



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

固体废物处理与 资源化技术

何品晶 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

X705
H-621.2

等教育“十一五”国家级规划教材

固体废物处理与 资源化技术

Guti Feiwu Chuli yu Ziyuanhua Jishu

何品晶 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由固体废物处理与资源化总论、固体废物处理与资源化通用技术过程和固体废物分类处理与资源化技术专论3部分构成,共12章。各部分分别阐述了固体废物的产生特征及其分析方法、处理与利用原则,固体废物收集运输、机械处理、生物处理、热处理与土地处置等通用技术单元的原理和方法,以及代表性固体废物的典型处理与资源化工艺。

本书适用于高等院校环境类专业的本科与研究生教学,也可作为环境科学与工程专业技术人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

固体废物处理与资源化技术/何晶晶主编. —北京:高等教育出版社,2011.6

ISBN 978 - 7 - 04 - 033234 - 6

I. ①固… II. ①何… III. ①固体废物处理 - 高等学校 - 教材 ②固体废物利用 - 高等学校 - 教材
IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 187840 号

策划编辑 陈文
插图绘制 尹莉

责任编辑 陈文
责任校对 殷然

封面设计 于文燕
责任印制 张泽业

版式设计 王艳红

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 100120
印刷 北京机工印刷厂
开本 787mm × 960mm 1/16
印张 36
字数 680千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 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>
版次 2011年6月第1版
印次 2011年6月第1次印刷
定价 56.00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 33234 - 00

前 言

本教材名为《固体废物处理与资源化技术》，是希望能够突出固体废物资源化所具有的可持续发展意义。教材内容完全符合教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会对“固体废物处理与处置”课程教学内容的指导意见。

教材分为3部分(固体废物处理与资源化总论、固体废物处理与资源化通用技术过程及固体废物分类处理与资源化技术专论)，共计12章。

本教材由同济大学何品晶教授主编，并编写了第一、二、五、八章；同济大学邵立明教授、章骅和吕凡副教授分别参与了第八、二、五章的起草；华中科技大学廖利教授编写了第三、四章；清华大学王伟和李金惠教授分别编写了第六章和第七、十章；上海大学钱光人教授编写了第九章；武汉大学侯浩波教授编写了第十一章；浙江大学陈英旭教授编写了第十二章。全书由何品晶教授定稿，其课题组学生协助完成了全书的文字输入和格式编辑。

清华大学聂永丰和同济大学李国建两位资深教授仔细审阅了全书，提出了中肯的意见，他们认真细致的学术风范值得所有编者学习。

本书的编写得到了高等教育出版社的大力支持，特此致谢。

本书尽量采用国际单位制，但因部分内容涉及工程上的经验公式，故只能沿用原单位。由此给读者带来的不便，请见谅。

虽经各位编者全力以赴，但限于水平与经验，错误之处难免。恳请使用本教材的教师、同学和广大读者对其中的错误不吝赐教。对本书的意见和建议请发送电子邮件至 solidwaste@tongji.edu.cn。

编 者

2011年5月20日

目 录

第一部分 总 论

第一章 固体废物处理与资源化技术概论	3
第一节 固体废物产生及其环境与资源问题	3
一、固体废物的产生	3
二、固体废物的分类	4
第二节 固体废物的环境危害	7
一、固体废物堆存的环境危害	7
二、固体废物处理与利用的衍生环境污染	7
三、固体废物资源化产品的环境污染释放	9
第三节 固体废物环境污染的控制途径	9
一、源头控制	9
二、资源化利用	9
三、无害化处理	11
四、最终处置	11
五、固体废物环境危害与其污染控制途径的相互关系	12
第四节 固体废物处理与资源化技术和管理	13
一、固体废物处理与资源化技术是管理的支撑基础	13
二、固体废物管理引导其处理与资源化技术的发展	13
三、固体废物资源化需要管理措施的保障	14
第五节 固体废物处理与资源化技术的学科定位	14
思考题与习题	15
主要参考文献	15
第二章 固体废物性质分析	16
第一节 固体废物的物理性质	16
一、固体废物的粒径	16
二、固体废物的含水率	18
三、固体废物的容积密度	19
四、固体废物的可压缩性	22

