

上海城市生活垃圾处置对策研究及其评价

摘要

随着上海经济的快速发展和人民生活水平的普遍提高,生活和生产过程中产生的日益增多的城市生活垃圾,已成为困扰城市发展、污染市容环境、影响市民生活的社会问题。研究适应上海经济可持续发展的城市生活垃圾处置对策,是当前一项迫在眉睫的紧要任务。

根据近十年上海城市生活垃圾产量统计数据和成分特征分析,上海城市生活垃圾与发达国家城市相比,具有易腐有机成分含量较高、可回收利用物资较少、季节性变化较大等特点,并表现出水分偏高、热值偏低等特性。本文分别采用多元线性回归法和类比分析法对上海城市生活垃圾产量和成分进行了预测。结果表明,到2010年,上海城市生活垃圾产量将达到17567.19吨/天,人均日产垃圾1.28kg,成分中比例最高的还将是厨余垃圾。

本文对1996年上海开始实行生活垃圾分类收集政策以来的垃圾分类收集情况、各区县生活垃圾分类方法和收集形式进行了全面调查和汇总,并根据现有上海城市生活垃圾的分类方法和收集形式,提出建立上海城市垃圾分类收集系统的设想。

在上海城市生活垃圾运输中转系统研究中,本文阐述了上海城市生活垃圾中转站的发展,从技术、经济、社会环境效益等方面对三种类型的生活垃圾中转站进行了综合评价,认为上海市生活垃圾中转站宜采用推入装箱式。本文还按照影响垃圾收运模式的主次因素,采用

聚类分析方法设计出上海城市生活垃圾收运模式，并制订了相应的生活垃圾物流系统方案。

基于上海市现有生活垃圾处理设施的处置现状调查和处理缺口量分析，本文对分别从技术可靠性、环境协调性和经济适用性三个方面对卫生填埋、堆肥、焚烧三种处置方法进行了综合评价。运用层次分析法，由均衡综合效益前提出发，提出“巩固和完善生活垃圾卫生填埋技术、谨慎发展生活垃圾焚烧技术、充分重视生活垃圾生化处理技术、积极探索资源利用的新技术、多元并举走可持续发展之路”的上海城市生活垃圾处置系统构想及处理设施远期规划。

通过对上海市固体废弃物堆放场地的统计数据分析，本文借鉴国外垃圾填埋场整治成功经验，根据占地面积、适用时间和地理位置等，分别为苏州河沿岸堆场、宝山顾村堆场、三林塘堆场和老港填埋场一、二、三期工程确定了各自适宜的整治方案。

本文还对国外城市生活垃圾管理状况进行了分析，并指出了现行上海市城市生活垃圾管理制度的特点和存在的问题，从更新管理理念、完善管理法规、改革管理体制、推进综合决策四个方面，探索出一套全新的上海城市生活垃圾管理模式。

关键词 城市生活垃圾，分类收集，运输中转，卫生填埋，焚烧，堆肥

STUDY AND EVALUATION ON TREATMENT STRATEGIES OF MSW IN SHANGHAI

ABSTRACT

With the rapid economic development and the overall rise of people's living standard, more and more MSW (municipal solid waste) are being made in life and in the process of production, which has become a social problem troubling urban development, polluting city environment and impacting on its citizen's daily life in Shanghai. It's an impeditive task to research on the disposition strategies of MSW which meet the sustainable economic development of the city.

According to statistics of its total volume and analysis of ingredients of MSW in Shanghai in recent ten years, it bears the features containing higher percent of erosive and organic ingredients, lower percent of recyclable elements, fluctuating with change of seasons, higher hydrate and lower calorie, etc, compared that of developed countries. Hereby multivariate regression linear model and analogy analysis have been taken to predict the future volume and ingredients of MSW in Shanghai. It turned out that by 2010, the volume of MSW in Shanghai will reach

17567.19 ton per day, the average amount of 1.28 kg per person per day, among which leftovers will take the first position.

Here widespread survey of how MSW has been classified and collected in every district and county in Shanghai since its implementation of the policy about the classification and collection of MSW from 1996 has been carried out, and its results have been consolidated, raising some assumptions on establishing a system of classifying and collecting MSW in Shanghai in accordance with its current situation.

In studying transportation and transfer system of MSW and describing its development, here overall evaluation has been carried on three types of transfer from technological, economic and social environmental points of view, and reached the conclusion that shoving-in package is the best choice. Considering the dominant and subdominant issues influencing the mode of receiving and transferring MSW. The research also took the method of clustering analysis to design the mode of receiving and transferring MSW and the relevant solution of logistics of MSW.

Based on survey of current status of disposing MSW in Shanghai, the paper carried on an overall evaluation of three ways of disposing landfill, incineration and compost from three aspects of technological liability, environmental accordance and economic applicability. From

balanced overall benefits, it proposed the conception and long-term plan of establishing the system of disposing MSW, "enforce and improve technologies of landfill, cautiously develop incineration technologies, fully emphasize on biological disposing technologies, tentatively explore new technologies of using energies, multiply follow the road of sustainable development."

Through statistic analysis of stock site of MSW in Shanghai, by learning from the success of reforming landfill site in foreign countries, appropriate reforming plans for stock site along SUZHOU Creek, stock site in GU village in BAOSHAN, stock site in SANLINTANG and the first, second and third phase projects of landfill site in LAOGANG has been set up in the paper respectively based on floor space, timing and geographical location.

The paper also analyzed the administration of MSW abroad and pinpointed the features and existing problems of administrative policies of MSW in Shanghai, and explored a brand new set of mode of administrating MSW in Shanghai from four aspects of updating concept of administration, improving laws and regulations, reforming policies and pushing overall decision.

KEY WORDS MSW (municipal solid waste), classified collection, transportation and transfer, landfill, incineration, compost

附件一：

东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期： 2006 年 1 月 12 日

附件二：

东华大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ，在 ____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密

学位论文作者签名:



日期: 2006年1月12日

指导教师签名:



日期: 2006年1月12日

1 国内外城市生活垃圾处理处置现状评价及技术进展

随着经济的发展和人民生活水平的提高,特别是近几年来城市化进程的飞快发展,城市生活垃圾的产量不断增长。城市生活垃圾所引起的社会问题和环境问题日益突出,不仅造成严重的环境污染,而且影响到社会稳定和经济的发展。如何妥善处理城市生活垃圾,保证城市的可持续发展和资源的合理利用,已经成为当前世界性的课题,成为各国政府、企业和市民普遍关注的焦点和热点问题。

1.1 国内外城市生活垃圾产量和成分分析

城市生活垃圾的产量和成分,是城市建设管理的基础性资料,是生活垃圾处理工程的重要设计依据。它们既反映一个国家或一个城市的经济水平和人民的生活水平,也充分体现一个国家或一个城市的文明程度。从某种意义上讲,城市生活垃圾的产量和成分是一个国家或一个城市的综合实力和科技水平的表征参数之一。

1.1.1 国外城市生活垃圾产量分析

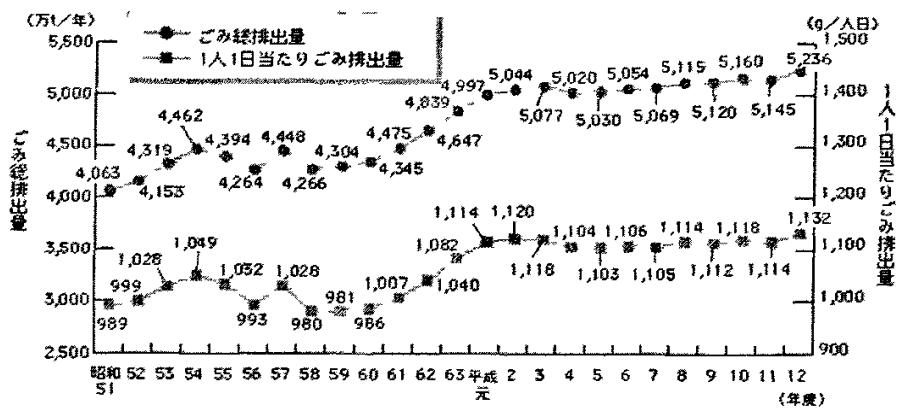
垃圾产量和成分不仅随经济发展水平而异,而且受能源、生活习惯、季节和气候等变化的影响。各个地区由于经济发展水平、居民的消费习惯等不同,其生活垃圾人均日产量和成分都有一定的差异。

表 1-1 工业发达国家生活垃圾人均日产量和增长率 (kg/人·d) ^[1]

国家	丹麦	法国	西德	奥地利	意大利	荷兰	英国
1980	1.09	0.79	0.95	0.61	0.69	1.36	0.85
1990	1.30	0.90	0.91	0.89	0.95	1.36	0.95
人均增长率 (%)	16.00	11.89	-4.50	31.69	27.59	-0.20	10.34
国家	芬兰	瑞典	日本	美国	加拿大	平均	
1980	1.40	0.83	1.03	1.65	1.44	1.06	
1990	1.71	1.02	1.13	1.98	1.65	1.23	
人均增长率 (%)	18.33	19.25	8.52	16.37	12.81	16.00	

从目前世界各国的城市生活垃圾数据资料分析,许多国家的城市生活垃圾产量呈增长趋势。表 1-1 给出了 12 个工业发达国家 1980 年和 1990 年垃圾人均日产量和增长率,1980 年这些国家垃圾人均日产量平均为 1.06kg,而 1990 年平均为 1.23kg,增长了 0.17 kg,10 年间平均人均增长率达 16%。

图 1-1 为 1976 年至 2000 年日本生活垃圾年产量和人均日产量。由图可知,日本垃圾年产量从 1976 年的 4063 万吨上升到 2000 年的 5236 吨,垃圾人均日产量也从 1976 年的 0.989kg 上升到 2000 年的 1.132kg,均有较大幅度的增长。



资料: 環境省『日本の廃棄物処理』(平成 15 年 1 月) 资料提供: 日本宇都宮大学 今泉繁良 教授

图 1-1 日本生活垃圾年产量和人均日产量 (1976~2000)

1.1.2 我国城市生活垃圾产量分析

随着城市人口的增加、城市规模的扩大和居民生活水平的提高,我国的城市生活垃圾产量也急剧增加。尤其是近 20 年间,我国城市数量及城市居住人口显著增加,城市规模和范围不断扩大,促使城市垃圾产量不断增长。近年来,城市垃圾的年增长速度达到 5%~8%^[2]。据统计,2001 年城市生活垃圾的清运量已经达到 7835 万吨,2002 年全国城市垃圾清运量已达 1.365 亿吨^[3],2003 年,全国生活垃圾清运量为 1.4857 亿吨,比上年增加 8.8%^[4]。预计到 2010 年和 2015 年将分别达到 1.52 亿吨和 1.779 亿吨,年增长率将达 3.28%^[5]。

图 1-2 为 1979 年至 2000 年统计的我国城市生活垃圾清运量的变化趋势。如图 1-2 所示,1979 年以来,我国城市垃圾清运量经历了一个急剧增长的阶段。至

1995 年止,城市垃圾的年均增长速度为 8.98%,由 1980 年的 3132 万吨增至 1995 年的 10748 万吨。近几年,城市垃圾清运量的增长趋势开始变缓。1999 年,全国城市垃圾清运量为 11415 万吨,与 1995 年相比,仅增长了 6%,平均每年仅增长 1.5%。城市垃圾的快速增长势头已经得到有效控制,进入了持续稳定的低增长状态。

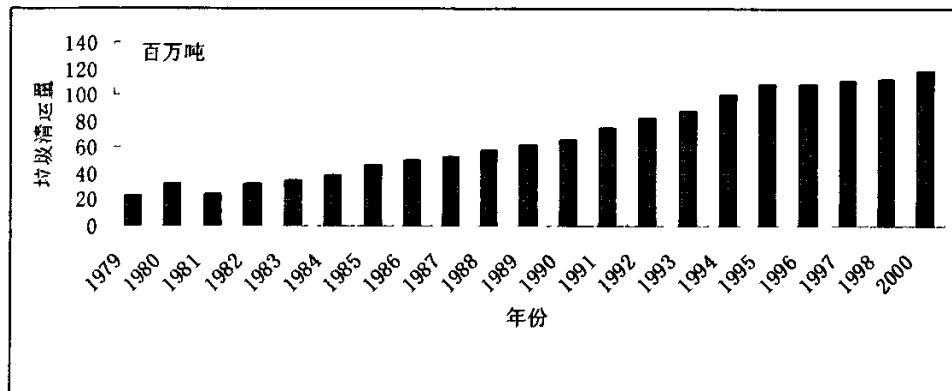


图 1-2 历年我国城市生活垃圾清运量统计^[6]

1.1.3 国内外城市生活垃圾成分分析比较

由于国内外能源结构、气候条件以及人们的生活水平和生活习惯等方面的差别,使得城市生活垃圾的组成具有很大的差异。表 1-2 列出了部分发达国家城市生活垃圾与我国部分省市生活垃圾的成分比较情况。

表 1-2 部分发达国家城市生活垃圾与我国城市生活垃圾成分比较 (%)^[7]

类型	美国	日本	德国	英国	法国	深圳市	台湾省
厨余	17	18.6	16	18	15	60	26.5
塑料、橡胶、皮革	6	12.7	4	1.5	4	14	13.6
纸类、竹木	44	46.2	31	33	34	11	26
织物	21	6.4	2	3.5	3	3.6	12.6
玻璃、金属	20	16.4	18	15	13	5	21.6
灰烬、碎石、瓦片	11	6.1	22	19	22	6.4	21.6
可燃物百分比	52	60	37	38	41	68	52
有机物含量	68	65	53	56	66	88	78.4

由表 1-2 可知,国外城市生活垃圾的特点是有机物含量高于无机物,我国的深圳、台湾等个别城市由于垃圾含水量较高也表现为此特点。但事实上,我国绝

大部分地区城市生活垃圾的特点是无机物含量高于有机物, 不可燃成分高于可燃成分。且在有机成分中, 以生物质所占比例大, 纸张较少。而无机成分中, 以灰土砖石为主, 玻璃、金属等含量低。

表 1-3 列出了北京、广州等我国主要城市的生活垃圾成分。

表 1-3 我国主要城市生活垃圾成分^[8]

城市	城市垃圾的主要成分						含水率 (%)	容重 (kg/m ³)	
	有机物		无机物		废品类				
	厨余	木屑等	煤灰	砖瓦	纸张	塑料	金属		
北京	32.60	14.10	1.92	19.54	15.10	14.60	1.96	53.90	402
广州	36.35	36.35	42.85	14.58	1.32	1.26	3.64	30	543
沈阳	34.96	34.96	51.60	6.54	2.11	1.74	3.05	44.12	640
重庆	41.61	41.61	43.31	9.37	1.59	0.74	3.48	45	600
济南	32.68	32.68	61.35	10.10	2.37	0.61	1.90	13	370
西安	38.24	38.24	50.71	4.95	3.80	1.20	1.10	29	556

由表 1-3 可知, 重庆、广州等地垃圾中的厨余所占比例较大, 究其原因, 这可能与两地发达的饮食业有关。济南和沈阳垃圾中的煤灰在无机物中所占比例较大, 北京则相对较小, 主要原因是济南和沈阳燃料结构中煤炭所占比例大。北京的燃料结构中石油和天然气比例大, 煤炭比例小。纵观全表可知, 北方城市的垃圾无机物含量较多, 垃圾热值较低; 而南方城市的垃圾, 有机物含量相对较多, 但垃圾含水量也较大。

综上所述, 我国城市生活垃圾成分特征与发达国家相比有很大差异, 主要表现在以下三方面:

(1) 发达国家垃圾主要成分以纸类或纸制品为主, 有机物含量高于无机物; 而我国城市生活垃圾中厨余占较大部分, 纸类及纸制品较少, 无机物含量高于有机物。

(2) 发达国家垃圾可燃成分含量大, 热值较高; 我国城市生活垃圾以厨余为主, 含水率达 50%以上, 可燃成分含量小, 热值较低。

(3) 由统计数据看, 发达国家垃圾中纸张、塑料、金属、玻璃等可回收利用的成分较多, 而我国城市生活垃圾中这部分可回收利用成分较少。因有一部分废旧物质由市民直接出售给收购人员, 实际值高于测定值。

随着国民经济的发展和人民生活的提高，我国城市生活垃圾成分也不断变化。变化趋势大体为：无机成分逐年减少，可燃成分和热值逐年提高，纸张、塑料、金属、玻璃等可回收利用的成分逐年增加，约占垃圾总量的 20%左右。但低热值、高水分和厨余垃圾占多数仍然是其主要特点。

1.2 城市生活垃圾处理处置技术

1.2.1 城市生活垃圾的单一处理方法

垃圾处理方法按处理工艺不同分为物理方法、化学方法及生物化学方法 3 类。就处理对象而言，又分为混合垃圾处理、单一成分垃圾处理。通常是以其处理方式不同来划分，主要有 5 种：填埋、堆肥、焚烧、热解和固化^[9-13]。

（1）填埋处理

垃圾的填埋处理分为传统填埋与卫生填埋两类。传统填埋法实际上是在自然条件下，利用坑、塘、洼地，将垃圾集中堆置在一起，不加掩盖，未进行灭菌、除臭、防污染等处理的堆填。卫生填埋法是采用工程技术措施，防止产生污染及危害环境的土地处理方法。

（2）堆肥处理

垃圾的堆肥处理是在有控制的条件下，依靠自然界广泛分布的微生物，使垃圾中有机成分分解，转化为腐植土状的有机肥或土壤改良剂。这种使源于生物的有机废物发生生物稳定作用的过程实质是生化过程。堆肥过程不同于卫生填埋废物的自然腐化与腐烂，是堆肥需在人工控制下进行。城市生活垃圾进行堆肥处理，将其中的有机可腐物转化为土壤可接受且迫切需要的有机营养土或腐殖质。这种腐殖质与粘土结合就形成粘土腐殖质营养体。不仅能解决城市生活垃圾的出路、环境污染问题，同时也为农业生产提供了适用的腐殖土，从而维持了自然界的良性物质循环。因此，利用堆肥技术处理城市生活垃圾受到世界各国的重视。垃圾堆肥处置按需氧程度分为厌氧堆肥与好氧堆肥；按温度范围分为中温堆肥与高温堆肥；按技术条件又分为露天堆肥（长堆）与封闭机械装置堆肥。

（3）焚烧处理

垃圾的焚烧处理是一种城市生活垃圾的高温热处理工艺，一般是指将垃圾作

为固体燃料送入垃圾焚烧炉中，在800℃~1000℃的焚烧炉炉膛内，垃圾中的可燃成分与空气中的氧进行剧烈的化学反应放出热量，转化成高温的燃烧气和量少而性质稳定的固定残渣。在此过程中垃圾的体积得以缩减，其易腐的性质得到改变，燃烧气可以作为热能回收利用，性质稳定的残渣可直接填埋。

垃圾焚烧要具有一定的条件。垃圾要有一定的发热值，当垃圾低位发热值<3344kJ/kg时，焚烧需掺煤或投油助燃，垃圾低位发热值>5000kJ/kg时，则燃烧效果较好。城市生活垃圾低位发热值一般在3344~8350kJ/kg范围内，垃圾中含水率<50%，因此已具备焚烧的条件。经抽样测定：焚烧1t可燃垃圾(干品RDF)可回收产生(5~8.5)×106kJ热值。进行二次能源转化为蒸汽，效率将达85%，但转变成电能大约为30%。燃烧处理后的垃圾体积将缩小90%，杀菌消毒极易处理。采用焚烧工艺处理垃圾能以最快的速度实现无害化、稳定化、资源化和减量化的最终目标。一般当垃圾热值高于4000N/kg，同时土地资源有限时，应优先采用焚烧法处理；该种处理方法在工业发达国家中被广泛应用。

(4) 热解处理

热解又叫干馏、热分解或炭化，热解法是利用垃圾中有机物的热不稳定性在隔绝空气条件下对垃圾进行加热，使其中的有机物产生热裂解的一种方法。在固体废弃物处理中，除间接加热隔氧热分解外，有时需在热解反应器中，通入部分空气或蒸汽等气化剂，使固体废物发生部分燃烧，以提供整个热解过程所需热量，同时改变产物比例，提高可燃气产率。由于热解法有利于资源的回收，有关该方法的研究和应用得到了迅速发展。

(5) 固化处理

固化处理是把水泥、沥青、塑料、石膏、水玻璃等凝结剂同固体废弃物加以混合进行固化，或是在城市垃圾中加入硅酸钠、粘土之类的添加剂一起烧结固化(玻璃化)，使得城市垃圾中所含的有害物质封闭在固化体内不易浸出，从而达到稳定化、无害化的目的。

1.2.2 各种城市生活垃圾处理技术比较

(1) 填埋处理

填埋法因其建设投资少、处理垃圾量大、土地可得到恢复利用等特点，且作

为生活垃圾的最终处置方式，目前仍然是中国乃至世界上大多数城市解决生活垃圾问题的主要方式。该方式实施中遇到的问题主要是防渗和解决填埋气污染，使垃圾填埋场的建设符合卫生规范，从而使对环境的污染降至最低。当前仍存在一些问题：①可燃物得不到利用；②渗出液处理难度大或处理成本很高；③占用大量土地。

（2）焚烧处理

焚烧与填埋相比，具有占地小、场地选择易、处理时间短、减量化显著（减重一般达 75%，减容一般达 90%）、无害化较彻底，以及可回收垃圾余热等优点，近 20 年来得到了广泛的应用。在我国，继深圳建成第一座垃圾焚烧场以来，目前，北海、厦门、广州、上海、北京、太原等城市也都在建设或计划建设垃圾焚烧厂。但是该处理方式也存在以下问题：①一次性投资较高；②焚烧尾气的二次污染处理工艺复杂、操作和控制的技术要求高。

（3）堆肥处理

堆肥是对垃圾中可生物降解的有机物进行处理和利用的有效方式。目前我国生活垃圾采用堆肥处理方式遇到的问题主要是：①进场垃圾的成分难以控制；②垃圾堆肥产品的销路不畅。其根本原因在于我国垃圾的源头分类工作做得较差。

（4）热解处理

控制适当的操作条件，热解能迅速达到减容减量，并有效地控制二恶英污染；但由于其首期投资大且以分类收集、垃圾的热值较高为前提，限制了它的应用和推广。

（5）固化处理

固化工艺简单，首批投资费用较低，能有效地封闭垃圾中的有害物质，可以用来处理各种城市垃圾；但其减量效果差，且对有毒垃圾的处理工艺较复杂，成本高。

对于组成成分复杂的生活垃圾，单一处理方式均有其局限性，或仅对特定类型的垃圾才有效。焚烧法比较适用于经济较发达、垃圾热值较高、土地较少的地区；垃圾堆肥比较适用于垃圾成分中有机质含量较高的地区；卫生填埋是垃圾的最终处理方法，是垃圾处理方案中必不可少的一环，它主要适用于处置无机物含量高的垃圾。

1.2.3 城市生活垃圾的综合处理技术

所谓综合处理，就是将堆肥、焚烧、填埋三种方法有机结合、综合成一体的垃圾处理方式^[14]。该方式的基本思路是：先将垃圾进行初步筛分，去除其中的灰分或不可堆肥的无机质用做填埋或生产建材；然后对筛上物进行严格的分拣，回收可循环利用的物质，有机质运至发酵仓进行高温堆肥，可燃物运去焚烧，焚烧所产生的热量用于堆肥的烘干和复合肥的造粒。实现这种思路的措施就是建造垃圾综合处理厂。

垃圾综合处理是集中了填埋、焚烧和堆肥的优点的一种生活垃圾处理方式，它解决了各单一处理的缺点。比如，采用综合处理与单纯填埋处理方式相比，可腐有机物与可燃有机物得到了利用，使填埋物的量大大减小，这就解决了填埋方式中资源回收利用差，占用大量土地的缺点；与单纯焚烧处理方式相比，综合处理由于焚烧量减少使得焚烧方便，二次污染少，焚烧设备寿命长；与单纯堆肥处理方式相比，采用综合处理后堆肥的垃圾成分得到了合理控制，使肥质有了良好的保证。所以其社会效益、环境效益大大高于单一处理方式。从经济效益来看，综合处理的建厂投资少，运转费用低，生产肥料的赢利可维持整个处理厂的运转，在肥料销售好的情况下还略有赢利，同时其焚烧炉寿命延长。

任何一种垃圾处理技术都有各自的优势和局限性，都只是针对生活垃圾中某些组份，而并非全部垃圾，单靠一种处理技术难以满足数量日益增多，成份日益复杂的城市生活垃圾的处理要求。生活垃圾组成不稳定，变化大，单种的垃圾处理技术抗冲击力小，所以生活垃圾的处理发展方向为多元化垃圾综合处理系统，针对不同的垃圾采用相应的处理方式。所谓综合处理系统就是卫生填埋、焚烧、堆肥等多种垃圾处理系统的有机结合，因地制宜，充分发挥各种垃圾处理系统的优点，扬长避短，从而真正实现生活垃圾的无害化、减量化和资源化。

1.3 国外城市生活垃圾处理处置的发展动向

在发达国家，城市生活垃圾处理及资源化技术经过几十年的发展和完善，已经比较成熟。城市生活垃圾处理和资源化已经成为具有良性循环机制的产业。由于城市垃圾成份复杂，各国经济发展水平不同，技术水平不一，以及受人口与土

地矛盾、能源结构、地理环境、自然条件及传统习惯等因素的影响，所以国外对城市生活垃圾的处理一般是随国情而不同，往往一个国家中各地区也采用不同的处理方式，很难有统一的模式，但最终都是以无害化、资源化、减量化为处理目标。但从总体上看，尽管从上世纪 60 年代以来对城市生活垃圾的处理发展了十几种处理方法，但处理的主要方法不外乎如下三种：填埋、堆肥和焚烧。表 1-4 统计了上世纪 90 年代世界各国城市生活垃圾处理方法所占的比重。

表 1-4 世界各国城市生活垃圾处理方法统计^[15]

国家	年份 (年)	产生量 (百万吨)	填埋 (%)	焚烧 (%)	堆肥 (%)	其它 (%)
比利时	1993	3.58	49	35	0	16
德国	1990	33.8	68.9	15.5	3.1	12.5
法国	1993	20	50	40	0	10
澳大利亚	1993	2.9	48	24	8	20
丹麦	1993	1.8	16	71	0	13
芬兰	1990	1.3	65	4	15	16
英国	1991	20	83	13	0	4
意大利	1990	20	90	6	0	4
卢森堡	1990	0.17	30	69	1	0
荷兰	1992	7.46	52	27	8	13
挪威	1990	2.2	76	16	0	8
葡萄牙	1993	3.4	90	0	10	0
瑞典	1988	2.7	38	55	7	0
瑞士	1993	2.8	11	76	13	0
西班牙	1990	12.5	75	5	20	0
日本	1991	49.7	22.5	72.8	1.6	3.1
加拿大	1990	17.6	82	8	0	10

