

文章编号: 1674—8247(2023)04—0079—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.04.015

# 基于修正 TOPSIS 理论的铁路关键线路方案优选研究

郝建英

(中国铁路沈阳局集团有限公司, 沈阳 110001)

**摘要:**为提高山区铁路选线的合理性,以沈白高速铁路某区段为研究背景,构建以修正 TOPSIS 理论为基础的山区高速铁路选线评价模型,选取线路长度、桥隧长度、周边环境影响、工程投资等评价指标,采用修正 TOPSIS 理论和熵权法对拟采用的 3 种方案进行优选,结果表明:(1)基于熵权法和修正 TOPSIS 选线模型中 3 种方案的推荐度:方案 I > 方案 III > 方案 II;(2)3 种方案的线路长度基本相当,方案 I 线路平面线型略差,但工程投资节省明显,且对村庄拆迁影响更小,线路初选结果为方案 I (并行抚通高速公路短隧道方案);(3)基于修正 TOPSIS 选线模型优选出的方案与实际论证结果一致,本文提出的修正 TOPSIS 选线模型有一定的合理性和可行性。研究成果可为山区铁路选线设计提供参考。

**关键词:**高速铁路;铁路选线;TOPSIS;方案优选;熵权法

中图分类号:U212.3

文献标志码:A

## A Study on Optimization of Railway Critical Alignment Schemes Based on Modified TOPSIS Theory

HAO Jianying

(China Railway Shenyang Group Co., Ltd., Shenyang 110001, China)

**Abstract:** This study aims to improve the rationality of route selection for railways in mountainous areas. By taking a section of Shenyang-Baihe High-speed Railway as a case for study, an evaluation model of route selection for mountainous high-speed railways based on modified TOPSIS theory was established in the paper. Evaluation indicators such as route length, bridge and tunnel length, surrounding environmental impact, and project investment were selected. The modified TOPSIS theory and entropy weight method were employed to optimize three proposed schemes. The results show that: (1) The recommendation degree of the three optional schemes based on the entropy weight method and modified TOPSIS route selection model is as follows: Option I > Option III > Option II. (2) The route lengths of the three options are comparable, and Option I has a slightly worse planar alignment but significant cost savings in project cost. It also has a relatively smaller impact on village relocation. The preliminary selection result of the route is Option I (Running parallel to Futong Expressway with short tunnels). (3) The scheme selected by the modified TOPSIS route selection model is consistent with the actual demonstration results, indicating that the proposed model has certain rationality and feasibility. The findings can provide a reference for the route selection of railways in mountainous areas.

**Key words:** high-speed railway; railway route selection; TOPSIS; scheme optimization; entropy weight method

收稿日期:2023-02-13

作者简介:郝建英(1976-),男,高级工程师。

引文格式:郝建英. 基于修正 TOPSIS 理论的铁路关键线路方案优选研究[J]. 高速铁路技术,2023,14(4):79-83.

HAO Jianying. A Study on Optimization of Railway Critical Alignment Schemes Based on Modified TOPSIS Theory [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(4):79-83.

截至2022年,我国铁路运营里程已达15.07万km,高速铁路运营历程已突破4万km,铁路系统网向着复杂地质的艰险山区延伸<sup>[1]</sup>。山区铁路坡道起伏、地形复杂、地质条件复杂,如何在山岭地区设计合理的线路一直是研究的焦点。

铁路选线作为铁路建设的先导工程,其合理性极大地影响着铁路建设和后续运营<sup>[2]</sup>。众多专家学者针对复杂山区条件下铁路选线开展了大量研究,主要有:牛远程<sup>[3]</sup>研究了高压气体、弱成岩地层等复杂条件下西成高速铁路建设的选线设计原则和方法;依托南深高速铁路,唐东东<sup>[4]</sup>基于层次分析法建立了高速铁路选线的决策模型;郭强<sup>[5]</sup>以重庆至贵阳铁路为背景,分析了铁路选线中遭遇的难题及其应对措施;叶堃<sup>[6]</sup>等基于成贵铁路兴文到威信复杂艰险山区段,制定了“从面到线,由线到点,再由点控线”的选线方案;高鹏展<sup>[7]</sup>结合 Dijkstra 算法和 AHP 方法对复杂铁路网络选线进行了研究;刘琦<sup>[8]</sup>等提出不良地质频发区域,铁路选线设计中地质因素应为主导因素,提出了“地质选线”方法;杨天琪<sup>[9]</sup>以云南某铁路为研究背景,分析了西南山区铁路选线的主要因素,提出了针对性的选线策略;王哲威<sup>[10]</sup>等提出了地质选线的概念,工程实例表明该方法的经济性和合理性进一步提高;赵长石<sup>[11]</sup>依托沈白铁路选线设计,提出了基于组合赋权-二维云模型的线路方案评价方法。以上研究为复杂艰险山区铁路选线提供了借鉴和支持,但需注意的是,复杂艰险山路地质情况具有区域性,目前对于铁路选线的研究还需依托具体工程展开。

