



固体废物处理与资源化丛书

GUTI FEIWU CHULI YU ZIYUANHUA CONGSHU

GUTI FEIWU FENSHAO JISHU

固体废物焚烧技术

第二版

张 弛 柴晓利 赵由才 主编



化学工业出版社



固体废物处理与资源化丛书

固体废物焚烧技术

第二版

张 弛 柴晓利 赵由才 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共分八章,内容包括固体废物的特征、固体废物处理处置技术概述、固体废物焚烧技术基本原理、固体废物焚烧的政策及项目规划、生活垃圾焚烧技术概述、生活垃圾焚烧工艺、生活垃圾焚烧厂设备,以及危险废物焚烧处理等。

本书具有较强的技术性和应用性,可供环境工程、市政工程及能源工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也可供高等学校相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

固体废物焚烧技术/张弛,柴晓利,赵由才主编. —2版. —北京:化学工业出版社,2016.10
(固体废物处理与资源化丛书)
ISBN 978-7-122-27985-9

I. ①固… II. ①张… ②柴… ③赵… III. ①固体废物-垃圾焚化 IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 210038 号

责任编辑:刘兴春 刘 婧
责任校对:宋 玮

文字编辑:汲永臻
装帧设计:韩 飞

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:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张15 字数343千字 2017年3月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 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:80.00 元

版权所有 违者必究

前 言

固体废物焚烧技术是一种典型的综合体现无害化、资源化、减量化的技术，广泛适用于城市生活垃圾、工业固体废弃物、农业固体废弃物、危险废物的污染治理，在适宜的条件下具备一定的资源化潜力。现代固体废物焚烧技术经历了近 150 年的发展后，已接近成熟。中国的固体废物焚烧技术在经历了近 40 年的尝试、起步、困扰之后，也逐步进入科学发展的阶段，相关的设备制造、软件配套、企业管理水平也得到了稳步提高，但与国际的差距仍然较大，核心设备以及软件的国产化率仍有待提高，与焚烧技术相关的基础理论研究水平也亟待提高。国内垃圾焚烧行业的发展情况与垃圾成分、地区差异、经济、政策等多方面因素有关。

本书在修订过程中，补充了最新的工程技术应用成果以及科研成果；对固体废物焚烧所涉及的过程原理、物质平衡、热量平衡、焚烧效果判定方法进行了解释；对近年来的固体废物焚烧政策、法规体系、技术体系进行了论述解释；对“三化”技术政策之间的关系进行了分析，对减量化、无害化、资源化的具体实现方法进行了详细阐述；对固体废物焚烧厂项目环境影响评价的相关问题、中国生活垃圾焚烧行业影响因素、垃圾焚烧厂规模的确定方法、焚烧厂的建设原则、建设流程进行了分析；对近年来在固体废物焚烧项目的融资模式及其风险规避进行了解释；对近年来生活垃圾焚烧厂总体规划、面积确定、总图设计等领域的经验进行了总结分析；对生活垃圾焚烧厂的设备选型模式、设备选用方法进行了介绍；从原理、设备、运行、管理等多方面，对垃圾焚烧厂的前处理工艺、主体工艺、辅助工艺进行了详细地分析解释；对炉排炉、流化床、回转窑、热解汽化等多种技术在垃圾焚烧厂的设备及运行特点进行了详细论述；对垃圾焚烧相关的烟气净化、残渣处置、飞灰处置、噪声控制、恶臭控制、废水处理原理、设备特点进行了科学总结；对垃圾贮存、上料、检测、中控、报警、应急保护、焚烧炉运行等相关的常见故障疑难进行了总结论述；对危险废物的特性、预处理、收运、处理、处置等各个环节的技术理论与工程经验进行了分析；介绍了国外与国内的典型危险废物焚烧工程实例。

本书主要介绍了固体废物焚烧原理、焚烧工艺、焚烧设备，相关的污染治理、余热利用、发电配套设备设施，以及焚烧厂的建设运营理论与技术、经验。全书编写贯彻了科学性、实用性、全面性的原则。本书以丰富的技术应用实例作为理论叙述的补充，可作为环境保护相关部门、环境卫生管理部门、固体废物焚烧厂设计建设单位以及相关科研单位、高等学校有关专业人员的参考资料。

本书所列出的设备和生产厂家，仅仅是出于全书的完整性和论述的需要，撰写人员和出版社不为相关设备和厂家提供任何保证和推荐，也不为任何由于使用相关设备所造成的损失和其他任何问题承担经济责任和法律责任。由于时间仓促，难免存在错误和疏漏，敬请广大读者批评指正。

本书编写人员分工如下：第一章由张弛、柴晓利、赵由才编写；第二章由张弛编写；

第三章由杨艳青编写；第四章由李晓姣、赵由才编写；第五章由张弛、杨志宏、柴晓利编写；第六章由杨艳青、柴晓利编写；第七章由张弛、柴晓利、王国红、罗安然编写；第八章由李晓姣、卫丽、李兵、柴晓利编写。书稿最后由赵由才统稿、定稿。

