

文章编号:1671-6833(2007)03-0056-05

# 层次分析法及消去与选择转换法在铁路环评中的应用

刘 铮<sup>1</sup>, 吴小萍<sup>1,2</sup>, 杨立国<sup>1</sup>

(1. 中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075; 2. 伦敦大学学院 交通研究中心, 英国 伦敦 WC1E 6BT)

**摘 要:** 铁路交通是一条带状建筑物, 它对沿线自然环境的影响很复杂, 根据这个特点, 在对铁路环境影响进行评价时, 采用“目标—指标层次结构”模式, 利用层次分析法(AHP), 把定性和定量的指标结合起来, 先筛选出部分重要的单项指标并确定其权重, 然后利用消去与选择转换法(ELECTRE II), 建立优先度、低劣度、理想度和劣指标比例度4个矩阵, 最后根据所确定的门槛值和所绘制的优先图, 对方案进行比较和排序, 直到选择出最优方案。在文末给出实例进行验证。

**关键词:** 铁路环境影响评价; 层次分析法; 消去与选择转换法; 定性指标; 定量指标

中图分类号: X 820.3

文献标识码: A

## 0 引言

现行的铁路建设项目评选主要是从经济和技术两方面考虑, 对环境影响方面考虑不多。环境影响评价的主要目的是预测工程建设对环境的影响, 进而指导工程方案比选<sup>[1-3]</sup>。由于我国建设项目环境影响评价工作起步较晚, 虽然经过几年的环评工作, 但还是存在许多不足。笔者认为要将环境保护纳入整个建设进程, 实现全面决策, 单靠目前的环境评价报告书是不可能实现的, 必须提出一套用于决策的环境影响评价因子和相应的评价指标体系, 建立一种基于环境影响的方案优选方法<sup>[4]</sup>。作者采用“EIA 递阶层次结构的建立—AHP 确定权重—ELECTRE II 进行方案比选”的模型对方案进行优选, 如图1所示。

## 1 层次分析法确定权重<sup>[5-7]</sup>

### 1.1 铁路 EIA 指标体系结构

铁路是一条带状物, 它对周围环境的影响是很复杂的, 因此选择“目标—指标层次结构”模式建立铁路 EIA 指标体系。所谓“目标—指标层次结构”模式就是利用层次分析方法, 把定性和定量分析有机地结合起来, 把复杂的系统分解成若干子系统, 形成有序的递阶层次结构。把环境—铁路建设工程项目—社会系统看成一个层次体系, 该层次体系结构由3个层次构成, 分别为目标层、

准则层和指标层, 其中目标层反映铁路 EIA 的目标, 准则层说明评价铁路对环境的影响必须考虑的几个方面, 具体的指标就构成指标层。铁路 EIA 是一多目标决策问题, 为使决策结果更合理, 故从单因素评价和综合评价及2个方面进行评价。

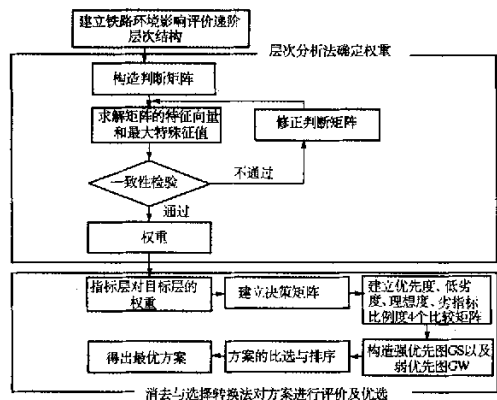


图1 铁路环境影响评价及方案优选模型

Fig.1 Model of railway EIA and selection of schemes

### 2.2 铁路 EIA 指标权重体系的确定

运用层次分析法解决铁路 EIA 权重的问题分为4个步骤:

第一步: 建立铁路 EIA 指标的递阶层次结构, 见图2。

第二步: 构造判断矩阵  $A$

$$A = (a_{ij})_{n \times n}$$

式中:  $a_{ij} = 1/a_{ji}$   $i \neq j, i, j = 1, 2, 3, \dots, n, a_{ij} > 0$ ;

收稿日期: 2007-04-10; 修订日期: 2007-06-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50578160)。

