

环境工程系列图书

固体废物治理技术丛书

固体废物的 焚烧和热解

GUTI FEIWU DE FENSHAO HE REJIE

李培生 孙路石 向 军 编著
熊友辉 胡 松 李 敏

中国环境科学出版社



环境工程系列图书——固体废物治理技术丛书

固体废物的焚烧和热解

李培生 孙路石 向 军
熊友辉 胡 松 李 敏 编著

中国环境科学出版社·北京

内容简介

本书是《环境工程系列图书》——《固体废物治理技术丛书》中的一本。

固体废物焚烧是固体废物治理的主要方法之一。本书主要介绍了城市垃圾、污泥、电子类废弃物等三类固体废物的燃烧特性、热解特性、气体污染物的排放特性、重金属的迁移特性以及焚烧残余物的组成和可利用性。在对固体废物焚烧与热解的基本理论分析基础上,着重介绍了固体废物焚烧与热解装置的原理、流程和系统组成。在分析总结国内外有关固体废物处理技术的基础上,主要介绍了本书作者自身的研究成果。书中也对目前研究相对较少的生物质及医疗废物的处理技术进行了介绍。

本书力求反映固体废物燃烧和热解领域的最新成果和研究进展,可供工程热物理、热能工程、环境科学与工程、化学工程等专业领域的教学和学习用书,也可作为上述领域中有关研究、设计、管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

固体废物的焚烧和热解 / 李培生等编著. —北京:
中国环境科学出版社, 2006.7

(环境工程系列图书. 固体废物治理技术丛书)

ISBN 7-80209-240-X

I. 固… II. 李… III. ①固体废物—垃圾焚化
②固体废物—热解 IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 142563 号

责任编辑 刘大澈 赵惠芬 季苏园

封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67135108

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2006 年 7 月第一版
印 次 2006 年 7 月第一次印刷
印 数 1—2000
开 本 787×1092 1/16
印 张 15
字 数 350 千字
定 价 32.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载,侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社更换

编者的话

固体废物的泛滥与堆积，给人类的生存环境带来了危害，如何处置日益增长的固体废物、尽量消除其所造成的危害，已经成为人类面临的严重的挑战。随着生活水平的提高和环境保护的双重要求，世界各国都把固体废物的处置作为重要环节加以高度重视，给予了巨大投入。各个国家和地区都结合自身的产业结构、土地资源、城市化程度等实际状况，因地制宜地采取了不同的固体废物处理的技术路线，逐步形成了固体废物处置“无害化、减容化、资源化”处理的目标和思路。我国正处于工业化和城市化并行的快速发展阶段，在人们消费大量能源和资源的同时，必将产生越来越多的固体废物。由于我国城市土地资源的日益紧张，焚烧和热解处理技术“三化”优势凸现。可以预见，随着国家法律的不完善、燃烧和污染物控制技术的日新月异，焚烧和热解将会和农用、堆肥、填埋等传统处置方法一样，成为固体废物处置的重要手段和发展方向。

本书的撰写旨在“废弃物—资源—环境”之间架起一座桥梁，通过燃烧方法寻求固体废物有效处理的途径，既促进环境污染问题的解决，又有助于“第五能源”的开发。

本书的作者是一个富有朝气、先进融洽的研究群体，平均年龄不到 35 岁。近年来除了进行煤的燃烧特性、煤的物理化学结构和洁净煤燃烧技术的研究外，在自然科学基金、企业重点项目的资助下，对固体废物的焚烧和热解处理技术也进行了深入的研究，并以此作为博士和博士后阶段的研究内容，取得了丰富的数据和一些创新性结论。本书主要内容以作者博士、博士后阶段的研究报告为蓝本，突出自身的研究成果并广泛参阅国内外有关参考文献，总结整理而成，因此本书的主要内容建立在自身实验研究的基础上，本书的撰写正是这个研究群体在固体废物研究方面的一个阶段性总结。

本书初稿和部分内容曾在武汉大学和华中科技大学作为热能工程专业的本科生和研究生课程讲授，成稿时又进行了补充和深化。全书共分为八章。第一章介绍了城市固体废物的来源和分类、一般性质、处置方法和我国关于固体废物方面的政策、法律法规和标准；第二章介绍了固体废物的分析方法和手段，包括样品的采集和制备、工业分析和元素分析、灰分析和热分析、燃烧特性分析方法，介绍了燃烧研究中常用的试验台架和装置；第三章详细介绍了固体物质燃烧和热解的基本理论、燃烧过程数值模拟方法和过程；第四至第七章深入分析了城市垃圾、城市污泥、电子类废弃物等三类废弃物的燃烧

特性、热解特性、气体污染物的排放特性、重金属的迁移行为和焚烧残余物特性及其应用，对生物质和医疗废弃物也进行了阐述，对上述城市固体废物焚烧和热解装置的原理、流程和系统组成进行了较为详细的介绍。第八章介绍了固体废物燃烧和热解过程中主要污染物的形成机理、测量方法和控制手段。

本书第一章、第五章由李培生撰写；第二章由熊友辉撰写；第三章由向军撰写；第四章由李敏、孙路石撰写；第六章、第七章由孙路石撰写；第八章由胡松、向军撰写。各章经作者互审，全书由李培生统稿。

华中科技大学煤燃烧国家重点实验室的孙学信教授是熊友辉、向军、胡松、李敏、李培生的博士生导师，也是向军、胡松的博士后指导教师。在本书撰写过程中，他多次给予具体指导并审看了初稿。没有他多年的悉心传授和教诲，本书的问世是不可想象的。武汉大学唐必光教授在百忙中审订了全书，提出了很多中肯的意见，对书稿质量的提高起到了重要的作用。

