

王华 编著

二恶英

零排放化

城市生活垃圾焚烧技术

冶金系统跨世纪学术技术带头人著作丛书

冶金工业出版社

冶金系统跨世纪学术技术带头人著作丛书

二恶英零排放化城市生 活垃圾焚烧技术

王 华 编著

冶金工业出版社

2001

内 容 提 要

本书是我国第一部专门论述面向 21 世纪的二恶英零排放化城市生活垃圾气化熔融焚烧技术及 RDF 燃烧技术的学术著作。全书共分 8 章,主要论述了我国城市生活垃圾的产生、特性及生活垃圾处理现状;城市生活垃圾焚烧时二恶英的产生及其理化特性;城市生活垃圾焚烧技术的原理、焚烧处理厂的工艺流程;城市生活垃圾焚烧灰渣二恶英零排放化熔融固化技术;二恶英零排放化城市生活垃圾气化熔融焚烧技术的原理;二恶英零排放化城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术;二恶英零排放化 RDF 制备工艺流程及其燃烧特性;二恶英零排放化城市生活垃圾焚烧烟气净化处理技术。

本书可供环境卫生管理部门、城市生活垃圾处理技术及处理厂的设计、研发和建设单位的技术人员及大专院校的相关专业的师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

二恶英零排放化城市生活垃圾焚烧技术/王华编著.

北京:冶金工业出版社,2001.9

(冶金系统跨世纪学术技术带头人著作丛书)

ISBN 7-5024-2798-8

I.二... II.王... III.生活-垃圾-垃圾焚化-技术 IV.X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 038001 号

出 版 人 卿启云(北京沙湾嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 王之光 谭学余 美术编辑 李 心 责任校对 白 迅 责任印制 李玉山

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2001 年 9 月第 1 版,2001 年 9 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;4.75 印张;150 千字;139 页; 1-1500 册

15.00 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)

出版者的话

为了贯彻落实江泽民总书记提出的“要造就一批进入世界科技前沿的跨世纪的学术和技术带头人”的战略方针,推动冶金学科发展和冶金工业科技进步,我们组织策划了《冶金系统跨世纪学术技术带头人著作丛书》。这套丛书的组稿对象是冶金系统(黑色、有色)内年龄在45周岁以下、具有正高级职称的省部级以上的学科和技术带头人。每位作者可以根据自己正在从事或已经从事过的科学研究或技术开发成果,独立或合作撰写一本专著。如果是理论著作,要求在基础研究和基础理论上有一定的创新和突破;如果是工程技术著作,要求其技术处于国内或国际先进水平,或指导实践取得了重大经济效益。丛书总数暂不定,根据作者的实际情况、成书的条件和稿件的质量,计划到2010年,每年安排出版几种。

我们编辑出版这套丛书的目的,是希望优秀的跨世纪青年人才脱颖而出,激励他们经过不断的创新与总结,在科技领域确立自己的学术地位和技术地位,促进冶金科学技术的传播和向生产力的转化,推动冶金学术建设的繁荣和健康发展,为国家“百千万人才工程”培养、选拔和输送杰出人才。

欢迎优秀的跨世纪青年专家参加本丛书的著述。



作者简介

王华, 1965年出生。1987年本科毕业于东北大学热能工程系, 1998年至2000年在日本京都大学能源学院作博士后研究。先后主持或参与冶金与能源方面的科研课题20余项, 发表论文100余篇, 出版专著2部, 获省部级科技奖8项。曾被评为中国有色金属工业总公司跨世纪青年学术带头人、先进青年工作者、云南省跨世纪青年学术带头人、有突出贡献的中青年专家、昆明市十大杰出青年等, 先后担任昆明理工大学冶金系副主任、主任、党总支书记, 现任校研究生部党委书记、教授。社会兼职有中国有色金属学会理事、云南省金属学会理事、云南省热工热能学术委员会主任委员等。

