

基于模糊层次分析法的荆江航道 整治水下抛石施工风险评估^①

邓 君^{1,2}, 王 菲², 张长志², 梁泽龙²

1. 重庆交通大学 水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074; 2. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074

摘要: 为了系统研究航道整治施工过程中各风险发生的概率, 以荆江航道整治水下抛石施工为依托, 通过模糊层次分析法对施工进行风险因素识别和风险综合评价, 并按照各风险所占权重的大小进行排序, 得出对项目施工影响较大的因素, 以此为依据采取施工防护措施, 减少风险的发生. 在此基础上采用模糊综合评价法进行风险评价, 得出荆江航道整治水下抛石施工风险等级, 从而验证整体施工方案可行性.

关 键 词: 模糊层次分析法; 风险分析; 风险识别

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)06-0183-06

近年来我国的航道整治施工力度日益提高, 航道整治施工期间的各种不确定风险因素对施工质量产生很大的影响. 实践证明, 在施工前进行合理的风险评估可以减少风险发生的概率, 使项目施工安全顺利进行.

目前, 在道路桥梁、水利水电、隧道施工中风险评估理论已得到了一定的应用. 李舒亮等^[1]详细概述了工程项目施工风险的模糊层次综合评价方法, 并对传统评价方法的不足之处进行了改进. 阮欣等^[2-3]深入研究了大型项目施工阶段的风险因素与管理问题. 刘沐宇等^[4]提出了基于集对分析的大跨径悬索桥施工风险评估方法. 在水利工程施工中, 聂相田^[5], 郭春辉^[6], 李子丰等^[7]利用模糊网络分析法综合分析评价了项目中存在的风险问题, 并提出一些减少风险发生的合理措施. 郑组恩等^[8]在预应力混凝土连续桥梁悬臂浇筑施工中采用模糊综合评价法, 经验证此分析方法具有良好的合理性和实用性, 可以用于相关的施工风险评估工作中. 许振浩^[9]等综合赋权专家评分法三阶段建立评估模型, 基于此模型提出了一种新的施工风险控制许可机制. 本文以荆江航道整治水下抛石施工为依托, 施工风险因素的识别采用模糊层次分析法, 施工风险的综合评价采用模糊综合评价法^[10], 从而确定施工风险等级水平, 根据施工风险等级确定项目是否可行, 并在施工过程中采取合理措施减少风险的发生, 保证项目可安全顺利的施工.

1 风险分析理论及方法

1.1 模糊层次分析法的算法

模糊层次分析法是先把问题本身按层次分解为递阶层次结构然后再进行综合评价的一种评价方法, 此方法可广泛应用在医疗卫生、金融管理^[11]和工程领域中, 它的核心问题在于确定各阶因素权重的大小^[12-13]. 首先要确立风险因素集合 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 假设风险因素 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 的排序指标权重值用 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 表示, 则风险因素优先关系矩阵为

① 收稿日期: 2017-11-28

基金项目: 重庆市高等教育教学改革研究项目(153075); 重庆市教委科技项目(KJ1601005).

作者简介: 邓 君(1982-), 男, 本科, 助理实验师, 主要从事水利工程、计算机网络有关的实验教学及科研工作.

$$U^{(k)} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{31} & r_{32} & \cdots & r_{3n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

上式中 r_{ij} 的取值依据为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0.5 & t(i) = t(j) \\ 1 & t(i) > t(j) \\ 0 & t(i) < t(j) \end{cases} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$t(i)$ 和 $t(j)$ 分别为指标因素 $u(i)$ 和 $u(j)$ 的相对重要性.

模糊一致判断矩阵 R 由优先关系矩阵进行求和变换之后得到. 先对 r 按行求和: $k_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}$, ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 然后做行变换: $R_{ij} = \frac{k_i - k_j}{2n} + 0.5$ 可得:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{31} & R_{32} & \cdots & R_{3n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

模糊一致矩阵 R 中的元素表示 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 中的第 i 个因素与第 j 个因素的相对重要程度^[14]. 当 $R_{ij} = 0.5$ 时, u_i 与 u_j 一样重要; 当 $0 \leq R_{ij} < 0.5$ 时, u_j 比 u_i 重要, 且 u_j 的重要性随 R_{ij} 的变小而增大; 当 $0.5 < R_{ij} \leq 1$ 时, u_i 比 u_j 重要, 且 u_i 的重要性随 R_{ij} 的增大而增大.

