

应用模糊数学方法对延安市区生活垃圾处理方案的优选^{*}

刘晓红^{1,2}, 刘莉³, 曾现来², 王俏¹, 张增强²

(1 延安大学 化学与化工学院, 陕西 延安 716000;

2 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100;

3 延安市水利工作队, 陕西 延安 716000)

[摘要] 以延安市区生活垃圾处理方案为研究对象, 采用模糊数学模型对3种生活垃圾处理方案(填埋、焚烧+填埋、堆肥+填埋)进行优选。针对延安市区生活垃圾的特点和城市特征以及方案论证必须要考虑的因素, 分别从技术、经济、环境、管理、政策等5个层次, 选取15个准则作为比选的依据。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, 对可以量化的因素直接进行归一化处理, 建立各层次间的判断矩阵, 确定各个因素的权重系数向量, 并由单因素评价子集建立隶属函数和单因素评价矩阵, 最后根据模糊综合评判确定各个备选方案的总评分值, 从中选出最优方案。结果表明, 焚烧+填埋法是环境可持续、经济可承受及社会可接受的最优方案, 其次为填埋法, 堆肥+填埋的方案可行性最差。

[关键词] 模糊数学; 延安市区; 生活垃圾; 处理方案

[中图分类号] X705

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)04-0157-04

城市生活垃圾处置系统中模糊的概念普遍存在, 如技术适合程度、当地经济承受能力、对环境的影响等均没有明确的界定。因此, 在选择具体的处理方案时, 往往采用专家打分的方法, 使整个方案的选择带有一定程度的主观人为性。如果采用多层次模糊综合评判^[1~5], 运用多层次模糊决策理论, 将定量指标作为模糊评语进行评价, 定性指标采用三标度层次分析法^[6,7]进行量化, 采用层次分析法客观地确定定性指标与权重, 可解决决策过程中定性数据的不确定性对模型的影响。与传统的规划模型相比, 这种模型可以以环境、经济与社会限制条件多目标优化作为目标, 克服了传统的优化模型——经济优化单目标模型对环境与社会影响因素考虑不全面的缺点, 使决策过程更加客观明确, 更容易为人们所接受。

1 根据延安市区生活垃圾的特点构建层次结构模型

延安市区日产生生活垃圾 165.5 t, 年产生生活垃圾 6.04 万 t(2002 年), 年增长速度在 3.9% 以上, 预计

到 2010 年, 垃圾年产量将达到 8.27 万 t。1998 年以前, 延安市区的垃圾处理采用简易填埋法, 由于填埋场位于延河河道两岸, 对延河水质造成了一定程度的污染。1998 年以后, 在市区东郊清凉山北侧建成卫生填埋场并投入使用, 设计能力为日处理垃圾 140~160 t, 以现在的垃圾增长速度, 预计填埋场使用到 2020 年封场。垃圾渗滤液虽采用回灌技术处理, 但对周围林区土壤、地下水源的污染仍不容忽视。填埋气体自然导排也具有一定的安全隐患^[8]。因此, 填埋气体和渗滤液的问题影响到单纯采用填埋法的处理效果。

考虑到卫生填埋只能是最终处理手段, 近年来, 城市生活垃圾中的有机质含量和热值在稳步增长, 市区燃料结构也在发生变化(集中供热和普及天然气), 因此能否对生活垃圾进行焚烧处理或者选择更加优化的处理系统成为研究的重点。2002-11~2003-11, 在对市区生活垃圾的组成、热值等参数进行深入调查、测定和分析的基础上, 得到延安市区生活垃圾的基础数据(其中的百分含量均为质量分数), 即无机物平均含量 50.98%, 可腐有机物平均

* [收稿日期] 2004-07-05

[基金项目] 陕西省攻关项目(2003K02-J13)

