



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

城市生活垃圾焚烧 及发电技术

周菊华 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

城市生活垃圾焚烧 及发电技术

主编 周菊华
编写 刘 晓
主审 曹艳华



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

城市生活垃圾清洁焚烧是垃圾处理的发展趋势之一，本书结合城市生活垃圾焚烧厂的设备、系统和技术特点组织编写。

全书共九章，主要内容包括：国内外垃圾处理概况、垃圾焚烧技术、垃圾的清洁焚烧及热利用、流化床焚烧炉、垃圾填埋气体发电、生活垃圾焚烧排放及控制、垃圾焚烧废水处理、焚烧灰渣及恶臭物质处理、除尘器。为了加强对所学知识的理解，每章后均有复习思考题。

本书可作为高职高专电力技术类相关专业教材，也可供环境卫生管理部门、生活垃圾焚烧厂建设和运行单位工程技术人员参考，还可作为垃圾焚烧发电厂职工的技术培训和技能鉴定用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市生活垃圾焚烧及发电技术/周菊华主编. —北京：中国电力出版社，2014.6

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 5437 - 1

I. ①城… II. ①周… III. ①城市—垃圾焚化—职业教育—教材②城市—垃圾发电—职业教育—教材 IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 003162 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 6 月第一版 2014 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 343 千字

定价 35.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书着眼于垃圾焚烧处理技术的历史、特点、现状和发展,重点论述了各种垃圾焚烧炉的工作原理、垃圾填埋气体发电过程、生活垃圾焚烧炉污染物排放及控制技术、城市生活垃圾焚烧净化系统等内容。介绍了我国大中城市垃圾处理的现状和重庆同兴垃圾焚烧发电厂BOT方式的实践项目。我国生活垃圾焚烧技术的研究和应用正处在发展过程中,设备更新和发展较快,本书编写时尽可能反映国内垃圾焚烧厂现阶段实际情况、国内外垃圾焚烧设备的主流技术和最新成果。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求以及有关岗位资格和技术等级要求;符合职业教育的特点和规律,具有鲜明的职业特色;符合国家有关部门颁发的技术质量标准;适应培养高层次应用型、技能型人才的需要。

全书共九章,主要介绍了焚烧厂的构成、焚烧发电技术、填埋气体发生技术、烟气净化系统、废水废渣处理系统,并以创冠环保垃圾焚烧发电厂、哈尔滨垃圾焚烧发电厂为例介绍了主要的设计技术。

武汉电力职业技术学院周菊华担任本书主编,并编写第一~六章和第九章,武汉电力职业技术学院刘晓编写了第七、八章,周菊华负责本书的统稿工作。本书由广西电力职业技术学院曹艳华教授主审,主审老师提出了很多详细而具体的建议和意见,在此表示衷心的感谢。武汉电力职业技术学院动力系多位老师的帮助和支持,使本书增色不少。

由于条件限制,部分设备资料不够齐全,加之编者水平所限,书中难免有疏漏之处,如发现问题,请联系编者邮箱:1792890194@qq.com。

编 者

2014年5月

目 录

前言

第一章 国内外垃圾处理概况	1
第一节 垃圾产量与成分	1
第二节 生活垃圾的处理方法	3
第三节 生活垃圾的处理技术水平现状	7
第四节 我国大城市垃圾处理概况	11
复习思考题	18
第二章 垃圾焚烧技术	19
第一节 垃圾焚烧的基本概念	19
第二节 焚烧厂的构成	25
第三节 垃圾焚烧炉	34
复习思考题	45
第三章 垃圾的清洁焚烧及热利用	47
第一节 概述	47
第二节 炉排炉垃圾焚烧发电厂	50
第三节 热回收与发电系统	59
第四节 创冠垃圾发电厂锅炉设备	65
复习思考题	74
第四章 流化床焚烧炉	76
第一节 流化床焚烧的概念	76
第二节 循环流化床垃圾焚烧锅炉构成	78
第三节 TIF 旋转型流化床焚烧炉	86
第四节 哈尔滨垃圾焚烧发电厂锅炉设备	89
复习思考题	94
第五章 垃圾填埋气体发电	95
第一节 填埋气体发电概述	95
第二节 垃圾填埋气体产生和特性	99
第三节 垃圾填埋气体收集	103
复习思考题	110
第六章 生活垃圾焚烧排放及控制	111
第一节 垃圾焚烧排放主要污染物	111
第二节 生活垃圾焚烧原始排放及控制	118

第三节	二噁英和呋喃	129
第四节	烟气净化系统	135
	复习思考题	143
第七章	垃圾焚烧废水处理	145
第一节	废水的产生及处理简介	145
第二节	废水预处理	149
第三节	生化处理	151
第四节	物化处理	154
第五节	有害物处理	155
	复习思考题	159
第八章	焚烧灰渣及恶臭物质处理	161
第一节	灰渣的特性	161
第二节	灰渣分选	164
第三节	灰渣的处理	169
第四节	生活垃圾焚烧发电恶臭物质处理	172
第五节	启东市天楹环保垃圾焚烧厂烟气净化系统	174
	复习思考题	178
第九章	除尘器	179
第一节	旋风除尘器	179
第二节	布袋式除尘器	181
第三节	静电除尘器	199
第四节	湿式除尘器	212
第五节	组合除尘装置	217
	复习思考题	218
参考文献		219

