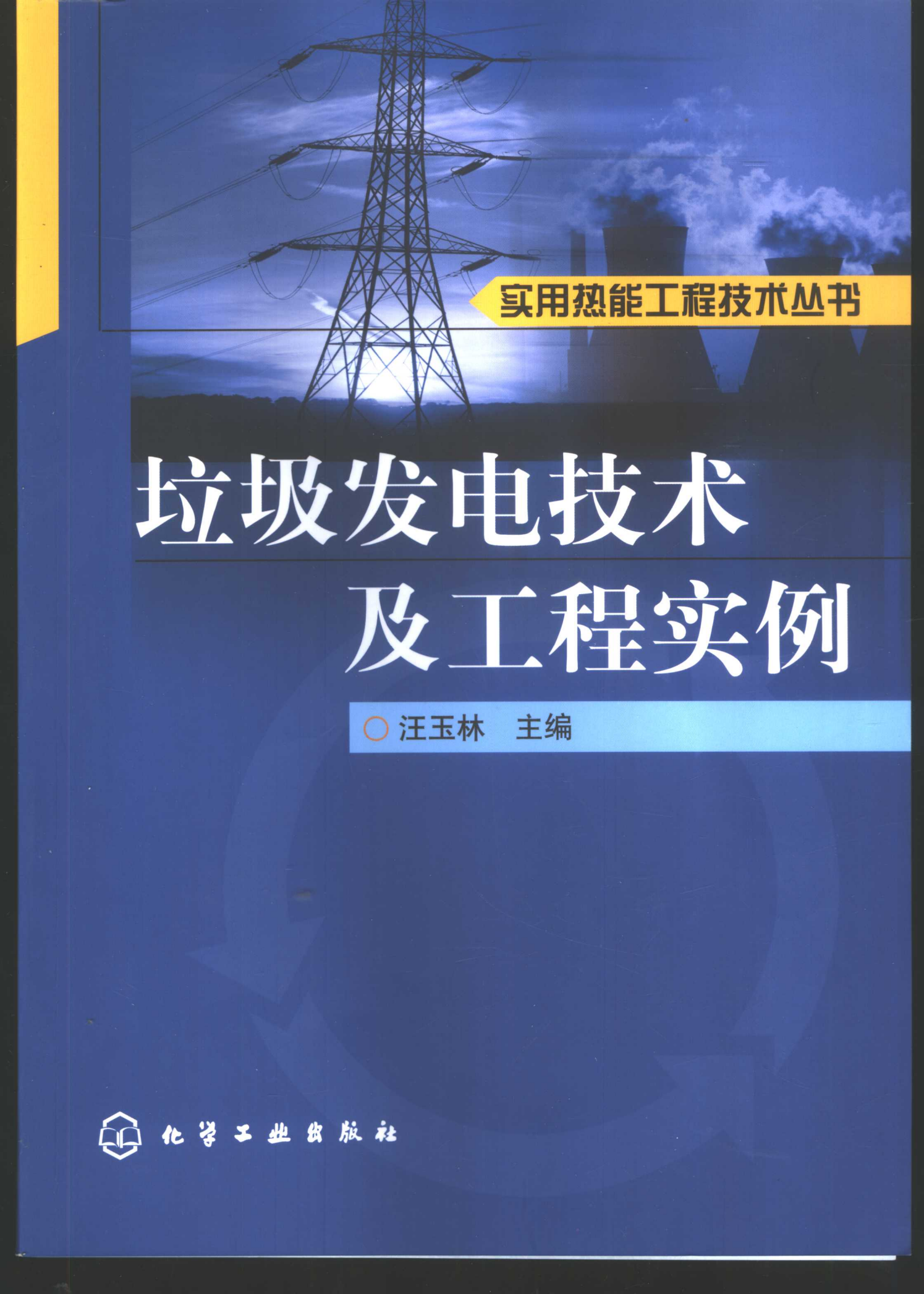




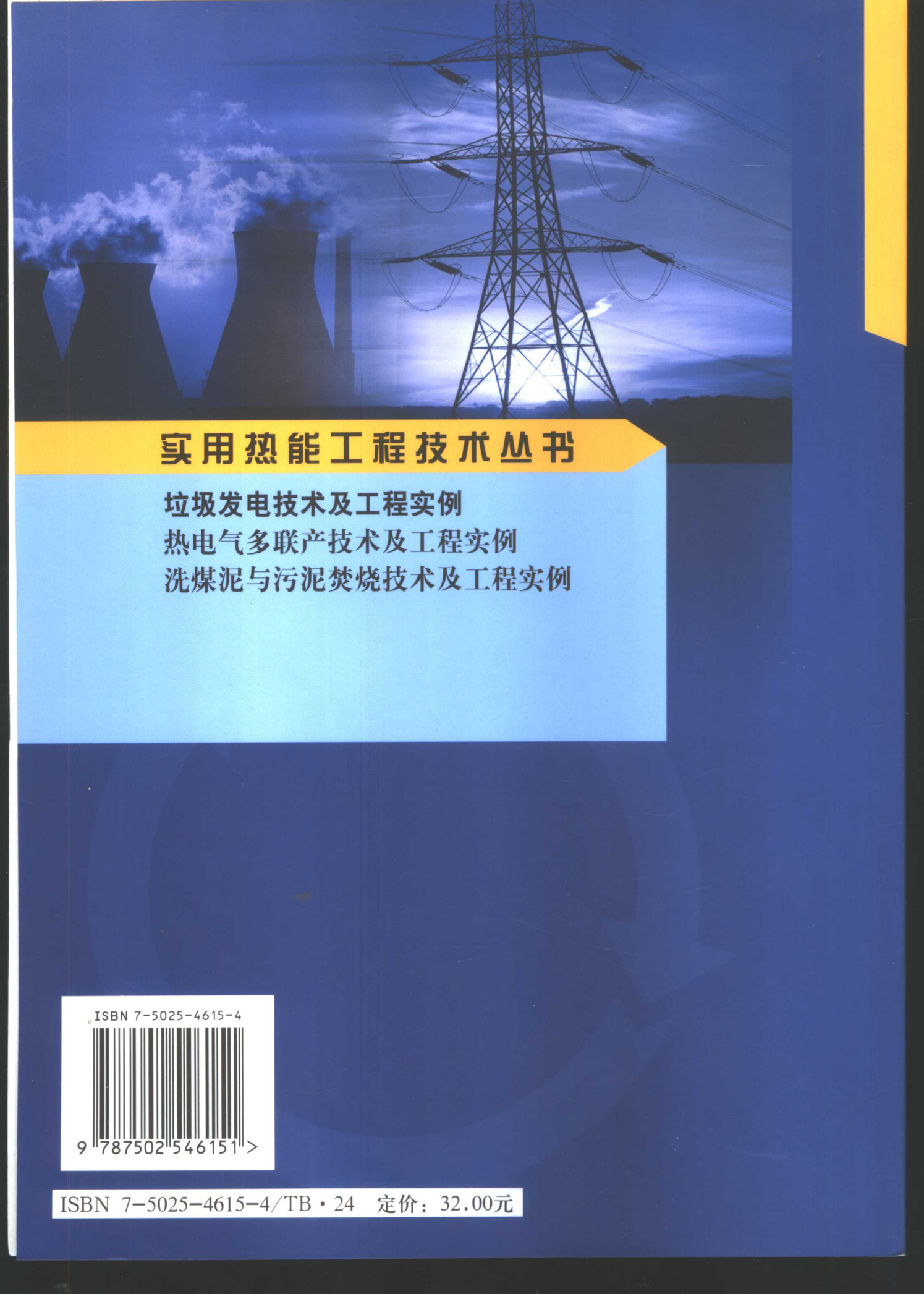
实用热能工程技术丛书

垃圾发电技术 及工程实例

○ 汪玉林 主编



化学工业出版社



实用热能工程技术丛书

垃圾发电技术及工程实例

热电气多联产技术及工程实例

洗煤泥与污泥焚烧技术及工程实例

ISBN 7-5025-4615-4



9 787502 546151 >

ISBN 7-5025-4615-4/TB · 24 定价: 32.00元

实用热能工程技术丛书

垃圾发电技术及工程实例

汪玉林 主编

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

垃圾发电技术及工程实例/汪玉林主编. —北京: 化学工业出版社, 2003.7

(实用热能工程技术丛书)

ISBN 7-5025-4615-4

I. 垃… II. 汪… III. 垃圾-发电 IV. TM619

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 053320 号

实用热能工程技术丛书
垃圾发电技术及工程实例

汪玉林 主编

责任编辑: 郑叶琳 李建斌

文字编辑: 周 倜

责任校对: 李 林

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15 字数 366 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4615-4/TB·24

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版者的话

随着我国科学技术的飞速发展，热能工程技术也取得了重大的成果。为使从事热能工程技术的研究者、工程师及大专院校的师生成功地了解该领域的最新技术与成果，并将其运用到工程实践之中，化学工业出版社组织国内一批具有丰富实践经验的专家、学者和工程技术人员精心编写了这套“实用热能工程技术丛书”。“丛书”包括《垃圾发电技术及工程实例》、《热电气多联产技术及工程实例》、《洗煤泥与污泥焚烧技术及工程实例》等分册。每一分册均针对国内相关技术领域的热点问题。

本套丛书具有较强的实用性。丛书遵循“新”与“实”相结合的原则，选择国内近年来经过实践证明成功的实用新技术。丛书将技术理论与工程实例相结合，理论部分全面、系统、先进、精练，实例部分经典、实用、可操作性强，便于读者理解和应用。

