我国城市生活垃圾处理技术应用现状分析

赵 苗，任连海，王 攀

（北京工商大学 环境科学与工程系，北京 100048）

摘要：指出了随着我国城镇化的发展，人民生活水平的不断提高，城市固体废弃物产量越来越大，城市固体废弃物的处理已成为一个非常严峻的问题，对填埋、焚烧和堆肥三种处理技术的实际应用情况进行了分析，对比了三种处理方式对环境的影响，并采用生命周期评价法进行了评价。

关键词：固体废弃物；处理技术；应用

中图分类号：X705　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674-9944(2013)12-0146-04

1 引言

城市化的快速发展虽然推动了政治、经济、文化的发展，但是由于人口的剧增，使得相对狭小的空间消耗了大量的资源，产生的固体废弃物超过了其自身的净化和处理能力，因此带来了严重的环境污染问题。城市固体废弃物的有效资源化利用对营造和谐的城市发展模式以及创造良好的社会经济效益都具有重要的意义。

2 城市固体废弃物概述

2.1 我国城市固体废弃物现状

固体废弃物是指人类在生产、生活、消费等过程中产生的固态、半固态废弃物质以及一些高浓度的废液。按来源分为城市生活固体废弃物、工业固体废弃物和农业废弃物。自 1989 年以来，我国的城市生活垃圾以每年 8.98% 的速度增长，有些城市增长率高达 15%～20%，大大超过了世界的垃圾平均增长速度 8.42%。另外据国家环保部《2012 年中国环境统计公报》公布的数据显示：2012 年，全国工业固体废物产生量为 329046 万 t，资源化利用量为 202384 万 t，利用率仅为60.9%[1]。我国历年累积垃圾堆存量达 66 亿 t，占地5 亿 m^2。在全国 600 多座城市中，有 200 余座包围在垃圾之中[2]。我国已成为世界上垃圾问题最严重的国家。

我国幅员辽阔，南北文化差异比较大，生活习惯以及饮食文化的差异造成了各地垃圾成分的不同，因此选择垃圾处理方式要因地制宜。例如卫生填埋适用于经济实力弱、可用土地多的城市，而堆肥适合于垃圾热值较低、农作物耕作面积较大的城市。表 1 给出了 3 个代表性城市的生活垃圾成分[3]。

表 1　我国部分城市生活垃圾物理构成　　%

城市	有机垃圾	无机垃圾	废品类					
			纸张	塑料	玻璃	金属	织物	小计
深圳	52.35	21.60	8.50	9.50	2.57	1.32	3.57	26.05
北京	44.15	9.58	14.28	13.61	6.34	1.17	2.02	37.42
哈尔滨	63.92	20.22	11.04	1.73	2.07	0.66	0.36	15.86

由表 1 看出，在城市生活垃圾中占主要地位的是有机垃圾，也就是厨余垃圾，一方面厨余垃圾混入生活垃圾不仅占用了生活垃圾大量库容，还会使垃圾渗滤液中高浓度有机废液含量增加，增加垃圾渗滤液处理负荷；另一方面由于厨余垃圾含水率比较高，若是混合生活垃圾焚烧处理，降低原料热值还会由于燃烧不完全而产生二恶英，污染空气；很多国家和地区已经禁止将厨余垃圾作为普通生活垃圾焚烧、填埋[4]。因此垃圾分类处理是使得生活垃圾高效处理的关键所在。

2.2 城市固体废弃物的危害

我国城市固体废弃物产生量大、危害大，具体有以下几个方面[5]。

(1)污染水体。未经无害化处理的固体废弃物随意堆放，其渗滤液进入土壤会造成地下水污染；若经降水和地表径流进入河流湖泊会造成大面积水体污染。

(2)污染大气。固体废弃物中的有机物分解产生有害气体；焚烧处理时也会产生有害气体和粉尘；粉尘随风飘散，既污染环境，影响人体健康，又影响市容。

(3)污染土壤。固体垃圾长期随意堆存，其有害成分渗入土壤后，能杀死土壤中的微生物，破坏土壤的生态平衡；有害物质通过农作物的富集作用，由食物链进入人体，带来一些疾病。

3 我国城市固体废弃物的处理现状

固体废弃物的处理经历了长久的发展变革，从最原始的在荒地进行随意堆放或掩埋，到后来由于可用土地大量减少，以及生活水平、消费水平和环保要求的提高，应运而出一批回收利用率高、无害化、资源化的处理技术[6]，在我国城市固体废弃物的处理方式主要有卫生填埋、焚烧和堆肥及垃圾综合处理技术[7]。

