



固体废物处理与资源化丛书

GUTI FEIWU CHULI YU ZIYUANHUA CONGSHU

CHENGSHI GUTI FEIQIWU NENGYUANHUA LIYONG JISHU

城市固体废弃物 能源化利用技术

第二版

解 强 主编

罗克洁 赵由才 副主编



化学工业出版社





固体废物处理与资源化丛书

城市固体废弃物 资源化利用技术

第二版

解 强 主编

罗克洁 赵由才 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分 10 章, 分别介绍了城市固体废弃物的组成及分析、性质、产生量及其影响因素、危害, 城市固体废弃物处理处置方法、资源化利用及技术构成, 城市固体废弃物的预处理, 城市固体废弃物衍生燃料的制备技术与工艺, 城市固体废弃物的焚烧, 城市固体废弃物热解技术, 城市固体废弃物的气化, 城市固体废弃物填埋气资源化利用, 城市固体废弃物的低温处理与资源化利用, 城市固体废弃物资源化利用过程中的污染控制。

本书结合了近年城市固体废弃物资源化利用技术研究的新成果, 搜集、归纳、整理了国内外的最新研究进展, 结构合理, 叙述系统, 可供环境保护、能源化工等领域的工程技术人员、研究人员参考, 也可供高等学校环境工程及相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市固体废弃物资源化利用技术/解强主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2018. 7

(固体废物处理与资源化丛书)

ISBN 978-7-122-32209-8

I. ①城… II. ①解… III. ①城市-固体废物利用-研究
IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 106001 号

责任编辑: 刘兴春 刘 婧

装帧设计: 关 飞

责任校对: 宋 夏

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

装 订: 三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 466 千字 2019 年 1 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 86.00 元

版权所有 违者必究

前言

我国经济社会的快速发展在极大地提高了民众生活水平的同时，产生了大量的城市固体废弃物，尚处高速发展阶段的城市进一步加大了城市固体废弃物的增长速度。数量庞大的城市固体废弃物对城市及城市周围的生态环境构成日趋严重的威胁，城市固体废弃物管理面临着日益严峻的考验。

国内外城市固体废弃物处置、处理、利用的实践表明，城市固体废弃物能源化利用技术，尤其是焚烧、热解、气化等热处理技术，减容、减量程度高，在二噁英、重金属等关键污染物的控制及能量的高效回收利用方面占有优势，已处于城市固体废弃物处理技术的中心地位，得到了广泛的应用。为此，科技部、发改委、工信部、环保部（现生态环境部）、住建部、商务部及中国科学院等于 2012 年联合发布《废物资源化科技工程“十二五”专项规划》，明确了城市垃圾的能源利用方向。

《城市固体废弃物能源化利用技术》第一版出版于 2004 年，图书帮助厘清了城市固体废弃物能源化利用技术的基本概念，将最初囿于焚烧的热处理技术范围拓展至热解、气化和填埋气利用，并较为系统地介绍了城市固体废弃物能源化利用技术的原理、工艺和设备，对我国城市固体废弃物能源化利用技术的发展和推广起到了一定的推动作用。在过去的十数年间，我国城市固体废弃物处理技术发展迅猛，在分类回收、均质化预处理、有机垃圾厌氧消化、填埋气体提纯与燃气利用、固体废弃物高效能源转化及二次污染控制等关键技术与装备等方面，正逐渐形成适合我国城市固体废弃物特点的能源化利用技术体系。根据城市固体废弃物能源化利用技术的现状和发展趋势，我们对该版图书进行了修订。

城市固体废弃物作为能源利用时，在许多方面与煤具有相似性，它们都是组成复杂、并随着空间和时间变化很大的固体含能物质；在能源化利用过程中都有可能产生严重的污染。因此，第一版图书的编写思路是借用能源化工观点，在考虑城市固体废弃物组成、特性的基础上，把对城市固体废弃物能源化利用技术的描述融入已成熟可靠的洁净煤技术体系。近些年来城市固体废弃物能源化利用技术开发和应用的工程实践证实了这个想法的可行性。实际上，应用洁净煤技术解决城市固体废弃物能源化利用的难题，表现出了技术上的可能性、技术开发周期的快速性和经济上的优越性。因此，本书从城市固体废弃物预处理出发，介绍了制备垃圾衍生燃料的提质环节，焚烧、热解、气化等热转化处理，同时介

