

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 生活垃圾概述.....	1
第二节 垃圾卫生填埋的发展.....	13
第三节 项目建设程序及管理.....	21
第二章 垃圾卫生填埋技术原理	32
第一节 垃圾卫生填埋场的类型.....	32
第二节 垃圾卫生填埋工艺.....	41
第三节 垃圾卫生填埋设备.....	54
第三章 垃圾卫生填埋场场址选择和总体设计	71
第一节 填埋场场址选择原则.....	71
第二节 填埋场场址选择程序.....	75
第三节 填埋场场址综合技术条件评价.....	79
第四节 垃圾卫生填埋场环境影响评价.....	83
第五节 经济评估.....	93
第六节 填埋场的总体设计.....	94
第四章 垃圾卫生填埋场防渗设计	105
第一节 场地平整工程.....	105
第二节 填埋场场底防渗系统.....	107
第三节 防渗材料.....	113
第四节 防渗系统设计.....	119
第五节 防渗系统施工和质量控制检验.....	136
第五章 垃圾渗滤液控制	155
第一节 垃圾渗滤液的水质.....	155
第二节 垃圾渗滤液的水量.....	162
第三节 垃圾渗滤液收排系统.....	175
第四节 垃圾渗滤液的处理.....	183
第六章 填埋气体收集与利用系统	225
第一节 填埋气体的组成及特性.....	225

第二节	填埋气体的产生过程和产量预测	227
第三节	影响填埋气体的因素	233
第四节	填埋气体的迁移	235
第五节	填埋气体控制系统	237
第六节	填埋气体的净化	252
第七节	填埋气体的利用	255
第七章	垃圾卫生填埋场的终场覆盖系统	260
第一节	填埋场最终覆盖系统的组成和技术	260
第二节	填埋场最终覆盖系统设计	266
第三节	填埋场最终覆盖系统对植物生长的影响	270
第四节	填埋场终场后的植被恢复	272
第五节	填埋场的修复和开发利用	275
第八章	填埋沉降和边坡稳定分析	280
第一节	垃圾的工程性质	280
第二节	填埋沉降	290
第三节	填埋场的边坡稳定分析	299
第九章	垃圾卫生填埋场运行管理	319
第一节	垃圾进场管理	319
第二节	填埋场劳动定员、设备和安全管理	320
第三节	填埋作业管理	326
第十章	垃圾卫生填埋场的环境保护	332
第一节	环境保护内容	332
第二节	环境保护因素特点	334
第三节	填埋场环境监测	336
第十一章	技术经济效益分析	350
第一节	技术经济评价	350
第二节	工程环境经济分析	358
第三节	工程效益评价	360
第四节	经济分析实例	362
第十二章	垃圾卫生填埋场工程设计实例	375
第十三章	垃圾卫生填埋场工程实例	472
参考文献	490

第一章 绪 论

20 世纪是全球工业化和城市化高速发展的时期，人类社会在创造巨大物质财富的同时，也付出了沉重的环境代价。空气和水污染、气候变化、臭氧层耗损、淡水资源枯竭、水土流失、土地退化、森林破坏、生物多样性锐减等环境问题日益突出。历史证明，建立在高能耗、高物耗、重污染、重生态破坏基础上的传统发展模式已难以为继。21 世纪应该做到，在追求经济和社会增长的同时，也必须保护人类共同的家園，走可持续发展道路，在世界范围内努力使经济增长的同时又能使能源和其他资源消耗降至最低。

1992 年里约热内卢环保大会以来，国际社会发布了一系列重要环境文件，包括《里约环境与发展宣言》《21 世纪议程》《气候保护框架公约》《京都议定书》《生物多样性公约》等。这些文件既充分体现了当今人类社会的可持续发展思想，又反映了关于环境与发展领域合作的全球共识和最高级的承诺。

目前，中国所面临的环境问题与发达国家 30 年前非常相似。也就是说，我国的环境质量与发达国家有近 30 年的差距，甚至更大一些。我们不仅要解决发达国家早已解决的生活垃圾、生活污水、工业废水、湖泊严重退化、赤潮等源于有机物和氮、磷污染的环境问题，而且还要着手解决发达国家正在解决的气候变化、臭氧层耗损、淡水资源枯竭、水土流失等问题。

第一节 生活垃圾概述

一、生活垃圾的定义

生活垃圾指居民日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的固体垃圾。主要包括：厨余物、废纸、废织物、废旧家具、玻璃陶瓷碎片、废电器制品、废塑料制品、煤灰渣、粪便、废交通工具和庭院垃圾。在建设部颁布的《市容环境卫生术语》（CJJ65—2002）中，对各类垃圾的定义如表 1-1。

我国生活垃圾一般指城市生活垃圾，城市生活垃圾一般来自以下几个方面：居民生活垃圾、商业垃圾、集市贸易市场垃圾、街道清扫垃圾、公共场所垃圾，机关、学校、厂矿等单位的生活垃圾。在采用填埋工艺处理城市生活垃圾时，生活垃圾中严禁混入危险垃圾和放射性垃圾。

表 1-1 各类垃圾的定义

名称	定义
垃圾	人类生存和发展过程中产生的固体垃圾，又称为固体垃圾
生活垃圾	居民日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的固体垃圾
城市生活垃圾	城市居民日常生活中或为日常生活提供服务的活动中产生的固体垃圾
居民生活垃圾	城市居民家庭产生的垃圾
生活垃圾	人类在生活活动中产生的垃圾

二、生活垃圾组成和产量

1. 垃圾成分

影响生活垃圾成分的主要因素有城市的经济发展水平、城市居民的生活习俗和城市所处的地理位置（自然气候）和季节等。一般来说，居民生活方式、消费习惯将直接影响到生活垃圾中厨余物的变化；同时，季节的变化，垃圾成分也会相应发生很大变化。表 1-2 列举了发达国家城市垃圾组成情况；表 1-3 为我国部分大城市垃圾组成情况。

表 1-2 发达国家城市生活垃圾组成成分

%

国家	城市	有机物	纸	玻璃	金属	塑料	织物	无机垃圾
美国	纽约	22.0	44.8	11.6	8.0	5.1	4.0	4.5
法国	巴黎	28.8	25.3	13.1	4.1	14.3	7.1	7.3
英国	伦敦	28.0	37.0	10.8	6.0	5.2	3.4	9.6

