

# 长沙市生活垃圾卫生填埋生命周期评价

陈艾伦, 陈婵, 陶夏秋, 王光军\*

(中南林业科技大学生命科学与技术学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要** 该文主要针对长沙市目前的城市生活垃圾产生和处理现状,进行较为系统的生命周期评价(LCA)。通过目标和范围的确定,对长沙市生活垃圾的卫生填埋处理进行清单分析,最终通过计算填埋气体和渗滤液的排放量得出卫生填埋对环境影响的潜力。结果表明:长沙市日产生生活垃圾3700多t,其中填埋处理每吨垃圾所排放的主要污染物CO<sub>2</sub>在107kg左右,CH<sub>4</sub>在51kg左右,垃圾填埋对温室效应的环境影响潜力为1.6×10<sup>-2</sup>kg当量/(人·a),酸化的环境影响潜力为3.2×10<sup>-3</sup>kg当量/(人·a)。研究结果将为城市生活垃圾多循环处理与资源化利用途径研究项目提供基础数据。

**关键词** 生命周期评价; 城市生活垃圾; 卫生填埋; 长沙市

中图分类号:X825 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1003-6504.2013.12M.082 文章编号:1003-6504(2013)12M-0390-06

## Life Cycle Assessment of Sanitary Landfill of Domestic Garbage in Changsha

CHEN Ai-lun, CHEN Chan, TAO Xia-qiu, WANG Guang-jun\*

(Central South University of Forestry & Technology, College of Life Science and Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract**: This thesis is directed against mainly about the present domestic garbage and treatment status to evaluate systematic life cycle assessment in Changsha. According to determine the goal and scope, we make the life cycle inventory analysis of sanitary landfill of domestic garbage in Changsha and get the potential of sanitary landfill on the environmental impact by calculating the landfill gas and leachate discharge in the end. The results show that Changsha daily produce about 3700 tons domestic garbage, of which the main pollutants including CO<sub>2</sub> is about 107 kg and CH<sub>4</sub> is about 51 kg emissions by landfill of garbage per ton. Environmental impact potential of garbage landfill to the greenhouse effect is 1.6×10<sup>-2</sup> equivalent man and acidification is 3.2×10<sup>-3</sup> equivalent man. The findings will provide basic data for project which research on recycling processing and resource utilization way of domestic garbage.

**Key words**: life cycle analysis; city domestic garbage; sanitary landfill; Changsha City

城市生活垃圾历来都被视为一种污染物和废弃物来进行处理,但由于其组成复杂、结构多样,任何单一的处理方式都不能对其进行有效的处理。城市生活垃圾的处理是困扰城市可持续发展的重大问题之一,因此,研究城市生活垃圾多方面处理方式成为当下国内外的必然趋势。

生命周期评价(life cycle assessment, LCA)是一种评价产品、工艺过程或活动从原材料的采集和加工到生产、运输、销售、使用、回收、养护、循环利用和最终处理整个生命周期系统有关的环境负荷的过程。将生命周期评价(LCA)引入到城市生活垃圾处理中,通

过综合考虑城市生活垃圾资源化的回收利用价值、再回收利用技术条件、回收利用的成本等因素,可以对城市垃圾处理的全过程实行监管,从而在一定程度上有助于循环经济的发展。本研究对长沙市生活垃圾的处理方式进行了生命周期评价,计算出其对环境的影响潜力,为城市生活垃圾多循环处理和资源化途径的研究提供依据,以减少单一的卫生填埋处理对环境产生的影响及造成的资源浪费。

## 1 LCA 基本概念和理论框架

### 1.1 基本概念

《环境科学与技术》编辑部(网址)http://fjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@126.com

收稿日期 2013-07-16;修回 2013-10-09

基金项目:湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目“城市生活垃圾多循环处理与资源化利用途径研究”(湘教通[2013]191号);教育部“本科教学工程”第一批本科专业综合改革试点项目(教高司函[2013]56号 ZG0373);湖南省教改项目“生态学实践课程改革和学生创新能力培养研究”

作者简介:陈艾伦(1992-),女,本科在读,研究方向为生态规划等(电子信箱)676529209@qq.com; \*通讯作者,男,教授,博士,博士生导师,研究方向为生态系统生态学、生态系统C、N循环等(电子信箱)wanggj652@163.com。