收稿日期：2013-10-31

作者简介：赵　苗(1987—)，女，河北邢台人，北京工商大学环境工程专业 11 级硕士研究生。

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.1　填埋技术

卫生填埋(Sanitary Landfill)作为生活垃圾的传统和最终处理方法，目前仍然是我国大多数城市解决生活垃圾的最主要方法[7]。卫生填埋就是选择合理的堆放场地，经过防水渗漏、复土等措施而进行垃圾处理的一种方式[6]。它始于20世纪30年代，最早出现在美国，随后亚洲、欧洲一些国家利用此方法填海造岸，虽然在处理废弃物的同时获得了土地，但却影响海水水质。卫生填埋并不是简单地填埋，而是必须要经过科学的选址、必要的场地防护处理和严格管理制度。在我国由于能力有限，只能做些简单的防水渗漏、覆土，大部分垃圾处于露天堆放的状态[5,6]。

截至2005年底，全国661个城市中共有365座城市生活垃圾填埋场，处理能力为21.3万t/d。我国近85%的城市生活垃圾采用卫生填埋处理，而在这些填埋厂中只有15%能够实现生活垃圾的基本无害化，5%实现较完全的无害化，其余的只是简单地填埋，仍对环境造成污染。表2列出了我国主要城市垃圾填埋场的设置情况[8]。

表2　我国主要城市垃圾填埋场设置情况

填埋场	填埋库容/万 m^2	处置能力/(t/d)	使用年限	建设费用/百万元
杭州天子岭	600	1000	1991～2014	2700
上海老港	1200	3000	1989～	104
广州李村	180	1200	1990～1997	16
广州大田山	1700	2000	1992～1999	2.6
西安江村沟	4900	3500	1995～2045	120
深圳下坪	1400(5000)	1800	1997～2027	300(1000)
包头青山	200	200	1900～2010	3
北京阿苏卫	1070	2000	1995～2002	110

注：()内为二期

虽然卫生填埋有处理量大和投资少等优点，但它潜在危害比较大。据美国等国科学家研究报导[6]，填埋后的废弃物会产生大量含有重金属和有害离子的渗滤液，随渗漏或地表径流进入地下，污染水源。因此对于垃圾填埋场的设计必须要严格把关，保证减少所填埋的垃圾对周围环境和居民的影响。表3[9]为杭州天子岭填埋场的垃圾渗滤液的分析情况。

表3　杭州天子岭填埋场渗滤液分析

指标	含量/(mg/L)	指标	含量/(mg/L)	指标	含量
COD_{CN}(mg/l)	3621	SS(mg/l)	350	Cu(mg/l)	0.207
BOD_5(mg/l)	2100	色度(倍)	1250	P_6(mg/l)	0.196
NH_4^+-N (mg/l)	240	pH 值	6.5～7.5	Cd(mg/l)	0.012
TS (mg/l)	4000	Zn (mg/l)	0.462	Cr (mg/l)	0.049

生活垃圾填埋过程中会产生填埋气，主要成分为甲烷和二氧化碳，以及一些恶臭气体。其中甲烷和二氧化碳对温室效应贡献较大，全世界每年甲烷排放量大约5亿t，有2200～3600万t甲烷来自城市生活垃圾填埋场[10]。这些气体不仅污染环境，对人体健康有一定危害，而且其中的易燃成分还会引发填埋场安全问题。对于恶臭气体一般可以采用物理吸附、化学吸收以及微生物分解等方法综合进行治理，效果比较显著[11]。对于甲烷气体，在其高峰产期可以进行回收利用发电以实现其能源利用价值。1998年10月，我国第一个填埋气体发电厂在杭州天子岭填埋场建成发电，目前共有4台发电机组，截至2011年总装机容量达到4000kW。为我国填埋场填埋气体的开发利用奠定了基础[12]。在填埋场运营后期通过甲烷氧化技术，通过甲烷氧化菌的作用将甲烷氧化成 CO_2，解决甲烷减排问题；在填埋场封场前利用甲烷菌抑制技术解决封场前的甲烷排放问题[10]。

我国填埋场的技术水平还是比较落后的，存在有很多问题，集中在：①产生的垃圾渗滤液经处理还是无法达到正常的排放标准，而且在暴雨的时候渗滤液的量激增，超出处理能力而直接排放，严重污染环境；②垃圾场产生的气体回收利用率太低。目前国内只有广州李坑垃圾填埋场和杭州天子岭垃圾填埋场对填埋气体进行了回收发电利用[12]。

