

模糊综合评价在公路工程路线方案比选中的应用

杨松

(新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830006)

摘要: 在高速公路建设工程初步设计外业勘察选线过程中,从安全性角度对推荐方案和比较方案进行比选论证,采用模糊综合评价法,将一级指标地形地质条件、线形协调性和设计要素等分解为多个二级指标,对推荐线 K 和比较线 B 的二级指标进行量化打分后建立评价矩阵,计算二级指标与评语等级之间的隶属度,从而确定综合评价矩阵,最后计算得到公路的总体安全系数,对比认为从安全性角度推荐线 K 更合理。

关键词: 公路;路线方案;模糊综合评价法;方案比选

中图分类号:U412.24

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2021)05-0091-04

目前公路工程初步设计阶段路线方案比选中更多集中在技术指标和工程经济比选两方面,对比选方案的安全性以定性评价为主,主观性较强,所得结果也较抽象。当存在多层次、多目标、多因素时,难以反映设计方案之间的局部差别,不能精确描述方案的优劣程度。比选方案安全性设计与评价难点在于如何定量确定评价指标,并对设计方案进行科学合理的评价。该文结合实际工程项目,采用《公路项目安全性评价规范释义手册》推荐的模糊综合评价法对不同路线方案的安全性进行评价比选。

1 模糊综合评价法简介

模糊综合评价法(FCE)以模糊数学为基础,结合层次分析(AHP)法和模糊安全信息进行量化处理,对多个因素作出定量评价与决策。根据系统工程的基本原理,将高速公路安全系统作为一个整体,采用 AHP 法和 FCE 法定量评价各指标的影响,计算设计方案的安全指数,确定设计方案的优劣。

2 应用工程概况

G0711 尉犁至 35 团高速公路是国家公路网 G7 北京至乌鲁木齐高速公路乌鲁木齐至若羌展望线的重要组成部分(见图 1)。所在地区为平原荒漠,建设标准为双向四车道高速公路,设计速度为 120 km/h,采用 27 m 整体式路基断面。推荐路线全长 167.860 km,共设大桥 4 座、中桥 7 座、小桥 51 座、涵洞 275 道、互通式立体交叉 7 处、分离式立体交叉 13 处、通道 25 处、管线交叉 126 处、匝道收费站 7 处、养护工区 3 处、服务区 3 处、港湾停车场 5 处、连

接线 15.45 km、改路 2.25 km。



图 1 项目地理位置

推荐线 K 在 K59+900—K69+400 段路线受工程地质和塔里木河洪水影响,为尽量降低塔里木河洪水威胁,提出比较线 B(见图 2)。比较线 B 路线全长 9.354 km,设置大桥 1 座、中桥 1 座、小桥 14 座、涵洞 36 道(含管线交叉)、分离式立体交叉 1 处、通道 2 处。



图 2 路线方案示意图

3 单项安全影响指标赋值

3.1 安全影响指标

根据项目所处新疆塔里木河流域地形、地质特

点及大型结构物设置情况,按《公路项目安全性评价规范释义手册》中推荐清单表,列出同时满足全面反映路线方案特征、易于获取和量化的交通安全影响因素(见表1),并对其进行量化分析。

表1 交通安全影响因素

目标层	一级指标	二级指标
公路 安全 性 μ	地形地质条件(μ_1, W_1)	地形条件(μ_{11}, W_{11}) 不良地质影响大小、穿越不良地质(如滑坡、泥石流、采空区等)长度和不良地质处治难度(μ_{12}, W_{12})
	线形协调性和设计要素(μ_2, W_2)	路线指标均衡程度、线形协调性情况(μ_{21}, W_{21});平面设计极限指标应用情况(μ_{22}, W_{22});纵断面设计极限指标应用情况(μ_{23}, W_{23})
	危险路段和路侧危险(μ_3, W_3)	急弯陡坡、连续上坡、连续长陡下坡等危险路段长度比例(μ_{31}, W_{31});路侧有悬崖、深谷、深沟、江河湖泊的危险路段长度比例(μ_{32}, W_{32})
	路网布局 and 大型构造物分布(μ_4, W_4)	路线大型结构物(特大桥隧、互通立交等)布局及运营安全(μ_{41}, W_{41});路线与城镇区域规划及其他公路、铁路、水利设施、管线等的干扰(μ_{42}, W_{42});长大隧道和特大桥梁路段的救援通道(μ_{43}, W_{43})
	自然气候条件影响(μ_5, W_5)	不良气候影响(μ_{51}, W_{51});对自然环境的影响及引发地质灾害情况(μ_{52}, W_{52})