国外对城市固体废物的焚烧处理的探索和应用已经到了很高的水平，国内一些高校和科研院所也相继开展了富有特色的研究工作，为了保证论述体系的完整，本书部分内容参考和引用了他们的相关研究成果和数据；在研究和撰写过程中得到了作者所在单位武汉大学动力与机械学院、华中科技大学煤燃烧国家重点实验室老师、同事以及武汉大学水利水电学院杨国录教授、河南电力试验研究所李玲老师、北京紫泉能源环境技术有限公司程俊峰博士、郑州大学马新灵老师、江汉大学米铁博士和华中电网公司高级工程师叶永松等同志的支持和帮助；研究生苏胜、刘雪峰、毛金波、高鹏、石金明、赵清森、陈伟、李庆、胡益、余量等同学帮助整理资料并参与了部分研究工作，在此向他们一并表示衷心感谢。还要特别感谢中国环境科学出版社刘大澍、赵惠芬、季苏园等同志为本书付出的辛勤劳动。

固体废物的燃烧和热解显然是一个涉及众多学科、内容庞杂的交叉研究领域，还有很多问题需要进一步研究和探讨。由于作者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，真诚希望能得到来自同行们的批评与帮助，希望通过本书的撰写能促进该领域的研究取得更丰硕的成果。问题和意见请电邮至 lipeisheng@yahoo.com。

作者

2005年8月于武汉

目 录

1 绪论.....	1
1.1 城市固体废物的来源和分类.....	1
1.2 城市固体废物的处置方法和途径.....	12
1.3 我国关于固体废物方面的政策、法律法规和标准.....	19
2 城市固体废物的分析方法.....	21
2.1 样品的采集和制备.....	21
2.2 一般性分析项目.....	27
2.3 发热量的测定.....	28
2.4 工业分析内容和方法.....	32
2.5 灰分析的内容和方法.....	34
2.6 热分析.....	38
2.7 常用燃烧实验装置.....	41
3 固体废物燃烧和热解的基本理论.....	45
3.1 固体废物燃烧概述.....	45
3.2 固体废物的热解.....	52
3.3 固体废物的着火.....	57
3.4 固体废物的燃尽.....	58
3.5 固体废物热解、燃烧的影响因素.....	61
4 城市垃圾的燃烧和热解.....	67
4.1 城市垃圾的燃烧特性.....	67
4.2 城市垃圾的热解特性.....	71
4.3 城市垃圾焚烧气态污染物的排放特性.....	73
4.4 城市垃圾焚烧固体残余物的特征.....	77
4.5 城市垃圾焚烧固体残余物的处理与利用.....	86
4.6 城市生活垃圾焚烧处理设备与技术.....	95
4.7 热解及其新型垃圾资源化技术.....	101

5 城市水处理污泥的焚烧处理.....	105
5.1 污泥中的水及其对燃烧的影响.....	105
5.2 污泥的工业分析和元素分析.....	112
5.3 燃烧过程中的结团现象.....	116
5.4 污泥焚烧灰特性.....	116
5.5 燃烧过程中 NO_x 、 SO_x 的排放.....	117
5.6 污泥焚烧装置和焚烧系统.....	122
5.7 污泥与煤的混合燃烧装置和系统.....	138
6 电子类废弃物的热解与资源化.....	145
6.1 电子类废弃物的物化特征.....	145
6.2 电子类废弃物处理技术的进展.....	149
6.3 废弃印刷线路板的热解机理.....	158
6.4 热解产物中 HBr 气体回收处理途径的探讨.....	171
7 生物质与医疗废物的焚烧和热解.....	175
7.1 生物质.....	175
7.2 医疗废物.....	186
8 固体废物燃烧和热解过程中污染物的形成、测量和控制.....	193
8.1 污染物的形成机理.....	194
8.2 常见污染物的测量.....	202
8.3 有机污染物和痕量元素的测量.....	205
8.4 污染物排放控制技术.....	208
参考文献.....	225

1.1 城市固体废物的来源和分类

人类既是社会物质财富的生产者，又是社会物质财富的消费者。城市固体废物是人类消费物质材料的必然产物。根据有关资料统计，进入经济体系的物质，仅有约 10%以建筑物、工厂、装置、器具等形式累积，其余都变成了废物。人类从生产和消费两方面直接影响固体废物的产生和质量。按照《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中的规定，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，在一定时间和地点无法利用的污染环境的固体、半固体物质。可分为城市垃圾、工业固体废物和危险废物等三类。此外，还有来自农业生产、畜禽饲养、农副产品加工、农村居民生活产生的废物、农作物秸秆、人畜禽排泄物等废弃物，因其多产生于城市郊区以外，一般就地利用，或沤肥或焚烧，因此《中华人民共和国固体废物环境污染防治法》中未对此进行单独规定。

固体废物的种类繁多，本书主要介绍城市垃圾、城市污泥、电子类废弃物、生物质和医疗废物等几种固体废物的焚烧和热解处理，下面就这几种固体废物的来源、特点、分类和利用情况分别进行简单介绍。

1.1.1 城市垃圾

城市生活垃圾（以下简称垃圾），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物以及法律、行政法规规定视为城市生活垃圾的固体废物。主要有厨余物、废纸、废塑料、废织物、废金属、废玻璃陶瓷碎片、砖瓦渣土、粪便、废家具、废旧电器、水处理污泥等。

