

Supported by:



Federal Ministry for the
Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety



based on a decision of the German Bundestag

中国城市生活垃圾中 生物质组分的回收和利用研究

Universität
Rostock  Traditio et Innovatio



 German RETech Partnership
Recycling & Waste Management
Made in Germany

出版信息

研究机构:

罗斯托克大学

同济大学

RETech 公司

编写人员:

罗斯托克大学

Michael Nelles 博士, 教授

Abdallah Nassour 博士

Ayman El Naas 博士

Astrid Lemke 工学硕士

Gert Morscheck 博士

Andrea Schüch 博士

(主要完成第 1 章, 第 2 章, 第 6-8 章)

同济大学

何品晶 博士, 教授

吕凡 博士, 教授

邵立明 博士, 教授

章骅 博士, 教授

(主要完成第 3-5 章)

2017 年 1 月, 罗斯托克

本研究经德国议会决议, 由德国联邦环境、自然保护、建筑和核安全部资助完成。本报告编写人员对报告内容负责。

ISBN 978-3-86009-451-8

目 录

1. 背景和研究目标.....	1
2. 循环经济的发展历程.....	3
2.1 德国.....	3
2.2 中国.....	6
3. 中国城市生活垃圾中生物质组分管理相关法规.....	11
4. 中国固体废物管理组织机构、职责和资金.....	14
4.1 机构和职责.....	14
4.2 资金.....	17
5. 中国城市生活垃圾中生物质组分回收及处理处置现状.....	18
5.1 生活垃圾产生量.....	18
5.2 生活垃圾组成.....	19
5.3 生活垃圾的收集和运输.....	21
5.4 混合收集生活垃圾的处理处置.....	22
5.4.1 城市.....	22
5.4.2 县城.....	24
5.4.3 村镇.....	24
5.5 财政投资.....	25
5.6 城镇生活垃圾处理规划.....	26
5.7 餐厨垃圾.....	28
6. 城市生活垃圾中生物质组分的利用和处置技术现状.....	30
6.1 分类收集、处理及利用.....	30
6.1.1 法律背景及资源环境保护的重要性.....	30
6.1.2 收集和运输.....	31
6.1.3 处理技术.....	33
6.1.4 处理设施的运行.....	40
6.1.5 部分参考案例.....	44
6.2 混合收集，处理和利用.....	49
6.2.1 法律背景及资源环境保护的重要性.....	49
6.2.2 处理技术.....	50

6.2.3	MBT 处理设施的运行	53
6.2.4	部分参考案例	56
7.	中国城市生活垃圾中生物质组分利用及处置方法	61
7.1	分类收集的生物质组分	64
7.1.1	法律、法规、管理及控制	64
7.1.2	生物质废物收集及运输	64
7.1.3	机械处理	67
7.1.4	生物技术	68
7.1.5	产出物的利用及处置	71
7.1.6	建议	72
7.2	混合收运的生物质组分	73
7.2.1	法律、法规、管理及控制	73
7.2.2	机械生物处理	74
7.2.3	输出流的利用及处置	75
7.2.4	建议	77
8.	总结	79
9.	参考文献	82
	附件：中国城市生活垃圾的相关法律、法规及标准清单	86

图清单

图 2-1 以时间轴表示的德国废物管理法律（左侧）及技术（右侧）发展总结	4
图 2-2 中国城市生活垃圾法律（左侧）和技术（右侧）发展历程	9
图 4-1 中国固体废物管理部门	14
图 4-2 中国固体废物管理组织结构	17
图 5-1 中国城市的生活垃圾清运量的年度变化状况	18
图 5-2 中国县城的生活垃圾清运量的年度变化状况	18
图 5-3 各省（区）镇（集镇）生活垃圾产生密度分布	19
图 5-4 各省（区）村庄生活垃圾产生密度分布	19
图 5-5 中国代表性城市的生活垃圾组成分布	20
图 5-6 中国代表性县城区的生活垃圾组成分布	20
图 5-7 中国代表性村镇的生活垃圾组成分布	21
图 5-8 历年市容环卫专用车辆设备数量	21
图 5-9 中国城市生活垃圾的处理情况	23
图 5-10 中国城市生活垃圾处理设施的数量和处理规模	23
图 5-11 中国县城生活垃圾的无害化处理水平	24
图 5-12 2014 年中国各地区县城的生活垃圾处理情况	24
图 5-13 2015 年全国城镇生活垃圾处理设施情况	27
图 5-14 2020 年全国城镇生活垃圾处理设施规划	28
图 5-15 十三五新增餐厨垃圾处理设施规划	29
图 6-1 城市生活垃圾产生源及分类收集示意图	30
图 6-2 分类收集对于资源保护和应对气候变化的重要性	32
图 6-3 德国垃圾分类—不同可回收物及其他垃圾收集量	33
图 6-4 生物质废物回收利用技术体系	34
图 6-5 堆肥产品成分及对植物、土壤及环境的影响	35
图 6-6 堆肥过程	35
图 6-7 堆肥过程和堆肥产品的控制和品质保障参数	36
图 6-8 堆肥设施的简易流程图	36
图 6-9 厌氧消化设施（含前后处理）简易流程图	38
图 6-10 不同消化类型及其含固率	39
图 6-11 设施运行的目标及监管重点	41

图 6-12 堆肥及厌氧消化温室气体减排对比.....	42
图 6-13 不同堆肥设施的温室气体排放.....	43
图 6-14 垃圾处理后进入填埋场对温室气体排放的影响及减缓效益.....	50
图 6-15 针对其他垃圾的主要处理方式及对应的产出.....	51
图 6-16 不同 MBT 技术简易技术流程图.....	52
图 6-17 MBT/MPS/MBS 的产品组成 (2012).....	53
图 6.18 德国部分 MBT 处理厂用电消耗量.....	55
图 6-19 德国部分 MBT 处理厂天然气使用消耗量.....	55
图 7-1 垃圾管理系统中应当考量的因素和利益相关方.....	61
图 7-2 中国废弃物管理战略中应考虑的主要因素.....	62
图 7-3 中国废弃物管理战略应考虑的技术因素.....	63
图 7-4 中国垃圾分类收运战略.....	65
图 7-5 中国生物质废物的处理概念.....	68
图 7-6 堆肥过程的主要影响因素.....	69
图 7-7 MBT 及 MBS 的简要处理流程.....	74
图 7-8 混合城市生活垃圾 MBT 处理时的产出.....	76
图 7-9 中国城市地区混合生活垃圾组分.....	77
图 7-10 德国剩余垃圾组分及采用两种不同的 MBT 技术时的产出.....	78
图 8-1 中国现有及建议废物管理系统下的废弃物流向比较.....	80

表清单

表 2-1 中国行政区划.....	7
表 4-1 中国固体废物管理框架结构.....	15
表 5-1 村镇生活垃圾收运处理的物流模式.....	22
表 5-2 “十三五”生活垃圾处理设施建设投资（亿元）	25
表 6-1 好氧处理过程技术总结.....	38
表 6-2 不同厌氧消化技术总结.....	40
表 6-3 德国有机垃圾和园林垃圾回收全过程（处理+贮存+产品应用）温室气体排放.....	42
表 6-4 机械生物处理（MBT）后进入填埋场的入场垃圾标准	49
表 7-1 提供目标收集量时的假设条件、计算收集能力、所需容器	66
表 7-2 城市、县城及村镇垃圾平均含水率（参考第 5.2.1 节）与不同技术适用范围的比较	69
表 7-3 不同收集率及人口量对应的生物质废物估算量.....	69
表 7-4 中国食品废弃物的性质及与厌氧消化适宜范围的比较.....	70
表 7-5 中德堆肥产品标准限值比较.....	72

1. 背景和研究目标

近年来，中国在垃圾管理领域上取得了很大的进步。在大城市，有价值的物质（纸和纸板包装，塑料，金属）已经实现了收集和回收，因此上述物质在城市生活垃圾中的含量不是很高。城市地区的城市生活垃圾也有良好的数据记录。然而由于在生物质组分（本文也称生物质废物）目前仍混合在生活垃圾中，混合收集和处理，其材料和能源潜力未实现有效利用，因此仍需进一步改善和优化。另外，农村地区的垃圾管理必须从根本上进行改善。

城市生活垃圾中生物质组分的处理和管理是目前中国垃圾管理面临的主要挑战，世界上大多数国家也存在同样的问题。生物质组分量，含水率高是问题的关键。对于大城市而言，每日生活垃圾产生量可能为 1000 到 20000 吨。平均来说，中国城市生活垃圾中超过 60% 为生物质废物。这些生物质废物（主要为厨余垃圾）含水率很高，因此城市生活垃圾总含水率也非常高，大约为 60%。

城市生活垃圾中的高有机质和含水率是垃圾处理的一个挑战，从生态和能量利用的角度均存在一定的问题。填埋处理时，生物质组分产生影响气候变化的填埋气，同时渗滤液水质大大降低；当在垃圾焚烧厂处理时，高有机物含量和高水含量阻碍了垃圾的有效燃烧，生物能和化学能均有所损失，因此热处理不够有效。

在气候保护方面，生物质废物的环境友好处理和利用是气候保护成功的关键，德国在这方面已经积累了很多经验，希望可以转移这方面的知识和经验，进而支持中国的相关研究和

发展。

中国政府设定了雄心勃勃的垃圾管理目标，旨在提高最终处置之前垃圾回收和处理的比率。近年来，中国建设了很多垃圾焚烧电厂用来处理城市生活垃圾，然而由于垃圾含水率高、热值低，导致焚烧过程产生了一些问题。发展可持续的垃圾处理方式可以进一步提高生物质废物的利用效率。

基于上述背景，本研究探讨了城市生活垃圾中生物质组分分类收集和利用在中国实施的可能性。在此研究目标下，除了评价现有相关技术文献，报告研究结果也于中国专家进行了探讨及评估。

本研究的目的是描述和分析中国生物质废物现状并研究开发合适的解决方案，为其将来的利用做准备。结果将以研讨会的形式传达给中国参与者，生物质废物的重要性和处理需求会进一步得到重视。此外，解决方案和可利用的技术以及供应商在报告中也有研究和介绍；研究结果可以成为未来试点项目和垃圾回收厂合作建设的基础。

城市生活垃圾包括居民生活垃圾（生活垃圾、大件垃圾、餐饮垃圾，分类回收的可回收物如玻璃、纸、包装物、金属、等），以及类似居民生活垃圾的商业垃圾（产生于医生办公室，行政大楼、学校和幼儿园的垃圾）；另外，城市生活垃圾也包括集市垃圾，道路清扫垃圾，公共区域垃圾，园林垃圾及污水处理过程产生的垃圾（市政污泥）。

本研究重点关注城市生活垃圾中的生物质废物部分，**但不包括污水处理产生的市政污泥**。此外，考虑到餐厅产生的餐厨垃圾对于中国垃圾处理有很重要的意义且目前的处理状态在未来可能发生改变，因此餐厨垃圾也考虑在内；本研究不考虑危险废物处理。

在欧洲的立法中，对生物质废物或可生物降解的废物进行了定义。由于法律上的差异，不同的有机物可能均可纳入这些类别中。为了避免误解，在本研究中使用生物质废物这一词汇。生物质废物指能够被生物降解的有机废物，且最终可以转化为其他有机组分，如沼气、或降解为矿物组分。同时，生物质废物也可以包括不同领域不同行业产生的有机垃圾，如农业，食品行业，能源行业以及个人消费行业。

2. 循环经济的发展历程

2.1 德国

随着新的政策和法规要求的实施以及技术和组织机构的发展，德国废物管理一直在持续的发生变化，并已发展为一个强大的经济部门。现有的废物管理体系是一个长期发展过程的结果。图 2-1 根据时间轴的变化，总结了这一发展过程。

该图给出了废物管理立法基础的历史变化。早在 1893 年的普鲁士地方税法中就对市政性的财政资金进行了规定，为市政清洁设施的建设提供了先决条件。各市政体从此有权征收垃圾处理费用。随后，在 1935 年，德国市政管理部门建立了接入和使用废物收集系统的基本原则。这确保了所有废物均被收集，禁止了非法投弃路线的存在。1960 年代中期，各城市及市政体被最终确认为废物处置的管理主体，负责废物处置相关事务。同一时期发布了废物处置的第一批公告，为废物处理提供了指导。

从废物处置到循环利用

截至 1960 年代末，德国废物大多被堆放在非正规填埋场，非正规填埋场数量达到约 5 万个。只有约 37% 的城市生活垃圾在约 130 个卫生填埋场、16 个堆肥厂和 30 个焚烧厂内得到处理处置 (Billitewski et al., 2013)。当时，相关技术尚不成熟，导致二次污染问题的出现，如生物质废物降解过程排放渗滤液污染地下水和排放气体、垃圾焚烧的污染物排放、混合垃圾堆肥产品的质量等问题。

1970 年代初期的经济增长，使得工业生产和个人消费快速增长，也使得一次性包装和产品大量增加。在这一时期内，废物管理一方面必须面对废物量的快速增长；另一方面必须建立一个有序的废物处理处置过程，以减少其对人类和动物的健康风险。第一部宪法级别的相关法律，即 1972 年的废物处置法，目的就是解决这两个问题。

根据这一法律，到 1980 年代末，原有的 5 万个非正规填埋场大幅减少。同时填埋技术也在不断的发展。在同一时期，垃圾焚烧厂的数量也增加了，但烟气处理环节仍有不足。虽然所有的设施都有除尘设备，但只有 1/3 的设施有进一步的烟气净化系统。受这一因素影响以及生活垃圾中化学品含量的增加，污染物排放量也在持续上升。

混合垃圾的处理技术尚不是环境友好的。生产固体回收燃料 (SRF) 的初期尝试曾被中断，主要问题就是污染物排放问题。城市生活垃圾的堆肥也无法实现，因为生活垃圾成分出现了前述变化，金属和复合材料的比例增加，重金属负荷也增加了。这导致堆肥产品品质低，无法被农民接受和使用。

从城市生活垃圾中回收可回收物的初期尝试也失败了。原因主要是产品质量不高、分选系统效率低。从 1980 年代中期开始，对某些种类的生活垃圾组分开始单独收集 (玻璃、纸)。

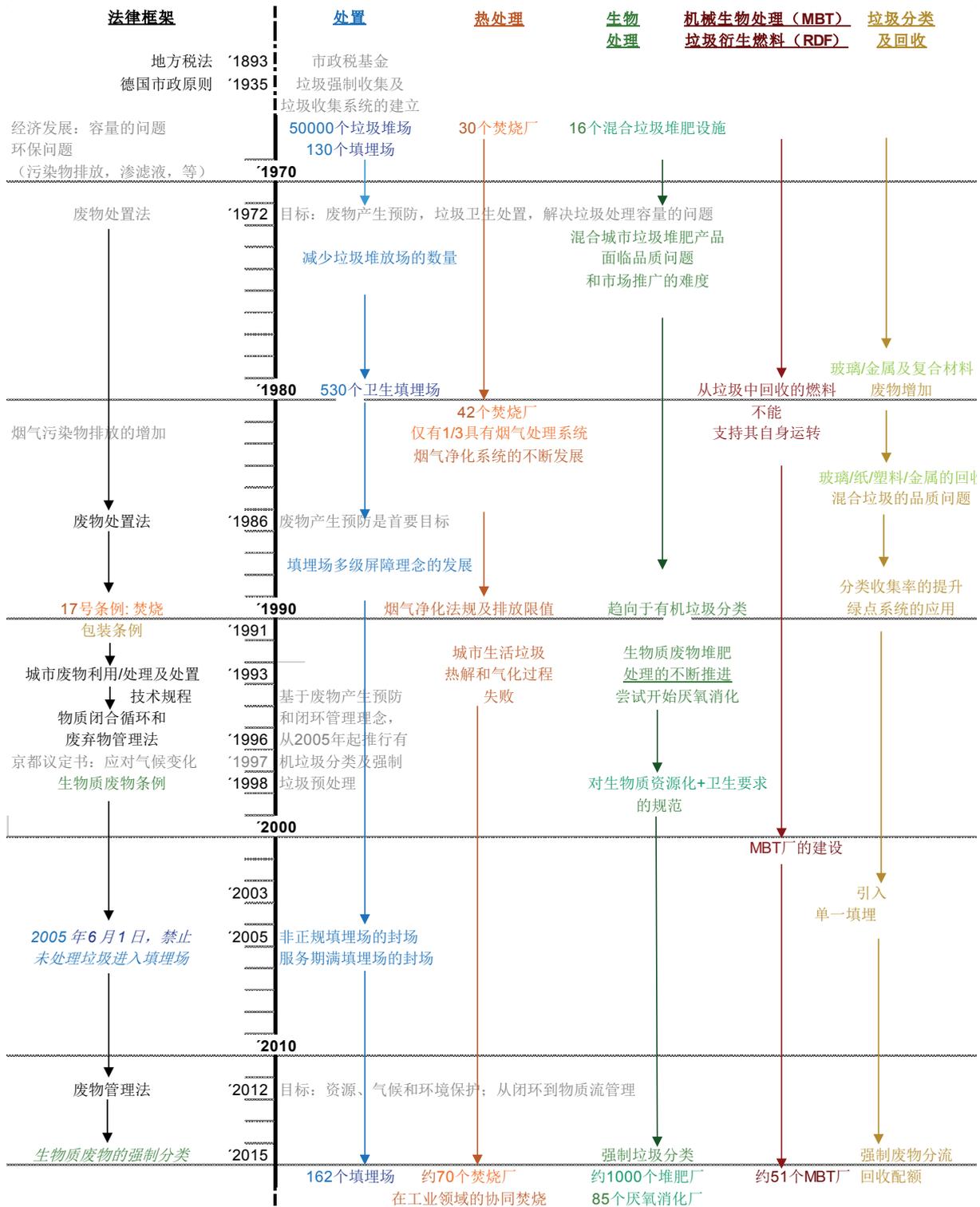


图 2-1 以时间轴表示的德国废物管理法律 (左侧) 及技术 (右侧) 发展总结

虽然在废物的妥善处理处置方面, 德国已经取得了良好的进展。但是, 在废物总量的管理上, 德国表现并不上佳。为此, 1986年的《废物处置法》中, 宣布将废物的预防产生(减排)作为循环利用和最终处置前的一个优先目标。废物减排包括采用废物产生量较低的技术、产品的回收利用、可循环建设及产品使用寿命的增加。

由于回收技术的质量问题, 90年代初, 德国对废物处理处置路线进行了重新思考, 将单独收运提升到了更为重要的层次。从生活垃圾中单独收运的生物质组分明显增加。只有通过单独

收运，才可能产生有经济价值的生物质废物产品。单独收运生物质废物的堆肥处理及厌氧消化处理受到重视。因此，在 1990 年代初期，仅有不到 10 座的混合垃圾堆肥厂，而有约 80 座生物质废物堆肥厂运行。同一时期，以玻璃、纸张、塑料和金属为主的回收利用也表明，对有价值的物质进行单独收运是生产高质量二次原料的先决条件。

根据 1990 年制定的《17 号联邦污染物排放控制条例》，现有的垃圾焚烧厂必须升级其烟气净化系统以达到相应的排放限值，否则必须关闭。尽管有此条例规范，但由于新型污染物二噁英的备受关注，垃圾焚烧仍然遭到强烈反对。17 号条例一直在持续修订，烟气净化系统不断被升级，垃圾焚烧及协同焚烧设施的排气质量得以大幅提升。到 2000 年，不仅焚烧厂数量增加，平均处理能力也有所增长。在生活垃圾的热处理领域还进行了热解和气化技术方面的试验，但并未被接受和推广。

根据 1991 年的《包装条例》，使遵循“产品责任制”的原则，用户和分销商有义务返回和回收利用其产品包装。为帮助上述义务的履行，建立了双轨制系统（“绿点”符号标识）。

在填埋技术方面，采用了多重防护的概念以减少液体和气体排放。不过，显而易见的是，气体排放尚未完全避免。为减少废物填埋的负面环境影响，从 2005 年开始，根据《废物管理技术导则》，垃圾必须进行预处理。

1996 年，《废物处置法》进行了修正，形成《物质闭合循环和废弃物管理法》。除废弃物减排外，还将重点集中在了回收产业方面。另外，针对单独收运的生物质废物的循环利用，1998 年的《生物质废物条例》还对其质量要求进行了规范。

气候和资源保护日益重要

根据 1997 年的京都议定书，气候和资源保护议题日益受到关注。得益于严格的法律规范，德国废弃物管理可对气候保护做出显著贡献。其中最重要的是，根据 2005 年 7 月颁布的未处理生活垃圾填埋禁令，德国填埋场中的甲烷生产量被避免。此外，废弃物的物质和能量回收也有助于气候和资源保护。

在 2000 年代初期，机械生物处理技术作为垃圾热处理技术的辅助技术被建立，以帮助垃圾达到预处理要求。在第 30 版的《联邦污染物排放控制条例》中，对污染物排放相关的技术标准进行了规范。首先引起关注的是生物质组分的惰化稳定化，但随后高热值组分的回收越来越受到关注。通过回收废弃物中的能量，可替代化石燃料。

1990 年，废弃物管理部门排放了约 3800 万吨二氧化碳当量；而 2006 年，该部门可实现约 1800 万吨二氧化碳当量的减缓效应。也就是说，从 1990 年到 2006 年，废弃物管理部门温室气体的年排放量减少了约 5600 万吨（UBA, 2010）。另外，到 2005 年，大部分非正规或已填满的填埋场都被关闭，引入了所谓的“单一处置”。

全球最高回收利用率——迈向物质流管理

《废弃物管理法案》（2012 年）的现行版本中，为资源节约型经济下的废弃物和闭环管理提供了基本路径。废弃物管理的目标是保护自然资源和以环境友好的方式管理废弃物，以此获得环境和气候保护及资源效率的持续提升。废物被认为是有价值的原料，对其进行有效利用可

节约自然资源。废弃物减排可减少原材料的消耗和环境污染，废弃物的回收利用则主要考虑经济周期中原物料和能量的循环。

《废弃物管理法案》的核心是废弃物管理五层级理论的实施。这 5 个层级依次为：废弃物减排、再利用、再生利用、其它利用、最终处置。即便在考虑技术、经济、社会因素时，对环境最为友好的管理方案永远具有最高优先级。这使得废弃物减排和回收一直受到关注。

废弃物管理对资源保护的贡献体现在德国的废弃物回收利用处于世界领先水平，有助节约原物料和一次能源。约有 57%的垃圾被循环利用。对于某些类别的废弃物，其回收率可能更高。例如，2012 年，96.3%（目标值为 65%）的包装废弃物被资源化利用，其中 71.3%被（目标值为 55%）再生利用。

在气候保护方面，还可进一步进行温室气体减排，例如通过增加机械生物预处理能力等。

《废弃物管理法案》还进一步明确了私营和国营废弃物管理企业的责任。根据污染者付费原则，商业生产者和废弃物产生者有责任处置其废弃物。

根据公共服务的原则，各市政体有责任处置各个家庭和其它来源产生的废弃物。

综合上述因素，德国废弃物管理已经发展成为一个强大的经济部门，拥有超过 25 万名雇员和约 500 亿欧元的年营业额。2015 年以来，在废纸、废玻璃、废塑料和生物质废物的人工分选方面，又有新的成长刺激点。

基于资源和气候保护的废弃物理念创新和技术转移

德国联邦政府的未来目标是，进一步将废弃物及其回收行业发展成为一个可持续的、资源节约型的物质流管理。因此，与废弃物相关的物质和材料将被完全利用，以替代废弃物的填埋处置（BMUB, 2016）。图 2-1 总结了德国废弃物管理的法规和技术发展过程。

为尽量充分地利用各种废弃物的材料特性，且达到相应的质量标准，对废弃物进行单独收运和处理变得十分关键。这是因为闭环系统必须确保废弃物中的污染物不会在新产品中再次出现，而是被无害化排放。

德国的废弃物管理已经达到相对高的技术水平。因此，联邦政府支持和鼓励可持续废弃物管理理念和高效废弃物处理技术的出现，以进一步从废弃物中提取原物料或能量，同时也鼓励相关知识和技术的转移。

2.2 中国

中国的行政区划包含 4 个直辖市（直属中央政府管辖），23 个省，5 个自治区和 2 个特别行政区，如表 2.1 所示。2015，中国大陆总人口达 13 亿 7000 万，其中城镇人口占 56.1%（中华人民共和国住房和城乡建设部，2016a）。2015 年统计数据表明，中国大陆共有 656 个城市。从 1979 年起，中国建立城市区域的固体废物管理数据；从 2000 年起，建立了农村区域的固体废物管理数据。截止到 2015 年，656 个城市的生活垃圾清运量为 19142 万吨（524438t/d），处理率为 98%（中华人民共和国住房和城乡建设部，2016a）；1596 个县的垃圾清运量为 6657 万吨（182000t/d），其无害化处理率为 71.6%（中华人民共和国住房和城乡建设部，2015）。

表 2-1 中国行政区划

行政区划	数量	城市	城市数量	城市名称
省	34			
- 省	23	省级市	6	北京 天津 上海 重庆 香港 澳门
- 自治区	5			
- 直辖市	4			
- 特别行政区	2			
地级行政区	334	地级市	291	备注： 此部分为中国大陆地区范围内的城市设置，未包含香港和澳门。
县	2,850	县级市	361	
镇	39789			
村	264 万			
			658	

在中国，城市生活垃圾的来源包括居民区、市场、商业场所、公共区域、街道、庙宇和宗教机构。中国大多数城市都经历了不平衡的发展模式，在同一时期同时具有高度现代化和相对落后的地区。中国正在经历快速的经济发展和快速的城市化，使得城市生活垃圾管理面临严峻的挑战。在中国城市生活垃圾产生量近年来迅速增加，中国现在是世界上最大的城市生活垃圾产生国。城市生活垃圾总量从 1979 的 2580 万吨增加至 2004 年的 15500 万吨，到 2011 年增加至 16395 万吨，到 2015 年，垃圾清运量为 19142 万吨（中华人民共和国国家统计局 1980~2015）。这些统计数字不包括被垃圾捡拾者收集的垃圾数量，初步估计这部分约占城市生活垃圾总量的 8-10%。

在中国大陆，城市生活垃圾主要是通过填埋和焚烧处理，2010 年，城市生活垃圾填埋处置率为 79%，焚烧 19%，堆肥 2%。2015 年，在中国城市区域的生活垃圾处理率达到 92%（中华人民共和国住房和城乡建设部，2016a）。

图 2-2 简要介绍了中国的生活垃圾管理相关法律和技术的发展情况。

法规和政策

1979 年，中国制定了环境保护法，标志着保护环境方面新的开始（法律正式发布 1989 年，于 2015 修订）。1983 年，召开第二届全国环境保护工作会议，首次对垃圾处理提出要求。

到上世纪 80 年代初，垃圾管理问题已经成为一个严重的问题，在 1983 年引起了中国政府的高度重视（第六个五年计划时期 1981-1985 年），并首次提出了对垃圾处理的要求。在第七个五年计划期间（1985-1990 年），第一个垃圾填埋场：杭州天子岭垃圾填埋场卫生填埋场（一期）建成并投入使用，其利用了垂直防渗帷幕灌浆技术（不是 HDPE 膜）。1988 年，建设部颁发了垃圾处理技术标准——城市生活垃圾卫生填埋技术规范（CJJ17-88）。

在 90 年代早期（第八个五年计划期间 1991-1995 年），于 1992 各部门共同讨论起草了《关于城市市容和环境卫生管理的规定》（第一百零一号令），后由国务院发布。1993 年，建设部颁布了《城市生活垃圾管理条例（第二十七号令）》，并于 2007 修订。

1995 年，城市生活垃圾处理和管理被列入了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（第 58 号）中，该法自 1996 年 4 月 1 日起实施，并在 2004 和 2014 进行了修订。

现代卫生填埋场建设的开端

第九个五年计划期间（1996-2000 年），在 1997 年，第一个生活垃圾卫生填埋场建成并投入使用。该填埋场为深圳下坪垃圾填埋场（一期），采用了 HDPE 膜作为防渗层。自此以后，卫生填埋场的施工技术达到国际标准。第二年中国开始使用国债资金支持地方城市卫生填埋场的建设，极大地促进了垃圾处理设施建设。

第十和第十一个五年计划期间（2001-2010 年），大城市和沿海经济发达的城市开始建设大型垃圾填埋场，同期一些简易因没有防渗系统而关闭；城市生活垃圾无害化处理率提高。进入第十一个五年后，卫生填埋已从大城市建设转到中小城市和经济发达的县城。随着填埋场的大量建成，渗滤液处理工程已逐渐引起了更多的关注。同时，住房和城乡建设部开展了垃圾填埋场的评估工作，将卫生填埋场的区分为 4 个不同的级别（I，II，III，IV）。

随着中国社会主义新农村建设的发展，农村环境也开始得到重视。在一些省份开展了农村垃圾收集和处理的尝试。



图 2-2 中国城市生活垃圾法律（左侧）和技术（右侧）发展历程

循环经济法

《“十二五”循环经济发展规划》中提出发展循环经济是中国经济社会发展的重要战略任务，是推进生态文明和可持续发展的重要途径。在未来一段时间，应该着眼于提高资源生产率，完善激励约束机制，积极构建循环工业体系，促进再生资源产业，倡导绿色消费，促进覆盖整个社会的资源回收体系的建立。

中国从 2009 年 1 月 1 日起施行《中华人民共和国循环经济促进法》（主席令第四号），以促进循环经济发展，提高资源利用效率，保护和改善环境，实现可持续发展。循环经济在法律中被定义为减量化过程。可见，该循环经济法基本是以废物的资源利用贯穿整个主线。

2011年12月国家发展改革委发布了《关于印发“十二五”资源综合利用指导意见和大宗固体废物综合利用实施方案的通知》（发改环资〔2011〕2919号），以落实节约资源和保护环境基本国策，深入推进“十二五”时期的资源综合利用工作，促进循环经济发展，研究提出了“十二五”资源综合利用工作的指导思想、基本原则、主要目标、重点领域以及政策措施，同时提出了在工业、建筑业和农林业等领域选择产生堆存量、资源化利用潜力大、环境影响广泛的固体废物编制实施方案。

2012年9月起，中央财政设立了“循环经济发展专项资金”，用于支持循环经济重点工程和项目的实施、循环经济技术和产品的示范与推广、循环经济基础能力建设。

具体的规划内容包括：

- 建立循环型服务体系促进社会循环经济发展。推广再生资源回收系统和垃圾分类系统，促进绿色建筑和绿色交通。充分发挥服务业对建立绿色低碳消费观念和转变消费方式的导向作用。
- 开展循环经济示范行动，推广示范项目，创建循环经济示范城市，培育示范企业和示范园区。完善财税、金融、产业投资、价格和收费政策；完善法规和标准；建立统计评价体系；加强监督管理；积极开展国际交流与合作，促进循环经济发展。

国民经济和社会发展

2016年3月，中共中央发布了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》。第43章为推进资源节约集约利用，其中第5条指出要大力发展循环经济。循环发展是该计划的核心概念，要打通生产和生活系统之间的流通环节，提高废物利用率。按照物质流和关联度统筹产业布局，推进园区循环化改造，建设工农复合型循环经济示范区，促进企业间、园区内、产业间耦合共生。推进城市矿山开发利用，做好工业固废等大宗废弃物资源化利用，加快建设城市餐厨废弃物、建筑垃圾和废旧纺织品等资源化利用和无害化处理系统，规范发展再制造。实行生产者责任延伸制度。健全再生资源回收利用网络，加强生活垃圾分类回收与再生资源回收的衔接。

2016年6月，国家发展改革委办公厅和住房城乡建设部办公厅发布《垃圾强制分类制度方案（征求意见稿）》。意见稿指出，到2020年底，重点城市应实现有效分离城市生活垃圾。对于重点城市，城市生活垃圾分类收集覆盖率达到90%以上，生活垃圾回收利用率达到35%以上（含再生资源回收、分类收集并实施资源化利用的厨余等易腐有机垃圾）。

废旧产品的利用方式亦逐年完善。例如，环境保护部以及工业和信息化部联合制定《废弃电器电子产品规范拆解处理作业及生产管理指南》（2015版）（2014年82号），于2015年1月1日正式实施。对于可作为原料的进口废物，还发布了《进口废物管理目录（2015）》（2014年第80号），并于2015年1月1日正式实施。

3. 中国城市生活垃圾中生物质组分管理相关法规

中国城市生活垃圾管理的基本法律包括：《中华人民共和国环境保护法》（1989年颁布，主席令第22号，主席令第9号）、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（1995年颁布，主席令第58号）、《中华人民共和国清洁生产促进法》（2002年颁布）以及《中华人民共和国循环经济促进法》（2008年颁布）。

表 3-1 汇总了中国城市生活垃圾的相关法律。法律、法规及标准清单将作为本报告附件罗列在文后。

表 3-1 中国城市生活垃圾相关法律列表

法律法规	简介	发布机构	生效日期
《中华人民共和国环境保护法》	《中华人民共和国环境保护法》的颁布意味着环境保护的新开端。	全国人民代表大会常务委员会	1989年12月26日通过； 2014年4月24日修订
《城市市容和环境卫生管理条例》	城市市容（户外广告和园林）和环境卫生管理（城市生活垃圾和公共厕所）的基本导则；地方政府建立具体的实施方案。	国务院	1992年8月1日通过；2011年1月8日修订
《城市生活垃圾管理办法》	城市生活垃圾收集、运输和处理过程管理。	中华人民共和国建设部	1993年9月1日通过；2007年4月10日第一次修订； 2015年5月4日第二次修订
《中华人民共和国固体废物污染防治法》	中国首个固体废物相关综合法律，对危险废弃物填埋过程危废的贮存，处置，污染控制提出了管理框架；提出畜禽行业的排放标准，医疗废物的焚烧及运输管理要求。 2004年修订后加强了国外垃圾进口的管理。	全国人民代表大会常务委员会	1995年10月30日通过， 2004年12月29日第一次修订；2013年6月29日第二次修订；2015年4月24日第三次修订；2016年11月7日第四次修订
《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》	针对城市生活垃圾处理技术应用的指导和标准	中华人民共和国建设部、国家环境保护总局、中华人民共和国科学技术部	2000年5月29日

《关于推进城市污水、垃圾处理产业化发展的意见》	促进私有资本及外资在出水处理和垃圾处理行业的投资，进而推动城市区域的废物处置行业发展。	中华人民共和国国家计划委员会、中华人民共和国建设部、国家环境保护总局	2002年9月10日
《中华人民共和国清洁生产促进法》	通过建立激励机制实现制造过程的污染物减排（包括废物减量）	全国人民代表大会常务委员会	2002年6月29日通过； 2012年2月29日第一次修订
《中华人民共和国环境影响评价法》	明确了环境污染物源头控制的重要性；所有新建项目均需在环境影响评价审批通过后方可开工；基础设施建设和工业设施新建均需对环境影响评价过程进行公众公开；环评法的执行一定程度上促进了工业行业和填埋场的垃圾管理，	全国人民代表大会常务委员会	2002年10月28日通过； 2016年7月2日第一次修订
《关于切实做好企业搬迁过程中污染防治工作的通知》	所有产生危险废物的工业企业及相关单位，在结束原有生产经营活动，改变原土地使用性质时，必须经具有省级以上质量认证资格的环境监测部门对原址土地进行监测分析，报送省级以上环境保护部门审查，并依据监测评价报告确定土壤功能修复实施方案。	中华人民共和国国家环境保护总局	2004年6月1日
《“十一五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》	生活垃圾无害化处理设施建设的规划	中华人民共和国建设部	2007年9月
《中华人民共和国循环经济促进法》		全国人民代表大会常务委员会	2008年8月29日
《节能减排“十二五”规划》	节能减排的指导性文件，鼓励垃圾焚烧电厂及热电联产，促进垃圾到资源的利用。	国务院	2011年8月6日
《“十二五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》	生活垃圾无害化处理设施建设的规划	中华人民共和国住房和城乡建设部	2012年4月19日

《垃圾强制分类制度方案（征求意见稿）》	重点城市需要进行垃圾强制分类，包括公共机构和相关商业	中华人民共和国发展改革委员会； 中华人民共和国住房和城乡建设部	2016年6月15日
《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》	生活垃圾无害化处理设施建设的规划	中华人民共和国发展改革委员会； 中华人民共和国住房和城乡建设部	2016年12月31日
《中华人民共和国环境保护税法》	直接向环境排放应税污染物的企业事业单位和其他生产经营者为环境保护税的纳税人，需缴纳环境保护税；应税污染物包括大气污染物、水污染物、固体废弃物、施工噪音、工业噪音及其它污染物	全国人民代表大会常务委员会	2016年12月25日
《生产者责任延伸制度推行方案》	为了加快生态文明建设和绿色循环低碳发展的内在要求，推进供给侧结构性改革和制造业转型升级，进一步实施生产者责任延伸制；例如将生产者的责任延伸到产品，从生产链延伸到产品设计、流通、消费、回收、废物处理和其他生命周期。	国务院	2017年1月3日

参考文献: CMC, 2004; CMC, 2005; Deffree, S., 2007; World Bank, 2005.