绍了填埋气利用、前瞻等离子体及催化转化等先进技术，最后讨论了能源化利用过程中的污染控制方法。

此次修订更新了书中的图表数据及行业标准；新增了城市固体废弃物的危害、城市固体废物处理处置方法、细磨工艺技术；扩充了固体废弃物的压实技术、破碎方法、风力分选、RDF 的分类及性质；更新了热解工艺及设备、国内外固体废物填埋气能源化利用情况等内容，以保证全书的专业性与先进性。

本书由解强任主编，罗克洁、赵由才任副主编，参编人员有张宪生、边炳鑫、厉伟、张沛君、焦学军、沈吉敏、舒新前。修订再版过程中，罗克洁做了大量细致的具体工作，并得到了同行们和出版社的鼓励和支持，在此深表谢意。此外，对图书引用文献的作者也由衷地表示感谢。

限于作者水平和编写时间，书中疏漏与不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

解 强
2018 年 8 月于北京

第一版前言

城市是社会发展和进步、人类文明进化的重要载体，也是人类社会活动的聚集地和主要场所，同时，城市消耗了 60% 的自来水、76% 的木材、60%~70% 的能源，也“贡献”了全球 78% 的碳排放总量和其他大多数污染物，其中包括城市固体废弃物（municipal solid waste, MSW）。

随着我国城市数量的增加、规模的扩大和人口的增多，城市垃圾的发生量以年平均增长率 8.98% 的速度迅猛增加。数量庞大的城市垃圾已对城市及城市周围的生态环境构成日趋严重的威胁。此外，垃圾爆炸事故不断发生，对人民的生命财产也造成了重大损失。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”，必须对城市固体废弃物进行处理。

城市固体废弃物造成的生态与环境的危害是明显而巨大的，但从物质的观点，固体废弃物又是一种资源，而且是总量不断增长的资源。固体废弃物处理的目标是减容（量）、无害化和资源化，其中无害化（不产生二次污染）是处理技术的核心。在各种技术和方案中，城市固体废弃物资源化利用技术（目前主要是焚烧）由于具有减容、减量程度高，可同时获得能源等优势，已处于固体废弃物处理技术的中心地位，在保护环境、资源，促进可持续发展等方面均具有重大意义。

广义上的城市固体废弃物资源化利用技术，就是通过化学或生物转换，将垃圾中所含的能量释放出并加以利用技术的总称。目前开发、使用的城市固体废弃物资源化利用技术主要是垃圾的热处理技术（焚烧、热解、气化等）和生物转换技术（主要是填埋气利用）。

由于历史的原因，我国垃圾焚烧，特别是垃圾高效、洁净资源化利用技术的发展起步较晚。然而，随着人民生活质量的不断提高，我国垃圾的成分发生很大变化，热值大幅度增大，这为垃圾的资源化利用提供了物质基础。近年来在相当多的城市相继建设了生活垃圾的焚烧厂，更多的城市出现了建设垃圾焚烧厂的要求。目前，国内外对城市固体废弃物资源化利用技术的研究、开发和应用方兴未艾。

迄今，国内外有关城市固体废弃物处理与利用方面的图书中仅有少量的书籍涉及资源化利用技术，并且基本上是局限于生活垃圾的焚烧。而对于能达到城市固体废弃物高效洁净资源化利用目的的其他技术，如垃圾的热解、气化、填埋气利用等，尚未有专门图书面世。此外，各种文献里关于资源化利用技术的资料也有许多谬误，有些甚至混淆了垃圾“热解”和“气化”的概念。为此，我们结合近年来在城市固体废弃物资源化利用技术研究方面的成果，并搜集、归纳、整理了国内外最新研究进展，撰写了《城市固体废弃物资源化利用技术》一书，对城市固体废弃物资源化利用技术的概念、原理、工艺、设备等进行了系统的叙述。希望本书的出版对我国城市固体废弃物资源化利用技术的发展有一定的推动作用。

本书在编写过程中借鉴了一些能源化工的观点与方法。城市固体废弃物作为能源利用

时与煤在许多方面都有相似性：均为组成复杂、并随着空间和时间变化很大的固体含能物质；在能源化利用过程中都有可能产生严重的污染。因此，利用已较为成熟可靠的洁净煤技术（Clean Coal Technology, CCT），在考虑城市固体废弃物特性的基础上，把它们“嫁接”到城市固体废弃物能源化利用技术的研发上，就具有技术上的可能性、技术开发周期的快速性和经济上的优越性。这是本书编写过程中的基本指导思想。