[作者简介] 刘晓红(1972-), 女, 陕西延安人, 讲师, 硕士, 主要从事固体废弃物资源化研究。E-mail: xiaohliu@eyou.com

含量 31.38%, 容重 0.348 6 kg/L, 含水率 32.69%, 可燃分含量 21.22%, 灰分含量 46.10%, 湿基低位热值 4 260.41 kJ/kg; 如去除清扫区垃圾样品的影响, 可腐有机物含量为 36.04%, 无机物 44.71%, 含水率 35.41%, 低位热值 4 419.25 kJ/kg。

根据延安市区生活垃圾的特性, 对拟采用的 3 种处理方案(填埋、焚烧+ 填埋、堆肥+ 填埋)进行比较, 结果见表 1。其中的量化指标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^[9, 10],

以日需处理量 200 t 推算出来的。其中, 填埋法采用单层合成衬底, 进口压实机, 设有渗滤液收集、处理及填埋气收集、发电等污染预防措施, 垃圾先送至各垃圾中转站, 经压缩后再送至填埋场。焚烧+ 填埋法中焚烧采用马丁炉, 设备国产化率为 50%, 设有能使烟气达到国家焚烧炉气体污染控制标准的处理系统, 余热对外供热, 产渣率为 20%。堆肥+ 填埋法中采用高温好氧堆肥法制取复合有机肥, 售价为 100 元/t 左右, 得出率 50%, 设备国产率 60%。

表 1 延安市区 3 种生活垃圾处理方案的比较

Table 1 Comparison of three treatment schemes according to M SW characteristics in Yan'an

因素 Different factors	填埋 Landfill	焚烧+ 填埋 Incineration+ landfill	堆肥+ 填埋 Compost+ landfill
技术适合程度 C ₁ Technical adaptability degree	不适合 Unfit	适合 Fit	不适合 Unfit
占用土地量 C ₂ /万 m ² Occupied land	15.4	8.72	13.8
稳定化时间 C ₃ Stabilized time	12.5 年	2 h	25 d
减量化程度 C ₄ / % Reducing quantity degree	0	87.5	65
气候适用性 C ₅ Climate adaptability	适宜 Fit	适宜 Fit	不适宜 Unfit
投资费用 C ₆ /万元 Investment	4 500	6 560	5 000
处理成本 C ₇ /(元·t ⁻¹) Treatment cost	35	50	42.5
当地经济承受能力 C ₈ Local economy bearing ability	易于承受 Easily born	较难承受 Hardly born	介于填埋与焚烧+ 填埋之间 Between landfill and incineration + landfill
收益 C ₉ /万元 Receipts	160	142.9	227.5
产品的市场销路 C ₁₀ Market of product	好 Good	好 Good	不好 Bad
温室气体排放量 C ₁₁ /(kg·t ⁻¹) Ejection quantity of greenhouse gas	0.58	0.30	0.29
对水体的污染程度 C ₁₂ Degree of water pollution	须严格采用防渗工程, 否则污染严重 Leaking-proof project adopted or else polluted badly	灰渣中无有机物污染, 仅须在填埋时采取固化措施, 污染轻微 No organic matter pollution in ash, solid phase adopted as landfill, polluted slightly	对于填埋区采用防渗工程, 有机污染程度低于填埋 Leaking-proof adopted in landfill area, organic pollution degree blow landfill
废物削减率 C ₁₃ Reducing ratio of waste material	0.17	0.39	0.13
人员培训要求 C ₁₄ Personnel trained demand	要求较高 Demand highly	要求高 Demand more highly	要求较高 Demand highly
政策鼓励方向 C ₁₅ Policy encouraging direction	不鼓励 No encouragement	鼓励 Encouragement	鼓励 Encouragement

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。

采用三标度层次分析法构造比较矩阵和判断矩阵, 确定各个因素的权重系数向量 $A = (0.137, 0.067, 0.015, 0.032, 0.008, 0.164, 0.164, 0.164, 0.018, 0.018, 0.056, 0.056, 0.011, 0.058, 0.030)$ 。