表 1-3 我国部分大城市生活垃圾组成成分

%

城市	有机物	纸	玻璃	金属	塑料	织物	无机垃圾
北京	56.1	11.8	3.8	1.7	12.6	2.8	11.2
上海	70.4	6.7	4.1	0.8	11.8	2.3	3.9
大连	73.4	3.4	2.6	0.5	5.7	1.6	12.8

生活垃圾的成分可以进行预测，主要是预测生活垃圾中纸类、塑料、玻璃、金属和厨余等主要成分的变化趋势。一般可采用线性统计回归方法进行预测。研究结果表明，随着社会的发展和经济水平的提高，生活垃圾中可回收部分的含量呈增加趋势，而垃圾中有机成分的含量将逐渐下降。上海环境科学设计研究院根据长期对生活垃圾成分的测定结果建立了预测模型。预测结果显示：上海市生活垃圾中纸类和塑料的含量将逐年递增加，并随生活垃圾总量的增加增幅将更大；厨余的含量将逐渐减少，但其发生量随生活垃圾总量的增加而小幅增加；玻璃和金属的含量在小范围内波动。预测结果如表 1-4 所示。

表 1-4 主要成分含量和发生量预测结果

项目	指标	2000 年	2005 年	2010 年
纸类	含量 (%)	5.34	6.71	8.43
	发生量 (t/d)	388.3	605.5	922.9
塑料	含量 (%)	8.44	9.64	10.38
	发生量 (t/d)	603.7	870.1	1136.6
玻璃	含量 (%)	4	4	4
	发生量 (t/d)	286.0	361.0	437.9
金属	含量 (%)	0.7	0.7	0.7
	发生量 (t/d)	50.0	63.2	76.6
厨余	含量 (%)	63.49	56.71	50.21
	发生量 (t/d)	4539.9	51174	5497.0

2. 生活垃圾产量

垃圾产量与人口因素存在着相关性, 一般来说, 人口越多的城市, 垃圾产量也越大; 经济因素对垃圾产量的影响是多方面的, 一般经济越发达的地区, 居民生活垃圾的产量会越大 (经济因素的定量表述可采用以下经济指标: 国内生产总值、GDP 中本市总消费、总投资、居民消费、非农业居民消费、职工工资总额、平均每人年可支配收入和社会消费品零售总额); 政策因素对垃圾产量的影响最复杂。

经典的垃圾产量预测, 是根据以往 5 年以上的统计资料进行线性回归得出回归方程, 然后根据回归方程进行预测。在实际中经常使用 GDP 与垃圾产量之间的相关关系, 根据 GDP 和城市人口来进行垃圾产量预测。

3. 垃圾质和量的影响因素

影响垃圾质和量的因素很多, 主要有如下方面。

(1) 内在因素

内在因素主要是指直接导致生活垃圾质和量变化的因素, 影响生活垃圾质变化的因素有居民生活水平、能源结构、生活的地域、气候差异及消费方式等。北方采暖以燃煤为主, 生活垃圾中无机灰渣的含量较高; 近年来以一次性塑料制品及过度包装为消费时尚, 塑料在垃圾中的含量有很大幅度的上升。影响生活垃圾产量变化的因素有: 人口数量、居民生活水平和城市建设水平等。人口增加, 在其他因素不变的情况下垃圾产量必然增加; 同样, 由于经济的发展, 居民生活水平的提高, 居民消费品数量与类型增加, 相应垃圾产量也会增加; 城区范围增大, 保洁区面积增大, 垃圾产量也增大。

(2) 社会因素

社会因素主要是指社会行为准则、社会道德规范和法律规章制度等, 是一种外部的、间接的因素。它实际上是人类对垃圾产生系统的干预。推行垃圾减量、回收和再利用措施, 可以大幅度减少垃圾最终处理量; 垃圾分类收集则是从源头改善垃圾的质, 减少后续垃圾的处理难度, 而且有利于垃圾回收而减少垃圾最终处理量。

(3) 个体因素

个体因素是指人类本身个体的行为习惯和受教育程度等。

对生活垃圾的质和量进行预测，需综合以上三方面因素，通过这些因素的变化情况，分析垃圾质和量的变化趋势，从而得出预测值。但是，以上三方面因素并不是孤立的，它们之间存在极其复杂的联系。例如，经济增长，通过消费导致垃圾产量增加，另一方面则通过对社会因素的影响及个体因素的配合，导致垃圾减量、回收与再利用措施的加强，使垃圾产量减少。

三、生活垃圾处理技术

生活垃圾处理技术主要包括以下几种。

1. 卫生填埋技术

卫生填埋是利用自然界的代谢机能，按照工程理论和土工标准，对垃圾进行土地处理和有效控制，寻求垃圾的无害化与稳定化的一种处置方法。垃圾卫生填埋是垃圾处理的最基本方法。卫生填埋是从简易的垃圾堆放和填地处理发展起来的一种垃圾处理技术，通俗地说，垃圾填埋就是将垃圾埋入土地，垃圾卫生填埋就是不造成污染的垃圾填埋。现代的卫生填埋与传统的堆填处理有着本质的区别，完全符合现行的环保要求。由于卫生填埋安全可靠、投资较省、运行费用较低，已广泛应用于许多国家。

卫生填埋技术起步于 20 世纪 30 年代，经过 60 多年的研究和发展，各国在卫生填埋的规划、设计、施工、管理等方面积累了丰富的经验，并开发出成套技术及设备。目前，卫生填埋仍是各国广泛采用的垃圾处理方式。虽然各国在填埋工艺、填埋作业、防渗设计、渗滤液处理、填埋气体处理和利用等方面进行了大量的研究并取得了很多成果，但是由于卫生填埋研究涉及化学、微生物学、水文地质学和工程学等多种学科，特别是垃圾成分复杂、变化规律性差，还有一些技术问题尚未得到解决，如渗滤液的深度处理、人工衬垫材料的耐久性和经济性问题尚需进一步研究。

