

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.05.031

# 基于模糊层次分析法的建筑结构 安全评价体系研究

魏海霞, 赵明, 祝杰

(河南理工大学 土木工程学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 为了准确地对建筑结构现状进行安全评价, 考虑到建筑房屋结构的复杂性与安全评价因素的模糊多样性, 采用模糊层次分析法建立建筑结构安全评价体系。首先, 将建筑房屋划分为地基基础、承重柱、承重梁、墙体、楼板层以及屋盖围护系统 6 项一级评价指标, 然后在此基础上建立 23 项二级评价指标。其次, 由层次分析法得到各评价指标的权重, 根据建立的安全因素评判标准和隶属函数对各因素进行模糊评价, 并利用多级评价原理来构建建筑结构安全评价模型。最后, 通过工程实例对评价模型进行验证, 评价结果为较安全。与现有评价规范相比, 提出的建筑结构安全评价体系涉及指标全面、方法可行、结果可靠, 可对类似房屋结构的评估鉴定提供借鉴和指导。

**关键词:** 建筑房屋结构; 层次分析法; 模糊评价; 安全评价

中图分类号: TU375

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2019)05—0181—06

## Safety Evaluation System of Building Structure Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process

WEI Haixia, ZHAO Ming, ZHU Jie

(School of Civil Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

**Abstract:** Considering the complexity of building structure and the fuzzy diversity of safety assessment factors, a safety evaluation system of building structure based on fuzzy analytic hierarchy process (AHP) was proposed to evaluate the current situation of building structure accurately. Firstly, the building was divided into 6 first-level evaluation indexes: ground foundation, load-bearing column, load-bearing beam, wall, floor and roof envelope system. Then, 23 secondary evaluation indexes were calculated. Afterwards, the weight of each evaluation index was obtained by analytic hierarchy process (AHP), the fuzzy evaluation of each factor was carried out according to the established criteria and membership function of safety factors, and the safety evaluation model of building structure was constructed by using the principle of multi-level evaluation. Finally, the evaluation model was verified by an engineering example, and the evaluation result was relatively safe. Compared with the existing evaluation codes, the proposed safety evaluation system of building structures involves all-round indicators, feasible methods and reliable results, which can provide reference and guidance for the evaluation and appraisal of similar building structures.

**Keywords:** building structure; analytic hierarchy process; fuzzy evaluation; safety evaluation

随着建筑房屋使用寿命的增长, 建筑物会进入“性能快速衰减期”<sup>[1]</sup>。使用条件的限制以及建筑物周围环境的改变, 致使建筑房屋结构的性能逐渐

降低。为确保既有建筑结构在使用过程中的安全性和可靠性, 开展建筑结构的安全评价意义重大。

由于影响建筑结构安全的因素众多, 且各因素

收稿日期: 2019-06-11

修稿日期: 2019-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51504082); 河南省科技攻关计划项目(152102310331)

作者简介: 魏海霞(1982—), 女, 山东单县人, 博士, 副教授, 主要从事岩土和结构工程防灾减灾方面的工作。

E-mail: whx19820828@163.com

之间又存在着复杂的联系,我国在建筑结构的安全评价方面的研究工作<sup>[2-11]</sup>起步较晚,尚不够系统和完善。拟采用模糊数学理论,基于《危险房屋鉴定标准》<sup>[12]</sup>(JGJ 125—2016),从房屋结构构件角度出发,建立了一套详细的建筑房屋安全评价体系,并通过实例来验证其准确性。研究结果将进一步丰富和完善建筑房屋类评价体系,对类似房屋结构的评估鉴定提供借鉴和指导。

# 1 构建建筑房屋安全评价体系

## 1.1 建立建筑房屋安全评价模糊集合

按照自下而上的结构顺序将建筑房屋划分为地基基础、承重柱、承重梁、墙体、楼板层和屋盖围护系统六项一级指标,由于各一级评价指标又有各自的影响因素,因此在一级评价指标基础上建立二级评价指标<sup>[13]</sup>。建立的建筑房屋安全评价指标体系如图 1 所示。

