

固体废物工程

SOLID WASTE ENGINEERING

李秀金 主编

中国环境科学出版社

· 北 京 ·

本书的出版承蒙北京化新基金资助，特此致谢！

本书编写人员

主 编 李秀金 博士 北京化工大学

主 审 张瑞红 教授、博士 美国加州大学 (University of California at Davis)

编写人员 (以姓氏笔划为序)

王京刚	博士	北京化工大学	(第五章、第八章第二和第三节、第九章)
冯 流	博士	北京化工大学	(第十、第十四、十五、十六、十七章)
何德文	博士	中南大学	(第十二、十三章)
李秀金	博士	北京化工大学	(第二、三、四、六、七章、第八章第一节、第十一章)
柴立元	博士	中南大学	(第十二、十三章)
贾海峰	博士	清华大学	(第一章)
董仁杰	博士	中国农业大学	(第十八、十九、二十章)

图书在版编目 (CIP) 数据

固体废物工程 / 李秀金主编. -北京: 中国环境科学出版社, 2003.7

ISBN 7-80163-638-4

I. 固… II. 李 III. 固体废物-废物处理 IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 044293 号

固体废物工程

李秀金 主编

出版 中国环境科学出版社
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>

印刷 北京联华印刷厂

经销 各地新华书店

版次 2003 年 9 月第一版 2003 年 9 月第一次印刷

印数 1—5000

开本 787×1092 1/16

印张 25.75

字数 510 千字

定价 48.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回出版社更换

内容简介

全书共分五篇、二十章。第一篇为总论，简要介绍了固体废物的来源、分类和污染危害，以及一些固体废物管理方面的基本知识。第二篇为城市生活垃圾处理与利用工程，讲述了垃圾的存贮、收集、运输方法，处理处置和资源化利用技术，包括垃圾的预处理、堆肥化、厌氧消化、热解、焚烧处理和卫生填埋处置。重点介绍了各种处理处置方法的基本原理、设计要求、关键设备和工艺流程等。第三篇为工业固体废物处理与利用，主要讲述冶金、矿业、石油和化学工业典型固体废物的处理与资源化利用技术。第四篇为危险废物的处理处置工程，介绍了危险废物的产生和分类，以及焚烧、固化和安全填埋技术。第五篇为农业固体废物处理与利用工程，对作物、动物和食品废弃物的处理方法和资源化利用途径进行了介绍。

本书可作为环境工程或相近专业本科生、研究生的教学用书，也可供工业、交通、城市环卫等部门以及其它相关领域从事环境保护工作的科技人员参考。

序

固体废物是指人类在生产建设、日常生活和其它活动中产生的污染环境的固态、半固态废弃物。从宏观上讲，固体废物来源于两大方面：一是生产过程中产生的生产废物；二是产品使用消费过程中产生的生活废物。人们在开发资源和制造产品的过程中，必然产生废弃物，这就是生产废物；而任何产品经过使用和消耗后，最终也将变成废物，这就是生活废物。改革开放以来，我国的社会经济迅速发展，人民生活水平有了很大的提高，但同时也导致了大量固体废弃物的产生。据统计，2000年全国城市生活垃圾产生量已达1.4亿吨，并正在以年5%~10%的速度增加；全国工业固体废物产生量为8.2亿吨，危险废物产生量为830万吨。我国是世界上最大的农业国家，农业固体废弃物的产生量也很大。据估计，目前我国农业固体废物的年产生总量在10亿吨以上。

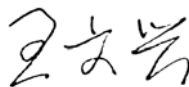
固体废物的数量大、种类多、性质复杂，对环境的污染危害面广。它不仅会侵占大量的土地，污染大气、水和土壤，传染疾病和影响人类健康，还会影响市容和环境卫生；而且，一旦固体废物造成环境污染，消除这些污染往往需要比较复杂的技术和大量的资金投入，并且很难使被污染破坏的环境得到完全彻底的恢复。但是，另一方面，固体废物大都又是可再恢复利用的资源，通过合适技术的处理，可把它们转化成有用的生产原料、热能、生物质能、饲料等。这样既可有效治理固体废物的环境污染，又可开发资源和创造经济效益。

在国外，固体废物的污染控制和资源开发已从最初简单的废旧物资回收，发展成为了一门新型的工程学科。相对于水和大气污染控制，我国在固体废物方面的研究起步较晚，在这方面的教学工作也比较弱。因此，编写一本有关固体废物处理与利用方面的参考书就显得非常重要。通过它可以向广大的读者介绍固废方面的知识，促进固废方面的教学、研究、工程设计等工作的开展。在北京市教委和北京化新基金的支持下，由李秀金博士主持编写的《固体废物工程》一书现在出版了，这是一项很有意义的工作。该书编写成员全部都是具有博士学位和高级职称的年轻学者，有些还是留学美国、日本的回国人员，他们一直都在从事固体废物方面的教学和研究工作，对国内外固废研究方面的情况比较了解。参考了大量国内外最新资料，并结合自己的研究成果编写的这本书具有