3.2　焚烧技术

焚烧(Incineration)是城市生活垃圾处理的有效途径之一，是指一定量的过剩空气与固体废弃物在焚烧炉内进行氧化反应[13]。将垃圾用焚烧法处理后，剩余残渣量只有原垃圾量的5%～20%，在此过程中还可消灭各种病原体，将有毒有害物质转化为无害物，比较适合于可燃物含量较高的生活垃圾。由于焚烧并不是资源化利用的方法，因此只有对于那些没有回收利用价值、可以回收热能的废物进行焚烧才科学合理。

我国垃圾焚烧技术研究始于20世纪80年代中后期。深圳市于1985年从日本引进2台日处理能力为150t的垃圾焚烧炉，成为我国第一座现代化垃圾焚烧厂[12]。据建设部资料统计：截至2006年底，全国共有生活垃圾焚烧厂69个，处理能力1138万t。焚烧处理量占垃圾处理总量的比例约为13%，与2005年相比，上升了3%。

随着焚烧市场的扩大化，国产焚烧炉应运而生，一些国产焚烧炉厂家相继诞生，并建设了一些中小规模的垃圾焚烧设施。我国国产焚烧炉的建设情况见表4[8]。

表4　我国国产焚烧炉的建设情况

设施名称	完工日期	规模/(t/d)	炉型	厂家	建设费用/万元
江苏常州	1997	50	机械链条炉	常州环卫工程设计研究院	265
北京燕华	1997	120	机械链条炉	重庆环保工程工业联合公司	800
四川泸州	1994	80	机械链条炉	重庆环保工程工业联合公司	1870
广东中山	1997	50×2	油压炉排炉	徐州绿地环境工程公司	300
北京昌平	1997	100×2	机械链条炉	当代吃垃圾工程公司	4800
北京海淀	1997	100	循环流化床	科学院热物理研究所	700
广顺德	1997	75×2	油压炉排炉	五岭锅炉厂	1700

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

一般情况下焚烧 1t 城市固体废弃物可以产生约 400～700kW·h 的电力[14]。从烟气中回收热量用于蒸汽发电或者供热。既达到了垃圾减量化、无害化处理，又实现了资源再利用。20 世纪 50 年代，德国和法国率先将垃圾焚烧发电技术应用实际，而我国首次引进垃圾焚烧发电技术的也是深圳市第一座现代化垃圾焚烧厂[15]。由于其投资和运营成本高，而且焚烧过程的气体(如二恶英)和灰烬可能会造成二次污染，近年来，垃圾焚烧法在国内外已开始进入萎缩期。焚烧排放的烟气成分如表 5 所示。

表 5　焚烧排放烟气成分

名称	数量	环保要求
烟尘/(mg/m²)	0.1	符合
氮氧化物 NO_X/(kg/吨废物)	2	符合
氯化氢 HCl/$\times10^{-6}$	800ppm	超过
二恶英 CDD_S/(g/m³)	0.5×10^{-1}	$\geqslant10^{-12}$
呋喃类/(g/m³)	0.5×10^{-9}	$\geqslant10^{-12}$

由表 5 可以看出，在焚烧中二恶英及呋喃类物质严重超标，垃圾在燃烧过程中产生的二恶英占二恶英产生总量的 95%以上，对于二恶英的控制尤为重要。焚烧前要进行垃圾分类处理，将含氯物质分拣出来，减少氯源及金属催化剂进入焚烧炉；在焚烧过程中添加含硫、氮物质抑制二恶英的生成；对于已经生成的，通过添加活性炭或者 SCR 系统将二恶英消耗掉或者尾气除尘处理[16]。现代的垃圾焚烧炉都配有良好的烟尘净化装置，减轻对大气的污染。尽管如此，目前仍有超过 15 个国家和地区，对垃圾焚烧实施了部分禁令。

我国垃圾焚烧技术比较落后，其中存在的问题集中在以下方面：①各地垃圾成分复杂，由于厨余垃圾的大量混入导致垃圾热值降低，在燃烧过程中出现燃烧不充分的问题；②由于燃料中含有大量的硫、氟、氯等，在燃烧过程中会产生 H_2SO_4、HF、HCl 等酸性气体，腐蚀焚烧炉[17]。

3.3　堆肥法

堆肥法(Composting)是微生物分解固体废弃物中的有机物的过程，主要是通过发酵，使之成为稳定的有机质，并利用发酵过程产生的高温杀死有害微生物以达到无害化卫生指标。堆肥法分为好氧堆肥法和厌氧堆肥法。目前堆肥的对象主要是城市生活垃圾和污水处理厂污泥、人畜粪便、农业废弃物、食品加工业废弃物等[18]。由于固体废弃物中含有大量的有机物质，通过堆肥技术将有机物质转化为有机肥用于农业生产，不仅可以改善土壤的性能、提高作物产量，还可以消除传统化肥对土壤带来的不良影响，因此固体废弃物堆肥技术有着广阔的发展前景。目前堆肥制作及利用技术在国内外发展已经很成熟，对其影响因素如微生物、温度、湿度、pH 值等的研究也取得了一定成果[5]。