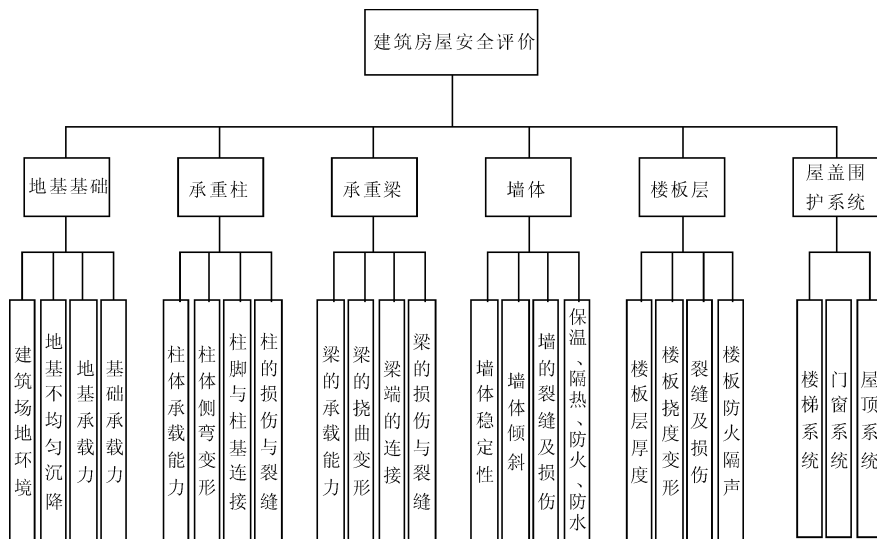


图 1 建筑房屋结构的安全评价体系

将建筑房屋安全状态划分为安全、较安全、较危险和危险四个状态,所对应的房屋安全等级分别为 A 级、B 级、C 级和 D 级。

$$V = \{ \text{安全 } v_1, \text{较安全 } v_2, \text{较危险 } v_3, \text{危险 } v_4 \}$$

### 1.2 运用层次分析法确定因素权重

利用层次分析法来确定目标各项因素所占的比重,先将建筑房屋结构构件建立一个递阶式的层次结构模型,然后构造因素集的判断矩阵,在建筑房屋结构安全评价体系的递阶层次确定后,获取同一层次中各个指标的权重值,利用层次分析法将同一层次指标标准进行两两比较,量化的引用函数  $f(x, y)$  来表示两种因素  $x$  相对于  $y$  的重要程度,一般采用 1~9 及其倒数标度法来构造判断矩阵<sup>[14]</sup>。判断矩阵及其标度含义如表 1 所示。

在进行判断矩阵的一致性检验时,首先应计算判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$ ,其次根据矩阵的最大特征值和矩阵阶数求得一致性指标  $M_{ci}$ ,并查找与矩阵阶数相对应的随机一致性指标  $M_{ri}$ ,最终按照式(1)和式(2)进行计算,求得一致性比率  $M_{cr}$ 。平

均随机一致性指标  $M_{ri}$  值,如表 2 所示。

表 1 判断矩阵标度及其含义

$x, y$ 因素比较	$f(x, y)$	$f(y, x)$
$x$ 较 $y$ 同等重要	1	1
$x$ 较 $y$ 略微重要	3	1/3
$x$ 较 $y$ 明显重要	5	1/5
$x$ 较 $y$ 特别重要	7	1/7
$x$ 较 $y$ 极度重要	9	1/9
上述两相邻判断之间	2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8

$$M_{ci} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$M_{cr} = M_{ci} / M_{ri} \quad (2)$$

当计算得到的一致性比率  $M_{cr} < 0.1$  时,就认为判断矩阵满足一致性要求,否则要对矩阵元素重新修正,直到计算结果符合一致性比率要求为止<sup>[14]</sup>。

表 2 平均随机一致性指标  $M_{ri}$

$n$	3	4	5	6
$M_{ri}$	0.52	0.80	1.12	1.26

根据层次分析法原理确定各因素的权重,向经

验丰富的专家以问卷调查方式得到评价指标权重判断矩阵,如表 3 所示。

表 3 一级(项目层)评价指标的权重系数

因素	权重系数					
	地基基础	混凝土柱	混凝土梁	墙体	楼板层	屋盖围护系统
地基基础	1	4	5	7	6	9
混凝土柱	1/4	1	2	6	5	7
混凝土梁	1/5	1/2	1	4	3	5
墙体	1/7	1/6	1/4	1	2	4
楼板层	1/6	1/5	1/3	1/2	1	3
屋盖围护系统	1/9	1/7	1/5	1/4	1/3	1

