



国际环境工程先进技术译丛

 Springer

废弃物资源化 —— 发展和变迁经济中 机遇与挑战

Waste to Energy: Opportunities and Challenges for
Developing and Transition Economies

[希] Avraam Karagiannidis 主编

李晓东 严密 杨杰 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际环境工程先进技术译丛

废弃物资源化

——发展和变迁经济中机遇与挑战

[希] Avraam Karagiannidis 主编

李晓东 严 密 杨 杰 译



机械工业出版社

Translation from English language edition:

Waste to Energy by Avraam Karagiannidis.

Copyright © 2012 Springer London.

Springer London is a part of Springer Science + Business Media.

All Rights Reserved.

本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社独家出版。版权所有，侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记图字 01-2013-2605 号

图书在版编目 (CIP) 数据

废弃物资源化：发展和变迁经济中机遇与挑战 / (希) 卡拉基恩尼迪 (Karagiannidis, A.) 主编；李晓东，严密，杨杰译. —北京：机械工业出版社，2014. 11

(国际环境工程先进技术译丛)

书名原文：Waste to energy opportunities and challenges for developing and transition economies

ISBN 978-7-111-47827-0

I. ①废… II. ①卡…②李…③严…④杨… III. ①废物处理②废物综合利用 IV. ①X7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 200312 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：牛新国 责任编辑：闫洪庆

版式设计：霍永明 责任校对：张 薇

封面设计：马精明 责任印制：李 洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2014 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm · 18.75 印张 · 392 千字

0001—2500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-47827-0

定价：88.00 元



凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

社服务中心：(010) 88361066

销售一部：(010) 68326294

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

网络服务

教材网：<http://www.cmpedu.com>

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

本书共 15 章，根据其内容可分为两大部分，第 1 部分包括第 1 ~ 8 章，着重介绍了城市废弃物从管理方案设计到优化模拟运行，从热能系统利用到具体的厌氧消化、气化及共处置技术，从能源化工厂的模拟运行到热电联产的投资决策，涉及废弃物能源化、资源化利用过程中的方方面面，反映了废弃物处理与资源化领域的发展现状和趋势。

第 2 部分包括第 9 ~ 15 章，详细介绍了发展中国家，尤其是东欧、波罗的海区域国家的废弃物处置政策、行业技术发展现状和具体的案例分析；此外对毛里求斯、越南和巴西的废弃物能源化利用现状和前景进行了阐述；最后一章基于全球可持续发展视角探讨了废弃物的产生与处置。

本书可作为从事废弃物处置政策制定、规划、设计、运营，以及致力于城市卫生、能源工程和居住环境工作的管理人员和研究人员，以及相关专业本科生、研究生的重要参考书。

译者序

改革开放 30 多年来，随着经济和社会的快速发展，我国废弃物的产生量迅速增加，废弃物的快速有效无害化处置成为和谐社会建设及可持续发展的核心内容。译者从事固体废弃物减量化、无害化、资源化利用研究多年，见证了我国在生活垃圾无害化处理和资源化利用技术的进步和应用推广方面的成绩，同时也深刻理解我国生活垃圾资源化利用，尤其是焚烧发电推广工作依然面临的技术性和社会性难题和瓶颈。译者认为我国需要结合自身国情，包括人口数量及地域分布、土地供需、经济水平等因素，走一条具有中国特色的生活垃圾资源化清洁利用道路。过去我们一直关注发达国家生活垃圾处置的历史、现状及经验，试图从中找到适合我国生活垃圾处置的方案。同时我们也应关注其他发展中国家在生活垃圾资源化利用方面的现状和经验，相信对我国也会有所启发和帮助。译者非常愉快受邀主持本书的翻译工作，同时也感到非常荣幸。