4. 中国固体废物管理组织机构、职责和资金

在大多数国家，固体废物管理均为政府的职责。国家层面的法律法规规定了各级政府在固体废物管理方面的角色和职责，包括对私营行业和垃圾产生者的要求。通常情况下，中央政府法律明确地方政府的管理职责并设置基本标准，包括职业和环境健康安全标准。管理、规划和运行功能的不断分离，政策与法规的不断分离将进一步加强中国的监管框架。

4.1 机构和职责

在中国，中央政府机构及地区和地方当局均参与固体废物管理。环境保护部（MEP）全面负责固体废物污染防治，不同的部门负责废物管理取决于固体废物类别，如图 4.1 所示，各部门的主要职能和作用，如表 4.1 所述。

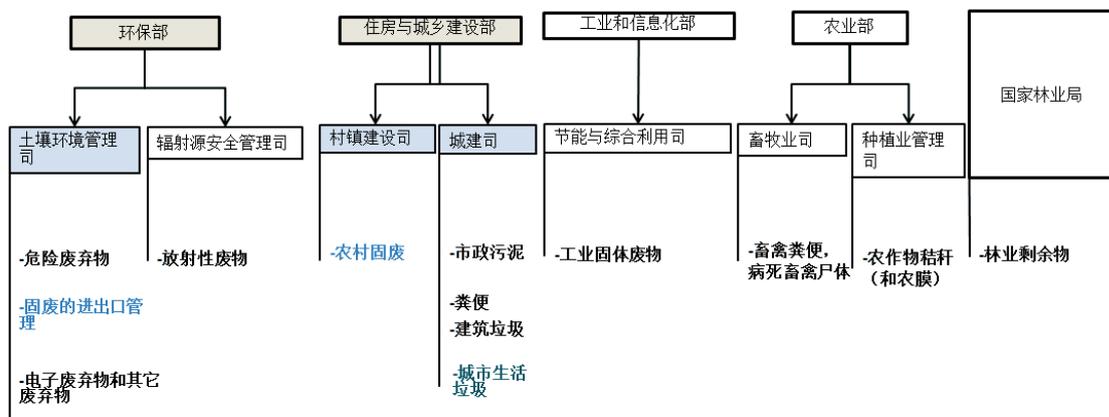


图4-1 中国固体废物管理部门

最初，国家环境保护局（NEPA）成立于上世纪 70 年代初，1989 年成为国家环境保护总局（SEPA），2008 年成为中华人民共和国环境保护部（MEP）。在中国的各级政府中均设有环境保护处，如图 4-2。这些管理分支机构分布在中国，形成一个多层系的全国性的网络。环保部负责开发和实施国家环境保护战略，制定相关的法规和规章，并在区域层面进行执法监督。环保部还负责各部门之间及区域之间环境领域问题的协调，环保项目与国家总体规划的衔接，记以及公共关系工作（中华人民共和国环境保护部，2014）。

第二个针对固废管理的公共主管部门为中国住房和城乡建设部，主管技术规范等，住建部负责制定生活垃圾处理和处置技术的法律法规及技术规范，它还设置废物管理和废水处理排放的限值。在地方各级政府中，对应的垃圾管理部门为城市管理部门或者环卫部门。

表4-1 中国固体废物管理框架结构

固体废物类别	负责部门	下设机构	主要职能	编号
危险废物 (含: 医疗废物、生活垃圾焚烧飞灰等)	环境保护部	土壤环境管理司	<ul style="list-style-type: none"> - 负责全国土壤、固体废物、化学品、重金属等污染防治的监督管理。 - 拟订和组织实施土壤、固体废物、化学品、重金属等污染防治政策法规、规划、法律、行政法规、部门规章、标准和规范。 - 拟订土壤环境功能区划。 - 组织测算并确定土壤环境容量, 开展土壤环境承载力评估。 - 组织实施危险废物经营许可证及出口核准、固体废物进口许可、有毒化学品进出口登记、新化学物质环境管理登记等环境管理制度。 - 承担土壤污染物排污许可、总量控制、排污权交易工作。 - 组织开展危险废物、医疗废物及电子产品废物申报登记。 - 监督管理土壤环境保护、农膜污染防治工作。 - 负责有关国际公约国内履约工作。 	4.1
进出口固体废物	环境保护部	土壤环境管理司	同 4.1	4.2
电子产品类废弃物	环境保护部	土壤环境管理司	同 4.1	4.3
放射性废物	环境保护部	辐射源安全管理司	<ul style="list-style-type: none"> - 负责核燃料循环设施、放射性废物处理和处置设施、核设施退役项目、核技术利用项目、铀(钍)矿和伴生放射性矿、电磁辐射装置和设施、放射性物质运输的核安全、辐射安全和辐射环境保护的行政许可和监督检查。 - 负责放射性污染治理的监督管理。 - 负责相关核设施和辐射源事件与事故的调查处理。 	4.4
城市生活垃圾	住房和城乡建设部	城市建设司	<ul style="list-style-type: none"> - 拟订城市建设和市政公用事业的发展战略、中长期规划、改革措施、规章; - 指导城市供水、节水、燃气、热力、市政设施、园林、市容环境治理、城建监察等工作; 	4.5

				<ul style="list-style-type: none"> - 指导城镇污水处理设施和管网配套建设； - 指导城市规划区的绿化工作； - 承担国家级风景名胜区、世界自然遗产项目和世界自然与文化双重遗产项目的有关工作。 		
农村生活垃圾	住房和城乡建设部	住房和城乡建设部	村镇建设司	<ul style="list-style-type: none"> - 拟订村庄和小城镇建设政策并指导实施； - 指导镇、乡、村庄规划的编制和实施； - 指导农村住房建设、农村住房安全和危房改造； - 提出进城定居农民的住房政策建议； - 指导小城镇和村庄人居环境的改善工作； - 组织村镇建设试点工作，指导全国重点镇的建设。 	4.6	
生活污水厂污泥		住房和城乡建设部	城市建设司	同 4.5	4.7	
粪便		住房和城乡建设部	城市建设司	同 4.5	4.8	
建筑垃圾		住房和城乡建设部	城市建设司	同 4.5	4.9	
工业固体废物	工业和信息化部	工业和信息化部	节能与综合利用司	<ul style="list-style-type: none"> - 拟订并组织实施工业、通信业的能源节约和资源综合利用、清洁生产促进政策， - 参与拟订能源节约和资源综合利用、清洁生产促进规划和污染控制政策， - 组织协调相关重大示范工程和新产品、新技术、新设备、新材料的推广应用。 	4.10	
畜禽粪便 (及, 病死畜禽尸体; 也称为: 养殖废弃物)	农业部	农业部	畜牧业司	<ul style="list-style-type: none"> - 指导畜牧业结构和布局调整， - 组织标准化生产及规模饲养， - 拟订畜牧业、饲料业、草原的有关标准和技术规范并组织实施； - 指导畜禽养殖场(小区)备案、档案管理， - 参与畜禽养殖场的污染防治。 	4.11	
农作物秸秆(及, 农膜)	农业部	农业部	种植业管理司	<ul style="list-style-type: none"> - 负责种植业(粮食、棉花、油料、糖料、水果、蔬菜、茶叶、蚕桑、花卉、麻类、中药材、烟叶、食用菌)的行业管理。 	4.12	
林业剩余物	国家林业局	国家林业局			4.13	

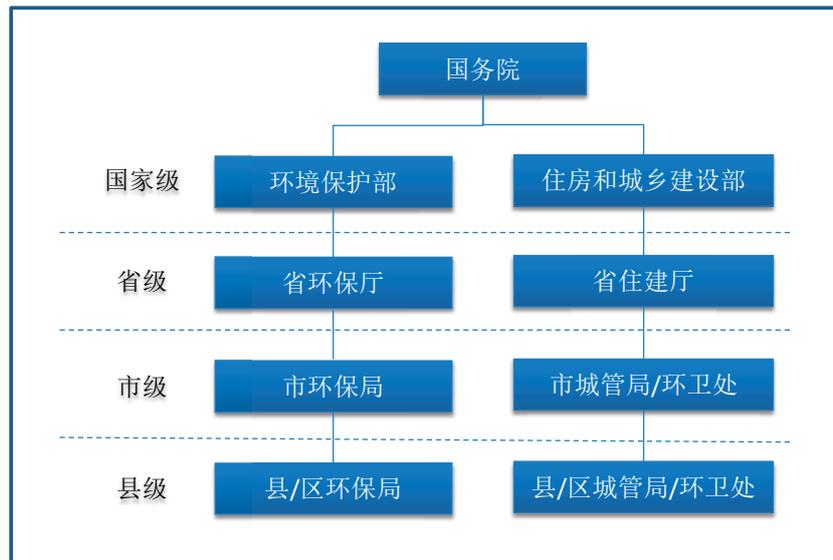


图4-2 中国固体废物管理组织结构
(Mewes, 2011)

4.2 资金

国务院办公厅于 2015 年 7 月 6 日印发《关于在公共服务领域推广政府和社会资本合作模式指导意见的通知》(国办发〔2015〕42 号)，财政部于 2016 年 9 月 24 日印发《政府和社会资本合作项目财政管理暂行办法》(财金〔2016〕92 号)，以改革创新环境保护和能源等公共服务领域的公共服务供给机制，大力推广政府和社会资本合作 (Public-Private Partnership, PPP) 模式。其中，在环境保护、市政工程、能源、交通运输、水利等特定领域需要实施特许经营的，按《基础设施和公用事业特许经营管理办法》执行。为了化解地方政府性债务风险，积极运用转让—运营—移交 (TOT)、改建—运营—移交 (ROT) 等方式，将融资平台公司存量公共服务项目转型为政府和社会资本合作项目。为了提高新建项目决策的科学性，地方政府根据当地经济社会发展需要合理选择建设—运营—移交 (BOT)、建设—拥有—运营 (BOO) 等运作方式。

5. 中国城市生活垃圾中生物质组分回收及处理处置现状

5.1 生活垃圾产生量

中国生活垃圾的产生量一般按清运量核算。按行政区划，分为城市（直辖市、地级市和县级市）、县城、村镇三个层次进行统计。

图 5-1 是根据《中国统计年鉴》统计的中国城市自 1980 年以来的生活垃圾清运量变化的状况（中华人民共和国国家统计局，1980-2015）。由图可见，近年来中国城市生活垃圾产生量增长与城市人口增长趋势基本一致，人均生活垃圾产生量则保持了相对的稳定。截至 2015 年底，中国 656 个城市的生活垃圾清运量为 19142 万吨，人均生活垃圾清运量为 1.10 kg/d。

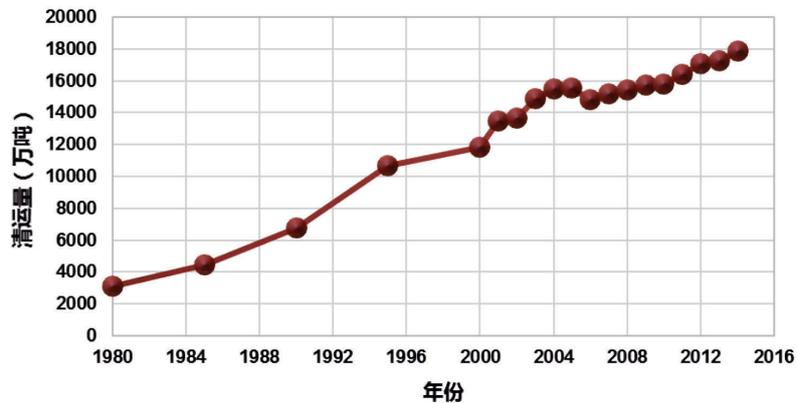


图 5-1 中国城市的生活垃圾清运量的年度变化状况

图 5-2 是根据《中国城乡建设统计年鉴》统计的中国县城自 2000 年以来的生活垃圾清运量变化的状况（中华人民共和国住房和城乡建设部，2000-2014）。截至 2014 年底，中国 1596 个县城的生活垃圾清运量为 6657 万吨，人均生活垃圾清运量为 1.17 kg/d。

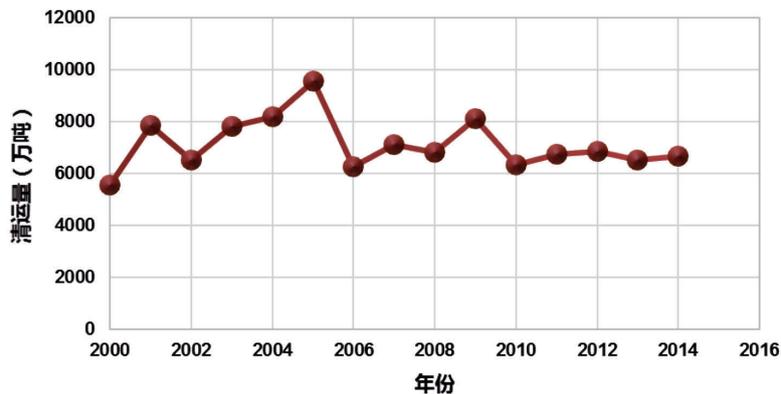


图 5-2 中国县城的生活垃圾清运量的年度变化状况

2015 年末，中国共有建制镇 20515 个，乡 11315 个，264 万个自然村（中华人民共和国住房和城乡建设部，2016）。根据《中国城乡建设统计年鉴》和住房与城乡建设部在 2011 年组织的现场调查结果（何晶晶，等，2010；何晶晶，等，2014），中国目前村镇生活垃圾的年产量

已达 2.1 亿吨；建制镇与集镇（未设镇的乡行政驻地）的人均生活垃圾产生率为 0.20-1.70 kg/d；建制镇人均生活垃圾产生率平均为 0.79 kg/d，集镇平均为 0.52 kg/d，村庄人均生活垃圾产生率为 0.07-2.1 kg/d，平均为 0.50 kg/d。镇乡和村庄的生活垃圾产生密度分别如图 5-3 和图 5-4 所示。

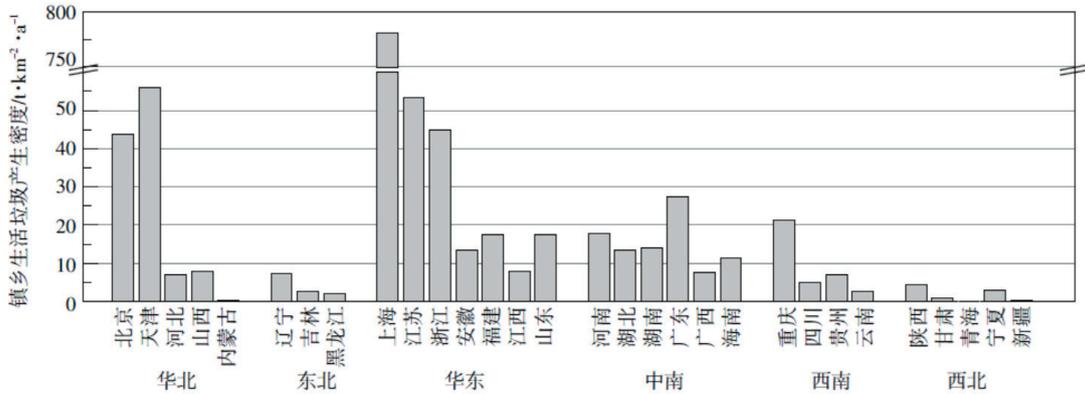


图 5-3 各省（区）镇（集镇）生活垃圾产生密度分布
(何品晶等, 2014)

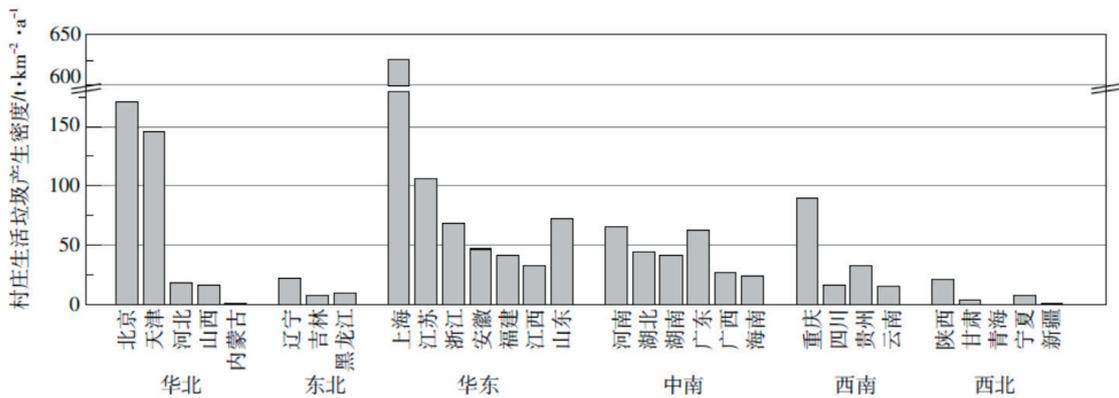


图 5-4 各省（区）村庄生活垃圾产生密度分布
(何品晶等, 2014)

5.2 生活垃圾组成

根据中国行业标准《生活垃圾采样和分析方法》(CJ/T313-2009)，生活垃圾物理组成成分 11 类：厨余类、纸类、橡塑类、纺织类、木竹类、灰土类、砖瓦陶瓷类、玻璃类、金属类、其他和混合类（粒径小于 10mm）。依据十七个中国代表性城市统计得出的城市生活垃圾物理组成和含水率如图 5-5 所示（杨娜, 2014; Yang et al., 2015），其中厨余类占比 58.0%±9.8%，含水率为 55.0%±5.5%。

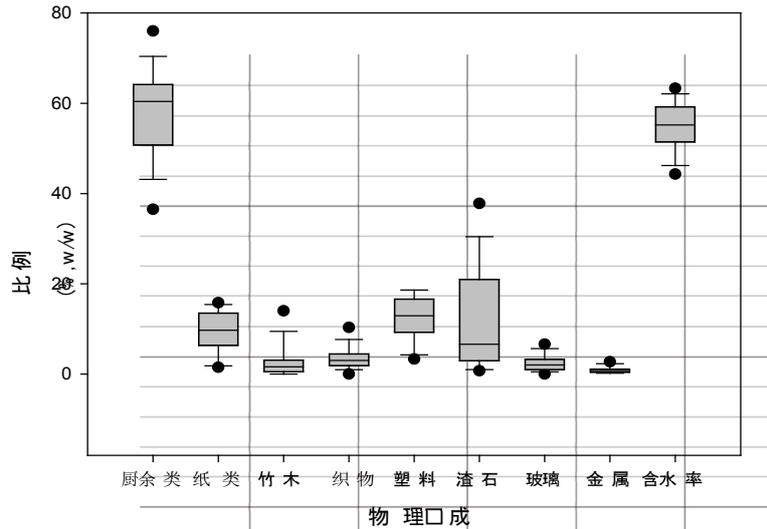


图 5-5 中国代表性城市的生活垃圾组成分布
(杨娜, 2014; Yang et al., 2015)

图 5-6 是根据十一个典型县城区统计得出的生活垃圾物理组分和含水率。其中厨余类占比 $44.3\% \pm 15.1\%$, 含水率为 $53.2\% \pm 7.7\%$ 。

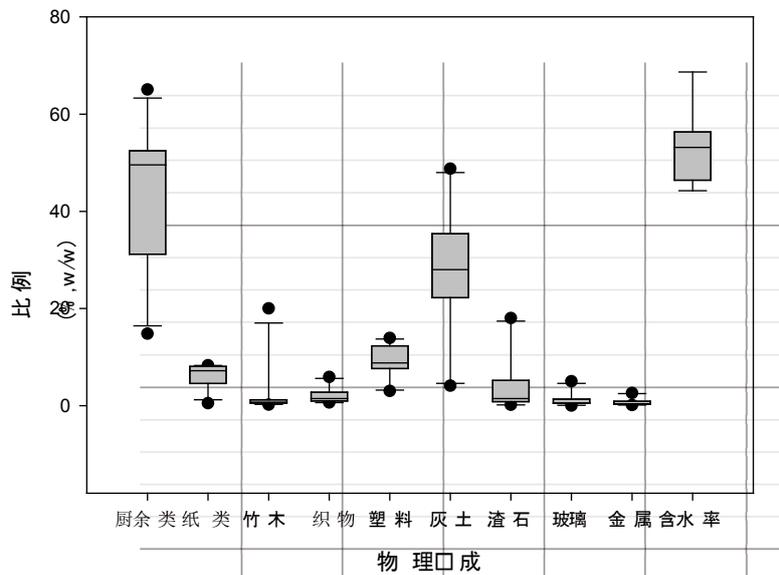


图 5-6 中国代表性县城区的生活垃圾组成分布

图 5-7 是根据十三个典型村镇统计得出的农村生活垃圾物理组分和含水率 (何晶晶等, 2010)。其中厨余类占比 $42.1\% \pm 12.8\%$ 。总体而言, 村镇生活垃圾的主要组成可分为 3 大类: (1) 食品和植物残余; (2) 渣土 (包括炉灰、砖瓦石等); (3) “废品”类 (主要有塑料、玻璃、金属等包装物残余, 及织物、纸等非耐用消费品残余)。

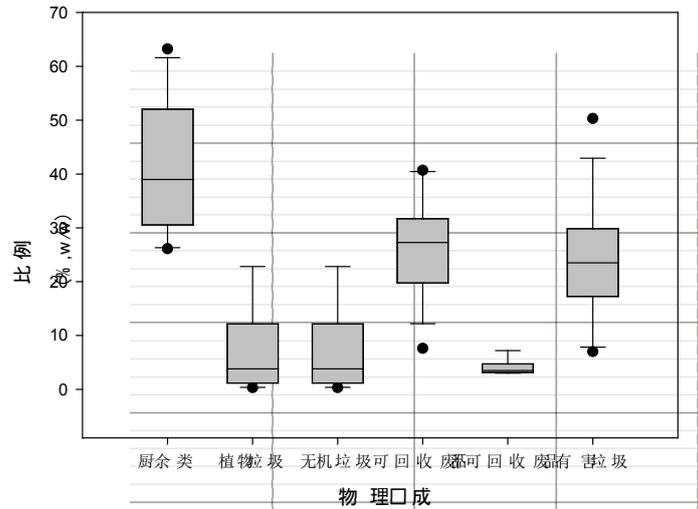


图 5-7 中国代表性村镇的生活垃圾组成分布
(何晶晶等, 2010)

5.3 生活垃圾的收集和运输

图 5-8 列出了城市、县城、建制镇、乡历年的市容环卫专用车辆设备数量，其十年增幅分别为 120%、120%、152%、196%。

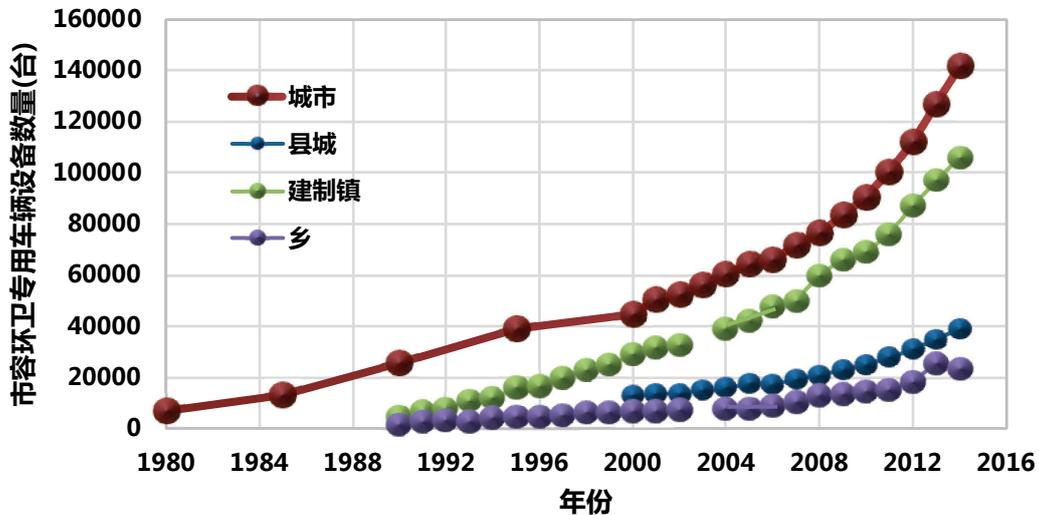


图 5-8 历年市容环卫专用车辆设备数量
(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2000-2015)

城市和县城产生的生活垃圾采取全收集全处理的物流模式。而村镇生活垃圾的收运模式则有表 5-1 所示的几种类型。

表 5-1 村镇生活垃圾收运处理的物流模式
(何晶晶等, 2014)

物流模式	聚居点类型/操作功能		
	村庄	镇(乡)	县或以上政区
全集中	收集-清运	收集-清运-转运	收集-清运-处理
全分散	收集-处理	收集-处理	收集-清运-处理
镇县集中	收集-处理	收集-转运	收集-清运-处理
镇县分别集中	收集-清运	收集-处理	收集-清运-处理
镇县协同	收集-处理	收集-处理-转运	收集-清运-处理
村镇县协同	收集-处理-清运	收集-处理-转运	收集-清运-处理

5.4 混合收集生活垃圾的处理处置

中国城市生活垃圾处理设施主要指焚烧厂及卫生填埋场,截至 2015 年,在中国大陆城市区域共有 890 个城市生活垃圾处理设施,县域地区共有 1187 个城市生活垃圾处理设施(不包含澳门及台湾)(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2016a)。

5.4.1 城市

中国城市的清运垃圾的历年处理处置情况如图 5-9 所示。截至 2015 年末,清运垃圾的集中处理率达到 98%, 填埋、焚烧、其它处理方式(主要为生物处理)的占比分别为 64%, 34%, 2%; 而在十年前的 2005 年,这四个数值分别为: 44.5%, 52.0%, 5.0%, 2.2%(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2000-2015)。2015 年的填埋垃圾量比 2005 年增加了 66%, 焚烧垃圾量增加了 692%, 而生物处理垃圾量减少了 3%。2015 年全国尚有 67 个设市城市未建成无害化处理设施(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2016a)。

图 5-10 显示, 填埋处置设施数量平稳增长, 而单体设施的平均处理规模稳定在 500 t/d 左右; 焚烧处理设施数量从 2007 年开始快速增长, 而单体设施的平均处理规模也快速增长至 2015 年的 769 t/d; 相对照地, 生物处理设施数量已不足 30 座, 且单体设施平均处理规模先增后减, 至 2015 年仅 324 t/d。

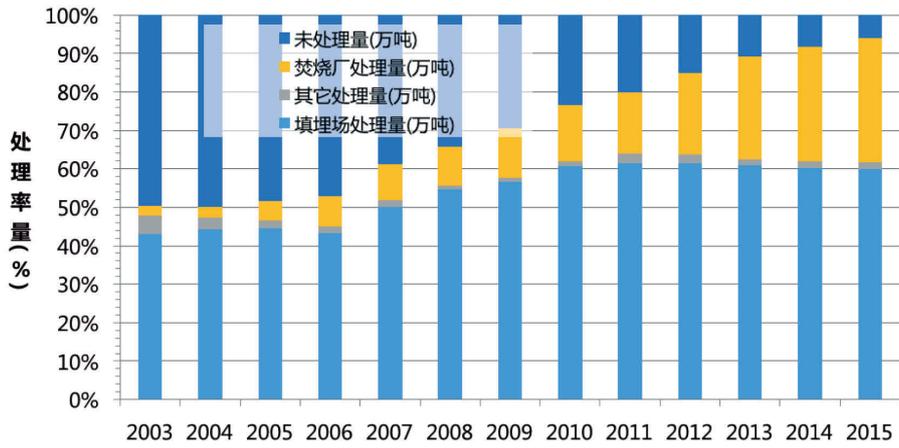


图 5-9 中国城市生活垃圾的处理情况

(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2000-2015)