五、固体废物的物理组成	23
第二节 固体废物的化学性质	25
一、固相化学组成	25
二、固体废物整体化学性质	30
三、固体废物浸出特征	32
第三节 固体废物的生物性质	34
一、生物可降解性	35
二、致病生物含量	36
三、生物毒性	37
第四节 危险废物鉴别方法	38
一、名录鉴别	38
二、特性鉴别	39
第五节 固体废物取样方法	41
一、固体废物的取样方法	41
二、固体废物的制样方法	45
三、采样代表性分析的数据统计方法	46
思考题与习题	47
主要参考文献	47

第二部分 固体废物处理与资源化通用技术过程

第三章 固体废物的收集与运输	51
第一节 生活垃圾收集与运输技术	51
一、概述	51
二、收集对象	52
三、收运过程构成	52
四、收运模式分类	53
五、生活垃圾的分类收集	53
第二节 生活垃圾收集方法	55
一、生活垃圾收集的功能与基本问题	55
二、生活垃圾的收集方法	55
第三节 生活垃圾的清运方法	59
一、生活垃圾车辆清运方式	59
二、生活垃圾清运操作模式	60
第四节 收集运输设施与设备	64
一、垃圾收集贮存容器	64
二、垃圾运输车	66
第五节 生活垃圾的中转运输	71

一、转运站的作用和功能	71
二、生活垃圾转运站的工艺类型	72
第六节 垃圾转运站的工程设计	80
一、转运站服务区域内生活垃圾产生量	80
二、转运站规模	80
三、转运站的设置数量	81
四、转运站的建设面积	81
五、转运站的选址原则	81
六、转运站的建筑和环境	82
第七节 固体废物的收运规划设计	83
一、垃圾产生量的计算和预测	83
二、收运容量计算	83
第八节 转运站的定位	84
第九节 收运路线规划	86
一、设计收运路线的一般步骤	86
二、设计收运路线实例	86
第十节 危险废物的收集与运输	91
一、危险废物的产生与收集贮存	91
二、危险废物的运输	94
思考题与习题	95
主要参考文献	95
第四章 固体废物预处理	96
第一节 固体废物分选技术	96
一、筛分	97
二、重力分选	104
三、磁力分选	108
四、电力分选	110
五、涡电流分选	111
六、其他分选方法及设备	111
第二节 固体废物破碎	114
一、破碎的目的	114
二、破碎难易程度的衡量	115
三、固体废物的基本破碎方式	115
四、破碎的主要控制指标和破碎流程	117
五、破碎机	118
思考题与习题	135
主要参考文献	136

第五章 固体废物生物处理	137
第一节 生物处理基本概念	137
一、微生物	137
二、固体废物中的生物质降解	138
三、生物处理途径与技术	141
第二节 固体废物的堆肥处理	143
一、好氧堆肥化原理	143
二、堆肥化过程的模型化	154
三、好氧堆肥化过程的控制方法	165
四、堆肥产物的评估	165
五、好氧堆肥化工艺	170
六、堆肥化装置类型和设计的基本要求	174
第三节 固体废物的厌氧消化处理	178
一、厌氧消化的原理	178
二、厌氧消化工艺	192
三、厌氧消化过程设计计算	202
四、厌氧消化过程控制	205
第四节 高附加值生物产品制造	207
一、生产有机酸	207
二、生物制氢	208
思考题与习题	212
主要参考文献	214
第六章 固体废物热化学处理	215
第一节 热化学处理技术分类	215
第二节 焚烧的基本原理	218
一、焚烧的反应过程	218
二、燃烧机理与燃烧速率	221
三、燃烧影响因素	233
四、焚烧的评价指标	241
五、焚烧的相关法规和标准	242
第三节 焚烧工艺与设备	247
一、炉排炉	248
二、流化床	252
三、回转窑	256
四、多段炉	257
五、焚烧系统组成	257
第四节 焚烧二次污染控制	272