本文以新建沈白高速铁路某区间为背景,采用 TOPSIS 理论,选用线路长度、桥隧长度、周边环境影响、工程投资、拆迁难度等评价指标,构建复杂山区铁路线路修正 TOPSIS 评价模型,优选了该区间拟采用的3种方案。研究可为铁路选线设计提供参考借鉴。

1 线路方案研究

1.1 方案概况

新建沈阳至白河高速铁路(以下简称“沈白高速铁路”)自沈阳枢纽沈阳北站引出,终至在建敦白铁路长白山站(不含),正线长度429.771 km,含枢纽(地区)有关工程。铁路沿线直接串联包括延边自治州、白山、通化、抚顺和沈阳等5个地级城市,总人口1 596万人,可通过长吉图铁路、哈牡客运专线、规划建设四平至通化铁路、敦白客运专线与哈大通道相连。

1.2 待优选的选线方案

充分考虑新建沈白高速铁路(里程 DK 127 + 600 ~

DK 141 + 600 段)沿线地形地质条件、抚通高速公路的影响、环境敏感区分布情况后,拟采用3种选线方案,包括:方案Ⅰ:并行抚通高速公路短隧道方案;方案Ⅱ:并行抚通高速公路长隧道方案;方案Ⅲ:取直长隧道方案。3种方案示意如图1所示。

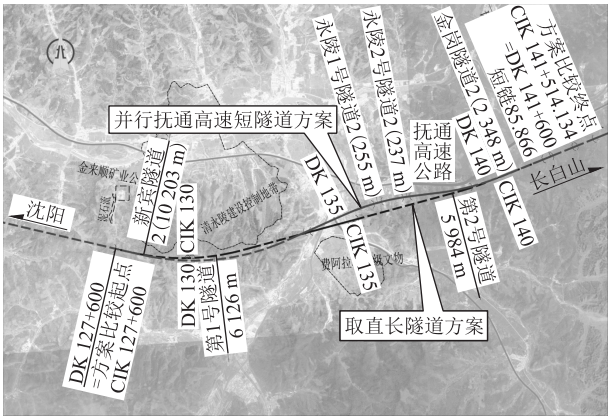


图1 线路示意图

(1) 方案Ⅰ:并行抚通高速公路短隧道方案

线路自 DK 127 + 600 引出经二道河子村北端折向东北靠近抚通高速公路,以短隧道形式沿高速公路南侧前行至方案比较终点 DK 141 + 600。

本方案线路长14 km,桥梁长2.92 km,隧道长8.82 km,桥隧比83.9%,工程投资115 731万元。

(2) 方案Ⅱ:并行抚通高速公路长隧道方案

该方案线路自 DK 127 + 600 引出经二道河子村北端折向东北靠近抚通高速公路。方案Ⅰ纵断面局部为小型浅埋隧道、桥梁和大挖方,考虑调整纵断面,把局部段落下压改为一个长隧道通过。

本方案线路长14 km,桥梁长1.80 km,隧道长11.78 km,桥隧比97.0%,工程投资124 700万元。

(3) 方案Ⅲ:取直长隧道方案

线路自 DK 127 + 600 引出后以隧道形式贴着清永陵国家文物保护单位控制建设地带,接着折向东北中穿二道河子村后以长隧道形式取直至方案比较终点 DK 141 + 600。

本方案线路长13.914 km,桥梁长1.45 km,隧道长12.13 km,桥隧比97.6%,工程投资129 866万元。

1.3 方案优缺点分析

1.3.1 方案Ⅰ(并行抚通高速公路短隧道方案)

优点:(1)隧道总长度较方案Ⅱ和方案Ⅲ分别短2.96 km、3.31 km;(2)线路在二道河子村北端通过,拆迁较方案Ⅲ减少3 900 m<sup>2</sup>,对村庄社会影响相对较小;(3)工程投资较方案Ⅱ、方案Ⅲ分别节省8 968万元、