作者简介: 刘 铮(1984-), 男, 江西吉安人, 中南大学硕士研究生, 从事铁路规划研究。

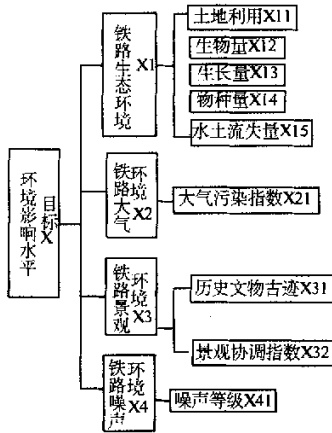


图2 EIA指标的递阶层次结构

Fig.2 Hierarchy structure of railway EIA indexes

表1 平均随机一致性标度 R.I 表

Tab.1 Average randomness coherence scale R.I

<i>n</i>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R.I	0.37	0.67	0.91	1.07	1.19	1.28	1.32	1.37	1.41	1.43	1.45	1.46

## 2 利用消去与选择转换法 (ELECTRE II 方法) 对方案进行评价及优选

### 2.1 体系指标权值的计算

由于线路方案的评价体系是一多层结构,各项指标权值是以分层的形式来表示,即第 $(k+1)$ 层的指标权值是对第 $k$ 层的某项指标而言。在采用 ELECTRE II 方法时,首先要计算最下层指标对总目标(综合评价优选线路方案)的权值,其步骤是由下而上求得每一层的各指标的权值。设第 $(k+1)$ 层的某项指标 $i$ 对第 $k$ 层的第 $j$ 项指标的权值为 $\omega(j,k)_{k+1,i}$ ,而第 $k$ 层第 $j$ 项指标对第 $(k-1)$ 层第 $m$ 项指标的权值为 $\omega(m,k-1)_{k,j}$ ,则第 $(k+1)$ 层的第 $i$ 项指标对第 $(k-1)$ 层的第 $m$ 项指标的权值为:

$$\omega(m,k-1)_{k+1,i} = \omega(j,k)_{k+1,i} \cdot \omega(m,k-1)_{k,j} \quad (3)$$

### 2.2 决策矩阵的建立

设有 $m$ 个方案,每个方案有 $n$ 项指标,令 $e_{ij}$ 表示第 $i$ 方案的第 $j$ 个指标值,则可以构成决策矩阵 $E = \{e_{ij}\}_{m \times n}$ 。为了便于分析比较,将决策矩阵规范化,即将决策矩阵的元素均化为 $[0,1]$ 区间的取值元素。

(1)对效益型指标,将指标值最大者或影响最大者定为1;将指标值最小者或影响最小者定为0。

(2)对成本型指标,将指标值最大者或影响最大定为0;将指标值最小者或影响最小者定

$a_{ij} = 1, i = j; n$ 为两两比较的因素数目; $a_{ij}$ 为因素 $U_i$ 比因素 $U_j$ 相对某一准则重要性的比例标度,可按1~9比例标度法对重要性程度赋值。

第三步:由判断矩阵计算被比较元素的相对权重

$$\bar{W} = \frac{\sum_{j=1}^n (a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij})} \quad (j, i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

第四步:由最大特征根的近似值 $\lambda_{max}$ 计算一致性比例 $C.R$

$$C.R = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1) \cdot R.I} \quad (2)$$

当 $C.R < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性可以接受,否则需要进行必要的调整。

为1。

(3)对于指标居中者,分2种情况来讨论。

①对定量指标,设指标最大值为 $S_{max}$ ,最小值为 $S_{min}$ ,而待定的规范化指标值为 $S_i$ ,则规范化取值。

$$\text{效益型指标: } u_i = (S_i - S_{min}) / (S_{max} - S_{min}) \quad (4)$$

$$\text{成本型指标: } u_i = (S_{max} - S_i) / (S_{max} - S_{min}) \quad (5)$$

②对定性指标,由决策人员根据影响的大小,在 $[0,1]$ 区间取值。取值时注意是效益型还是成本型。

### 2.3 建立优指标序号集和劣指标序号集

$$I = I(k, i) = \{j | 1 \leq j \leq n, \forall j, u_{k,j} \geq u_{i,j}\}$$

$$I' = I'(k, i) = \{j | 1 \leq j \leq n, \forall j, u_{k,j} \leq u_{i,j}\}$$

其中 $k, i$ 为这 $m$ 个方案中的任意的第 $k$ 和 $i$ 方案, $j$ 为影响指标。

### 2.4 建立比较矩阵

(1)优先度矩阵的建立。 $CM = \{cm_{ki}, k, i = 1, 2, \dots, m\}$

优先度 $cm_{ki}$ 表示方案 $k$ 优于方案 $i$ 的程度,定义为 $cm_{ki} = \sum_{j \in I(k,i)} \omega_j$  (6)