信息量大、内容广泛、结构严谨、新颖易读等特点。全书包含城市垃圾、工业固废、农业固废和危险废物四大方面的内容，书后并附有相关法律法规、技术标准目录和英文专业词汇，全书的内容全面、丰富；在书中增加了较多新的内容，这些内容基本反映了国内外固废研究领域的最新进展和发展动态，全书的内容新颖、可读价值较高；此外，还增加了较多的实物照片和图表，图文并茂、可视性强。

该书已被北京市教委列为高等教育精品教材立项项目，它是一本很好的教学用书，可用于环境工程专业本科生、研究生的课程教学，同时，也可供工矿企业环境保护、城市环境卫生等部门科技人员参考。相信本书的出版对我国环境教育、固体废物污染控制和资源化利用工作都会起到一定的促进作用。

中国工程院院士



2003年1月

前 言

我国各类高等学校现设有环境工程系或专业一百多个。作为主干专业课程之一，固体废物工程在环境工程专业课程教学中占有重要的地位。但相对于别的专业课程如污水处理和大气污染控制等而言，固体废物方面的教材还比较缺乏，现有少量教材和参考资料已无法满足专业课程建设和教学的需要。因此，编写一本有关固体废物处理与利用方面的教材就显得非常必要。

在北京市教委和北京化新基金的支持下，我们组织国内从事固体废物教学和研究工作的有关专家，编写了这本教材，并邀请了美国加州大学的张瑞红教授作为本书的主审。本书参考了国内外大量的相关资料，同时也结合了各编者长期从事相关研究的部分成果，吸收了一些同行的建议，力图把本书编成一本适应当前需要的教材和参考书。为此，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，力图使全书的内容更加全面、丰富。现有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，对其它固体废物处理与利用技术方面的内容介绍得较少。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，农业废弃物的数量巨大，故增加了农业固废的内容。这样就基本涵盖了我国主要的固废来源。其次，除了介绍固废方面的具体处理处置技术外，还对有关固废管理方面的知识加以介绍，书后并附有相关法律法规、技术标准的简要目录。此外，为帮助学生掌握固废方面常用英文词汇，以便于读者阅读英文资料，书后还附有英汉对照专业词汇表。（2）增加了较多新的内容，力图使本书的内容更加新颖。在本书的编写过程中，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工作和学习期间取得的研究成果，以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，增加书的新颖性和可读价值。（3）增加了较多的实物照片和图表，力图使书的可视性更强。在书中添加了一些实物照片，这些照片大都是编者在国内外长期收集、亲自拍摄的，此外，书中的图、表也较多。通过实物图片和大量的图表，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。