从表 1-4 可以看出，世界各国平均焚烧率为 31.6%，堆肥 5.1%，填埋 55.7%，其他 7.6%。由于各国国情不同，各种处理方法所占比例差别较大，日本、瑞士、丹麦等国，由于土地面积少，焚烧率达 70% 以上，填埋率较低，在 25% 以下；而英国、加拿大等国，虽然经济发达，但考虑其他因素，焚烧率较低，小于 15%。其他国家焚烧率一般在 20%~30%，堆肥率 10%，填埋率 50%~70%。

表 1-5 列出了美国 1989 年至 1998 年全国垃圾总产量及回收（包括庭院垃圾

堆肥)、焚烧和填埋比例的变化趋势。

表 1-5 美国 1989 年~1998 年全国垃圾产量及回收率、焚烧率和填埋率^[16]

年 度	垃圾总产量 (万吨)	回收率(包括庭 院垃圾堆肥)%	焚烧率%	填埋率%
1989	25000	—	—	—
1990	26900	8	8	84
1991	29361.3	11.5	11.5	77
1992	28067.5	14	19	76
1993	29174.2	17	11	72
1994	30686.6	19	10	71
1995	32287.9	23	10	67
1996	32670.9	27	10	63
1997	32446	28	10	62
1998	34046.6	30	9	61

由表 1-5 可以看出, 从 1989 年到 1998 年, 全美垃圾产量增加了约 9000 万吨, 回收率(包括庭院垃圾堆肥)增长了 22%, 焚烧率基本处于稳定状态, 由于回收率的增加, 填埋率减少了 23%。

但是, 从世界各国的生活垃圾处理状况分析, 无论是发达国家, 还是发展中国家, 生活垃圾的无害化处理率都在不断增长, 且都在围绕减量化、资源化、无害化的治理目标实施与展开, 尤其是采取有效措施促进生活垃圾资源的开发利用, 已经受到世界各国的普遍重视。因而, 不仅实现生活垃圾无害化处理已经成为世界各国的共识, 而且实现生活垃圾资源化也已成为世界各国拉动国民经济增长的重要举措之一, 生活垃圾的回收利用率明显呈逐年上升的趋势。

1.4 我国城市生活垃圾处理处置现状

我国城市生活垃圾处理处置工作自七五期间起步以来取得了极大的发展。长期以来处于低水平徘徊的无害化处理率, 从 90 年代起迅速增长。据统计, 2000 年度全国 30 个省、自治区、直辖市(西藏和台、港、澳地区未统计)的城市生活垃圾清运量达 1.18 亿吨, 垃圾处理量为 0.49 亿吨, 处理率为 41.5%。全国共有城市生活垃圾处理设施 345 个(西藏和台、港、澳地区未统计), 其中垃圾填埋

场 298 个，占 86.4%；堆肥厂 24 个，占 6.9%；各类垃圾焚烧厂 23 个，占 6.7%。全国城市生活垃圾处理设施的总处理规模为 135325 吨/天，约为 0.49 亿吨/年，其中，垃圾填埋场处理规模为 121488 吨/天，占 89.8%；堆肥厂处理规模为 6187 吨/天，占 4.6%；各类垃圾焚烧厂处理规模为 7650 吨/天，占 5.6%。全国城市生活垃圾处理设施的总投资为 723629.31 万元，其中，垃圾填埋场处理设施的总投资为 501446.61 万元，占 69.3%；堆肥厂的总投资为 50141.7 万元，占 6.9%；各类垃圾焚烧厂的总投资为 172041 万元，占 23.8%^[17]。

1.4.1 我国城市生活垃圾的卫生填埋处理

我国的卫生填埋历史不到 20 年。长期以来采用随意堆放，任其自然分解，使得问题越来越多，主要表现在：①生活垃圾中的有机物、病原性微生物、重金属三位一体的污染源，严重污染水环境；②城市生活垃圾在堆放场或填埋场中产生的大量沼气，具有易燃和易爆性，既对周围的大气环境造成污染，也成为爆炸和火灾的隐患；③城市生活垃圾产生量的迅猛增加以及没有很好的利用压实技术，使得一些垃圾填埋厂未到设计使用年限就已填满，加之用于填埋的土地越来越少，使得填埋技术的使用受到越来越多的限制。

1.4.2 我国城市生活垃圾的堆肥处理

在我国，初期的垃圾堆肥处理技术是将垃圾露天堆积，表面用土壤覆盖，在厌氧或自然通风的条件下进行发酵，得到的产品简单筛分后作为农用肥。改革后，虽然我国在上海、杭州、无锡、天津、重庆等地陆续建成一批城市生活垃圾的机械化连续堆肥设施，取得了较好的处理效果。但由于我国城市生活垃圾未分类，玻璃、塑料等杂质多，造成堆肥效率低，成本高等缺点，加之堆肥产品销售不畅，使得堆肥厂的建设工作不易进一步扩展。

1.4.3 我国城市生活垃圾的焚烧处理

我国在生活垃圾焚烧技术的研究方面，起步比较晚，在“八五”期间才被列为国家科技攻关项目，目前仅有深圳、广州、上海等极少数城市采用。当前制约我国垃圾焚烧技术进一步推广的因素主要有：城市生活垃圾中灰渣含量较高，造

成垃圾的低位热值较低（不大于3344kJ/kg）；焚烧技术成本高，并且国内尚未系统掌握垃圾焚烧技术。

尽管如此，由于焚烧法具有减容减量效果好，无害化程度高的特点，将成为我国高效能源化利用处理城市生活垃圾主要方式。随着我国经济的不断发展，有利于垃圾焚烧应用和推广的各种因素也日趋成熟。近年来我国城市生活垃圾中有机可燃组分比例不断增加，垃圾（或经简单处理后的垃圾）的低位发热量基本满足了不添加外来燃料能自行维持燃烧的要求，如深圳市垃圾低位发热量据检测最高可达7200 kJ/kg；北京、上海、广州以及沿海一些大中城市垃圾热值已达4500 kJ/kg 以上；内地一些中等城市垃圾热值也在4000 kJ/kg 以上；一些小城市的垃圾经筛选等简单预处理后热值也可达到4000 kJ/kg^[18]。我国大多数城市土地资源相对缺乏，迫切需求一种减容减量程度高，无害化效果好的垃圾处理技术。如今，北京、上海、广州、厦门、北海、沈阳等地正引进国外先进技术和设备建设大型垃圾焚烧厂，一些中小城市也逐渐将投建垃圾焚烧厂列入议事日程。

我国城市生活垃圾产量正在以每年 8%~10%的速度递增，人均生活垃圾日产量已超过 1.0kg，接近工业发达国家水平。成分在具有无机物多、可燃组分少、热值低、含水率高、厨余垃圾含量高等特点，与发达国家有较大差异。我国目前的城市生活垃圾处理处置技术最常用的是卫生填埋，其次是堆肥，焚烧所占比例甚微。近 20 年来，许多国家都在寻求城市生活垃圾处理处置的有效途径。我国的垃圾问题与其他国家相比既有共性又有个性。研究城市生活垃圾处置对策，一定要根据我国具体国情和城市生活垃圾的特点，在吸取发达国家经验的同时，积极寻求适合中国特点的城市生活垃圾处置对策，并逐步形成有中国特色的垃圾治理模式。

1.5 课题研究内容

本课题的研究内容主要包括六个方面：即生活垃圾产量与成分、分类收集、运输中转、处理处置、堆场整治和固体废弃物管理。

（1）上海城市生活垃圾产量、成分分析与预测研究

在已有资料的基础上，对上海市各区域的生活垃圾产量、成分进一步进行详

细调查,分析总结出生活垃圾产量、成分与人口规模、人均GDP、人均消费率之间的关系,然后在规划期间内根据上海市各区域不同发展状况,分别采用多元线性回归法和类比分析法对各区域的生活垃圾产量和成分进行预测。

(2) 上海城市生活垃圾分类收集系统研究

调查汇总1996年上海开始实行生活垃圾分类收集政策以来的垃圾分类收集情况、各区县生活垃圾分类方法和收集形式,并根据现有上海城市生活垃圾的分类方法和收集形式,提出上海城市生活垃圾分类收集系统的设想。

(3) 上海城市生活垃圾运输中转模式和物流系统方案研究

调查生活垃圾运输中转现状,包括运输工具和中转站运行情况。从技术、经济、社会环境效益等方面对各种类型的生活垃圾中转站进行综合评价,得出上海城市生活垃圾中转站适宜采用的类型。采用聚类分析方法设计上海城市生活垃圾收运模式,并制订相应的生活垃圾物流系统方案。

(4) 上海城市生活垃圾处理处置现状评价及对策研究

调查上海各区域现有的生活垃圾处置设施运行现状及存在问题,分析上海城市生活垃圾处理缺口量。参考国内外生活垃圾的处理情况,分别从技术可靠性、环境协调性和经济适用性三个方面对卫生填埋、堆肥、焚烧三种处置方法进行综合评价,并运用层次分析法,提出上海城市生活垃圾处置系统构想及处理设施远期规划。

(5) 上海城市生活垃圾堆场整治方案研究

调查上海市固体废弃物堆放场地的基础数据,借鉴国外垃圾填埋场整治成功经验,根据占地面积、适用时间和地理位置等,分别为苏州河沿岸堆场、宝山顾村堆场、三林塘堆场和老港填埋场一、二、三期工程确定各自适宜的整治方案。

(6) 上海城市生活垃圾管理研究

调查国外城市生活垃圾管理状况,找出现行上海市城市生活垃圾管理制度的特点和存在的问题,从更新管理理念、完善管理法规、改革管理体制、推进综合决策四个方面,探索全新上海城市生活垃圾管理模式。

2 上海城市生活垃圾产量、成分分析与预测研究

上海市现有 18 个区、1 个县，全市面积 6340.5 平方公里。2004 年上海市常住人口为 1742 万人，流动人口约 600 万人。2004 年全市实现国内生产总值 7450.27 亿元，人均国内生产总值达 4.28 万元。但在国民经济和城市建设持续发展的同时，上海市生活垃圾产量也呈快速增长的态势。2003 年上海市区日均生活垃圾产量已超过 16000 吨，这些源源不断、大量产生的生活垃圾，已经成为一个困扰城市发展、污染市容环境、影响市民生活的社会问题。

城市生活垃圾的产量和成分，是开展城市建设管理和宝贵基础资料，是建设城市生活垃圾处理工程的重要设计依据。因此，开展城市生活垃圾产量、成分分析与预测研究，具有重要的现实意义。

2.1 上海城市生活垃圾产量计量方式

上海城市生活垃圾产量目前共有 3 种不同的统计方法，分别为车吨位、船吨位和实吨位^[19]。车吨位指按生活垃圾运输车辆的额定装载重量进行统计的生活垃圾产量；船吨位指按生活垃圾运输船舶的额定装载重量进行统计的生活垃圾产量；实吨位指通过标准计量装置实际称重或通过统计数据与车吨位或船吨位换算得出的生活垃圾产量。目前上海市环卫系统统计资料中的市区生活垃圾产量一般均为车吨位。

实吨位与车吨位的换算系数（即装载系数），根据上海市环境工程设计研究院的实测资料和分析计算，自 80 年代中期至 90 年代初期为 0.65~0.75，由于生活垃圾容重减小以及大吨位生活垃圾运输车辆增加，从 1994 年起这一系数下降为 0.48~0.63^[20]。但自 1998 年起，由于后装式压缩车和拉臂式压缩车在上海市区的逐步推行，生活垃圾产量的装载系数又有所上升。本文中提到的上海市生活垃圾产量若未特别说明，则均表示日常统计的车吨位。

2.2 上海城市生活垃圾处置区域划分

为了便于统计和计算,本文按各区县地理位置和特点,把全市19个区县划分为中心区、浦东新区、近郊区和远郊区四个处置区域,具体划分情况见表2-1。

表2-1 上海城市生活垃圾处置区域划分

区域	区县
中心区	黄浦、静安、普陀、闸北、杨浦、长宁、徐汇、卢湾、虹口
浦东新区	浦东
近郊区	宝山、嘉定、闵行
远郊区	崇明、青浦、松江、金山、奉贤、南汇

2.3 上海生活垃圾产量现状统计

随着上海市面积的扩大,国民经济的发展,人口数量的增加以及生活水平的提高,上海市区生活垃圾的产量也呈逐年递增。近几年上海市各区县生活垃圾产量统计值见表2-2。

表2-2 1997~2002年上海市各区县生活垃圾产量统计(单位:t/d)

区域	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年
黄浦区	424	453	532	1183	1114	539
南市区	624	647	693	—	—	—
静安区	451	474	523	508	519	355
普陀区	949	1127	1307	1570	1640	1284
中 闸北区	810	870	997	1130	1074	676
心 杨浦区	1459	1565	1578	1646	1695	1113
区 长宁区	797	836	1041	1224	1234	758
徐汇区	1850	2033	2055	1642	1701	961
卢湾区	435	491	441	438	389	295
虹口区	1152	1172	1310	1249	1239	745
小 计	8951	11268	10477	10590	10605	6726
浦东新区	2053	1600	1540	1705	1676	1379
近 宝山区	937	988	937	1100	1145	1113
郊 嘉定区	—	—	—	491	402	834
区 闵行区	430	518	622	711	867	883

小计	1367	1506	1559	2302	2414	2830
合计1	8041	8303	8824	9488	9552	9945
金山区	—	—	—	727	687	466
松江区	—	—	—	368	534	724
远郊	南汇区	—	—	459	223	435
区	奉贤区	—	—	596	430	506
青浦区	—	—	—	368	669	655
崇明县	—	—	—	184	150	143
小计	—	—	—	2702	2693	2929
合计2	12371	12774	13576	17299	17388	—
合计3	8041	8303	8824	11244	11302	11848

注: a. 数据摘自历年环卫统计资料,统计量未包括水域垃圾、大件垃圾和餐厨垃圾;
 b. 2000年以前,部分郊区未纳入统计范围;2000年以后,南市区并入黄浦区;
 c. 各区数据中,2002年中心区和浦东新区为实吨位,其余全为车吨位;
 d. 合计1为上海市中心区、浦东新区和近郊区垃圾量实吨位之和,合计2为统计资料中上海市各区县垃圾量直接相加所得,合计3为上海市各区县垃圾量中的实吨位之和;
 e. 垃圾量车吨位与实吨位的装载系数按0.65折算。

与表2-2相对应的1997~2002年上海市各区县人口数量统计值见表2-3。

表2-3 1997~2002年上海市各区县人口数量统计(单位:万人)

区域	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年
黄浦区	25.75	24.91	24.36	66.18	64.92	63.22
南市区	45.83	44.69	44.29	—	—	—
静安区	38.08	37.31	37.10	35.80	34.92	33.24
普陀区	83.49	83.45	83.94	84.27	84.11	84.36
中心城区	67.45	68.65	70.13	70.84	70.80	70.76
杨浦区	107.75	108.03	108.15	107.95	107.89	107.62
长宁区	61.13	61.07	61.11	60.49	60.69	61.09
徐汇区	83.80	84.79	86.03	86.77	87.53	88.45
卢湾区	37.58	36.80	36.52	35.59	34.63	33.38
虹口区	80.80	79.97	80.51	80.36	79.98	79.72
小计	631.66	629.67	632.14	628.25	625.47	621.84
浦东新区	153.40	156.18	160.08	165.14	168.60	172.82
近郊	宝山区	74.09	75.30	77.66	80.95	82.96
嘉定区	47.57	47.41	47.55	48.64	49.78	50.52

区	闵行区	57.36	59.34	61.75	65.40	67.68	71.64
	小计	179.02	182.05	186.96	194.99	200.42	206.38
区	金山区	54.51	53.69	53.27	53.01	52.91	52.87
郊	松江区	49.19	49.03	49.28	49.55	49.79	50.32
区	南汇区	69.82	69.49	69.11	69.03	69.05	69.35
郊	奉贤区	51.70	51.44	50.46	50.42	50.50	50.69
区	青浦区	45.61	51.44	50.46	45.89	45.68	45.95
	崇明县	70.55	69.46	66.33	65.37	64.72	64.01
	小计	341.38	344.55	338.91	333.27	332.65	333.19
	合计	1305.46	1312.45	1318.09	1321.65	1327.14	1334.23

注：表中数据摘自上海市历年统计年鉴。

从表 2-2 和表 2-3 中的统计结果可以看出，在 1997~2002 年期间，上海市生活垃圾产量的年平均增长率超过 8%，2002 年的生活垃圾产量比 1997 年增长了 40% 以上。2002 年，上海市生活垃圾的人均日产量约为 0.89 kg/ (人·d)，相比 1997 年的 0.62 kg/ (人·d)，每人每天增长了 0.27 kg 生生活垃圾的产生。

2.4 上海城市生活垃圾产量增长预测

预测城市生活垃圾产量的方法有数理统计、物流平衡、灰色理论等模式^[21-22]，也可以用一元线性回归法预测^[24]。本文采用多元线性回归法^[25]对上海城市生活垃圾产量进行预测。

影响生活垃圾产量的因素很多，主要有 3 类：一是内在因素，主要是指直接导致垃圾产量和成分的变化因素；二是社会因素，主要是指社会行为准则、社会道德规范、法律规章制度等，是一种外部的、间接的因素；三是个体因素，主要是指垃圾产生的主体——人类本身个体的行为习惯和受教育程度等^[26-27]。对生活垃圾产量及成分预测，就是要综合以上 3 种因素，通过这些因素的变化情况，分析生活垃圾产量的变化趋势，由此得出预测值。

要建立一个包含内在因素、社会因素和个体因素的综合模型对垃圾产量进行预测，难度很大，本文仅考虑影响垃圾产量的内在因素，选取多元线性回归分析法进行预测。

2.4.1 影响因素分析

影响生活垃圾产量变化的内在因素中，主要有人口数量、居民生活水平、城市经济发展水平等。人口数量是一个简单明了的数量指标，而居民生活水平和城市经济发展水平却可以通过诸多指标反映。通过对这些因素的分析，以及上海市历年统计资料，初步选择反映城市经济发展水平的指标为：国内生产总值、工业总产值、社会商品零售总额，反映居民生活水平的指标为：城市居民人均消费支出和家用煤气量。这样初步得到了影响生活垃圾产量变化的 7 个因素。表 2-4 列出了上海市 1997~2002 年历年生活垃圾清运量与影响因素。表 2-4 列出的影响因素，其作用并非均等，表 2-5 列出了各影响因素与垃圾产量的线性相关系数。从表 2-5 看出，除旅游人口外，垃圾产量与各影响因素之间都有较好的线性相关性，相关系数都在 0.85 以上，因此可以采用多元线性回归法分析。

表 2-4 上海市 1995~2002 年生活垃圾产量与影响因素

年份	生活垃圾	旅游	国内生	工业总	社会商品	城市居民家	生活用
	清运量						
	吨/天	万人	万人次	亿元		元	亿立方米
1997	8041	1305.46	165.35	3360.21	5649.93	1325.21	6820
1998	8303	1306.58	152.71	3688.20	5919.35	1471.03	6866
1999	8824	1313.12	165.68	4034.96	6213.24	1590.38	8248
2000	11244	1321.63	181.4	4551.15	6968.18	1722.27	8868
2001	11302	1327.14	204.26	4950.84	7656.96	1861.30	9336
2002	11848	1334.23	272.53	5408.76	8476.05	2035.21	10464
							17.50

表 2-5 生活垃圾产量与各影响因素的线性相关系数

类别	总人口	旅游	国内生	工业总	社会商品	城市居民家	生活用
		人口	产总值	产值	零售总额	庭消费支出	煤气量
线性相关系数	0.9438	0.7303	0.9489	0.904	0.9219	0.9261	0.8622

2.4.2 预测结果

用表 2-4 和表 2-5 的数据，应用多元回归分析方法，通过 matlab 软件建立多元线性回归模型如下：

$$y = -238880.8171 + 204.5720x_1 + 3.4599x_2 - 2.2288x_3 + 3.2937x_4 + 0.4106x_5 - 1887.9995x_6$$

其中: y ——上海市生活垃圾产量预测值, 吨/天;

x_1 ——总人口, 万人;

x_2 ——国内生产总值, 亿元;

x_3 ——工业总产值, 亿元;

x_4 ——社会商品零售总额, 亿元;

x_5 ——城市居民家庭消费支出, 元;

x_6 ——生活用煤气量, 亿立方米。

用回归模型对 2006~2010 年上海城市生活垃圾产量进行预测, 结果见表 2-6。

表 2-6 2006~2010 年上海生活垃圾预测结果

类别		2006	2007	2008	2009	2010
预测用资料	总人口/万人	1349.87	1354.62	1359.36	1364.11	1368.86
	国内生产总值/亿元	7024.72	7438.84	7852.96	8267.08	8681.20
	工业总产值/亿元	9879.56	10341.32	10803.08	11264.84	11726.60
	社会商品零售总额/亿元	2607.18	2753.21	2899.24	3045.27	3191.30
	城市居民家庭消费支出/元	12594	13220	13846	14472	15098
预测结果	生活用煤气量/亿立方米	20.44	21.18	21.93	22.67	23.41
	垃圾清运量/吨/天	14711	15425.04	16139.09	16853.14	17567.19
	人均日产重/kg	1.09	1.14	1.19	1.24	1.28
	增长率/%	5.10	4.85	4.63	4.42	4.24

由表 2-6 可知, 2006~2010 年上海市生活垃圾产量持续增长, 但增长幅度逐步降低, 垃圾人均日产重平均值为 1.16kg。

2.5 上海城市生活垃圾成分和含水率分析

根据调查资料, 2003 年上海市生活垃圾成分如图 2-1 所示, 2002 年上海各区域生活垃圾组成成分见表 2-7, 表 2-8 为 1990~2000 年上海市中心区生活垃圾组成成分, 图 2-2 显示了上海市中心区 1990~2000 年生活垃圾组成成分的变化趋势, 表 2-9 和表 2-10 是长宁区 1994 年~2001 年的生活垃圾组成成分监测数据

及 2001 年各月的生活垃圾组成成分监测数据, 2002 年上海市生活垃圾含水率见表 2-11。

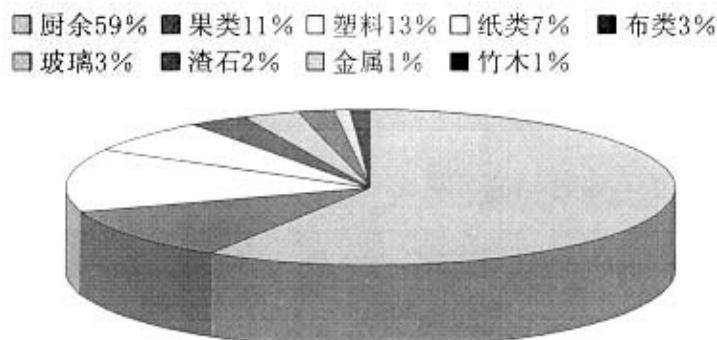


图 2-1 2003 年上海市生活垃圾成分 (单位: 湿重%)^[28]

表 2-7 2002 年上海市各区域垃圾组成成分 (单位: 湿重%)

区域名	纸类	塑料	竹木	布类	厨余	果类	金属	玻璃	渣石
中心区	9.11	13.17	1.26	2.91	53.67	14.50	0.86	3.33	1.12
浦东新区	3.98	8.85	1.87	2.31	75.38	2.91	1.06	1.30	2.34
近郊区	5.74	15.96	0.76	2.09	60.39	8.65	0.79	2.50	2.84
远郊区	3.68	9.97	0.83	2.21	72.87	5.12	0.38	3.35	1.30
全市平均	7.12	12.59	1.18	2.60	60.33	10.74	0.67	2.97	1.56

注: (1) 中心区采样点是长宁区, 近郊区采样点是闵行区和嘉定区, 远郊区采样点是金山区和崇明县;
(2) 全市平均按各区域垃圾量进行加权。

表 2-8 1990~2000 年上海市中心区垃圾组分 (单位: 湿重%)^[29-30]

年份	厨余	果类	塑料	纸类	布类	竹木	玻璃	渣石	金属
1990	71.89	10.83	3.98	4.01	1.18	1.56	3.74	1.93	0.88
1991	70.05	12.04	4.19	4.23	1.14	1.44	3.74	2.19	0.95
1992	62.39	16.75	5.78	6.24	1.65	1.33	3.53	1.51	0.81
1993	61.09	11.84	7.58	8.36	1.97	1.89	4.74	1.86	0.72
1994	59.45	13.87	9.24	7.49	2.13	1.37	4	1.89	0.56
1995	59.66	11.99	11.21	6.5	2.17	1.47	3.81	2.29	0.91
1996	58.55	11.75	11.84	6.68	2.26	1.96	4.06	2.23	0.68
1997	58.06	12.03	11.78	8.05	2.24	1.44	4.01	1.82	0.58
1998	53.23	14.1	13.48	8.77	1.9	1.27	5.15	1.37	0.73
1999	53.22	11.99	14.46	9.23	2.21	1.18	5.36	1.51	0.84
2000	54.66	12.84	13.93	8.02	2.81	1.43	4.15	1.26	0.85

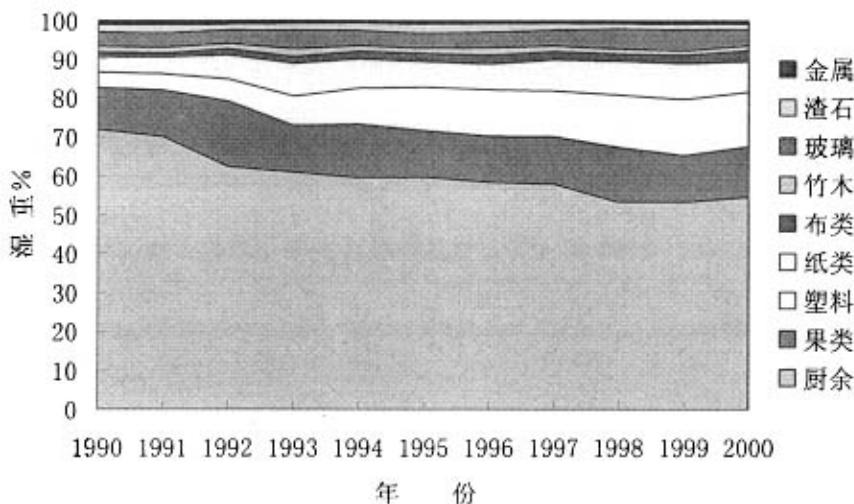


图 2-2 上海市中心区 1990~2000 年生活垃圾组成变化图

表 2-9 1994 年~2001 年长宁区垃圾组分表（单位：湿重%）

年份	纸类	塑料	竹木	纤维	厨余	果类	金属	玻璃	渣石
1994	7.49	9.16	1.37	2.13	59.45	13.87	0.56	4.00	1.89
1995	6.50	11.21	1.47	2.17	59.66	11.99	0.91	3.81	0.90
1996	6.68	11.84	1.96	2.26	58.55	11.75	0.68	4.06	2.23
1997	8.05	11.78	1.44	2.24	58.06	12.03	0.58	4.01	1.82
1998	8.77	13.48	1.27	1.90	53.23	14.10	0.73	5.15	1.37
1999	9.23	14.46	1.18	2.21	53.22	11.99	0.84	5.36	1.51
2000	8.02	13.93	1.43	2.87	54.66	12.84	0.85	4.14	1.26
2001	8.20	12.10	1.26	2.38	55.47	14.49	0.61	4.03	1.47

