

废弃物再循环利用

技术与实例

FEIQIWU

ZAIXUNHUAN LIYONG

JISHU YU SHILI

张淑谦 编著



化学工业出版社

废弃物再循环利用

技术与实例

FEIQIWU

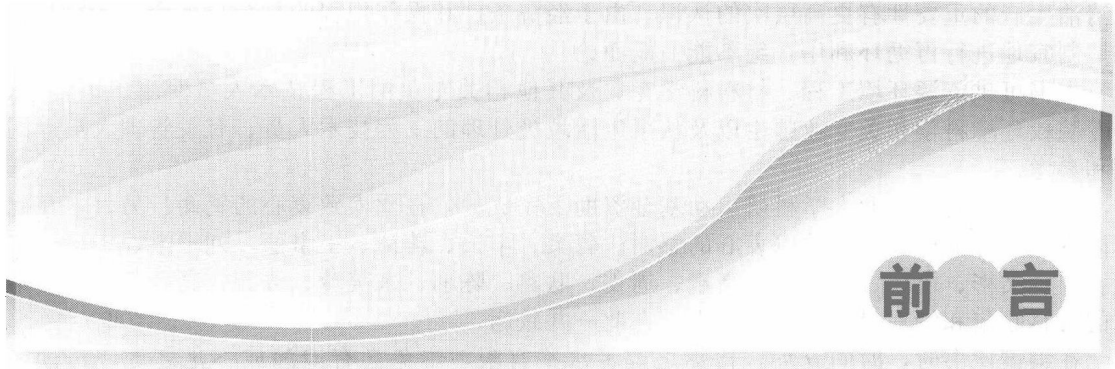
ZAIXUNHUAN LIYONG

JISHU YU SHILI

张淑谦 编著



化学工业出版社



前言

随着人类社会的发展和科技水平的提高,工业废弃物的循环利用已经成为全球可持续发展的重要保障,同时也是解决人类环境问题的重大技术之一。

由于“工业废弃物的再循环利用”的意义十分重大,因“工业废弃物的再循环利用”与“工业的低碳经济”的核心是能源技术和减排技术创新,也是目前成为化学工业的“十二五”规划支撑国民经济稳定发展的现代化生态环境化建设绿色产业;又是一件保护全国老百姓的健康刻不容缓的一件大事。

国家的“十二五”规划中,尤其是“固体废物处理与环境安全”已被当前教育部与国家科技部列入了重点研究项目;分为如下四个方面研究内容:①环境友好型固体废物及有毒有害化学品处理处置;②基于循环经济的废弃物循环再生利用;③固体废物及有毒有害化学品污染控制系统管理;④固体废物及有毒有害化学品管理的环境安全。

当前,我国工业的低碳经济主要对策是加强综合治理,采取减容、减量、回收利用、降解等防与治相结合的方针,主要措施概括起来为 3R 和 1D。

我国的工业废弃物再循环利用工作尚属起步阶段,因此,为了保护环境免受工业废弃物的侵蚀,促进可再生资源和循环利用,从 20 世纪开始,全国加强了废物的管理,为建立一个生产、研究和学习的循环型社会而努力!

本书阐述了国内有关工业废弃物的再循环利用的新技术和新方法。在这些再循环利用技术中,有关热工技术主要包括:能量的回收利用(水泥窑)、玻璃化、蒸馏、热解吸、热分解、蒸发、火法冶金、汞加热和干馏等;有关工程物理和软化学等技术则包括:倾析、溶剂提取、冷冻结晶、电解冶金、爆炸物提取、离子交换、化学沉淀、反渗透、汞齐化、物理分离、净化和拆卸等。

本书对工业废弃物再循环利用处理工艺与技术分为如下四个方面内容:①固体废物处理工艺与技术;②电子废弃物循环利用工艺与技术;③塑料废弃物再循环利用工艺与技术;④工业垃圾再循环利用工艺与技术。

本书也介绍了化学工业的再循环利用产品质量规格与处理设备。最后,对工业区处理技术工程实例分为如下六个方面内容:①工业区垃圾渗滤液处理的工程实例;②工业/生活垃圾焚烧处理技术实例;③垃圾焚烧发电技术工程实例;④工业/生活垃圾气化熔融焚烧技术工程实例;⑤电路板回收处理新技术工程实例;⑥有机废物等离子体气化技术工程实例。

本书从基础理论到方法技术、工艺与实例都做了系统全面的阐述,有理论又有对实践应用的指导;对化学工业的工业废物处理工艺与技术的角度思考中国资源环境的发展,引导新型生态材料学的孵化发展均颇有裨益。另外作者对化学工业区处理技术工程实例中的再循环利用个案分析,又作了详细的总结。

本书通过多种可选择工艺与技术实例的介绍,有助于人们对工业废弃物再循环利用技术

及清洁生产的重要性有更高层次的认识。由于经济条件和操作规程的复杂与多变，人们只能因地制宜地进行再循环利用，绝不能一概而论。

本书可供资源环境工程、材料科学专业及其他相关专业的工程技术人员使用。适合大、中专院校环境科学相关专业师生以及从事生活垃圾处理的工程技术人员、有关管理人员等阅读和参考。

本书是在北方工业大学科研启动基金资助下完成的，在此谨致衷心的感谢！另外，在此谨向本书参考文献的作者致以衷心的感谢。郭爽、丰云、蒋洁、王素丽、刘殿凯、王瑜、王月春、韩文彬、俞俊、周国栋、高巍、周雯、耿鑫、陈羽、朱美玲、方芳、高新等同志为本书的资料收集和编写付出了大量精力，在此一并致谢。