计算各层次之间的相对权重值时采用取和法, 将模糊一致性判断矩阵 R 的元素 R_{ij} 按列进行归一化, 得矩阵: $B = (b_{ij})_{n \times n}$, 其中:

$$b_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{i=1}^n R_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

将矩阵 B 中的元素按行求和, 计算得到向量 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}^T$, 其中:

$$c_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

对向量 C 进行归一化处理后, 可得到模糊权重向量 $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, 其中:

$$\omega_i = \frac{c_i}{\sum_{k=1}^n c_k} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

中间层 B 上 n 个元素相对于目标层 A 的权重值向量为

$$W_{AB}^{(B)} = \{\omega_1^{(B)}, \omega_2^{(B)}, \dots, \omega_n^{(B)}\} \quad (7)$$

指标层 C 上元素对中间层 B 上各个元素的权重值向量为

$$W_{BC}^{(C)} = \{\omega_1^{(C)}, \omega_2^{(C)}, \dots, \omega_n^{(C)}\} \quad (8)$$

故指标层 C 上元素对目标层 A 的合成权重值向量为

$$W_{AC}^{(C)} = W_{BC}^{(C)} \times W_{AB}^{(B)} \quad (9)$$

1.2 模糊综合评价

模糊综合评价法在对目标评价过程中需综合考虑各种风险因素, 是一种多目标决策的综合方法^[15]. 对风险因素的识别采用模糊层次分析法, 得出各风险因素权重后按大小进行排序. 风险因素识别后可以得到主要风险因素以及整个项目施工的风险系数, 综合计算各因素得到系统的风险值大小, 根据模糊综合评判表进行分级, 施工风险的应对措施要依据系统风险水平等级和项目特点提出.

模糊综合评判因素集和评价语集分别为: $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$, $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$, 通过模糊矩阵 $K = (K_{ij})_{m \times n}$, $0 \leq k_{ij} \leq 1$ 进行变换, 即利用 U 的子集 X 得到 V 上的模糊子集 Y :

$$X^{\circ}K=Y_{y_i}=\bigvee_{j=1}^m(x_j\wedge k_{ij})\qquad i=1,2,\cdots,n$$

表 1 模糊综合评判表

风险等级	极高-EH	高-H	中-M	低-L	极低-UL
评分区间	0.80 ~ 1.00	0.60 ~ 0.80	0.40 ~ 0.60	0.20 ~ 0.40	小于 0.20

2 水下抛石施工风险因素识别

本文以荆江河段航道整治工程水下抛石施工为依托,施工风险因素识别采用模糊层次分析法.水下抛石施工工序复杂且存在多种风险,诸多因素如水文、气象、地质条件、现场状况等都会对施工质量造成影响.结合水下抛石施工特点,把水下抛石施工分解为目标层、中间层和指标层 3 个层面,确定目标层 A 为水下抛石风险,中间层 ($B_1 \sim B_6$) 为施工风险概况的 6 个因素,中间层下 62 个因素 ($C_1 \sim C_{62}$) 为最基本指标层.

模糊层次分析法的核心问题在于确定各阶因素权重的大小,对于 $A-B$,首先建立目标层与中间层的优先关系判断矩阵,水下抛石的各因素相对优先关系 r_{ij} 可根据公式(2)得出,其中 $i, j=1, 2, 3, 4, 5, 6$. 其次根据公式(3)和公式(4)归一化处理得到模糊一致矩阵 R. 中间层各个元素相对于目标层的权重值 $W_{AB}^{(B)}$ 根据公式(7)计算.