权威性是本丛书的另一特点。丛书作者大多为多年从事热能工程技术的专家、学者和工程技术人员，很多实例均是作者亲自主持或参与设计的，从而体现了丛书的先进性与权威性。

本套丛书将由化学工业出版社陆续出版，我们真诚地希望广大读者多提宝贵意见，以便再版时修正。

2003年7月

前 言

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,以及城镇人口的迅速增加,工业和生活垃圾大量产生,环境污染日益严重。统计资料表明,我国城市人均年产垃圾 400kg,全国主要城市年产生生活垃圾 1.5×10^8 t,城市生活垃圾储存量已达 6.0×10^9 t,侵占土地面积 5×10^8 m²,并且以年增长率 8%~10% 的速度增长。泛滥成灾的垃圾,迫使人们积极采取措施,科学合理地加以处理和利用,使之减量化、资源化、无害化。实践证明,焚烧垃圾可以使垃圾的容量减少 90%,质量减轻 75%,而且不会形成二次污染;每 3~4t 垃圾相当于 1t 标煤,是一种可以利用的资源。因此,焚烧垃圾发电是使垃圾减量化、资源化、无害化的有效方法。目前全世界已有各类垃圾发电厂 3000 多座,单机容量达到 100MW。我国自 1985 年在深圳建立垃圾焚烧发电厂以来,先后在珠海、杭州、宁波、上海、绍兴等地建成垃圾焚烧发电厂和垃圾填埋气体发电厂,取得明显的环境效益和经济效益。许多城市正在进行建设垃圾发电厂的可行性研究,一些热电厂也准备改造为垃圾焚烧发电厂,迫切要求了解建设垃圾发电厂的技术经济可行性以及相关问题。为此,中国电机工程学会热电专业委员会在深圳召开了“垃圾发电技术研讨会”。会议编印的《垃圾发电技术论文集》收录了我国近年来在垃圾发电领域的科技成果和实践经验。内容包括:城市生活垃圾的基本特性、国内外垃圾发电技术的现状与发展、垃圾焚烧发电的可行性分析研究、垃圾焚烧发电厂的工程设计、垃圾焚烧炉及循环流化床锅炉的应用与改造、垃圾焚烧发电设备、垃圾焚烧发电厂与环境保护、垃圾焚烧技术与烟气处理、垃圾焚烧炉自动控制、垃圾焚烧发电厂运行经验、垃圾卫生填埋场沼气处理发电、垃圾填埋气体发电技术以及发展垃圾发电技术的问题与对策等论文。论文作者大多是直接参与或领导垃圾发电技术开发与应用实践的工程技术人员。

为了进一步推动垃圾发电技术的发展,以《垃圾发电技术论文集》为基础,并参考有关文献,编成《垃圾发电技术及工程实例》一书。本书突出垃圾发电技术的科学性、技术性和实用性,并且,理论联系实际,内容丰富详实,经验具体实用。对于从事环境卫生管理、垃圾处理与利用以及建设垃圾发电厂的人员是一本难得的实用技术图书,也可作为普及垃圾处理知识的教材。

垃圾发电技术虽有 100 多年的历史,在国外发达国家已得到广泛的应用,但是,在我国垃圾发电技术才刚刚兴起。许多地区正在酝酿建设垃圾发电厂,一些已建成的垃圾发电厂还正处在摸索经验阶段。因此本书收入的内容仅是近年来我国在垃圾发电技术领域已经取得的科技成果和实践经验,技术上可能还不够成熟,在许多方面还有待进一步完善提高。书中的统计数字由于作者的资料来源不同略有差别,但不影响主体内容,编辑时未予统一。

书中介绍了目前国内典型的垃圾电厂实例,同时收录了荷兰阿姆斯特丹垃圾焚烧发电厂作为国外垃圾焚烧电厂的工程实例,详细介绍了阿姆斯特丹垃圾焚烧发电厂建设经验,包括垃圾焚烧发电厂的发展、工艺技术、电气技术、控制技术、工艺技术调节、建筑构成、辅助设备、环境与安全、工作条件以及投资费用及设备,以供参考。

在本书编写过程中得到了广大论文作者和有关单位的支持和帮助，中国电机工程学会热电专业委员会顾问、教授级高级工程师王振铭，浙江大学博士生导师、长江学者严建华教授对本书进行了审阅并提出了宝贵意见，在此一并致谢。

由于编者水平所限，不妥之处，敬请读者指正。

汪玉林

2003年3月10日 青岛

《垃圾发电技术及工程实例》编审成员

主 编 汪玉林

编写成员 (以文章先后为序)

汪玉林	王振铭	黄 飞	孙富兴	龚伯勋	吴学龙	王 峥
严建华	孙钦增	戴綦文	姚 强	钟史明	马永贵	孔水源
岑尔芬	刘士选	彭连成	张衍国	李清海	邬川扬	崔德斌
陈天军	朱利钧	王国刚	邢培生	陆宏伟	白雄昂	马迎辉
宋纪元	林汉涛	刘武胜	孙云昌	梅政文	杨乃乔	林东宇
唐大鹏	韩吉爱	陶之未	王 辉	王云翠	孔 华	葛介龙
吴 晓	张宝珍	董 旭	吴瑞威	张诏斌	李春龄	刘建华
陈梅铭	鲁国伟	陈跃东	刘忠义	张秋跃	吴正宽	

审 核 人 王振铭 严建华

内 容 提 要

本书介绍了我国近年来在垃圾发电领域的最新技术成果和实践经验。主要包括：垃圾焚烧发电技术、垃圾焚烧发电设备、垃圾焚烧发电厂的工程设计、垃圾焚烧发电厂的运行经验等，并针对所阐述的技术列举了国内外近年来垃圾焚烧发电工程的成功实例。本书的作者均是直接参与或领导垃圾发电开发与应用实践的工程技术人员，在编写中注重突出垃圾发电技术的实用性、技术性和科学性。

全书理论联系实际，内容丰富翔实，经验具体实用，是环境卫生管理、垃圾处理与利用及建设垃圾发电厂等人员的一本难得的实用技术性图书。

目 录

第一篇 国内外垃圾发电技术的发展

第一章 垃圾的基本特性	1
第一节 城市生活垃圾的现状	1
第二节 城市生活垃圾的组成及特点	2
第三节 城市垃圾的综合处理	3
第四节 垃圾蕴含能量的基本回收方式	8
第二章 垃圾发电技术的发展	12
第一节 国外垃圾发电技术的发展	12
第二节 我国垃圾发电技术的现状与发展	15
第三节 垃圾发电与环境保护	18
第四节 垃圾焚烧发电厂与污水处理厂结合建设方案	21
第五节 废弃物资源化利用及二次污染	29

