

基于组合赋权法的建筑施工现场安全综合评价

单仁亮, 宁海龙, 李健芳

(中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京 100081)

摘要:建筑施工现场安全状况综合评估常用多层次模糊综合评价法,其中,如何确定合理的评价指标权重是一个关键问题。笔者提出了基于组合赋权法的模糊综合评价模型对建筑施工现场安全状况进行综合评估的方法,建立了多层次安全评价指标体系,通过层次分析法和熵权法分别计算评价指标的主观权重和客观权重,将两个权重进行有机组合得到结合了主客观因素的新权重,确定最终评价结果。结合工程实例,采用基于组合赋权法的模糊综合评价模型对北京住总某建筑工地现场安全状况进行综合评价,并将评价结果与 AHP 模糊综合评价方法进行了对比。对该项目而言,基于组合赋权法的模糊综合评价模型对建筑施工现场安全状况综合评价较 AHP 模糊综合评价法具有更好的实用性,评价结果更加可靠。

关键词:模糊综合评价法;层次分析法;熵权法;组合赋权

中图分类号:F062.9 **文献标志码:**A

据住房和城乡建设部统计^[1],2015 年房屋市政工程施工较大及以上事故起数与死亡人数同比增长 43.44% 和 32.67%,其中,绝大多数伤亡事故发生在施工作业现场。建筑行业施工作业现场存在开放性、多工种多部门协作、环境多变等特点,为其安全管理增加了诸多难度。因此,如何对施工作业现场的安全进行有效评估,从而及时发现安全隐患成为一个重要的研究课题。

国内外文献对模糊综合评价模型权值计算方法进行了诸多改进,并将其推广到建筑施工现场安全状况评价领域,做了很多研究:卢岚等^[2]将层次分析法和模糊综合评价法应用于建筑施工现场安全评估方案中;张健等^[3-4]建立了建筑施工现场安全状况评估体系,并采用层次分析法确定评价指标的权重;

王根霞等^[5]采用基于风险偏好信息模型计算建筑施工现场的各项安全评价指标权重,以减少评价者主观判断对评价结果造成的偏差;常春光等^[6]基于模糊综合评判提出了建筑生产安全事故预警方法;廖斌^[7]基于 AHP 模糊综合评价模型对建筑施工现场安全状况进行了评价。

从目前的文献来看,对建筑施工现场安全状况综合评估的指标权重计算多采用单一方法,其中主要是层次分析法,这种计算方式所表达的权重信息往往具有一定局限性,其计算出来的权重主观性太强。为了解决这个问题,笔者采用层次分析法确定的权重和熵权^[8-9]分别代表主观权重值和客观权重值,通过组合赋权法确定最终权重,从而解决单一赋权方法主观性或客观性太强的问题,然

后在模糊综合评价法基础上,对建筑施工现场安全状况进行综合评价。并将评价结果与 AHP 模糊综合评价法进行比较,以验证这种方法在对建筑施工现场安全状况进行综合评价时的有效性和实用性。

一、组合赋权法原理及组合规则

1. 多层次模糊综合评价法

多层次模糊综合评价法^[10-12]是建立在模糊数学基础上,通过对各个层次评价指标之间模糊关系进行关联,从而将不确定、非定量的评估问题进行量化评定,其步骤为:确定多层次评价指标;为每个评价指标确定评价标准;确定层次之间的模糊关系矩阵;确定每个评价指标的权值;根据评价指标向量确定评价分数,比较评价分数与评价标准之间的关系,最终确定评价结果。

在多层次模糊综合评价模型中,最难计算的为第 4 个环节,即如何确定所有评价指标的权重,其中,第一层评价指标的确定尤为重要,它直接影响到后续层次的计算结果。第一层评价指标权重确定后,就能通过隶属度函数计算出每个层次对应于评价等级的隶属度,进而层层递进,计算出最终目标层的评价分数。鉴于第一层指标权值计算的重要性,主要介绍基于组合赋权法确定模糊综合评价指标权重的方法。

