

中国中小城市生活垃圾优化管理模型的应用

李天威¹, 严刚², 王业耀², 马小凡³, 聂永丰¹ (1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 吉林大学环境与资源学院, 长春 130023)

摘要: 根据中国中小城市生活垃圾基本特点, 提出了适宜于中国中小城市生活垃圾优化管理的基本原则, 确定出优化管理模型程序. 通过实例分析, 具体说明了优化管理模型的应用, 计算出1999年、2005年和2010年规划系统城市生活垃圾的优化处理方案, 通过费用比较充分验证和说明了中国中小城市生活垃圾优化管理模型的适用性与优越性.

关键词: 中小城市; 生活垃圾; 优化模型; 应用

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)03-04-0136

Application of Optimization Management Model of Municipal Solid Waste from Medium or Small City of China

Li Tianwei¹, Yan Gang², Wang Yeyao², Ma Xiaofan³, Nie Yongfeng¹ (1. Department of Environmental Sciences and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012; 3. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130023)

Abstract: According to the basic characteristics of municipal solid waste generated from medium or small city of China, the optimal management principles and programs for optimization management model suitable to them were put forward. By application of the model in case study, the optimal scenarios for the disposal of municipal solid waste from the planning system in 1999, 2005 and 2010 were calculated, which adequately validated and accounted for the advantages of optimization model by comparison of costs between optimization scenarios and former scenarios.

Key words: medium or small city; municipal solid waste; optimization model; application

中国中小城市生活垃圾的基本特点为: 以煤渣、灰土为主的无机成分含量过高, 可回收物质成分含量很低, 不可燃成分多于可燃成分, 不可堆腐成分多于可堆腐成分, 垃圾热值大约在 $800 \times 4.184 \text{ J/kg}$ 左右; 同时各城市的生活垃圾产生量相对较小, 人均生活垃圾产生量大约在 1 kg/d 左右. 根据这种特点, 如何做好中国中小城市生活垃圾规划, 有效配置各种处理、处置设施将非常重要.

1 优化管理基本原则

1.1 区域优化原则

在中小城市生活垃圾管理中, 区域优化应受到广泛关注, 这是因为:

(1) 能达到规模经济效益要求. 由于城市生活垃圾的各种处理方法——填埋、堆肥、焚烧和资源回收利用的设备费用、操作费用都具备规模效应条件, 各种处理设备对于不同处理容量

有着不同的单位处理费用, 并且在一定范围内, 处理容量越大, 其单位处理费用越低.

(2) 能做到因地制宜, 充分利用各地区条件优势, 实现经济性目标^[1].

1.2 长期优化原则

随着经济的发展, 人民生活水平的提高, 中国中小城市生活垃圾产量和组成将有很大变化. 所以, 在中小城市生活垃圾管理中, 必须要对中小城市的生活垃圾产量和成分组成变化有充分的长期性认识, 对城市生活垃圾的管理有长期性的统筹规划, 同时兼顾土地资源等利用的可持续性原则, 以更好实现规划期间中小城市生活垃圾的处理.

1.3 综合处理优化原则

作者简介: 李天威, (1971~), 男, 博士研究生, 环境规划与管理专业, 主要从事固体废物管理的研究.