限于编者水平及编写时间，书中不足和疏漏之处在所难免，敬请读者提出修改建议。

编者

2016年8月

目 录

第一章 固体废物的特征	1	五、焚烧效果	42
第一节 固体废物的来源与分类	1	第四章 固体废物焚烧的政策及项目规划	44
一、固体废物的来源	1	第一节 固体废物污染防治法规标准体系及技术政策	44
二、固体废物的分类	2	一、固体废物污染防治法规体系	44
第二节 生活垃圾的性质	5	二、固体废物污染防治标准体系	45
一、生活垃圾的理化性质及其与焚烧的关系	5	三、固体废物污染防治技术政策	45
二、生活垃圾性质的影响因素	6	第二节 固体废物焚烧的政策法规标准	46
三、生活垃圾性质的采样分析	7	一、国内外固体废物焚烧政策法规概述	46
第三节 固体废物的污染与迁移转化	9	二、我国关于固体废物焚烧的相关标准	48
一、固体废物污染概述	9	三、固体废物焚烧的技术指标体系	50
二、固体废物的迁移转化	10	第三节 固体废物焚烧项目环境影响评价	51
第二章 固体废物处理处置技术概述	13	一、厂址选择	52
第一节 固体废物处理技术	13	二、技术和装备	52
一、固体废物的技术政策	13	三、污染物控制	52
二、固体废物的减量化技术	13	四、垃圾的收集、运输和贮存	53
三、固体废物的无害化技术	15	五、环境风险	53
四、固体废物的资源化技术	16	六、环境防护距离	53
第二节 固体废物处置技术	20	七、公众参与	54
一、固体废物处置的含义与分类	20	八、环境质量现状监测及影响预测	54
二、固体废物土地填埋处置概述	21	第五章 生活垃圾焚烧技术概述	55
三、有毒有害废物的安全土地填埋	22	第一节 生活垃圾焚烧的发展历史	55
四、中低放射性废物的浅地层埋藏	22	一、国际生活垃圾焚烧技术发展历史	55
五、高放射性废物的深层处置	23	二、中国生活垃圾焚烧技术发展历史	57
六、污泥处置	23	三、中国生活垃圾焚烧行业影响因素	59
第三章 固体废物焚烧技术基本原理	25	第二节 生活垃圾的产量与焚烧厂规模	62
第一节 概述	25	一、生活垃圾产量预测	62
第二节 焚烧的概念	27	二、生活垃圾焚烧厂规模的确定	63
一、焚烧的定义	27	第三节 生活垃圾焚烧厂工程项目	64
二、焚烧的影响因素	27	一、焚烧厂建设基本原则	64
三、固体废物的其他热处理技术	30	二、焚烧厂建设流程	66
第三节 焚烧过程与工艺	31	三、我国垃圾焚烧厂的融资问题	66
一、焚烧过程	31		
二、焚烧过程的物质平衡	33		
三、焚烧过程的热量平衡	35		
四、焚烧工艺	40		

四、生活垃圾焚烧厂总体规划设计	70
第四节 垃圾焚烧厂设备选择	73
一、我国垃圾焚烧厂的关键设备选型模式	73
二、生活垃圾焚烧厂主要设备选择	76
第六章 生活垃圾焚烧工艺	81
第一节 生活垃圾焚烧工艺概述	81
第二节 生活垃圾焚烧主体工艺	82
一、概述	82
二、焚烧系统	82
三、助燃系统	82
第三节 生活垃圾焚烧辅助工艺	84
一、前处理工艺	84
二、余热利用	86
三、自控、监测系统	87
四、电气工程	88
第四节 生活垃圾焚烧相关环保工程	88
一、烟气净化	88
二、残渣处置	101
三、飞灰处置	102
四、噪声控制	105
五、恶臭控制	109
六、废水处理	116
第七章 生活垃圾焚烧厂设备	122
第一节 概述	122
第二节 前端准备系统设施设备	123
一、概述	123
二、垃圾称重系统	124
三、垃圾卸料系统	125
四、分选系统	128
五、破碎系统	130
六、上料系统	132
第三节 生活垃圾焚烧炉	135
一、国内外焚烧炉概述	135
二、炉排型焚烧炉	136
三、流化床焚烧炉	142
四、回转窑焚烧炉	146