由于编写者知识有限、资料收集尚不全面，加之时间仓促，不足和错误之处难免，

恳请广大读者批评指正。

本书已被北京市教委列为高等教育精品教材立项项目，同时，还受到北京化新基金的支持，在此向他们一并表示感谢。

编 者

2003年1月于北京

目 录

第一篇 总 论

第一章 固体废物概论.....	2
第一节 固体废物的概念与特征	2
第二节 固体废物的来源与分类	4
第三节 固体废物污染危害	7

第二章 固体废物管理概论	10
第一节 固体废物管理体系	10
第二节 固体废物管理的技术经济政策	11
第三节 固体废物管理的法规标准	14

第二篇 城市生活垃圾处理与利用工程

第三章 概 论	18
第一节 城市生活垃圾的产生与分类	18
第二节 城市生活垃圾的组成与性质	23
第三节 国内外城市生活垃圾管理概况	29

第四章 城市生活垃圾的收运.....	35
第一节 城市生活垃圾的存放与贮存	35
第二节 城市生活垃圾的收集与运输	39
第三节 城市生活垃圾的转运	50

第五章 城市生活垃圾的预处理	53
第一节 城市生活垃圾的压实	53
第二节 城市生活垃圾的破碎	56

第三节	城市生活垃圾的分选	65
第六章	城市生活垃圾的堆肥化处理	78
第一节	概 述	78
第二节	堆肥化过程与影响因素	80
第三节	堆肥方法与设备	87
第四节	堆肥工艺系统实例	95
第七章	城市生活垃圾的厌氧消化处理	98
第一节	概 述	98
第二节	厌氧消化影响因素	100
第三节	厌氧消化反应器与工艺	102
第八章	城市生活垃圾的热解	110
第一节	热解概念与原理	110
第二节	热解反应器	113
第三节	典型固体废物的热解工艺	117
第九章	城市生活垃圾的焚烧	123
第一节	垃圾焚烧特性与焚烧过程	123
第二节	垃圾焚烧工艺系统	130
第三节	垃圾焚烧设备	132
第四节	焚烧能源的回收利用	143
第五节	焚烧尾气控制技术	147
第十章	城市生活垃圾的卫生填埋	160
第一节	概 述	160
第二节	卫生填埋场的设计	164
第三节	卫生填埋场的运行	181
第四节	填埋气体的组成、产生和控制	185
第五节	渗滤液的组成、产生和控制	198
第六节	卫生填埋场的环境监测与后期管理	210

第十一章	城市生活垃圾中废旧物品的回收利用	214
第一节	概 述	214
第二节	纸品的回收利用	217
第三节	废塑料的回收利用	220
第四节	废金属的回收利用	223
第五节	废电池的回收利用	227
第六节	废橡胶的回收利用	232
第七节	废玻璃的回收利用	234
第八节	废油的回收利用	237
第三篇 工业固体废物处理与利用		
第十二章	冶金工业固体废物处理与利用	242
第一节	高炉渣	242
第二节	钢 渣	250
第三节	有色冶金固体废物	256
第十三章	矿业固体废物处理与利用	263
第一节	粉煤灰	263
第二节	煤矸石	280
第十四章	石油工业固体废物处理与利用	288
第一节	概 述	288
第二节	石油炼制工业固体废物处理与利用	289
第三节	石油化工工业固体废物处理与利用	298
第四节	石油化纤工业固体废物处理与利用	301
第十五章	化学工业固体废物处理与利用	305
第一节	概 述	305
第二节	氯碱工业固体废物处理与利用	308
第三节	磷肥工业固体废物处理与利用	312
第四节	纯碱工业固体废物处理与利用	318
第五节	氮肥工业固体废物处理与利用	322

第四篇 危险废物处理处置工程

第十六章	危险固体废物的定义、来源与特征	326
第一节	危险废物的定义和鉴别标准	326
第二节	危险废物的来源	328
第十七章	危险废物处理处置技术	331
第一节	危险废物的收集、贮存与运输	331
第二节	危险废物的固化处理	333
第三节	危险废物的焚烧处理	342
第四节	危险废物的填埋处置	347

第五篇 农业固体废物处理与利用工程

第十八章	作物固体废物处理与利用	352
第一节	概 述	352
第二节	作物秸秆处理与利用技术	355
第十九章	动物固体废物处理与利用	367
第一节	概 述	367
第二节	畜禽粪便处理与利用技术	369
第二十章	食品固体废物处理与利用	378
第一节	食品固体废物来源与分类	378
第二节	食品固体废物处理与利用技术	379
第三节	食品废物处理与利用典型工艺流程	384
附录 I	常用固体废物工程英文词汇	387
附录 II	我国有关固体废物的法规和标准	391
参考文献	394

第一篇 总论

第一章 固体废物概论

第一节 固体废物的概念与特征

一、固体废物的概念

在当今社会里，我们在享受现代化所带来的物质文明的同时，每年要消耗大量的自然资源，并产生数百亿吨的各种废弃物质。这些废弃物最终都要排放到地球上，不仅占用了大量的土地，而且严重地污染了环境，对人类的生存空间和生存环境造成了巨大的威胁。同时，我们还面临着因资源无节制消耗而造成的资源短缺的严重挑战。

早在 20 世纪初期，发达国家由于工业化的快速发展和人们生活水平的提高，资源短缺和环境污染问题就已经变得日益严重。固体废物的环境污染也因此成为人们普遍关注的问题之一。特别是 20 世纪下半叶，各工业国家都面临着资源危机和环境恶化的巨大压力，迫使这些国家开始认识到固体废物环境污染治理和资源化利用的紧迫性和必要性，以及它对各国经济和社会可持续发展的重要性。固体废物的开发利用也因此发展到了一个新的阶段。它从最初简单的废旧物资回收，逐步发展成为一门新型的工程学科，也就是今天所说的固体废物管理。固体废物管理涉及到固体废物处理与利用工程技术、法律法规、技术标准等多个方面的内容，在现代环境管理中占有重要的地位。

那么，什么叫固体废物呢？固体废物是指人类在生产建设、日常生活和其它活动中产生的污染环境的固态、半固态废弃物质。

从广义上讲，根据物质的形态，废物可划分为固态、液态和气态废弃物质三种。液态和气态废弃物常以污染物的形式掺混在水和空气中，通常直接或经处理后排入水体或大气中，在我国，它们被习惯地称为废水和废气，而归入水环境和大气环境管理体系进行管理。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，由于多具有较大的危害性，在我国归入固体废物管理体系。因此，固体废物不只是指固态和半固态物质，还包括部分液态和气态物质。

