

用层次分析法对延安市区生活垃圾处理方案的优选

刘晓红^{1,2}, 刘 莉⁴, 曾 现来¹, 张增强¹, 王国栋³

(1. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 延安大学 化学与化工学院, 陕西 延安 716000;
3. 西北农林科技大学 教务处, 陕西 杨陵 712100; 4. 延安市水利工作队, 陕西 延安 716000)

摘 要: 以延安市区的生活垃圾为研究对象, 根据生活垃圾的特性, 对拟选用的生活垃圾的 3 种处理方案进行了比较。以选择经济适用的处理方案为目标层, 构建层次结构模型。运用三标度法对定性指标进行量化, 对可以定量的因素直接进行归一化处理, 对各个判断矩阵进行一致性检验以确定各准则层对目标层的权重以及各方案层对准则层的权重, 再进行综合评价, 从中选择出最优的处理方案。结果表明, 采用经过分选后, 对可燃烧物进行焚烧处理, 对不可燃物以及焚烧残渣进行填埋的方案为最优的方案。由于尽可能地引入定量指标作为评价的依据, 因此, 所选择的方案更加科学合理。同时对类似于延安市的中小城镇生活垃圾处理方案的选择也具有一定的借鉴意义。

关键词: AHP 法; 生活垃圾; 处理方案; 优选

中图分类号: X 705 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)01-0098-03

Optimization of MSW Treatment Scheme by AHP in Yan'an City

LIU Xiao-hong^{1,2}, LIU Li⁴, ZENG Xian-lai¹, ZHANG Zeng-qiang¹, WANG Guo-dong³

(1. College of Life Science, Northwest Sci-tech University Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. College of Chemistry & Chemical Eng., Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China;
3. Instruction Office, Northwest Sci-tech University Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;
4. Water Conservancy Working Team, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: According to the characteristic of Yan'an MSW, the three-treatment schemes of MSW were compared. The economic and suitable scheme was taken as target stratum. The stratified structure model was established. The qualitative norms were quantified by three-scale method. The quantitative factors were handled to be normalization. All judging matrixes consistency checked to define the weight of norms stratum toward target stratum and scheme stratum toward norm stratum. The best scheme was selected by comprehensive assessment. The result showed that the scheme of inflammable matter incinerated and non-inflammable matter landfilled was the best scheme. Above scheme was more scientific and rightful for applying ration norms as far as possible. There was reference significance to other medium and small city like Yan'an city.

Key words: AHP; MSW; treatment scheme; optimization

1 引 言

层次分析法是由 T. L. Saaty 在 1971 年提出, 由于它具有将定性和定量结合起来, 以系统化、层次化的方法对问题进行分析的特点, 能处理许多用传统的最优化技术无法着手的实际问题。因此, 在决策分析中应用范围很广。其基本原理^[1]是: 将决策问题分解为若干个层次, 最上层为目标层, 最下层为方案层, 中间为准则层。通过两两比较构造判断矩阵, 确定各准则对于目标的权重及各方案对每一准则的权重。进

行一致性检验以确定获得的判断矩阵是否合理。应用矩阵运算最终确定方案层对目标层的权重, 具有最大权重的方案即为最优方案。

随着城市化发展, 我国城市垃圾产生量不断增加, 目前已达 1.5 亿 t 以上。人均垃圾年产量在 500~550 kg, 而且还在以每年 10%~12%^[2]的速度增加。生活垃圾无害化处理率仅为 15%。目前, 城市生活垃圾的主要处理方式有: 填埋法、堆肥法、焚烧法和综合处理。在选择具体的处理方式时, 不仅要首先调查当地生活垃圾的物理组成、测定各项理化指

¹ 收稿日期: 2004-10-16
基金项目: 陕西省攻关项目(2003K02-J13)
作者简介: 刘晓红(1972-), 女, 西北农林科技大学在读博士生, 延安大学讲师, 主要从事无机化学、环境中固体废弃物资源化及环境生物物理方面的研究。

