



固体废物处理与资源化丛书

GUTI FEIWU CHULI YU ZIYUANHUA CONGSHU

GUTI FEIWU DUIFEI YUANLI YU JISHU

固体废物堆肥 原理与技术

第二版

赵天涛 梅 娟 赵由才 主编



化学工业出版社





固体废物处理与资源化

固体废物堆肥 原理与技术

第二版

赵天涛 梅 娟 赵由才 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是《固体废物处理与资源化丛书》中的一分册,内容共分为11章,主要介绍了固体废物简述、固体废物堆肥原理、固体废物堆肥工艺、堆肥过程的物料和能量衡算、有机-无机复混肥生产工艺、堆肥的过程控制、堆肥腐熟度评价、堆肥设备、堆肥质量标准与应用、堆肥在控制污染等领域的应用、堆肥系统及运行。书中结合典型实例介绍,对实际工程设计和运行管理有指导作用。

本书适合固体废物处理方面的科研人员、设计人员和管理人员阅读,也可作为高等学校环境工程、市政工程及相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

固体废物堆肥原理与技术/赵天涛,梅娟,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 978-7-122-28023-7

I. ①固… II. ①赵…②梅…③赵… III. ①固体废
物-堆肥 IV. ①S141.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第216121号

责任编辑:刘婧 刘兴春
责任校对:王素芹

装帧设计:关飞

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)
印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张16½ 字数394千字 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:68.00元

版权所有 违者必究

前言

当前,垃圾“围城”已成为世界性难题,随着经济发展和人们环保意识的加强,许多国家开始采用“物理分选结合有机堆肥”的方法对生活垃圾进行处理,形成的堆肥可用于园林绿化及土壤改良。目前,固体废物堆肥已成为实现垃圾处理“减量化、无害化和资源化”的重要技术。同时,作为固体废物处理的一个重要学科分支,固体废物堆肥技术在近几年也取得了迅速发展,并逐步形成了系统的技术体系。趁本书再版之际,我们对《固体废物堆肥原理与技术》一书进行了堆肥技术成果的更新,把重点放在现阶段社会关注的环境问题和固体废物处理技术上,同时也删除了部分已经过时的内容。

进行上述修改和补充的目的如下。

一是更加突出原理和技术的阐述。新版第二章为固体废物堆肥原理,本章重新修订了固体废物堆肥反应动力学,包括了堆肥动力学模型和堆肥化过程动力学主要影响因素及其经验模型;第三章为固体废物堆肥工艺,详实地阐述了污泥堆肥,包括技术原理、工程实例和国家标准等;第五章为堆肥的过程控制,着重强化了堆肥过程中氮素的控制,完善了堆肥过程中氮素平衡。

二是结合最新进展,调整和完善了部分章节结构和内容。第一章结合最新进展,更新了固体废物处理现状和堆肥发展现状与产业前景;第二章对木质素降解的最新研究进行了阐述;第七章堆肥设备中增强了自动监测与控制的内容。

本书编写人员分工如下:第一章、第二章、第五章由赵天涛、张丽杰、赵由才编写;第三章、第四章、第六章、第七章由梅娟、赵天涛、赵由才编写;第八章、第九章、第十章、第十一章由赵天涛、张丽杰、袁建华编写。对第一版作者柴晓利和张华在本书再版过程中提供的帮助表示感谢,同时感谢国家自然科学基金(No. 51378522)和重庆理工大学优秀著作出版基金对本书出版给予的资助。

本书编写所列出的所有机器设备和生产厂家,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这些机器设备与厂家提供任何保证和推荐,也不为任何由于使用这些机器设备所造成的损失和其他任何问题承担任何法律和经济责任。

本书有利于读者对固体废物堆肥原理与技术的深入理解和灵活掌握,既可满足高等学校环境工程、市政工程及相关专业本科生教材的需要,又可作为研究生重点参考书。

由于编者水平有限,疏漏和不足之处在所难免,恳切希望读者予以批评指正。

赵天涛
2016年8月

第一版前言

随着人类社会、经济的发展和科学技术的进步,生活水平普遍提高,固体废物(包括城市生活垃圾、工农业所产废物以及污水污泥等)排放量日益增多,这些源源不断、大量产生的固体废物,已成为一个困扰经济发展、污染市容环境、影响市民生活的社会问题。如何遵循可持续发展的原则,减少固体废物排放量,变废为宝,实现固体废物的资源化循环利用,选用技术可靠、经济适用、卫生安全的固体废物处理技术,从根本上实现固体废物处理减量化、资源化和无害化的规划目标,逐步做到化害为利、变废为宝,是我国面临的一项重要的重要的社会发展战略任务。