LCA 的思想最早萌生于 20 世纪 60 年代末至 70 年代初美国开展的一系列针对包装品所进行的资源、环境分析<sup>[1]</sup>。作为生命周期评价研究开始的标志是 1969 年美国中西部资源研究所(MRI)针对可口可乐公司的饮料包装进行的评价研究<sup>[2]</sup>,该项研究奠定了美国当今生命周期清单分析的基础。到 20 世纪 80 年代,由于环境问题日益严重,人们对 LCA 的兴趣逐渐从对产品系统能源消耗的分析转向对环境排放问题的研究。目前 LCA 已渗透到农业、矿业、石油、天然气采掘、建筑、制造工业和零售业。

20 世纪 80 年代后期到 90 年代早期,欧洲不少制造领域(包括塑料、洗涤剂、个人用品、汽车)的公司已建立了内部 LCA 研究机构,并发起生命周期清单分析方面的合作。2006 年,由 19 家木质人造板厂加盟的日本纤维板工业会,制定了定量评价和把握制品的环境影响的行动计划。会员企业按制品组织 LCA 委员会,对刨花板、软质纤维板、中密度纤维板和硬质纤维板的环境负荷进行了评价<sup>[3]</sup>。徐成等<sup>[4]</sup>提出了将生命周期评价应用到生活垃圾管理中,就生命周期评价在城市生活垃圾管理系统中的作用及管理系统的清单分析、影响评价和改善评价进行研究;胡志锋等<sup>[5]</sup>将生命周期评价应用到广州市生活垃圾处理中,研究得出广州市卫生填埋、焚烧处理和综合处理方式的环境影响潜值分别为  $5.24 \times 10^{-2}$ 、 $4.85 \times 10^{-2}$  和  $1.68 \times 10^{-2}$  kg 当量/(人·a),其中综合处理方式明显优于另 2 种方式。

### 1.2 理论框架

关于 LCA 的技术框架,各研究机构也已基本达成共识,ISO 14040 将其划分为目标与范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释 4 个部分<sup>[6]</sup>。本文对这 4 个部分进行了补充和扩展,如图 1 所示。

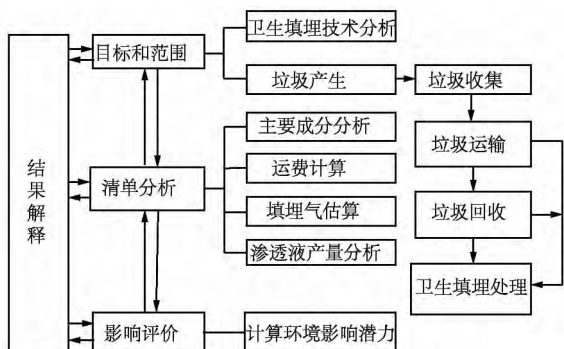


图1 LCA的技术框架

## 2 长沙市生活垃圾处理现状

### 2.1 长沙市基本情况

长沙市,别称“星沙”、“星城”,是湖南省省会。辖

六市辖区、二县、一县级市。共有 79 个镇、39 个乡和 54 个街道办事处。位于中国东南部,属于湘江水系,地处湘江下游河谷平原,总面积 11 819 km<sup>2</sup>,总人口 7 044 118 人(2010 年人口普查)。2010 年,人均国内生产总值达到 66 464 元,位居省会城市第 3 位,地级以上城市中(含盟)居第 29 位,城市居民人均可支配收入达到 23 347 元。

### 2.2 生活垃圾产生量

随着人们生活水平的提高、消费能力的增强,尤其是受到经济转型的实施而导致的外来企业的涌入、外来人员的增加、乡镇人口的进城等因素的影响,长沙市的生活垃圾产生量增长速度加快,2003 年至 2010 年平均增长率达到 9.38%。目前长沙市日产生生活垃圾 3 700 多 t,夏季因果皮垃圾增多,高峰期可达 3 800~4 500 t。2003~2012 年长沙市垃圾产生量如图 2 所示。

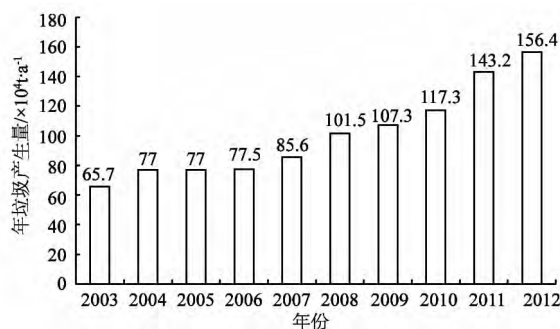


图2 2003-2012年垃圾产生量

## 3 目标与范围的确定

### 3.1 目标

目标的定义就是要确定开展次项研究的原因、预期的应用、以及服务对象(即研究结果的接受方)。LCA 目标包括实施 LCA 的目的和原因,评价结果针对目标群和预期应用的领域。例如产品之间的比较评价、产品和工艺改进效果评价、产品信息、政府部门管理等。这是 LCA 的基础和关键,根据评价目标的不同 LCA 方法也不同。

