

城市生活垃圾的处理方法及效益评价^{*}

张于峰 邓娜 李新禹 田琦 周国兵

天津大学环境学院 建筑设备系, 天津 300072

摘要 介绍了城市生活垃圾的成分特性, 概述了国内外城市生活垃圾处理状况, 将卫生填埋、堆肥、焚烧和热解 4 种主要的生活垃圾处理方式的流程和处理特点进行了阐述, 其中重点介绍了热解处理垃圾的新型方式, 并且就每种技术手段的环境、经济、社会效益做出综合评价, 提出综合治理城市生活垃圾的思路。

关键词 城市生活垃圾 卫生填埋 堆肥 焚烧 热解 效益

随着经济的飞速发展和生活消费水平的提高, 城市生活垃圾大量增加, 垃圾的堆放不仅占用大量土地, 而且严重地污染环境, 破坏生态平衡。美国是世界上垃圾产生量最多的国家, 生活垃圾每年近 2×10^8 t; 英国、法国、荷兰 3 国的垃圾人均年产量分别为 329, 270, 210 kg^[1]; 日本年产生生活垃圾为 5×10^7 t, 人均约为 500 kg^[2], 最近 10 年平均日垃圾产量增加了一倍; 欧洲经济共同体国家生活垃圾平均增长率为 3%, 德国为 4%, 瑞典为 2%, 韩国生活垃圾年增长率高达 11%^[3]。国内调查表明, 目前我国城市人均年产生生活垃圾 440 kg, 并以每年 8% ~ 10% 的速度增长, 年产量已达 1.42×10^8 t^[3,4]。城市生活垃圾的快速增长要求完善垃圾处理处置的方法。不适当的垃圾处理方法会加剧对环境的危害, 例如城市生活垃圾焚烧处理过程中不可避免产生二噁英, 已引起人们高度的重视^[5~7]。因而如何安全有效地处理好垃圾并能回收利用再生资源显得尤为重要。

1 城市生活垃圾的成分特性

城市生活垃圾是指在产品进入市场后, 在流动过程中或使用消费后产生的固体废弃物, 主要来自

于居民的生活消费、商业、食品加工与餐饮业等过程中产生的垃圾(建筑垃圾不计入生活垃圾)^[3]。选择城市生活垃圾的处理方法应以垃圾的特性为依据, 其中成分特性是重要依据。

城市生活垃圾可分为有机物和无机物, 其中包括可回收废品。属于有机物的有厨余、纸类、橡塑、布类、果皮和竹木类等, 属于无机类的有玻璃、金属和杂物, 包括炉灰、庭院灰土、碎砖瓦等; 其中可回收废品包括金属、橡胶、塑料、废纸、玻璃等^[8,9]。发达国家的垃圾中无机物少, 有机物多; 比较而言, 早期我国垃圾成分的主要特点是无机物多, 有机物少, 含水量高, 热值低, 可回收的废品也少。近 10 几年以来, 由于城市居民生活水平的提高, 我国城市生活垃圾成分发生了很大的变化, 如表 1^[10](表中数据均源自双气区)可看出, 我国城市生活垃圾质量大大提高, 厨余类有机物含量稳定在 67% ~ 79%, 可回收类的有机物含量在 14% ~ 26%, 各城市的有机成分总含量均在 90% 以上。以沈阳市皇姑区生活垃圾组分为例, 2000 年生活垃圾组分中有机物成分达 90% 以上, 远高于 1994 年 40% 的有机物含量^[11]。城市生活垃圾的来源除双气区外, 还有单气区、商业区、市场区、学

2003-11-12 收稿, 2004-01-07 收修改稿

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 50378062)、天津市科委重大攻关项目(批准号: 013109611)和南开大学天津大学联合研究项目(批准号: TD200111)资助