本书不仅涉及了焚烧、气化提质、厌氧消化、热电联产和水泥窑共处置等多种垃圾资源化和资源化利用技术，同时也覆盖了希腊、巴西、越南、毛里求斯、波罗的海地区及东欧诸多国家在废弃物处理上的现状和最新成果，此外还介绍了废弃物管理方案设计和优化，资源化工厂的模拟运行和投资决策，涉及废弃物无害化、资源化、资源化利用的整个相关产业链。相信对从事废弃物处置政策制定、规划、设计、运营，以及致力于城市卫生、能源工程和居住环境工作的学者和管理人员具有重要参考价值，从本书中得到帮助和启发。

本书由李晓东担任主译，负责翻译工作的组织和统稿，由严密和杨杰负责初译及校对工作。

感谢本书各章原作者的研究和编写工作，对本书出版给予大力支持的其他学者和朋友在此一并向他们表示感谢。

本书译者长期工作在教学和科研第一线，具有深厚的专业基础和较好的国际视野，但疏漏和不足仍在所难免，恳请读者批评指正。

译者

原 书 前 言

许多国家虽已被认为超越了发展中国家的范畴，但其具有的废弃物处理系统仍严重依赖填埋（包括工程规范和非工程规范）、分散式低水平回收和堆肥，缺少废弃物资源化利用的整体方案与示范案例，因而从达到或满足世界上最先进的工程、健康和安全标准要求的角度来看，这些国家尚有显著的提升空间。

本书主要介绍了废弃物资源化广泛采用的方法和技术，包括焚烧、热解、气化、厌氧消化以及混合焚烧等，共 15 章，涉及发展中国家及废弃物处置系统资源化利用相关的各个方面。

在此感谢所有本书作者专业的工作和付出，特别要感谢 Stamatia Kontogianni 女士在此书编辑过程中的全力支持和帮助。

目 录

译者序

原书前言

第 1 章 废弃物材料化利用：长期选择	1
1.1 废弃物管理实践的发展和社会工业的升级	1
1.1.1 废弃物产生和管理的发展	1
1.1.2 可持续废弃物管理的未来远景	2
1.2 碳回收和高效资源利用	3
1.2.1 碳回收的典型路径	3
1.2.2 化学物和聚合物生产途径：什么是潜在可能的	5
1.2.3 城市生活垃圾原料质量问题	6
1.2.4 发展中国家和新兴国家的应用潜力	7
1.3 知识水平：垃圾作为热化学和生化转化技术的原料	8
1.3.1 发展中国家的资源潜力	8
1.3.2 环境绩效评估：垃圾转化为化学品	8
1.4 生活垃圾制成高价值产品	9
1.4.1 案例研究：费-托反应将废弃物制成烯烃	10
1.5 结论	16
参考文献	17
第 2 章 合理的城市生活垃圾管理规划工具和规程	22
2.1 城市生活垃圾管理介绍	22
2.2 城市生活垃圾管理技术概述	23
2.2.1 转运站	23
2.2.2 垃圾处理方法	24
2.2.3 最终处置场所	27
2.3 规划工具	28
2.3.1 IWMF 的最佳数量和位置	28
2.3.2 成本要素的归一化	30
2.4 管理方案优化的对象和目的	33
2.4.1 可选择的管理计划	33
2.4.2 方案优化的对象	34
2.4.3 优化方案的目的	35

VI 废弃物资源化——发展和变迁经济中机遇与挑战

2.4.4 一个两步走的规划方案	35
2.5 战略管理方案的制定步骤	36
2.5.1 数据和信息收集	37
2.5.2 法律法规和其他管理目标评述	37
2.5.3 处理技术的选择	37
2.5.4 IWMF 的选址	37
2.5.5 战略管理方案的制定	38
2.5.6 可选方案的比较评估	38
2.6 最优规划的具体制定步骤	39
2.6.1 设施的选址	40
2.6.2 数据和信息收集	41
2.6.3 最佳管理方案的制定	42
2.7 讨论	43
参考文献	43
第3章 废弃生物质热能利用集成生产系统的方法框架	45
3.1 引言	45
3.2 动机	46
3.2.1 用于热能生产的废弃生物质能	47
3.2.2 发展中国家的案例分析	49
3.3 废弃生物质热能	50
3.3.1 热能生产	50
3.3.2 废弃生物质供应链的运作	52
3.3.3 可持续性	54
3.4 一种策略优化模型	55
3.4.1 系统研究	55
3.5 一个实际案例的研究	57
3.6 结论	60
参考文献	60
第4章 垃圾特性和废弃物能源化工厂模拟实现最佳运行工况	64
4.1 引言	64
4.2 垃圾性质	65
4.3 物质和能量流网络	66
4.3.1 建立网络模型	68
4.3.2 废弃物能源化处置厂模型	69
4.3.3 最佳运行策略	75
4.4 结论与展望	81