进入 20 世纪 90 年代，发达国家在卫生填埋技术方面，除继续研究各重点问题外，出现了垃圾填埋处理比例有所缩减的趋势。部分国家从政治上和技术上限制城市垃圾的填埋处理，如法国计划到 2000 年，将填埋处理垃圾的比例缩减一半；奥地利首都维也纳市已明确规定从 1996 年下半年开始，凡是未经处理的垃圾不得直接填埋；丹麦从 2000 年起禁止填埋易腐垃圾；荷兰禁止填埋可燃垃圾等。

2. 焚烧技术

垃圾焚烧是将城市垃圾进行高温热处理，在焚烧炉膛内，垃圾中的可燃成分与空气中的氧气进行剧烈的化学反应，放出热量，转化为高温的燃烧气和少量性质稳定的固体残渣。燃烧气可以作为热源回收利用热能，残渣可直接填埋处置，其体积约为原生垃圾的 5%~10%，重量约为原生垃圾的 10%~25%。

焚烧技术开始于 19 世纪末，但直到 20 世纪 60 年代才得到广泛应用。由于焚烧技术具有无害化、减量化和资源化程度高的特点，因此在一些发达国家尤其在像日本等经济

发达而土地资源紧张的国家倍受欢迎,并且所占比例呈逐年上升趋势。目前全世界共有约 2400 座垃圾焚烧厂。由于垃圾焚烧的使用受技术和经济两个方面因素的制约,因此限制了它在发展中国家的应用。

垃圾焚烧一般和能源利用相结合,欧美各国积极推行垃圾焚烧发电技术,其中日本的垃圾焚烧发电技术较为普及。截止到 1993 年,日本共有 122 座垃圾焚烧发电装置,垃圾焚烧能力为 6 万 t/d,设备发电能力为 39 万 kW。

进入 20 世纪 90 年代,随着人们对废气中有害物质给人体健康造成危害的进一步认识,各国对新建焚烧厂开始持慎重态度,并开始注重对焚烧废气排放控制及污染治理的研究,力争将焚烧可能产生的二次污染降低到最小。

3. 堆肥技术

堆肥是依靠自然界中广泛存在的细菌、放线菌、真菌等微生物,人为地、可控制地促进垃圾中可被生物降解的有机物向稳定腐殖质转化的生物化学过程。通过堆肥可以将垃圾中的易腐有机物转化为有机肥料。堆肥是垃圾的一种无害化的稳定形式。

垃圾堆肥技术的科学探讨始于 1920 年,20 世纪 30 年代在欧洲一些国家开始大规模应用堆肥技术处理垃圾。20 世纪 50 年代,美国对堆肥技术进行了一些研究,并建造了一些堆肥厂,由于垃圾成分不同,各堆肥厂片面追求利润,大部分堆肥厂不得不倒闭。日本以处理城市垃圾为目的的正规堆肥始建于 1955 年,以后 10 年中堆肥设施数目增加到 30 多座,但由于堆肥质量低、销路不佳,有些堆肥厂陆续停产或倒闭,至 1976 年 8 月,运转的堆肥厂只剩 8 座,堆肥法处理垃圾的量占全国垃圾总量的 0.23%。80 年代初,由于垃圾资源化处理的热潮兴起,日本又开始重视垃圾堆肥处理,堆肥所占比例:1987 年达 4.0%,1992 年达 8.9%。

近些年来,发达国家在抑制垃圾填埋处理量的同时,大力提倡和推行高温堆肥法处理生活垃圾,有一部分国家已在此方面制定了相应的政策法规。

4. 回收和综合利用

近十几年来,发达国家大力推行垃圾的回收和综合利用,以实现城市垃圾减量化与资源化的目的。他们通过制定符合本国国情的有关法律、规章和各种标准,减少垃圾产生量、尽可能回收利用、减少最终处理及处置量,尽可能延长填埋场使用时间和减少二次污染。回收及综合利用最直接的表现就是分类收集的广泛推广和垃圾排放税费机制的普遍实行,政府可以通过政策、价格机制及资金资助等手段,鼓励先进的、更有利于垃圾减量和资源回收利用的垃圾处理技术的应用和发展,实现城市环境资源的可持续发展。

从下列数据中可以看到,主要发达国家的垃圾回收利用率都呈逐年上升趋势:

英国,1993 年城市垃圾回收利用率为 4%,1997 年已达 5%;

美国,1993 年垃圾回收利用率为 19%,1996 年上升到 28%;

德国,1996 年城市垃圾回收利用率为 10%,2000 年已达到 35%以上。

5. 城市生活垃圾处理和处置方法比较

比较生活垃圾的处理技术,主要从以下几个方面着手:技术的可靠性、经济性和实

用性。由于各地具体情况不同及生活垃圾的性质差异，对生活垃圾处理技术的选择也难以统一，很难绝对说哪种方式最好，应该因地制宜。表 1-5 给出了我国卫生填埋、焚烧和堆肥三种常用处理技术比较，以供参考。