本书由解强主编，边炳鑫、赵由才副主编。具体分工为：解强（第一章，第二章第二节，第三章第五节，第四章第四节，第五章第一节、第二节，第六章第三节，第七章第一节、第二节，第八章第五节、第六节，第十章第二节、第五节）；张宪生（第二章第一节、第三节，第五章第三节）；边炳鑫（第三章第一节、第二节，第七章第三节，第八章第一节，第十章第一节、第三节）；厉伟（第三章第三节、第四节，第四章第一～三节）；赵由才（第五章第四节，第十章第四节、第六节）；张沛君（第五章第五节部分，第六章第一节）；焦学军（第五章第五节部分，第六章第五节）；沈吉敏（第六章第二节、第五节，第八章第二～四节）；舒新前（第九章）。全书由解强统稿。

近年来，城市固体废弃物能源化利用技术的研究与开发是国内外固体废弃物处理和处置领域研究的焦点、投资的热点，已取得了极大的进步，各种成果层出不穷。限于作者水平，对这些新成果的介绍可能挂一漏万，疏漏也在所难免，恳请读者不吝赐教。在本书最后整合、统稿的过程中，得到了刘伟、孙慧、杨丽丽、刘昕等同志的大力帮助，在此表示感谢。同时，对书中所引用文献的作者也表示深深的谢意。

本书的编写和出版受到建设部（垃圾衍生燃料（RDF）热解与气化的技术与工艺研究 [03-2-055]）、哈尔滨市科委（城市垃圾高效洁净能源化利用关键技术与设备 [2003AA4CS128]）的部分资助。

解 强

2004 年 3 月于北京

目 录

第一章 概论 / 1

第一节 城市固体废弃物的组成及分析	1
一、城市固体废弃物的组成	1
二、城市固体废弃物的工业分析与元素分析	3
第二节 城市固体废弃物的性质	12
一、城市固体废弃物的物理特性	12
二、城市固体废弃物的化学性质	14
三、城市固体废弃物的生化性质	15
第三节 城市固体废弃物的产生量及其影响因素	16
一、城市固体废弃物的产生量	16
二、影响城市固体废弃物产生量的因素	18
第四节 城市固体废弃物的危害	20
一、对水体的污染	20
二、对大气的污染	21
三、对土壤的污染	21

第二章 城市固体废物处理与资源化利用概述 / 22

第一节 城市固体废物处理处置方法	22
一、我国城市固体废物处理处置现状	22
二、固体废物填埋技术	23
三、固体废物堆肥技术	24
四、固体废物焚烧技术	24
五、固体废物处理技术比较	25
第二节 城市固体废物资源化利用	27
一、城市固体废物资源化利用的含义	27
二、城市固体废物热处理技术	28
三、城市固体废物填埋场填埋气资源化利用	28
第三节 城市固体废物资源化利用的技术构成	28
一、引言	28

二、城市固体废物高效洁净能源化利用的技术构成 29

三、城市固体废物能源化利用的技术路线 32

第三章 城市固体废弃物的预处理 / 34

第一节 概述 34

第二节 固体废弃物的压实 35

 一、原理及目的 35

 二、压实器 36

 三、技术应用 36

第三节 固体废弃物的破碎 38

 一、破碎原理及目的 38

 二、破碎方法 38

 三、破碎流程 39

 四、破碎设备 40

 五、特种破碎方法与工艺 46

 六、细磨工艺技术 48

第四节 固体废弃物的分选 49

 一、基本原理 49

 二、手工拣选 51

 三、筛分 52

 四、重力分选 58

 五、磁选 66

 六、电选 71

 七、浮选 72

 八、其他分选方法 75

第五节 城市固体废物预处理集成工艺 77

 一、概述 77

 二、固体废物焚烧预处理工艺 78

 三、固体废物有用物质分选回收系统 78

 四、原生城市固体废物分离系统 79

第四章 城市固体废物衍生燃料的制备技术与工艺 / 82

第一节 概述 82

第二节 RDF 的分类及性质 82

 一、RDF 的概念 82

 二、RDF 的分类 83

 三、RDF 的性质和特点 84

四、RDF 的质量标准	85
第三节 RDF 的生产工艺	85
一、概述	86
二、散状 RDF 制备工艺	87
三、粉末 RDF 制备工艺	88
四、干燥成型 RDF 加工工艺	88
五、化学处理 RDF 加工工艺	89
六、液态固体废弃物衍生燃料的制备工艺	92
第四节 RDF 制备技术实例	92
一、日本 RDF 制备技术	93
二、美国 RDF 制备技术	97
三、我国的 RDF 制备技术	98
四、RDF 制备新工艺	99