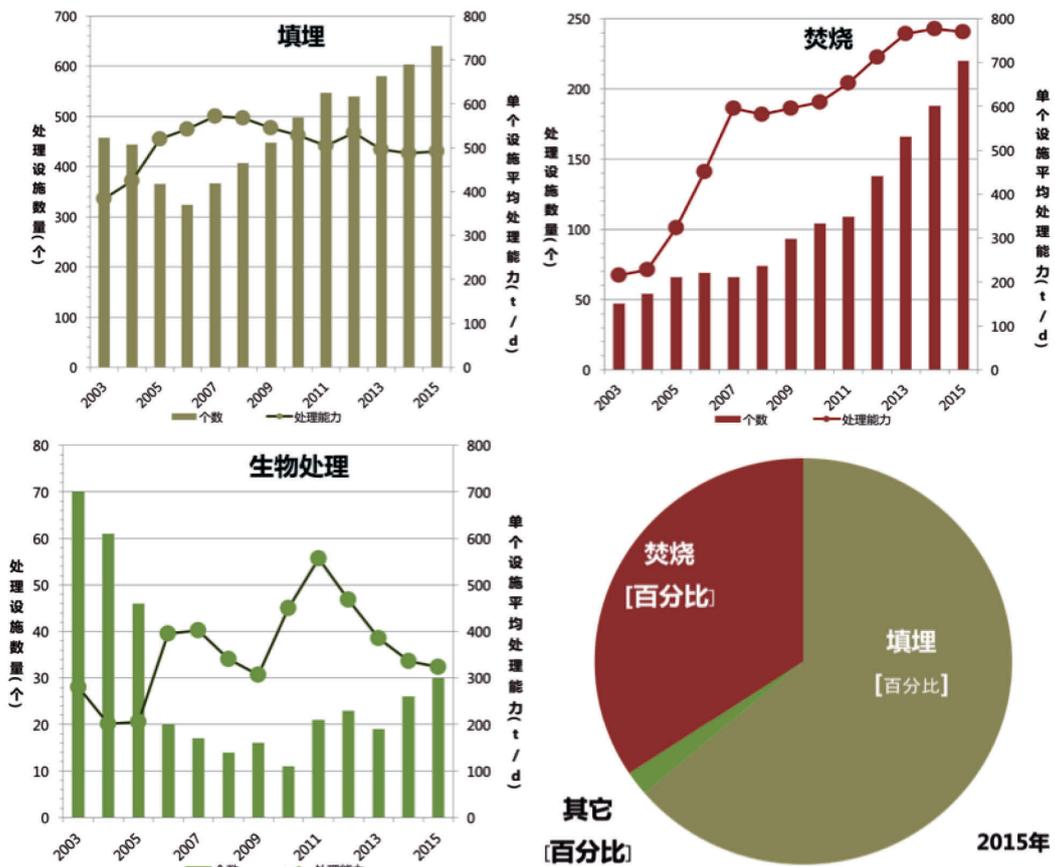


图 5-10 中国城市生活垃圾处理设施的数量和处理规模

(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2000-2015)

5.4.2 县城

中国县城的生活垃圾无害化处理设施建设高速发展。如图 5-11 所示，在 2005 年县城生活垃圾的无害化处理率仅 7.2%，而在 2014 年已达 71.6%，十年间无害化处理量增长了 6 倍（中华人民共和国住房和城乡建设部，2014）。

如图 5-12 所示，2014 年全国县城的生活垃圾处理率为 85.7%，无害化处理率为 71.6%，尚有 425 个县城未建成无害化处理设施。各类无害化方式的处理量占比分别为：填埋 89.4%、焚烧 7.2%、3.4%。而在东部发展地区无害化处理率和焚烧所占的比重均较高，如浙江省县城生活垃圾无害化处理率达 99.7%、焚烧占比 38.5%，福建省分别为 87.2%和 27.0%，江苏省分别为 83.7%和 21.5%。

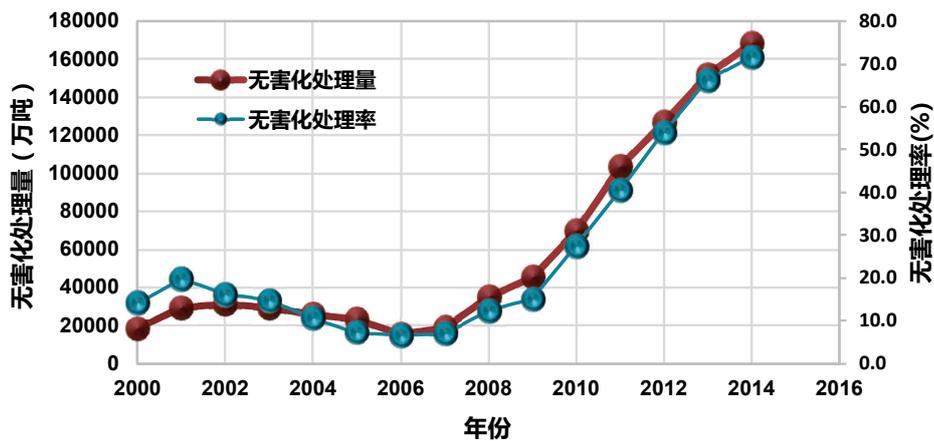


图 5-11 中国县城生活垃圾的无害化处理水平
(中华人民共和国住房和城乡建设部，2000-2015)

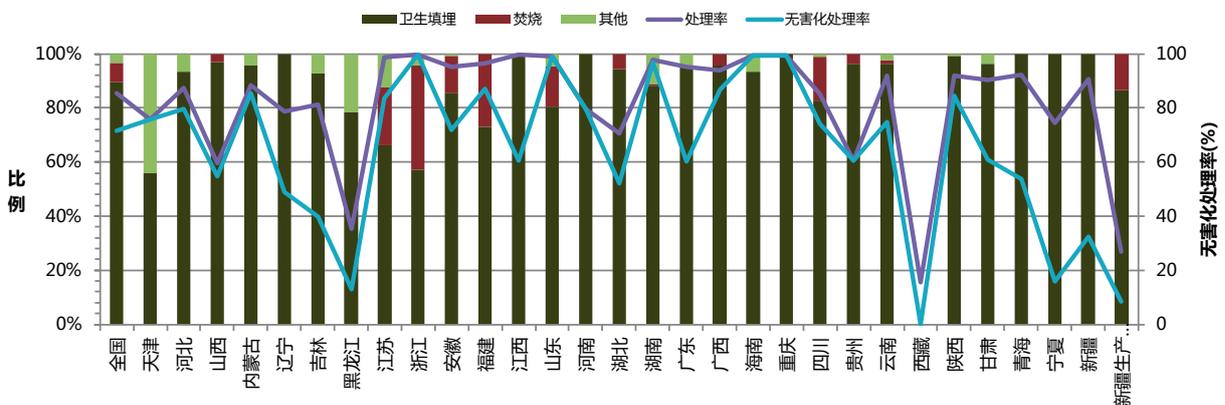


图 5-12 2014 年中国各地区县城的生活垃圾处理情况
(中华人民共和国住房和城乡建设部，2015)

5.4.3 村镇

农村地区的生活垃圾无害化处理水平尚未列入年鉴统计名录中。根据住房和城乡建设部的调研，镇级建成区的生活垃圾无害化处理率小于 30%，村庄生活垃圾无害化处理率不足 10%（何品晶等，2014）。

华东地区主要实施全集中处理模式，即“村收集、镇转运、县处理”。而其他实施村镇就地处理选择的技术方法有：堆放（简易填埋）、标准化（卫生）填埋、生物处理和小型焚烧（何晶晶等，2014）。

5.5 财政投资

根据 2016 年 12 月发布的《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》，“十三五”期间，规划新增生活垃圾无害化处理能力 $51 \times 10^4 \text{t/d}$ （包含续建能力 $13 \times 10^4 \text{t/d}$ ）。生活垃圾焚烧处理能力占无害化处理能力的比例达到 50%，东部地区达到 60%。规划新增收转运体系能力 $44 \times 10^4 \text{t/d}$ 。鼓励餐厨垃圾与其他有机可降解垃圾联合处理，力争到“十三五”末新增 $3.44 \times 10^4 \text{t/d}$ 的处理能力。存量整治工程方面，实施垃圾填埋场封场治理项目 803 个。

为此，“十三五”期间，全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设总投资约 2518.4 亿元。其中，无害化处理设施建设投资 1699.3 亿元，收运转运体系建设投资 257.8 亿元，餐厨垃圾专项工程投资 183.5 元，存量整治工程投资 241.4 亿元，垃圾分类示范工程投资 94.1 亿元，监管体系建设投资 42.3 亿元。各地区“十三五”生活垃圾处理设施建设投资如表 5-2 所示。

资金筹措方面，生活垃圾处理设施建设资金以地方投入为主。地方各级人民政府要切实加大投入力度，建立稳定的资金来源渠道，确保完成规划确定的各项建设任务。同时，积极引导并鼓励各类社会资本参与垃圾处理设施的建设，国家将根据规划任务和建设重点，继续对设施建设予以适当支持，对采用焚烧等资源化处理技术的设施将加大支持力度。对尚不能完全市场化运作的垃圾处理设施，要进行政策扶持、投资引导、适度补贴，保障设施的建设和运营。

进一步完善垃圾处理收费制度。各地根据经济发展情况，确定合理收费标准，有条件地区的收费标准应覆盖垃圾收集、清运及处理处置成本。积极探索计量化、差别化收费方式。落实对垃圾处理相关企业税收优惠政策。加强生活垃圾处理设施运行的经费保障，征收的生活垃圾处理费全部专项用于生活垃圾处理设施的建设和正常运营，在征收的处理费无法满足处理设施正常运行费用时，地方政府要积极采取措施适当补偿，确保设施的正常运行。各地要对生活垃圾处理设施建设的规模、布局和用地进行统筹安排，并纳入土地利用总体规划、城镇总体规划和近期建设规划。

加快生活垃圾处理产业化发展、社会化运作，建立多元化投入机制。完善以公共财政为主导的城镇垃圾处理设施建设投资体制，逐步形成“政府引导、社会参与、市场运作”的多元化投资机制。积极鼓励跨地区、跨部门的合作，培育和发展专业化、规模化的垃圾处理企业，健全以特许经营为核心的市场准入制度。加快政府和社会资本合作（PPP）模式在生活垃圾处理领域的应用。

表 5-2 “十三五”生活垃圾处理设施建设投资（亿元）

序号	地区	新建处理设施	转运设施	餐厨处理设施	存量治理	分类设施	监管体系	总投资
	全国	1699.3	257.8	183.5	241.4	94.1	42.3	2518.4
1	北京	76.5	7	9	102.5	5	2	202
2	天津	51.5	4.8	4	1	5	1	67.3
3	河北	36	9.2	6.6	4	2	1	58.8
4	山西	35.8	3.7	3.6	-	2	1	46.1

5	内蒙古	24.6	5.1	3	3.5	2	1	39.2
6	辽宁	72.9	25.1	3.9	3.7	2	1	108.6
7	大连	19.9	7.2	0.8	12.5	5	1	46.4
8	吉林	27.2	2.7	3	5.1	2	1	41
9	黑龙江	55	5.5	4.5	2.4	2	1	70.4
10	上海	37.5	4.3	5.2	0.4	5	1	53.4
11	江苏	52.8	11.7	13.2	3.5	2	1	84.2
12	浙江	86.6	8.8	18.5	2.9	2	1	119.8
13	宁波	22.5	9.8	8.8	1	3.8	1	46.9
14	安徽	108	16.4	5.9	17.3	2.5	1.7	151.8
15	福建	18.9	5.2	4.8	-	2	1	31.9
16	厦门	21.8	2.8	1.2	-	2	1	28.8
17	江西	45.7	8.1	3.6	2.7	2	1	63.1
18	山东	51	10	4.5	9	2	1	77.5
19	青岛	14.4	1	0.6	0	2	1	19
20	河南	63.1	8.6	9.6	8.2	2	1	92.5
21	湖北	64.3	11.5	5.3	3.5	2	1	87.6
22	湖南	70.5	12.4	6.5	7	3	3.6	103
23	广东	134	-	13.7	14.2	2	1	164.9
24	深圳	90.3	6.4	3.3	2.1	2	1	105.1
25	广西	27.2	6	3	3.5	2	1	42.7
26	海南	18.3	1	1.2	-	2	1	23.5
27	重庆	49.3	6.7	8.4	2.7	5	1	73.1
28	四川	75.2	13.5	5.6	4.6	2	1	101.9
29	贵州	33	5.8	2.8	2	2	1	46.6
30	云南	25.9	4.7	3.2	5.1	2	1	41.9
31	西藏	9.4	5.2	0.6	0.5	2	1	18.7
32	陕西	25.5	4.3	2.4	1.2	2	1	36.4
33	甘肃	38.7	3.5	3	7.5	2	1	55.7
34	青海	54.3	3.8	0.3	2	2	1	63.4
35	宁夏	9.1	0.9	2.1	3.4	2	1	18.5
36	新疆	40.9	12.8	7.4	2.4	3.8	1	68.3
37	新疆兵团	6.9	1.4	0.4	-	1	1	10.7
38	黑龙江农垦	4.8	0.9	-	-	1	1	7.7

5.6 城镇生活垃圾处理规划

根据 2016 年 12 月发布的《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》，将合理布局生活垃圾处理设施，尚不具备处理能力的设市城市和县城要在 2018 年前建成无害化处理设施。建制镇产生的生活垃圾就近纳入县级或市级垃圾处理设施集中处理，原则上建制镇不单独建设处理设施（距离县市较远的建制镇可视具体情况另行考虑）。加快现有设施的改造升级，逐步缩小地区间生活垃圾处理水平差距。

“十三五”期间，规划新增生活垃圾无害化处理能力 $51 \times 10^4 \text{t/d}$ （包含续建能力 $13 \times 10^4 \text{t/d}$ ）生活垃圾焚烧处理能力占无害化处理能力的比例达到 50%，东部地区达到 60%。

严格按照相关建设、技术和环保标准建设，配备完善的污染控制及监控设施。对不达标的设施，尽快开展技术改造或关停。坚持资源化优先，因地制宜选择安全可靠、先进环保、省地节能、经济适用的处理技术，不鼓励建设处理规模小于 300 吨/日的焚烧设施和库容小于 50 万立方米的填埋设施；在充分论证的基础上，可开展水泥窑协同处理、飞灰减量化、分类后有机垃圾生物处理等的试点示范。

经济发达地区和土地资源短缺、人口基数大的城市，优先采用焚烧处理技术，大幅减少原生垃圾填埋量建设焚烧处理设施的同时要考虑垃圾焚烧残渣、飞灰处理处置设施的配套。鼓励相邻地区通过区域共建共享等方式建设焚烧残渣、飞灰集中处理处置设施。

卫生填埋处理技术作为生活垃圾的最终处置方式，是每个地区必须具备的保障手段，原则上各市、县生活垃圾填埋场剩余库容应能够满足该地区 10 年以上的垃圾焚烧残渣及生活垃圾填埋处理要求。

渗滤液处理设施要与垃圾处理设施同步建设，条件具备时，可考虑与当地污水处理厂联合建设。

图 5-13 和图 5-14 分别为 2015 年全国城镇生活垃圾处理设施采用情况，以及 2020 年的规划目标。全国处理设施规模从 2015 年的 75.83 万吨/天规划增长至 110.49 万吨/天。填埋、焚烧、其它处理所占比例分别从 2015 年的 66%、31%、3%规划为 2020 年的 43%、54%、3%。

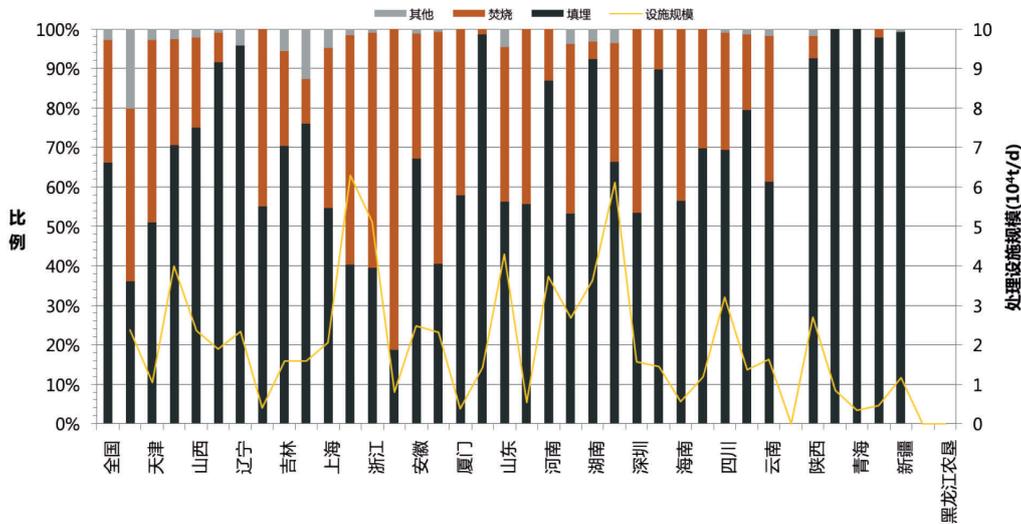


图 5-13 2015 年全国城镇生活垃圾处理设施情况
(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2016b)

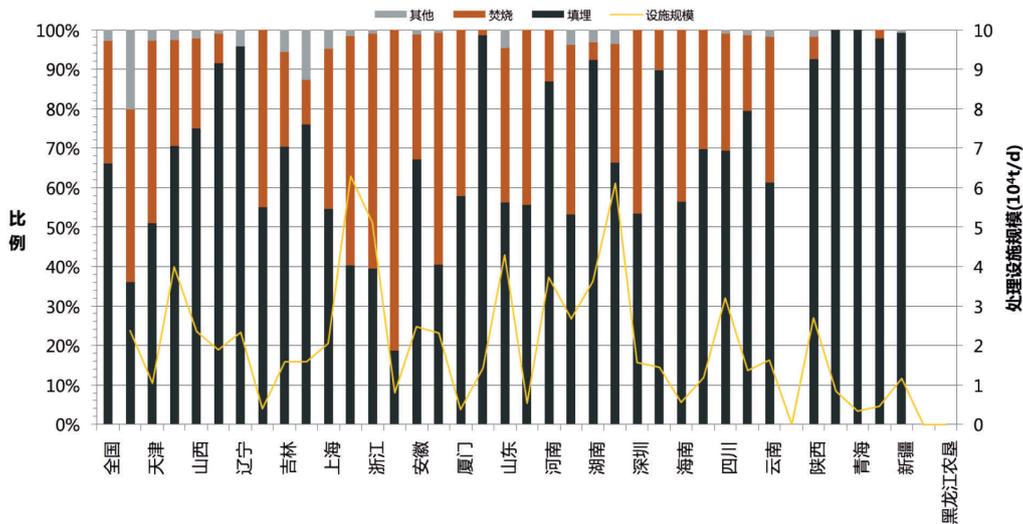


图 5-14 2020 年全国城镇生活垃圾处理设施规划
(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2016b)

5.7 餐厨垃圾

根据《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》，建立与生活垃圾分类、回收利用和无害化处理等相衔接的收运体系。鼓励对厨余等易腐垃圾进行单独分类。

餐厨垃圾无害化处理和资源化利用能力继续推进建设。根据各地餐厨垃圾产生量及分布等因素，统筹安排、科学布局，鼓励使用餐厨垃圾生产油脂、沼气、有机肥、土壤改良剂、饲料添加剂等。鼓励餐厨垃圾与其他有机可降解垃圾联合处理。力争到“十三五”末新增 $3.44 \times 10^4 \text{t/d}$ 的处理能力。“十三五”期间，餐厨垃圾专项工程投资 183.5 亿元，垃圾分类示范工程投资 94.1 亿元。

根据当地餐厨垃圾的产生规模、组分和理化性质，科学选择成熟可靠的处理工艺路线和技术设备，可选择肥料化、饲料化（饲料添加剂）、资源化等工艺路线，工艺选择须符合《餐厨垃圾处理技术规范》等要求。建立台账登记制度，提高餐厨垃圾集中收集率和收运体系覆盖率。按规定及时收运餐厨垃圾，防止餐厨垃圾收运过程产生环境污染。强化产品应用管控，加强对餐厨垃圾资源化综合利用产品的质量监管和流向监控，严格规范餐厨垃圾肥料化和饲料化产品的销售、使用。

十二五期间，餐厨垃圾处理能力新增了 1.3 万吨/天。而在新一轮的“五年规划”期间，拟新增餐厨垃圾处理设施能力 3.44 万吨/天，各地具体分配如图 5-15 所示。

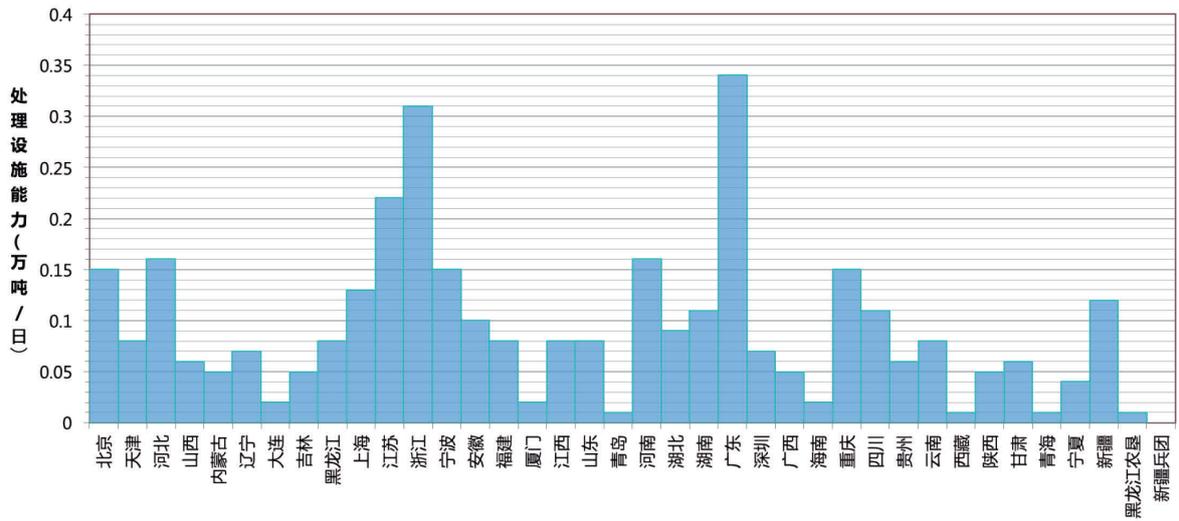
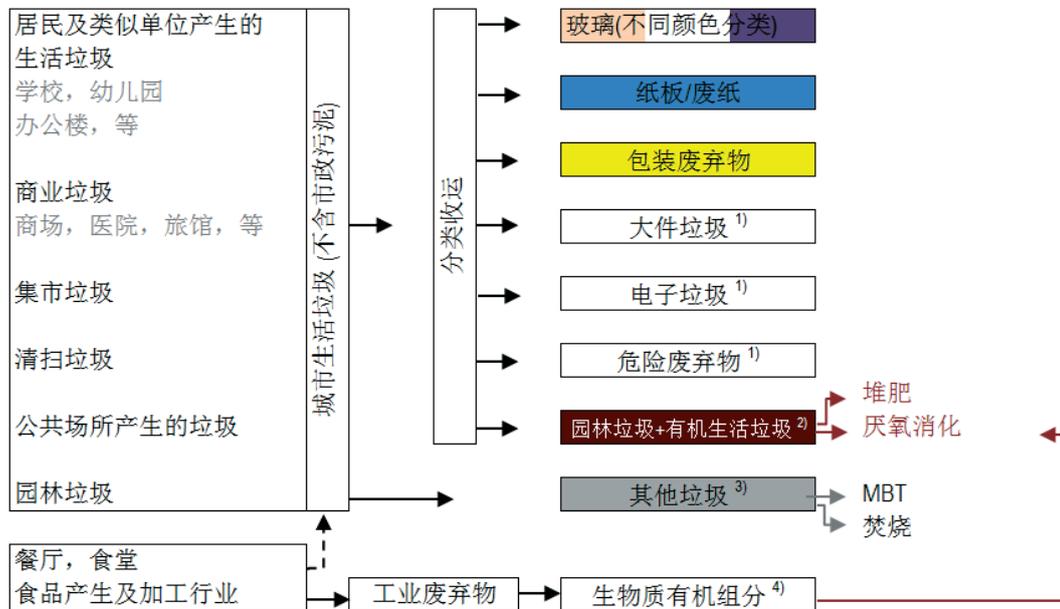


图 5-15 十三五新增餐厨垃圾处理设施规划
(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2016b)

6. 城市生活垃圾中生物质组分的利用和处置技术现状

在德国，城市生活垃圾中玻璃，纸张，包装废物，大件垃圾，电子垃圾，危险废物，园林垃圾及生活垃圾有机组分均分类收集，如图 6-1 所示。尽管已经投入了诸多努力，但仍有一定数量的生物质废物包含在其他垃圾中。因此，城市生活垃圾中的生物质废物可以分为两部分：一部分为分类收集的干净的生物质废物，可以用作物质回收；另一部分与其它垃圾混合。



¹⁾按需收运，和/或自行投放

²⁾园林垃圾和有机生活垃圾是否分别收运，因地制宜，由当地政府决定

³⁾未分类混合垃圾，包含可回收物，生物质废物，使用过的清洁用品，吸尘袋，等

图6-1 城市生活垃圾产生源及分类收集示意图

本章对可分类收集的生物质废物的收运、处理及利用技术进行分析（6.1），同时也对混合垃圾中的生物质组分的收运、处理及处理进行了介绍（6.2）。

6.1 分类收集、处理及利用

6.1.1 法律背景及资源环境保护的重要性

对于城市生活垃圾的各组分，均有法律明确要求其收集，运输，回收或处理方式。德国垃圾管理相关法律以相关欧洲指令为基准，在此基础上转变为国家法律。

核心指令是**欧洲废物框架指令**（欧洲联盟指令 2008 / 98 / EC），其中包含对德国废物法的重要要求。条款 4 明确了废物处理处置层级，优先考虑产品的长期使用（预防废物产生及再利用）；物质回用（回收过程），最后的选择为能量回收。

产品长期使用和物质回收减少了新原料生产过程的能源消耗和环境破坏。另外，从使用效率的角度，能源回收在资源保护和应对气候变化方面可以提供可持续的贡献。

条款 8 明确将生产者责任延伸至产品开发、制造、加工、销售或进口产品的所有人；包括对废旧产品和废物的回收，以及承担可持续发展的财政责任。生产者责任延伸的目标是预防废

物产生，提高再利用和回收；进而，产品应技术上耐用，可多次使用，成为废物后，可以实现无害回收及环境兼容处置。

1999年4月26日发布的欧洲委员会指令（1999/31/EC）主要针对垃圾填埋场管理，指令要求欧盟国家逐步减少垃圾填埋过程的可生物降解废物量，以减少其对环境的影响。这个目标只能通过垃圾分类和回收的实现。指令提出，到2030年，在欧盟范围内，最多10%的城市生活垃圾可以进入填埋场处理。

在德国，第一条针对废物立法的联邦条例为1972年颁布废除处置法案。目前，德国废物管理的核心法案为废物管理法（KrWG）。物质循环的废物管理更侧重于资源、应对气候变化和环境保护；欧洲废物框架指令中的五级废物处理处置层级亦在德国应用。在此基础上，选择最适合保障公众和环境保护的废物管理措施。

到目前为止，没有具体的监管规定，如果分离的废物组分其热值达到11000 kJ/kg（KrWG，第8章，第3段），则认为其能量回用和物质回用效率相当。其目的是防止低热值废物的能源回用，因为其燃烧过程不能实现资源的节约，因此不能被视为首选的环保选项。

此外，要求全国范围内强制分离生物质废物（KrWG，第11章，第1段）以及纸、金属、塑料和玻璃废弃物（KrWG，第14章，第1段）。到2020年，生活垃圾回收率至少要达到65%，（KrWG，第14章）；此外，在未来将禁止危险废物与其他废物混合（KrWG，第9章，第2段）。生物质废物和可回收物的分类回收是为了实现废物的更有效利用。

在禁止未经处理的城市生活垃圾进入填埋场后，德国实现温室气体减排的渠道为提高垃圾处理厂的物质回收和能量回收效率，以及增加垃圾中的材料回用（第6.2.1节中进行深入比较）。

6.1.2 收集和运输

分类后的垃圾由居民投放入位于住宅建筑区的垃圾收集容器中，该采集系统称为街道系统。它主要收集纸和纸板（蓝桶）、轻型包装（黄桶/袋）和有机垃圾（通常是棕桶）。从家庭分离的可重复使用的废物在中央收集点收集，这种系统成为自行投放系统（bring system），主要用于包装，玻璃（分离成绿色，棕色和白色玻璃）和旧纺织品的分类收集。回收中心和回收站的收集也是自行投放系统的一部分；对于大件垃圾有不同的收集系统；电池和电器可以返回给零售商，是一种特殊形式的自行投放系统；零售商也收回可回用的饮料容器。

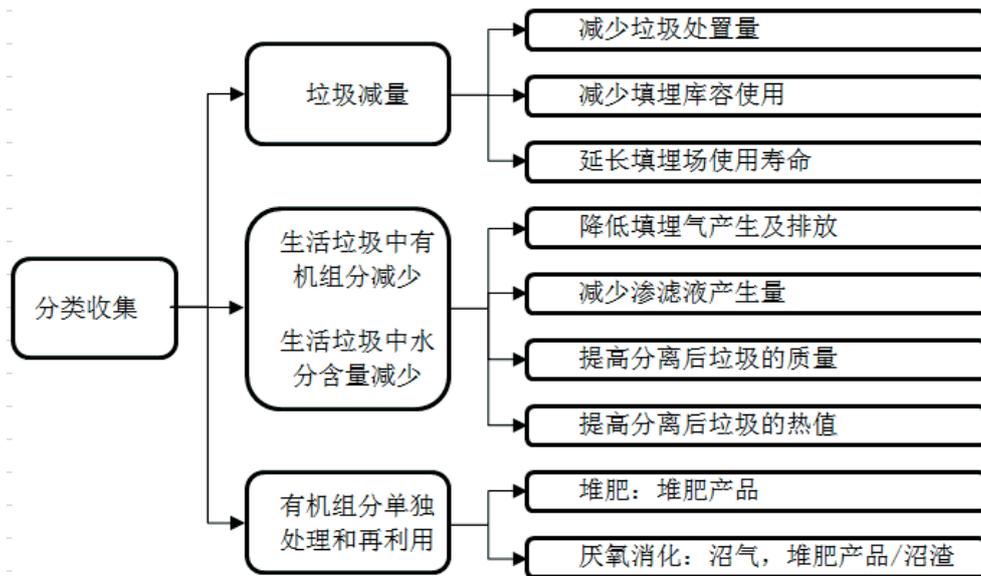


图6-2 分类收集对于资源保护和应对气候变化的重要性

在德国，并非所有收集系统均统一；然而在任何情况下，仅有一小部分城市生活垃圾不可回收，即是所谓的其他垃圾。

在德国，针对垃圾管理产生的数个环境问题，垃圾分类是解决方式。由于生物质废物是相关温室气体排放的主要来源，其分类收集和处理可显著减少温室气体排放。生物质废物的分类收集也是生产高品质堆肥产品的前提，进而可以形成有机质和养分的循环。此外，生物质废物的分类收集及利用实现了垃圾减量并且改变了剩余其他垃圾的组成，降低其含水量。图 6-2 总结了生物质废物的分类收集的好处。

图 6-3 显示了德国垃圾分类收集的发展，当其他垃圾量减少时，不同可回收组分（包括生物质废物）的数量增加。自 2004 以来，分类收集的可回收物的数量大于其它垃圾量。



图 6-3 德国垃圾分类——不同可回收物及其他垃圾收集量
(BMUB, 2015)

2014 年，约 980 万吨生物质废物分类收集，包括有机生活垃圾，主要是厨余垃圾，家庭园林垃圾，公园和城市绿化区的园林垃圾，商业区有机废物和食品废物。在德国，也存在大量的农业剩余物，如粪便等，这些不算作生物质废物，因为它们不被当作废物处理。