本论文 LCA 的研究框架是依据 ISO14040 环境管理—生命周期评价—原则和框架提出的。以长沙市的生活垃圾处理方式即卫生填埋法为例,对物质、能量输入与输出,及其污染物排放的环境影响进行生命周期评价,进一步分析得出长沙市现在的处理方式对环境的影响潜力,进而提出对长沙市生活垃圾进行可持续管理的对策。

### 3.2 范围确定

生命周期评价的范围界定是由所开展研究的目

的、未来应用及研究的深度和广度等因素确定。在城市生活垃圾卫生填埋技术 LCA 研究中,应考虑采取不同的方案所产生环境影响的差异,因此一般以生活垃圾的产生作为 LCA 研究的开始。研究的功能单位是该市人均年产生的生活垃圾量。研究的范围包括从垃圾产生开始,经过收集、运输直至最终处理的整个过程,系统输入包括生活垃圾、能源、资金等;输出为回收的物质、能量和排入大气水体中的污染物。城市生活垃圾卫生填埋技术的生命周期系统边界如图 3 所示。

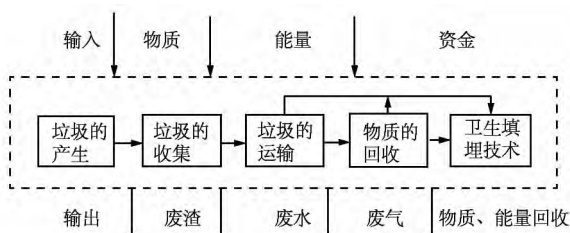


图3 城市生活垃圾卫生填埋技术的生命周期系统边界<sup>[4]</sup>

## 4 LCA 清单分析

### 4.1 研究方法

#### 4.1.1 生活垃圾主要成分

采集生活垃圾样本,并制作长沙市城市生活垃圾特征统计表。

#### 4.1.2 运费计算

在长沙市内任取数个样点,计算每个样地距固体废物处理场(望城县桥驿镇)的运输平均距离,再算出消耗油量(油耗按 12 L/100 km 计算)。

#### 4.1.3 填埋气估算

填埋气计算使用政府间气候变化专门委员会(IPCC)推荐的 FOD<sup>[8]</sup>计算方法:

$$DOC = 0.4A + 0.17B + 0.15C + 0.3D \quad (1)$$

其中:DOC 为可降解有机碳含量(%);A 为垃圾中纸类和织物所占比例(%);B 为庭院垃圾所占比例(%);C 为厨余垃圾所占比例(%);D 为竹木、秸秆所占比例(%).

产甲烷潜能按式(2)计算:

$$L_0 = MCF \times DOC \times DOC_f \times F \times \frac{16}{12Y_{2Y}} \quad (2)$$

式(2)中:MCF 为填埋场管理相关的产甲烷调整系数,取 0.96;DOC<sub>f</sub> 为 DOC 的降解分数,对于混合垃圾取值 0.5,分选后垃圾取值 0.55;F 为填埋气体中甲烷的体积百分比,计算中取 0.55;L<sub>0</sub> 为产甲烷潜能,1 gCH<sub>4</sub>/100 g 垃圾。

每吨生活垃圾填埋 CH<sub>4</sub> 产量根据标准状态下埋

想气体状态方程  $pV=nRT$  计算。其他气体计算基准按填埋气体组成典型值计算,见表 1。

表 1 填埋气体一般组成

成分	所占干燥气体百分比/%	典型值/%
CH <sub>4</sub>	45~60	55
CO <sub>2</sub>	40~60	41.9
N <sub>2</sub>	2~5	2
O <sub>2</sub>	0.1~1.0	0.5
H <sub>2</sub> S	0~0.1	0.2
NH <sub>3</sub>	0~1.0	0.2
H <sub>2</sub>	0~0.2	0.1
CO	0~0.2	0.1

#### 4.1.4 渗滤液

垃圾渗滤液的产生量主要受进场垃圾的组分的影响,其中厨余垃圾含量是影响渗滤液的主要因素。由于地域的差异,国内各地的垃圾组分和水分差别较大,垃圾渗滤液产生量一般为垃圾量的 0%~15%。