目前，全世界每年新增加的垃圾约为 100 亿 t。美国城市垃圾排出量为全球之冠，每年高达 2.2 亿 t。我国城市人均每日垃圾排出量已达 1kg，至 1995 年全国城市垃圾产量已突破 1 亿 t/a 大关。面对如此庞大且正迅速膨胀的垃圾产量，世界各国政府制定了大量有关城市垃圾的法律、法规和标准，各种城市生活垃圾的处理技术也迅速发展起来。

近年来我国城市垃圾产量一直处于持续增长状态，年增长速度约为 9%。据统计，我国 1990 年城市垃圾清运量为 6 768 万 t，1995 年我国城市垃圾清运量已达 10 981 万 t，1998 年清运量则达到了 14 223 万 t（如表 1-1 所示）。另外，城市垃圾构成也发生了很大变化，

从 1991 年到 2000 年我国近百个城市生活垃圾成分调查表明, 垃圾中的可燃成分 10 年间增加了 40%。我国城市燃气普及率 1996 年已达 70.5%, 2000 年达 78%, 预计 2010 年将达到 90%。那时城市生活垃圾实现分区、分类的比例将达到 70%, 垃圾可燃物含量可达 60% 以上。例如, 从北京市 1990 年、1995 年和 1998 年城市生活垃圾成分比例变化 (如表 1-2 所示) 中可以看到这一趋势。从国内发达城市经验看, 随着城市燃料气化率的提高, 垃圾成分将发生重大改变, 垃圾的主要成分不再是煤渣、灰渣等无机不可燃物, 纸张、塑料、织物等可燃有机物含量将会大大提高并逐渐趋于稳定, 由于灰渣等吸水性较强成分的减少, 垃圾含水率也会有所提高。北京、上海、深圳、广州以及沿海一些大中城市生活垃圾热值已达 4 500kJ/kg 以上, 内地一些中等城市生活垃圾热值也在 4 000kJ/kg 以上。一些小城市的生活垃圾经筛选等简单预处理后热值也可达到 4 000kJ/kg。建设部、国家环保局、科技部等三部委在《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》中指出, 焚烧适用于进炉垃圾平均低位热值高于 5 000kJ/kg、卫生填埋场地缺乏和经济发达的地区。

表 1-1 我国城市生活垃圾产生情况

年份	1982	1987	1991	1995	1998	2001
垃圾清运量/万 t	3 125	5 397	7 636	10 981	14 223	16 457
人均日产垃圾/kg	0.381	0.588	0.707	0.916	1.138	1.266

资料来源: 张衍国, 吕俊复. 国内外城市垃圾能源化焚烧技术发展现状及前景. 环境保护, 1998: 38-41.

表 1-2 北京市城市生活垃圾成分构成表/%

年代	食品	灰土	纸类	塑料	玻璃	金属	织物	草木	砖瓦
1990	24.89	53.22	4.56	5.08	5.10	0.09	1.82	4.13	4.11
1995	35.96	10.92	16.18	10.35	10.20	2.96	3.56	8.37	1.50
1998	36.12	5.64	17.89	11.35	10.70	3.34	4.11	9.12	1.11

资料来源: 王维平. 中国城市生活垃圾对策研究. 自然资源学报, 2000, 15: 128-132.

虽然经过十几年的努力, 我国各类城市建设了一批垃圾处理厂, 我国城市垃圾粪便无害化处理率也由 1992 年的 25.1% 提高到了 1997 年的 55.4%。但是现有的垃圾处理厂的数量和规模远远不能适应需求。我国 668 个城市采取的主要垃圾消纳方式仍然是直接露天集中堆放或简易填埋, 对环境的实时和潜在的危害很大; 垃圾污染事故频出, 严重破坏了城市生态环境系统的平衡。城市生活垃圾已经成为加快城市社会经济发展的难点。如何有效地处理城市垃圾、保护城市环境已成为衡量一个城市文明程度的显著标志。另外, 我国绝大多数城市尚未完成垃圾的分类收集和处置, 影响并降低了垃圾热值, 增加了垃圾前处理的难度的同时为后续处理遗留下了隐患。

结合国外发达国家的经验, 我国城市生活垃圾在城市发展的同时将拥有以下变化趋势: (1) 有机物增加; (2) 可燃物增多; (3) 可回收利用物增多; (4) 可利用价值增大。因此, 随着我国城市建设的发展和社会进步, 城市生活垃圾的构成已发生了质的变化, 有机物含量开始高于无机物含量。垃圾组成正由“多灰、多水、低热值”向“较少灰、较高热值”的方向发展, 为我国城市生活垃圾的焚烧处理奠定了基础。

1.1.2 污泥

严格地说, 水处理污泥 (Sewage Sludge) 属于城市垃圾的一部分, 但由于其数量庞大、产生集中且其性质与其它城市垃圾差异很大, 通常将其作为单独的一类处理。水处理污泥一般指在水处理过程中产生的, 以及排水管渠中沉积的固体与水的混合物或胶体物。污泥是一种由有机物质残片、细菌菌体、无机颗粒、胶体等组成的极其复杂的非均质体。近年来, 国外水处理行业又将城市污泥称为生物固体 (Biosolid)。最近美国国家环保局 (USEPA) 已经在其正式刊物中将 “Sewage Sludge” 改为 “Biosolid”。

水处理过程一般包括给水处理和污水处理两个环节。给水处理 (Water Treatment) 是指对不符合用户水质要求的水进行水质改善的过程。污水处理 (Sewage Treatment, Wastewater Treatment) 是指为使污水达到排入某一水体或再次使用的水质要求, 对其进行净化的过程。污水处理一般在污水处理厂中进行。城市污水 (Municipal Sewage, Municipal Wastewater) 按照来源可分为两类, 一是生活污水 (Domestic Sewage, Domestic Wastewater), 指居民日常生活中排出的废水。二是工业废水 (Industrial Wastewater), 指工厂生产过程中排出的水, 它包括未受污染或受轻微污染工业废水 (又称为生产废水, Non-Polluted Industrial Wastewater) 和被污染的工业废水 (又称为生产污水, Polluted Industrial Wastewater) 两部分。除此之外, 城市污水中还包括截留的雨水。