目前常用的固体废物处理、处置技术主要包括卫生填埋技术、焚烧处理技术和堆肥技术。堆肥技术由于二次污染小,可有效实现有机物质的资源化,越来越受到人们的重视。固体废物堆肥技术在我国应用非常广泛,估计在今后相当长一段时间内,固体废物堆肥仍将是我国固体废物处理的主要方式之一。随着高温好氧堆肥技术、动态厌氧堆肥处理技术的迅速发展和应用,堆肥技术将在世界范围内经历一次从量变到质变的变化过程,但无论如何,今后堆肥技术仍将在国内外固体废物综合处理体系中占有重要位置。

本书编写人员分工如下:第二、四、五、六、八章,张华、范建军、柴晓利;第九、十章,张华、范建军、郭强;第一、三、十一章,楼紫阳、柴晓利、赵由才;第七章,唐圣军、赵由才、郭强。

本书所列出的所有机器设备和生产厂家,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这些机器设备和厂家提供任何保证和推荐,也不为任何由于使用这些机器设备所造成的损失和其他任何问题承担任何经济 and 法律责任。

本书得到国家科技部“十五”攻关项目“小城镇科技发展重大项目——小城镇环境保护关键技术研究及设备开发”(No. 2003BA808A17)和教育部“博士点”基金“稳定化垃圾生物滤床的生物降解特性及其应用研究”(No. 20020247020)的部分资助。

由于编者水平有限,不可避免存在疏漏之处,真诚希望广大同行、专家和读者批评指正。

柴晓利

2005年5月于上海

目 录

第一章 固体废物简述 / 1

第一节 固体废物的定义与来源	1
一、固体废物的定义	1
二、固体废物的来源	1
第二节 固体废物的理化特性	3
一、固体废物的生物特性	3
二、固体废物的物理性质	4
三、固体废物的化学性质	5
第三节 固体废物的处置与利用	6
一、固体废物的危害	6
二、主要污染控制技术	8
三、典型处理处置方法	9

第二章 固体废物堆肥原理 / 15

第一节 堆肥化概念及其发展历史	15
一、堆肥化的定义	15
二、堆肥发展概述	15
三、堆肥化的优势	19
四、堆肥存在的问题	19
五、堆肥技术的前景	21
第二节 堆肥的基本原理	23
一、好氧堆肥原理	23
二、厌氧堆肥原理	25
第三节 堆肥微生物	26
一、堆肥微生物降解的基本原理	26
二、堆肥微生物的种类及特征	28
三、堆肥微生物的影响因素	31
四、木质素等降解物生物研究成果和进展	32
第四节 堆肥化过程动力学	33
一、堆肥化过程动力学原理	33

二、堆肥化过程动力学主要影响因素	34
------------------------	----

第三章 固体废物堆肥工艺 / 36

第一节 堆肥物料与添加剂	36
一、堆肥的原料	36
二、堆肥原料中的添加剂	37
第二节 固体废物堆肥类型	40
一、按微生物需氧条件	40
二、按堆肥的温度范围	40
三、按物料的运动形式	41
四、按堆肥的堆制方式	41
五、按堆肥的发酵历程	41
第三节 典型堆肥工艺介绍	42
一、好氧堆肥的工艺简介	42
二、厌氧堆肥工艺	44
三、典型好氧堆肥工艺	52
四、好氧堆肥系统介绍	54
第四节 污泥堆肥	58
一、污泥堆肥工艺简介	59
二、典型污泥堆肥设备	60
三、典型污泥堆肥项目	63
四、污泥堆肥的污染控制	65
五、复混肥料的生产	67
第五节 秸秆和禽畜粪便堆肥	68
一、秸秆堆肥	69
二、禽畜粪便堆肥	71
第六节 蚯蚓处理有机废物	73
一、生物反应器处理有机废物	73
二、与堆肥法联合处理城市垃圾	74
三、蚯蚓粪有机肥的特点	75

