

基于模糊综合评判模型的危险性废物场址选择

江冰^{1,2}, 魏云杰³, 韩才义¹, 许模¹

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059;

2. 重庆诚德岩土工程勘察有限公司, 重庆 400020; 3. 国土资源部 地质灾害应急技术指导中心, 北京 100081)

摘要: 危险性废物场址的选择是一项十分复杂的系统工程, 其影响因素具有信息不完全性、不确定性以及模糊性特点。以成都市为例, 考虑地质构造、地理因素、地层岩性、水文地质条件、地表水系、地质灾害分布等因素, 构建了多层次多目标方案优选评价指标体系; 运用模糊数学综合评判改进模型对拟建成都市危险废物处置中心场址选择进行分析研究。结果表明, 采用模糊数学改进模型进行废弃物场址选择的方法科学实用、操作简便, 具有一定实际应用价值, 可为相关工程提供借鉴。

关键词: 危险性废物; 场址选择; 模糊综合评判; 层次分析法

中图分类号: P642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)03-0214-04

Site Selection of Hazardous Waste Disposal Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Model

JIANG Bing¹, WEI Yunjie², ZHANG Caiyi¹, XU Mo¹

(1. Key Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection, Chengdu 610059, China;

2. Chongqing Chengde Geotechnical Investigation CO., Ltd; Chongqing 400020, China;

3. Consultative Centre for Geohazard Emergency, MLR, Beijing 100081, China)

Abstract: The selection of hazardous waste disposal site is a complicated system engineering problem, and its influencing factors have the characteristics such as information incompleteness, uncertainty, and fuzziness. In this paper, a multi level and multi objective evaluation index system was developed in Chengdu City in consideration of geological structure, geographical factors, stratigraphic lithology, hydrogeological conditions, surface drainage, and geological disaster distribution. The fuzzy mathematical comprehensive evaluation method was used to analyze the selection of hazardous waste disposal site in Chengdu City. The results suggested that the fuzzy mathematical improved model is scientific and practical, easy to operate, and has certain practical application value, thus it can provide reference for related projects.

Key words: hazardous waste; site selection; fuzzy comprehensive evaluation method; AHP

危险废弃物场址的选址是根据工程所要达到的目标, 从众多可行方案中选出一个最佳方案, 本质上是对多种方案下多目标的评价与选择。目前, 相关专家学者对危险废弃物场址选择开展了深入研究, 取得了一定的研究成果^[1-7]。但是, 尚未发现针对山区城市地质环境的特点, 从地形地貌、工程地质及水文地质、气候、土壤等方面进行定量研究。

本文拟以成都为例, 分析危险废弃物场址选择的影响因素, 建立一套多层次、多目标山区城市危险废弃物场址优选的综合评价指标体系, 并运用模糊数学综合评判改进模型对拟建成都市危险废物处置中心场址选择进行分析研究, 最终选取最优方案。

1 山区城市危险性废物选址的综合评价指标体系

构建危险性废弃物的综合评价模型是进行方案优选的基础。依据成都市自然地理、地质构造、地层岩性、水文地质条件、地质灾害等特点, 构建了山区城市危险性废物选址的多层次多目标评价指标体系, 见表1。指标体系分以下三层。

第一层: $U = \{u_1, u_2, \dots, u_5\}$

第二层: $u_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}\}; u_2 = \{u_{21}, u_{22}\}; u_3 = \{u_{31}, u_{32}\}; u_5 = \{u_{51}, u_{52}, u_{53}\}$

收稿日期: 2013-05-15 修回日期: 2013-11-15 网络出版时间: 2014-05-07

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.03.045.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41172254)

作者简介: 江冰(1963-)男, 四川达州市人, 博士研究生, 主要从事环境科学、环境地质等方面的研究工作。E-mail: 448124138@qq.com

通讯作者: 魏云杰(1973-)男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事地质灾害、岩土工程等领域的研究工作。E-mail: wyj1973@126.com

第三层: $u_{13} = \{u_{131}, u_{132}, u_{133}\}; u_{22} = \{u_{221}, u_{222}\}$

表 1 山区城市危险性废弃物选址的优选模型

Table 1 Optimization model of selection of hazardous waste in mountain city

第一层指标	第二层指标	第三层指标
自然地理因素 u_1	距城镇距离 u_{11}	-
	地形地貌 u_{12}	-
	地表水系 u_{13}	主沟长度 u_{131} 常年有水的支沟数 u_{132} 汇水面积 u_{133}
	区域构造背景 u_{21}	-
地质构造因素 u_2	场区地质构造 u_{22}	背斜 u_{221} 向斜 u_{222}
	泥岩厚度 u_{31}	-
地层岩性 u_3	覆盖层厚度 u_{32}	-
	水文地质条件 u_4	地下水位 u_4
地质灾害 u_5	滑坡 u_{51}	-
	崩塌 u_{52}	-
	不稳定斜坡 u_{53}	-

