

# 基于未确知测度的装配式建筑 施工安全风险评价

刘 娇,苑俊丽,常春光

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**基于对目前装配式建筑施工安全风险的研究,采用层次分析与信息熵相结合的方法得出指标权;运用未确知测度模型对装配式建筑施工安全风险评价进行分析,依照置信度识别准则判断其风险等级,为今后装配式建筑施工安全风险评价研究提供参考,降低装配式建筑施工安全风险。

**关键词:**装配式建筑;未确知测度;施工安全;风险评价

**中图分类号:**TU714

**文献标志码:**A

随着经济的稳步发展,城镇化建设不断推进,我国建筑行业进入新的发展阶段。传统建筑行业不仅无法满足建筑产业快速发展的需求,还为社会带来环境、能源等问题。面对如此严峻的形势,大力发展装配式建筑势在必行。但由于我国装配式建筑起步较晚、技术不够成熟、预制率低等原因,施工过程中的安全问题还存在大量风险,如果施工过程中的风险因素不能准确辨别,将会为各方带来不可估量的经济损失,甚至危及生命。因此,施工安全风险问题已不容忽视。国外许多国家已出台了与本国国情相适应的装配式住宅设计规范等,而我国对于装配式建筑施工安全风险评价研究还未深入,在装配式建筑施工安全风险方面的研究任重而道远。

## 一、建筑施工风险评价研究现状

国外装配式建筑起步较早,预制率高,具有相关政策和相应的行业规范标准,对建筑施工安全风险研究比较广泛。在工业发达的

欧美国家的安全评价中,主要应用定量的安全评价方法,比如危险指数评价法、概率风险评价法等<sup>[1]</sup>;M. H. FABER<sup>[2]</sup>非常注重工程项目的安全和风险问题,分析了风险管理中常用的方法及在土木工程中的实际应用;A. J. OSAMA<sup>[3]</sup>以承包商的视角,对于某国家某些公共设施工程的基坑或沟槽施工中可能存在的安全风险进行辨识和解读,并提出控制措施。

国内学者对装配式建筑施工安全风险评价的研究较少,主要参考了相关施工安全方面的研究。齐宝库等<sup>[4-5]</sup>结合装配式建筑的特点,建立装配式施工质量评估体系,运用模糊层次分析法对装配式建筑施工质量进行评估,将BIM技术引入装配式建筑全寿命周期管理中,具有巨大的应用前景;田黎<sup>[6]</sup>有针对性地分析了预制构件现场拼装的技术风险与施工安全风险,为管理人员对预制装配式住宅的风险分析提供参考;孟英辉等<sup>[7]</sup>通过博弈理论与优化未确知测度理论相结合的方法

收稿日期:2017-04-13

基金项目:国家自然科学基金项目(51678375);辽宁省自然科学基金项目(2015020603,201602604)

作者简介:刘娇(1972—),女,辽宁台安人,教授。

法,对建筑安全进行评价,结果符合实际,为建筑安全管理提供指导;郑超欣等<sup>[8]</sup>运用未确知测度理论创建评价模型,对高层建筑施工安全风险进行评价,发现施工安全风险最大问题,并实施重点控制;刘敦文等<sup>[9]</sup>建立了特长隧道施工风险评价模型,利用未确知测度模型,客观地反映施工过程中危险源的情况;何虎军等<sup>[10]</sup>通过建立运用未确知测度函数,对崩塌危险性进行评价,结果符合实际;陈伟等<sup>[11]</sup>建立层次分析-灰色聚类评价模型,对识别出的装配式建筑安全风险因素进行评价,并提出相应的措施,降低风险的发生。基于此,笔者将结合装配式建筑相关研究和未确知测度评价模型的研究,提出未确知测度模型,对装配式建筑施工安全风险因素进行评价。

## 二、未确知测度理论

### 1. 未确知测度的界定

设有  $n$  个评价因素构成的评价空间  $X$ , 则评价空间  $X$  表示为  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 。某个评价因素  $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$  是由  $m$  个评价指标构成,  $m$  指标由  $I_1, I_2, \dots, I_m$  组成, 则用  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$  表示指标空间。测量值表示为  $X_{ij}$ , 其含义为第  $i$  个评价因素  $X_i$  中第  $j (j = 1, 2, \dots, m)$  个评价指标  $I_j$  的值, 则  $X_i$  用  $m$  维向量表示为  $X_i = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{im}]$ 。

