

基于经济决策的高速公路路线方案评价模型

王道强

(哈尔滨工业大学 城市规划设计研究院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 为了给高速公路路线方案选择提供科学合理的评判基础, 结合高速公路项目特点, 分析高速公路路线的影响因素, 从技术、经济和社会环境角度进行分析, 构建高速公路路线方案综合评价指标体系, 采用层次分析法确定各评价指标的权重, 运用模糊综合评判理论, 以经济指标为决策因素建立高速公路路线方案综合评价模型对路线方案进行评价, 得出最优方案。

关键词: 工程经济; 高速公路; 路线方案; 经济指标; 模糊综合评价

中图分类号: U415.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)02-0144-05

高速公路项目建设周期长, 投资巨大, 需耗费大量劳动力、施工机械、原材料和土地资源。对社会环境的影响也大, 一方面需大量劳动力, 可解决一部分闲散人员的就业问题; 另一方面需要沥青、水泥、砂石等大量原材料及大型机械设备, 可带动沿线产业的发展, 扩大内需, 促进国民经济的发展。高速公路建设对沿线水文、地质、空气、环境等都会造成一定影响, 包括对农田的占用、地貌及植被的破坏等, 需通过缜密的可行性研究选择最优方案, 减少对生态环境的损害。高速公路项目涉及范围广, 需要建设单位、沿线各城镇政府及相关主管部门相互配合, 从项目开始起就进行周密的安排, 调节各方关系, 从而保证项目的顺利进行。高速公路路线的合理性直接影响项目的投资、使用质量、生态环境及社会经济效益, 在制订高速公路路线方案时要综合考虑技术、经济与社会环境等因素。

1 高速公路选线的影响因素

影响高速公路路线选择的主要因素如下: 1) 路线起终点位置; 2) 各控制点城镇的路线布置; 3) 沿线地形与地质条件; 4) 设计行车速度与交通量; 5) 工程控制点; 6) 主要控制点附近的铁路、公路、民航、航运规划; 7) 社会与生态环境; 8) 能源消耗; 9) 沿线各地区规划; 10) 军事设施。

2 高速公路路线方案评价指标体系

2.1 技术指标

(1) 占地面积。占地面积是决定高速公路建设的重要指标之一, 占地面积大小直接决定项目的可行性与经济性。

(2) 工程投资总额。工程投资总额之所以划分到技术指标范围内, 是因为它是限制高速公路建设的重要指标, 对高速公路其他技术指标起着制约作用。工程总投资额 = 建设投资额 + 建设期利息 + 流动资产投资。

(3) 路线延长系数。路线延长系数 = 路线方案实际距离 / 路线方案起终点直线距离。一般根据地形状况的不同, 其值为 1.05 ~ 1.20。用路线方案各控制点间直线距离之和代替方案实际长度。

(4) 路基土石方量 V 。 V 是评价高速公路建设质量的重要技术指标之一, 在投资总额中占有较大比重, 约 40%, 直接影响高速公路的劳动力、机械设备、工程总造价和施工期限等指标。按下式计算:

$$V = \frac{1}{3} (A_1 + A_2) L \left(1 + \frac{\sqrt{m}}{1+m} \right) \quad (1)$$

式中: A_1 、 A_2 为两相邻断面的面积; L 为相邻断面之间的距离; $m = A_1/A_2$, 其中 $A_1 < A_2$ 。

(5) 总转角平均度数 α 。 α 是体现路线平顺性的技术指标, 按下式计算:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i / n \quad (2)$$

式中: α_i 为任意一个转角度数。

2.2 经济指标

(1) 经济净现值 $ENPV$ 。 $ENPV$ 是一种绝对指标, 反映高速公路建设项目对国民经济的贡献值, 按式(3)计算。 $ENPV \geq 0$ 时, 项目值得建设; 若 $ENPV < 0$, 则项目达不到预期效果。在进行路线方案筛选时, 一般认为 $ENPV$ 值大的方案更好。

$$ENPV = \sum_t \frac{B_t - C_t}{(1 + i_s)^t} \quad (3)$$

式中: B_t 为第 t 年的净现金流入量(万元); C_t 为第 t 年的净现金流出量(万元); i_s 为社会折现率。

(2) 经济投资回收期。又称返本期,当返本期小于国家规定的标准回收年限时,认为项目可行。该文以动态经济回收期作为评判标准,把投资项目各年的净现金流量按基准收益率折成现值后再推算投资回收期。

