

城市生活垃圾处理技术丛书

城市生活垃圾 直接气化熔融焚烧技术

王华 胡建杭 王海瑞 编著



CHENGSHI SHENGHUO LAJI
ZHIJIE QIHUA RONGRONG
FENSHAO JISHU

冶金工业出版社

x799.3
7-24

城市生活垃圾处理技术丛书

城市生活垃圾 直接气化熔融焚烧技术

王 华 胡建杭 王海瑞 编著

5428-30

北 京
冶金工业出版社
2004

内 容 提 要

本书是城市生活垃圾处理技术丛书之一。全书共分7章,分别为城市生活垃圾的产量与特点、城市生活垃圾焚烧技术的发展与趋势、城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术的基础理论、城市生活垃圾直接气化熔融焚烧炉及其焚烧工艺、城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程污染物的产生与控制、城市生活垃圾直接气化熔融焚烧灰渣的资源化利用、城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程自动控制系统等内容。

本书可供从事管理和处置城市生活垃圾的技术人员和管理人员阅读,也可供大中专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术/王华等编著.

— 北京:冶金工业出版社,2004.11

(城市生活垃圾处理技术丛书)

ISBN 7-5024-3589-1

I. 城… II. 王… III. 垃圾焚化—技术 IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 088764 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 王之光 美术编辑 李心

责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 李玉山

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2004年11月第1版,2004年11月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32; 6印张; 167千字; 179页; 1-2000册

20.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

越来越多的人意识到城市生活垃圾对环境产生的负面影响,以及城市生活垃圾对人类健康与城市环境造成的危害。城市生活垃圾是城市居民在生活中和为城市日常活动提供服务中产生的综合废弃物,它在收集、运输和处理的全过程中,若管理与处理处置不当,将对大气环境、土壤环境、水环境等造成污染。

我国城市生活垃圾产生量随着社会经济速度和城市化的进程同步增长。目前,我国城市生活垃圾年产量已达到 1.4 亿 t 左右,累积量则在 60 亿 t 以上。然而,我国相对应的生活垃圾处理处置技术却相对滞后,城市生活垃圾问题相当严重,全国已有 200 多个城市处于垃圾山的包围之中,若再不及时、合理地进行有效的处理处置,那么,在未来的几十年,城市生活垃圾势必阻碍城市的快速发展。为了将城市生活垃圾的危害降低到最低程度,甚至避免重蹈一些发达国家的覆辙,我国应积极采取有效的处理处置技术,彻底消除生活垃圾的危害,达到无害化、减量化和资源化的目标。

焚烧技术是一门古老的科学,而延伸应用到城市生活垃圾处理过程中,是在城市生活垃圾成为人类发展无法避免的问题后才出现的。由于城市生活垃圾具有地域性、季节性等特征,导致城市生活垃圾成分复杂,焚烧处理困难以及容易产生二次污染等弊端。为了提高生活垃圾焚烧处理的效率,降低因焚烧带来的二次污染,我们应

提高生活垃圾焚烧处理技术的科技含量,推广应用先进的生活垃圾焚烧处理新技术,以满足我国城市生活垃圾产生量急剧增长的需要,解决我国城市所面临的生活垃圾泛滥问题,缓解能源紧张,加快城市化进程,实现社会的可持续性发展。

本书系统地阐述了目前我国城市生活垃圾的发展趋势及其危害性、城市生活垃圾焚烧技术的发展动态、城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术的基础理论、各种典型的城市生活垃圾直接气化熔融焚烧炉、生活垃圾焚烧过程烟气污染物净化处理工艺、生活垃圾焚烧过程灰渣的资源化利用技术及城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程的自动控制系统等内容。

与本书密切相关的研究课题——云南省科技攻关项目“无害化城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术扩大试验”(项目编号:2001GG19)和云南自然科学基金资助项目“新型城市生活垃圾熔融气化燃烧发电技术的应用基础研究”(项目编号 2000E0003R)得到了云南省科技厅和昆明理工大学的大力支持。本书在编写过程中还得到了昆明理工大学环境调和型能源新技术研究所全体同仁的大力支持和帮助,部分章节内容参考或引用了参考文献中的有关资料,在此一并向他们致以由衷的谢意。