第二篇 垃圾发电技术

第三章 垃圾焚烧发电技术	32
第一节 垃圾焚烧发电简述	32
第二节 垃圾流化床焚烧技术	37
第三节 循环流化床垃圾焚烧系统设计与实践	39
第四节 垃圾仓的控制	44
第五节 生活垃圾焚烧中炉渣热灼减率的控制	48
第四章 垃圾焚烧发电设备	51
第一节 垃圾焚烧炉和循环流化床锅炉	51
第二节 顺推阶梯炉排式垃圾焚烧炉	60
第三节 南山垃圾焚烧炉工艺及燃烧控制特点	63
第四节 回转炉床垃圾气化焚烧余热发电系统	67
第五节 垃圾搬运起重机	70
第六节 垃圾发电用汽轮机及其系统	78
第七节 液力调速在垃圾焚烧发电中的应用	82
第八节 变频调速技术在垃圾焚烧发电中的应用	85
第九节 人工智能控制技术在循环流化床垃圾焚烧中的应用	87
第五章 垃圾焚烧的污染控制	90
第一节 垃圾焚烧中二噁英的产生与污染控制技术	90
第二节 垃圾焚烧发电二次污染物控制处理技术的研究	94
第三节 南山垃圾焚烧电厂烟气排放与控制	97
第四节 烟气脱硫与垃圾焚烧技术	101

第五节 大型垃圾焚烧工程尾气净化技术·····	104
第六节 二噁英与垃圾焚烧·····	107
第六章 垃圾卫生填埋场沼气发电·····	111
第一节 垃圾填埋气体的产生与收集·····	111
第二节 垃圾填埋气体发电技术·····	114
第三节 垃圾卫生填埋场沼气处理发电·····	118

第三篇 垃圾发电工程实例

第七章 垃圾发电可行性研究实例·····	130
第一节 上海浦东新区 1000t/d 生活垃圾焚烧发电厂的研究·····	130
第二节 临沂市垃圾焚烧发电供热工程的可行性研究·····	137
第八章 垃圾焚烧与填埋气体发电工程实例·····	142
第一节 深圳城市垃圾焚烧发电工程建设与运行·····	142
第二节 绍兴市垃圾焚烧发电工程工艺流程及结构特点·····	151
第三节 宁波市垃圾焚烧发电工程设计·····	156
第四节 杭州市天子岭垃圾填埋气体发电厂·····	161
第五节 上海浦东垃圾发电厂工艺流程·····	162
第六节 杭州乔司垃圾焚烧发电示范工程及技术特点·····	166
第九章 AVI 阿姆斯特丹垃圾焚烧发电厂·····	174
第一节 阿姆斯特丹垃圾焚烧发电厂的发展背景·····	174
第二节 工艺技术方案·····	177
第三节 电气技术·····	184
第四节 控制技术·····	185
第五节 工艺技术调节·····	186
第六节 建筑构成·····	186
第七节 辅助设备·····	188
第八节 环境与安全·····	189
第九节 工作条件·····	191
第十节 投资费用及设备·····	192
第十章 发展垃圾发电技术的问题与对策·····	198
第一节 城市垃圾焚烧发电的现行政策研究·····	198
第二节 发展垃圾发电技术存在的问题·····	206
第三节 发展垃圾发电技术的几点建议·····	208
附录 1 生活垃圾焚烧污染控制标准·····	211
附录 2 生活垃圾填埋污染控制标准·····	215
附录 3 危险废物焚烧污染控制标准·····	219
附录 4 城市生活垃圾处理及污染防治技术政策·····	224
附录 5 资源综合利用电厂(机组)认定管理办法(摘录)·····	226
附录 6 关于废旧物资回收经营业务有关增值税政策的通知·····	228
参考文献·····	229

第一篇 国内外垃圾发电技术的发展

第一章 垃圾的基本特性

第一节 城市生活垃圾的现状^①

垃圾是人类生活的产物。随着经济的发展和物质消费的日趋现代化,城市生活垃圾逐年增多,成为大量废弃物的主要组成部分。

从世界范围来看,目前全球每年排放各类垃圾近 $1.0 \times 10^{10} \text{t}$ 。产垃圾最多的国家是美国,每年已超过 $2 \times 10^8 \text{t}$;德国人均年产垃圾为世界之最,达到每人 800kg ;英国 1971 年人均日产垃圾只有 1.45kg ,到 1990 年增加到 1.72kg ;日本东京日产垃圾已达 $1.2 \times 10^4 \text{t}$ 。