表 2-10 2002 年长宁区垃圾组分表（单位：湿重%）

月份	纸类	塑料	竹木	布类	厨余	果类	金属	玻璃	渣石
1月	11.80	13.60	2.13	4.13	49.99	11.91	1.38	4.17	0.90
2月	11.04	14.54	0.30	1.70	53.54	11.72	1.15	4.64	1.37
3月	10.71	14.77	0.74	3.00	55.80	9.41	0.68	3.09	1.47
4月	7.80	10.70	1.08	1.93	63.10	9.81	0.43	3.81	1.01
5月	7.44	11.02	1.69	1.69	61.90	12.74	0.75	1.65	1.11
6月	7.35	11.31	1.15	3.72	49.26	20.80	0.66	4.31	1.50
7月	6.95	13.17	0.63	2.65	42.85	28.40	1.10	2.57	1.55
8月	8.53	13.25	1.07	2.35	46.29	25.34	0.68	2.16	0.33

9月	9.82	13.15	1.16	2.40	55.82	13.53	0.67	3.17	0.29
10月	9.05	12.75	1.11	6.03	54.72	10.28	1.24	3.93	0.88
11月	8.74	14.84	3.00	2.49	54.41	10.53	0.98	3.18	1.83
12月	10.12	14.97	1.06	2.86	56.37	9.56	0.61	3.25	1.22
年平均	9.11	13.17	1.26	2.91	53.67	14.50	0.86	3.33	1.12

表 2-11 2002 年上海市生活垃圾含水率(单位: %) ^[31]

月份	生活小区	转运站	转运码头
1	54.56	54.13	49.61
2	53.40	55.11	50.37
3	58.97	78.5	62.64
4	60.53	—	60.22
5	67.76	54.98	62.45
6	66.13	62.12	54.20
7	66.94	64.52	60.88
8	68.20	60.13	64.49
9	51.99	44.61	53.38
10	60.51	53.11	46.48
11	54.54	—	54.44
12	59.05	59.28	51.27
平均	60.22	58.65	55.87

从总体上看, 上海城市生活垃圾的成分组成特性是:

(1) 易腐有机垃圾(主要是厨余和果类)占的比重较大, 2002 年达 71.07%, 纸类、竹木、金属、塑料、玻璃、渣石和织物等相对经济价值较高可回收利用的成分占 28.93%;

(2) 从长宁区近年来的垃圾组成变化可以看出, 由于近年来净菜上市量逐年增加, 使垃圾中厨余和果类的比重呈逐年下降趋势, 而物品的层层包装和塑料制品的大量使用, 导致垃圾中废纸和废塑料的比重明显增长, 玻璃、竹木、金属、纤维等其它成分则变化不大;

(3) 近年来, 垃圾中可燃成分增加, 垃圾的热值有所提高。其中, 塑料含量增长最快, 由 1990 年的 9.16% 增长到 2000 年的 12.10%; 其次为纸类, 由 1990 年 7.49% 增长到 2000 年的 8.20%, 垃圾回收利用的价值提高。因一部分废旧物

品由市民直接出售给收购人员，实际上生活垃圾中的纸类、塑料、玻璃、竹木、金属等数量要高于测定值；

(4) 垃圾含水率居高不下，平均高达 60%左右，一年内垃圾成分随季节变化也十分明显，春节和其他节日期间及三、四、五月份春季茭白、蚕豆等蔬菜上市使厨余明显增加，夏季瓜果的大量上市产生大量瓜皮，生活垃圾的含水率达到一年中的最高。

2.6 上海城市生活垃圾成分预测

表 2-12~表 2-14 是世界银行根据亚洲国家具体情况，对城市固体垃圾成分现状所作的统计，并据其发展程度对城市固体垃圾成分所作的预测^[33]。

表 2-12 低收入国家垃圾成分（单位：湿重%）^[34-38]

成分	尼泊尔	孟加拉	缅甸	老挝	印度	斯里兰卡	中国	加权平均	预计
年份	1994	1992	1993	1998	1995	1993-94	1991-95		2025
可降解物质	80	84.37	80	54.3	41.8	76.4	35.8	41	60
纸张	7	5.68	4	3.3	5.7	10.6	3.7	4.6	15
塑料	2.5	1.74	2	7.8	3.9	5.7	3.8	3.8	6
玻璃	3	3.19	0	8.5	2.1	1.3	2	2.1	3
金属	0.5	3.19	0	3.8	1.9	1.3	0.3	1.0	4
其它	7	1.83	14	22.5	44.6	4.7	54.3	47.5	12

注：低收入国家人均 GDP 为 200~700 美元。

表 2-13 中等收入国家垃圾成分（单位：湿重%）^[34-38]

成分	印度尼西亚	菲律宾	泰国	马来西亚	加权平均	预计
年份	1993	1995	1995-96	1990		2025
可降解物质	70.2	41.6	48.6	43.2	57.5	50
纸张	10.9	19.5	14.6	23.7	14.9	20
塑料	8.7	13.8	13.9	11.2	10.9	9
玻璃	1.7	2.5	5.1	3.2	2.4	3
金属	1.8	4.8	3.6	4.2	3.1	5
其它	6.2	17.9	14.2	14.5	11.1	13

注：中等收入国家人均 GDP 为 980~3890 美元。

表 2-14 高收入国家/地区垃圾成分 (单位: 湿重%)^[34-38]

成分	新加坡	日本	中国香港	加权平均	预计
年份	1990	1993	1995		2025
可降解物质	44.4	26	37.2	27.8	33
纸张	28.3	46	21.6	36.0	34
塑料	11.8	9	15.7	9.4	10
玻璃	4.1	7	3.9	6.7	7
金属	4.8	8	3.9	7.7	5
其它	6.6	12	17.6	12.2	11

注: 高收入国家人均 GDP 为 9700~39640 美元。

根据上海市各区域不同发展状况 (各区域人均 GDP, 见表 2-16), 远郊区、近郊区、中心区 (浦东新区同中心区) 垃圾成分预测分别参考表 2-12~表 2-14。预测结果见表 2-15。

表 2-15 上海城市生活垃圾成分预测 (单位: 湿重%)

年份	区域	纸类	塑料	厨余	果类	金属	玻璃	其他
2007	中心区	11.11	14.17	51.92	13.35	1.16	3.68	4.61
	近郊区	7.94	13.39	59.6	9.83	1.10	3.02	5.12
	远郊区	4.95	9.35	76.95		0.50	3.80	4.45
2010	中心区	12.31	14.77	50.87	12.66	1.34	3.89	4.16
	近郊区	8.54	13.84	59.0	9.23	1.28	3.23	4.88
	远郊区	5.70	9.80	75.9		0.56	3.92	4.12
2020	中心区	16.31	16.77	47.37	10.36	1.94	4.59	2.66
	近郊区	10.54	15.34	57.0	7.23	1.88	3.93	4.08
	远郊区	8.20	11.30	72.40		0.76	4.32	3.02

表 2-16 上海市各区域 2002 年人均 GDP 统计

指 标	国内生产总值 (亿元)	人均国内生产总值 (元/人)
中 黄浦区	2810.71	45200
心 静安区		
区 卢湾区		
普陀区		
闸北区		

杨浦区		
长宁区		
徐汇区		
虹口区		
浦东新区	1251.16	72391
近 郊 区		
宝山区	150.54	17875
嘉定区	216.00	42755
闵行区	230.14	32125
小 计	596.68	28912
远 郊 区		
金山区	92.41	17479
松江区	180.08	35787
南汇区	136.70	19712
奉贤区	110.00	21701
青浦区	168.70	36714
崇明县	62.48	9761
小 计	750.37	22521
合 计	5408.76	40538

2.7 本章小结

根据近十年上海城市生活垃圾产量统计数据和成分特征分析, 上海城市生活垃圾与发达国家城市相比, 具有易腐有机成分含量较高、可回收利用物资较少、季节性变化较大等特点, 并表现出水分偏高、热值偏低等特性。这些特点对上海市选择合理、可靠的垃圾处理技术具有重要影响。本文分别采用多元线性回归法和类比分析法对上海城市生活垃圾产量和成分进行了预测。结果表明, 到 2010 年, 上海生活垃圾清运量将达到 17567.19 吨/天, 人均日产垃圾 1.28kg, 比上年增长 4.24%。生活垃圾成分比例最高的还将是厨余, 为 50.87%, 比 2000 年降低 3.79%。比例降低的还有果类, 从 2000 年的 12.84% 下降到 12.66%。厨余和果类所占比例虽会有所下降, 但在垃圾中仍占有主导地位, 因此生活垃圾的含水量仍将较高。纸类和金属的比例将有明显增幅, 分别从 2000 年的 8.02% 和 0.85% 增长到 12.31% 和 1.34%, 增幅达到 53.49% 和 57.95%。应加强对生活垃圾中纸类、塑料、金属和玻璃等有用物质的回收利用。可以预见, 今后随着市民生活水平的

提高和消费习惯的改变，生活垃圾源头管理不断加强，以及生活垃圾分类收集方式的推广应用，上海市生活垃圾的产量和成分将会发生明显的变化。相信这些变化必将有利于上海市采取多元化新技术，加快实现生活垃圾处理减量化、资源化和无害化目标的进程。

3 上海城市生活垃圾分类收集系统研究

垃圾分类是指按照垃圾的不同成分、属性、利用价值以及对环境的影响，并根据不同处置方式的要求，分成属性不同的若干种类。垃圾分类收集是指垃圾按其可处置的性能或可利用的价值而分别收集的方式，其目的是为资源回收和后续处置带来便利。通过分类投放、分类收集，把有用物资，如纸张、塑料、橡胶、玻璃、瓶罐、金属以及废旧家用电器等从垃圾中分离出来重新回收、利用，变废为宝。既提高垃圾资源利用水平，又可减少垃圾处置量。它是实现垃圾减量化和资源化的重要途径和手段。

城市生活垃圾分类收集是对垃圾进行前处置的重要环节。垃圾通过分类收集后便于对不同类垃圾进行分类处置。如对有机垃圾进行堆肥发酵处理，把有机垃圾制成农田用肥和绿化用肥，对没有回收利用价值的无机垃圾进行填埋处置，对热值较高的可燃垃圾进行焚烧处置。

垃圾分类是对垃圾收集处置传统方式的改革，是对垃圾进行有效处置的一种科学管理方法。人们面对日益增长的垃圾产量和环境状况恶化的局面，如何通过垃圾分类管理，最大限度地实现垃圾资源利用，减少垃圾处置量，改善生存环境质量，是当前世界各国共同关注的迫切问题之一。

上海新一轮“环保三年行动计划”在固体废物处置与利用方面提出“贯彻‘减量化、资源化、无害化’原则，中心城区实现生活垃圾分类收集，郊区基本形成生活垃圾分类收集系统”的目标。进一步推进生活垃圾分类收集，建立合理的生活垃圾分类收集系统，成为加快上海城市发展进程的关键环节。

3.1 上海城市生活垃圾分类收集现状评价

1996 年，上海市市容环境卫生管理局首先在普陀区曹杨五村试点进行生活垃圾分类收集，1997 年逐步发展到在全市设立了 17 个居民生活垃圾分类收集实验点^[39]。1999 年 9 月 15 日，上海市人民政府颁布了《关于加强本市环境保护和建设若干问题的决定》，指出我市推进生活垃圾减量化、资源化和分类收集工作

的总体目标是：加快实施固体废物处置资源化，积极推进市区生活垃圾分类收集。2000年，中心城区生活垃圾分类收集的地区达到20%；2002年，达到40%^[40]。在生活垃圾分类收集推进工作中，坚持“政府倡导、社会参与、市场运作、科技支撑”，积极推进居住区生活垃圾分类收集。截止2002年底，上海中心城区生活垃圾分类收集服务居民户数已达到153万户，约占全市居民户数的40.8%，基本实现规划目标^[41]。截止2004年6月底，中心城区生活垃圾分类收集覆盖居住小区已达到2092个，占居住小区数的56.5%，其中焚烧厂服务区域覆盖率达到90%以上，主要集中在新建及设施较好的小区，郊区城镇地区分类覆盖率达到40%^[42]。全市共回收各类可利用物资约99443吨，其中，累计分类回收废玻璃13840吨、废纸张46245吨、废塑料20437吨、废金属18921吨，另外回收有害垃圾333吨，其中废电池311.5吨（1163万节），过期药品22.3吨^[43]。

3.2 上海城市生活垃圾分类方法

目前本市居民垃圾分类方法是由所在地区生活垃圾处理处置方法确定的，全市19个区县被划为焚烧厂服务区和填埋场、综合利用厂服务区两大块，具体服务区县见表3-1。

表3-1 上海城市生活垃圾处理处置服务区域划分

服务区	焚烧厂服务区	填埋场、综合利用厂服务地区
处理设施	江桥焚烧厂（一期）	御桥焚烧厂
服务区县	黄浦区、静安区、普陀区	浦东新区
		老港填埋场等 其余区县

注：普陀区系混合服务区，生活垃圾进入综合处理厂，干垃圾分拣后的残渣进焚烧厂，分类为干垃圾、湿垃圾、废玻璃和有害垃圾四类。

除大件垃圾外，居民生活垃圾分类方法是：焚烧厂服务区按有害垃圾、废玻璃和可燃垃圾进行分类（图3-1）；填埋场、综合利用厂服务区按湿垃圾、干垃圾和有害垃圾进行分类（图3-2），混合服务区按干垃圾、湿垃圾、废玻璃和有害垃圾进行分类（图3-3），如表3-2所示。

表 3-2 上海居民生活垃圾分类方法

容器颜色	焚烧厂服务地区	填埋场、综合利用厂服务地区
红色 含义	有害垃圾 废电池、废荧光灯管、水银温度计、 废油漆桶、过期药品等	有害垃圾 废电池、废荧光灯管、水银温 度计、废油漆桶、过期药品等
绿色 含义	废玻璃 平板玻璃、玻璃瓶和其它玻璃制品	干垃圾（无机垃圾） 废纸张、废塑料、废金属、 废玻璃、废织物等
黑色 含义	可燃垃圾 除有害垃圾和废玻璃之外的其它垃圾 如：厨余、果皮、塑料制品、纸类、橡 胶制品、皮革制品、竹木、布类等	湿垃圾（有机垃圾） 果皮、菜皮、剩饭菜等



图 3-1 焚烧厂服务地区（静安区）垃圾分类收集宣传牌



图 3-2 填埋场、综合利用厂服务地区（长宁区）垃圾分类收集宣传牌

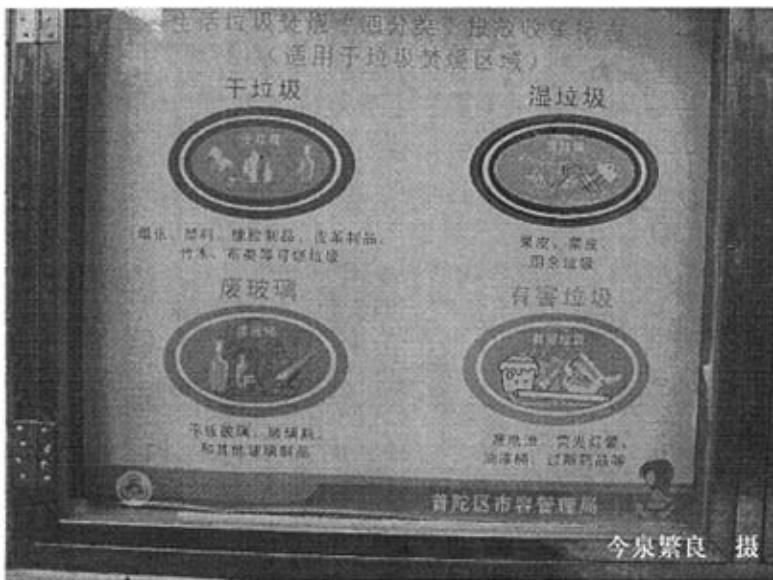


图 3-3 混合服务区（普陀区）垃圾分类收集宣传牌

由表 3-2 可见，焚烧厂服务地区和填埋场、综合利用厂服务地区的分类方法最根本的区别在于：焚烧厂服务区必须要将废玻璃单独进行分类。一方面废玻璃具有一定的再利用价值，可以节约原生资源的开采；另一方面是由于玻璃制品在焚烧后容易粘结炉排，引发机械故障，造成焚烧炉不能正常运转，影响可燃垃圾的有效处理。所以要把废玻璃在源头上加以分流。至于其他垃圾，居民就不必再

作细分，焚烧厂会视需要自行分拣，其中的可回收成分将被售出作为企业利润的一部分。

3.3 上海城市生活垃圾收集形式

目前，各区结合各自的特点，积极探索生活垃圾分类收集实现形式，主要有：

3.3.1 分类收集与上门收集结合

高层建筑实行分类收集可以通过对日常生活垃圾实行上门收集加以推广，在每个楼层设置分类收集容器，居民将分类后的垃圾投放至收集容器内，保洁人员定时收集。一方面方便居民投放垃圾、培养垃圾分类自觉性，另一方面也有利于对分类质量进行监督。如图 3-4 所示，徐汇区、虹口区等居民小区内都树立了统一的生活垃圾分类收集标示牌，并明确了垃圾收集频率为：有机垃圾每日收集一次，无机垃圾每周回收二次，有害垃圾每周处理一次，大件垃圾每周收集二次，按物业或居委要求指定地点集中堆放。



图 3-4 徐汇区某一居民小区内的垃圾分类宣传栏

3.3.2 分类收集与使用垃圾生化处理机和废品回收结合

对条件较好、居民分类意识较强的居住小区，可以设置小型有机垃圾生化处

理机（图 3-5），对湿垃圾进行就地消纳；同时也可以实行废品回收。有条件的地方，建设分类收集、废品回收和生化处理三结合的综合处理站，实现功能整合。图 3-6 为黄浦区浦景废品交投站，像这样的废品交投站在全市成熟生活小区的周围随处可见。卢湾区鑫港废品回收有限公司是本市起步较早、规模较大的废品回收公司之一。图 3-7 为该公司分布在卢湾区各街道和居民小区的上门收集车，一定程度地方便了本区居民的废品交投与回收。

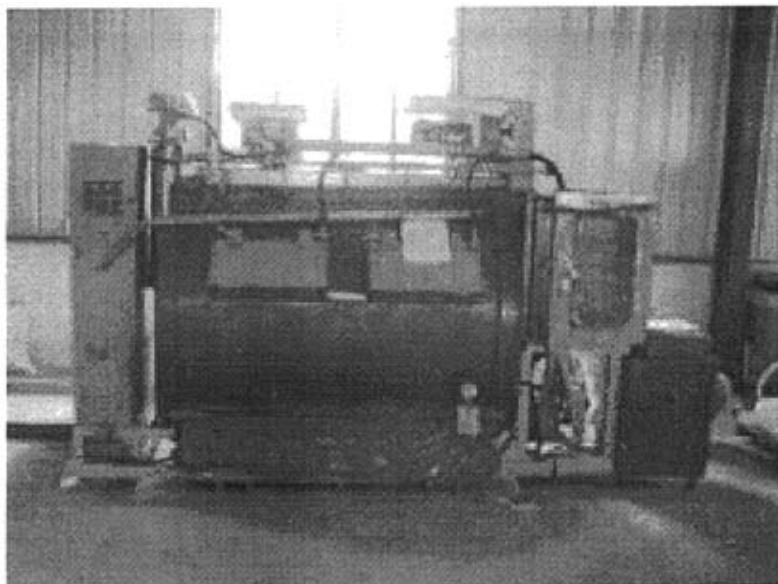


图 3-5 某居民小区内的有机垃圾处理机



图 3-6 黄浦区浦景废品交投站



图 3-7 卢湾区鑫港废品回收有限公司的上门收集车

3.3.3 分类收集与压缩收集站结合

对现有或规划中的小型压缩站进行合理布局、调整，实行干垃圾、湿垃圾的分类压缩，形成生活垃圾分类收集、分类压缩以及分类运输系统。图 3-8 为杨浦区五角场街道某小型垃圾压缩站，主要集中压缩处理附近五六个新建小区的居民生活垃圾。



图 3-8 杨浦区五角场街道某小型垃圾压缩站

3.4 上海城市生活垃圾分类收集系统

建立生活垃圾分类收集系统与上海城市生活垃圾处置系统密切相关，同时与人民生活习惯息息相关，因此，该项工作是一项长期循序渐进的工作。以垃圾源头分类与集中的细化分类相结合，是比较符合目前上海实际的选择。必须配套建设垃圾焚烧厂、有机垃圾加工厂、生活垃圾分拣中心、垃圾再生利用厂、有害垃圾处理厂等工程设施。根据上海市目前已存在的不同垃圾分类方法的实际情况，建议按如下方式建立上海城市生活垃圾分类收集系统，如图 3-9 所示。

在填埋场、综合利用厂服务地区，分类投放的湿垃圾（有机垃圾）和干垃圾（无机垃圾）分别被专用车定时收集或经垃圾压缩式收集站转运到有机垃圾加工利用厂和生活垃圾分拣中心。湿垃圾（有机垃圾）在有机垃圾加工利用厂被加工成有机肥或有机复合肥，用于绿化或农业施肥；干垃圾（无机垃圾）在生活垃圾分拣中心被进一步细化分类为废纸张、废塑料、废玻璃、废金属等可回收利用成分，再由相应的再生利用厂进行再生利用，残渣则进填埋场卫生填埋。

在焚烧厂服务地区，废玻璃则直接由专用车定时运往玻璃回收利用厂进行再生利用；可燃垃圾由专用车定时收集或经垃圾压缩式收集站转运到垃圾焚烧厂后，由垃圾焚烧厂自行分拣。分拣后得到的可燃物进行焚烧发电；废金属等可回收利用成分，送去相应的再生利用厂进行再生利用；残渣进填埋场卫生填埋。

而全市所有分类投放的有害垃圾，均采取专用车定时定点收集的方式集中到有害垃圾处理厂。有害垃圾在有害垃圾分拣处置站分拣，可回收利用物送去回收利用，残渣进行焚烧或安全填埋处理。

在此，本是单一的生活垃圾处理系统就被焚烧、堆肥、回收利用、填埋这 4 个子系统所替代。

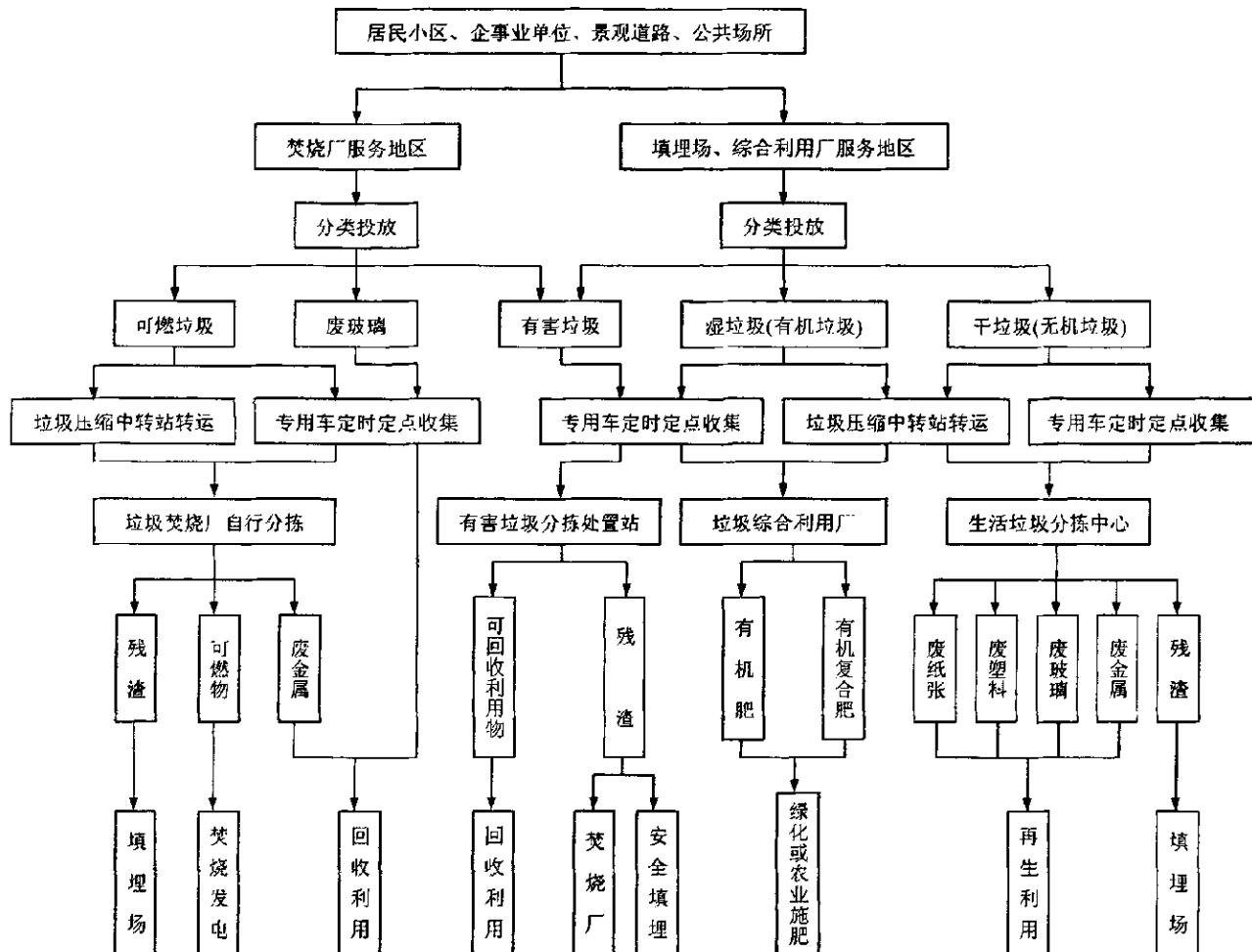


图 3-9 上海城市生活垃圾分类收集系统

3.5 本章小结

本章对 1996 年上海开始实行生活垃圾分类收集政策以来的垃圾分类收集情况、各区县生活垃圾分类方法和收集形式进行了全面调查和汇总，并根据现有上海城市生活垃圾的分类方法和收集形式，提出建立上海城市生活垃圾分类收集系统的设想。城市生活垃圾分类收集是一个系统工程，从源头分类、分类投放到分类收集、分类运输和分类处理，是一个复杂的过程，更将是一个长期的过程。综合利用设施建设与居民意识培育也需要一个交替过程。一方面要提高市民的分类意识，同时也要积极加快相关设施的建设进度，实现可再生资源的循环使用。要