前 言

今天,城市生活垃圾处理水平已经成为反映一个城市文明程度、经济实力、科技实力以及城市管理者的环境意识和现代意识的标志。生活垃圾管理与污染防治已成为城市环境保护的重要内容之一。发达国家在这方面起步较早,已经建立起比较完善的收集、运输、分检、利用、处理设施。

我国近 20 年来,随着经济的高速发展,人民生活水平的迅速提高,城市化进程的不断加快,城市垃圾产生量急剧增加。目前,我国城市垃圾年产生量已达 1.4 亿 t 以上,人均垃圾年产生量为 450~500kg,且仍在以每年 8%~10% 的速度增长。由于多种原因,我国的城市垃圾处理技术与发达国家相比相对落后,大部分采用简单的填埋或直接露天堆放的方式,不仅造成了景观、市容的污染,而且引起了对人类生存和生态环境的严重危害。可喜的是自我国政府公布了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》以来,已有许多城市的政府部门将生活垃圾无害化处理工作列入重要日程,将其纳入经济、社会发展的总体规划之中。城市生活垃圾减量化、无害化、资源化已成为社会关注和研究的热点。

纵观国内外城市生活垃圾处理技术的发展动态,城市生活垃圾的焚烧处理技术,由于具有无害化效果好、减量化程度高、资源化较便捷和占地面积小等优点,已愈来愈受到许多国家,尤其是国土面积小、人口密度大的国家的青睐。由于现代城市生活垃圾中含氯元素高分子物质的含量较高,城市生活垃圾在焚烧处理过程中,若处理不当,极易产生剧毒物二恶英(dioxins),并随

烟气排放到大气中。二恶英类物质的毒性相当于氰化钾（KCN）的 1000 倍以上。同时它是一种对人体非常有害的物质，即使在很微量的情况下，长期摄取后便可引起癌症等症状，国际癌症研究中心已将它列为人类一级致癌物。此外二恶英类还会引起人体皮肤痤疮、头痛、失聪、忧郁、失眠、新生儿畸形等症，并可能具有长期效应，如导致染色体损伤、心力衰竭、内分泌失调等。据报道，只要 28.35g 二恶英类物质，就能将 100 万人置于死地。因而发达国家特别注重城市生活垃圾处理中二恶英类物质的排放，并开发了许多能扼制二恶英类物质产生的新型城市生活垃圾处理技术。作者本人于 1997 年 7 月在国家外专局的资助下，就“城市生活垃圾高温热分解技术开发研究”与俄罗斯冶金热能工程科学研究院进行国际合作，此后不久又被国家教育部派往世界著名的日本京都大学能源学院作两年博士后研究，并于 2000 年 9 月回国。在此期间，对美、德、日等发达国家的城市生活垃圾处理技术的发展动态进行了较详细的调研，并就当前世界上最先进的二恶英类零排放化城市生活垃圾气化熔融焚烧发电技术进行了研究，回国后该课题迅速得到了云南省科技厅有关领导的重视并立项进行资助。为配合我国可持续发展战略及西部大开发战略的实施，作者怀着极大的热忱，将所掌握的国外先进技术及自己的部分研究成果整理成此专著。希望此书的出版在促进我国城市生活垃圾处理技术的发展和改善我国城市环境质量等方面发挥积极的作用。

与本书密切相关的研究课题“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”得到了云南省自然科学基金委主任基金的资助。本书的顺利出版得到了云南省科技厅的有关领导，昆明理工大学党委书记杨思忠教授，校长何天淳教授，原党委书记、环境学专家王家驹教授，原校长杨显万教授，原校长张文彬教授等有关领导，中国工程院《中国工程科学》编辑部副主任丁朝模教授，云南省能源学会副会长、原中国水利水电十四工程局总工程师刘元歧教授等人的大力支持和关心，同时得到了我的导