在编撰此书时，时间仓促，再加之编者水平有限，难免会有遗漏或不足之处，请读者指正。

张淑谦
2011年7月

目 录

第一章 工业固体废物处理工艺与技术	1
第一节 固体废物概述	1
一、固体废物定义	1
二、固体废物的产生和分类	1
三、固体废物污染与危害	2
四、固体废物的处理技术与处置方法	4
五、国内固体废物的处理和利用	8
六、常见工业固体废物处理技术与方法	14
七、国外几种主要工业固体废物综合处理技术综述	16
八、国外典型（丹麦）工业固体废物管理与处理	20
第二节 工业固体废物污染的特点和控制方法	23
一、概述	23
二、工业固体废物污染的特点	23
三、工业固体废物的控制方法	23
第三节 塑料工业固体废弃物的回收处理方法	24
一、概述	24
二、回收热能法	25
三、分类回收法	25
四、化学还原法	26
五、氢化析解法	26
六、减类设计法	26
七、生物降解法	27
第四节 含铅危险固体废物的环保再生处理方法	28
一、概述	28
二、实验与回收处理的原理	28
三、处理工艺流程	29
四、需要说明的其他问题	29
第五节 工业建筑材料固体废弃物处理	30
一、概述	30
二、我国工业建筑固体废弃物存量	30
三、国外工业固体废弃物存量	33

四、国外建筑工业垃圾资源化现状	36
五、国内建筑工业垃圾资源化现状	37
第六节 化学工业固体废物的综合利用	39
一、概述	39
二、可利用废弃物热分解	40
三、可利用废弃物化学过滤	42
四、可利用废弃物金属资源化	43
五、可利用废弃物塑料资源化	44
六、其他可利用废弃物的废物资源化	44

第二章 化学工业的电子废弃物循环利用工艺与技术 46

第一节 电子废弃物概述	46
一、电子废弃物定义	46
二、电子废弃物种类	46
三、电子废弃物分类	46
四、电子废弃物危害	47
五、电子废弃物的拆解与分选	48
六、国内外电子垃圾回收处理利用进展	49
七、废弃物循环利用产业化启示与思考	53
八、电子废弃物发展状况	54
第二节 废旧电脑循环利用工艺与技术	56
一、概述	56
二、废旧电脑的无害化处理与处置	57
三、废旧电脑处理方式及回收利用	58
四、废电脑及配件中金的回收过程工艺与技术	59
五、绿色环保电脑的设计及其未来发展	62
第三节 废旧家电循环利用工艺与技术	64
一、概述	64
二、废电视机回收过程的工艺与技术	65
三、废冰箱回收过程的工艺与技术	67
四、废旧洗衣机回收过程的工艺与技术	71
五、废旧家电铜材的回收	73
六、废旧家电回收处理启示与思考	74
第四节 废旧手机回收处理工艺与技术	75
一、概述	75
二、手机回收过程的工艺与技术	75
第五节 废旧电路板回收处理工艺与技术	77
一、废旧电路板回收技术原理及工艺特点	77
二、废旧电路板系统分类	78
三、电路板回收设备概念	78
四、废印刷电路板回收材料资源化	79
五、废印刷电路板中的金属与非金属回收技术	79
六、印制电路板中的铜回收技术	80
七、废计算机主板 (PCB) 和线路板 (PWC) 等废弃物回收处理技术	82

第六节 废电池的回收利用处理工艺与技术	83
一、概述	83
二、废电池里有哪些污染物	84
三、国内外如何回收处理废电池	85
四、铅酸蓄电池生产过程中含铅污染物的回收利用处理工艺与技术	88
第七节 铅污染物危害与生产防护及处理工艺新技术	88
一、铅污染物的现状及其危害	88
二、铅酸蓄电池铅污染物的来源及生产防护	91
三、含铅污染物的处理工艺及新技术	94

第三章 化学工业的塑料废弃物再循环利用工艺与技术 97

第一节 塑料废弃物概述	97
一、塑料废弃物的分类	97
二、塑料废弃物的采源	97
三、塑料废弃物的危害	98
四、塑料废弃物的处理处置方法	100
第二节 塑料废弃物加工的环境污染与治理	105
一、塑料废弃物加工的环境影响与措施	105
二、塑料废弃物加工的污染源与主要污染类别	106
三、塑料废弃物加工的主要污染治理工艺	107
第三节 国内外塑料废弃物回收利用与产业近期进展	109
一、国外塑料废弃物回收利用近期进展	110
二、国内塑料废弃物回收利用近期进展	111
三、国内外废塑料回收产业发展近期进展	114
第四节 塑料废弃物回收利用技术与工艺进展概况	119
一、废弃塑料回收利用技术进展概况	119
二、能源回收利用技术进展概况	123
三、化学回收利用技术进展概况	123
四、废旧塑料油化工艺进展概况	124
第五节 国外塑料废弃物的回收处理工艺与关键技术	127
一、概述	127
二、回收热能法	128
三、分类回收法	128
四、化学还原法	128
五、氢化析解法	128
六、减类设计法	129
七、生物降解法	129
第六节 塑料包装废弃物的回收处理工艺与技术	130
一、概述	130
二、塑料包装废弃物的处理方法	131
三、塑料包装废弃物的来源及途径	132
四、瓶类的再生塑料回收	133
五、塑料包装废弃物的应用	134
六、塑料包装废弃物的回收处理工艺与技术	135