五、热解汽化焚烧炉	149
第四节 外围辅助设备	153
一、助燃系统	153
二、余热利用系统	153
三、余热发电和热电联供	158
四、自控监测系统	162
五、环保设施设备	165
第五节 垃圾焚烧厂常见故障疑难	166
一、垃圾贮存与上料系统常见故障	166
二、垃圾焚烧厂的检测问题	167
三、垃圾焚烧厂的中控问题	169
四、垃圾焚烧厂的报警及应急保护	169
五、焚烧炉、余热锅炉常见问题	170
第八章 危险废物焚烧处理	172
第一节 危险废物概述	172
一、危险废物的定义与特性	172
二、危险废物鉴别方法	173
三、危险废物名录	175
第二节 危险废物处理处置原理	177
一、概述	177
二、危险废物焚烧技术原理	179
第三节 危险废物焚烧处理技术	190
一、危险废物收运系统	190
二、危险废物进料系统	192
三、危险废物焚烧系统	193
四、危险废物焚烧炉设备	199
五、尾气处理技术与设备	206
六、焚烧灰渣处理技术	211
第四节 医疗废物焚烧处理工艺	213
一、进料系统	213
二、焚烧系统	213
三、其他辅助系统	220
第五节 危险废物焚烧处置工程实例	220
一、德国 SAVA 公司危险废物焚烧工程	220
二、医疗废物焚烧工程实例	223
参考文献	229

第一章 固体废物的特征

第一节 固体废物的来源与分类

一、固体废物的来源

严格来讲，固体废物属于暂时失去人类对其原设定价值的“弃”物，只是由于时间与空间的原因未能匹配其价值属性而变成“废”物，因而固体废物只是相对意义上的废物，具有很强的时间性和空间性。随着固体废物资源化技术的发展，某一特定时空领域的废物在另一个时空领域也许就是宝贵的资源，因此固体废物又被称为“在时空上错位的资源”。

固体废物既是人类活动直接产生的典型污染物，又是各类环保设施（污水处理、大气污染治理、固废处理）二次污染物的最终形态（泥、渣类物质）。

从包含的物质内容而言，固体废物经常不仅是固体形态，也包含一定量的半固态、液态、气态物质，其中的许多液态和气态成分属于高环境危害性的危险废物。因此固体废物是环境污染物的综合体，这也就决定了固体废物处理处置工作的复杂程度超出其他形态的污染治理。固体废物治理的工作内容，其实也包含了相关的液体、气体治理内容。固体废物治理是一个技术的综合体。

固体废物主要来源于人类的生产、流通、消费等各类活动。统计表明，人类各项活动从大自然索取的物质或产品中，仅有 10%~15% 以各种有价值形态保存于各种人工物质环境中，其他的 85%~90% 都成为废物，这些废物最终的归宿大部分都成为固体形态。

固体废物的定义因产生过程、具体性质和法律法规的不同而存在明显差异。在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中，固体废物是指在生产建设、日常生活和其他活动中产生的污染环境的固态、半固态废弃物质。

总体而言，固体废物一般具有如下特性。

- (1) 无主性 固体废物被丢弃后不再属于谁，不易找到具体的责任主体。
- (2) 分散性 丢弃、分散在各处，需要收集。
- (3) 危害性 对人们的生产和生活产生不便，危害人体健康。
- (4) 错位性 一个时空领域的废物在另一个时空领域可能是宝贵的资源。

城市固体废物散布在城市生活、生产等各个环节中。具体的可界定为八种来源：居民家庭来源、市政环卫来源、餐饮业来源、商业来源、建筑施工来源、企业来源、污泥来源、其他零散来源。

工业固体废物的来源众多。采矿废物主要来源于煤矿、铜矿、石灰石开采等环节产生的各种围岩和尾矿。冶金废物主要来源于炼铁、炼钢、铝氧生产、重金属冶炼。能源工业废物主要来源于煤炭燃烧、电厂。化学工业废物主要来源于磷酸盐生产、硫酸制造、各种催化反应过程、石油炼制、烧碱和纯碱生产。食品和水产品加工废物主要来源于肉联厂、水产加工厂、碾米厂、油脂加工厂、酒厂、酱油厂。

农业固体废物来源于村镇居民家庭、农村环卫、农村建筑施工、田间种植业、散布式种植业、林业、畜禽养殖业。

危险废物的来源非常繁杂，主要有：

①医院、医疗中心和诊所的医疗服务；②医用药品的生产制作过程（包括兽药制造）；③药品的过期、报废环节；④杀虫、灭菌、除草、灭鼠和植物生长调节剂的生产、经销、配制和使用过程；⑤木材防腐化学品的生产、配制和使用过程；⑥有机溶剂生产、配制和使用过程；⑦含有氯化物热处理和退火作业；⑧机械加工、设备清洗等过程；⑨精炼、蒸馏、热解处理过程；⑩油墨、染料、颜料、涂料、真漆、罩光漆的生产配制和使用过程；⑪树脂、胶乳、增塑剂、胶水/胶合剂的生产、配制和使用过程；⑫排放危险废物的科研、技术开发、教学活动；⑬生产、销售、使用爆炸物品过程；⑭摄影化学品、感光材料的生产、配制、使用过程；⑮金属和塑料表面处理过程；⑯工业废物处置作业过程；⑰碳基化合物制造、使用过程；⑱无机氟化物生产、使用过程；⑲涉及危险废酸液、固态酸及酸渣的工业生产、配制、使用过程；⑳产生石棉、含有机磷、含有机氟化物、含酚化合物、含醚废物的生产过程；㉑卤化有机溶剂生产、配制、使用过程；㉒产生含铍、六价铬、铜、锌、砷、硒、镉、锑、碲、汞、铊、镍、铅及其化合物的废物的生产、使用过程；㉓涉及无机氟化物的废物（不包括氟化钙、氟化镁）、多氯苯同系物的并呋喃类、多氯苯并二噁英同系物、钡化合物的废物（不包括硫酸钡）的生产、使用过程。