前 言

师、国际著名的能源化学专家、日本京都大学能源学院院长伊藤靖彦教授，戴永年院士，蔡乔方教授，周振刚教授的精心指点及亲朋好友、学生们尤其是家人的鼓励和支持，在此一并向他们致以由衷的谢意。

由于作者水平有限，时间仓促，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

王 华

2001年2月于春城

目 录

1 中国城市生活垃圾的产生与处理现状 ·····	(1)
1.1 中国城市生活垃圾的产生量及其影响因素·····	(2)
1.1.1 中国城市生活垃圾的产生量 ·····	(2)
1.1.2 中国城市生活垃圾产生量的影响因素 ·····	(3)
1.2 中国城市生活垃圾的成分、热值及其影响因素 ·····	(8)
1.2.1 中国城市生活垃圾的成分、热值·····	(8)
1.2.2 中国城市生活垃圾的成分、热值的 影响因素 ·····	(10)
1.3 中国城市生活垃圾的处理现状·····	(13)
1.3.1 城市生活垃圾的卫生填埋 ·····	(14)
1.3.2 城市生活垃圾的堆肥处理 ·····	(16)
1.3.3 城市生活垃圾的焚烧处理 ·····	(18)
2 二恶英类的理化特性及其生成 ·····	(21)
2.1 二恶英类的理化特性·····	(22)
2.1.1 二恶英类的分子结构式 ·····	(22)
2.1.2 二恶英类的物理、化学特性·····	(23)
2.2 二恶英类的生成·····	(26)
2.2.1 二恶英类的产生源 ·····	(26)
2.2.2 二恶英类的生成机制 ·····	(27)
3 城市生活垃圾焚烧技术概述 ·····	(32)
3.1 城市生活垃圾焚烧原理·····	(34)
3.1.1 城市生活垃圾焚烧过程 ·····	(34)
3.1.2 城市生活垃圾焚烧过程的影响因素 ·····	(35)

3.1.3	城市生活垃圾的焚烧产物	(37)
3.1.4	城市生活垃圾焚烧过程中物料平衡 及热平衡	(43)
3.2	城市生活垃圾焚烧厂工艺	(46)
3.2.1	城市生活垃圾焚烧厂前处理系统	(48)
3.2.2	城市生活垃圾焚烧厂焚烧系统	(49)
3.2.3	城市生活垃圾焚烧厂余热利用系统	(55)
3.2.4	城市生活垃圾焚烧厂烟气净化 处理系统	(56)
3.2.5	城市生活垃圾焚烧厂废水处理系统	(57)
3.2.6	城市生活垃圾焚烧厂计算机控制与 管理系统	(58)
3.3	城市生活垃圾焚烧的环保标准	(58)
4	二恶英零排放化生活垃圾焚烧灰渣熔融固化技术	(60)
4.1	垃圾焚烧灰渣熔融固化处理的物料准备	(62)
4.2	垃圾焚烧灰渣熔融炉的分类	(62)
4.3	垃圾焚烧灰渣熔融炉	(63)
4.3.1	垃圾焚烧灰渣燃料熔融炉	(64)
4.3.2	垃圾焚烧灰渣电热式熔融炉	(68)
5	二恶英零排放化生活垃圾气化熔融焚烧技术	(74)
5.1	城市生活垃圾气化熔融焚烧技术概要	(74)
5.2	城市生活垃圾气化熔融焚烧技术中垃圾热解 气化的基本原理	(75)
5.2.1	垃圾热分解气化温度的影响	(76)
5.2.2	垃圾热分解气化加热速率的影响	(78)
5.2.3	垃圾中水分的影响	(78)
5.2.4	垃圾组成、热值等的影响	(79)
5.2.5	空气供给量的影响	(79)