3.2 指标评分

通过对推荐线 K、比较线 B 的现场调查资料

设计资料的分析,按《公路项目安全性评价规范释义手册》的评分规则进行评分,评分结果见表2。

表2 指标评分结果

二级指标	推荐线 K 的评分结果		比较线 B 的评分结果	
	分值	说明	分值	说明
μ_{11}	5.0	路段地形起伏不大	5.0	路段地形起伏不大
μ_{12}	10.0	路线经过盐渍土路段占路线长 45%,软弱土占路线长 25%;路线西侧有塔里木河,路线有防洪大坝保护。处置后对安全行车基本无影响	5.0	路线经过盐渍土路段占路线长 99%,软弱土占路线长 33%。处置后对安全行车无影响
μ_{21}	0.0	线形协调性好	0.0	线形协调性好
μ_{22}	0.0	未使用极限指标	0.0	未使用极限指标
μ_{23}	0.0	未使用极限指标	0.0	未使用极限指标
μ_{31}	0.0	无急弯陡坡、连续上坡、连续长陡下坡危险路段	0.0	无急弯陡坡、连续上坡、连续长陡下坡危险路段
μ_{32}	0.6	路侧危险路段长度约 60 m,占路线长 0.6%	0.4	路侧危险路段长度约 40 m,占路线长 0.4%
μ_{41}	0.0	无对安全运营有特殊要求的大型结构物;无特大桥隧	0.0	无对安全运营有特殊要求的大型结构物;无特大桥隧
μ_{42}	7.0	10 kV 电线交叉 5 处,架空光缆 1 处,与恰拉干渠交叉 1 处,每公里交叉 0.7 处。对运营安全基本无影响	7.0	10 kV 电线交叉 4 处,架空光缆 2 处,与恰拉干渠交叉 1 处,每公里交叉 0.7 处。对运营安全基本无影响
μ_{43}	0.0	无特大桥隧	0.0	无特大桥隧
μ_{51}	7.0	路段有 7% 路段存在轻微沙害	0.0	无沙害路段
μ_{52}	5.0	不会引发新的地质灾害,对自然环境的影响小	5.0	不会引发新的地质灾害,对自然环境的影响小

4 路线方案评价分析

4.1 推荐线 K 评价分析

(1) 建立评语等级集 V_i 。评语等级集是评判

者对评判对象可能作出的各种评价结果的集合,体现评判的模糊特性。将路线安全性分为差、较差、一般、较好、好 5 个等级(见表3),即 $V_i = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$ 。

表3 评语等级集 V_i

评价结果	分数	评价结果	分数
差 V_1	[80,100)	较好 V_4	[20,40)
较差 V_2	[60,80)	好 V_5	[0,20)
一般 V_3	[40,60)		

(2) 确定隶属函数。该项目隶属函数如下:

$$f(\text{差}) = \begin{cases} 1, x > b \\ \frac{x-a}{b-a}, a < x \leq b \\ 0, x \leq a \end{cases}$$

$$f(\text{较差、一般、较好}) = \begin{cases} \frac{d-x}{d-c}, c < x \leq d \\ 1, b < x \leq c \\ \frac{x-a}{b-a}, a < x \leq b \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

$$f(\text{好}) = \begin{cases} 0, x > b \\ \frac{b-x}{b-a}, a < x \leq b \\ 1, x \leq a \end{cases}$$