E-mail: yufengfa@sina.com

校和机关等处, 垃圾成分随地点不同而有所差异, 达 34%。例如有资料表明 2002 年天津单气区的灰土含量高

表 1 我国部分城市生活垃圾的组成成分(%)^{a)}

地域(年份)	有机物		无机物			可回收废品					其他
	厨余	骨壳果皮 *	灰土	砖瓦	金属	玻璃陶瓷	纸张	塑料橡胶	织物	草木	
北京(1998) ^[10]	70.8		1.6		0.7	4.8	7.5	10.4	2.2	2.0	0.0
上海(1998) ^[10]	53.23	14.1 *	1.37		0.73	5.15	8.77	13.48	1.90	1.27	0.0
重庆(1998) ^[10]	69.3	8.7	1.0		1.2	3.9	5.4	50.0	4.1	0.4	1.0
沈阳(2000) ^[10]	67.5		1.0	1.3	0.5	2.8	7.6	11.0	1.7	1.5	0.3
天津(2000)	78.43	0.23	0.54	0.44	0.21	0.97	8.84	8.02	1.20	1.13	0.00
天津(2001)	77.03	0.21	1.51	0.73	0.48	0.85	8.41	7.83	1.24	1.59	0.12
天津(2002)	75.83	1.34	1.11	0.77	0.53	1.24	7.37	8.36	2.65	0.64	0.17

a) 本表依据城市生活垃圾采样和物理分析标准(CG/P3039-95); 天津市垃圾成分由天津市环境卫生工程设计研究所提供

2 国外城市生活垃圾处理概况

城市生活垃圾处理最古老的处理方法是露天堆放、低洼地倾倒或简单填埋, 这种方式对环境最为有害, 并且浪费资源, 已经被逐步淘汰。后起的卫生填埋虽然先进一些, 但仍然没有很好解决环境问题和资源综合利用问题^[12]。垃圾堆肥技术可通过微生物作用改良土壤, 回收部分垃圾资源, 目前许多国家仍在采用^[13, 14]。1876 年在英国曼彻斯特改进的室式焚烧炉是世界上第一台生活垃圾焚烧设备^[15]。随后垃圾焚烧技术崭露头角, 并逐渐成为垃圾处理技术的大趋势, 但其中的尾气污染和二噁英问题较为严重^[5, 16, 17]。近期兴起的垃圾热解气化技术, 是较为先进的垃圾处理方式^[15]。这 4 种垃圾处理技术是世界公认的通用技术。

统计表明^[18]: 发达国家的生活垃圾处理处置的主要方法为填埋和焚烧, 新加坡、日本、瑞士、瑞典、比利时、丹麦等国以焚烧法为主, 法国焚烧和填埋法的比重基本相当, 美国、德国等则以填埋为主, 辅以焚烧。总结得出国土面积较大的国家以填埋法为主, 国土面积较小, 人口密集的国家以焚烧法为主。近几年来, 世界城市各种垃圾处理方法的总比例正在发生变化: 填埋法下降到 50% 以下, 焚烧法上升到 36% 以上, 堆肥约占 9%, 热解约 2%, 综合回收利用占 5%^[3]。

3 我国城市生活垃圾处理概况

我国从 1982 年制定第一个专门性固体废弃物管理标准《农用污泥中污染物控制标准》算起, 至今只有 20 年的时间, 其间《固体废弃物污染环境防治法》于 1995 年 10 月 30 日正式公布。在《中国 21 世纪议程》中也提出了固体废弃物的处理目标和手段问题。

垃圾卫生填埋在我国仍是首选方法和主要途径, 占处理总量 70%~80%; 高温堆肥是我国“七五”期间生活垃圾处理领域研究开发的重点, 占处理总量 10%~20%; “八五”以来, 焚烧法逐渐成为新热点^[3]。另外天津、海口、广州等城市热解中试的成功, 为今后热解技术的发展打下了良好的基础。我国城市生活垃圾质量的提高^[19]也为开辟垃圾处理新方法创造了条件。热解气化技术法正在起步时期, 成熟后会因其高度的减量化、无害化、资源化而成为生活垃圾处理技术的新领域。

