

文章编号:1671-6833(2009)03-0134-05

# 多层次模糊评价法在公路路线方案比选中的应用

慕 慧, 杨少伟

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

**摘 要:** 针对公路路线方案综合评价的多目标、多层次等特点, 运用多层次灰色理论的方法, 对可比性方案通过综合评价选出最优方案. 通过对路线方案因素指标分层及参考数据的确定, 采用层次分析和灰色理论相结合的方法, 对各层指标相对权重进行了确定和检验. 借助灰色关联分析, 计算了公路路线方案的综合关联度. 根据关联度越大排序越前的原则, 确定最优方案.

**关键词:** 路线方案; 多层次灰色理论; 模糊评价; 权重; 灰关联度

**中图分类号:** U 412.2 **文献标识码:** A

## 0 引言

公路的路线方案比选是一项多层次、多目标、多因素的复杂工作<sup>[1]</sup>, 它涉及到对方案的功能、社会和环境等诸多因素的综合分析和比较, 以确定出合理的路线方案. 对于多目标决策的问题, 目前国内外普遍使用的方法有层次分析法和模糊评价法. 笔者采用灰色理论在各领域中的成功经验, 结合传统的层次分析法, 提出多层次灰色理论评价方法, 并成功应用于工程实例<sup>[2-5]</sup>.

## 1 评价指标体系的设置

### 1.1 评价指标体系的确定及分层

为了比选方便, 需选用一些评价指标来反映各备选方案的特性, 评价指标的选取应本着科学性、合理性和简明性的原则进行, 既要全面反映备选方案的特征, 又要便于获取和量化. 根据以上原则, 笔者选择具有代表性的指标构成评价指标体系, 并将评价指标分为 3 层. 第一层为目标层, 即为最优路线方案; 第二层为准则层, 由 10 个因素组成; 每个因素下又有若干个子因素组成, 即第三层(指标层), 如图 1 所示.

### 1.2 评价指标的定量与定性分析

路线方案的评价指标很多都难以定量, 主要靠定性描述, 然而这些内容对路线方案的确定来说却是十分重要的, 应予以认真对待. 鉴于这种情况, 路线方案评价方法采用定量分析与定性分析相结合, 参数评价与经验判断相结合的方法. 并把

指标按最大化和最小化再分为两类: 一类为指标值高, 方案更有价值记为“+”; 另一类是指标值低, 方案更有价值记为“-”. 笔者对定量指标, 直接按相应的数值进行分析. 对定性指标, 由各专家参照有关规范、政策规定及以往类似工程经验等打分.

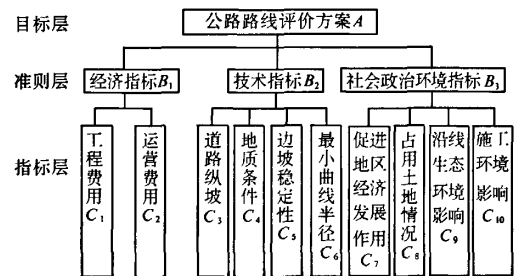


图 1 公路路线方案评价指标层次结构示意图

Fig. 1 The hierarchical structure sketch of the evaluation index to route plan

## 2 路线方案优选

### 2.1 评价指标权重系数的确定和检验

在评价指标体系确定的前提下, 公路路线方案综合评价的首要任务是评价因子的赋权<sup>[6-8]</sup>. 评价指标权重采用(1/9, 9)EM 标度的层次分析法, 由专家给出两两评价指标对某一准则或两两准则对目标的重要性标度, 其应用分析步骤如下:

#### (1) 专家调查评分重要性程度

多因子权重分析可采用“两两比较法”, 即每次在  $n$  个因子中只对两个因子相互比较相对重要

收稿日期: 2009-01-21; 修订日期: 2009-03-28

作者简介: 慕慧(1976-), 女, 陕西神木人, 长安大学博士研究生; 讲师, 研究方向为道路勘测设计、道路安全工程. E

-mail: muhuism@126.com

性,并设定对  $i$  与  $j$  两个因子进行重要程度比较时作如下约定:

$i, j$ 比较							
极为重要 记为 9	重要得多 记为 7	重要记为 5	稍重要记为 3	一样重要记为 1	稍次要记为 1/3	次要记为 1/5	极为次要 记为 1/9

2, 4, 6, 8 用于重要性程度之间的中间值。

(2) 构造多因子比较矩阵. 设有  $n$  个需要比较的因子  $x_1, x_2, \dots, x_n$  和评分者对话, 进行两两因子之间重要程度的比较, 将结果写成比较矩阵  $A$ .