在我国,随着国民经济发展和人民生活水平提高以及城镇人口的迅速增加,工业和生活垃圾也越来越多,垃圾对环境污染日益严重,有些城市已被垃圾包围,成为各地政府的重大难题。统计资料表明,我国城市人均年产垃圾 400kg ,全国主要城市年产生生活垃圾 $1.5 \times 10^8 \text{t}$,城市生活垃圾储存量已达 $6.0 \times 10^9 \text{t}$,侵占土地面积 $5 \times 10^8 \text{m}^2$,并且以年增长率 $8\% \sim 10\%$ 的速度增长。仅上海市就年产垃圾 $4.0 \times 10^6 \text{t}$,直接用于收运处理垃圾的费用高达 2 亿元。目前 660 个城市中,已有 200 个处于垃圾包围之中,泛滥成灾的城市生活垃圾已造成许多城镇严重的社会问题。环境恶化造成了巨大的经济损失,仅废气和污水造成的直接经济损失就占我国 GDP 的 $4\% \sim 8\%$,1998 年达到 4300 亿元。有的地区已经威胁到人类自身的安全和生存。城市生活垃圾产生的危害不仅体现在占用太多的土地,形成垃圾包围城市的恶劣环境,而且会对大气环境、地下水源、土壤和农作物造成污染。垃圾中的有机物变质散发的大量有害气体进入大气,严重污染了环境,影响到城市居民的生活与健康;垃圾中的有害物质,溶入地下水、渗入土壤,造成对地下水源及土壤的污染,危及周围地区人民的健康及生命安全,并且此类污染的危害很难消除。另外,城市垃圾中有机物含量较高,垃圾发酵后产生沼气,沼气的主要成分是甲烷和二氧化碳,会对大气产生污染,阻碍植被生长,破坏臭氧层。更危险的是,垃圾集中堆放产生的甲烷是可燃气体,当与空气混合达到一定比例时,遇火花会发生爆炸,直接威胁到人们的生命财产安全。由于垃圾中还含有致病菌和寄生虫卵等危害人类健康的因素,处理不当会造成疾病的传播,影响人类的生活环境。在一些经济发达的地区,人民生活水平迅速提高,而可用土地相对较少,使得对城市生活垃圾减量化、无害化处理的要求越来越高,有些地区甚至已到了亟待解决、非治理不可的地步。

泛滥成灾的垃圾,迫使人们积极采取措施,科学合理的加以处理和利用,使之减量化、资源化、无害化。然而,垃圾在污染环境的同时,也是一种潜在的资源。垃圾中含有大量可

① 作者为中国电机工程学会热电专业委员会顾问、教授级高工王振铭。

燃有机物，具有一定的热值，焚烧后可以产生一定的热量；垃圾填埋产生的甲烷，采取科学的方法可以加以利用，造福人类。

近年来，世界上对垃圾处理主要采取“卫生填埋、堆肥、焚烧”三种方式，以期达到垃圾处理的减量化、资源化、无害化，我国也是采取这三种方式来处理垃圾。到 2001 年底，我国 664 个城市中建有各类生活垃圾处理场 740 座，年垃圾处理量为 $7835 \times 10^4 \text{t}$ 。城市生活垃圾处理率已由 20 世纪 80 年代初的 2% 提高到现在的 58.2%，国外城市垃圾处理方式与比例见表 1-1 所示。

表 1-1 国外城市垃圾处理方式与比例

国 家	填埋/%	堆肥/%	焚烧/%	国 家	填埋/%	堆肥/%	焚烧/%
美国	75	5	10	瑞士	20	—	80
日本	23	4.2	72.8	丹麦	18	12	70
英国	88	1	11	奥地利	59.8	24	16.3
法国	40	22	38	瑞典	35	10	55
荷兰	45	4	51	澳大利亚	62	11	24
比利时	62	9	29				

注：表由中国人民大学环境经济研究所周景博、张象枢提供。

第二节 城市生活垃圾的组成及特点

城市生活垃圾的组成与特点，随各个区域的生活质量、生活习惯、季节以及分类情况等诸多因素的不同而异。在欧洲等发达国家，由于生活习惯的不同，垃圾的成分有很大的区别。在我国其也是随区域、季节、生活习惯不同而有很大差异。城市生活垃圾由于季节不同，其含水率也不相同，几个城市垃圾的组成见表 1-2 所示。

表 1-2 几个城市垃圾的组成

地 区	可燃物/%			非燃物/%			热值 /(kJ/kg)	容重 /(t/m ³)	含水率 /%
	厨余	纸	塑料	脏土	金属	玻璃			
国外	20.00	40.00	4.00	18.00	6.00	8.00	8374		
北京	32.60	15.10	14.60	21.46	1.96			0.402	53.9
上海	42.22	1.80	0.60	55.31	1.07		4600	0.898	37.00
广州	36.35	1.32	1.26	57.43	3.64			0.543	30.00
沈阳	34.96	2.11	1.74	58.14	3.05			0.640	44.12
重庆	41.61	1.59	0.74	52.68	3.48			0.600	45.00
济南	32.68	2.37	0.61	70.45	1.90			0.370	13.00
西安	38.24	3.80	1.20	55.66	1.10			0.556	29.00
绍兴	63.8	6.68	6.62	15.1	1.1	2.5	4620	0.35	50.00
无锡		2.5	22	84	1.0	2.0			
深圳	56.41	12.90	11.16	19.53			5000		43.63
宁波	47.51	8.287	15.47	20.44	0.11	3.867	4370		51.00
苏州	58.3	7.91	7.17	19.63	0.29	1.68	3977	3977	53.63