(2)低劣度矩阵的建立。 $DM = \{dm_{ki}, k, i = 1, 2, \dots, m\}$

低劣度 $dm_{ki}$ 反映了 $k$ 方案指标劣于 $i$ 方案指标的最大程度

$$dm_{ki} = \frac{\max\{u_{i,j} - u_{k,j}\}_{j \in I'(k,i)}}{\max\{u_{i,j} - u_{k,j}\}_{j \in I'(k,i)} + \max\{u_{k,j} - u_{i,j}\}_{j \in I(k,i)}} \quad (7)$$

(3) 理想度矩阵  $IM = \{im_{ki}, k, i = 1, 2, \dots, m\}$

先建立 2 个理想方案, 一为理想最优方案, 其规范化后的决策矩阵为  $u^+ [1 \ 1 \ \dots \ 1]_{1 \times n}$ ; 一为理想最劣方案, 其规范化后的决策矩阵为  $u^- = [0 \ 0 \ \dots \ 0]_{1 \times n}$ .

$$\text{计算任意方案 } k \text{ 理想系数 } r_k = \frac{S_k}{S_k + S_k^-} = \frac{\sqrt{\sum u_{kj}^+}}{\sqrt{\sum u_{kj}^2} + \sqrt{\sum (1 - u_{kj})^2}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

理想度  $im_{ki}$  表示方案  $k$  较方案  $i$  更接近于  $u^+$  而远离  $u^-$  的程度  $im_{ki} = r_k / (r_k + r_i)$  (9)

(4) 劣指标比例度矩阵  $NM = \{nm_{ki}, k, i = 1, 2, \dots, m\}$  劣指标数比例度  $nm_{ki}$  表示  $k$  方案劣于  $i$  方案的指标个数与指标总个数的比值.

$$nm_{ki} = \frac{\sum_{j \in I^-(k,i)} 1}{n} \quad (10)$$

## 2.5 方案的比选与排序

建立 4 个矩阵后, 即可以对方案进行比选与排序, 步骤如下:

对这 4 个矩阵定义 4 组门槛值:  $cm_s$  和  $cm_w$ ,

表 2 方案环境影响水平表

Tab. 2 Environment influence level of every scheme

属性	各方案估计影响水平			
	1S	1N	2	影响范围
被分割的土地块数	49	38	36	20 ~ 100
房屋迁移处数	60	58	24	4 ~ 80
侵占主要农田的亩数	267	267	252	100 ~ 350
占威廉姆森法规土地亩数	84	84	127	50 ~ 250
野生动物栖息地亩数	14.5	14.5	13.3	39 020
橡树被伐数量	23	23	15	10 ~ 50
接骨木被迁移的数量	5	5	0	0 ~ 5
历史古迹被损坏的数量	16	16	6	0 ~ 25
里程百分差	0.11	0.11	0.6	0 ~ 3
噪声	79	79	48	20 ~ 150

准则层对目标层的权重为  $W = (0.668 \ 9, 0.267 \ 4, 0.063 \ 7)$ , 指标层对相应的准则层的权重为  $W1 = (0.181 \ 8, 0.363 \ 6, 0.181 \ 8, 0.062 \ 1, 0.111 \ 0, 0.062 \ 1, 0.037 \ 6)$ ;  $W2 = (0.111 \ 1, 0.888 \ 9)$ ;  $W3 = 1$ , 指标层对目标层的权重为:  $W4 = (0.122, 0.243, 0.122, 0.042, 0.074, 0.042, 0.025, 0.030, 0.238, 0.064)$