国家环保总局于 2001 年 7 月发出《关于开展生活垃圾处理设施环境影响调查和监测的通知》[环办[2001]72号], 在全国范围内开展调查。结果显示, 全国 329 个垃圾处理设施中只有 172 个基本符合标准要求, 处理能力仅占全国垃圾清运量的 33.1%, 垃圾产生量大而处理能力低的矛盾日益突出, 调查结果基本反映了我国垃圾处理领域水平仍很低的现状^[20]。

4 几种主要的城市生活垃圾处理处置方法的评价

4.1 填埋处理^[3, 12, 21~23]

填埋处理是城市生活废弃物最基本和最终的处理方法, 它是将垃圾埋入地下, 通过微生物长期的分解作用, 使之分解为无害的化合物. 分为简易填埋、卫生填埋、压缩填埋、破碎填埋 4 种方式. 卫生填埋法是各国应用最普遍的方法, 工艺流程参见图 1^[18].

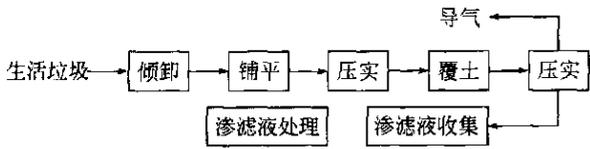


图 1 生活垃圾单元填埋作业流程图^[18]

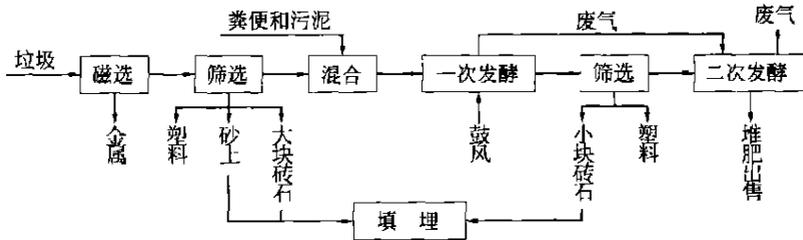


图 2 堆肥法生产工艺流程图

Thomas 发明的立式多段发酵塔标志堆肥技术已经初步形成了现代化生产方式和规模. 我国有北京南宫堆肥厂、内蒙古呼兰浩特市生活垃圾堆肥厂等 10 个大型垃圾堆肥厂^[20]. 上海复旦大学和华东理工大学研制的微生物有机垃圾处理机, 处理厨余垃圾量为 100~300 kg/d, 设备投资约计 15~29 万元, 折合 150~100 万元/t, 占地面积 12 m². 设备无噪声无污染, 其处理垃圾的 95% 可分解为水和气, 5% 的剩余物富含氮、磷、钾等有机高效肥.

4.3 焚烧法

焚烧是一种热化学处理方法, 是使垃圾中可燃

第一个城市垃圾填埋场于 1904 年建于美国伊利诺伊州的香潘市. 杭州市天子岭废弃物处理总厂是我国第一座合乎规范的填埋厂, 于 1991 年正式运行. 然而目前我国尚无一家城市生活垃圾填埋场所排放的污染物全部达标.

4.2 堆肥法^[3, 13~14, 18, 20]

堆肥法是使垃圾中的有机质在微生物作用下发生生物化学反应, 最后形成一种类似于腐殖质的物质, 可作为肥料或土壤改良剂. 按堆制过程的需氧程度可分为好氧法和厌氧法. 堆肥法在城市生活垃圾处理中所占的比例较小, 其工艺大都是好氧法, 工艺流程如图 2. 堆肥法对物料颗粒度、堆肥温度、碳氮比和时间等均有详细要求.