第七节 国内外废旧家电塑料回收与利用技术	136
一、废旧家电行业状况概述	136
二、废旧家电中塑料构成	137
三、家电塑料再生利用技术	138
四、家电“以旧换新”利用情况	139
五、国家新政促塑料回收业发展	139
第八节 塑料废弃物裂解方法与技术	140
一、概述	140
二、塑料废弃物裂解方法	141
三、废旧塑料催化裂解汽柴油	151
第九节 废塑料裂解工艺实例与设备	152
一、废塑料裂解制取液体燃料油工艺实例	152
二、废塑料裂解反应器的装置与设备	164
三、废塑料裂解生产中的问题及解决办法	177
第四章 化学工业的工业垃圾再循环利用工艺与技术	186
第一节 工业垃圾处理概述	186
一、工业垃圾的定义	187
二、工业垃圾的特点	188
三、工业垃圾处理技术路线的选择	189
四、工业垃圾处理方法的研究	195
五、工业垃圾焚烧产生的二噁英的防治措施	197
第二节 工业垃圾卫生填埋过程中工艺与技术	200
一、国内外工业垃圾渗沥液处理方式与工艺技术	200
二、工业垃圾渗滤液的混凝-吸附预处理工艺试验与技术	203
三、工业垃圾填埋渗滤液处理工艺与技术实例	207
第三节 工业垃圾气化熔融焚烧技术的发展与趋势	213
一、概述	213
二、工业垃圾气化熔融焚烧技术的分类	213
三、工业垃圾气化熔融焚烧技术的工艺特点	214
四、工业垃圾气化熔融焚烧发电技术进展	215
第四节 工业垃圾废弃物热解气化工艺技术	217
一、概述	217
二、热解气化技术主要特点与优点	218
三、热解气化装置简介	220
第五节 工业垃圾直接气化熔融焚烧炉及其焚烧工艺	221
一、概述	221
二、氧气顶吹式工业垃圾直接气化熔融焚烧炉与焚烧工艺	222
三、侧吹式工业垃圾直接气化熔融焚烧炉与焚烧工艺	223
四、密闭式无害化工业垃圾直接还原气化熔融焚烧炉与焚烧工艺	228
第五章 化学工业的再循环利用产品质量规格与处理设备	230
第一节 工业再循环利用产品质量规格	230

一、成分橡胶颗粒的应用产品	230
二、水泥替代品的应用产品	233
三、热塑性颗粒的应用产品	235
四、石油精炼原料	236
五、再利用的金属/稀有难熔金属	237
六、有机化学制品	237
七、能量回收的燃料	238
八、高价值的陶瓷产品	239
九、水泥窑用无机原料	239
十、散状与块状建筑材料	239
十一、湿法冶金过程的废物原料	240
十二、含金属的污染物或作为二次窑炉原料的矿渣	241
第二节 工业垃圾再循环利用产品处理设备	241
一、工业垃圾处理大件垃圾分选机成套设备	241
二、工业垃圾处理破袋破碎机成套设备	242
三、工业垃圾处理综合风选机成套设备	242
四、工业垃圾处理有机物水解水热氧化成套设备	243
五、带热解的回转窑成套设备	243
六、工业除尘处理袋式除尘器成套设备	244
七、工业垃圾处理填埋气焚烧火炬成套设备	245
八、工业垃圾处理垃圾焚烧炉成套设备	246
九、工业垃圾处理设备——不可回收类可燃物焚烧余热利用系统	247
第三节 常见飞灰熔融处理成套设备	247
一、概述	247
二、燃料式熔融炉	248
三、电力式熔融炉	249
第四节 工业垃圾直接气化熔融焚烧炉成套设备	250
一、概述	250
二、氧气顶底复合吹式工业垃圾直接气化熔融焚烧成套设备	250
三、NKK 式工业垃圾直接气化熔融焚烧成套设备	251
四、回转窑式工业垃圾直接气化熔融焚烧成套设备	251
五、等离子体式工业垃圾直接气化熔融焚烧成套设备	252
六、高炉型工业垃圾直接气化熔融焚烧成套设备	253
七、竖井炉式工业垃圾直接气化熔融焚烧成套设备	253

第六章 化学工业的废弃物再循环利用工程与工艺实例

255

第一节 工业废弃物回收利用工业化实例	255
一、现场蒸馏回收溶剂	255
二、泵抽回收非水相液体	257
三、回收废弃 ABM 制成硅酸盐水泥	258
四、从油污中回收石油的处理流程	260
五、热解吸处理和再利用砂土	260
六、在二次铅炉内处理超级基金法废料	261
七、回收废弃研磨介质制成沥青混凝土	262