截至 2005 年底，全国共建有垃圾堆肥厂 46 座，日处理能力 1.18 万 t，处理量为 345 万 t 。占到我国固体废弃物总处理量的 10%～20%[18]。这些堆肥场中最大的也只能达到日处理能力 300t，根本无法满足日益增多的数量巨大的废弃物处理要求。表 6 列出了我国主要城市垃圾堆肥化的一些情况[8]。

表 6　我国主要城市垃圾堆肥化设置情况

堆肥化设置	处理能力/(t/d)	最高温度/℃	运行费用/(元/t)	发酵周期/d	
				一次发酵	二次发酵
无锡	100	65	18	10	10
杭州	15	70	8～16	3	15
武汉	100	65	7	10	60
上海	300	70	13	30	/
天津	50	70	13	8	25

虽然堆肥处理成本低，但是由于堆肥过程无法有效地控制，而且对周围环境污染较大。垃圾中所含的塑料、玻璃和一些有毒有害物质等影响堆肥产品的质量，导致产品肥效低，销路不畅，严重制约垃圾堆肥化的发展。由于经济效益差，许多堆肥场都面临着关、停的困境。而解决堆肥问题的关键在于实现有机垃圾的分类收集，有效地分选出易腐有机物、可燃物质和能回收的废弃物。

目前垃圾堆肥有了新的研究方向，就是将生活垃圾和其他垃圾混合堆肥制作肥料，例如生活垃圾和畜禽粪便混合堆肥[20]，由于生活垃圾中厨余垃圾含量逐年增加，堆肥综合处理技术是今后的发展方向。除了垃圾混和堆肥，在今后的发展中对于堆肥的技术改革的重点在于：①堆肥发酵技术的拓展改良；②建立适合我国城市生活垃圾的点的系列设备；③扩大堆肥的适用范围等[7]。

4　生活垃圾处理技术的生命周期评价

生命周期评价方法(LCA)起源于美国，它是指通过评价城市固体废弃物各个处理阶段的环境影响，使产生到最终整个过程的环境最小。它是衡量区域废弃物管理体系环境效应的重要方法。我国利用生命周期评价方法对固体废弃物研究还处于起步阶段。随着近年来生命周期评价方法在中国的迅速发展，中外学者利用这一方法对固体废弃物卫生填埋、焚烧和堆肥技术进行了研究分析，从而得出 3 种处理技术对环境的影响程度。

韦保仁等[21]针对苏州生活垃圾，比较垃圾卫生填埋和焚烧 2 种处置方法对环境的影响，结果表明：焚烧处理对环境的影响比填埋的影响要小。李雯婧等[22]针对大连市中心城区生活垃圾填埋和焚烧处理工艺模式进行了生命周期评价，结果表明：填埋工艺的温室气体排放量高于焚烧工艺的气体排放量。Hong 等[23]利用 LCA 评价了我国填埋、焚烧、填埋和生化处理相结合以及焚烧和生化处理相结合 4 种处理模式，得到填埋的 GWP 值(全球气候变暖指数)和 AP 值(酸化潜力)均高于焚烧的潜值，而综合处理的 GWP 和 AP 值低于填埋的潜值；由 CH_4 的直接排放导致填埋的 GWP 值很高，利用 CH_4 发电是减少 GWP 值的关键因素。泰国的一些学者分别评价了填埋和焚烧、焚烧和生化处理相结合的生命周期评价，结果显示生化处理有更高的净能源产出[24]。张伟倩[25]等通过分析 2003～2010 年国内外不同城市的固体废弃物管理体系生命周期评价结果，得出了城市固体废弃物处理模式环境影响等级：填埋的环境

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

影响潜值最大，焚烧的环境影响潜值小于填埋，而且结合堆肥后环境影响潜值降低；将垃圾源头分类回收等引入到处理模式后环境影响潜值大大降低。

5　建议

结合我国城市生活垃圾处理现状，生活垃圾的处理要结合 3R 原则。由于我国各地生活垃圾成分复杂，在处理模式上应该尽量采用综合处理方式；由于各地区文化差异、饮食习惯差异，各地的垃圾成分也不尽相同，因此要因地制宜；最重要的还是要进行垃圾源头分类，提高后续处理的效率。我国城市垃圾处理应走向“污染预防—3R 原则—垃圾处理—最终处置”的道路。

参考文献：

[1] 国家环境保护部. 2012 年中国环境状况公报[EB/OL]. [2013－07－03]http://jcs. mep. gov. cn/hjzl/zkgb/2011zkgb/

[2] 邓义祥，田从华. 我国固体废物的处理现状与对策[J]. 资源开发与市场，1999，15(2)：1～5.