1933 年, 丹麦的 Dano 堆肥化方法, 标志着连续性机械化堆肥工艺的开端; 1939 年, Earp

成分与空气中氧进行燃烧反应, 将其变为无机残渣的过程. 图 3 为焚烧法工艺流程图, 焚烧法对垃圾的热值要求在 4127 kJ/kg^[24] (有些文献为 3360 kJ/kg^[25]) 以上. 焚烧法处理速度快, 减容性好. 而且还可以利用回收热来生产蒸汽和发电, 具有一定经济效益. 在日本等耕地奇缺的国家, 焚烧处理的比例达 65.0%~80.0%^[3]. 目前全世界已拥有近 2000 多座现代化垃圾焚烧工厂, 其中仅日本就有 300 多座, 美国 200 多座, 西欧各国近 200 座, 前联邦德国 40 座^[3]. 可见垃圾焚烧装置大多集中在发达国家, 这既与国家科技水平和经济实力有关, 也与垃圾成分有关.

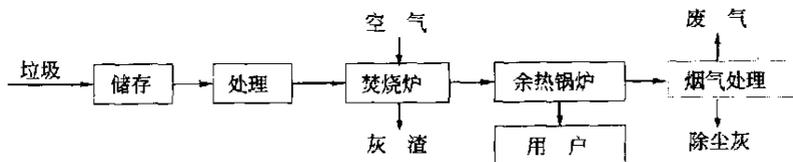


图 3 焚烧法工艺流程图

在垃圾焚烧过程中会产生可造成二次污染的危害物质,如伴随焚烧排放的烟尘、重金属尘粒、PCDDs(多氯二苯并二噁英)、PCDFs(多氯二苯并呋喃)、PAH(多环芳香族化合物)、PCB(多氯联苯)及有害气体(如 HCL, HF, SO₂ 等)^[5, 16~18, 25]. 焚烧产生的固体剩余物中重金属含量高的问题也必须予以重视. 在采用焚烧法处理生活垃圾比例较高的国家中,由垃圾焚烧厂排出的二噁英占排放总量的 75%以上(日本高达 80%~90%),这是世界各国对垃圾焚烧处理技术予以极大关注的原因,也是垃圾焚烧技术目前亟待解决的难题.

自 1988 年深圳市引进日本三菱重工生产的大型垃圾焚烧炉以来^[26],国内许多科研单位和企业积极参与了垃圾焚烧技术和设备的研究和开发. 深圳市垃圾焚烧厂的第三台焚烧炉,除炉排外全部采用了国产设备. 国内在垃圾焚烧方面已具有一定的技术条件.

4.4 热解法

近几年来国际上较为流行的垃圾处理方式是垃圾热解气化^[3, 15, 27~34],以瑞士 Themoselect S. A. 技术为代表,称为第三代垃圾处理方式. 热解法也称为裂解法,是把有机废弃物在无氧或贫氧条件下加热到 600~900℃,用热能使化合物的化合键断裂,由大分子量的有机物转化成小分子量的可燃气体、液体燃料和焦碳的过程. 这种技术与焚烧法相比温度较低,无明火燃烧过程,重金属等大都保持原状在残渣之中,可回收大量的热能. 尤其是此种方式具有二噁英产生的逆条件,较好的解决了垃圾焚烧技术的最大难题.

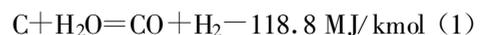
美国和日本结合本国城市垃圾的特点,开发了許多工艺流程. 目前有移动床热分解法、双塔循环式流动床法、管型瞬间热分解法、回转窑热解法、高温熔融热分解及纯氧高温热分解等多种流程^[3]. 国内对热解技术的研究开始于 20 世纪 90 年代初,大部分以生物质(国外定义生物质中包括 MSW^[28])为实验材料. 例如,华东理工大学在管式反应器内进行了生物质热解研究^[29];广州能源所在管式反应器内,以样品舱装载生物质原料进行了快速热解实验^[30];东南大学研究了 MSW 在加压裂解的喷动流化床中流动和扩散的规律^[31];重庆大学对 MSW 作

的热解失重特性研究^[32];石油大学废橡胶的热降解研究^[33];山东能源所研制的几种生物质和 MSW 热解气化实验装置等. 这些研究大多在实验室阶段,而且大部分是纯机理性研究.

