

生活垃圾

焚烧技术

● 张益 赵由才 主编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心



生活垃圾焚烧技术

张 益 赵由才 主编

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心
·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

生活垃圾焚烧技术/张益 赵由才主编.—北京:化学工业出版社, 2000.8 (2001.2 重印)
ISBN 7-5025-2894-6

I. 生… II. ①张… ②赵… III. 生活-垃圾-垃圾焚化 IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 31132 号

生活垃圾焚烧技术

张 益 赵由才 主编

责任编辑: 管德存

责任校对: 凌亚男

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982511

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

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 13¹/₄ 字数 370 千字

2000 年 8 月第 1 版 2001 年 2 月北京第 2 次印刷

印 数: 4001—8000

ISBN 7-5025-2894-6/X·55

定 价: 30.00 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

序

为了贯彻可持续发展战略，落实《中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》，必须对城市生活垃圾进行无害化、减量化、资源化处理。由于目前全国城市生活垃圾的无害化处理率尚比较低，所以更具有现实性和紧迫性。

纵观国内外生活垃圾处理技术的发展，环视其现状，能够达到“三化”处理要求的、可以实现大规模连续稳定生产的现代化生活垃圾处理技术主要有四类：卫生填埋处理技术、焚烧处理技术、高温堆肥处理技术和回收利用处理技术。由于焚烧处理技术具有无害化效果好、减量化程度高、资源化较便捷和占地面积小等优点，所以在四类处理技术中采用该技术的比例呈上升趋势。

随着我国改革开放的不断深入和扩大，社会、经济发展较快，为发展焚烧处理技术提供了较好的经济支撑。随着人民生活质量的不断改善、生活垃圾组分的品位发生了变化，热值不断提高，为生活垃圾的焚烧处理提供了较好的物质基础。因此，近年来在相当多的城市（主要是东部地区城市）相继出现了建设生活垃圾焚烧厂的需求。其中若干城市的焚烧处理厂已建成并投入试生产。另一部分城市的焚烧处理厂尚处在规划、计划、设计、施工的不同阶段。市场的需求，吸引了一部分规划、研究、设计、施工单位投入了焚烧处理厂的建设行列。形势的发展呼唤生活垃圾焚烧处理技术专著的问世。

但是，由于诸多原因，我国生活垃圾焚烧处理技术的起步较晚。第一座比较现代化的生活垃圾焚烧厂于 1988 年底在深圳建成投产。通过该厂十几年来的运营，为我国焚烧处理技术的发展积累了宝贵的经验。然而，由于受到历史的局限，该厂的局部技术装备有待更新改造，以跟上时代步伐。所以，从总体上看，我国对焚烧处理技术的研究和实践尚满足不了形势发展的需要。

本书可供环境卫生管理部门、生活垃圾焚烧厂建设单位、生活垃圾处理科研及设计单位、大专院校有关专业人员参考或选用。

参加本书编写工作的人员有：绪论：邵立明、黄兴华；原理篇：王罗春、赵由才；工艺篇：孙向军（第一、五章）、李延杰（第二章）、龙吉生（第三、八章）、岳优敏（第四章）、汪友碚（第六章）、焦学军（第七章）；设备篇：岳优敏（第一章）、李延杰（第二、三章）、龙吉生（第四章）、汪友碚（第五章）、焦学军（第六章）；环保篇：焦学军（第一章）、秦峰（第二章）、宋立杰、赵由才（第三章）、王雷（第四章）、陈正夫、赵由才（第五章）；建设篇：杨承休（第一、三章）、张益（第二、四、五章）。在本书的编写过程中，孙向军、陆翌琪分别承担了书稿汇编和部分图表制作工作。

本书由张益高级工程师、赵由才教授任主编；黄兴华高级工程师、龙吉生博士任副主编；陶渊高级工程师任主审。

本书如有不当之处，恳请读者批评指正。

前 言

随着城市经济建设的持续发展和市民生活水平的不断提高，每天源源不断大量产生的城市生活垃圾，已成为一个污染环境、影响生活的社会问题，各地都在积极寻找有效的解决方法。当前，生活垃圾处理的常用方法主要有卫生填埋、焚烧和堆肥3种，而垃圾焚烧方法与其他处理方法相比较，能更好地达到垃圾处理减量化、资源化和无害化的治理目标，且具有占地面积小，运行稳定，对周围环境影响较小，选址难度较低等优点，在发达国家得到了较多应用。

我国生活垃圾焚烧技术的研究和应用起步相对较晚，目前只有深圳建有比较正规的生活垃圾焚烧厂，其工程规模为日处理生活垃圾450t。另外，珠海、广州、厦门、上海、北京等地也在建设或正在筹建生活垃圾焚烧厂，还有更多的城市也把建设生活垃圾焚烧厂提到了议事日程。