2. 组合赋权法理论及应用

(1) 层次分析法。层次分析法^[13]计算简单快捷,于 1979 年由美国匹兹堡大学运筹学大师 T. L. Saaty 教授提出,自提出以后迅速和模糊数学理论相结合,形成了基于层次分析法的模糊综合评价理论。层次分析法非常适用于分析包含主观信息的不确定性问题,层次分析法步骤如下。

首先,建立多层次评价指标。评价指标通常分为三层,即目标层、决策层以及分析层。其中目标层是指最终评价指标,即总目标;决策层包括实现总目标需要遵循的方案准则;分析层主要指用于解决问题的具体措施。

其次,构造判断矩阵。每个层次的评价

指标设为 n 个,即 $X = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$ 。通过专家打分的方式确定模糊判断矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}, 0 \leq r_{ij} \leq 1$$

其中, r_{ij} 表示判断矩阵的元素, r_{ij} 的取值遵循 0.1 ~ 0.9 标度量规则。

第三,计算特征值及特征向量。求解判断矩阵所有特征值和特征向量:

$$RW = \lambda W$$

其中, R 为构造的模糊判断矩阵; W 为模糊判断矩阵 R 的特征向量; λ 为特征值。

找出最大特征值所对应的特征向量,将其归一化,即得到当前层次评价指标对上层评价指标的权重。为了避免评价指标之间出现矛盾,需要对判断矩阵进行一致性检验,一致性指标 CI 的计算式为

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

CI 的值与一致性的好坏成反比,通过一致性检验可知 CI 的阈值随 n 值而不同, CI 的阈值为 0.141。

最后,计算评价指标的权重。确定当前层指标对上级指标的权值,并利用一致性检验公式作一致性检验,如果通过检验则可以将其作为权重,否则需要重新对判断矩阵进行组合。

层次分析法计算简单,将不确定性问题量化,在构造判断矩阵时充分借鉴了专家的经验,融入了很多客观信息无法反映的主观信息。层次分析法主要体现主观评价,偏向于定性分析,由此确定的权重被称为主观权重。但如果只通过层次分析法确定权重则只采纳了专家的主观意见,往往将一些客观存在的定量化的信息直接忽视掉了,导致指标权重计算出现偏差。

(2) 熵权法。熵的概念于 1948 年由美国数学家 Shannon 最早提出,主要用于对不确定性进行度量,对于某个评价指标来说,如果包含的信息越丰富,则评价的不确定性就

越低,这种不确定性通常称为该指标的变异程度。用符号 E_j 来表示信息熵,某个评价指标信息熵与信息量成反比,信息熵的值越小表示该指标所包含的信息量越大,相对应该指标所占的权重也越大,对最终评价结果影响也越大。

熵权法根据信息熵 E_j 的大小确定该评价指标权值大小,其主要步骤如下。

首先,将数据标准化。对任意评价指标 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 其中 $\mathbf{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$, 对向量 \mathbf{X}_i 进行标准化的方法很多,常用的标准化方法包括 Min - Max 标准化、z - score 标准化、归一化方法。假设 $\mathbf{Y}_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im})$ 是将指标 \mathbf{X}_i 标准化后的数据。

其次,计算信息熵 E_j 。 $\mathbf{Y}_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im})$ 的信息熵 E_j 的计算式为^[14]

$$E_j = -\ln(m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$$

式中: $p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^m Y_{ij}$; 当 $p_{ij} = 0$ 时, 则

$$\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$$

最后,计算评价指标权重,根据信息熵 E_j 的计算方法,得到 n 个评价指标的信息熵 E_1, E_2, \dots, E_n , 每个评价指标的熵权计算式为

$$W_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j}$$

熵权法具有严格数学意义和数学规律,能够充分反映评价指标的客观信息,由此确定的权重也称为客观权重。熵权法能够有效避免赋予指标权重时的主观性,这恰恰也是熵权法的局限性,往往会忽略决策者的经验。

