

# 基于 TOPSIS 的公路建设项目排序方法及应用

李晓伟<sup>1,2,3</sup>, 陈红<sup>1</sup>, 马娟<sup>1</sup>, 吴瑶<sup>1</sup>, 霍飞<sup>1</sup>

(1. 长安大学公路学院, 陕西西安 710064; 2. 长安大学公路大型结构安全教育部工程中心, 陕西西安 710064; 3. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西西安 710055)

**摘要:**为科学合理地安排公路建设项目实施序列,在构建公路建设项目排序参数体系的基础上,提出了基于 TOPSIS 的公路建设项目排序模型。该模型以影响参数为因素指标集,以公路建设项目为论域集,构建了公路建设项目实施序列矩阵,应用 $[0,1]$ 线性变换将其标准化;充分考虑专家知识经验以及数据本身蕴涵的信息,采用 AHP 与熵值法综合确定影响参数的权重,并将标准化决策矩阵与参数权重相结合,构造了加权标准化决策矩阵;基于运筹学中的 TOPSIS 法,确定了公路建设项目的正负理想方案;通过计算公路建设项目与负理想方案的贴近度来确定公路建设项目的实施序列。最后以 5 条公路建设项目排序为例,验证了该模型的实用性与有效性。

**关键词:**道路工程;公路;建设项目;排序;AHP;熵;TOPSIS

**中图分类号:**U491

**文献标志码:**A

## Priority method and its application in highway construction projects based on TOPSIS

LI Xiao-wei<sup>1,2,3</sup>, CHEN hong<sup>1</sup>, MA Juan<sup>1</sup>, WU Yao<sup>1</sup>, HUO Fei<sup>1</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Engineering Center of Highway Large Scale Structure Safety of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to arrange the highway construction projects scientifically and reasonably, the priority parameters of the highway construction projects were built up, and the priority model of the highway construction projects based on TOPSIS was proposed. Firstly, the priority parameters were taken as the index set, and the highway construction projects were taken as the domain set to establish the original decision-making matrix which was standardized by  $[0, 1]$  linear transformation. Secondly, the weights of priority parameters were determined by AHP and entropy with considering the knowledge and experience of experts and information implicated in data, and the weighted standardized decision-making matrix was built up by combing original decision-making matrix with parameter weights. Thirdly, the positive and negative ideal solutions of the projects were determined based on TOPSIS in the operational research, and the highway construction projects priority was determined by calculating the close degrees of the projects about

收稿日期:2011-12-10

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2011ZY006);公路大型结构安全教育部工程中心开放基金项目(CHD2011ZY006);长安大学基础研究支持计划专项基金项目

作者简介:李晓伟(1985-),男,河南信阳人,工学博士研究生,E-mail:185381729@qq.com。

the negative ideal solution. Finally, this model was applied to determine the priority of five highway construction projects, the results illustrated the usefulness and validity of the model. 5 tabs, 12 refs.

**Key words:** road engineering; highway; construction project; priority; AHP; entropy; TOPSIS

0 引言

现阶段,受宏观经济政策调控的影响和土地、环境等诸因素的制约,中国的交通发展将进入集约式发展阶段,发展理念、发展模式、发展内涵等均将发生重大转变,需要坚持发展速度和结构质量相结合,坚持节约资源与环境保护相结合的原则。因此,科学合理地安排公路项目建设序列,优化资源配置,是实现中国交通事业又好又快发展的必然选择。建设项目的排序需要考虑技术、政治、经济、环境等众多决策因素,应当从技术、经济、社会以及环境多方面进行定量、定性分析,度量不同方案的相对价值,为公路建设项目排序提供科学依据。目前,国内外学者对此进行了大量的研究,构建了公路建设项目排序指标体系,提出了层次分析法、灰关联投影法、单元重要度分析、熵值法、动态改进以及模糊数学等公路建设项目排序方法,极大地推动了公路建设项目的科学化决策<sup>[1-6]</sup>。由于在公路建设项目排序的实际过程中,决策者往往出于资金、土地利用等诸多因素的考虑,对于建设项目实施序列进行主观上的判断,造成排序结果并不符合经济社会发展的客观规律,不能有效地满足区域交通发展的需求。

