

九江市城市垃圾卫生填埋场场址适宜性评价优选

沈莽庭¹, 刘红樱¹, 苏晶文¹, 李东红², 龙寻莲²

(1. 南京地质矿产研究所 江苏 南京 210016; 2. 江西省地质环境监测总站, 江西 九江 330012)

[摘要] 利用层次分析法对九江市5个候选垃圾场地进行了适宜性评价优选, 通过场地评价影响因子定权重和采用多目标线性加权函数数学模型计算各候选场址的综合评价得分, 结果依次为场地5>场地1>场地2>场地3>场地4。可见场地5为5个候选场地中最佳适宜性垃圾填埋场场址, 在很大程度上减少了选址过程中人为主观因素影响和定性分析过多的缺点, 为九江市重建垃圾填埋场场址提供了客观依据。

[关键词] 城市垃圾; 卫生填埋; 选址; 层次分析法; 九江市

[中图分类号] X705 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6561(2006)04-0100-06

Optimization of Condign Evaluation for Urban Hygienic Landfill Site In Jiujiang City

SHEN Mang ting¹, LIU Hong ying¹, SU Jing wen¹, LI Dong hong², LONG Xun lian²

(1. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

2. Jiangxi Province General Monitor Station of Geological Environment, Jiujiang 330012, Jiangxi, China)

Abstract In Jiujiang city, the primary urban waste landfill is approaching the service time and will be closed. Therefore, it is urgent to select the new site of urban waste landfill outside planned city area. With analytic hierarchy process, this paper evaluates the weights of factors influencing the evaluation and gives the synthetically estimate scores of five backup sites of hygienic landfill by applying linear weighted mathematics mode of multi objectives. The result shows that the No. 5 site is the most feasible site through calculating and comparing the scores of five sites which are in order for No. 5 site(80.85)> No. 1 site(64.99)> No. 2 site(60.03)> No. 3 site(58.82)> No. 4 site(57.93). As a result, it can improve the shortages of overfull qualitative analysis and subjective factors to a certain extent, and can lay more scientific and reasonable foundation to rebuild urban waste land fill in Jiujiang city.

Key words: urban waste; hygienic landfill; site selection; analytic hierarchy process; Jiujiang city

0 引言

近年来, 江西省九江市随着城市人口增长、城市规模扩大和城市经济的快速发展, 城市固体废弃物也随之迅速增多。据不完全统计, 自2000年起, 该市生活垃圾总量已突破 25.27×10^4 t/a, 粪便总量为 11.63×10^4 t/a, 此外尚未包括各单位自行收

送的垃圾以及总量不小的工业垃圾和建筑垃圾。如此大量的城市垃圾, 以前主要消纳在位于九江市东郊庐山区虞家河乡郭桥村占地面积 14.67 hm^2 , 容量 $70 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的垃圾填埋场内。本次在新场址选址工作之前对此填埋场污水处理站排放口和排放沟渠中段各取一组水样, 呈深褐色, 透明度很差。测试结果表明, 排放口水样的化学需氧量为 177.11 mg/L , 沟渠中段为 92.56 mg/L , 分别达到二级和

[收稿日期] 2005 12 25

[基金项目] 国土资源部国土资源大调查综合研究项目(121201054301)

[作者简介] 沈莽庭(1971-)男, 江苏宝应人, 工程师, 从事城市环境地质问题调查与研究。

一级排放标准, 表明该垃圾场虽采取了一定的无害化处理, 但已经对周围环境造成严重污染, 同时该垃圾填埋场将在 2006 年达到饱和服务年限, 目前正面临封场停止使用的情况。因此, 在九江市城市规划区外新建垃圾填埋场迫在眉睫。

1 候选垃圾场地的选取原则

本次备选场地的选取原则, 首先, 要避开九江市城市规划区、风景名胜区和各种自然保护区; 其次, 根据候选场地的地形地貌、场地容量和区域水文地质环境条件、城市规划和经济效益等原则, 结合九江市建委、环卫处、国土局等多方单位分析和调查意见, 对九江市初步选定多处垃圾填埋场场址进行了认证, 最终确定 5 处候选场地进行最终综合评价适宜性优选, 其场址确定流程见图 1。