建立垃圾分类收集系统，除源头的广泛宣传发动，垃圾焚烧厂、分拣中心、有机垃圾加工利用厂、垃圾再生利用厂、有害垃圾处理厂等的建设外，还需积极营造生活垃圾资源化利用市场，以使垃圾分类收集可以持续健康地进行下去。

4 上海城市生活垃圾运输中转模式和物流系统方案研究

城市生活垃圾运输中转是城市生活垃圾收运处置体系中的重要环节, 垃圾运输方式可分为短途运输和长途运输两种。短途运输是采用垃圾收集车从收集点直接运送到垃圾处置场地的垃圾运输方式; 长途运输是采用垃圾收集车将垃圾收集后送到垃圾中转站, 再由大型的垃圾运输车将垃圾运往垃圾处置场地的垃圾运输方式。在生活垃圾收运处置系统中, 减量化的目标不仅是针对垃圾产生的源头和垃圾处置的终点, 在垃圾运输中转过程中的减量化也是十分重要的。

4.1 上海城市生活垃圾运输系统现状评价

据 2002 年数据统计, 全市共有生活垃圾运输车 2909 辆, 其中封闭式垃圾运输车 2502 辆, 占 86%, 中心城区垃圾运输车已全部实现密闭化。由于道路限制及短距离运输要求, 目前绝大部分的生活垃圾运输车为 2~3 吨级的小型垃圾车, 图 4-1、图 4-2 为其中两种较常见的垃圾运输车。



图 4-1 后装压缩式垃圾运输车



图 4-2 加盖自卸式垃圾运输车

当前,上海市生活垃圾基本上都是用垃圾收集车将居民生活垃圾收集后运送到垃圾码头,通过水路运送到垃圾处置场进行处理的。以水运为主的水陆联运系统的有效运转,保证了上海城市生活垃圾的日产日清,为上海城市的环境卫生事业做出了很大贡献。但是,现有的水陆联运系统也存在许多明显的弊端,如系统的环保性差、现有的码头散装卸船工艺不合理、系统的技术水平比较低、设备配置不科学、系列化程度低等^[44]。上海是一个发展中的国际大都市,现有的环卫水陆联运系统与可持续发展战略的要求、现代化国际大都市的城市建设要求相比,显然还有比较大的差距。

随着上海各大生活垃圾处理设施的建成投产和居民区生活垃圾收集方式的变革,上海又同时面临着苏州河环境综合整治,沿岸生活垃圾散装转运码头必须搬迁的实际情况,上海城市生活垃圾运输方式必须从水运为主的水陆联运向水陆并举方向转变,从散装运输向中转压缩、集装化运输方向转变。

生活垃圾中转站是连接垃圾产生源头和末端处置系统的结合点,其枢纽作用越来越明显,在上海建立区域性的、相应规模的生活垃圾中转站已经迫在眉睫。

4.2 生活垃圾中转站的规模

垃圾中转站的设置和规模取决于垃圾收集方式、垃圾收集车的类型、服务范

围、垃圾转运量、服务年限、运输道路条件等。各国对垃圾转运站的规模划分大同小异，均按照垃圾转运量将垃圾转运站规模分为小型、中型和大型三种。例如，英国的划分方法为：小型垃圾转运站的垃圾转运量小于 100t/d，中型为 100~500t/d，大型的大于 500t/d。

在我国城市垃圾转运站设计规范 (CJJ47-91) 的划分方法为：小型垃圾转运站小于 100t/d，中型为 100~450t/d，大型的大于 450t/d。当运输距离大于 20km 时，应设置大、中型垃圾转运站。

4.3 生活垃圾中转站类型

国内外生活垃圾中转站的类型多种多样，主要区别在于站内中转垃圾处理设备的工作原理和处理效果（减容压实程度）。由此，按生活垃圾中转站内设备的不同，主要分为以下三种^[45]：

4.3.1 直接转运式中转站

直接转运式中转站的工艺流程如图 4-3 所示。

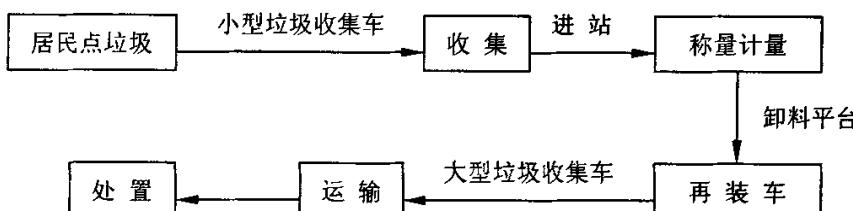


图 4-3 直接转运式中转站工艺流程

居民点的生活垃圾由小型垃圾收集车收集后运到中转站，经称量计量后驶上卸料平台，直接将垃圾卸入车厢容积大约为 60~80m³、敞顶式的大型垃圾运输车内。有时，在中转站卸料平台上还配置有机械臂式液压抓斗（类似于挖掘机），用来将车厢内的垃圾扒平整，并略作压实动作。此时，大型垃圾运输车一般为半挂拖式，由牵引车拖带进行运输。在运输过程中，为防止垃圾飞扬，用篷布覆盖敞顶集装箱。上海在 80 年代建造的垃圾中转站就属于此形式，用于运输的车厢容积一般小于 10m³，放置在站内地坑中，垃圾收集车将垃圾直接卸入箱中，待

装满后用起重设备将箱从地坑中吊出，装到运输车上运走。

直接转运式中转站对垃圾的中转处理最简单，不需要配置中转处理设备，投资省，运行费用低。但此种类型的垃圾中转站未能实现封闭化作业，对垃圾处理的效果较差，仅是将垃圾由小型车转装到大型车上，未进行任何减容、压实操作，所以为了增加运输量，必须配置大型垃圾集装箱，或在相同运输规模时需配置更多运输车辆。因此，直接转运式中转站不符合上海市对建设生活垃圾中转站的基本要求。

4.3.2 推入装箱式中转站

推入装箱式中转站的工艺流程如图 4-4 所示。

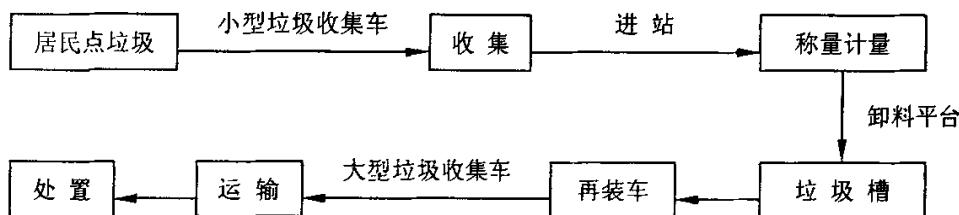


图 4-4 推入装箱式中转站工艺流程

垃圾由小型垃圾收集车从居民点收集后运到中转站，经称量计量后驶上卸料平台，将垃圾卸入垃圾槽。在垃圾槽内配有送料机构，将垃圾送入装箱机的储料仓内，仓内垃圾用液压推料机将垃圾由仓内推入与仓出料口对接的大型垃圾运输车集装箱内，随着箱内垃圾容量的增加，推料即对箱内垃圾有一定的压缩功能，提高了箱内垃圾的密实度，并且车厢的实际有效容积保证大型垃圾运输车可满载运行，从而保证了大型垃圾运输车实现封闭、满载、大运量运行。

此类形式又可分为两种。一种是不带固定装箱机的中转站。小型垃圾收集车将垃圾收集后运到此中转站，经料斗直接卸入带有压缩装置的、由 40 英尺的标准集装箱改装的半挂车内。垃圾从集装箱的进料口进入箱内，随着量的不断增加，垃圾受挤压，被压缩报料机构从集装箱前部移向后部。

由于此种形式中转站内的垃圾收集车卸料处一般不设置垃圾储存槽，在收集车进站高峰期，易造成收集车排队等候卸车，结站内管理调度带来困难；同时带压缩推料装置的集装箱结构复杂，造价较高。

另一种是带固定装箱机的中转站。垃圾收集后由小型收集车运到中转站，在卸料平台上将垃圾卸入垃圾槽。槽内垃圾经装箱机推入与装箱机对接的大型运输车的车厢（集装箱）内。随着箱内垃圾量的增加，装箱机的压缩机构对箱内垃圾形成压缩，从而提高箱内垃圾的密实度，达到垃圾的减容、减量，实现封闭、满载、大运量运行。

此种形式中转站的特点是：较好地实现了封闭、压缩的工艺；设备工作可靠，配置合理，生产效率较高；对环境的影响较小；站内管理体制成熟、有效。因此已被世界各地广泛应用。

4.3.3 压实装箱式中转站

压实装箱式中转站的工艺流程如图 4-5 所示。

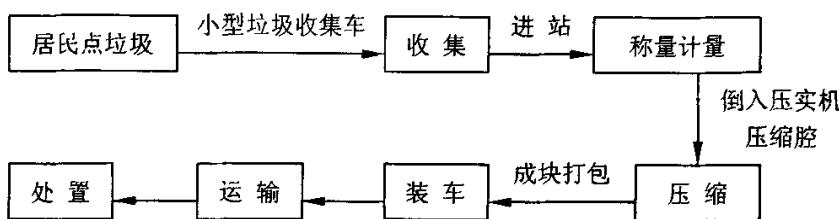


图 4-5 压实装箱式中转站工艺流程

小型收集车将垃圾卸入中转站内的垃圾槽内。槽内垃圾再进入垃圾压实机的压缩腔内。垃圾在压缩区内被压缩（减容并压实）成形（块），压缩比例可达 3:1。最后送出压缩腔，装入大型垃圾箱，由运输车运往处置场。压实成块的垃圾经捆扎后，还可实现临时性堆码处置和贮运。

该形式中转站的特点是：垃圾压实减容，方便装箱贮运，但是设备结构复杂、造价高，运营费高；对混合垃圾的适应性差；且垃圾最终处置时，仍需将成形的垃圾块打碎而显得不合理。

4.3.4 各类生活垃圾中转站的综合评价

各类生活垃圾中转站的综合评价结果见表 4-1。

表 4-1 各类生活垃圾中转站综合评价

评价参数	各类中转站的评价结果		
	直接转运式	推入装箱式	压实装箱式
挤压垃圾推力	无	较低	高
箱内垃圾密实度	低	较高	高
站内中转设备的接口匹配要求	基本无设备	简单	复杂
对转运垃圾组成的适应性	好	好	高
运输封闭程度	较好	较好	较好
设备投资、运行费	低	较高	高
转运作业效率	较低	较高	高

综合上表各评价参数, 对直接转运式、推入装箱式和压实装箱式三种生活垃圾中转站可以得出如下评价结果:

(1) 压实装箱式中转站压实效果好, 但对垃圾成分要求严格, 需要垃圾中压实基体(煤渣)含量较高。若弹性变形量较大的塑料较多时, 使在压缩腔体内的垃圾压实成型较困难, 在腔内被压实的垃圾被推入垃圾箱后会发生反弹、膨胀、坍塌等不利现象, 给连续装载及关闭压缩机端门等带来困难。

(2) 直接转运式中转站工艺简单, 设备较少, 但垃圾的运输效率低, 不符合中转站建设的基本要求。

(3) 推入装箱式中转站有四大优点: 一、箱内垃圾有较高的密实度, 对所转运垃圾性质的适应性强; 二、实现了全封闭化操作, 可大大减少作业过程中的臭气扩散和蚊蝇孳生; 三、设备投资、运行费用适中; 四、工艺较完善, 在国内外已得到广泛应用。

综上所述表明, 从技术、经济、社会环境效益等方面综合考虑, 上海市生活垃圾中转站宜采用推入装箱式。

4.4 上海城市生活垃圾中转站的发展

4.4.1 传统型垃圾中转站

浦东新区城区垃圾中转分流中心(图 4-6)是一座传统型垃圾中转站, 是上海市市容环境卫生管理局设在浦东新区的垃圾长途运输转运站, 负责转运浦东新

区城区范围内小型垃圾车所收集的垃圾的转运，原址在白莲泾靠沪南公路附近，由于浦东干部学院的建设，暂时迁址罗山路张衡路，占地 11002m^2 ，并配有废品回收、分检等功能。中转能力 1000 吨/日，其中有 700 吨由转运车运往美商生活垃圾处理厂生化处理，其余运往黎明填埋场填埋处置。



图 4-6 浦东新区城区垃圾中转分流中心

4.4.2 我国第一座竖直式压缩中转站

崇明生活垃圾中转站^[46]（图 4-7）2002 年 2 月 6 日开始正式运营，采用荷兰环保集团竖直式压缩专利技术，是我国第一座竖直式压缩中转站，也是 BOT 模式首次在我国环卫行业的应用。设计规模为 270t/d，目前处理量为 120t/d，占地约 1hm^2 ，服务年限为 18 年。



图 4-7 崇明生活垃圾中转站

4.4.3 生态型垃圾中转站

刚刚投入运营的静安固体废弃物流转中心（图 4-8）是一座生态型垃圾中转站，位于海防路、昌化路、淮安路地块，服务范围为静安区的生活垃圾，中转能力 400 吨/日。中转站按功能划分为垃圾收集车进站区、中转作业区、搬运车作业区、运输车进出站区和容器停放区。占地面积 4740 平方米。其中主体站房面积 4070 平方米，为半地下室布置，转运车作业车间在地下，收集车作业车间在地面。

中转站采用竖直压入装箱式中转工艺，生活垃圾车称重计量后，进入卸料厅卸料；垃圾在容器内压缩，升降机提升容器，后由转运车运往江桥垃圾焚烧厂。具有装箱工艺简单、动力消耗低；环保性能好；对垃圾分类收集适应性好等优点。

在满足垃圾中转功能需求的同时，该中转站成为静安区的一个景观绿地。其设计理念是将中转站建设成一个开放式的景观空间，因此在各功能区的顶部均设置了开放的绿化景观。静安固体废弃物流转中心形象地改变了普通市民对中转站的传统视形感受，可为本地域市民增设一个休闲、观光的地方，并成为环卫设施现代化、环境优美化的一项示范工程。

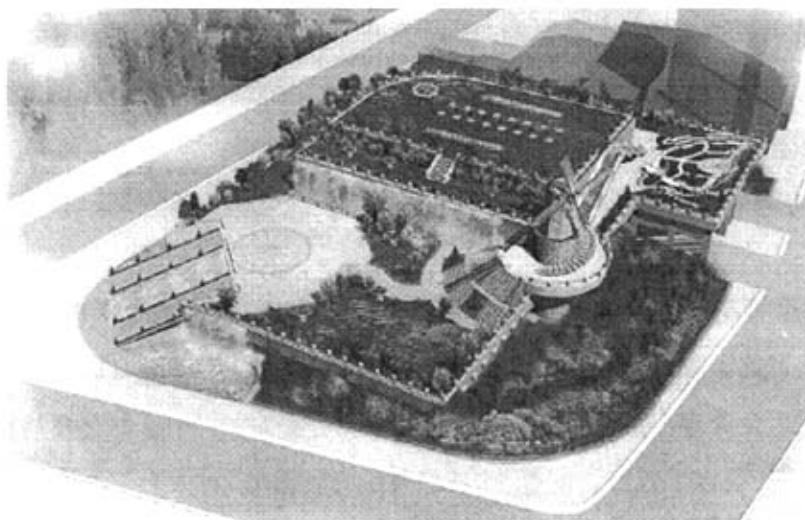


图 4-8 静安固体废弃物流转中心效果图

4.5 上海城市生活垃圾收运模式和物流系统方案

生活垃圾收运模式主要包括收集及转运两部分,该系统的运转效率主要取决于收运系统的科学性和合理性。在研究中,采用了聚类分析方法建立上海城市生活垃圾收运模式^[47-49]。聚类分析方法是根据事物特征对事物进行分类的一种多元分析技术,可把性质相近的事物归为一类,使得同一类中的事物都具有高度的同质性,不同类之间的事物具有高度的异质性。聚类分析的基本思想是用相似性尺度来衡量事物之间的亲疏程度,并以此来实现分类,其实质是根据事物本身的属性来构造模糊矩阵,在此基础上根据一定的隶属度来确定其分类关系。在涉及到区域划分问题的系统研究中,通常都可以使用聚类分析加以解决^[50-51]。

影响收运模式的因素有处置设施选址、收集强度、经济评价、系统接口、交通影响及环境影响等,其中后几个因素具有共性,而处置设施选址、收集强度、经济评价将决定转运方式,如人口密集区的市区要不宜建造处置设施,导致运输距离较长,同时与高强度的收集方式相衔接,需要有高强度的中转方式;而郊区与中、低强度的收集方式及独立的处理设施相衔接,可选择中、低强度的中转方式,以达到降低运输费用、减少交通流量、提高运输效率的目的,而交通影响及环境影响等因素是市区和郊区都要适当考虑的影响因素。

通过对主要因素的分析得知,在影响垃圾收运模式的因素中,收集强度和运

输距离是主要因素。而交通影响、环境影响、系统接口等为次要因素。根据影响垃圾收运模式两个主要因素——收集强度和运输距离的聚类分析，把上海市内区域分为四种类型进行垃圾收运模式的设计。

(1) 黄浦区、静安区、卢湾区等市中心城区，人口密度高，且比较均匀，垃圾产量较大，收集强度为30~35吨/平方公里，这类区域的地价高，属城市中心区域，主要是市行政中心所在地及商业区，对市容市貌、视觉环境质量要求高。

根据道路条件，可采用收集车流动收集，一般选用2~6吨级压缩车。因垃圾收集后运至处理厂的运距大，故设置中转站是必须的，中转站经济规模一般为300~400吨/日以上较好，配套15吨级集装箱转运车。

(2) 浦东新区人口密度较高，且比较离散，垃圾产量较多，收集强度一般为10~30吨/平方公里，属城市分中心区域，主要是居住、文化教育及商业区，在该区的城乡结合部地区建有垃圾处理设施。

在垃圾处理设施附近（运距不超过5~7km）地区，可建压缩收集站来收集居民垃圾或采用2~6吨级压缩收集车收集居民垃圾并直接送往处理设施；而运距较远的地区的垃圾，采用压缩收集车收集经中转站用大型转运车送处理设施，可采用15吨级集装箱转运车。

(3) 闵行区、嘉定区、宝山区等市郊地区，地域广阔，人口密度比较离散，在区域中心地区垃圾分布相对集中，而相当部分的农村地区垃圾分布相对分散，因此收集强度一般虽为2~10吨/平方公里，但差异性很大。

运输距离较远的、区域中心地区的垃圾，采用3~6吨收集车收集垃圾经中转站用大型转运车运往处理设施，可采用15吨级集装箱转运车。

距离处理设施较远的农村地区，采用人力收集车收集垃圾后，集中用3~6吨级收集车，运往处理规模100吨/日以上的垃圾分流中心，进行分拣及资源化利用后再中转至8~10吨级集装箱转运车，实现长距离、大运量运输运往处理厂。

在处理设施附近（运距不超过7~10公里）地区的垃圾直接运往处理设施，其中镇可建压缩收集站来收集居民垃圾，而农村地区可采用3~6吨级收集车流动收集垃圾。

(4) 崇明区、松江区、金山区等离市区较远的区县，地广人稀，垃圾产量较低，收集强度一般小于2吨/平方公里，并设有服务本地区的垃圾处理设施，

农村地区采用人力收集车收集垃圾后，集中用3~6吨级收集车；镇可建压缩收集站来收集居民垃圾，运往处理规模100吨/日以上的垃圾分流中心，进行分拣及资源化利用后再中转至8~10吨级集装箱转运车，实现长距离、大运量运输运往处理厂。

综上所述，上海市未来发展的四种类型的垃圾收运模式汇总见表4-2。

表4-2 上海城市生活垃圾收运模式

类 型	收集强度	至处理场		收运模式	
	(t/km ²)	距离(km)	收集方式	转运模式	转运车
中心区	30以上	20以上	2~6t级压缩车	中转站	15t级集装车
浦东新区	10~30	10以上	2~6t级压缩车， 压缩收集站	直运+中转站	15t级集装车
近郊区	2~10	10以上	人力收集车，3~ 6t级收集车，压缩 收集站	直运+中转站+ 分流中心	8~15t级集装车
远郊区	2以下	10以上	人力收集车，3~ 6t级收集车	直运+分流中心	8~10t级集装车

在上述生活垃圾收运模式的基础上，还制订了上海城市生活垃圾物流系统方案，如表4-3所示。

表4-3 上海城市生活垃圾物流系统方案

区 域	特 点	原生垃圾	残 �渣
中心区	集中物流调度，建立适 应焚烧、综合处理、填 埋的垃圾物流系统	陆运中转运输、 水陆联运集装运输	水陆联运集装运输
浦东新区	独立物流，但与中心区 有物流交流	陆运中转运输、 陆运直接运输	陆运直接运输
近郊区	独立物流，但与中心区 有物流交流	陆运中转运输、 陆运直接运输	水陆联运集装运输
远郊区	独立物流系统	陆运中转运输、 陆运直接运输	

4.6 本章小结

城市生活垃圾的运输和中转是整个城市垃圾消除和处理系统的重要组成部分。城市垃圾流是分散的，而它的处理系统却要求是集中的垃圾流，垃圾的收运系统就是完成这种从分散到集中的转换，是城市基础设施中不可缺少的组成部分。本章阐述了上海城市生活垃圾中转站的发展，从技术、经济、社会环境效益等方面对三种类型的生活垃圾中转站进行了综合评价，认为上海市生活垃圾中转站宜采用推入装箱式。本章还按照影响垃圾收运模式的主次因素，采用聚类分析方法设计出上海城市生活垃圾收运模式，并制订了相应的生活垃圾物流系统方案。随着浦东御桥及浦西江桥两座生活垃圾焚烧厂的建成投产和居民区生活垃圾收集方式的变革，上海又同时面临着苏州河环境综合整治，沿岸生活垃圾散装转运码头必须搬迁的实际情况，上海城市生活垃圾运输方式已逐步从水运为主向水陆并举方向转变，从散装运输向中转压缩、集装化运输方向转变。今后，上海城市生活垃圾收运系统主要采用陆上直接运输、陆上中转运输及水陆联运集装化运输三种形式。现有水陆联运散装运输系统一部分改进为水陆联运集装化运输系统，其余部分根据生活垃圾处置设施的建设进程逐步被陆上直接运输和陆上中转运输系统替代。

5 上海城市生活垃圾处理处置现状评价及对策研究

5.1 上海市主要垃圾处理处置设施

上海城市生活垃圾处置设施主要有老港填埋场、江桥焚烧厂、御桥焚烧厂、美商生化处理厂、黎明填埋场、松江填埋场等^[52-53]。至 2003 年底，上海市主要垃圾处理处置设施及其服务范围见表 5-1，上海市垃圾处理处置设施分布如图 5-1 所示。

表 5-1 上海市主要垃圾处理处置设施及其服务范围

序号	处理处置设施	处理规模(t/d)	主要服务范围
01	老港填埋场	7500	中心区的大部分垃圾、近郊区（除嘉定）的部分垃圾、南汇部分垃圾
02	江桥焚烧厂	1000	黄浦区、静安区的全部及闸北区、普陀区、长宁区、嘉定区的部分垃圾
03	御桥焚烧厂	1000	浦东城区
04	美商生化处理厂	1000	浦东农村地区
05	黎明填埋场	1500	浦东其余垃圾、御桥焚烧厂残渣
06	松江填埋场	400	松江大部分
07	奉贤焚烧厂	80	奉贤小部分
08	青浦赵屯堆场	1000	中心区的部分垃圾
09	三林应急堆场	800	同上
10	简易堆场		其余垃圾

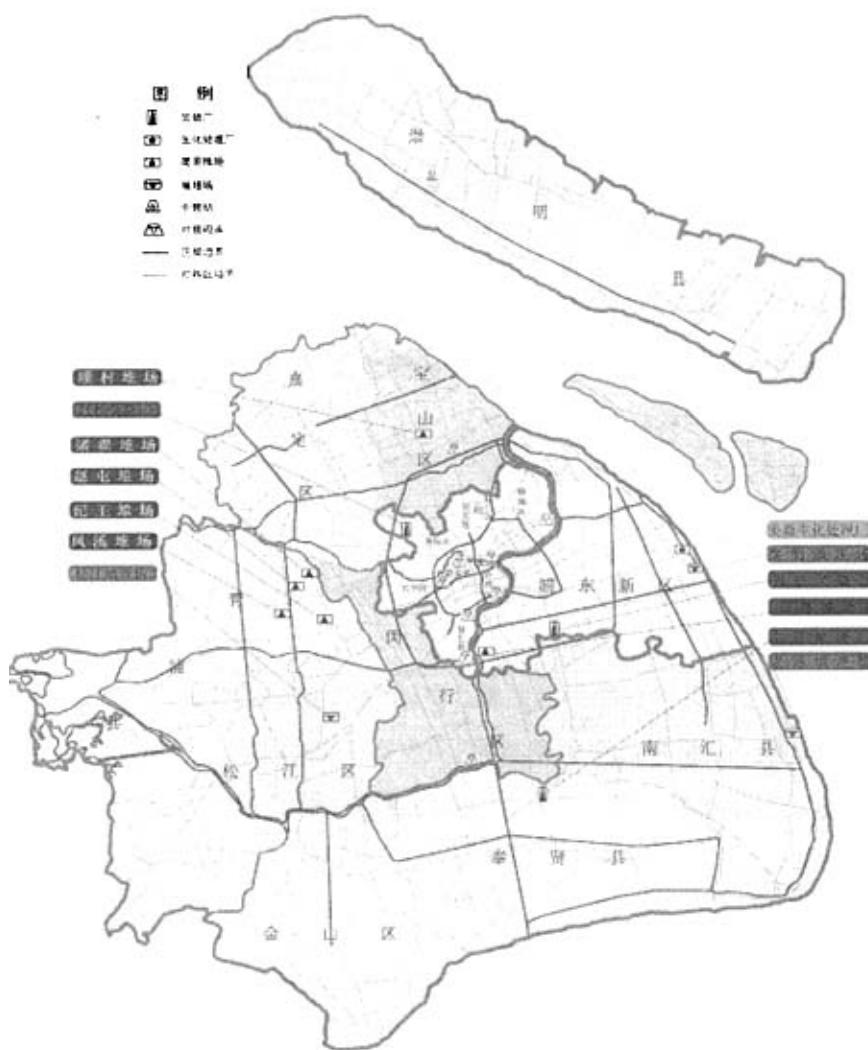


图 5-1 上海市垃圾处理设施分布

5.1.1 废弃物老港处置场（一、二、三期）

废弃物老港处置场（图 5-2）是上海市政府为上海市区面临的生活垃圾产量逐年增多而出路日益困难这一不断加剧的矛盾而决策兴建的。它位于距上海市东南约 60 公里的东海之滨，地处市郊南汇区境内，北与长江口相连，南距杭州湾 20 公里，占地面积 4.1 平方公里，是由不断淤涨延伸的滩涂经围堤而成。始建于 1985 年，1991 年 4 月第一期工程竣工并通过市级验收，正式投产，总投资 10494 万元，设计日处置生活垃圾 3000 吨。1992 年底起又实施第二期工程，同时上马建设垃圾渗滤液处理设施（图 5-3），于 1996 年 9 月竣工并通过市级验收，总投

