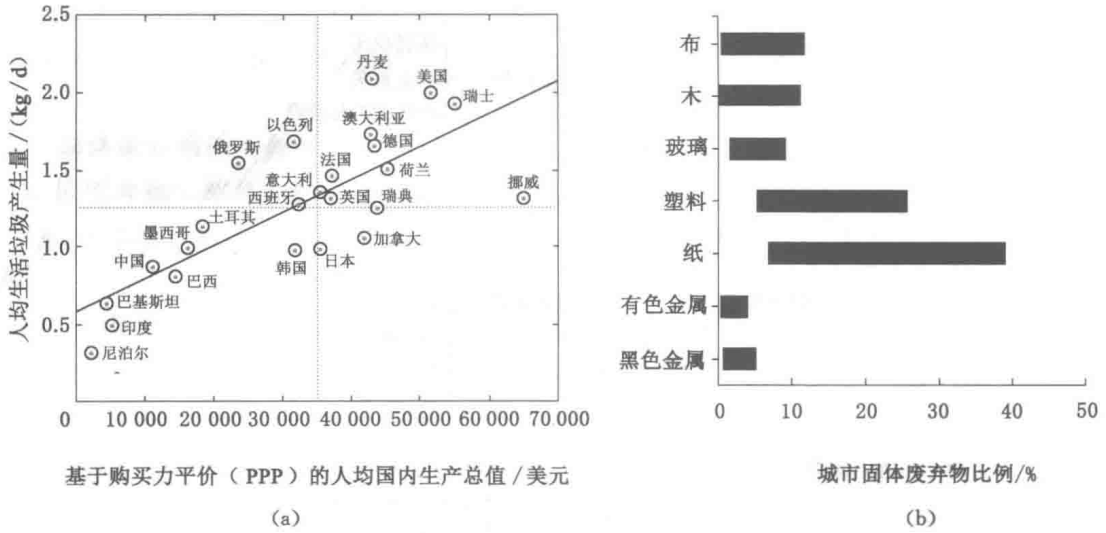


图 1-2 主要国家人均固体废弃物产生量与城市固体废弃物可回收成分构成  
 (a) 基于购买力平价的人均国内生产总值与人均 MSW 产生量; (b) MSW 中可回收物的比例

## 1.2 固体废弃物的分类

### 1.2.1 城市生活垃圾

城市生活垃圾的成分十分复杂,如果按照城市生活垃圾的各组成成分详细分类,其工作量和繁杂程度将难以在实际应用中进行。国外常将城市生活垃圾分为纸类、玻璃、金属、塑料、橡胶与纺织品、竹木、厨余、庭院、其他;我国常将城市生活垃圾分为有机物、无机物、纸、塑料、橡胶、布、竹林、玻璃、金属等,其中纸、塑料、橡胶、布、竹木、玻璃、金属等属于可回收利用的固体废弃物。

人均垃圾产生率是衡量一个国家城市生活垃圾总量的一个重要的间接指标,它是指每天平均产生的生活垃圾量,单位为  $\text{kg}/(\text{人} \cdot \text{d})$ 。

不同国家人均垃圾产生量是不同的,一般来说,发达国家的人均垃圾产生量高于发展中国家的人均垃圾产生量。随着人们环保意识的增强,发达国家人均垃圾产生量有逐年下降的趋势。在同一个国家,城乡之间和不同城市之间的人均垃圾产生量也相差较大,这在发展中国家表现得尤为突出。有关统计资料表明,美国人均生活垃圾的产生量为  $2.39 \text{ kg}/(\text{人} \cdot \text{d})$ ; 日本人均生活垃圾的产生量为  $2.46 \text{ kg}/(\text{人} \cdot \text{d})$ ; 中国人均生活垃圾的产生量为  $0.76 \sim 2.62 \text{ kg}/(\text{人} \cdot \text{d})$ 。