14 135 万元。

缺点:(1)线路平面条件稍差,有3个连续反向曲线,长度较方案Ⅲ展长86 m;(2)本段有4处大挖方段落,挖方边坡高度最高达到29 m。

### 1.3.2 方案Ⅱ(并行抚通高速公路长隧道方案)

优点:(1)线路在二道河子村北端通过,拆迁较方案Ⅲ减少3 900 m<sup>2</sup>,对村庄社会影响相对较小;(2)采用长隧道通过,纵断面坡度较缓,无大挖方段落。

缺点:(1)线路平面条件差,有3个连续反向曲线,长度较方案Ⅲ展长86 m;(2)隧道总长度较方案Ⅰ增加2.96 km,工程投资增加8 968 万元。

### 1.3.3 方案Ⅲ(取直长隧道方案)

优点:(1)线路顺直,线路长度最短,较方案Ⅱ、方案Ⅲ短86 m;(2)采用长隧道通过,纵断面坡度较缓,无大挖方段落。

缺点:(1)线路中穿二道河子村,拆迁较方案Ⅰ、方案Ⅱ增加3 900 m<sup>2</sup>,对村庄社会影响相对较大;(2)隧道总长度较方案Ⅰ增加3.31 km,工程投资增加14 135 万元。

## 2 修正 TOPSIS 的铁路选线模型

TOPSIS(优劣距离法)是一种多属性决策评价方法,针对待评价问题,建立各指标的最优解和最劣解,通过计算每个方案中所有指标距理想方案的距离,以此对各方案进行排序,从而得到最优方案。相较于层次分析法, TOPSIS 理论在选线应用中无繁杂的层次结构、无需一致性检验,更加直观和易于理解,且同时考虑了各评价指标的相关性,可更加全面和准确地评估方案的综合效果。

传统 TOPSIS 方法决策具体实现步骤如下:

(1)确定待评价方案及评价指标,构建决策矩阵

设方案集  $B = (B_1, B_2, B_3, \dots, B_m)$ , 相应的方案评价指标集  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ , 构建初始决策矩阵  $R$  为:

$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $r_{ij}$ ——方案  $B_i$  在指标  $P_j$  下的值,  $i \in [1, m]$ ,  $j \in [1, n]$ 。

(2)将构建的初始决策矩阵进行标准化处理

对拟采用方案的指标进行无量纲处理,计算得到标准化决策矩阵,即  $F = (f_{ij})_{m \times n}$ , 其计算公式为:

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}} \quad (2)$$

(3)确定各指标的权重

通过熵权法确定各指标的权重  $\omega_j$ , 具体计算过程如下:首先确定每个样本占该指标的比重(式(3));然后确定每项指标的熵值和信息熵冗余度(式(4)~式(5));最后得到各项指标的权重(式(6))。

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (3)$$

$$e_j = -\frac{\sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})}{\ln(n)} \quad (4)$$

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

(4)将标准化矩阵进行加权处理

将确定的指标的权重  $\omega_j$  与标准化矩阵  $F = (f_{ij})_{m \times n}$  的列向量相乘,得到加权处理的决策矩阵,权重由熵权法确定:

$$H = (h_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} \omega_1 f_{11} & \omega_2 f_{12} & \cdots & \omega_n f_{1n} \\ \omega_1 f_{21} & \omega_2 f_{22} & \cdots & \omega_n f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_1 f_{m1} & \omega_2 f_{m2} & \cdots & \omega_n f_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

(5)计算贴近度

正向指标集  $J_1$  的正(负)理想解  $H^+(H^-)$  计算公式为式(8)、式(9),相应的负向指标  $J_2$  计算取值与之相反。

$$H^+ = \{(\max_n \omega_n f_{mn} | m \in J_1), (\min_n \omega_n f_{mn} | m \in J_2)\} \quad (8)$$

$$H^- = \{(\min_n \omega_n f_{mn} | m \in J_1), (\max_n \omega_n f_{mn} | m \in J_2)\} \quad (9)$$

(6)修正 TOPSIS 理论

传统 TOPSIS 方法中最优决策需同时考虑拟比选方案与最优决策和最差决策方案之间的距离,通过距离贴近度来表征方案之间的优劣。然而,传统 TOPSIS 理论在选取指标的过程中,常因指标的线性相关特性导致使得正负理想解决策体系失效。

基于此,本文将向量夹角余弦引入到 TOPSIS 理论中,构造空间特征向量,通过计算向量夹角余弦值来表征向量之间的关联程度,从而对传统的 TOPSIS 理论进行修正。引入的夹角余弦距离如图2所示。

各方案到正、负理想解在三维空间的向量夹角余



弦距离  $D^{+i}$ 、 $D^{-i}$  为:

$$D_i^+ = \sin_i^+(H_i, H^+) = \frac{H_i \times H^+}{\|H_i\| \times \|H^+\|} \tag{10}$$

$$D_i^- = \sin_i^-(H_i, H^-) = \frac{H_i \times H^-}{\|H_i\| \times \|H^-\|} \tag{11}$$