2 模糊数学综合评判的改进模型

模糊综合评判法是以模糊数学为理论基础,利用模糊关系合成原理,将一些边界不清,不易定量因素量化,进行综合评价的方法。它将评价目标当作多种因素组成的模糊集合,求出各因素归属程度,根据各因素在评价目标中的权重分

表 2 成都市危险废物处置中心备选场址环境地质条件

Table 2 Environmental and geological conditions of the alternative site for hazardous waste disposal in Chengdu

备选场址	地形地貌	地质构造	地层岩性	水文地质条件	地质灾害分布状况
1号	NE-SW 向冲沟较发育,东侧冲沟切割,落差 45 m,坡度为 30°	位于龙泉山箱状复式背斜的西翼次级褶皱。	侏罗系蓬莱镇组(J _{3p})中上部,覆盖层主要为第四系松散堆积层,其厚度一般为 1~8 m。	龙凤河水系,主干河流从东南端流入,从西北端流出,穿越龙泉山在其东侧汇入沱江。	场址内发育滑坡体 2 处,崩塌体 18 处,未见不稳定斜坡。
2号	呈圈椅状,西侧受冲沟切割;场地 NE 侧,较为宽缓,坡度约 10°~20°,发育 4 条小型冲沟。	位于龙泉山箱状复式背斜的西翼次级褶皱。	侏罗系蓬莱镇组(J _{3p})中上部,覆盖层主要为第四系松散堆积层,其厚度一般为 1~8 m。	卢家湾河水系,发源于场地东南部,最终向北流出,汇入沱江上游。	场址内发育滑坡体 1 处,崩塌体 18 处,未见不稳定斜坡。
3号	近南北向冲沟从中央穿过,两侧均为近南北走向山脊。场地东侧较为宽缓,坡度 10°~25°。	位于龙泉山东坡断裂和龙泉山西坡断裂组成的 NNE~NE 向龙泉山断裂带内的龙泉山箱状复式背斜中段西翼。	侏罗系上统蓬莱镇组(J _{3p}),覆盖层主要为第四系松散堆积层,其厚度一般为 1~10 m。	两河水系,主干河流源头位于场址中部北端,有两条支流汇入,最终从场址南端流出,沿低山丘陵最终汇入沱江。	场址内发育滑坡体 2 处,崩塌体 15 处,不稳定斜坡 4 处。

3.2 基于模糊数学综合评判改进模型的分析过程

运用模糊数学综合评判的改进模型,对拟建成都市危险废物处置中心的备选场址方案进行优选,主要步骤如下。

第一步:建立模糊综合评判因素集 U

$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$ 代表影响危险废物处置中心备选场址决策的各种影响因素;其中, u_1 为自然地理因素指标, u_2 为地质构造因素指标, u_3 为地层岩性指标, u_4 为水文地质条件指标, u_5 为地质灾害指标。

第二步:建立模糊关系矩阵 R

根据表 1 建立的多层次评价指标体系,结合拟建工程的实际情况,采用专家调查、现场测试、室内试验和数值分析等多种手段,获得各因素的评价指标,考虑各个评价指标存在

量纲、量级的差异,对其进行规格化处理,建立了场址备选方案的模糊关系矩阵 R ,具体数据见表 3。

模糊数学综合评价方法虽然在定性、定量指标体系评价方面具有强大功能,但在实践运用过程中发现存在以下问题:(1)在确定评价因素权重时,往往是依靠少数专家的知识 and 经验,显然存在着一定的缺陷;(2)模糊数学综合评价通常使用取大取小算法,信息丢失较多,因此会出现结果不易分辨(即模型失效)情况。

本文采用了文献[10]提出的模糊数学综合评价的改进模型。首先,采用层次分析法来确定各指标的权系数,使其合理性增强,更符合客观实际并易于定量表示,从而提高评判结果的准确性;其次,采用加权平均求隶属等级的方法,对于多个被评事物可依据其等级位置进行排序,较合理地解决取大取小运算法丢失信息严重的问题。