我国是发展中国家,经济还不发达,同国外发达国家相比,我国城市生活垃圾具有以下特点。

① 成分复杂。我国垃圾收集目前大多数城市都采用混合收集的方式,而没有分类收集,因而各类垃圾混杂在一起,成分复杂。

② 含水率高。垃圾中含有大量蔬果皮,因而含水率约 30%~50% (如表 1-2)。

③ 无机物质含量高。目前我国大多数城市仍以煤为主要燃料,垃圾中的煤渣、砂石、金属、玻璃等无机物含量很高。

④ 有机物质含量少。在我国的垃圾中,有机物中的厨房废物垃圾较多,含水率高。纸张、塑料、木料、纺织物、皮革等高热值物质含量较少,热值较低。

随着人民生活水平的提高,城市生活燃气化逐步普及,城市垃圾中有机物含量会大大提高,垃圾的热值也会不断增加。如北京市的垃圾热值已由 20 世纪 90 年代末的平均每年 3349kJ/kg 提高到现在的平均每年 5862kJ/kg。

第三节 城市垃圾的综合处理^①

一、城市垃圾的综合处理方式

城市生活垃圾所造成的生态、环境污染已成为一个社会问题,对其进行减量化、资源化、无害化处理,既是人类环境保护的需要,也是社会发展对有价值物质回收利用的需要。

现今国内外处理垃圾的方法概括起来说,可分为海洋处理和陆地处理两大类。海洋处理主要是指海洋倾倒和远洋焚烧。陆地处理包括填埋、堆肥、焚烧以及综合处理等方法。海洋处理费用高且易产生二次污染,极少采用,陆地处理应用普遍。

填埋法是将城市生活垃圾填入大坑或洼地中,以利恢复地貌和维护生态平衡。此法缺点是土地占用量大(填埋 1t 垃圾约需 3m² 土地),填埋后易造成二次污染,如污染地下水源、有害气体四处漂散污染大气、有害金属在填埋场半径约 50km 范围内会形成富集圈带以及被填埋的垃圾发酵产生的甲烷气体易引发爆炸等。欧共体国家立法规定,1996 年后禁止不经过处理的垃圾直接进入填埋场填埋。

堆肥处理法是将城市生活垃圾运到市郊农村作肥田处理。此法能有效改良土壤,且处理成本低、处理量大,但由于未经分选,使许多有用之物白白浪费,同时许多非肥田成分,如玻璃、金属、塑料等会给环境造成二次污染,所以此法目前仅限于较小规模。法国、瑞典、荷兰等国堆肥处理仅占垃圾总处理量的 1.3%~1.5%,日本约占 2%。

焚烧法是将城市生活垃圾进行焚烧处理,使其体积减少,质量减轻。在一些国家,如日本、丹麦、瑞典等,由于土地紧张,焚烧已成为城市生活垃圾销纳的主要手段。该法的主要优点是,能有效地减少垃圾的填埋量,经焚烧后只有大约相当于垃圾最初体积的 10% 需要填埋,且能回收能量和部分烧结渣的再次利用。垃圾焚烧法日常费用高,且对垃圾的热值有一定的要求。据联合国环境卫生组织 (UNEP) 规定,当垃圾的高位热值在 3350~7100kJ/kg 时,适合于焚烧处理。此外,如果垃圾处理设备质量不好,焚烧过程会产生有害气体,造成二次污染。

^① 作者为无锡市 117 信箱黄飞;江苏申达集团公司孙富兴。

综合处理被誉为垃圾产业新链条。它是利用垃圾中各种成分的密度、大小、磁性等物理性质的不同,分别采用人工粗选、重选、磁选及气流分选的方法将各种物质分离开来。对 50% 左右的有机物质及小颗粒垃圾进行堆肥,生产适销的堆肥制品;对 5% 左右的塑料、玻璃、纸张等加以回收利用;黑色金属送往冶金部门做原料;废电池等有害物质专门进行处理;35% 的可燃物及有机厨余垃圾作为垃圾焚烧厂锅炉的燃料;大约 10% 的残渣毫无利用价值,进行填埋。此法区别于单纯的垃圾末端处理,最大限度地做到了物尽其用,将污染降到了最低限度,所以是目前较先进的垃圾处理方法之一。由于它一次性投资大,除美国、日本等少数发达国家使用外,多数国家尚未普及。但随着经济发展水平的不断提高,科学技术的进步,生产与消费结构的变革等,城市生活垃圾中可利用成分所占比例在不断增长,热值也会提高。垃圾的综合处理在我国未来垃圾销纳手段的选择过程中,必将会起到越来越重要的作用。

二、城市垃圾综合处理的必要性

据统计,我国人均年产垃圾 400kg,并且以每年 8%~10% 的速度递增,无害化处理仅为 35.7%。按目前我国城镇人口 2.6 亿计算,年产垃圾量 1.14×10^8 t,足可以使一个 100 万人口的城市被垃圾覆盖 1m,垃圾处理已成为我国继能源、交通、工业三废之后又一重大难题。对城市生活垃圾进行综合处理是一项兼具经济和生态双重效益的事业。由于城市生活垃圾含有大量的资源经济成分,利用被回收的资源不仅能够节约原生资源和满足资源开发中的能源需求,而且垃圾焚烧还能提供热量。据测算,上述的 1.14×10^8 t 垃圾焚烧获得的热能相当于 1.34×10^7 t 石油的能量,按垃圾平均发热量 4600 kJ/kg 计算,全国每年产生的生活垃圾中所含能量折合成约 4.0×10^6 t 标准煤,并且能够减少污染,减少需要最终被销纳处理的垃圾数量。

