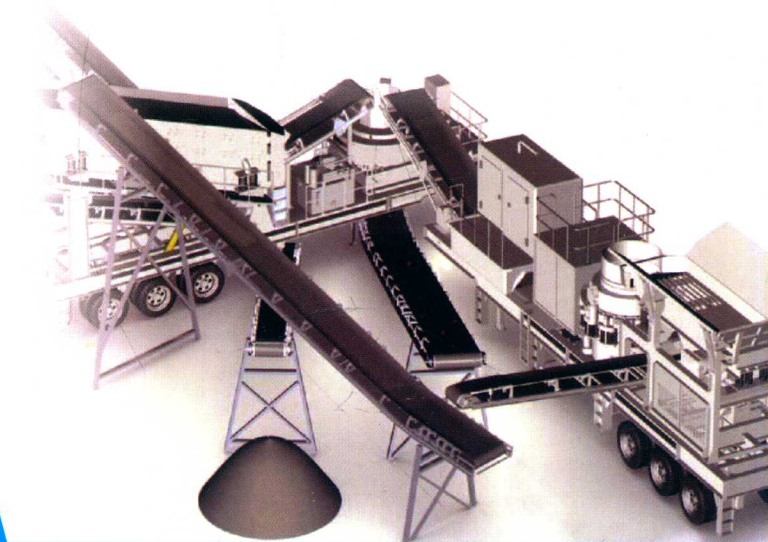


环境科学与工程系列教材

# 固体废物 处理处置工程

Solid Waste Processing Technology

张小平 编著



科学出版社

环境科学与工程系列教材

# 固体废物处理处置工程

张小平 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以固体废物处理与利用流程为主线,从其源流、集运、预处理、处理、处置和资源化等方面,介绍固体废物物流过程的基本概念、基本理论和基本方法,总结了固体废物的来源、组成和性质以及固体废物的产生方式、污染途径和控制方法。重点讨论了固体废物的物理预处理技术(压实、破碎、分选等)、热化学处理技术(焚烧、热解等)和生物处理技术(堆肥化等),固体废物填埋处置技术以及固体废物的资源利用技术等,包括过程原理、设备特征、技术方法和工艺流程。章后附有思考题和计算题。

本书适于环境工程、环境科学及相关专业的本科生、研究生作为教材使用,也可供相关学科的技术人员和管理人员阅读和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

固体废物处理处置工程/张小平编著. —北京: 科学出版社, 2017.6  
(环境科学与工程系列教材)  
ISBN 978-7-03-053142-1

I.①固… II.①张… III. ①固体废物处理—高等学校—教材  
IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 128107 号

---

责任编辑: 朱 丽 杨新政 / 责任校对: 刘亚琦  
责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码: 100717  
<http://www.sciencep.com>

天津市新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 24 3/4

字数: 485 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 《环境科学与工程系列教材》丛书编委会

主 编 叶代启

副主编 朱能武 银玉容

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

党 志 郭楚玲 刘 利 卢桂宁

马伟文 牛晓君 秦玉洁 施召才

石振清 史 伟 宋小飞 杨 琛

易筱筠 银玉容 张太平 张小平

朱能武 邹定辉

## 丛 书 序

环境教育的兴起是 20 世纪以来人们对环境问题的严重性、资源的有限性以及生态环境破坏的难以恢复性的体验与认知的结果。1948 年托马斯·普里查德(Thomas Pritchard)提出了“环境教育”一词,但真正现代意义上的“环境教育”起源和发展于 20 世纪 60 年代西方发达国家的“生态复兴运动”。环境教育的历史演进,从 20 世纪 60 年代出现在学校教育后,便常被视为是自然研习(nature study)、户外教育(outdoor education)、环境修复教育(environmental conservation education)的传承者。然而环境教育的特质与内涵,在社会、科学、技术三者的交互作用中,特别重视有关环境危机的问题,所以环境教育虽然继承于自然研习、户外教育及环境修复教育,但也有别于它们。而今进入 21 世纪,环境教育又蜕变为永续发展教育(sustainable development education)。