国内外垃圾处理概况

固体废弃物是人类社会在生产、流通和消费过程中产生的不具有原使用价值而被抛弃的固态或准固态物质。固体废弃物有多种分类方法，其中较常用的是按来源分类，如工业废弃物、矿业废弃物、城市生活废弃物、农业废弃物、医疗废弃物和放射性废弃物等。城市生活废弃物又称为城市生活垃圾，是指人们在日常生活中或为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。生活垃圾主要包括民生日常垃圾、集市贸易和商业垃圾、公共场所垃圾、街道清扫垃圾及企事业单位垃圾等，其主要成分包括厨余物、废纸、废塑料、废织物、废金属、玻璃、陶瓷碎片、灰渣、家用什具、庭园废物等。

生活垃圾是人类生活的必然产物，有人存在，就有垃圾产生。随着人类文明的进步和人口的增长，生活垃圾的产生量不断增加，垃圾的成分随着物质生活的丰富而日趋复杂，有害成分也日渐增多。垃圾问题已经给人类生活带来越来越大的影响，关注垃圾问题，对垃圾进行有效的无害化和减量化处理是非常必要的。

第一节 垃圾产量与成分

一、国外发达国家生活垃圾产生量与成分

1. 国外发达国家生活垃圾产生量

早期城市规模小，城市垃圾产量低、成分简单，容易被环境消纳、生活垃圾对环境危害不明显。自工业革命以后，城市人口和城市数量迅速增加，垃圾产量大大增加，随着人们生活方式的改变，垃圾的成分越来越复杂，产生了较为严重的环境问题。

垃圾泛滥首先在发达国家出现并引起重视。20世纪60年代到80年代是发达国家城市生活垃圾高速增长期。1996年，美国生活垃圾产生量为20966万t，德国的生活垃圾产生量为2500万t，日本的生活垃圾产生量为5115万t。近几年，由于加强了废弃物管理和回收利用，城市生活垃圾的产量增长较慢，甚至出现了负增长。

2. 国外发达国家生活垃圾特性

城市生活垃圾的组成很复杂，其组成成分受到自然环境、经济发展水平、居民生活水平、城市规模、居民生活习惯等因素的影响，主要包括：纸与纸板、玻璃、金属、塑料、织物、木料和其他。工业发达国家城市生活垃圾特点如下：

- (1) 有机物多、无机物少；
- (2) 纸类含量较高，平均高达34%；
- (3) 含水率较低，平均为28%；
- (4) 发热量较高，均高于7000kJ/kg，平均为8727kJ/kg。

二、中国生活垃圾产生量及特性

1. 中国生活垃圾产生量

目前,我国每年产生的垃圾已高达 2.5 亿 t,占世界总量的 1/4。随着城市化进程的加快,在相当长一段时间内,还将以 8%~10% 的速度增长(部分城市如上海已达到 15%~20%),超过欧美城市垃圾 6%~10% 的增长率。城市生活垃圾累积堆存量已达 70 亿 t,近 2/3 比例的城市被垃圾带所包围,垃圾存放占地累计达 75 万余亩,1/4 的城市无合适场所堆放垃圾。

据估计,全国每年因垃圾造成的损失高达 300 亿元。以上海市为例,上海市日产生生活垃圾总量达 2.59 万 t,500 多个垃圾临时堆放点占地几千亩,每年仅运送处理这些垃圾就要耗去全市财政支出 6.8 亿元。

2. 中国生活垃圾的特性

城市生活垃圾成分非常复杂,按物理组成可分为纸、橡胶、塑料、金属等 18 类。我国城市生活垃圾一般分为有机物(厨余垃圾、果皮等)、无机物(包括灰土、渣、陶瓷、砂石等)、纸、塑料、布、木、竹、玻璃、金属九类,其中后七类是可回收废物。

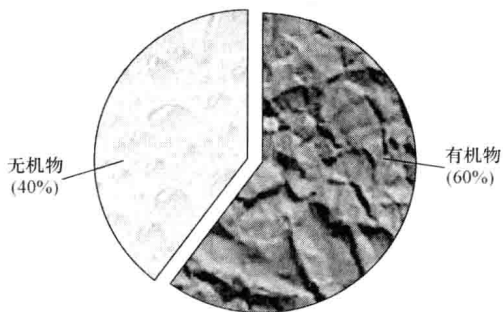


图 1-1 中国城市生活垃圾的构成及特性

城市生活垃圾中有机物占总量的 60%,无机物约占 40%,其中,废纸、塑料、玻璃、金属、织物等可回收物约占总量的 20%,如图 1-1 所示。根据目前中国城市生活垃圾的状况可知,垃圾在焚烧时作为燃料的特点是:多成分、多形态、水分多、挥发分高、发热量低、固定碳低。我国城市的垃圾在产量迅速增加的同时,垃圾的构成及特性也发生了很大的变化。

(1) 多成分、多形态。由于我国城市生活垃圾没有进行分类收集,进入垃圾处理场的包括厨余垃圾、灰、渣土、砂石、塑料、橡胶、纸张、金属等,部分城市生活垃圾还混有工业垃圾(包括电子垃圾)和建筑垃圾。同时,垃圾物理形态也较为复杂,有块状、粉末状、条状、带状等不同的几何形状,还有干与湿、硬与软等不同物理状态。

(2) 水分多、挥发分高。受生活水平和生活习惯的影响,我国城市生活垃圾的水分含量较高,平均达到 50% 左右。另外,垃圾挥发分较高,达 17%~30%。垃圾的发热量主要来源于挥发分,这是垃圾在焚烧时与固体化石燃料显著不同的。