(3)组合赋权法。建筑施工现场安全事故的发生在理论上是存在确定概率的,且受多方不确定性因素制约。评价指标既具有客观性,同时也需要借助专家的丰富经验进行主观判断。因此,无论采用层次分析法还是熵权法都无法完全反映评价指标的真实权重。一个自然的想法就是将两种权值方法进行有机结合,使其既能反映主观权重,也能反映客观权重,组合赋权法便是遵循这样的思路。首先,对构造的判断矩阵采用层次分析

法和熵权法分别计算出主观权重和客观权重;其次,对主观权重和客观权重分别乘以分配系数;最后,将乘以分配系数的主观权重和客观权重组合在一起,得到结合了主观信息和客观信息的组合权值。

组合赋权法的主要研究对象是标准化的模糊判断矩阵。对于一个构造好的模糊判断矩阵 $\mathbf{R} = (r_{ij})$, 首先根据层次分析法确定主观权重,记为 W'_j 。然后根据信息熵的计算公式计算出每个评价指标的信息熵 E_j , 带入到熵权计算公式,即求得第 j 个指标的客观权重 W''_j 。将熵权法求出的客观权值 W''_j 和层次分析法求出的主观权重 W'_j 结合起来,得到第 j 个下层评价指标 W_j 。

定义主客观权值之间距离表示二者的差异为

$$d(W'_j, W''_j) = \left[\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (W'_j - W''_j) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_j = \alpha W'_j + \beta W''_j$$

其中, W_j 为 W'_j 和 W''_j 线性相加;为了使得距离函数和由 α, β 表示的分配系数保持一致, α, β 需要满足

$$d(W'_j, W''_j)^2 = (\alpha - \beta)^2$$

$$\alpha + \beta = 1$$

联立两式,即可得到 α, β 的值,进而求得 W_j , 即可得到新的融合了主客观信息的综合权重 W_j 。这样确定的第一层评价指标权重能够充分挖掘客观信息,克服人为因素干扰,排除奇异数据,更加接近真实权重。

二、基于组合赋权的模糊综合评价方法实例

对北京住总集团有限责任公司第六开发建设有限公司承建的房建工程项目进行跟踪调查,该项目地下2层,地上23层,施工期间需对该项目的现场安全状况进行细致评估。评估方法采用模糊综合评价法,各个层次指标权重分别采用组合赋权法及层次分析法确定,其他步骤保持一致,以此作为对照,来分析基于组合赋权法权重计算方法的有效性。

1. 确定施工作业评价指标的层次结构

将评价指标分为3个不同层次:目标层、

决策层、分析层。目标层即为需要实现的最
后评价目标;决策层为实现评价目标涉及的
中间环节;分析层则表现为最底层的各种措
施、方案。施工作业现场安全评估指标体系
的确定主要依据《建筑施工安全检查标准》

(JGJ59—2011) 的规定,将一级指标即目标
层定为施工作业现场安全状况;二级指标即
决策层定为施工现场安全防护、劳动保护、文
明施工、安全管理;三级指标分析层则包含多
个因素(见图 1)。

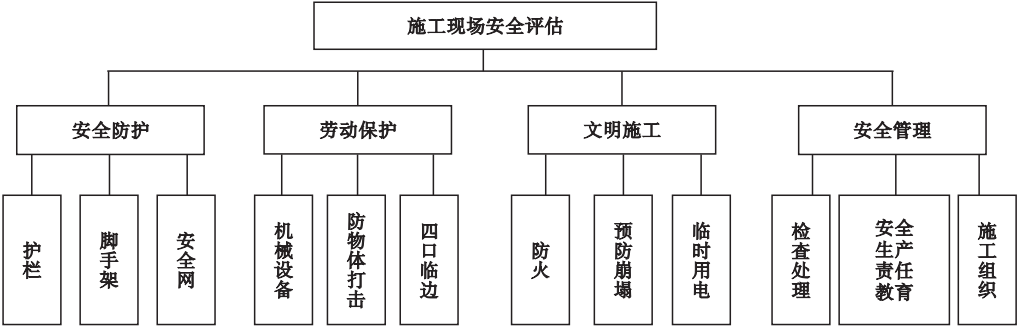


图 1 施工作业现场安全评估指标体系

2. 建立模糊判断矩阵

建立前一层指标与后一层指标之间重要
性的比较,从而确定模糊判断矩阵 R 。这一步
需要结合专家经验知识,对同一层中指标相对
上一层指标的重要性进行比较,以此作为判断
矩阵的元素,用 r_{ij} 表示判断矩阵的元素, r_{ij} 的
取值遵循 0.1~0.9 标度量规则(见表 1)。