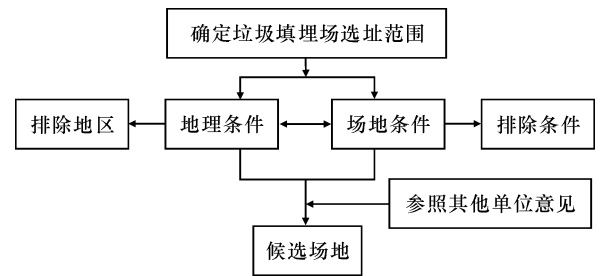


图 1 九江市候选垃圾填埋场地选址流程
Fig.1 Primary Election Flow Chart for
Site Selection of Urban Landfill in Jiujiang City

2 候选垃圾填埋场场区概况

本次工作初步确定对 5 个候选垃圾填埋场地进行综合适宜性场址评价。有关 5 个候选垃圾填埋场场地综合概况见表 1。

3 候选垃圾填埋场适宜性评价

3.1 评价方法介绍

层次分析法(AHP)是 20 世纪 70 年代美国运筹学家沙丁(T L Saty)提出的一种有效的定量与定性多目标的综合评价分析方法^[1-3]。对于候选垃圾填埋场地适宜性综合评价分析, 据有关文献^[4-10], 大致经过以下 5 个步骤:

3.1.1 明确问题

分析垃圾填埋场选址多目标综合评价主要影响因子以及由这些影响因子构成的相互联系和制约关系, 并将其所包含的影响因子进行分类, 每类作为一个层次。一般而言, 包括最高层 A(目标层)、中间层 B(准则层 1, 准则层 2, …)以及最低层 C(候选方案层), 建立评价问题的递阶层次结构。

3.1.2 构造判断矩阵

设有评价目标的若干个影响因子 X_1, X_2, \dots, X_n , 它们重量标度为 M_1, M_2, \dots, M_n 。若将同层因子两两比较, 其比值可构成 $n \times n$ 阶矩阵 A

表 1 九江市候选垃圾填埋场地基本概况

Tab.1 Basic Circumstance of Primary Election Site of Urban Waste Landfill in JiuJiang City

场地	估计面积 / km ²	估计容量 / 10 ⁴ m ³	距市区 距离 /km	场地地质概况
1	0.065	130±	10	基底为震旦系砂岩, 上覆较厚第四纪沉积物 渗透系数(3.3~4.0)×10 ⁻⁴ cm/s。场区浅层地下水埋深 0.5~1 m, 区内未见活动性断层构造, 地表水主要为流向鄱阳湖的自然冲沟
2	0.030	60±	5	基底为寒武系观音堂组炭质页岩, 渗透系数 2.7×10 ⁻⁵ ~1.01×10 ⁻⁴ cm/s。浅层地下水埋深 2~3 m, 为基岩裂隙水, 地表水主要是庐山水系形成的冲沟和自然池塘
3	0.035	70±	13	场地基岩为寒武系观音堂组炭质页岩。第四纪沉积物为全新统粘性土、砂砾类土组成, 厚度约 5 m, 渗透系数 2.3×10 ⁻⁵ ~2.01×10 ⁻⁴ cm/s。浅层地下水埋深 4~6 m, 为基岩裂隙水, 地表水主要为自然形成的池塘, 场区较稳定
4	0.035	70±	15	场地基岩为寒武系观音堂组炭质页岩, 第四纪沉积物为全新统粘性土、砂砾土组成, 渗透系数 8.3×10 ⁻⁵ ~2.01×10 ⁻⁴ cm/s。浅层地下水埋深 5~6 m, 为基岩裂隙水, 地表水主要有谷山湖及东面的鄱阳湖, 场区较稳定
5	0.040	80±	7	形如一个簸箕状山谷。场地基岩为碎屑岩, 岩性为紫红色粉砂岩、细砂岩等。第四纪沉积物为泥质(漂)砾石、泥质砂砾石和网状纹粉质粘土, 厚度约 10 m, 渗透系数(0.13~2.8)×10 ⁻⁵ cm/s。浅层地下水埋深较深, 而且水量极其贫乏, 场区较稳定

$$A=\begin{bmatrix} m_1/m_1 & m_1/m_2 & \cdots & m_1/m_n \\ m_2/m_1 & m_2/m_2 & \cdots & m_2/m_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_n/m_1 & m_n/m_2 & \cdots & m_n/m_n \end{bmatrix}_{n \times n}$$