(3) 财务投资回收期。财务投资回收期是项目收回初始投资额所需的时间,一般选择动态回收周期,按式(4)计算。当 $N \leq$ 基准投资回收期时,说明该项目能在规定的时间内收回投资,可采用;反之,则该项目不可行。

$$N = \text{累计财务净现金流量开始出现正值年份数} - 1 + \frac{\text{上年累计净现金流量的绝对值}}{\text{当年净现金流量}} \quad (4)$$

(4) 财务净现值 $FNPV$ 。 $FNPV$ 反映建设项目在预期内的获利能力,按下式计算:

$$ENPV = \sum_t \frac{B_t - C_t}{(1 + t_s)^t} \quad (5)$$

式中: t_s 为基准折现率。

(5) 财务现金流量。财务现金流量主要用于评价高速公路建设项目自身的财务状况,反映项目在建期和生服务年限内的现金流入和流出情况,用来分析项目的盈利情况,并对项目所产生的风险进行有效管理。

(6) 自有资本金财务现金流量。站在投资方的角度考察项目的现金流入和流出情况。

(7) 总成本费用和损益。反映项目的总成本及费用,并能通过损益表反映建设期内的盈亏情况,用于评价经营成果与投资效益,分析建设项目的盈利能力及趋势。

2.3 社会环境指标

2.3.1 社会评价指标

(1) 途经人口总数。高速公路线路途经的总人口越多,带来的社会效益越大。

(2) 拆迁房屋面积。拆迁房屋面积直接影响工程投资总额、建设工期及建设难易程度,对居民的生活带来不便,在经济上造成损失,如征用企事业单位将涉及单位人员的再就业及迁址后的交通问题等。

(3) 节约行程时间。高速公路通车后,能有效缩短节点城市的空间距离,节约行程时间。节约行程时间 = 未建设高速公路前的行车时间 - 通车后的行车时间。

2.3.2 环境评价指标

环境评价为定性指标,主要包括对野生动植物生存的影响、对水土保持的影响和对水环境的影响三方面。

3 高速公路路线方案评价模型

3.1 指标隶属度模型建立

高速公路路线方案评价模型由定性指标和定量指标组成,需采用统一的标准进行度量。为此,对各指标进行无量纲化处理,将各指标属性值统一变换到 $[0, 1]$ 范围内。

采用专家评分法对模型等级进行评判。设 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ik})$ 为评价指标相对于评价等级 V 的隶属度, $V = (\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{低}, \text{差}) = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$, 其中 v_i 表示第 i 级评价指标对应的等级, $V = (95, 85, 75, 65, 55)$ 。

(1) 定量指标的无量纲化。高速公路路线方案评价指标有成本型、效益型和适中型 3 种,根据各指标的不同需求选择相应的无量纲化函数。设 $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$ 为总量指标与比率指标的指标集, x_i 为第 i 项指标的实际观测值, x_{\max} 、 x_{\min} 分别为第 i 项指标的最大、最小值, y_i 为实际的无量纲化值,则成本型、效益型、适中型指标的无量纲化标准函数分别为:

$$y_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (x_{\min} < x_i < x_{\max})$$

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (x_{\min} < x_i < x_{\max})$$

$$y_i = \begin{cases} \frac{2(x_i - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} & (x_{\min} < x_i < (x_{\min} + x_{\max})/2) \\ \frac{2(x_{\max} - x_i)}{x_{\max} - x_{\min}} & [(x_{\min} + x_{\max})/2 < x_i < x_{\max}] \end{cases}$$

(2) 定性指标的无量纲化。环境评价为定性指标,将其评价等级分为优、良、中、低、差 5 档,用线性尺度表示(见图 1),分别赋值为 1.0、0.8、0.6、0.4、0.2,由不少于 7 名评议人员进行评判打分。