若  $X_{ij}$  有  $P$  个评价等级  $C_1, C_2, \dots, C_p$  组成的评价等级空间  $U$ , 则:  $U = \{C_1, C_2, \dots, C_p\}$  且  $C_i \cap C_j = \varnothing (i \neq j, j = 1, 2, \dots, m)$ ,  $\varnothing$  表示空集。用  $C_k$  表示第  $k$  个评价等级, 在装配式建筑施工安全风险评价中, 认为  $C_1$  优于  $C_2, C_2$  优于  $C_3, \dots, C_k$  优于  $C_{k+1} (k = 1, 2, \dots, P - 1)$ , 得到  $C_1 > C_2 > \dots > C_p$ , 则认为在评价过程中, 前边的安全等级比后边安全等级高。

### 2. 未确知测度函数构造

构造单指标测度函数时, 可选择直线型、指数型、抛物线型和正弦型等函数。直线型函数相对简单, 应用较广泛。因此, 采用直线型分布来表达未确知测度函数, 函数图像如图 1 所示。

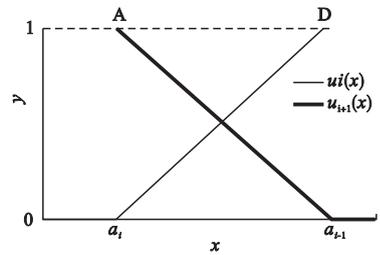


图 1 直线型函数分布图

### 3. 单指标测度

若测量值  $X_{ij}$  属于第  $k$  个等级  $C_k$  的程度为  $u_{ijk} = u(x_{ij} \in C_k)$ , 且满足:

$$0 \leq \mu(x_{ij} \in C_k) \leq 1, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, p \tag{1}$$

$$\mu(x_{ij} \in C_k) = 1, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \tag{2}$$

$u_{ijk}$  为未确知测度, 对象  $Q_i$  的单指标测度评价矩阵为

$$u(x_{ij} \in \bigcup_{l=1}^k C_l) = \sum_{l=1}^k u(x_{ij} \in C_l), k = 1, 2, \dots, p \tag{3}$$

其中, 式(2)称为  $u$  对评价空间  $U$  满足“归一性”; 式(3)称为  $u$  对评价空间  $U$  “可加性”; 如果同时满足式(1)、(2)和(3), 则称  $u$  为未确知测度 (uncertainty measure), 简称测度<sup>[12-13]</sup>。

称矩阵  $(u_{ijk})_{m \times p}$  为单指标测度评价矩阵, 且有:

$$(u_{ijk})_{m \times p} = \begin{bmatrix} u_{i11} & u_{i12} & \dots & u_{i1p} \\ u_{i21} & u_{i22} & \dots & u_{i2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{im1} & u_{im2} & \dots & u_{imp} \end{bmatrix} \tag{4}$$

### 4. 评价指标权重确定

利用层次分析法-信息熵确定评价指标的权重。层次分析法(AHP)能够结合定性与定量方法解析评价指标。首先分析问题, 明确各要素之间的因果关系, 对同一层级的要素进行两两对比, 并根据评定尺度确定其重要程度, 据此建立判断矩阵并赋值, 最后通过计算确定各要素的相对重要程度并进行检验。运用熵权法确定的指标权重大小取决于该指标值的差异程度, 差异程度越大, 说明该指标包含的信息量越多, 对整体的影响也越

大,权重就越大,反之亦然。熵权法通过建立评价指标的判断矩阵来计算各指标的权重值。前者好处是简单易行,但主观性强;后者相对客观,但准确性差。在实际应用中,可将两种方法结合来确定指标权重,笔者采用信息熵确定二级评价指标的权重,用 AHP 法确定一级评价指标的权重。

(1) AHP 法确定一级指标权重。层次分析计算流程图如图 2 所示。其中,  $a_{ij} = u_i$  表示在  $C$  下的重要性/ $u_j$  在  $C$  下的重要性。