每个城市自主决定是否分类收集厨余垃圾和家庭园林垃圾，以及自主决定采用街道收集系统或者自行投放系统。

在人口密集的地区，生物质废物的收集通常采用街道收集系统。只有在人烟稀少的地区，居民会自行将生物质废物投放到垃圾集中收集点，通常只是园林垃圾。在居民垃圾收集过程中，有各种不同大小的集装箱和车辆，可用于收集和运输家庭产生的分类垃圾。

根据需要，有不同类别不同大小的垃圾收集塑料袋到垃圾箱（通常由塑料制成）；不同类型的车辆应用与垃圾收运过程，适应不同的垃圾收集系统。

6.1.3 处理技术

堆肥和厌氧消化技术是生物质废物处理的主要技术；上述两种技术均为自然过程，其中堆肥为好氧过程，厌氧消化在缺氧条件下进行。图 6-4 总结了不同技术的特点。

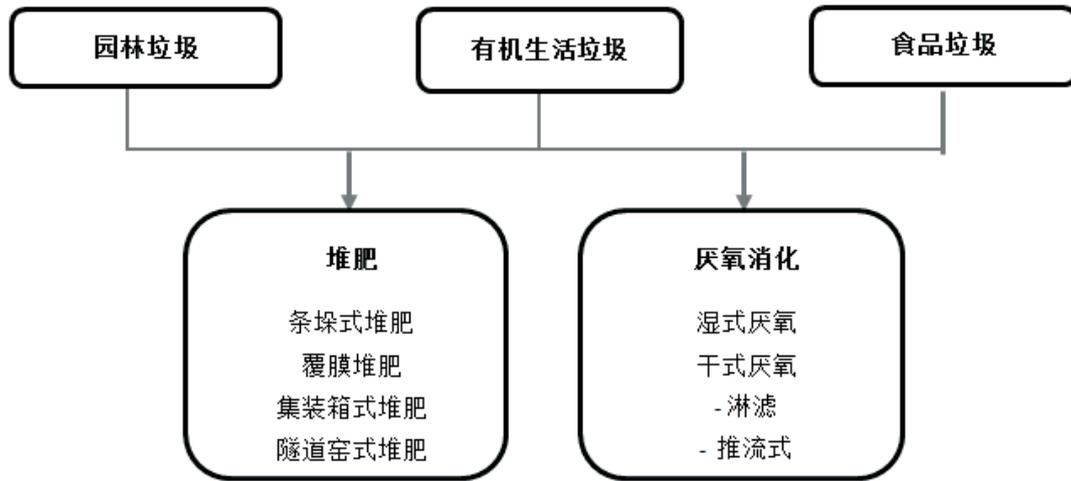


图 6-4 生物质废物回收利用技术体系

技术选择和应用取决于生物废物的组成。家庭和类似机构产生的厨余垃圾，以及食品废物常采用厌氧消化技术进行能源回收和利用（沼气），产生的沼渣可以进行物质回收利用。

对于木质素和纤维素含量较高的植物基园林垃圾，堆肥是最好的选择。在堆肥的情况下，只可实现物质回收。如果园林垃圾中木质成分很高，此部分木质垃圾可以分类收集，并作为生物质发电厂的燃料使用产生能源。

无论是堆肥产品的物质回收，沼渣土壤回用以及能源回收利用，均有助于气候和资源保护。图 6.12（第 6.1.4 节）比较了生物废弃物回收在温室气体减排方面的作用。生物质废物厌氧消化产生沼气进行能源回收利用，沼渣作为有机肥（用于市政领域）的技术路线，目前是德国的优先选择。

在德国，农民是生物质废物回收利用的主要受益者。2014 年几乎所有的消化沼渣均用作肥料肥料（BGK，2016）。通过这种做法，生物质废物回收产品（保护）并贡献了土壤肥力，相当数量的矿物肥料被替换。图 6-5 总结了施用堆肥产品和沼渣的好处。

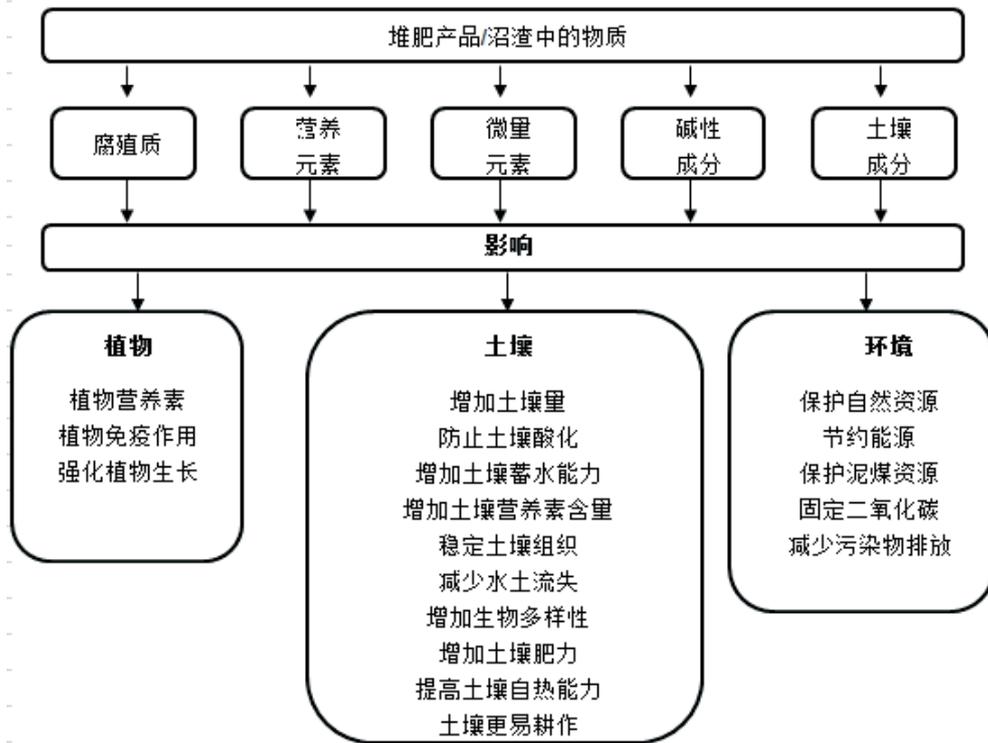


图 6-5 堆肥产品成分及对植物、土壤及环境的影响 (VHE, 2016; modified)

6.1.3.1 堆肥

原理: 堆肥是一种有氧生物过程，包含一系列不同的微生物分解有机材料，并将其转化为一种生物稳定的产品，可以作为宝贵的土壤补充剂。一个管理良好的堆肥系统在转变过程中有机质损失的范围在 30-60%间。如图 6-6 所示，不断监测和控制堆肥过程，维持有氧条件，其中包括一个高温活性堆肥阶段，降低或消除病原体和杂草种子（无害化），以及一个较慢的阶段、稳定化阶段，其中堆肥达到成熟和稳定 (Nelles, et al, 待发表)。

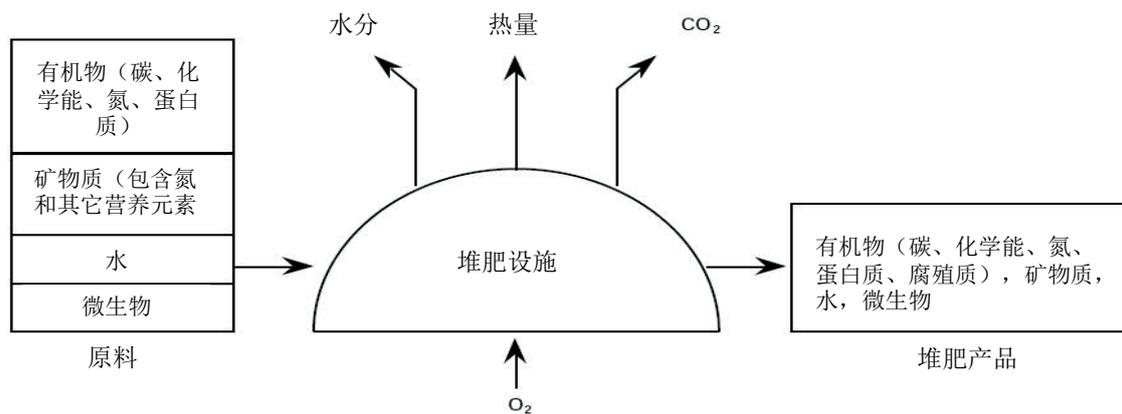


图 6-6 堆肥过程 (Rynk, et al, 1992)

堆肥过程管理参数: 在堆肥过程中通常监测和控制的几个关键工艺参数。图 6-7 总结了提供了不同的控制参数，以确定最佳的堆肥条件和保证产品质量。这些参数适用于所有的堆肥方

法和技术。然而，不同设施的重点关注参数不同，取决于原料类型，堆肥技术和运营商的经验。

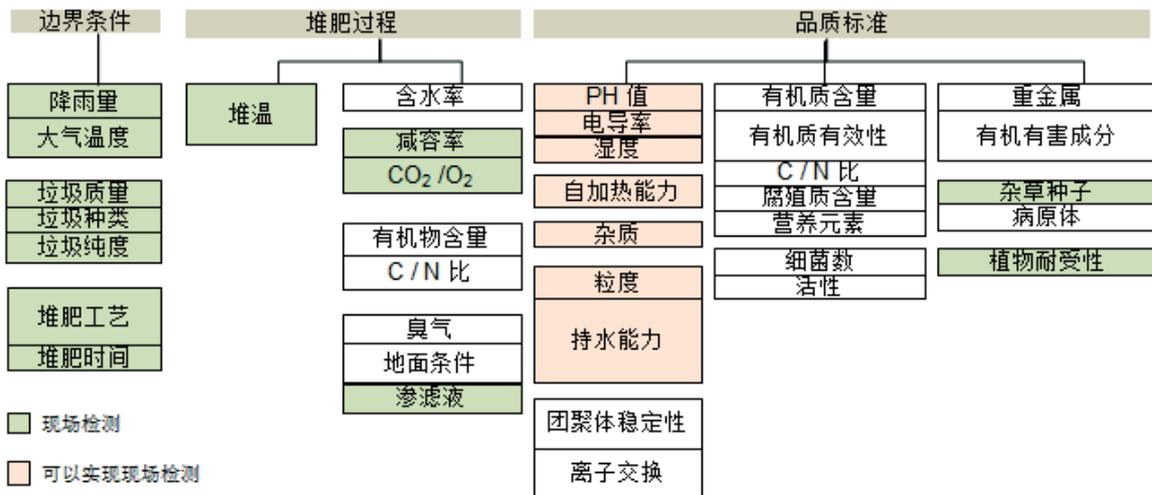


图 6-7 堆肥过程和堆肥产品的控制和品质保障参数 (Schriebe, 1998)

技术: 虽然所有的堆肥技术均为生物降解过程，但是目前常见的技术仍有较大差异。堆肥技术均关注活性堆肥阶段，稳定化阶段常采用堆垛的方式，下图是常见的堆肥厂流程图。

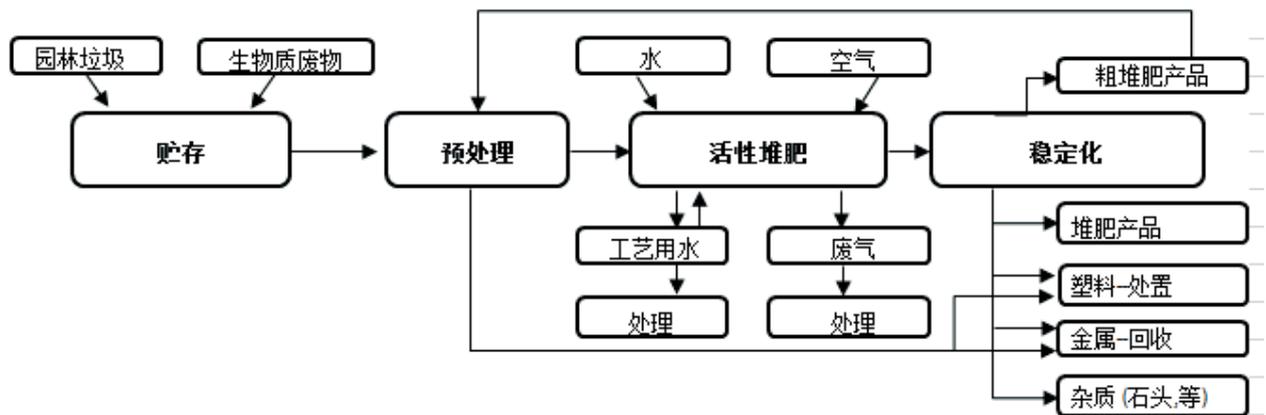


图 6-8 堆肥设施的简易流程图

堆肥厂的处理能力可以从小于 1000 到超过 100000t/y。根据处理能力，处理原料，当地条件和要求，堆肥厂的布局也显着不同。通常，不同类型的机械处理（分离，破碎，翻垛，混合等）在堆肥前期/中期或后期均有所应用。

堆肥设施通常按照活性堆肥过程的特征进行分类：

- 仅处理园林垃圾或处理垃圾分类系统得多的有机生活垃圾
- 露天、封闭或者在容器中进行堆肥
- 被动供氧或者主动供氧
- 静态、半动态或者动态（机械搅拌/翻垛）

露天、封闭或者在容器中进行堆肥的主要区别在于活性堆肥的过程在户外，在室内或者在反应器内进行，这方面的考虑重点在于排放分析同时也考虑建设成本（Rettenberger, 等, 2012）。

曝气和翻堆均可增强堆肥的空气供应，从而影响活性堆肥的时间。在被动曝气系统中，堆肥材料的孔隙率决定了空气交换速率。在这种情况下，旋转可以更新材料内的空气含量。

下文对最常见的技术进行简要描述。

条垛式堆肥

条垛式堆肥也有不同的种类和差异，有简易的露天堆肥，也有在室内的条垛式堆肥系统，同时也分为被动供氧和主动供氧系统。条垛式堆肥顾名思义即为具有三角形截面或梯形截面的长条垛体。截面的尺寸取决于翻堆机的大小，截面的尺寸很重要，既要保障产生足够的热量维持温度亦要保障足够的空气供应。

条垛式堆肥适用于广泛的原料，对设备和基础设施的要求较低；其缺点是需要相对较长的堆肥时间，一般为数周，以及占地面积较大。此外，在开放系统的臭气排放及控制是一个问题。

延伸床式堆肥

延伸床式堆肥可以视为一种特殊的垛式堆肥，有机物被堆成一个大面积的堆垛，而不是多个条形的堆垛，因此，其总体占地面积显著降低。因此延伸床式堆肥适用于大量堆肥原料处理，一般在室内进行。通常，均具有主动曝气系统（正压或者负压）及翻堆系统。此种堆肥设施的堆肥时间在 45-90 天（Kern, et al, 1998; Zachäus, 1995）。

半透膜覆膜堆肥

此技术为露天条垛式堆肥的改良技术，提高运行效率，减少臭气排放。通过半透膜的覆盖可以同时实现对于臭气的排放和过程控制，以及实现强制通风，本项技术也被列为封闭式堆肥技术。

气体分子可以透过此种膜材料，但是导致恶臭的大分子不能通过膜孔。在膜的内侧，水分不断凝结积累，系统臭气物质同时回渗到堆垛中，在堆垛中臭气分子可以被进一步降解。膜覆盖减少了雨水径流，避免了渗滤液的产生，同时也避免了内部水分的蒸发损失，同时，膜覆盖也降低了对虫子的吸引（Nelles, et al, 待发表）。

隧道式堆肥（仓式堆肥）

隧道式堆肥同时进行强制曝气及机械搅拌，每一个隧道（或发酵仓）的堆肥过程均可实现规律控制曝气，补水以及机械搅拌过程。仓式堆肥即物料分布在不同的仓中，发酵仓没有顶盖，属于开敞状态。堆肥物料紧贴仓壁，垂直的堆在仓内，因此其占地面积比条垛式堆肥小。但由于仓式发酵一般在室内进行，因此和室内封闭式条垛堆肥一样，也需要考虑防腐及尾气处理的问题。

隧道式堆肥系统，其顶部亦密闭，堆肥原料堆至隧道顶部，因此可以减少尾气的排放，同时也可以避免腐蚀。部分隧道式堆肥只有曝气系统没有机械搅拌系统，堆肥时间取决于隧道的长度、翻堆的频率以及对堆肥产品的品质要求。一般来说堆肥时间在 2-12 周（Nelles, et al, 待发表）。

箱式（集装箱式）堆肥

箱式（集装箱式）堆肥属于在容器内的静态堆肥，一般而言堆肥箱的容积在 50-60m³，堆肥集装箱的容积是 20m³，集装箱便于运输。这两种堆肥设施均具有主动曝气设施，渗滤液收集系统和尾气处理系统，尾气处理一般为生物滤池。这两种技术均具有模块化的特点，可以通过增加堆肥箱或堆肥集装箱的方式实现处理能力的扩充，灵活方便。然而，同时也鉴于其容积的限制，在大规模有机垃圾处理方面的应用具有局限性。

表6-1 好氧处理过程技术总结

技术名称	处理能力 吨/年	能源需求		场地需求	处理时间		运行成本	投资
		柴油	电		活性堆肥过程	稳定化		
条垛式堆肥（室内封闭）	1000-50000	M	M	H	3	8-10	L-M	M
条垛式堆肥（覆膜）	1000-50000	M	L-M	H	3	8-10	L-M	M
隧道式堆肥	15000-100000	L	M-H	L	1.5	8-10	M	M-H
箱式（集装箱式）堆肥	100-15000	L	M-H	L	1.5	8-10	M	H

L：低，M：中，H：高

6.1.3.2 厌氧消化

原理：厌氧消化技术是一个生物过程，在缺氧条件下通过微生物实现有机物的降解和转化。在厌氧消化过程中，需对反应器内关键的环境条件进行测量和控制，如水分含量，温度和 pH 值水平，以期实现最大限度地提高沼气产量和垃圾降解率。厌氧消化过程中最重要的产品是沼气，可作为燃料，主要成分为甲烷（CH₄）和二氧化碳（CO₂）。

技术：厌氧消化技术包括在消化前的机械预处理，消化过程和沼渣的后处理，以及沼气的能源利用。一般来说，预处理包括在去除金属和大颗粒物。为了提高消化效率，通过一系列预处理（辊式破碎，剪切式破碎，锤式破碎）降低原料的粒度，实现原料均质。图 6-9 显示了厌氧消化过程的简易流程图。

厌氧消化系统的机械设备十分多样，在系统设计的过程中通过优化生物处理过程提高沼气中甲烷含量，进而提高其能源利用效率。所有技术均采用密闭反应器，有水平反应器和垂直反应器之分。厌氧消化技术的分类基于以下原则（Nelles, et al, 待发表）。

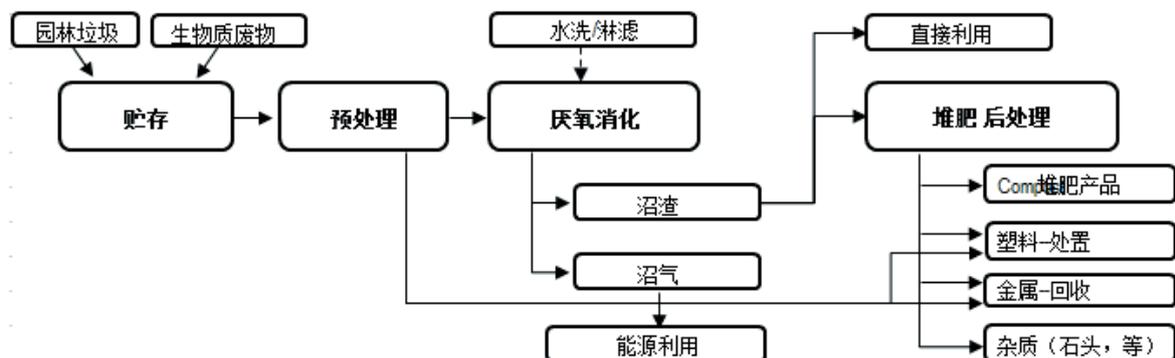


图 6-9 厌氧消化设施（含前后处理）简易流程图

湿式消化/干式消化

对于厌氧消化的湿式/干式之分主要取决于处理基质的含固率，湿式消化系统的含固率在 3-15%，干式发酵的含固率在 15-45%之间。图 6-10 说明了不同消化过程的含固率。

鉴于湿式消化处理的物料悬浮或溶于水中，因此原料可以泵入反应器中，反应过程在密闭反应器中进行，用搅拌器混合。混合过程十分重要，首先混合可以确保微生物与底物的充分接触，因为在反应器内的消化液倾向于分层，进而可能导致沼气产量的降低；其次搅拌可以保障反应器内的物质均能实现优化的平均停留时间。食品废弃物等易转化为液相的垃圾适宜采用湿式消化进行处理。

干式消化处理的原料其固含量可以有较大的范围，因此干式消化有不同的结构及类型。干式消化的原料可以为园林垃圾和农业秸秆。与湿式消化相比，干式消化更不易受杂质的影响（砂石，纤维素，等）。鉴于干式消化的原料性质，其原料可在场内堆置（Nelles, et al, 待发表）。

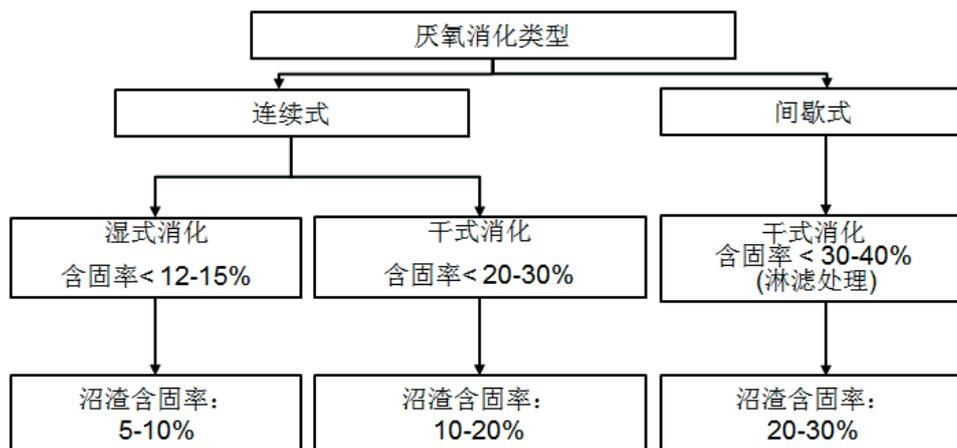


图 6-10 不同消化类型及其含固率
(BMUM, 2009)

对于源头分类的城市生活垃圾，常采用淋滤系统和推流式系统进行处理。淋滤系统常为一个箱式容器或者车库式消化反应器，内置淋滤及排水系统，淋滤系统对原料进行淋滤。厌氧消化过程一般持续 4-8 周（停留时间）；对于淋滤过程而言，原料的结构很重要，决定了在消化过程中淋滤液能否穿透，反应器内原料堆体的高度最高为 2-3 米，避免下层物料的压实。

推流式消化处理技术采用水平的圆柱形或者长方形反应器，内置搅拌设施。电动搅拌设施可以帮助气体排出；搅拌方向周期性调整，伴随着新鲜原料的进入，反应器内原料不断向前推进（Kern, et al, 1998; Zachäus, 1995）。

单相或两相消化

厌氧消化系统可以设计为单相系统或者两相系统。在单相厌氧消化系统，所有的消化反应均在一个反应器内进行，反应器内 pH 值在 6-7 之间，这个 pH 值并不是其中所有微生物的最适范围。两相反应器将厌氧消化过程分为两个不同的反应器进行反应，进而尝试实现对不同微生物的 pH 值的优化。两相消化系统的缺点在于其建设及运行成本较高。

中温消化或高温消化

从工艺的角度而言，厌氧消化系统有两个优化的温度区间，分别为高温区间（45 - 60℃）和中温区间（30 - 45℃）。为了使产品卫生化，对于中温消化系统会设置一个加热杀菌设施。目前，中温消化和高温消化在源头分离的有机垃圾处理均有广泛应用。

连续式消化或批式消化

厌氧消化系统可以为连续式过程或者批式过程。在连续式处理系统中，定期有规律的进料和出料，进而保持一个相对稳定的沼气产量，沼气品质也相对稳定。对于批式处理系统，反应器一次进料完毕后即进入消化阶段，所以沼气的产量及沼气的品质随时间不断变化；为了实现更稳定的沼气品质和产量，常采用几个不同阶段的批式系统平行运行（Nelles, et al, 待发表）。表 6-2 总结了不同的厌氧消化技术。

表 6-2 不同厌氧消化技术总结.

技术名称	干式消化（厨余垃圾和园林垃圾）						湿式消化（厨余垃圾）					
	处理能力 吨/年	能源需求	处理 时间	净能量 产出	运行成本	投资	处理能力 吨/年	能源需求	处理 时间	净能量 产出	运行成本	投资
单相厌氧消化	10000-100000	L-M	2-4	L	L-M	L-M	3000 - 250000	M-H	2-6	L	L-M	L-M
两相厌氧消化		L-M	2	M	M-H	M-H		M-H		L-M	H	H
中温消化		L-M	2-4	M	L-M	L		M-H		L-M	L-M	L
高温消化		M-H	2	H	M-H	M-H		H		M	H	H
连续式消化								M-H		L-M	L	L-M
批式消化		L-M	2-4	M	L-M	M						

L: 低, M: 中, H: 高

6.1.4 处理设施的运行

图 6-11 阐述了为确保设施正常运行需要达到的目标以及监管重点；在中国人员因素尤为重要，需要重点考虑。

员工：员工必须经过良好的培训。仅有理论基础是不够的，尤其对于生物过程而言，实践经验非常重要。在德国，对于在垃圾处理厂工作的人员设置有“垃圾供应和处理”的专业职位。

对于工作人员的数量，不能一概而论，不同堆肥厂和厌氧消化处理厂的工艺技术和规模均有较大的差异。工作人员的设置取决于进出料的方式（由装载机或者自动进出料），也取决于堆肥过程或是厌氧消化过程，同时取决于堆肥堆垛的方式，设施在露天或是在室内（Nelles, et al, 待发表）。

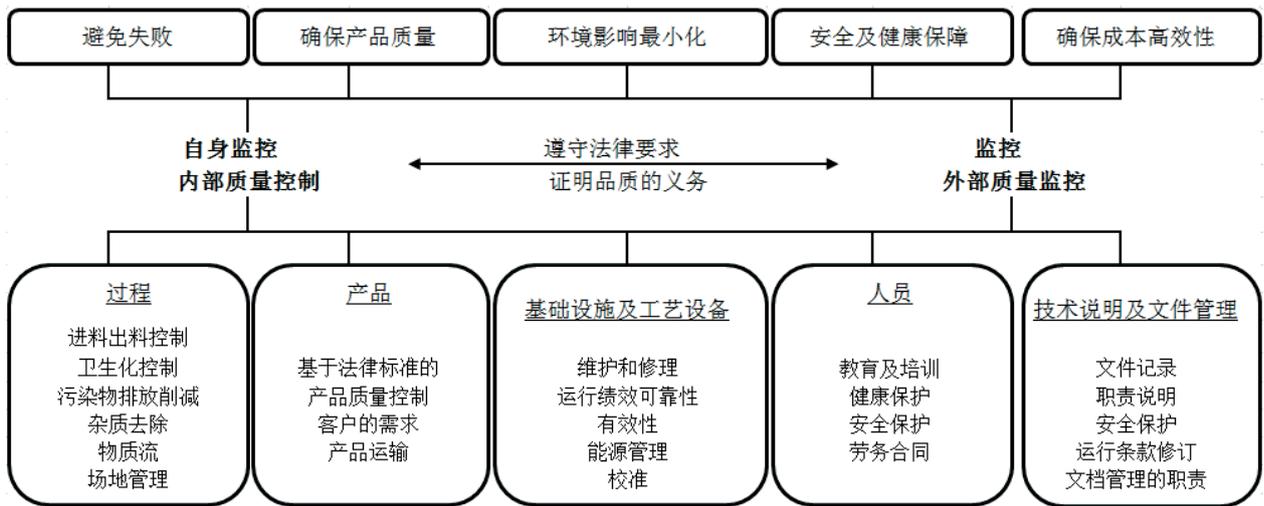


图6-11 设施运行的目标及监管重点

通常，可以假定，至少有一个机械师必须在现场负责机械加工单元的操作和维护，以同时需要一位电工负责电气元件的维护管理。同时，需要一名司机操作移动设备（轮式装载机，卡车等）。

对于处理厂的核心部分，生物处理过程，需要一个拥有广泛的生物学及其影响因素知识的负责人。负责人必须能够根据进料或工艺参数（含水率，pH 值，温度等）对处理过程进行调整，避免出现问题。此外，负责人也应该能够进行采样过程，以确保最终产品的良好质量。

资格条件/培训：尤其对于生物工程环节的负责人，建议在已建成并良好运行的处理厂进行长期的实践培训；为了了解并掌握随着季节变化气候和垃圾组成的波动，建议进行一年期的培训。人员方面存在的主要问题的运营员工的长期稳定性和衔接，新员工需要进行再次培训，此部分内容在章节 6.2.3 中有详细讨论。

防腐保护：处理厂需要高品质的设计且其维护过程需要迅速准确，以期避免或减少腐蚀。如果没有持久有效的防腐功能，仅仅几年钢结构就会被破坏；因此合理的防腐保护可以避免巨大的财产损失。

排放：生物质废物的处理技术对于应对气候变化有显著贡献，可以避免温室气体的排放，如图 6-12 所示。

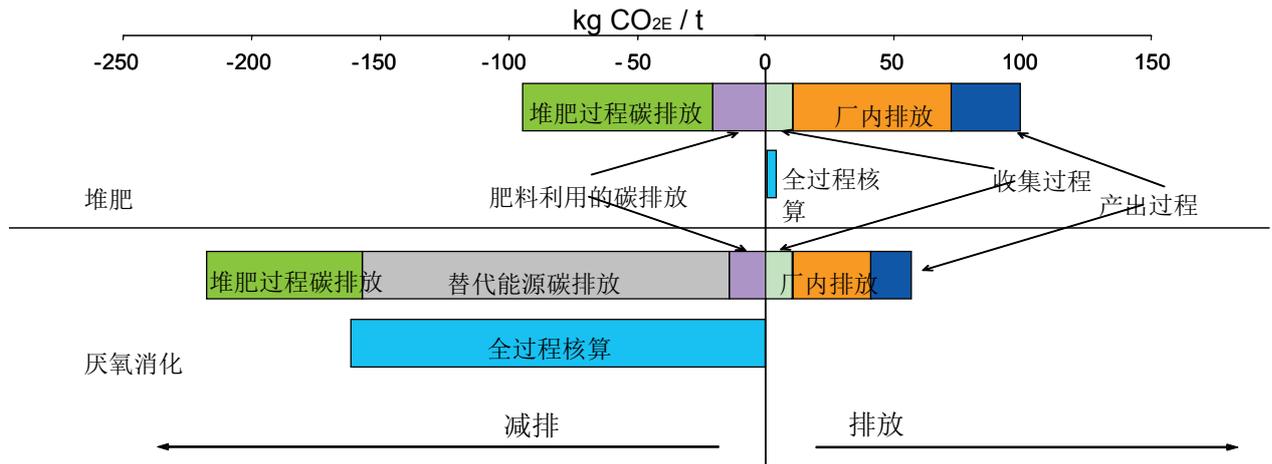


图6-12 堆肥及厌氧消化温室气体减排对比 (UBA, 2015)

生物质废物的分类收集和處理可以显著降低垃圾管理领域的温室气体排放。表 6-3 总结了德国生物质废物回收后其温室气体排放占总排放量的比例；由表中数据可知生物质废物处理过程的温室气体排放仅为总排放量的 0.1%，这个数值非常低。

另外，堆肥和厌氧消化的温室气体排放是运行过程的一个重要考量。图 6-13 给出了从不同堆肥设施的温室气体排放汇总分析；排放量最大值到最小值之间的广泛范围表明处理设施排放量可以有显著变化，也说明有巨大的改善排放的潜力。