$$A = [a_{ij}]_{n \times n} \quad (1)$$

式中:  $a_{ij}$  表示比较的因子  $x_i$  和  $x_j$  相对重要性程度, 矩阵元素有:  $a_{ii} = 1, a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

(3) 因子权重系数的确定. 对比较矩阵  $A$  先计算出最大特征值  $\lambda_{\max}$ , 然后求出其相应的规范化的特征向量  $W$ , 即

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (2)$$

式中  $W$  的分量  $(w_1, w_2, \dots, w_n)$  就是对应于  $n$  个因子的权重系数。

(4) 求解特征值和特征向量. 直接求解矩阵  $A$  的特征向量比较麻烦. 在实际工作中常采用两种近似算法可以简便地计算权重系数。

① 和积法. 对  $A$  按列规范化  $\bar{a}_{ij} = a_{ij} / \sum a_{ij}$ , 再按行相加求和数  $\bar{w}_i = \sum \bar{a}_{ij}$ , 再规范化, 即得权重系数  $W_i$ :

$$W_i = \bar{w}_i / \sum \bar{w}_i \quad (3)$$

② 方根法. 按行元素求几何均值, 得  $\bar{w}_i = (\prod a_{ij})^{1/n}$ , 规范化, 即得权重系数  $W_i$ :

$$W_i = \bar{w}_i / \sum \bar{w}_i \quad (4)$$

(5) 一致性检验. 所谓一致性, 即指当  $x_1$  比  $x_2$  重要、 $x_2$  比  $x_3$  重要时, 则认为  $x_1$  一定比  $x_3$  重要. 判断矩阵的一致性, 检验步骤为:

① 计算一致性指标  $C.I.$  (Consistent Index)

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

最大特征值的简算算法是:

$$\lambda_{\max} = \sum [AW]_i / n W_i \quad (6)$$

② 查找相应的平均随机一致性指标  $R.I.$  (Random Index), 表 1 给出了 1-12 正互反矩阵的平均随机一致性指标。

③ 计算一致性比例  $C.R.$  (Consistent Ratio)

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (7)$$

表 1 平均随机一致性指标  $R.I.$

Tab. 1 Mean random consistency index  $R.I.$

矩阵阶数	RI
1	0
2	0
3	0.52
4	0.89
5	1.12
6	1.26
7	1.36
8	1.41
9	1.46
10	1.49
11	1.52
12	1.54

当  $C.R. < 0.10$  时, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的, 否则应对判断矩阵作适当修正。

(6) 计算各层元素对目标层的总排序向量

上面得到的是一组元素对其上一层次中某元素的权重向量. 最重要是得到最底准则层各元素对目标层的排序权重, 即总排序权重, 总排序权重要自上而下的将单准则下的权重合成。

假定计算出了递阶层次结构的第  $k-1$  层上  $n_{k-1}$  个元素相对于总目标的排序权重  $W^{(k)} = (w_1^{(k-1)}, w_2^{(k-1)}, \dots, w_{n_{k-1}}^{(k-1)})^T$  以及第  $k$  层  $n_k$  个元素上第  $j$  个元素为准则的单排序向量  $p_j^{(k)} = (p_{1j}^{(k)}, p_{2j}^{(k)}, \dots, p_{n_j}^{(k)})^T$ , 其中不受  $j$  元素支配的元素权重取为 0. 矩阵  $P^{(k)} = (p_1^{(k)}, p_2^{(k)}, \dots, p_{n_{k-1}}^{(k)})$  是  $n_k \times n_{k-1}$  阶矩阵, 表示了第  $k$  层上元素对第  $k-1$  层上元素的排序, 那么第  $k$  层上元素对目标的总排序向量  $W^{(k)}$  为:

$$W^{(k)} = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_{n_k}^{(k)}) = P^{(k)} \cdot W^{(k-1)} \quad (8)$$