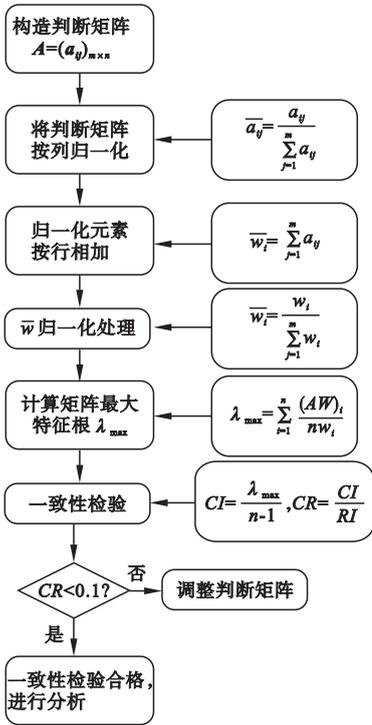


图 2 AHP 法计算流程图

(2) 信息熵确定二级指标权重。设  $w_{ij}$  表示第  $i$  个评价对象第  $j$  个指标与其他指标相比具有的相对重要程度,确定权重,即

$$v_j = 1 + \frac{1}{\log p} \sum_{k=1}^p u_{ijk} \log u_{ijk} \quad (5)$$

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (6)$$

因为  $0 \leq w_{ij} \leq 1$ ,  $\sum_{j=1}^k w_{ij} = 1$ , 这样,  $w_{ij}$  越大,  $I_j$  对识别样本类别越重要,故权重向量为  $W_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im})^T$  (7) 可作为属性  $I_j$  的权重。

### 5. 多指标测度

根据已确定的指标权重,得到评价对象的多指标综合测度

$$u_{ik} = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} u_{ijk}, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, p \quad (8)$$

其中,当  $0 \leq u \leq 1$  时,  $\sum_{k=1}^p u_{ik} = 1$ , 则称  $u_{ik}$  为未确知测度,  $[u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ip}]$  为  $x_i$  的多指标综合测度评价向量。

### 6. 置信度识别准则

若  $C_1 > C_2 > \dots > C_p$ , 通过置信度识别准则,设  $\lambda$  为置信度 ( $\lambda \geq 0.5$ , 通常取  $\lambda = 0.6$ )

$$k_0 = \min \left( \sum_{l=1}^k u_{il} \geq \lambda, 1 \leq l \leq k \right) \quad (9)$$

则认为  $x_i$  属于  $C_{k_0}$ 。

## 三、构建评价指标体系

### 1. 评价指标体系构建原则

(1) 科学性原则。装配式建筑施工安全风险评价指标的选取应满足代表性和完整性,能够真实客观地反映装配式建筑整个施工过程中存在的风险问题,每一项指标都科学准确地体现装配式建筑风险的特点。通过反复调研统计,了解每项指标真实含义,遵循评价指标体系构建的科学性原则,准确地选出装配式建筑施工安全风险评价指标因素,只有这样才能科学地评价施工过程中的风险情况。

(2) 全面性原则。装配式建筑施工安全风险评价应该是综合评价,其评价指标体系应包含多个评价对象,每一评价对象可能存在多个风险因素,构建评价指标体系时,应全面考虑每一个存在的风险因素,尽量做到不遗漏,然后根据施工工序和特点,将其总结归类,选出具有代表性且能够反映风险内容的评价指标。

(3) 可操作性原则。风险评价指标体系应满足可操作性的要求,尽可能简洁、通俗、清晰,符合实际。指标体系的构建要结合装配式建筑施工特点,选择具有代表的关键指标,避免指标繁冗,使问题复杂化。同时,选

取的指标可量化,应具有可操作性,能通过专家评分或统计数据等方法得到量化数值,保证评价工作有效进行。

(4)动态性原则。装配式建筑施工阶段持续时间较长,因此,在选取指标时需要具有一定的稳定性。但是,由于施工阶段是复杂的过程,影响施工顺利实施的因素比较多,且各种因素在不断变化着,需要根据新情况、新问题对指标体系进行调整。因此,风险评价指标体系需要跟随施工阶段情况的变化做出相应变动,以满足对施工阶段风险评价的要求。