参考文献	82
第 5 章 废弃物厌氧消化	83
5.1 厌氧消化的一般性质	83
5.2 厌氧工艺的基础	84
5.2.1 生物化学和微生物学	84
5.2.2 工艺参数和因素	84
5.2.3 沼气特性	86
5.2.4 沼气生产的基质	87
5.3 沼气发电厂的规划和成功运行	88
5.3.1 沼气发电厂类型	88
5.3.2 厌氧消化厂的面积	91
5.3.3 设计阶段	92
5.3.4 沼气厂的运行	93
5.3.5 安全问题	94
5.3.6 分散式沼气池的生态和社会影响	94
5.4 产品的利用	95
5.4.1 沼气利用	95
5.4.2 沼渣	95
5.5 沼气技术的推广	96
5.5.1 一般情况	96
5.5.2 中国的沼气技术	96
5.5.3 拉丁美洲的沼气技术	98
5.5.4 非洲的沼气技术	100
5.5.5 拉丁美洲和非洲沼气技术的推广评估	101
5.6 展望	101
参考文献	102
第 6 章 在发展中国家使用水泥窑处置危险废弃物	105
6.1 水泥生产过程	105
6.1.1 生产步骤	105
6.1.2 热区域	106
6.2 水泥窑处置危险废弃物的特性	107
6.2.1 高温和长停留时间	107
6.2.2 高热容	107
6.2.3 碱性环境	107
6.2.4 废弃物产生量少	107
6.3 水泥窑处置危险废弃物的优势	108

VIII 废弃物资源化——发展和变迁经济中机遇与挑战

6.3.1 能源回收	108
6.3.2 节约不可再生资源	108
6.3.3 降低水泥生产成本	108
6.3.4 设备现成	108
6.3.5 降低废弃物运输成本和风险	108
6.4 水泥窑处置最合适的/不推荐的危险废弃物及其归趋	109
6.4.1 发展中国家的危险废弃物	109
6.4.2 适用于水泥窑的废弃物	110
6.4.3 不推荐用水泥窑处置的废弃物	112
6.4.4 排放和归趋	112
6.4.5 水泥窑的试运行	114
6.5 结论	115
参考文献	116
第7章 用于设计和优化生物质气化炉利用农业废弃物的热力学方法	119
7.1 引言	119
7.2 印度背景下的能源安全	121
7.2.1 当地或国内替代品	122
7.2.2 可替代能源的开发	122
7.3 印度电力部门:事实与数字	122
7.4 印度可再生能源事业	128
7.4.1 印度可再生能源的选择及其可行性	130
7.5 以混合生物质为原料的气化炉性能热力学评估	135
7.5.1 碳的不完全转化	135
7.6 数学模型	138
7.6.1 吉布斯能最小化算法	138
7.7 模拟结果	139
7.7.1 仿真结果的趋势(平衡模式)	139
7.7.2 半均衡模型的模拟结果与趋势	145
7.8 讨论	145
7.9 结论	147
参考文献	148
第8章 不确定情况下城市生活垃圾热电联产的投资决策	150
8.1 引言	150
8.2 研究现状	152
8.2.1 发展中国家和新兴经济体国家的垃圾处置现状	152
8.2.2 废弃物资源化技术	153