环境教育是国际环境界的新事物,是历史的产物,是随着公众社会的发展,为解决新出现的环境问题而产生的。随着经济社会的发展,公众的生产能力不断提高,规模不断扩大,致使许多自然资源被过度利用,生态环境日益恶化。面对全球日益严重的环境问题,国际社会达成了共识:通过宣传和教育,提高人们的环境意识,是保护和改善环境的重要治本措施。但是对环境教育的定义、性质、目标该如何确定,由于个人的学术背景不同、观点兴趣各异,而产生了不同的见解。通过对环境教育定义的界定,能帮助我们进一步认识环境教育的本质。

环境教育的未来发展趋势,一是公众的环境教育,包括中小学的环境教育,旨在使广大人民群众养成自觉保护环境的道德风尚,提高全民族的环境与发展意识。通过环境通识教育,能够使人们更好地理解地球上的生命都是相互依赖的,提升公众的经济、政治、社会、文化及科技认识水平,加深人们对环境问题影响社会可持续发展的理解,使得公众能够更加有效地参与地方、国家和国际层面上有关环境可持续发展活动,推动整个社会向着更为公正和可持续发展的未来前进。二是专业性的环境教育,主要目的是培养和造就消除环境污染和防治生态破坏,改善和创造高质量的生产和生活环境所需的各种专门人才,培养和造就具有环境保护与持续发展综合决策和管理能力的各层次管理人才。

《环境科学与工程系列教材》丛书是华南理工大学环境学科多年从事环境科学与工程类课程的教学和实践经验的总结。这套丛书涵盖了目前较为缺乏的《环境

物理学》《环境生态学》《环境统计学》《城市水工程概论》《固体废物处理处置工程》等专业理论课程教材，《水质分析实验》《环境科学综合实验》实验类教材，以及《环境通识教育教程》《环境科学与工程通识教程》环境通识类教材。

该丛书的内容丰富翔实，是作者们多年教学实践和相关科研成果的结晶，是环境科学与工程类教材的有益补充和丰富，必将从全局上有力推动环境教育的发展，值得同行重视和参考。

该丛书结构严谨、语言通俗、内容科学、案例经典，推荐环境科学与工程及相关领域的教师、学生、环保人员阅读使用。



2016年2月

# 前 言

随着我国经济、社会的快速发展，固体废物产生量逐年剧增，其污染也日趋严重，对其污染的控制和治理亦受到全社会的普遍关注。为适应这一形势，全国各类高校的环境科学和环境工程专业均开设了有关固体废物的课程，并将其作为本科和研究生的专业主干课程之一。虽然近年出版了不少固体废物方面的书籍，但相对于废水、废气的处理和控制在而言，无论是从科技水平的发展，还是学科体系的建立都相对滞后，也不适应专业课程建设和教学的需要。因此，编写一本“固体废物处理处置工程”的教材十分必要。

本教材有以下特点：首先，编排更注重教学的需要，更符合人们思维的习惯，即以处理方法而不是处理对象为次序进行编排。这是因为尽管处理对象千差万别，但各单元在方法学上的相对稳定性和独立性却是永恒不变的，即各处理单元具有共同的规律，如焚烧单元，其过程机理不因处理对象不同而变化。其次，按照“循环经济”的概念，对于固体废物的污染防治，无论是无害化还是资源化，都应首先追溯到废物产生过程的“始端”进行减量，对于“末端”不可避免产生的少量废物才予以处理和利用，即固体废物的处理应是一个从“始”到“终”的全流程闭路循环的污染防治过程。而以往的处理处置、资源化，更多的是针对已经产生的固体废物的处理和利用。最后，作为教材，书中有较多的例题、思考题和计算题，使学生更易掌握所学的内容。

全书共 5 个部分。第 1 部分为基本概念，主要介绍固体废物的来源、组成和性质，固体废物的产生及其污染途径，固体废物的处理处置原则、处理处置技术和一般工艺流程，固体废物污染途径及其危害，固体废物处理的新模式与循环发展理念的关系等。第 2 部分为收运，包括固体废物的分类、收集、运输和贮存，主要介绍城市固体废物、工业固体废物和危险废物收集、运输及贮存方式，以及城市固体废物收集方案和运输路线的初步设计。第 3 部分为处理，主要介绍固体废物物理处理法、化学处理法和生物处理法的基本原理及基本规律，并为运用这些原理和方法进行过程设计和解决工程实际问题打下良好的基础。第 4 部分为固体废物的最终处置方法，主要解决固体废物的归宿问题。介绍土地填埋场的基本构造和类型、填埋场中的化学反应特性和生物降解行为、气液污染物的迁移转化规律等，填埋气、渗滤液的产生机制和一般控制方法，填埋场垃圾的矿化过程特