(3) 发热量和固定碳低。我国城市生活垃圾的发热量较低,一般为 4180kJ/kg 左右。垃圾中固定碳含量较低,平均为 3.32%。

(4) 垃圾中的可燃物增多,可利用价值增大。随着城市燃气化率的不断普及,城市生活垃圾中的有机物含量及垃圾的发热量将进一步增加。

居民生活水平和消费结构的改变不仅影响城市垃圾的产量,也影响着城市垃圾的成分。尤其是近十年来,随着改革开放的进一步深化,居民收入不断增加,人民的生活水平不断提高,包装产品的消费,以及废纸、塑料、玻璃、金属、织物等可回收物的消费不断增加。

包装废物的快速增长,是城市生活垃圾增长的重要原因之一。实际上,垃圾中的废纸、

金属、玻璃、塑料等绝大部分是使用后废弃的包装物。随着包装业的快速发展，商品包装形式越来越繁多，包装物的种类和数量增加很快，过分包装和豪华包装的产品比比皆是，这在大城市尤为突出。一次性的商品被广泛用于宾馆和餐饮业。一次性的商品完成消费后就作为废弃物，成为垃圾，大大增加了垃圾的产量。目前我国包装品废弃物约占城市家庭生活垃圾的10%以上，而其体积要构成家庭垃圾的30%以上。

总之，我国城市生活垃圾构成变化趋势有：①有机物增加；②可燃物增多；③可回收利用物增加；④可利用价值增大。

第二节 生活垃圾的处理方法

一、历史和迁变

1. 生活垃圾大规模的有效管理

20世纪中期，开始对生活垃圾进行大规模的有效管理，主要措施如下：

(1) 填埋设计改进。选择填埋场地时，必须注意是否对地下水（饮用水的来源）造成污染。此外，增加了对防渗系统设计的重视。

(2) 建造了大量堆肥厂以利用混合垃圾生产堆肥（然而，在20世纪70年代，由于垃圾中塑料成分的增加，大多数堆肥厂关闭）。

(3) 建造了多座的“第一代垃圾焚烧厂”。

2. 垃圾对环境的影响

20世纪末期，生活垃圾对环境的影响逐渐增大，主要表现在以下几方面：

(1) 有关的填埋场设计建设的立法规定及相应的排放标准越来越严，使填埋处理更复杂、更昂贵。随着公众环保意识不断加强，新填埋场的建设面临更严峻的形势。

(2) 许多新的焚烧设备在建造时必须考虑到烟气和污水的综合处理。现有的焚烧厂都安装了烟气净化和污水处理系统。

(3) 城市生活垃圾管理着眼于环境方面实现可持续发展。可持续生产的核心是对每一种产品的产品设计、材料选择、生产工艺、生产设施、市场利用、废物产生和处置等都要考虑到环境保护，都要符合可持续发展的要求。可持续消费的定义：提供服务以及相关的产品以满足人类的基本需求，提高生活质量，同时使自然资源和有毒材料的使用量最少，使服务或产品的生命周期中所产生的废物和污染物最少，从而不危及后代的需求。

可见，城市生活垃圾管理的理念已发生了转变，不再侧重于“如何更好地处理不断增长的垃圾”，而是转向“通过源头减量、分类收集和回收利用来减少垃圾量”，这一可持续性的生活垃圾管理工作的实施，今天仍然在进行。

20世纪90年代初期，由于垃圾管理和处理成本的不断增加，城市生活垃圾管理与处理不但要高度重视环保方面的问题，还要考虑经济方面的问题。为了降低垃圾处理成本，对垃圾处理设备运行和维护情况进行了彻底清查和改进。另外，就是尝试实行生活垃圾管理的私有化。

二、垃圾处理的原则、目标与方法

(一) 垃圾处理的原则

对于固体废弃物，总的处理原则是无害化、减量化和资源化。但对不同的固体废弃物具

体处理的原则有所不同。生活垃圾对环境的影响不同于建筑垃圾、燃煤锅炉灰渣等污染性较小的固体废弃物，又不同于医疗垃圾等危害性很强的固体废弃物，它的危害性介于两者之间。

1. 无害化

对生活垃圾而言，无害化有两方面含义：一是确保生活垃圾在收集、运输及处理过程中不会通过空气、水体和食品损害人们的健康，包括病菌和垃圾中的有毒有害成分不进入人体；二是确保生活垃圾收集、运输、处理尤其是终极处置后不会对环境造成超过其自净能力的污染。简而言之，无害化要求不对人体和环境造成有害影响。

2. 减量化

生活垃圾减量化，主要内容是“减容化”，即通过工程处理使容积减小。但生活垃圾的密度较小，为 $0.3\sim 0.5\text{t}/\text{m}^3$ ，生活垃圾质量的减少，是以无害化和资源化为前提的，如垃圾分选并回收部分有用成分，则被分离的有用成分不再是垃圾了，剩下的垃圾变少了。又如，垃圾焚烧剩下的灰渣质量明显小于原始垃圾量。由于垃圾焚烧减容化程度很高，一般以减容率（即焚烧后剩余的固体灰渣与焚烧前入炉垃圾的质量之比）来表示，对于达到国家有关标准的焚烧炉而言，通常以灰渣热灼减率来表示焚烧的充分性，而不是以减容率表示的。因为垃圾成分中灰分不易测定且随时变化，因此，减容率不直观且不是一个恒量。而热灼减率则以灰渣在高温（ $600\pm 25^\circ\text{C}$ ）、长时间（3h）条件下减少的质量占原始灰渣质量的百分比，这个量可以较为直接、客观地反映焚烧的充分性。