(2) 决策矩阵的建立. (方案环境影响水平表

$dm_s$  和  $dm_w$ ,  $im_s$  和  $im_w$ ,  $nm_s$  和  $nm_w$ , 其中强门槛值为  $cm_s$ 、 $dm_s$ 、 $im_s$ 、 $nm_s$ , 弱门槛值为  $cm_w$ 、 $dm_w$ 、 $im_w$ 、 $nm_w$ . 有了门槛值后, 就可以确定方案的优劣级别关系, 当  $k$  方案和  $i$  方案同时满足下列 4 个条件时,  $cm_{ki} > cm_s$ ,  $dm_{ki} < dm_s$ ,  $im_{ki} > im_s$ ,  $nm_{ki} < nm_s$ , 就称方案  $k$  强优于方案  $i$ . 对于弱门槛值来说也类似, 将对应的强门槛值改成弱门槛值, 当也同时满足这 4 个条件就称方案  $k$  弱优于方案  $i$ . 根据强、弱优先关系可以构造强优先图 GS 和弱优先图 GW. 利用优先图即可进行方案排序, 先进行正向和反向排序, 再进行最终排序, 最终排序为正向和反向排序的平均值.

## 3 实例

由于国内很难找到用环境影响因子进行方案比选的例子, 故用文献[4]中的数据, 用笔者所介绍的方法进行比选. 美国加州某一交通建设项目有 4 个比选方案, 这 4 个方案都满足运量及其他方面的要求, 但在环境影响方面却相差较大. 各方案环境影响水平表见表 2.

(1) 对上述每个方案的影响评价体系进行分层建立指标体系 (见图 3) 及确定权重.

规范化的决策矩阵见表 3)

计算出优先度矩阵、低劣度矩阵、理想度矩阵以及劣指标比例度矩阵

$$\text{优先度矩阵: } CM = \begin{bmatrix} 1 & 0.641 & 0.561 & 0.279 \\ 1 & 1 & 0.635 & 0.279 \\ 1 & 1 & 1 & 0.279 \\ 0.721 & 0.721 & 0.750 & 1 \end{bmatrix}$$

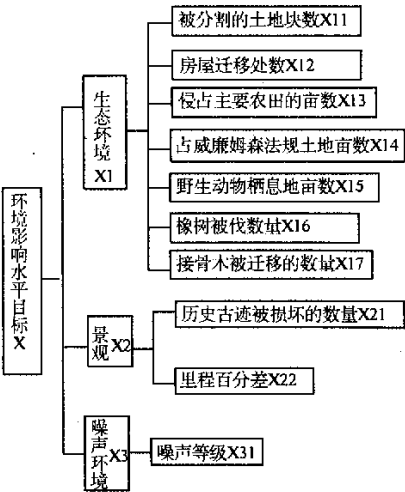


图 3 影响评价指标体系的层次建立  
Fig.3 Hierarchy structure of influence assessment index

表 3 规范化的决策矩阵表

Tab.3 Decision - making matrix which is normalized

方案	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X21	X22	X31
1M	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
1S	0	0.163	0	1	0.571	0	0	0	1	0
1N	0.846	0.209	0	1	0.571	0	0	0	1	0
2	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1

低劣度矩阵:  $DM = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$

理想度矩阵:  $IM = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.474 & 0.442 & 0.333 \\ 0.526 & 0.5 & 0.467 & 0.356 \\ 0.558 & 0.533 & 0.5 & 0.387 \\ 0.667 & 0.643 & 0.613 & 0.5 \end{bmatrix}$

劣指标比例度矩阵:  $NM = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.3 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$

(3) 方案的比选与排序

设定阈值:  $cm_s = 0.75$ ,  $cm_w = 0.72$ ;  $dm_s = 0.65$ ;  $dm_w = 0.55$ ;  $im_s = 0.6$ ;  $im_w = 0.55$ ;  $nm_s = 0.3$ ,  $cm_w = 0.35$

由阈值得出: 方案 2 强优于方案 1N, 方案 2 强优于方案 1S, 方案 2 强优于方案 1M, 方案 1N 弱优于方案 1M, 方案 1N 弱优于方案 1S, 方案 1S 弱优于方案 1M. 构造强优先图 GS (如图 4 所示), 弱优先图 GW (如图 5 所示).

万方数据

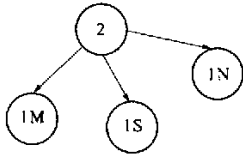


图 4 强优先图 GS  
Fig.4 Strong priority figure

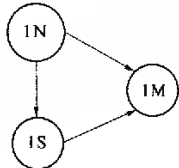


图 5 弱优先图 GW  
Fig.5 Weak priority figure

利用优先图可以进行方案排序, 方案排序表见表 4.