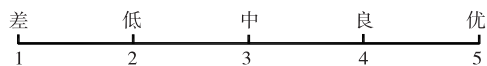


图 1 格栅法刻度指标评价等级

3.2 层次分析法确定权重

3.2.1 层次分析法的基本步骤

(1) 建立递阶层次结构。建立图 2 所示由总目

标层、子目标层和因素层构成的递阶层次结构。

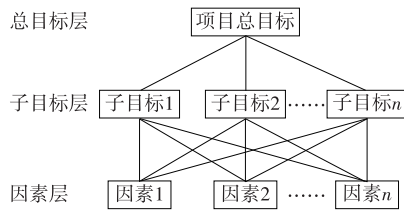


图2 层次分析法的递阶层次结构

(2) 构造判别矩阵。采用1~9标度法对标度进行量化,用函数 $f(x, y)$ 表示因素 x 与因素 y 的重要性标度(见表1),构造判断矩阵 A 。

表1 判断矩阵标度表

标度	定义	标度 $f(x, y)$
1	x 和 y 一样重要	1
3	x 比 y 略重要	1/3
5	x 比 y 较重要	1/5
7	x 比 y 明显重要	1/7
9	x 比 y 强烈重要	1/9
2, 4, 6, 8	x 与 y 的重要性介于上述标度之间	1/2, 1/4 1/6, 1/8

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

(3) 权重计算。按式(6)计算判断矩阵 A 中每行元素的积 M_i ,再按式(7)计算 M_i 的 n 次方根 \bar{W}_i ,得向量 $\bar{W} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3, \dots, \bar{W}_n)^T$ 。按式(8)对 \bar{W}_i 进行规范化处理,得各因素权重 W_i 。

$$M_i = \prod_{j=1}^n x_{ij} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

式中: x_{ij} 为判断矩阵 A 中的元素。

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (7)$$

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (8)$$

(4) 一致性检验。通过一致性检验检查权重结果是否符合决策者的判断。检验系数 CR 按式(9)计算。若 $CR \leq 0.1$,则权重结果可以接受;若 $CR > 0.1$,则各因素的判断有矛盾,需重新构造判断矩阵。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

式中: CI 表示判断矩阵偏离一致性的程度,其值越靠

近零,说明权重结果越符合决策者的判断,按式(10)计算; λ_{\max} 为最大特征值,按式(11)计算; n 为判断矩阵 A 的阶数; RI 为平均一致性指标,其值见表2。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n (AW)_i}{n W_i} \quad (11)$$

表2 RI 的取值

n	RI	n	RI
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.45
5	1.12	10	1.49
6	1.24	11	1.51
7	1.32	12	1.54

3.2.2 子目标层权重计算

(1) 通过专家标度构造判断矩阵(见表3)。

表3 子目标层指标重要程度判断矩阵

路线方案评价	技术指标	经济指标	社会环境指标
A	B_1	B_2	B_3
技术指标 B_1	1	1/2	3
经济指标 B_2	2	1	3
社会环境指标 B_3	1/3	1/3	1

(2) 采用几何特征法计算矩阵 A 的特征向量的分量 W_i :

$$W_1 = (1 \times 1/2 \times 3)^{1/3} = 1.144 \ 7$$

$$W_2 = (2 \times 1 \times 3)^{1/3} = 1.817 \ 1$$

$$W_3 = (1/3 \times 1/3 \times 1)^{1/3} = 0.480 \ 7$$

$$W_A = \sum_{i=1}^n W_i = 1.144 \ 7 + 1.817 \ 1 + 0.480 \ 7 = 3.442 \ 5$$

(3) 计算指标 B_i 关于 A 的权重,得到特征向量 W 。

$$W_1^0 = \frac{W_1}{W_A} = \frac{1.144 \ 7}{3.442 \ 5} = 0.332 \ 6$$

$$W_2^0 = \frac{W_2}{W_A} = \frac{1.817 \ 1}{3.442 \ 5} = 0.527 \ 8$$

$$W_3^0 = \frac{W_3}{W_A} = \frac{0.480 \ 7}{3.442 \ 5} = 0.139 \ 6$$

$$W = \{0.332 \ 6, 0.527 \ 8, 0.139 \ 6\}^T$$

(4) 计算 λ_{\max} 。

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.332 \ 6 \\ 0.527 \ 8 \\ 0.139 \ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AW_1 \\ AW_2 \\ AW_3 \end{bmatrix}$$

$$AW_1 = 1 \times 0.332\ 6 + 1/2 \times 0.528\ 7 + 3 \times 0.139\ 6 = 1.015\ 8$$

$$AW_2 = 2 \times 0.332\ 6 + 1 \times 0.528\ 7 + 3 \times 0.139\ 6 = 1.612\ 7$$

$$AW_3 = 1/3 \times 0.332\ 6 + 1/3 \times 0.528\ 7 + 1 \times 0.139\ 6 = 0.426\ 7$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{AW_i}{nW_i^0} = \frac{1.015\ 8}{3 \times 0.332\ 6} + \frac{1.612\ 7}{3 \times 0.528\ 7} + \frac{0.426\ 7}{3 \times 0.139\ 6} = 3.053\ 7$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.027$$