由于种种原因，国内对生活垃圾焚烧技术的研究落后于发展需要，目前既缺少行业标准和专业规范，更缺乏完整、成熟、系统的设计技术。设计人员只能参考已建工程的设计资料和火电厂等类似工程的设计方法，套用国外有关技术资料；而委托境外咨询机构设计，所提出的技术方案可能会脱离我国的国情。因此，在近阶段研究并总结符合我国国情的生活垃圾焚烧技术具有重要的现实意义。

这次我们应化学工业出版社的邀请，在参考国外生活垃圾焚烧厂技术规范和吸收国外生活垃圾焚烧厂先进技术的基础上，结合我国有关生活垃圾焚烧厂的运行管理经验和科研攻关成果，并参照上海江桥和浦东御桥生活垃圾焚烧厂设计技术，组织有关工程技术人员，编写了《生活垃圾焚烧技术》一书。作为我国第一本专门论述生活垃圾焚烧技术的书籍，希望本书的出版发行能对我国总结设计经验，推广科研成果，促进生活垃圾焚烧技术的发展发挥积极作用。

本书的作者们怀着极大的热忱，在收集、整理、归纳、提炼和研究大量资料 and 实践经验的基础上，分工合作撰写了《生活垃圾焚烧技术》。着眼于焚烧处理技术的历史、特点、现状和发展，对其原理、技术、工艺、设备、工程建设等进行了比较全面的论述。对于生活垃圾治理的管理部门、焚烧处理厂建设单位、研究设计单位、大专院校等的相关人员均具有参考价值。需要理解的是，由于条件的限制，该书在系统整合与论述划一等方面还有待进一步完善和提高。

徐振渠

2000年4月10日于上海

内 容 提 要

本书是我国第一本专门论述生活垃圾焚烧技术的书籍。参考借鉴了国外生活垃圾焚烧厂的先进技术和技术规范，并总结了我国生活垃圾焚烧厂的运行管理成果。全书共分五篇。第一篇介绍了垃圾焚烧的基本原理，包括焚烧概念、过程、影响因素、物质平衡分析、热平衡计算等；第二篇系统介绍了垃圾焚烧的工艺，包括前处理与供料系统、焚烧系统、灰渣处理系统、余热利用系统、烟气净化系统及自动控制系统等；第三篇介绍了垃圾焚烧的各种设备，如垃圾破碎机、焚烧炉、烟气净化设备等；第四篇介绍了垃圾焚烧厂烟气、水、渣、恶臭等处理技术；第五篇介绍了垃圾焚烧厂的建设与运行管理。

本书可供环境卫生管理部门、垃圾处理厂设计、科研及建设单位、大专院校相关专业师生参阅。

目 录

绪论

第一节	焚烧技术的发展历史	1
第二节	焚烧技术的特点	4
第三节	国外焚烧技术的应用现状	6
第四节	国内焚烧技术的应用现状	10
第五节	焚烧技术发展展望	12
第六节	焚烧技术应用的法律规范	14

第一篇 生活垃圾焚烧技术原理

第一章	焚烧的基本概念	16
第一节	燃烧	16
第二节	着火与熄火	16
第三节	着火条件与着火温度	17
第四节	热值	18
第五节	理论燃烧温度	19
第六节	焚烧效果	21
第二章	焚烧过程	23
第一节	垃圾焚烧产物	23
第二节	垃圾燃烧过程	24
第三节	粉尘产生和特性	25
第四节	炉渣、飞灰的产生和特性	26
第五节	二噁英的产生	27
第六节	恶臭的产生	29
第七节	烟气的产生与特性	30
第八节	白烟的形成	32
第九节	烟气中氮氧化物的来源	32
第十节	焚烧过程中的垃圾、烟气和焚烧灰渣分析	33

第三章 影响焚烧的主要因素	34
第四章 物质平衡分析	37
第一节 垃圾焚烧物质转化分析	37
第二节 垃圾焚烧产物质量分布	38
第三节 垃圾焚烧产物元素分布	39
第四节 与物质平衡有关参数的计算	40
第五章 热平衡计算	43
第一节 基本概念	43
第二节 有关热化学定律	44
第三节 热平衡分析	45

第二篇 生活垃圾焚烧技术工艺

第一章 垃圾焚烧厂工艺	50
第一节 概述	50
第二节 垃圾焚烧厂一般工艺流程	51
第二章 前处理及供料系统	61
第一节 概述	61
第二节 垃圾称重系统	61
第三节 垃圾卸料系统	63
第四节 垃圾贮坑	66
第五节 大件垃圾破碎机	68
第六节 吊车及抓斗	69
第三章 垃圾焚烧系统	71
第一节 燃烧概述	71
第二节 焚烧炉及其工艺	74
第三节 炉体	84
第四节 焚烧炉的比较	85
第五节 焚烧炉的设计	87
第四章 助燃空气系统	91
第一节 助燃空气系统的构成	91
第二节 助燃空气送风方式	96
第三节 辅助燃油系统	99
第五章 灰渣处理系统	100