八、废弃物再资源化利用生产绿色生态水泥	264
第二节 化学工业区的工业/生活垃圾焚烧处理技术实例	265
一、化学工业区工业垃圾焚烧处理技术	265
二、化学工业区生活垃圾焚烧处理技术	269
三、国内循环流化床垃圾焚烧技术的特点	270
四、国内循环流化床垃圾焚烧技术的发展方向	271
第三节 化学工业区的垃圾焚烧发电技术工程实例	271
一、国产化炉排的垃圾焚烧发电	271
二、FE 炉排炉（垃圾焚烧发电）二次回流技术	272
三、马丁逆推式炉排垃圾焚烧发电厂工程	272
四、化学工业区资源利用法垃圾焚烧炉工程实例	273
五、天津双港垃圾焚烧发电综合利用工程实例	276
第四节 化学工业区的工业/生活垃圾气化熔融焚烧技术工程实例	277
一、概述	277
二、工业/生活垃圾气化熔融焚烧过程发生条件	277
三、三种工业/生活垃圾气化熔融焚烧主要工艺	277
第五节 化学工业区的电路板回收处理新技术工程实例	280
一、概述	280
二、整线构成及工艺流程	280
三、关键工艺	280
四、关键技术	282
五、结论	283
第六节 化学工业区的有机废物等离子体气化技术工程实例	283
一、概述	283
二、有机废物常规气化的技术过程	283
三、有机废物蒸汽等离子体气化	284
四、有机废物气化方法比较	284

参考文献	287
------------	-----

第一章

工业固体废物处理工艺与技术

第一节 固体废物概述

一、固体废物定义

人类一切活动（包括生产与生活）过程产生的、对原过程已不再具有使用价值而被废弃的固态或半固态物质，通称为固体废物。各类生产活动中产生的固体废物俗称废渣（residue），生活过程中产生的固体废物则称为垃圾（refuse）。“固体废物”实际上只是针对原过程而言。在任何生产或生活过程中，对原料、商品或消费品，往往仅利用了其中某些有效成分，而产生的大多数固体废物中，仍含有对其他生产或生活过程有用的成分，经过一定的技术环节，可以转变为有关行业的生产原料，或可以直接再利用。可见，固体废物的概念随时空的变迁而变化，具有一定的相对性。提倡资源的社会再循环，目的是充分利用资源，增加社会效益与经济效益，减少废物的排放与处置数量，以利社会发展。例如，在美国，投入使用的食品罐头盒、饮料瓶等平均几个星期就成为废物，汽车平均九年半成为废物，建筑材料使用期限最长，但一百年或几百年后，也变成废物。废物是相对在某一过程或在某一方面没有使用价值，而并非在一切过程或一切方面都没有使用价值。某一过程的废物，往往是另一过程的原料，所以废物又有“放在错误地点的原料”的说法。

二、固体废物的产生和分类

1. 固体废物产生

维持人类社会一切活动的物料，都处于一种动态平衡的状态，并遵循质量守恒定律。分析质量守恒定律，可以获得两点启示：①人类的一切活动相对于外界环境而言，只不过是开发和利用了自然资源，而最终将资源以废物的形式等量回归于环境。这种对资源的“利用与归还”，经常处于交变状态。在生产与产品的消费过程中，均产生各种形态的废物，这些废物一部分在生产与消费中得到回收和再利用，而恰好与在环境中开发的原料等量的部分，以废物的形式返回到自然环境中，形成一个封闭的循环系统。②在现代社会中，人类活动的每一环节均产生各种状态的废物，从环境中原料的开发直至产品的利用，无一例外。减少废物产量的唯一途径是降低单位产品原料的消耗量，减少原料的开发。固体废物是社会物流系统

的一个组成部分，遵循上述规律。表 1-1 列出了各类发生源排出的主要固体废物。

表 1-1 从各类发生源排出的主要固体废物

发生源	产生的主要固体废物
采矿、选矿业	废石、尾矿、金属、木块、砖瓦、水泥、混凝土等建筑材料
冶金、机械、金属结构等	金属渣、矿石、废模型、陶瓷、涂层、管道、黏结剂、绝热绝缘材料
交通工业	塑料、橡胶、纤维、填料、各种建筑材料等
食品工业	烂肉、蔬菜、水果、谷物、硬果壳、金属、玻璃瓶、罐头盒、塑料等
石油、化学工业	有机和无机化学药品、金属、橡胶、玻璃、沥青、石棉、纤维等
橡胶、皮革、塑料工业	橡胶、塑料、皮革、线、布、纤维、染料、金属、废渣等
居民生活	食物垃圾、纸、木块、布、金属、器具、杂品、庭院整修物、燃料、粪便等
农业	庄稼秸秆、烂蔬菜、烂水果、果树剪枝、人类、畜粪、农药等
市政管理、污水处理	脏土、碎砖瓦、树叶、死禽畜、金属、废锅炉、灰渣、污泥、器具、建材等

2. 固体废物分类

固体废物的分类，是依据其产生的途径与性质而定的。在经济发达国家，将固体废物分为工业废物、矿业废物、农业废物与城市垃圾四大类。我国制定的《固体废物管理法》中，将固体废物分为工业固体废物（废渣）与城市垃圾两类。含有毒有害成分的工业固体废物，由于其对环境与人类具有特别的危害性，单独分列出一个“危险废物”小类。

固体废物分类方法很多，按固体废物的化学性质分为有机废物和无机废物；按它的危害状况分为有害废物和一般废物；按它的形状分为固体的（颗粒状废物、粉状废物、块状废物）和泥状的（污泥）。通常为便于管理，按来源分为矿业固体废物、工业固体废物、城市垃圾、农业废弃物和放射性固体废物五类。矿业固体废物、工业固体废物、放射性固体废物也分别简称为矿业废物、工业废物、放射性废物。有人将矿业的、工业的和放射性的合称为工业废物；有人则将矿业和工业废物合称为矿物废料，放射性废物另为一类；也有人将固体废物仅分为工业废物和一般废物两类。固体废物还可分为有毒和无毒两大类。有毒有害固体废物是指具有毒性、易燃性、腐蚀性、反应性、放射性和传染性的固体、半固体废物。矿业废物来自矿物开采和矿物选洗过程。工业废物来自冶金、煤炭、电力、化工、交通、食品、轻工、石油等工业的生产和加工过程。城市垃圾主要来自居民的消费、市政建设和维护、商业活动。农业废弃物主要来自农业生产和禽畜饲养。放射性废物主要来自核工业生产、放射性医疗和科学研究等。美国一些行业对有害固体废物的定义及鉴定标准可以借鉴表 1-2。

