



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

李秀金 主编



科学出版社

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

李秀金 主编

科学出版社

北京

本书编写人员

(以章节顺序排)

- | | | |
|-----|-----|----------------------------|
| 李秀金 | 教授 | 北京化工大学 (第一、三、五、七、八、十五章) |
| 刘研萍 | 副教授 | 北京化工大学 (第二、三、八、九、十、十二、十三章) |
| 侯浩波 | 教授 | 武汉大学 (第四章) |
| 张增强 | 教授 | 西北农林科技大学 (第五、十五章) |
| 汪群慧 | 教授 | 北京科技大学 (第六章) |
| 解强 | 教授 | 中国矿业大学 (第七、十章) |
| 沈东升 | 教授 | 浙江工商大学 (第九章) |
| 柴立元 | 教授 | 中南大学 (第十一章) |
| 陈亮 | 教授 | 东华大学 (第十二章) |
| 李金惠 | 教授 | 清华大学 (第十四章) |
| 李国学 | 教授 | 中国农业大学 (第十六章) |

前 言

我国现设有环境工程或相关专业的各类高等学校已达 300 多所。作为主干专业课程之一，固体废物处理与利用工程在环境工程专业课程教学中占有重要的地位。但相对于其他专业课程，如污水处理和大气污染控制等而言，固体废物工程方面的教材还比较缺乏，已有的教材和参考资料也无法完全满足专业课程建设和教学的需要。因此，编写一本能反映国内外最新进展的有关固体废物处理与利用方面的教材就显得非常必要。

在“十一五”国家级规划教材立项项目的支持下，我们组织了国内从事固体废物教学和研究工作的知名专家编写这本教材。本书参考了国内外大量的相关资料，同时也结合各位编者长期从事相关研究的最新成果，并吸纳了一些同行的建议，力图将本书编写成一本适应当前需要的教材和参考书。为此，编者在编写过程中做了如下一些尝试：①扩大了教材覆盖的范围，力图使本书的内容更加全面、丰富。现有的关于固体废物方面的教材大多主要讲述城市生活垃圾处理方面的知识，对其他固体废物处理与利用技术方面的内容介绍的较少。本书则包含城市生活垃圾、工业固废、农业固废和危险废物四大方面的内容。其中，在工业固废和危险废物部分又增加了较多的内容；同时，考虑到我国是世界上最大的农业国家、农业废弃物数量巨大的特殊国情，增加了农业固体废物处理与利用一章，从而使本书内容基本涵盖了我国主要的固废来源。②增加了较多新的内容，力图使本书的内容更加新颖。在本书编写过程中，收集和参考了大量的资料，尤其引用了较多国外固体废物管理课程的内容，同时也结合了部分编者在国外学习和工作期间取得的研究成果，努力使本书的内容能反映国内外固废研究领域的最新进展和发展动态，以增加书的新颖性和可读性。③增加了较多的实物照片和图表，力图使本书图文并茂。书中增加的大量实物照片，大都是编者在国内外通过长期收集或亲自拍摄的，通过这些实物图片和大量的图表，可使读者对固废处理处置技术有直观的认识，有利于增加读者的感性认识和提高学习效果。同时，也避免了过多的文字叙述，使学习更直观、印象更深刻。

本书是“十一五”国家级规划教材立项项目，同时，还受到了北京化工大学教改项目的支持，在此向他们表示感谢。

由于编者知识有限、资料收集尚不全面，加之时间仓促，不足和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年4月于北京

目 录

前言

第一章 固体废物概论	1
第一节 固体废物的产生与特性	1
一、固体废物特性.....	1
二、固体废物产生与分类.....	2
第二节 固体废物污染危害与处理利用途径	4
一、固体废物污染危害途径.....	4
二、固体废物处理利用途径.....	7
第三节 固体废物管理	8
一、固体废物管理的法律法规.....	8
二、固体废物管理的技术政策.....	9
三、固体废物管理的经济政策.....	10
四、固体废物管理的技术标准.....	11
思考题	12
第二章 城市生活垃圾的产生与性质	13
第一节 城市生活垃圾的产生与分类	13
一、垃圾的产生与影响因素.....	13
二、垃圾的分类.....	15
第二节 城市生活垃圾的组成与性质	17
一、垃圾的组成.....	17
二、垃圾的性质.....	18
思考题	21
第三章 城市生活垃圾的存放与收运	22
第一节 城市生活垃圾的存放	22
一、存放方式.....	22
二、存放容器与设施.....	23
第二节 城市生活垃圾的收集	25
一、收集方法.....	25
二、收集设备.....	27
三、收集计划.....	29