式中:  $h_j^{\pm}$ ——正(负)理想解中的元素。

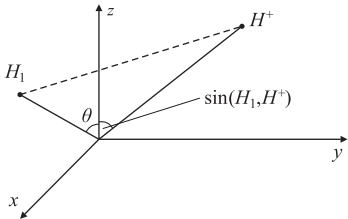


图2 向量夹角余弦距离图

最后,计算拟采用选线方案与理想解的贴进度,描述各方案到最优方案的距离与正、负理想解之间距离的比值:

$$G_i^+ = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}, G_i^+ \in [0,1] \tag{12}$$

拟采用的方案  $G_i^+$  越大,表明该铁路选线方案综合评价结构越好,  $G_i^+$  越小,表明该铁路选线方案综合评价越差。

3 线路方案修正 TOPSIS 决策评价

3.1 新建沈白高速铁路选线指标

综合考虑沈白高速铁路线路长度、沿线地质情况、桥梁和隧道分布、工程投资及征地拆迁难度,对新建沈白高速铁路选线进行综合评价。3种选线方案的评价指标如表1所示。

表1 线路比选评价指标表

指标	方案 I	方案 II	方案 III
线路长度/km	14	14	13.9
桥隧长度/km	6.07	13.58	13.58
周边影响	4	0	0
工程投资/万元	115 731	124 700	129 866
拆迁难度	4 186	2 415	5 843

注:周边影响考虑方案形成大挖方段落;拆迁难度考虑方案拆迁成本

3.2 权重确定

各评价指标的权重采用熵权法确定。某个指标的熵值越小,表示该指标的权重越大。结合表1中各个方案的评价指标,得到评价指标的权重,如表2所示。

表2 评价指标权重表

指标	线路长度	桥隧长度	周边影响	工程投资	拆迁难度
权重	0.298 0	0.170 1	0.018 5	0.385 3	0.093

3.3 修正TOPSIS综合评价

(1)由式(1)构建初始决策矩阵。采用式(2)进行归一化处理得到标准化矩阵  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} 0.332\ 3 & 0.184\ 9 & 0.952\ 4 & 0.312\ 5 & 0.336\ 4 \\ 0.337\ 5 & 0.401\ 5 & 0 & 0.336\ 8 & 0.194\ 1 \\ 0.330\ 2 & 0.413\ 6 & 0.047\ 6 & 0.350\ 7 & 0.469\ 5 \end{bmatrix} \tag{13}$$

(2)由式(3)~式(7)计算选线方案比选的加权决策矩阵  $R_s$ :

$$R_s = \begin{bmatrix} 0.099\ 0 & 0.031\ 5 & 0.017\ 6 & 0.120\ 4 & 0.031\ 3 \\ 0.108\ 6 & 0.068\ 3 & 0.000\ 0 & 0.129\ 8 & 0.018\ 0 \\ 0.098\ 4 & 0.070\ 4 & 0.000\ 0 & 0.135\ 1 & 0.043\ 7 \end{bmatrix} \tag{14}$$

(3)由式(4)~式(8)计算3个方案的贴进度,如表3所示,其中,正负理想解为:

$$H^+ = [0.099\ 0 \quad 0.031\ 5 \quad 0.000\ 0 \quad 0.120\ 4 \quad 0.018\ 0]$$
$$H^- = [0.108\ 6 \quad 0.070\ 4 \quad 0.017\ 6 \quad 0.135\ 1 \quad 0.043\ 7] \tag{15}$$

表3 选线方案的贴进度表

方案	$D_i^+$	$D_i^-$	$G_i^+$	排序	推荐
I	0.017 5	0.007 1	0.710 9	1	是
II	0.018 6	0.007 8	0.704 7	3	否
III	0.019 1	0.008 1	0.700 8	2	否

由表3可知,本文修正 TOPSIS 选线模型中3种方案的推荐度:方案 I (并行抚通高速公路短隧道方案) > 方案 III (取直长隧道方案) > 方案 II (并行抚通高速公路长隧道方案),并行抚通高速公路短隧道方案(方案 I )更优。

3.4 工程方案实际结果验证

3个方案在线路长度上基本相当,方案 I 虽线路平面线型略差,但工程投资节省明显,且对村庄拆迁影响相对更小,因此方案初选结果为:沈白高速铁路(DK 127 + 600 ~ DK 141 + 600 段)推荐并行抚通高速公路短隧道方案(即方案 I )。