污水的处理是由一系列物理化学和生物处理过程组成, 包括沉淀 (使用或不使用化学絮凝剂)、过滤、滤清; 通过微生物进行好氧和厌氧处理, 产生有机复合物; 生化脱氮和脱磷; 消化处理并产生沼气等。在废水净化过程中, 废水中的污染物经生化降解集中去除。生物处理可将大部分有机污染物降解为水和气体 (好氧处理产生 CO_2 、 O_2 , 厌氧处理产生 CH_4 为主的气体), 金属污染物 (包括重金属) 则不能处理而集中到污泥中。污泥是经各级污水处理后产生的固形物, 是污水处理厂不可避免的副产品。一般说来, 污泥呈半固态。污泥的成分、性质和产率等主要取决于被处理水的性质、成分以及处理工艺。严格意义上讲, 城市污泥还包括给水处理过程中产生的给水污泥和城市排水管渠中沉积的下水道污泥等。由于这两种污泥的产量、有机质含量和热值均低于水处理污泥, 因此对污泥燃烧和热解的研究多集中在水处理污泥方面。本书主要以此作为研究对象。

各个国家和地区对污泥处置问题都给予了高度的重视。美国 1993 年 2 月颁布了《有机固体废物 (污泥部分) 处置规定》(EPA503 标准), 欧盟于 2000 年修订的 86/278/EEC 标准, 也对城市污水处理厂污泥的管理和处置提出了综合性要求, 对重金属、病原菌和有机污染物等指标均有严格的限制。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定了固体废物污染环境的防治基本原则和方法, 是我国固体废物处理领域中的指导性法律。目前我国与污泥处理处置相关的标准有《农用污泥中污染物控制标准》(GB 4284—84)、《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 和《城市污水处理厂污水污泥排放标准》(CJ 3025—93) 等三项, 与之相关的一批法律法规正在积极制定或贯彻落实中。一些地方也相继制定了关于污泥处置的地方性法规, 这些法规和标准的颁布和实施对加强城市污水处理厂污泥管理, 减少环境污染起到了积极的作用。

按照不同的分类方法，可将污泥进行如下分类：

(1) 按照污水的来源分类，大致可分为给水污泥、水处理污泥和工业废水污泥等。给水污泥主要源于给水净化过程中产生的沉淀物和滤除物，沉淀池排出泥占给水污泥的绝大部分。水处理污泥指污水处理厂在污水处理过程中产生的各种固体物质。传统水处理工艺产生的污泥包括：隔栅后的栅渣、沉沙池中的无机物颗粒、初沉池中的初沉泥和浮渣、曝气池中的悬浮活性污泥，二次沉淀池中的剩余活性污泥和浮渣以及化学沉淀池中的化学污泥等。由于水处理工艺的不同，上述各部分污泥占的污泥总量的份额差异较大。工业废水污泥是指对工业生产过程中的水进行处理过程中产生的污泥。由于工业生产过程的复杂性，产生的污泥特性也异常复杂。

(2) 按照污泥的成分和性质可分为有机污泥和无机污泥。有机污泥中所含有机物较多，其主要特性是：有机物含量较高，容易腐败产生臭气，其颗粒较细，含水率较高而不易脱水，可以用管道输送。生活污水污泥或混合污水污泥一般属于有机污泥。无机污泥中的有机质较少，一般称为沉渣，其特点是颗粒粗大，密度较高，含水率较低且易于脱水，不易用管道运输。给水处理沉沙池以及某些工业废水处理过程中产生的沉淀物一般是无机污泥。

(3) 根据污泥从污水中分离的过程和产生的部位，可以将污泥分为原污泥、初沉污泥、二沉污泥、活性污泥、消化污泥、回流污泥、剩余污泥等。原污泥 (Raw Sludge) 指未经污泥处理的初沉淀污泥、二沉剩余污泥或两者的混合污泥。初沉污泥 (Primary Sludge) 指从初沉淀池排出的沉淀物。二沉污泥 (Secondly Sludge) 指从二次沉淀池 (或沉淀区) 排出的沉淀物。活性污泥 (Activated Sludge) 指曝气池中繁殖的含有各种好氧微生物群体的絮状体。消化污泥 (Activated Sludge) 指经过好氧消化或厌氧消化的污泥，所含有机物质浓度有一定程度的降低，并趋于稳定。回流污泥 (Returned Sludge) 是由二次沉淀 (或沉淀区) 分离出来，回流到曝气池的活性污泥。剩余污泥 (Excess Activated Sludge) 指活性污泥系统中从二次沉淀池 (或沉淀区) 排出系统外的活性污泥。

污泥的发生量是指各种废水净化处理后所排出的污泥量。由于各个污水处理厂采取的处理工艺和流程不同，处理指标的差异以及污泥的含水率不稳定，因此推断污泥的发生量极为困难。一般认为，污水经过处理后，其体积的 0.5%~1% 将转化为固态的凝聚体 (污泥) 沉降下来。污水处理工艺与产量的关系见表 1-3。

表 1-3 不同处理工艺的污泥产量/干污泥/污水

g/m³

处理工艺	产生量范围	典型值
初次沉淀	100~170	150
活性污泥法	70~100	85
深度曝气	80~120	100
氧化塘	80~120	100
过滤	10~25	20
化学除磷：低剂量石灰/350~500mg/L	240~400	300
高剂量石灰/800~1 600mg/L	600~1 350	800
反硝化	10~30	20

资料来源：何晶晶，顾国维，李笃中. 城市污泥处理与利用. 北京：科学出版社，2003.

