

# 基于改进层次分析法的山区桥梁建设风险影响评价

赵梦兰

(湖南恒利建筑工程有限公司, 湖南 长沙 410007)

**摘要:** 山区桥梁建设的安全性受到多重因素的影响。文中采用改进的层次分析法(IAHP), 通过实例对山区桥梁工程建设安全性影响因素进行评价, 通过前期资料的收集整理并考虑山区桥梁工程建设的复杂性, 从材料与机械、工程环境、施工技术方案、工程现场管理四方面整理影响山区桥梁安全性的 15 个主要因素作为基础评价指标, 采用三标度改进的层次分析法建立影响因素比较矩阵, 确定不同因素的影响权重, 分析山区桥梁工程建设的安全性影响因素。

**关键词:** 工程管理; 桥梁; 改进层次分析法(IAHP); 建设风险

中国分类号: U415.12

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)05-0158-03

中国西部幅员辽阔, 山地众多, 基建施工难度较大, 以桥梁为例, 其作业强度大、建设周期长、施工难度大、环境条件恶劣。如何有效分析各因素对山区桥梁建设的影响, 找出主要建设风险因素以保证山区桥梁建设的安全性具有重要意义。该文在总结前期研究成果的基础上, 从材料与机械、工程环境、施工技术方案、工程现场管理四方面提取影响山区桥梁安全性的 15 个主要因素, 采用三标度改进的层次分析法确定各因素的影响权重, 分析影响山区桥梁建设风险的主要因素。

## 1 改进的层次分析法

传统层次分析法(AHP)采用九标度法形成各因素比较结果的比较矩阵, 通过定性与定量相结合的方式得到各因素的权重, 在影响因素较多时, 其计算量较大, 且分析结果受主观影响较大, 无法有效保证分析结果的准确性和客观性。改进的层次分析法(IAHP)采用三标度法对影响因素之间的重要性进行相互比较, 能降低九标度分析法在比较矩阵构建时的模糊性, 使比较矩阵更可靠、合理, 同时运用数学手段对比较矩阵中的相关影响因素进行优化, 将比较矩阵优化后转换成一致性矩阵, 避免进行一致性检验等复杂计算。其主要步骤:

(1) 基于层次分析法原理, 将各影响因素指标分为目标层、准则层、指标层, 并对各层次因素之间的重要性程度进行区分, 据此确定各因素之间的影响关系, 构建系统层次结构模型。

(2) 采用三标度法对相同层次影响因素的重要性进行比较, 构造比较矩阵, 比较矩阵  $U$  的表达式

见式(1)。根据三标度法, 得到式(2), 其中:  $u_{ij} = 0$  表示影响因素  $j$  比影响因素  $i$  重要,  $u_{ij} = 0.5$  表示影响因素  $j$  与影响因素  $i$  同等重要,  $u_{ij} = 1$  表示影响因素  $i$  比影响因素  $j$  重要。

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$u_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 0.5 \\ 1 \end{cases} \quad (2)$$

(3) 通过比较矩阵  $U$  构造判断矩阵  $V$ , 令  $V = (v_{ij})_{n \times n}$ , 对矩阵  $U = (u_{ij})_{n \times n}$  按行求和, 得到式(3)。计算比较因子  $c_m$ , 计算公式见式(4)。通过相关变换, 将比较矩阵  $U$  变换成间接矩阵  $V$ ,  $V = (v_{ij})_{n \times n}$ , 其中  $v_{ij}$  按式(5)计算。由式(5)可知, 变换后的矩阵  $V$  中元素  $v_{ij}$  满足  $v_{ii} = 1, v_{ij} = 1/v_{ji}$ 。

$$\begin{cases} s_i = \sum_{j=1}^n u_{ij} & (i=1, 2, 3, \cdots, n) \\ s_{\max} = \max\{s_i\} \\ s_{\min} = \min\{s_i\} \end{cases} \quad (3)$$

$$c_m = \frac{s_{\max}}{s_{\min}} \quad (4)$$

$$v_{ij} = \begin{cases} \frac{s_i - s_j}{s_{\max} - s_{\min}}(c_m - 1) + 1 & s_i \geq s_j \\ \left[ \frac{s_i - s_j}{s_{\max} - s_{\min}}(c_m - 1) + 1 \right]^{-1} & s_i < s_j \end{cases} \quad (5)$$

(4) 将间接矩阵转化为一致性矩阵  $A$ ,  $A =$

$(a_{ij})_{n \times n}$ , 并有  $a_{ij} = a_{ik} \times a_{kj}$ ,  $a_{ii} = 1$ ,  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 。