4.4.1 天津大学研制的生活垃圾热解气化流程与机理 我们提出了新型垃圾热解资源化处理技术,其装置采用固定床炉型,属于上吸式(updraft)热解制气. 供给一定量的空气和水进入反应器,使废物部分自燃,生成热量将支持热解反应. 在垃圾热值足够高时,整个过程可以自动连续运行而无须外界热量供应. 工艺将氧化、还原、裂解及相关技术有机结合,垃圾依次经过干燥层、干馏层、还原层和氧化层,与气体在逆向运动中进行充分热交换,在不增加烘干设备和前分选处理设备的情况下对垃圾进行资源化处理,将有机废物在较高温度下转变为气体燃料,热值接近城市煤气热值,经净化回收装置可加以利用. 剩余物仅为 5%~8%的无机灰. 900℃的最高处理温度可基本消灭任何病菌,达到无害化的处理效果^[34].

垃圾热解装置的炉体的流程示意图如图 4 所示,垃圾由热解装置上方进入,空气从下方送至炉排. 在干燥层中,垃圾失去外水分;干燥后的垃圾中的有机成分在干馏层内部分干馏产生热解气 C_nH_m(主要成分 CH₄)及焦油和焦碳(称之为物料碳或垃圾碳)等. 同时,焦碳下落到还原层和氧化层,分别参加反应层的主要反应(1),(2)和(3). 炉内生成的所有气体再从炉顶收集,送入还原层中,提供反应水并使气化反应更加彻底. 在干馏层热解得到的气体主要为热解气 C_nH_m(主要成分为 CH₄),还原层得到的气体主要为气化气(CO, H₂),与由空气带入的 N₂ 混合,最终生成的可燃气主要成分为 CO, H₂, C_nH_m. 可燃气从高温还原层排出,满足控制二噁英发生的 3T(温度、滞留时间和湍流度)理论,从机理上抑制了二噁英的形成. 主要的热反应方程式如下:

还原层反应:



氧化层反应: C + O₂ = CO₂ + 406.4MJ/kmol (3)

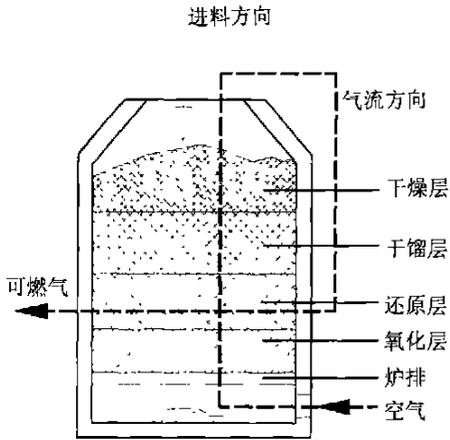


图 4 垃圾热解装置流程示意图

4.4.2 研究的热解气化技术的特点 (1) 本技术为资源化处理技术, 能利用垃圾自身的热量提供热解所需热能, 生成清洁可燃气。(2) 工艺流程封闭, 无烟气排放, 无异味发散, 二噁英排放低于国际标准, 无害化效果明显。(3) 对垃圾要求灰土等含量在 15% 以下, 处理垃圾不用分捡, 适合我国当前国情; 玻璃和金属等成分随处理过程排出设备后回收, 但对废弃电池尚无有效措施。(4) 处理后所得灰渣为惰性无害无机物固体, 减量化可达 90% 以上。(5) 尤其适用于就地处理居民小区和医院的高热值、高有机含量的垃圾, 所产燃气再供给小区或医院, 既可节省垃圾运费, 又利用了热能。(6) 设备自动化水平高, 占地面积小, 噪声低, 具有广阔的市场潜力。在推广使用时尚需完善热解气净化利用系统。

2001 年, 我们在天津大学成功完成了日处理 5t 生活垃圾热解气化处理装置的中试, 在包头市建立的日处理 15t 的医疗垃圾热解处理示范工程于 2003 年投入正常运行。