5.3 城市生活垃圾气化熔融焚烧技术的分类及其工艺设备	(79)
5.3.1 城市生活垃圾气化熔融焚烧技术的分类	(79)
5.3.2 城市生活垃圾气化熔融焚烧技术的工艺设备	(81)
6 二恶英零排放化生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	(96)
6.1 城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术概要	(96)
6.2 城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术的工艺设备	(97)
6.2.1 高炉型生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	(98)
6.2.2 竖井炉式生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	(100)
6.2.3 回转窑式生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	(101)
6.2.4 NKK 式生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	(103)
6.2.5 氧气顶底复合吹式生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	(103)
6.2.6 昆工式城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	(104)
6.2.7 等离子体式生活垃圾直接气化熔融焚烧技术	(105)
7 二恶英零排放化生活垃圾固型燃料化燃烧技术	(108)
7.1 RDF 的分类及其加工工艺	(108)
7.1.1 RDF 的概念	(108)
7.1.2 RDF 的分类	(108)

7.1.3	RDF 的加工工艺	(109)
7.2	RDF 的应用及燃烧特性	(114)
7.2.1	RDF 的应用	(114)
7.2.2	RDF 的燃烧特性	(116)
8	二恶英零排放化生活垃圾焚烧烟气净化处理技术	(123)
8.1	传统式生活垃圾焚烧烟气净化处理技术	(124)
8.1.1	生活垃圾焚烧烟气湿法净化 处理工艺	(124)
8.1.2	生活垃圾焚烧烟气半干法净化 处理工艺	(126)
8.1.3	生活垃圾焚烧烟气干法净化 处理工艺	(128)
8.1.4	生活垃圾焚烧烟气中 NO_x 净化处理工艺	(130)
8.2	现代式生活垃圾焚烧烟气净化处理技术	(132)
8.2.1	烟气急冷技术及装置	(132)
8.2.2	活性炭喷射吸附技术及装置	(133)
8.2.3	3 种常见的生活垃圾气化熔融焚烧烟气 净化工艺	(134)
	参考文献	(136)

1 中国城市生活垃圾的 产生与处理现状

城市生活垃圾是人们生活中产生的固体废弃物。在收集、运输和处理过程中所产生的有害成分对大气、土壤、水等造成污染，不仅影响城市环境质量，而且威胁着国民的健康，成为社会公害之一。因此，城市生活垃圾的无害化处理技术，是关系到保护和改善国民生活、生态环境、防治污染、改善传统发展模式，使国民经济发展与环境保护相调和的重要内容之一。

中国改革开放的 20 多年来，随着经济的高速发展，人民生活水平的迅速提高，城市化进程的不断加快，城市垃圾产生量急剧增加。目前，我国城市垃圾年产生量已达 1.4 亿 t 以上，人均垃圾年产生量为 450 ~ 500kg，且仍在以每年 8% ~ 10% 的速度增长。此外，城市生活垃圾存量约为 60 多亿 t，垃圾侵占土地面积已超过 5 亿 m²，全国已有 200 多个城市被垃圾包围。目前我国城市生活垃圾处理技术与发达国家相比还相当落后，大部分为简单堆埋处理，少部分用于焚烧发电等。堆埋处理不仅占用大量土地，而且对土壤、地下水、大气等造成危害，严重污染了环境，已发展到非加强管理、加快治理力度不可的地步。我国政府公布的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中提出，对固体废物污染防治实行减量化、资源化、无害化的原则。为了利于我国城市生活垃圾的处理技术朝着减量化、资源化、无害化的方向发展，首先对我国城市生活垃圾的产生与处理现状作一深入的研究与了解是十分必要的。

1.1 中国城市生活垃圾的产生量及其影响因素

1.1.1 中国城市生活垃圾的产生量

随着经济的高速发展、城市规模的扩大、城市化进程的加速、人口高度集中、国民消费水平的提高,中国城市生活垃圾的产生量和堆积量均在逐年增加。图 1-1 为我国自 1979~1999 年城市生活垃圾清运量与人均生活垃圾产量变化趋势图。近几年我国城市生活垃圾的年增长率均在 8%~10%。人均生活垃圾产量已超过 1.0kg/(人·d),超过了日本 20 世纪 80 年代末 90 年代初的水平。日本此间的人均生活垃圾产量变化趋势如图 1-2 所示。