三、固体废物污染与危害

固体废物对环境的污染是多方面的。

（1）侵占土地 固体废弃物不加以利用就需占地堆放，堆积量越大，占地越多。据估算，每堆积 1 万吨渣，约需占地 1 亩（667m²）。

我国仅煤矸石一项存积量就达 10 亿吨，侵占农田 5 万亩，全国有堆肥厂 30 多个，无害化垃圾处理厂（场）29 个，越来越多的城市垃圾还在继续增长。

（2）污染土壤 废物堆置，其中的有害组分容易污染土壤。如果直接利用来自医院、肉类联合厂、生物制品厂的废渣作为肥料施入农田，其中的病菌、寄生虫等就会使土壤污染。

表 1-2 美国对有害固体废物的定义及鉴定标准

序号	有害废物的特性及其意义		鉴别值
1	易燃性	闪点过低或经过摩擦、吸湿、自发的化学变化有着火的趋势；或在加工、制造过程中发热，在点燃时燃烧剧烈而持续，以致管理期间会引起危险	美国 ASTM 法，闪点低于 60℃
2	腐蚀性	对接触部位作用时，使细胞组织、皮肤有可见性破坏或不可治愈的变化；使接触物质发生质变，使容器泄漏	pH>12.5 或 pH<2 的液体，在 55.7℃ 以下时对钢制品腐蚀率大于 0.64cm/a
3	反应性	通常情况下不稳定，极易发生剧烈的化学反应，与水猛烈反应，或形成可爆炸性的混合物，或产生有毒的气体、臭气，含有氰化物或硫化物，在常温、常压下即可发生爆炸反应，在加热或有引发源时可爆炸，对热和机械冲撞有不稳定性	
4	放射性	由于核变而能放出 α 、 β 、 γ 射线的废物中放射性同位素量超过最大允许浓度	^{226}Ra 浓度 $\geq 10\mu\text{Ci}^{\text{①}}/\text{g}$ 废物
5	浸出毒性	在规定的浸出或萃取方法中，任何一种污染物的浓度超过标准值。污染物指汞、砷、铅、铬、硒、银、六氯化苯、甲基氯化物等	美国 EPA/EP 法试验，超过饮水 100 倍
6	急性毒性	一次投给试验动物的毒性物质，半致死量 (LD_{50}) 小于规定值的毒性	美国国家安全卫生研究所试验方法经口 $\text{LD}_{50} \leq 50\text{mg/kg}$ 体重；吸入毒性 $\text{LD}_{50} \leq 2\text{mg/L}$ ；皮肤吸收毒性 $\text{LD}_{50} \leq 200\text{mg/kg}$ 体重

① $1\text{Ci}=37\text{GBq}$ 。

固体废物及其渗出液和滤沥液所含的有害物质会改变土质和土壤结构，影响土壤中微生物的活动，有碍植物根系生长，或在植物机体内积蓄。土壤是许多细菌、真菌等微生物聚居的场所，这些微生物形成了一个生态系统，在大自然的物质循环中担负着碳循环和氮循环的一部分重要任务。

工业固体废物，特别是有害固体废物，经过风化、雨淋，产生高温、毒水或其他反应，能杀伤土壤中的微生物和动物，降低土壤微生物的活动，并能改变土壤的成分和结构，使土壤被污染。

(3) 污染水体 固体废物随天然降水流入河流、湖泊，或因较小颗粒随风飘迁，落入河流、湖泊，造成地面水被污染；固体废物随渗沥水渗到土壤中，进入地下水，使地下水受污染；废渣直接排入河流、湖泊或海洋，会造成上述水体的污染。不少国家直接把固体废物倾倒入河流、湖泊、海洋，甚至把海洋投弃作为一种处置方法。美国 20 世纪 70 年代末将 15% 的污泥等废物投弃海洋。中国由于向水体投弃废物，20 世纪 80 年代的江湖面积比 50 年代减少 2000 多万亩。固体废物进入水体，还影响水生生物的生存和水资源的利用。投弃海洋的废物会在一定海域造成生物的死区。废物堆或垃圾填埋，经雨水浸淋，渗出液和滤沥液会污染土地、河川、湖泊和地下水。

(4) 污染大气 固体废物一般通过下列途径可使大气受到污染——在适宜的温度和湿度下，某些有机物被微生物分解，释放出有害气体；细粒、粉末受到风吹日晒可以加重大气的粉尘污染，如粉煤灰堆遇到四级以上风力，可被剥离 1~1.5cm，灰尘飞扬可高达 20~50m；有些煤矸石堆积过多会发生自燃，产生大量的二氧化硫，采用焚烧法处理固体废物也会使大气污染。