据对美国、日本、法国、德国、中国、印度和巴西等国资料的统计,在垃圾资源经济有机成分中,纸类不仅所占比例最高,而且也是所占比例上升最快的成分之一。废纸是造纸首选原料,回收利用率可达 80%,比起用木材造纸,不仅可减少环境污染,并且生产每吨纸品还可节约木材 2~3 m³ 及煤 400kg、电 400kW·h、水 300t 等。美国国会于 1976 年就通过了《资源保护与回收法》,1989 年美国法律还规定,对每一种主要纸产品都要有最小的废纸配比量。美国每年收回废纸高达 1.0×10^8 t,相当于我国每年的用纸量;日本的废纸回收率高达 78% 以上。而我国,1995 年广东省进口废纸 2.95×10^5 t,1996 年 3.42×10^5 t,1997 年 3.93×10^5 t,1998 年 1~7 月 2.19×10^5 t。废纸进口平均价格 1995 年为 134.6 美元/t,1996 年 128.6 美元/t,1997 年 107.1 美元/t,1998 年 1~7 月为 94.3 美元/t。广州某造纸厂为国内大型造纸企业之一,生产所需的废纸绝大部分是进口的,1995 年该公司进口废纸 7.15×10^4 t,1996 年 7.31×10^4 t,1997 年 6.79×10^4 t,同期收购国内废纸仅为 5986t、5394t、2288t,不到其所用废纸总量的 10%。

据报载,杭州每天产生的各类生活垃圾达 2300t 左右,其中 16.6% 是可回收利用的资源,如金属、玻璃、纸张、布片、塑料等,按每吨 1500 元的平均价计,每年有 2 亿多元被扔进了垃圾场,而每年的生活垃圾又以超过 10% 的速度递增。上海日产 1.28×10^4 t 生活垃圾,其中有机物垃圾约占 70%,废纸、塑料、玻璃的含量约占 20%~25%,而回收 1t 废纸可产生 0.85t 纸产品,回收 1t 废玻璃可生产平板玻璃 15 个标准箱或 20000 个 500g 玻璃瓶,由此而节约的原辅材料相当可观。

通过垃圾焚烧获得能量,在国外已广泛采用。据资料介绍,焚烧 500t 垃圾,可以发电

10000kW·h。1965年,前联邦德国就已建有垃圾焚烧炉7台,垃圾焚烧量达 $7.8 \times 10^5 \text{t/a}$,垃圾发电受益人口245万,到1985年,垃圾焚烧炉已增至46台,垃圾焚烧量达 $8.0 \times 10^6 \text{t/a}$,可向2120万人供电,受益人口占总人口的34.3%。法国共有垃圾焚烧炉约300台,可以烧掉40%的城市垃圾,目前法国首都已建有一个较完善的垃圾处理系统,有4个垃圾焚烧厂,处理垃圾已超过 $1.7 \times 10^6 \text{t/a}$,产生相当于 $2.0 \times 10^5 \text{t}$ 石油能源的蒸汽供巴黎市使用。1996年新加坡垃圾焚烧处理的比例为65%。日本研究垃圾发电起步较晚,但其发展相当迅速,1989年焚烧处理的比例已达垃圾总量的73.9%,1995年上升至84%,逐步将完全采用焚烧法处理垃圾。按1990年统计,日本拥有垃圾发电厂102座,发电能力323MW,目前单台设备最大垃圾处理量为552t/d。美国政府从20世纪80年代起投资70亿美元,兴建90座年处理能力为 $3.0 \times 10^7 \text{t}$ 的垃圾焚烧厂,20世纪90年代兴建402座垃圾焚烧厂,垃圾焚烧发电占总垃圾处理量的18%,2000年达到40%。在美国的底特律市拥有世界最大的日处理垃圾达4000t的垃圾焚烧发电厂。

在国外,垃圾处理所需的成套机械已经形成了一个前景广阔的新兴产业——环卫工程产业。我国目前尚未形成环卫工程产业,我国每年环保投入已超过1000亿元,垃圾处理是环保产业的一个重要组成部分,面对这项“朝阳产业”,国内有关行业应抓住机遇,迅速发展。

三、城市垃圾综合处理的可行性

从20世纪70年代起,美、日、英、法、德、丹麦、瑞士等许多国家都采取有效的法律措施,以保证垃圾处理和实行垃圾科学管理。如丹麦规定“废电池由商店回收,送回生产部门,以便再生利用”;法国1975年就通过了《固体废弃物法案》;德国1972年首次颁布垃圾法,1996年增加了有关垃圾减量和利用的规定,禁止不可回收利用的包装品在市场上的使用,禁止对可回收物品进行填埋、焚烧和垃圾的非法堆放。在法律作用的约束下,1990年德国包装品行业成立了DSD股份有限公司,有关企业需向DSD公司缴纳费用,供DSD公司按法律要求的分选和回收比例对玻璃、废纸、金属、人造物等包装材料进行回收。交费后企业可以在产品上注明“绿点”标记,表明企业在环保方面已尽到责任,以获得消费者支持。上述举措很有成效,1992年的包装品消耗量与前几年相比,减少了4.3%,相当于减少 $6.61 \times 10^5 \text{t}$ 。1992年到1995年大约回落 $4.5 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5 \text{t}$ 。德国1995年可回收利用的包装品物质回收率超过80%,分选率超过60%。