第五章 城市固体废弃物的焚烧 / 108

第一节 概述	108
一、国外城市固体废弃物焚烧技术的发展与应用现状	109
二、我国城市固体废弃物焚烧技术的发展与应用现状	111
三、垃圾焚烧技术的特点	112
第二节 焚烧的基本原理	112
一、基本概念	112
二、焚烧过程	116
三、热重法研究垃圾的燃烧特性	119
四、焚烧产物、焚烧效果评价与标准	121
五、城市固体废弃物焚烧影响因素	124
六、固体废弃物焚烧热平衡及热效率	126
第三节 焚烧设备	129
一、固体废弃物焚烧方式	129
二、焚烧炉	132
三、国内制造的垃圾焚烧炉	139
四、主要垃圾焚烧炉比较	140
第四节 固体废弃物焚烧系统与工艺	141
一、垃圾焚烧处理的原则流程	141
二、城市固体废弃物焚烧厂系统构成	142
三、垃圾焚烧厂的类型	145
四、城市垃圾-煤流化床混烧工艺	146
第五节 城市生活垃圾焚烧厂实例	150
一、深圳市垃圾焚烧厂	150

二、浦东垃圾焚烧厂 152

三、上海江桥生活垃圾焚烧厂 154

四、美国佛罗里达州棕榈滩 RDF 焚烧厂 157

第六章 城市固体废弃物热解技术 / 159

第一节 概述 159

一、热解技术简介 159

二、城市固体废弃物热解技术的发展 159

第二节 热解的基本原理 162

一、基本概念 162

二、热解过程参数控制 169

三、热解动力学分析 172

第三节 热解工艺及设备 174

一、热解工艺分类 174

二、常用热解设备 176

第四节 固体废弃物热解技术的应用 179

一、废塑料的热解 180

二、污泥的热解 181

三、新日铁垃圾热解熔融系统 181

四、Purox 系统 183

五、Torrax 系统 184

六、Occidental 系统 185

七、Landgard 系统 186

八、Garrett 系统 187

九、Battelle 系统 188

第五节 固体废弃物热解产物加工 189

一、甲烷转换 189

二、甲醇转换 189

三、氨的转换 192

第七章 城市固体废弃物的气化 / 193

第一节 概述 193

第二节 城市固体废弃物气化基本原理 194

一、固体燃料的气化原理 194

二、气化方式 195

三、固体废弃物气化工艺流程 200

第三节 城市固体废弃物气化新工艺 200
 一、城市固体废弃物气化熔融技术 200
 二、城市固体废弃物直接气化熔融技术 204

第八章 城市固体废弃物填埋气能源化利用 / 206

第一节 概述 206
 一、城市固体废弃物填埋气能源化利用的意义 206
 二、国外城市固体废弃物填埋气能源化利用概况 207
 三、我国城市固体废弃物填埋气能源化利用现状 208
 第二节 填埋气的产生机理 209
 一、填埋气的产生过程 209
 二、填埋气发酵 210
 三、填埋气发酵的生化反应过程 212
 四、甲烷形成理论 216
 五、厌氧降解的反应热力学 218
 六、厌氧降解的动力学 218
 七、影响垃圾降解的因素 222
 第三节 填埋气的组成 223
 第四节 填埋气的产生量及影响因素 225
 一、影响填埋气产生量的因素 225
 二、提高产气的方法及技术 230
 三、填埋气产生量的估算 231
 第五节 填埋气的收集及预处理 235
 一、填埋气的收集 235
 二、填埋气的预处理 238
 第六节 填埋气能源化利用 241
 一、概述 241
 二、填埋气的燃烧 242
 三、填埋气能源化利用的方式 245
 四、填埋气能源化利用的经济可行性分析 249

第九章 城市固体废弃物的低温处理与能源化利用 / 251

第一节 低温等离子体处理技术 251
 一、概述 251
 二、低温等离子体反应器 252
 三、低温等离子体的发生及其作用机理 252

第二节	低温等离子体技术在固体废弃物低温处理和资源化利用中的应用	255
第三节	城市固体废弃物的中-低温催化处理	256
一、	催化反应基础	256
二、	催化剂在固体废弃物低-中温处理过程中的应用	261