显然，一个国家和地区的污泥产量与当地的生活水平、污水处理厂数量和水处理厂生产工艺密切相关。以干物质计，美国仅 1990 年就产生了污泥约 700 万 t，日本 1991 年污泥产量约为 456 万 t，德国和欧盟的污泥产量也呈现连年上升趋势（如图 1-1 和图 1-2 所示）

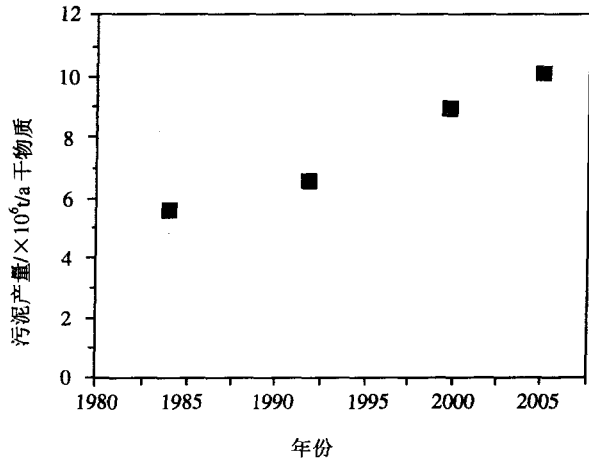


图 1-1 德国近年来的污泥产量（干物质）

资料来源：Y Y. Pyrolyse von papierindustriellem klärschlamm in der Wirbelschicht [Pyrolysis of paper mill sewage sludge in a fluidised bed]. Ph.D. Dissertation, University of Hamburg 1991.

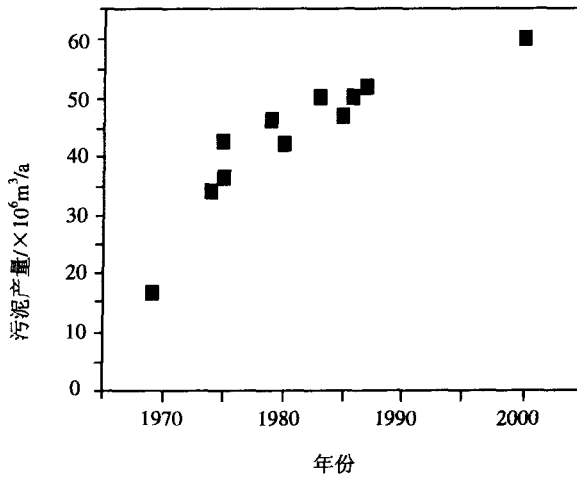


图 1-2 欧盟污泥产量状况（干物质）和预测

资料来源：Hall JE and D F. Waste management sewage sludge: survey of sludge production, treatment, quality and disposal in the EC. 3646, 1994.

按照有关部门规划，“十五”期间我国污水处理率将由 1998 年的 16.25% 提高到 40%~50%。到 2005 年污水年排放量和年处理量分别将达到 $420 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右，届时污水处理率将接近 40%，预计产生污泥 $0.6 \times 10^8 \sim 1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ；到 2015 年城市污水年处理量将达到 $360.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，污水处理率将超过 60%，污泥产量将达到 1.17 亿~1.95 亿 m^3 。