第三节 城市生活垃圾的转运	31
一、中转站的设置	31
二、转运方式	32
思考题	34
第四章 城市生活垃圾的预处理	35
第一节 压实	35
一、压实原理与作用	35
二、压实设备与流程	36
第二节 破碎	38
一、破碎作用	38
二、破碎方法	39
三、破碎设备	39
第三节 分选	44
一、筛分	45
二、风力分选	46
三、磁力分选	47
四、电力分选	49
五、光分选	50
六、涡电流分选	50
思考题	51
第五章 厌氧消化	52
第一节 厌氧消化原理	52
一、厌氧消化基本理论	52
二、厌氧消化产物	54
第二节 厌氧消化影响因素	56
一、温度	56
二、有机负荷率	57
三、消化时间	57
四、营养成分	57
五、pH	57
六、氧化还原电位	58
七、有毒有害物质	58
第三节 厌氧消化工艺与反应器	58
一、厌氧消化工艺	58
二、厌氧消化反应器	60

三、应用实例	64
思考题	65
第六章 堆肥化	66
第一节 好氧堆肥原理	66
一、好氧堆肥原理	66
二、好氧堆肥微生物	67
第二节 堆肥化工艺	69
一、基本工艺流程	69
二、堆肥工艺实例	72
第三节 好氧堆肥影响因素	72
一、有机物含量	73
二、通风供氧量	73
三、含水率	74
四、温度	75
五、C/N值	75
六、pH	77
七、颗粒度(孔隙度)	77
第四节 堆肥方法与设备	77
一、堆肥方法与设备分类	77
二、非反应器型堆肥方法与设备	78
三、反应器型堆肥方法与设备	80
第五节 堆肥腐熟度及堆肥质量评价	84
一、堆肥腐熟度的评价指标	84
二、堆肥产品质量及卫生要求	85
思考题	86
第七章 热解气化	88
第一节 热解气化原理	88
一、热解气化概念	88
二、基本原理	89
第二节 热解气化影响因素	90
第三节 热解气化工艺与设备	92
一、热解气化工艺分类	92
二、热解气化设备	93
三、应用实例	96
思考题	97

第八章 焚烧	98
第一节 焚烧原理	98
一、焚烧过程	98
二、焚烧产物	101
三、焚烧效果评价指标	101
第二节 影响因素	103
第三节 焚烧工艺系统	105
一、工艺流程	105
二、系统组成	106
第四节 焚烧设备	108
一、炉排型焚烧炉	108
二、炉床型焚烧炉	111
三、流化床型焚烧炉	113
第五节 焚烧热能的回收利用	114
一、烟气余热回收方式	114
二、烟气余热利用方式	116
第六节 焚烧烟气控制技术	116
一、烟气污染物组成	116
二、酸性气体控制技术	118
三、重金属控制技术	121
四、二噁英控制技术	122
五、飞灰的控制与处理	125
思考题	129
第九章 卫生填埋	130
第一节 卫生填埋场的功能与分类	130
一、卫生填埋场的功能	130
二、卫生填埋场的分类	131
第二节 卫生填埋场构成与选址	133
一、填埋场的构成	133
二、填埋场的选址	134
第三节 卫生填埋场防渗系统	136
一、防渗系统的组成	136
二、防渗材料	137
三、防渗层结构	138
第四节 填埋气体的收集与利用	140