通过垃圾的综合处理,不仅可回收利用上述大量的有用物质,而且可使剩余垃圾的热值提高,可直接作为城市供热、供气、供电的重要能源。欧美发达国家的生活垃圾发热量一般可达8000kJ/kg。我国生活垃圾的发热量较低,以上海为例,1996年的计算值为5215kJ/kg,2000年的估算值上升为6061kJ/kg。也就是说,燃烧3t垃圾所产生的热量相当于1t中等发热量煤的热量。一座城市的垃圾就像一座低品位的露天煤矿,可以无限制地开发。上海的垃圾即使是在热值最低的七八月份也可达到3780kJ/kg,年平均热值4600kJ/kg,完全达到焚烧的最低界限点。日本、瑞士、丹麦、荷兰等国家垃圾焚烧的比例基本上都在70%以上,而且还有不断上升的趋势。加拿大的蒙特利尔垃圾焚烧厂每年能产生 $8.0 \times 10^5 \text{t}$ 蒸汽供应给周围的工厂、办公楼和居民。德国的GMVA垃圾焚烧厂,收入除处理垃圾时收取的处理费外,还有供热、电、汽等的收入,单蒸汽收入每年就达1000多万马克。

对城市生活垃圾进行综合处理不仅能带来原料、动力所产生的经济效益,还可以对城市植绿需要的土壤进行追肥。目前堆肥的市场价格为1000元/t,上海日产垃圾 $1.28 \times 10^4 \text{t}$,每300t垃圾可以产生近100t堆肥。而且在堆肥中还可添加配方,提高肥力,价格也可提高

很多。

德国格拉兹市的垃圾综合处理是成功的范例：通过对固体垃圾中可回收利用物质的回收利用及焚烧使垃圾量减少 30%~34%，通过堆肥使垃圾总量减少 55%~60%，最终通过卫生填埋销纳的垃圾量仅占最初总量的 6%~15%。

1985 年国家环境保护委员会提出“城市垃圾处理应减量化、资源化、无害化”方针，同时提倡有条件的城市特别是沿海经济发达地区发展焚烧及综合利用技术。在城市生活垃圾的减量化方面，杭州市将在高层住宅进行厨房垃圾进入管道的试点工作。要求高层住宅在施工的同时配备粉碎装置，让居民的厨房垃圾通过这一粉碎装置进入管道，然后进入城市污水管网送入污水处理厂，再集中统一处理，以减少垃圾量。在城市生活垃圾的资源化方面，上海市目前已经设立了 17 个居民生活垃圾分类收集实验小区，并在 38 处公共场所放置了分类收集的废物箱，约有 80% 的居民能主动按分类要求投放垃圾。上海市区垃圾分类收集的地区将达到 30%，废纸、塑料、玻璃的回收和综合利用率将达到 40%。近年来，武汉、常州、南宁、厦门、重庆等地大力开展垃圾堆肥工作，并取得了一定的成绩。如武汉市由当地政府和企业合作建成一座日处理量 100~150t 的垃圾处理厂，采用快速好氧堆肥技术，生产颗粒复合肥，并回收废塑料作为再生原料。上海环卫部门利用堆肥法，将城市生活垃圾制成有利植物生长的堆肥产品。上海高架道路绿化使用该堆肥后，生机盎然；安亭葡萄园使用该堆肥后，果实大、味道鲜，增产 10%；将该堆肥用于种植蘑菇，出菇量增加 37%；嘉定苗圃将名贵花卉如香石竹、绿石竹等花卉栽培在堆肥上，提高了花卉的质量和产量，为企业带来了可观的经济效益。

近年来，一些城市引进国外先进技术和设备，实现了垃圾焚烧发电技术的应用。我国最早建成的垃圾发电厂是深圳市市政环卫综合处理厂，该厂于 1985 年引进日本三菱重工生产的两台日处理能力 150t 的垃圾焚烧炉，利用焚烧垃圾的热量，产生饱和蒸汽，配 0.5MW 发电机组进行发电、供热。1992 年又上了一台日处理能力 150t 的垃圾焚烧炉，产生过热蒸汽，配 1.5MW 发电机组进行发电、供热。北京朝阳区的垃圾发电厂投产后，发电能力达到 24MW。经过高温燃烧和粉碎的垃圾渣，还能制成新型墙体砖，使用效果良好。

天津于 1998 年 3 月和澳大利亚合作建设的垃圾焚烧发电厂，日处理生活垃圾 1200t，发电量为 $4.8 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。苏州市政公用局与香港协鑫集团公司投资 6.5 亿元，将建设装机容量 24MW 的垃圾焚烧发电厂，日处理城市生活垃圾 1200t，年焚烧处理量 $4.38 \times 10^5 \text{ t}$ 。电厂投产后，年上网电量可达 $1.5 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，而原来的垃圾填埋场可延长使用寿命 25 年以上。上海浦东新区建设的生活垃圾焚烧发电厂，设置 3 条垃圾生产线，日均处理生活垃圾 1000t，设置两套 8.5MW 的汽轮发电机组，每年可供上网出售的电力约 $1.1 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，其服务范围能覆盖浦东新区现已城市化的区域，受益人口可达 100 万人。

四、垃圾处理方案的比较^①

垃圾综合处理的优点如下。

① 垃圾减量化。综合处理的可利用垃圾中 90.6% 的成分，只有 9.4% 需要填埋。直接焚烧的减量化率为 86%，14% 的残渣进填埋场。

② 发电能力。由于直接焚烧时，垃圾中大量的水分及不可燃物质需要吸收热量，所以用垃圾中 35% 的 RDF（垃圾衍生燃料）作燃料反而比 100% 的垃圾焚烧产生的热量大，根

^① 作者为苏州华能热电有限责任公司王峰。