由于作者水平有限,书中有不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2004.5

目 录

1	城市生活垃圾的产量与特点	(1)
1.1	城市生活垃圾的产量与影响因素	(1)
1.2	城市生活垃圾的特点	(7)
2	城市生活垃圾焚烧技术的发展与趋势	(11)
2.1	城市生活垃圾焚烧技术	(11)
2.2	城市生活垃圾焚烧技术的发展现状	(14)
2.3	城市生活垃圾气化熔融焚烧技术	(17)
3	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术的基础理论	(23)
3.1	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程	(24)
3.2	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程热力学	(28)
3.3	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程动力学	(31)
3.4	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程的 物质平衡	(34)
3.5	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程的 能量平衡	(36)
3.6	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程的 影响因素	(40)
4	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧炉及其焚烧工艺	(48)
4.1	侧吹式生活垃圾直接气化熔融焚烧炉与焚 烧工艺	(49)

4.2	氧气顶吹式生活垃圾直接气化熔融焚烧炉与 焚烧工艺	(57)
4.3	密闭式无害化生活垃圾直接还原气化熔融 焚烧炉与焚烧工艺	(60)
4.4	国外典型的生活垃圾直接气化熔融焚烧工艺	(64)
5	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程污染物的产生 与控制	(72)
5.1	二恶英的产生与控制	(72)
5.2	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程烟气 污染物的产生与控制	(83)
5.3	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程烟气 净化工艺	(91)
5.4	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程固体 残留物污染的产生与控制	(103)
6	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程中熔融灰渣的 资源化利用	(113)
6.1	熔融灰渣再生利用的可行性	(113)
6.2	城市生活垃圾熔融灰渣作为建筑骨料的研究 ..	(117)
6.3	焚烧灰渣增强铝基复合材料的研究	(122)
7	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程自动控制系统 ..	(130)
7.1	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程控制 理论	(130)
7.2	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧炉焚烧过程 自动控制系统的组成	(150)
7.3	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧炉自动控制 子系统	(152)
7.4	城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程烟气 处理自动控制子系统	(160)

7.5 城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程汽轮 发电机自动控制子系统	(163)
7.6 城市生活垃圾直接气化熔融焚烧过程自动 控制系统的集成	(168)
参考文献.....	(175)

CONTENTS

1	Output and Features of Municipal Solid Waste	(1)
1.1	Output of MSW and Its Influential Factors	(1)
1.2	Features of MSW	(7)
2	Technical Development and Trend of MSW	
	Incineration	(11)
2.1	Incinerating Techniques of MSW	(11)
2.2	Developing Status of MSW's Incinerating Techniques	(14)
2.3	Gasification and Melting Incineration Techniques of MSW	(17)
3	Theoretical Basis of Direct Gasification and Melting	
	Incineration Techniques of MSW	(23)
3.1	Direct Gasification and Melting Incineration Process of MSW	(24)
3.2	Thermodynamics in the Direct Gasification and Melting Incineration Process of MSW	(28)
3.3	Dynamics in the Direct Gasification and Melting Incineration Process of MSW	(31)
3.4	Physical Balance in the Direct Gasification and Melting Incineration Process of MSW	(34)
3.5	Energy Balance in the Direct Gasification and Melting Incineration Process of MSW	(36)
3.6	Influential Factors in the Direct Gasification and	

Melting Incineration Process of MSW	(40)
4 Furnaces and Systems of MSW's Direct Gasification and Melting Incineration	(48)
4.1 Side-blasted Furnace and Technics of MSW's Direct Gasification and Melting Incineration ...	(49)
4.2 Oxygen Top-blown Furnace and System of MSW's Direct Gasification and Melting Incineration	(57)
4.3 Obturated Furnace and Technics of MSW's Direct Gasification and Melting Incineration ...	(60)
4.4 Typical Direct Gasification and Melting Incinerating Technics of Abroad MSW Incineration	(64)
5 Releases and Controls of the Pollutants from MSW's Direct Gasification and Melting Incineration	(72)
5.1 Releases and Controls of Dioxins	(72)
5.2 Releases and Controls of Smoke Pollutants from the Incinerating Process of MSW	(83)
5.3 Smoke Cleaning Technology and Technics in the MSW's Direct Gasification and Melting Incineration Process	(91)
5.4 Production and Controls of the Residual Solids from Incinerating Process of MSW	(103)
6 Recycling Resource Recovery of Melting Bottom Ash in the MSW's Direct Gasification and Melting Incineration	(113)
6.1 Reutilized Feasibility of Melted Slag	(113)