收稿日期: 2002-09-17; 修订日期: 2002-11-18

所谓综合处理就是将卫生填埋、堆肥、焚烧和资源回收利用等方法有机结合,共同处理,以减少和避免单一处理方法的不足。

2 优化管理模型程序

根据中国中小城市生活垃圾优化管理基本原则和垃圾处理的自身要求,确定出中国中小城市生活垃圾优化管理模型程序框图,见图 1。

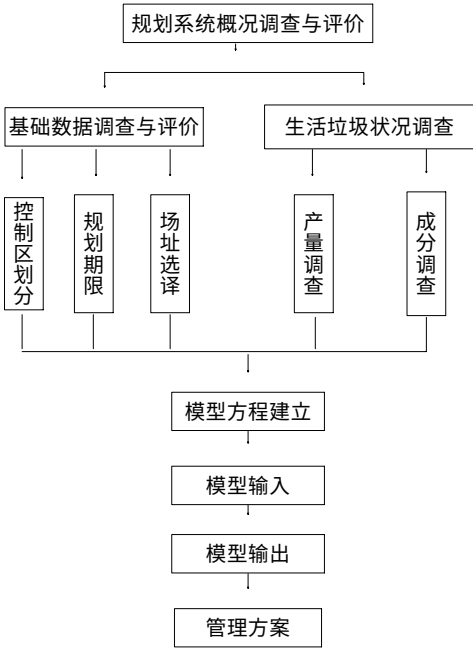


图 1 优化管理模型程序

Fig. 1 Program of the optimal management model

3 模型方程

模型的目标是指在长期规划中,在保证城市生活垃圾无害化处理的前提下,使得系统的总处理费用现值实现最小化。这里系统的总处理费用是指所有运输费用、处理、处置设施成本、运营费用总和与垃圾处理后产生的能量、肥料及可回收利用物质出售收入的差值^[2]。

目标函数构架:

Min $Z =$ 运输费用 + 填埋费用 + 堆肥费用 + 焚烧费用 + 回收费用 - 回收材料收入 - 堆肥肥料收入 - 焚烧能量收入

目标函数:

Min $Z = \sum_a \sum_p \sum_t \frac{(CTC_t \cdot DIS_{apt} + RPC_{pt}) \cdot X_{apt}}{(1 + r)^t}$

$$+ \sum_a \sum_i \sum_t \frac{(CTC_t \cdot DIS_{ait} + RIC_{it}) \cdot X_{ait}}{(1 + r)^t}$$

$$+ \sum_a \sum_c \sum_t \frac{(CTC_t \cdot DIS_{act} + RCC_{ct}) \cdot X_{act}}{(1 + r)^t}$$

$$+ \sum_a \sum_l \sum_t \frac{(CTC_t \cdot DIS_{alt} + LC_{lt}) \cdot X_{alt}}{(1 + r)^t}$$

约束方程:

(1) 质量平衡条件约束

$$\sum_i X_{sit} + \sum_c X_{sct} + \sum_p X_{spt} + \sum_l X_{slt} = A_t$$

$$\sum_l X_{ilt} = \alpha \cdot X_{it}; \sum_l X_{clt} = \beta \cdot X_{ct}$$

$$\sum_l X_{plt} + \sum_i X_{pit} = \gamma \cdot X_{pt}$$

(2) 处理、处置设施容量约束

$$\sum_a X_{ait} \leq PCAP_{it}; \sum_a X_{act} \leq PCAP_{ct}$$

$$\sum_a X_{apt} \leq PCAP_{pt}; \sum_a X_{alt} \leq PCAP_{lt}$$

由于填埋场是生活垃圾的最终处置设施,所以在规划期限中,其进场垃圾还要受到总处置容量条件约束:

$$\sum_a \sum_l X_{alt} \leq TCAP_l$$

(3) 最小填埋量条件约束

$$\sum_l X_{alt} \geq E_{at}$$

(4) 可利用成分条件约束

$$\sum_a \sum_i X_{ait} \leq \lambda_i \cdot B_t; \sum_a \sum_c X_{act} \leq \lambda_c \cdot C_t$$

$$\sum_a \sum_p X_{apt} \leq \lambda_p \cdot D_t$$

(5) 变量非负条件约束

以上约束方程中的变量,均满足非负条件,即 $X_{ait}, X_{act}, X_{apt}, X_{alt}, X_{sit}, X_{sct}, X_{spt}, X_{slt}, X_{ilt}, X_{clt}, X_{plt}, X_{pit} \geq 0$ 。

式中, Z : 系统的总处理费用(元); a : 来源地,可以为垃圾产源地,也可为各种处理设施; p : 回收设施; i : 焚烧设施; c : 堆肥设施; l : 填埋场; t : 时间(a); r : 贴现率; s : 垃圾原产源地,即规划系统各城市; A_t : 第 t 年系统内城市生活垃圾的总产生量(t/a); CTC : 单位垃圾单位路程运输费用(元/km·t); DIS : 运输距离(km); X : 垃圾数量(t/a); RPC : 回收单位费用,即回收设施处理每