固体废物的危害是多方面的。许多种固体废物所含的有毒物质和病原体，除通过生物传播外，还以水、气为媒介传播和扩散，危害人体健康。英国从 1394 年起暴发的几次流行鼠疫，都同垃圾处置不当有关。美国得克萨斯州某废物公司的沙坑，由于废酸和含油废物的污染，周围 26 口水井水质变坏，发出恶臭，饮用后引起恶心、喉痛和头痛等病症。中国某铁合金厂的铬渣露天堆积，经雨水浸淋的溶液渗入地下水，致使厂区下游十多平方公里范围内

的地下水遭到污染,污染中心区地下水每升含六价铬高达 55mg,超过饮用水容许含量一千多倍。1977 年日本发生的公害事件中,因废弃物的违法投弃造成的有 2489 件,占公害事件总数的 51.7%。矿业、工业所排出的大量废物堆置不当,还可能发生泥石流、塌方和滑坡,冲毁附近村镇,造成人身伤亡。例如 1972 年 2 月美国弗吉尼亚州的布法罗山谷,一场暴雨冲坏了煤矸石堆筑的蓄水库坝,使 50 万立方米的水和 17 万立方米的煤矸石奔泻而下,冲毁了 800 座房屋,造成 116 人死亡和 4000 人无家可归。固体废物消极排弃会占用大量土地,据统计,一些国家所占用的土地:美国为 200 万公顷,前苏联为 100 万公顷,英国为 60 万公顷,波兰为 50 万公顷。中国仅工业废渣、煤矸石、尾矿堆积量达 54 亿吨,占地 60 多万亩。这样就出现了固体废物与工农业生产争地的矛盾。在按人口计算耕地面积少的国家,这种矛盾更为尖锐。

四、固体废物的处理技术与处置方法

1. 固体废物的处理技术

固体废物的处理技术是指通过采用各种物理、化学、生物的方法,将固体废物转变为适于运输、利用、储存及最终处置的过程,处理方法主要有以下几项。

(1) 固体废物的物理处理 通过采用各种物理方法,改变固体废物的结构,使之成为便于运输、利用、储存和处置的形态。物理处理包括压实、破碎、分选、脱水干燥等。

① 压实 压实是利用外界施加的压力,作用于固体废物,使其聚集程度增大,以达到降低外形容积、增大容重的目的,使废物更便于运输、储存和填埋。

压实主要用于具有一定压缩性的固体废物,例如生活垃圾、金属丝、金属碎片及各类纸制品及纤维等。城市垃圾经压实后,密度可增大到 320kg/m^3 ,外形容积(表观容积)可减少 70%。

② 破碎 破碎是用外力将大块废物分割为小块的过程,固体废物的破坏主要要达到以下几个目的:a. 使废物减少容积;b. 为分选和进一步加工提供适宜的尺寸;c. 增大废料的比表面积,提高焚烧、热分解的效率;d. 降低臭味,防止鼠类、蚊蝇繁殖。

③ 分选 分选的目的是将固体废物加以区分,将能够回收利用的或不利于后续处理的废料,分门别类地分离出来。人工拣选是最早采用的方法,现在仍在采用,但现在主要采用机械分选的方法,其中主要有筛分、风力分选、磁力分选、电力分选、浮选等。

(2) 固体废物的生物转化处理 生物转化处理技术适用于含有大量可生物降解有机物的固体废物,例如城市生活垃圾、农业固体废物以及发酵工业废渣等。

通过生物转化处理,使废物中的有机物质在微生物的作用下得以降解、转化,并能够得到沼气、饲料蛋白等有用物质,取得资源化和无害化的效益。

生物转化处理技术,根据作用微生物种类的不同,可以分为好氧和厌氧两种。现分别加以简述。

① 好氧生物转化——堆肥化处理 这是在人为控制的条件下,使一些有机的固体废物在好氧微生物的作用下,分解转化为较为稳定的腐殖肥料的过程。

a. 好氧法堆肥原理 好氧法堆肥是在供氧充足的条件下,利用好氧微生物新陈代谢功能将有机性物质降解为无机物的过程。这是一个较为复杂的生物化学反应过程。

在反应中,有 30%~50%的有机物转化为堆肥,堆肥是一种腐殖含量很高的疏松土壤,一般称为腐殖土,它具有改善土壤团粒结构、促进作物生长的功能。反应生成的堆肥还能够进一步被分解,并完全转化为简单的 CO_2 、 H_2O 、 NH_3 。通过反应,部分有机物降解为简单的无机物并放出能量提供给微生物作为其生理活动的需要;同时有部分有机物合成为新细

胞,使微生物得以生长繁殖;微生物细胞连续地进行自我氧化。

b. 好氧堆肥的工艺

(a) 适于进行堆肥的固体废物

• 生活垃圾,我国城市生活垃圾中有机物含量一般在 25%~45%,多为植物性物质,含水率较高。

- 人、禽、畜粪便,可直接用于堆肥。
- 农、林固体废物,其中所含纤维素、木质素也难为微生物所降解。
- 有机性污泥,含有微生物所需的各种营养成分,是堆肥的良好原料。

(b) 堆肥的工艺过程 好氧堆肥有两种工艺,人工堆肥和机械化堆肥。人工堆肥操作方便,成本低,但堆肥条件不易控制,只适用于分散的农家堆肥。

机械化堆肥,即堆肥工厂化,设专门对垃圾进行堆肥的工厂。

• 预处理,通过手选、振动筛的工作,去除垃圾中粗大的组分,回收其中有用的物质,调整垃圾组分的碳氮比(C:N),将其调整到(20~35):1,并使水分处在50%~60%。