6.2	Research on Melted slag Used as Building Materials	(117)
6.3	Research on Al/the Bottom Ash in Municipal Solid Waste Incinerator Composites	(122)
7	Auto Control System of MSW's Direct Gasification and Melting Incineration Process	(130)
7.1	Control Theory of MSW's Direct Gasification and Melting Incineration Process	(130)
7.2	Composition of Auto Control System of the MSW's Direct Gasification and Melting Incineration Process	(150)
7.3	Auto Control Subsystem of the MSW's Direct Gasification and Melting Furnace	(152)
7.4	Auto Control Subsystem of Smoke Cleaning Treatment of the MSW's Direct Gasification and Melting Incineration Process	(160)
7.5	Steamer Auto Control Subsystem of the MSW's Direct Gasification and Melting Incineration Process	(163)
7.6	Auto Control System Integration of the MSW's Direct Gasification and Melting Incineration Process	(168)
	Reference	(175)

1 城市生活垃圾的产量与特点

城市生活垃圾是指在城市居民日常生活中或为城市日常生活提供服务的活动中产生的废弃物或丢弃物,是固体废弃物的一种。城市生活垃圾产量之大,增长之快,危害之严重,已经引起人们的普遍关注。

1.1 城市生活垃圾的产量与影响因素

1.1.1 城市生活垃圾的产量

从世界范围来看,目前全球每年排放的各类垃圾近 100 亿 t。美国是生活垃圾产量大国,每年已超过 2 亿 t;而德国人均生活垃圾年产量为 800kg,成为世界上生活垃圾人均产量最大的国家。

在我国,随着城市化进程的加快、城市数量的增多、规模的扩大和人口的增加,城市生活垃圾的产生量和堆积量都在迅速地增长。我国 1980~2000 年城市生活垃圾的年产生量变化趋势如图 1-1 所示。自 1980 年以来,我国的城市生活垃圾以 8%~10% 的年增长速度增长,由 1980 年的 3132 万 t 猛增至 1990 年的

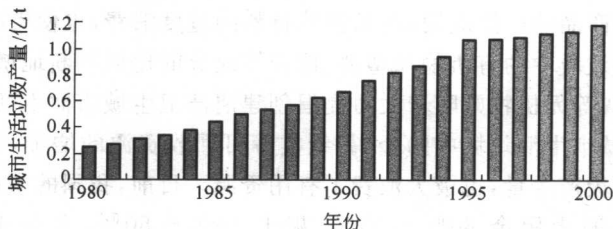


图 1-1 我国 1980~2000 年城市生活垃圾的年产生量变化趋势

6768.8 万 t,增加了 216.1%。1991 年我国城市生活垃圾的年总清运量为 6766.8 万 t,到 2001 年已达到 1.50 亿 t,增长了 221.6%。而城市生活垃圾的累积量则达到了 60 多亿吨。预计 2002 年我国城市生活垃圾的总产量将达到 1.6 亿 t。

我国城市生活垃圾总量的大幅度增长主要是由于城市的规模、数量、人口,经济发展水平和民用燃料结构等因素的变化。据统计,目前我国城市人均年产生生活垃圾 450~500kg,200 万以上人口的城市人均日产生生活垃圾 0.62~0.98kg,中小城市人均日产生生活垃圾 1.1~1.3kg。生活垃圾产量的 60%集中在全国 50 万以上人口的重点城市,全国已有 200 多个城市处于垃圾山的包围之中。

直辖市和省会城市在垃圾产生量方面占有重要比例,但中小城市垃圾产量的变化也不容忽视。我国城市生活垃圾的产生量与城市人口的增长成正比,城市人口的数量是影响我国城市生活垃圾总量的最主要因素。