垃圾渗滤液臭味强,有机物浓度高,氨氮含量高,为避免二次污染,必须建设垃圾渗滤液处理设施进行有效处理,渗滤液出水水质执行《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB 16889-1997) 渗滤液排放限值的二级标准。

#### 4.1.5 影响评价

根据清单分析结果,以长沙市人均年产生的生活垃圾量为功能单位,将生活垃圾的环境影响类型分成全球变暖、酸化、富营养化、光化学臭氧合成和生态毒性五种,根据各环境干扰因子与其相应参照物质之间的当量关系(表 2),计算出每种影响类型的环境影响潜力,计算公式如下:

$$EP_{(j)} = \sum (Q_{(j)i} \times EF_{\theta i}) \quad (3)$$

式(3)中:EP<sub>(j)</sub> 为对第 j 种环境影响类型的环境影响潜力[kg 参照物当量/(人·a)];Q<sub>(j)i</sub> 为第 j 种环境影响类型中,第 i 种环境干扰因子的排放量[kg/(人·a)];EF<sub>θi</sub> 为第 i 种环境干扰因子对第 j 种环境影响类型的特征化因子。计算出环境影响潜力后再对其进行标准化和赋权,得到赋权后环境影响潜力<sup>[9]</sup>。

### 4.2 结果与分析

#### 4.2.1 填埋场产气量分析

在长沙市内随机取 13 个点进行样品取样调查(样品重):体育馆路(357.50 kg)、高升路(532.32 kg)、汽车南站(498.66 kg)、中南林业科技大学(410.90 kg)、黄兴南路步行街(470.95 kg)、周南中学(442.35 kg)、开福区捞刀河镇(418.96 kg)、长沙县板仓中路步步高

表 2 几种环境影响类型中主要环境胁迫因子的当量关系<sup>[7]</sup>

环境影响类型	胁迫因子	基准物	影响潜力单位	当量因子 PF
全球变暖	CO <sub>2</sub>			1
	CO			2
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	kg/kg	25
	NO <sub>x</sub>			40
	Chl.HC			3 300
酸化	SO <sub>2</sub>			1
	SO <sub>3</sub>			0.8
	NO <sub>x</sub>			0.7
	HCl	SO <sub>2</sub>	kg/kg	0.88
	HF			1.6
	H <sub>2</sub> S			1.88
	NH <sub>3</sub>			1.88
富营养化	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			1
	NO <sub>x</sub>			1.35
	NO	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	kg/kg	2.07
	NH <sub>3</sub>			3.64
	COD			0.23
光化学臭氧合成	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>			1
	VOC	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	kg/kg	0.6
	CO			0.03
	CH <sub>4</sub>			0.03
生态毒性	Cd			1.8
	Cr			0.01
	Cu			0.02
	Pb	/	EF(ets)cm <sup>3</sup> 土壤/g	0.01
	Hg			5.3
	Ni			0.05
	Zn			0.005

百货(421.26 kg)、宁乡县楚沅东路步步高百货(438.70 kg)、五一广场(428.30 kg)、湖南大学(438.23 kg)、雨花区喜乐地卡通公园站(421.85 kg)、开福区迎霞路金霞苑(460.79 kg)。分析结果见表 3~5。

根据表 6 可假设有有机垃圾的化学方程式为 C<sub>320</sub>H<sub>512</sub>O<sub>94</sub>N<sub>14</sub>S<sub>1</sub>, 任何有机物已知 C、H、O 的量就可以通过巴斯维尔公式计算出经厌氧消化可能产生的甲烷(CH<sub>4</sub>)与二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的量<sup>[10]</sup>。

如果全部由甲烷菌进行无氧呼吸, 每吨有机垃圾可产生 898 kg CO<sub>2</sub> 及 548 kg CH<sub>4</sub>。

#### 4.2.2 距离计算

长沙市政府所在地距固体废弃物处理场(望城县桥驿镇)35.5 km。对 13 个取样点进行距离计算: 体育馆路(32.3 km)、高升路(47.0 km)、汽车南站(46.6 km)、中南林业科技大学(42.7 km)、黄兴南路步行街(35.2 km)、周南中学(21.6 km)、开福区捞刀河镇(26.2 km)、长沙县板仓中路步步高百货(43.1 km)、宁乡县楚沅东路步步高百货(75.1 km)、五一广场(34.9 km)、湖南大学(38.2 km)、雨花区喜乐地卡通公园站(44.6 km)、开福区迎霞路金霞苑(26.5 km)。