科学研究结果表明，甲烷、氮氧化物和氨的排放其主要影响因素为处理设施的运行方式，而非技术设备的不同 (UBA, 2015)。因此，员工的正确认识，规范操作，对于避免排放是至关重要的。

表 6-3 德国有机垃圾和园林垃圾回收全过程（处理+贮存+产品应用）温室气体排放

	单位	处理过程 [1]	产品贮存 [2]	产品应用 [3]	[1]至[3]总计 [4]	德国排放总量 [5]	[4]/ [5] [6]
CH ₄	1000 t/y	23.48	0.0009	0.005	23.49	2324	1.011%
NMVOC	1000 t/y	2.90	--	--	2.90	1284	0.226%
NH ₃	1000 t/y	1.59	0.1187	0.712	2.42	597	0.405%
N ₂ O	1000 t/y	0.56	0.0302	0.181	0.77	216	0.357%
CO ₂ 当量	1000 t/y	753.77	9.0299	54.179	816.98	805959	0.101%

在德国，从堆肥厂和厌氧消化处理厂均需要遵守《大气质量控制技术指导手册》(TA-Luft) 中对于排放物削减的要求；其中，最小距离，堆肥设施的封闭建设，臭气和粉尘的排放限值均作出了明确要求。

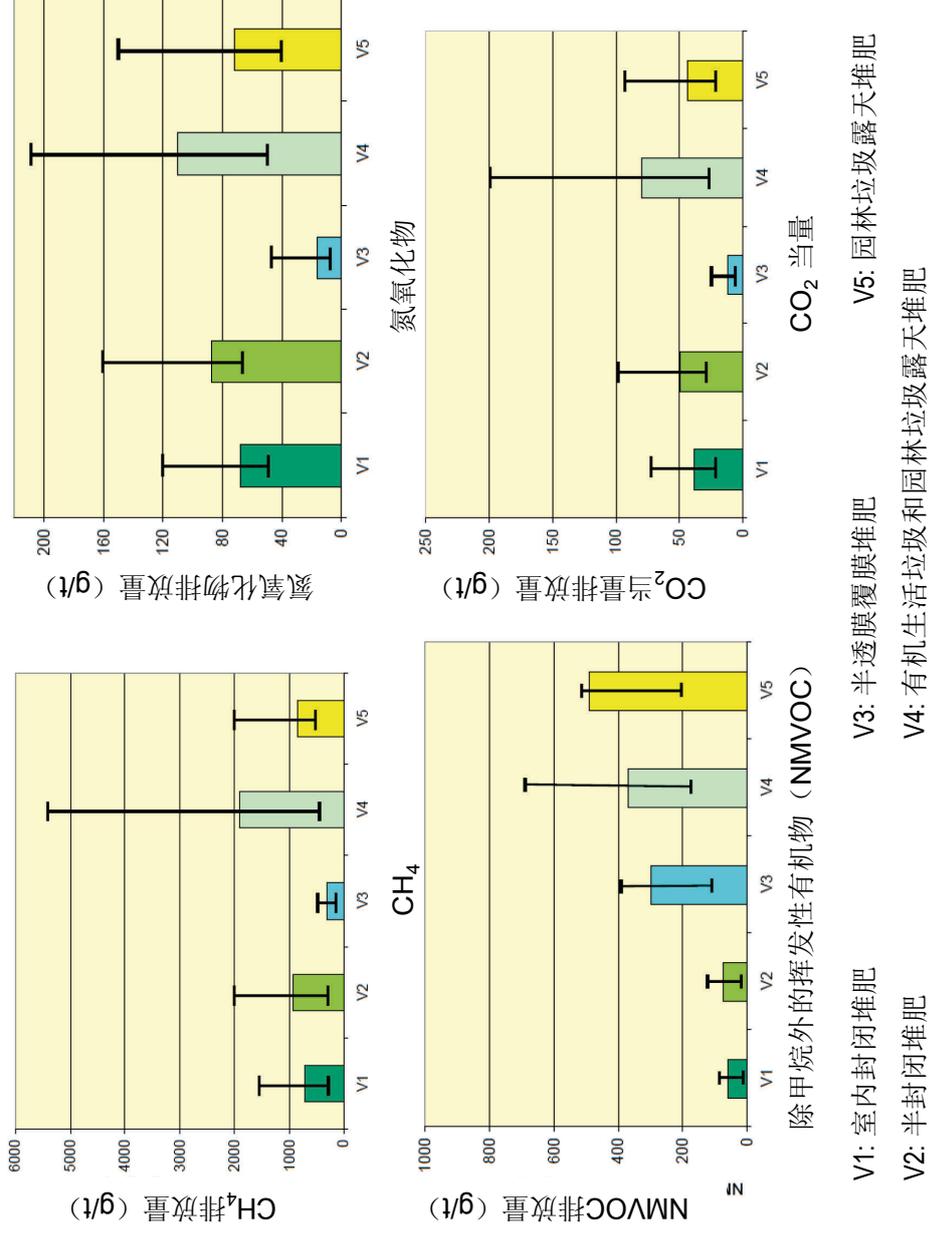


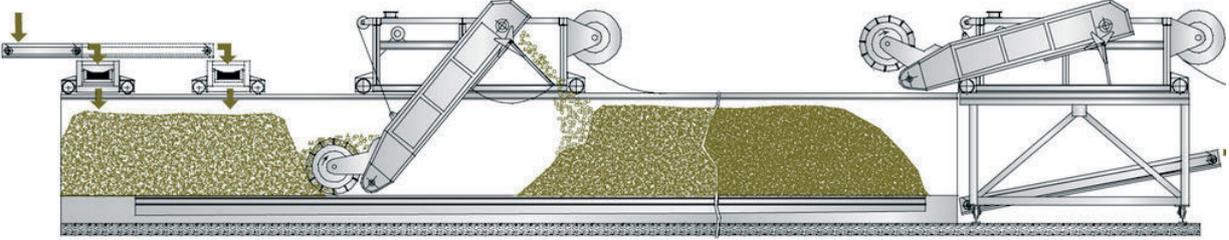
图 6-13 不同堆肥设施的温室气体排放 (BGK, 2010)

6.1.5 部分参考案例

6.1.5.1 Biodegma 堆肥工艺

处理设施名称	Weiterstadt 堆肥厂		
处理设施技术类型	BIODEGMA 堆肥工艺		
位置	DE-64331 Weiterstadt		
设施业主:	Da-Di Werk, Darmstadt	设计要点	
运营商:	Da-Di Werk, Darmstadt	机械过程:	正向装载机安置筛筒
供货商:	BIODEGMA GmbH		
运营时间:	2005	生物处理: 堆肥	
处理垃圾:	分类收集的厨余垃圾 园林垃圾	过程: -堆垛, 隧道, 等 - 供氧	BIODEGMA 隧道
处理能力:	9,000 t/y	处理周期:	6 周
人员配置:	2.5	尾气处理	半透膜
员工班次:	1 班 8 小时	产品:	部分新鲜产品做肥料 高品质腐熟堆肥产品

6.1.5.2 Biofix 堆肥工艺

处理设施名称	Kompostierungsanlage Hogstadt, Stavanger, Norwegen		
处理设施技术类型	Biofix 堆肥工艺		
位置	斯塔万格, 挪威		
			
设施业主:	Interkommunalt Vann og Avlops- og Renovasjonsverk (IVAR)	设计要点	
运营商:	IVAR	机械过程:	混合破碎机 (如有需要可以设置喷淋功能) 铁分离
供货商:	Sutco Recycling Technik GmbH & Co KG		
运营时间:	2000		
处理垃圾:	有机垃圾, 分类收集的厨余垃圾	生物处理过程: 堆肥	
处理能力:	100-150 t/d (最小/最大)	过程: - 堆垛, 隧道, 等 - 供氧 - 其它	- 8 发酵仓, 45 m 长 - 抽吸通风 - 内设生物滤池, 采用矿物质过滤材料 (生物滤池另行购买, 不是 Sutco 供货)
占地面积:	4,800 m ²		
产品:	堆肥产品腐熟度: Rottegrad IV		
员工班次	1	处理周期:	仓内停留 4 周
总投资	430 万德国马克	尾气处理:	酸洗, 内设生物滤池

6.1.5.4 隧道式堆肥

处理设施名称	Abfallwirtschaftszentrum Linkenbach		
处理设施技术类型	隧道式堆肥		
位置	Linkenbach, Kreis Neuwied		
			
设施业主:			设计要点:
运营商:	Abfallentsorgungsanlage Linkenbach Landkreis Neuwied Steinstraße 1 56317 Linkenbach	机械过程:	破碎, 筛分 <80 mm 铁分离; 进入堆肥隧道
供货商:	Sutco RecyclingTechnik GmbH		
运营时间:	2014		
处理垃圾:	家庭垃圾	生物处理过程: 堆肥	
		过程: - 堆垛,隧道,等 - 供氧	隧道式堆肥 16个隧道仓 一次转化后进入 稳定化阶段
处理能力:	160 t/d	处理周期:	主发酵期 4 周 稳定期≥4 周
占地面积:	5.820 m ²	废气处理	热氧化 (RTO) 和生物滤池
产品:	AT ₄ < 15 mg O ₂ /g TS 溶解性有机物 < 800 mg/l	特点	两个移动桥自动进料系统
员工班次:	1		
总投资:	530 万欧元		

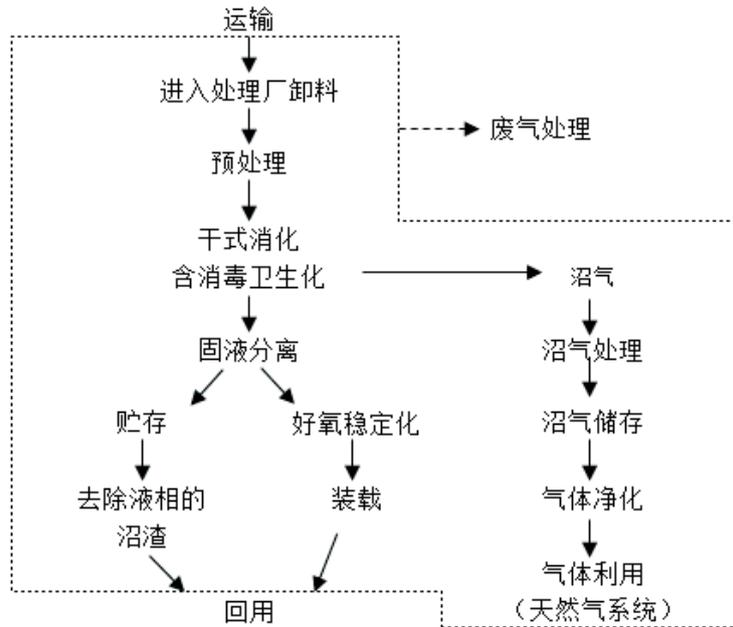
6.1.5.5 *Kompotec* 工艺

处理设施名称	Kompostwerk Gütersloh KOMPOTEC Kompostierungsanlagen GmbH		
处理设施技术类型	Bioabfallvergärung und Kompostierung		
位置	33334 Gütersloh, 德国		
工艺流程图			
设施业主:	KOMPOTEC Kompostierungsanlagen GmbH	设计要点	
运营商:		机械过程:	滚筒筛, 磁选, 破碎
供货商:		Eggersmann Anlagenbau GmbH	
运营时间:	1993	生物过程: 堆肥	
处理垃圾:	居民产生的有机生活垃圾 园林垃圾	过程:	干式消化 隧道堆肥 条垛式堆肥
处理能力:	65000t/y, 260 t/d	废气处理:	生物滤池
人员配置:	9	产品:	堆肥产品 沼气 电 金属 筛上物热处理能量回收
员工班次:	10 h/d		
占地面积:	43.000 m ²		

6.1.5.6 柏林环境集团(厌氧消化, 生物质燃料)

处理设施名称	柏林生物质废物处理厂
处理设施技术类型	厌氧消化
位置	柏林

工艺流程图



设施业主:	BSR 柏林环境集团	设计要点:	
运营商:		机械过程:	预处理系统包含对进料的均质 2级脱水
供货商:	STRABAG Umwelttechnik GmbH	生物处理过程:	
运营时间:	2013	过程:	2干式消化罐 (TF 2200) 消化后沼渣在6个供氧箱中进行堆肥
处理垃圾:	分类收集的生物质废物	废气处理:	化学洗气塔和生物滤池
处理能力:	60 000 t/y	其它:	沼气通过变压吸附过程提纯达到天然气标准
人员配置:	14	产出:	沼气, 堆肥产品
占地面积:	2.7 公顷		

6.2 混合收集，处理和利用

6.2.1 法律背景及资源环境保护的重要性

对于其他垃圾，是一个复杂的混合物，包含未分类的可回收物，生物质废物，卫生废物，等，针对其他垃圾的处理也有不同的法律法规条款。

1999年4月26日发布的欧洲委员会指令（1999/31/EC）主要针对垃圾填埋场管理，指令要求欧盟国家逐步减少垃圾填埋过程的可生物降解废物量，以减少其对环境的影响。这个目标只能通过垃圾分类和回收的实现。指令提出，到2030年，在欧盟范围内，最多10%的城市生活垃圾可以进入填埋场处理。

德国废物管理的核心法案为废物管理法（KrWG）遵循五级废物处理处置层级，在垃圾处理的过程需选择最适合保障公众和环境保护的废物管理措施。因此对于混合的其他垃圾，回收技术是处置前的最佳选择。

1993年，城市生活垃圾利用、处理及处置技术规程（TASi）中首次提出城市生活垃圾需进行预处理，此项规定从2005年6月1日起执行。TASi制定了原则：“特别是垃圾经过处理后需达到基本不产生填埋气的效果，渗滤液产生量特别低，在垃圾堆置过程中仅有小部分有机物可以生物降解”。目前，废物管理法要求在废物处理的过程中减少处理量和危害性，并可实现能源利用（KrWG，第15章）。

德国垃圾填埋条例实施欧洲和德国的法规要求，规定了可以进入填埋场处置的垃圾标准，填埋场只接受经过预处理的惰性垃圾。垃圾中有机物的削减或转化是达到上述标准的先决条件。表6-4为机械生物处理（MBT）后进入填埋场的入场垃圾标准。

表 6-4 机械生物处理（MBT）后进入填埋场的入场垃圾标准

（Müller, et al, 2007； EC, 2001）

指标	德国	欧盟填埋指令	单位
总有机碳	≤ 18	/	%w/w
呼吸活性 AT ₄ (4 日内)	< 5	< 10	mg/g 干基
气体产生率 (21 日) (GB ₂₁)	< 20	/	l/kg 干基
洗出液中的总有机碳 (TOC _{eluate})	< 250	< 500	mg/L
高位热值	≤ 6000	/	kJ/kg

惰性物质填埋可以避免填埋气的产生，预处理过程（垃圾焚烧和 MBT）可以实现垃圾的能量利用；上述两点均对气候保护做出了贡献，禁止原生垃圾直接填埋可以有效的实现温室气体减排。

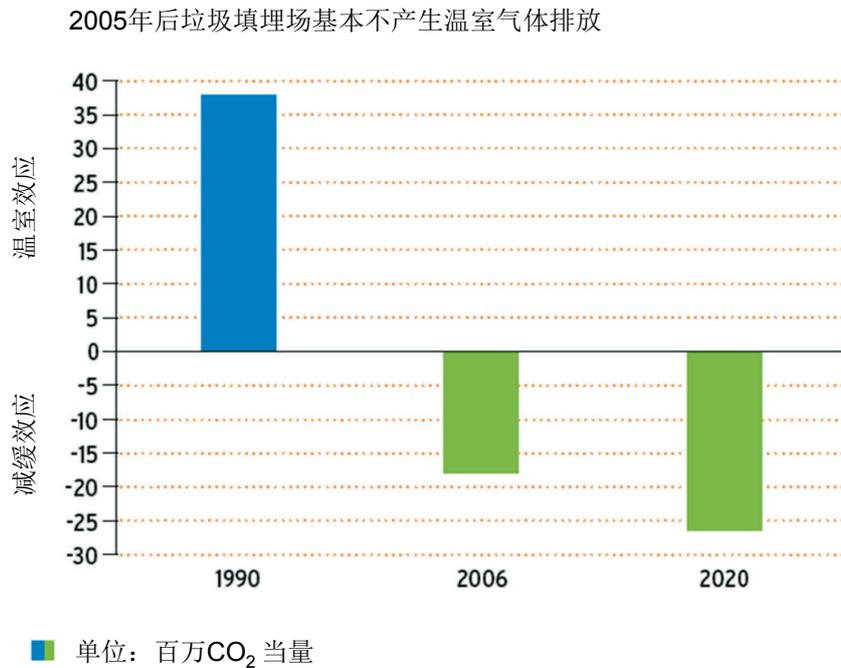


图 6-14 垃圾处理进入填埋场对温室气体排放的影响及减缓效益
(IFEU Study, 2010, Ökoinstitut e.v)

对于其他垃圾和混合的城市生活垃圾进行处理，仅能实现一定程度的有限的能量回收（RDF）和物质回收，仅金属可以实现有利润的分离和回用，对于原料的二次使用可以减少一次能源的应用并实现温室气体减排。

另外，通过对老填埋场的填埋气收集和能量利用，也可以对应对气候变化做出贡献；然而即使是最新的填埋技术，填埋气收集率也仅能达到 25%，因此原生垃圾（未经稳定化）直接填埋仍会产生大量的温室气体。

在 1990-2006 期间，德国通过垃圾管理每年可以实现温室气体减排量约为 5600 万吨，这个减排效果的实现主要得益于未处理的原生垃圾不能直接进入填埋场的禁令，以及物质回收和能量回收率的不断提高，如图 6-14 (UBA, 2010)。目前，在德国，进一步减少垃圾管理领域的温室气体排放，其可能途径为提高垃圾处理设施的效率，尤其是提高垃圾的物质回收率。

6.2.2 处理技术

机械生物处理技术（Mechanical-biological treatment, MBT）是多个垃圾处理过程的统称，如物质回收设施（Materials recovery facilities, MRF）、垃圾衍生燃料（Refuse derived fuel, RDF），机械分离分选，堆肥等。随着欧盟填埋指令（1999/31/EC）的生效，MBT 技术不断受到重视及应用，目前对于混合城市生活垃圾，焚烧和 MBT 是常用的垃圾预处理技术。

MBT 处理设施的设计和技术解决方案的设置由进料性质和对于产出的品质要求决定，如图 6-15。不同处理设施及运行过程均有较大差异，难以比较。

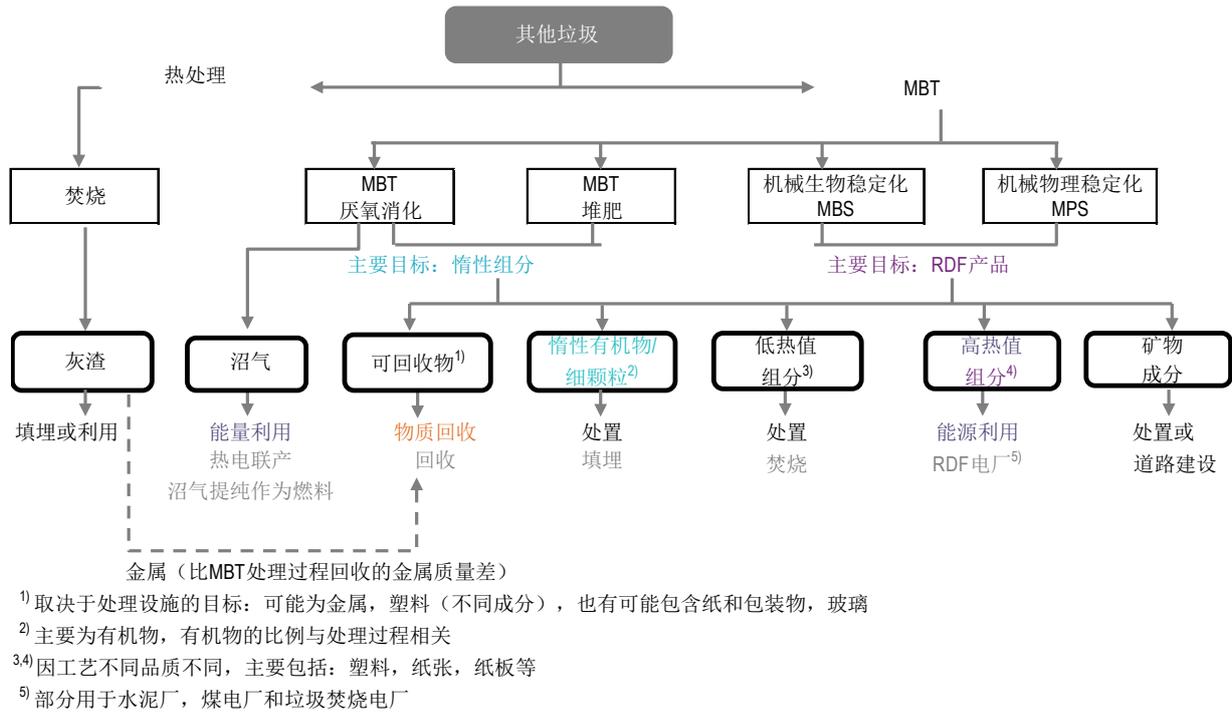


图 6-15 针对其他垃圾的主要处理方式及对应的产出

广义的 MBT 技术体系可以被分为三类：机械生物处理（MBT），机械生物稳定化（Mechanical-Biological Stabilization, MBS）以及机械物理稳定化（Mechanical-Physical Stabilization, MPS）；上述三种工艺的简易流程图见图 6-16，其中机械物理稳定化以机械过程为主，并没有生物处理过程，但是如果此类技术用于生产 RDF 或者固体回收燃料（SRF）则也被认为是 MBT 过程。

堆肥和厌氧消化已经在前文关于源头分类的生物质废物处理中进行了详细的介绍；这两个过程的最终产品均为稳定化物质，可以在填埋场中填埋，一般常选择好氧处理，因为其更易于控制。

机械生物处理（MBT）

机械生物处理是最常用的处理方式，其目标为产生稳定化的产物，此产物可以进行填埋处理。在机械生物处理厂中，原料垃圾被分为不同的物质流向：可回收物，能量回收部分，生物处理部分。生物处理环节常为可控的密闭反应器，处理周期为几个月。机械生物处理厂的生物处理环节，与直接填埋类比，可以实现填埋气减少 95%以上（Nelles, et al, 待发表）。

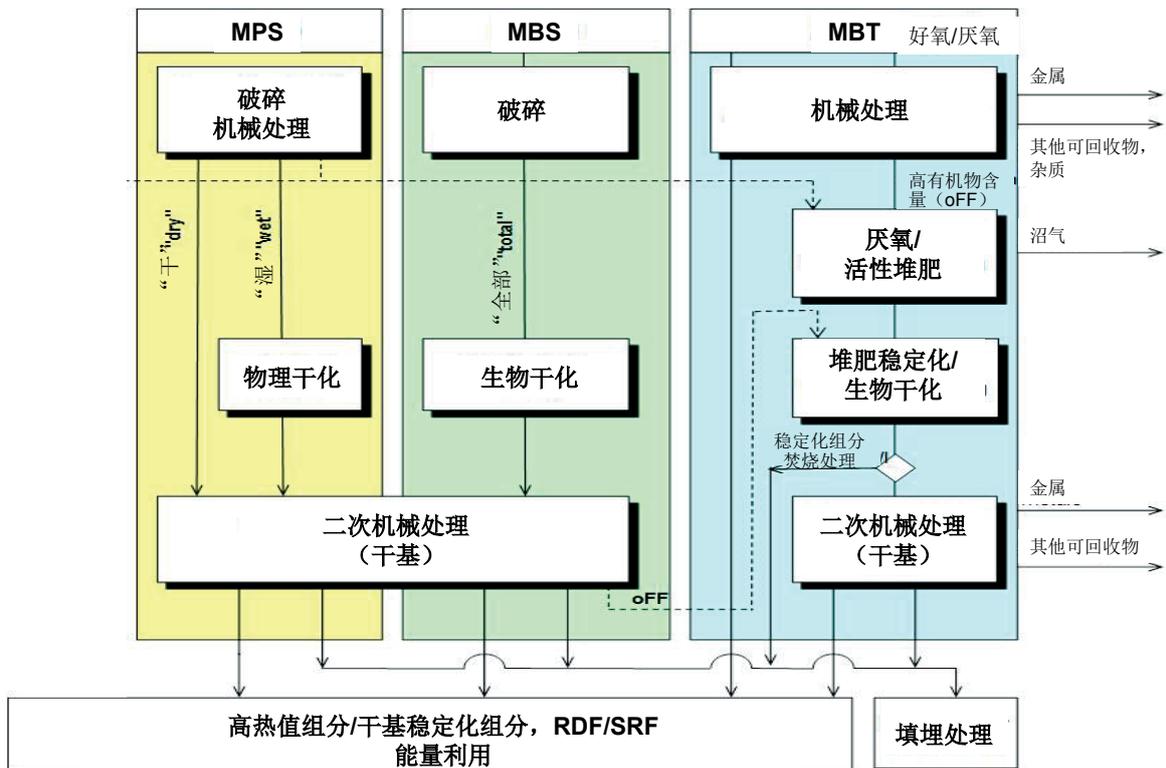


图 6-16 不同MBT技术简易技术流程图
(Ketelsen, 2015)

机械生物稳定化（MBS，也称 MBD，Mechanical Biological Drying）

MBS 处理厂其主要目标为产生 RDF 或 SRF，MBS 处理过程中，垃圾首先经过生物干化，然后再经过机械分选。生物干化也是一种堆肥技术，在好氧堆肥过程中产生的热量被再次用于垃圾的干化。基于 MBS 处理理念，所有垃圾或者仅仅高热值部分经过生物干化，在生物干化过程中首先实现水分的蒸发以及少量有机物的降解；因此大部分生物质含量仍保留在 RDF 或 SRF 中，这样可以增加 RDF 和 SRF 的产生量，同时也降低了进入填埋场部分垃圾的有机物含量（Nelles, 2013; Nelles, et al, 待发表）。

在后续的机械处理过程，金属铁和非铁金属，惰性物质，杂质等被分离；高热值有机物按照不同的质量被分为不同类别的 RDF 或 SRF。

机械物理稳定化（MPS，也称 MPD，Mechanical Physical Drying）

鉴于机械物理稳定化不涉及生物过程，因此本技术进行简要介绍。在机械物理稳定化过程，利用机械和物理过程将高热值组分分离出来产生 RDF 或 SRF。机械物理过程的前端处理主要通过多级破碎和分选实现对于低热值组分，金属的分离。如有需要，有害组分也可实现分离，高热值组分干化后用于热处理。

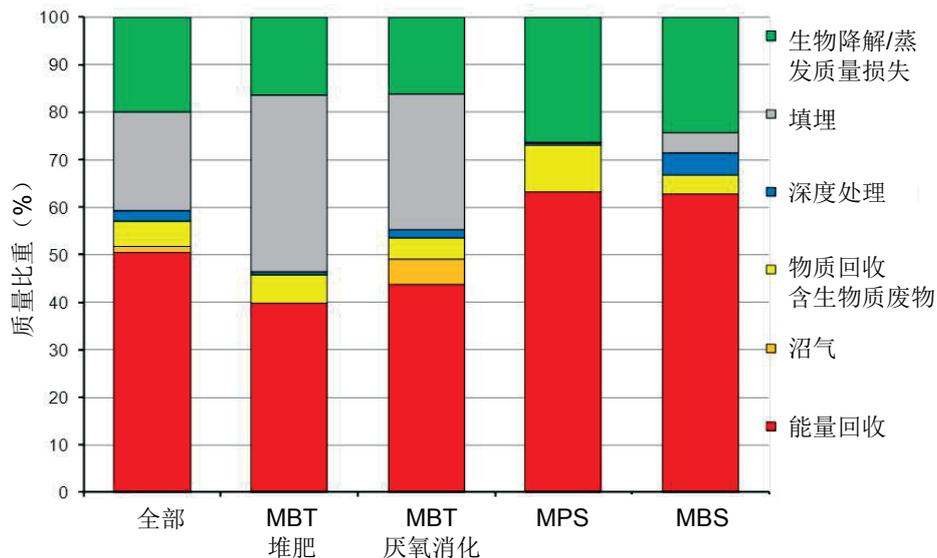


图 6-17 MBT/MPS/MBS的产品组成 (2012)
(Ketelsen, 2015)

6.2.3 MBT 处理设施的运行

在 6.1.4 的图 6-11 已经阐述了设施运行的基本要素，同样也适用于 MBT 设施。下文将重点讨论 MBT 设施运行的一些关键细节问题。

人员：MBT 处理系统的人员需求主要取决于 MBT 处理厂的工艺流程以及处理规模，以及员工班次的设置；同时，员工数量还与机械过程及生物过程是否需要人力参与有关；通常可以参照以下的人员配置要求：

- 处理厂经理 1 人：需为机械工程、电力工程或者相关学科的工程师，负责全场的运行管理；
- 机械工 1-3 人：负责机械处理环节，包含机械设施的问题处理，运行维护和保养；
- 电工 1-3 人：此岗位不需要为专业工程师，但是需要胜任电力系统的问题处理、运行维护，包括电路和发动机；
- 分选工 15-20 人（半熟练工）：确保分类垃圾的品质（不是人工分拣，只是挑除部分杂质确保分类后垃圾的品质）；
- 1 人负责生物处理环节（详见 6.1.4）；
- 司机 1-2 人，负责可移动设施的驾驶。

在 6.1.4 节中已简单提到，对于公司而言，员工的长期稳定性和衔接问题需要重点考虑；基于一些项目的实际经验，在运行的前 5 年其员工更换频率部分多达 3 次，主要因为资质限制导致工资较低；然而连续的培训过程成本高和时间投入高，因此也应尽量避免。

员工班次：为了保障处理厂的安全运行，建议一周最多工作 6 天，每天最多两班，每个班次至少保证一名机械工和一名电工在场。

另外，每周均应设置一次清洁保养班次（8 小时一班，或者 4 小时两班），三班操作是不可取的，否则由于故障，维护和/或清洗不能正常进行或只能附加额外的班次。

启动和运行：建设施工完成后，处理厂启动运行。在冷调试阶段，主要检验处理系统的各项性能，在此调试阶段并不处理原料，只检验各环节能否正常运行。后续的调试阶段常称为热调试，此段调试一般至少 4 周，不同的处理能力和产品质量测试在此调试期内进行。完成上述调试后进入试运行期，为期三个月，工厂员工进行独立运行，常规经验表明一般均需要二次试运行，因此建议和设备提供商签署服务合同，在运行期得到技术支持。

文件记录：运行厂的精确和详细的文件记录对于厂区的后续运行具有重要的意义。文件记录可以不包括设施建设的初始规划，但是项目详细设计文件（与实际建设内容向符合），包括附属设施（路灯，开关，泵，等）均需要详细记录。

维护：处理厂的技术选择对于后期的运行和维护也有很重要的作用。通常部分设施如传送带和通风系统其损耗可以忽略不计，而破碎机是密集维护的单元；一般破碎机刀头每 4-6 周需要更换一次，影响运行成本，降低运行成本的途径为减小进入破碎机的原料的粒径。

可移动的设施：在 MBT 设施的运行过程中，常需要移动的设施（铲车、卡车、集装箱、剪刀式升降机，等），在设施规划时需要给可移动设施预留足够的移动空间。

能源消耗：在 MBT 设施的运行过程中，其能源消耗主要取决于取决于工艺本身以及处理量，处理强度。不同的处理单元有不同的能源消耗，典型的耗电设备包括破碎机，压缩机等。

2012 年在德国进行的一项研究表明，带有厌氧消化过程的 MBT 和 MBS/MPS 处理厂平均耗电量比有堆肥过程的 MBT 高，平均耗电量高 20-30 kWh/t。然而，相同技术系统的运行能耗仍有非常大的差别，如图 6.18 所示；出于这个原因，能源管理及优化过程的实施，可以进一步降低系统能耗。相比之下，垃圾焚烧厂的耗电量约为 100-120 kWh/t。

在同一研究中，MBT 和 MBS 系统的天然气消费量也进行了研究；平均来说，天然气消耗量为 40 kWh/t（等于 4m³ 天然气）。同样，不同技术系统的运行能耗也表现数非常大的差异，如图 6.19 所示，这些差异源于对于废气处理采用的不同技术手段（蓄热氧化- regenerative thermal oxidizer-RTO，生物滤池，除尘器）和运行管理的差异。MPS 处理设施的天然气消耗量非常高是源于在转筒式干燥机中对垃圾进行热干化。