由此可知,基于修正 TOPSIS 决策和熵权法的选线模型得出的结果与实际论证结果相同,证明了研究建立的方案决策模型具有一定的合理性和可行性。

4 结论

基于修正 TOPSIS 决策方法构建了艰险山区关键线路选线的综合评价模型,对沈白高速铁路某区段铁路选线方案进行了比选,得到主要结论如下:

(1)修正 TOPSIS 选线模型中3种方案的推荐度:方案 I (并行抚通高速公路短隧道方案) > 方案 III (取

直长隧道方案) > 方案Ⅱ(并行抚通高速公路长隧道方案), 推荐采用方案Ⅰ。

(2) 3种方案的线路长度基本相当, 方案Ⅰ线路平面线型略差, 但工程投资节省明显, 且对村庄拆迁影响相对更小, 方案初选为方案Ⅰ。

(3) 基于修正TOPSIS选线模型优选出的方案与实际论证结果一致, 表明本文提出的修正TOPSIS选线模型有一定的合理性和可行性。

## 参考文献:

- [1] 勾红叶, 刘畅, 班新林, 等. 高速铁路桥梁-轨道体系检测监测与行车安全研究进展[J]. 交通运输工程学报, 2022, 22(1): 1-23.  
GOU Hongye, LIU Chang, BAN Xinlin, et al. Research Progress of Detection, Monitoring and Running Safety of Bridge-track System for High-speed Railway [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2022, 22(1): 1-23.
- [2] 王阳. 铁路选线的制约因素和对策分析[J]. 工程建设与设计, 2022(18): 54-56.  
WANG Yang. Analysis of Restricting Factors and Countermeasures of Railway Route Selection [J]. Construction & Design for Engineering, 2022(18): 54-56.
- [3] 牛远程. 高压气体及弱成岩地层山区铁路综合选线[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(8): 12-17.  
NIU Yuancheng. Research on the Comprehensive Railway Line Selection in Mountainous Area of High Pressure Gas and Weak Diagenetic Stratum [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(8): 12-17.
- [4] 唐冬冬. 基于层次分析法的高速铁路选线研究[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(2): 14-18, 29.  
TANG Dongdong. Research on the Route Selection of High-speed Railway Based on Analytic Hierarchy Process [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(2): 14-18, 29.
- [5] 郭强. 重庆至贵阳铁路选线中主要控制因素的应用[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(2): 71-75.  
GUO Qiang. Application of Major Control Factors of the Route Selection for Chongqing-Guiyang Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(2): 71-75.
- [6] 叶堃, 丁浩江, 王富平. 成贵铁路兴文到威信越岭段工程地质选线研究[J]. 路基工程, 2022(4): 136-139.  
YE Kun, DING Haojiang, WANG Fuping. Study on Engineering Geological Line Selection for Xingwen to Weixin over Mountain Section of Chengdu-Guiyang Railway [J]. Subgrade Engineering, 2022(4): 136-139.
- [7] 高鹏展. 基于AHP-Dijkstra算法的高速铁路选线方案研究[J]. 科学技术创新, 2022(27): 80-84.  
GAO Pengzhan. Study on Route Selection Scheme of High-speed Railway Based on AHP-Dijkstra Algorithm [J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(27): 80-84.
- [8] 刘琦, 谢毅, 胡新明, 等. 基于地质实体的铁路选线优化与决策模型设计[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(5): 1-4, 19.  
LIU Qi, XIE Yi, HU Xinming, et al. Railway Route Optimization and Decision-making Model Design Based on Geological Entities [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(5): 1-4, 19.
- [9] 杨天琪, 陈超. 文山至蒙自铁路复杂山区选线策略分析[J]. 交通与运输, 2022, 38(6): 45-49.  
YANG Tianqi, CHEN Chao. Route Selection Strategy in Complex Mountainous Areas of Wenshan-Mengzi Railway [J]. Traffic & Transportation, 2022, 38(6): 45-49.
- [10] 王哲威, 冯涛, 杜宇本, 等. 地质横断面选线技术在铁路工程中的应用[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(6): 69-73.  
WANG Zhewei, FENG Tao, DU Yuben, et al. Application of Geological Cross-section Route Selection Technology in Railway Engineering [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(6): 69-73.
- [11] 赵长石. 基于组合赋权-二维云模型的铁路线路方案优选研究[J/OL]. 铁道标准设计. 2022: 1-9.  
ZHAO Changshi. Optimization of Railway Route Scheme Based on Combinatorial Weighted Two-dimensional Cloud Mode [J/OL]. Railway Standard Design. 2022: 1-9.