资 5676 万元，设计日处置生活垃圾 6000 吨。1998 年起又实施了第三期改扩建工程，总投资 16000 万元，于 2000 年建成，设计日处置生活垃圾 7500 吨。1989 年和 1990 年，老港填埋场连续两年被列为市府重大工程项目，一、二、三期工程总投资 3.2 亿元。它目前实际填埋处置量为 9000t/d，担负着上海市区约 70% 生活垃圾的处置任务，处置负荷已达到原设计能力的 120%。



图 5-2 老港填埋场



图 5-3 老港填埋场渗滤液曝气池

老港填埋场的工艺流程见图 5-4。

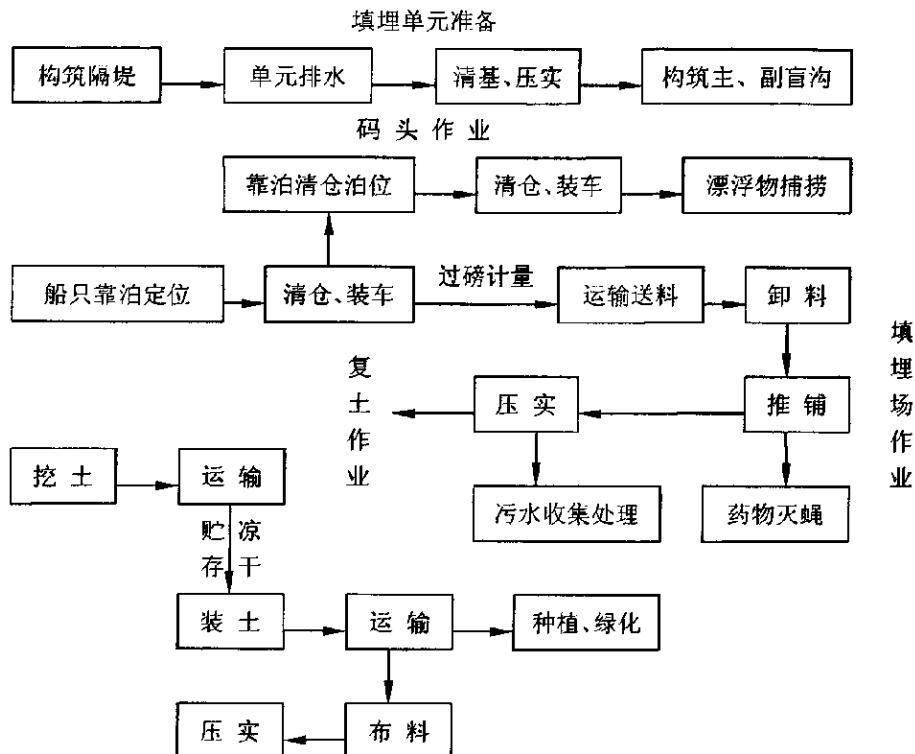


图 5-4 老港填埋场工艺流程

老港填埋场十多年的运行，保证了上海市垃圾无害化处理率，有效解决了上海近 2/3 的城市生活垃圾的卫生填埋。从原始的堆放管理，到集中卫生填埋，不仅节约了大量的人力、财力，而且为上海市每天产生的大量城市生活垃圾创造了一个永久性的消纳处置基地，在环境保护、卫生填埋方面的投入、科研投入和运营管理等方面有许多经验值得总结，同时对推动我国垃圾处置技术的进步与发展提供了良好的实际实践条件。

5.1.2 老港垃圾填埋场四期

为解决未来十余年全市生活垃圾的出路，老港填埋场进行第四期工程扩建。位于东海滩涂边的老港生活垃圾卫生填埋场四期^[54]（图 5-5），占地面积约为 361 公顷（3.3 平方公里），为目前我国最大的生活垃圾卫生填埋场，已于 2005 年 2 月 22 日投入试运行。老港四期工程由法国奥绿思集团设计施工，利用国际先进填埋技术，不但土地利用率翻一番，垃圾处理总量也大大超过预期。目前，设计

库容已达 8000 万吨，可使用约 50 年，远超过填埋垃圾总量 2000 万吨、使用 20 年的招标要求。四期工程以卫生填埋场技术标准作为建设和运行的技术要求，对填埋作业区建设 HDPE 膜衬垫的人工防渗系统、雨污水分流系统、渗滤液处理系统；垃圾运输采用集装箱化方式；填埋作业采取分层压实、日覆盖、中间覆盖和堆坡填埋后的终场覆盖工艺；工程区域最终场地利用将规划建设生态型休闲公园。这个接轨国际先进技术和管理的卫生填埋场，每天处理生活垃圾达 6300 吨，让上海今后 50 年无垃圾填埋之忧，还可利用填埋垃圾的沼气每吨发电 160 千瓦时。全部建成以后，老港将成为亚洲最大的垃圾填埋中心。

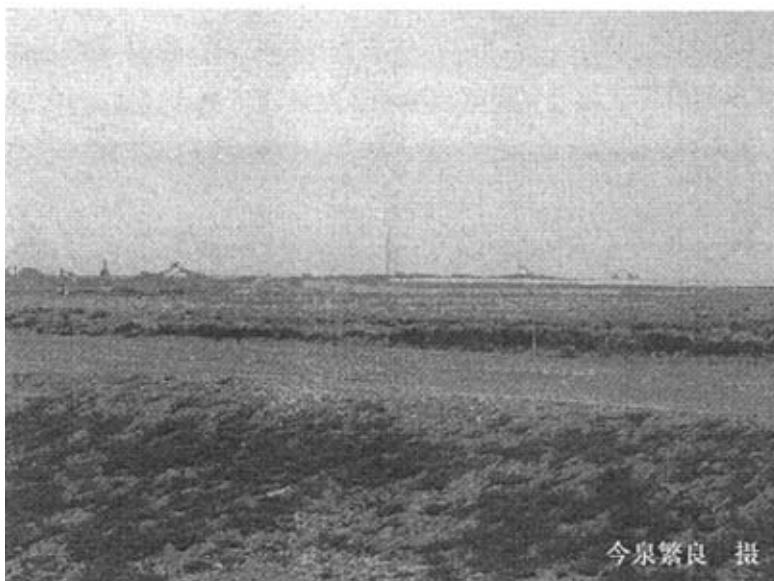


图 5-5 老港填埋场四期

我国约 50% 的城市生活垃圾经过处理，90% 以上采用填埋法，绝大多数垃圾填埋场都存在处理工艺落后、管理粗放、二次污染严重等问题。垃圾渗沥液是填埋场最主要的危害环境因素，其有害物浓度是一般生活污水的几十倍甚至数百倍，极难处理。上海老港四期从设计、建设、运营各环节减少渗滤液的产生，并通过填埋区底部铺设双层高密度聚乙烯防渗膜，有序导排处理，避免污染地下水。

垃圾填埋后厌氧发酵产生沼气也是环境再污染的顽疾，其温室效应是二氧化碳的 21 倍，老港四期采用高维填埋技术，可将沼气收集发电。据计算，每吨填埋垃圾可产生沼气 145 立方米，集中收集后每立方米可发电 160 千瓦时，具有相当可观的附加经济效益。老港垃圾填埋场 50 年后，将利用为绿化环抱的高尔夫球场，除按照常规铺设专用草坪外，还将在周围建设大片林区，如防风林带区、

速生白杨林区等绿化特色区，它们不仅可以吸收有害气体、净化空气，还对地下垃圾产生奇特的杀菌效果，使市民置身于森林和海风中，享受大自然的清新空气。垃圾堆中含有丰富的有机肥，是植物生长极好的营养土。

5.1.3 浦东新区黎明生活垃圾应急填埋场

浦东新区黎明生活垃圾应急填埋场（图 5-6）位于浦东新区龚路镇黎明村沿海滩地，原外高桥电厂粉煤灰堆场内，东西长 700m，南北宽 350m，占地 33 公顷。总填埋垃圾容量为 103 万吨，日填埋垃圾量为 1500 吨，共分 4 个填埋作业区，设计库容 $190 \times 10^4 m^3$ ，设计使用年限 3~4 年。自 1999 年建成运行以来，后期由于浦东御桥生活垃圾焚烧厂和垃圾生化处理厂先后建成运行，进场垃圾量大幅减少，至今已有 6 年，3 个填埋区已经完成填埋，剩下最小的第 4 个填埋区，预计剩余库容为 $40 \times 10^4 m^3$ 。



图 5-6 浦东新区黎明生活垃圾应急填埋场

黎明填埋场渗滤液处理系统（图 5-7、图 5-8）从 2005 年 4 月起进入安装调试阶段，渗滤液处理站建于原污水处理站旁，面积约 4260 平方米。工艺流程如图 5-9 和图 5-10，主体工艺采用两套单级碟管式反渗透（230t/d 和 170t/d），近期要求日处理 400t 时，两套系统并联使用；远期要求日处理 200t 时，两套串连使用，出水可以达到回用标准。碟管式反渗透由于其独特的开放式流道、短流程、湍流行的技术特点，使得设备对渗滤液的适应能力强，其处理效率不因渗滤液水质的变化而变化，出水水质稳定。



图 5-7 黎明填埋场渗滤液预处理池

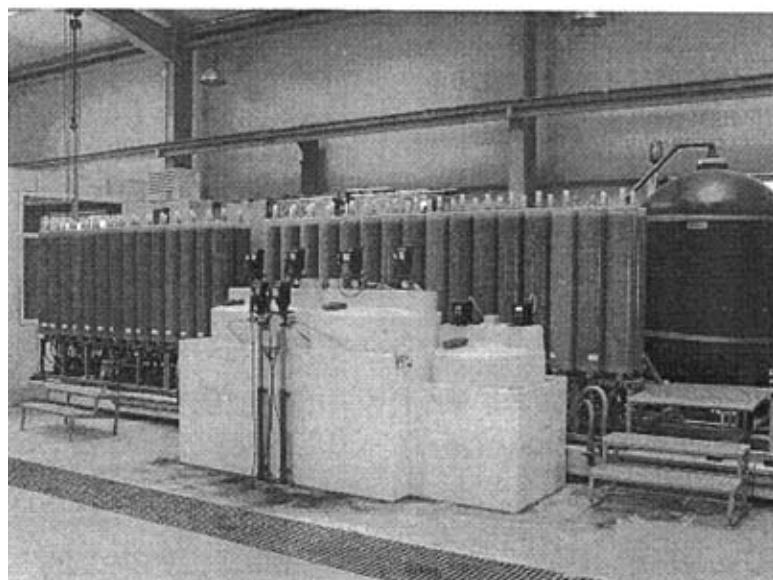


图 5-8 黎明填埋场渗滤液反渗透处理系统

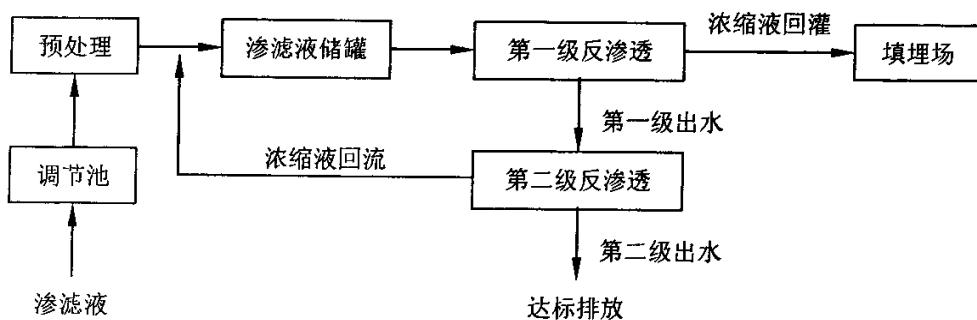


图 5-9 黎明填埋场渗滤液处理系统工艺流程

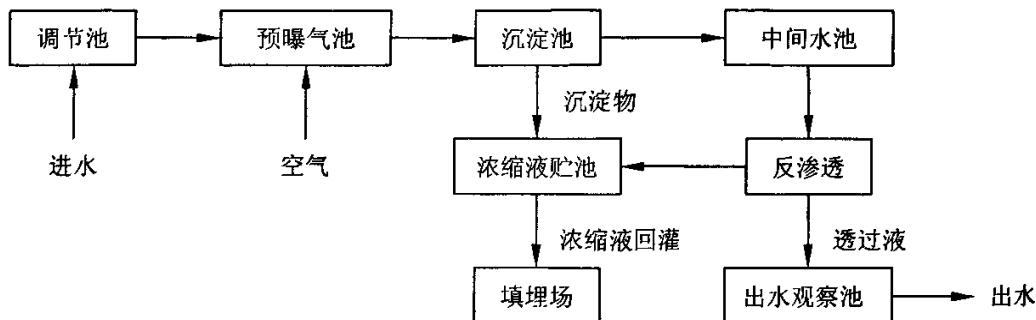


图 5-10 黎明填埋场渗滤液预处理工艺流程

黎明填埋场由于最初是作为御桥垃圾焚烧厂建设期内的临时填埋场，在污染防治方面没有采取严格的措施，污染状况已比较严重，不宜继续直接填埋原生垃圾。

5.1.4 浦东新区美商生活垃圾生化处理厂

浦东新区美商生活垃圾生化处理厂（图 5-11）地处浦东新区东北黎明填埋场附近，是由美商集团投资、建设、营运和管理的上海第一座千吨级的生活垃圾堆肥处理厂。总投资 2.76 亿人民币，其中外商投资 2.49 亿人民币。生化处理厂生产厂区占地 120 亩，厂房建筑面积为 60858 平方米，其他建筑 4200 平方米。于 2002 年 5 月 15 日开工，2003 年 5 月 8 日建成试运行，日处理生活垃圾 1000 吨。



图 5-11 浦东新区美商生活垃圾生化处理厂鸟瞰

生化处理技术，是世界领先的专有技术，对生活垃圾进行自动分类、资源回收再利用，运用高科技微生物堆肥发酵法生产有机肥。用这种方式处理生活垃圾，

无二次污染，有用物资可充分回收利用，生产的有机肥又是发展绿色生态农业的必须品，在环保上既消灭环境污染，又变废为宝，化腐朽为神奇，真正达到了无公害、环保和资源的有效利用，是循环经济中的重要一环。

美商生活垃圾生化处理厂的工艺流程如图 5-12 所示，主要由生物堆肥处理系统、机械自动分选系统和“三废”治理系统三部分组成。

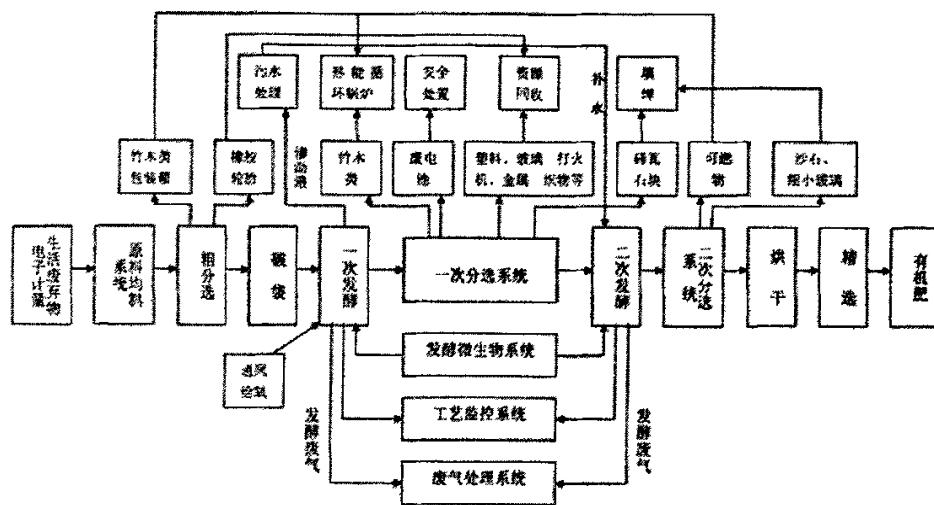


图 5-12 美商生活垃圾生化处理厂工艺流程

(1) 生物堆肥处理系统

根据垃圾的组成特点，美商集团开发了高温、好氧快速发酵的工艺路线，并通过从自然界的土壤里、高温肥堆里、腐烂的植物体中，筛选、驯化、纯化、组合菌种，培育了适合垃圾发酵的生物复合菌剂，并适时添加到发酵的不同阶段，这样不仅缩短了发酵时间，节约了成本，还消除了臭味，提高了有机肥的质量，最终使垃圾处理达到了无害化、减量化、资源化的目的。

(2) 机械自动分选系统（图 5-13）

根据垃圾的形状、体积、比重、运到时速度碰撞的弹跳高度，结合风力、重力、磁力、弹跳等分选技术，将金属、电池、打火机、木块、织物、纸张、塑料、砖石、玻璃等分选出来，分选效率达 95% 以上，达到了垃圾资源回收的目的，实现了垃圾的资源化。

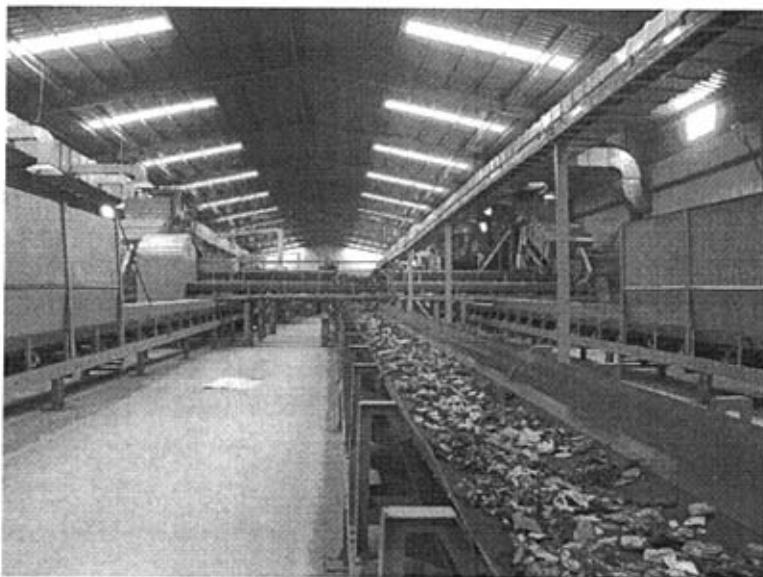


图 5-13 垃圾机械自动分选设备

(3) “三废”治理系统

根据好氧、高温发酵堆肥的生产特点，控制污染源，进行废气收集，并针对废气的组分进行集中生化处理，达到环保排放标准后排放。

根据污水渗滤液的特点，通过污水收集系统，排入到污水生化处理池，进行集中生化处理后，用于二次堆肥发酵过程的水分调节，使垃圾渗滤液得到了循环利用。

针对生活垃圾中分离选出的不同固体废物，采用不同处理方法。将不可回收利用的无机废弃物进行填埋；分离出的有害污染物（如电池等）进行安全处理；天然性的可燃物如：竹木类等进行燃烧处理，无燃烧废气污染，燃烧灰分无害填埋，实现热能转换，为微生物扩培、发酵、烘干、等生产过程和职工生活提供热源，充分利用回收资源，节约能源，从而实现固体废物的无害化处理。

从整个城市的净化、绿化和美化角度出发，有机肥在城市的绿化和农田的基本建设中，地位日益重要。目前，浦东新区绿化使用的堆肥都取之于美商生活垃圾生化处理厂。

生活垃圾中含有丰富的有机质，经过长时间的高温发酵，有机质得到了较充分的降解，已经达到了无害化的要求，经筛分处理后，就可以得到大量的堆肥。从经济角度看，堆肥的生产过程就是将生活垃圾化废为宝的过程，堆肥产品支持林业生产。塑料、玻璃等有用资源可回收利用，美商生活垃圾生化处理厂将从生

生活垃圾中分离出的塑料、玻璃、橡胶、打火机等资源卖掉，取得了可观的经济效应和社会效益。据调查，美商生活垃圾生化处理厂可年产有机肥 3.35 万吨，年回收塑料纸 2.55 万吨，各种硬塑料 365 吨，鞋类 912.5 吨，橡胶 365 吨，电池 109.5 吨，打火机 10.22 吨，编制袋 292 吨，玻璃 3650 吨，竹木类 3.65 万吨，织物类 1.825 万吨，牙膏皮 2.19 吨，金属 2190 吨。目前已累计生产有机肥 1.165 万吨，已经销售 9600 吨，销售收入 617.6 万元。随着城区分类收集和农村垃圾分流转运中心的相继建成，建立了废旧物资回收体系，形成了良好的废弃物利用的产业链。

5.1.5 浦东新区御桥生活垃圾焚烧发电厂

浦东新区御桥生活垃圾焚烧发电厂（图 5-14）位于北蔡镇御桥工业小区内，占地面积 82165 平方米（即 123 亩），于 2001 年 12 月 20 日起试运行，是我国第一座日处理千吨级的生活垃圾焚烧发电厂。总投资 6.98 亿元，其中法国政府混合贷款 3017 万美元，其余投资由银行贷款、地方债券、企业自筹构成。

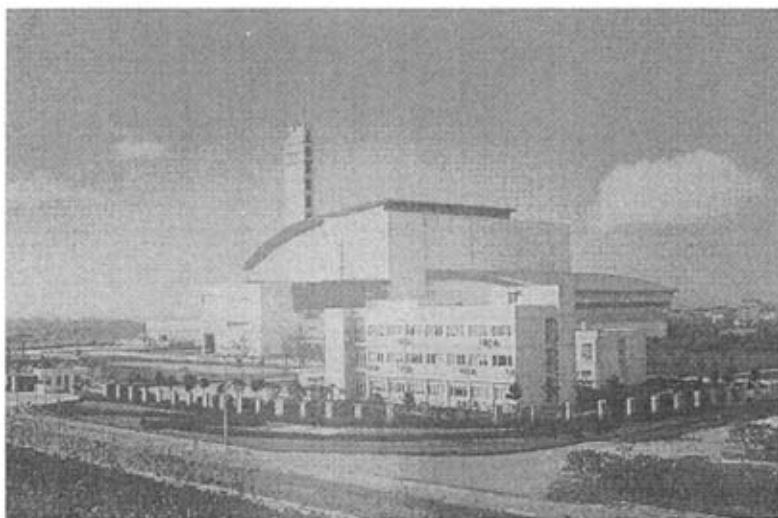


图 5-14 御桥生活垃圾焚烧厂

御桥生活垃圾焚烧厂的工艺流程如图 5-15 所示。焚烧厂设置了三条焚烧生产线，每台焚烧炉生产能力为 15.2 吨/小时，日焚烧处置生活垃圾 1000 吨，年处置生活垃圾 36.5 万吨。利用焚烧生活垃圾产生的余热，由两台汽轮发电机发电，发电能力为 1.72 万千瓦，全年发电 1.37 亿度，其中 3021 度自用，1.07 亿度可向城市电网供电。

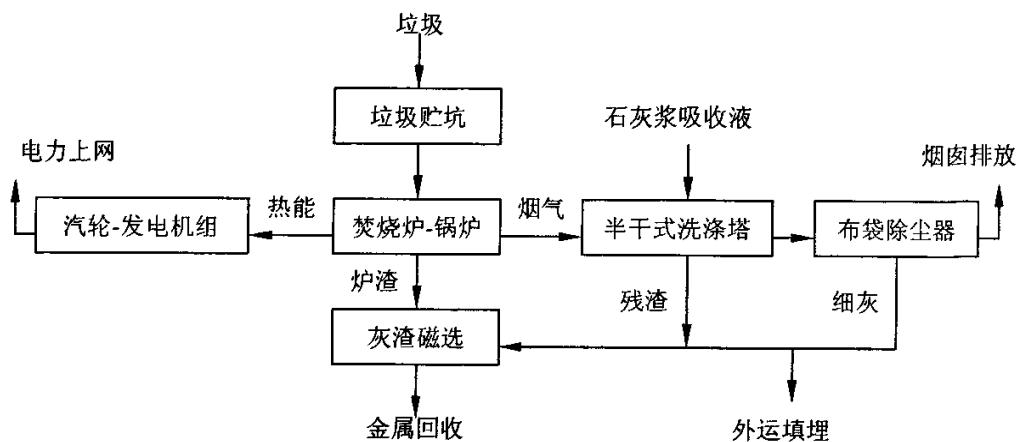


图 5-15 御桥生活垃圾焚烧厂工艺流程图

上海寰保渣业处置有限公司（图 5-16）是专门处置御桥生活垃圾焚烧厂焚烧生活垃圾产生的炉渣的处置场。炉渣处置的工艺流程如图 5-17 所示。图 5-18 和图 5-19 分别为由炉渣制成的路基砖和由飞灰制成的微晶玻璃。