同理可求指标层 $C_1 \sim C_{62}$ 相对中间层的权重 $W_{BC}^{(C)}$,结合公式(9)即可求得指标层 $C_1 \sim C_{62}$ 在目标层 A 中所占的权重值 $W_{AC}^{(C)}$,最后得到的各要素权重值及总排序如表 2 所示.

由表 2 可知,荆江航道整治水下抛石施工从材料的预制和运输、机械设备、工程水文、人员工作、施工规范以及外部环境考虑,概括为 6 个中间层因素,其中工程水文地质条件相对目标层的权重值最大.指标层因素 C 分为 62 个因素,其中材料运输船上块石堆放不合理 C_3 为最重要的风险控制因素,其他对水下抛石施工有比较大的影响的依次是: C_{21} 水位上涨导致船舶出现横倾,即现有锚缆地牛较低,水位上涨流速加大,船舶施工受力过大,主缆地牛冒堆、断缆,前横缆冒堆、开锚走锚,船舶出现横倾; C_1 块石质量、密度、硬度不符合要求; C_{18} 水位的涨落导致船舶搁浅; C_4 运输船运输能力不足.

表 2 水下抛石风险因素排序结果及风险评估表

目标层 A	中间层 B	指标层 C	单权重	权值	重要性 排序	风 险 后 果				
						可 忽略	低	中	严重	极 严重
水下抛石风险 A	一、材料混凝土块预制运输 B_1	C_1 : 块石质量、密度、硬度不符合要求	0.220 4	0.043 0	3	0	0.6	0.2	0.2	0
		C_2 : 块石大小不均匀、级配不合理	0.159 2	0.031 1	10	0	0	0.4	0.6	0
		C_3 : 块石在运输船上堆放不合理	0.240 8	0.047 0	1	0.2	0.2	0	0.4	0.2
		C_4 : 块石运输船数量不足	0.200 0	0.039 0	5	0.2	0.4	0.2	0.2	0
		C_5 : 抛石施工的石料不能连续运输供应	0.179 6	0.035 0	6	0	0	0.2	0.6	0.2
	二、船舶机械设备 B_2	C_6 : 块石运输采用不标准的船舶	0.090 3	0.013 8	25	0.2	0.4	0.4	0	0
		C_7 : 抛石船附属工程人机交叉作业	0.090 3	0.013 8	25	0.6	0.2	0	0	0.2
		C_8 : 施工机械管理不善	0.115 8	0.017 7	19	0	0.4	0.2	0.2	0.2
		C_9 : 现场施工机械作业位置不当	0.085 2	0.013 0	29	0.2	0	0.4	0.4	0
		C_{10} : 块石运输船装载不平衡或超载	0.095 4	0.014 5	22	0	0	0.4	0.6	0
		C_{11} : 交通船不能保证航行的安全	0.131 2	0.020 0	17	0	0.4	0	0.4	0.2
		C_{12} : 抛锚操作不当导致人员伤亡	0.085 2	0.013 0	29	0.2	0.2	0.4	0.2	0
		C_{13} : 钢丝下桩时,千斤链断裂,导致人员伤亡	0.095 4	0.014 5	22	0.2	0.4	0	0.4	0
		C_{14} : 施工过程中不能及时检查各零件设备	0.095 4	0.014 5	22	0.4	0.2	0.2	0.2	0
		C_{15} : 船只施工作业图不详细	0.115 8	0.017 7	19	0	0.2	0	0.6	0.2
	三、工程水文地质条件 B_3	C_{16} : 恶劣天气对施工产生影响	0.164 3	0.034 4	7	0.2	0.4	0	0.4	0
		C_{17} : 汛期水位上涨,不能准确水下抛石	0.121 5	0.025 4	12	0	0	0.2	0.4	0.4
		C_{18} : 水位的涨落导致船舶搁浅	0.192 8	0.040 4	4	0	0.6	0.4	0	0