3. 资源化

废弃物的资源化是通过一定的工艺措施，从废弃物中回收对人类的生产、生活有使用价值的能量。生活垃圾资源化手段大致有三类：一是通过分类收集和分选回收其中纸制品、人工高聚物、金属等；二是通过生物质制肥；三是通过热处置回收热量进行供热、制冷或发电。我国生活垃圾没有分类收集，成分复杂，可利用的物质并不多且不易有效分离，因此资源利用率并不高，也缺乏经济效益。

废弃物的资源化除了受热力学定律和物质迁移过程的客观规律的支配外，还受到生产方式、经济规律的支配。例如生活垃圾发电成本远远高于火力发电的成本，尚若没有政策性支持，垃圾发电在成本上绝对无法与火力发电竞争。

总之，对生活垃圾的处理要求按照无害化、减容化和资源化的原则进行，其中无害化是首要而基本的，在无害化前提下尽可能对垃圾进行减容减量，并在一定条件下利用垃圾中的可利用资源。

（二）垃圾处理的目标

垃圾处理要达到两个目标：一是技术性的，即人类可持续发展的基本要求；二是经济性的，即要求在满足对环境影响尽可能小的前提下，选择一个成本最低的处理工艺。

1. 垃圾处理对环境的影响最小化

无论什么处理方法，都不是完美的，不可能对环境没有任何影响，只有影响大小之区别，这是对各种垃圾处理方法和工艺评价时首先要明确的。事实上，人类的任何生产活动，都不可避免地产生废弃物，消纳生活垃圾的过程也不例外，也必然会产生三废（废水、废渣、废气），这些三废也必然对环境有或多或少的影响。垃圾处理的目标是消纳垃圾，减少环境污染，因此，需对垃圾整个处理技术、工艺、设备及管理进行综合考虑，真正实现无害

化处理。

2. 垃圾处理的成本最小化

任何工艺过程都需进行成本核算以求经济最优化。既不能过分强调经济性，也不能一概否定国产技术与设备，过分强调全套装备进口，造成初投资过高，缺乏经济性使系统难以长期有效运行，结果建成后只能降档运行，达不到先进设备原设计性能。因此，原则上应该满足无害化条件，即在环境影响最小化的前提下，对处理成本进行优化。

三、成熟的垃圾处理方法

从世界范围看，目前比较成熟的城市生活垃圾处理方法主要有：卫生填埋、堆肥和焚烧。

1. 卫生填埋处理技术

所谓卫生填埋，就是能对渗沥液和填埋气体进行控制的填埋方式。

作为城市生活垃圾的最终处置手段，卫生填埋是应用最早、最为广泛的垃圾处理手段。卫生填埋是从传统的垃圾堆填发展起来的，是对垃圾渗沥液和填埋气体进行控制的垃圾填埋方式，通常先要进行防渗处理，在填埋场底部采用人工衬层，四周采用防渗幕墙并使之与天然隔水层相连接，使填埋场底下形成一个独立的水系，渗沥液一般通过管道收集后直接处理。垃圾填埋场产生的气体则经过预先埋置好的管道进行收集，收集后的气体可以焚烧或者经过净化处理作为能源回收。1998年，杭州天子岭生活垃圾填埋场利用外资，引进技术，建起了我国第一个填埋气体发电厂，同年底，广州大田山填埋场建设了国内第二个填埋气体发电厂，两个填埋气体发电厂都由法国 ONYX 公司负责建设与营运。此后，南京、鞍山、马鞍山等城市相继建立了垃圾填埋气发电厂。这些项目的实施，为我国填埋场填埋气体的开发利用奠定了基础。

卫生填埋技术成熟，操作管理简单，投资和运行费用相对较低，是目前世界上多数国家的主要垃圾处理方法。但这种垃圾处理方式的缺点是垃圾减量减容效果差，需占用大量土地资源，填埋物受到地理和水文地质条件限制多，场址选择较困难。渗沥液治理难度大，处理中不易达到预期目标。渗沥液很容易对地下水和土质造成污染；另外，垃圾填埋场产生沼气的收集、处理难度也较大。垃圾填埋的处理方法不适合人口密集、土地资源紧缺的国家和地区。国外正在逐步减少垃圾直接填埋量，尤其是欧共体各国，已强调垃圾填埋只能是最终处置手段，而且只能是无机物垃圾，有机物含量大于5%的垃圾不能进入填埋场。

2. 堆肥处理技术

垃圾堆肥是利用微生物、有控制地促进城市生活垃圾中可降解有机物转化为稳定的腐殖质的生化过程。按生物发酵方式不同，堆肥处理可分为厌氧堆肥和好氧堆肥；按垃圾所处的状态不同，可分为静态堆肥和动态堆肥；按发酵设备形式不同，可分为封闭式堆肥和敞开式堆肥。目前较好的堆肥方式是动态高温堆肥。

我国城市生活垃圾堆肥处理面临的主要问题是：过分追求机械化，而堆肥专用机械不过关，造成运行不可靠、堆肥成本高；混合收集的垃圾生产的堆肥，产品质量低，不便于于农田生产，农民更倾向于使用肥效高、见效快的化肥，严重影响了堆肥市场。