第一节	概述	100
第二节	炉渣处理系统	101
第三节	飞灰处理系统	106
第六章	余热利用系统	111
第一节	余热利用的主要形式	111
第二节	冷凝式垃圾焚烧厂热效率	123
第三节	对垃圾焚烧余热利用的设想	124
第七章	烟气净化系统	126
第一节	烟气净化系统综述	126
第二节	烟气净化工艺	127
第三节	烟气净化工程实例	137
第八章	自动控制系统	152
第一节	概述	152
第二节	设计注意事项	153
第三节	自控系统的发展	153
第四节	集散型控制系统的组成	155
第五节	自动控制对象	156
第六节	操作运行人员训练用模拟器	159
第七节	垃圾焚烧厂自控水平分类	161

第三篇 生活垃圾焚烧设备

第一章	垃圾焚烧厂设备简介	162
第一节	垃圾接收设备	162
第二节	垃圾焚烧炉	163
第三节	烟气处理设备	173
第二章	大件垃圾破碎机	178
第一节	大件垃圾破碎机	178
第二节	破碎机的给料设备	179
第三节	剪切式破碎机	181
第四节	高速旋转破碎机	182
第五节	低速旋转破碎机	184
第三章	垃圾吊车及抓斗	186
第一节	垃圾吊车及抓斗的组成	186

第二节	吊车的数量	189
第三节	抓斗的容积	190
第四节	吊车及抓斗的控制	191
第五节	吊车及抓斗的自动化操作	192
第四章	焚烧炉	194
第一节	设备概述	194
第二节	燃烧装置	195
第三节	炉体	210
第四节	助燃装置	211
第五章	余热锅炉	213
第一节	烟道式余热锅炉	213
第二节	一体式余热锅炉	218
第三节	一体式余热锅炉受热面的腐蚀及防治	228
第四节	一体式余热锅炉的运行和维护	233
第六章	烟气净化设备	235
第一节	烟气净化设备综述	235
第二节	除尘器	237
第三节	洗涤器	247
第四节	喷雾干燥吸收器	253
第五节	气态悬浮式吸收器	255

第四篇 生活垃圾焚烧与环保

第一章	烟气净化与处理	257
第一节	垃圾焚烧烟气中污染物的种类及产生机理	257
第二节	垃圾焚烧烟气中污染物的原始浓度	262
第三节	垃圾焚烧烟气排放标准	264
第四节	垃圾焚烧烟气净化技术	267
第五节	焚烧烟气污染物排放监测控制	273
第二章	污水处理	277
第一节	污水的产生源和性质	277
第二节	污水处理技术概述	279
第三节	污水预处理	282
第四节	生化处理	284

第五节	物化处理	289
第六节	有害物处理	292
第三章	焚烧灰渣的处理	295
第一节	概述	295
第二节	焚烧灰渣的特性	295
第三节	灰渣的分选	299
第四节	灰渣的处置	309
第五节	焚烧灰渣的利用	317
第四章	噪声污染和控制	324
第一节	噪声简介	324
第二节	垃圾焚烧厂噪声源分析	327
第三节	垃圾焚烧厂的总体防噪设计	328
第四节	垃圾焚烧厂主要噪声源的降噪控制	330
第五章	垃圾焚烧厂恶臭污染控制与防治	333
第一节	前言	333
第二节	恶臭的物理化学处理设备及设计	335
第三节	恶臭生物处理	342
第四节	恶臭分析评价和监测	345

第五篇 垃圾焚烧厂建设

第一章	垃圾焚烧厂项目建设管理	350
第一节	焚烧厂项目建设基本程序	350
第二节	焚烧厂建设项目的环境评价	354
第三节	垃圾焚烧厂厂址选择	357
第四节	垃圾焚烧厂用地面积确定	359
第五节	垃圾焚烧厂项目建设资金筹措	360
第六节	垃圾焚烧厂建设进度安排	360
第二章	垃圾焚烧厂主要技术和经济参数	362
第一节	主要技术参数	362
第二节	主要经济参数	363
第三章	生活垃圾特性分析	365
第一节	生活垃圾特性分析的意义	365
第二节	生活垃圾特性构成	365