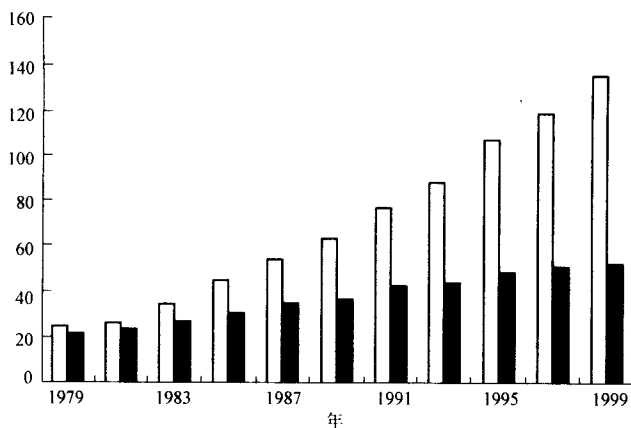


图 1.1 我国城市生活垃圾清运量与人均生活垃圾产生量变化趋势

□—城市生活垃圾年清运量, 10^6 t; ■—人均生活垃圾产生量, kg/(人·月)

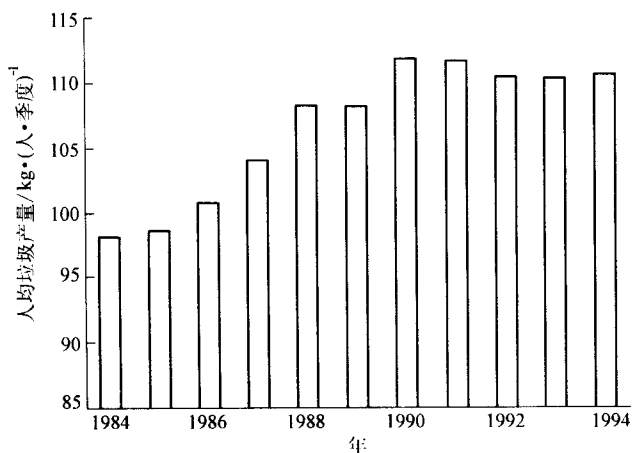


图 1.2 1984 ~ 1994 年间日本人均生活垃圾产量变化趋势

1.1.2 中国城市生活垃圾产生量的影响因素

由表 1.1、表 1.2 可见城市生活垃圾产生量主要与人口、经济发展水平、居民收入、居民消费水平、民用燃料结构等因素有关。

表 1.1 1996 年我国各省份城市生活垃圾产生情况调查统计表

省 份	实际清扫面积/m ²	生活垃圾清运量/t
河 北	5961.91×10^4	512.19×10^4
山 西	3637.68×10^4	333.56×10^4
内 蒙 古	2867.56×10^4	343.79×10^4
辽 宁	14370.77×10^4	916.79×10^4
吉 林	6286.26×10^4	550.74×10^4
黑 龙 江	7648.52×10^4	944.80×10^4
江 苏	6252.14×10^4	425.80×10^4
浙 江	4220.51×10^4	411.50×10^4
安 徽	3035.21×10^4	257.35×10^4
福 建	2520.71×10^4	164.39×10^4
江 西	1580.24×10^4	177.49×10^4
山 东	10323.51×10^4	535.35×10^4