### 1.2.2 工业固体废弃物

工业固体废弃物的组成比城市生活垃圾的组成更为复杂,不同行业产生的工业固体废弃物的组成差别很大,要针对具体的工业固体废弃物的来源进行分析。

对于能够能源化的工业固体废弃物或必须进行焚烧处理的有毒有害的工业固体废弃物,需要对它们进行工业分析、元素分析和热值测定,以确定其能源化利用价值。

### 1.2.3 危险废弃物

危险废弃物是指列入危险废物名录或根据规定的危险废弃物鉴别标准和鉴别方法认定

具有危险特性的废弃物。危险废弃物具有毒害性、爆炸性、易燃性、腐蚀性、化学反应性、传染性、放射性等一种或几种危害特性。危险废弃物虽然产量很小,但危害性却很大。因此,国内外将其作为废弃物管理的重点,采用有效的技术和安全措施保证对其妥善处理。危险废弃物如果管理或处理不当,会对人体健康和生态环境造成严重的危害,其危害性不仅在于短期的急性危害,如急性中毒、火灾或爆炸等,还包括长期潜在性危害,如慢性中毒、致癌、致畸、污染土壤、污染地下水、污染大气等。在我国,危险废弃物的产生量约占工业固体废弃物产生量的3%~5%。

在商业、工业和农业生产过程中产生的典型危险废弃物有:非金属,如砷和硒;金属,如钡、镉、铬、铅、汞、银等;有机化合物,如苯、乙苯、甲苯、氯苯、氯乙烯、二氯甲烷、四氯乙烯等;除草剂,如二氯苯氧丙酸 $[\text{Cl}_2\text{C}_6\text{H}_2\text{OCH}(\text{CH}_3)\text{COOH}]$ 等;杀虫剂,如林丹( $\text{C}_{10}\text{H}_6\text{Cl}_6$ )、毒杀芬( $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Cl}_8$ )等。《国家危险废物名录》中共有HW01~HW50。

## 1.3 固体废弃物对环境的污染

### 1.3.1 固体废弃物中的有毒有害物质进入生态系统的途径

在固体废弃物的处理和处置过程中,如果处理和处置不当,固体废弃物中的有毒有害物质,如化学物质、病原微生物等会通过大气、土壤、地表水或地下水进入生态系统造成化学物质型污染和病原型污染,对人体产生危害,同时会破坏生态环境,使生态系统发生不可逆的变化,导致生态系统变得脆弱和简单化。固体废弃物中的有毒有害物质进入生态系统的途径取决于固体废弃物本身的物理、化学和生物性质,而且与固体废弃物处置所在场地的地质水文条件有关。图1-3给出了固体废弃物中化学物质致人疾病的途径,图1-4给出了病原型微生物传播疾病的途径。