2 用模糊数学的方法进行方案优选

2.1 建立评价集和单因素评价子集

根据延安市区生活垃圾的特点建立评价集, 如表 2 所示。

为便于计算, 对每一评判因素取所有指标值的平均值作为标准值进行标准化处理, 确定各单因素评价子集。进行归一化后, 各个因素分别为

$u_1 = (0.732, 0.222, 0.245)$, $u_2 = (0.772, 0.365, 0.287)$, $u_{10} = (0.732, 0.222, 0.245)$, $u_{11} = (0.608, 0.863, 0.333)$, $u_3 = (0.333, 0.333, 0.333)$, $u_4 = (0.663, 0.176, 0.216)$, $u_{12} = (0.245, 0.222, 0.732)$, $u_{13} = (0.243, 0.094, 0.160)$, $u_5 = (0.365, 0.365, 0.270)$, $u_6 = (0.734, 0.696, 0.565)$, $u_{14} = (0.222, 0.245, 0.732)$, $u_{15} = (0.200, 0.400, 0.400)$, $u_7 = (0.189, 0.832, 0.978)$, $u_8 = (0.222, 0.245, 0.732)$, $u_9 = (0.925, 0.808,$

表 2 根据延安市区生活垃圾的特点建立的评价集

Table 2 Evaluation anthology based on M SW characteristics of Yan'an city															
Schemes	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
L	0.362	0.566	1	0.533	1	1	1	1	0.703	0.362	0.500	0.121	0.436	1	0.143
I+L	1	1	0.143	1	1	0.686	0.700	0.121	0.628	1	0.967	1	1	0.121	1
C+L	0.121	0.632	0.143	0.880	0.198	0.900	0.823	0.362	1	0.121	1	0.362	0.333	0.362	1

注：“L”、“I+L”和“C+L”分别表示填埋、焚烧+ 填埋和堆肥+ 填埋。
Note: “L”, “I+L” and “C+L” stand for landfill, incineration + landfill and compost + landfill respectively.

2.2 建立隶属函数和单因素评价矩阵

计算出 3 种技术对评价集 V 的隶属度, 得到 3 个单因素评价的子集 R_{IL}, R_{I+L} 和 R_{C+L} , 作为每种技术单因素评价矩阵 R_{IL}, R_{I+L} 和 R_{C+L} 的一行, 对于以其他方法做了初步量化的因素或指标, 可以先标准化后, 再建立一个统一的隶属函数加以标准量化, 得到单因素评价的各个模糊子集。作隶属函数:

$$f_1(x) = \begin{cases} 1 & x > 1.534 \\ (x - 1.086)/0.45 & 1.086 < x \leq 1.534; \\ 0 & x \leq 1.086 \end{cases}$$

$$f_2(x) = \begin{cases} 1 & x > 1.086 \\ (x - 0.636)/0.45 & 0.636 < x \leq 1.086; \\ 0 & x \leq 0.636 \end{cases}$$

$$f_3(x) = \begin{cases} 0 & x > 0.636 \\ (0.636 - x)/0.45 & 0.186 < x \leq 0.636 \\ 1 & x \leq 0.186 \end{cases}$$

单因素评价矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 10 & \\ 0 & 0.62 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.349 & 0.018 \\ 0.62 & 0.62 & 0 \\ 0.164 & 0 & 0 \\ 0.229 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.447 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.200 & 0.289 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.698 & 0.698 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} 0.213 & 1 & 0 \\ 0.302 & 1 & 0.504 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.060 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0.356 & 0.907 \\ 1 & 0.436 & 0.760 \\ 1 & 0 & 0.213 \\ 0.642 & 0.382 & 1 \\ 0.213 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0.213 \\ 0.218 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0.213 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.869 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.673 & 0.673 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.813 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.869 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.869 \\ 0.062 & 0 & 0 \\ 0.869 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.158 \\ 0 & 0.869 & 0 \\ 0.969 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