注：上述过程是危险废物产生的可能来源，其过程若能够严格控制，则可能避免产生排放危险废物。

医疗废物的来源，主要是医院、诊所、门诊部、卫生院、疗养院、卫生所（室）、急救站、各类社会临时采血站、应急医疗站、医学相关的科学研究机构、医学教育机构等场所。

二、固体废物的分类

固体废物的种类繁多而且性质各异，为了便于固体废物的全过程管理，有必要对固体废物进行分类。固体废物有多种分类方法。

按其行业来源可分为工业固体废物、农业固体废物、城市生活垃圾、军工固体废物等。

按其污染特性可分为危险废物和一般废物等。

按其组成可分为有机废物和无机废物。

按其形态可分为固态废物、半固态废物和液态（气态）废物。

从焚烧角度而言，固体废物可以分为可烧固体废物、宜烧固体废物、不宜烧固体废物。

从焚烧产生污染的可能性而言，固体废物可以分为高焚烧风险物质（如含氯高分子类固体废物，含重金属类固体废物）、低焚烧风险物质（灰土类、玻璃类、金属类、纸类）。

我国采用固体废物的来源和特殊性质相结合的方法来对固体废物进行分类。在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中，固体废物分为工业固体废物、城市生活垃圾和危险废物三类。

（一）工业固体废物

工业固体废物是指在工业交通等生产活动过程中产生的固体废物。按工业固体废物的产生行业划分，具有代表性的工业固体废物有冶金工业、能源工业、石油及化学工业、矿业、轻工业和其他工业六种工业固体废物。

1. 冶金工业固体废物

冶金工业固体废物主要包括各种金属冶炼或加工过程中所产生的废渣，如高炉炼铁产生的高炉渣、平炉转炉电炉炼钢产生的钢渣、铜镍铅锌等有色金属冶炼过程产生的有色金属渣、铁合金渣及提炼氧化铝时产生的赤泥等。

2. 能源工业固体废物

能源工业固体废物主要包括燃煤电厂产生的粉煤灰、炉渣、烟道灰、采煤及洗煤过程中产生的煤矸石等。

3. 石油及化学工业固体废物

石油化学工业固体废物主要包括石油及加工工业产生的油泥、焦油页岩渣、废催化剂、废有机溶剂等，化学工业生产过程中产生的硫铁矿渣、酸渣碱渣、盐泥、釜底泥、精（蒸）馏残渣以及医药和农药生产过程中产生的医药废物、废药品、废农药等。

4. 矿业固体废物

矿业固体废物主要包括采矿废石和尾矿，废石是指各种金属、非金属矿山开采过程中从主矿上剥离下来的各种围岩，尾矿是指在选矿过程中提取精矿以后剩下的尾渣。

5. 轻工业固体废物

轻工业固体废物主要包括食品工业、造纸印刷工业、纺织印染工业、皮革工业等工业加工过程中产生的污泥、动物残物、废酸、废碱以及其他废物。

6. 其他工业固体废物

其他工业固体废物主要包括机加工过程产生的金属碎屑、电镀污泥、建筑废料以及其他工业加工过程产生的废渣等。

（二）城市生活垃圾

城市生活垃圾又称为城市固体废物，是指在城市日常生活中或为城市日常生活服务

的活动中产生的固体废物，以及法律、行政法规视作城市生活垃圾的固体废物。城市生活垃圾主要来自于城市居民家庭、城市商业、餐饮业、旅馆业、旅游业、服务业、市政环卫业、交通运输业、街道打扫垃圾、建筑遗留垃圾、文教卫生业和行政事业单位、工业企业单位、水处理污泥和其他零散垃圾等。城市生活垃圾的成分复杂，主要包括厨余物、废纸、废塑料、废织物、废金属、废玻璃、陶瓷碎片、砖瓦渣土、废旧电池、废旧家用电器等。影响城市生活垃圾成分的主要因素有居民的生活水平、质量和习惯，季节，气候等。