• 发酵,采用二次发酵工艺。第一次发酵在类似生产水泥的转筒内进行,机械通风充氧,保持600℃的高温,在此温度下,大部分病原体、寄生虫与蚊蝇卵均可被杀灭,有机组分被降解,此过程约进行5~10天。

一次发酵后,对垃圾进行磁选,去除其中的金属,进行电选去除其中的有色金属和玻璃等惰性物质。然后垃圾进行粉碎。被粉碎后的垃圾的尺寸一般都在12~20mm。

二次发酵一般在发酵仓内堆放发酵,经10天左右即已达到腐熟。

本工艺堆肥效率高,效果好,但一次投资较大。

c. 好氧堆肥技术的新进展——层床通风发酵法 层床通风发酵法是在20世纪80年代西方发达国家开创的既科学又经济的垃圾处理堆肥法。本法是利用具有通风功能的基础底面,使床层上的固体废物进行好氧发酵,通过控制通风量、温度、湿度使废物充分发酵,再经筛分制成复合肥料。

从通风机送出的空气,先进入储水井,使空气达到一定的湿度,再通过进风管进入层床基础底面,由底面的进风口,风流均匀地进入废物床层中。废物层中的多余水分,通过排水管返回储水井。定期倒垛和重新分层,调整废物层中的温度与湿度。

本工艺具有以下优点:

- 节省建设投资,可利用闲散土地或旧垃圾填埋场;
- 采用强制通风的底面进气,可使堆肥材料得到充足的空气,保证好氧微生物对氧的需要,强化了发酵过程;
- 自然降水和废物体的渗漏水可通过通风基础排出,使床的基础处于干燥状态,并可使流出的废水返回储水井;
- 通风量、温度能够控制,为微生物提供最佳的活动适宜条件,强化发酵过程。

本法经济合理,技术可行,适合我国的国情。

② 厌氧生物转化法 本法是在氧完全隔绝的条件下,利用厌氧微生物的生物转化作用使废物中可生物降解的有机组分分解为稳定的无毒物质,并同时取得沼气的处理方法。

城市垃圾的厌氧消化处理具体如下。

a. 预处理 将城市垃圾进行分选,去除有毒有害物质及不能生物降解的惰性物质,如金属、玻璃、陶瓷、塑料等,再将进行厌氧消化处理的有机物加以破碎、筛分,使颗粒细小、质地均匀以适应厌氧消化反应的要求。

b. 配料 厌氧微生物对物料的碳氮含量的比例(即所谓碳氮比C:N)有一定的要求,一般为(20:1)~(30:1)。城市垃圾中,氮的含量可能不足,磷的含量也不足,因此,必须向废料中投加氮、磷,如粪便及污泥等,并加入适量的水制成浆状(含水率大于90%),

便于搅拌操作。

c. 厌氧消化反应和沼气回收 本阶段在消化池内进行, 物料投入后, 要加以搅拌, 以使物料混合均匀。在流水作业反应进程中要保持温度 $30\sim 60^{\circ}\text{C}$ 、pH 值 $6.8\sim 7.5$ 的环境条件, 停留时间为 $3\sim 4$ 天。

所得的消化气即称沼气, 其中甲烷 (CH_4) 约 60% , CO_2 约 40% , NH_3 及 H_2S 极少。消化后污泥含水率很高, 需进一步脱水、干燥处理。城市垃圾厌氧消化处理投资大、占地广, 处理不当可能产生二次污染问题, 我国城市垃圾可腐化组分含量低, 采用此法应谨慎。

(3) 固体废物的焚烧 焚烧是将固体废物中的可燃组分投入高温炉内, 使其充分氧化的一种处理法。本法的优点是能够回收固体废物内潜在的能量, 减少废物的体积 (可减少 $80\%\sim 90\%$), 破坏有毒物质的组成结构, 使其成为化学性能稳定的灰渣, 彻底杀灭病原菌。本法的缺点是只能处理可燃物成分高的固体废物 (一般要求其热值大于 3349.44kJ/kg), 否则必须添加助燃剂, 这样, 运行费用将大大提高。此外, 本法投资大, 还不可避免地产生有害物质, 能够形成二次污染, 现已判明, 垃圾燃烧能够产生二噁英等, 从而产生新的环境问题。

适于焚烧的固体废物主要是那些不能再循环利用的物质和安全填埋的有害废物及在医院和医学实验所产生的需要特别处理的废物。

焚烧最佳操作条件有: ①足够的高温, 一般为 $900\sim 1200^{\circ}\text{C}$; ②充足的氧气; ③良好的湍流; ④气体在炉中的停留时间不少于 2s 。

2. 固体废物的最终处置

固体废物的最终处置也称为固体废物的安全处置。固体废物虽经各种方法处理或回收利用, 但最终仍有相当数量的废物将返回到自然环境中去。解决固体废物的最终去处, 即最终处置。

固体废物的最终处置方法, 概括起来可分为陆地处置与海洋处置两大类。陆地处置的方式有土地填埋、土地耕作、深井灌注等, 海洋处置则有传统的海洋倾倒和远洋焚烧。因篇幅关系, 本文只对土地填埋及海洋处置作一简单介绍。

(1) 土地填埋 这是当前各国主要实施的手段。土地填埋是一项涉及多学科领域的综合性土地处置技术, 是从环境保护的目的出发, 对固体废物进行处置。土地填埋处置最主要的问题就是滤沥液的收集和控制问题。土地填埋处置又可分为卫生土地填埋和安全土地填埋两种。