其中, 1 表示填埋, 2 表示焚烧+ 填埋, 3 表示堆肥+ 填埋, 下同。

2.3 确定最优方案

令 $B = A \times R$; $B_1 = (0.307, 0.312, 0.046)$; $B_2 = (0.643, 0.553, 0.503)$; $B_3 = (0.081, 0.204, 0.153)$ 。

采取对 3 个方案等级定量记分为 $P(30, 20, 10)$ 的方法, 分别与 3 种技术的评价结果相乘, 可以得到

3 种技术的相应分数, 分数越高, 方法越适用。即 $W = B \times P^T$, 可得出各种垃圾处理方法的总评分值分别为: $W_1 = 15.913, W_2 = 35.386, W_3 = 8.029$ 。结果表明焚烧+ 填埋法是最适用的方法。

3 结论与建议

1) 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% (质量分数)。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,以有利于提高焚烧效率。在条件许可的情况下,推广生活垃圾分类收集,减小生活垃圾预处理成本。

2) 根据延安市的经济条件,并参照宁波市垃圾焚烧厂的建设经验,在选择焚烧设备及一系列配套设施时,应充分发挥国内成熟技术的优势,在引进国外先进设备的同时,充分利用国内的设备配套能力。

选用关键设备,如焚烧炉等核心部分可以采用国外先进技术,其余配套设备尽可能做到国产化。做到技术先进,节约投资。

3) 与其他建设费用相比,建设垃圾焚烧和填埋场投资和运营管理费用较高。因此,如果单纯靠国家出资或筹资有一定难度,可参照深圳、宁波垃圾焚烧厂的经验,采用股份制运作。即主要采用股份制投资公司的方式筹集资金,由政府进行协调并参与指导,短缺资金由银行贷款提供。在运营和管理模式上亦采用公司制的模式,参与市场运作。

[参考文献]

- [1] 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
- [2] 陈绍伟,郭广寨,陆正明.模糊数学决策法的改进及在生活垃圾处理方式评价中的应用[J].上海环境科学,2002,21(7): 426- 428
- [3] 黄 飞,陶进庆.采用模糊数学法对城市生活垃圾处理方法进行综合评价[J].环境工程,2000,18(3): 54- 55
- [4] Bhat V N. Model for the optimal allocation of trucks for solid waste management[J]. Waste Management & Research, 1996, 14(1): 87- 96
- [5] 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
- [6] 徐肇忠.城市环境规划[M].武汉:武汉大学出版社,2002. 154- 155
- [7] 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
- [8] 郭亚丽,赵由才,徐迪民.上海老港生活垃圾填埋场陈垃圾的基本特性研究[J].上海环境科学,2002,21(11): 669- 671, 679
- [9] 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[M].北京:中国计划出版社,2001.
- [10] 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[M].北京:中国计划出版社,2001.

Optimization of M SW treatment schemes by fuzzifying mathematics in Yan'an city

L IU Xiao-hong^{1,2}, L IU L i³, ZENG Xian-la i², WANG Qiao¹, ZHANG Zeng-qiang²

(1 College of Chemistry & Chemical Eng., Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

2 College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Water Conservancy Working Team of Yan'an City, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: Fuzzifying mathematics was adopted for optimization by studying M SW treatment scheme of Yan'an city. The three drifted schemes were landfill, incineration plus landfill and compost plus landfill. The fifteen norms stemmed from technology, economy, environment, management, policy stratum s were aimed at characteristics of Yan'an M SW. The economic and suitable schemes were 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. Judging matrixes of different hierarchies and weight vector of different factors were offered. Membership function and one-factor evaluate matrix were established by one factor evaluate subset. The gross mark of all selected schemes was fixed according to fuzzifying synthetical judge. The results showed that the scheme of incineration plus landfill was the best disposal system. Then landfill, compost plus landfill was the worst scheme.

Key words: fuzzifying mathematics; Yan'an city; M SW; treatment scheme