4.5 其他方法

除以上 4 种城市垃圾处理处置方法外, 还有源头分类收集^[35]、蚯蚓分解法^[36]、生物菌处理垃圾法^[37]、堆山造景^[38]、FSB 法(长春市第五研究所研制)、固体燃料化^[39]等方法, 再就是由以上 4 种技术演化出的一些方法, 这些方法这里就不再多做介绍。

5 几种垃圾处理处置方法的综合评价

在选择某种垃圾处理方法或其组合时, 需综合评价社会效益和环境效益、经济效益 3 个要素, 三者密切相关, 环境和经济效益较高, 必然可收到很好的社会效益。

(1) 环境效益 卫生填埋的实际操作往往不满足卫生要求, 造成臭气四溢、苍蝇等虫害孳生, 严重影响环境; 填埋场不可避免的产生大量气体 (CH₄, NH₃, H₂S, N₂, O₂, H₂, CO) 和挥发性有机物, 处理不当会酿成爆炸事故; 且填埋场渗沥液极易污染地下资源, 土地复原需要 10 年以上时间, 复原后土质松软, 只能作为绿化地使用。堆肥法在处理垃圾的同时还能生产土壤改良剂, 向植物提供养分, 基本实现垃圾的无害化, 资源化; 对环境的危害是重金属和一些致病性物质可能污染土地, 夹杂的塑料、玻璃、石头、金属等会污染土壤。焚烧法的优点是减量化, 一般可减少体积 90%, 并形成稳定灰渣, 无害化程度相当高, 而且占地面积少, 处理方法快速, 并可回收能源, 如垃圾发电等。缺点是在焚烧过程中容易产生二次污染, 焚烧灰渣和废水也要再经处理。新式热解法不仅拥有焚烧技术的全部优点, 而且还有效解决了二噁英问题。全封闭的工艺流程, 对环境不造成污染, 又可回收清洁燃气, 有很好的环境效益^[27]。

(2) 经济效益 卫生填埋方式工艺较简单, 投资少, 处理量大, 运行费用低。但新建的生活垃圾填埋场离城市越来越远, 就造成运费和处理费用的增加。以天津市新建的垃圾卫生填埋场为例: 占地 600 亩 (1 亩 = 666.7 m²), 建设投资 5700 万元, 日处理能力 400 t, 设备初投资 14.2 万元/t, 运行费用 75 元/t。堆肥法处理成本也较低, 肥料可产生一定的经济效益。焚烧设备一次性投资大, 运行费用高。以深圳焚烧与发电厂为例: 设备(国产)初投资 45 万元/t(其他城市利用国外政府贷款项目则高达 70~90 万元/t), 运行成本不低于 100 元/t, 还有尾气净化费用和废水治理费用等, 许多焚烧厂需要政府每年上千万元的补贴。热解法资源化处理设备初投资 10 万元/t, 运行成本 35 元左右/t。平均 1t 有机物垃圾可提取 200~250 m³ 的可燃气, 可燃气体可获得一定的经济效益。而且热解法占地面积

小, 可在小区内就地处理垃圾, 节省运费。

(3) 社会效益 卫生填埋法占用大量土地, 而且周围环境恶劣, 对复原土地的使用和填埋后可能的污染问题也值得推敲。堆肥法只能处理垃圾中的有机质, 垃圾必须经过分拣, 肥料可以肥田植树, 美化环境。焚烧法处理垃圾速度快, 无害化减量化彻底, 但其排放污染情况严重, 对人类健康构成威胁。热解法可为人类提供清洁能源, 方便生活, 具有广泛前途, 但对垃圾热值的要求较高。