二、固体废物的特征

与废水和废气相比，固体废物有着明显不同的特征，它具有鲜明的时间性、空间性和持久危害性。

1. 时间性

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7~10年变成废物，建筑物使用期限最长，但经过数十年至数百年后也将变成废物。但是另一方面，所谓“废物”仅仅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，今天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液体燃料。

2. 空间性

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，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；煤矸石是煤矿的废弃物，但煤矸石又可用于电厂发电。又如，冶金业产生的高炉渣可用来生产建筑用的水泥，电镀过程中产生的污泥可以回收贵重金属等，它们对建筑业和金属制造业来说又成了有用的资源。

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。固体废物只能通过释放渗出液和气体进行“自我消化”处理。而这种“自我消化”过程是长期的、复杂的和难以控制的。因此，通常固体废物对环境的污染危害比废水和废气更持久，从某种意义上讲，污染危害更大。例如，堆放场中的城市生活垃圾一般需要经过10~30年的时间才可趋于稳定，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，垃圾会不停地释放渗滤液和散发有害气体，污染周边的地下水、地表水和空气，受污染的地域还可扩大到存放地之

外的其它地方。而且，即使其中的有机物稳定化了，大量的无机物仍然会停留在堆放处，占用大量土地，并继续导致持久的环境问题。

第二节 固体废物的来源与分类

一、固体废物的来源

固体废物主要来源于人类的生产和消费活动，人们在开发资源和制造产品的过程中，必然产生废物。任何产品经过使用和消耗后，最终都将变成废物。据分析，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，其余都变成了废物。从宏观上讲，可把固体废物来源分成两大方面：一是生产过程中产生的废弃物，称为生产废物；二是产品使用消费过程中产生的废弃物，称为生活废物。

生活废物主要是城市生活垃圾。城市生活垃圾的产生量随季节、生活水平、生活习惯、生活能源结构、城市规模和地理环境等因素而变化。例如，美国 1970~1978 年因经济萧条，生活垃圾增长不快，仅为 2%，1978 年后，随着经济复苏，增长率达 4% 以上，目前已达到 5%。欧洲经济共同体国家生活垃圾平均增长率为 3%，其中德国为 4%，瑞典为 2%。总体来说，工业发达国家城市垃圾增长速度大致保持在 2%~4%。我国现正处于经济快速发展时期，垃圾增长速度较快，目前年增长率在 8%~10% 左右。2000 年，全国城市垃圾产生量已达 1.4 亿 t。

生产废物主要来自于工、农业生产部门，其主要发生源是冶金、煤炭、电力工业、石油化工、轻工、原子能以及农业生产等部门。由于我国经济发展长期采用大量消耗原料、能源的粗放式经营模式，生产工艺、技术和设备落后，管理水平较低，资源利用率低，使得未能利用的资源、能源大多以固体废物的形式进入环境，导致生产废物的大量产生。据 2000 年中国环境状况公报报告，2000 年全国工业固体废物产生量为 8.2 亿 t，危险废物产生量为 830 万 t。我国是世界上最大的农业国家，农业固体废弃物的产生量也很大。据估计，目前我国每年要产生十几亿吨的农业固体废物。

二、固体废物的分类

固体废物的分类方法有多种，按其组成可分为有机废物和无机废物；按其形态可分为固态废物、半固态废物、液态和气态废物；按其污染特性可分为一般废物和危险废物等。各国对固体废物的分类也没有统一的标准。美国的分类方法与我国的大致相同，而日本通常分为产业废物和一般废物两大类。根据《中华人民共和国固体废物污染环境防

治法》(简称《固废法》),把固体废物分为城市生活垃圾、工业固体废物和危险废物三大类。但《固废法》并未把农业固体废物列入其中。考虑到我国是世界上最大的农业国家,目前,我国农业废弃物的产量已超过工业固废的产生量,并正在对环境造成越来越严重的污染,故本书把农业固体废物列入到了固体废物的分类中,并作为一个重要的内容加以介绍。

1. 城市生活垃圾

城市生活垃圾又称为城市固体废物,它是指在城市居民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、庭院废物等。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、文教卫生和行政事业单位、工业企业以及污水处理厂等。

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、石油与化学工业、轻工业、机械电子工业、建筑业和其它工业行业等。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废物。危险废物主要来自于核工业、化学工业、医疗单位、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等。根据这些性质,各国均制定了自己的鉴别标准和危险废物名录。我国制定有《国家危险废物名录》和《危险废物鉴别标准》。