式中: a 、 b 、 c 、 d 分别为《公路项目安全性评价规范释义手册》附表1中的阈值; x 为评分值。

(3) 建立单因素评价矩阵 R_i 。单因素评价矩阵 R_i 是因素集 μ_{ij} 到评语等级集 V_i 的模糊子集。采用二级指标分值 F_{ij} , 按隶属函数计算得到 R_i 。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.67 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.11 & 0.89 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.41 & 0.59 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.41 & 0.58 \\ 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.67 \end{bmatrix}$$

(4) 计算二级安全评价指标与评语等级之间的隶属度 B_i 。将权重向量 W_{ij} 与单因素评价矩阵 R_i 合成, 并经归一化处理, 得到二级安全评价指标与评语等级之间的隶属度 $B_i = W_{ij} \circ R_i$ 。其中权重向量 W_{ij} 采用《公路项目安全性评价规范释义手册》附表3中推荐值, 合成算子采用 $M(\cdot, \oplus)$ 算法。

$$B_1 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.444 \ 5 \quad 0.488 \ 8]$$

$$B_2 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

$$B_3 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.035 \ 7 \quad 0.964 \ 3]$$

$$B_4 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.058 \ 5 \quad 0.941 \ 5]$$

$$B_5 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.396 \ 1 \quad 0.603 \ 9]$$

(5) 确定综合评价矩阵 S 。一级安全评价指标与评语等级之间的隶属度矩阵 $R = [B_i]$ 。将一级权重向量 W_i 与隶属度矩阵 R 合成, 计算得到综合评价矩阵 $S = W_i \circ R$ 。其中权重向量 W_i 采用《公路项目安全性评价规范释义手册》附表2中推荐值。

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.444 \ 5 & 0.488 \ 8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.035 \ 7 & 0.964 \ 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0.058 \ 5 & 0.941 \ 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0.396 \ 1 & 0.603 \ 9 \end{bmatrix}$$

$$S = W_i \circ R = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.09 \quad 0.91]$$

(6) 计算安全性模糊综合评价结果。路线方案的总体安全系数 $E = S \times F^T = 11.8$ 。

4.2 比较线 B 评价分析

评语等级集与隶属函数与 K 线相同。

(1) 建立单因素评价矩阵 R_i 。单因素评价矩阵 R_i 是因素集 μ_{ij} 到评语等级集 V_i 的模糊子集。采用二级指标分值 F_{ij} , 按隶属函数计算得到 R_i 。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.67 \\ 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.67 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.07 & 0.93 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.41 & 0.59 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.67 \end{bmatrix}$$

(2) 计算二级安全评价指标与评语等级之间的隶属度 B_i 。将权重向量 W_{ij} 与单因素评价矩阵 R_i 合成, 并经归一化处理, 得到二级安全评价指标与评语等级之间的隶属度 $B_i = W_{ij} \circ R_i$ 。其中权重向量 W_{ij} 采用《公路项目安全性评价规范释义手册》附表3中推荐值, 合成算子采用 $M(\cdot, \oplus)$ 算法。

$$B_1 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.33 \quad 0.67]$$

$$B_2 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

$$B_3 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.024 \ 7 \quad 0.975 \ 3]$$

$$B_4 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.058 \quad 5 \quad 0.941 \quad 5]$$

$$B_5 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.066 \quad 7 \quad 0.933 \quad 3]$$

(3) 确定综合评价矩阵 S 。一级安全评价指标与评语等级之间的隶属度矩阵 $R = [B_i]$ 。将一级权重向量 W_i 与隶属度矩阵 R 合成, 计算得到综合评价矩阵 $S = W_i \circ R$ 。其中权重向量 W_i 采用《公路项目安全性评价规范释义手册》附表 2 中推荐值。

$$R = \begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.67 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.024 & 7 & 0.975 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0.058 & 5 & 0.941 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0.066 & 7 & 0.933 & 3 \end{bmatrix}$$

$$S = W_i \circ R = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.042 \quad 3 \quad 0.957 \quad 6]$$