吨垃圾所消耗的设备折旧费用、运营费用与回收物质销售的收入之差(元/t); RIC :焚烧单位费用,即焚烧设施处理每吨垃圾所消耗的设备折旧费用、运营费用与能量回收的销售收入之差(元/t); RCC :堆肥单位费用,即堆肥设施处理每吨垃圾所消耗的设备折旧费用、运营费用与产生肥料的销售收入之差(元/t); LC :填埋单位费用,即填埋场处理每吨废物所消耗的设备折旧费用和运营费用(元/t); α :焚烧设施灰渣产生率(%); β :堆肥设施灰渣产生率(%); γ :回收设施灰渣产生率(%); $PCAP$:处理设施的年处理能力(t/a); $TCAP$:填埋场的总处置容量(t); E_{at} :第 t 年 a 产生源需要填埋的最小垃圾量(t); λ_a 、 λ_b 、 λ_p :分别代表可用于焚烧、堆肥和回收利用垃圾成分的可利用率(%); B_t :第 t 年可燃烧垃圾总量(t/a); C_t :第 t 年可堆肥垃圾总量(t/a); D_t :第 t 年可回收垃圾总量(t/a).各变量的下标组合表示垃圾的流向.

4 实例应用

4.1 实例概况

实例研究中各城市,各可能的处理、处置设施场址位置关系见图2.表1为实例研究中各城市与各处理、处置设施及各处理、处置设施之间的距离^[3].本规划期限为15年,以1999年为规划基准年.同时要求各城镇生活垃圾首先在各城镇中转站处经资源化回收后,再运往各种处理、处置设施处理.

表 3 1999 年各城市生活垃圾组成/ %

Table 3 Waste Composition in 1999/ %

城市	厨余	灰土	渣	塑料	金属	玻璃陶瓷	纸木碎布	其它
城市 1	42.32	16.21	6.12	9.83	7.21	6.12	7.13	5.06
城市 2	49.22	15.12	6.73	7.82	2.53	6.82	5.32	6.44
城市 3	38.30	20.00	6.20	8.32	5.62	7.35	6.78	7.43

4.3 模型参数赋值

实例应用中,模型参数取值见表4^[4],表5为各种处理、处置设施容量限制.各处理、处置设施可处理的生活垃圾成分见表6.在最小填

表 4 模型参数取值

Table 4 The value of model parameters

CTC / $\text{元}\cdot(\text{t}\cdot\text{km})^{-1}$	RIC / $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$	RCC / $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$	LC / $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$	RPC / $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$	α / %	β / %	γ / %	λ_a / %	λ_b / %	λ_p / %
0.70	78	25	32	-56	25	30	25	90	90	60

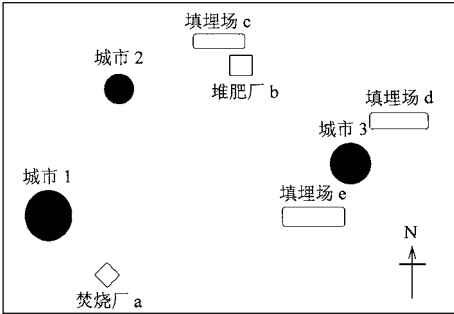


图 2 实例研究区域概况

Fig. 2 Schematic of the case studied region

4.2 城市生活垃圾状况调查

1999年3个城市人口及城市生活垃圾产生量调查见表2,表3为1999年各城市生活垃圾的组成分析.

表 1 研究区域网络节点距离/ km

Table 1 Distances between different nodes in regional network/ km

地 点	焚烧厂 (a)	堆肥厂 (b)	填埋场		
			c	d	e
城市 1	8	19	20	31	29
城市 2	26	9	10	22	20
城市 3	19	13	14	4	3
焚烧厂 a			28	23	20
堆肥厂 b			1	18	17

表 2 1999 年各城市生活垃圾产生量

Table 2 Population and total waste generation data in 1999

城 市	城市 1	城市 2	城市 3	合 计
人口/万人	14.3	5.1	10.8	30.2
产生量/t	140	51	100	291

埋量条件约束方程中,必须通过填埋处置的生活垃圾为灰土、灰渣、其它成分以及没有得到回收利用的金属、玻璃、陶瓷和无法分离的可燃烧垃圾成分.

