

# Study on Optimum Design Scheme of Green Quality Expressway Route

Bo Hu<sup>1</sup>, Lina Tao<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Hainan Transportation Engineering Construction Bureau, Haikou, 570208, China

<sup>2</sup>China Merchants Chongqing Communications Technology Research & Design Institute Co., LTD, Chongqing, 400067, China

**Abstract:** According to the requirements of green highway construction, six aspects including safety, economy, environment, energy consumption, technology and demonstration are proposed. The evaluation index system of 6 first-level index and 20 second-level index is introduced. Then, according to the characteristics of the green highway construction project and the determined index system, the evaluation model is established by combining the analytic hierarchy process with the fuzzy comprehensive evaluation method, which has guiding significance for the development and construction of the green quality highway and can provide reference for the route optimization of the green highway.

**Keywords:** Green highway; Route optimization; Evaluation index

## 绿色品质高速公路路线设计方案优选研究

胡波<sup>1</sup>, 陶丽娜<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>海南省交通工程建设局, 海口, 海南, 570208

<sup>2</sup>招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆, 中国, 400067

**摘要:** 根据绿色高速公路建设的要求, 从安全、经济、环境、能耗、技术以及示范性 6 个方面, 构建了包括 6 个一级指标、20 个二级指标的路线优选评价指标体系。然后, 根据绿色高速公路建设项目的特点以及所确定的指标体系, 将层次分析法与模糊综合评价法相结合建立了评价模型, 对绿色品质公路的发展建设具有指导意义, 可为绿色公路的路线优选提供借鉴。

**关键词:** 绿色公路; 路线优化; 评价指标

### 1 引言

近年来, 我国公路建设实现了跨越式发展, 取得了巨大成就, 同时, 寻求以可持续发展为核心的生态环保、资源节约、节能低碳的绿色公路也受到高度关注。2004 年提出的“六个坚持, 六个树立”公路设计建设新理念<sup>[1]</sup>, 得到了公路行业从勘察设计到建设管理各单位的广泛认同和贯彻落实, 以川九(川主寺—九寨沟)公路、思小(思茅—小孟力养)高速公路、常张(常德—张家界)高速公路等为代表的一大批公路勘察设计典型示范工程的实施, 极大地提升了公路设计理念和设计水平。2014 年, 交通运输部为遵循十八届五中全会提出的“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念<sup>[2]</sup>, 提出了加快推进“综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通”发展的战略决策, 为未来交通运输的科学发展指明了方向。为落实国务院《质量发展纲要(2011—2020)》的要求, 交通运输部于 2016 年 12 月发布了《关于打造公路水运品质工程的

指导意见》<sup>[3]</sup>, 要求在公路建设过程中需推进品质工程建设, 提升工程质量, 打造品质工程。2017 年 4 月 5 日, 交通运输部印发《推进交通运输生态文明建设实施方案》(交规划发[2017]45 号)<sup>[4]</sup>指出, 将绿色发展理念融入交通运输发展全过程, 切实推进交通运输行业转型升级和提质增效。

在公路建设过程中, 路线方案的设计及对预选的设计方案进行对比选择都是十分重要的工作。在我国公路建设规模得到飞速发展给当地带来文化进步和经济发展的同时, 却由于方案决策等原因, 给当地环境造成比较大的破坏。因此, 需抛弃传统的“高消耗追求高速度”和“先污染后治理”的落后发展模式, 向着可持续发展和绿色品质工程的道路迈进。在高速公路路线设计过程中, 将绿色、环保、可持续发展这种理念引入路线设计方案应成为一项重要工作, 必须从经济、技术、资源、环境和安全等各方面进行综合比较选择, 取得各方面效益的统一。

许多道路领域的专家学者和机构开展了相关研

究。Salvatore Cafiso<sup>[5]</sup>利用模糊数学评价理论,从设计协调性、运行速度连续性和动力学连续性三方面计算其评价集的隶属度,确定公路安全等级从而达到路线决策的目的。Li Li-ping<sup>[6]</sup>等针对平原公路路线走向的特点,采用定性定量相结合的手段构建公路路线方案的决策指标体系,并结合模糊算法和专家经验法来确定各评价指标的权重。李铮在《基于灰色理论的公路多方案选择研究》<sup>[7]</sup>中介绍灰色关联分析法的步骤,以路线长度,建设条件,工程造价,社会效益,环境保护,后期养护作为评价指标,根据计算的关联度确定最佳方案。杨检在《基于物元分析模型的高速公路路线方案优化研究》<sup>[8]</sup>中根据分析高速公路选线工程的一般规律和影响因素,运用数学方法—物元分析法优选出高速公路的最佳路线方案。陈瑾在《基于FAHP的国省干线线路方案优选研究——以昌九大道为例》<sup>[9]</sup>中以公路选线的相关理论知识为基础,利用FAHP(模糊层次分析)评价方法来建构公路路线优选评价体系。