8.2.3 能源投资的最佳时间	154
8.3 研究方法	154
8.3.1 案例研究	154
8.3.2 问题公式化	155
8.4 数值算法的设置	157
8.4.1 模型的数据输入	157
8.4.2 随机分析	157
8.5 模型结果	160
8.6 敏感性分析	162
8.7 结论	162
参考文献	163
第9章 希腊的垃圾管理现状及废弃物资源化利用潜力	166
9.1 引言	166
9.2 希腊垃圾管理现状	167
9.3 废弃物资源化技术	170
9.3.1 立法介绍	170
9.3.2 废弃物资源化技术简介	171
9.3.3 热处理技术排放水平	172
9.3.4 城市生活垃圾热处理对缓解全球变暖的贡献	173
9.4 希腊废弃物资源化的潜力	174
9.4.1 简介	174
9.4.2 阿提卡案例分析	175
9.4.3 罗德岛案例分析	175
9.5 结论	176
参考文献	177
第10章 波罗的海国家的城市生活垃圾焚烧：影响因素和前景	179
10.1 引言	179
10.2 城市生活垃圾焚烧计划	180
10.3 城市生活垃圾焚烧的影响因素	181
10.3.1 法律框架和经济措施	182
10.3.2 城市生活垃圾的产生和组成	183
10.3.3 垃圾管理行业的发展	184
10.3.4 能源行业的发展	185
10.3.5 公众的看法	187
10.4 爱沙尼亚 Iru 废弃物资源化处理厂的案例	187
10.4.1 焚烧技术	187

X 废弃物资源化——发展和变迁经济中机遇与挑战

10.4.2 经济方面	190
10.4.3 环境影响	191
10.5 结论	194
参考文献	195
第 11 章 东欧和东南欧废弃物资源化利用	198
11.1 引言	198
11.2 欧洲废弃物资源化国家	200
11.3 垃圾的产生和预估	203
11.4 WtE 在可再生能源产业和 CO ₂ 减排中的作用	208
11.5 WtE 在欧洲东南部和东部各个国家的地位	210
11.5.1 波罗的海国家	210
11.5.2 欧洲东部和中部国家	212
11.5.3 欧洲东南部国家	217
11.6 结论	220
参考文献	221
第 12 章 毛里求斯生物质资源化利用：研究及应用概述	229
12.1 生物质和可再生能源的需求	229
12.2 MSW 生物质和废弃物资源化	230
12.2.1 MSW 和 WtE 焚烧	230
12.2.2 厌氧生物技术要领	230
12.3 毛里求斯的 MSW 产生和 WtE 潜能	231
12.3.1 毛里求斯的可持续概念	232
12.3.2 毛里求斯 MSW 的总量和特性	232
12.4 源于生物质的能源：毛里求斯的研究	235
12.4.1 原材料研究	235
12.4.2 MRC 的研究	239
12.5 毛里求斯的 WtE：大规模应用	240
12.5.1 糖厂甘蔗渣的热电联产	240
12.5.2 污泥衍生沼气发电	242
12.5.3 生物乙醇生产	244
12.6 Mare Chicose 填埋场垃圾填埋气的管理	244
12.7 结论	245
参考文献	247
第 13 章 河内城市生活垃圾资源化利用前景	249
13.1 引言	250

13.2 河内城市生活垃圾	251
13.2.1 数量和特征	251
13.2.2 能源化利用潜力	256
13.2.3 越南垃圾衍生燃料产物及能源利用	258
13.3 结论	261
参考文献	261
第 14 章 巴西废弃物能源化利用现状	263
14.1 引言	263
14.2 监管框架	264
14.3 能源转化	265
14.4 能源供应	266
14.5 激励和处罚	267
参考文献	268
第 15 章 废弃物焚烧和废弃物减量之间的非确定关系	270
15.1 引言	270
15.2 全球可持续资源管理的必要性	271
15.2.1 转移到发展中国家的问题	272
15.2.2 PGM 案例研究	272
15.2.3 废弃物出口	272
15.2.4 小结	273
15.3 废弃物管理的功能变换	273
15.3.1 废弃物管理的创新领域	274
15.3.2 废弃物减量方案	274
15.3.3 小结	275
15.4 理论框架：社会技术系统的创新	275
15.4.1 生态创新	275
15.4.2 基础结构理论	276
15.4.3 小结	276
15.5 德国废弃物管理	277
15.5.1 垃圾焚烧能力的发展	277
15.5.2 柏林案例研究	279
15.5.3 法兰克福案例研究	281
15.6 结论	282
15.6.1 对回收再分配系统的影响	283
参考文献	284