一、烟气污染和控制方法	272
二、灰渣污染和控制方法	283
第五节 其他热化学处理方法	285
一、热解/气化	285
二、热化学液化	291
三、水热氧化技术	294
四、固体废物水泥窑共处置	301
五、等离子体处理	304
思考题与习题	307
主要参考文献	308
第七章 固体废物的固化与稳定化	309
第一节 固化与稳定化处理的意义	309
第二节 固体废物固化	311
一、包胶固化	311
二、自胶结固化	318
第三节 固体废物稳定化	319
一、化学结合稳定化	319
二、烧结稳定化	323
三、熔融稳定化	328
第四节 固化/稳定化产物的性能评价	335
一、浸出过程的动力学基础	336
二、典型的浸出试验方法	339
三、我国固化/稳定化废物的测试程序	344
思考题与习题	347
主要参考文献	347
第八章 固体废物土地处理与处置	348
第一节 土地处置方法的分类	348
一、土地分散处置	348
二、土地集中处置	348
第二节 填埋处置的基本概念	349
一、填埋作业空间划分	349
二、填埋堆体	349
三、填埋库底基础	350
四、填埋场的地形分类	350
五、填埋基本操作	350
第三节 填埋基本原理	352

372	一、填埋场土工稳定性	353
380	二、填埋堆体中的气液传递	363
380	三、填埋场衬垫和覆盖层中的物质传递	365
380	四、生活垃圾填埋堆体的生物代谢	370
380	第四节 卫生填埋场的设计	374
380	一、处理对象	374
380	二、选址	374
380	三、填埋场容量	375
380	四、填埋衍生物产生量	378
380	五、防洪与雨污分流	387
380	六、地基与衬垫	393
380	七、渗滤液导排与处理	397
380	八、填埋气体导排与利用	401
380	第五节 卫生填埋场操作与封场	406
380	一、填埋作业	406
380	二、封场管理	411
380	第六节 危险废物安全填埋	413
380	一、防渗构造	413
380	二、二次污染控制	413
380	三、封场管理	414
380	思考题与习题	414
380	主要参考文献	415

第三部分 固体废物分类处理与资源化技术专论

419	第九章 危险废物处置与利用	419
419	第一节 危险废物管理法规与制度	419
419	一、危险废物管理法规体系	419
421	二、危险废物管理制度	421
423	第二节 危险废物源头减量与资源化利用	423
423	一、危险废物最小化途径	423
424	二、危险废物的源头控制方法	424
425	三、危险废物的资源化利用方法	425
427	第三节 危险废物集中贮存设施的设计与运行管理	427
427	一、危险废物集中贮存设施的选址与设计原则	427
428	二、危险废物贮存设施的运行与管理	428
429	三、危险废物贮存设施的安全防护与监测	429

四、危险废物贮存设施的关闭	429
第四节 危险废物的处理与处置	429
一、危险废物的物理与化学处理	429
二、危险废物的生物处理	435
三、危险废物的热处理技术	438
四、危险废物的固化/稳定化技术	445
五、危险废物的填埋处置	445
思考题与习题	451
主要参考文献	452
第十章 电子废物处理与综合利用	453
第一节 电子废物特性	453
一、电子废物定义	453
二、电子废物来源和类别	454
三、电子废物部件和组成	455
四、电子废物的有害特性	457
第二节 电子废物处理与利用	457
一、电子废物处理遵循的原则	457
二、电子废物拆解	458
三、电子废物资源化技术	466
四、残余物的处理处置	470
思考题与习题	470
主要参考文献	471
第十一章 工业固体废物的材料利用	472
第一节 工业固体废物的来源、组成、分类与性质	472
一、工业固体废物的来源和分类	472
二、典型工业固体废物的特性	473
第二节 工业固体废物建材利用原理	482
一、活性理论	482
二、烧结理论	483
三、免烧砖技术与原理	485
四、道路骨料强度理论	487
第三节 工业固体废物建材利用工艺	487
一、粉煤灰建材利用工艺	488
二、锅炉渣建材利用工艺	495
三、有色冶金渣建材利用工艺	496
四、钢铁渣建材利用工艺	498