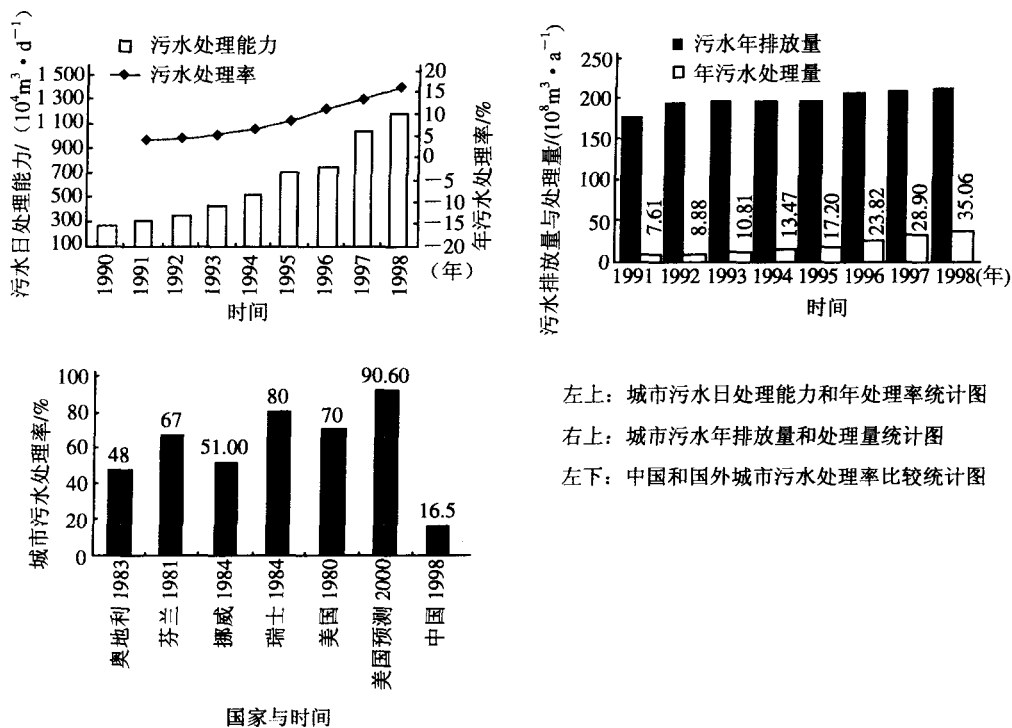


图 1-3 我国城市市政污水处理和排放情况

资料来源：宋序彤，中国城市供水排水发展特征及对策，中国给水排水，2000，29：21-25。

1.1.3 电子类废弃物

伴随着科技进步的日新月异，电气与电子产品（Electric And Electronic Equipment, EEE）的数量急剧增加而且使用周期不断缩短，当今世界正面临着前所未有的电子废弃物浪潮。电子类废弃物（Waste from Electrical and Electronic Equipment, WEEE）也被称作电子垃圾（Electronic Waste），是指从电子产品生产过程中产生的废品以及废弃或淘汰的电子产品，例如废弃的计算机及元器件、电子游戏设备、通讯设备、测量和控制仪器仪表、家庭电子用具、印刷线路板、弹簧开关和连接件，同时还包括废旧电池、电容器等等。废品的形式一般为塑料或陶瓷基板上附着某一种或多种金属薄层，有些金属直接暴露在外，有些则包含在其它组分之中。生产过程中产生的废品通常是一些薄膜类产品，例如印制板、离子交换树脂、喷镀废品和垃圾等。

据报道，美国每年淘汰的废弃电子产品与设备中有 15% 进行填埋处理，75% 收集后堆存，只有 10% 被回收或再利用。1991 年，卡耐基—梅隆大学的一份研究报告估计，按美国每年废弃 1 千万台电脑的速度，到 2005 年，将有超过 3.15 亿台电脑报废，其中大约有 1.5 亿台 PC 和 workstation 被填埋处置，但这仅仅代表美国的电子废弃物中的一小部分。1992 年西欧消费电子产品大约有 700 万 t，电子废弃物总量为 400 万 t，而 1998 年则增加到了 600 万 t，占当年固体废物总量的 4%。并且，欧洲电子废弃物预计将以每年 3%~5%

的速度递增，是城市垃圾增长速度的3~5倍。日本每年废弃的家电也可达60万t，占城市垃圾的1%。在电子产品市场总规模已达1万亿元、电子工业产值已居世界第4位的我国，电子废弃物的数量十分巨大而且还在逐年增加。据国家统计局统计，目前我国电视机的社会保有量达到3.5亿台，冰箱、洗衣机也分别达到1.3亿和1.7亿台。这些电器多数是20世纪80年代中后期进入家庭，按照10~15年的使用寿命，从2003年起，我国每年将至少有500万台电视机、400万台冰箱、500万台洗衣机要报废。此外，近年来我国电脑、手机的消费量激增。目前全社会电脑保有量近2000万台，手机约1.9亿部。而电脑和手机的更新速度远快于家电产品，目前约有500万台电脑和上千万部手机已进入淘汰期。据估计，废弃印刷电路板在电子废弃物中所占的比重为3%左右。由于电子和信息行业的产品更新换代得非常快，随之而产生的废弃印刷电路板的数量也十分惊人。资料显示，我国台湾省每年废弃淘汰的印刷电路板高达10万t。以电子工业发达的广东东莞市为例，每月产生的印刷电路板、覆铜板边角料等电子废弃物就超过5000t，而整个广东省则超过8000t。

目前，数量急剧增加的电子废弃物不仅造成了环境污染和资源浪费，而且对社会的可持续发展构成了严重威胁。为了依法管理和回收利用电子类废弃物，减少处理过程中的环境影响和风险，一些国家和地区先后颁布实施了相关的法律。1992年10月，德国颁布电子废弃物法令（Electronic Scrap Ordinance），规定生产商和零售商有义务回收电子类废弃物。隶属欧洲议会的环保委员会2001年5月根据欧盟执行委员会的建议，提高了欧盟地区电子废弃物的回收标准，从现在的每年每人回收4kg提高到6kg。在个人电脑方面，其回收比率则将按产品重量，由原定的60%提高到70%，再生比率也将由50%提高至60%。2003年2月，欧盟公布了欧洲议会和欧盟部长理事会共同批准的《废弃电气及电子设备指令》和《关于在电气设备中禁止使用某些有害物质的指令》。欧盟《废弃电气及电子设备指令》涉及10类100种电气与电子产品，规定了产品的环境设计、产品标志和信息、产品废弃后的分类收集和处置等要求，以及不同产品的回收利用率目标。同时，还规定自2005年8月13日起，生产商和进口商对投入市场的产品回收利用提供经费。欧盟《关于在电气设备中禁止使用某些有害物质的指令》要求自2006年7月1日起，在欧盟市场上销售的电气及电子产品禁止含铅、汞、镉、六价铬、聚溴联苯（PBB）和聚溴二苯醚（PBDE）等六种有害物质。从2002年起，美国针对废弃家电的回收利用出台了一系列法规，对于家电产品的制造及回收利用比率进行了明确规定，通过采取采购优先政策，来推动包括废旧家电在内的废弃物的回收利用。新泽西和宾夕法尼亚等州通过征收填埋和焚烧税来促进电子废弃物的回收利用。马萨诸塞州制定了美国第一部禁止私人在垃圾填埋场用火焚烧、扔弃电脑显示器、电视机和其它电子产品的法律。加利福尼亚州的电子废弃物回收再利用法案规定从2004年7月1日起，顾客在购买新的电脑或电视机时，要交纳每件6~10美元的电子垃圾回收处理费。2001年4月，日本开始实施《家用电器回收法》。根据这项法律，家电生产商和进口商对制造、进口的家电有回收义务，并需按照一定的比例进行资源回收利用。明确规定电冰箱、洗衣机的回收利用率必须达到50%以上；电视机的回收利用率必须达到55%以上；空调器的回收利用率必须达到60%以上。该项法律还规定消费者必须为废弃家电支付一定的费用。2003年，日本还公布实施了《家用PC回收法》。