因此,为科学合理地安排公路建设项目实施序列,本文在给出公路建设项目排序评价指标体系的基础上,提出了基于 AHP 复合熵的公路建设项目 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)排序模型。该模型充分考虑了专家知识经验以及数据本身蕴涵的信息,采用 AHP(层次分析法)与熵值法综合确定了评价指标的权重,以求同时反映专家知识经验的主观性和实测数据的客观性。同时,通过构建加权标准化决策矩阵,计算公路建设项目与正负理想方案的距离,进而计算公路建设项目与理想方案的贴近度来确定公路建设项目的实施序列。最后,将该模型应用于 5 条公路建设项目排序,验证了该模型的实用性与有效性。

1 公路建设项目排序影响参数

公路建设项目的排序目的是为了合理利用公

路建设资金,以最少的、合理的公路建设投入,带来最佳的经济效益和路网交通运行质量改善,满足社会经济持续、稳定和健康发展的需要。因此,本文在借鉴前人研究成果的基础上,从公路建设的紧迫性、公路在公路网中所处地位的重要性、公路建设的经济性以及交通改善效果等角度出发,选择路段饱和度等 6 个具有代表性的分项指标,组成排序影响参数体系,见表 1<sup>[7-10]</sup>。

表 1 公路建设项目排序影响参数

目标层	因素层	功能
公路建设项目排序影响参数	路段饱和度 $C_1$	紧迫性
	路段行政级别系数 $C_2$	
	路段重要度系数 $C_3$	重要性
	内部收益率 $C_4$	经济性
	交通服务质量改善率 $C_5$	交通效果
	交通运行效率改善率 $C_6$	

表 1 中,路段饱和度和路段行政级别系数主要从交通负荷强度和交通矛盾突出程度反映公路建设的紧迫性;路段重要度系数主要反映路线在促进区域经济发展的重要程度;内部收益率主要从公路建设带来的效益考虑项目建设的要求;交通服务质量改善率及交通运行效率改善率则主要从提高路网运行效率和交通质量的角度考虑项目的建设需求。

2 公路建设项目 TOPSIS 排序模型

公路建设项目排序。设有  $n$  个待选的排序项目  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , 指标参数集合  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ ,  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $M = \{1, 2, \dots, m\}$ ,  $i \in N, j \in M$ , 参数的权重向量  $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ ,  $Y = (y_{ij})_{n \times m}$  为排序项目集  $A$  对指标参数集  $C$  的决策矩阵。

$$Y = (y_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{n1} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix}$$

(1)

2.1 标准化决策矩阵

对参数进行标准化处理。基于影响参数的计算方法和含义分析,可知指标  $C_j(j = 1, 2, \dots, m)$  均为效益型指标。

故可令

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - y_j^{\min}}{y_j^{\max} - y_j^{\min}}$$

(2)

式中: $y_j^{\max} = \max\{y_{ij} \mid 1 \leq i \leq n\}$ ;  $y_j^{\min} = \min\{y_{ij} \mid 1 \leq i \leq n\}$ 。

则指标决策矩阵标准化处理后可表示为

$$R = (r_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.2 确定影响参数权重

权重系数是以某种数量形式对比、权衡被评价事务总体中诸因素相对重要程度的量值,针对同一组指标数值,不同的权重系数就会导致截然不同的评价结论。考虑到公路建设项目排序过程中既包含专家群体的知识、经验和价值的判断等主观因素,也有实际调查数据的客观信息特征,因此,本文将主观赋权法(层次分析法 -AHP) 和客观赋权法(熵值法) 结合起来,用其确定评价指标的权重,以求更客观全面地反映评价指标的重要性的问题的实际情况<sup>[11-12]</sup>。

设 AHP 法给出的主观权重为  $w_j'$ ,熵值法给出的客观权重为  $w_j''$ ,则最终确定的权重  $w_j$  为

$$w_j = \frac{w_j'w_j''}{\sum_{j=1}^n w_j'w_j''} \quad (4)$$

2.3 构造加权标准化决策矩阵

将标准化决策矩阵和评价指标权重相结合构造加权标准化决策矩阵  $Z = (z_{ij})_{m \times n}$ ,其中  $z_{ij} = r_{ij}w_j$ 。则加权标准化矩阵可表示为

$$Z = (z_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.4 确定正负理想项目方案

由于评价指标均为效益型指标,因此借鉴 TOPSIS 思想,可确定加权标准化决策矩阵的正负理想项目方案为

$$A^+ = \{z_1^+, z_2^+, \cdots, z_m^+\} = \{\max_{i \in N}(z_{i1}), \max_{i \in N}(z_{i2}), \cdots, \max_{i \in N}(z_{im})\} \quad (6)$$

$$A^- = \{z_1^-, z_2^-, \cdots, z_m^-\} = \{\min_{i \in N}(z_{i1}), \min_{i \in N}(z_{i2}), \cdots, \min_{i \in N}(z_{im})\} \quad (7)$$