由上述一级评价指标模糊权重构造判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 & 7 & 6 & 9 \\ 1/4 & 1 & 2 & 6 & 5 & 7 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 4 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/6 & 1/4 & 1 & 2 & 4 \\ 1/6 & 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/5 & 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

根据方程  $A \cdot W = \lambda_{\max} W$ ,求得矩阵  $A$  的特征值  $\lambda_{\max} = 6.5902$ ,根据公式(1)、式(2)求得  $M_{cr} = 0.094 < 0.1$ ,满足一致性原则。

一级评价指标的特征向量:

$$W = [0.476 \quad 0.233 \quad 0.145 \quad 0.065 \quad 0.054 \quad 0.027]^T$$

用相同方法依次得到二级评价指标的权重,见表 4—表 9。

表 4 地基基础各指标因素权重系数

因素	权重系数			
	建筑场地环境	基地不均沉降	地基承载力	基础承载力
建筑场地环境	1	7	4	2
基地不均沉降	1/7	1	1/3	1/5
地基承载力	1/4	3	1	1/3
基础承载力	1/2	5	3	1

并求得各二级评价指标特征向量:

$$W_1 = [0.506 \quad 0.058 \quad 0.131 \quad 0.305]^T,$$

$$W_2 = [0.130 \quad 0.053 \quad 0.580 \quad 0.237]^T,$$

$$W_3 = [0.295 \quad 0.069 \quad 0.516 \quad 0.120]^T,$$

$$W_4 = [0.635 \quad 0.216 \quad 0.091 \quad 0.058]^T,$$

$$W_5 = [0.503 \quad 0.140 \quad 0.304 \quad 0.053]^T,$$

$$W_6 = [0.263 \quad 0.164 \quad 0.573]^T.$$

表 5 混凝土柱各指标因素权重系数

因素	权重系数			
	混凝土柱承载能力	混凝土柱侧弯变形	柱脚柱基连接	损伤与裂缝
混凝土柱承载能力	1	3	1/5	1/2
混凝土柱侧弯变形	1/3	1	1/8	1/5
柱脚柱基连接	5	8	1	3
损伤与裂缝	2	5	1/3	1

表 6 混凝土梁各指标因素权重系数

因素	权重系数			
	梁承载能力	梁挠曲变形	梁端连接	损伤与裂缝
梁承载能力	1	4	1/2	3
梁挠曲变形	1/4	1	1/7	1/2
梁端连接	2	7	1	4
损伤与裂缝	1/3	2	1/4	1

表 7 混凝土墙部分指标因素权重系数

因素	权重系数			
	墙体稳定性	墙体倾斜	墙体裂缝及损伤	隔热保温、防火防水
墙体稳定性	1	4	7	8
墙体倾斜	1/4	1	3	4
墙体裂缝及损伤	1/7	1/3	1	2
隔热保温、防火防水	1/8	1/4	1/2	1

表 8 楼板层各指标因素权重系数

因素	权重系数			
	板厚跨比	楼板层挠度变形	楼板裂缝及损伤	楼板防火隔声
板厚跨比	1	4	2	7
楼板层挠度变形	1/4	1	1/3	4
楼板裂缝及损伤	1/2	3	1	5
楼板防火隔声	1/7	1/4	1/5	1

表 9 屋盖维护系统各指标因素权重系数

因素	权重系数		
	楼梯系统	门窗系统	屋顶系统
楼梯系统	1	2	1/3
门窗系统	1/2	1	1/5
屋顶系统	3	5	1

从上述层次分析法得到各评价指标权重系数结果可以看出地基基础在影响因素中占的比重较大,混凝土柱的影响作用大于混凝土梁,屋盖围护系统的影响作用最小。从建筑结构构造角度出发,所得