表 1 0.1~0.9 标度及含义

重要性标度	定义
0.5	两个元素重要性是相同的
0.6	一个元素比另一个元素稍微重要
0.7	一个元素比另一个元素明显重要
0.8	一个元素比另一个元素重要得多
0.9	一个元素比另一个元素极端重要
0.1	
0.2	若元素 a_i 与 a_j 相比较,得到判断为 r_{ij} ,那么元
0.3	素 a_j 与 a_i 相比较得到的判断为 $r_{ji}=1-r_{ij}$
0.4	

根据表 1 的标度规则,由专家打分,确定
模糊判断矩阵 R ,以“护栏”评价指标为例,
确定“护栏”的模糊判断矩阵,通过德尔菲方
法^[15-16],经过专家两两比较后确定判断矩阵
的各个元素,得到模糊判断矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 \\ 0.4 & 0.5 & 0.7 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

3. 确定评价指标权重

以每一层评价指标所建立的模糊判断矩

阵为研究对象,采用组合赋权法计算各个层
次评价指标权重。与此同时,作为对照实验
组,采用层次分析法来确定各层评价指标的
权重。采用组合赋权法和层次分析法确定的
各层指标权重计算结果如表 2 所示。

4. 确定最后评价结果

通过表 2 可知,由“立杆基础”“空档间
距”以及“捆绑”组成对“护栏”安全状况的 3
个评价指标,这个 3 个指标分别对应 $\mu_1, \mu_2,$
 μ_3 。与之相对应的安全状况等级包含 6 个等
级,分别是特别安全、安全、较安全、临界、危
险、很危险。“护栏”的 3 个影响因子决定护
栏 6 种状态等级,3 个影响因子对 6 种状态
等级具有相对应的隶属度 $V=[v_1, v_2, v_3, v_4,$
 $v_5, v_6]$ 。为了确定“护栏”的 3 个影响因子对
这 6 个等级的隶属度,采用经验法根据计算
出来的权重来确定隶属度,总共由 8 位专家
进行评价,有 0% 的专家的评价结果为“特别
安全”;25% 的专家的评价结果为“安全”;
50% 的专家的评价结果为“较安全”;25% 的
专家的评价结果为“临界”;0% 的专家的评价
结果“很危险”或危险,由此可以得到 μ_1
的隶属度为

$$r_1 = [0, 0.250, 0.500, 0.250, 0, 0]$$

同样可以得到 μ_2, μ_3 对 6 个评价等级的
隶属度为

$$r_2 = [0, 0.125, 0.250, 0.625, 0, 0]$$

表 2 多层次模糊综合评价指标权重计算结果对比

目标层	决策层因素	分析层因素	底层因素
施 工 作 业 现 场 安 全 状 况	现场安全防护(26/22)	护栏(36/41)	捆绑(51/42)
			立杆基础(23/28)
			空档间距(26/30)
		脚手架(32/32)	搭接(42/37)
			材料(25/22)
			受力(33/41)
		安全网(32/27)	网质(34/23)
			施工高度(43/48)
			首层安全网(23/29)
	劳动保护(34/26)	机械设备(29/33)	车辆(43/43)
			塔吊(30/26)
			小型机械(27/31)
		防物体打击(37/26)	作业人员保护设施设备(26/17)
			作业面防护(35/36)
			材料堆放(39/47)
			临边防护(24/27)
		四口、临边防护(34/41)	预留口、通道口(34/35)
			楼梯、电梯(32/38)
	文明施工(24/32)	防火(26/26)	消防器材(35/38)
			临时建筑防火(38/37)
			易燃易爆管理(27/25)
		坍塌预防(27/32)	模板、脚手架(31/23)
			基坑、围挡(35/32)
			临时设施(34/45)
		临时用电(47/42)	高低压(42/42)
			手持电动工具(24/26)
			线路架设(24/32)
	安全管理(16/20)	检查处理(43/53)	检查员配置(28/22)
			检查项目(43/46)
			隐患处理(29/32)
		安全生产责任以及教育(15/22)	特种作业(32/33)
			部门责任制(40/51)
			安全教育(28/16)
		施工组织(32/25)	班前活动(31/24)
			安全措施(33/22)
			技术交底(36/54)