目前我国城市垃圾的分类主要是根据城市垃圾产生或收集来源进行分类，通常可分为以下几类。

(1) 家庭垃圾 是居民住户排出的包括厨余垃圾和纸类、废旧塑料、罐头盒、玻璃、陶瓷、木片等零散垃圾在内的日常生活废物。

(2) 庭院垃圾 包括植物残余、树叶、树杈及庭院其他清扫杂物。

(3) 清扫垃圾 指城市道路、桥梁、广场、公园及其他露天公共场所由环卫系统清扫收集的垃圾。

(4) 商业垃圾 指城市商业、各类商业性服务网点或专业性营业场所（如菜市场、饮食店等）产生的垃圾。

(5) 建筑垃圾 指城市建筑物、构筑物进行维修或兴建的施工现场产生的垃圾（但建筑垃圾一般不允许与常规生活垃圾直接同时处理处置）。

(6) 其他垃圾 是除以上各类产生源以外场所排放的垃圾的统称。

另外，根据处理处置方式或资源回收利用可能性，城市生活垃圾可简易分为可回收废品、易堆腐物、可燃物及其他无机废物四大类，或者有机物、无机物、可回收物品三大类。

(三) 危险废物

危险废物是指列入国家危险废物名录或是根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法，认定具有危险特性的废物，我国危险废物的相关标准主要包括《国家危险废物名录》和《危险废物鉴别标准》。危险废物的主要来源是工业固体废物，据估计我国工业危险废物的产生量约占工业固体废物产生量的 3%~5%，主要分布在化学原料和化学制造业、采掘业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、石油加工业及炼焦业、造纸及制品制造业等工业部门。城市生活垃圾的废电池、废日光灯、废弃日用化工产品以及医疗废物（见表 1-1）也是危险废物中不容忽视的一部分。

表 1-1 医疗废物的分类

类 别	特 征
感染性废物	携带病原微生物具有引发感染性疾病传播危险的医疗废物
病理性废物	诊疗过程中产生的人体废弃物和医学实验动物尸体等
损伤性废物	能够刺伤或者割伤人体的废弃医用锐器
药物性废物	过期、淘汰、变质或者被污染的废弃药品
化学性废物	具有毒性、腐蚀性、易燃易爆性的废弃化学物品

由于危险废物含有高度持久元素、化学品或化合物，具有毒害性、爆炸性、易燃性、

腐蚀性、化学反应性、传染性、放射性等一种或几种危害特性，对人体健康和环境具有极大的直接或潜在危害，因此是废物管理、处置体系的工作重点。

第二节 生活垃圾的性质

一、生活垃圾的理化性质及其与焚烧的关系

城镇生活垃圾是固体废物处理工作的主要对象之一，更是固体废物焚烧工作的最主要对象。因此，对生活垃圾性质的把握，会直接影响其焚烧的可行性、焚烧的效率、焚烧后的污染等问题。中国城市生活垃圾组成的典型组分以及热值分析数据见表 1-2。

表 1-2 城市生活垃圾组成的典型组分与热值

垃圾物料类别	组成(质量比)/%				热值/(kJ/kg)	
	挥发分	固定碳	水分	不可燃分	湿基	干基
混合厨余废物(素食倾向类)	15.5~24.8	3.8~4.6	65.0~82.0	0.4~4.3	4010~4360	14220~18860
混合厨余废物(肉食倾向类)	47.6~95.5	1.4~2.2	2.0~42.2	0.2~3.3	14510~36229	25862~38010
混合废纸类	60.5~92.5	4.8~14.9	3.2~13.9	1.8~21.6	12443~25490	13906~27114
混合塑料类	86.2~98.5	0.05~9.6	0.02~0.50	0.7~8.9	22908~41465	23153~43220
木材、园林类	26.6~68.4	7.7~14.6	12.0~63.9	0.4~1.2	5120~18225	11340~20620
皮革橡胶类	52.0~88.2	3.5~18.6	2.9~12.6	9.2~12.4	16022~26340	18343~27881
废布料类	52.5~69.3	19.4~21.0	8.4~12.5	6.9~7.1	15052~16339	18559~20031
玻璃类	—	—	0.1~2.0	95.0~99.9	182~195	188~205
废金属类	—	—	1.0~2.0	98.0~99.0	1275~1530	1280~1519

我国幅员辽阔，社会经济发展、城市发展状况千差万别，这导致生活垃圾的组成、性质差异较大。其中的挥发分、固定碳、水分、可燃分含量差异较大，其湿基、干基热值的规律也存在一定的不确定性。这种不确定性不仅与生活垃圾本身的化学组成比例相关，而且与其所存在的地理环境、气象条件、环卫单位收集运输的方式、暂存的容器、暂存的时间等因素都有相关性。

对焚烧工艺而言，生活垃圾的单位热值必须达到一定的要求。对不同的焚烧厂，其入炉的物料热值要求也不同，例如，炉排炉的要求一般比流化床炉更高。生活垃圾的热值是指单位质量的生活垃圾燃烧释放出来的热量，以 kJ/kg（或 kcal/kg）计。热值分为高位热值（粗热值）和低位热值（净热值）。高位热值是指化合物在一定温度下反应到达最终产物的焓的变化。用氧弹量热计测量的是高位热值。低位热值与高位热值的意义相同，只是产物的状态不同，前者水是液态，后者水是气态。所以，二者之差就是水的汽化潜热。