第三节	生活垃圾主要性质的测试	375
第四章	垃圾焚烧厂运行管理	383
第一节	焚烧厂的机构设置及人员编制	383
第二节	垃圾焚烧炉操作管理	384
第三节	安全和卫生	387
第五章	工程实例——澳门垃圾焚烧厂简介	391
第一节	建设工期及工程费用	391
第二节	主要工程参数	392
第三节	生活垃圾性质	393
第四节	技术参数	394
附录	398
附录一	生活垃圾焚烧污染控制标准（GWKB3—2000 代替： HJ/T 18—1996）	398
附录二	污水综合排放标准（GB 8978—1996 代替 GB 8978—88）	404
主要参考文献	410

绪 论

第一节 焚烧技术的发展历史

1. 发展源流

垃圾焚烧技术作为一种以燃烧为手段的垃圾处理方法，其应用可以追溯至人类文明的早期，如刀耕火种时期的烧荒即可视为焚烧应用的一例。但焚烧作为一种处理生活垃圾的专用技术，其发展历史与其他垃圾处理方法相比要短得多，大致经历了三个阶段：萌芽阶段、发展阶段和成熟阶段。

萌芽阶段是从 19 世纪 80 年代开始到 20 世纪初期。1874 年和 1885 年，英国诺丁汉和美国纽约先后建造了处理生活垃圾的焚烧炉，代表了生活垃圾焚烧技术的兴起。1896 年和 1898 年，德国汉堡和法国巴黎先后建立了世界上最早的生活垃圾焚烧厂，开始了生活垃圾焚烧技术的工程应用。但是由于这一阶段的技术原始和垃圾中可燃物的比例较低，在垃圾焚烧过程中产生的浓烟和臭味，对环境的二次污染相当严重，因此这种方法曾一度为人们所抛弃。

从 20 世纪初到 60 年代末的约半个世纪，是垃圾焚烧技术的发展阶段。一次世界大战后，发达国家的经济得到了较大发展，城市居民生活水平的提高和生活垃圾成分的变化，给垃圾焚烧创造了条件，因此垃圾焚烧技术又逐渐发展起来。这期间，欧洲、北美及日本都陆续建起了一些生活垃圾焚烧厂，其工艺与设施水平也在随着燃煤技术的发展而从固定炉排到机械炉排，从自然通风到机械供风而逐步得到发展。二次世界大战以后，发达国家的经济得到更大发展，城市居民的生活水平进一步提高，垃圾中的可燃物和易燃物也随之迅速上升，促进了垃圾焚烧技术的应用。特别是在 20 世纪 60 年代的电子工业变革后，各种先进技术在垃圾焚烧炉上得到了应用，使垃圾焚烧炉得到了

进一步完善。但总体来说，由于当时城市生活垃圾中的可燃物仍然少于非可燃物，产生量与消纳空间的矛盾尚不突出，对垃圾焚烧伴随的环境问题的认识仍较肤浅等因素，直到 20 世纪 70 年代以前，生活垃圾焚烧技术的发展并不十分理想。

从 20 世纪 70 年代初到 90 年代中期的 20 多年间，是生活垃圾焚烧技术的成熟阶段，也是生活垃圾焚烧技术发展最快的时期。这时期几乎所有的发达国家、中等发达国家都建设了不同规模、不同数量的垃圾焚烧厂，发展中国家建设的垃圾焚烧厂的也不在少数，垃圾焚烧技术的发展方兴未艾。表 0-1 所示的数据可以对生活垃圾焚烧技术的当代发展史作一代表性的注解。

表 0-1 德国垃圾焚烧炉发展概况表

年代	运行炉数	处理容量/ (万吨/年)	服务人口/万人	占总人口 百分比/%	平均处理 容量/(t/d)
1965	7	72	245	4.1	310
1970	24	283	859	14.4	360
1975	33	458	1359	22.0	430
1980	42	634	1773	28.9	460
1985	46	800	2120	34.4	500
1990	49	900	—	—	—
1995	56	1080	—	—	—

综合分析发达国家生活垃圾焚烧技术在近二十年间迅速发展的原因，除了经济、技术、观念等因素外，还有一些其他方面的影响，比如：随着城市建设的发展和城市规模的扩大，城市人口数量骤增，生活垃圾产量也快速递增，使原有的垃圾填埋场日益饱和或已经饱和，而新的垃圾填埋场地又难于寻找，采取垃圾焚烧方法，可使生活垃圾减容 85% 以上，最大限度地延长现有垃圾填埋场的使用寿命。此外，随着人们生活水平的提高，生活垃圾中可燃物、易燃物的含量大幅度增长，提高了生活垃圾的热值，为这些国家应用和发展生活垃圾焚烧技术提供了先决条件。例如：日本城市生活垃圾的低位热值就已经由 20 世纪 60 年代的 3344~4196kJ/kg，提高到目前的 6270~7160kJ/kg，使采用垃圾焚烧方法可以制取更多的蒸汽和电能，以获得比较