表 4 方案排序表

Tab.4 Ranking table of schemes

方案号	2	1N	1S	1M
正向排序	1	1	2	3
反向排序	1	2	3	4
最终排序	1	1.5	2.5	3.5
实际排序	1	2	3	4

故最后方案排序为 2, 1N, 1S, 1M, 与文献中排序相符合.

4 结束语

针对铁路环境影响评价这个多目标决策问题, 笔者采用 AHP 和 ELECTRE II 对铁路进行环境影响评价以及最终铁路方案的比选和排序. 通过建立“EIA 递阶层次结构—AHP 确定权重—ELECTRE II 进行方案比选”的模型, 可应用于铁路建设环境影响评价以及基于此的铁路建设项目的优选. 其特点是:

(1) 笔者提出了一套完整的方法来考虑铁路选线过程中的多个且经常相互冲突的自然环境和社会经济问题, 改变了过去铁路建设项目可行性研究中纯叙述的分析方法, 为铁路选线决策者进行决策提供了有力的工具.

(2) 在文献[4]提出的方法中, 当要确定环境影响因子的权重则必须已知影响每一个环境影响因子在方案集的影响范围; 而当环境影响因子在方案集的影响范围不确定时, 其权重可以采用本文中的 1~9 标度法确定. 这种权值确定的方法不足之处就是它仍然依靠决策者的价值偏好.

(3) 通过绘制强优先图和弱优先图以及由此

得到的方案排序使得铁路建设项目优选决策过程变得清晰、明了,能便捷地让决策者对铁路建设项目优选做出决策。

(4) ELECTRE 是一种较为可靠的多指标决策方法,其最大优点是只需利用决策矩阵的部分信息和决策者的价值偏好,直接对被选方案进行排序。但它没有充分利用矩阵中含有的全部信息,只是以部分指标优劣定案,对方案从所有指标的总体改进上缺少考虑,此外在优选过程中过分依赖主观阈值也是它的一大不足之处。

### 参考文献:

- [1] BOX J D, FORBES J E. Ecological considerations in the environmental assessment of road proposals[J]. Highways and Transportations, 1992, 39(4): 16-22.
- [2] 吴小萍,詹振炎. 消去与选择转换法优选线路方案[J]. 铁道学报, 2000, 22(4): 68-72.
- [3] 吴小萍. 铁路选线中环境影响综合评价研究报告[R]. 长沙:中南大学, 2003: 11-18.
- [4] 周华国. 基于环境影响的交通建设项目方案优选[D]. 北京:北方交通大学 1998: 56-63.
- [5] 詹振炎. 铁路选线设计的现代理论和方法[M]. 北京:中国铁道出版社, 2001.
- [6] 詹振炎. 道路规划与设计原理[M]. 长沙:中南大学出版社, 2004: 71-86.
- [7] 吴小萍,詹振炎. 交通建设项目多目标决策系统 ELECTRE 优选模型及其应用[J]. 中国公路学报, 2001, 14(1): 92-96.

## Application of AHP and ELECTRE II to Railway Environment Influence Assessment

LIU Zheng<sup>1</sup>, WU Xiao-ping<sup>1,2</sup>, YANG Li-guo<sup>1</sup>

(1. School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China; 2. Centre for Transport Studies, University College London, WC1E 6BT, UK)

**Abstract:** The railway traffic is a strip construction which has a complicated impact on the environment along the railway line. Based on this, the "object-index hierarchy structure" mode was adopted and AHP was made use of in order to integrate the qualitative indexes with the quantitative indexes in the process of railway environment influence assessment. Firstly, part of important indexes were chosen and their weights were confirmed. Then ELECTRE II was used to establish priority matrix, low intensity matrix, ideal degree matrix and inferior index proportion matrix. Finally, according to the threshold level that had been confirmed and the priority figure that had been pictured, the schemes were compared and ranked until the optimal scheme was selected. At the end of the paper, an actual example was used to verify the method. Model established in the paper can reflect EIA of railway objectively and it can provide service of selection of railway schemes so that human errors in policy-making could be avoided.

**Key words:** EIA (environment influence assessment); AHP; ELECTRE II; qualitative index; quantitative index