据此估计运输平均距离在 39.3 km 左右。油耗按 12 L/100 km 来算, 则每天运输所消耗的油量为 543×0.393×2×12=5121.58 L; 每吨消耗的油量为 5 121.58÷3 213=1.59 L/t。

#### 4.2.3 燃油燃烧产气量计算

如上所述, 每吨垃圾运输耗油 1.59 L/t。垃圾运输车 and 填埋机械绝大部分使用柴油, 因此, 上述燃油以柴油计, 计算它们的污染物排放量。根据中国目前柴油的质量, 通过计算得出填埋、运输每吨垃圾 SO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的排放量如表 7 所示。

表 3 生活垃圾样品各组分含量

样品重/kg	容重/kg·m <sup>-3</sup>	含水量/%	动物/%	植物/%	砖瓦/%	灰渣/%	纸/%	布/%	竹木/%	塑料/%	金属/%	玻璃/%
357.50	417	18.47	0.61	11.91	23.78	61.16	0.59	0.28	0.31	0.31	0.23	0.44
532.32	339	32.63	1.16	20.37	21.52	51.55	1.78	0.47	0.46	0.47	0.45	0.80
498.66	387	23.27	0.68	8.19	19.46	67.94	0.81	0.35	0.14	0.31	0.16	0.88
410.90	409	25.01	0.56	5.67	20.10	69.43	0.93	0.69	0.16	0.25	0.43	0.66
470.95	399	24.87	0.60	9.99	18.56	66.32	0.86	0.35	0.42	0.28	0.18	1.14
442.35	428	25.23	0.26	15.30	26.57	56.67	0.50	0.36	0.50	0.31	0.15	0.63
418.96	407	23.90	1.30	12.23	18.65	61.67	0.71	0.97	0.38	0.79	0.44	1.11
421.26	441	28.00	0.22	14.14	25.21	59.45	0.51	0.43	0.54	0.38	0.18	0.50
438.70	399	23.11	0.93	10.80	18.67	64.25	0.94	0.75	0.47	0.47	0.35	1.62
428.30	403	25.13	0.68	13.18	21.81	61.11	0.87	0.52	0.44	0.44	0.29	0.79
438.23	398	26.23	0.85	18.24	21.67	56.29	1.38	0.66	0.88	0.65	0.33	0.84
421.85	407	26.97	0.41	17.42	23.43	59.91	0.79	0.43	0.59	0.53	0.27	0.63
460.79	402	23.81	0.62	13.90	24.10	58.54	0.71	0.44	0.64	0.55	0.34	0.87

表 4 生活垃圾各组分

	可回收物					不可回收物		有机垃圾		重金属
	纸	布	竹木	塑料	玻璃	砖瓦	灰渣	动物	植物	金属
含量/%	0.88	0.51	0.45	0.44	0.85	21.74	61.12	0.69	13.17	0.29
质量/t	1.04	0.6	0.53	0.52	1	25.5	71.69	0.81	15.44	0.34

注: DOC(%) :13.14 Lo(g/g) 0.050 90

表 5 1 kg 生活垃圾所产填埋气中所有组分气体质量

CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	CO
50.90	106.85	3.25	0.93	0.39	0.20	0.01	0.16

表 6 垃圾各组分化学成分质量百分比

垃圾组分	C	H	O	N	S
动植物食品	48.0	6.4	37.6	2.6	0.40
纸品	43.5	6.0	44.0	0.3	0.20
橡胶塑料	60.0	7.2	22.8	2.0	0.00
纺织品	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15
木竹	49.0	6.0	42.7	1.8	0.10
金属	5.0	5.0	40.8	0.0	0.00
玻璃	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
煤灰	26.0	3.1	2.0	4.0	0.20
渣石	9.0	1.8	7.1	1.8	0.00
其它	6.0	8.0	11.6	10.0	0.40

表 7 运输、填埋 1t 垃圾来自燃油的污染物排放量

	质量/g	含硫量/g	SO <sub>2</sub> 排放量	含碳量/g	CO <sub>2</sub> 排放量/g
消耗每升柴油	837	1.339 2	2.678 4	724.68	2 657.16
每吨垃圾排放量	1 998.8	2.142 72	4.285 44	1 159.488	4 251.456

4.2.4 垃圾填埋场沼气发电

长沙市黑麋峰固体废弃物处理场的沼气收集后用于发电。假设发电厂 7 台机组 24 h 不断运转,所产生的沼气通过发电变成电能并入国家电网,每日能产生 15 万 kW·h,解决 4 万~5 万人 1 d 的用电需求。