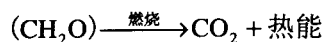
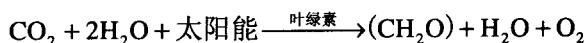
前些年,我国对数量日益庞大的电子废弃物的资源利用价值和环境危害性的认识严重不足,国内还没有一套完整科学的电子垃圾回收处理的法规,尚未建立规范的回收利用体系。与此同时,国外大量废弃电子产品从各种渠道涌入国内。目前扮演回收利用角色的主要是一些乡镇企业或个体作坊。由于没有规范的体系和技术,他们在回收利用过程中,往往采用酸泡、火烧等落后的工艺提炼废弃印刷电路板等部件中的贵金属,产生了大量废气、废水和废渣,造成了很大的资源浪费和严重的环境污染。在广东、浙江、福建沿海的一些地区已经发生了多起严重的污染事件,对居民健康和自然环境造成了永久性的伤害。值得欣慰的是,近几年来,电子废弃物的回收处理在我国正受到越来越多的重视。2002年,废旧家电、废弃电脑等电子废弃物处理处置技术已作为重点发展的再生资源回收利用技术被列入了我国能源节约与资源综合利用“十五”规划中。该项规划在发展目标中提出,到2005年,废家用电器和废电脑回收量必须达到废弃总量的80%以上。另外,针对电子废弃物回收处理的专门法规《电子信息产品污染防治管理办法》也将颁布,对电子类废弃物的回收和再利用情况分门别类作出规定,明确制造商、零售商和消费者三者电子类废弃物处理方面的义务。

随着各国对环境保护及资源利用的重视,电子废弃物的减量化、无害化和资源化处理研究正成为一个全球性的课题。

1.1.4 生物质

生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体,包括所有的动植物的微生物。生物质能(Bioenergy)是太阳能以化学能形式储存在生物质中的能量形式,以生物质为载体的能量。它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用,可转化为常规的固态、液态和气态燃料。它取之不尽、用之不竭,是一种可再生能源。生物质能的原始能量来源于太阳,所以从广义上讲,生物质能是太阳能的一种表现形式。

生物质由C、H、O、N、S等元素组成,是来自空气中的CO₂、水和太阳光通过光合作用反应的产物(通常,光合作用仅仅将不到1%的太阳能转化为化学能),被誉为即时利用的绿色煤炭。生物质不仅资源丰富,而且挥发分含量高,碳活性高,硫、氮含量低(S: 0.1%~1.5%, N: 0.5%~3%),灰分低(0.1%~3%)。人们首先认识、使用并加以利用的燃料就是树木、秸秆等生物质,进而使用成为化石的生物质——煤和石油。生物质能分布广泛,在其生长过程中,通过光合作用吸收CO₂;在其作为能源利用中,排放的CO₂又有效地通过光合作用而被生物质吸收,使整个能源利用系统的CO₂净排放为零,从而有效地防止了CO₂释放对环境的危害。因此,与矿物燃料相比,造成的空气污染和酸雨现象会明显降低;另外矿物燃料是把固定碳通过转化使其流动,并以CO₂的形式累积于大气环境,造成温室效应。而生物质中的碳来自空气中流动的CO₂,它是植物的光合作用和燃烧反应的可逆循环利用过程。即:



(CH_2O) 表示生物质生长过程中吸收的碳水化合物的总称。如果以上两个反应速度匹配合适, CO_2 甚至可以达到平衡, 因此, 整个生物质能循环就不会引起全球气候变暖。

在世界能源中, 生物质能占据重要地位。根据国际能源机构的估算, 地球每年水、陆生物质产量的热当量为 $3 \times 10^{21} \text{J}$ 左右, 是全球目前总能耗量的 10 倍。地球上每年生物质能资源约为世界能源消耗量的 3~8 倍。而生物质的自然分解产生的甲烷是一种温室气体, 其活性比众所周知的 CO_2 要高 20 倍。显然, 开发利用生物质能是解决能源与环境问题的根本途径之一。

在过去的十几年里, 全世界对生物质作为能源已表现出越来越大的兴趣。出现这种情况有以下原因: 首先, 与过去相比, 与生物质转化、作物生产有关的技术发展使生物质的应用成本降低, 效率增加。例如, 当将低成本的生物质作为燃料时, 其发电成本已经可以和基于化石燃料的发电系统竞争, 不久将会出现更加先进的 BIGCC 发电系统; 其次是主要的农作物产品的过剩; 再次是全球气候变暖。生物质是一种最安全、最稳定的、本土能源资源, 它的应用可以使能源利用多元化等等。通过一系列的转化技术, 生物质可以生产出不同品种的能源, 如固化和碳化可以生产固体燃料, 气化可以生产气体燃料, 液化可以获得液体燃料。可以预计, 生物质能源将成为未来持续能源的重要部分。

生物质能源的开发利用早已引起世界各国政府和专家的关注。有许多国家制定了相应的开发计划, 如日本的阳光计划, 印度的绿色能源工程、美国的能源农场和巴西的酒精能源计划等。此外, 丹麦、荷兰、德国、法国、加拿大和芬兰等国家多年来也一直在进行各自的研究和开发, 并形成了各具特色的生物质能源研究和开发体系, 拥有各自的技术优势。