[3] 欧阳丰瑞. 我国城市固体废弃物资源化管理体系研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2007：15～16.

[4] 刘　云，李晓姣，袁　进. 餐厨垃圾的微生物处理技术研究进展[J]. 环境卫生工程，2011，19(4)：28－31.

[5] 金志强. 固体废弃物危害及处理技术分析[J]. 资源与环境，2012，(9)：150.

[6] 凌加明. 城市固体废弃物处理技术比较[J]. 能源研究与信息，1995，11(2)：35～41.

[7] 康　鑫，张　芹. 城市固体废物处理概述[C]//中国环境科学学会. 2013 年学术年会论文集. 北京：中国环境科学学会，2013.

[8] 欧阳丰瑞. 我国城市固体废弃物资源化管理体系研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2007：12～13.

[9] 沈耀良，胡玉才，王学华，等. 垃圾填埋场渗沥液中重金属去除法[J]. 环境保护，1994. 3. 15～16.

[10] 郑思伟. 城市生活垃圾填埋处理甲烷排放估算及控制途径研究[J]. 环境科学与管理，2013，38(7)：45～49.

[11] 孙雨清. 城市固体废弃物垃圾填埋场臭气治理措施探析[J]. 山西建筑，2013，39(12)：190～192.

[12] 我国城市生活垃圾处理现状与对策[A]. 中国环境产业发展报告(2002)[C]. 2002.

[13] 陈胜武. 生活垃圾处理技术及发展分析[J]. 材料与装饰，2011(8)：20～21.

[14] 于　强. 化工固体废弃物焚烧处理及其参考数据分析[J]. 化学工业，2013，31(7)：42～48.

[15] 张　弢. 我国城市生活垃圾处理现状及发展趋势[J]. 宁夏农林科技，2013，54(4)：98～102.

[16] 张　喆. 固体废弃物处理过程中二恶英的形成及其防治措施[J]. 环境研究与监测，2013，25(2)：59～62.

[17] 邹庐泉，薛同璋，傅沪鸣，等. 焚烧炉烟气酸介质露点温度测定仪的研制[J]. 环境科学与技术，2012，35(61)：292～294.

[18] 方伟成，赵智平. 固体废弃物处理方法比较[J]. 科技咨询导报，2007(16)：88.

[19] 佚　名. 我国城市生活垃圾处理官方统计资料[EB/OL]. 2005－01－13. 2005(1) http://www. eedu. org. cn/Article/es/envir/ptheory/solidwaste/200501/3824. html

[20] GAUTAM S P，BUNDELA P S. Composting of municipal solid waste of jabalpur City [J]. Global Journal of Environmental Research，2010，4(1)：43～46.

[21] 韦保仁，王　俊. 苏州城市生活垃圾处置方法的生命周期评价[J]. 中国人口·资源与环境，2009，19(2)：93～97.

[22] 李雯婧，孙　娜，张令戈. 大连市生活垃圾处理的生命周期评价[J]. 环境卫生工程，2009，17(6)：55～57.

[23] Hong J L，Li X Z. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China[J]. Waste Management，2010，30：2362～2369.

[24] Chaya W，Gheewala S H. Life cycle assessment of MSW to－energy schemes in Thailand[J]. Journal of Clean Production，2007，15(15)：1463～1468.

[25] 张韦倩，杨天翔，陈雅敏，等. 基于生命周期评价的城市固体废弃物处理模式研究进展[J]. 环境科学与技术，2013，36(1)：69～74.

Applied analysis of Disposal Technologies of Municipal Solid Waste in China

Zhao Miao，Ren Lianhai，Wang Pan

(*Department of Environmental Science and Engineering*，*Beijing Technology and Business University*，*Beijing* 100048，*China*)

Abstract：With the rapid development of society and the continuous improvement of people's living standard，the production of municipal solid waste in China is growing. Thus the disposal of the waste has become a very serious problem. This article analyzes three kinds of treatment technologies，i. e. landfill，incineration，and composting，and analyzes and compares their influences on the environment combined with life cycle assessment method.

Key words：solid waste；processing technology；application

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net