注:括号内数值表示组合赋权法与层次分析法权重比值。

$r_3 = [0,0.125,0.375,0.500,0,0]$

由此可以建立由“护栏”的 3 个评价指

标 μ_1,μ_2,μ_3 ,对评价等级隶属度所构成的隶

属关系矩阵

$$R'_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0.250 & 0.625 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0.375 & 0.500 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由表 2 可知,由组合赋权法确定的“护栏”3 个评价指标权重向量分别为 $A_1 = (0.51, 0.23, 0.26)$ 。对各个指标进行综合评价,记“护栏”对评价等级的隶属度向量为 B_1 ,则

$$B_1 = A_1 R'_1 = (b_1, b_2, \cdots, b_m)$$

对于 b_j 的计算采用加权平均的方法,即

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}, j = 1, 2, \cdots, m$$

其中, A_1 和 R'_1 已求出,因此

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0.51 \\ 0.23 \\ 0.26 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 & 0.250 & 0.500 & 0.250 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0.250 & 0.625 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0.375 & 0.500 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0, 0.189, 0.410, 0.401, 0, 0]$$

同理可得“脚手架”“安全网”对评价指标的隶属度向量,计算结果为

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0.42 \\ 0.25 \\ 0.33 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 & 0.250 & 0.625 & 0.125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.625 & 0.375 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0.625 & 0.250 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0, 0.146, 0.625, 0.229, 0, 0]$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 0.34 \\ 0.43 \\ 0.23 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 & 0.125 & 0.375 & 0.500 & 0 & 0 \\ 0 & 0.250 & 0.125 & 0.625 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0.375 & 0.500 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0, 0.178, 0.268, 0.554, 0, 0]$$

将“护栏”“脚手架”“安全网”对评价等级的隶属度向量组合在一起,形成计算决策层“现场安全防护”对 6 个评价等级隶属度矩阵的 R''_1 。权重从表 2 中可得,“现场安全防护”对评价等级的隶属度向量为

$$B_1^* = \begin{bmatrix} 0.36 \\ 0.32 \\ 0.32 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 & 0.189 & 0.410 & 0.401 & 0 & 0 \\ 0 & 0.146 & 0.625 & 0.229 & 0 & 0 \\ 0 & 0.178 & 0.268 & 0.554 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0, 0.172, 0.433, 0.395, 0, 0]$$

同理得三级评价指标机械设备、防打击、四口临边防护对评价等级的隶属度,分别用 C_1, C_2, C_3 来表示,即

$$C_1 = [0, 0.272, 0.472, 0.266, 0, 0]$$

$$C_2 = [0, 0.215, 0.431, 0.354, 0, 0]$$

$$C_3 = [0, 0.136, 0.423, 0.441, 0, 0]$$

二级评价指标“劳动保护”对各个评价等级的隶属度为

$$C_1^* = \begin{bmatrix} 0.29 \\ 0.37 \\ 0.34 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 & 0.272 & 0.472 & 0.266 & 0 & 0 \\ 0 & 0.215 & 0.431 & 0.354 & 0 & 0 \\ 0 & 0.136 & 0.423 & 0.441 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0, 0.202, 0.440, 0.358, 0, 0]$$