表 5 各处理、处置设施容量限制
Table 5 Capacity limitation of facilities

焚烧厂 a	堆肥厂 b	填埋场 c	填埋场 d	填埋场 e
/t·d ⁻¹	/t·d ⁻¹	/10 ⁴ t	/10 ⁴ t	/10 ⁴ t
200	50	30	40	50

表 6 各处理、处置设施可处理的生活垃圾成分
Table 6 Waste types processed or disposed probably
by various facilities

处理设施	垃圾类型
卫生填埋	全部
堆肥	厨余
焚烧	厨余、塑料、纸、木、碎布
资源回收	金属、玻璃、陶瓷、塑料、纸类、木

4.4 处理方案

通过计算,1999 年、2005 年、2010 年的优化处理方案分别见表 7、表 8 和表 9。

表 7 1999 年优化处理方案/t·d⁻¹

Table 7 Optimal management scenarios in 1999/t·d⁻¹

处理、处置	回收	焚烧厂	堆肥厂	填埋场		
设施	利用	(a)	(b)	c	d	e
城市 1	19.1		27.4	16		77.5
城市 2	5.2		22.6	23.4		
城市 3	12.6				73	14.4
焚烧厂 a						
堆肥厂 b				15.6		

表 8 2005 年优化处理方案/t·d⁻¹

Table 8 Optimal management scenarios in 2005/t·d⁻¹

处理、处置	回收	焚烧厂	堆肥厂	填埋场		
设施	利用	(a)	(b)	c	d	e
城市 1	24.6	80	5.7	15.3		41.4
城市 2	6.7		29.8	24.5		
城市 3	16.3		14.5		73.0	15.2
焚烧厂 a						20
堆肥厂 b				15		

表 9 2010 年优化处理方案/t·d⁻¹

Table 9 Optimal management scenarios in 2010/t·d⁻¹

处理、处置	回收	焚烧厂	堆肥厂	填埋场		
设施	利用	(a)	(b)	c	d	e
城市 1	30.9	109.9		21.4		31.8
城市 2	8.6	5.7	38.3	18.4		
城市 3	20.5	2.9	11.7		73	29.9
焚烧厂 a						29.6
堆肥厂 b				15		

4.5 费用比较

为评价优化管理模型,将规划期间 1999 年、2005 年和 2010 年的优化管理方案同未实施优化管理方案的处理费用进行比较,见表 10。

表 10 方案费用比较/元·d⁻¹

Table 10 Composition of present worth cost/RMB·d⁻¹

方案	1999 年	2005 年	2010 年	合计
原方案	11 910.5	14 181.2	16 447.6	43 539.3
优化方案	8 934.2	13 961.6	17 015.7	39 911.5

由表 10 可知,在 1999 年优化管理方案要比原处理方案节约 2976.3 元/d 的处理费用,这是因为在优化管理初期,城市 1 生活垃圾可以分别运送到城市 2 的堆肥厂(b)以及城市 2 和城市 3 的填埋场(c、e)进行处理,避免了使用费用昂贵的焚烧处理方法,并且保证堆肥厂(b)能够满负荷运行,实现垃圾的资源化处理。而在规划末期由于垃圾产量的增加,需要有更多的垃圾进入焚烧厂实施减容性处理,所以出现原处理方案处理费用接近优化管理方案甚至小于优化管理方案处理费用的情况。但从 1999 年、2005 年和 2010 年 3 年的总处理费用比较可以看出,实施优化管理方案要比原规划方案节约 3627.8 元/d 的总处理费用,大大降低了规划控制区城市生活垃圾的处理成本。通过费用比较得出,优化管理方案要明显优越于原处理方案,充分验证和说明了优化管理模型的适用性、优越性。

参考文献:

1 Ni Bin Chang. Cost-effective and equitable workload operation in solid waste management system. J. of Envir. Engrg., ASCE, 1997, 123(2): 178 ~ 190.

2 Jess W Everett. Optimal regional scheduling or solid waste systems. I: model development. J. of Envir. Engrg., ASCE, 1996, 122(9): 785 ~ 792.

3 Abhijit R Modak, Jess W Everett. Optimal regional scheduling of solid waste systems. II: model solutions. J. of Envir. Engrg., ASCE, 1996, 122(9): 793 ~ 799.

4 陈炳禄, 陈新庚, 王志刚, 王盛耀. 广州市生活垃圾处理方式的确定. 城市环境, 2000, 14(1): 27 ~ 30.