对于采用厌氧消化进行生物处理的 MBT，消化过程产生的沼气提供额外的能源需求；鉴于在堆肥过程中未降解有机物继续释放能量，因此 RTO 过程是自热过程。

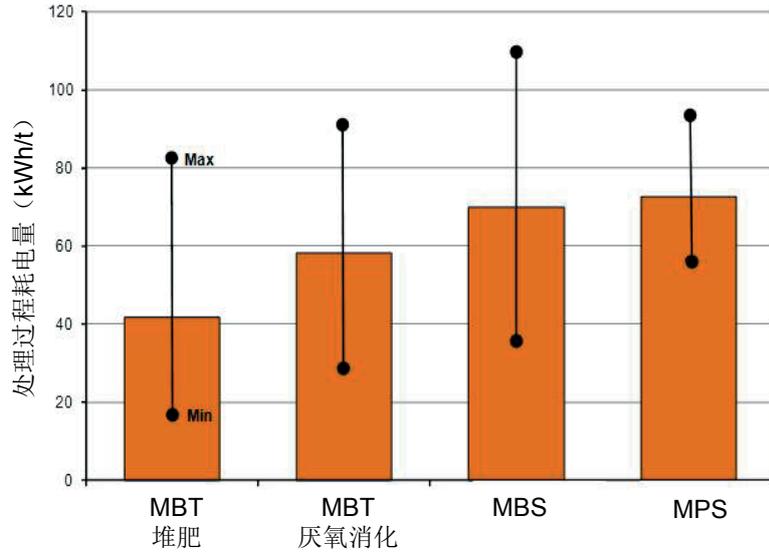


图 6.18 德国部分MBT处理厂用电消耗量 (Ketelsen, 2015)

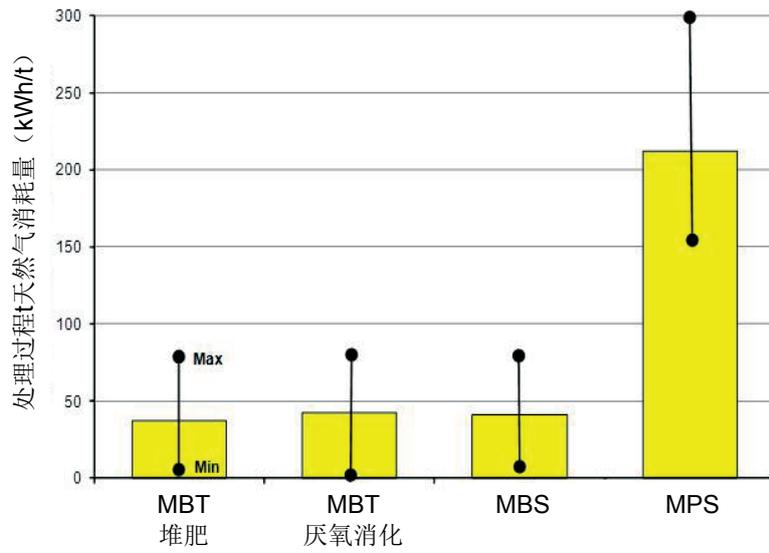


图6-19 德国部分MBT处理厂天然气使用消耗量 (Ketelsen, 2015)

6.2.4 部分参考案例

6.2.4.1 生物干化

处理设施名称	A.R.T. Trier		
处理设施技术类型	混合生活垃圾处理厂，含生物干化部分		
位置	Trier,德国		
<pre> graph TD A[前端破碎] --> B[生物干化] B --> C[定量分配系统] C --> D[磁选] C --> E[磁选] D --> F[涡电流分选] E --> G[涡电流分选] F --> H[RDF制造系统] G --> H F --> I((金属铁)) G --> J((非铁金属)) </pre>			
设施业主:	A.R.T. (Zweckverband Abfallwirtschaft Region Trier)	设计要点:	
运营商:	RegEnt GmbH	机械过程:	<ul style="list-style-type: none"> - 前端破碎 - 生物干化箱的自动进料和卸料系统 - 金属分离: 磁选和涡电流分选机 - RDF 装载装置
供货商:	Fa. Herhof		
运营时间:	05/2007		
处理垃圾:	<ul style="list-style-type: none"> - 500 t/d 混合居民生活垃圾 - 120 t/d 大件垃圾 		
占地面积:	15.000 m ²		
产品:	<ul style="list-style-type: none"> - 金属 - RDF 	生物处理: 干化	
		处理周期:	10-14 d
人员配置	12	废气处理:	空气洗涤器, RTO
员工班次:	<ul style="list-style-type: none"> - 生物干化: 24/7 - 机械处理: 两班 (周一至周五) 	特点:	12个干化箱, 单个容积 600 m ³

6.2.4.2 混合居民生活垃圾处理厂

处理设施名称	Sortiva Alkmaar		
处理设施技术类型	混合居民生活垃圾处理厂		
位置	阿尔克马尔, 荷兰		
设施业主:	HVC	设计要点:	
运营商:	HVC	机械过程:	<ul style="list-style-type: none"> - 筛分: 分为筛上物和筛下物(有机物) - 风选 - 人工分选: 薄塑料和纸类 - 混合可回收物进行自动分选 - 磁选和涡电流分选机
供货商:	待定		
运营时间:	待定		
处理垃圾:	混合居民垃圾		
处理能力:	400 t/d		
占地面积:	/	生物处理过程: 厌氧消化	
产品:	<ul style="list-style-type: none"> - 混合可回收物 - 薄塑料 - 金属 - RDF - 有机物采用消化处理 	过程 <ul style="list-style-type: none"> - 湿式/干式 - 中温/高温 - 单相/多相 - 其他 	湿式厌氧消化
人员配置:	待定	运行周期:	/
		废气处理:	/
员工班次:	两班制	特点:	
总投资:	待定		

6.2.4.3 MBT 生物干化

处理设施名称	Wolan Duka		
处理设施技术类型	城市生活垃圾机械生物处理		
位置	Glinianka, 波兰 (华沙东南方向 30km)		
设施业主:	P.P.H.U Lekaro	设计要点:	
运营商:	P.P.H.U Lekaro	机械过程	FHF (Horstmann)
供货商:	CONVAERO FHF (Horstmann) & others	生物过程	CONVAERO Sales & Services GmbH
运营时间:	2006	生物处理过程: 厌氧消化	
处理垃圾:	城市生活垃圾及可回收物 (干)	过程 - 湿式/干式 - 中温/高温 - 单相/多相 - 其他	无
处理能力:	1200 t/d	运行周期	/
占地面积:	30000 m ²	废气处理	/
产品:	- 可回收物 - RDF - 稳定化后的细组分	生物处理过程: 稳定化	
		过程: - 条垛式, 隧道式 - 供氧 - 其他	覆盖, 供氧
人员配置:	200 (包含垃圾收集车辆司机)	运行周期	28 d
		废气处理	半透膜
员工班次:	两班制以及一个清洁班次	生物处理过程: 干化	
		运行周期	19 d
总投资:		废气处理	半透膜
		特点:	适用于各种城市生活垃圾和<80mm的垃圾

6.2.4.4 MBT 生物分选堆肥厂

处理设施名称	Zakład Utylizacji i Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych in Siedliska near Elk		
处理设施技术类型	MBA		
位置	Siedliska near Elk, province warmińsko-mazurskie		
			
设施业主:	Przedsiębiorstwo Gospodarki Odpadami „Eko-MAZURY” Spółka z o.o.	设计要点:	
运营商:	Przedsiębiorstwo Gospodarki Odpadami „Eko-MAZURY” Spółka z o.o.	机械过程:	分选机堆肥设计方: Sutco-Polska Sp. z o.o.
供货商:	Sutco-Polska Sp. z o.o. - Sorting and composting technology provider		
运营时间:	2011年11月28日	生物过程: 堆肥	
处理垃圾:	混合商业垃圾 分类收集的生活垃圾	过程 - 湿式/干式 - 中温/高温 - 单相/多相 - 其他	动态堆肥 (BIOFIX 系统) 地面上设置好氧通风系统
处理能力:	分选厂处理能力 280 t/d 堆肥设施: 21000 t/y	运行周期:	4 周
占地面积:	处理车间: 约 4000 m ²	废气处理:	生物滤池
产品:	铁金属, 非铁金属, 玻璃, 纸张, 纸板, PET (绿), PET (蓝), PET (白), 混合薄塑料, 透明薄塑料, 白色薄塑料, 高热值组分	特点:	
人员配置:	45 人每班次		
员工班次:	每日 2 班; 13 h/d		
总投资:	净投资: 57040795.82 PLN (工业部分)		

6.2.4.5 MBT 生物堆肥厂

处理设施名称	Zakład Gospodarki Komunalnej „Bolesław” Sp. z o.o. in Bolesław		
处理设施技术类型	MBA		
位置	Bolesław, province małopolskie		
			
设施业主:	Zakład Gospodarki Komunalnej „Bolesław” Sp. z o.o. in Bolesław	设计要点:	
运营商:	Zakład Gospodarki Komunalnej „Bolesław” Sp. z o.o. in Bolesław	机械过程:	设计方: Sutco-Polska Sp. z o.o.
供货商:	Sutco-Polska Sp. z o.o.		
运营时间:	2015年6月2日	生物过程: 堆肥	
处理垃圾:	混合商业垃圾 分类收集的生活垃圾	过程 - 湿式/干式 - 中温/高温 - 单相/多相 - 其他	静态堆肥 (BIODEGMA 系统) 隧道式 (开敞屋顶) 地面通风系统
处理能力:	分选厂: 138 t/d 堆肥厂: 21000 t/y	运行周期:	3-4 周, 不少于 21 日
占地面积:	处理车间: 约 2300 m ²	废气处理:	膜法
产品:	铁金属, 非铁金属, 利乐包装, 纸板, 纸, PET (白色), PET (绿色), PET (蓝色) PET (混合), PE 薄塑料 (混合), PE 薄塑料 (白), 高热值组分, 玻璃, PE/PP	特点:	
人员配置:	33 人每班次		
总投资:	净投资 12 995 000 PLN (工艺设备)		

7. 中国城市生活垃圾中生物质组分利用及处置方法

在考虑垃圾管理战略时，不仅仅意味着选择某种具体的技术方案，而更多地是指建立一个完善的垃圾管理系统，该系统中不仅包括技术，还包括与技术相关的其它各个方面。该系统应将管理与行政实体、法律法规、财务因素、监测和技术作为系统的关键组成部分。除此之外，还应考虑所有利益相关方，包括垃圾产生者、非正规部门及个人等在垃圾管理中的作用。图 7-1 说明了垃圾管理系统中应当考量的因素和利益相关方。

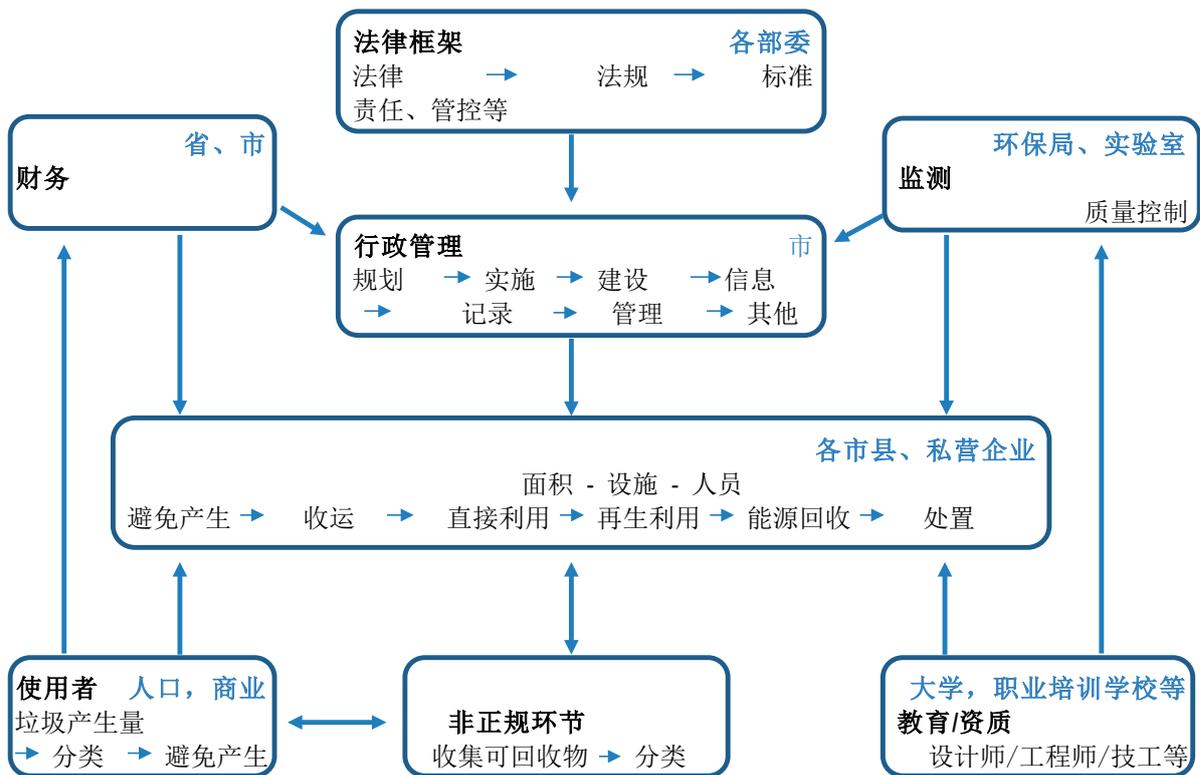


图7-1 垃圾管理系统中应当考量的因素和利益相关方

法律法规是垃圾管理系统中十分重要的一个因素。只有通过不同的法律、法规和标准，才能对责任、时限、环保限制、产品质量等进行定义和规范。法律体制还应规定在不遵守规定的情况下，应采取哪些行动。当规范缺失时，废物管理战略的某些部分将变得不明确，整个管理战略都可能失效。各部委是制定相关法律体制的主要主体。

在德国，各行政市是负责垃圾管理的主体。这并不仅指其进行垃圾收运和处理工作，而更多是指制定辖区垃圾管理规划，相关设施的设计、建设和运行，相关数据的记录和信息公开等职责。这些职责均与当地技术系统密切相关。

技术系统涵盖垃圾从避免产生到最终处置的所有领域。通常由市政府负责垃圾管理活动的行政和管理，但其也可将部分职责分包给第三方（私营企业）。因此，私营企业也可能进行垃圾收运或设施运行。

人员资质培训和教育是垃圾管理系统中较少被考虑的一个因素，实则十分重要。相关知识的缺乏可能引起规划缺失、决策错误、设施运营不当，导致严重的环境破坏和高额的环境修复

费用。因此，若大学及其它教育机构如职业培训学校等能够为垃圾管理系统中需要的工程师、电工及其它工人提供垃圾管理相关的课程内容，将是十分有益的。

在制定和实施一项先进的垃圾管理战略时，有两个利益相关方式至关重要的。第一个是使用者，他们是垃圾产生者，也是垃圾分类和减排的主要实施者。因此，垃圾管理议题的公众信息公开十分重要，可帮助政府获得民众在这些方面的协助。值得注意的是，信息公开并非一次性可解决的问题，而需要十分努力的周期性投入。第二个利益相关方是非正规部门，在许多国家，非正规部门实现了极好的分类水平和回收利用率，为资源和气候保护贡献了力量。然而，其贡献很少被正确认识和记录。在改善垃圾管理系统时，非正规部门也应被纳入考量，以保障非正规部门劳工不会失去其赖以生存的收入来源，而可回收物不会进入剩余垃圾中。

此外，也不应忘记金融和监管方面的因素。垃圾管理系统包括收运，运营，设备，设施建设等多个方面，成本很高。在德国，居民、商业及工业均需为相关服务付费。收费制度的引入是一件困难的事情，因为民众需要为之前“免费”或更廉价的服务付费。因此，在引入新的资金制度时，应注意服务的改善和提升。对垃圾管理进行监管也十分重要，它可保证垃圾管理相关活动遵循现有的规范，有助于资源和气候保护而非进一步破坏环境。

图 7-2 和图 7-3 总结了我国垃圾管理战略应考量的上述所有因素。第 3 章中已经对中国的法律体制进行了描述。从基本法律、法规、政策文件、标准和规范等方面，中国已经制定了大量的垃圾管理法律法规。相关法律法规考虑了城市生活垃圾的产生、收集和运输，以及未分类城市生活垃圾的卫生填埋、焚烧、堆肥及水泥窑协同处理。目前，在垃圾分类收运方面仅对餐厨垃圾进行了规范，但是在十三五期间会不断推进垃圾分类工作。

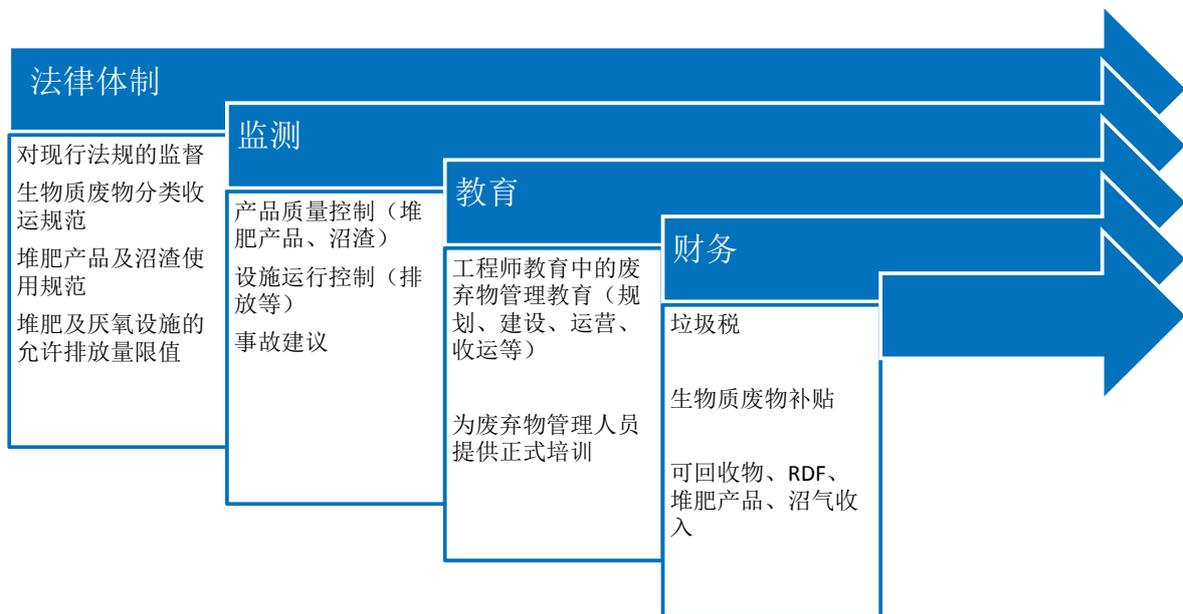


图7-2 中国垃圾管理战略中应考虑的主要因素

在德国和欧洲，分类收运、未处理垃圾的填埋禁令和高能效垃圾焚烧设施是可持续垃圾管理的基础。各国都找到了适合自己的方式，以实现其垃圾的可持续管理。不过，垃圾分类始终是其最重要的一环，因其可降低填埋处置成本。

若中国也采取类似的管理策略，则法律制度可能需要进一步扩大，需同时加强对现有法规实施情况的监管和制定新的规范。对于城市生活垃圾中的生物质组分，不论是分类后的处理，还是处理产品，均没有建立相关准则。生物质废物处理设施的排放限值也尚无明确规定。

根据德国相关企业的经验，城市生活垃圾设施很难找到熟练的技术工人。因此，可能还需要进行或改善垃圾管理相关的职业教育。

目前，中国的垃圾管理经费主要来自于国家投资及支持项目。不过，通常相关投资只考虑基础设施建设，而不考虑运营成本。因此，为确保垃圾管理设施的正常运行，应考虑引入相关税收制度、为生物质废物提供补贴、或从垃圾处理产品获得收入。

在考虑垃圾管理的技术因素时，减排始终扮演十分重要的角色。垃圾减排永远是一个具有挑战性的议题，但也是最为有效的手段，尽管其作用通常难以准确衡量。而在考虑城市生活垃圾中的生物质废物时，要真正实现资源和气候保护，分类收运的引入则是必不可少的。只有单独进行收集和处理，生物质废物才能转化为高质量的产品。

对于不可避免产生的混合垃圾，机械生物处理（mechanical-biological Treatment, MBT）可作为焚烧前的补充处理。MBT 可改善垃圾性质，包括降低垃圾容积和相关排放、改善垃圾热值、增加混合垃圾的资源化效率等。值得提出的是，城市生活垃圾处理技术在不同规模城市（大型城市、中型城市、小型城市、或县城）的可行性需要分别评估。

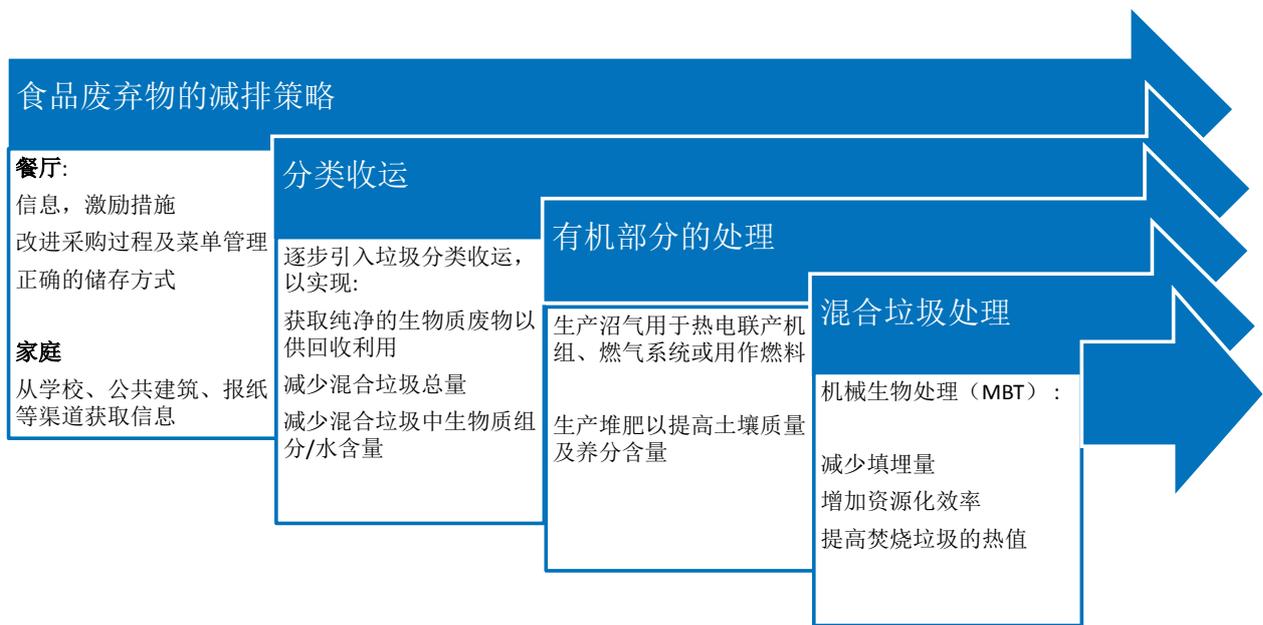


图7-3 中国垃圾管理战略应考虑的技术因素

下面将对分类好的生物质废物和包含生物质废物的混合垃圾处理技术路线分别进行详细讨论，图 7-4 对其进行了总结。

7.1 分类收集的生物质组分

7.1.1 法律、法规、管理及控制

在中国实施生物质废物的分类收集时，应考虑相关工作的逐步推进。在逐步推动分类收集的过程中，可避免许多问题的出现。因为新的规程常常漏洞百出，需要不断的进行修正。在德国，生物质废物的单独收集、处理和回收利用已经进行了 25 年之久，而现在仍需要不时地进行新的调整。

收运过程、处理方法和堆肥及沼渣的回收利用必须由相关法律进行规范。在这方面，中国已经做得十分出色！

分类收集需要收集容器，而大厦业主需为这些容器提供存储空间。因此，需要有与业主和住户相关的规范和讨论。

有机生活垃圾应采用专用车辆运输，以避免被其它垃圾污染。

处理设施的建设和运行也应受到规范。应明确相关许可污染物（如噪声、粉尘、臭味和渗滤液）的排放限值。这有助于减少对环境和当地居民的影响。通过设置居住区防护距离，可减少与当地居民的冲突。对操作表面密封、分选及处理单元封闭及尾气处理单元等也需进行规范。

中国正在制定与堆肥及沼渣相关的规范。相关规范将确定使用这些产品时污染物的种类、浓度及总量限值。除这一“生物质废物条例”外，使用地点及用途等方面的规范也可对其进行补充。需要确定最大土壤浓度的限值。除规定污染物的最大浓度及负荷外，还应考虑营养物质的最大浓度和负荷。

将堆肥及沼渣的潜在用户整合进垃圾管理系统中十分重要。只有当农民或者园艺行业从业人员，也即堆肥和沼渣的使用者，认识到其有效且价格有吸引力，相关产品才可能真正得到推广。还应向农民和相关园艺工作者提供特定作物、土壤和退化条件方面的建议和支持。

垃圾管理和农业部门及园林部门的合作是十分重要的。堆肥及沼渣的生产和使用将对两者都产生影响，因此，必须对各部门的职责范围和部门规章进行规范。这些规范对高效、全面地管控堆肥及沼渣的生产和使用起到重要作用。此外，管控措施内还应包括相关咨询服务及违法情况下的处罚条例。

对生物质废物的分类收运还可通过禁止未经预处理的城市生活垃圾进行填埋处置来实现。生物质废物的分类收运可减少生活垃圾中的有机组分，从而提高预处理工艺的适应性。

7.1.2 生物质废物收集及运输

生物质废物的单独收集是高品质回收利用的前提。如第 5.3 节所述，目前中国并没有大范围的对生物质废物进行有效的单独收集。因此，为改善固废相关的环境问题，同时实现高质量回收利用，应考虑从家庭生活垃圾中单独收集生物质废物。

图 7-4 阐述了实施生物质废物单独收运时的可能方案。对于餐馆、食堂、超市、食品加工工业等机构，由于其生物质废物的产生量大且集中，单独收运较容易实现，特别是因为这些废弃物以前就是单独收集（作为动物饲料）。传统的沿路垃圾桶收集方式（在产生点收集）应配合垃圾沥水措施，以降低垃圾体积。

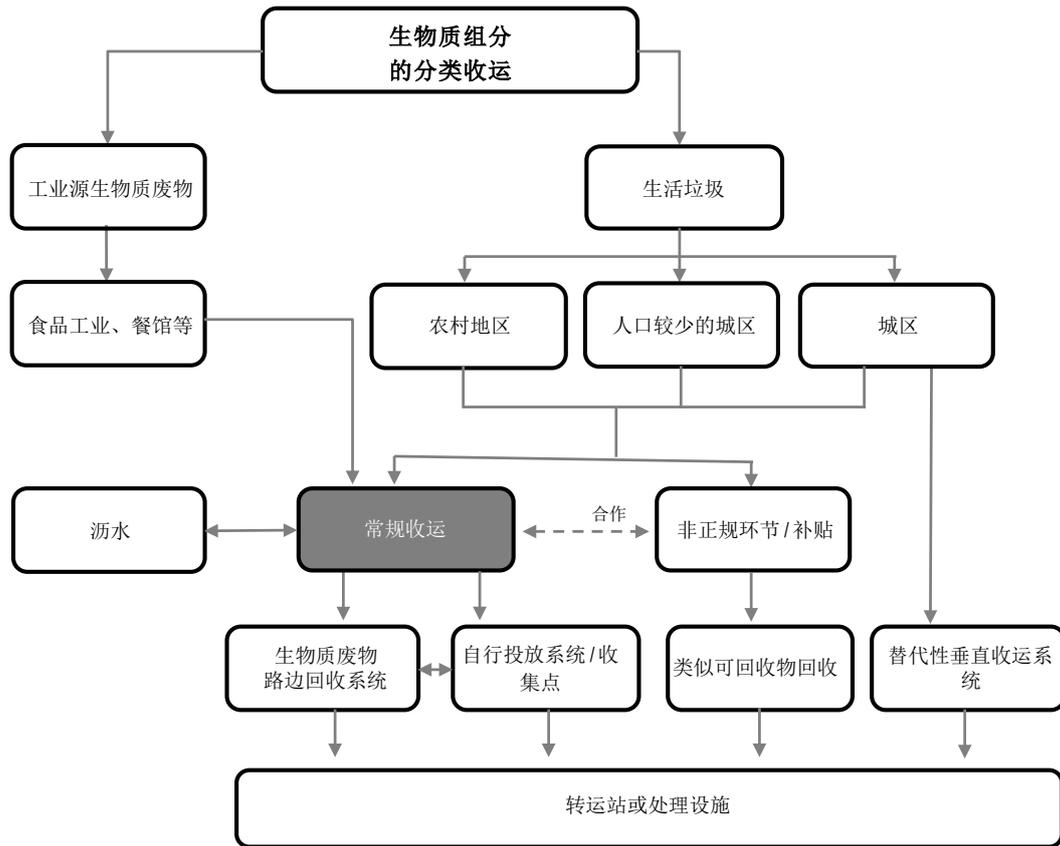


图7-4 中国垃圾分类收运战略

上述战略中，主要的挑战来自家庭源生物质废物的分类收运。这部分废物定期/每天产生，但（每户）产量较小，且不能长期储存。在分类收运这部分废物时，除传统的路边收集系统外，自行投放系统也可发挥作用。

在城市人口密集地区，高层建筑可应用和发展替代性的垂直收集系统。在这些建筑中，采用传统的路边收集方式时，居民需将其垃圾投放至大型容器中，这些容器通常只能放置在地下室。但欧洲的经验表明，通常类似的系统中杂质含量较高。

要成功地分离生物质废物，除需明确收集目标外，更需要对收集要求进行优化设计。考虑收集量时，收集容器的容积至关重要。对德国现有处理地区的一项分析表明，容器尺寸增大时，收集的生物质废物量增加(UBA, 2014)。

这一因素主要在城市人口密集的地区有重要意义。在这些地区中，收集主要发生在高层建筑中，且空间十分稀缺。表 7-1 给出了提供所需容积时对应的计算收集能力和垃圾桶数量。除此之外，还需要考虑收集剩余垃圾所需的容器容积。

表7-1 提供目标收集量时的假设条件、计算收集能力、所需容器

大型建筑有机废弃物的单独收集											
	每天收运					每2天收运一次					
目标人口	1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000	人
产生率	1.0										千克/人/天
总日产量	1000	2000	3000	4000	5000	2000	4000	6000	8000	10000	千克
生物质废物	60%										
生物质废物总量	600	1200	1800	2400	3000	1200	2400	3600	4800	6000	千克
生物质废物收集率	30%										
生物质废物收集量	180	360	540	720	900	360	720	1080	1440	1800	千克
食品废弃物密度	0.5										千克/升
收集能力需求	360	720	1080	1440	1800	720	1440	2160	2880	3600	升
收集容器容量	240										升
容器数量	1.9	3.8	5.6	7.5	9.4	3.8	7.5	11.3	15.0	18.8	个
	2	4	6	8	10	4	8	12	16	19	
收集容器容量	660										升
容器数量	0.7	1.4	2.0	2.7	3.4	1.4	2.7	4.1	5.5	6.8	个
	1	2	3	3	4	2	3	5	6	7	

由于剩余垃圾中可回收物的含量极低，生物质废物的分类收集系统可以“干湿分类收运系统”的方式实施。居民也可能发现，将垃圾分为“干湿”两类比“可降解-剩余”两类还难。

在没有对各城市的结构差异进行识别、检测和计算时，一个城市成功的收运系统不一定很容易被复制到另一个城市。不过，一项对比欧洲各国分类收运的研究(BIPRO, 2015)中的经验可能在一定程度上适用于中国，下面进行了总结：