标, 掌握生活垃圾的基本特性, 还应结合考虑本地区的自然条件、经济发展水平、人口因素、消费习惯及能源结构等因素。因此, 如果通过人为的判断进行方案的筛选, 具有很大的主观随意性。用层次分析法对方案进行优选, 在确定各个方案对准则的权重时, 将可以量化的指标进行归一化处理, 定性指标采用三标度法^[3]进行判断比较, 构造矩阵, 获得最终的优化方案^[4~7]。由于尽可能的引用量化的指标作方案的比较, 因此, 比从一般意义上的层次分析法获得的结果更科学合理。延安市区日产生生活垃圾 165.5 t, 年产 6.04 万 t (2002 年), 年增长速度在 3.9% 以上, 预计到 2010 年, 垃圾产量会达到 8.27 万 t。目前, 生活垃圾采用一次性填埋处理, 填埋场使用到 2020 年封场。因此, 研究和选择更加合理的生活垃圾处理方案有着重要的意义。

2002 年 11 月~2003 年 11 月, 通过为期一年的现场采样和理化分析的方法获得有关延安市区生活垃圾特性的基础数据为: 可腐有机物含量: 31.38%, 无机物含量: 50.98%, 含水率: 32.69%, 湿基低位热值: 4 260.41 kJ/kg。根据生活垃圾的特点, 拟采用三个方案对生活垃圾进行处理。即 A: 全部填埋; B: 分选, 可焚烧物焚烧, 对不能焚烧的物质和焚烧残渣进行填埋。C: 分选, 有机质堆肥, 对不可堆肥物填埋。

2 层次分析法在延安市区生活垃圾方案优选时的应用

2.1 根据延安市区生活垃圾的特点对生活垃圾三种处理技术的比较

根据延安市区生活垃圾的特性对三种处理方案进行比较见表 1 所示。其中的量化指标又是根据对延安市区生活垃圾产量的预测, 并参照国家建设标准^[8,9], 以日需处理量 200 t 推算出来的。

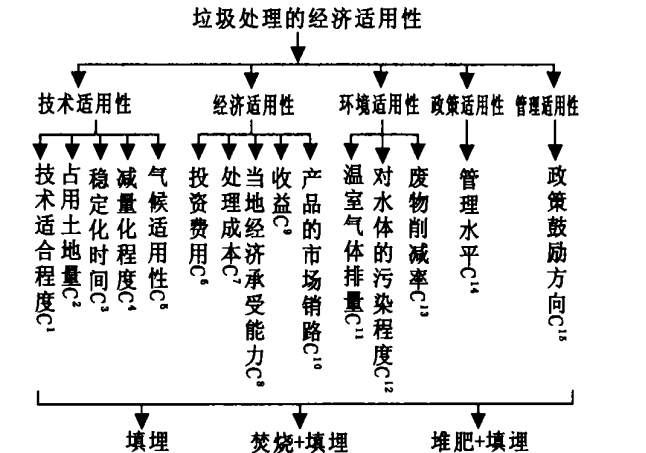
表 1 根据延安市区生活垃圾的特点对生活垃圾三种处理方案的比较

各个因素	填埋	焚烧+ 填埋	堆肥+ 填埋
技术适合程度	不适合	适合	不适合
占用土地量/万 m ²	15.4	8.72	13.8
稳定化时间	需要 12.5 a	需要 2 h	需要 25 d
减量化程度/%	0	87.5	66
气候适用性	适宜	适宜	不适宜
投资费用/万元	4500	6560	5000
处理成本/(元·t ⁻¹)	35	50	42.5
当地经济承受能力	易于承受	较难承受	介于填埋与焚烧+ 填埋之间
收益/万元	160	142.9	227.5
产品的市场销路	好	好	不好
温室气体排放量/(kg·t ⁻¹)	0.58	0.30	0.29
对水体的污染程度	灰渣中无有机物污染, 须严格采用防渗工程, 否则污染严重		
	对于填埋区采用防渗工程, 有机污染程度低于填埋措施, 污染轻微		
废物削减率	0.17	0.39	0.13
人员培训要求	要求较高	要求高	要求较高
政策鼓励方向	不鼓励	鼓励	鼓励

根据层次分析法的基本原理, 以垃圾处理的经济适用性为目标层, 以技术适合程度、占用土地量等 15 个因素为准则层, 以 3 种处理方案为方案层构建层次结构模型如图 1 所

示。

2.2 建立层次结构模型



2.3 采用三标度法构造比较矩阵和判断矩阵

构造的判断矩阵见表 2 至表 12 所示(其中, C₃、C₄、C₉、C₁₂的判断矩阵与 C₂ 相同; C₇、C₈、C₁₄的判断 C₁₂矩阵与 C₆ 相同; C₁₃的判断矩阵与 C₁₀相同)。