2.5 计算距离与相对贴近度

设公路建设项目  $A_i$  到正理想方案的距离为  $S_i^+$ ,到负理想方案的距离为  $S_i^-$ ,则

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^+)^2} \quad (8)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_j^-)^2} \quad (9)$$

在此定义公路建设项目  $A_i$  到负理想方案的贴

近度  $f_i$  为

$$f_i = \frac{S_i^+}{S_i^- + S_i^+}, 0 < f_i < 1, i = 1, 2, \cdots, n \quad (10)$$

当  $f_i$  接近 0 时,  $S_i^+$  愈接近 0,公路建设项目  $A_i$  愈靠近正理想方案,该项目建设需求就愈高;当  $f_i$  接近 1 时,  $S_i^-$  愈接近 0,方案愈靠近负理想方案,则该项目的建设需求就愈低。

3 实证研究

以某市规划建设 5 条公路为例,应用本文的方法对其进行排序,以验证模型的有效性与实用性。通过调查,5 条公路建设排序参数属性值计算结果见表 2。

表 2 各方案的决策指标参数计算值

方案	指标参数					
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$A_1$	0.55	1.5	0.76	0.16	0.72	0.43
$A_2$	0.80	1.5	0.84	0.15	0.86	0.16
$A_3$	0.75	1.2	0.49	0.13	0.58	0.45
$A_4$	0.65	0.5	0.23	0.12	0.35	0.18
$A_5$	0.50	0.5	0.15	0.12	0.39	0.24

依据式(1),由表 2 数据构建决策矩阵  $Y$  为

$$Y = \begin{bmatrix} 0.55 & 1.5 & 0.76 & 0.16 & 0.72 & 0.43 \\ 0.80 & 1.5 & 0.84 & 0.15 & 0.86 & 0.16 \\ 0.75 & 1.2 & 0.49 & 0.13 & 0.58 & 0.45 \\ 0.65 & 0.5 & 0.23 & 0.12 & 0.35 & 0.18 \\ 0.50 & 0.5 & 0.15 & 0.12 & 0.39 & 0.24 \end{bmatrix}$$

3.1 标准化决策矩阵

依据式(2)、式(3),将决策矩阵标准化为

$$R = \begin{bmatrix} 0.167 & 1 & 0.884 & 1 & 0.725 & 0.931 \\ 1 & 1 & 1 & 0.75 & 1 & 0 \\ 0.833 & 0.7 & 0.493 & 0.25 & 0.451 & 1 \\ 0.5 & 0 & 0.116 & 0 & 0 & 0.069 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.078 & 0.276 \end{bmatrix}$$

3.2 确定影响参数权重

3.2.1 AHP 确定权重

应用 1-9 标度法构建目标层矩阵和指标层矩阵,在对各判断矩阵进行一致性检验的基础上,通过 AHP 法对矩阵进行层次单排序和层次总排序,可计算指标参数的主观权重  $w_j'$ ,结果见表 3。

表 3 应用 AHP 法确定的指标参数的主观权重

指标参数	$w_j'$	指标参数	$w_j'$
$C_1$	0.16	$C_4$	0.24
$C_2$	0.09	$C_5$	0.20
$C_3$	0.12	$C_6$	0.19

3.2.2 熵值法确定权重

因为指标参数有 6 个,即  $m = 6$ 。

所以,参数  $k = \frac{1}{\ln(m)} = 0.558\ 111$

根据标准化决策矩阵  $R$  中的  $r_{ij}$ ,得到  $C_1 \sim C_6$

的信息熵值  $e_j = -k \sum_{j=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij})$  及差值  $h_j = 1 - e_j$ ,