因素集的影响值符合构造原则。

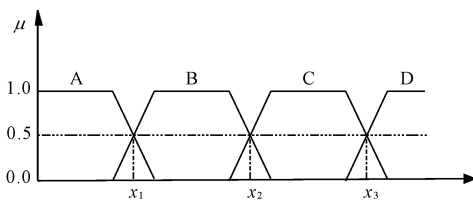
### 1.3 建筑安全评价因素评判标准的建立

根据评价特性,将评价标准分为定性和定量两种评价指标。建筑场地环境、构件的连接、墙体和楼板的防火隔声等性能采取定性评价;承载力、构件的变形、墙体的稳定性等采用定量评价。建立的构件承载力和表观类评价指标<sup>[15]</sup>如表 10 所示(限于篇幅,不再列举其余评定指标标准)。

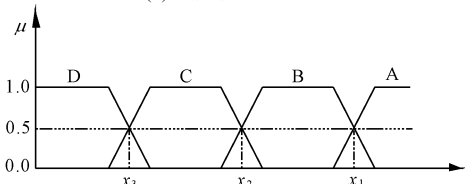
表 10 承载力及表观类评定指标标准

评判等级	承载力 ( $R/\gamma_0 S$ )	混凝土柱侧弯变形/mm	梁的挠曲变形/mm	板厚跨比值 ( $h/l_0$ )
ⅠA 安全	$>1.00$	$\delta < l/300$	$\delta < L_0/300$	$\geq 1/30$
Ⅱ 较安全	$0.95 \sim 1.00$	$l/300 < \delta < l/250$	$L_0/300 < \delta < L_0/275$	$\geq 1/35$
Ⅲ 较危险	$0.90 \sim 0.95$	$l/250 < \delta < l/200$	$L_0/275 < \delta < L_0/250$	$\geq 1/40$
Ⅳ 危险	$< 0.90$	$\delta > l/200$	$L_0/250 < \delta$	$< 1/40$

注: (1) 表中  $R$  或  $S$  分别为结构构件的抗力和作用效应,  $\gamma_0$  为结构重要性系数应按验算所依据的国家现行设计规范选择安全等级,并确定本系数的取值。(2)  $\delta$  为混凝土柱和梁在垂直于构件轴线的水平方向的最大偏移量;  $l$  为混凝土柱的长度;  $L_0$  为梁的长度。(3) 表中  $l_0$  为板构件的计算跨度,  $h$  为板的厚度。



(a) “极小”型隶属函数



(b) “极大”型隶属函数

图 2 两类隶属函数

#### 1.4.1 “极大”型隶属函数

建筑结构构件承载力越大,结构安全性就越高,这类评价指标标准在建立隶属函数时应选用“极大”型隶属函数。以地基基础、梁和柱等构件的承载力评判指标标准建立的隶属函数为例,建立承载力类型评价指标的四等级梯形隶属函数:

$$V_A(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x \leq 0.98 \\ 25x - 24.5, & 0.98 < x \leq 1.02 \\ 1, & x > 1.02 \end{cases} \quad (3)$$

$$V_B(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.93 \text{ 或 } x > 1.02 \\ 25x - 23.25, & 0.93 < x \leq 0.97 \\ 1, & 0.97 < x \leq 0.98 \\ 25.5 - 25x, & 0.98 < x \leq 1.02 \end{cases} \quad (4)$$

#### 1.4 隶属函数的构建

本文在选择模糊数学分布函数时,采用了梯形分布函数。在建立隶属函数来进行定量评价时考虑到两种类型的梯形隶属函数如图 2 所示:图 2(a)为适用于裂缝、变形等外观类越小越有利的隶属函数,图 2(b)为适用于承载力这些越大越有利的隶属函数,  $x_1, x_2, x_3$  分别为 A 级与 B 级、B 级与 C 级、C 级与 D 级的分界点。

$$V_C(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.88 \text{ 或 } x > 0.97 \\ 25x - 22, & 0.88 < x \leq 0.92 \\ 1, & 0.92 < x \leq 0.93 \\ 24.25 - 25x, & 0.93 < x \leq 0.97 \end{cases} \quad (5)$$

$$V_D(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x \leq 0.88 \\ 23 - 25x, & 0.88 < x \leq 0.92 \\ 0, & x > 0.92 \end{cases} \quad (6)$$