表 2 判断矩阵 1

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	W
B ₁	1	$\frac{4}{13}$	$\frac{13}{4}$	$\frac{11}{2}$	$\frac{31}{4}$	0.2597
B ₂	$\frac{13}{4}$	1	$\frac{11}{2}$	$\frac{31}{4}$	10	0.5293
B ₃	$\frac{4}{13}$	$\frac{2}{11}$	1	$\frac{13}{4}$	$\frac{2}{11}$	0.1232
B ₄	$\frac{2}{11}$	$\frac{4}{31}$	$\frac{4}{13}$	1	$\frac{13}{4}$	0.0582
B ₅	$\frac{4}{31}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{2}{11}$	$\frac{4}{13}$	1	0.0296

$\lambda_{\max} = 5.2867$

表 3 判断矩阵 2

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	W
C ₁	1	$\frac{13}{4}$	$\frac{31}{4}$	$\frac{11}{2}$	10	0.5293
C ₂	$\frac{4}{13}$	1	$\frac{11}{2}$	$\frac{13}{4}$	$\frac{31}{4}$	0.2597
C ₃	$\frac{4}{31}$	$\frac{2}{11}$	1	$\frac{4}{13}$	$\frac{13}{4}$	0.0582
C ₄	$\frac{2}{11}$	$\frac{4}{13}$	$\frac{13}{4}$	1	$\frac{11}{2}$	0.1232
C ₅	$\frac{1}{10}$	$\frac{4}{31}$	$\frac{4}{13}$	$\frac{2}{11}$	1	0.0296

$\lambda_{\max} = 5.2867$

表 4 判断矩阵 3

B ₂	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	W
C ₆	1	1	1	9	9	0.3103
C ₇	1	1	1	9	9	0.3103
C ₈	1	1	1	9	9	0.3103
C ₉	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	1	1	0.0345
C ₁₀	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	1	1	0.0345

$\lambda_{\max} = 5$

表 5 判断矩阵 4

B_3	C_{11}	C_{12}	C_{13}	W
C_{11}	1	1	5	0.4546
C_{12}	1	1	5	0.4546
C_{13}	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	1	0.0909

$$\lambda_{\max}=3$$

表 6 判断矩阵 5

C_1	L	$I+L$	$C+L$	W
L	1	$\frac{1}{7}$	1	0.111000
$I+L$	7	1	7	0.778000
$C+L$	1	$\frac{1}{7}$	1	0.111000

$$\lambda_{\max}=3$$

表 7 判断矩阵 6

C_2	L	$I+L$	$C+L$	W
L	1	$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{7}$	0.087955
$I+L$	6	1	$\frac{7}{2}$	0.669417
$C+L$	$\frac{7}{2}$	$\frac{2}{7}$	1	0.242629

$$\lambda_{\max}=3.0569$$

表 8 判断矩阵 7

C_5	L	$I+L$	$C+L$	W
L	1	1	5	0.454551
$I+L$	1	1	5	0.454551
$C+L$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	1	0.090897

$$\lambda_{\max}=3$$

表 9 判断矩阵 8

C_6	L	$I+L$	$C+L$	W
L	1	6	$\frac{7}{2}$	0.669417
$I+L$	$\frac{1}{6}$	1	$\frac{2}{7}$	0.087955
$C+L$	$\frac{2}{7}$	$\frac{7}{2}$	1	0.242629

$$\lambda_{\max}=3.0569$$

表 10 判断矩阵 9

C_{10}	L	$I+L$	$C+L$	W
L	1	$\frac{2}{7}$	$\frac{7}{2}$	0.0242629
$I+L$	$\frac{7}{2}$	1	6	0.669417
$C+L$	$\frac{2}{7}$	$\frac{1}{6}$	1	0.087955

$$\lambda_{\max}=3.0569$$

其中, L 表示方案 A: 填埋; $I+L$ 表示方案 B: 焚烧+ 填埋; $C+L$ 表示方案 C: 堆肥+ 填埋。 W 表示经过归一化后的权重。

对各个判断矩阵进行一致性检验。由于所有判断矩阵均通过一致性检验, 因而可以将归一化的特征向量作为权向量。

表 11 判断矩阵 10

C_{11}	L	$I+L$	$C+L$	W
L	1	$\frac{7}{2}$	$\frac{2}{7}$	0.242629
$I+L$	$\frac{2}{7}$	1	$\frac{1}{6}$	0.087955
$C+L$	$\frac{7}{2}$	6	1	0.669417