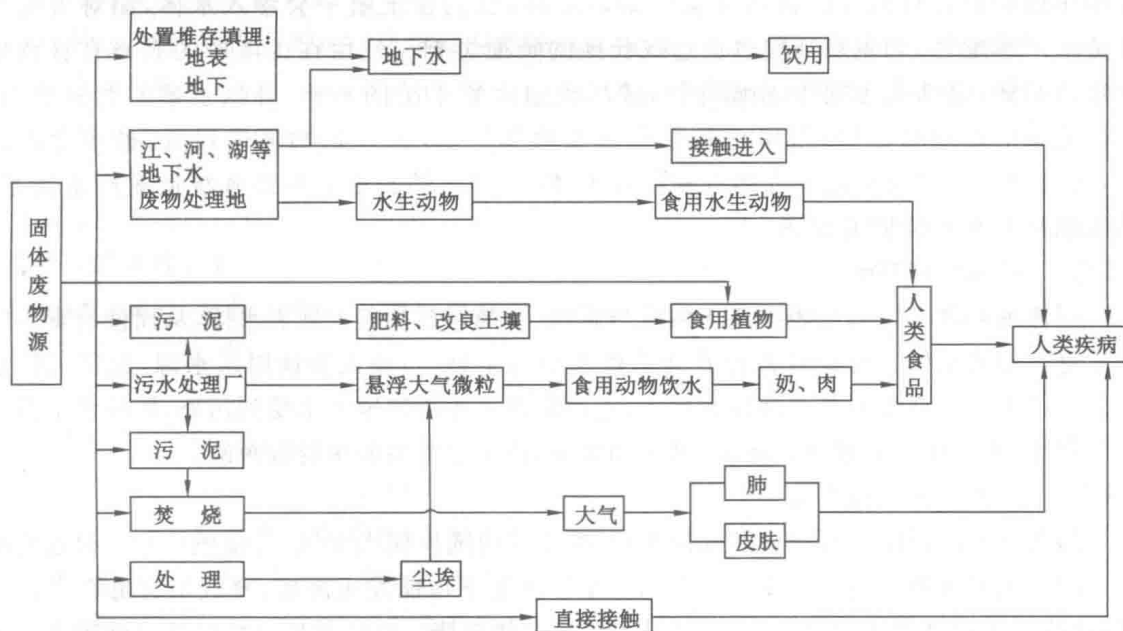


图 1-3 固体废弃物中化学物质致人疾病的途径

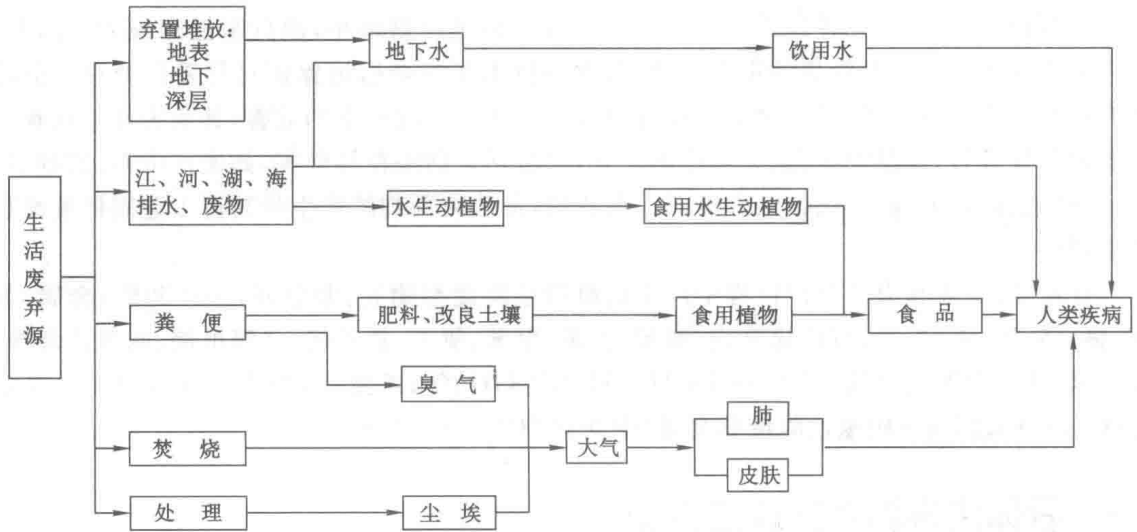


图 1-4 病原体型微生物传播疾病的途径

### 1.3.2 固体废弃物对环境的影响

固体废弃物对环境的影响主要表现在如下几个方面。

#### 1.3.2.1 对土壤的影响

固体废弃物如果不加以利用且露天堆放,不仅会占用土地,而且会造成土壤污染。土壤是许多细菌、真菌等微生物聚集的场所,这些微生物与周围环境组成了一个生物系统,在大自然的物质循环中,细菌和真菌担负着碳循环和氮循环的重要任务。国际上禁止使用的持续性有机物在自然环境中难以降解,它们在土壤中会渗入水体,而对人的健康造成严重危害,对生态环境也会造成长期的负面影响。残留在土壤中的有毒有害物质因难以消解,会杀死土壤中的微生物,破坏土壤生物系统的平衡,降低土壤的腐解能力,改变土壤的性质和结构,阻碍植物根系的发育和生长,并在植物体内积蓄,破坏生态环境,而且会通过食物链进入人体并积存在人体内,对人的肝脏和神经系统造成严重损害,诱发癌症甚至致使胎儿畸形。

#### 1.3.2.2 对水体的影响

固体废弃物可以随地表水流入河流与湖泊,或随风迁徙落入地表水体,从而使有毒有害物质进入地表水体。有毒有害物质会杀死水中的生物,污染人类饮用水水源,危害人体健康。固体废弃物产生的渗滤液危害更大,它可以进入土壤使地下水受到污染,影响水资源的充分利用,也有可能直接流入河流、湖泊和海洋,造成水质型的水资源短缺。

#### 1.3.2.3 对大气环境的影响

露天堆放的固体废弃物中的细微颗粒、粉尘等可随风飘入大气,并随风扩散到很远的地方。固体废弃物中的有机物质在适宜的温度和湿度下可能发生降解,释放出有毒有害的气体,这些气体也会进入大气污染空气,从而危害人体健康。在固体废弃物的低温处理和高温处理过程中,也会产生有毒有害气体,如果不能进行有效的净化处理,这些有毒有害气体也会进入大气危害人体健康。因此,固体废弃物对大气环境的影响会直接和间接损害人体