城市生活垃圾产量在迅速增加的同时,成分也发生了很大的变化,具体表现为有机物的增加、可燃物的增多(热值增加)和可利用价值的增大。在我国,一般将城市生活垃圾分为有机物、无机物、纸、塑料、橡胶、布、木竹、玻璃、金属等 9 类。表 1-1 中列出了我国部分典型城市生活垃圾的组成。随着我国国民经济的快速发展和居民生活水平的提高,居民的生活方式、消费观念和消费意识都发生了巨大的变化,导致了生活垃圾产生量的快速增长;同时,一次性商品的广泛应用,商品包装材料的过度浪费,也使得我国城市生活垃圾中的有机物如塑料、橡胶等成分的比例不断地增加;灰土、煤灰等无机物则随着大力提倡创建清洁卫生城市而不断降低;此外,城市生活垃圾中的金属、纸类等可回收资源的增加,不仅增加了垃圾产生量,也极大浪费了有用资源。目前,我国的城市生活垃圾一般为厨余 30%~55%、灰土 10%~50%、水分 40%~60%、热值 3349~6280kJ/kg。

表 1-1 我国部分典型城市生活垃圾的组成 (%)

年份	城市	有机物	无机物	纸类	木竹	塑料、橡胶	布类	玻璃	金属
1999	上海	65.21	1.51	9.23	1.18	14.16	2.21	5.36	0.84
2000	北京	56.6	36.00	4.2		0.6	1.2	0.6	0.8
2000	昆明	67.67	6.97	11.43		9.43	1.06	2.02	0.87
1997	杭州	58.19	24.00	3.68	1.20	7.63	2.23	2.09	0.98
1997	青岛	42.20	36.10	4.00		11.20	3.20	2.20	1.10
1997	西安	15.74	63.52	3.35	3.49	7.93	2.48	1.84	1.20
1996	广州	60.17	17.12	5.40	1.06	8.99	3.40	3.37	0.49
2000	深圳	59.4	7	11		14	3.9	5	
2001	重庆	54.26	20.22	5.39	1.35	11.82	2.84	2.19	1.16
1996	武汉	52.00	19.78	7.12	1.72	9.85	1.42	7.14	0.98
1997	香港	25.50	15.70	25.70	5.00	17.10	4.20	3.20	3.60

1.1.2 城市生活垃圾产量的主要影响因素

城市生活垃圾产量的变化主要与城市地理环境、国民生产总值(GDP)、城市的规模、人口的数量、居民生活水平、经济发展水平和城市的燃料结构等诸多因素有关,但是导致城市生活垃圾产量变化的因素可以归结为城市人口和人均生活垃圾产量两个变量。常用下述公式计算:

$$G = G_1 \times M \quad (1-1)$$

$$M = M_1 + M_s \quad (1-2)$$

$$M_s = M_{s0}(1 + \epsilon) + M_i \quad (1-3)$$

式中 G ——城市生活垃圾日产量, t/d;

G_1 ——城市生活垃圾人均日产量, kg/(人·d);

M ——城市人口数, 千人;

M_1 ——城市流动人口数, 千人;

M_s ——城市常住人口数, 千人;

M_{s0} ——前一年常住人口数, 千人;

ϵ ——人口自然增长率；

M_j ——净迁入人口数，千人。

1.1.2.1 城市人口数量的影响

我国城市生活垃圾总量的大幅度增加主要是由于城市化规模的扩大以及城市数量和城市人口的增加所造成的。改革开放的20多年来，城市化进程逐年加快，城市数量大幅度增加，城市规模不断扩大，城市非农业人口迅速增长。至1996年中国人口已达12亿，城市666个，城市非农业人口数量超过2亿，城市化水平达28%。其中：200万人口以上的超大城市11个，50~200万人口的中等城市195个，20万人口以下的小城市393个。据国家建设部城市建设发展司的预测，未来15年内我国城市数量将超过800个，城市人口数量将达到6~7亿，占我国总人口数量的50%左右。图1-2为1986~1996年间中国城市生活垃圾量与非农业人口的关系。从图中可见，我国城市生活垃圾的产量与城市人口的增加几乎成正比关系增长，而且这一趋势随着我国城市化进程步伐的加快在今后相当长的一段时间内仍将持续下去。可以说，城市人口的数量是影响我国城市生活垃圾总量的最主要因素。同样城市人口的增加归因于城市规模的扩大，城市规模的扩大导致了城市清扫面积也随之增加。城市规模、城市清扫面积对城市生活