(5)系统性原则。装配式建筑施工安全风险评价指标体系是一个多层次相互关联、相互约束的复杂系统,“系统性”要求在构建评价指标体系时坚持整体性、全局性,不能简

单地从某个方面加以评价,评价指标体系应以系统整体目标的优化为准绳,且每一级指标的目标相同,每个指标又具有独立性。

## 2. 指标体系的构建

安全风险评价指标体系是安全风险等级评估工作的基石,指标选取的合理性将直接对综合评价结果造成影响。目前,装配式建筑施工安全风险因素在很多,主要分为人为风险、物的风险、管理风险、技术风险和环境影响5个方面。装配式建筑施工安全风险评价指标如表1所示,将这些风险评价指标分级标准化,每个指标分为5级,评判集为 $\{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$ ,即I、II、III、IV、V级,分别表示很安全、安全、一般安全、不安全、非常不安全。

表1 装配式建筑施工安全风险因素

一级指标	二级指标	备注
人为风险 $I_1$	安全意识淡薄 $I_{11}$	工人专业操作水平、吊车司机操作水平
	缺乏责任心 $I_{12}$	
	违章作业 $I_{13}$	
	操作技术水平欠缺 $I_{14}$	
物的风险 $I_2$	临时支撑不牢固 $I_{21}$	吊装机械设备、运输设备等
	设备选择不当 $I_{22}$	
	预制构件强度不够 $I_{23}$	
	预制构件精度不够 $I_{24}$	
	无作业平台 $I_{25}$	
管理风险 $I_3$	安全管理制度建立及执行不够 $I_{31}$	现场工作检查、风险控制等 高处作业外围防护、外悬挑防护等 未放置在指定堆放管理区 大型构件堆码支撑、构件运输临时支撑等 如超载吊运等
	缺乏现场风险管理 $I_{32}$	
	防护措施不当 $I_{33}$	
	PC构件堆放不当 $I_{34}$	
	塔吊交叉干扰碰撞 $I_{35}$	
	无支撑措施 $I_{36}$	
	吊装安全 $I_{37}$	
技术风险 $I_4$	构件定位技术不成熟 $I_{41}$	外墙连接技术、构件连接节点技术等 构件安全防护设计、预留预埋件设计等
	链接技术不成熟 $I_{42}$	
	设计不合理 $I_{43}$	
	安全检测技术不到位 $I_{44}$	
环境风险 $I_5$	自然环境不良 $I_{51}$	天气、气候条件等不良引起的作业失误等
	现场道路状况不良 $I_{52}$	
	构件运输环境 $I_{53}$	
	安全标准政策环境 $I_{54}$	

## 四、实例研究——丽水新城项目

### 1. 工程概况及评分

丽水新城三期项目位于沈阳浑南区南塔

街道南大甸子村,南侧紧邻高速东辅道,西接地铁二号线车辆厂,是政府投资建设的保障房工程。项目占地面积  $0.0437 \text{ km}^2$ ,总建筑面积  $0.0692 \text{ km}^2$ ,其中,地上建筑面积为

0.065 9 km<sup>2</sup>,地下建筑面积0.003 2 km<sup>2</sup>。其中包括 1 026 户住宅(公租房),建筑面积 0.046 2 km<sup>2</sup>,商业建筑面积 0.016 km<sup>2</sup>,物业及社区用房建筑面积 0.000 6 km<sup>2</sup>,幼儿园建筑面积 0.002 7 km<sup>2</sup>。其中,3 号~9 号楼采用装配式建筑建设。笔者主要针对 7 号楼施工过程进行研究,其建筑面积为

0.008 1 km<sup>2</sup>。4~15 层为装配式建筑,其预制率为 23%。通过对 7 号楼施工过程中大量危险源的研究,并结合学者研究的成果,筛选出代表性强的评价指标,并结合工程实例的具体情况,运用赋值的方法将其量化,每级设置一个取值标准及专家打分赋值如表 2 所示。