健康。

### 1.3.3 固体废弃物在环境中的迁移、富集和危害指标

固体废弃物在环境中的迁移和富集指标包括滞留因子、降解常数、生成系数和生物富集因子等,它们的含义如下。

#### 1.3.3.1 滞留因子

滞留因子  $R_d$  反映有毒有害物质在土壤中由于吸附作用产生的随水流迁徙时的滞后现象,其定义为:

$$R_d = 1 + \frac{\rho_o K_d}{\varphi} \quad (1-1)$$

式中  $\rho_o$ ——土壤的堆积密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\varphi$ ——土壤的含水率,  $\text{kg}/\text{kg}$ ;

$K_d$ ——有毒有害物质在土壤(或水)中的分配系数,  $\text{m}^3/\text{kg}$ 。

对于无机物,如重金属的  $K_d$  可根据实验数据取值;对于有机物,  $K_d$  可由下式计算:

$$K_d = K_{or} f_{or} \quad (1-2)$$

式中  $K_{or}$ ——有机物在水与纯有机碳之间的分配系数,  $\text{m}^3/\text{kg}$ , 由该物质与土壤的物理化学性质确定, 范围为  $1 \sim 1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{kg}$ ;

$f_{or}$ ——土壤中有有机碳含量,  $\text{kg}/\text{kg}$ 。

#### 1.3.3.2 降解常数和生成系数

降解常数是指有毒有害物质由于化学反应(如水解、分解、化合、氧化还原等反应)和生物物质而导致的有毒有害物质的减少,可用单位时间内单位有毒有害物质的减少量来衡量,也可称之为转化系数。生成系数可用单位有毒有害物质在单位时间内生成另一种有毒有害物质的量之比来衡量。

有毒有害物质在空气中、水中和土壤中由于受到物质形态的影响,降解常数和生成系数是有差别的,要分别进行测定。化学反应的降解常数和生成系数一般可由实验测出,其降解速率的估算与物质的化学结构密切相关,且关系复杂。生物降解常数受具体环境下生物种类的影响,难以进行准确测定。

#### 1.3.3.3 生物富集因子

有毒有害物质生物富集因子(bio-concentration factor, BCF)反映某种有毒有害物质在生物体内的浓度累积作用。BCF 的范围为  $1 \sim 1 \times 10^7$ 。BCF 是通过大量生物实验,尤其是鱼类实验得到的,数据主要取自国际潜在有毒化学品登记库(IRPTC)。可以通过估算公式,根据  $K_{or}$  或  $K_{ow}$  来估算,即:

$$\lg(\text{BCF}) = 0.76 \lg K_{ow} - 0.23 \quad (1-3)$$

式中  $K_{ow}$ ——正辛醇(水)分配系数,  $\text{m}^3/\text{kg}$ , 范围为  $(7.9 \sim 8.1) \times 10^3 \text{ m}^3/\text{kg}$ 。

$$\lg(\text{BCF}) = 1.119 \lg K_{or} - 1.579 \quad (1-4)$$

式中  $K_{or}$ ——土壤吸附分配系数, 范围为  $(1 \sim 1.2) \times 10^3 \text{ m}^3/\text{kg}$ 。

#### 1.3.3.4 有毒有害物质在空气中的扩散系数

有毒有害物质在空气中的扩散系数是指有毒有害物质与空气组成扩散对时的质量传输特性,单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ 。常见的有毒有害物质在空气中的扩散系数约为  $0.8 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$ ,准确数可查阅有关文献。

### 1.3.4 固体废弃物的危险风险评价和累积影响评价

环境影响评价可以对新建或扩建项目实施引起的环境影响进行定性和定量分析,指出项目实施后对环境引起的负面影响或正面影响。我国自1989年规定新建或扩建项目都需要进行环境影响评价以来,现在已经得到全面落实,环境影响评价目前已成为所有新建或扩建项目启动的必备条件。