并且一般公式为:

$$W^{(k)} = P^{(k)} P^{(k-1)} \dots P^{(3)} W^{(2)} \quad (9)$$

这里  $W^{(2)}$  是第二层上元素的总排序向量, 也是单准则下的排序向量。

同样, 从上到下进行一致性检验. 若以求得第  $k-1$  层上元素  $j$  为准则的一致性指标  $C.I. j^{(k)}$ , 平均随机一致性指标  $R.I. j^{(k)}$ , 一致性比例  $C.R. j^{(k)}$  ( $j=1, 2, n_{k-1}$ ), 那么  $k$  层的综合指标为

$$C.I.^{(k)} = (C.I. 1^{(k)}, C.I. 2^{(k)}, \dots, C.I. n_{k-1}^{(k)}) w^{k-1} \quad (10)$$

$$R.I.^{(k)} = (R.I. 1^{(k)}, R.I. 2^{(k)}, \dots, R.I. n_{k-1}^{(k)}) w^{k-1} \quad (11)$$

$$C.R.^{(k)} = \frac{C.I.^{(k)}}{R.I.^{(k)}} \quad (12)$$

## 2.2 多层次-灰色关联模型建立

多层次-灰色关联度法的基本思路就是将灰

色系统理论中的关联分析法用于多层次的综合评价中,即通过层次分析法确定各层次各指标的权系数,考虑到各因素的重要性不同,把按乘法法则得到的各指标权系数加入关联度的计算,即由各元素下的关联系数取平均值而改为取加权平均,从而较好地克服关联分析法对各评价元素主次不分的不足.该方法的实现步骤为:

#### (1) 确定最优化集

设  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}^T$  为  $m$  个方案的集合,其中  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$  为方案  $i$  的  $n$  个指标原始数据,即  $x_{ij} = (i = 1, 2, \dots, n)$  表示方案  $i$  的第  $j$  个指标值.

设  $X_0 = \{X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0n}\}$ , 其中  $x_{0j} (j = 1, 2, \dots, n)$  表示第  $j$  个指标在所有方案中的最优值.指标中,如果某一指标取大值为好,最优值则取该指标在各方案原始值的最大值;如果取小值好,则取各方案原始值的最小值;若取均值为好,则取各指标的均值.根据此原则,可以构造矩阵  $D$  为

$$D = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \cdots & x_{0n} \\ x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

#### (2) 规范化处理

由于评价指标相互之间通常具有不同的量纲和数量级,不能直接比较,因此需要对原始指标值进行规范化处理.笔者采用均值化处理,处理方法如下:

设第  $j$  个指标的平均值为  $\bar{x}_j$ ,则可用下式将原始指标值换为无量纲值  $c_{ij} = \frac{x_{ij}}{\bar{x}_j}$

$D$  经装换后得到矩阵  $C$ ,即为

$$C = \begin{bmatrix} C_{01} & C_{02} & \cdots & C_{0n} \\ C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \cdots & C_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

#### (3) 计算关联度

将经规范化处理后的最优指标集  $C_0 = \{c_{01}, c_{02}, \dots, c_{0n}\}$  作为参考数据列,将规范化处理后各方案指标值  $\{C_i\} = \{(c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{in})\} (i = 1, 2, \dots, m)$  作为被比较数列,求解方案  $i$  的第  $j$  个指标与第  $j$  个最优指标的关联系数  $\zeta_{ij} (i = 1, 2, \dots, n)$  的方法为:

$$\zeta_{ij} = \frac{\min_i \min_j |c_{0j} - c_{ij}| + \rho \max_i \max_j |c_{0j} - c_{ij}|}{|c_{0j} - c_{ij}| + \rho \max_i \max_j |c_{0j} - c_{ij}|} \quad (15)$$

式中:分辨系数  $\rho \in [0, 1]$ ,一般取  $\rho = 0.5$ .

根据多层次-灰色关联度法的基本思路,综

合评判矩阵为

$$R = E \times W \quad (16)$$

$$r_i = \sum_{j=1}^n \zeta_{ij} \cdot w_j \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (17)$$

式中:  $E = \{\zeta_{ij}\}_{m \times n}$  为各指标的关系数矩阵;  $R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$  为  $m$  个方案的综合评价结果矩阵,关联度  $r_i (i = 1, 2, \dots, m)$  表示第  $i$  方案与最优方案的关联度.评价结果:  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  为  $n$  个评价指标的权重分配矩阵,  $w_j (j = 1, 2, \dots, n)$  表示第  $j$  个指标的权重.

#### (4) 评价方案的优劣

##### ① 单层次灰色系统评价

关联度向量  $R = \{r_i\} (i = 1, 2, \dots, m)$  中,若  $r_i$  最大,则说明第  $i$  个方案与最优方案最接近,即第  $i$  个方案优于其他方案,据此可排出各方案的优劣次序.

##### ② 多层次灰色系统分析

在进行多层次评价时,每层次的关联度是权重系数乘以关联系数来实现的,得到一个层次的关联度后,将它作为下一个层次的原始数据,再重复进行求下一层次的关联度,以此类推至最高层.