性以及开采、利用价值，土地填埋场选址、设计、运行遵循的一般原则等。第 5 部分为固体废物的资源化，在讨论固体废物的一般资源化技术（第 10 章）原理、资源化途径、资源化系统特性等的基础上，重点介绍典型固体废物（废塑料、废橡胶、废电池等）（第 11 章）、废弃电器电子产品（第 12 章）、生物质（第 13 章）等的处理和资源化。

本教材是在我们已出版的《固体废物污染控制工程》[化学工业出版社，2004 年出版第一版，2010 年出版第二版]基础上编写而成的，全书由张小平编写。学生叶颖姗、张天宇等绘制了书中部分图表，对他们的辛勤劳动表示感谢。另外，在编写过程中参考了大量资料和许多学者的研究结果，但限于篇幅未能在参考文献中一一列出，对他们表示歉意。

固体废物相对于废水、废气来说，其污染控制还比较落后，技术也相对不够成熟，加之编者水平所限，时间仓促，资料收集不够全面，书中的不足和疏漏甚至错误之处在所难免，敬请专家、同行和广大读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月于华南理工大学



# 目 录

丛书序

前言

## 第1部分 概 念

第1章 绪论	3
1.1 固体废物的定义、特性和分类	3
1.2 固体废物的产量分析	6
1.3 固体废物治理现状	7
1.4 固体废物处理处置基本流程	8
1.5 固体废物污染的环境影响	9
1.6 固体废物的处理处置技术	11
1.7 固体废物的管理体系	12
1.8 固体废物物流特征与循环经济发展模式	15
1.9 本书基本框架和内容	21
思考题	23
第2章 固体废物的来源、组成和性质	24
2.1 城市固体废物的来源、组成和性质	24
2.2 工业固体废物的来源、类别、组成和性质	41
2.3 危险废物的来源及特性	55
2.4 医疗废物的产生及对环境的影响	63
思考题	66

## 第2部分 收 运

第3章 固体废物的收集、运输和贮存	69
3.1 工业固体废物的收集、运输	69
3.2 城市垃圾的收集、运输及贮存	69
3.3 危险废物的收集、运输及贮存	88

思考题.....90

第3部分 处 理

第4章 固体废物的预处理技术.....93

4.1 固体废物的压实.....93

4.2 固体废物的破碎.....96

4.3 固体废物的分选.....99

4.4 分选回收工艺系统.....109

思考题.....111

第5章 固体废物的焚烧处理技术.....112

5.1 概述.....112

5.2 燃烧反应过程的动力学规律.....116

5.3 燃烧反应计算.....130

5.4 焚烧系统.....145

5.5 垃圾焚烧技术工艺.....152

5.6 固体废物焚烧过程中烟气的产生及其控制.....159

5.7 垃圾焚烧过程的环保标准.....171

5.8 术语和定义.....173

思考题.....175

计算题.....175

第6章 固体废物的热解处理技术.....176

6.1 概述.....176

6.2 热解原理.....178

6.3 典型固体废物的热解.....182

6.4 欧美日等国家和地区热解处理技术的发展计划.....184

6.5 流态化热解过程简介.....190

思考题.....196

第7章 固体废物的固化处理技术.....197

7.1 固化处理的原理和步骤.....197

7.2 固化处理的基本方法.....198

思考题.....201

第 8 章 固体废物的堆肥化处理技术	202
8.1 概述	202
8.2 堆肥化的基本原理	204
8.3 好氧堆肥化的基本工艺过程	214
8.4 堆肥化处理过程的几种组合形式	216
8.5 影响固体废物堆肥化的主要因素	216
8.6 堆肥化设备及工艺系统	225
8.7 堆肥腐熟度的评价指标	230
8.8 好氧堆肥化的未来展望	232
8.9 术语	233
思考题	233
计算题	234

#### 第 4 部分 处 置

第 9 章 固体废物的土地填埋处置技术	237
9.1 概述	237
9.2 填埋场的基本构造和类型	245
9.3 填埋场中的生物降解行为	248
9.4 渗滤液的产生及控制	253
9.5 填埋场气体的产生与控制	259
9.6 矿化垃圾的开采与利用	263
9.7 术语	264
思考题	266
计算题	267