表 1-5 国卫生填埋、焚烧和堆肥三种常用处理技术比较

比较项目	卫生填埋	焚烧	堆肥
技术可靠性	可靠，属传统处理方法	较可靠，国外属成熟技术	较可靠，在我国有实践经验
工程规模	取决于作业场地和使用年限，一般均较大	单台炉规格常用 150~500 t/d，故焚烧厂一般安装 2~4 台焚烧炉	动态间歇式堆肥厂常为 100~200 t/d，动态连续式堆肥厂为 100~200 t/d
选址难易度	困难	有一定困难	有一定困难
占地面积（体积）	1 m ³ /t	60~100 m ² /t	110~150 m ² /t
建设工期	9~12 个月	30~36 个月	12~18 个月
适用条件	对垃圾成分无严格要求，但含水率过高不适宜	要求垃圾的低位热值大于 3767 kJ/kg	要求垃圾中可生物降解有机物的含量大于 40%
操作安全性	较好，沼气导排要通畅	较好，严格按照规范操作	较好
管理水平	一般	很高	较高
产品市场	有沼气回收的卫生填埋场，沼气可用作发电等	热能或电能可作为社会使用，需有政策支持	落实堆肥市场有一定困难，需采用多种措施
主要环保问题	渗滤液处理难度大	烟气与飞灰处理难度大	好氧堆肥时恶臭治理较难
能源化意义	沼气收集后用于发电	焚烧余热可发电	采用厌氧发酵工艺，沼气收集后可用以发电
资源利用	封场后恢复土地利用或再生土地资源	垃圾分选可回收部分物质，焚烧残渣可综合利用	堆肥用于农业种植和园林绿化，并回收部分物资
稳定化时间	20~50 年	2 h 左右	15~60 d
最终处置	填埋本身是一种最终处置方法	焚烧残渣需做处置，约占进炉垃圾量的 10%~30%	不可堆肥物需做处置，约占进厂量的 30%~40%
地表水污染	应有完善的渗滤水处理设备，但不易达标	残渣填埋时与垃圾填埋方法相仿，但含水量较少	可能性较少，污水应经处理后排入城市管网
地下水污染	需有防渗措施，但可能渗漏。人工防渗衬垫投资大	可能性较少	可能性较少
大气污染	有轻微污染，可用导气、覆盖、建隔离带等措施控制	应加强对酸性气体和二噁英的控制和治理	有轻微气味，应设除臭装置和隔离带
土壤污染	限于填埋场区域	无	需控制堆肥中的重金属含量和 pH 值
主要环保措施	场底防渗，每天覆盖、填埋气体导排、渗滤液处理等	烟气治理、噪声控制、残渣处置、恶臭防治等	恶臭防治、飞尘控制、污染处理、残渣处置等
投资（不计征地费）（万元/t）	18~27（单层合成防渗衬垫，压实机引进）	50~70（余热发电上网，国产化率 50%）	23~32（制有机复合肥，国产化率 60%）
处理成本（计折旧，不计运费）（元/t）	35~55	80~240	50~80
处理成本（不计折旧及运费）（元/t）	22~31	30~120	25~45
技术特点	操作简单，工程投资和运行成本较低	占地面积小，运行稳定可靠，减量化效果好	技术成熟，减量化、资源化效果好
主要风险	沼气聚集引起爆炸，场底渗漏或渗滤液处理不达标	垃圾燃烧不稳定，烟气治理不达标	因生产成本过高或堆肥质量不佳而影响产品质量

四、城市垃圾处理的原则

20 世纪七八十年代, 欧洲发达国家和地区面临着我们如今面临的同一个问题: 经济的迅速发展带来城市生活垃圾产生量的急剧增加; 垃圾填埋需要占用大量土地, 并会给环境造成污染, 新的填埋场的选址越来越困难; 混合收集后的垃圾堆肥经处理后, 产品质量差, 许多堆肥厂因此关闭; 焚烧处理成本高, 烟气处理不慎还会产生二次污染。因此, 这些发达国家提出了“资源循环”口号, 将被动的垃圾“末端处理”转向垃圾源头减量和处理、处置资源化方向发展, 倡议走可持续发展道路。

我国垃圾污染控制工作起步较晚, 始于 20 世纪 80 年代初期。由于技术力量和经济实力有限, 近 10 年内还不可能在大范围内实现“资源化”。为此, 我国总结国内外的经验, 提出了以“资源化、无害化、减量化”作为控制垃圾污染的技术控制政策, 在垃圾尚未解决出路的情况下, 以“无害化”为主, 但同时吸取国外有益的经验, 缩短由“末端治理”向“源头控制”过渡的时间段, 加速源头减量控制和资源化利用进程, 使“无害化、减量化、资源化”既在各个经济发展阶段各有侧重, 又能同步推进。

1. 无害化

垃圾无害化处理的基本任务就是将垃圾通过工程处理, 达到不危害人体健康, 不污染周围自然环境的目的。目前, 城市垃圾无害化处理工程已发展成为一门崭新的工程技术, 如垃圾的焚烧、卫生填埋、堆肥、有害垃圾的热处理和解毒处理等。

对城市垃圾进行无害化处理时必须看到, 无害化处理技术的通用性是有限的, 它们的应用都有其一定的局限性, 如焚烧垃圾需要垃圾具有较高的热值, 发酵需要垃圾有机物含量高, 而且它们通常会产生二次污染, 如填埋会产生渗滤液, 污染地下水; 焚烧会产生致癌物质; 堆肥会产生恶臭气体等。

2. 减量化

垃圾的减量化任务主要是通过适宜的手段减少和减小垃圾的质量和容积。这一任务的实现, 必须从两个方面入手: 一是对垃圾进行处理和利用, 二是减少垃圾的产生。

对垃圾进行处理和利用属于生产过程的末端, 主要是通过各种手段使垃圾减少容积或质量, 例如, 生活垃圾采用焚烧法处理后, 体积可减少 80%~90%, 残余物便于运输和处置。同样, 压实和破碎也可达到一定的减量化目的。

减少垃圾的产生, 则是从源头开始改进或采用新的生产工艺清洁生产, 尽量减少或不排垃圾, 必须从资源的综合开发和生产过程中的物质资料的综合利用着手。同时有必要通过政府颁布法律、法规以推广“3R”思想 (Reduce——减量化, Reuse——再利用, Recycle——再循环), 从量和质方面对生产、流通、消费等环节加以限制, 减少垃圾的排放量; 也可借助经济杠杆的作用, 如可通过税收优惠, 使再生包装材料的成本价格低于其他材料, 或者通过征收垃圾处置费, 提高非再生包装材料的成本, 从而提高再生包装的环保意识。

3. 资源化

垃圾资源化的基本任务是采取工艺措施从垃圾中回收有用的物质和能源。目前,我国社会上对垃圾资源化的认识还比较粗浅,既有过分强调垃圾全部资源化利用的作用和意义,又有“垃圾资源化可获得高经济回报”的不切实际的想法。从理论上和纯技术角度讲,垃圾中的所有物质都可以分拣并各自利用,成为有用的产品,但是,任何资源化的手段都是以经济为基础的,如果脱离实际经济承受能力,一味追求高资源化利用率,会有悖于环境保护工作的初衷。

垃圾处理的最主要目标是使其不对环境造成污染,资源利用的前提也应是以免造成二次污染为首任。如果以二次污染为代价,那么这种利用就是没有意义的。例如,对垃圾中的废塑料进行分选、清洗、造粒后出售,具有一定的经济效益,但是如果不考虑清洗废水带来的二次污染,这种利用不是真正意义上的资源化。在垃圾资源化过程中一定要避免污染转移。