5 城市生活垃圾影响评价

通过分析长沙市卫生填埋所产生气体各组分质量(表 8~9)以及其对温室效应的影响,得出长沙市城市生活垃圾处理的环境影响潜力(表 10)。

表 8 甲烷发电带来的每吨垃圾气态污染物排放变化

上网电量/万 kW·h	甲烷减排量/t	CO <sub>2</sub> 增加量/t	NO <sub>x</sub> /kg	VOC/kg
15.0	42.1	108.8	101.6	30.4

表 9 2010 年长沙市填埋生活垃圾所产气体各组分质量

CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	CO
6.29	24.14	0.54	0.15	0.065	0.033	0.001 7	0.027

表 10 长沙市垃圾填埋对温室效应的影响

影响因素	参考类型	排放量/(人·a)	特征化因子	潜能因子 PF	环境影响潜值 /kgCO <sub>2</sub> 当量	标准值[kgCO <sub>2</sub> 当量/(人·a)]	标准化值	权重	赋权后环境影响潜力
全球变暖	CO	0.027		2					
	CO <sub>2</sub>	24.14		1					
	CH <sub>4</sub>	6.29	CO <sub>2</sub>	25	181.44	8 700	2.0×10 <sup>-2</sup>	0.82	1.6×10 <sup>-2</sup>
	NO <sub>x</sub>	-		40					
	Ch1.HC	-		3 300					
酸化	NO <sub>x</sub>	/		0.95					
	SO <sub>2</sub>	/		1					
	HCl	/		0.88					
	H <sub>2</sub> S	0.065	SO <sub>2</sub>	1.88	0.18	41	4.4×10 <sup>-3</sup>	0.73	3.2×10 <sup>-3</sup>
	NH <sub>3</sub>	0.033		1.88					
HF	/		1.60						

## 6 讨论

本文通过分析清单结果,对长沙市城市生活垃圾卫生填埋处理的主要讨论如下:

(1) 垃圾填埋场日处理量最高只有 4 000 t,但 2012 年日处理量已达 4 200 t。针对生活垃圾量加速增长的情况,为减轻垃圾填埋场的压力,应对长沙市生活垃圾处理方式进行改良,解决垃圾处理过于单一带来的影响。

(2) 长沙市生活垃圾卫生填埋处理后排放的主要污染物为  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$ 。其中每吨垃圾排放的  $\text{CO}_2$  在 107 kg 左右,甲烷在 51 kg 左右,对大气造成的污染显而易见,对于长沙的空气质量现状具有一定影响。填埋对温室效应的环境影响潜力为  $1.6 \times 10^{-2}$  kg 当量/(人·a),酸化的环境影响潜力为  $3.2 \times 10^{-3}$  kg 当量/(人·a)。从数据分析可知,长沙市卫生填埋处理生活垃圾的环境影响潜力已经超过中国环境影响潜值标准人当量基准值,因此应当重视其对环境造成的影响,寻求合理的方法对城市生活垃圾加以管理和利用势在必行。

(3) 长沙市仅以填埋的方式处理生活垃圾,对垃圾资源造成了很大的浪费,假设有机垃圾全部由甲烷菌进行无氧呼吸,每吨有机垃圾可产生 898 kg  $\text{CO}_2$  及 548 kg  $\text{CH}_4$ 。甲烷气体可以作为一种能源回收利用,如利用甲烷发电,一方面给居民提供电力资源,另一方面解决了垃圾填埋所产生污染气体的问题。