一、填埋气体的产生	140
二、产生量的估算	143
三、填埋气体的收集	144
四、填埋气体的利用	147
第五节 渗滤液的收集与控制	149
一、渗滤液的产生与性质	149
二、渗滤液产生量估算	152
三、渗滤液的收集	153
四、渗滤液的处理	155
第六节 填埋场的作业	156
一、填埋作业方式	156
二、填埋作业工艺	157
三、填埋装备	159
第七节 终场覆盖与后期管理	160
一、终场覆盖	160
二、环境监测	161
三、恢复利用	162
思考题	163
第十章 煤电工业固体废物处理与资源化	164
第一节 煤矸石的产生与性质	164
一、煤矸石的产生	164
二、煤矸石的组成	164
第二节 煤矸石资源化利用技术	168
一、回收有用矿物	168
二、用作生产燃料	168
三、生产建筑材料	169
第三节 粉煤灰的产生与性质	172
一、粉煤灰的产生	172
二、粉煤灰的组成	172
三、粉煤灰的性质	175
第四节 粉煤灰资源化利用技术	178
一、制砖	178
二、生产水泥	181
三、生产陶粒	181
四、筑路材料	182

五、农业和环保应用	182
思考题	183
第十一章 冶金工业固体废物处理与利用	184
第一节 高炉渣的处理与利用	184
一、来源与性质	184
二、处理利用技术	188
第二节 钢渣的处理与利用	190
一、来源与性质	190
二、处理利用技术	192
第三节 铬渣的处理与利用	194
一、产生与组成	194
二、解毒与综合利用	195
思考题	197
第十二章 机电工业废物处理与利用	199
第一节 报废汽车的回收利用	199
一、产生和利用价值	199
二、拆解	199
三、回收利用	200
第二节 电子废物的处理与利用	203
一、来源和特性	203
二、回收工艺	204
第三节 废线路板的处理与利用	209
一、成分组成	209
二、机械回收技术	210
三、火法冶金技术	211
四、湿法冶金技术	212
思考题	213
第十三章 石化、轻工业固体废物处理与利用	214
第一节 废纸的回收与利用	214
一、产生	214
二、再生利用技术	214
第二节 废塑料的回收与利用	218
一、产生	218
二、回收利用技术	218
第三节 废旧橡胶的处理与利用	221

一、轮胎翻新	222
二、生产胶粉	223
三、生产再生胶	225
四、回收能量	226
第四节 废矿物油的回收与利用	226
一、产生	226
二、处理与利用技术	227
第五节 废有机溶剂的回收与利用	229
一、产生	229
二、回收利用技术	229
第六节 废催化剂的处理与利用	232
一、产生	232
二、处理利用技术	232
思考题	234
第十四章 危险废物处理处置	236
第一节 危险废物的产生与特性	236
一、定义	236
二、来源	236
三、特性	237
第二节 危险废物的鉴别	238
一、鉴别方法	239
二、鉴别程序	239
第三节 危险废物收集、储存与运输	242
一、危险废物的盛装容器	242
二、危险废物的收集	243
三、危险废物的储存	243
四、危险废物的运输	245
第四节 固化/稳定化技术	245
一、固化分类及要求	246
二、水泥固化	246
三、沥青固化	249
四、塑料固化	250
五、熔融固化	250
六、药剂稳定化技术	251
第五节 危险废物的焚烧处理	252

一、焚烧前的管理·····	252
二、焚烧工艺系统·····	253
第六节 危险废物的安全填埋·····	255
一、安全填埋场构成与填埋工艺·····	255
二、安全填埋场类型·····	256
三、安全填埋场的封场·····	258
四、安全填埋的特殊要求·····	259
思考题·····	260
第十五章 作物秸秆处理与利用·····	262
第一节 秸秆固化成型技术·····	262
一、成型原理与影响因素·····	262
二、工艺流程与成型设备·····	263
三、成型燃料的物理特性及燃料性能·····	266
第二节 秸秆热解气化技术·····	266
一、集中式气化站工艺流程·····	266
二、工程案例·····	268
第三节 秸秆厌氧消化生产沼气技术·····	268
一、工艺流程·····	268
二、关键技术与工程应用·····	269
思考题·····	271
第十六章 畜禽粪便处理与利用·····	272
第一节 畜禽粪便堆肥化处理与利用·····	272
一、成分特点·····	272
二、堆肥化工艺·····	273
第二节 畜禽粪便厌氧消化生产沼气技术·····	274
一、工艺流程·····	274
二、影响因素·····	275
三、工程案例·····	277
思考题·····	278
主要参考文献·····	279