同理得“预防坍塌”“临时用电”“防火”对评价等级的隶属度,分别用 D_1, D_2, D_3 来表示,即

$$D_1 = [0, 0.207, 0.379, 0.514, 0, 0]$$

$$D_2 = [0, 0.242, 0.327, 0.421, 0, 0]$$

$$D_3 = [0, 0.246, 0.404, 0.350, 0, 0]$$

二级评价指标“文明施工”模糊综合评价对各个评价等级的隶属度为

$$D_1^* = \begin{bmatrix} 0.16 \\ 0.27 \\ 0.57 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 & 0.207 & 0.379 & 0.514 & 0 & 0 \\ 0 & 0.242 & 0.327 & 0.421 & 0 & 0 \\ 0 & 0.246 & 0.404 & 0.350 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0, 0.227, 0.378, 0.395, 0, 0]$$

同理得“检查处理”“安全生产责任以及教育”“施工组织”对评价等级的隶属度向量,分别用 E_1, E_2, E_3 来表示,即

$$E_1 = [0, 0.221, 0.464, 0.315, 0, 0]$$

$$E_2 = [0, 0.207, 0.506, 0.287, 0, 0]$$

$$E_3 = [0, 0.195, 0.476, 0.329, 0, 0]$$

二级评价指标“安全管理”对评价等级的隶属度为

$$E_1^* = \begin{bmatrix} 0.43 \\ 0.25 \\ 0.32 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 & 0.221 & 0.464 & 0.315 & 0 & 0 \\ 0 & 0.207 & 0.506 & 0.287 & 0 & 0 \\ 0 & 0.195 & 0.476 & 0.329 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0, 0.209, 0.478, 0.313, 0, 0]$$

二级评价指标的隶属度向量组成隶属度矩阵 R''_1 。因此,可得到一级评价指标“施工作业现场安全状况”对 6 个评价等级的隶属度向量为

$$B^{**} = \begin{bmatrix} 0.26 \\ 0.34 \\ 0.24 \\ 0.16 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0 & 0.172 & 0.433 & 0.395 & 0 & 0 \\ 0 & 0.202 & 0.440 & 0.358 & 0 & 0 \\ 0 & 0.227 & 0.378 & 0.395 & 0 & 0 \\ 0 & 0.209 & 0.478 & 0.313 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

[0,0.201,0.429,0.370,0,0]

为6个评价等级分配成绩区间,每个等级参数设为成绩区间的下限,从而进一步对模糊综合评价法进行量化处理,确定评价分数(见表3)。

表3 等级参数表

等级	评语	成绩区间	等级参数
1	特别安全	[90-100]	90
2	安全	[80-90)	80
3	较安全	[60-80)	60
4	临界	[40-60)	40
5	危险	[20-40)	20
6	很危险	[10-20)	10

从表3可知,6个评价等级所对应的参数向量为 $V = [90, 80, 60, 40, 20, 10]^T$ 。因此,采用基于组合赋权法的模糊综合评价模型所对应的评分为

$N_1 = B^{**} \times V = [0, 0.201, 0.429, 0.370, 0, 0] \times [90, 80, 60, 40, 20, 10]^T = 56.62$

将权值计算结果替换为层次分析法计算出来的结果,得到一级评价指标“施工作业现场安全状况”对6个评价等级的隶属度向量为

$B^{**'} = [0, 0.340, 0.435, 0.225, 0, 0]$

从表3可知,6个评价等级所对应的参数向量为 $V = [90, 80, 60, 40, 20, 10]^T$ 。因此,基于层次分析的模糊综合评价模型所对应的评分为

$N_2 = B^{*'} \times V = [0, 0.340, 0.435, 0.225, 0, 0] \times [90, 80, 60, 40, 20, 10]^T = 62.30$

三、结果分析

根据采用AHP模糊综合评价法计算出来的结果可知,对该工程项目施工现场安全

状况的评价为安全;而基于组合赋权法的模糊综合评价法对该工程项目施工现场安全状况的评价为处于临界状态,其安全评级要比AHP模糊综合评价模型的评价结果低一级。而现场实际考察也发现了诸多问题,此后也发生诸如脚手架松动、小规模火灾等事故,说明基于组合赋权法的模糊综合评价法在应用于建筑施工现场安全状况综合评估时具有良好的适用性,能够得到较为准确的评估结果。