本论文将为开展生活垃圾多循环处理与资源化利用途径研究提供数据依据,为长沙市生活垃圾处理提供较为理想的发展方向,以实现城市生活垃圾减量化和资源化。

### [参考文献]

- [1] 徐成,杨建新,王如松.广汉市生活垃圾生命周期评价[J].环境科学学报,1999,19(6):631-635.  
Xu Chen, Yang Jian-xin, Wang Ru-song. Life cycle assessment of municipal solid waste in Guanghan city[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(6): 631-635. (in Chinese)
- [2] 樊庆铎,敖红光,孟超.生命周期评价[J].环境科学与管理,2007,32(6):177-180.  
Fan Qing-xin, Ao Hong-guang, Meng Chao. Life cycle assessment [J]. Environmental Science and Management, 2007, 32(6): 177-180. (in Chinese)
- [3] 谢力生.木材工业生命周期评价研究现状[J].木材工业,2010,24(5):28-31.  
Xie Li-sheng. Review of the life cycle assessment research in the wood industry[J]. China Wood Industry, 2010, 24(5): 28-31. (in Chinese)
- [4] 徐成,杨建新,胡聃.城市生活垃圾生命周期管理[J].城市环境与城市生态,1998,11(3):52-55.  
Xu Chen, Yang Jian-xin, Hu Dan. The life cycle management of the urban solid wastes[J]. Urban Environment and Urban Ecology, 1998, 11(3): 52-55. (in Chinese)
- [5] 胡志锋,马晓茜,梁增英.广州市生活垃圾处理工艺的生命周期评价[J].可再生能源,2012,1(1):106-112.  
Hu Zhi-feng, Ma Xiao-qian, Liang Zeng-ying. Life cycle assessment of house refuse treatment technique in Guangzhou [J]. Renewable Energy Resources, 2012, 1(1): 106-112. (in Chinese)
- [6] ISO/DIS 14040. Environmental Management—Life Cycle Assessment—Part: Principles and Framework[S].
- [7] 孔祥娟.全生命周期评价体系研究[J].建筑经济,2009(8):115-118.
- [8] IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [R]. Printed in Japan, 2006.
- [9] 何强,彭朱姝,李宁.重庆市城市生活垃圾处理方式的寿命周期评价[J].三峡环境与生态,2010,3(1):36-40.  
He Qiang, Peng Zhu-shu, Li Ning. Life cycle assessment of municipal solid waste disposal techniques in Chongqing City [J]. Environment and Ecology in the Three Gorges, 2010, 3(1): 36-40. (in Chinese)
- [10] 彭武厚,陆鑫.大中型沼气工程的工艺设计及运行管理[J].中国沼气,1999(3):17-19.  
Peng Wu-hou, Lu Xin. Process design and operation management of large-middle scale biogas engineering[J]. China biogas, 1999(3): 17-19. (in Chinese)
- [11] Gayathri B G, Carol B, Sarah J McLaren, et al. Life cycle assessment of commercial furniture: a case study of Formway LIFE chair[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2008, 13(5): 401-411.
- [12] 王寿兵,杨建新,胡聃.生命周期评价方法及其进展[J].上海环境科学,1998,17(11):7-10.  
Wang Shou-bing, Yang Jian-xin, Hu Dan. Life cycle assessment method and progress[J]. Shanghai Environmental Science, 1998, 17(11): 7-10. (in Chinese)
- [13] 曹利江,金声琅.基于生命周期评价的清洁生产模式研究[J].环境保护与循环经济,2010(8):37-39.  
Cao Li-jiang, Jin Sheng-lang. Model of cleaner production based on life cycle assessment [J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2010(8): 37-39. (in Chinese)
- [14] ISO 14040. Life Cycle Assessment—principles and framework. Geneva: International Organization for Standardization [S].
- [15] 孟祥宇.污水处理厂的寿命周期评价[D].合肥:合肥工业大学,2009.
- [16] 许冠英.生命周期评价在城市生活垃圾管理中的应用研究:以广州为例[D].广州:中山大学,2005.
- [17] 纪丹凤,夏训峰,席北斗,等.生活垃圾焚烧处理方式的寿命周期评价[J].再生资源与循环经济,2010,3(5):28-32.  
Ji Dan-feng, Xia Xun-feng, Xi Bei-dou, et al. Life cycle (下转第 411 页)