我国生物质能资源相当丰富, 仅各类农业废弃物资源量每年有 3.08 亿吨标准煤, 薪柴资源量为 1.3 亿吨标准煤, 加上粪便、城市垃圾等, 资源总量估计可达 6.5 亿吨标准煤以上, 约相当于 1995 年全国能源总量的一半。大量的森林副产品、水果皮屑、麦秆和其它农作物几乎没有得到利用。将生物质能转化成现代能源利用, 在美国、瑞典、澳大利亚的基本能源中已分别占到 40%、16%、10% 的份额。据联合国调查资料, 在发展中国家, 以传统方式直接燃烧生物质能获取能量来解决生活用能的比例为: 东南亚各国占 42%, 非洲国家占 58%。我国农村直接燃烧秸秆、薪柴每年总能耗为 2.64 亿吨标准煤, 占农村能耗的 79.3%, 每年消耗生物质达 6.1 亿 t。生物质直接燃烧的效率较低, 仅为 15% 左右。而在发达国家, 生物质作为能源利用, 多采用高投入、高产出的方式, 建设大型的生物质能转化工程, 将传统的生物质能转化成为现代能源利用。美国在 1992 年就大约有 1 000 个利用木材气化的发电厂, 运行装机 6 500 MW, 年发电 42 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 发电成本 4~6 美分/ ($\text{kW} \cdot \text{h}$), 投资 2 000~3 000 美元/ kW 。美国加州电力供应的 40% 来源于生物质发电。美国还十分重视木质能源在林产品工业中的应用, 1980 年, 美国 14 家最大的林产品公司利用木质燃料提供了自身所需要的 70% 的能量; 1980—1986 年, 绝大多数新建的林产品制造厂从本身的剩余物中获得了几乎全部的能量。目前, 生物质动力工业在美国已成为仅次于水电的第二大可再生能源。在欧盟国家中, 开发利用的所有新能源和可再生能源 (包括水电在内) 中, 生物质能源占总和的 59.6%。英国政府的目标是国家电力的 10%

将来自生物质能源发电,到目前为止,已有 10 座生物质发电工程在建,装机容量大约在 100MW。一些发展中国家,随着经济的发展也逐步重视生物质的开发利用,增加生物质能的生产,扩大其应用范围,提高其利用效率。生物质利用技术的现代化应是发展中国家利用生物质的一个方向。

1.1.5 医疗废物

1989 年联合国环境署制定的《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》,将“从医院、医疗中心和诊所的医疗服务中产生的临床废物”列为“应加控制的废物类别”中 Y1 组,其危险特性等级为 6.2 级,属传染性物质。美国环境保护署(EPA)、世界卫生组织(WHO)和世界银行(WB)认为“医疗废物”(Medical Waste/Health-Care Waste)是指为人或动物提供诊断、治疗和免疫服务等医疗服务,以及医疗研究、生物实验和生物制品生产过程中产生的各种固体废物,其中包括脏的或黏血绑带/办公垃圾和废玻璃器皿、废弃的外科手套、输血或输液使用后的针头、切除的躯体组织、柳叶刀等。其中,医疗废物的 75%~90%属于城市生活垃圾,是没有危害的“普通废物”(General Medical Waste/General Health-Care Waste),主要来源于医疗卫生机构的内部行政管理、生活服务等部门,没有受到过病菌感染的一般性的生活废弃物,可以与生活垃圾一起收集、运输和处置。而其它 10%~25%的医疗废物适之 EPA 医疗废物跟踪法案(MWTA)所限定的必须受到严密收集、处置的具有传染性或潜在传染性的固体废物,也就是通常所指的“危险医疗废物”或“特殊医疗废物”(Hazardous Health-Care Waste/Health-Care Risk Waste)。2003 年,中国国务院颁布的《医疗废物管理条例》明确指出“医疗废物是指医疗卫生机构在医疗、预防、保健以及其它相关活动中产生的具有直接传染性或者间接传染性、毒性以及其它危害性的废弃物”。

随着人们医疗卫生意识的提高、医学科学的快速发展及一次性医疗用品的普及,医疗废物不断增加,医疗废物已经成为医院感染和社会环境公害源,引起各国政府的普遍重视。特别是 2003 年初非典型性肺炎(SARS)在我国的爆发之后,更是让政府和公众深切的感受到对医疗废物无害化处理的紧迫性。据统计,2000 年我国共有医疗卫生机构 324 771 个,病床 317.7 万张,年诊疗人数 21.23 亿人次,每年产生医疗废物 1 000 万 t 左右,并且医疗废物的产量以每年 3%~6%的速度递增。

世界各国都制定了各类政策法规加强对医疗废物的管理和处置。联合国环境署 1998 年制定了《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》;美国早在 1988 年就颁布了《医疗废物追踪监督法》(MWTA);日本也于 1989 年提出了医疗废物处理方针,1991 年又制定了医疗废物处理及清扫法规。我国 1998 年颁布的《国家危险废弃物名录》中规定,与医疗废物有关的 HW01(医院临床废弃物)、HW03(废药物、药品)和 HW16(感光材料废弃物)均属于危险废弃物。另外我国还颁布了《危险废弃物污染防治技术政策》、《医疗垃圾焚烧环境卫生标准》、《医疗废物管理条例》等多部法规、标准,以完善和加强医疗废物的管理,促进医疗废物无害化处理的进程。

目前已经进行医疗废物集中处理的城市有石家庄、沈阳、广州、杭州、福州、南京、苏州、南宁、西宁,另外北京、天津、上海、深圳、长沙等城市正在筹建。“非典”之后,