(5) 计算相对权重。引入特征向量  $W$ , 其满足以下关系式:

$$AW = \lambda_{\max} W$$

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$$

$$W_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ik}}}{\sum_{k=1}^n \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ik}}} \quad (6)$$

(6) 计算各影响因素指标的权重。准则层影响因素指标的相对权重为  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ , 指标层影响因素的相对权重为  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ , 则每个因素指标相对于目标层的综合排序为:

$$R_j = [W_1 w_1, W_2 w_2, W_3 w_3, \dots, W_n w_n]^T \quad (7)$$

由式(7)可计算各影响因素的权重, 据此对影响

因素指标的重要性进行排序, 得到其权重总排序。

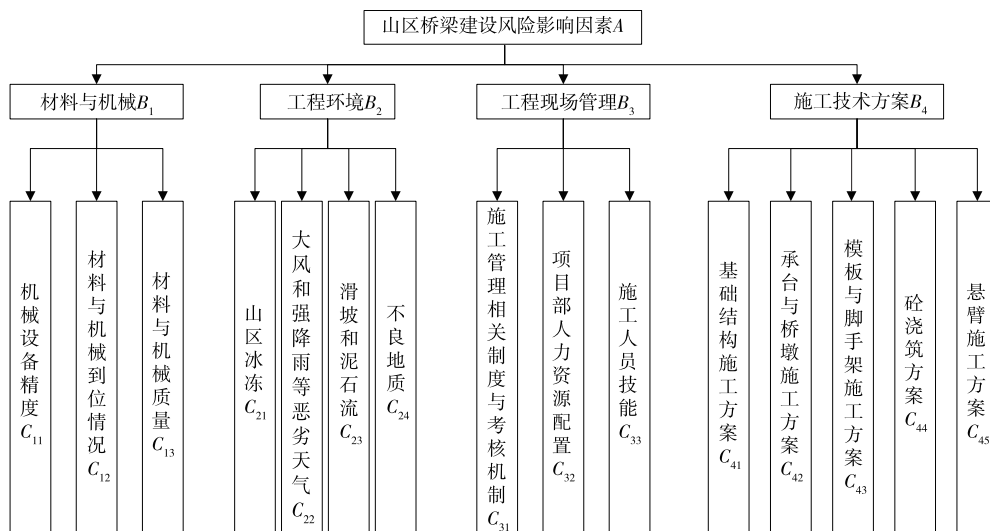
## 2 山区桥梁建设风险影响评价

### 2.1 影响因素指标的确定

以西部山区某高速公路桥梁为例, 采用 IAHP 法对该桥梁建设风险进行评估。在总结大量类似工程经验的基础上, 结合专家调查结果, 建立一个三层级、多指标的山区桥梁建设风险影响因素指标体系。其首层为目标层, 即山区桥梁建设风险影响因素; 第 2 层为准则层, 包括材料与机械、工程环境、工程现场管理、施工技术方案 4 个方面; 第 3 层为指标层, 包括 15 项细分的影响因素指标(见图 1)。

### 2.2 影响因素指标的相对权重

基于 IAHP 法构建比较矩阵, 图 1 中 15 个因素的两两比较矩阵如下:



$$A = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0.5 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$B_4 = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}$$

通过对上述比较矩阵  $A$  按行求和, 计算基点比较标度, 得:

$$s_{\max} = 3.5, s_{\min} = 0.5, c_m = 7$$

将比较矩阵  $A$  转换成间接矩阵  $V$ :

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 5 & 1/3 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 1/7 \\ 5 & 3 & 7 & 1 \end{bmatrix}$$

将间接矩阵  $V$  转换成一致性矩阵  $K$ :

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 0.446 & 2.142 & 0.207 \\ 2.235 & 1 & 4.788 & 0.468 \\ 0.468 & 0.207 & 1 & 0.03 \\ 4.788 & 2.142 & 32.8 & 1 \end{bmatrix}$$

按式(6)求解一致性矩阵  $K$  的特征向量,其结果即为准则层影响因素对目标层的单排序的优先权重向量。一致性矩阵  $K$  的特征向量如下:

$$W = [0.100 \ 2 \quad 0.223 \ 8 \quad 0.034 \ 9 \quad 0.641 \ 1]^T$$

同理,可计算得到各指标层影响因素对准则层的单排序的优先权重向量:

$$w_1 = [0.636 \ 8 \quad 0.104 \ 6 \quad 0.258 \ 4]^T$$

$$w_2 = [0.263 \ 4 \quad 0.117 \ 7 \quad 0.563 \ 7 \quad 0.055 \ 2]^T$$

$$w_3 = [0.104 \ 8 \quad 0.258 \ 1 \quad 0.637 \ 1]^T$$

$$w_4 = [0.477 \ 2 \quad 0.096 \ 1 \quad 0.283 \ 1 \quad 0.034 \ 5 \quad 0.109 \ 1]^T$$