固体废弃物的环境影响评价主要包括固体废弃物源头危害评价及固体废弃物处理与处置评价两部分。首先进行固体废弃物源头危害评价。凡属于《国家危险废物名录》中的物质,都属于危险废弃物。固体废弃物风险源的环境影响评价要解决的问题是固体废弃物风险源可能出现哪些危害;这些危害发生的可能性有多大;如果出现危害,人和环境受到的危害表现在哪些方面;波及范围和危害程度有多大;造成的经济损失有多大;应采用什么样的措施和花费多大的代价避免固体废弃物风险源对人和环境造成的危害;等等。在固体废弃物处理与处置的风险评价中,根据处理和处置方式的具体特征,分析在正常和非正常情况下对周围人和环境的影响,可能造成的污染,特别是对人体健康的危害,找出风险源,分析最大可能发生概率及可能的最大危害程度。例如固体废弃物填埋场产生的填埋场气体,不仅含有大量的甲烷气体,而且含有多种异味气体和有毒有害气体,填埋场渗滤液含有重金属离子和其他有毒有害物质。填埋场气体和填埋场渗滤液会扩散和排放到填埋场周围的环境中,应对其可能造成的人身伤害和环境危害进行风险评价。又如建造垃圾焚烧厂前必须对垃圾焚烧厂可能产生的废气、废水和废渣进行风险性评价,分析废气、废水和废渣对焚烧厂周围生态环境和人体健康可能造成的影响,确定建设垃圾焚烧厂的可行性和垃圾焚烧厂在实际运行过程中废气、废水和废渣在技术上应采取的控制污染的措施和应该达到的污染排放标准。

环境风险评价的最终目的是确定什么样的风险是社会可以接受的。判断一种风险是否能被接受,一般采用把估算得出的风险与已经存在的其他风险进行比较,常用的比较方法是与可达到同一目标的替代方案带来的风险进行比较或与一些熟悉的风险进行比较,包括对不同时间段内同一种风险进行比较、对不同地点相同项目的风险比较、与已有项目的风险进行比较、与承受风险所带来的好处进行比较以及与降低风险采用的措施所需的费用及其效益进行比较。环境风险评价可建议项目做一些技术上的整改,使降低环境风险的技术措施和管理措施得到落实。把采用措施所需的费用与采用措施后获得的效益进行比较,使投入和产出的效益达到最佳化。实际上,在固体废弃物环境影响评价的过程中涉及风险的过程描述、数据收集、预测模式、参数选择、方法评价遇到的困难比常规环境影响评价的困难大得多,因而造成事故发生率、事故状态、事故传播途径、事故影响范围、受体危害程度、风险评价结论具有很大的不确定性,降低了固体废弃物环境影响评价的可信度。对于固体废弃物环境影响评价的不确定性,很难定量表述,大多数情况下只能给出定性结论。这说明评价方法、预测模型、数据来源等方面存在局限性。

累积影响评价是在较大的时空范围内系统分析和评估一个项目实施后的累积影响,并提出避免或消除累积影响的对策措施,以及对人体和生态可能造成的短期内不能表现出的长期影响与危害。由于固体废弃物的迁徙与扩散较慢,它对人体和生态可能造成的

危害在短期内不能表现出来,经过一定时间的积累,它对人体和生态的危害就会突显出来,要消除这些危害有时要花费很大的代价,有时这些危害甚至是不可逆转的。例如固体废弃物中的重金属在固体废弃物的储存、运输、处理与处置过程中扩散到生态系统后,重金属随着生物链传播到食物链的各个环节,经过长时间的积累会对人体和生态环境造成严重的危害,要消除这种危害需要几十年甚至更长的时间。累积影响评价的原则为:① 扩大评价时空范围,包括过去、现在和在可预见的将来的其他行动;② 从受影响的环境资源的角度进行评价;③ 注重环境影响的加和与协同效应;④ 采用自然边界和生态边界,而不是采用行政管辖边界;⑤ 从环境承载力出发,分析资源利用和发展的可持续性;⑥ 具有现实可行性。累积影响评价通常采用的程序是:① 根据由一系列问题构成的决策来判断某环境问题是否需要累积影响评价,主要从项目的类型、规模、个数和预期影响时间、空间、范围等方面进行识别。② 根据待识别的问题类型,可在事前分析法和事后分析法两种累积影响分析方法中进行选择。事前分析法主要识别将来的累积环境影响;事后分析法主要分析影响源和累积过程中尚不明了的已有累积环境影响。③ 对项目的开发方案进行评估,评价项目实施后环境状况的可接受性,选择环境影响的管理方案,这需要多学科的专家与可能受影响的公众共同参与,以提高评估结果的可信度和可接受性。

## 1.4 固体废弃物及其控制标准体系

### 1.4.1 标准体系

固体废弃物环境标准体系的建立是固体废弃物环境立法的一个组成部分,否则将无法对固体废弃物实行全面有效的管理。它一般包括以下内容:基础标准方法标准(包括采样方法、特性试验方法和分析方法);标准样品标准;鉴别分类指标标准;容器标准;储存标准;适用于生产者标准;运输收集标准;综合利用标准(包括农用标准、建材标准、能源回收利用标准、资源利用标准);处理处置标准(包括有控堆放标准、卫生填埋标准、安全填埋标准、深地层处置标准、深海投弃标准、工业炉窑焚烧标准、专用焚烧炉焚烧标准、爆炸物露天焚烧标准、物化解毒标准、生化解毒标准)。