静态好氧发酵堆肥技术机械化程度低，实用性强，工艺简单，投资少，操作简单，运行费用低。但因堆肥质量不高，堆肥筛上物未得到处理，臭气污水等二次污染对周围的环境影响较大，其应用也受到一定的限制。

因此,降低堆肥成本、提高堆肥产品质量,开辟市场渠道是解决堆肥处理发展的关键因素,但归根到底必须实现有机垃圾的分类收集。

3. 垃圾焚烧发电技术

垃圾焚烧发电就是把垃圾收集后,通过特殊的焚烧锅炉燃烧,再通过汽轮发电机组发电。高温焚烧后的垃圾能较彻底地清除有害物质,焚烧后的残渣只有原来容积的10%~30%,延长了填埋场的使用寿命,缓解了土地资源的紧张状况。

城市垃圾中的二次能源如果能充分资源化并用于发电,还可以节省其他能源,如煤炭。按我国目前垃圾年产量2.5亿t计,以平均低位发热量3762kJ/kg折算,相当于3214万t标准煤。根据“十二五”期间规划,若35%的生活垃圾用于焚烧发电,年发电量可达262亿kW·h,资源潜力巨大,经济效益可观。

垃圾发电在西方发达国家已有上百年的发展历史。20世纪70年代,德国率先进行垃圾发电。随后,法、英、美、日等国家也积极开展了这方面的研发利用。目前,全球垃圾发电厂已达3000余座,最大单机容量超过100MW。其中德国78座,美国近400座,日本土地资源紧缺,更是不遗余力组织力量,解决技术问题,并通过发行股票债券等方式融资投建垃圾电厂,焚烧率已超过70%。

受资金和技术的限制,我国垃圾发电起步较晚,最早的垃圾发电厂直到1988年才投入运行。由于垃圾发电兼具经济和环境效益,国家自“十五”期间开始鼓励其发展。近几年我国垃圾发电发展尤为迅速,每年呈现成倍增长态势。

目前,世界新建的垃圾焚烧设施中超过一半都在中国,国内已有近30个省、市和自治区的城市建成了垃圾发电厂,70%以上的焚烧厂集中在东部地区。2010年10月,亚洲最大的垃圾发电项目在上海正式并网,预计满负荷生产后将每年向上海电网输送约1.1亿kW·h“绿色电力”,可解决10万户左右居民的日常用电。到2015年,我国垃圾焚烧发电厂还将增加384座,届时焚烧能力可达31万t/日。

垃圾焚烧处理与其他处置方法相比具有以下独特的优点:

(1) 能够使垃圾的无害化处理更为彻底。经过700~900℃的高温焚烧处理,垃圾中除重金属以外的有害成分充分分解,细菌、病毒能被彻底消灭,各种恶臭气体得到高温分解,尤其是对于可燃性致癌物、病毒性污染物、剧毒有机物几乎是唯一有效的处理方法。

(2) 垃圾减量化效果明显。城市生活垃圾中含有大量的可燃物质,焚烧处理可以使城市垃圾的体积减少90%左右,质量减少80%~85%。焚烧处理是目前所有垃圾处理方式中最有效的减量化手段。

(3) 可实现垃圾的资源化利用。垃圾焚烧产生的热量可以回收利用,用于供热或发电,焚烧产生的灰渣可作为生产水泥的原材料或者用于制砖。

(4) 对环境的影响小。现代垃圾焚烧技术进一步强化了对垃圾焚烧产生的有害气体处理工艺,能够减少垃圾焚烧产生有害气体的排放,垃圾渗沥液可以喷入炉膛内进行高温分解,不会出现污染地下水的情况。

(5) 能够节省大量的土地。焚烧厂占地面积小,建设一座处理能力为1000t/d的生活垃圾焚烧厂,只需占地100亩,按运行25年计算,共可处理垃圾832万t,而且可以在靠近市区的地方建厂,缩短垃圾的运输距离。

(6) 全国城市每年因垃圾造成的损失近300亿元(运输费、处理费等),而将其综合利

用却能创造 2500 亿元以上的效益。

鉴于上述原因，垃圾焚烧处理及综合利用是实现垃圾处理的无害化、资源化、减量化最为有效的手段，具有良好的环境效益和社会效益。

技术比较成熟的生活垃圾焚烧炉主要包括机械炉排炉、流化床焚烧炉、热解焚烧炉、回转窑焚烧炉四类。1988 年，深圳市引进日本三菱重工株式会社 2 台 150t/d 垃圾焚烧系统，成为我国第一座现代化大型焚烧厂。1996 年，又在原有基础上完成了 3 号炉国产化工程，设备国产化水平达到 80% 以上，在技术性能方面达到或超过了原引进设备的水平，为我国大型垃圾焚烧设备国产化打下了基础。

目前比较有代表性的生活垃圾发电厂有：深圳 450t/d 清水河垃圾焚烧发电厂、上海 1000t/d 御桥垃圾焚烧发电厂、上海 1000t/d 江桥垃圾焚烧发电厂、宁波 1000t/d 垃圾焚烧发电厂和温州临江 675t/d 垃圾焚烧发电厂等。

截至 2010 年底，我国建成并投入使用的填埋气体发电厂有 35 座，发电装机容量超过 80MW。填埋气体利用方式主要是直接燃烧发电。2011 年底，我国建成和在建的垃圾焚烧发电厂总数超过 160 座，而“十二五”期间规划的垃圾焚烧发电厂超过 200 座。预计到 2015 年，垃圾焚烧发电厂的数目可能增加 2 到 3 倍。