$$\lambda_{\max}=3.0569$$

表 12 判断矩阵 11

C_{15}	L	$I+L$	$C+L$	W
L	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	0.090897
$I+L$	5	1	1	0.454551
$C+L$	5	1	1	0.454551

$$\lambda_{\max}=3.0569$$

2.4 方案优选

将各个指标的权重和各个方案对准则的权重列出, 结果如表 13 所示。

表 13 方案比较

指标代码	指标权重	填埋	焚烧+ 填埋	堆肥+ 填埋	方案 A 得分	方案 B 得分	方案 C 得分
1	0.137445	0.111	0.778	0.111	0.015256	0.104932	0.015256
2	0.067425	0.2575	0.455	0.2875	0.017362	0.036078	0.019385
3	0.015118	0.087955	0.669417	0.242629	0.00133	0.01012	0.003668
4	0.031998	0.2209	0.4144	0.3647	0.007068	0.01326	0.01167
5	0.007677	0.454551	0.454551	0.090897	0.00349	0.00349	0.000698
6	0.164271	0.3867	0.2653	0.348	0.063524	0.043581	0.057166
7	0.164271	0.3964	0.2774	0.3262	0.065117	0.045569	0.053585
8	0.164271	0.669417	0.087955	0.242629	0.109966	0.014448	0.039857
9	0.018255	0.3016	0.2694	0.429	0.005506	0.004918	0.007831
10	0.018255	0.242629	0.669417	0.087955	0.004429	0.01222	0.001606
11	0.056013	0.2027	0.392	0.4054	0.011354	0.021957	0.022708
12	0.056013	0.087955	0.669417	0.242629	0.004927	0.037496	0.01339
13	0.011201	0.2465	0.5653	0.1882	0.002761	0.006332	0.002108
14	0.058221	0.669417	0.087955	0.242629	0.088974	0.005121	0.014126
15	0.029565	0.090897	0.454551	0.454551	0.002687	0.013439	0.013439
方案加权总分					0.3538	0.3496	0.2767

从以上结果可以看出焚烧+ 填埋法得分最高, 是最佳处理方案。其次是填埋法, 堆肥+ 填埋的方案可行性最差。

3 结论与建议

由评价结果可以看出, 焚烧+ 填埋的方案为延安市区生活垃圾的最佳处理方案。但是根据延安市区生活垃圾的特点, 生活垃圾中无机物的比例高达 50.98%。因此, 在采用焚烧处理时, 应加强预处理, 去除大部分灰分, 提高可燃物质的含量, 有利于提高焚烧效率。有计算表明, 把垃圾中高达 40% 以上的灰分加热至 850 , 需要额外消耗 1 708.5 kJ/kg 的热量^[10]。以延安市区的垃圾热值 4 260.41 kJ/kg 计算, 则用于加热灰分的热量占整个垃圾发热量的 40.41%。去除这部分灰分, 可将垃圾的热值提高 29 个百分点, 即达到 5 495.93 kJ/kg。在条件许可的情况下, 推广生活垃圾的分类收集, 减小生活垃圾预处理的成本。

架、钻孔、植苗一次完成,不仅避免了上部挖出的土埋没下部栽植的苗的状况,还有利于穴内土壤保墒。

4.4 挖穴工具的开发应用

要准确快捷地开挖栽植穴,开发应用灵巧的挖穴工具就显得非常重要。先后开发应用了洛阳铲和电动钻孔器,与农用小铲相比较,电动钻孔器的开发应用比使用农用小铲和洛阳铲挖穴可提高工作效率 5~8 倍。本试验中使用的洛阳铲的手柄为直径 Φ40 mm、长 2 m 的钢管,铲头为用铁皮卷成的底径为 Φ8 cm、口径为 Φ12 cm、深为 20 cm 的圆桶,手柄一端与桶底焊接后再在桶壁开一条 3 mm 的缝,就做成了本试验中使用的洛阳铲。

本试验中使用的电动钻孔器由电钻和特制的钻头两部分组成,电钻以 700 W 左右的便携式手电钻为宜,钻头的样式与木工用的木料开孔器相似,市场上销售的最大的木料开孔器用于钻容器苗栽植穴时显得太小也太短,只能找厂家进行定做。本试验中定做的特制钻头的直径为 80 mm,适宜钻直径为 80~120 mm、深度为 150~200 mm 的容器苗栽植穴。