3 工程实例应用

3.1 工程概况

拟建危险废物处置中心位于成都市龙泉驿区洛带镇,该项目为成都市重点建设项目,年处理能力 12.2×10⁴ t,其中,综合利用 1.2×10⁴ t,焚烧 1.0×10⁴ t(不含医疗废物),安全填埋 10.0×10⁴ t。工程场区处于龙泉山中段,属山谷型填埋场,主体工程主要包括:堤坝、填埋场和污水处理厂等厂房设施。目前,该工程处于初步勘察阶段,共有三个备选场区,即 1 号备选场区、2 号备选场区和 3 号备选区,面积均为 0.473 km²。不同备选场址的区域环境地质条件见表 2。

第三步:层次分析法确定各级指标权重 A

(1) 一级指标权重的计算,参见表 4。

(2) 二级指标权重的计算,其中一级指标水文地质条件 u_4 只有一个二级指标地下水位 u_{41} ,故其权重为 1.0,其余的二级指标判断矩阵参见表 5~表 8。

(3) 三级指标权重的计算,参见表 9~表 10。

第四步:合成模糊综合评价结果向量 B

采用加权平均 $M(\cdot, \hat{Y})$ 模糊合成算子将与合成得到模糊综合评价结果向量,计算公式为:

$$b_j = \sum_{i=1}^m (a_i \cdot r_{ij}) = \min(1, \sum_{i=1}^m a_i \cdot r_{ij}), j = 1, 2, \dots, m$$

表 3 成都市危险废物处置中心选址的模糊综合评判关系矩阵相关数据

Table 3 The related data of judge matrix for the fuzzy comprehensive evaluation of the alternative site for hazardous waste disposal in Chengdu

序号	影响因素	场址编号			备注
		1 号	2 号	3 号	
1	距城镇距离	0.346	0.307	0.346	定量指标
2	地形地貌	0.304	0.357	0.339	定性指标
3	主沟长度	0.283	0.340	0.377	定量指标
4	常年有水的支沟	0.360	0.375	0.265	定量指标
5	汇水面积	0.342	0.354	0.304	定量指标
6	区域构造背景	0.333	0.333	0.333	定性指标
7	场址区背斜构造	0.295	0.405	0.300	定性指标
8	场址区向斜构造	0.304	0.373	0.323	定性指标
9	泥岩厚度	0.333	0.333	0.333	定量指标
10	覆盖层厚度	0.338	0.320	0.342	定量指标
11	地下水位	0.343	0.335	0.322	定量指标
12	滑坡	0.335	0.318	0.347	定量指标
13	崩塌	0.321	0.357	0.321	定量指标
14	不稳定斜坡	0.344	0.313	0.344	定量指标

表 4 $U(u_1:u_5)$ 判断矩阵

Table 4 Judge matrix of $U(u_1:u_5)$

参数	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	权重 A
u_1	1	9/7	9/7	9/7	9/5	0.257
u_2	7/9	1	7/7	7/7	7/5	0.200
u_3	7/9	7/7	1	7/7	7/5	0.200
u_4	7/9	7/7	7/7	1	7/5	0.200
u_5	5/9	5/7	5/7	5/7	1	0.143

$\lambda_{\max} = 5.000, RI = 1.120, CI = 0.000, CR = 0.000$, 通过一致性检验

表 5 $u_1^-(u_{11}:u_{13})$ 判断矩阵

Table 5 Judge matrix of $u_1^-(u_{11}:u_{13})$

参数	u_{11}	u_{12}	u_{13}	权重 A_1
u_{11}	1	3/7	3/8	0.167
u_{12}	7/3	1	7/8	0.389
u_{13}	8/3	8/7	1	0.444

$\lambda_{\max} = 3.000, RI = 0.580, CI = 0.000, CR = 0.000$, 通过一致性检验

表 6 $u_2^-(u_{21}:u_{22})$ 判断矩阵

Table 6 Judge matrix of $u_2^-(u_{21}:u_{22})$

参数	u_{21}	u_{22}	权重 A_2
u_{21}	1	6/8	0.429
u_{22}	8/6	1	0.571

$\lambda_{\max} = 2.000, RI = 0.000, CI = 0.000, CR = 0.000$, 通过一致性检验

表 7 $u_3^-(u_{31}:u_{32})$ 判断矩阵

Table 7 Judge matrix of $u_3^-(u_{31}:u_{32})$

参数	u_{31}	u_{32}	权重 A_3
u_{31}	1	9/7	0.562
u_{32}	7/9	1	0.438

$\lambda_{\max} = 2.000, RI = 0.000, CI = 0.000, CR = 0.000$, 通过一致性检验

表 8 $u_5^-(u_{51}:u_{53})$ 判断矩阵

Table 8 Judge matrix of $u_5^-(u_{51}:u_{53})$

参数	u_{51}	u_{52}	u_{53}	权重 A_5
u_{51}	1	9/6	9/3	0.500
u_{52}	6/9	1	6/3	0.333
u_{53}	3/9	3/6	1	0.167