垃圾发电之所以发展较慢，主要是受一些技术或工艺问题的制约，其中包括发电时燃烧产生的剧毒废气长期得不到有效解决。日本推广一种超级垃圾发电技术，采用新型气熔炉，将炉温升到 500℃，发电效率也由过去的 10% 提高到 25% 左右，有毒废气排放量降到 0.5% 以内，低于国际规定标准。当然，现在垃圾发电的成本仍然比传统的火力发电高。专家认为，随着垃圾回收、处理、运输、综合利用等各环节技术的不断发展，工艺日益科学先进，垃圾发电方式很有可能会成为最经济的发电技术之一。从长远效益和综合指标看，将优于传统的电力生产。中国的垃圾发电刚刚起步，但前景乐观。

据了解，目前我国垃圾处理方式以填埋、焚烧和堆肥为主，其中填埋占比近一半，焚烧占比约为 12%，堆肥不到 10%，此外，仍有 30% 的生活垃圾未能处理，如图 1-2 所示。垃圾发电率不到 10%，相当于每年白白浪费 2800MW 的电力装机容量，被丢弃的“可再生垃圾”价值高达 2500 亿元。

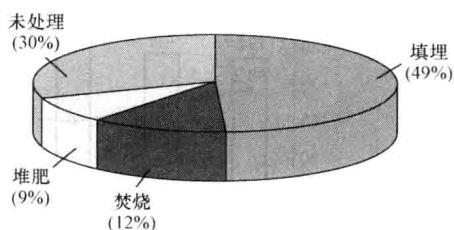


图 1-2 垃圾处理方式

第三节 生活垃圾的处理技术水平现状

一、我国垃圾无害化处理的状况

2009 年，全国城市生活垃圾无害化处理率为 71%，提前一年完成“十一五”规划目标，但城市垃圾无害化处理还存在很多问题。

(1) 设施不够，运行管理不善，填埋渗沥液没有收集和净化处理，导致地表水和地下水源污染。

(2) 简易堆放的垃圾污染空气，易引起沼气爆炸，威胁公众安全。

(3) 垃圾清运、收集、运输管理不足，垃圾流失严重。

(4) 白色污染严重。白色污染是人们对难降解的塑料垃圾（多指塑料袋）污染环境现象的一种形象称谓。它是指用聚苯乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等高分子化合物制成的各类生活塑料制品使用后被弃置成为固体废物，由于随意乱丢乱扔，难以降解处理，造成城市环境严重污染的现象。

近年来，由于中央财政和各级地方政府纷纷加大固定资产投资力度，城镇垃圾处理设施建设加速，我国垃圾发电技术逐渐成熟，设备国产化进程不断加快。发展环保节能的洁净能源已经成为大势所趋，我国垃圾发电行业迎来历史性发展机遇，卫生填埋场的数量和处理能力都在增长中。

二、垃圾处理的基本概况

1. 卫生填埋状况

从近 10 年来，我国城市垃圾处理所发生的变化可以看出，城市垃圾取得的成绩和进步是明显的，特别是先进的垃圾处理技术逐步得到应用。在近几年建设的许多填埋场中，为提高填埋场的防渗水平，采用高密度聚乙烯膜作为防渗材料；由于填埋的卫生技术标准不断提高，填埋场的投资费用和运行成本也不断提高，因而新垃圾填埋场有向大型化发展的趋势，并普遍采用垃圾压实，提高填埋场使用寿命。一些城市如杭州、广州、深圳等地的填埋场开始对填埋气体进行回收利用。图 1-3 所示为 2001—2009 年全国城市垃圾清运量及处理率。图 1-4 所示为 2000—2009 年城市生活垃圾处理场（厂）统计。图 1-5 所示为 2000—2009 年城市生活垃圾处理率统计。

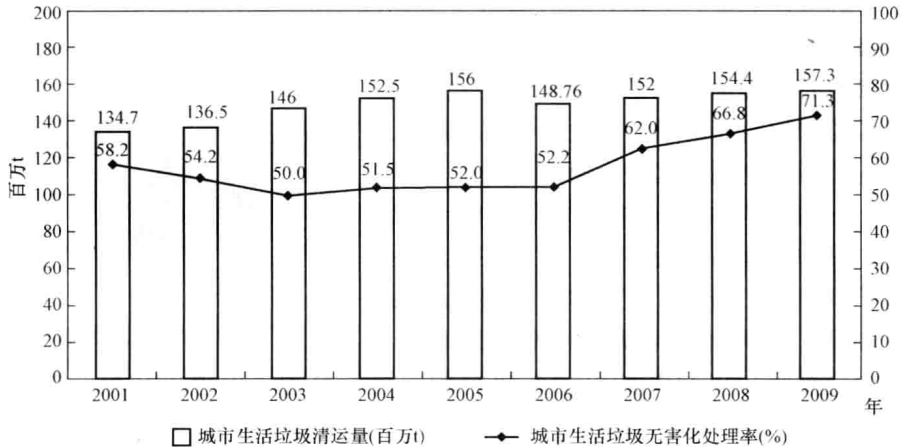


图 1-3 2001—2009 年全国城市垃圾清运量及处理率

2. 堆肥状况

堆肥处理是我国城市垃圾处理使用最早也是在早期阶段使用最多的方式。大部分垃圾堆肥处理场采用敞开式静态堆肥。“七五”和“八五”期间，我国相继开展了机械化程度较高的动态高温堆肥研究和开发，并取得了积极成果。20 世纪 90 年代中期先后建成的动态堆肥场典型工程有常州市环境卫生综合厂和北京南宫堆肥厂。