4.5 钻孔方向的控制与容器苗栽植

通过与坡面成 45°、60°、75°、90°角(即从钻孔点向坡面土层钻孔的方向与从钻孔点沿坡面向下的方向的夹角)方向钻孔栽植苗后进行喷水 and 日晒试验,结果见表 1。

表 1 钻孔栽植方向试验

试验内容	45°	60°	75°	90°
水分分布	渗透均匀	渗透较均匀	渗水不均	渗水有盲区
萎蔫时间	76 h	120 h	94h	45 h

注:此试验时间为 2002 年 7 月 10~20 日。

在用电动钻孔器大量钻孔时,要求钻孔方向尽量与坡面保持 60°夹角,钻好穴后可配合使用农用小铲进行植苗。

植苗前,先要掏出穴内余土,再剥去容器苗的容器,将土根轻轻放入穴内扶正,填实土壤,除去穴的上檐,做成微形集水坑,植一个地段的苗,喷一个地段的水,继而进入管护阶段。植苗时要注意保持容器苗土坨完整。

4.6 苗木栽植现场管护

本试验从 2002 年 8 月 1 日开始进行栽植苗木准备,8 月

10 日开始栽植苗木,到 9 月 30 日栽植结束,为典型的反季节栽植。在苗木栽植初期,勤喷水是保证高成活率、高生长量的关键。因为所植苗木全部为容器苗,在精心管护下,基本上没有缓苗过程。喷水要视干旱情况来决定喷水次数和喷水量,要尽量避免苗木严重缺水,到 11 月中旬,要喷足冬水,以备苗木安全度过植苗后的第一个冬季。以后的管护工作主要可放在防止人畜破坏上,而所植的苗木便可在当地自然状态下生长。经观察,本试验所植的 10 个品种的苗木,在当地均可安全越冬和自然生长,表现出了各自良好的适应性。

5 坡面苗木生长情况

本试验区共植苗木 33 831 穴(株),经业主 2003 年 10 月验收,存活率为 99%以上,苗木生长情况良好,整齐美观。坡面苗木生长情况见表 2。

表 2 坡面苗木平均生长量

项目	分蘖枝数/(支·m ⁻²)		平均高度/cm		生物量/(kg·m ⁻²)	
	阳坡	阴坡	阳坡	阴坡	阳坡	阴坡
扁穗冰草	387	472	53	58	2.8	3.0
无芒雀麦	458	526	44	46	3.1	3.5
红豆草	571	662	62	68	4.1	4.2
小冠花	185	198	107	122	4.2	4.6
野枸杞	37	34	132	128	7.2	6.4
紫穗槐	9	9	121	115	4.8	4.4
甘蒙怪柳	11	12	113	105	3.9	3.2
四翅滨藜	107	102	92	78	20.4	18.1

本试验所植的苗木均表现出了良好的防护效果和观赏效果,而小冠花的茎蔓和四翅滨藜的枝叶大部分紧贴坡面,防护效果尤为突出;红豆草在花期观赏效果最好。

6 应用前景

在本项目试验中所总结出的这套黄土路堑边坡钻孔栽植容器苗技术和施工工艺操作简单,经济实用,适宜在类似地区的黄土路堑边坡上广泛推广应用。

(上接第 100 页)

参考文献:

[1] 姜启源. 数学模型[M]. 北京:高等教育出版社,2001. 305—336.
[2] 张益等. 垃圾处置工程实例[M]. 北京:化学工业出版社,2002. 72.
[3] 徐肇忠. 城市环境规划[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002. 154—155.
[4] 崔兆杰,宋薇,张国英. 城市生活垃圾优选模型的应用[J]. 环境保护,2003,11:14—16.
[5] 翟云波,曾光明. 层次分析法在城市生活垃圾填埋场选址中的应用[J]. 环境科学与技术,2002,25(4):36—38.
[6] Bhat,V N. Model for the optimal allocation of trucks for solid waste management[J]. Waste Management & Research. 1996,14(1):87—96.
[7] Li X M, Zeng G M, Wang M, et al. Prediction the amount of urban waste solids by applying a gray theoretical model [J]. Journal of Environmental Sciences,2003,15(1):43—46.
[8] 中华人民共和国建设部. 城市生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准[S]. 北京:中国计划出版社,2001.
[9] 中华人民共和国建设部. 城市生活垃圾堆肥处理工程项目建设标准[S]. 北京:中国计划出版社,2001.
[10] 王志远,等. 黄土高原居住区生活垃圾处理与资源化研究[J]. 环境工程,2002,2:45—48.