评价矩阵影响因子的重量标度值根据表 2 来确定。表中的标度确定是根据心理学家的研究,人们区分信息登记的极限能力为 7 ± 2 。例如 i 因子与 j 因子同样重要时,标度为 1, i 因子比 j 因子略重要时,标度为 3,介于其间的可以标度为 2 等。

表 2 相对重要评价因子标度值

Tab. 2 Scalar Value of Relative Evaluation Factors

标度	定 义
1	i 因子与 j 因子相同重要
3	i 因子与 j 因子略重要
5	i 因子与 j 因子较重要
7	i 因子与 j 因子非常重要
9	i 因子与 j 因子绝对重要
2、4、6、8	上述两相邻判断之中值
倒数	i 因子与 j 因子比较,得判断值为 $m_{ij}=1/m_{ji}$, $m_{ii}=1$

3. 1. 3 计算判断矩阵被比较评价影响因子的权重

实质是计算各判断矩阵的特征向量,假设有一同阶正规向量 W , 存在 $AW=\lambda W$, 解此特征方程所得到最大特征值 λ_{\max} 和其所对应的特征向量 W , 将 W 经归一化处理后则分别代表本层各评价影响因子权重值。其步骤包含 2 个方面:

(1) 归一化处理。

$$w_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad i = 1, 2, \cdots, n$$

式中: w 代表判断矩阵的特征向量。

(2) 计算判断矩阵的最大特征值。

计算并比较特征值 λ 得到判断矩阵最大特征值 λ_{\max} 是为检验矩阵的一致性。为了防止构造的判断矩阵偏离一致性过大,导致一些问题的产生,定义检验公式

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1), \quad CR = CI / RI$$

式中: CR 为一致性指标; RI 为平均随机一致性指标(对 1~9 阶矩阵, RI 取值见表 3)。当 $CR=0$, 可判定为完全一致, CR 值愈大,判断矩阵的完全一致性愈差,一般只要求 CR 不大于 0.1, 就认为判断矩阵的一致性是可以接受的, 否则必须重新进行构造矩阵直至满意为止。

表 3 层次分析法中 RI 的取值

Tab. 3 RI Value in Analytic Hierarchy Process

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

3. 1. 4 候选场址适宜性层次分析综合评价数学模型

对于垃圾填埋场场址适宜性评价系统,采用多目标决策的线性加权方法来描述,建立一个广义的目标函数,目的是将垃圾填埋场适宜性评价的各个评价影响因子有机地结合起来,评价其选址的适宜性。广义的目标函数为

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i = 100 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k K_i \times K_{ij} \times K_{ijs}$$

式中: Z 为候选垃圾填埋场场址综合评价适宜性总评分; Z_i 为对第一层(准则层)评价影响因子第 i 影响因子评价总分; n 为第一层评价影响因子总个数; K_i 为第一层评价影响因子层第 i 影响因子权重; k 为第二层评价影响因子的总个数, K_{ij} 为第二层评价影响因子第 j 影响因子权重; s 为第二层(方案层)评价影响因子的实际影响因子个数(与 j 等同), K_{js} 为第二层评价影响因子第 j 影响因子实际贡献权重,乘以 100 是评价综合得分以百分制来表示的。

3. 1. 5 制定垃圾填埋场选址适宜性评价优选标准

为了使得候选场址的适宜性总评分界定在一定的评分范围内,突出区分各候选场地的适宜程度,对场址适宜性评价制定了具体的评价标准。另外,有关研究成果和成功地实践经验表明,对场址适宜性评价标准采用百分制是较适合的。表 4 是本次填埋场场址适宜性评价等级标准。