2010 年，城市生活垃圾堆肥处理呈现停滞甚至萎缩的状态。一些采用分选处理的堆肥场以综合处理场的名义存在，但其处理效果却难以达到预计要求。可生物降解有机垃圾单独收集是实现资源化利用的前提条件，这条经验正在被实践证实。

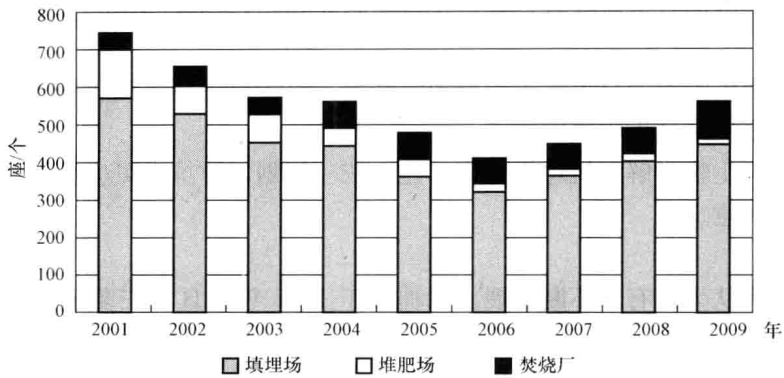


图 1-4 2000—2009 年城市生活垃圾处理场（厂）统计

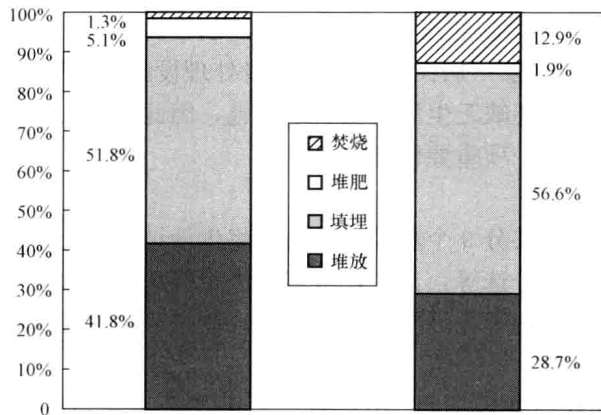


图 1-5 2000—2009 年城市生活垃圾处理率统计

3. 可降解有机垃圾

可生物降解有机垃圾即通常说的可腐烂有机物，可生物降解有机垃圾主要有城市污水处理厂污泥、饭店餐饮单位产生的餐厨垃圾以及粪便等；随着垃圾分类管理的深入和推进，家庭厨余垃圾、过期食品类垃圾、园林绿化垃圾等也将越来越多地得到单独收集，可生物降解有机垃圾资源化利用量将大幅度增加。

我国的餐厨垃圾处理目前还处于摸索阶段，管理模式与立法手段还不健全。多数已经建成运行的规模化餐厨垃圾处理场都面临“进料”不足的现状。解决餐厨垃圾的收集与运输问题作为“进料”的关键因素，需要建设完善的管理模式或以立法手段确立下来。餐饮单位是餐厨垃圾的源头，也是责任主体，如何让餐厨垃圾处理的责任包括处理成本分担在餐饮单位上，使餐饮单位成为餐厨垃圾减量化、资源化的积极参与者，这就需要探索科学合理的管理模式。目前要把控制餐厨垃圾水分作为首要管理目标。餐厨垃圾中水含量高达 85% 以上，无论是进行饲料化处理，还是肥料化处理，这样的物流是不经济的，也是难以持续的。1t 水通过下水道进入污水处理厂的处理成本在 1 元左右，而通过垃圾收运处理则要 100 元甚至 200 元以上，因此餐厨垃圾的水分控制要从源头努力。在餐饮单位设置脱水设备，可以使餐厨垃圾量在现有的基础上减少 2/3 以上。对于大、中城市，脱水后的餐厨垃圾可根据条件，

结合其他可生物降解的有机垃圾进行饲料化或肥料化利用，不能利用的餐厨垃圾进入生活垃圾处理设施处置。

家庭生活垃圾中的厨余垃圾要进行资源化利用，也需要进行单独收集。北京、广州等城市已经开展了家庭厨余垃圾收集的试点。

因此，统筹可生物降解有机垃圾管理，建立统一规划，对推进可生物降解有机垃圾利用具有现实和长远的意义。

4. 焚烧状况

垃圾焚烧处理从无到有，不断发展。深圳市于 1985 年从日本三菱重工业公司成套引进两台日处理能力为 150t/d 的垃圾焚烧炉，成为我国第一座现代化垃圾焚烧厂。1994 年底开始扩建的三号炉，结合国家“八五”攻关计划，完成了 3 号炉国产化工程，设备国产化率达到 80% 以上，在技术性能方面达到或超过了原引进设备的水平，为我国大型垃圾焚烧设备国产化打下了基础。

2011 年，生活垃圾处理设施建设力度进一步加大。一方面，许多城市，特别是经济发达的城市面对的是“有钱没地”（居民反对建设垃圾处理设施）；另一方面，一些经济不发达的地区（如部分村镇地区）还缺乏生活垃圾收运设施，因此，加大生活垃圾处理设施建设力度将成为“十二五”期间的一项重要任务。