鉴于此,本文在综合国内外有关高速公路路线方案现有决策理论方法的基础上,融入绿色公路建设的思想,力图构建一套较为完善的高速公路路线方案优选的评价指标,通过相应的评价方法建立起适合于绿色品质公路建设理念的高速公路路线设计方案的综合评价体系及模型,解决绿色高速公路线路方案优选问题,并为今后绿色品质工程的路线方案设计及比选提供借鉴。

高速公路选线设计是道路设计阶段的首要工作,也是关键工作,它对道路的路基路面、桥涵、隧道、人工构造物等其它设计影响较大。高速公路作为连接城市与城市、区域与区域最重要的交通纽带,如果路线设计不合理,不仅不能起到很好的区域连接功能,而且还会带来巨大的经济损失和环境污染。可见,高速公路选线在公路设计阶段的重要性<sup>[10]</sup>。

高速公路路线设计是一项影响因素众多、技术性、政策性都很强的工作,应综合考虑沿线的社会经济条件、道路布局及规划、相关工程条件、自然条件等影响因素进行路线选线<sup>[11]</sup>。

## 2 评价指标体系的构建

### 2.1 评价指标选取的原则

在路线方案比选过程中,评价指标体系的建立具有重要的作用,它可以从众多方面来反映路线方案的优劣。因此,评价指标的选取应遵循以下原则:科学全面性、代表性、可操作性、独立互补、定量与定性相结合<sup>[12]</sup>。

### 2.2 评价指标选取

通过大量阅读分析路线必选评价的相关文献,依据评价指标选取的原则,统计优选出频率较高的评价指标:安全评价指标、经济评价指标、技术评价指标、能耗评价指标以及环境评价指标<sup>[13]</sup>。在交通部大力提倡打造公路水运品质工程的大背景下,本文将示范性纳入评价指标中,初步拟定安全指标、经济指标、技术指标、能耗指标、环境指标及示范性指标作为高速公路路线方案评价指标,确定绿色品质高速公路路线方案评价指标体系,其中安全、经济、环境、能耗、技术以及示范性为6个一级指标。一级指标共包含20个二级指标:安全指标包含平曲线半径、最大纵坡、平纵组合和停车视距;经济指标包含经济效益费用比、经济效益净现值、经济内部收益率和投资回收期;能耗指标包含项目建设期耗能和项目运营期耗能;技术指标包含桥隧比、路基土石方、拆迁占地面积及每公里造价;环境指标包含对地形地貌、水环境、空气环境、噪声环境的影响;示范性指标隧道弃渣的综合利用及钢桥技术的使用。根据确定的6个一级指标和20个二级指标,建立了适合绿色品质工程的高速公路路线方案综合评价指标。

### 2.3 评价指标体系的构建

咨询具有丰富路线定线经验的专家,综合考虑专家意见,根据确定的6个一级指标和20个二级指标,建立了适合绿色品质工程的高速公路路线方案综合评价指标体系。如下图1所示:

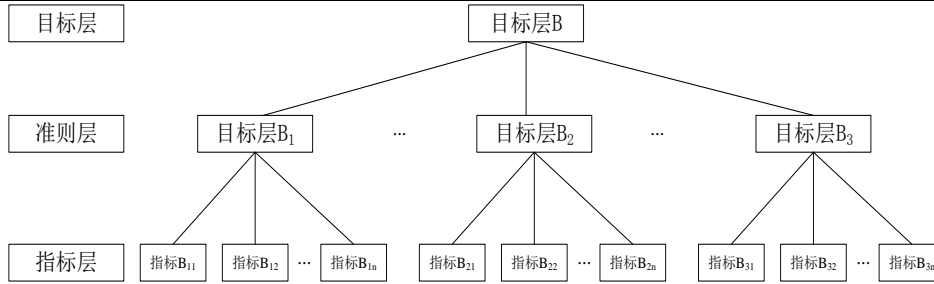


Figure 1. Comprehensive evaluation index system of expressway route schemes  
图 1. 高速公路路线方案综合评价指标体系

### 3 评价模型的构建

高速公路路线设计方案必选是一个涉及自然、社会、经济和工程等多方面相关因素，并需要许多各层次的决策人员参加的复杂的多层次多目标决策问题。高速公路路线方案的比选评价很多，过去常用的方法有经验分析法、经济计算法等。当前综合评价方法大都结合了数理统计学原理，得到广泛应用的主要有专家打分法、德尔菲法、数据包络分析、模糊综合评判法、层次分析法及灰色理论分析法<sup>[14]</sup>。