第四章 堆肥过程的物料和能量衡算 / 76

第一节 堆肥的热量平衡	76
一、连续操作过程衡算模型	77
二、间歇操作过程衡算模型	78
第二节 堆肥的物料平衡	78
一、固相成分变化率	79

二、碳素变化规律	80
三、氮素变化规律	80
四、碳氮平衡模型	83

第五章 有机-无机复混肥生产工艺 / 84

第一节 基本理论	84
一、有机-无机复混肥的作用原理	84
二、有机-无机复混肥配方设计的影响因素	85
三、有机-无机复混肥的配制	87
四、有机-无机复混肥配方	89
五、有机-无机复混肥料的国家标准	92
六、有机-无机复混肥中具体成分的测定方法	93
第二节 有机复混肥的运输与贮存	94
一、贮运过程中的变化	94
二、贮存过程中的注意事项	95
第三节 有机复混肥的生产实例	96
一、利用城市生活垃圾生产复混肥	96
二、污泥肥料的精加工生产	99
三、以晒盐硝皮为原料生产复混肥	100
四、利用糠醛渣生产糠肥	101
五、腐殖酸复混肥	101
六、秸秆、禽畜粪便混合堆肥生产有机复混肥	102
第四节 有机复混肥的使用	103
一、有机复混肥施用时应关注的问题	103
二、有机复混肥施肥技术	104
三、有机复混肥的施用量	106
第五节 有机-无机复混肥的施用效果	107
一、对产量和品质的影响	107
二、不同施肥处理对土壤肥力的影响	109

第六章 堆肥的过程控制 / 111

第一节 堆肥的影响因素	111
第二节 堆肥过程中含水率的控制	113
一、垃圾含水率的确定	113
二、堆肥过程含水率的控制	116
第三节 堆肥过程中有机质的控制	118
一、堆肥原料中有机物质的控制	118

二、堆肥反应中有机物含量的过程变化	120
三、堆肥工程中碳氮比的控制	121
第四节 堆肥过程中氮素的控制	122
一、堆肥过程中影响氮素损失的因素	122
二、减少氮素损失的措施	123
第五节 堆肥过程中通风、温度的控制	124
一、通风方式分类	124
二、强制通风控制方法	127
三、强制通风量计算	131
四、强制通风系统的设计计算	131
五、堆肥过程中的温度控制	141
第六节 堆肥过程的其他因素控制	143
一、堆肥原料的颗粒大小控制	143
二、pH 值的控制	144
第七节 堆肥过程中的恶臭及其控制	144
一、堆肥中恶臭的产生及其成分	144
二、堆肥过程恶臭的危害	145
三、堆肥过程臭气的控制和处理	145

第七章 堆肥腐熟度评价 / 148

第一节 堆肥腐熟度的概念及评估方法	148
一、腐熟度的概念	148
二、堆肥腐熟评估方法	148
三、堆肥腐熟的综合评价方法	158
第二节 腐熟度检验测定方法	159
一、淀粉测定法	159
二、氮素试验法	160
三、耗氧速率法	161
四、明胶测试法	162
五、自热测试法	163
六、生物可降解度的测定	163

第八章 堆肥设备 / 165

第一节 堆肥预处理设备	165
一、计量装置	166
二、进料、供料设备	166

第二节 堆肥发酵设备	176
一、多层立式堆肥发酵塔	176
二、卧式堆肥发酵滚筒	178
三、筒仓式堆肥发酵仓	179
四、箱式堆肥发酵池	180
五、条垛式发酵设备	183
第三节 堆肥后处理设备	185
一、精分选设备	185
二、造粒精化设备	186
第四节 其他辅助设备	190
一、二次污染防治方法与设备	190
二、堆肥厂的运输与传动装置	192
三、自动监测与控制设备	193

第九章 堆肥质量标准与应用 / 196

第一节 堆肥产品特点及质量标准	196
一、堆肥产品分类	196
二、堆肥产品的技术指标	197
三、堆肥产品的质量标准	199
第二节 堆肥的应用	203
一、堆肥的生物效用	203
二、堆肥的农业利用	207
三、堆肥应用的最新进展	208
第三节 堆肥重金属的控制	209
一、堆肥中重金属的形态特性	210
二、重金属对环境容量的影响	211
三、重金属的控制技术	212
第四节 不同类型的肥料	214
一、微生物肥料	215
二、有机肥料	216
三、复合肥料	216
四、土壤改良剂	216
五、其他新型垃圾肥料	217