图 5-16 生活垃圾焚烧炉渣处置场

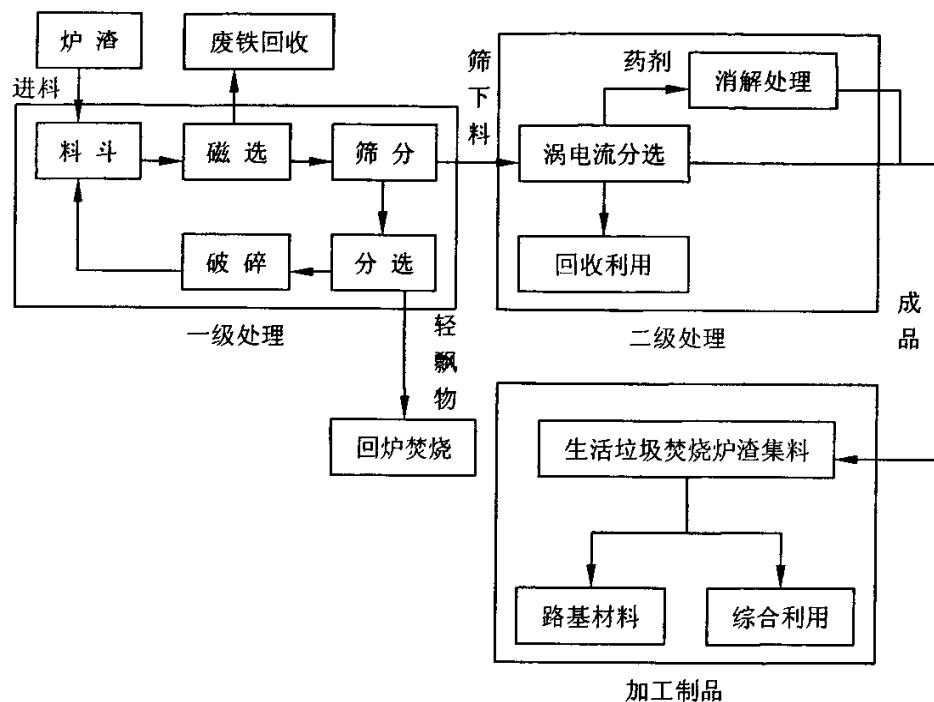


图 5-17 城市生活垃圾炉渣处置工艺流程

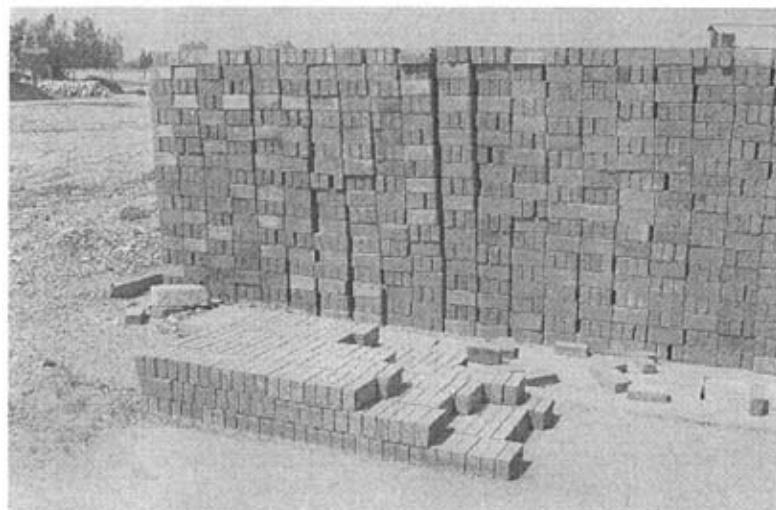


图 5-18 由垃圾焚烧炉渣制成的路基砖

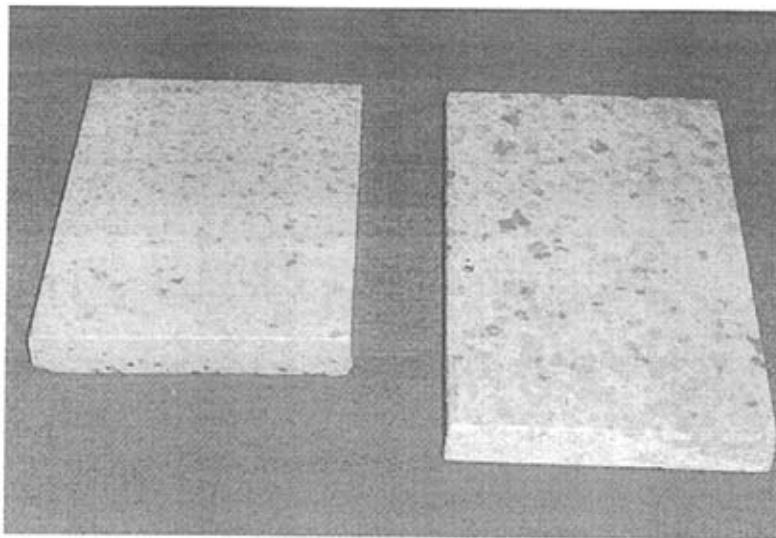


图 5-19 由垃圾焚烧飞灰制成的微晶玻璃

5.1.6 江桥生活垃圾焚烧厂

江桥生活垃圾焚烧厂^[55]（图 5-20）位于嘉定区江桥镇建新村，占地 200 亩，总建筑面积 28000m²，日处理生活垃圾 1500 吨。分两期建设，一期工程建设日处理生活垃圾 1000 吨，一期总投资 7.5 亿元，目前第二期工程正在紧张建设中。全部建成投产后将焚烧处理黄浦区、静安区的全部生活垃圾及闸北区、普陀区、长宁区、嘉定区的部分生活垃圾，服务范围覆盖六个区。

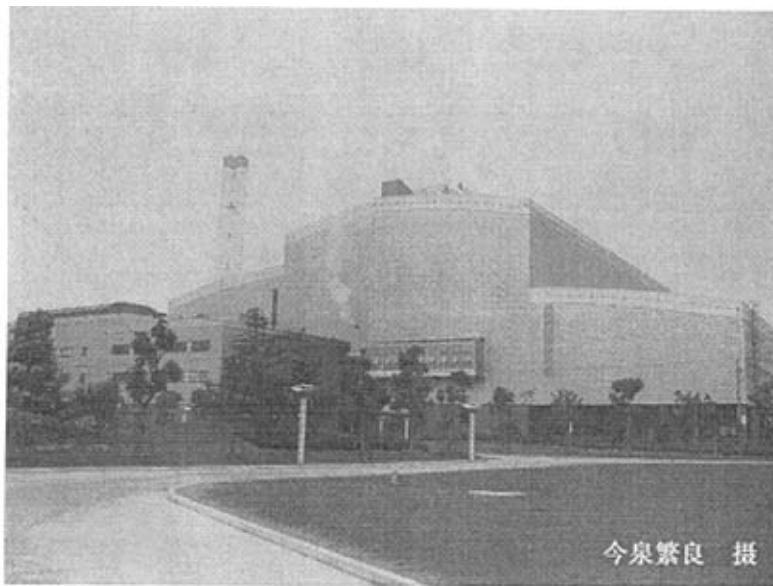


图 5-20 江桥生活垃圾焚烧厂

江桥生活垃圾焚烧厂工艺流程由垃圾称重、卸料、储存系统、焚烧及锅炉热力系统、烟气净化系统、气轮发电系统、辅助工艺系统及自动控制等系统组成, 见图 5-21。生产线配置 3 台 500 吨/日焚烧炉和 2 台 12 兆瓦汽轮发电机组, 即三炉二机。余热利用由国产汽轮发电机组发电上网, 每年可发电上网约 1 亿度。

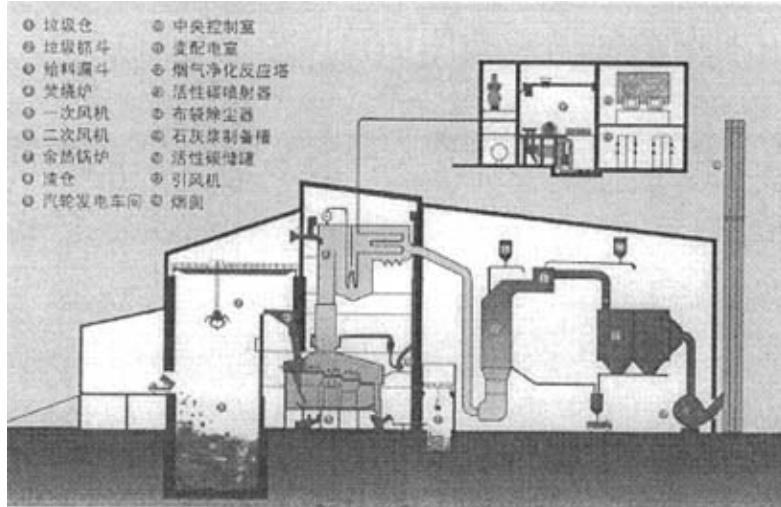


图 5-21 江桥生活垃圾焚烧厂工艺流程图

该项目工艺和关键设备从欧洲引进, 焚烧炉采用德国液压顺推往复式炉排炉, 余热锅炉采用西班牙悬吊式自然循环式锅炉, 焚烧炉针对上海生活垃圾热值低、高含水量的特点专门设计, 保证垃圾充分燃烧, 烟气保证在炉内 850℃以上停留 2 秒钟, 控制二恶英的产生。

烟气净化采用半干法石灰喷雾吸收、活性炭吸附和袋式除尘器三道处理过程, 将烟气中的颗粒物和酸性气体及其他污染物有效去除, 烟气排放执行欧盟 1992 年标准。其中二恶英为 $0.1\text{ng}/\text{Nm}^3$ (我国标准的十分之一), 自动控制采用国际先进的集散控制 (DCS) 系统, 由中央控制室对机、电、炉等全厂设备的安全、有效运行进行自动采集、控制和监视。

5.1.7 闵行生活垃圾焚烧厂

继御桥、江桥两座千吨级生活垃圾焚烧厂以后, 又一座千吨级生活垃圾焚烧厂——闵行生活垃圾焚烧厂于 2005 年 1 月 7 日在闵行区华漕纪王镇奠基。这座世界第三、国内最大的千吨级生活垃圾焚烧工程, 占地 12.4 公顷 (即 12.4 万平方米或 186 亩), 总建筑面积为 51010 平方米 (即 76.5 亩), 投资 13.4 亿元, 日

处理生活垃圾 3000 吨。其项目位置图如图 5-22 所示。

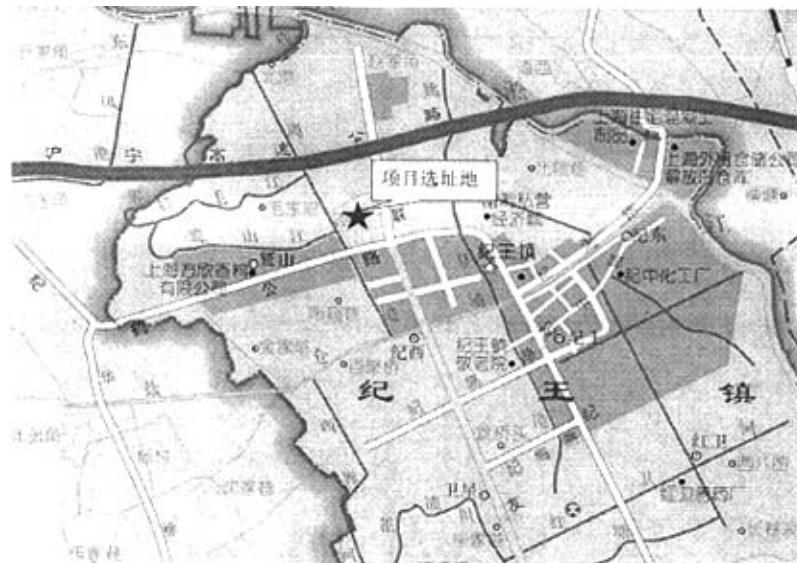


图 5-22 闵行生活垃圾焚烧厂项目位置图

闵行生活垃圾焚烧厂采用往复炉排炉焚烧方法，垃圾焚烧残渣和炉排漏灰进行综合利用。飞灰采用药剂处理的方式，将飞灰同处理剂进行混合，飞灰中易溶金属同处理剂中物质反应稳定化，进而固定在飞灰中，以此达到降低飞灰中有害成分析出的可能性。采用喷雾干燥吸收塔加袋式除尘器净化工艺控制 HCl、SO₂、HF 等有害气体和烟尘的排放，吸收剂采用石灰乳。采取渗滤液生物处理，先去除大部分可生化降解有机物，再经过絮凝沉淀处理后，达到上海市地方三级标准后纳入市政管网，到污水处理厂处理。全厂采用了全自动控制系统，由中央控制室对机、电、炉等全厂设备的运行进行自动采集、控制和监视。还配置了 2 台 25 兆瓦汽轮发电机组，将垃圾焚烧过程中产生的热量发电上网，年发电量 35500 万千瓦时，年外供电量 28600 万千瓦时。

该项目将于 2006 年 9 月建成试运行，建成后将从根本上解决闵行区、徐汇区、卢湾区生活垃圾无害化处理问题，为本市固体废物的资源化、减量化和建立循环型经济创造条件。据悉，这座绿化率高达 40%以上的生活垃圾焚烧厂，将在大门口设置大型电脑显示屏，把各项环保数据指标在第一时间同步公开，接受社会和市民的监督。

5.2 上海城市生活垃圾处置现状评价

1、据统计，近几年上海市生活垃圾清运量呈逐年上升趋势，2003年全市生活垃圾产生量为16040t/d，从垃圾无害化处理水平看，现有设施的无害化处理能力只有12480t/d，占垃圾产生量的78%；而其中老港填埋场和黎明填埋场需要改建后才能真正意义上达到无害化标准，扣除相应的处理能力后，无害化处理率只达到22%，与国际大都市的垃圾处理水平相距甚远。

2、利用生活垃圾高温堆肥制成有机复合肥，无疑是垃圾资源化的最合理方法。浦东新区美商生活垃圾生化处理厂已成功地走出了一条产业化的道路，为全国城市生活垃圾处理处置与综合利用做出典范。但目前为止，上海利用高温堆肥技术对生活垃圾进行资源化的成功案例还在个别，所制有机复合肥不进入食物链，一般都应用于花卉植物的施肥等。所以上海还应在积极推广生活垃圾的高温堆肥技术、增强有机复合肥肥力研究、开发新品种、扩大肥料应用范围等方面加大力度。

3、焚烧法运行成本高，但不失为一种最有效的垃圾减容化方法，同时利用垃圾焚烧发电也是资源化的一种途径，曾被西方发达国家所广泛采用。上海千吨级以上生活垃圾焚烧厂目前共两座，等2006年9月闵行焚烧厂建成后，总体规模将达到5500吨/天，将在全国处于领先水平。但垃圾焚烧所产生的残余物还需最终填埋处置，焚烧过程中产生的致癌物质二恶英的预防与控制也还未得到完全解决。

4、无论是焚烧还是填埋，垃圾渗滤液的产生总是不可避免，垃圾渗滤液是一种成分复杂的高浓度有机废水，会对周围的地下水、地表水和土壤造成严重的二次污染。焚烧厂基本没有行之有效的办法和独立的处理设施，一般采用外运并与生活污水联合处理的手段，效果只停留在勉强达标的程度。上海若要致力于发展垃圾焚烧厂，仍需采取谨慎态度，并尤其注意配套措施的及时跟上。

5.3 生活垃圾处理缺口量分析

按2.2中关于上海市生活垃圾处置区域划分，将中心区、浦东新区和近郊区结合在一起考虑生活垃圾处理缺口量，远郊区单独考虑生活垃圾处理缺口量。根

据对上海市生活垃圾产量预测和已有或已确定的环卫设施处理能力,可计算出上海市各区域生活垃圾产量与处理能力之间的平衡情况(在不新增处理设施的情况下),见表 5-2。

表 5-2 上海市生活垃圾产量与处理能力平衡分析(单位: t/d)

年 份	2006	2007	2008	2009	2010
中心区	垃圾产量	12357	12957	13557	14157
	老港填埋场	6000	6000	6000	6000
	江桥焚烧厂	1500	1500	1500	1500
浦东新区	黎明填埋场	1000	1000	1000	1000
	御桥焚烧厂	1000	1000	1000	1000
近郊区	浦东美商生化处理厂	1000	1000	1000	1000
	处理量合计	10500	10500	10500	10500
	处理缺口量	1857	2457	3057	3657
远郊区	垃圾产量	2354	2468	2582	2696
	松江填埋场	400	400	400	400
	处理量合计	400	400	400	400
	处理缺口量	1954	2068	2182	2296

注: 黎明填埋场需考虑填埋御桥焚烧厂残渣(以处理量的 20%计)和美商生化处理残渣(以处理量的 30%计), 老港填埋场需考虑填埋江桥焚烧厂残渣(以处理量的 20%计)。

由表 5-2 可知, 到 2010 年, 上海市还将存在近 7000 吨/天的生活垃圾处理缺口量, 现有城市生活垃圾处理处置设施将远远不能满足日益增长的生活垃圾排出量的需求。

5.4 上海城市生活垃圾处置对策研究

5.4.1 生活垃圾处置方法评价

由于城市生活垃圾成分复杂, 并受经济发展水平、能源结构、自然条件及生活习惯因素的影响, 很难有统一的处理模式, 所以对城市生活垃圾的处置方法一般是随国情而异, 一个国家中各个不同的地区也采用不同的处理方式, 但最终都是以无害化、减量化、资源化为处理目标^[56-58]。从技术应用方面来看, 国内外普遍采用的处置方法主要有: 卫生填埋、堆肥、焚烧或回收利用。综合处理则是同

时运用两种以上处理技术的处置方法，目前已引起越来越多的重视。

本文对卫生填埋、焚烧、生化处理三种处置方法分别从技术可靠性、环境协调性和经济适用性进行了评价，其评价结果分别见表 5-3、表 5-4 和表 5-5。

表 5-3 垃圾处置方法技术可靠性比较

比较项目	卫生填埋	焚烧	生化处理
技术可靠性	可靠，属常用处理方法，国内外普遍采用	较可靠，国外属成熟技术	较可靠，我国有较多实践经验
操作安全性	较好，应注意填埋沼气的导排	较好，严格按照规范操作	较好
管理水平	一般	很高	较高
稳定化时间	5~7 年	2 小时左右	15~30 天
能源化意义	填埋沼气收集后用以发电	焚烧余热发电	采用厌氧发酵工艺，沼气收集后用以发电
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	生化处理用于农业种植和园林绿化，并可回收部分物质
最终处置	本身是一种最终处置技术	焚烧残渣需作处置，约占进炉垃圾量的 10~15%	不可生化处理物需作处置，约占进厂垃圾量的 30~40%
技术特点	操作简单、灵活，投资和运行成本均较低	占地面积小，运行可靠，减量化效果好	技术成熟，减量化和资源化效果好
主要风险	填埋沼气聚集引起爆炸，场底渗漏或渗沥液处理不达标	垃圾燃烧不稳定，烟气治理不达标	生产成本过高或生化处理质量不佳影响产品销售

表 5-4 垃圾处置方法环境协调性比较

比较项目	卫生填埋	焚烧	生化处理
地表水污染	应设有完善的垃圾渗沥液处理设施，但不易达标	残渣填埋时与垃圾填埋方法相仿，但水量较小	可能性较小，污水应经处理后排入城市污水管网
地下水污染	需有完善的防渗措施，但仍可能渗漏	可能性较小	可能性较小
大气污染	有轻微污染，可用导气、覆盖、应加强对烟尘、酸性气体、二恶英和重金属等控制和治理	有轻微气味，应设除臭装置和隔离带等措施控制	隔离带
土壤污染	限于填埋场区域	无	需控制生化处理中重金属含量和 pH 值
主要环保措施	场底防渗、每天覆盖、填埋沼气导排、渗沥液处理等	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、污水处理、残渣处置等

表 5-5 垃圾处置方法经济适用性比较

比较项目	卫生填埋	焚烧	生化处理
工程规模	取决于设备配置、作业场地和使用年限, 一般均较大	单台炉规格常用 150~500t/d, 焚烧厂一般安装 2~4 台焚烧炉	静态间歇式堆肥厂常用 100~200t/d, 动态连续式堆肥厂可达 200~500t/d
适用条件	对垃圾成分无严格要求, 但含水率及有机物过高不适用	垃圾低位热值大于 1000kcal/kg、水分小于 55%	垃圾中可生物降解有机物含量大于 40%
占地面积	大, 500~900m ² /t	较小, 60~100m ² /t	中等, 110~150m ² /t
选址难易度	较困难	有一定难度	有一定难度
运输距离	远, 一般建在郊外, 运距通常大于 25km	较近, 常处市郊结合部, 运距视规模和服务范围定, 一般为 10km 左右	较远, 一般位于近郊, 运距 10~15km 范围者居多
建设工期	立项后 9~12 月	立项后 30~36 月	立项后 12~18 月
产品市场	有填埋沼气回收的卫生填埋场, 填埋沼气可用作发电等	热能或电能可为社会使用, 但需有政策支持	落实堆肥市场有一定困难, 需采用多种措施
主要制约因素	工程选址	发电上网	产品销路
吨投资 (不计征地费)	22~30 万元/t, (单层合成衬底, 压实机引进)	45~65 万元/t, (余热发电上网, 国产化率 50%)	23~32 万元/t, (制有机复合肥, 国产化率 60%)
运行成本 (不计折旧)	27~40 元/t	80~160 元/t	40~60 元/t
处理成本 (计折旧)	42~65 元/t	140~270 元/t	60~110 元/t

对于组成成分复杂的生活垃圾, 单一处理方式均有其局限性, 或仅对特定类型的垃圾才有效。焚烧法比较适用于经济较发达、垃圾热值较高、土地较少的地区; 垃圾堆肥比较适用于垃圾成分中有机质含量较高的地区; 卫生填埋是垃圾的最终处理方法, 是垃圾处理方案中必不可少的一环, 它主要适用于处置无机物含量高的垃圾。

5.4.2 生活垃圾处置对策

层次分析法是美国学者 Saaty T L 于 20 世纪 70 年代提出的^[59-60], 它是定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法。本文采用层次分析法来确定三种处理方式的综合效益系数, 即各指标相互比较, 根据重要程度排序或排等级, 然后给

出各指标权重。处理方式的综合效益系数越高,越适用于上海市的生活垃圾处理。拟选的评价因子主要包括五类,即:现状水平与发展趋势、社会与环境效益、技术可行性、工程可行性、制度可行性等。每一指标分五个等级,具体如表5-6所示。

表5-6 各评价因子指标和等级

评价因子和权重	序号	指 标	等 级
现状水平 与发展趋势 0.16	01	①现有或已确定的该类设施的多少,与原固废规划的符合性如何	A非常符合; B较符合; C一般; D不太符合; E不符合
	02	②与国内外同类城市相比,本项目所占比例是否适中	A很低; B较低; C适中; D较高; E高
	03	③是否符合垃圾处理的发展方向	A非常符合; B较符合; C一般; D不太符合; E不符合
社会与环境效益 0.31	04	①民众易接收程度	A易; B较易; C一般; D较难; E非常难
	05	②垃圾减量化程度	A很大; B较大; C中; D较小; E非常小
	06	③垃圾资源化程度高低	A很高; B较高; C中; D较低; E非常低
	07	④对城市生态景观的影响	A很小; B较小; C中; D较大; E很大
	08	⑤对空气质量的影响	A很小; B较小; C中; D较大; E很大
	09	⑥对水环境污染程度大小	A很小; B较小; C中; D较大; E很大
	10	⑦声环境影响大小	A很小; B较小; C中; D较大; E很大
	11	⑧土壤污染程度大小	A无; B较小; C中; D较大; E很大
	12	①选址难易程度	A很容易; B较容易; C中; D较难; E很难
	13	②距垃圾产生源的远近	A <5km; B 5~10km; C 10~15km; D 15~20km; E >20km
技术可行性 0.26	14	①技术对上海市垃圾的适应性	A很好; B较好; C一般; D较差; E很差

15	②技术可靠性	A非常可靠； B较可靠； C一般； D可靠性较差； E不可靠
16	③运行操作难易	A非常易； B较易； C一般； D较难； E很难
17	④运行维护程度高低	A很高； B较高； C中； D较低； E很低
18	⑤对垃圾分类要求高低	A很低； B较低； C中； D较高； E很高
19	⑥工程施工的难易	A很容易； B较容易； C中； D较难； E很难
制度可行性 0.12	20 ①再生材料或能源销路	A很好； B较好； C一般； D较差； E很差
	21 ②对政策的要求	A基本无要求； B较低； C中； D较高； E很高

表 5-6 中共 21 项指标，每项指标分五级，各级打分标准分别为：A 1.0 分，B 0.8 分，C 0.6 分，D 0.4 分，E 0.2 分。每项指标按重要程度确定权系数，指标权系数之和为 100。21 项共五大类指标的权重和为 1。三种处理方式的总分数是其各项指标分数乘以相应权系数的累计之和。具体见表 5-7 和表 5-8。

表 5-7 三种处理方式指标评价表（中心区、浦东新区和近郊区）

评价因子和权重	序号	指标名称	指标权系数	焚烧厂	生化厂	填埋场
现状水平	01	是否急需	7.0	7.0	4.2	2.8
与发展趋势	02	目前所占比例如何	4.0	3.2	3.2	1.6
0.16	03	是否符合发展方向	5.0	5.0	4.0	3.0
	04	民众易接收程度	6.0	4.8	3.6	2.4
	05	垃圾减量化程度	5.0	5.0	4.0	2.0
	06	垃圾资源化程度	5.0	5.0	5.0	2.0
社会与环境效益	07	对生态景观影响程度	3.0	2.4	1.8	1.2
0.31	08	对空气质量影响程度	3.0	1.2	1.2	1.2
	09	对水环境污染程度	3.0	2.4	2.4	1.2
	10	对声环境影响程度	3.0	1.8	2.4	2.4
	11	土壤污染程度	3.0	2.4	1.8	1.8
选址可行性	12	选址难易	8.0	6.4	4.8	1.6
0.15	13	与垃圾产生源距离远近	7.0	5.6	4.2	1.4

	14	技术适应性	5.0	5.0	4.0	3.0
	15	技术可靠性	5.0	4.0	4.0	5.0
技术可行性	16	运行操作难易	4.0	1.6	3.2	4.0
0.26	17	运行维护程度高低	4.0	2.4	3.2	3.2
	18	对垃圾分类的要求	4.0	2.4	1.6	3.2
	19	工程施工难易	4.0	3.2	4.0	4.0
制度可行性	20	产品的市场销路	6.5	6.5	3.9	6.5
0.12	21	政策要求	5.5	3.3	2.2	5.5
	合 计		100	80.6	68.7	59.0

由表5-7可见,从综合效益系数看,排序为:焚烧厂>生化处理厂>填埋场,且得分差距较大。因此,确定上海中心区、浦东新区和近郊区生活垃圾处置系统采用的技术路线为:首先应考虑通过分类收集和分选中心,尽可能将生活垃圾中的有用物质进行回收及循环利用;其次应依次考虑对生活垃圾进行焚烧、生化处理;最后将其余垃圾和经处理后的残渣等送卫生填埋场进行无害化处置。

表 5-8 三种处理方式指标评价表(远郊区)

评价因子和权重	序号	指 标 名 称	指标权系数	焚烧厂	生化厂	填埋场
现状水平	01	是否急需	7.0	4.2	7.0	7.0
与发展趋势	02	目前所占比例如何	4.0	4.0	4.0	4.0
0.16	03	是否符合发展方向	5.0	3.5	4.0	4.0
	04	民众易接收程度	6.0	4.8	4.8	3.6
	05	垃圾减量化程度	5.0	5.0	5.0	2.5
	06	垃圾资源化程度	5.0	4.0	5.0	2.0
社会与环境效益	07	对生态景观影响程度	3.0	2.4	2.4	1.8
0.31	08	对空气质量影响程度	3.0	1.2	1.2	2.4
	09	对水环境污染程度	3.0	2.4	2.4	1.8
	10	对声环境影响程度	3.0	1.8	1.8	2.4
	11	土壤污染程度	3.0	2.4	1.8	1.8
选址可行性	12	选址难易	8.0	6.4	6.4	6.4
0.15	13	与垃圾产生源距离远近	7.0	4.2	4.2	4.2
技术可行性	14	技术适应性	5.0	3.0	4.0	5.0
0.26	15	技术可靠性	5.0	4.0	4.0	5.0
	16	运行操作难易	4.0	1.6	3.2	4.0
	17	运行维护程度高低	4.0	2.4	3.2	3.2

	18	对垃圾分类的要求	4.0	2.4	1.6	3.2
	19	工程施工难易	4.0	3.2	4.0	4.0
制度可行性	20	产品的市场销路	6.5	2.6	3.9	6.5
0.12	21	政策要求	5.5	3.3	2.2	5.5
	合 计		100	68.8	76.1	80.3