续表 2

目标层 A	中间层 B	指标层 C	单权重	权值	重要性 排序	风 险 后 果				
						可 忽略	低	中	严重	极 严重
四、作业人员 B ₄		C ₁₉ : 水深较浅, 运输船不能正常工作	0.1500	0.031 4	9	0	0.2	0.2	0.6	0
		C ₂₀ : 恶劣天气对船只运行十分不利	0.164 3	0.034 4	7	0	0.2	0.6	0.2	0
		C ₂₁ : 水位突然上涨船舶出现横倾, 翻落	0.207 1	0.043 4	2	0.2	0.2	0	0.6	0
		C ₂₂ : 作业人员着装不当	0.071 6	0.010 9	34	0	0.4	0.4	0	0.2
		C ₂₃ : 外来人员误入抛石现场出现事故	0.063 8	0.009 7	38	0.2	0.2	0.2	0.4	0
		C ₂₄ : 工人疲劳工作	0.084 6	0.012 9	31	0	0.4	0.4	0.2	0
		C ₂₅ : 驾驶员违章驾驶	0.061 2	0.009 3	41	0	0	0.2	0.6	0.2
		C ₂₆ : 施工工人酒后作业, 出现危险	0.066 4	0.010 1	36	0.4	0.6	0	0	0
		C ₂₇ : 施工工人素质差异, 不听从正确指挥	0.087 2	0.013 3	27	0.2	0.4	0.4	0	0
		C ₂₈ : 人为造成人员伤亡及财产损失	0.069 0	0.010 5	35	0.2	0	0.6	0.2	0
		C ₂₉ : 私自下河游泳	0.082 0	0.012 5	32	0.2	0	0.4	0.4	0
		C ₃₀ : 船舶停靠时, 人挤压受伤	0.066 4	0.010 1	36	0.2	0.2	0.4	0	0.2
		C ₃₁ : 危险区没有警示标志且无人看管巡查	0.087 2	0.013 3	27	0	0.4	0	0.6	0
		C ₃₂ : 带班人员指挥不当	0.074 2	0.011 3	33	0	0.6	0.2	0.2	0
		C ₃₃ : 没有设置安全应急设备	0.063 8	0.009 7	38	0	0.2	0.2	0	0.6
		C ₃₄ : 高空作业人员未做防护措施	0.058 6	0.008 9	43	0.2	0.2	0.4	0.2	0
		C ₃₅ : 无关人员乱入, 妨碍作业人员工作	0.063 8	0.009 7	38	0.4	0.2	0.2	0.2	0
五、施工现场操作 B ₅		C ₃₆ : 夜间工作因照明系统故障而出现事故	0.052 5	0.007 3	46	0.2	0.4	0.2	0.2	0
		C ₃₇ : 块石吊运过程操作不当, 掉落砸伤他人	0.056 3	0.007 8	45	0	0.2	0.2	0.4	0.2
		C ₃₈ : 抛石操作不当, 操作不合理	0.065 2	0.009 0	42	0.4	0.4	0	0.2	0
		C ₃₉ : 驾驶员驾驶水平有限	0.048 7	0.006 7	54	0	0.4	0	0.6	0
		C ₄₀ : 抛石现场无监控	0.051 3	0.007 1	48	0	0.4	0.2	0.4	0
		C ₄₁ : 抛石定位船定位误差太大	0.050 0	0.006 9	51	0	0.4	0.4	0.2	0
		C ₄₂ : 块石的水平落距计算不准确	0.050 0	0.006 9	51	0	0.4	0.4	0.2	0
		C ₄₃ : 工人将网兜挂到吊钩上意外被块石砸伤	0.051 3	0.007 1	48	0.4	0.6	0	0	0
		C ₄₄ : 水下抛石将排布划破	0.051 3	0.007 1	48	0	0.4	0.4	0.2	0
		C ₄₅ : 施工船出现损坏	0.058 9	0.008 1	44	0.2	0.2	0	0.4	0.2
		C ₄₆ : 人员、机械意外落水	0.050 0	0.006 9	51	0	0	0.4	0.2	0.4
		C ₄₇ : 驾驶员未穿救生衣	0.052 5	0.007 3	46	0.2	0.2	0	0.6	0
		C ₄₈ : 挖机上下陡坡时出现意外	0.048 7	0.006 7	54	0	0.2	0.2	0.6	0
		C ₄₉ : 船舶侧倾时, 未及时发现	0.046 2	0.006 4	57	0	0.2	0.4	0	0.4
		C ₅₀ : 挖机落水	0.041 1	0.005 7	62	0	0.2	0	0.8	0
		C ₅₁ : 抛石不均匀	0.043 7	0.006 0	59	0.4	0	0.4	0.2	0
六、工程外部环境 B ₆		C ₅₂ : 挖掘机误伤工作人员	0.048 7	0.006 7	54	0.2	0.4	0.4	0	0
		C ₅₃ : 抛石不均匀导致船体倾斜过大	0.043 7	0.006 0	59	0.2	0.6	0	0.2	0
		C ₅₄ : 施工船舶意外损坏	0.043 7	0.006 0	59	0.2	0	0.6	0	0.2
		C ₅₅ : 挖掘机压坏运石船甲板	0.046 2	0.006 4	57	0	0.6	0.2	0	0.2
		C ₅₆ : 过往船只误入施工区, 对施工产生影响	0.163 8	0.025 0	13	0.2	0	0.2	0.2	0.4
		C ₅₇ : 施工与通航矛盾突出	0.121 9	0.018 6	18	0.2	0.4	0.2	0	0.2
		C ₅₈ : 施工对渡口, 码头和锚地造成安全事故	0.184 8	0.028 2	11	0	0.2	0.6	0	0.2
		C ₅₉ : 运石船影响过往船只	0.132 4	0.020 2	15	0	0.6	0	0.4	0
		C ₆₀ : 外部协调工作难度大	0.153 3	0.023 4	14	0.2	0	0.4	0	0.4
		C ₆₁ : 施工破坏水域环境	0.132 4	0.020 2	15	0.4	0.4	0	0.2	0
		C ₆₂ : 施工现场不符合安全卫生要求	0.111 4	0.017 0	21	0.4	0	0.4	0.2	0