#### 3.1 评价方法选取

高速公路路线方案评价方法是为了给决策者提供一个既客观又能量化反映的结论。根据各种评价方法的特点及本研究指标体系自身的特点，本文采用模糊综合评判与层次分析法相结合的多级模糊综合评价方法，建立评价模型。该多级模糊综合评价方法主要体现在把评价指标体系划分为树状层次结构，通过层次分析法来确定各指标的权重，通过模糊综合评判法来

确定隶属度，最后进行综合评判。

#### 3.2 评价模型的构建

依据本文所建立的 6 个一级指标及 20 个二级指标的指标体系，按照本文所采用的层次分析法及模糊综合评判法，可将一级指标相对于方案的评判视为二级模糊评判，将二级指标的评判视为一级模糊评判。

##### 3.2.1 确定指标权重

层次分析法（AHP）首先需要对各评价指标按照相对重要程度两两相互比较，因此评断结果较为准确，能在一定程度上消除主观性对指标权重的影响<sup>[15]</sup>。AHP 的基本过程如下：

###### (1) 构造层次结构

通过深入分析研究对象，将研究对象所包含的影响因素划分为几个层次，如目标层、准则层（一级指标）及指标层（二级指标），形成具有递阶属性和表明各因素的从属关系的层次结构，见下图 2。

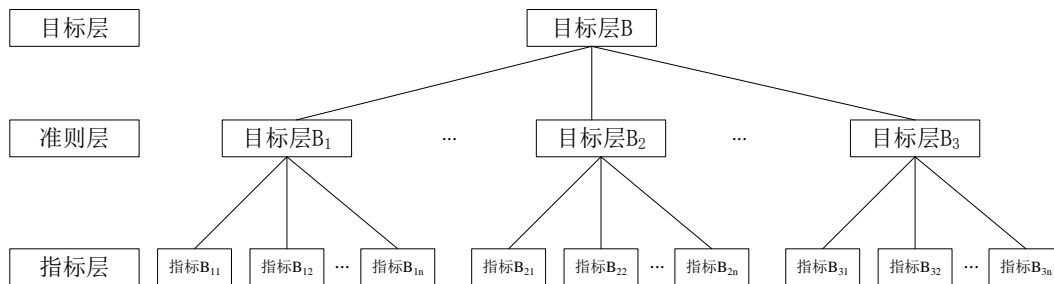


Figure 2. Hierarchical structure of analytic hierarchy process  
图 2. 层次分析法递阶层次结构

###### (2) 建立判断矩阵

判断矩阵是根据各层次的评价指标相对重要性通过数值量化表达出来，例如在判断矩阵 Q 中，Q 中

元素  $q_{ij}$  表示在某一准则层下，第 i 个因素与 j 个因素比较时的重要性程度，该重要程度由专家根据 1-9 标度法确定。本文中采用 1-9 标度法如表 1 所示。

Table 1. Analytic hierarchy process judgment scale  
表 1. 层次分析法判断标度

标度值 (qij)	两因素之间的关系 (Qi 与 Qj)
1	Qi 与 Qj 同等重要
3	Qi 比 Qj 稍微重要
5	Qi 比 Qj 非常重要
7	Qi 比 Qj 极其重要
9 2、4、6、8	上述判断级中间值

(3) 各因素权重值求解

判断矩阵的特征向量即为各因素的权重值，反映的是在某一层次下，各因素的相对重要程度。求解权重值的方法很多，本文借助了数值计算软件 MATLAB R2014a，通过编辑相应的程序语言，可方便快捷地得到判断矩阵的特征向量及特征值。

(4) 判断矩阵的一致性检验

通常人为判断存在主观偏好，运用 1-9 标度法得到的判断矩阵可能不具备完全的一致性，因此需要对判断矩阵进行一致性检验。

判断矩阵一致性指标检验公式为：

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

可知，当  $\lambda_{max}=n$  时，即 CI 等于 0，则表明该矩阵具备完全一致性。

一般情况下，仅采用 CI 值不能全面地反映出矩阵的一致性，CI 值会随着矩阵的阶数增大而增大，为满足不同阶数判断矩阵一致性检验，增加平均随机一致性指标 RI，对于判断矩阵阶数 n 的不同，RI 值的确定如表 2<sup>[16]</sup>。

Table 2. RI values of different n-values  
表 2. 不同 n 值情况的 RI 取值

n	RI
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51

在进行一致性综合判断的时候，引入 CR 值为一致性比例指标， $CR = \frac{CI}{RI}$  当  $CR \leq 0.1$  时，即满足一致性条件，如不满足，则需调整判断矩阵中 RI 的相对重要度。