#### 第 5 部分 资 源 化

第 10 章 固体废物的资源化	271
10.1 概述	271
10.2 城市固体废物的资源化	273
10.3 工业固体废物的资源化	297
思考题	318

---

第 11 章 几种典型固体废物的资源化 .....	319
11.1 废塑料的回收与利用 .....	319
11.2 废橡胶的回收与利用 .....	321
11.3 废电池的回收与利用 .....	325
11.4 农业固体废物的处理利用 .....	329
思考题 .....	330
第 12 章 废弃电器电子产品处理与资源化 .....	331
12.1 电子废弃物及其生态环境问题 .....	331
12.2 电子废弃物环境管理与处理现状 .....	337
12.3 电子废弃物的资源化回收方法 .....	340
12.4 废弃印制电路板资源化 .....	345
12.5 废弃电器电子产品处理、利用的相关术语 .....	354
思考题 .....	355
第 13 章 生物质处理利用与资源化 .....	356
13.1 概况 .....	356
13.2 生物质的来源、分类、组成和性质 .....	358
13.3 生物质的资源化 .....	362
13.4 生物炭 .....	367
思考题 .....	379
主要参考文献 .....	380

# 第1部分 概 念

本部分主要介绍固体废物的基本概念，包括固体废物的定义和范畴，固体废物的一般性质，与废水、废气相比的异同，处理处置的一般工艺流程和处理处置技术，固体废物污染途径及其危害，固体废物的物流特征与循环经济发展模式的关系等。通过学习，熟悉固体废物的来源、类别和组成，掌握各类固体废物的结构组成和性质特点，为进一步学习和找寻合理的固体废物处理、处置方法和资源化技术奠定基础。



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 固体废物的定义、特性和分类

### 1.1.1 固体废物的定义及范畴

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，在一定时间和地点无法利用而被丢弃的污染环境的固体、半固体废弃物。(Solid wastes are all the wastes arising from human and animal activities that are normally solid and are discarded as useless or unwanted.)

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中表明，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。

通常将各类生产活动中产生的固体废物称为废渣 (residue); 生活过程中产生的固体废物则称为垃圾 (refuse)。“固体废物”实际上只是针对原过程而言的。在任何生产或生活过程中，对原料、商品或消费品，往往仅利用了其中某些有效成分，而产生的大多数固体废物中，仍含有对其他生产或生活过程有用的成分，经过一定的技术环节，可以将其转变为有关行业的生产原料，或可以直接再利用。

根据物质的存在状态划分，废物包括固态、液态和气态废弃物。在液态和气态废弃物中，若其污染物质混掺在水和空气中，直接或经处理后排入水体或大气，习惯上，将它们称为废水和废气，纳入水环境或大气环境管理范畴；而对于其中不能排入水体的液态废物和不能排入大气的、置于容器中的气态废物，因其具有较大的危害性，则将其归入固体废物管理体系。

固体废弃物的处理，通常是指通过物理、化学、生物、物化及生化方法将固体废物转化为适于运输、贮存、利用或处置的过程。固体废弃物处理的目标是无害化、减量化、资源化。

### 1.1.2 固体废物的性质

#### (1) “资源”和“废物”的相对性

从固体废物定义可知，它是在某一时间和地点丧失原有利用价值甚至未丧失

利用价值而被丢弃的物质，是在一定时间放错地方的资源。因此，此处的“废”，具有明显的时间和空间特征。

1) 从时间方面看：固体废物仅仅相对于目前的科技水平还不够高、经济条件还不允许的情况下暂时无法加以利用的。但随着时间的推移，科技水平的提高，经济的发展，资源滞后于人类需求的矛盾也日益突出，今天的废物会成为明日的资源。

2) 从空间角度看：废物仅仅相对于某一过程或某一方面没有使用价值，但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，往往会成为另一过程的原料。例如，煤干石发电、高炉渣生产水泥、电镀污泥中回收重金属等。

事实上，进入经济体系中的物质，仅有 10%~15%以建筑物、工厂、装置器具等形式积累起来，其余都变成了所谓废物。因此，固体废物成为一类量大而面广的新的资源将是必然趋势。“资源”和“废物”的相对性是固体废物的最主要特征。