五、化工渣建材利用工艺	504
六、煤矸石建材利用工艺	505
第四节 工业固体废物金属回收单元方法	508
一、湿法冶金	509
二、火法冶金	517
三、物理分离	518
第五节 工业固体废物金属回收工艺	519
一、钢铁渣金属回收工艺	519
二、有色金属尾矿金属回收工艺	521
三、有色金属冶炼渣金属回收工艺	525
思考题与习题	528
主要参考文献	528
第十二章 农业废物处理与利用	530
第一节 农业废物概况	530
一、农业废物现状及特点	530
二、农业废物对环境的污染	532
三、农业废物处理与资源化利用的发展趋势	534
第二节 农业废物的处理与利用	534
一、概述	535
二、畜禽废物资源化利用技术	536
三、秸秆处理与资源化利用技术	547
第三节 农业废物管理与污染防治技术体系	557
一、废物管理策略	557
二、农业废物污染防治技术体系	559
思考题与习题	561
主要参考文献	562

第一部分

总 论

第一章 固体废物处理与资源化技术概论

第一节 固体废物产生及其环境与资源问题

一、固体废物的产生

(一) 固体废物是现代物流利用过程的产物

固体废物是人类在各种社会活动中,因无用或不需要而被弃置的固态物料,是人类利用物质资源满足自身生存和发展需要的伴生产物。

固体废物的产生伴随着人类的发展进程,人类社会发展的同时导致固体废物产生状况的不断变化。联系人类社会发展与固体废物产生的就是人类的物流利用过程。

人类的物流利用过程是人类生存与发展的前提。原始人类获取与消费食物是其生存最基本的物流利用过程,即使在此简单的过程中,获取与消费的环节都会产生固体废物。

现代社会中人类用于满足生存与发展需要的物流利用过程当然要复杂得多,但其各个环节均产生固体废物的特征并没有改变。从原材料开采加工直至产品消费,甚至固体废物的资源化环节(废物加工利用和再制造),均会成为固体废物的产生源。

现代人类社会物流利用过程与固体废物产生的关系可概括为图 1-1。图 1-1 表明,固体废物是现代人类社会物流利用过程中难以避免的副产物。

(二) 现代社会固体废物的来源

1. 生产过程

现代社会是建立在生产系统的基础之上的,系统中基本的生产过程起始于原料获取,现代社会生产原料的两个基本来源是农产品和矿产品。

农产品的生产由种植业和畜牧业这两个基本行业组成,尽管它们均属仿自然生态的生产过程,却仍然是固体废物的产生源:种植业产生以作物秸秆为代表的植物性残余物;畜牧业产生以畜、禽、鱼等的排泄物(粪便)为主的废物。

矿产品的开采则属于工业的一部分,其采集对象包括金属矿石、化石能源和建筑用岩土等,无论何种采集对象,开采过程中均会产生废物,其中又以金属尾

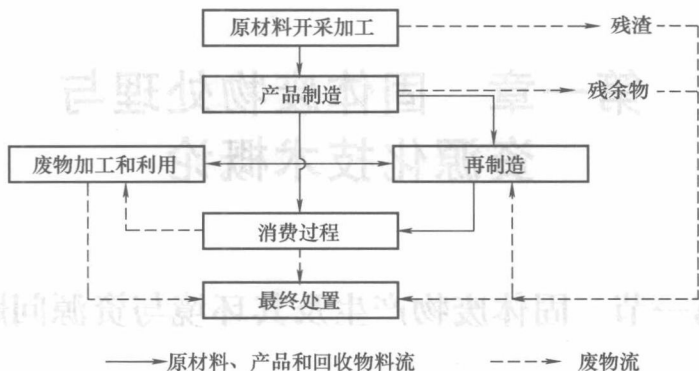


图 1-1 现代人类社会物流利用过程与固体废物产生的关系

矿、煤矸石等为主。

原料的进一步加工亦属于工业生产过程,各种加工生产过程均为固体废物产生源。农产品加工过程中产生的典型固体废物有谷物外壳、动物毛骨、内脏等;工业原料加工过程中的典型固体废物有金属冶炼渣、石油炼制渣等;在利用原料加工制造消费和生产装置时,同样产生固体废物,如生产产品时原料的残余物、废弃的生产装置等。