表 4 垃圾填埋场地适宜性等级标准

Tab. 4 Towardly Estimate Standard of Urban Landfill

等级	最佳场地	适宜场地	较适宜 场地	勉强适 宜场地	不适宜 场地
分值	90~100	80~90	70~80	60~70	< 60

3. 2 构建填埋场地评价因子层次分析结构模式

根据以上层次分析法的分析要求,结合九江市近远期城市规划和候选垃圾填埋场选址的各种社会环境、地质环境等影响因素,构建城市递阶适宜性垃圾填埋场场址评价层次结构模型(图 2)。

3. 3 构造判断矩阵及评价影响因子权重计算

据九江市城市规划与发展、经济条件和地理位置、交通运输条件、场地的环境地质条件、建场前后的环境条件、场地建设条件等影响因子在垃圾场场

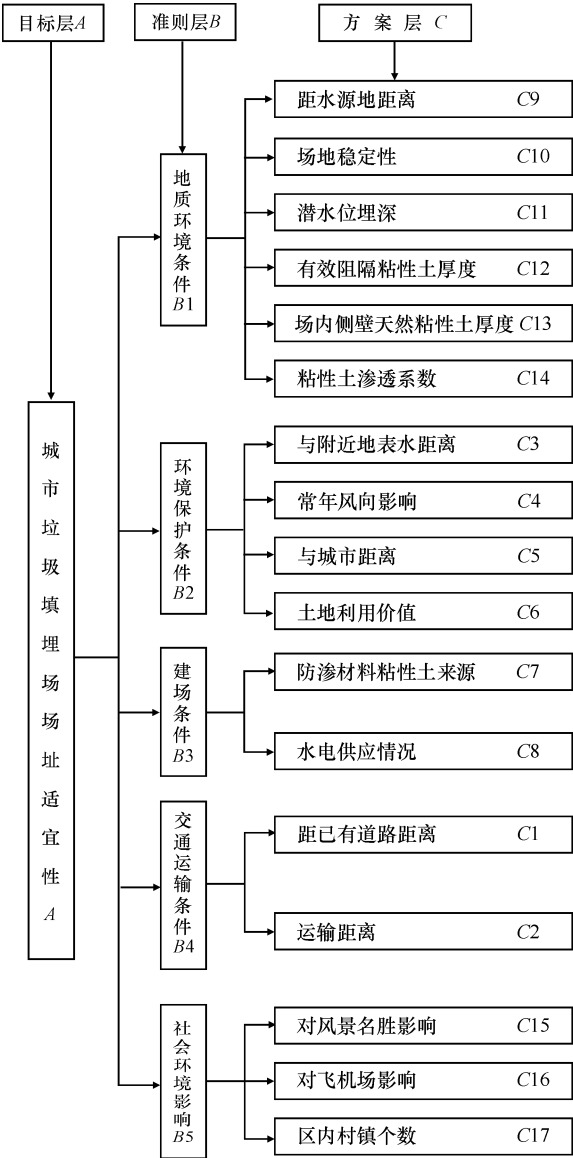


图 2 九江市城市垃圾填埋场层次结构模型
Fig. 2 Jiujiang City's Structural Mode Chart of Urban Waste Hygienic Landfill by Analytic Hierarchy Process

址适宜性评价中所占的相对比重,再据有关专家意见,对其评价准则层影响因子相对重要性进行排序,结果确定为:环境地质条件>环境保护条件>场地建设条件>社会环境影响>交通运输条件。

另外,垃圾填埋场选址评价决策者依据表 2 对图 2 中构造的递阶层次结构中各评价因子相对重要性两两进行比较后给出定量化构造判断矩阵列,并严格经过判断矩阵的一致性检验。具体的候选场地各目标层与制约因子层($A \rightarrow B$ 以及 $B \rightarrow C$)所构造的判断矩阵列表见表 5~10。