- 有些国家一级出台了强制分类收集政策，以确保可获得较高的生活垃圾回收利用率；MBT 技术可帮助其达到欧盟填埋指令的要求，但单独使用时，不足以达到 50%的回收利用目标。
- 堆肥/消化率较高的国家大多实施上门生物质废物单独收运。上门收运的费用可能较高，但其收集率也通常较高。
- 实施生物质废物收运时，主要的成功因素在于将收费系统和市政规定的最低收运标准相结合。
- 某些地方文件，如地方法规（填埋及焚烧禁令）对生物质废物的收集率有显著影响。
- 让私营部门参与收运和处理有助于降低成本和管理负担。当私营部门参与服务时，应设定最低收运和处理标准，并建立完善的垃圾收运处理数据报告系统。
- 针对剩余垃圾，欧洲国家已有一套 PAYT（Pay as You Throw, 垃圾按量收费）系统，这一系统也可为生物质废物的单独收运提供资金支持。
- 收费方式（PAYT, 统一收费或市政税）与收集率之间有一定关系：实施 PAYT 系统的城市比其它城市收集率更高。统一收费的城市则表现最差。
- 与居民沟通应十分清晰，使其明确每个垃圾桶中可扔什么、不可扔什么。只有居民充分了解这些信息，才能有效地减少杂质，获得高质量的可回收物质。

在 PAYT 系统中，居民根据其产生的垃圾量付费。某些 PAYT 系统还结合了统一收费或税收（如年度费用等），或根据容器容积（容积方案）、垃圾袋数量（袋装方案）、收运频率（频率方案）、收集量（重量方案）及上述方案结合设计了变化系数。PAYT 通常用于混合剩余垃圾，其作用是通过剩余垃圾收取较高费用，（部分或完全）交叉补贴生物质废物的分类收运。

7.1.3 机械处理

机械处理过程为垃圾处理设施的生物过程提供进料，并可提高后者的运行效率。机械处理工艺还可保证末端产品质量，确保其具有市场竞争力。

即便是分类收运的生物质废物，仍可能含有杂质，这些杂质被称为污染物。若这些污染物释放的物质直接干扰生物处理过程，则应被去除或限制。杂质中所含的金属离子可能比其它物质更易进入生物处理产品中，并导致产品质量下降，削弱其市场竞争力。污染物和杂质还会损伤甚至破坏设备。若其保留在堆肥产品或沼渣中，产品将不能被售出，因为杂质会进一步污染农田。

分类收集的生物质废物中，杂质是指居民误投入可降解垃圾收集容器的其它垃圾。通常可包括玻璃和金属包装、塑料等，最常见的则是居民收集及投放生物质废物所用的塑料袋。

不同的杂质对处理过程和产品质量会产生不同的影响：

- 天然矿物组分（沙子、砾石、石头）——在发酵过程中沉降；对许多处理设备造成磨损；降低产品质量；
- 大件可降解垃圾，如木块——堵塞零部件；
- 可降解但可能受到污染的组分，如处理过或有涂层的木材——污染产品；
- 金属，如金属包装物和刀片等——磨损或堵塞处理部件；金属离子可能污染产品；
- 玻璃，主要为玻璃容器——人工分选时可能导致受伤；发酵过程产生沉降；磨损处理设备；降低产品质量；
- 塑料及塑料膜，主要为包装材料——缠绕堵塞输送带、筛网和泵；污染产品；
- 纸板、纸张——不能/极难发酵；印字或有涂层时可能污染产品。

生物质废物普遍受到杂质污染。必须将污染物分离出来，以确保生物处理产品质量达到要求和/或避免处理过程中产生机械故障。

生物质废物处理设施必须投入大量经费以去除污染物。生物质废物、堆肥或沼渣中的污染物可通过多种技术去除。这部分内容永远也无法完全概述，在技术和经济性上具有一定的复杂性。

在生物处理前，原物料（生物质废物）被粉碎以增加其表面积和生物降解速率。污染物会导致破碎设备的磨损增加。

破碎单元通常还起到机械破袋作用，将生物质废物从塑料袋中释放出来。慢速运行的破碎机可将塑料袋撕裂为较大的碎块，进一步在生物处理前或后予以去除。

在生物处理前，金属应采用磁选分离设备予以分离。金属杂质应在破碎前予以去除，以避免损伤破碎设备。

杂质的分选也可通过人工手段进行。特别是在破碎和生物处理前去除塑料袋和玻璃。当堆肥或沼渣用于园艺时，玻璃的去除十分重要。采用人工分选去除生物质废物中的杂质时，应考虑一定的保护措施。

生物处理后，产品需调质以用于农业和园艺，也就是说，需进行最终处理以去除残留的污染物和杂质，并将堆肥和沼渣的性质进行优化调节。筛分（10~20 mm）是调质中最重要的步

骤。还可根据需求使用硬质材料分离或干化等处理。在调质过程中，有一个不容低估的问题：细碎的塑料袋和玻璃片很难以从堆肥或发酵残渣中除去，将会留在农地中。

机械处理对生物处理过程、设施及机械技术、产品质量都有着重要的意义。

7.1.4 生物技术

如本章简介所述，在处理城市垃圾中的生物质废物时，有两种选择方案：分类收运的清洁生物质组分和含有生物质组分的混合垃圾。图 7-5 总结了这两种类型垃圾的处理技术选项。对于混合垃圾，MBT 可作为焚烧或填埋处理的良好补充。该技术将在第 7.2.2 节中详细讨论。

分类收运的生物质废物应当包括产生于参观和食品工业的食品废弃物、家庭产生的有机生活垃圾（主要为厨余垃圾）及主要由公园和公共绿地产生的园林垃圾。如第 5 章所述，在中国，只有村镇居民产生园林垃圾。对于县市居民，不考虑园林垃圾。不过，对于某一特定的城市、县城或村镇，仍应详细分析当地情况，有可能也包括园林垃圾。

如第 6.1.3 节所述，对于分类回收的生物质废物，最好的处理技术为堆肥和厌氧消化。这三种技术（MBT、堆肥、厌氧消化）中，哪一种最适合某一特定市、县、村镇，则决定于许多因素，其中最为重要的是生物质废物性质。含水率是需要考量的重要因素之一，因为这三种技术适用的含水率范围各有不同。表 7-2 给出了三种技术的适用范围，并将其与第 5.1.2 节中讨论过的城市、县城和村镇垃圾含水率进行了比较。由于生物质废物的含水率与生物质组分含量有关，可假定分类收运的生物质废物具有相似的含水率。可知，城市和县城垃圾平均含水率十分相似。仅考虑含水率时，这两种来源的生物质废物都似乎既适用于干式厌氧消化，也适用于堆肥。若不添加其它湿物质或水分，其含水率不适用于湿式厌氧消化。

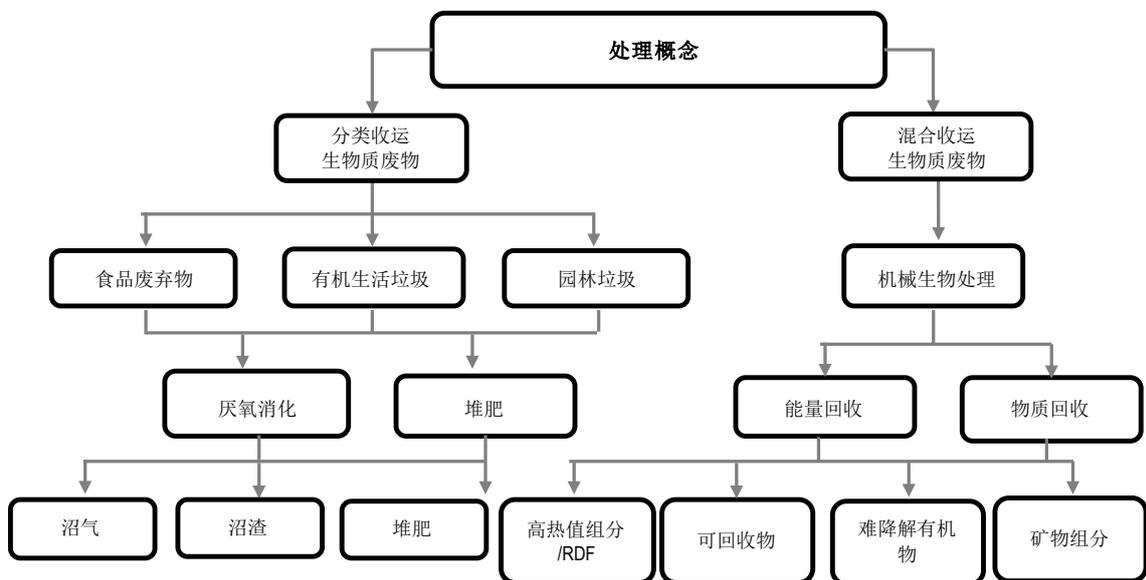


图7-5 中国生物质废物的处理概念

现有的村镇垃圾组分数据中不包括含水率。由于这部分垃圾中不仅有厨余垃圾，还有园林垃圾。因此，可根据园林垃圾的含水率推算，村镇生物质废物性质应适于堆肥及干式厌氧消化处理。

表7-2 城市、县城及村镇垃圾平均含水率（参考第5.2.1节）与不同技术适用范围的比较

含水率	适用范围	城市 $X_{0,75}-X_{0,25}$ ($X_{max}...X_{min}$)	县城 $X_{0,75}-X_{0,25}$ ($X_{max}...X_{min}$)	村镇
湿式厌氧消化	97 - 85 %	60 - 50% (62...46%)	58 - 50% (68...44%)	无数据
干式厌氧消化	85 - 55 %			
堆肥	65 - 50 %			

要最终确定最适技术，还须考虑除含水率外的其它因素。这些因素包括物质孔隙率、碳氮比、pH值等。图7-6总结了堆肥过程的主要影响因素。垃圾孔隙率对曝气过程有重要影响，尤其是采用被动式曝气时。含水率高时，一般假设生物质废物的孔隙率较低。此时，堆肥系统需进行主动曝气。垃圾孔隙率对采用淋滤技术的厌氧消化过程也有重要影响，因为淋滤液必须穿过垃圾堆体。

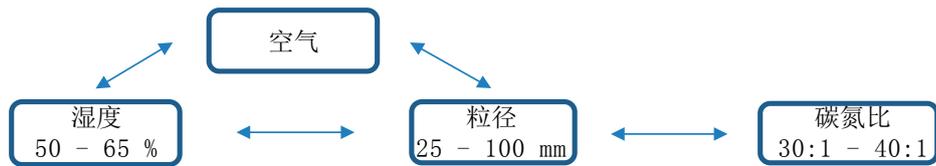


图7-6 堆肥过程的主要影响因素

在中国，考虑某一地区的适用技术时，**垃圾量**也是一个重要的因素。与欧洲相比，中国城市地区的居民人口和垃圾量通常相当之高，没有可比性。在人口密集的地区，应仔细估算垃圾产生量和分类收运量，以便进行设施规模规划。表7-3给出了基于不同的收集率估算的垃圾产生量和分类收运量。估算时，采用了人均垃圾产量1.1千克/人/天及家庭垃圾中生物质垃圾占比60%的基础数据。

表7-3 不同收集率及人口量对应的生物质废物估算量

人口		100,000	250,000	500,000	750,000	1,000,000	2,000,000
废弃物总产生量	t/d	110	275	550	825	1,100	2,200
生物质废物总产生量	t/d	66	165	330	495	660	1,320
生物质废物收集量-10%收集率	t/d	7	17	33	50	66	132
生物质废物收集量-20%收集率	t/d	13	33	66	99	132	264
生物质废物收集量-30%收集率	t/d	20	50	99	149	198	396
生物质废物收集量-40%收集率	t/d	26	66	132	198	264	528
生物质废物收集量-50%收集率	t/d	33	83	165	248	330	660
生物质废物收集量-60%收集率	t/d	40	99	198	297	396	792

收集量位于现有设施处理能力范围内

收集量略高于现有设施的最高处理能力

收集量过高，没有实际运行经验

表7-3中，将估算得出的不同人口下生物质废物分类收运量与两家德国企业运行的两处干式厌氧消化设施处理能力进行了比较：推流式厌氧消化设施处理能力为219t/d，而淋滤式消化

设施处理能力为 356t/d。这两者均不是各技术的典型处理能力，而是各自企业的现有最高处理能力。

可以看出，表中绿色标记的单元格区域处于德国设施的常规处理能力范围内。两块黄色的区域表示该情况下收集量略高于常规处理能力，此时认为干式厌氧消化设施仍可处理这些较高量的生物质废物。剩余的红色部分则是指收集量远高于常规处理能力。

根据其中一个企业所称（口头交流），增加处理能力并不是一个技术难题，因为其干式厌氧消化技术采用模块化设计，可增加更多的消化罐。不过，垃圾及产品的运输，消化罐的进料将面临挑战，因为常规的设备如卡车和轮式装载机可能难以负荷。

考虑堆肥技术及其处理量时，各技术所需的占地量可能有所不同，在垃圾产量高、土地资源紧缺的人口密集区域可能难以实现。在这些地区，通常采用箱式和/或容器堆肥技术，而这些技术并不适用于大规模处理。

食品/餐厨垃圾产量极大，是一个重要的废弃物来源。一项关于香港食品废弃物的研究（EPD, 2009）建议，某些市场、食品加工厂、旅馆和餐厅会产生较为纯净的有机垃圾，可在源头进行分离。此外，由于这些垃圾含水率较高，适用于厌氧消化处理。表 7-4 比较了将其不同性质指标与厌氧消化的适宜范围进行了比较。

表7-4 中国食品废弃物的性质及与厌氧消化适宜范围的比较
(EPD, 2009)

指标	适宜范围	所有样品	
		范围	中值
pH 值	6.0 - 7.4	3.2 - 6.1	4.4
含水率(%)	干式厌氧消化 >70% 湿式厌氧消化 >85%	28.6 - 94.4	74.15
碳氮比	25 - 30	6.2 - 126	12.35
钠含量	<16,700 mg/kg	85.6 - 53,600	6,025

总体来说，被分析的食品废弃物样品都有足够的含水率可进行湿式厌氧消化处理，一定程度上似乎也可进行干式厌氧消化。若采用湿式厌氧消化，良好的预处理混合可优化进料性质。例如，高含水率的食物废弃物（如餐厨垃圾）可用于增加较干的废弃物的含水率。

被分析的食品废弃物大部分偏酸性，pH 值低于典型厌氧消化过程的适宜范围，可能对影响降解过程。因此，可能需要调节 pH 水平。对于酸度较高的进料，可用石灰平衡 pH 水平。

食品废弃物样品的碳氮比基本都低于适宜范围 25~30，不过这一数值随样品来源的不同变化极大。需要注意的是，高碳氮比意味着微生物生长所需的氮源不足，而低碳氮比可能导致氨氮累积，从而抑制微生物活性。考虑到不同来源废弃物的碳氮比变化极大，建议进行良好的预处理物料混合。某些情况下，还可添加碳源来提高碳氮比。

食品废弃物样品中，大部分钠含量低于限值 16,700mg/kg。这一结果表明，盐类毒性对厌氧消化过程的影响风险并不显著，不过，样品中的高值显示，仍需对可能产生高钠负荷的物料来源进行监测。

7.1.5 产出物的利用及处置

如第 6.1.3 节所述，堆肥产品可用于农业和景观用途。堆肥将有机物和养分返回至土壤中，是循环利用生物质的最佳方法之一。通常仅有少量杂质如塑料袋、玻璃和石头在堆肥前后被筛分出来，需要进行处置。

为实现有机物和养分的安全循环，需对产品设置高质量的标准。表 7-5 比较了中德堆肥产品的标准限值。

沼气是厌氧消化的产品之一（参考第 6.1.3 节），在中国肯定能找到应用案例，而沼渣的情况则仍需研究。

对于堆肥和厌氧消化两种情况，两者产品的市场均仍需提升，因此需要考虑一定的过渡期。

表7-5 中德堆肥产品标准限值比较

城镇垃圾农用控制标准 (GB8172-87)			德国标准 (BioAbV 及 DüMV)			
指标	单位	限值	限值		单位	指标
			A	B		
			20	30	Mg DM/ha	3年内最大使用率
			< 2		per litre FM	发芽种子
粒度	mm	≤12	0		%	杂质 >20mm
杂物	mm	≤3	0.1		%	不可降解塑料薄膜 >2mm
			0.4		%	其它杂质 > 2 mm
			5		%	石块 > 5 mm
水分, %	%	25-35	< 45		%	水分
有机质	(C, %)	≤10	15 - 40		%	有机质
总铅	mg/kg	≤100	150	100	mg/kg	总铅
总镉	mg/kg	≤3	1.5	1	mg/kg	总镉
总铬	mg/kg	≤300	100	70	mg/kg	总铬
五价铬	mg/kg		2	2	mg/kg	五价铬
总汞	mg/kg	≤5	1	0.7	mg/kg	总汞
总镍	mg/kg		50	35	mg/kg	总镍
总锌	mg/kg		400	300	mg/kg	总锌
总铜	mg/kg		100	70	mg/kg	总铜
总钛	mg/kg		1	1	mg/kg	总钛
总砷	mg/kg	≤30	40	40	mg/kg	总砷
全氟表面活性剂 (PFTs)	mg/kg		0.1	0.1	mg/kg	全氟表面活性剂(PFTs)
二噁英/呋喃 (PCDD/PCDF)	ng WHO-TEQ/kg		Σ 30	Σ 30	ng WHO-TEQ/kg	二噁英/呋喃 (PCDD/PCDF)
二噁英类多氯联苯	ng WHO-TEQ/kg				ng WHO-TEQ/kg	二噁英类多氯联苯
总氮	(N, %)	≤0.5				
总磷	(P ₂ O ₅ , %)	≤0.3				
总钾	(K ₂ O, %)	≤1.0				
蛔虫卵死亡率		95-100				
大肠菌值		0.01-0.1				
pH		6.5 - 8.5				

注：中国标准目前正在更新中，更新后国标为《生物有机质堆肥污染控制国家标准》(中华人民共和国环境保护部， No. 2015-4)

7.1.6 建议

为提高资源效率和保护气候，从固体废弃物管理的角度，为中国提供如下建议：

- 考虑修法和/或颁布新的法规，以确保垃圾得到妥善处理及确保产品质量（例如禁止未处理垃圾的填埋处置）
- 分类收集生物质废物，以分流进入填埋场的垃圾量，降低其体积及污染排放
- 通过信息宣传，逐步实现垃圾分类
- 处理分类后的生物质废物以回收利用有机物（及产生能量，如生产沼气）
- 组织固体废物管理教育培训
- 生物质废物的融资体系

此处不特别推荐任何技术，因为堆肥和厌氧消化均适用于中国一般的生物质废物。对于各个市/县/乡镇，最终决策前有必要进行详细的垃圾成分和产量分析。由于餐厨垃圾含水率较高，湿式厌氧消化似乎是最佳的选择，但在最终决策时，仍有必要进行详细的成分分析。

如第 6 章（设施运行）及第 7 章所述，要正确的运行设施，熟练和经验丰富的人员是不可或缺的。实践经验必不可少，而生物过程理论知识也十分不足。因此，建议为不同的职业群体（技师、电工等）建立教育培训机制，以吸引专业人才从事垃圾处理设施运行工作。熟练工人应能学习和做到：

- 垃圾的接收、鉴别、分析及申报
- 垃圾处理设施的运行、监测、检查、维护和维修
- 生物过程的控制和监测
- 运行故障/损伤的检测及自动修复
- 工作流程和操作程序的记录和评估
- 建议和通知客户，如垃圾分类和处置方面的问题

由于生物质废物价值不如金属或纸张高，无法像这些可回收物一样以同样的方式组织，但可设置类似的系统，还可采用补贴或 PAYT 模式。在任何情况下，都应综合考虑分类收运的环境效益（填埋减量、污染物减排等）。从长期来看，不进行垃圾分类的环境成本可能更高。

7.2 混合收运的生物质组分

7.2.1 法律、法规、管理及控制

作为市政垃圾排放的剩余垃圾，仍然含有可用的废弃物组分。根据可回收组分的收集程度不同，则其在剩余垃圾中的含量也有所不同。在中国，许多可回收物往往由非正规部门分类收集。这导致市政垃圾中含有大量有机生活垃圾，有机物含量最高可达 75%（参见第 5.2）。

对有机生活垃圾进行分类收运可降低其含量。

市政垃圾中的生物质废物只能在非常有限的程度上予以利用。

剩余垃圾（市政垃圾、混合垃圾）机械生物处理后分离的有机部分处理产生的产品被称为堆肥类产品（compost-like output, CLO）。在许多国家，CLO 用于农地。中国应建立规则，明确混合垃圾处理产生的 CLO 是否可进行土地利用（提出污染物、杂质、土壤限值，土壤退化程度）。

若 CLO 被堆放，还需要对填埋要求进行规范。此时，应对污染物允许排放浓度（产气速率、洗脱液浓度）进行限制。

另外，处理剩余垃圾（市政垃圾、混合垃圾）的设施还需符合相关法规要求。对设施选址的要求应包括居住区及自然保护区的防护距离等内容。

其它规范还应包括设施污染物排放（粉尘、臭味、尾气及废气的浓度及负荷）。

混合市政垃圾利用的一种途径是厌氧 MBA 工艺。产生的沼气可直接被利用或提纯生物甲烷。此时，应对产气质量进行规范，特别是当生物甲烷引入天然气管网时。

政府还可采用财政手段进行刺激，促进垃圾的能源回收。

法律法规生效后，还必须有相应的管理机构。相关机构应配备必要的管理能力，还应具有一定的执法权。

7.2.2 机械生物处理

德国和欧洲的经验表明，即便对生物质废物进行分类回收，也不是所有的居民都能遵循或理解如何分类，在剩余垃圾中仍有大量的生物质废物。为减少混合垃圾的环境影响，目前主要有两种先进技术手段：焚烧和机械生物处理技术（MBT）（参考第 6.2.2 节及图 6-15）。

在中国，由于含水率较高、热值较低，混合垃圾焚烧并不利于资源保护（Dorn, 2015）。因此，本研究不对其进行讨论。不过，在焚烧处理前，采用 MBT 技术处理混合垃圾可显著提高热值，从而有助于能量回收。

如第 6 章所述，剩余垃圾焚烧或填埋前，采用 MBT 处理能分离可进行循环利用或能源回收的资源。该技术的另一个优点是，MBT 处理后，剩余垃圾填埋时的污染物排放将显著降低。

MBT 技术十分灵活，可适用于各地的不同要求和目标。因此，考虑城市或县城的需求，有两种选项可供选择：

- 以物质回收为主要目的的机械生物处理（MBT）
- 以能量回收为主要目的的机械生物稳定化（MBS）

图 6-15 给出了这两种选项的简化工艺流程。其差别首先在于主要目的是物质还是能量回收。其次在于物质分离是发生在生物处理之前还是之后。这一点会影响生物处理的垃圾量以及垃圾的分离特性。

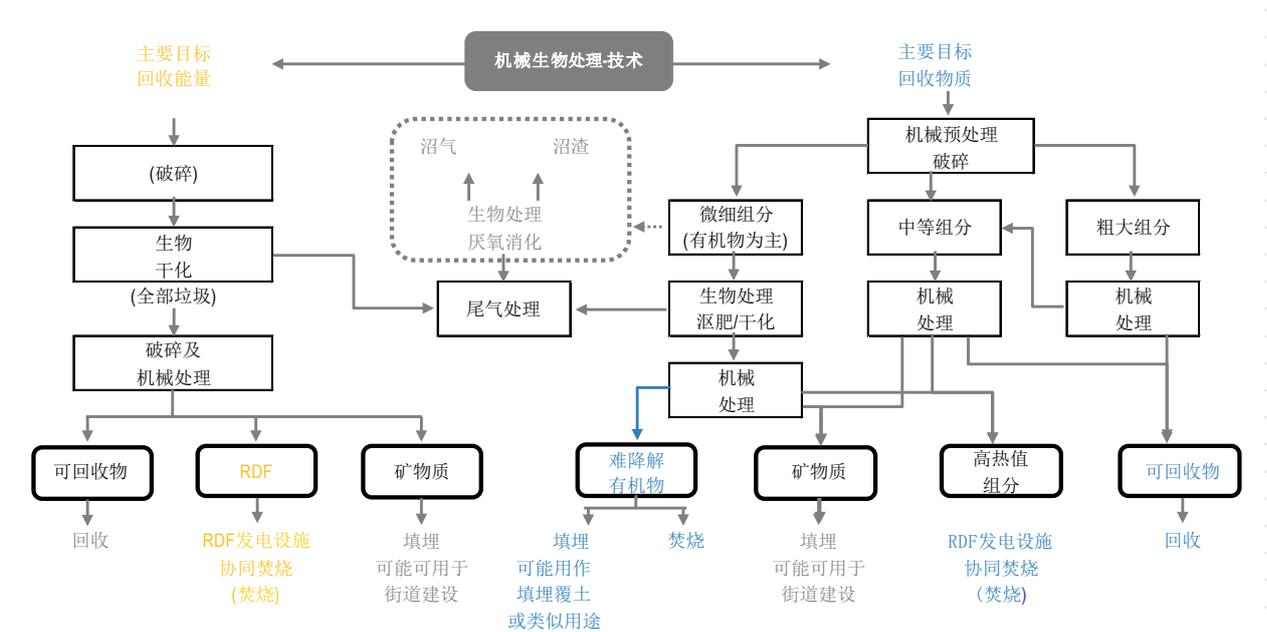


图7-7 MBT及MBS的简要处理流程

MBT 作为一种资源回收方法，将生物处理（厌氧消化和/或沤肥或生物干化）和机械处理步骤结合，以在生物处理前/后将产品从垃圾中分离出来。在这一方法中，垃圾分离在工艺始端进行。大部分有机物质包含在微细组分中，因此只有这部分垃圾进行生物处理。

好氧堆肥的主要目的是将垃圾中的生物质组分降解为惰性组分，使其在填埋时尽量不产生污染物排放。由于生物处理过程会发生质量损失，垃圾体积减少，从而节约了填埋空间。

除堆肥外，生物干化和厌氧消化也用于生物处理环节。厌氧消化的目的是获得沼气，从而从生物质组分中回收能量。生物干化工艺的主要目的是产生热能，从而使垃圾中的水分蒸发，并将部分有机物质转化为能量（作为 RDF/高热值组分的一部分）。

MBS 作为一种能源回收方法，主要是利用好氧过程产生的热量蒸发垃圾中的水分，从而干化垃圾（生物干化）。这一方法中，垃圾分离在对全部垃圾进行生物处理之后发生。

此时，生物干化的主要目的是蒸发垃圾中的水分，从而使机械分离过程更加简单有效。在此情况下，机械分离在生物处理后进行，生物处理前仅进行垃圾破碎处理。垃圾中的大部分有机物质形成高热值组分（RDF），用于能量回收。

上述两种选项中，哪一种更适用于特定区域决定于附近有何其它工业设施可利用相关产品。一项关于中国 MBT 处理的研究中建议不要在 MBT 中采取物理干化，因其成本过高（Nelles, et.al, 2014）。因此，本研究中未对该技术进行深入讨论。

7.2.3 输出流的利用及处置

针对中国的特殊情况，即城市生活垃圾含水率极高、热值极低的现状，MBT 可作为一种有效的解决方案。通过上述两种 MBT 方法（MBT 和 MBS）的最终机械处理步骤处理后，可产生稳定的有机组分和可回收组分，如干物质中可回收黑色和有色金属。另外，不可燃的惰性物质如玻璃、沙土、石头等也被分离（图 7-8）。除可回收物外，还可产生 RDF 材料，其中包含了所有的可燃垃圾组分，如塑料、木竹、纸张、纸板及干化后具有足够热值的有机组分。

稳定化的有机垃圾组分（堆肥类产品）

MBT 和堆肥所用的技术十分类似。两者的主要区别在于输入物质及产出利用方式的不同。堆肥的主要目的是获得高质量的堆肥产品，因此需要输入“纯净”的有机物质，如源头分类收集的有机生活垃圾。而 MBT 的目的是降低垃圾中的有机物含量，其输入为混合市政垃圾，MBT 仅作为最终处置前的预处理。预处理后的垃圾可进行利用，但应受到一定限制。若 MBT 设施中利用混合垃圾生产“堆肥类产品”或“稳定化的 MBT 产品”，则应根据已有规范，达到适当的土地利用标准和要求。

当堆肥产品用作栽培基质时，应采用比其用作填埋场覆土时的更严格的标准。城市生活垃圾收运服务水平的差别也将影响堆肥产品的质量限值标准。

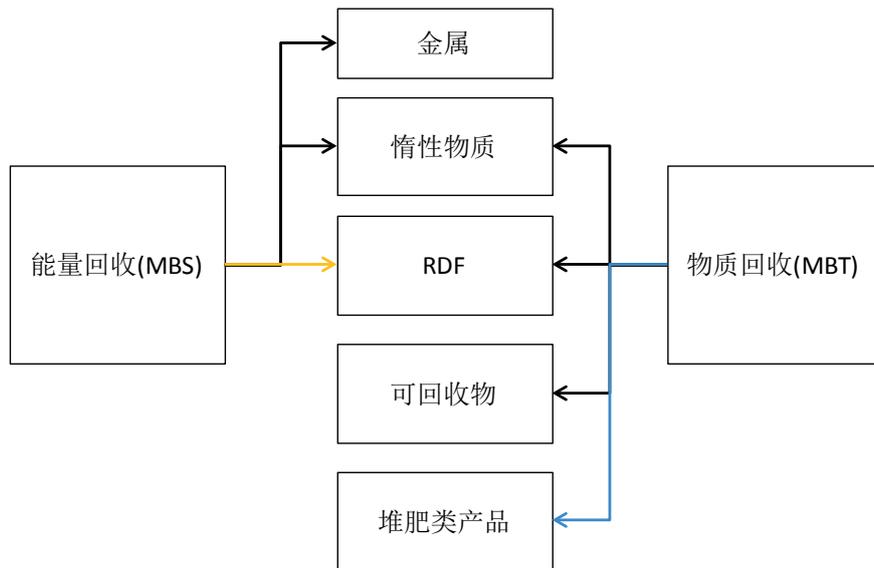


图 7-8 混合城市生活垃圾MBT处理时的产出

堆肥质量与许多性质相关，包括含水率、有机物和碳含量、重金属、盐分含量、惰性污染物、熟化或稳定化程度等（见表 7-5）。

可回收物

各种 MBT 工艺回收的可回收物质量一般稍低于家庭或回收中心单独收运的可回收物。因此，其较难以高价出售。不过，相关设施可提高其整体回收水平，并可回收家庭回收系统中难以有效回收的某些组分。城市生活垃圾中的可回收组分包括纸和纸板、塑料、玻璃、金属和易腐物质。

垃圾衍生燃料 (RDF)

通过在不同处理设施中进行适当的（预）处理和实施严格的质量保障措施后，家庭、商业和工业产生的多种非危险和/或危险废物可作为 RDF 在协同焚烧设施中使用。

RDF 的主要用途是作为工业和能源部门的燃料。它可为协同焚烧设施中的生产过程提供能源。固体回收燃料（Solid recovered fuels, SRF）也是 RDF 的一个子类，它特指利用非危险性的分类或混合固体废物制备的固体废物燃料。

根据 CEN/TC 343，SRF 被定义为垃圾衍生固体燃料中的一个子类。

RDF/SRF 可根据《欧洲废弃物清单》归类为两类废弃物代码：

- 19_12_10: (质量保证的) 可燃垃圾 (SRF)
- 19_12_12: 废弃物机械处理产生的其它废弃物 (RDF).