### 2.3 相对权重综合排序与评价

根据式(7)计算各因素指标相对于目标层的综合排序:

$$R_1 = W_1 w_1 = [0.023 \ 7 \quad 0.010 \ 4 \quad 0.026 \ 1]^T$$

$$R_2 = W_2 w_2 =$$

$$[0.109 \ 1 \quad 0.096 \ 3 \quad 0.106 \ 3 \quad 0.082 \ 2]^T$$

$$R_3 = W_3 w_3 = [0.003 \ 5 \quad 0.009 \ 2 \quad 0.022 \ 1]^T$$

$$R_4 = W_4 w_4 =$$

$$[0.105 \ 8 \quad 0.091 \ 6 \quad 0.101 \ 7 \quad 0.102 \ 2 \quad 0.109 \ 9]^T$$

根据上述计算结果,可得到山区桥梁建设风险影响因素指标的权重及排序(见表1)。

由表1可知:山区桥梁建设风险因素权重由大到小为悬臂施工方案、山区冰冻、滑坡和泥石流、基

表1 山区桥梁建设风险影响因素指标的权重及排序

影响因素指标	权重	顺序
机械设备精度 $C_{11}$	0.023 7	11
材料与机械到位情况 $C_{12}$	0.010 4	13
材料与机械质量 $C_{13}$	0.026 1	10
山区冰冻 $C_{21}$	0.109 1	2
大风和强降雨等恶劣天气 $C_{22}$	0.096 3	7
滑坡和泥石流 $C_{23}$	0.106 3	3
不良地质 $C_{24}$	0.082 2	9
施工管理相关制度与考核机制 $C_{31}$	0.003 5	15
项目部人力资源配置 $C_{32}$	0.009 2	14
施工人员技能 $C_{33}$	0.022 1	12
基础结构施工方案 $C_{41}$	0.105 8	4
承台与桥墩施工方案 $C_{42}$	0.091 6	8
模板与脚手架施工方案 $C_{43}$	0.101 7	6
砼浇筑方案 $C_{44}$	0.102 2	5
悬臂施工方案 $C_{45}$	0.109 9	1

础结构施工方案、砼浇筑方案、模板与脚手架施工方案、大风和强降雨等恶劣天气、承台与桥墩施工方案、不良地质、材料与机械质量、机械设备精度、施工人员技能、材料与机械到位情况、项目部人力资源配置、施工管理相关制度与考核机制。风险因素主要集中在工程环境和施工技术方案上,工程环境风险总权重为 0.393 9,施工技术方案风险总权重为 0.511 2,且工程环境风险与施工技术方案风险这两个准则层下面指标层风险权重较接近,说明这两个准则层下面指标层影响因素都是山区桥梁建设的主要风险来源,在桥梁建设中应着重考虑这些因素的影响,优化建设方案,有效控制风险。

### 3 结语

采用 IAHP 法对山区桥梁工程建设安全性影响因素进行评价,通过资料收集整理并考虑山区桥梁工程建设的复杂性,构建包含材料与机械、工程环境、施工技术方案、工程现场管理 4 个准则层,机械设备精度、材料与机械到位情况等 15 个主要因素的山区桥梁工程建设风险影响因素指标体系,采用 IAHP 法确定各因素的影响权重。实例分析结果表明,山区桥梁建设风险因素主要集中在工程环境和施工技术方案上,在山区桥梁建设中应着重考虑工程环境风险与施工技术方案的影响,优化建设方案,有效控制山区桥梁建设风险。

### 参考文献:

- [1] 陈奉民,汪宏,曾辉.山区高速公路桥梁的设计体会[J].公路交通技术,2008(2):55-58+67.
- [2] 李晓,程艳,李春晓.浅谈山区公路常规桥梁的设计[J].公路,2013(7):120-123.
- [3] 申雁鹏.桥梁健康状态评估中基于能量储备确定层次分析法底层指标权重的研究[J].山西交通科技,2016(6):92-94.
- [4] 吴威.基于 AHP 法的高速公路施工风险影响因素精细化分析[J].湖南交通科技,2019,45(4):68-70+136.
- [5] 郭南华.基于 AHP 法的公路工程施工现场安全模糊评价[J].公路与汽运,2010(6):157-160.
- [6] 柴继昶,万玉玲.公路桥梁施工安全风险评估体系增加墩柱高度指标探析[J].公路,2018(6):166-172.
- [7] 康俊涛,刘洋.桥梁施工安全性评价的贝叶斯网络方法研究[J].中国安全科学学报,2016,26(7):157-162.