$\lambda_{\max} = 3.000, RI = 0.580, CI = 0.000, CR = 0.000$, 通过一致性检验

表 9 $u_{13}^-(u_{131}:u_{133})$ 判断矩阵

Table 9 Judge matrix of $u_{13}^-(u_{131}:u_{133})$

参数	u_{131}	u_{132}	u_{133}	权重 A_{13}
u_{131}	1	5/5	5/8	0.278
u_{132}	5/5	1	5/8	0.278
u_{133}	8/5	8/5	1	0.444

$\lambda_{\max} = 3.000, RI = 0.580, CI = 0.000, CR = 0.000$, 通过一致性检验

表 10 $u_{22}^-(u_{221}:u_{222})$ 判断矩阵

Table 10 Judge matrix of $u_{22}^-(u_{221}:u_{222})$

参数	u_{221}	u_{222}	权重 A_{22}
u_{221}	1	4/8	0.333
u_{222}	8/4	1	0.667

$\lambda_{\max} = 2.000, RI = 0.000, CI = 0.000, CR = 0.000$, 通过一致性检验

式中: b_i, a_i, r_{ij} 分别表示隶属于第 j 等级的隶属度、第 i 个评价指标的权重和第 i 个评价指标隶属于第 j 等级的隶属度。以实际调查的统计数据所构建的模糊关系矩阵 R 代入模糊数学综合评判模型中, 计算各级模糊综合评价的向量。

其中, 地表水系 u_{13} 评价向量 B_{13} 计算如下:

$$B_{13} = A_{13} \cdot R_{13} = (0.279, 0.278, 0.444) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.283 & 0.340 & 0.377 \\ 0.360 & 0.375 & 0.265 \\ 0.342 & 0.354 & 0.304 \end{bmatrix} = (0.331, 0.356, 0.313)$$

归一化综合评价向量: $B_{13} = (0.331, 0.356, 0.313)$

因此, 由 (B_{11}, B_{12}, B_{13}) 构成模糊关系矩阵 R_1 , 与权重向量 $A_1(0.167, 0.389, 0.444)$ 进行如下运算可以得到 B_1 :

$$B_1 = A_1 \cdot R_1 = (0.167, 0.389, 0.444) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.346 & 0.307 & 0.346 \\ 0.304 & 0.357 & 0.339 \\ 0.331 & 0.356 & 0.313 \end{bmatrix} = (0.323, 0.348, 0.329)$$

同理按照上述计算方法分析对地质构造因素 u_2 、地层岩性 u_3 、水文地质条件 u_4 、地质灾害 u_5 进行计算, 可得到其归一化向量 $B_1 \sim B_5$ 如下:

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.323 & 0.348 & 0.329 \\ 0.315 & 0.362 & 0.323 \\ 0.335 & 0.327 & 0.337 \\ 0.343 & 0.335 & 0.322 \\ 0.332 & 0.330 & 0.338 \end{bmatrix}$$

第五步: 模糊综合评价向量 B 与最优方案的确定

由 $(B_1 \sim B_5)$ 构成模糊关系矩阵 R , 与一级指标的权重 $A(0.257, 0.200, 0.200, 0.200, 0.143)$ 进行如下运算可以得到 B :

$$B = A \cdot R = (0.257, 0.200, 0.200, 0.200, 0.143) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.323 & 0.348 & 0.329 \\ 0.315 & 0.362 & 0.323 \\ 0.335 & 0.327 & 0.337 \\ 0.343 & 0.335 & 0.322 \\ 0.332 & 0.330 & 0.338 \end{bmatrix} = (0.329, 0.342, 0.329)$$

依据最大优属度原则,由计算结果可知:备选场址 2 号为最佳推荐方案。该方案为实际工程采纳后,运用效果良好。

4 结论

(1) 根据山区城市的地质环境特点,从自然地理因素、地质构造、地层岩性、水文地质条件、地质灾害等方面,构建了危险性废弃物场址方案优选的多层次多目标评价指标体系。

(2) 运用模糊数学综合评判的改进模型对成都拟建危险废物处置中心选址工程进行实例分析,研究表明 2 号备选场址为最优方案,为实际工程建设提供决策依据,与工程实际情况较吻合。

参考文献(References):