第十章 城市固体废弃物资源化利用过程中的污染控制 / 264

第一节	概述	264
一、	城市固体废弃物资源化利用过程污染物的种类	264
二、	城市固体废弃物资源化利用过程中污染物的产生机制	265
三、	城市固体废弃物资源化利用污染物控排原则	267
第二节	城市固体废弃物资源化利用过程中污染物控排技术	267
一、	煤-固体废弃物混烧过程气态污染物的自脱除	267
二、	城市固体废弃物热解-气化新工艺	269
第三节	酸性气体控制技术	273
一、	湿式洗气法	273
二、	干式洗气法	274
三、	半干式洗气法	275
四、	酸性气体控制技术比较	277
第四节	灰渣的处理与利用	277
一、	灰渣的组成与特性	277
二、	灰渣中的重金属及其危害	279
三、	固体废弃物焚烧厂尾气中重金属的处理	282
第五节	毒性有机氯化物的控排	286
一、	二噁英类物质	286
二、	固体废弃物焚烧过程二噁英的控排	290
第六节	粒状污染物控制技术	293
一、	设备类型	293
二、	设备选择	296

参考文献 / 297

第一章

概 论

第一节 城市固体废弃物的组成及分析

一、城市固体废弃物的组成

城市固体废弃物又称城市生活垃圾，是指城市居民在日常生活或为城市日常生活提供服务的活动中所产生的固体废物，其主要成分包括厨余物、废纸、废塑料、废织物、废金属、废玻璃陶瓷碎片、砖瓦渣土、粪便，以及废家具、废旧电器、庭院废物等。城市固体废弃物成分构成复杂、性质多变，并且受到垃圾产生地的地理位置、气候条件、能源结构、社会经济水平、居民消费水平、生活习惯等方面因素的影响。

固体废物与非固体废物的鉴别，首先应根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中的定义进行判断；其次可根据试行的《固体废物鉴别导则》所列的固体废物范围进行判断；对物质、物品或材料是否属于固体废物的判断结果存在争议的，由国家环境保护行政主管部门组织召开专家会议进行鉴别和裁定。

我国经济的快速发展、城市化进程的加快，造成我国城市数量不断增多、规模不断扩大，随之而来的是城市固体废弃物数量的急剧增长。

根据统计年鉴，近年来我国城市固体废弃物的清运量和无害化处理量可用图 1-1 说明。

随着我国工业化和城市化的逐步推进，城市生活垃圾问题越来越受到人们的关注。当前，我国城市垃圾每年产生量接近 $2 \times 10^8 \text{t}$ ，平均每人每年生产垃圾量约 300kg ，且近年来基本以 10% 的速度在增长。诸多资料显示，我国约有 2/3 的大中型城市被垃圾“包围”，严重影响了人们的生活质量。目前，垃圾填埋是我国主要的垃圾处理方式，但由于垃圾填埋占用土地资源，而我国人口分布极不均匀，在人口密度大的地区，城市生活垃圾与土地资源紧缺的矛盾日益尖锐，急需加大垃圾焚烧和垃圾回收。