由表 5-8 可见, 从综合效益系数看, 排序为: 填埋场>生化处理厂>焚烧厂, 且得分均较高, 说明这三种技术在上海远郊区生活垃圾处置系统中都可运用。鉴于各区域作为一独立处理系统而存在, 因此, 填埋场是必不可少的。同时, 应首先考虑通过分类收集和分选中心, 尽可能将生活垃圾中的有用物质进行回收利用, 将生活垃圾中的易腐有机质进行生化处理。考虑到远郊区经济发展水平, 不推荐采用焚烧技术处理生活垃圾。因此, 应在各区域建立同时采用回收利用、生化处理和填埋技术的生活垃圾综合处理系统。

5.5 上海城市生活垃圾处置技术路线和处理设施远期规划

未来几年, 上海市生活垃圾产生量仍将保持缓慢增长的趋势, 预计至 2010 年上海市生活垃圾清运量将达到 19750t/d。为有效解决垃圾出路、迅速提升上海市垃圾的处理水平, 实现 2010 年上海原生垃圾“零填埋”的目标, 根据层次分析法评价结果, 拟定了上海市需新建或扩建的生活垃圾处理设施的规划布局设想, 如表 5-9 所示。

表 5-9 上海市 2010 年生活垃圾处理设施远期规划布局

区域	设备名称	处理能力 (t/d)			服务范围
		2005 年	2007 年	2010 年	
中心区	江桥焚烧厂	1500	1500	1500	黄浦、静安、普陀
	普陀生化处理厂	800	800	800	普陀
	普陀生化处理厂		700	700	长宁
	虹口生化处理厂		900	900	虹口
	闸北生化处理厂			500	闸北
	杨浦焚烧厂			1000	杨浦
小计		2300	3900	5400	
浦东新区	浦东新厂			500	浦东新区
	御桥焚烧厂	1000	1000	1000	浦东新区
	美商生化处理厂	1000	1000	1000	浦东新区
	小计	2000	2000	2500	
近郊区	宝山生化处理厂	500	500	500	宝山、闸北、杨浦
	宝山焚烧厂			1500	嘉定
	嘉定生化处理厂	500	500	700	闵行、徐汇、卢湾
	闵行焚烧厂		2000	3000	闵行
小计		1000	1000	1000	
远郊区	金山综合处理厂	600	600	800	金山
	松江综合处理厂	650	650	800	松江
	南汇综合处理厂		1000	1000	南汇
	奉贤综合处理厂		600	700	奉贤
	青浦综合处理厂	600	600	700	青浦
	崇明综合处理厂		850	1000	崇明
小计		1850	4300	5000	
合计		7150	13200	18100	

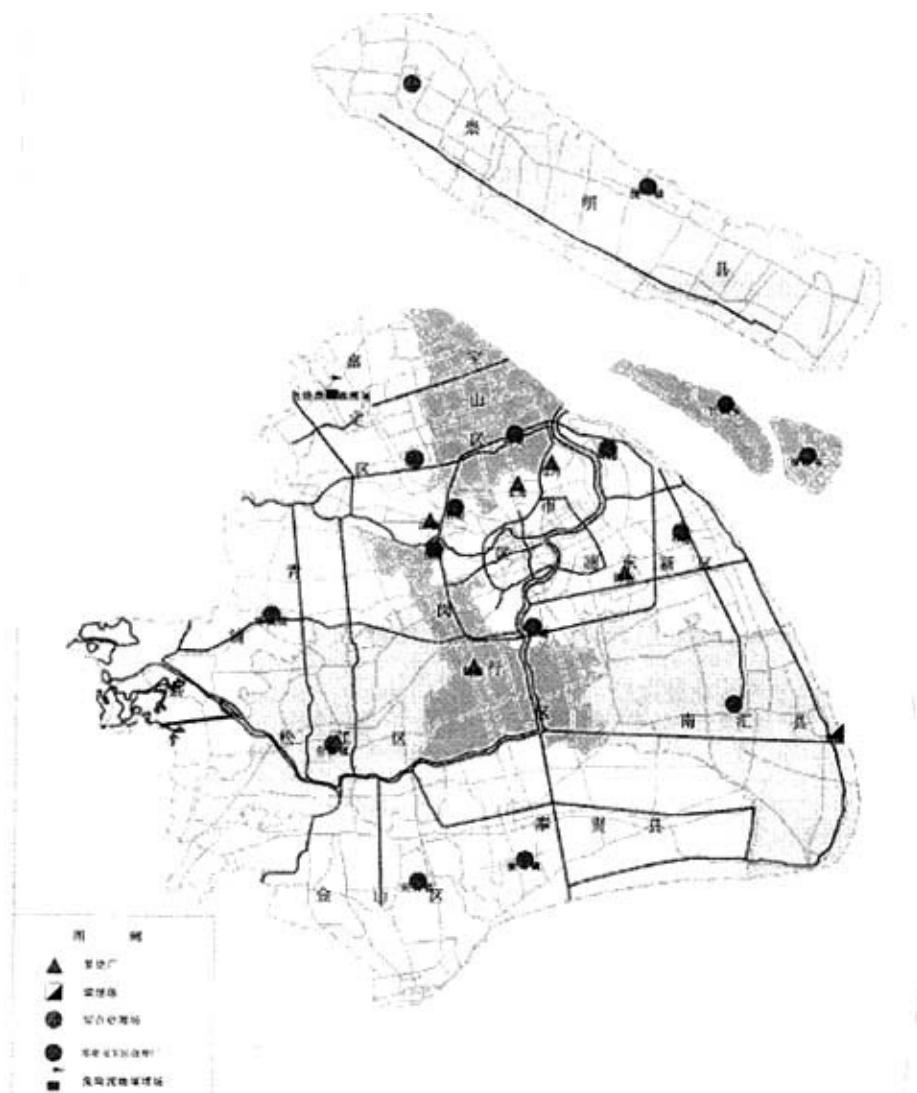


图 5-23 上海市 2010 年生活垃圾处理设施规划

基于上述规划的设想，结合上海生活垃圾组成特性、时空分布特点，上海城市生活垃圾处置技术路线可归纳为如下四点：

1、巩固和完善生活垃圾卫生填埋技术。因上海市土地资源相当紧张，对于需占用较大场地的垃圾卫生填埋场，其选址的难度将会越来越大。但为了保证总量平衡，在近期至少应该设法维持现有的生活垃圾填埋处理量，以保证中心区、浦东新区和近郊区生活垃圾处理总量的平衡。中、远期则应对区域内原生垃圾直接填埋进行控制，以充分利用土地资源。

考虑到老港填埋场即将使用完毕，所以应抓紧推进老港填埋场四期改扩建工

程，并争取在完善填埋工艺、提高环保标准方面有重大突破，妥善解决困扰多年的场底防渗、雨污水分流、渗沥液处理、表面覆盖、分层压实等老大难问题，使其成为真正意义上的生活垃圾卫生填埋场。

2、谨慎发展生活垃圾焚烧技术。垃圾焚烧技术在国外是一种处理生活垃圾的成熟技术，已经成为许多发达国家处理城市生活垃圾的主要方式。它具有占地面积小、运行稳定可靠、处理速度快、可进行余热利用、选址难度低等优点，特别适用于土地资源紧缺的大城市。从长远来看，在上海中心区、浦东新区和近郊区适度采用生活垃圾焚烧技术应不失为一种较好的选择。但因其一次性投资较大，且其烟气特别是二恶英等有毒有害气体对环境的影响也备受人们关注，故在各国存在不少争议，也使垃圾焚烧技术的应用受到了一定的限制。因此要在稳步发展生活垃圾焚烧技术的基础上，严格预防和控制二恶英等二次污染的产生，

3、充分重视生活垃圾生化处理技术。生活垃圾生化处理技术在发达国家正经历从量变到质变的过程，因具有比较明显的减量化和资源化效果，且垃圾生化处理产品对土壤的改良作用也已为大家所认同，如果能设法提高生化处理产品的质量、降低生化处理产品的成本、增加生化处理产品的品种、扩大生化处理产品的销售，应考虑在上海地区逐步提高应用比例。

考虑到上海中心区、浦东新区和近郊区生活垃圾中易腐有机物占有较大比重，且这类垃圾具有水分高、热值低、易腐烂发臭等特点，采用其它方法较难处理，但它同时又是一种制造有机肥的好原料，故在生活垃圾实行分类收集基础上，可考虑有计划地在该区域内建设一些生活垃圾生化处理厂。

4、积极探索资源利用的新技术，建立和发展以资源综合利用为主导思想的生活垃圾处置模式。垃圾综合利用无可厚非地成为垃圾最好的归宿，生活垃圾资源综合利用处置模式的建立，把垃圾的无害化处理寓于垃圾资源化之中，将有利于推动现行的“资源-产品-废物排放”开放式经济链转化为“资源-产品-废物再资源化”闭环式经济循环链的进程。

生活垃圾的资源化利用率是衡量生活垃圾处理技术水平的重要指标。生物降解、气化、热解、固化、油化、RDF、沼气化等生活垃圾处理的新技术各有可取之处，应积极探索这些处理技术在上海市区的适用性，并在时机成熟时逐步开展中试研究，为推广应用积累经验、创造条件。但这些技术在近期内尚不具备在上

海市区成为主流技术的条件，原因主要有以下五点：一是这类技术有些尚处于试验阶段，不少工艺技术还有待于完善，在国外也很少有完整的工程实例；二是这类技术的工程投资和运行费用一般较高，因而目前常常应用于一些政府投资的示范工程中；三是这类技术对生活垃圾性质一般会有一些特殊的要求，有些条件目前在上海市区尚不具备，如垃圾气化和热解要求垃圾低位热值大于 1800kcal/kg 等；四是这类技术通常适用于较小规模的工程设施，所以在大中城市中只能充当配角或作为补充；五是这类技术的应用往往受到其最终产品的销售影响。

5.6 本章小结

本章对上海市现有生活垃圾处理设施的处置现状进行了详细的调查评价和处理缺口量分析。根据生活垃圾处理缺口量分析结果，到 2010 年，上海市还将存在 7000 吨/天的生活垃圾处理缺口量，现有城市生活垃圾处理处置设施将远远不能满足日益增长的生活垃圾排出量的需求。本章对分别从技术可靠性、环境协调性和经济适用性三个方面对卫生填埋、堆肥、焚烧三种处置方法进行了综合评价，结果表明，卫生填埋、焚烧、生化处理三种生活垃圾处置方法在技术可靠性、环境协调性和经济适用性上各有优势，又各有其局限性。本章还运用层次分析法，由均衡综合效益前提出发，提出“巩固和完善生活垃圾卫生填埋技术、谨慎发展生活垃圾焚烧技术、充分重视生活垃圾生化处理技术、积极探索资源利用的新技术、多元并举走可持续发展之路”的上海城市生活垃圾处置系统构想及处理设施远期规划。旨在结合生活垃圾分类收集和回收利用工作的全面开展，形成生活垃圾处理方面多元并举、平衡发展，逐步形成卫生填埋、焚烧和综合处理（高温生化处理、回收及循环利用等）三分天下的局面，在较好地实现生活垃圾处理无害化的基础上，加强生活垃圾处理的减量化和资源化工作，初步形成一个良性循环，为生活垃圾处理可持续发展之路打下坚实的基础。

6 上海城市生活垃圾堆场整治方案研究

由于种种原因,目前上海市还存在大量的生活垃圾堆场。这些堆场的技术水平普遍较低,基本未采取压实、防渗、污水收集处理及沼气导排等措施,有的在堆放结束后,用陈垃圾或泥浆进行覆盖,使堆场表面垃圾暴露、杂草丛生、污水横流,严重污染了周围环境。因此,应采取有效措施及时整治,控制环境污染的继续扩散。实施填埋场的植被重建和生态恢复,创建优美的生态景观,避免污染物向食物链延伸也是无害化和资源化的方法,已成为城市可持续发展面临的紧迫问题和重点研究方向。

6.1 上海城市生活垃圾堆场整治现状

根据上海市遥感办第一轮(1992年)和第二轮(1997年)航空遥感综合调查与研究报告数据显示,上海市固体废弃物堆放场地有2347处,其中生活垃圾堆场677处,具体见表6-1。

表6-1 上海市固体废弃物堆放场地统计^[61]

类型 面积范围 (m ²)	生活垃圾		混合垃圾		建筑垃圾		工业垃圾	
	数量	面积 (m ²)						
0~50	54	2355					1	10
51~200	153	22780			17	2980	7	1230
201~400	200	65580			45	15330	13	4230
400~1000	28	16500	334	2317000	136	100880	36	25150
1001~5000	4	7200	318	7440500	312	774000	58	131900
>5000	238	855024.7	206	9414705	123	1880050	64	640984.4
总计	677	969439.7	858	19172205	633	2773240	179	803504.4
占总数%	28.7	15.0	36.6	29.7	27.1	42.9	7.6	12.4

从固体废弃物空间分布上看:形成市郊垃圾堆场对中心城区包围的格局,且堆放点多而分散,在市郊公路两侧、居民住地的路、沟、浜基本都有垃圾堆放,

但垃圾管理未形成网络，故存在垃圾堆放收集处理和消纳等多方面的问题。

受时间、经费等因素所限，本文仅对一些比较大型的堆场进行了调查分析，基本情况如表 6-2 所示。

表 6-2 上海市主要生活垃圾堆场概况

序号	名 称	占 地 面 积(亩)	位 置	备 注
01	13 处苏州河沿岸堆场	219	苏州河沿岸	
02	宝山顾村堆场	177	宝山区顾村镇星星村	
03	三林塘堆场	286.5	黄浦江边的三林地区	
04	老港填埋场一、二、三期工程	5045	南汇区老港镇东	不包括生产生活 管理区占地

6.2 上海城市生活垃圾堆场整治方案选择

参考国内外经验，堆场整治通常可采取搬迁、就地封场和封场后再利用三种方案^[62-64]。图 6-1 为美国某垃圾填埋场填满后就地封场的示例。图 6-2 为日本某垃圾填埋场填满后再利用作公园的示例。



图 6-1 美国某垃圾填埋场填满后就地封场

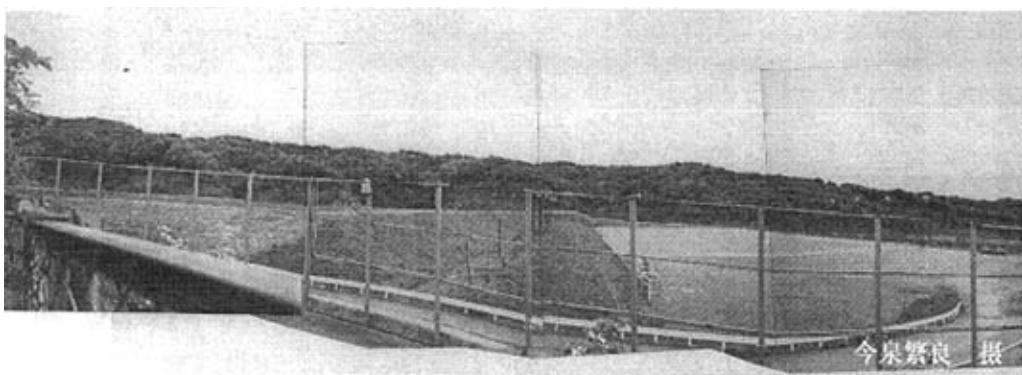


图 6-2 日本某垃圾填埋场填满后再利用作公园

在制订堆场整治方案时,应根据堆场的占地面积、适用时间和地理位置等确定。针对调查所得的上海市各主要生活垃圾堆场具体情况,简要制订整治方案如下:

(1) 苏州河沿岸堆场

由于单个堆场占地面积均较小,封场后对景观影响不大、且利用价值较小,推荐在采取可靠的环保措施基础上采用就地封场方案。采取的主要工程措施包括:堆体平整及坡整、封场覆盖、防渗墙、排水明沟和沼气导排等。具体应根据堆场堆放情况、停用时间、污染状况的不同,对 13 处堆场改造工程采用不同的工程措施。

(2) 宝山顾村堆场

由于占地面积较大,周围无其他特殊的规划要求,推荐对该场在实施有效封场技术基础上,进行土地资源的开发利用。采取的主要工程措施包括:边坡修整、较完善的封场覆盖与生态修复措施、渗沥液治理、垂直防渗、排水明沟、沼气导排和道路、给水、照明等配套基础设施。具体可考虑用作生态公园、苗木基地等。

(3) 三林塘堆场

由于占地面积较大,且场区位于世博会举办区域,推荐采用可靠技术对该场进行搬迁,以有效促进 2010 年上海世博会的顺利进行。

(4) 老港填埋场一、二、三期工程

由于占地面积非常巨大,可作为一重大的土地资源。因此,应在生态修复基础上实施详细的、完善的利用计划。采取的主要工程措施包括:完善的封场覆盖与生态修复(渗沥液处理、臭气治理、填埋气治理和设置防护林带)措施、垂直防渗等。具体可考虑用作生态型经济林、高尔夫球场、游乐场和停车场等。

6.3 本章小结

通过对上海市固体废弃物堆放场地的统计数据分析，借鉴国外垃圾填埋场整治经验，本章根据占地面积、地理位置、堆放情况、停用时间、污染状况等具体情况，分别对苏州河沿岸堆场、宝山顾村堆场、三林塘堆场和老港填埋场一、二、三期工程等上海市主要生活垃圾堆场提出简要整治方案。但是，其它一些较小的堆场对周围环境的影响是现实存在的。为适应上海城市建设发展要求，提升行业发展水平，建议应对本市已经存在的各堆场进行详细的调查分析，并提出一套完整的、系统的堆场整治方案。

7 上海城市生活垃圾管理研究

良好的城市生活垃圾处置系统只有在完善的城市生活垃圾管理体系下才能发挥出最大的效益。随着经济的快速发展,我国城市垃圾量急剧增长,城市环卫压力越来越大,由于技术和资金投入的限制,我国城市垃圾的收集、清运、处理的现代化程度不高,难以达到现代化城市的环保要求。在管理体制上,城市的环卫部门既是政策的制定者,也是具体的执行者和监督者,这三个身份的重合,导致在城市垃圾在运营上的低效率和管理上的低水平。建立完善的城市生活垃圾管理体系显得极为重要而必要。

7.1 国外城市生活垃圾管理状况分析

7.1.1 城市生活垃圾的管理思想发生革命性变化

自20世纪20、30年代起,西方各工业发达国家开始重视生活垃圾的管理,经过几十年的实践,特别是近几年来,西方工业发达国家在城市固体废弃物的管理上经历了一场革命性的转变。这场革命性转变的核心,就是从单纯、被动的收集、处理垃圾,转变成从源头开始注意避免垃圾的产生和注重垃圾资源的回收循环利用,最后才强调以环境相容的方式处置垃圾。这种先进的垃圾管理思想基本反映了未来垃圾管理和处理的基本趋向^[65-66]。

垃圾管理的先进思想是:最优先方案首先是避免产生垃圾;如果无法避免则要最大限度地减少垃圾的产生(追求垃圾产生量最小化);产生的垃圾要最大限度地进行垃圾资源的回收利用;其次是要把剩余的垃圾进行能源回收利用处理(焚烧)和减少最终处置量;最后剩余的垃圾残渣进行填埋处理。与此同时,限制垃圾的直接焚烧和填埋处理。

由于垃圾管理的思路发生变化,垃圾管理的重心也发生根本变化。多年来一直沿用的生活垃圾的管理目标层次中,垃圾处理和处置的比重最大,回收、减量和防止废物的产生作用很小。而在新的管理目标层次中,首先注重避免垃圾的产

生和垃圾量的最小化，达到垃圾管理可持续发展的目的。

7.1.2 城市生活垃圾的管理注重全过程管理

城市生活垃圾的管理从物流的源头开始，即从产品原材料的使用、生产过程、销售和消费到产生废弃物，直至最终处理，强调全过程管理，注重源头避免和减少垃圾产生。

垃圾全过程管理主要包括以下内容：

- (1) 产品阶段：包括使用较少资源、较少有害材料、可再利用的原料，生产易于再利用的、使用寿命长的产品，同时要标出原料的成分(尤其是有害的成分)。
- (2) 包装、运输阶段：包括优化包装(包装尽可能小)，用易于回收和有益于环境的包装材料，用易于再利用的包装或容器。
- (3) 消费阶段：包括购买使用寿命较长的、具有可回收标志的、易于再利用的产品，以及提倡有计划的购物等。
- (4) 废弃阶段：包括返还生产者(生产者回收系统)，垃圾分类存放，出售或交换废旧材料，家庭或消费场所定点回收、投放等。
- (5) 收集阶段：包括分类收集，按垃圾产生量和垃圾性质收取费用，再生材料、再生品的收集。
- (6) 运输阶段：密闭、分类运输，无污染运输，短(零)距离运输。
- (7) 处理阶段：材料还原及再生利用，回收能源、热量，综合利用焚烧的残渣。
- (8) 最终处置：填埋，土地复耕、再利用。

在实际生活中，城市生活垃圾的管理往往只是从消费者使用后的废弃物开始，忽略了从产品生产到消费者消费阶段的管理。

7.1.3 国外城市生活垃圾管理体制和机制

国外发达国家对城市生活垃圾的管理大都是政府职能部门统一监督管理，立法管理城市生活垃圾，居民或单位按照规定或政府的要求分类投放垃圾，企业负责垃圾的收集和处理。

政府的管理又分为国家、地区和地方三个层次。国家层次的管理主要是宏观管理，注重立法、制定经济政策和提供技术支持。地区层次的管理主要注重法规、营销和加工。地方层次的管理是基层的管理，注重具体实施和操作，同时加强监督管理。

在西方工业发达国家，经过几十年的探索，目前在垃圾管理方面已经形成了很好的机制，其特点是政府在垃圾管理方面实施统一监督管理，并拿出一定的资金通过招投标的形式委托企业负责部分垃圾处理设施的运转和管理，向居民和垃圾产生者按照产生的垃圾量和垃圾的性质收取垃圾管理费，通过扶持垃圾处理企业，负责资源的回收利用和再加工。

通过建立政府、企业和居民共同承担垃圾管理费的机制，不仅大大减少了垃圾的产生量，而且资源得到很好的回收利用，垃圾产业得到很好发展，较好地解决了垃圾问题。

7.2 上海城市生活垃圾管理现状评价及存在问题

上海市市容环境卫生管理局是负责城市生活垃圾管理的主管政府部门，其主要职责是贯彻、组织实施并研究起草有关方针、政策和法律、法规、规章；根据本市国民经济和社会发展总体规划、城市总体规划的要求，编制市容环境卫生专业规划及中、长期发展规划和年度计划，并组织实施；起草并组织实施市容环境卫生的地方标准；统一管理市容环境卫生工作；依法对全市市容环境卫生实施监督检查，负责市容环境卫生执法监察的监督和管理；负责生活废弃物和特定污染物的管理；负责本市市容环境卫生配套设施的管理；负责水域和特定区域有关市容环境卫生的管理^[67-70]。

上海市市容环境卫生管理局在行政上隶属于上海市建委，生活垃圾的管理由环卫管理处负责和执行。下设几个直属部门，分别司职不同职能：上海市废弃物管理处是负责具体组织实施对城市生活固体废弃物从源头产生到末端处置的全过程管理的行政事业单位。上海市市容环境卫生水上管理处隶属于上海市市容环境卫生管理局，是全市水城市容环境卫生的具体管理部门。上海市市容监察总队是法定授权执法主体，依法处理违反《上海市市容环境卫生管理条例》的行为。

目前上海市的市容环卫部门既是环卫法规的制定者，又是执行者和监督者，

既是管理者，也是操作者。生活垃圾的管理系统是一个受社会外界影响较小的独立系统，与整个社会的资源系统、工业生产原料供给系统、农业生态环境系统，以及与市民的环境、生活、消费观念等，存在着较为明显的脱节。这种缺少公众参与和行政监督的管理体制，似乎给人以这样的感觉：城市生活垃圾处理完全是政府的事，公众是旁观者，从而导致生活垃圾增多、乱扔垃圾现象的产生。生活垃圾管理系统的封闭性还导致系统内缺乏竞争、管理工作效率低下、成本高昂、财政负担不断加重等弊端。

7.3 上海城市生活垃圾管理探索

7.3.1 更新上海城市生活垃圾管理理念

（1）确立政府、企业、公众的多元参与理念

在市场经济条件下，城市生活垃圾的管理的主体是多元的，政府是管理主体，企业和社会公众也是管理主体，城市生活垃圾将更加体现政府、企业和社会公众的分工和合作关系。“全能政府”走向“小政府、大社会”，是社会主义市场经济体制对政府管理的必然要求。随着社会主体多元化的产生和完善，市场平等主体的活跃，必然使更多的社会公共事务由社会实行自我调整、自我控制，政府则应逐步从一些中介组织承担的职能领域退出。

（2）坚持立法、执法、监督相统一的理念

环境卫生管理机构行使其行政管理职能的过程，实际就是建立健全环境卫生法规体系，依据法规要求对社会环境卫生实施执法管理并同时接受社会监督的过程，是立法、执法和监督相统一的过程。

立法方面，要逐步从传统的立法模式中摆脱出来，要从为部门立法向为管理事项立法转变；执法方面，应当理顺市区两级执法体制的基础上，提高综合执法的层次，扩大综合执法的范围，积极推进执法责任制度、执法评估制度、执法监督制度和执法反馈制度；监督方面，要进一步强调执法与监督的逐步分离，即一方面要继续强化人大对城市环境卫生法规合法性的监督和法规实施过程的监督，加强舆论监督和社会公众的监督，另一方面努力建立城市环境卫生管理司法监督制度，处理行政执法部门在执法管理中有法不依、执法不严和违法不究的行为。

（3）体现环境效益、社会效益、经济效益相协调的理念

从环境和经济的相互关系看，经济发展会带来环境的污染和破坏；同时，保护环境需要耗费一定的物质财富，环境质量的改善程度与经济发展水平有关。从环境和经济的协调发展看，就要强调投入的效益，即以尽量小的投入，取得尽量大的环境效益和经济效益。这就要求在经济开发中，尽量考虑可能导致的环境影响和损失，进行费用—效益分析比较，以优化开发方案；同时，在环境建设和管理中，也应重视研究防止污染措施的经济效果，并规划符合各地社会经济发展水平要求的生活垃圾处理方式。

在现代城市的发展中，必须保持经济发展，社会进步和环境保护的高度和谐，只有在此基础上，城市的环境目标、经济目标和社会目标才能达到统一，各种资源的配置和利用才会达到最优和最有效，进而使环境效益、经济效益和社会效益同步增长，使上海市更加清洁、舒适和美丽。

（4）强调行政手段、法律手段和经济手段并用的理念

当前城市环境卫生行业在处于体制改革、机制创新的转换期，环境卫生行政管理部门承担着加快环境卫生作业服务市场培育，规范市场发展，建立和维护市场秩序的职能，这就要求行政管理部门主动转换角色，彻底是市场经济的调节者，通过各种经济手段调控市场供求，促进市场发育，实现城市环境卫生实业的发展目标；与此同时，还须依法制定市场规则，凭借法律和行政力量对环卫市场及市场中的行为主体作出强制性规定，使得市场形式和市场行为得以规范化。