3 施工风险模糊综合评价

根据水下抛石施工安全状况,将风险水平综合评价指标分为 5 个等级,即评价集: $V = \{\text{可忽略,低,中,严重,极严重}\}$,由专家调查法估计现场风险因素发生的概率,利用模糊层次分析法计算各风险因素权重大小.

综合评判水下抛石风险因素结果值,各风险因素集的评价模型计算结果如下:

$$\begin{aligned} B_1 &= [0.155\ 9\quad 0.111\ 8\quad 0.288\ 2\quad 0.404\ 1\quad 0.040\ 0] \\ B_2 &= [0.119\ 6\quad 0.237\ 1\quad 0.234\ 1\quad 0.301\ 5\quad 0.107\ 7] \\ B_3 &= [0.178\ 6\quad 0.284\ 3\quad 0.391\ 4\quad 0.112\ 8\quad 0.032\ 9] \\ B_4 &= [0.194\ 3\quad 0.208\ 6\quad 0.224\ 0\quad 0.214\ 0\quad 0.159\ 1] \\ B_5 &= [0.139\ 2\quad 0.209\ 0\quad 0.258\ 1\quad 0.275\ 7\quad 0.118\ 0] \\ B_6 &= [0.149\ 1\quad 0.271\ 0\quad 0.269\ 7\quad 0.191\ 6\quad 0.118\ 5] \end{aligned}$$

水下抛石施工总的评价结果可依据各因素集的权重计算:

$$B=AR=[0.195\ 1\quad 0.152\ 4\quad 0.209\ 3\quad 0.152\ 4\quad 0.138\ 2\quad 0.152\ 4]\left\{\begin{matrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{matrix}\right\}$$

对评价集进行赋值,进行荆江航道整治水下抛石项目施工风险的综合评判.

- 取下限值 $V=\{0.0\quad 0.2\quad 0.4\quad 0.6\quad 0.8\}$, $P=VB=0.416\ 1$;
- 取中间值 $V=\{0.1\quad 0.3\quad 0.5\quad 0.7\quad 0.9\}$, $P=VB=0.524\ 7$;
- 取上限值 $V=\{0.2\quad 0.4\quad 0.6\quad 0.8\quad 1.0\}$, $P=VB=0.609\ 7$

通过模糊综合评判法可计算出航道整治工程水下抛石施工的风险程度,根据模糊综合评判表认定水下抛石施工风险为中级—M 风险,安全等级一般.