第十章 堆肥在控制污染等领域的应用 / 219

第一节 堆肥处理有机污染物	219
一、典型有机污染物的堆肥处理	220

二、堆肥处理技术应用于有机污染土壤时的影响因素	224
三、堆肥处理有机污染土壤方面有待研究的问题	226
第二节 堆肥处理有机污染物及水污染	227
一、去除挥发性有机污染物	228
二、处理城市雨水污染	229
第三节 堆肥的革新应用——防治病虫害	230

第十一章 堆肥系统及运行 / 233

第一节 堆肥生产系统	233
一、受料、进料系统	234
二、预处理系统	236
三、发酵系统	238
四、后处理系统	238
五、运输及包装系统	239
六、其他系统	240
第二节 堆肥生产工艺	242
一、工艺流程简介	242
二、主要工艺流程	242
三、称重	243
四、板式给料	243
五、皮带输送	244
六、振动筛选	244
七、滚筒筛选	245
八、一级发酵	245
九、二级发酵	246
十、通风	247
十一、污水回流	247
十二、控制检测	247
十三、化验（检验）	247
十四、变配电	248

参考文献 / 249

第一章

固体废物简述

第一节 固体废物的定义与来源

一、固体废物的定义

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。

从广义上讲，根据物质的形态来分，废物可分为固体废物、液态废物和气态废物三种。其中在液态废物和气态废物中，大部分是水和空气中混掺了废弃的污染物，在我国一般被纳入到水环境或大气环境中进行管理。而剩下的不能排入水体的液态废物以及不能排入大气的置于容器中的气态废物，由于大多具有较大的危害性，在我国也纳入到固体废物管理体系。

固体废物一般具有如下特性：①无主性，即被丢弃后，不再属于谁，找不到具体的负责人，特别是城市固体废物；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。

二、固体废物的来源

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，因此有必要对固体废物进行分类。固体废物有多种分类方法：按其产生来源可分为工业废物和生活垃圾等；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；按其形态可分为固体废物、半固体废物和液态（气态）废物。

我国采用固体废物的来源及其性质相结合的方法对固体废物进行分类。在《中华人民

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中，固体废物分为城市生活垃圾、工业固体废物和危险废物三类。

1. 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、行政法规中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：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；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，可根据处理处置方式或资源回收利用可能性，对城市生活垃圾简单分为可回收废品、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。

2. 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、能源、石油化学、矿业、轻工业固体废物。

（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

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。

3. 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也是危险废物中不容忽视的一部分。

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，因此是固体废物管理、处置体系的工作重点。

第二节 固体废物的理化特性

城市固体废物的性质主要有生物化学性质、物理性质、化学性质以及感观性能。感观性能主要包括废物的颜色、臭味、新鲜或者腐败的程度等，往往可通过人的感观直接进行判断。下面将对前三种性质进行详细讨论。

一、固体废物的生物特性

城市固体废物的生物特性可从两方面进行分析：城市固体废物本身的生物性质及对环境的影响；城市固体废物中不同组成进行生物处理的性能，即所谓可生化性。

(1) 由于垃圾成分的复杂性，尤其当包括人畜粪便、生活污水处理后污泥等易降解物质时，本身含有机生物体很复杂，其中有不少生物性污染物。城市垃圾中腐化的有机物含有各种有害的病原微生物，还含有植物虫害、草籽、昆虫和昆虫卵，易造成生物污染。

在生活污水污泥与粪便污泥中可发现很多病原细菌、病毒、原生动物及后生动物，尤其是肠道病原生物体，如典型的寄生物有阿米巴溶组织、各种线虫（如蛔虫、钩虫、血吸虫等），尤其是蛔虫卵在污水和污泥中广泛存在。另外还存在真菌生物体，其中的致病菌能在一定条件下传染到人体中引起疾病。

粪便对人体的最危险污染就是生物性污染，未经处理的粪便污染可进入水体，造成水

体的生物性污染,有可能引起传染病的暴发流行并能传播多种疾病。据报道,70%的疾病是由于粪便没有无害化处理造成给水水体的生物性污染引起的。因此如何进行生物转化,使之稳定并消灭上述致病性生物体具有十分重要意义。