须注意的是，固体废物的资源属性有其前提和条件。例如，对生活垃圾而言，一方面，从环境保护角度看，首先它是污染源，在其收集运输、处理处置、资源能源回收利用的各个环节都可能对大气、水体、土壤等环境介质产生一定程度的污染；其次，从经济学角度来看，生活垃圾中蕴含着物质和能量，但生活垃圾是具有负价值的物质，要实现垃圾中蕴含的物质和能量的回收利用，必须有新的物质和能量输入，同时必然产生新的污染排放，既要付出相应的经济成本，也要付出相应的环境代价。另一方面，从物质属性上看，生活垃圾主要由碳、氢、氧、氮、硫、钙、硅、铁、铝等元素组成的有机物和无机物，如果不计成本，不惜代价，的确可以做到物尽其用，甚至全量回收利用，但是如果回收利用的经济成本高于其固有价值，全生命周期污染排放也高于其他方案，那么这样的回收利用就是得不偿失的和不可持续的。因此，如果说生活垃圾是资源，也是在特定时空背景下，有严格条件限制的资源，这个限制条件就是经济效益、社会效益、环境效益的平衡。

由此，就生活垃圾而言，生活垃圾的污染源属性是首要的，资源属性是其次的，二者之间的关系是辩证的，需要从生命周期角度加以审视。当我们将生活垃圾作为污染源加以治理时，必须要考虑其资源属性，尽可能回收其中蕴含的资源与能源。同时，当我们将生活垃圾作为资源加以利用时，也要考虑其污染源属性，控制资源化全过程的二次污染，以及产品应用可能带来的长期环境影响。

## (2) 成分的多样性和复杂性

固体废物成分复杂、种类繁多、大小各异，既有无机物又有有机物，既有非金属又有金属，既有有味的又有无味的，既有无毒物又有有毒物，既有单质又有化合物，既有小分子化合物又有高分子聚合物，既有边角料又有设备配件。其构



成可谓五花八门、琳琅满目。因此，可以说“垃圾为人类提供的信息几乎多于其他任何东西”。

### (3) 危害的潜在性、长期性和灾难性

固体废物对环境的污染不同于废水、废气和噪声。其呆滞性大、扩散性小，对环境的影响主要是通过水、气和土壤进行的。其中由于污染成分在环境介质中的迁移、转化使其危害更大并在较短时间内难以发现，如浸出液在土壤中的迁移是一个比较缓慢的过程，其危害可能在数年以致数十年后才能呈现。从某种意义上讲，固体废物，特别是有害废物对环境造成的危害可能要比水、气造成的危害严重得多。

### (4) 污染“源头”和富集“终态”的双重性

废水和废气既是水体、大气和土壤环境的污染源，又是接受其所含污染物的环境。固体废物则不同，它们往往是许多污染成分的终极状态。例如一些有害气体或飘尘，通过治理，最终富集成废渣；一些有害溶质和悬浮物，通过治理最终被分离出来成为污泥或残渣；一些含重金属的可燃固体废物，通过焚烧处理，有害金属浓集于灰烬中。但是，这些“终态”物质中的有害成分，在长期的自然因素作用下，又会转入大气、水体和土壤，又成为大气、水体和土壤环境污染的“源头”。

固体废物还具有来源广、种类多、数量大、成分复杂的特点。固体废物污染防治正是利用这些特点，力求使固体废物减量化、资源化、无害化。按废物的不同特性分类收集、运输和贮存，进行合理利用，尽量变废为宝；对那些不可避免地产生和无法利用的固体废物需要进行处理处置，减少环境污染。

## 1.1.3 固体废物的分类

分类是任何一门科学研究的基础工作，是对事物的深刻认识。固体废物的科学分类对其进行深入研究以及处理、处置和资源化利用具有重要意义。

固体废物按组成可分为有机废物和无机废物；按形态可分为固态、半固态和液（气）态废物；按污染特性可分为危险废物和一般废物；按来源分为工业固体废物、矿业固体废物、农业固体废物、有害固体废物和城市垃圾等。

《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：a. 城市固体废物或城市生活垃圾（municipal solid waste, MSW）；b. 工业固体废物（industrial solid waste, ISW）；c. 危险废物（hazardous waste）三大类。本教材以此分类原则，主要就上述三类固体废物作以介绍。将固体废物类型、来源和组成总结于表 1-1 中，其中农业固体废物量大面广，在我国其产量已超过工业固体废物的产生量，故也将其列入表中予以介绍。