废弃物并不是一种常规燃料，在焚烧过程中将发生分解和/或生成污染物质，可能对环境造成损害。为降低其对环境的负面影响，应对 WtE 设施（废弃物到能源设施，一般指焚烧设施）建立法律监管系统。

RDF/SRF 生产者、潜在客户和相关管理部门应负责建立垃圾处理生产燃料的性质和质量标准。相关标准应能对燃烧设施及工业最终产品进行保障。

虽然许多欧洲国家和组织已经设定了 RDF 化学性质的规范和质量标准，但针对 RDF 样品化学性质的实际工作开展尚十分有限。

沼气

采用厌氧消化（AD）作为生物处理工艺的 MBT 设施将产生沼气。沼气可通过多种途径予以利用，如作为天然气的替代品（接入天然气供应系统中），或转化为车用或引擎用燃料。更常见的应用方式是作为锅炉燃料提供热能（热水和蒸汽）或用于热电联产设备以产电和产热。

7.2.4 建议

考虑中国混合垃圾中的高生物质成分和高含水率（图 7-9），在填埋或焚烧前采用 MBTs 进行预处理似乎是减少垃圾管理环节环境污染的一个好方法。MBT 可用于回收资源和减少填埋场的污染物排放，也可在焚烧处理前应用以提高垃圾热值，增加能源回收效率。

MBT 技术十分灵活，可根据地方要求和目标进行调整。因此，此处不建议任何具体的技术。每个城市/县城/乡镇应充分了解其自身需求和目标，以建立适应当地的解决方案。

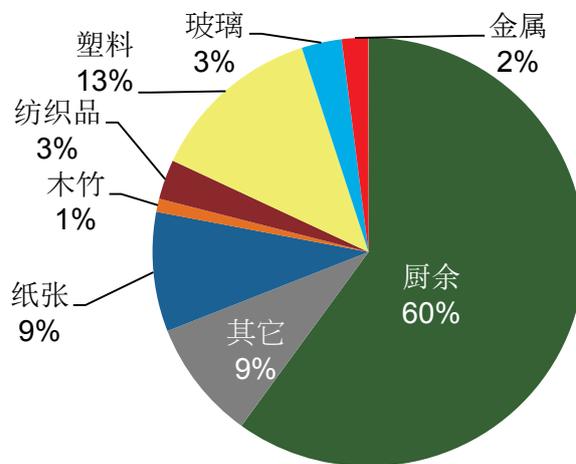


图7-9 中国城市地区混合生活垃圾组分。

图 7-10 给出了德国剩余垃圾的组分及采用两种不同 MBT 技术时可获得的产出。考虑中国废弃物的成分，可对相关工艺的产出进行如下假设：

- 由于中国混合垃圾有机质和水分含量更高，质量损失可能更大
- 能量回收可能下降
- 物质的回收可能相同或更少，取决于可回收物质的类型和质量
- 填埋垃圾量可能更多或相同

中国 MBT 产品的市场尚未完全建立，因此尚需要一定的过渡时间来确保市场的健全。同时，应考虑当地的其它工业设施可能利用相关产品。

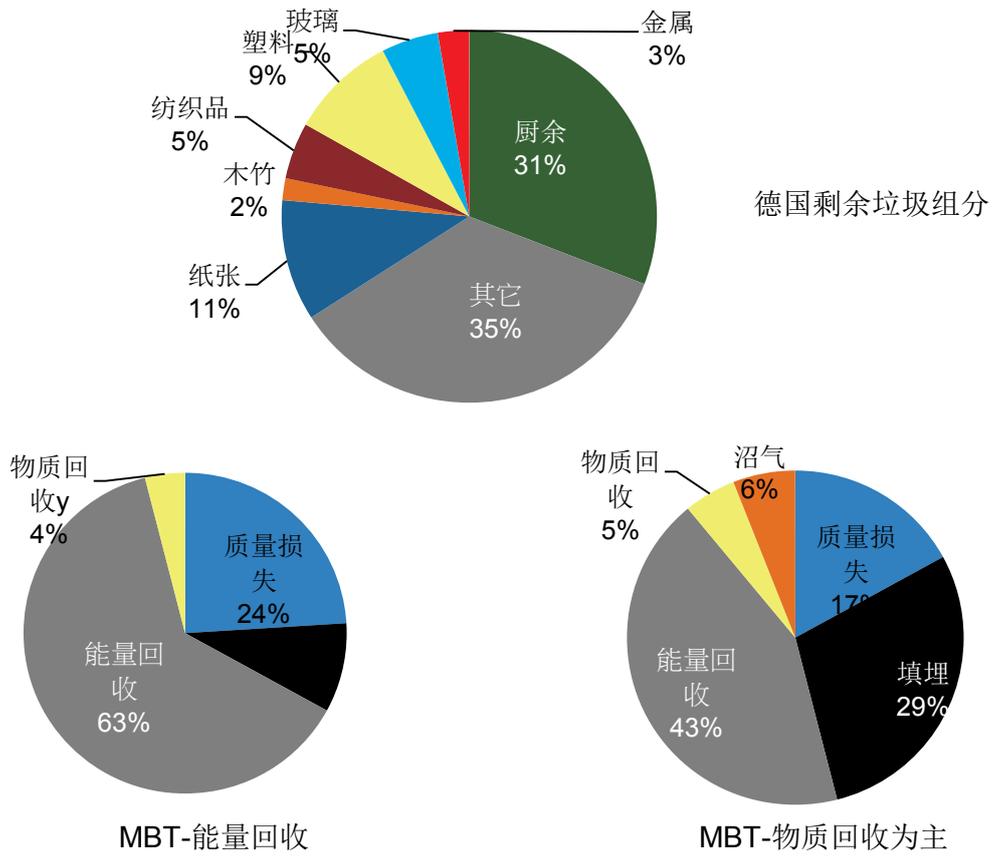


图7-10 德国剩余垃圾组分及采用两种不同的MBT技术时的产出

8. 总结

生物质废物是城市生活垃圾可持续管理中十分重要的组成部分，因为其若得不到恰当处理，则将引起许多环境问题，其中主要包括：排放温室气体、产生渗滤液、降低垃圾热值等。城市生活垃圾中，主要有两种类型的生物质废物：进行分类收运时收集的较洁净组分，以及剩余垃圾中的混合组分。若对这两种组分均采用先进技术方案进行管理，则可获得显著的资源 and 气候保护成效。

生物质废物的源头分类收运是循环利用生物质废物和生产高质量堆肥产品、回收有机质及营养物的前提。同时，分类收运还可降低待焚烧或填埋的剩余垃圾总量，同时可降低剩余垃圾的水分含量，使其焚烧效率提高。

堆肥和厌氧消化是对分类收运生物质废物进行资源化利用的主流技术。这两种技术均利用了天然的降解过程，其中堆肥为好氧过程，而厌氧消化为厌氧过程。堆肥过程将垃圾中的有机物转化为堆肥产品。厌氧消化过程中，有机物则转化为沼气和沼渣，进一步可进行能源利用和沼渣的物质利用（多种利用方式）。

堆肥产品和沼渣均可替代人工肥料进行土地利用，与能量利用一样，可对气候和资源保护做出贡献。具体哪一种技术最为适用则取决于生物质废物的组成成分。对于含水率较大的生物质废物及食品废弃物，厌氧消化是一种较好的选择。对于园林垃圾和生物质废物中的木质素和纤维素植物成分，则堆肥将是最佳选择。

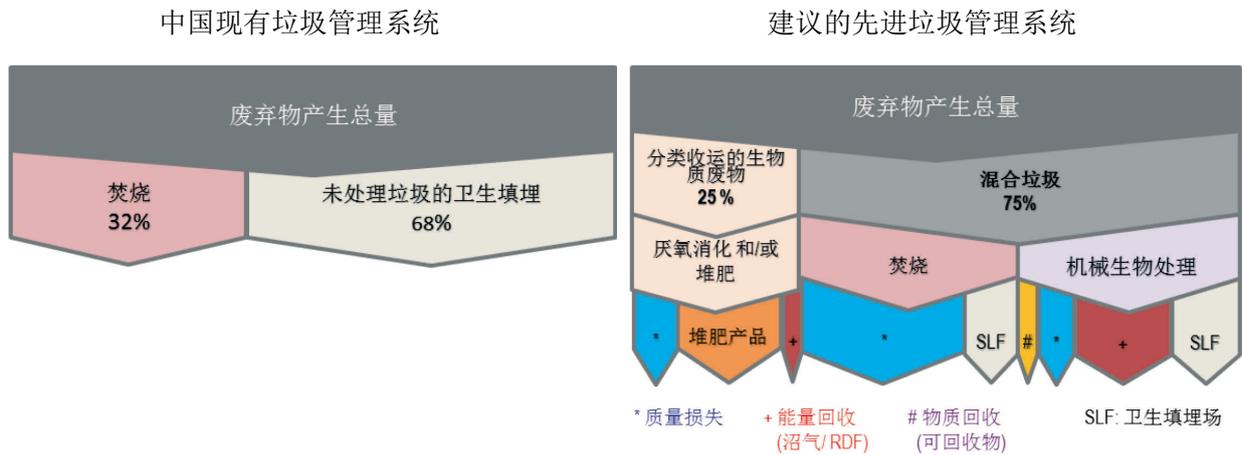
在德国，未处理垃圾的填埋禁令是生物质废物分类收运及处理获得成功的主要原因。这一政策加上高效率焚烧厂以及近期实施的全国性强制分类收运政策，构成了德国垃圾可持续管理的基础。

目前，混合城市生活垃圾填埋前的预处理技术中，仅有焚烧和 MBT 技术是可行的主流技术。焚烧在中国已经有所应用，在此不会深入讨论。MBT 系统是指将垃圾分拣设施与生物处理技术（厌氧消化和/或堆肥）结合的一种垃圾处理设施。其目的是处理混合生活垃圾，并将其转化和分离为适当的产出和有市场竞争力的产品。

MBT 系统的典型产出包括：可进行最终处置的稳定组分、可回收的物质、可作为替代燃料的垃圾衍生燃料（RDF）/固体回收燃料（SRF）、以及少量受污染的固体物质及可控的水和气体排放。因此，MBT 设施可回收物质和能量，从而对资源的可持续管理和温室气体减排做出贡献。

在中国，近年来垃圾管理已经取得了巨大的成功。城市生活垃圾的收运处理已经广泛地覆盖了各个市县，并逐渐扩大到村镇层面。不过，中国垃圾的处理主要为焚烧或填埋（中国填埋被认为是一种垃圾处理手段），这导致了能源和物质资源的浪费，并引发了一定的环境问题。此外，中国也有大量与垃圾管理相关的法律法规，包括法律、条例、政策文件、标准规范等。不过，目前垃圾的分类收运中，仅餐厨垃圾得到了规范。总体来说，中国垃圾管理的技术及法律条件均十分良好，有利于垃圾可持续管理的引入。

从生物质废物管理的角度提升中国垃圾管理环节的资源 and 气候保护水平，可从多个方面的角度和措施出发。下图对比了中国现有垃圾管理系统及建议的先进管理系统（假设情景）下垃圾的流向。可以清楚地看出，先进的系统将显著降低垃圾填埋量。图中还总结了该系统的其它优点。



高生物质和水分含量导致焚烧效率低
大量垃圾需要填埋处置
未处理垃圾填埋时排放大量污染物

分类收运降低了混合垃圾中的生物质成分，提高了焚烧效率
MBT 及分类收运降低了填埋垃圾量，并回收了物质和能量
垃圾填埋前已得到稳定化，基本不产生污染物排放

图 8-1 中国现有及建议垃圾管理系统下的垃圾流向比较

法律体系：中国应考虑修改现有法律体系和/或增加新的规范，以确保垃圾的适当处理和产品的质量（如可禁止未处理垃圾的填埋）。另外，现有及新建法规的实施和监控也应得到强化。

分类收运：分类收运是真正实现资源和气候保护不可或缺的一环。只有单独地进行收运和处理，生物质废物才可能转化为高质量的产品。另外，分类收运还可降低待填埋或焚烧的垃圾量。应逐步进行垃圾分类收运试点，试点项目应有强有力的公众宣传活动，并至少运行 5 年以获得明显成效。对于高层建筑的垃圾收运，需要对垂直收运系统进行改革创新。

堆肥/厌氧消化：考虑中国生活垃圾组分，堆肥及厌氧消化均可用于分类收运生物质废物的资源化处理。对于每个地区，都应对垃圾成分等进行详细分析，以确定最终技术方案。对于高质量的堆肥产品，应进行一定的市场推广。同时还应建议和支持沼渣的肥料化利用。

机械生物处理：对于混合垃圾，MBT 可作为一种分散式的解决方案，及作为焚烧和/或填埋处理前的补充处理。MBT 可用于回收资源和减少填埋场中的污染物排放，也可用在焚烧处理前以提高垃圾热值和能量回收效率（同时可减少所需焚烧设施的数量）。

中国尚未建立 MBT 产品市场，应考虑一定的市场发展过渡期。同时，还应考虑区域内是否有工业设施，如水泥厂，可利用相关产品。

餐厨垃圾：中国城市目前正致力于解决餐厨垃圾问题。由于餐厨垃圾的含水率较高，湿式厌氧消化是适当的处理方式。对沼渣进行回收/处置也应引起关注。

运行及原因：有专业技能且经验丰富的人员是设施正常运行的关键因素。对废物管理中不同的专业人员进行职业培训有助于运行人员的培育。

资金来源：中国废物管理资金主要来源于国家层面的投资和支持项目，且主要集中于设施建设。为实现废物管理的适当运行，应考虑引入税收系统、生物质废物补贴及相关垃圾处理产品收入。另外，还应充分考虑 MBT 处理及分类收运的环境效益，因为其运行费用通常低于气候变化和环境污染后的修复费用。

合作：中国和德国相关环节应进行密切合作，分享相关知识和经验，以实现垃圾的可持续管理。

9. 参考文献

- BGK, 2010, Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.
- BGK, 2016. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.
<http://www.kompost.de/themen/bioabfallwirtschaft-in-deutschland/> Retrived Aug. 2016.
- Bilitewski, Bernd; Härdtle, Georg; 2013. Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre 4., aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990, 1993, 2000, 2013. ISBN 978-3-540-79530-8.
- BMUB, 2015. Bundesministerium für Umwelt
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/abfallwirtschaft_2016.pdf. Retrived Aug. 2016.
- BMUB, 2016. Bundesministerium für Umwelt,
<http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/abfallwirtschaft-abfallpolitik-in-d-eu-und-international-kurzinfo/#>. Retrived Aug. 2016
- BMUM, 2009, Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen, Bundesministerium für Umwelt
- Chen, X., Y. Geng, and T. Fujita. 2010. An Overview of Municipal Solid Waste Management in China. *Waste Management*. 30: 716–724.
- CMC, 2004. 中华人民共和国固体废物污染防治法. 建设部.
<http://www.cin.gov.cn/law/other/2005040807.htm>.
- CMC, 2005. 城市建筑垃圾管理规定, 建设部.
www.cin.gov.cn/law/depart/2005041102.htm.
- COUNCIL DIRECTIVE 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste
- Deffree, S., 2007, “Supply Chain Outlook: Bracing for China RoHS.” *Electronic News*.
<http://www.edn.com/article/CA6401435.html?partner=enews>.
- DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives
- Dorn, T., 2015. Principles, Opportunities and Risks associated with the transfer of environmental technology between Germany and China using the example of thermal waste disposal. Doctoral thesis at University of Rostock, 2015.
- EC, 2001. Document Biological treatment of Biowaste “, European commission, directorate-general environment DG ENV. biowaste, 2nd draft” of 12 February 2001
- EPD - Environmental Protection Department, 2009. Provision of Services for Source-separated Organic Waste Surveys and collection Arrangement Study. Food Sampling and Composition Suvey – Summary Report. March 2009

- Gendebien, A., Leavens, A., Blackmore, K., Godley, A., Lewin, K., Whiting, K. J., et al. (2003). Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives Final Report. European Commission.
- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG); Ausfertigungsdatum: 24.02.2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Art. 4 G v. 4.4.2016 I 569
- Kern, M., Funda, K., and Mayer, M. (1998) Stand der biologischen Abfallbehandlung in Deutschland. Teil I: Kompostierung. Müll und Abfall J., 11, 694–699.
- Ketelsen, K. and Nelles, M., 2015. Status and new trends / perspectives of MBT in Germany. In proceeding of Waste-to-Resources 2015. 6th International Symposium MBT, MRF & Recycling.
- Mewes F., 2011. Comparison of the thermal waste disposal between Germany and China, Master thesis published with University of Rostock dated 20. July 2011.
- Müller, W., H. Bulson, 2007. Stabilisation and Acceptance Criteria of Residual Wastes - Technologies and their Achievements in Europe. 2. Internationale Tagung MBA 2007 - Mechanisch-biologische Abfallbehandlung und automatische Abfallsortierung, Hannover, 22.-24.05.2007.
- Nelles, M., 2013, : Mechanisch-biologische Abfallbehandlung in Deutschland – Entwicklung, Status und Ausblick, Beitrag in: Thomé-Kozmiensky, K.; Pomberger, R. (Hrsg.): O. Universitätsprofessor Dr. Karl E. Lorber – Festschrift zur Emeritierung, S. 191-199, ISBN 978-3-944310-03-9 (10/2013).
- Nelles, M.; Morscheck, G.; Zhou, H.-J.; Nassour, A. (2014). Technical Report: ALBA's Green Fuel Technology. University of Rostock, Envero and China university of Petroleum. Unpublished.
- Nelles, M., Morscheck, G., Lemke, A., and El Naas, A., (to be published), Chapter 18: Treatment of the municipal and industrial waste water. In: Applied Bioengineering: Innovations and Future Directions, (to be published), First Edition. Edited by Toshiomi Yoshida. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Rettenberger, G. et al. (2012) Handbuch Bioabfallbehandlung. Erfassung des Anlagenbestands Bioabfallbehandlung, Umweltbundeamt (UBA) Texte, p. 54.
- RICHTLINIE 1999/31/EG DES RATES vom 26. April 1999 über Abfalldeponien
- Rynk, R. et al., 1992, On-Farm Composting Handbook, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, NRAES-54.
- Schriefe T, 1998. Kommunale Kompostierung und Qualitätssicherung – ein Handbuch. Bremen. Bodenökologische Arbeitsgemeinschaft e.V.

- Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz - TASI) vom 14. Mai 1993 (BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993)
- UBA, 2010. Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft; Umweltbundesamt, UBA Text 06/2010
- UBA, 2010. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft>, retrieved Aug. 2016.
- UBA, 2015, Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, TEXTE 39/2015. Umweltbundesamtes, UBA-FB 002084 <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-der-emissionssituation-bei-der-issn-1862-4804>.
- UCIS, 2009. Sampling and analysis methods for domestic waste. Urban construction industry standard of the People's Republic of China. CJ/T313-2009.
- VHE, 2016. Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e.V., <http://www.vhe.de/kompost/kompostprodukte/>, retrived November 2016
- World Bank, 2005. Waste Management in China: Issues and Recommendations Solid Waste. Washington, DC: World Bank. <http://siteresources.worldbank.org/INTEAPREGTOPURBDEV/Resources/China-Waste-Management1.pdf>.
- Yang N, Damgaard A, Kjeldsen P, Shao L-M, He P-J. 2015. Quantification of regional leachate variance from municipal solid waste landfills in China. Waste Management 46:362-372.
- Yang Na. 2014. The MSW landfill pollution analysis in China -- basing on full life cycle analysis. Doctor degree thesis. Tongji University.
- Zachäus, D. (1995) Kompostierung, in Biologische Abfallbehandlung (ed. K.J. Thome-Kozmiensky).
- 何品晶, 章骅, 吕凡, 邵立明. 2014. 村镇生活垃圾处理模式及技术路线探讨. 农业环境科学学报 33:409-414.
- 何品晶, 张春燕, 杨娜, 章骅, 吕凡, 邵立明. 2010. 我国村镇生活垃圾处理现状与技术路线探讨. 农业环境科学学报 29:2049-2054.
- 杨娜. 2014. 基于全生命周期分析的中国城市生活垃圾填埋过程环境影响. 博士学位论文. 同济大学.
- 中华人民共和国城镇建设行业标准. 2009. 生活垃圾采样和分析方法. CJ/T313-2009, vol. CJ/T313-2009.
- 中华人民共和国国家统计局. 1980-2015. 中国统计年鉴. 中国统计出版社, 北京

- 中华人民共和国环境保护部. 2014. 2013 年环境统计年报
<http://zls.mep.gov.cn/hjtj/nb/2013tjnb/>
- 中华人民共和国环境保护部. 2015. 中国环境年鉴. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/nds/>
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2000-2015. 中国城乡建设统计年鉴. 中国统计出版社, 北京.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2016a. 2015 年城乡建设统计公报.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2016b. “十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划

附件：中国城市生活垃圾的相关法律、法规及标准清单

(1) 生活垃圾的产生、收集与运输

基本法规	《中华人民共和国固体废物污染防治法》(1995年颁布, 主席令第58号; 2004、2013、2015、2016年四次修订)
政策性文件	《城市市容和环境卫生管理条例》(1992年颁布, 国务院令 第101号; 2011年修订)
	《关于实行城市生活垃圾处理收费制度促进垃圾处理产业化的通知》(2002年, 国家计委、财政部、建设部、国家环保总局, 计价格(2002)872号)
	《关于进一步加强城市生活垃圾处理工作意见的通知》(2011年, 国务院, 国发[2011]9号)
	《关于征求对<垃圾强制分类制度方案(征求意见稿)>意见的函》(2016年, 国家发展改革委办公厅、住房城乡建设部, 发改办环资[2016]1467号)
标准规范	《城市生活垃圾产生量计算及预测方法》CJ/T106-2016 替代 CJ/T 106-1999
	《市容环境卫生术语标准》CJJ/T 65-2004
	《环境卫生图形符号标准》CJJ/T 125-2008
	《环境卫生设施设置标准》CJJ 27-2012
	《农村生活污染控制技术规范》HJ574-2010
	《城市生活垃圾分类及其评价标准》CJJ/T 102-2004
垃圾分类	《生活垃圾分类标志》GB/T 19095-2008
	《生活垃圾产生源分类及其排放》CJ/T 368-2011
	《生活垃圾采样和分析方法》CJ/T313-2009 代替 CJ/T3039-1995
垃圾性质分析测定	《生活垃圾化学特性通用检测方法》CJ/T96-2013 代替 CJ/T96-1999、CJ/T97-1999、CJ/T98-1999、CJ/T99-1999、CJ/T100-1999、CJ/T101-1999、CJ/T102-1999、CJ/T103-1999、CJ/T104-1999 和 CJ/T105-1999
	《城市环境卫生专用设备·清扫、收集、运输》CJ/T 16-1999
垃圾收运容器、设备产品标准	《塑料垃圾袋》GB/T 24454-2009
	《生物分解塑料垃圾袋》GB/T 28018-2011
	《塑料垃圾桶通用技术条件》CJ/T 280-2008

	<p>《室内塑料垃圾桶》 GB/T 28797-2012</p> <p>《埋地式垃圾收集装置》 CJ/T 483-2015</p> <p>《金属垃圾箱》 QB/T 4902-2016</p> <p>《垃圾容器五吨车用集装箱》 CJ/T 5025-1997</p> <p>《压缩式垃圾车》 CJ/T 127-2000</p> <p>《板式垃圾输送机》 CJ/T 390-2012</p> <p>《小型电动垃圾车》 CJ/T 419-2012</p> <p>《餐厨垃圾车》 QC/T 935-2013</p> <p>《车厢可卸式垃圾车》 QC/T 936-2013</p> <p>《垃圾车》 QC/T 52-2015</p> <p>《垃圾转运站设备》 JB/T 10855-2008</p> <p>《生活垃圾转运站压缩机》 CJ/T 338-2010</p> <p>《生活垃圾收集站压缩机》 CJ/T391-2012</p> <p>《生活垃圾收集运输技术规程》 CJJ205-2013</p> <p>《生活垃圾转运站运行维护技术规程》 CJJ 109-2006</p> <p>《生活垃圾收集站技术规程》 CJJ 179-2012</p> <p>《生活垃圾转运站工程项目建设标准》 建标 117-2009</p>
垃圾收运技术规程	<p>《生活垃圾收集站建设标准》 建标 154-2011</p> <p>《生活垃圾转运站评价标准》 CJJ/T 156-2010</p>
垃圾收运建设标准	
垃圾收运评价标准	

(2) 混合收集垃圾的处理

政策性文件	《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》(2000年, 建设部、国家环境保护总局、科学技术部联合发布, 建成[2000]120号)
	《生活垃圾处理技术指南》(2010年, 住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会、环境保护部, 建城[2010]61号)
	《关于促进生产过程协同资源化处理城市及产业废弃物工作的意见》(2014年, 国家发展改革委、科技部、工业和信息化部等, 发改环资[2014]884号)
	《关于开展水泥窑协同处置生活垃圾试点工作的通知》(2015年, 工业和信息化部办公厅、住房和城乡建设部办公厅、国家发展和改革委员会, 工信厅联节[2015]28号)
卫生填埋	
工程建设标准	《生活垃圾卫生填埋处理工程项目建设标准》建标 124-2009
	《生活垃圾填埋场封场工程项目建设标准》建标 140-2010
污染控制标准 工程设计技术 规范	《生活垃圾填埋场污染控制标准》GB 16889-2008
	《生活垃圾卫生填埋技术导则》RISN-TG014-2012
	《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》GB 50869-2013 替代 CJJ17-2004
	《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术规范》CJJ 113-2007
	《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176-2012
	《生活垃圾填埋场渗滤液处理技术规范(试行)》HJ564-2010
运行维护技术 规程	《生活垃圾填埋场生态修复技术规范》制定中
	《生活垃圾卫生填埋场运行维护技术规程》CJJ 93-2011
	《生活垃圾卫生填埋场封场技术规程》CJJ 112-2007
	《生活垃圾卫生填埋场气体收集处理及利用工程运行维护技术规程》CJJ 175-2012
评价标准	《生活垃圾填埋场稳定化场地利用技术要求》GB/T 25179-2010
	《生活垃圾填埋场无害化评价标准》CJJ/T 107-2005
	《生活垃圾填埋场降解治理的监测与检测》GB/T 23857-2009
	《生活垃圾土工试验技术规程》CJJ/T 204-2013
	《生活垃圾填埋场防渗土工膜渗漏破损探测技术规程》CJJ/T 214-2016
《生活垃圾卫生填埋场环境监测技术要求》GB/T 18772-2008	

产品标准	《城市环境卫生专用设备·垃圾卫生填埋》 CJ/T 18-1999
	《垃圾压实机》 JB/T 10668-2006
	《垃圾填埋场压实机技术要求》 CJ/T 301-2008
	《垃圾填埋压实机》 GB/T 27871-2011
	《垃圾填埋场用高密度聚乙烯土工膜》 CJ/T 234-2006
	《垃圾填埋场用线性低密度聚乙烯土工膜》 CJ/T 276-2008
	《垃圾填埋场用高密度聚乙烯管材》 CJ/T 371-2011
	《垃圾填埋场用非织造土工布》 CJ/T 430-2013
	《垃圾填埋场用土工网垫》 CJ/T 436-2013
	《垃圾填埋场用土工滤网》 CJ/T 437-2013
	《垃圾填埋场用土工排水网》 CJ/T 452-2014
	《生活垃圾渗滤液碟管式反渗透处理设备》 CJ/T 279-2008
	《生活垃圾渗滤液卷式反渗透设备》 CJ/T 485-2015
	《垃圾卫生填埋场封场恢复植被生产线》 GB/T 29150-2012
焚烧	
工程建设标准	《生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》 建标 142-2010
污染控制	《生活垃圾焚烧污染控制标准》 GB 18485-2014 代替 GB 18485-2001
工程设计技术规范	《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》 CJJ 90-2009
运行维护技术规程	《垃圾焚烧袋式除尘工程技术规范》 HJ 2012-2012
	《生活垃圾焚烧厂运行维护与安全技术规程》 CJJ 128-2009
	《生活垃圾焚烧厂检修规程》 CJJ 231-2015
	《生活垃圾焚烧厂运行监管标准》 CJJ/T 212-2015
评价标准	《生活垃圾焚烧厂评价标准》 CJJ/T137-2010
产品标准	《城市环境卫生专用设备·垃圾焚烧、气化、热解》 CJ/T 20-1999
	《生活垃圾焚烧厂垃圾抓斗起重机技术要求》 CJ/T 432-2013

	《垃圾焚烧锅炉技术条件》 JB/T 10249-2001
	《生活垃圾焚烧炉及余热锅炉》 GB/T 18750-2008
	《大型垃圾焚烧炉排技术条件》 JB/T 12121-2015
	《垃圾焚烧尾气处理设备》 GB/T 29152-2012
	《垃圾焚烧尾气治理袋式除尘器用滤料》 JB/T 11310-2012
产品（残渣） 的利用	《生活垃圾焚烧炉渣集料》 GB/T 25032-2010
堆肥	
工程建设标准	《生活垃圾堆肥处理项目建设标准（好氧发酵）》 建标 141-2010
污染控制标准	《生物有机质堆肥污染控制标准》 国家标准 2015-04（编制中，预计 2018 年颁布）
工程设计技术规范	《生活垃圾堆肥技术规范》 CJJ 52-2014 代替 CJJ/T52-93
运行维护技术规范	《生活垃圾堆肥厂运行维护技术规范》 CJJ 86-2014 替代 CJJ/T86-2000
评价标准	《城市生活垃圾堆肥处理厂技术评价指标》 CJ/T 3059-1996
	《生活垃圾堆肥厂评价标准》 CJJ/T 172-2011
产品标准	《城市环境卫生专用设备·垃圾堆肥》 CJ/T 19-1999
	《垃圾生化处理机》 CJ/T 227-2006
	《堆肥自动化检测与控制设备》 CJ/T 369-2011
	《好氧堆肥氧气自动监测设备》 CJ/T408-2012
	《垃圾源臭气实时在线检测设备》 CJ/T465-2015
	《堆肥匀翻机》 制定中
	《一体化好氧发酵设备》 制定中
产品（残渣） 的利用	《城镇垃圾农用控制标准》 GB 8172-1987
	《有机肥料》 NY 525-2002
	《有机无机复混肥标准》 NY481-2002
	《有机无机复混肥标准》 GB18877-2002

	《生物有机肥标准》 NY 884-2004
	《复合微生物肥料标准》 NY/T 798-2015
	《绿化用有机基质》 LY/T 1970-2011
	《城镇污水处理厂污泥泥质》 GB 24188-2009
	《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化泥质》 GB/T 23486-2009
	《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》 GB/T 24600-2009
水泥窑协同处置	
	《水泥窑协同处置固体废物污染防治技术政策》(2016年, 环境保护部公告[2016]72号)
	《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》 GB 30485-2013
	《水泥窑协同处置固体废物技术规范》 GB 30760-2014
	《水泥窑协同处置垃圾工程设计规范》 GB 50954-2014
	《水泥窑协同处置工业废物设计规范》 GB 50634—2010
	《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》 HJ 662-2013

(3) 分类收集的城市垃圾

餐饮垃圾	
政策性文件	《国务院办公厅关于加强地沟油整治和餐厨废弃物管理的意见》(2010年, 国务院, 国办发[2010]36号) 地方性《餐厨垃圾管理条例》
技术规范	《餐厨垃圾处理技术规范》 CJJ 184-2012
技术规范 and 规程	《餐厨废油资源回收和深加工技术标准》制定中
产品标准	《餐饮业餐厨废弃物处理与利用设备》 GB/T 28739-2012
	《餐厨废弃物油水自动分离设备》 CJ/T 478-2015
	《餐厨废弃物处理机》 JB/T 12342-2015
	《餐厨垃圾生化处理能源消耗限额》北京市地方标准 DB 11/T 1119-2014

大件垃圾

《大件垃圾收集与利用技术要求》GB/T 25175-2010

(4) 国家投资和支持项目

《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施发展规划》(2016年,国家发展改革委办公厅,发改环资[2016]2851号)

《“十二五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施发展规划》(2012年,国务院办公厅,国办发[2012]23号)

《关于开展生活垃圾分类示范城市(区)工作的通知》(2014年,住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会、财政部等部门,建城[2014]39号)

《再生资源综合利用先进适用技术目录(第二批)》(工业和信息化部公告2014年第5号)

《国家发展改革委关于拟列为2013年循环经济重点工程示范试点单位的公示》(2013年)

《关于修改<产业结构调整指导目录(2011年本)>有关条款的决定》(2011年,国家发展改革委,国家发展改革委第21号令)

《关于同意北京市朝阳区等33个城市(区)餐厨废弃物资源化利用和无害化处理试点实施方案并确定为试点城市(区)的通知》(发改办环资(2011)1669号),从2011年至2015年共确立了100个试点城市。

《关于印发循环经济发展专项资金支持餐厨废弃物资源化利用和无害化处理试点城市建设实施方案的通知》(2011年,发改办环资(2011)1111号)

《国家发展改革委关于印发“十二五”资源综合利用指导意见和大宗固体废物综合利用实施方案的通知》(2011年,发改环资(2011)2919号)

《关于组织开展城市餐厨废弃物资源化利用和无害化处理试点工作的通知》(国家发展和改革委员会办公厅,发改办环资[2010]1020号)