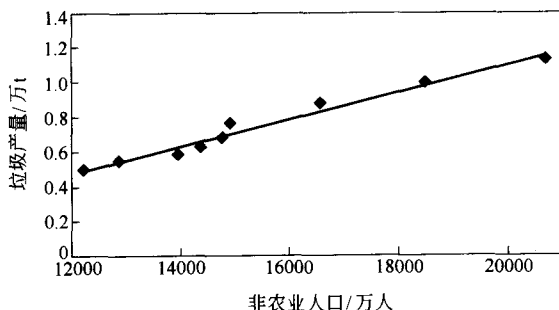


图 1-2 我国城市生活垃圾量与非农业人口的关系

垃圾的产生有着正比的关系,如图 1-3、图 1-4 所示。

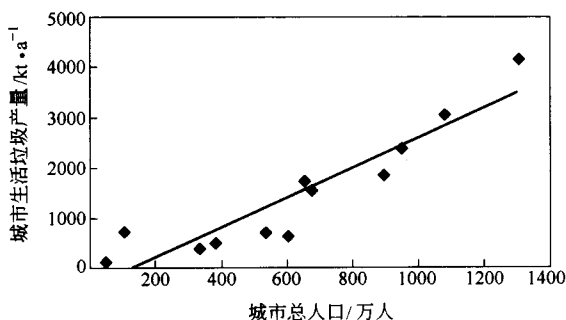


图 1-3 城市规模与城市生活垃圾产量的关系

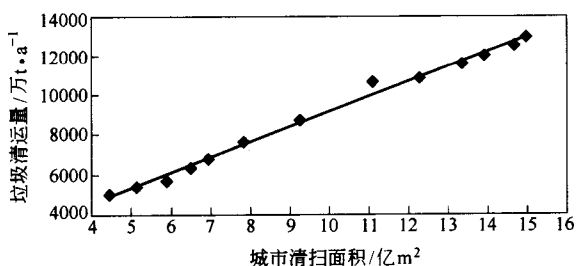


图 1-4 全国城市清扫面积与垃圾清运量的关系

1.1.2.2 国民经济发展水平的影响

图 1-5 为我国城市生活垃圾产量与国内生产总值(GDP)的关系曲线。从图中可以清楚地看出,经济发展水平对城市生活垃圾产量的影响。即随着 GDP 的增长,城市生活垃圾产量也随着增长,但当 GDP 达到一定值后,垃圾产量的增幅减慢,并逐渐趋于稳定。

表 1-2 列出了我国部分城市的城市人口、GDP 与生活垃圾产量的关系。

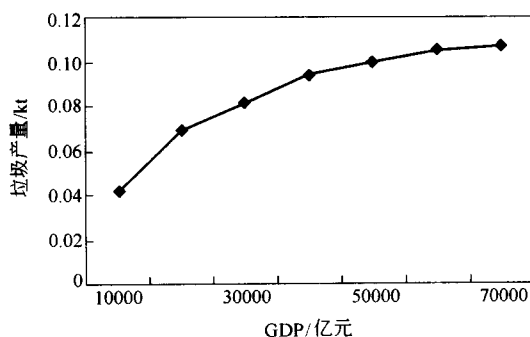


图 1-5 我国城市生活垃圾产量与 GDP 间的关系

表 1-2 1995 年部分城市人口、GDP 及垃圾产量调查统计表

城 市	总人口/ 万人	GDP/ 亿元	年人均 GDP/ 元·人 ⁻¹	年生活垃 圾量/kt	人均生活垃圾量 ^① /kg·(人·d) ⁻¹
北 京	1078	1615.73	14988.22	3110	1.20
上 海	1304	2902.2	22256.13	4182.9	1.23
天 津	898	1102.4	12276.17	1853	0.98
广 州	656.05	1444.9	22024.23	1764.2	1.20
杭 州	603.22	906.61	15029.51	660	0.92
大 连	537.4	733.07	13641.05	715	0.77
深 圳	103.38	950	91893.98	754.8	2.62
沈 阳	671	771.8	11502.24	1569	1.02
鞍 山	331.2	395.04	11927.54	401.5	0.76

① 指非农业人口数的人均值。

1.1.2.3 居民生活水平的影响

城市生活垃圾产量与城市居民生活水平有一定关系。对于不同收入的家庭而言,人均月收入低于 400 元的低收入家庭,生活垃圾产量较大;随着收入的增加,生活垃圾产量呈下降趋势,而人均收入突破 1000 元以后,人均生活垃圾的产量又逐渐增加。主要在于经济发达,居民生活水平的提高,生活方式也随着发生变化,家