利用矩阵求解特征值和特征向量方法求解出表 5~10 中各判断矩阵 $|\lambda E - P|$ (其中 P 为构造的

判断矩阵, E 为单位矩阵, λ 为判断矩阵特征值)的最大特征值 λ_{\max} 、及特征向量值 w_i ,然后根据 λ_{\max} 计算 CI 、 CR 值来检验各判断矩阵的一致性,可见各判断矩阵的 CI 都不大于 0.1,因此,可以认为上述各判断矩阵的一致性较好,而且相对权重向量计算都正确且合理,再通过归一化处理,结果可以确定候选垃圾填埋场场址第一层次结构中评价影响因子(交通运输条件、环境保护条件、建场条件、环境地质条件、社会环境影响)权重向量所代表的因子权重依次为 $K_1=0.06, K_2=0.3, K_3=0.161, K_4=0.4, K_5=0.09$ 。第二层次各评价影响因子权重向量代表因子权重依次有:距已有道路的距离、运距因子权重分别为 $K_{11}=0.33, K_{12}=0.67$;与附近地表水距离、常年风向影响、与城市距离、土地利用价值因子权重分别为 $K_{21}=0.424, K_{22}=0.227, K_{23}=0.227, K_{24}=0.122$;防渗材料粘土来源、水电供应因子权重分别为 $K_{31}=0.67, K_{32}=0.33$;距水源地距离、场地稳定性、潜水位埋深、有效阻隔粘性土厚度、场内天然粘性土厚度、粘性土渗透系数因子权重分别为 $K_{41}=0.11, K_{42}=0.35, K_{43}=0.11, K_{44}=0.11, K_{45}=0.11, K_{46}=0.21$;对风景名胜影响、飞机场影响、区内城镇村的个数因子权重分别为 $K_{51}=0.40, K_{52}=0.20, K_{53}=0.40$ 。

表 5 目标层 A 与制约因子 B 判断矩阵

Tab. 5 Judgment Matrix between A Goal Layer and B Restrained Factor Layer

	B1	B2	B3	B4	B5	w_i
B1	1	1/4	1/2	1/5	1/3	0.1136
B2	4	1	3	1/2	5	0.5636
B3	3	1/3	1	1/3	4	0.3059
B4	6	2	3	1	7	0.7471
B5	1/2	1/5	1/4	1/7	1	0.1696

$\lambda_{\max}=5.37; CI=0.093; CR=0.083$

表 6 目标层 B2 与制约因子 C3~C6 判断矩阵

Tab. 6 Judgment Matrix between B2 Goal Layer and C3~C6 Restrained Factor Layer

B2	C3	C4	C5	C6	w_i
C3	1	2	2	3	0.7766
C4	1/2	1	1	2	0.4163
C5	1/2	1	1	2	0.4163
C6	1/2	1/2	1/2	1	0.2243

$\lambda_{\max}=4.01; CI=0.003; CR=0.0037$

表 7 目标层 B1 与制约因子 C1 ~ C2 判断矩阵

Tab. 7 Judgment Matrix between B1 Goal Layer and C1 ~ C2 Restrained Factor Layer

B1	C1	C2	w_i
C1	1	1/2	0. 447 2
C2	2	1	0. 894 4

$\lambda_{\max}=2$; CI=0; CR=0

表 8 目标层 B3 与制约因子 C7 ~ C8 判断矩阵

Tab. 8 Judgment Matrix between B3 Goal Layer and C7 ~ C8 Restrained Factor Layer

B3	C7	C8	w_i
C7	1	2	0. 894 4
C8	1/2	1	0. 447 2

$\lambda_{\max}=2$; CI=0; CR=0

表 9 目标层 B4 与制约因子 C9 ~ C14 判断矩阵

Tab. 9 Judgment Matrix between B4 Goal Layer and C9 ~ C14 Restrained Factor Layer

B4	C9	C10	C11	C12	C13	C14	w_i
C9	1	1/3	1	1	1	1/2	0. 238 1
C10	3	1	3	3	3	2	0. 752 2
C11	1	1/3	1	1	1	1/2	0. 238 1
C12	1	1/3	1	1	1	1/2	0. 238 1
C13	1	1/3	1	1	1	1/2	0. 238 1
C14	2	1/2	2	2	2	1	0. 455 4