可以说,人类生产过程的每一个步骤都是固体废物的产生源,只是生产性质的不同使每个产生源产生了不同类型的固体废物。

2. 消费过程

消费过程是绝大部分生产过程产品的利用终端,同样也是固体废物的产生源。

食品在食用前后均会产生餐厨、果皮类废物;易耗型的消费品如:衣服、鞋帽、照明灯具、洗涤用品等,在其有效使用期终了时,将成为固体废物;即使家用电器、交通工具等耐用消费品,超过使用期后亦成为固体废物。

现代商业物流的需要,使消费品包装日益普遍,废包装物几乎成为任何消费品使用过程必然产生的固体废物;而各种信息的物质媒介如:纸制报刊、杂志、书籍、记录声/像的磁盘、光碟等,废弃后同样是消费过程固体废物的重要来源。

因此,可以说现代社会的存在、发展必然伴随着固体废物的产生,固体废物源自人类生产和生活的每一个角落。

二、固体废物的分类

(一) 分类的准则

固体废物有诸多的产生源,不同来源的固体废物有不同的组成特征。因此,应采用不同的处理技术和管理方法,这就使得对其分类具有重要的技术和管理

意义。

固体废物的分类方法不是唯一的。决定分类结果的依据是分类的准则,采用什么样的分类准则进行固体废物分类取决于分类的目的。固体废物分类的目的基本包括两个方面:①引导固体废物处理与利用技术的选择;②为管理分工和管理方法的提供依据。

根据这样的分类目的,目前已形成的固体废物分类准则主要有三种:按来源分类,按组成物料的性质分类,以及按危险性(毒害性)分类。

(二) 固体废物分类

1. 按来源分类

较常用的是根据固体废物产生过程的类型进行分类。

对固体废物按其产生过程的类型分类,通常采用的认定方法为按行业认定。因此,在管理实践中通常演化为对固体废物的产生行业分类。这种方法是管理法规中最常用的固体废物分类准则。我国的固体废物管理法规对非危险废物即采用此准则,分为一般工业固体废物和生活垃圾两大类。秸秆、畜禽粪便等农业废物目前尚未划入我国法定的分类范围。

2. 按组成物料的性质分类

固体废物按组成物料的性质分类,可遵循的分类准则包括外观、组成,以及物理、化学和生物性质等。

实际上,该分类准则多是按物理组成分类。如我国市容环境卫生行业对城市生活垃圾的物理组成分类采用的方法,如图 1-2(a)所示,一级分类为有机物、无机物和废品;二级分类为有机物包含动物性有机物和植物性有机物,无机物包含砖瓦、炉灰和灰土,废品包含纸类、塑料、玻璃、金属、布类、竹木、橡胶和皮革等。美国国家环境保护局统计生活垃圾组成时,则采用更为细致的分类,参见图 1-2(b)。

另一种较有技术选择价值的分类准则,是按废物组成的均匀性分类。工业固体废物中,原材料、能源等行业产生的工业废渣(如炼钢渣、粉煤灰等)组成基本均匀;加工行业废物(日本亦称“工业垃圾”)及生活垃圾,由不同组成的物理组分构成,属不均匀废物;工业废弃设备和废家用电器(WEEE, waste electronic and electric equipment),由不同组成的物理组分(部件、零件)构成,而且各组分装配固定,属不均匀且已装配废物。

3. 按危险性(毒害性)分类

按危险性(毒害性)分类,理论上是按组成物料的性质分类的一种,依据是固体废物是否具有对存放环境的危险性和对人体的毒害性。其实实施通常包含两种分类形式:第一种是按固体废物所具有的主要危险物性质分类,因此从原理上类似于固体废物按组成物料的性质分类方法;第二种是按危险废物的产生过程