第 1 章 废弃物材料化利用：长期选择

Philip Nuss, Stefan Bringezu, Kevin H Gardner

摘要：废弃物管理是全球城市化面临的最大挑战之一。技术先进的经济体产生大量有机废弃物，大部分都被填埋处理掉。未来，高效利用含碳废弃物及其他废弃物将减少对包括生物质在内的原始材料需求，同时也可减少大气的碳排放以减缓气候变化。在生命周期终端，含碳废弃物不应只是能源化利用，更应该通过技术实现碳回收使之成为原料。热转化和生化转化技术可实现有机废弃物转化为化学原料和多种聚合物。合成材料可实现更闭合的物料循环，减少对化石和生物基材料的依赖。本章总结了可行的碳回收方法，研究如何长期使用这些技术方法来在工业化国家及发展的新兴经济体中加强废弃物管理。本章利用案例分析，总结了利用有机废弃原料进行费-托合成气化反应（FTS）生成高密度聚乙烯（HDPE）的全系统全球变暖潜力（GWP）和累计能量需求（CED）。研究结果显示考虑到废弃物填埋产生的温室气体（GHG）排放，有机废弃物原料化利用是有利的。

1.1 废弃物管理实践的发展和社会工业的升级

1.1.1 废弃物产生和管理的发展

从史前时代开始，人类活动就会产生那些低价值或无用的废弃材料。在早期，由于人口少，有足够的土地去消纳这些废弃物，废弃物的处理未造成显著问题。然而随着人口的增加，村庄和社区逐渐建立，大量废弃物的积累造成了严重的后果^[62]。此后，材料的需求和消耗快速增加，这不仅归因于全球人口的大量增加，同时也因个人消费品和资产的巨大增加，尤其是在富足的国家。同时受益于技术的发展，废弃物处置产生的问题逐步纳入考虑。

现今美国人均每年产生城市生活垃圾（MSW）量约为 745kg^[20]，欧盟 27 国的平均产生量为 522kg/(人·年)^[23]。现代人类在他们的工作和生活里，大概消耗 30 ~ 75t/(人·年)的材料^[7]。在这些消耗的材料中，平均 90% 的生物质和超过 90% 的不可再生材料在制造消费者需要的产品过程中被废弃^[40]。虽然材料利用率会越来越高，但是没有证据显示材料总消费量会降低^[8]，因此将会有更多的废弃物产生^[10]。虽然发展中国家产生的废弃物相对工业化国家还比较少，但废弃物管理同样缺乏^[27]。经济快速增长和随着收入较低或中等地区生活水平的提高，必将加速废弃物的产生，同时废弃物组分将更加复杂和多样化。

科学合理的废弃物管理是 21 世纪各国面临的一大重要挑战^[66]。传统上,城市生活垃圾管理包括收集、运输、资源回收、再生和处置。垃圾管理的初级目标是保护居民人口健康,提高环境质量,可持续发展和为经济生产提供支持^[27]。另外,气候变化让人更加重视生物降解废弃物,如餐厨垃圾和花园废弃物,这些废弃物在填埋后会在厌氧环境下产生具有强烈温室效应的甲烷气体。根据美国环境保护署,废弃物综合管理主要有四种手段:①源头减量,包括再利用,②回收和堆肥,③燃烧(发电或产热)和④填埋^[38]。一个可持续的废弃物管理体系案例由丹麦和日本提出,该体系由多种技术和机制在一个明确的政策下灵活作用^[66],这样的可持续废弃物管理系统设计模拟了生态系统的运作。从系统角度分析帮助确定在某个行业被认为是无用的而在另外行业可作为原料的废弃物。