7.3.2 完善上海城市生活垃圾管理法规

（1）要体现“源头控制”的要求

立法要体现固体废物处理从“无害化”发展为“减量化”的基本要求，并以清洁生产为前提，将固体废物管理从消费之后前置到生产过程，改变以前着重对固体废物处理处置的“末端治理”的战略，加大事前预防措施的份量和力度，实施减少固体废物产生的“源头控制”战略。这将对原有的法律原则和制度进行一个整体性改革，消除预防制度和治理制度的区别，通过功能多样化和配套互补途径，使各项制度都可能具备防与治的功能。

（2）要完善地方性法规、地方政府规章的公布制度

地方环境卫生管理部门除依法保密的事项外，各项行政管理一律应当在“阳光下”进行，在巩固现行的立法项目公布制度同时，进一步完善环境卫生地方性法规、地方政府规章的公布渠道，通过各种有效、便捷的途径和媒介对外公布。地方政府规章及配套或实施性文件，以及涉及管理相对人权利、义务的各项政策措施，也应当逐步建立和完善公开发布制度。

7.3.3 改革上海城市生活垃圾管理体制

科学合理的城市环境卫生管理体制必须能够体现管理客体的特定要求，并与城市建设和社会发展的客观趋势相适应。显然目前仍带有传统模式痕迹的行政管理构架已经不能适应市场经济的要求，必须进行积极的改革和主动的调整。城市生活垃圾管理体制应当体现以下三个原则：

（1）职能体系上的合理性原则

市场经济条件下，城市环境卫生管理体制及其职能体系的合理性，要求其在城市环境卫生管理内容形式、价值取向和方法手段上都能体现出市场经济的内在要求和社会化管理的客观趋势。首先在内容形式上，既要避免“事无巨细、统办包揽”的定位极端又要避免过渡退出，由市场主宰的职能极端。就目前现状而言，避免前一个极端显得尤为重要；其次在价值取向上，应体现出“有所为有所不为”和“强其所应强，弱其所应弱”的职能定位；第三，在管理手段上，要善于运用市场机制的调节作用。环境卫生管理部门要适应市场经济发展的大背景，切实加强经济政策的研究，善于运用经济杠杆来组织和开展城市环境卫生的管理，这也是政府机构改革、职能转变的一项十分迫切的任务。

（2）组织结构上的精简性原则

相对精简的数量结构是市场经济对政府管理的客观要求。城市环境卫生管理部门要增加管理效能，提高管理效力，就必须科学地制定职能和分解职能。对于传统模式下形成的管理职能要按照市场经济的要求进行认真梳理。该下放的要下放，按照事权下放、重心下移的要求，部分具体的管理职能可下放到下一管理层面。该转移的要转移，按照政府由直接管理向间接管理转变的要求，部分作业业务协调权，设备、材料的采购权，企业资质的审核权等可转移给行业协会和游子之的社会中介单位。这样，政府行政机关才能做到精简职能，按职定岗，按岗设

人，只为和职责相匹配，从而提高机关行政效率，杜绝闲职和冗员。

（3）完成操作上的弹性原则

原则性和灵活性相结合，要求城市环境卫生管理体制在付诸实施的诸环节中，能够根据管理对象和外部环境的变化，相对灵活地作出调整。市场经济的变化性很大，机械地沿用刚性约束体制是一种僵化的做法，实践操作中，要善于将体制的机械的刚性与环境变化的灵活性有机地结合起来。首先，以体制的刚性约束性为基础，保持相对的稳定性。如“两级政府、三级管理”的模式，不同行政管理层级的职能界定等等。弹性操作的前提是不应该同体制的基础特点相抵触，从而保持城市环境卫生管理体制的规范性。其次，由于不同管理层面和管理区域的差异性，在管理机构设置上，要完全上下一般粗，采取刚性要求是做不到的，这就要求体现“条块结合，以块为主”的原则，在明确管理职能的前提下，应允许机构设置形态上的差异性。再次，运用弹性原则是相对的、有条件的，因此要强调体制的规范性，权责必须明确，从而使实践操作的弹性空间具有约束性。

（4）行政运行上的网络化原则

现代管理和信息的关系非常密切，信息是决策、执行、沟通、检验、反馈等一系列管理活动的依据。所以环境卫生管理体制必须具备对信息的处理和利用功能，而保障信息利用最快捷的手段就是形成网络化的信息结构。城市环境卫生管理体制的职能结构具有开放性的特点，必须具有能够不断与体制外的环境进行必要的物质、信息和能量不断交换的结构特征。因此实现网络化管理，有利于城市环境卫生管理部门及时收集、反馈和处理信息。城市环境卫生管理正是通过对信息的分析、综合、总结，才能及时了解和正确把握管理对象及外部环境，通过监察和调整，不断提高决策和管理水平。

7.3.4 推进上海城市生活垃圾管理综合决策

综合决策，即将现有的各种政策和资源协调起来，这是我国环境政策改革的方向。从部门决策走向综合决策，从环境政策与经济发展政策分离走向两者结合，这是个大趋势。实现环境问题的综合决策，不能单独依赖部门的自觉性，也不能单纯依赖领导的明智，而是依靠制度的保障。在推进城市生活垃圾管理综合决策时，应注意以下五个方面的问题：

(1) 在综合决策前首先要了解当地环境和资源的承载能力,充分考虑决策事项可能对环境导致的影响,并进行可持续发展影响的评估。

(2) 提高决策透明度,通过非政府性的咨询机构以及大众信息网络等,听取社会各个层面对决策的环境影响的反应,并采纳有价值的意见,使有关社会团体、公众有效地参与决策过程。

(3) 建立综合决策机构,加强部门间的广泛协商和合作,建立协调的管理运行机制和反馈机制,以有效协调政府有关部门共同参与决策,在决策中形成合力。

(4) 建立综合决策程序,指定实施计划和措施,明确各有关部门的职责。在决策过程中,有关部门要履行自己的职责,行使自己的权利。

(5) 建立综合决策的考核和监督机制,在重大规划和经济政策出台运行一段时间之后,要对其进行回顾性评价,同时要听取社会各个层面的反映。要通过政府、人大、新闻舆论及社会公众来监督检查综合决策的情况及对未来发展可能产生的影响。

7.4 本章小结

本章对国外城市生活垃圾管理状况进行了分析,并指出了现行上海市城市生活垃圾管理制度的特点和存在的问题。目前的上海城市生活垃圾管理系统与整个社会的资源系统、工业生产原料供给系统、农业生态环境系统以及与市民的环境、生活、消费观念等都存在着较为明显的脱节。生活垃圾管理系统的封闭性还导致系统内缺乏竞争、管理工作效率低下、成本高昂、财政负担不断加重等弊端。更新管理理念、完善管理法规、改革管理体制、推进管理综合决策,建立上海城市生活垃圾管理新体系,积极探索出一条适应上海实际情况的城市生活垃圾管理道路势在必行。上海城市生活垃圾管理应确立政府、企业、公众多元参与,坚持立法、执法、监督相统一,体现环境效益、社会效益、经济效益相协调,行政手段、法律手段和经济手段并用,走可持续发展的城市生活垃圾管理道路。

8 结论与建议

8.1 结论

通过对上海城市生活垃圾产量成分、分类收集、运输中转、处理处置、堆场整治、管理方面的研究和评价后，得出如下结论：

(1) 根据近十年上海城市生活垃圾产量统计数据和成分特征分析，上海城市生活垃圾与发达国家城市相比，具有易腐有机成分含量较高、可回收利用物资较少、季节性变化较大等特点，并表现出水分偏高、热值偏低等特性。本文分别采用多元线性回归法和类比分析法对上海城市生活垃圾产量和成分进行了预测。结果表明，到 2010 年，上海生活垃圾清运量将达到 17567.19 吨/天，人均日产垃圾 1.28kg，比上年增长 4.24%。生活垃圾成分比例最高的还将是厨余，为 50.87%，比 2000 年降低 3.79%。比例降低的还有果类，从 2000 年的 12.84% 下降到 12.66%。厨余和果类所占比例虽会有所下降，但在垃圾中仍占有主导地位，因此生活垃圾的含水量仍将较高。纸类和金属的比例将有明显增幅，分别从 2000 年的 8.02% 和 0.85% 增长到 12.31% 和 1.34%，增幅达到 53.49% 和 57.95%。应加强对生活垃圾中纸类、塑料、金属和玻璃等有用物质的回收利用。

(2) 对 1996 年上海开始实行生活垃圾分类收集政策以来的垃圾分类收集情况、各区县生活垃圾分类方法和收集形式进行了全面调查和汇总，并根据现有上海城市生活垃圾的分类方法和收集形式，提出建立上海城市垃圾分类收集系统的设想。生活垃圾分类收集是一个系统工程，要建立垃圾分类收集系统，实施四种生活垃圾收运模式，除源头的广泛宣传发动，垃圾焚烧厂、分拣中心、有机垃圾加工利用厂、垃圾再生利用厂、有害垃圾处理厂等的建设外，还需积极营造生活垃圾资源化利用市场，以使垃圾分类收集可以持续健康地进行下去。

(3) 在上海城市生活垃圾运输中转系统研究中，本文阐述了上海城市生活垃圾中转站的发展，从技术、经济、社会环境效益等方面对三种类型的生活垃圾中转站进行了综合评价，认为上海市生活垃圾中转站宜采用推入装箱式。随着浦

东御桥及浦西江桥两座生活垃圾焚烧厂的建成投产和居民区生活垃圾收集方式的变革，上海又同时面临着苏州河环境综合整治，沿岸生活垃圾散装转运码头必须搬迁的实际情况，上海城市生活垃圾运输方式已逐步从水运为主向水陆并举方向转变，从散装运输向中转压缩、集装化运输方向转变。依照影响垃圾收运模式的各主次因素，把上海分为中心区、浦东新区、近郊区和远郊区四种类型区域，进行垃圾收运模式设计，并提出今后上海城市生活垃圾收运系统主要采用陆上直接运输、陆上中转运输及水陆联运集装化运输三种形式的生活垃圾物流系统方案。

(4) 基于上海市废弃物老港处置场、浦东新区黎明生活垃圾应急填埋场、浦东新区美商生活垃圾生化处理厂、浦东新区御桥生活垃圾焚烧发电厂、上海江桥生活垃圾焚烧厂和闵行生活垃圾焚烧厂的处理处置现状调查及存在问题的分析，以及各区域生活垃圾处理缺口量分析，对卫生填埋、堆肥、焚烧三种处置方法分别从技术可靠性、环境协调性和经济适用性的评价，从均衡综合效益前提出发，提出“巩固和完善生活垃圾卫生填埋技术、谨慎发展生活垃圾焚烧技术、充分重视生活垃圾生化处理技术、积极探索资源利用的新技术、多元并举走可持续发展之路”的上海城市生活垃圾处置系统构想。

(5) 通过对堆场的调查分析，根据占地面积、适用时间和地理位置等，分别为苏州河沿岸堆场、宝山顾村堆场、三林塘堆场和老港填埋场一、二、三期工程确定了各自适宜的整治方案。这些堆场的技术水平普遍较低，基本未采取压实、防渗、污水收集处理及沼气导排等措施，有的在堆放结束后用陈垃圾或泥浆进行覆盖，使堆场表面垃圾暴露、杂草丛生、污水横流，严重污染了周围环境。因此，应采取有效措施及时整治，控制环境污染的继续扩散。整治后的堆场将搬迁、就地封场、封场后再利用成生态公园、高尔夫球场、游乐场和停车场等。

(6) 本文还对国外城市生活垃圾管理状况进行了分析，指出现行上海市城市生活垃圾管理制度的特点和存在的问题，从更新管理理念、完善管理法规、改革管理体制、推进综合决策四个方面，探索出一套全新的上海城市生活垃圾管理办法。上海城市生活垃圾管理应确立政府、企业、公众多元参与，坚持立法、执法、监督相统一，体现环境效益、社会效益、经济效益相协调，行政手段、法律手段和经济手段并用，走可持续发展的城市生活垃圾管理道路。

8.2 建议

(1) 今后要进一步全面提高上海城市垃圾卫生填埋场的建设质量和管理水平, 完善垃圾浸出液处理工艺, 确保处理后的水质达到国家排放标准。要开发自然通风式的垃圾高温堆肥技术, 以普遍提高小城市的垃圾无害化处理率。要确保堆肥的质量, 保护农田土壤, 发展生态农业。

(2) 在强化城市垃圾无害化处理同时, 必须制订规划, 提出上海城市垃圾减量化和资源化的奋斗目标。建议尽快制定上海城市生活垃圾资源化利用和限制包装废弃物的有关法规。

(3) 上海发展垃圾焚烧技术, 应尽早把控制二恶英污染摆上日程。积极采用国际标准和发达国家的先进标准来制定我国国家标准。国外垃圾焚烧烟气二恶英排放标准为 $0.1\text{ng} \cdot \text{TEQ} / \text{m}^3$, 同时对飞灰、焚烧灰、废水中的二恶英均采取控制措施。我们一定要吸取国外的经验, 避免再走先污染后治理的老路, 且要预防为主, 防患于未然。

参考文献

- [1] 周翠红, 路迈西, 吴文伟等. 北京市城市生活垃圾产量预测. 中国矿业大学学报, 2003, 32 (2): 169—172
- [2] 陈新庚, 陈炳禄, 张淑娟等. 我国生活垃圾处置趋势分析. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37 (增刊2): 176—179
- [3] 章颖, 辰生, 孟峭等. 国外生活垃圾处理概况及综合利用研究(1~5). 中国城市环境卫生, 1999~2001: 30—33
- [4] 于苏俊, 杨立中, 李晓. 中国城市生活垃圾处置技术走向和需求的分析. 西南交通大学学报, 2002, 37 (6): 606—609
- [5] 李晶, 华珞, 王学江. 国内外城市生活垃圾处理的分析与比较. 首都师范大学学报(自然科学版), 2004, 25 (3): 73—80
- [6] Chen Kefa, Xu Xu, Gu Yueling, et al. Research on waste incineration technology in the fluidized bed. Journal of Xi'an Jiao Tong University, 2000, 34 (1): 1—8
- [7] Dong Baoshu. Current situation and treatment countermeasure of Industry solid wastes in China. China Environmental Protection Industry, 2001, (5): 20—21
- [8] Zhen Yishen and Wang Shiwen. Review of Environment and Development in China. Vol.1. Beijing: Social Science Literature Press, 2001
- [9] Chen Haibin and Tao Hua. Study for the statusquo of municipal refuse disposal in China. J Wuhan Urhan Construction Institute, 1997, 14 (3): 40—44
- [10] Pollution Control Department of National Environment Protection Agency. Technology of Management and Disposal of Municipal Solid Wastes. Beijing: China Petroleum Chemical Industry Press, 1999
- [11] U S Environmental Protection Agency. Municipal Solid Waste in The United States: 2000 Facts and Figures, <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/report-00/exec-00.pdf>
- [12] Zhu Jianguo. Global power utilization of solid waste incineration and the

- development in China. *New Power Source*, 1996, (18): 35—39
- [13] Liao Li. *Management and Disposal of Municipal Wastes*. Beijing: Science Press, 1999
- [14] 袁英. 我国城市生活垃圾现状与对策. *科技情报开发与经济*, 2003, 13 (7): 59—60
- [15] 陈海滨, 陶华, 冯其林等. 我国城市垃圾处理现状研究. *武汉城市建设学院学报*, 1997, 14 (3): 40—44
- [16] 吴德礼, 朱申红. 城市生活垃圾的综合处理技术与发展方向. *城市环境与城市生态*, 2002, 15 (4): 25—27, 32
- [17] 张东翔, 李东. 国内外城市垃圾处理方法对重庆市的借鉴. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2000, 23 (4): 53—57
- [18] 席俊清, 蒋火华, 汪志国等. 我国城市生活垃圾处理现状及存在问题分析. *中国环境监测*, 2003, 19 (1): 21—23
- [19] 张益, 杨承休. 上海市区生活垃圾产生量及成分分析. *环境卫生工程*, 2000, 8 (3), 104—106
- [20] 张益, 陶华主编. *垃圾处理处置技术及工程实例*. 北京: 化学工业出版社, 2002
- [21] 李雁, 岑慧贤. 维灰数递补动态模型在生活垃圾产量预测中的应用. *环境污染防治*, 2001, 23 (1): 42—44
- [22] 向盛斌. 城市居民生活垃圾影响因素分析及产量预测. *环境卫生工程*, 1998, 6 (1): 7—12
- [23] 陈华. 上海市生活垃圾的处理现状及对策探讨. *上海环境科学*, 1998, 17 (4): 46—47
- [24] 陆函, 张志强. 浅谈上海地区生活垃圾的能源化利用. *再生资源研究*, 2001, (3): 22—23
- [25] 周雯, 董雅文, 方斌斌. 上海南京深圳城市垃圾及处置的比较研究. *环境污染与防治*, 2000, 22 (3): 30—32
- [26] 赵沁娜, 杨凯. 上海郊区生活垃圾减量回收对策研究. *江苏环境科技*, 2003, 16 (1): 24—26, 32

- [27] 刘常青, 陈健飞. 福州市生活垃圾产量及物理成分预测. 土壤与环境, 2002, 11 (3): 258—263
- [28] 李东, 王里奥. 城市生活垃圾收运系统设计中垃圾产量的计算及预测. 1999, 7 (4): 138—140
- [29] 梁广生, 吴文伟, 赵桂瑜等. 北京市 2002—2007 年生活垃圾产生量预测分析. 环境科学与研究, 2003, 16 (5): 48—51
- [30] 孟繁柱, 金志英, 王荣森等. 我国城市垃圾产量预测. 环境保护科学, 2003, 29 (120): 21—24
- [31] 赵嘉勋. 对上海城市生活垃圾热值的探讨. 上海冶金设计, 1997, (2): 1—11
- [32] 雷阳明, 申哲民, 吴旦等. 上海市生活垃圾含水量调查和处理对策分析. 环境卫生工程, 2005, 13 (1): 48—49
- [33] Daniel Hoornweg, Laura Thomas. What A Waste: Solid Waste Management in Asia. Industry and Environment, 2001, 23 (1-2): 65—70
- [34] Beijing Environmental Sanitation Administration. Options for Domestic Solid Waste Treatment in Beijing. Metropolitan Environmental Improvement Programme (MEIP), MEIP City Working Paper Series: 1996
- [35] Department of Environment and Natural Resources (DENR). Urban Environment and Solid Waste Management Study. IBRO, EMB/DENR, Philip: 1995
- [36] Parikh.J., et al. Consumption Patterns. The Driving Force of Environmental Stress. In Gandhi Institute of Development Research Discussion Paper No.59: 1991
- [37] Wei et al. Solid Waste Disposal in China: Situation, Problems and Suggestions. Waste Management and Research, 1997, (15): 23—25
- [38] UNEP International Environmental Technology Centre (IETC). International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Municipal Solid Waste Management. Technical Publication Series No.6, Osaka/shiga, Japan: 1996
- [39] 黄慧. 上海市住宅小区生活垃圾分类收集模式研究. 环境卫生工程, 2004, 12 (2): 98—103
- [40] 唐家富, 张志强. 建立上海生活垃圾分类收集系统的探讨. 上海环境科学,

- 2000, 20 (2): 98—102;
- [41] 陆卫亚. 上海市区生活垃圾处理现状和对策. 环境卫生工程, 2002, 10 (1): 18—20;
- [42] 向盛斌. 上海市生活垃圾分类收集试点研究和效益分析. 环境卫生工程, 1998, 12 (6): 151—155
- [43] 马鸿发, 张健. 再谈上海生活垃圾分类收集. 上海建设科技, 2002, (3): 46—47
- [44] 陶渊. 上海城市生活垃圾收集、运输及处置系统规划. 2000: 38—39
- [45] 成效良, 谈和平. 生活垃圾中转站的形式及其应用. 上海市建设学报, 2001, (1): 39—40
- [46] 茹临锋, 奚旦立, 焦学军. 上海市崇明垃圾中转站工程设计. 环境卫生工程, 2003, 11 (4): 190—193
- [47] 陶渊, 黄兴华, 邱江. 生生活垃圾收运模式研究. 环境卫生工程, 2003, 11 (4): 211—213
- [48] 陶渊, 黄兴华, 邱江. 城市生活垃圾物流系统研究. 环境卫生工程, 2004, 12 (1): 52—55
- [49] 陶渊, 黄兴华, 邱江. 生活垃圾水陆集装箱水陆联运物流系统研究. 上海建设科技, 2003, (5): 46—48
- [50] 陆光立, 孟菲良, 章丽娜. 城市生活垃圾收运处置技术研究. 上海应用技术学院学报, 2002, 2 (1): 24—29
- [51] 李东, 王里奥. 城市生活垃圾收运系统设计中垃圾产量的计算及预测. 环境卫生工程, 1999, 7 (4): 138—140
- [52] 张悦. 综合处理 资源再用——对上海市生活垃圾和污水厂污泥综合处理利用的调研和建议. 2004, (13): 40—42
- [53] 沈志军. 关于实现上海市生活垃圾处理目标的建议. 环境卫生工程, 2002, 10 (3): 144—146
- [54] 吴军, 赵由才. 上海市废弃物老港处置场 4 期工程方案的构想. 环境卫生工程, 2001, 9 (1): 6—8, 28
- [55] 林哲明. 城市生活垃圾焚烧发电——上海江桥垃圾焚烧厂建设的实践与思

- 索. 上海电力, 2005, (2): 167—172
- [56] 郭广寨, 陆正明, 周乃杰. 上海市城市生活垃圾处置工艺的选择. 化学世界, 2000, (增刊): 79—82
- [57] 吴德礼, 朱申红. 城市生活垃圾的综合处理技术与发展方向. 城市环境与城市生态, 2002, 15 (4): 25—27, 32
- [58] 李定龙, 王晋, 张凤娥等. 城市生活垃圾处理模式选择的影响因素. 环境卫生工程, 2004, 12 (4): 223—226
- [59] Bhat. V N. Model for the optimal allocation of trucks for solid waste management. *Waste Management & Research*, 1996, 14(1): 87—96
- [60] Li X M, Zeng G M, Wang M, et al. Prediction the amount of urban waste solids by applying a gray theoretical model. *Journal of Environmental Sciences*, 2003, 15 (1): 43—46
- [61] 张庆费, 夏檑, 乔平等. 垃圾堆场改造成生态公园绿地的绿化技术研究. 上海建设科技, 2003, (3): 40—42
- [62] 曹其炜. 上海老港生活垃圾填埋场现状分析与可持续发展对策. 中国环境管理, 2004, (4): 56—57, 62
- [63] 刘慧. 上海市固体废弃物对地质环境影响及防治措施探讨. 上海地质, 2001, (1): 27—32
- [64] 沈国萱. 上海郊区生活垃圾处置对策研究. 环境卫生工程, 2001, 9 (4): 170—172, 182
- [65] Andrew Mas-Coleu, M Whinston, J Green. *Microeconomics*. London: Oxford University Press, 1995
- [66] Martijn Thierry, Marc Salomon, Jo Van Nunen, Luk Van Wassenhove. Strategic issue in production recovery management. *California Management Review*, 1995(2): 114—135
- [67] 赵旭, 全程红. 上海建立废弃管理体系的市场化研究. 上海综合经济, 2000, (8): 38—39
- [68] 陆道生. 上海市生活废弃物可持续利用研究. 上海社会科学院学术季刊, 2000, (3): 32—38

- [69] 虞震. 完善上海生活垃圾处置体系的建设. 上海经济, 2004, (增刊): 94—96
- [70] 王晓云. 上海市生活垃圾管理现状及零增长对策研究. 西南民族大学学报·自然科学版, 2004, 30 (2): 179—181

攻读学位期间发表的学术论文目录

- 1、沈佳璐, 陈季华, 刘芳. 上海市城市生活垃圾分类投放运行模式的探讨. 环境卫生工程, 2005, 13 (3): 25—27
- 2、刘芳, 陈季华, 奚旦立, 沈佳璐. 上海城市生活垃圾产量、组成特性及处置对策研究. 环境卫生工程, 2005, 13 (2): 37—40, 43
- 3、刘芳, 陈季华, 奚旦立, 沈佳璐. 上海城市生活垃圾处置及污染防治对策研究. 中国资源综合利用, 2005, (5): 13—17
- 4、杨波, 陈季华, 奚旦立, 沈佳璐. 厌氧水解酸化-好氧氧化 A₁/A₂/O 工艺剩余污泥减量研究. 环境科学, 收录
- 5、杨波, 陈季华, 奚旦立, 沈佳璐. 厌氧水解酸化-好氧氧化 A₁/A₂/O 工艺剩余污泥减量影响因素研究. 环境科学, 收录

致 谢

本文是在导师陈季华教授的悉心指导下完成的。在攻读硕士学位期间，陈老师在学习和科研方面给予我精心的指导和莫大的帮助。陈老师渊博的知识、严谨的治学态度、为人师表的高尚品格、孜孜不倦的进取精神和富于创新的科学精神，一直感染并激励着我，给我留下了深刻印象，并将使我受益终身。对先生孜孜不倦的教诲和生活上无微不至的关怀我将终生难忘。值此论文完成之际，谨向敬爱的陈老师致以诚挚和深切的谢意！

东华大学环境学院奚旦立教授、姜佩华副教授、博士后李燕老师、博士后刘芳老师、博士杨波老师等，对作者的学习与科研工作给予了很大帮助与关怀，在此表示深深的谢意。

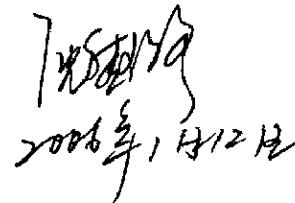
在课题进行期间，作者还得到了宇都宫大学工学部工学研究科环境能源专业今泉繁良教授的支持，以及浦东新区环境保护与市容卫生管理局固体废弃物管理署署长助理夏越青博士、废弃物管理科马建民老师、刘益老师的帮助，在此一并表示谢意。

亲爱的学友马春燕、邓春华同学，在我完成论文的过程中提供了许多帮助和方便，在此表示感谢。感谢校友孙菲、陈嫣同学对我科技英语写作的指导与帮助。

衷心感谢父母和亲属对作者的理解和支持。感谢东华大学 2003 级环境研究生班全体同学和辅导员苏亚欣老师、刘春雁老师，校关工委梁方义老师、严鑑华老师的帮助和勉励。

在此向所有给予作者关心、帮助和支持的老师、同学和朋友们表示深深的谢意。我愿在未来的学习和工作过程中，以更加丰厚的成果来答谢曾经关心、帮助和支持过我的所有老师、同学和朋友们。

最后，衷心的感谢诸位专家、学者在百忙之中，抽出宝贵的时间审阅本文和出席论文答辩会。

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the author, is placed here.