#### 1.4.2 “极小”型隶属函数

对于混凝土柱侧弯变形与梁体挠曲变形这类影响建筑房屋安全因素,其变形量越小,结构安全性就越大。以混凝土柱侧弯变形评价指标为例,建立其隶属函数:

$$V_A(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0.0031l \\ 8.75 - 2500x/l, & 0.0031l < x \leq 0.0035l \\ 0, & x > 0.0035l \end{cases} \quad (7)$$

$$V_B(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.0031l \text{ 或 } x > 0.0042l \\ 2500x/l - 7.75, & 0.0031l < x \leq 0.0035l \\ 1, & 0.0035l < x \leq 0.0038l \\ 10.5 - 2500x/l, & 0.0038l < x \leq 0.0042l \end{cases} \quad (8)$$

$$V_C(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.0038l \text{ 或 } x > 0.0052l \\ 2500x/l - 9.50, & 0.0038l < x \leq 0.0042l \\ 1, & 0.0042l < x \leq 0.0048l \\ 13.0 - 2500x/l, & 0.0048l < x \leq 0.0052l \end{cases} \quad (9)$$

$$V_D(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.0048l \\ 2500x/l - 12.0, & 0.0048l < x \leq 0.0052l \\ 1, & x > 0.0052l \end{cases} \quad (10)$$

对于定量评价指标根据自身的特点结合隶属函数来进行单因素模糊评价,对于定性评价指标依据实际案例检测结果和专家经验进行单因素模糊评价。

### 1.5 建立因素集对应的评价矩阵

根据各个因素特点,选用合适的隶属函数,得到相应评价集  $V$  对应每一个安全等级的隶属度,构建单因素评价向量。综合各个单因素评价向量,构成因素集的评价矩阵:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1k} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{ij1} & r_{ij2} & \cdots & r_{ijk} \end{bmatrix} \quad (11)$$

其中: $r_{ijk}$  为第  $i$  个因素中第  $j$  个子集因素  $u_{ij}$  在评价集  $V$  上对应等级为  $k$  的隶属度。

### 1.6 进行模糊综合评价

根据模糊综合评价中权重集合与对应因素集的合成法则,从底层评价指标逐步向上进行合成,逐步完成整个目标的模糊综合评价,具体步骤按照式(12)一式(14)进行计算:

$$B_i = W_i \circ R_i = [b_{i1} \quad b_{i2} \quad \cdots \quad b_{ik}] \quad (12)$$

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \circ R_1 \\ W_2 \circ R_2 \\ \vdots \\ W_n \circ R_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$B = A \circ W = A \circ \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = [b_1 \quad b_2 \quad \cdots \quad b_n] \quad (14)$$

其中: $\circ$  为模糊算子采用加权平均数求解模型,即

$$B_j = \sum_{i=1}^n A_i r_{ij}$$

根据模糊综合评价得到的结果,按照模糊识别原理,从综合评价结果向量  $B$  中选择最优的  $b_i$  所对应的评价等级  $v_i$  作为最终的评价结果。

## 2 工程实例

### 2.1 住宅楼工程概况

工程实例及相关勘察数据取自文献<sup>[16]</sup>,该小区

住宅楼共十三层,分为地上十一层,地下两层。该建筑总建筑面积为 14 699.35 m<sup>2</sup>,其中地上建筑面积 12 756.01 m<sup>2</sup>,地下建筑面积 1 943.34 m<sup>2</sup>,该住宅楼按地震烈度 8 度设防,耐火等级为二级。地下二层为人防,地下一层为停车库,一层为商品房,二层及以上为民用住宅。

### 2.2 住宅楼评价矩阵

#### 2.2.1 地基基础

根据现场勘查检测,该住宅楼地形较为平坦,地基土层属于中软土,且土层稳定,建筑场地环境评价向量: $r_{11} = [0.00 \quad 0.75 \quad 0.25 \quad 0.00]$ ;该地基历史上曾出现过局部的滑动但经过治理后已停止滑动,且上部建筑结构也并未因地基不均匀沉降产生墙体裂缝,地基不均匀沉降的评价向量: $r_{12} = [1.00 \quad 0.00 \quad 0.00 \quad 0.00]$ ;对住宅检测后的数据进行整理,地基承载力为  $R/\gamma_0 S = 0.97$ ,住宅基础的承载力为  $R/\gamma_0 S = 0.96$ ,代入“极大”型隶属函数得到地基承载力定量评价向量: $r_{13} = [0.00 \quad 1.00 \quad 0.00 \quad 0.00]$ ;基础的定量评价向量: $r_{14} = [0.00 \quad 0.75 \quad 0.25 \quad 0.00]$ 。则地基基础评价矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.75 & 0.25 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.75 & 0.25 & 0.00 \end{bmatrix}$$