3.2.2 基于层次分析法的模糊综合评判

本文选取的评价指标分为两级，故在进行模糊综合评判的时候需要分别进行一级模糊综合评判和二级模糊综合评判，本节以二级模糊综合评判的步骤为例，简要介绍模糊综合评判的评价过程。模糊综合评判评价步骤如下<sup>[17]</sup>：

(1) 建立评价因素集

评价对象的一级评价指标有 n，第 i 个评价指标有 m 个二级评价指标时：

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n\}$$

$$U = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}\}$$

(2) 建立评价集

评价集是评价者对评价对象的评判等级合集。

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

(3) 建立因素权重集

每个因素对应的相应权数为 ai，建立权重集如下，通过层次分析法中 1-9 标度判定得到。

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$$

(4) 建立模糊评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中的 r1, r2, ..., rm 是把对第 i 个指标的评分值分别代入对 v1, v2, ..., vm 隶属函数  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$  中计算出来的。

(5) 模糊综合评判

根据二级评价指标的权重值与隶属度值，可得到某一级评价指标的模糊评判结果，综合各一级评判指标的评判结果可得到二级模糊评判结果。

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

(6) 由模糊综合评判指标 bj 最大值 vi 所对应的等级对得出综合评判结论。

致谢

高速公路路线方案评价本身是一个复杂的系统性工程，涉及的影响因素非常多，单纯以传统方法来评

判路线方案的优劣，难免会有失偏颇。加之，近年来国家大力提倡建设绿色公路，打造品质工程。因此，本文通过对建设绿色品质工程的高速公路路线方案的影响因素进行了深入地探讨并综合评价，得到如下主要结论：

(1) 本文结合交通运输部提倡的建设绿色品质公路的理念，依据评价指标建立的原则，结合高速公路建设项目的客观条件，确定了以安全、经济、环境、能耗、技术及示范性为评价指标的高速公路路线方案综合评价体系，为今后建设绿色品质工程项目的综合评价提供了可借鉴的操作程序。

(2) 本文通过统计分析，运用 MATLAB 对评价指标的进行权重计算，结果表明，六个一级指标的重要性程度从大到小分别为安全、经济、环境、能耗、示范性及技术。

## 参考文献

- [1] 赵希茂, 张堂清, 朱建敏. 公路勘察设计新理念在公路设计中的应用. 中小企业管理与科技(下旬刊). 2018, (09), 152-153.
- [2] 张德华. 践行绿色交通推进公路转型发展. 中国交通报. 2016, (008).
- [3] 黄勇. 顺应发展新需要, 践行五大发展理念——《关于打造公路水运品质工程指导意见》的解读. 中国公路. 2017, (06), 40-42.
- [4] 交通运输部综合规划司. 推进生态文明建设引领交通转型升级. 中国交通报. 2017, (008).
- [5] Salvatore Cafiso, Ruediger Lamm, Grazia La Cava. A fuzzy model for safety evaluation process of new and old roads. TRB 2004 Annual Meeting CD-ROM.
- [6] Li Liping, Xu Guangli, Lu Xiaoli. A novel fuzzy route selection method based on multinrm decision marking. 2010 2nd International Conference on Computer Engineering Technology. 2010, (6), 619-623.
- [7] 李铮. 基于灰色理论的公路多方案选择研究. 交通标准化. 2013, (09), 158-159.
- [8] 杨检. 基于物元分析模型的高速公路路线方案优化研究. 长沙理工大学. 2017.
- [9] 陈瑾. 基于 FAHP 的国省干线线路方案优选研究. 南昌大学. 2018.
- [10] 刘昊. 高速公路选线的影响因素与合理设计. 科技创新与应用. 2015, (02), 173.
- [11] 刘颖. 影响高速公路选线设计的因素分析. 科技创新与应用. 2016, (24), 247.
- [12] 马瑞. 高速公路路线方案综合比选研究. 长安大学. 2014.
- [13] 汤显平. 基于绿色公路建设理念的高速公路路线设计方案评价体系研究. 中南林业科技大学. 2018.
- [14] 罗磊. 高速公路路线方案决策模型研究. 广西大学. 2011.
- [15] 周小川. 模糊层次分析法和灰色关联度在铁路方案决策中的应用. 西南交通大学. 2011.
- [16] 李光旭. 多阶段模糊多准则决策方法研究. 电子科技大学. 2015.
- [17] 余琼芳, 陈迎松. 模糊数学中隶属函数的构造策略. 漯河职业技术学院学报(综合版). 2003, (01), 12-14.