表 2 评价指标的等级标准及调查统计表

评价指标 安全级别	很安全 (C <sub>1</sub> )	安全 (C <sub>2</sub> )	一般安全 (C <sub>3</sub> )	不安全 (C <sub>4</sub> )	非常不安全 (C <sub>5</sub> )	评价指 标赋值
I <sub>11</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	6.3
I <sub>12</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	7.2
I <sub>13</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	6.5
I <sub>14</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	8.1
I <sub>21</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	67
I <sub>22</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	66
I <sub>23</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	70
I <sub>24</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	78
I <sub>25</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	75
I <sub>31</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	8.0
I <sub>32</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	6.8
I <sub>33</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	73
I <sub>34</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	76
I <sub>35</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	79
I <sub>36</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	80
I <sub>37</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	8.3
I <sub>41</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	74
I <sub>42</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	85
I <sub>43</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	83
I <sub>44</sub>	≥90	80~90	70~80	60~70	≤60	87
I <sub>51</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	7.5
I <sub>52</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	7.8
I <sub>53</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	8.0
I <sub>54</sub>	≥9	7~9	5~7	3~5	≤3	8.7

2. 未确知测度函数

根据表 2 构造出未确知测度函数,如图 3、图 4 所示。

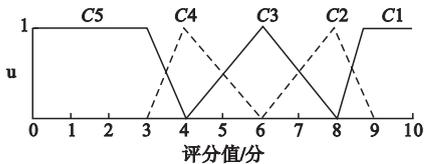


图 3 十分制评价指标的未确知测度函数

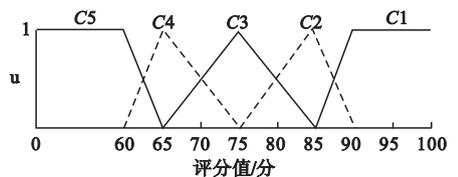


图 4 百分制评价指标的未确知测度函数

参照表 2 中给出的数据及图 2、图 3 求出单指标未确知测度评价矩阵为

$$u_{jk} = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

根据图2及式(5)、(6)确定指标权重  $w_{ij} = (0.032\ 4, 0.035\ 2, 0.062\ 9, 0.032\ 3, 0.043\ 4, 0.050\ 2, 0.035\ 8, 0.039\ 0, 0.062\ 9, 0.040\ 5, 0.043\ 2, 0.046\ 7, 0.052\ 4, 0.040\ 5, 0.046\ 7, 0.052\ 4, 0.062\ 9, 0.034\ 3, 0.024\ 4, 0.062\ 9, 0.035\ 2, 0.031\ 4, 0.032\ 4)$

根据式(8)计算出多指标综合测度矩阵  $u_{ik} = (0.015\ 7, 0.153\ 2, 0.454\ 3, 0.376\ 8, 0)$

### 3. 结果分析

最后,根据综合测度矩阵对评价对象  $x$  进行识别和排序,取置信度  $\lambda = 0.6$ , 求出  $\lambda = 0.015\ 7 + 0.153\ 2 + 0.454\ 3 = 0.623\ 2 > 0.6$ , 得出  $x \in C_3$ 。所以,丽水新城三期项目目前施工安全风险等级为Ⅲ级,安全风险一般。

### 4. 控制措施

(1)人为风险。将责任个体化,不仅能加强施工人员和管理人员的责任心,也让员工了解责任心在施工过程中的重要性,提高责任意

识;定期进行教育和专业技能培训,增强施工及管理人员的安全意识;装配式建筑施工技术不成熟是导致施工安全风险的一大原因,聘请资深专家和施工技术成熟的技术员进行现场指导,增强工人的操作技术水平,降低施工技术带来的风险;设置安全奖励机制,以此加强施工过程中的工人防护措施,减小人为风险。

(2)物的风险。提升预制构件的质量水平,加强预制构件的强度、精度等,使预埋构件的偏差最小;构件厂生产可引进国外的先进技术,严格按照规范进行生产;结合我国建筑方面的具体国情,设计出适合我国装配式建筑的PC构件;根据PC构架的规格、重量等,合理选择吊装和运输机械,保证吊装的安全性。

(3)管理风险。加强施工现场的安全管理,尤其要加强施工关键技术的作业管理,对关键技术原理进行讲解,使建筑施工技术人员和工人熟知项目的特点、设计目的、施工工艺等,降低施工技术管理风险;完善现场施工管理制度,根据装配式建筑的施工特点及工程的实际情况制定安全管理办法;根据施工工序合理安排,减少机械交叉作业,避免机械碰撞带来的风险;PC构件现场堆放,采用专业的放置架,并做好支撑防护措施;对现场管理实施动态监控,发现问题及时解决,降低装配式建筑施工现场管理风险。