目前我国内陆城市的生活垃圾平均低位热值不超过 4200kJ/kg，通常在 2600~4100kJ/kg 之间，设计人员在设计中一般取其平均热值或为了安全取其保守值。有时也可以考虑采用煤作为助燃燃料。工程设计中，认为煤的热值为 8500~25000kJ/kg。由于城市生活垃圾的成分和热值在一年四季中是变化的，春秋两季的垃圾水分较低、热值较高；

冬季垃圾水分低，但灰渣类物质相对较多，热值偏低；夏季垃圾因水分明显高于全年平均水平，热值也偏低。部分城市的生活垃圾的低位热值较低，不能达到自燃的要求；部分城市生活垃圾中灰渣含量较高，制约了焚烧减量化效益的发挥；随着我国经济的发展，大多数城市垃圾正向着含水率降低、可燃成分逐渐增加的趋势发展。中等经济水平以上城市的垃圾热值一般在 2512~4605kJ/kg，个别地区已达 3349~6280kJ/kg，已达到或接近垃圾焚烧的要求。

二、生活垃圾性质的影响因素

生活垃圾的理化性质与其他固体废物有显著的差异，不仅因为其理化指标的不同，更表现在其性质的波动性方面。因此，生活垃圾的性质非常复杂，这种复杂性增加了其焚烧工程的决策难度，也增加了其焚烧过程的控制难度。在某些时候，这种生活垃圾性质的波动性与复杂性，直接导致垃圾焚烧项目难以实施甚至得出否定性结论。

我国生活垃圾理化特征变化的影响因素主要包括以下几种。

1. 城镇经济发展水平

衡量经济发展水平的常用指标有国民生产总值、国民收入、人均国民收入、经济发展速度。我国的区域经济差距十分明显，东南部地区经济相对发达，西部地区经济相对落后。城市与乡村的差异较大，但个别农村地区的发展水平又有优于城市的特例。城镇经济发展水平会影响生活垃圾的可燃物所占比例、含水率等指标。高收入居民集聚的高档住宅小区，一般禁止废品回收从业人员进入小区，这也会间接提高此类小区垃圾箱中生活垃圾的热值数据。

2. 居民生活水平、生活习惯

随着居民生活水平的提高，生活垃圾中可燃组分（塑料、纸类、木材、橡胶类物质）比例一般会显著上升，这会给垃圾焚烧处理创造有利条件。生活水平的提高有可能引发生活用品包装材料比例的大幅度上升，其中的物品过度包装也起到了推波助澜的作用。居民生活习惯也会影响其自发售卖废品的次生习惯，统计规律表明，经济收入相对较高的人群，其自发分拣垃圾售于废品回收站的倾向会下降，这使得该地区垃圾箱中物料的可回收物品比例提高。经济不发达地区的居民，更具备家中自行分拣高热值废品出售于废品回收站的倾向，这也会导致市政环卫部门收集到的垃圾热值降低。

居民生活水平也会间接反映在其食材原料上，继而反映于厨余垃圾的成分方面，素食倾向与肉食倾向的餐饮生活习惯会导致差异性的厨余废物组成。

3. 燃料结构

居民燃料结构是制约生活垃圾成分的重要因素。居民燃料用途包括炊用燃料、取暖燃料等方面。我国大多数城镇的居民燃料物质形态包括气体燃料、固体燃料、液体燃料等形态。其中气体燃料主要有管道煤气、管道天然气、液化石油气等；固体燃料主要有煤炭、型煤、蜂窝煤、煤泥、牛粪类、木材类、秸秆类物质等；液体燃料主要有汽油、煤油、柴

油、燃料油、人造汽油、油泥等物质。根据居民的燃料结构，典型的分类方法是居民分为双气户、单气户、纯煤户。一般而言，双气户居民生活垃圾的热值较高，单气户次之，纯煤户居民生活垃圾的热值最低。在煤矿生产集中地区，居民直接采用煤炭制品作为燃料的倾向较强，生活垃圾中的灰土成分比例较大，其生活垃圾热值一般偏低。

4. 地理气候因素

地理气候也会影响垃圾的成分。我国南方与北方的差异、沿海与内陆的差异比较明显。调查显示，对气温偏高、降雨量高的城市而言，其生活垃圾的热值相对于寒冷地区一般会高些。当水分与热量条件好时，植物以及食材中的蔬菜水果种类多、产量大，会导致生活垃圾中的生物质成分提高，物料的热值会提高。北方干旱（半干旱）城市的生活垃圾中不可回收无机物的比重多于南方，而南方高温多雨城市的不可回收有机物的比重多于北方城市。北方冬季取暖压力较大，燃料消耗量大，更易于引发灰渣类物质在生活垃圾中出现的概率。