$\lambda_{\max}=6$; CI=0; CR=0

表 10 目标层 B5 与制约因子 C15 ~ C17 判断矩阵

Tab. 10 Judgment Matrix between B9 Goal Layer and C15 ~ C17 Restrained Factor Layer

B5	C15	C16	C17	w_i
C15	1	2	1	0. 666 7
C16	1/2	1	1/2	0. 333 3
C17	1	2	1	0. 666 7

$\lambda_{\max}=3$; CI=0; CR=0

3. 4 候选场地影响因子实际贡献权重及综合评价

上述已经利用层次分析法对各层评价影响因子理论权重值计算出来,但是,对于一个具体的城市垃圾填埋场址来讲,各选址评价影响因子又由于该城市的建设规划、人口、经济发展情况、土地资源、环境保护条件、交通运输情况以及地质环境条件等因子的差异性,决定了垃圾填埋场地各个评价因子所确定的实际贡献权重值(K_{ijs})是不一样的,

所以,应该根据确切的候选场地的基础地质、水文地质、环境地质状况以及城市人口、气候、土壤条件以及城市近远期规划等资料来具体确定。

对九江城市垃圾填埋场场址评价因子的实际贡献权重值的确定,采用中国地质调查局制定的《城市环境地质问题调查评价规范》(2004 年)中有关城市垃圾填埋场适宜性评判的各评价影响因子具体评判标准来计算因子实际贡献权重,采用相对权重的形式表示(表 11)。

表 11 九江市 5 个候选垃圾填埋场地评价因子实际贡献权重

Tab. 11 Factual Weight of Evaluation Factors of Five Primary Urban Hygienic Landfills in Jiujiang City						
垃圾填埋场选址评价因子	场地 1	场地 2	场地 3	场地 4	场地 5	
环境地质条件	距水源地距离	3. 75	1	1	1	3. 50
	场地稳定性	1	1	1	1	1
	潜水位埋深	0. 044	0. 207	0. 310	0. 380	1
	有效阻隔粘性土厚度	0	0	0	0	0. 40
	场内天然粘性土厚度	1	1	1	1	0. 72
交通运输条件	粘性土渗透系数	0. 000 3	0. 000 3	0. 000 3	0. 000 3	0. 000 3
	距已有道路距离	0. 15	0. 85	0. 80	0. 4	0. 1
环境保护条件	运距	1	1	0. 77	0. 7	1
	与附近地表水距离	0. 625	1	1	1	0. 875
	常年风向影响	0. 5	0. 5	0. 5	0. 5	1
	与城市距离	0. 067	0. 1	0. 107	0. 087	0. 073
建场条件	土地利用价值	0. 067	0. 1	0. 107	0. 087	0. 073
	防渗粘土来源	0. 5	0. 5	0. 5	0. 5	1
	水电供应	0. 5	0. 5	0. 5	0. 5	0. 5
	风景名胜影响	0. 5	0. 4	0. 2	0. 3	0. 5
社会环境影响	飞机场影响	1	1	1	1	1
	城镇、村个数	0. 522	0. 6	0. 6	0. 522	0. 6

综上所述,利用层次分析法求得的各评价因子相对理论权重、上述层次分析综合评价数学模型及候选场地各影响因子实际贡献权重值,就可以对九江市 5 个候选垃圾场地的适宜性进行综合评价。场地 1 总评分计算为

$$Z_1=100\times K_1\times (K_{11}\times K_{111}+K_{12}\times K_{122})=100\times 0. 06\times (0. 33\times 0. 15+0. 67\times 1)=4. 30$$

$$Z_2=100\times K_2\times (K_{21}\times K_{211}+K_{22}\times K_{222}+K_{23}\times K_{233}+K_{24}\times K_{244})=100\times 0. 30\times$$

$$(0.424 \times 0.625 + 0.227 \times 0.5 + 0.227 \times 0.067 + 0.122 \times 0.067) = 12.06$$