另外,垃圾资源化的产品并不一定具有经济性,技术可行性并不代表经济上的可行性,这既要政府出台相关的扶持政策,鼓励垃圾资源化,同时还要切实考虑市场因素,那种违背市场原则的盲目建设必然会造成投资上的浪费。

五、国内外垃圾处理现状

(一) 城市垃圾产量与特性分析

对我国 15 个主要城市 1997 年生活垃圾清运量和处理量统计分析表明(表 1-6), 35 个城市与全国城市相比,城市非农业人口总和占 36.4%,生活垃圾清运量占 31.8%,粪便清运量占 36.1%,而生活垃圾处理量占 44.1%,粪便处理量占 46.8%。这些城市的垃圾、粪便处理水平明显高于全国城市平均水平,同时也说明,35 个主要城市的生活垃圾处理水平可以反映我国城市生活垃圾的最高处理水平。

表 1-6 1997 年我国 35 个主要城市处理垃圾粪便清运处理状况

城市	城市非 农业人口 (万人)	生活垃圾 年清运量 (万 t)	粪便年清 运量 (万 t)	生活垃圾 无害化处理量 (万 t)	粪便无害化 处理量 (万 t)	生活垃圾粪便 无害化处理率 (%)	生活垃圾 无害化处理率 (%)
(1) 全国城市	19476.9	10981	2845	6291	1370	55.4	57.3
(2) 35 个城市	7090.81	3488.26	1096.48	2770.99	641.27	75.6	79.4
(2) / (1)	36.4%	31.8%	36.1%	44.0%	46.8%		

注: 35 个城市为: 北京、天津、石家庄、太原、呼和浩特、沈阳、大连、长春、哈尔滨、上海、南京、杭州、宁波、合肥、福州、厦门、南昌、济南、青岛、郑州、武汉、长沙、广州、深圳、南宁、海口、重庆、成都、贵阳、昆明、西安、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐

1. 垃圾产量

近几年,城市垃圾产量的增长趋于平稳。北京、天津、上海、成都、广州、武汉 6

个城市除上海外，其他 5 个城市的垃圾清运量年平均增长率都低于 4%，而天津的垃圾清运量年平均增长率接近零；1994—1999 年，6 个城市除上海外，其他 5 个城市的垃圾清运量年平均增长率都低于 1.5%。尽管有计量和统计等因素的影响，但城市垃圾清运量增长率下降这一趋势是显著的。

城市垃圾的产量每年以 8%~10% 的速度增长，如北京市垃圾增长率高达 15%，折合成人均垃圾产量已接近中等发达国家水平。

2. 垃圾特性

城市垃圾的构成特性与地理条件、经济发展水平、居民消费水平、消费结构以及城市居民燃气化率等因素有关。我国城市垃圾在产量迅速增加的同时，垃圾的构成及特性也发生了很大的变化。

城市生活垃圾中有机成分占总量的 60%，无机物约占 40%，其中，废纸、塑料、玻璃、金属、织物等可回收物约占总量的 20%（图 1-1）。

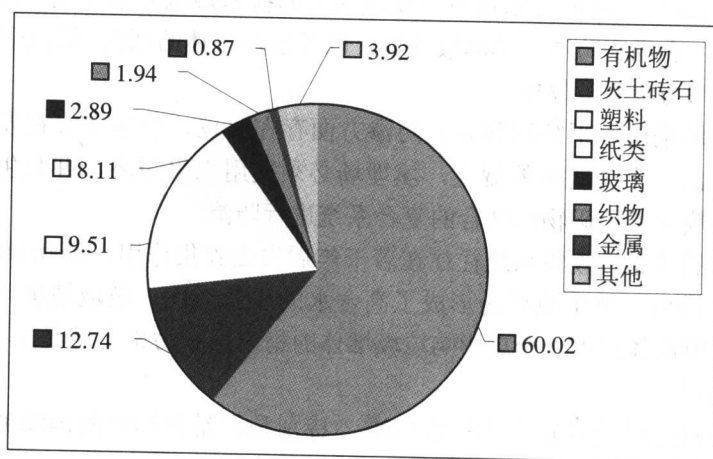


图 1-1 1996 年全国直辖市垃圾成分构成 (%)

垃圾中的可燃物增多，可利用价值增大，因此今后我国大城市，尤其是北方城市随着燃气普及率的不断提高，城市生活垃圾中的有机物含量及垃圾的热值将会进一步增加。

居民生活水平和消费结构的改变不仅影响城市垃圾的产量，也影响着城市垃圾的成分。尤其是 10 年来，随着改革开放的进一步深化、居民收入不断增加，人民生活水平的不断提高，包装产品的消费以及废纸、塑料、玻璃、金属、织物等可回收物的消费不断增加。

包装垃圾的快速增长是城市生活垃圾增长的重要原因之一。实际上，垃圾中的废纸、金属、玻璃、塑料等绝大部分是使用后废弃的包装物。随着包装业的快速发展，商品包装形式越来越繁多，包装物的种类和数量增加很快，过度包装和豪华包装的产品比比皆是，这在大城市尤为突出。一次性的商品被广泛用于宾馆和餐饮业。一次性的商品完成消费后就成为垃圾，大大增加了垃圾的产量。目前，我国包装品垃圾约占城市家庭生活垃圾的 10% 以上，而其体积要占家庭垃圾的 30% 以上。

(二) 生活垃圾处理

1. 填埋处理

我国绝大部分垃圾是采用填埋法进行处理及处置的, 其中部分已达到卫生填埋的要求, 但更多的是采用简易填埋法处理的。“七五”及“八五”期间, 深圳、北京、上海、杭州、成都、苏州、福州等城市相继建成了投资额约为 1 亿元人民币的大型垃圾卫生填埋场, 而更多的中小城市则建造了数百个投资额在几百万元到上千万元的中小型卫生填埋场。

垃圾填埋处理是大城市垃圾处理的一种主要方式, 并且在今后相当长时间内将占垃圾处理的主导地位。近几年来许多大城市在建或已建的大型甚至超大型的垃圾卫生填埋场, 采用了发达国家的技术, 例如场底采用了水平铺设 HDPE 膜和黏土矿物相结合的复合系统进行防渗, 填埋场的运营也具有相当高的水平。但在我国大城市中还存在相当数量的填埋场, 由于最初的选址和设计未按照卫生填埋场的要求, 导致还未达到使用年限就被迫封场, 甚至还存在着严重的环境污染问题, 具体如下:

(1) 我国垃圾填埋场的技术规范与发达国家的规范要求存在差距, 导致设计的填埋场先天不足, 在场底防渗、渗滤液处理, 以及填埋气体的回收利用方面存在问题。

① 填埋场防渗与渗滤液收集。

我国在填埋场采用水平防渗和垂直防渗方面存在争议, 而事实上在发达国家, 其技术规范对防渗作出了十分明确的规定, 填埋场必须采用水平防渗, 并且生活垃圾填埋场必须采用 HDPE 膜和黏土矿物相结合的复合系统进行防渗。

国内填埋场的渗滤液收集系统往往在若干年后失去收集作用, 场底导渗管发生堵塞, 渗滤液无法正常排出, 整个填埋场形成了高含水的渗滤液库, 垃圾填埋一定年限后, 渗滤液往往从侧面覆盖体渗出, 严重影响垃圾堆体的稳定性和污染了环境。

② 渗滤液处理。

渗滤液的处理无法达到正常的排放标准, 特别是在暴雨的时候因渗滤液处理量超出处理能力而直接排放, 严重污染环境。

③ 填埋气体。

垃圾场产生的填埋气体直接排入大气, 缺乏回收利用, 这种自然排放的方式对大气以及周边的环境都造成了严重危害。发达国家禁止填埋气体直接排入大气, 规定填埋气体必须进行回收利用, 无回收利用价值的则需集中收集燃烧排放。目前国内只有广州李坑垃圾填埋场和杭州天子岭垃圾填埋场对填埋气体进行了回收发电利用。

(2) 填埋场缺乏规范的运营管理和监督。

垃圾填埋场的运营需要综合的管理技术, 尤其是大城市垃圾填埋场的规模越来越大, 填埋场的污染控制很大程度上取决于管理水平的好坏。对填埋场的运营管理要形成完整的体系, 不仅要对其作业区的垃圾进行规范的作业, 还要逐步实现对垃圾种类和数量、地表水、地下水、渗滤液的数量和位置、噪声、飘尘, 填埋气体的数量和特性等项目实现计算机的辅助管理。

2. 焚烧处理

焚烧处理技术在我国的应用整体水平滞后于填埋技术和堆肥技术 5~10 年, 焚烧法处理的垃圾量是三种基本处理方法中所占比例最小的。除个别城市如深圳将焚烧法作为处理城市垃圾的主要方法外, 我国绝大多数省(市)未将焚烧法作为主要处理手段, 有相当一部分省(市)根本没有采用焚烧法处理生活垃圾。目前, 上海、北京、广州等一些大都市正在规划或建设一些日处理达千吨的垃圾焚烧厂。

焚烧处理在我国发展较慢, 目前, 制约我国城市生活垃圾焚烧处理发展的主要因素是建设投资与运行费用, 垃圾特性和可靠、实用的国产化焚烧处理技术等, 其中建设投资与运行费用是制约垃圾焚烧处理的关键因素。具体如下:

(1) 建设投资与运行费用。

制约垃圾焚烧法发展的重要原因在于焚烧厂的建设一次性投资太大, 以及建成后的运行成本太高, 这些都是制约焚烧法在大城市发展的关键。目前我国引进焚烧设备(关键部分引进)单位处理投资为 40 万~70 万元/(吨·日), 如果按综合折旧年限 15 年计算, 其折旧成本就达 88.9~155.6 元/吨, 可见垃圾处理建设投资成本需求缺口很大。

(2) 垃圾的特性。

由于城市中大部分垃圾还是混合收集, 垃圾中有机物含量高达 60%, 且含水率较高, 导致垃圾热值降低, 不利于焚烧。改善的途径是强化生活垃圾分区、分类收集。首先通过分区收集选择对非燃煤区的生活垃圾进行焚烧处理, 进一步通过分类收集提高垃圾可燃物含量, 改善垃圾焚烧效率, 从而降低焚烧厂建设投资和运行成本。

(3) 缺乏可靠、实用的国产化焚烧处理技术。

目前我国引进焚烧处理设备投资超过大多数城市的经济承受力, 只能借助利用国外优惠贷款来建设。垃圾焚烧处理要进一步发展, 需要立足于国内, 开发利用国内的技术和设备, 降低单位处理投资。首先需要重点开发单台处理能力在 100 t/d 以下的垃圾焚烧系统, 以及配套简单、实用的余热利用和烟气处理设备, 使得单位处理投资降到 10 万~25 万元/(吨·日), 这将适应我国目前大多数城市的经济发展水平并能启动生活垃圾焚烧处理市场的发育与发展。

目前我国只有深圳 1985 年从日本三菱重工业公司成套引进两台日处理能力为 150 t/d 的垃圾焚烧炉, 且运转正常, 该厂在 1994 年底开始扩建三号炉, 并完成了三号炉国产化工程, 设备国产化水平达到 80% 以上, 在技术性能方面达到或超过了原引进设备的水平, 为我国大型垃圾焚烧设备国产化打下了基础。

尽管垃圾焚烧设备的国产化进展缓慢, 但目前垃圾焚烧技术设备的开发正成为热点, 国内正在形成以企业实体为主的垃圾焚烧设备开发群体。但参与垃圾焚烧处理的科研、设计和有关的企业部门都处于十分分散的状态, 所开发的技术类型既有发达国家几十年前就淘汰的落后焚烧技术, 也有国外还应用较少的不成熟的焚烧技术。国产设备厂家由于规模小且实力弱, 既无力与国外同类企业竞争, 也难以开发和生产适合国内市场需要的技术和产品。在北京等大城市的已有的一些小型焚烧炉, 基本上是国产开发的, 大部分处于试运行阶段, 烟气排放根本无法达标, 甚至没有有效的烟气处理系统, 余热基本未有效利用。