4 结 论

本文以荆江航道整治项目中的水下抛石施工项目为依托,以现场调研资料为准,整理出全部的水下抛石施工风险因素,以模糊层次分析法对其进行识别,并计算各风险因素权重值,以模糊综合评价法对荆江航道水下抛石施工进行风险评估,主要成果如下:

以模糊层次分析法对荆江航道整治水下抛石施工风险因素识别,可得结构层次清晰的模型,计算简单合理,可准确计算各风险因素权重大小,以便风险管理者认清对项目施工影响较大的风险因素,为施工风险控制提供依据.

基于模糊综合评价法对荆江航道水下抛石整个施工过程进行风险评估并定量分析,可确定其风险水平等级为中级,即施工安全状况一般,整体施工方案可行,但需要加强管理与监控措施.

参考文献:

[1] 李舒亮,张书军. 工程项目风险的模糊层次综合评价研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2006, 8(4): 111—115.

[2] 阮 欣. 桥梁工程风险评估体系及关键问题研究 [D]. 上海: 同济大学, 2006.

[3] 阮 欣. 桥梁工程风险评估 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008: 68—70.

[4] 刘沐宇,金开明. 大跨径悬索桥施工风险评估的集对分析方法 [J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(5): 1—7.

[5] 聂相田,罗 冈. 基于模糊网络分析法的水利工程施工风险分析 [J]. 人民黄河, 2011, 33(5): 113—115.

[6] 聂相田,郭春辉,张 湛. 一种基于状态转移的水利工程风险动态管理研究 [J]. 人民长江, 2012, 43(2): 105—107.

- [7] 李子丰, 田延飞. 长江下游口岸直水道通航风险分析与安全评价 [J]. 交通科技, 2011(3): 151—153.
- [8] 郑祖恩, 李志勇, 吴 欣. 基于模糊综合评判法的预应力混凝土连续梁桥悬臂浇筑施工风险评估 [J]. 公路工程, 2013, 38(2): 60—64.
- [9] 许振浩, 李术才, 李利平, 等. 基于风险动态评估与控制的岩溶隧道施工许可机制 [J]. 岩土工程学报, 2011, 33(11): 1714—1724.
- [10] MOHAMMADI J. Reliability Assessment Using Stochastic Finite Element Analysis [J]. Journal of Structural Engineering, 2001, 127(8): 976—977.
- [11] 张菁芳, 李佳承, 陈俊国, 等. 基于层次分析法的医院财务信息化绩效评价指标体系研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(2): 73—83.
- [12] 张 杰. 大跨度桥梁施工期风险分析方法研究 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [13] 杨笑源, 赵晓刚. 应用改进层次分析法和模糊综合评判的油库静电灾害评估 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2015, 29(2): 136—140.
- [14] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
- [15] 韩 利, 梅 强, 陆玉梅, 等. AHP-模糊综合评价方法的分析与研究 [J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(7): 86—89.

FAHP-Based Risk Assessment of Underwater Riprap Construction in Jingjiang Waterway Regulation

DENG Jun^{1,2}, WANG Fei²,
ZHANG Chang-zhi², LIANG Ze-long²

1. Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering of the Ministry of Education,
Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China

Abstract: In order to study the probability of various risks in the waterway regulation construction, this paper uses the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) to identify the risk factors and evaluate the risk of underwater riprap construction in Jingjiang waterway regulation. The risk factors are sorted according to their weight to find out the factors that have a great impact on the project construction, so that proper preventive measures may be adopted to reduce the occurrence of risks. And on the basis of risk assessment with the fuzzy comprehensive evaluation method (FCE), the Jingjiang Waterway Regulation risk rating for underwater riprap construction is derived. This can verify the feasibility of the overall construction scheme.

Key words: fuzzy analytic hierarchy process (FAHP); risk analysis; risk identification

责任编辑 汤振金