(2) 与废水处理类似,垃圾生物处理的可行性与其组成及微生物的生活条件有着密切联系,即城市垃圾中有机物质的可生物降解性能、生物处理过程微生物所要求的环境条件及营养物质是否得到满足,都关系到城市垃圾生物处理的可行性。

垃圾组成中含大量有机物,它能提供给生物体碳源和能源,是进行生物处理的物质基础。动植物界中的有机物大致可分为碳水化合物、脂肪、蛋白质。各类物质的生化分解速度及分解产物也有所不同。以对污泥厌氧消化为例:脂肪产气量最大,且产气中甲烷含量很高;蛋白质产气量较少,但产气中甲烷含量高;碳水化合物的产气量及甲烷含量均较低。但另一方面就分解速度而言,碳水化合物最快,其次是脂肪,蛋白质的分解速度最慢。城市垃圾中碳水化合物含量较多,且主要是纤维素,因其含大量的纸、布、蔬菜等。碳水化合物中,单糖、二糖类最容易被生物降解。多糖类中,淀粉极易分解,其分子组成为 $C_6H_{10}O_5$,纤维素较难分解,其分子组成为 $C_6H_{10}O_6$,木质素则更难分解。有研究报道,城市垃圾中淀粉含量较低,一般为2%~6%,在堆肥化过程中分解速度快、降解彻底。与此相反,纤维素以相当慢的速度被微生物降解。试验结果表明,堆肥化不同阶段纤维素降解率如下:一次发酵中温阶段(反应的第1~2天),降解率7%~11.4%;高温阶段(反应的第2~6天),降解率30.7%~43.2%,一次发酵后期到二次发酵初期(反应的第6~12天),降解率4%~13%。即纤维素的总降解率为34.7%~68.2%,且高温阶段纤维素降解率占总降解率的63.3%~88.5%。

总之,明确要测定的城市垃圾组成,分析其生物处理可行性,是合理选择处理工艺的重要步骤,目前这方面的专门研究尚不多,可借鉴工业废水生物处理可行性方法,即通过测定废水 BOD_5 与 COD 的比值法和测定微生物的呼吸耗氧过程法来判断。若垃圾可生化性能较好,就可通过不同生物处理达到生物转化,以实现垃圾的无害化,消除对环境的有害影响。

二、固体废物的物理性质

垃圾的物理性质与垃圾的组成密切相关。组成不同,物理性质也不同。一般用组分、含水率和容重三个物理量来表示城市垃圾的物理性质。

1. 物理组分

物理组分(%)常以湿基表示。但化验分析常用烘干垃圾,故物理组分也可用干基表示。当垃圾的含水量已知时,可用下式进行换算。

$$G = a(1 - W) \quad (1-1)$$

式中, G 为新鲜湿垃圾中某成分质量分数,%; a 为烘干垃圾中同类组分的质量分数,%; W 为垃圾的含水率,%。

2. 含水率

含水率定义为单位质量垃圾所含水量,用质量分数(%)表示。其计算式为

$$W = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, A 为新鲜垃圾(或湿垃圾)试样原始质量; B 为试样烘干后的质量。

垃圾的含水率主要随垃圾成分、季节、气候等条件的变化而变化, 其变化幅度在 11%~53% 之间(典型值 15%~40%)。据统计, 影响垃圾含水率的主要因素是垃圾中动植物含量和无机物含量。当垃圾中动植物的含量高、无机物的含量低时, 垃圾含水率就高; 反之则含水率低。这种变化具有一定的规律, 按其变化可得下式。

$$y = 0.67x + 12.38 \quad (1-3)$$

式中, y 为含水率; x 为动植物含量。

同时垃圾含水率还受到收运方式(如不同收集容器、是小车收集还是集装箱、有无盖子、密封好坏等)等的影响。

3. 容重

垃圾在自然状态下, 单位体积的质量称为垃圾的容重。容重法主要分析自然容重、标准容器容重、垃圾车容重等。垃圾自然容重是将垃圾自然堆成锥体, 求其体积和质量, 再求得垃圾的容重。将垃圾填满标准容积的容器, 以这种方法求出的容重为垃圾标准容器容重。在垃圾运输过程中, 测得垃圾车厢内的垃圾容重即为垃圾车容重。