(4)技术风险控制。技术风险是装配式建筑中比较重要的风险因素,受我国装配式建筑发展现状的影响,可采用新型支撑体系,保证支撑构件的质量合格,且必须对PC构件下部的支撑进行反复调试,保证支架的安全性;采用新的连接技术,装配式建筑主要是将预制的外墙板、内剪力墙、叠合梁、楼梯、叠合楼板、柱等构件进行施工现场连接拼装,构件连接技术成为装配式结构工程的关键技术,通过借鉴并学习国外成熟的操作技术,将套筒连接技术运用到我国装配式建筑体系中,有效降低了预制构件连接不牢固带来的风险;结合BIM等信息技术,能够对施工中的关键技术进行实时监控,对PC构件的施工安装方案进行模拟优化,提升构建连接、吊装等技术的精准度,保证工程

项目的品质和结构的稳定性,实现施工技术与信息化技术的结合。

## 五、结 语

针对装配式建筑施工安全风险存在的未知性和不定性等特点,运用未确知测度理论与方法建立了未确知测度函数,构建基于未确知测度的装配式建筑施工安全风险评价模型,并对其风险进行综合评价。根据建筑施工安全风险的分级标准,利用 AHP - 信息熵模型从主观和客观角度确定了评价指标权重,使评价结果更符合工程实际。结合丽水新城三期项目的具体情况,通过未确知测度模型计算,按照置信度识别准则对施工安全风险进行判断,得到装配式建筑施工安全风险等级。评价结果具有一定的可行性和科学性,为以后装配式建筑施工安全风险评价提供一种评价参考方法。通过对评价结果的分析,针对装配式建筑施工过程中存在的风险问题提出相应的控制措施,降低装配式建筑施工安全风险,为预防施工过程中可能出现安全问题提供参考。

## 参考文献:

- [1] HYUNSOO L, HYUNSOO K, MOONSEO P, et al. Construction risk assessment using site influence factors[J]. Journal of computing in civil engineering, 2012(26):319-330.
- [2] FABER M H. Technology risk and safety in civil engineering[R]. Switzerland: Swiss Federal Institute, 2001.
- [3] OSAMA A J. Risks associated with trenching works in Saudi Arabia[J]. Building and environment, 2008(43):776-781.
- [4] 齐宝库,李长福. 装配式建筑施工质量评估指标体系的建立与评估方法研究[J]. 施工技术, 2014(15):20-24.
- [5] 齐宝库,李长福. 基于 BIM 的装配式建筑全生命周期管理问题研究[J]. 施工技术, 2014(15):25-29.
- [6] 田黎. 预制装配式住宅现场施工技术与安全风险[J]. 住宅科技, 2014, 34(6):91-96.
- [7] 孟英辉,朱利晴,荣耀,等. 基于改进未确知测度优化模型的建筑安全风险评价[J]. 现代矿业, 2016(3):209-211.
- [8] 郑超欣,徐迪. 基于未确知测度理论的高层建筑施工安全风险评价[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2014, 31(4):98-101.
- [9] 刘敦文,彭怀德. 基于未确知测度理论的特长隧道施工安全风险评价[J]. 科技导报, 2013, 31(15):31-34.
- [10] 何虎军,苏生瑞,王孝健,等. 基于未确知测度的崩塌危险性综合评价模型研究及应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(4):1564-1570.
- [11] 陈伟,付杰,熊付刚,等. 装配式建筑工程施工安全灰色聚类测评模型[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(11):70-75.
- [12] 刘开第,李万庆,庞彦军. 未确知集[J]. 数学的实践与认识, 2006, 36(10):197-204.
- [13] 刘开第,吴和琴,庞彦军,等. 不确定性信息数学处理及应用[M]. 北京:科学出版社, 1999.

# Safety Risk Assessment of Prefabricated Construction Based on Unascertained Measure

LIU Jiao, YUAN Junli, CHANG Chunguang

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** Based on safety risk study of the prefabricated building construction, the weight of each index is obtained by the combination between hierarchy analysis and information entropy. The unascertained measure is used to analyze the safety risk assessment of prefabricated building construction and the risk level is judged according to the confidence recognition criterion. This provides referential value for the future research on safety risk evaluation of prefabricated building construction and reduces the safety risk of prefabricated building construction.

**Key words:** prefabricated building; unascertained measure; construction safety; risk evaluation