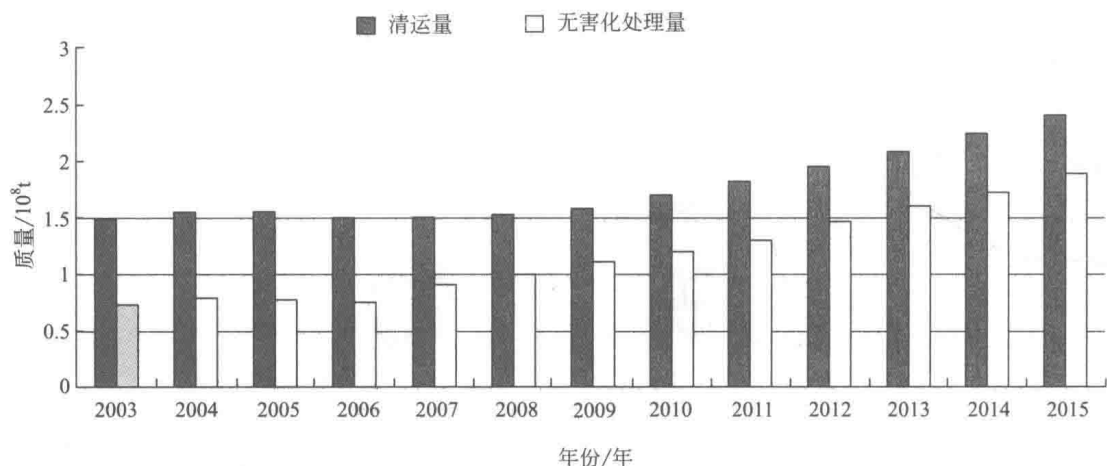


图 1-1 我国城市固体废弃物的清运量和无害化处理量

由于城市垃圾扩散性小、不易流动，成分又极不均匀，因此，垃圾组成的测定是一项非常复杂的工作，测定组成时垃圾难以用机械分离，目前仍以人工取样分选后再分别称量进行测定。一般以各成分含量占新鲜湿垃圾的质量分数表示，即以湿基率（%）表示；亦可烘干后，去掉水分再称量，以干基率（%）表示。

城市固体废弃物来源不同，所含成分会有所不同，图 1-2 为我国城市固体废弃物的产生机制。在我国，一般将城市固体废弃物分为有机物、无机物、纸类、塑料、橡胶、布、木竹、玻璃、金属 9 类，其中后 7 类属可回收废物，但其回收也是相对的，只有那些易于分拣的部分才能回收。

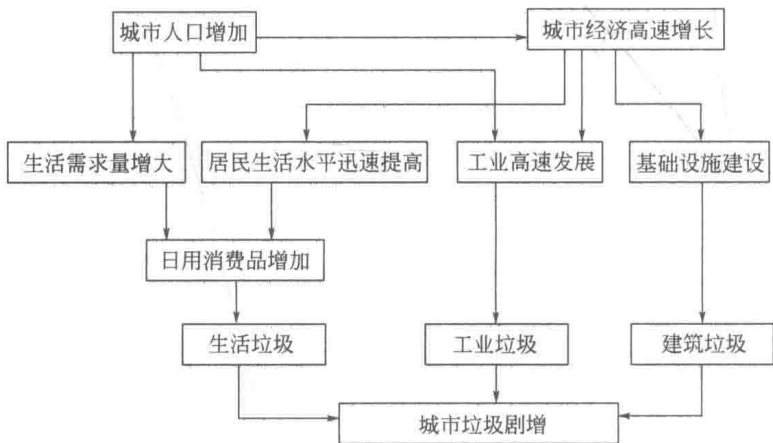


图 1-2 我国城市固体废弃物的产生机制

表 1-1 是国外和我国几个城市的固体废弃物物理成分分析对照表。表 1-2 为 21 世纪初我国城市垃圾组成的估算值。

表 1-1 国外和我国几个城市的固体废弃物物理成分分析对照表 单位：%

城市	年份/年	纸类	塑胶	木竹	织物	庭院	厨余	金属	玻璃	渣土
美国	2001	28	14.9	7.4	8.5	7.5	15.8	7.4	6.3	4.2
新加坡	2000	20.6	5.8	8.9	0.9	2.7	38.8	3.2	1.1	18
欧洲	2005	26	9	—	5	—	29	4	7	20
英国	2004	19	7	6	2	41		8	4	13
德国	—	10.3	7.9	3.3	3.5	26.6		5.4	4	39.6
澳大利亚	2001	21	11	—	5	44		4	7	8
北京	2005	9.25	11.76	1.26	—	—	63.79	—	—	9.1
苏州	2007	10.89	18.59	0.86	4.18	—	62.63	0.24	1.96	0.65
杭州	2004	7.18	14.52	1.31	2.01	—	61.52	0.18	1.94	10.62
上海	2002	9.11	13	1.26	2.91	—	68.17	0.86	3.33	1.12

注：1. 国外数据来自参考文献 [10]；2. 表中“—”为该项成分数据未进行单独检测，其中在年份数据栏的表示年份不详。

表 1-2 21 世纪初我国城市垃圾的组成（估算值） 单位：%

城市类型	垃圾组成			可再利用废品分布				
	动植物垃圾	无机垃圾	可再利用废品	纸类	玻璃	金属	塑料	织物
发达城市	45~55	15~25	25~35	20~25	15~20	5~10	35~45	10~15
较发达城市	50~60	20~30	15~25	20~25	15~20	5~10	35~45	10~15
一般城市	45~55	35~45	5~15	20~25	15~20	5~10	35~45	10~15