6 结束语

城市生活垃圾实际是一种人造资源, 把垃圾的消极处理变为积极回收利用, 从而可以把当今各国发展所遇到的两个共同难题——垃圾“过剩”和能源不足有机地协调起来。由前文所述, 每种处理方式都不可能完美地处理生活垃圾, 我们认为应该采用综合治理的概念, 运用多种技术手段相结合的方法, 以一种具有环境可持续性、经济可承受性和社会可接受的方式, 对垃圾流中的不同物质进行不同的管理和处理, 即从垃圾源头做起, 实施垃圾分类收集, 对具有回收价值的垃圾回收利用, 对不可回收的物质进行相应技术处理; 同时制定相应的管理法规, 尽量减少废弃物的产生。具体实施方法是: 对生活垃圾中的厨余类和自然界生态垃圾采用堆肥的处理方法; 对不能再回收的可燃垃圾和堆肥过程中的残余物采用焚烧或热解处理方法。对居民小区垃圾实施就地处理, 采用生物堆肥和垃圾热解气化相结合技术, 将最终排出的无机废渣进行填埋或加工制成建材, 达到既节约资源又保护环境的双重目的。

参 考 文 献

- 张颖, 等. 固体废物的资源化和综合利用技术. 环境科学研究, 1998, 11(3): 49
- 小柳秀明. 日本的废物综合利用现状及展望. 环境科学研究, 1998, 11(3): 32
- 杨国清, 等. 固体废物处理工程. 北京: 科学出版社, 2000. 4, 10, 191~216
- 中国环境与发展大全编委会. 中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 37
- McKay G, et al. Dioxin characterization, formation and minimization during municipal solid waste (MSW) incineration. Chemical Engineering Journal, 2002, 86(3): 343
- Hay A W M, et al. Impact on the environment In: Hutzinger O, eds. Chlorinated Dioxins and Related Compounds. Oxford: Pergamon Press, 1982
- Commoner B, et al. Dioxins and their impact on the human health. Waste Manage Res, 1987, 5: 203
- 董保澍. 固体废物的处理和应用. 北京: 冶金工业出版社, 1994. 151
- 张益, 等. 生活垃圾焚烧技术. 北京: 化学工业出版社, 2000. 194
- 张益, 等. 垃圾处理处置技术及工程实例. 北京: 化学工业出版社, 2002. 139~147
- 楚华, 等. 城市生活垃圾在热解处理中的产气特性研究. 安全与环境学报, 2002, 2(2): 37
- Ying W C, et al. Treatment of a landfill leachate in powered activated carbon enhanced sequencing batch bioreactors. Environmental Progress, 1987, 6(1): 1
- Wolkowski R P, et al. Nitrogen management considerations for landspreading municipal solid waste compost. Environmental Quality, 2003, 32(5): 1844
- Bhattacharyya P, et al. Characterization of municipal solid waste compost in relation to maturity, stability and heavy metals content and pathogens. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2001, 71(12): 791
- Morris M, et al. Energy recovery from solid waste fuels using advanced gasification technology. Waste Management, 1998, 18(4): 557
- Chang M B, et al. Characterization of dioxin emissions from two municipal solid waste incinerators in Taiwan. Atmospheric Environment, 2002, 36: 279
- Kenji T, et al. Combustion characteristics and dioxin behavior of waste fired CFB. Chemical Engineering Science, 1999, 54: 5599
- 王明武. 城市生活垃圾处理方法综述. 矿山环保, 2000, 1: 13
- 天津市环境卫生工程设计院. 天津市城市垃圾管理与处置规划. 2001~2005
- 李国刚, 等. 我国城市生活垃圾处理处置的现状与问题. 环境保护, 2000, 4: 35~38
- Yong P J, et al. Processing of the GRCDA, the international landfill gas symposium. Silver Spring, USA, 1985: 53
- Olivero-Verbel J, et al. The toxicity of leachates from a municipal solid waste landfill is dependent on cadmium and modulated by nickel. Toxicological Sciences, 2003, 72(1): 1935
- Jang Y S, et al. Behavior of a municipal landfill from field measurement data during a waste-disposal period. Environment Geology, 2003, 44(5): 592
- 李晓东, 等. 中国部分城市生活垃圾热值的分析. 中国环境科学, 2001, 21(2): 156
- Williams P T. Pollutants from incineration: An overview. In: Hes-