5. 政策因素

城市管理、市政管理、环卫管理政策的变动，也会影响生活垃圾成分。例如：“净菜进城”等城市管理政策，会抑制菜叶类厨余垃圾的比例。市容环境卫生管理加强后，会促使街道垃圾成分的变化。

6. 拾荒因素

对中国而言，拾荒行为对生活垃圾的成分影响较大。例如，拾荒者大量捡取垃圾箱中的铁类、玻璃瓶、纸类、塑料类物品后，会大大降低上述物品的比例。一般而言，拾荒者捡取热值高的物品后，会导致城市混合垃圾总体热值的显著下降。拾荒行为会受政策限制，也会受经济发展水平或者行业景气因素影响，例如：玻璃制造、塑料制造行业不景气时期，会制约拾荒者对垃圾中玻璃、塑料物品的手工回收积极性。因此，许多行业对于垃圾热值也有间接的影响。

对于同一个城市而言，其垃圾成分与性质在不同城区是有差异的。中国内陆北方城市生活垃圾在新城区、旧城区、近郊区、混合垃圾指标之间的差异，可借鉴参考表 1-3。

表 1-3 生活垃圾特征参考值（基准：湿基）

项目 类别	有机物 /%	无机物 /%	含水率 /%	容重 /(kg/L)	灰分 /%	可燃物 /%	热值 /(kJ/kg)
近郊	14.1	85.5	10.24	0.45	85.36	13.71	1906
新城区	65.4	34.7	52.13	0.23	14.80	23.42	3695
旧城区	16.6	83.6	26.27	0.46	62.66	13.22	1822
混合垃圾	22.72	77.25	30.96	0.35	44.51	19.83	2740

三、生活垃圾性质的采样分析

对生活垃圾性质的采样与分析，是决策垃圾处理工程建设、运行问题的重要前提。垃

圾采样是否科学，分析是否正确，是垃圾焚烧厂决策的关键因素。

在进行生活垃圾采样、分析时需注意以下问题。

1. 布点的全面性

可以按照城区功能区域划分，全面地布设取样点。

在实测城市生活垃圾时，采样点的布置可以参照表 1-4 进行布置。

表 1-4 垃圾采样点分布表

1 级分区	2 级分区	采样点密度参考级别
商业区	商场	1 级
	饭店	2 级
交通枢纽区	火车站	2 级
	汽车站	2 级
	轻轨地铁站	3 级
居民生活区	双气楼房区	2 级
	单气楼房区	1 级
	平房区	1 级
事业区		3 级
道路带		3 级
文化娱乐区		1 级
医疗卫生区		2 级
垃圾转运站		2 级
垃圾收运车辆		3 级
垃圾处理厂		3 级
工业区		3 级

注：具体的执行标准可以参考《生活垃圾采样和物理分析方法》（CJ/T 313—2009）执行。

2. 采样的长期性

由于城市生活垃圾具有随时间变化的特点，而且这种变化有时还很剧烈。因此，垃圾采样需兼顾时间因素。例如：兼顾冬季与夏季、采暖季与非采暖季、重大节假日（除夕夜、圣诞节、双十一购物时段等时间因素均会显著影响垃圾产量与成分）、雨季与旱季等。

3. 采样的频率与周期

产生源生活垃圾采样与分析以年为周期，采样频率为每月 1~2 次。对于特殊月份或时段，需适当增减采样频率。采样时间间隔一般大于 10d。同一采样点的采样间隔时间不宜小于 7d。调查周期小于一年时，可增加采样频率。垃圾流节点的生活垃圾采样与分析应根据该类节点的特性、设施工艺要求、测定项目类别，确定采样周期和频率。此处的“垃圾流节点”是指垃圾产生、收集、转运、运输、处理所涉及的物流线路的交汇点。

4. 生活垃圾中的危险废物量判断

生活垃圾中存在的废电池、废日光灯、水银温度计、药品、化学品等，可能属于危险

废物,但其存在的场合、居民区差异较大。在有些城区,此类危险品出现的频率较高,但有些城区可能极少,这种不均匀性会显著影响对生活垃圾中危险品的判断。平均而言,当采样量大于 0.4m^3 时,包含危险品的可能性大于 20%。当采样量小于 0.4m^3 时,危险品含量异常高或异常低的风险偏大。

5. 生活垃圾分析方法

按照相关的国家标准、行业标准执行,主要包括《生活垃圾采样和物理分析方法》(CJ/T 313—2009)、《煤的发热量测定方法》(GB/T 213),以及关于城市生活垃圾中的有机质、总铬、汞、pH 值、镉、铅、砷、全氮、全磷、全钾的城镇建设行业推荐标准的测定方法规定。