1.1.2 可持续废弃物管理的未来远景

生态系统给出了可持续发展系统的最好例子^[19]。工业生态中的一个核心原则是工业系统使用的物料,能够以循环方式提炼和代谢,由可再生能源的梯级利用来驱动^[2]。废弃物的重新利用是减少原料需求和减少环境压力的一项重要措施^[22]。然而,城市废弃物流中如金属、塑料和纸张等废弃物成分的回收率非常不同,甚至在工业化国家之间也存在较大的差异。如 2007 年德国 25% 的生活垃圾被填埋和焚烧^[17],而 2008 年美国有 67% 的生活垃圾被堆放处置^[20]。此外,欧盟填埋指令要求减少可生物降解废弃物填埋处置的比例(包括德国),但是在美国却有大量的有机废弃物被运到填埋场填埋。虽然这些有机废弃物富含碳元素,能够通过热和生物处理转化为有用的材料(碳回收),但现实是有机废弃物仍被填埋处置。

碳回收的概念是指,通过传统的焚烧(回收热)、厌氧消化和填埋(生产生物气或填埋气)等方法和技术利用储存于生物废弃物中的碳使其免于直接释放进入大气,废弃物中蕴含的碳应该被视作一种有利用价值的资源^[6]。相反,碳捕集和储存这种情况常常发生在资源链源头(如在石油开采现场减少化石温室气体的排放),碳捕集和再利用将会得到进一步的发展并在社会工业的更新换代中得到应用。特别是利用气化技术生产合成气或利用厌氧消化技术生产沼气(甲烷)[○]。合成气和沼气能够作为费-托反应所需的碳原料以制备基础化合物,如费-托反应制备石脑油和其他多种化合物及燃料。此外,利用水解和发酵反应能够产生大量的基础化学物质。

当来自于废弃物的燃料(费-托柴油、甲醇和乙醇等)在燃烧设备中氧化,这些碳(在废弃物原料初始捕集部分)被重新排放进入大气。假设通过这种方法的环境整体负荷要小于传统的化石燃料生产过程,那么这种工艺路线将有助于减轻环境压力。然而,这种闭合循环使用碳作为燃料的方法在社会工业中仍是一种线性过程,依

○ 另外,未来其他回收技术像空气捕集合成树,该技术由美国哥伦比亚大学的 Klaus Lackner 教授研发,利用阴离子树脂制备吸收器表面(树叶)捕集空气中的 CO_2 ^[39],有可能成为未来化学合成需碳的来源。——原书注

赖于有多少废弃物原料可用^[6]。

相反，如果用于塑料生产的合成材料能够人工合成，那么碳将以有用的形式保存更长久，同时也可作为技术领域的耐用品。这些塑料产品将能够在使用后重新产生能量或作为合成气的原料，而停留在利用链上。图 1-1 揭示了碳回收的概念，将有机废弃物作为费-托反应合成聚乙烯的原料。

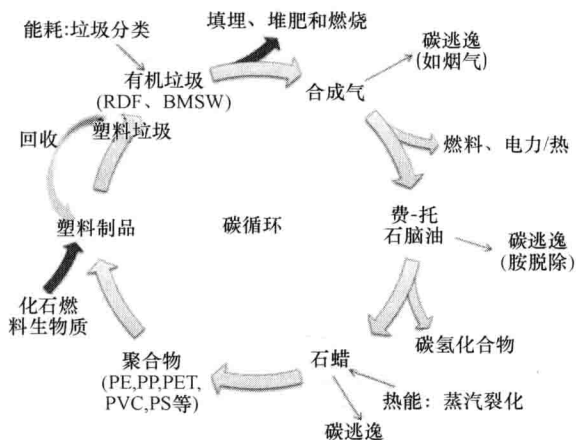


图 1-1 碳回收：通过费-托合成反应利用有机废弃物。有机废弃物能通过传统的气化和费-托反应生成石脑油（也包括费-托柴油和电力及热能）。费-托石脑油可通过常规的蒸汽裂化转化为石蜡。聚乙烯（PE，PP）和其他聚合物（PET，PVC，PS 等）通过聚合反应产生，并用于制造塑料产品。在生命周期终端，可通过分解或重新利用（推荐能量消耗少和资源回收密集的方法而不是通过费-托反应），甚至通过气化实现能量及碳的再次回收，实现一个闭合循环