最后计算各指标参数的客观权重  $w_j'' = \frac{h_j}{\sum_{j=1}^n h_j}$ ,计算

结果见表 4。

表 4 熵值法确定的指标参数的客观权重

指标参数	$e_j$	$h_j$	$w_j''$
$C_1$	0.444 890	0.555 110	0.141 360
$C_2$	0.139 345	0.860 655	0.219 168
$C_3$	0.394 867	0.605 133	0.154 099
$C_4$	0.313 845	0.686 155	0.174 731
$C_5$	0.441 798	0.558 202	0.142 148
$C_6$	0.338 341	0.661 659	0.168 493

3.2.3 综合权重

根据 AHP 法和熵值法确定的指标参数权重,应用式(4) 确定各指标参数的综合权重  $w_j$ ,计算结果见表 5。

表 5 指标参数的综合权重

指标参数	$w_j$	指标参数	$w_j$
$C_1$	0.138 578	$C_4$	0.256 937
$C_2$	0.120 855	$C_5$	0.174 186
$C_3$	0.113 298	$C_6$	0.196 146

3.3 构造加权标准化决策矩阵

应用式(5),构造加权标准化决策矩阵  $Z$  为

$$Z = \begin{bmatrix} 0.023 & 0.121 & 0.100 & 0.257 & 0.126 & 0.183 \\ 0.139 & 0.121 & 0.113 & 0.193 & 0.174 & 0 \\ 0.115 & 0.085 & 0.056 & 0.064 & 0.079 & 0.196 \\ 0.069 & 0 & 0.013 & 0 & 0 & 0.014 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.013 & 0.054 \end{bmatrix}$$

3.4 确定正负理想项目方案

应用式(6)、式(7),确定正负理想项目方案为  $A^+ = \{0.139, 0.121, 0.113, 0.257, 0.174, 0.196\}$   
 $A^- = \{0, 0, 0, 0, 0, 0\}$

3.5 计算距离及相对贴近度

应用式(8)、式(9) 计算建设项目  $A_i$  到正负理想方案的距离为

$$\begin{aligned} S_1^+ &= 0.126, S_1^- = 0.375; \\ S_2^+ &= 0.206, S_2^- = 0.338; \\ S_3^+ &= 0.227, S_3^- = 0.269; \\ S_4^+ &= 0.399, S_4^- = 0.072; \\ S_5^+ &= 0.398, S_5^- = 0.056; \end{aligned}$$

应用式(10),计算建设项目  $A_i$  到负理想方案的贴近度为

$$\begin{aligned} f_1 &= 0.252, f_2 = 0.379, f_3 = 0.457, \\ f_4 &= 0.847, f_5 = 0.877。 \\ \text{故知: } f_5 &> f_4 > f_3 > f_2 > f_1 \end{aligned}$$

由于越贴近负理想方案,其建设需求越低,故知这 5 个项目的建设优先顺序为:项目 1,项目 2,项目 3,项目 4,项目 5。

4 结 语

(1)本文提出的基于 TOPSIS 的公路建设项目排序方法,在构建公路建设项目决策实施矩阵并将其标准化的基础上,结合评价指标权重建立加权标准化决策矩阵,引入运筹学的 TOPSIS 法,确定了决策矩阵的正负理想方案,通过计算公路建设项目与负理想方案的贴近度来确定公路建设项目的实施序列,为公路建设项目排序提供了一种新途径。

(2)本文将主观赋权法-AHP 和客观赋权法-熵值法结合起来确定评价指标的权重,充分考虑了专家知识经验以及数据本身蕴涵的信息,能够更客观全面地反映评价指标的重要性和公路建设项目的实际情况。

(3)以 5 条公路建设项目排序为例,应用本文提出的模型对其进行实证分析,验证了该模型的有效性与实用性;研究成果对于统筹安排公路建设时序、科学合理利用资金、减少盲目投资所造成的经济损失等具有重要的理论价值与现实指导意义。

参考文献:

References:

[1] 李晓伟,陈 红,邵海鹏,等. 基于累积前景理论的公路建设项目灰关联排序模型[J]. 公路交通科技, 2011,28(10):132-135.  
LI Xiao-wei, CHEN Hong, SHAO Hai-peng, et al. Grey correlation priority decision model of highway construction project based on cumulative prospect theory[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28(10): 132-135.  
[2] 曲大义,王 炜,邓 卫,等. 层次分析法在公路网规划建设排序中的应用[J]. 公路交通科技, 2000, 17(5):102-106.  
QU Da-yi, WANG Wei, DENG Wei, et al. AHP applied in priority order decision highway network planning[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2000, 17(5): 102-106.