- 1989(8): 2-8.
- [5] Salathe T. Towards Integrated Management of Coastal Wetlands of Mediterranean Type[EB/OL]. [http://www://iucn.org/themes/ramsar/lib\\_wise\\_4.htm](http://www://iucn.org/themes/ramsar/lib_wise_4.htm).
- [6] 刘昌明. 地区水资源合理配置、生态环境建设和可持续发展问题[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [7] 陈敏建, 王浩, 丰华丽, 等. 中国分区域生态用水标准研究[R]. 南京水利科学研究所, 中国水利水电科学研究院, 2005, 12.
- [8] 陈敏建, 丰华丽, 郭芳, 等. 松辽流域生态需水研究[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2004, 9.
- [9] 长江水利委员会. 维护健康长江, 促进人水和谐研究报告[R]. 武汉: 2005.  
Changjiang River Water Resource Commission. Report on Maintain Yangtze River Health and Promote Harmony between Human Beings and Water[M]. Wuhan: 2005. (in Chinese)
- [10] Richard T T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions[D]. England: Cambridge University, 1995.
- [11] 吉林省交通科学研究所. 草炭土地区公路建设技术研究报告[R]. 长春, 2005.
- [12] 吴飞, 甘盟. 桥墩组中轴线与水流方向夹角过大对河流流场影响的数值模拟研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2009, 30(1): 11-14.  
Wu Fei, Gan Meng. Numerical simulation research on the effect by the bigger angle between the middle-line of the piers group and the river flow[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydrology Power, 2009, 30(1): 11-14. (in Chinese)
- [13] 石方红. 公路建设在喀斯特地貌下的水环境破坏与保护研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2006.
- [14] 陈均烽, 陈其兵, 宋国平. 郎川公路沿线湿地植被类型及水文变化初探[J]. 四川林业科技, 2006, 27(3): 49-51.  
Chen Jun-feng, Chen Qi-bing, Song Guo-ping. A preliminary study of changes in vegetation types and hydrology of wetland along the Langchuan highway line[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2006, 27(3): 49-51. (in Chinese)
- [15] Spillios L C Rothwell. Freeze-core sampling for sediment intrusion from road stream crossings in Alberta's foothills: a preliminary discussion[J]. In Forest-Fish Conference: Land Management Practices Affecting Aquatic Ecosystems, 1998: 445-450.
- [16] Warren M L, M G Pardew. Road crossings as barriers to smallstream fish movement[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1988, 127: 637-644.
- [17] Zeug S C, Winemiller K O, Tarim S. Response of brazos river oxbow fish assemblages to patterns of hydrologic connectivity and environmental variability[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2005, 134: 1389-1399.
- [18] 朱迪, 常剑波. 长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2761-2767.  
Zhu Di, Chang Jian-bo. Evaluation on temporal and spatial changes of biological integrity for shallow lakes in the middle reach of the Yangtze River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2761-2767. (in Chinese)
- [19] 贾忠华, 罗纨, 王文焰, 等. 对湿地定义和湿地水文特征的探讨[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 117-120.  
Jia Zhong-hua, Luo Wan, Wang Wen-yan, et al. Discussion on wetland definition and characterization of wetland hydrology[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(6): 117-120. (in Chinese)
- [20] 中华人民共和国交通运输部. 西部交通建设科技项目可行性研究报告[R]. 2011.
- [21] 王德斌, 孙广友, 张文芬, 等. 中国沼泽志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [22] 长沙市环境保护局. 长沙市 2011 年固体废物污染环境防治信息公告[R].
- [21] 韦保仁, 王俊, 王香治, 等. 苏州垃圾填埋生命周期清单分析[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(11): 89-91.  
Wei Bao-ren, Wang Jun, Wang Xiang-zhi, et al. LCA inventory development of landfill in Suzhou [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 31(11): 89-93. (in Chinese)
- [22] 陈莎, 杨孝光, 任丽娟, 等. 生命周期评价应用于温室气体排放的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(S1): 164-168.  
Chen Sha, Yang Xiao-guang, Ren Li-juan, et al. Research and progress of application LCA in GHG emission [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(S1): 164-168. (in Chinese)

(上接第 395 页)

assessment on municipal solid waste incineration [J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2010, 3(5): 28-32. (in Chinese)

- [18] 李娜, 王根绪, 张建强, 等. 成都市城市生活垃圾处理生命周期评价[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(2): 789-791.  
Li Na, Wang Gen-xu, Zhang Jian-qiang, et al. Life cycle assessment of urban solid waste in Chengdu city [J]. Journal of Anhui Agri Science, 2009, 37(2): 789-791. (in Chinese)
- [19] 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.  
Wei Bao-ren, Wang Jun. Life cycle assessment on disposal methods of municipal solid waste in Suzhou [J]. China Population, Resources and Environment, 2009, 19(2): 93-97. (in Chinese)

- [20] 长沙市环境保护局. 长沙市 2011 年固体废物污染环境防治信息公告[R].
- [21] 韦保仁, 王俊, 王香治, 等. 苏州垃圾填埋生命周期清单分析[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(11): 89-91.  
Wei Bao-ren, Wang Jun, Wang Xiang-zhi, et al. LCA inventory development of landfill in Suzhou [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 31(11): 89-93. (in Chinese)
- [22] 陈莎, 杨孝光, 任丽娟, 等. 生命周期评价应用于温室气体排放的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(S1): 164-168.  
Chen Sha, Yang Xiao-guang, Ren Li-juan, et al. Research and progress of application LCA in GHG emission [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(S1): 164-168. (in Chinese)