(4) 计算安全性模糊综合评价结果。总体安全系数 $E = S \times F^T = 10.8$ 。

5 结论

(1) 推荐线 K 和比较线 B 的安全性评分均为好, 推荐线 K 的总体安全系数 E 更高, 从安全性角度评价, K 线更合理。具体路线方案还应结合工程经济性、环境敏感性、实施可行性等因素综合确定。

(2) 通过模糊综合评价法对路线方案进行比选, 可摆脱安全性比选受设计人员工作年限长短、认识问题全面性、个人偏好等因素的影响, 比选结果更客观公正, 可为路线方案比选论证提供可靠支撑。

参考文献:

[1] 华杰工程咨询有限公司. 公路项目安全性评价指南 [M]. 广州: 广州出版社, 2014.

[2] 郭忠印, 方守恩. 道路安全工程 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

[3] 王宏元, 钟小明, 贾嘉, 等. 公路项目安全性评价规范释义手册 [M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.

[4] 华杰工程咨询有限公司. 公路项目安全性评价规范: JTG B05—2015 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.

[5] 温学钧, 杨迄东. 高速公路运行速度研究 [J]. 公路交通科技, 2020, 19(1): 80—82.

[6] 张勇慧, 李红绪, 盛谦, 等. 基于模糊综合评判的公路岩质边坡稳定性分级研究 [J]. 岩土力学, 2010, 31(10): 3151—3156.

[7] 刘胜, 王吉平. 模糊综合评价法在伍益高速公路路线方案比选中的应用 [J]. 公路与汽运, 2019(1): 46—49.

[8] 王道强. 基于经济决策的高速公路路线方案评价模型 [J]. 公路与汽运, 2019(2): 144—148.

[9] 郭风平, 侯云飞. AHP 模糊综合评价在永龙高速公路路线方案比选中的应用 [J]. 公路与汽运, 2016(1): 224—228.

[10] 王玉标. 基于绿色交通的国家高速公路路线方案研究 [J]. 公路与汽运, 2018(5): 31—33.

收稿日期: 2020—12—22

(上接第 90 页)

tical Special Publication, 2002, 113(118): 324—360.

[37] HANSBO S. Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains [J]. Ground Engineering, 1979, 12(5): 16—25.

[38] 江文豪, 詹良通. 真空联合堆载预压下基于指数形式渗流的砂井地基非线性固结解 [J]. 工程力学, 2021, 38(2): 69—76+133.

[39] 张玉国, 万东阳, 郑言林, 等. 考虑径向渗透系数变化的真空预压竖井地基固结解析解 [J]. 岩土力学, 2019, 40(9): 3533—3541.

[40] CHEN J F, TOLOOIYAN A, XUE J F, et al. Performance of a geogrid reinforced soil wall on PVD drained multilayer soft soils [J]. Geotextiles and Geomembranes, 2016, 44(3): 219—229.

[41] NGUYEN T T, INDRARATNA B. Experimental and numerical investigations into hydraulic behaviour of

coir fibre drain [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2017, 54(1): 75—87.

[42] ZHOU Y, CHAI J C. Equivalent ‘smear’ effect due to non-uniform consolidation surrounding a PVD [J]. Geotechnique, 2017, 67(5): 410—419.

[43] INDRARATNA B, GENG X Y, RUJIKIATKAM-JORN C. Review of methods of analysis for the use of vacuum preloading and vertical drains for soft clay improvement [J]. Geomechanics and Geoengineering: An International Journal, 2010, 5(4): 223—236.

[44] 雷华阳, 李宸元, 刘景锦, 等. 交替式真空预压法加固吹填超软土试验及数值模拟研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(10): 2112—2125.

[45] 丁成生, 黄骅港区软土路基真空预压加固效果分析 [J]. 水道港口, 2019, 40(3): 334—337.

收稿日期: 2021—05—22