5. 垃圾制水泥

将生活垃圾转化成水泥共分 9 个步骤，首先是将生活垃圾进行生物干化处理，吸干垃圾中的水分，然后进行粉碎、分选等，其中，金属、渣土等垃圾可以与其他生料混合，成为生产水泥的原料，而纸张、塑料等垃圾则可用作水泥烧制过程中的补充燃料，整个处理过程基本实现废渣和废水的零排放。

武汉陈家冲生活垃圾预处理项目 2012 年 3 月正式开工建设。建成后，预计每天可将 1200 多吨生活垃圾转化成水泥。将生活垃圾转化成水泥是一项全新的生活垃圾处理方式，该项目总投资 1.7 亿元，占地近 50 亩。

6. 存在的问题及垃圾发电展望

当然，我们也清醒地认识到，垃圾处理的投入与垃圾处理的需求相比明显不足，垃圾处理的水平还很低，从总体上讲，城市生活垃圾处理还处于由堆放到焚烧处理的发展阶段。

“十二五”期间我国将在垃圾处理上的投资高达 2600 亿元，其中收运转运约投资 360 亿元，存量治理约 200 亿元，餐厨垃圾约 90 亿元，垃圾分类约 200 亿元，监管约 50 亿元。预计“十二五”期间，全国将新增垃圾处理能力约 40 万 t/d，新增投资约 1400 亿元，此外还将产生续建追加投资约 300 亿元。

垃圾焚烧发电厂的服务期限一般为 25 年左右，这意味着它的稳定收益期将长达 25 年。垃圾焚烧发电厂的收益稳定、运营成本低廉并享有一定的税收优惠政策，能给投资者带来稳定高额的回报。垃圾处理费的全面开征与上调将成趋势，垃圾发电行业广阔的投资前景已经吸引了大批民间资本和国际资本参与其中。预计“十二五”期间，我国垃圾发电行业将进一步发展壮大，有望成为清洁电力的重要组成部分。

三、国外部分国家垃圾的处理政策

1. 强调城市生活垃圾的源削减

(1) 源削减：从废物的产生源头进行预防或避免不必要的废物产生，减少废物的产

生量。

(2) 主要目的：促进的减量化，减少垃圾的直接处理量。在推进垃圾减量化的过程中，一些发达国家探索出了不少有益的做法。2007年，加拿大多伦多市规定，一户居民生活垃圾的收集上限为每周6袋。市政垃圾收集车不负责运送超出上限的额外垃圾，居民须自行将这些垃圾运送至当地的中转站。未按有关规定处理垃圾的居民将被处罚90美元的罚款。

(3) 用户收费制度：要求垃圾产生者交纳一定的费用，承担自己排放垃圾的社会责任。通过完善城市垃圾管理体制和建立用户收费制度来实现源削减。

2. 鼓励城市生活垃圾的回收利用

美国回收利用较为普遍，废物处理的优先顺序：①削减排放；②回收利用；③热回收；④填埋。

德国实施包装废物回收利用政策，制定循环经济和废物法等废物回收利用。废物处理优先顺序：①控制废物发生；②回收利用；③合适的处理。

日本土地资源紧缺，人口密度大，更加注重垃圾的回收利用。日本是世界上人均垃圾生产量最少的国家，每年只有410kg；同时，也是世界上垃圾分类回收做得最好的国家。从1980年开始，日本逐步建立起一套近乎苛刻的垃圾分类制度。每年12月份，日本的每一家住户都会收到一张来年的特殊“年历”：每月的日期都用黄、绿等不同的颜色来标注，每一种颜色代表哪一天可以扔哪种垃圾。比如，厨房垃圾，每周三和周五才能扔。日本的垃圾分类标准严格而细致，包括资源垃圾、可燃垃圾、不可燃垃圾、危险垃圾、塑料垃圾、金属垃圾和粗大垃圾等。和日本类似，瑞典的生活垃圾分类制度也很完善。日常餐桌垃圾包括食品包装，塑料和纸包装的可以回收，有血有油的包装大都直接扔到垃圾袋里，用于焚烧。信封不能放在纸类回收，因为有胶水，必须放在可燃的垃圾类别里。

3. 限制填埋，鼓励焚烧

2001年，瑞典政府颁布《填埋禁入法》，规定城市生活垃圾禁止直接进入填埋场进行填埋，城市生活垃圾末端处理转向源头治理，形成倒金字塔的管理模式，即必须经源头减量，分类收集、处理、资源充分利用后，最终的惰性物质才能进行填埋处置。

2008年，瑞典48.5%的垃圾通过全国22个垃圾焚烧中心进行焚烧处理，垃圾焚烧产生了13.7兆瓦时的能量为81万户家庭供暖，占全瑞典供暖能量的20%，此外，剩余部分能量为25万户中等家庭提供了日常电能。

第四节 我国大城市垃圾处理概况

一、目标与原则

我国城市生活垃圾的管理应按照可持续发展的目标体系，从过去的垃圾处理处置比重大，回收利用、减量和避免垃圾产生的比重小转变到新的垃圾管理目标，即应形成倒金字塔的管理体系，从单纯的收运、处置，转向垃圾源削减和回收循环利用，直到最后和环境相协调的处理方式。

新的垃圾管理目标首先是尽可能避免垃圾产生，如果垃圾必须产生，产出量要最小；其次是对产生的垃圾要尽可能进行回收利用；最后的处理目标是进行有利于环境的处理。

当前我国垃圾处理存在的问题：