$$Z_3 = 100 \times K_3 \times (K_{31} \times K_{311} + K_{32} \times K_{322}) = 100 \times 0.161 \times (0.67 \times 0.5 + 0.33 \times 0.5) = 8.05$$

$$Z_4 = 100 \times K_4 \times (K_{41} \times K_{411} + K_{42} \times K_{422} + K_{43} \times K_{433} + K_{44} \times K_{444}) = 100 \times 0.4 \times (0.11 \times 3.75 + 0.35 \times 1 + 0.11 \times 0.044 + 0.11 \times 0 + 0.11 \times 1 + 0.21 \times 0.0003) = 35.10$$

$$Z_5 = 100 \times K_5 \times (K_{51} \times K_{511} + K_{52} \times K_{522} + K_{53} \times K_{533}) = 100 \times 0.09 \times (0.4 \times 0.5 + 0.2 \times 1 + 0.4 \times 0.522) = 5.48$$

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 = 64.99$$

按照上述评分, 场地 1 计算方法可以得到其他 4 个候选场地适宜性选址综合评价得分(表 12)。据此可知, 5 个候选场地综合评分顺序从大到小依次为: 场地 4< 场地 3< 场地 2< 场地 1< 场地 5。

表 12 九江市 5 个候选垃圾填埋场地综合评价得分

Tab. 12 Composition Valuation Results of Five Urban Hygienic Landfills in Jiujiang City

场地	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	$\sum Z$
场地 1	4.30	12.06	8.05	35.10	5.48	64.99
场地 2	5.70	17.17	8.05	23.71	5.40	60.03
场地 3	4.67	17.25	8.05	24.17	4.68	58.82
场地 4	3.60	17.04	8.05	24.48	4.76	57.93
场地 5	4.22	18.70	13.44	38.73	5.76	80.85

3.5 九江市垃圾填埋场适宜性评价场址确定

依据综合评价分析法得出的评分, 就可以产生一个最优的垃圾场地。对照表 4 可见场地 1、场地 2 为勉强适宜场地, 而场地 3、场地 4 为不适宜场地, 场地 5 为适宜垃圾填埋场地。相比较而言, 场地 5 为最佳适宜场址。

4 结语

运用层次分析法对九江市生活垃圾填埋场场址进行适宜性评价优选, 通过场地评价影响因子定权重和采用多目标线性加权函数数学模型计算各候选场址的综合得分, 获得比较满意的结果。另外, 数学模型也能够反映出垃圾填埋场地选址过程中各评价影响因子之间的相互联系以及其对目标层的贡献大小, 利用构造各判断矩阵, 实现了选址过程中各影响因子相对重要性分析由定性到定性与定量相结合的转变, 在一定程度上提高了决策的准确度, 是解决垃圾填埋场适宜性评价和选址问题一种较好地理论方法和手段。

[参 考 文 献]

[1] 侯克复. 环境系统工程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1992.

[2] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.

[3] 慕金波. 层次分析方法在评定最优环境工程方案中的应用[J]. 环境科学进展, 1997, 5(4): 33 - 39.

[4] 天津系统工程教研室. 层次分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.

[5] 胡天觉, 陈维平, 曾光明, 等. 运用层次分析对株洲霞湾污水处理厂污水处理工艺方案择优[J]. 环境工程, 2000, 18(1): 61 - 63.

[6] 刘长礼, 张云, 王秀艳, 等. 垃圾卫生填埋处置的理论方法和工程技术[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

[7] 洪继华, 宋依兰. 层次分析法在水环境规划中的应用[J]. 环境科学与技术, 2000, 39(1): 32 - 35.

[8] 程天, 张彩香, 赵新泽. 层次分析法在垃圾卫生填埋场选址中的应用[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2003, 25(2): 161 - 164.

[9] 聂曦, 张琦, 姚群. 层次分析法在生活垃圾处置方案优选中的应用[J]. 工业安全与环保, 2004, 8(12): 18 - 21.

[10] 李亚兰, 陈志新, 王佳运. 多级模糊模式识别模型在地质环境质量评价中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 90 - 93.