(5) 一致性检验。根据表 3, $n = 3$ 时 $RI = 0.58$, $CR = CI/RI = 0.046 < 0.1$, 满足一致性要求。

3.2.3 路线方案各指标权重

站在投资者的角度考虑, 把经济指标作为项目的决策因素, 选取具有代表性的指标, 按上述方法计算各指标的权重, 结果见表 4。

3.3 模糊综合评价

因素集 U 和评判等级 V 之间存在模糊关系 R ,

表 4 高速公路路线方案评价指标的权重

子目标层	权重	因素层	权重	总权重
技术指标 B_1	0.332 6	投资总金额 C_1	0.607 2	0.202 0
		路线延长系数 C_2	0.134 4	0.044 7
		路基土石方量 C_3	0.190 1	0.063 2
		总转角平均度数 C_4	0.068 3	0.022 7
经济指标 B_2	0.528 7	经济净现值 C_5	0.114 2	0.060 4
		经济投资回收期 C_6	0.080 8	0.042 7
		财务净现值 C_7	0.556 2	0.294 1
		财务投资回收期 C_8	0.248 8	0.131 5
社会环境指标 B_3	0.139 6	途经人口总数 C_9	0.055 0	0.007 7
		拆迁房屋面积 C_{10}	0.563 8	0.078 7
		节约行程时间 C_{11}	0.117 8	0.016 4
		生态环境影响 C_{12}	0.263 4	0.036 8

可表示为:

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

式中: r_{ij} 表示第 i 个评价因素 u_i 对第 j 个评价等级的隶属度; $i = 1, 2, 3, \dots, m$; $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

(1) 一级模糊综合评价。对于目标层的各因素进行评价, 评判矩阵见式(12)。第 i 类因素的模糊综合评判集见式(13), 按式(14)计算, 求得评价等级 V 上的模糊子集 R 。

$$R_i = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & r_{kn} \end{bmatrix} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, k) \quad (12)$$

$$B_i = W_i \circ R_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ik}) \circ$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & r_{kn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$R = B = b_1/v_1 + b_2/v_2 + \cdots + b_n/v_n \quad (14)$$

式中: b_j 为评判对象对评等级 v_j 的隶属度。

(2) 二级模糊综合评价。将子目标层中的技术、经济和社会环境影响指标按单因素进行一级模糊综合评判, 并赋予权重 W , 然后对因素层的各指标进行二级模糊综合评判。二级综合评价矩阵见式(15), 按式(16)对加权运算得到的 b_i 进行归一化处理, 按式(17)计算路线方案的模糊综合评价得分 A , 得分最多的方案即为最优路线方案。

$$B = W \circ R_i = W \circ \begin{bmatrix} W_1 \circ R_1 \\ W_2 \circ R_2 \\ \vdots \\ W_m \circ R_m \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (15)$$

$$b'_s = \left| \frac{b_s}{\sum_{s=1}^n b_s} \right| \quad (s=1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

$$A = b'_s \cdot v'_k \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

4 结语

该文在分析高速公路路线影响因素的基础上,建立以技术、经济和社会环境为指标的评价模型。采用层次分析法确定子目标层权重时,主要站在投资者的角度,把经济指标作为决策因素。最后通过二级模糊综合评价,分别对子目标层与因素层进行评判,采用百分制进行打分,得分最多的方案为最优路线方案。

参考文献:

- [1] 徐龙.高速公路路线设计基本思路及选线方法研究[J].新疆交通运输科技,2017(5).
- [2] 郭伟.山岭区高速公路路线方案布置及比选论证[J].公路与汽运,2014(4).
- [3] 陈远祥,刘方强.高速公路路线方案优选模型及其应用[J].公路工程,2004,29(1).
- [4] 刘志军,肖盛燮.公路选线设计方案多目标决策模糊优选模型[J].重庆交通学院学报,2003,22(2).
- [5] 孙才志,林学钰.基于层次分析的模糊一致性判断矩阵及其应用[J].模糊系统与数学,2002,16(3).
- [6] 张吉军.模糊层次分析法(FAHP)[J].模糊系统与数学,2000,14(2).
- [7] 刘洁,杨凯.层次分析法在京秦高速公路选线中的应用[J].公路交通科技:应用技术版,2016(6).
- [8] 潘晓宇.基于模糊综合评价法的高速公路PPP项目承包商风险分析[J].公路与汽运,2017(3).
- [9] 陈鸿山.基于模糊评估的红色旅游公路路线方案选择[J].建材与装饰,2018(36).
- [10] 刘雄伟.基于模糊多层次综合评价的高速公路交通量预测评价方法研究[J].山西交通科技,2016(1).
- [11] 高贺,苑少伟,慈玉生.高速公路投资绩效评价指标体系[J].中外公路,2014,34(6).
- [12] 陈亮.安徽高速公路建设工程绩效评价研究[J].价值工程,2017(35).
- [13] 刘颖.影响高速公路选线设计的因素分析[J].科技创新与应用,2016(24).
- [14] 杨春,叶景才.基于模糊层次分析法的材料力学评价模型[J].四川师范大学学报:自然科学版,2013,36(5).
- [15] 徐伟,宋亚丽.基于模糊层次分析法的光伏建筑综合效益评价[J].太阳能学报,2018,39(2).
- [16] 张嘉敏,韩宝明.智能运输系统社会经济影响综合评价研究[A].经济全球化与系统工程:中国系统工程学会第16届学术年会论文集[C].2010.
- [17] 刘长祥,吕常新.三车道大断面高速公路隧道稳定性数值模拟[J].地下空间与工程学报,2007,3(4).
- [18] 蒋树屏,胡学兵.云南扁平状大断面公路隧道施工力学响应数值模拟[J].岩土工程学报,2004,26(2).
- [19] 鄢建华.高地应力围岩挤压性大变形分析及数值模拟[D].南京:南京水利科学研究所,2004.
- [20] 段慧玲,张林.大跨度公路隧道合理开挖方法对比研究[J].土木工程学报,2009,42(9).
- [21] 邹成路,申玉生.软弱破碎围岩大断面隧道台阶法施工几何参数优化分析[J].公路工程,2013,38(2).
- [22] 童建军,王明年.公路隧道围岩亚级开挖及支护设计参数研究[J].岩土力学,2011,32(1).
- [23] 王志达,龚晓南,蔡智军.浅埋暗挖隧道开挖进尺的计算方法探讨[A].第九届全国岩土力学数值分析与解析方法讨论会论文集[C].2007.
- [24] 牛永宏,唐德密.基于数值模拟的浅埋暗挖隧道施工工法分析[J].施工技术,2017(增刊2).
- [25] Yang Xiao-Li, Huang Fu. Influences of material dilatancy and pore water pressure on stability factor of shallow tunnels[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2009, 19, (3).
- [26] 董自超.浅埋大断面隧道围岩压力特征与变形性状数值计算[D].长沙:中南大学,2008.
- [27] 李达铭.岩土力学数值分析方法研究[J].地球,2016(6).
- [28] 秦忠诚.3D-FSM-DDM间接边界元数值系统及其在矿山工程中的应用研究[D].济南:山东科技大学,2007.
- [29] Gunter Swoboda, Ahmed Moussa. Numerical modeling of shotcrete and concrete tunnel linings[A]. Tunneling and Ground Conditions[C]. 1994.

收稿日期:2018-08-27

(上接第143页)

- [4] 李永鑫.浅埋隧道围岩压力的上限分析与围岩稳定性研究[D].长沙:中南大学,2012.
- [5] 张鹏.火郎峪隧道浅埋偏压段施工监控量测与分析[D].西安:长安大学,2011.
- [6] Yang Xiao-Li, Huang Fu. Influences of material dilatancy and pore water pressure on stability factor of shallow tunnels[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2009, 19, (3).
- [7] 董自超.浅埋大断面隧道围岩压力特征与变形性状数值计算[D].长沙:中南大学,2008.
- [8] 李达铭.岩土力学数值分析方法研究[J].地球,2016(6).
- [9] 秦忠诚.3D-FSM-DDM间接边界元数值系统及其在矿山工程中的应用研究[D].济南:山东科技大学,2007.
- [10] Gunter Swoboda, Ahmed Moussa. Numerical modeling of shotcrete and concrete tunnel linings[A]. Tunneling and Ground Conditions[C]. 1994.

收稿日期:2018-03-08