第一章 固体废物概论

第一节 固体废物的产生与特性

一、固体废物特性

固体废物是指人类在生产建设、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。

固体废物包括：①丧失原有利用价值的废弃物；②虽未丧失利用价值但被抛弃或丢弃的废物；③置于容器中的有毒有害气态、液态物品、物质；④法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。

需要注意的是，一些具有较大危害性质的气态、液态废物，一般不能排入大气和水环境中，常置于容器之中。这类气态、液态废物在我国被归入固体废物管理范畴。因此，固体废物不不只是指固态和半固态物质，还包括有毒有害的液态和气态物质。

由于物质形态的不同，与废水和废气相比，固体废物具有如下鲜明的特性。

1. “废物”与“资源”的相对性

从固体废物定义可知，它是在一定时间和地点被丢弃的物质，可以说是放错地方的资源，具有明显的时间和空间特征。

一方面，随着时间的推移，任何产品经过使用和消耗后，最终都将变成废物。以美国为例，投入使用的食品罐头盒、饮料瓶等，平均几个星期就变成了废物；家用电器和小汽车平均7~15年就变成了废物；建筑物使用期限最长，但经过数十年、数百年后也将变成废物。但另一方面，所谓“废物”仅仅是相对于当时的科技水平和经济条件而言，随着时间的推移，科学技术进步了，今天的废弃物质也可能成为明天的有用资源。例如，石油炼制过程中产生的残留物，开始时是污染环境的废弃物，现已变成了大量使用的沥青筑路材料；动物粪便长期以来一直被当成污染环境的废弃物，今天已有技术可把动物粪便转化成气体燃料。

从空间角度看，废物仅相对于某一过程或某一方面没有使用价值，而并非在一切过程或一切方面都没有使用价值。某一过程的废物，往往可用作另一过程的原料。例如，粉煤灰是发电厂产生的废弃物，但粉煤灰可用来制砖，对建筑业来说，它又是一种有用的原材料；冶金业产生的高炉渣可用来生产建筑用的水泥，

电子线路板可用来回收贵重金属等，它们对建筑业和金属制造业来说又成了有用的资源。

2. 复杂多样性

固体废物种类繁多、成分也非常复杂。它既有无机物又有有机物，既有非金属又有金属，既有无毒物又有有毒物，既有单质金属又有合金，既有单一物质又有聚合物。即使是一个简单的废弃产品，也可能包括多种多样的成分。例如，一部小小的手机，就含有塑料、金属、电池、树脂和织物等多种成分；电视机含有玻璃、塑料、荧光粉、树脂、贵金属等；对报废汽车等大件物品，成分则更加复杂。由于固体废物成分的复杂多样性，也给后续的回收利用、处理处置带来了困难。可以说，对大多数固体废物来说，单靠一种技术是很难解决问题的，常需要采用多种技术才能真正地实行其资源化利用和无害化处理。

3. 持久危害性

固体废物是呈固态、半固态的物质，不具有流动性；此外，固体废物进入环境后，并没有被与其形态相同的环境体接纳。因此，它不可能像废水、废气那样可以迁移到大容量的水体（如江河、湖泊和海洋）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。固体废物无法流动到环境中进行“消化”，它会通过散发有害气体、释放渗滤液和侵占土地等方式污染周边的地下水、地表水、空气和土壤，进而通过动植物等食物链影响人类身体健康，而且，这种过程是长期的、复杂的和难以控制的。因此，从某种意义上讲，固体废物对环境的污染危害比废水和废气更大、也更持久。例如，填埋场中的城市生活垃圾一般需要经过 10~30 年才可趋于稳定，而其中的废旧塑料、薄膜等即使经历更长的时间也不能完全消化掉。在此期间，垃圾会不停地释放和散发臭气，产生的渗滤液还会污染地表和地下水等。而且，即使其中的有机物稳定化了，大量的不可降解物仍然会堆存在填埋场中，长久地占用大量的土地资源。