根据以上计算的结果,对各方案优劣进行排序.某方案的关联度越大,其越接近最优参考方案,则该方案最优.

### 3 工程应用实例

#### (1) 评价指标属性值

某路段现有三个待选方案,要求对其进行全面分析评价,以确定出最优方案.它们的具体相关指标如表 2 所示.

表 2 路线方案评价指标属性值  
Tab. 2 The attribute value of evaluation index to route plan

准则层	评价指标	方案一	方案二	方案三
经济指标	工程费用(-)	8 566	6 975	7 195
	运营费用(-)	1 009	1 298	1 455
	道路纵坡(-)	4.5	3.2	2.8
技术指标	地质条件(不良地质)(-)	1.92	1.54	0.98
	边坡稳定性(填挖高度 > 8 m 路段长度)(-)	1.8	1.5	1.6
	最小曲线半径(+)	750	850	2 000
	促进地区经济发展作用(+)	80	85	76
社会政治环境指标	占用土地情况(-)	50.38	60.94	80.19
	沿线生态环境影响(-)	14	26	22
	施工环境影响(-)	17	50	24

(2)评价指标权重

评价指标权重采用(1/9,9)EM 标度的层次分析法,根据式(8)、(9)计算出各评价指标对总目标的权重如表 3 所列. 由专家给出两两评价指标对某一准则或两两准则对目标的重要性标度,如表 4 所列. 单一准则的指标权重计算采用了和法、根法两种方法,最后运用几何加权平均(等权)确定权重,并计算了一致性指标如表 3 所列. 由表 3 可知均满足一致性要求.

(3)多层次、灰色关联模型应用

根据表 2 列出的评价指标属性值,确定最优化解,并按式(14)和式(15)进行规范化处理以及关联系数计算,结果如表 5;再采用计算得到的权重结果进行综合评价,如表 6 所列.

表 3 评价指标对总目标的权重

Tab.3 The right weight of evaluation index to general objective

	$w_1^{(2)}$	$w_2^{(2)}$	$w_3^{(2)}$	
B	0.600 0	0.300 0	0.100 0	$w^{(3)} = p^{(3)}w^{(2)} = \sum_{j=1}^3 p_y^{(3)}w_j^{(2)}$
C	$p_1^{(2)}$	$p_2^{(2)}$	$p_3^{(2)}$	
C <sub>1</sub>	0.250 0	0	0	0.150 0
C <sub>2</sub>	0.750 0	0	0	0.450 0
C <sub>3</sub>	0	0.500 0	0	0.150 0
C <sub>4</sub>	0	0.125 0	0	0.037 5
C <sub>5</sub>	0	0.125 0	0	0.037 5
C <sub>6</sub>	0	0.250 0	0	0.075 0
C <sub>7</sub>	0	0	0.640 7	0.064 1
C <sub>8</sub>	0	0	0.157 1	0.015 7
C <sub>9</sub>	0	0	0.157 1	0.015 7
C <sub>10</sub>	0	0	0.045 2	0.004 5

表 4 单一准则下的评价指标判断矩阵及权重计算

Tab.4 The judgment matrix and weight calculation of evaluation index under a single criterion

指标	指标				和法	根法	加权平均
A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>		权重	C. R.	权重
B <sub>1</sub>	1	2	6		0.600 0		0.600 0
B <sub>2</sub>	1/2	1	3		0.300 0	0	0.300 0
B <sub>3</sub>	1/6	1/3	1		0.100 0	0.100 0	0.100 0
B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>			权重	C. R.	权重
C <sub>1</sub>	1	1/5			0.250 0	0.250 0	0.250 0
C <sub>2</sub>	5	1			0.750 0	0	0.750 0
B <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	权重	C. R.	权重
C <sub>3</sub>	1	4	4	2	0.500 0	0.500 0	0.500 0
C <sub>4</sub>	1/4	1	1	1/2	0.125 0	0	0.125 0
C <sub>5</sub>	1/4	1	1	1/2	0.125 0	0.125 0	0.125 0
C <sub>6</sub>	1/2	2	2	1	0.250 0	0.250 0	0.250 0
B <sub>3</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	权重	C. R.	权重
C <sub>7</sub>	1	6	6	9	0.612 1	0.669 3	0.640 7
C <sub>8</sub>	1/6	1	1	4	0.171 6	0.142 6	0.157 1
C <sub>9</sub>	1/6	1	1	4	0.171 6	0.142 6	0.157 1
C <sub>10</sub>	1/9	1/4	1/4	1	0.044 8	0.045 5	0.045 2