从环保角度来看，相对于原始的绿色生物质，废弃物的利用具有不直接占用土地、收集和处理系统已经到位等优势。另外，热处置（如气化）具有更大的优势，能实现减容、消除传染，浓缩聚集某些有毒的元素（如镉），这些有毒元素被集中在气化产生的灰渣中^①。

为了同传统废弃物管理方法进行比较，以下用一个综合全面的系统分析来评价碳回收的全生命周期表现。

1.2 碳回收和高效资源利用

1.2.1 碳回收的典型路径

有机废弃物是指含碳废弃物组分，能够作为热化学和生化反应的原料。这些物质包括：

① 从废弃物中消除有毒物质产生含多种有毒物的灰渣，将来可能实现灰渣中金属的回收。——原书注

- 可生物降解的城市生活垃圾（BMSW）。
- 城市塑料废弃物。
- 建设和拆迁（C&D）过程产生的生物质。
- 液状废弃物（如生活污水污泥）。

BMSW 包括所有可以生物降解的垃圾组分，包括食品垃圾、纸张、纸板、庭院废弃物和树木废弃物。这些纤维素和半纤维素能够作为发酵水解或者厌氧消化的原料（餐厨垃圾、绿色有机垃圾、纸张和纸板）。塑料废弃物包括利用化石塑料^①生产的耐用商品，如 PE、PP 和 PET 等。C&D 是那些来自新建筑建造，修缮过程，包括处理和未处理的木头碎片。有机液状废弃物包括市政污泥，如生活污水污泥、动物废弃物，这些废弃物能够通过厌氧消化或者干化后气化。另外，工业有机废弃物原料会比市政废弃物更有用，更稳定和均匀。

有机废弃物能够通过生化和热化学转化成为交通燃料、化学生产和生物能源的原料。当前的生物精炼技术主要关注木质纤维素的利用，这些木质素主要来源于农业和林业，作为生产生物燃料和化学品的第二代原料，且对有机废弃物作为原料的关注度越来越高。生化过程可以利用厌氧消化或水解反应来打开生物质中的多糖结构（木质素）。另外可行的热化学过程能够用作生物质原料的脱水和挥发干燥，其在生物精炼研究上发展迅速，预计商业生产设备将在不久的将来得到实践^[26]。图 1-2 给出了有机废弃物可能的转化技术途径。粗线条显示了较受关注的有机废弃物作为工业合成原料的技术路线，如聚合塑料生产。

总之，当有机废弃物含水量较低时，热化学方法包括气化技术优于生物方法；但当有机废弃物含水较高时，生化转化技术具有更好的适用性^[35]。

1.2.1.1 热化学处理（“干”碳回收）

热化学转化生产燃料和化合物可采用热解或气化法。热解是在缺氧的环境下热处置生物质，产生生物油、气体和生物焦炭。气化发生在高温和受控氧环境下，产生富含氢气和一氧化碳的合成气。热解和气化的中间产物通过多种催化反应都具有作为燃料和化学合成原料的可能（如费-托反应）（见图 1-3）。

1.2.1.2 生化处理（“湿”碳回收）

生化转化利用酸或酶将生物质中碳氢化合物催化转化（半纤维素和纤维素）生成中间糖体，这些糖可进一步发酵生成乙醇和其他产物。剩下的木质素不能通过生物转化法利用，可通过燃烧进行产热或发电，或利用热化学转化生产额外的燃料和化学物。

① 在热化学转化工艺初始阶段，利用传统的化石塑料作为生产合成气以及利用乙醇石蜡转化法和费-托合成法制备大量的塑料。然而，这套工艺是利用回收塑料通过气化方法生产新的塑料，说明原料将逐渐地由化石来源塑料向废弃物来源塑料转化（假设在将来的几十年内，化石来源塑料作为原料将变得非常少见）。同时这些塑料将逐渐淡出，因其将逐渐不适合作为原料，或作为回收方法的终端产物。——原书注