### 1.4.2 固体废弃物标准体系

我国现有的固体废弃物标准主要分为固体废弃物分类标准、固体废弃物监测标准、固体废弃物污染控制标准和固体废弃物综合利用标准等四大类。

固体废弃物分类标准主要有《危险废物鉴别标准》(GB 5085—2007),包括腐蚀性鉴别、急性毒性初筛、浸出毒性鉴别、易燃性鉴别、反应性鉴别、毒性物质含量鉴别和通则。《国家危险废物名录》对 50 类废弃物进行了详细分类。《国家危险废物名录》中的废弃物都应该纳入危险废物管理体系进行统一管理。《进口可用作原料的固体废物环境保护控制标准》(GB 16487—2017)分为 11 个标准,即冶炼渣、木及木制品废料、废纸或纸板、废钢铁、废有色金属、废电机、废电线电缆、废五金电器、供拆卸的船舶及其他浮动结构体、废塑料和废汽车压件。国家商检部门依据该标准对进口的可用作原料的废物进行商

检,海关部门则根据国家环保总局出具的进口废物审批证书和国家商检部门的检验合格证批准被检验的废料进口,该标准可以有效遏制废物非法进入我国。

固体废弃物监测标准的作用是给出具体的、统一的测定标准,达到标准化的目的,为行政执行和约束提供依据。这类标准主要包括《固体废物》(GB/T 15555—1995)、《工业固体废物采样制样技术规范》(HJ/T 20—1998)、《固体废物 浸出毒性浸出方法 翻转法》(GB 5086.1—1997)等。

固体废弃物还可能通过渗滤液和散发气体造成环境污染,因此对于渗滤液和送风气体的监测应遵循有关的废水和废气的监测方法标准。

固体废弃物污染控制标准是污染制造者进行污染排放的依据,也是固体废弃物管理标准中最重要的标准,没有这些标准,行政部门将无执法依据,而其他标准也无制定和执行的依据。我国固体废弃物污染控制标准分为两大类。一类是废弃物处置控制标准,即规定对某种特定废弃物的处理、处置标准要求。这类标准有《含多氯联苯废物污染控制标准》(GB 13015—2017),它规定了不同水平的含多氯联苯废物的允许采用的处理方法。另一类标准是设施控制标准,如《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)、《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》(CJJ 90—2009)、《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599—2001)、《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)、《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597—2001)、《危险废物焚烧污染控制标准》(GB 18484—2001)等。这些标准中都规定了各种处置设施的选址、设计、施工、入场、运行、封场的技术要求和释放物的排放标准以及监测要求。这些标准在制定完成并颁布后,成为固体废弃物管理最基本的强制性标准。在这些标准颁布后建成的处置设施如果达不到有关标准的要求,将被要求限期整改,并收取排污费。

固体废弃物综合利用标准是我国对固体废弃物处理处置技术进行总体规划和指导的总纲。它在一定程度上指导固体废弃物处理处置技术的发展方向。固体废弃物资源化和能源化的综合利用技术将是固体废弃物处理处置现在和将来的主要发展方向。为大力推行固体废弃物的综合利用技术并尽量避免在综合利用过程中产生的一次污染,我国已经加大和加快制定一系列有关固体废弃物综合利用的规范和标准。

#### 1.4.3 环境保护标准的数量

截至2016年,我国共有1697项环境标准,其中环境质量标准16项,污染物排放(控制)标准161项,环境监测类标准1001项,管理规范类标准481项,环境基础类标准38项。

#### 1.4.4 固体废弃物处理处置标准体系的制定原则

发达国家在固体废弃物处理处置方面积累了丰富的经验,为我国制定符合我国国情的固体废弃物处理处置标准提供了良好的借鉴。由于我国幅员辽阔,地区间经济发展不平衡,因此我国在制定垃圾处理处置标准时应考虑以下因素:①地区差异性——考虑到我国不同地区之间的区域性差别和存在很大的经济实力差别;②适度超前性——既符合我国的经济实力水平,又保持一定的超前性,有利于促进先进的垃圾处理处置技术的研发和推广应用;③均衡性——要求垃圾处理处置技术标准要与其他污染治理的技术水平