- [1] SUN IL K, GA IKWAD S A, SHEKDAR A V, et al. Estimation Method for National Methane Emission from Solid Waste Landfills [J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(21): 3481-3487. [6] IMONE L, IAN B, DAVID E. Assessing the Demand of Solid Waste Disposal in Urban Region by Urban Dynamics Modelling in a GIS Environment [J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2001, 39(1): 25-41.
- [2] 李仕友, 谢水波. 基于城市垃圾卫生填埋场选址的分析 [J]. 黑龙江水利科技, 2006, 34(1): 80-81. (LI Shiyou XIE Shuib. Analysis of the Location of City Garbage Sanitary Landfill [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2006, 34(1): 80-81. (in Chinese))
- [3] 蔡爱民, 查良松. GIS 在芜湖市城市生活垃圾填埋点选址中的应用 [J]. 国土与自然资源研究, 2004(1): 58-59. (CAI Aimin CHA Liang song. Application Research with Gis on Site Selecting of Landfill of Life Waste in Wuhu City [J]. Territory and Natural Resources Study, 2004, (1): 58-59. (in Chinese))
- [4] 曹建军, 刘永娟, 郭广礼. 城市生活垃圾填埋场选址研究 [J]. 工业安全与环保, 2004, 30(4): 22-24. (CAO Jiarjun, LIU Yongjuan, GUO Guangli. The Research on the Selection of Municipal Solid Waste Landfill Site Industrial Safety and Environmental Protection. 2004, 30(4): 22-24. (in Chinese))
- [5] 方金德. 浅议生活垃圾卫生填埋场选址问题 [J]. 环境管理, 2006, 6(6): 59-64. (FANG Jinde. On Solid Waste Sanitary Landfill Site [J]. Environmental Control, 2006, 6(6): 59-64. (in Chinese))
- [6] 邵国霞. 模糊多属性决策在垃圾卫生填埋场选址中的应用 [J]. 环境工程, 2005, 23(3): 88-90. (SHAO Guoxia. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making in the Application Site of Solid Waste Sanitary Landfill [J]. Environment Engineering, 2005, 23(3): 88-90. (in Chinese))
- [7] 程鹏. 危险废弃物安全填埋场的选址及安全措施 [J]. 辽宁城乡环境科技, 2006, 26(1): 8-10. (CHENG Peng. Location and Safety measures of Hazardous Waste Landfill [J]. Liaoning Urban and Rural Environmental Science and Technology, 2006, 26(1): 8-10. (in Chinese))
- [8] 李士勇. 工程模糊数学及应用 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004. (LI Shiyong. Engineering Fuzzy Mathematics and Its Application [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology press, 2004. (in Chinese))
- [9] 李安贵, 张志宏. 模糊数学及其应用 [M]. 武汉: 冶金工业出版社, 2003. (LI Angui, ZHANG Zhihong. Fuzzy Mathematics and Its Application [M]. Huhan: Metallurgical Industry Press, 2003. (in Chinese))
- [10] 刘沙沙. 企业环境绩效审计评价模型研究及应用—基于模糊数学综合评判改进模型的案例研究 [J]. 中国内部审计, 2013, (5): 36-40. (LIU Shasha. Corporate Environmental Performance Audit of Improved Model of Fuzzy Mathematics Comprehensive Evaluation Model Research and Application Based on Case Study [J]. The Chinese Internal Audit, 2013, (5): 36-40. (in Chinese))
- [10] 张瑞瑾, 谢鉴衡, 王明甫, 等. 河流泥沙工程 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1989. (ZHANG Ruijing, XIE Jiaheng, WANG Mingfu. Sediment Engineer of River Flow [M]. Beijing: Water Resources And Hydropower Press, 1989. (in Chinese))
- [11] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计(第四版) [M]. 浙江大学, 高等教育出版社, 2008. (SHENG Zhou, XIE Shiqian, PAN Chengyi. Probability And Mathematical Statistics (The Fourth Edition) [M]. Zhejiang University, Higher Education Press, 2008. (in Chinese))
- [12] 秦荣昱, 王崇浩. 河流推移质运动理论及应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996. (QIN Yuruyu, WANG Chonghao. Theory and Apply of Bed Load Motion of River Flow [M]. Beijing: China Railway Press, 1996. (in Chinese))
- [13] Hayashi T. S. Ozaki and Ichibashi T. Study on Bed Load Transport of Sediment Mixture [J]. Proc, 24th. Japanese Conference on Hydraulics. 1980.
- [14] 陈媛儿, 谢鉴衡. 非均匀沙起动规律初探 [J]. 武汉水利电力学院学报, 1988, (3). (CHEN yuaner, XIE Jiaheng. Preliminary Research on the Laws of Threshold Motion for Nonuniform Sediment [J]. Wuhan University of Hydro and Engineering. 1988, (3). (in Chinese))

(上接第 197 页)