四、结 语

结合实际工程项目,对多层次模糊综合评价法中权重计算方法进行了改进,各个层次评价指标采用层次法和熵权法分别计算主观权重和客观权重,然后进行组合,得到结合主观信息和客观信息的权重。与采用层次分析法确定权重的模糊综合评价方法进行对比后发现,采用组合赋权法的模糊综合评价模型对建筑施工作业现场的实际安全状况评估能够更好的反映客观事实,模型可信度较高,操作性较强,具有一定的实际应用价值。

参考文献:

[1] 国家安全生产监督管理总局. 2016 年各地区、各行业(领域)安全生产控制指标实施情况表[J]. 劳动保护, 2016(9): 54-55.

[2] 卢岚, 杨静, 秦嵩. 建筑施工现场安全综合评价研究[J]. 土木工程学报, 2003, 36(9): 47-50.

[3] 张健, 王晓新, 蔡亮, 等. 建筑施工现场安全评价指标与权重值确立[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2012, 28(3): 486-490.

[4] 张健, 随杰明. 工程施工现场安全评价方法的研究与应用[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2009, 25(2): 308-311.

[5] 王根霞, 张海蛟, 王祖和. 基于风险偏好信息的建筑施工现场安全评价指标权重[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(11): 2867-2873.

[6] 常春光, 李婉, 许明. 基于模糊综合评判的建筑生产安全事故预警方法[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2014(2): 182-188.

[7] 廖斌. 基于 AHP 的模糊综合评价法在建筑施工安全评价中的应用[J]. 中国安全生产科学技术,2013,9(10):173-176.

[8] 程启月. 评测指标权重确定的结构熵权法[J]. 系统工程理论与实践,2010,30(7):1225-1228.

[9] 于丹,张搏,许春东. 基于熵权的改进可拓评价方法在地下水水质评价中的应用[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2017(1):127-133.

[10] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学出版社,2000.

[11] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学,2000,14(2):80-88.

[12] BUCKLEY J J. Fuzzy hierarchy analysis[J]. Fuzzy sets and systems,1985,17:233-247.

[13] SAATY T L. Applications of analytical hierarchies[J]. Mathematics and computers in simulation,1979,21(1):1-20.

[14] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛. 组合赋权法确定地质灾害危险性评价指标权重[J]. 地下空间与工程学报,2006,6(2):1063-1075.

[15] 刘长明,刘海萍,唐蒙. 应用德尔菲方法的实践与改进[J]. 科学与管理,1994,14(3):53-55.

[16] 徐蔼婷. 德尔菲法的应用及其难点[J]. 中国统计,2006(9):57-60.

Comprehensive Evaluation of Construction Site Safety Based on Combination Weighting Method

SHAN Renliang, NING Hailong, LI Jianfang
(School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing, Beijing 100081, China)

Abstract: With the rapid development of China's construction industry, the protection of on-site construction safety has gradually become an important research topic. Multi-level fuzzy comprehensive evaluation method is often used in comprehensive safety evaluation of construction site, and how to determine a reasonable weight of evaluation index is a key issue. In this paper, a fuzzy comprehensive evaluation model based on combination weighting method is proposed the writer to comprehensively evaluate the safety status of the construction site, and a multi-level safety evaluation index system is established. The subjective weight and objective weight of the evaluation index are calculated respectively by AHP and entropy weight method combining the two weights to obtain the new weight combined with the subjective and objective factors to determine the final evaluation result. Combined with the engineering examples, the fuzzy comprehensive evaluation model based on the combination weighting method is used to evaluate the site safety status of a construction site in Beijing. The evaluation results are compared to the AHP fuzzy comprehensive evaluation method and further verify the practicability of fuzzy comprehensive evaluation model based on combination weighting method to the safety evaluation of construction site.

Key words: fuzzy comprehensive evaluation method; analytic hierarchy process; entropy method; combination weighting