二、城市固体废弃物的工业分析与元素分析

对城市生活垃圾的利用，不仅需要了解其物理组成和各物理组成的分布、含量，还有必要对其典型物理组成进行工业分析和元素分析。垃圾的工业分析包括水分、固定碳、灰分，通常还包括硫分和发热量的测定。工业分析指标包括水分、灰分和可燃物（挥发分和固定碳），又被称为“三成分”，用它可近似地判断垃圾的可燃性。元素分析包括碳、氢、氧、硫、氮、磷等元素的分析。

迄今我国尚未有测试城市生活垃圾或垃圾衍生燃料组成和性质的国家标准，但按照国内外目前通行的办法，把城市生活垃圾视为与煤、油页岩等固体燃料相似的含能材料，参照煤的分析方法进行生活垃圾及垃圾衍生燃料的工业分析、元素分析、发热量和各种工艺性质。

（一）城市固体废弃物的工业分析

1. 水分

（1）概念

单位质量的生活垃圾所含的水的质量，称为生活垃圾的水分含量（含水率），简称水分。

水分是垃圾处理过程中涉及的一个重要物理参数,其值直接影响着垃圾填埋、垃圾堆肥和垃圾焚烧过程的正常进行,需进行严格控制,而且垃圾中水分含量过多也会造成垃圾筛分和空气分选的困难。

实际常用的指标是垃圾的应用基全水分 (M_{ar}),是垃圾的实际含水量。它是评价垃圾组成的最基本的指标,工艺过程中用于计算垃圾热量和质量平衡。

垃圾的外在水分 (free moisture 或 surface moisture, M_f) 指在一定条件下垃圾样与周围空气湿度达到平衡时所失去的水分。以机械方式与垃圾结合,其蒸气压与纯水的蒸气压相同。

内在水分 (inherent moisture, M_{inh}) 指在一定条件下垃圾样达到空气干燥状态时所保持的水分。

将垃圾样破碎、缩分到粒度为 3mm 或 1mm,经 50℃ 干燥,再破碎到 0.2mm,制得的垃圾样称为分析垃圾样。

(2) 垃圾水分的测定

① 二步法测定垃圾样全水分 (垃圾样粒度 > 3mm 时) 第一步,外在水分的测定。取垃圾样 500g,在 70~80℃ 下干燥至恒重。垃圾样减轻的质量占垃圾样质量的百分数,即为外在水分 (M_f)。第二步,测定内在水分。将测定外在水分所得到的干燥垃圾样破碎到 3mm 以下,取 10~15g,在 105~110℃ 下干燥至恒重,所失去的质量占垃圾样质量的百分数,即为内在水分 (M_{inh})。

垃圾样的全水分可按式(1-1) 计算。

$$M_{ar} = M_f + M_{inh} \times \frac{100 - M_f}{100} \quad (1-1)$$

② 一步法测定垃圾样全水分 (垃圾样粒度 ≤ 3mm 时) 取垃圾样 10~15g,在 105~110℃ 下干燥至恒重,所失去的质量占垃圾样质量的百分数,即为垃圾样的全水分。

(3) 分析垃圾样水分的测定

称取一定质量的分析垃圾样,在 105~110℃ 下干燥至恒重,垃圾样减少的质量占原垃圾样质量的百分数,即为分析垃圾样水分 (moisture in air-dried sample, M_{ad})。

2. 灰分

(1) 概念

城市生活垃圾的灰分 (A) 是指垃圾样品在规定条件下完全燃烧后所得的残余物占原垃圾样质量的百分数。垃圾中的灰分主要由不可燃的无机物和可燃的有机物中的燃烧残渣组成。

可燃物中的灰分一般小于 10%,原生垃圾中无机物为 20%~80%。经筛选后入炉垃圾中的不可燃无机物也有 20% 左右。垃圾含灰过多,不仅会降低垃圾热值,而且会阻碍可燃物与氧气的接触,增大垃圾着火和燃尽的难度。减少入炉垃圾灰分、改善其燃烧性能的方法有两种:一是在垃圾入炉前,尽可能地筛除不可燃的无机物;二是全面推广城市垃圾分类收集。第二种方法更为经济合理。

(2) 垃圾的灰分的测定

测定原理是,称取一定质量 (G) 的分析垃圾样品置于马弗炉内,在 (815±15)℃ 的温度下烧至恒重。根据灼烧后残渣的质量 (G_1),计算出分析垃圾样的灰分产率 (灰