- ter R E, et al. eds. Waste Incineration and the Environment, Bath: Press, 1994
- 26 周仲凡, 等. 城市固体废物管理与处理处置技术. 北京: 中国石化出版社, 2000. 210
- 27 Li A M, et al. Experimental studies on municipal solid waste pyrolysis in a laboratory-scale rotary kiln. *Energy*, 1999, 24: 209
- 28 Ayhan D. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42(2001): 1357
- 29 颜涌捷, 等. 城市生活垃圾能源利用探讨. *太阳能学报*, 1996, 17(2): 18
- 30 Bing Y X, et al. Kinetic study on biomass gasification. *Solar Energy*, 1992, 49(3): 199
- 31 金保升, 等. 城市固体废物(MSW)热解特性及其动力学研究. *工程热物理学报*, 1999, 20(4): 509
- 32 张 力, 等. 城市生态垃圾物性与热解特性的实验研究. *环境科学学报*, 2000, 20(5): 645
- 33 Chen F Z, et al. Studies of the thermal degradation of waste rubber. *Waste Management*, 2003 (23): 463
- 34 Zhang Y F, et al. A new pyrolysis technology and equipment for treatment of municipal household garbage and hospital waste. *Renewable Energy*, 2003, 28 (15): 2383
- 35 Metin E, et al. Solid waste management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey. *Waste Management*, 2003 (23): 425
- 36 Kaviraj, et al. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresource Technology*, 2003 (90): 169
- 37 Ding A Z, et al. Biological control of leachate from municipal landfills. *Chemosphere*, 2001 (44): 1
- 38 齐长青. 天津市建筑垃圾填埋场堆山造景的研究. *环境卫生工程*, 2002, 10(3): 113
- 39 Funahayashi K, et al. Production technology of refuse-derived fuel (RDF). *Kagaku Kogaku*, 1997, 61, (7): 502

2003 ~ 2005 财年英国跨理事会优先资助研究计划

英国研究理事会是英国政府重要的资助与研究机构, 包括医学研究理事会(MRC)、生物技术与生物科学研究理事会(BBSRC)、自然环境研究理事会(NERC)、粒子物理与天文学研究理事会(PPARC)、工程和物质科学研究理事会(EPSC)、经济与社会研究理事会(ESRC)等六个研究理事会以及中央实验室理事会(CLRC)。研究理事会根据科学发展趋势与国家需求, 制定了 2003/04 财年至 2005/06 财年跨理事会的优先资助研究计划, 旨在继续保持发扬英国科学与工程领域高水平均衡发展的传统优势的基础上, 满足英国经济社会发展的长期需求。跨研究计划包括新启动的 3 项研究计划和延续性的 3 项研究计划, 新启动的研究计划领域包括干细胞、面向可持续能源的经济和农村经济与土地利用, 继续支持的研究计划领域则包括 e-科学、后基因组学和蛋白质组学以及基础技术。

在未来三年英国研究理事会新启动的优先研究计划中, 干细胞研究计划将累计投入 4000 万英镑, 以在短期内加强对英国最优秀科学家的支持, 同时进一步吸引国外研究人员, 在中期希望获得更多关于干细胞发育成不同类型的体细胞的能力及其正常发挥作用的能力的知识, 在更长一段时期则推动治疗方法进入人体实验阶段, 最终可望开发出各种新疗法。近期重点支持有竞争力的、可尽快实现出口的技术领域; 面向可持续能源的经济计划将投入 2800 万英镑, 确保 2010 年实现可再生能源发展新技术, 以及开发有出口前景的技术, 2010 年以后则重点支持在可再生能源研发计划过程中新发现的潜在能源技术; 农村经济与土地利用计划将投入 2000 万英镑, 在促进农村发展在实现社会和经济目标的同时, 力求保护农村地区的生态环境, 并建立具有竞争力的、可持续发展的现代化农业产业。

(龚 旭 周建中 编 译)