三、固体废物的化学性质

固体废物的化学性质对于选择其处理与处置方法非常重要, 表示固体废物化学性质的特征参数有挥发分、灰分、灰分熔点、元素组成、固定碳及发热值。

1. 挥发分

挥发分 (V_s) 是反映垃圾中有机物含量近似值的指标, 以垃圾在 600℃ 温度下的灼烧减量作为指标。测定步骤如下: 先用普通天平称取一定量烘干试样 W_2 , 装入坩埚内, 置于马弗炉内, 在 600℃ 下灼烧 2h, 然后取出置于干燥器中冷却到室温, 称重。计算式为

$$V_s = \frac{W_3 - W_4}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, V_s 为垃圾的挥发性固体含量, %; W_1 为坩埚质量; W_3 为烘干垃圾和坩埚质量之和; W_4 为灼烧残留量和坩埚质量之和。

2. 灰分及灰分熔点

灰分是指垃圾中不能燃烧也不挥发的物质, 即灰分是反映垃圾中无机物含量的参数, 常用符号 A 表示, 其数值即为灼烧残留量(%), 测定方法同挥发分, 计算式为

$$A = (1 - V_s) \times 100\% \quad (1-5)$$

灰分熔点符号为 T_A , 熔点高低受灰分的化学组成影响, 垃圾成分不同, 则其灰分含量及灰分熔点也不同, 主要取决于垃圾中 Si、Al 等元素含量的多少。

注意: 亦有人将垃圾放入高温炉内灰化, 以 $(815 \pm 10)^\circ\text{C}$ 灼烧到质量恒定, 取其残留物质量所占试样原质量的百分数作为灰分。

3. 元素组成

元素组成主要指固体废物中 C、H、O、N、S 及灰分的百分含量。测知垃圾化学元素组成可估算垃圾的发热值，以确定垃圾焚烧方法的适用性，亦可用于垃圾堆肥化等好氧处理方法中生化需氧量的估算，所以，对选择垃圾处理工艺是很有必要的。

垃圾的化学元素组成复杂，其测定方法亦很烦琐，需要用到常规的化学分析方法和仪器分析方法，有时还需先进的精密仪器。其中，C、H 元素联合测定常用碳氢全自动测定仪，全氮测定采用凯氏消化蒸馏法，全磷测定采用硫酸过氯酸铜蓝比色法，全钾测定采用火焰光度法，有些金属元素测定需要用到原子吸收光度法等精密仪器，故较之物理组成分析，垃圾化学元素测定难以普及，一般城市环卫系统较少进行这项工作。

国外有资料报道，采用元素分析法测定垃圾的化学组成其成分（质量分数）大致为：C 10%~20%；H 1%~3%；O 10%~20%；N 0.5%~1.0%；S 0.1%~1.2%；灰分 10%~25%；水分 40%~60%；热值约为 2930~5200kJ/kg。

4. 发热值

单位质量有机垃圾完全燃烧，在一定温度下反应到达最终产物时的焓变化，称为有机垃圾的发热值。根据燃烧产物中水分存在状态的不同又可分为高位发热值（液态水）与低位发热值（气态水）。两者之差为水的气化潜热。城市垃圾的发热值对分析燃烧性能，判断能否选用焚烧处理工艺提供了重要依据。一般用氧氮量热计测量的是高位热值。

根据经验，当城市垃圾的低热值大于约 3350kJ/kg（800kcal/kg）时，燃烧过程无需加助燃剂，即可实现自燃烧。

第三节 固体废物的处置与利用

一、固体废物的危害

固体废物对环境的危害不仅与固体废物的性质有关，还和其数量有关。任何固体废物，其量在一定数值以下不会对环境产生危害，这个数值与固体废物的种类和性质有关。当固体废物的量达到一定程度时，就可能产生环境污染。城市生活垃圾集中堆放到一定量时，就会对堆放场周围的环境造成污染。除了量的因素以外，固体废物的性质也决定了固体废物的危害性。建筑垃圾属于无毒无害废物，量再大也不会造成严重环境污染。废电池、废日光灯等，量可能不大，但任意丢弃在环境中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。过分强调所涉及固体废物的毒性和造成一定污染的量，都可能会增加处理成本。

固体废物对人类环境的危害表现在以下几个方面。

1. 侵占土地

固体废物如不加以利用处置，只能占地堆放。据估算平均每堆积 10000t 废渣和尾矿，