3. 堆肥处理

我国垃圾堆肥处理技术应用的历史较长。从最初的农村利用人畜粪便和农田垃圾就地沤肥生产农家肥，发展到采用厌氧或通风好氧堆肥，解决垃圾出路问题，这期间开展了大量的堆肥化技术及相关设备开发研制的科技攻关，并在上海、杭州、无锡、桂林、天津、重庆等城市陆续建立了一批城市生活垃圾机械化堆肥设施。从运行情况看，由于堆肥机械设备技术水平较低，难以保证设施正常、稳定运行；进入堆肥系统的垃圾没有进行分类和细分选，堆肥产品肥效不高，杂质较多加之化肥的大量推广使用等诸因素，使堆肥产品出路日益困难，一些堆肥厂处于停产状态。针对上述存在的问题，20世纪90年代以后，开展了城市垃圾制生物复混肥的研究，并在四川广汉和北京石景山得以实施。

(1) 堆肥技术与设备。

以前，我国城市生活垃圾中主要为煤灰和厨余类有机物，而包装物如塑料、废纸等含量较低，适宜于堆肥处理。1987年颁布的《城镇垃圾农用控制标准》(GB 8172—1987)和《粪便无害化卫生标准》(GB 7959—1987)是指导城市生活垃圾堆肥处理的技术标准，也是我国最先制订的有关城市垃圾处理的技术标准。到目前为止，堆肥处理主要采用低成本堆肥系统，大部分垃圾堆肥处理场采用敞开式静态堆肥。“七五”和“八五”期间，我国相继开展了机械化程度较高的动态高温堆肥研究和开发，并取得了积极成果。但限于现实的经济和社会条件，机械化高温堆肥由于处理成本较高而难以推广应用。目前应用较多的是静态通风好氧发酵技术。其特点是工艺简单，使用机械设备少，投资少，操作简单，运行费用低，但同时也存在堆肥质量不高，堆肥筛上物未得到处理的问题，气味及污水对周围环境影响较大，如臭味、蚊蝇等，使其应用受到一定限制。

(2) 堆肥原料。

目前由于城市垃圾缺乏有效的分类收集，不能有效的将厨余物等有机质分离出来，用于堆肥的垃圾原料含有玻璃、塑料，甚至电池等有毒有害垃圾。

(3) 堆肥产品。

堆肥产品质量不高，肥效低，销路不畅，严重制约着垃圾堆肥处理的发展。目前许多堆肥厂都面临着关、停的困境。解决堆肥问题的关键是必须实现有机垃圾的分类收集。

4. 分类收集与回收利用

我国在垃圾回收及综合利用方面有着长期实践和成功经验。20世纪90年代以来，政府日益重视垃圾量的减量化和资源化，一部分城市还开展了垃圾分类收集的试点工作，并且绝大部分城市已将垃圾分类收集、资源化综合利用作为城市垃圾处理的重要内容进行规划，但就整体水平而言，我国城市垃圾的减量化与资源化工作才刚刚起步，远远落后于发达国家，垃圾回收和综合利用的前景十分广阔。

分类收集的目的在于提高垃圾回收率和便于分类处理。总体而言，我国城市生活垃圾的分类工作才刚开始，分类收集的效果还不是很明显，还无法有效地将占垃圾50%以上的厨余垃圾有效分开。

目前大城市普遍推行垃圾的分类收集，在主要的街道，居民小区都设立了分类收集的垃圾箱，但到目前为止，垃圾的混合收集仍是大城市普遍采用的垃圾收运方式。城市

垃圾分类收集推行中遇到的主要问题是：

(1) 公众的环境意识不高，为方便起见，随手乱扔垃圾的现象比较普遍。

(2) 分类收集设施不足，在设计上缺乏分类引导。

在居民区缺少设立收集危险垃圾，如电池、灯泡、日光灯等的设施。在街道、小区设立的垃圾收集筒，有的在垃圾筒上表明了“可回收物”字样，而没有向公众标明究竟什么是可回收物。另外在分类收集设施设计中缺少考虑引导公众分类投放的要求，例如要回收啤酒瓶或其他玻璃瓶，可设计瓶颈口的大肚容器。类似信箱的、方形侧口箱适合投入报纸、废纸类等。这样的容器易于识别，也不易混放。

(3) 分类运输的设施不足，致使本已分类收集的垃圾，又混合运输。

城市的垃圾收运设施的数量逐渐增加，并逐步向密闭、先进、便于操作管理的方向发展，但是垃圾收运设施仍不能满足城市垃圾迅速增长的需要。目前城市的收运体系还处于比较落后的阶段；居民生活垃圾为混合收集，未实行有效的分类收集。即使在一些地区进行了分类收集，在运送时又进行了混合的运输。这种混合收运方式，致使一些有用物质进入城市生活垃圾中。其带来的问题是：一方面增加了垃圾收集运输量，消耗了大量人力物力；另一方面，增加了垃圾处理技术难度、建设投资和运营费用，十分不利于垃圾的处理和资源化利用。

(4) 缺乏分类处理的基础设施。

许多即使已经分类的垃圾，由于缺少后续的处理场所，如废品回收中心、堆肥厂、焚烧厂等，而又将分类的垃圾混合起来运输到填埋场进行填埋。

(5) 缺乏优惠的废品回收政策。

我国自 1993 年税制改革，对再生利用行业实行 17% 的企业增值税，严重的税负使多年来靠国家优惠政策维生的废品再生行业连年亏损，各地的废旧物质价格普遍大幅下降，再加上废品回收公司内部不适应市场经济发展要求，回收废品的比例在逐渐下降。目前回收市场严重萎缩，回收利用的企业少，回收的废品找不到出路，严重挫伤了分类收集的积极性。

其中大量的回收工作是由居民小区和垃圾填埋场存在的一些自发“废品回收者”来完成的。这些人员的工作环境恶劣，与大城市市容环境的要求不协调。另外这些以盈利为主的个体商贩的废品回收受经济驱动的影响，只回收经济回报率高的物品，一些污染大，收益小的物品如电池、灯泡、日光灯等就无法做到利于环境的回收。