① 卫生土地填埋 卫生土地填埋用于处置一般的固体废物, 如城市垃圾和无害的工农业生产废渣。

a. 卫生土地填埋场的选择 主要从以下几方面考虑:

- (a) 一般应以满足 $5\sim 20$ 年的使用期较为经济;
- (b) 地下水位应尽可能的低, 并容易取得覆盖土壤, 土壤应易于压实, 透水性差;
- (c) 场址应在居民区的下风向;
- (d) 交通运输方便, 尽可能靠近废物排放地, 但又要防止对居民区环境造成影响;
- (e) 要考虑到填埋地封场后土地的充分利用和开发。

b. 卫生填埋方法 大体可分为地面堆埋法、沟槽法和天然洼地填埋法三种。

(a) 地面堆埋法 适用于平原区, 先在填埋场作基础防渗、引流和导气工程, 并在始端建一土堤作为屏蔽, 倚着土堤将废物铺撒在土地表面上形成厚为 $0.4\sim 0.8\text{m}$ 的垃圾层, 并逐层压实, 最后用泥土 ($0.15\sim 0.3\text{m}$) 覆盖、压实, 形成一个堆埋单元, 如此反复填埋直至封场。

(b) 沟槽法 适用于地下水位较深的天然防渗地区。先挖一条条形沟槽, 填入废物压实, 最后覆土压实, 沟槽长度为 30~120m、深 0.8~2.0m、宽 4.7~7.5m。

(c) 天然洼地填埋法 利用天然或人工的洼地作为填埋场地。填埋方式可视地形、水文地质条件而定。

无论采用哪一种方式填埋, 填埋的结构形式大体相同, 最终将形成一规整的几何体填埋单元。填埋场全部完成时, 再覆盖以 0.5~0.7m 厚的土封场。

c. 填埋场滤沥液以及气体的控制 填埋场总会产生某些数量的浸出液, 其性质极为复杂, 所含污染物成分多而杂, 基本上属高浓度的有机废水, 能够污染地下水, 必须采取防渗措施。主要是采用渗透系数小的天然黏土及沥青、橡胶、塑料等, 另外在防渗层设排水系统, 及时地将滤沥液排出处理。

填埋场还会产生主要由甲烷 (CH_4)、二氧化碳 (CO_2)、氨 (NH_3) 等组成的气体, 对此应妥善处理。采用的方法是在不透气的顶部覆盖层中安装排气管将气体排入大气或加以收集利用。

卫生土地填埋法已为各国普遍采用。我国近几年在广州、杭州、上海、北京等地建立了大型的卫生土地填埋场。

② 安全土地填埋 这是一种改进的卫生土地填埋法, 它对填埋场可能产生的二次污染采取了一定的技术措施, 以防止浸出液的渗出; 填埋场必须位于地下水位之上; 要设有浸出液的收集、处理和监测系统; 采取措施将地表水引走, 不使其渗入填埋场等。

美国已建有 1500 多个安全土地填埋场, 发展中国家由于技术落后, 资金短缺, 这方面的应用还很薄弱。我国对此也是刚刚起步, 当前已在无锡建立了规范化的安全土地填埋场示范工程。

占用大量的土地是土地填埋技术最大的缺点, 研究、开发新的垃圾处理、处置方法势在必行。

(2) 海洋处置 海洋处置主要包括海洋倾倒与远洋焚烧两类。

① 海洋倾倒 海洋倾倒是将固体废物直接倾倒在距离、深度都合适的海水中, 利用海洋巨大的环境容量和稀释能力, 使海洋环境中的污染物保持在很低的水平。

实施海洋倾倒处置, 首先应根据有关法规选择适宜的处置方式, 并结合处置区的海洋学特征、水质标准、废物种类选定倾倒方式: 散装废物可在驳船行进中投弃, 放射性及重金属废物应经过固化处理后投弃。

伦敦公约根据废物倾倒后能够使海洋遭到损害的程度, 将废物分为三类: 第一类为绝对禁止投放的废物 (黑名单); 第二类是经过特别准许后能够倾倒的废物 (灰名单); 第三类是允许排放的低毒、无毒废物 (白名单)。

第一类物质: 有机卤化物、汞和镉及其化合物, 耐久的塑料及其他人造材料, 原油、石油产品、石油蒸馏残渣残液及其混合物, 高水平放射性废物, 漂浮在海上影响捕鱼、航行及其他活动或危害海洋生物的物质, 为生物和化学战争制造的任何形态的物质。

第二类物质: 砷、铅、铜、锌、铍、铬、镍、钒及其化合物, 有机硅化物、氰化物、氟化物。易沉入海底, 可能严重影响航行、捕鱼的容器, 碎金属及其他大块废料, 本身无毒但倾倒过量可能会造成危害或引起环境恶化的物质。

② 远洋焚烧 远洋焚烧是利用焚烧船在远海对固体废物进行焚烧, 焚烧过程的各种产物直接排入海中。远洋焚烧适于处理易燃性废物, 焚烧在专用的船上所设的焚烧炉内进行, 温度不低于 1250°C , 焚烧销毁率达 99% 以上。

不少国家对远洋焚烧持谨慎态度, 我国也如此。

近年来, 国际上对垃圾的海洋处置存在较大的争议, 并制定了许多公约来加以约束和限制, 其中防止由于倾倒废物而污染海洋的国际公约 (伦敦公约) 于 1975 年生效, 有 61 个国