续表 1.1

省 份	实际清扫面积/m ²	生活垃圾清运量/t
河 南	5535.30 × 10 ⁴	454.02 × 10 ⁴
湖 北	5925.29 × 10 ⁴	747.71 × 10 ⁴
湖 南	2044.71 × 10 ⁴	270.98 × 10 ⁴
广 东	11396.94 × 10 ⁴	900.09 × 10 ⁴
广 西	2329.59 × 10 ⁴	178.64 × 10 ⁴
海 南	1864.29 × 10 ⁴	68.79 × 10 ⁴
四 川	5259.81 × 10 ⁴	534.33 × 10 ⁴
贵 州	679.44 × 10 ⁴	93.32 × 10 ⁴
云 南	1340.11 × 10 ⁴	92.25 × 10 ⁴
西 藏	132.27 × 10 ⁴	19.30 × 10 ⁴
陕 西	2012.29 × 10 ⁴	168.61 × 10 ⁴
甘 肃	1466.78 × 10 ⁴	222.77 × 10 ⁴
青 海	283.68 × 10 ⁴	180.00 × 10 ⁴
宁 夏	514.70 × 10 ⁴	59.50 × 10 ⁴
新 疆	1927.11 × 10 ⁴	211.65 × 10 ⁴

表 1.2 中国 11 座大城市生活垃圾产生情况调查统计

城市名	统计年份	实际清扫面积/m ²	生活垃圾年清运量/t	非农业人口数/万人	人均垃圾产量/kg·(人·d) ⁻¹
上 海	1990	2315 × 10 ⁴	278.6 × 10 ⁴	749.7	1.01
	1993	2686 × 10 ⁴	334 × 10 ⁴	893.5	1.01
	1995	2647 × 10 ⁴	372 × 10 ⁴	921.7	1.10
北 京	1990	3244 × 10 ⁴	344.5 × 10 ⁴	554.4	1.70
	1993	3630 × 10 ⁴	410 × 10 ⁴	574.8	1.95
	1995	3914 × 10 ⁴	440 × 10 ⁴	593.7	2.03

续表 1.2

城市名	统计年份	实际清扫面积/m ²	生活垃圾年清运量/t	非农业人口数/万人	人均垃圾产量/kg·(人·d) ⁻¹
天 津	1990	4298 × 10 ⁴	217.2 × 10 ⁴	453.5	1.32
	1993	4637 × 10 ⁴	203 × 10 ⁴	458.0	1.21
	1995	4694 × 10 ⁴	180 × 10 ⁴	465.3	1.07
重 庆	1990	289 × 10 ⁴	40 × 10 ⁴	226.7	0.49
	1993	942 × 10 ⁴	80 × 10 ⁴	234.4	0.93
	1995	982 × 10 ⁴	95 × 10 ⁴	275.3	0.96
武 汉	1990	1734 × 10 ⁴	141.6 × 10 ⁴	244.3	1.59
	1993	1854 × 10 ⁴	155 × 10 ⁴	257.6	1.64
	1995	1998 × 10 ⁴	166 × 10 ⁴	267.2	1.70
大 连	1990	1445 × 10 ⁴	70.2 × 10 ⁴	453.5	0.41
	1993	1499 × 10 ⁴	67 × 10 ⁴	458.0	0.41
	1995	1793 × 10 ⁴	77 × 10 ⁴	465.3	0.47
南 京	1990	428 × 10 ⁴	60.8 × 10 ⁴	30.1	0.74
	1993	487 × 10 ⁴	71 × 10 ⁴	20.5	0.82
	1995	687 × 10 ⁴	77 × 10 ⁴	25	0.77
西 安	1990	951 × 10 ⁴	58 × 10 ⁴	749.7	0.22
	1993	1139 × 10 ⁴	66 × 10 ⁴	893.5	0.19
	1995	1264 × 10 ⁴	70 × 10 ⁴	921.7	0.22
沈 阳	1990	3795 × 10 ⁴	208.1 × 10 ⁴	554.4	1.04
	1993	4119 × 10 ⁴	203 × 10 ⁴	574.8	0.96
	1995	4660 × 10 ⁴	203 × 10 ⁴	593.7	1.07