第三节 固体废物的污染与迁移转化

一、固体废物污染概述

固体废物特别是有害固体废物,如处理或处置不当,就会对环境造成不同程度的影响和危害。固体废物中有害物质对环境的影响或危害存在一个阈值,这取决于固体废物的性质、数量或浓度。如果固体废物中环境有害物质含量或浓度低于这个阈值,就不会对环境产生危害。生活垃圾中废电池、废日光灯等虽然所占比重较小,如在环境中不断积累,就会对环境造成严重污染和危害。因此,在进行固体废物处理时,必须准确掌握处理的量和度。过分强调所涉及的固体废物的毒性和造成一定污染的数量,都可能会增加处理成本。

固体废物的环境危害主要表现在以下几个方面。

1. 侵占土地

固体废物不经减量化处理或处置直接露天堆放,堆积量越大则占地越多。固体废物中工业固体废物侵占土地的问题尤其突出。据估算每堆积 $1 \times 10^4\text{t}$ 废渣约需占地 1 亩 ($1\text{亩} = 666.67\text{m}^2$),每年几亿吨的工业废渣则占地几万亩。固体废物堆放侵占建设用地和农业耕地的现象,在我国许多城市尤其是中小城市和采矿区相当普遍。在目前土地资源日趋紧张的情况下,固体废物露天堆放肆意侵占土地的问题已不容忽视。

2. 污染土壤

土壤是许多细菌、真菌等微生物形成的一个生态系统,在自然界物质循环中担负着碳循环和部分氮循环等重要任务。通常固体废物中含有少量持续性有机污染物和重金属元素,但固体废物长期大量露天堆放,环境有害物质会随降雨和渗出液渗入土壤。持续性有机污染物和重金属元素在土壤里难以挥发降解,会不断积累,毒害土壤中微生物,对土壤生态环境也会造成长期的不可低估的影响。例如,20 世纪 70 年代,美国在密苏里州为了控制道路粉尘,曾把混有 2,3,7,8-TCDD 的淤泥废渣当作沥青铺撒路面,造成土壤污

染,土壤中 TCDD 浓度高达 300×10^{-9} , 污染深度达 60cm, 致使牲畜大批死亡, 人们备受各种疾病折磨。

3. 污染水体

固体废物引起水体污染的途径有: 随天然降水径流进入河流、湖泊, 或因较小颗粒随风飘迁, 落入河流、湖泊, 污染地面水; 随渗滤液渗透到土壤中, 进入地下水, 使地下水污染; 废渣直接排入河流、湖泊或海洋, 造成污染。

目前在我国许多城市的郊区存在相当数目的生活垃圾露天堆场。生活垃圾中的有害物质随垃圾渗出液渗入周边地表水或地下水, 已经造成了严重的水体污染问题。例如, 在哈尔滨市某生活垃圾简易填埋场周边, 地下水浊度、色度, 锰、铁、酚、汞含量和大肠杆菌数严重超标, 其中汞含量超标 29 倍, 细菌总数超标 4.3 倍。

4. 污染大气

有机固体废物在适宜的温度和湿度下, 经某些有机微生物的分解, 固体废物释放出有害气体; 有毒有害废物还可发生化学反应产生有毒气体; 颗粒粒度小的废渣, 如粉煤灰堆, 遇大风产生扬尘, 造成大气的粉尘污染; 在固体废物的运输和处理过程中, 也会产生有害气体和粉尘。

焚烧是固体废物处置技术之一, 固体废物可以达理想的减量化。但是不恰当的焚烧可以导致二次污染, 已成为有些国家大气污染的主要来源之一。固体废物露天焚烧炉烟气中的粉尘在接近地面处的浓度达到 0.56g/m^3 。同时固体废物焚烧的二噁英污染问题已在国际上引起了高度重视。因此对固体废物进行处置时必须充分注意二次污染问题。

5. 影响环境卫生

目前随着城市人口剧增, 垃圾粪便排放量很大。据全国 300 个城市的统计, 城市垃圾的清运量仅占产生量的 40%~60%, 无害化处理率平均只有 1.6%, 50% 以上的垃圾任意倾倒或堆积在城市的一些死角。固体废物露天堆放, 既有碍市容市貌, 又容易滋生蚊蝇、老鼠、蟑螂, 传染疾病。

以上是固体废物环境影响的几个方面, 所用实例也是实际污染事件的一小部分。今后随经济和科技的迅速发展, 固体废物的组成也就越来越复杂, 也将给固体废物的管理、处理和处置提出更高的要求。

二、固体废物的迁移转化

1. 固体废物的迁移转化途径

固体废物中的化学物质、病原体等可以通过大气、土壤、地表或地下水体进入生态系统, 影响危害生态环境, 最终对人体健康产生影响, 即分别形成化学物质型污染和病原体型污染。

这两种固体废物污染具体途径取决于固体废物本身的物理、化学和生物性质, 也与固