表 5 规范化及关联系数

Tab.5 Standardization and correlation coefficient

结果 指标	方案优化集	规范化				关联系数		
		方案一	方案二	方案三	最优值	方案一	方案二	方案三
C <sub>1</sub>	6 975	1.130 3	0.920 3	0.949 4	0.920 3	0.333 3	1.000 0	0.783 4
C <sub>2</sub>	1 009	0.804 6	1.035 1	1.160 3	0.804 6	1.000 0	0.435 5	0.333 3
C <sub>3</sub>	2.8	1.285 7	0.914 3	0.800 0	0.800 0	0.333 3	0.680 0	1.000 0
C <sub>4</sub>	0.98	1.297 3	1.040 5	0.662 2	0.662 2	0.333 3	0.456 3	1.000 0
C <sub>5</sub>	1.5	1.102 0	0.918 4	0.979 6	0.918 4	0.333 3	1.000 0	0.600 0
C <sub>6</sub>	2 000	0.625 0	0.708 3	1.666 7	1.666 7	0.333 3	0.352 1	1.000 0
C <sub>7</sub>	85	0.995 9	1.058 1	0.946 1	1.058 1	0.473 7	1.000 0	0.333 3
C <sub>8</sub>	50.38	0.789 2	0.954 6	1.256 2	0.789 2	1.000 0	0.585 3	0.333 3
C <sub>9</sub>	14	0.677 4	1.258 1	1.064 5	0.677 4	1.000 0	0.333 3	0.428 6
C <sub>10</sub>	17	0.560 4	1.648 4	0.791 2	0.560 4	1.000 0	0.333 3	0.702 1

表6 多层次一灰色关联模型综合评价结果  
Tab.6 The comprehensive evaluation result  
of multi-level grey correlation model

一级指标	方案一	方案二	方案三
经济指标	0.500 0	0.346 0	0.267 5
技术指标	0.100 0	0.183 0	0.285 0
社会政治环境指标	0.066 3	0.080 0	0.036 5
综合评价结果	0.666 3	0.609 0	0.589 0
综合评价排序	1	2	3

由表6可知,方案一为最佳方案.

#### 4 结语

(1) 利用概率论的方法实现了各方案中定性描述指标的量化处理,以便于评判中的数学计算.

(2) 用判断矩阵来确定不同层次各因素权重,避免以往评价中利用表格调查和专家评定中主观任意性和不一致性,使评价结果更符合客观实际.

(3) 最优方案一般采用各指标因素的最佳值组成,笔者推荐采用各比较方案中指标因素值优选后组成参考方案,目标值是真实的.实测得到的数据对评价结果都有影响,充分利用了获得的信息.

(4) 灰色关联分析方法步骤模式固定,便于利用计算机编程计算.

#### 参考文献:

- [1] 沈 寒.基于灰色系统理论的公路建设项目的环境影响评价方法[D].湖南:长沙理工大学博士学位论文,2006.
- [2] 雒 应.立体交叉方案的多层次灰色理论评价[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(4):45-48.
- [3] 黄淑琴.公路路线方案的多级综合模糊评价[J].中国公路学报,1997,10(3):37-44.
- [4] 刘 珊.公路建设项目环境影响的多级模糊综合评价[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(1):80-83.
- [5] 王 佐,汪双杰,屈 强,等.山区高速公路复杂路段路线方案的比选论证[J].公路,2007,(11):121-125.
- [6] 王 磊,张晓峰,周 伟.河南省高速公路网规划生态服务价值损失评价研究[J].郑州大学学报:工学版,2008,29(3):141-144.
- [7] 张亮亮.层次分析法在寒冷地区道路路线方案比选中的应用[J].森林工程,2007,23(6):54-57.
- [8] 王建军,赵慧丽,窦慧娟.基于层次分析法的交通运输方案优选问题研究[J].石家庄铁道学院学报,2004,17(2):45-48.

### Application of Multi-level Fuzzy Evaluation Method in Route Plan Selection

MU Hui, YANG Shao-wei

(Key Laboratory of Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** In view of the characteristics of multi-targets and multi-layers in evaluating route plans, the multi-levels grey system is applied to the evaluation system to select the most superior scheme from the comparable plans. According to the lamination of indices of route plan and determination of reference data, the analytic hierarchy process combined with grey system theory to decide and test the relative right weight of every index in the evaluating system. The synthetically grey related degree of every plan is calculated with grey related analysis method. The biggest one is the best plan. A project example shows that this method is easy and feasible.

**Key words:** route plan; multi-level grey system theory; fuzzy evaluation; right weight; grey related degree