第二节 垃圾卫生填埋的发展

一、国外垃圾卫生填埋技术的发展趋势

垃圾的土地填埋是从传统的垃圾堆填发展起来的一项最终处置技术。早在公元前古希腊米诺文明时期，克里特岛的首府康诺索斯就曾把垃圾填入低凹的大坑中，并进行分层覆土。第一个城市垃圾填埋场于 1904 年在美国伊利诺易斯州的香潘市建成，其后俄亥俄州的丹顿（1906 年）、伊阿华州的德文波特（1916 年）等地也相继建成和运行了城市垃圾填埋场。这些垃圾填埋场的建设和运行奠定了土地填埋处置的最早

期技术基础。其经验证明,将垃圾埋入地下会大大减少因垃圾敞开堆放所带来的滋生害虫、散发臭气等问题。但是,这种早期的土地填埋方式也引起一些其他的环境问题,如由于降雨的淋洗及地下水的浸泡,垃圾中的有害物质溶出并污染地表水和地下水;垃圾中的有机物在厌氧微生物的作用下产生以 CH_4 为主的可燃性气体,从而引发填埋场的火灾或爆炸等。

20 世纪 30 年代,美国加利福尼亚州首次提出“卫生填埋”的概念,到 80 年代发展为成熟的技术。它与传统的堆填处置主要区别如下:

- (1) 经过科学选址;
- (2) 建设符合环保要求的工程措施;
- (3) 按技术规范填埋作业;
- (4) 饱和后要进行封场和封场后的维护管理。

现代的卫生填埋与传统的堆填处理有着本质的区别,完全符合现行的环保要求。由于其安全可靠、投资较省、处理费用低,已被世界上许多国家采用。表 1-7 列出了主要工业发达国家城市生活垃圾处理技术的比较,从中可以看出卫生填埋在各国垃圾处理技术方面所占的位置。

表 1-7 部分国外发达国家生活垃圾处理方式的比较

国家	年份	垃圾总量 (万 t)	填埋所占比例 (%)	焚烧所占比例 (%)	堆肥所占比例 (%)	回收所占比例 (%)
美国	1996	32746	62	10		28
英国	1993	2000	83	13		4
日本	1993	5000	15	74	11	
奥地利	1993	290	48	24	8	20
比利时	1993	358	49	35		16
加拿大	1995	2059	73	4		23
丹麦	1993	180	16	71	4	9
芬兰	1990	130	65	4	15	16
法国	1993	2000	45	42	10	3
德国	1993	3380	61	36	3	
爱尔兰	1993	910	97			3
意大利	1993	2000	74	16	7	3
卢森堡	1993	18	22	75	1	2
荷兰	1993	770	45	35	5	15
挪威	1993	220	67	22	5	
葡萄牙	1993	265		90	10	
西班牙	1993	1330	64	6	17	13
瑞典	1993	320	30	60		10
瑞士	1993	370	11	76	13	

如表 1-7 所示,目前世界上大多数国家都以填埋法为主。只有日本等少数国家由于土地资源紧缺,没有大量的空余土地供卫生填埋使用,所以较少采用填埋法。但卫生填埋作为垃圾处理的最终手段,还是必不可少的。这一点从德国垃圾卫生填埋处理的发展历程中可以看出。

德国的垃圾卫生填埋处理技术具有世界领先水平,但其卫生填埋处理技术的发展仅经历了 30 余年。直到 20 世纪 60 年代后期,联邦德国对垃圾处理还是以简易堆放为主。据 1972 年统计资料显示,当年的城市垃圾处理率只有 37%,处理设施共计有 130 个卫生填埋场,16 个堆肥厂和 30 个焚烧厂,其余垃圾由约 5 万个简易堆放场处理。1972 年德国通过第一版《垃圾法》,受法律约束开始逐步关闭那些大量的小的垃圾堆放场,并提出建设无害化垃圾处理设施。到 1993 年德国约有生活垃圾卫生填埋场 560 个,占垃圾处理比例的 73%。

由于各个国家的经济发展状况不同,因此对垃圾卫生填埋的标准要求也不同。在工业化发达国家,近些年不断修改环保法,对垃圾卫生填埋的标准要求越来越高。例如现在欧共体出台一项法规,不允许有机物直接填埋。

德国完善的法规、标准体系是实现垃圾填埋场的规划、建设、运行进行全方位控制的保证。其有关垃圾卫生填埋场法律、法规演变见表 1-8。

表 1-8 德国有关垃圾卫生填埋场法律、法规演变

年代	法律、法规	内容
1957	联邦德国生活污水法律	垃圾填埋必须得到生活污水法律许可
1969	德国联邦卫生部“生活与工业固体和污泥填埋”须知	要求审查是否采取地下水保护措施
1972	联邦德国垃圾处理法律 (ABFG)	垃圾填埋必须得到垃圾法律许可,并对地下水保护提出了局部的要求
1979	垃圾填埋须知	规定了基础防渗要求,以及特殊必要情况下决定的授权
1986	联邦德国垃圾处理法律 (ABFG) 的补充	对联邦德国政府发布一般性垃圾处理规定的许可
1991	德国垃圾技术指南	表达了垃圾填埋处理的技术要求,以及防渗系统和填埋处理所需的特殊检测要求等
1992	德国国家环境署:垃圾填埋人工防渗材料准则	表达了人工防渗材料的检测方法、要求,人工防渗材料使用许可条件等,并作为德国垃圾技术指南的附件进行了具体规定
1993	德国垃圾处理法律的补充 (减少投资法准则)	规定了垃圾填埋场建设必须得到政府的许可
1993	生活垃圾技术指南	专门表述了生活垃圾填埋处理的技术要求,以及防渗系统和填埋处理所需的特殊检测要求等

二、国内垃圾卫生填埋技术发展概况

(一) 国内垃圾卫生填埋技术的历史与现状

我国垃圾卫生填埋技术发展得较晚,20 世纪 80 年代初,城市垃圾处理主要以高温堆肥和裸露堆填为主,全国无一家正规的卫生填埋场。

20 世纪 80 年代中后期,垃圾的裸露堆放导致蚊子、苍蝇大量孳生,臭气熏天,而且垃圾渗滤液不经任何处理,随意排放,严重污染周围环境。这种状况与各城市快速发展的经济极不协调,不能满足群众对环保的要求,促使各级政府开始规划筹建比较规范的垃圾填埋场。1985 年选址立项、1988 年建设、1991 年运行的杭州市天子岭垃圾处理总场