二、固体废物产生与分类

固体废物来源于人类的生产过程和消费过程。人们在开发资源、制造产品的过程中必然产生废物；任何产品经过使用和消耗后，最终也都将变成废物。

根据不同的分类方法，可将固体废物分成多种类型。按组成，可分为有机废物和无机废物；按形态，可分为固体废物、半固体废物、液态和气态废物；按污染特性，可分为一般废物和危险废物。在我国，比较普遍采用的是按废物来源分类，据此，可将固体废物分为城市固体废物、工业固体废物、农业固体废物和危险废物四大类。各类固体废物的来源和组成见表 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 固体 废物	居民生活	指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、灰渣、碎砖瓦、废器具、粪便、杂品、废旧电器等
	商业、机关	指商业、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、腐蚀性废物,以及类似居民生活栏内的各种废物
	市政维护与管理	指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	指各种金属冶炼和加工过程中产生的废弃物,如高炉渣、钢渣、铜铅铬汞渣、赤泥、废矿石、烟尘、各种废旧建筑材料等
	矿业	指各类矿物开发、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	指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、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	指食品工业、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、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	指机械加工、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、电冰箱、微波炉、电视机和电扇等
	建筑业	指建筑施工、建材生产和使用过程中产生的废弃物,如钢筋、水泥、黏土、陶瓷、石膏、石棉、砂石、砖瓦、纤维板等
	电力工业	指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	指作物种植生产过程中产生的废弃物,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	指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	指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	主要为来自于化学工业、医疗单位、制药业、科研单位等产生的废弃物。如粉尘、污泥等,医院使用过的器械和产生的废物、化学药剂、制药厂炉渣、废弃农药、炸药、废油等

1. 城市固体废物

城市固体废物主要是指城市生活垃圾,是指在城市居民日常生活中或为城市日常生活提供服务的活动中产生的固体废物,以及法律法规规定视为生活垃圾的固体废物。城市生活垃圾主要包括厨余物、废纸、废塑料、废织物、废金属、废玻璃、陶瓷碎片、砖瓦渣土、粪便,以及废家用什具、废旧电器、庭园废物等。

城市生活垃圾主要产自城市居民家庭、城市商业、餐饮业、旅馆业、旅游业、服务业、市政环卫业、交通运输业、文教卫生业和行政事业单位、工业企业及污水处理厂等。

2. 工业固体废物

工业固体废物是指在工业、交通等生产活动中产生的固体废物。工业固体废物主要来自于冶金工业、矿业、石油化学工业、轻工业、机械电子工业、建筑业和其他工业行业等。典型的工业固体废物有煤矸石、粉煤灰、炉渣、矿渣、尾矿、金属、塑料、橡胶、化学药剂、陶瓷、沥青等。

3. 农业固体废物

农业固体废物是指在农业生产及其产品加工过程中产生的固体废物。农业固体废物主要来自于植物种植业、动物养殖业和农副产品加工业。常见的农业固体废物有稻草、麦秸、玉米秸、稻壳、秕糠、根茎、落叶、果皮、果核、畜禽粪便、死禽死畜、羽毛、皮毛等。

4. 危险废物

危险废物是指列入国家危险废物名录或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废物。危险废物主要来自于石油工业、化学工业、医疗和科研单位等。危险废物的特性通常包括急性毒性、易燃性、反应性、腐蚀性、浸出毒性和疾病传染性。由于危险废物具有较大的环境危害性质，需要进行特别的管理。

第二节 固体废物污染危害与处理利用途径

一、固体废物污染危害途径

固体废物复杂多样、且不具有流动性，因此，它们对环境的污染危害途径与水和大气污染危害途径有明显的不同。固体废物的环境污染存在于储存、收运、回收利用及最终处置的各个环节和整个过程。其污染途径也有多种，主要通过散发有毒、有害和臭气等气态污染物污染大气；通过分解产生的浸出液、渗滤液等液态污染物污染地下水、地表水和土壤；通过灰、渣、尾矿等固态污染物侵占土地和污染土壤等。这些污染物对环境形成的污染危害不是独立的，而是相互交叉的。例如，重金属就可通过迁移到地下和地表水、食物链等对人类健康形成威胁。图 1-1 对固体废物的污染途径进行了简要的描述。