#### 2.2.2 混凝土柱

根据现场检测数据显示,50% 的柱体承载力  $R/\gamma_0 S > 1.0$ ,50% 的柱体承载力  $R/\gamma_0 S = 0.97$ ,为安全起见取最小值 0.97;80% 的柱体形变小于  $l/500$ ,20% 的柱体形变小于  $l/400$ ;将上述数据代入“极小”型隶属函数。住宅楼的构造与连接方式正确,局部连接表面存在有缺陷,但对构件功能无影响。综合整理混凝土柱体所对应的二级评价指标标准得出的柱体评价矩阵:

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.75 & 0.25 & 0.00 \\ 0.25 & 0.75 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

#### 2.2.3 混凝土梁

通过对混凝土梁的检测收集的数据表显示,3/4 的混凝土梁的承载能力  $R/\gamma_0 S > 1.0$ ,1/4 的梁承载能力  $R/\gamma_0 S = 0.92$ 。加权平均则混凝土梁的承载力  $R/\gamma_0 S \geq 0.98$ 。此处设为 0.98;梁体变形均小于  $L_0/500$ ,该住宅楼的梁端构造与连接局部出现轻微

缺陷,但对构件功能无影响,个别梁体存在裂缝,最大裂缝宽度为 0.15 mm,综合整理混凝土梁所对应的评价矩阵:

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.75 & 0.25 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

#### 2.2.4 混凝土墙

通过检测结果发现,外围墙体高厚比均小于 24;住宅楼定点侧向位移为 7.4 mm,单项层间部分最大层间位移为 2.1 mm;多数墙体无明显裂缝,少部分墙体局部表面存在有缺陷,根据提供的有关资料显示住宅楼耐火等级为二级,墙体隔热保温功能良好,部分单元户因排水管道的断裂引起漏水。综合整理墙体所对应的评价矩阵:

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.75 & 0.25 & 0.00 & 0.00 \\ 0.25 & 0.75 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

#### 2.2.5 楼板层

对比计算结果和楼板层的评判标准,发现所得结果均大于 1/30,楼板层构件挠曲变形均小于  $l_0/500$ ;楼板并无明显裂缝,部分单元户排水管道断裂引起漏水导致局部楼板有破皮损伤,楼板层的隔热保温功能良好,住宅楼并未发生过火灾,经检测,室内隔声效果良好。综合整理楼板层的评价矩阵:

$$R_5 = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.75 & 0.25 & 0.00 \\ 0.25 & 0.75 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

#### 2.2.6 屋盖围护系统

经检测楼梯间每层都设有窗户,采光能力良好,楼梯基本无变形,楼梯扶手局部有破损;门窗强度较高,基本无变形,少数住户门框角落有墙体抹灰保护层脱落;屋盖构件设计连接基本正确,基本符合现行国家标准规范要求。综合整理屋盖围护系统的评价矩阵:

$$R_6 = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.25 & 0.00 & 0.00 \\ 0.25 & 0.75 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.25 & 0.75 & 0.00 \end{bmatrix}$$

### 2.3 住宅楼模糊综合评价

通过理论计算与现场检测共同得到的由层次分析法确立的评价指标的权重和评价矩阵,按照式(12)~式(14)所示方法对该建筑住宅楼安全现状

进行模糊综合评价,计算结果如下:

$$B_1 = [0.058 \quad 0.739 \quad 0.203 \quad 0.000]$$

$$B_2 = [0.112 \quad 0.624 \quad 0.145 \quad 0.000]$$

$$B_3 = [0.069 \quad 0.802 \quad 0.129 \quad 0.000]$$

$$B_4 = [0.375 \quad 0.567 \quad 0.000 \quad 0.000]$$

$$B_5 = [0.656 \quad 0.268 \quad 0.076 \quad 0.000]$$

$$B_6 = [0.238 \quad 0.332 \quad 0.430 \quad 0.000]$$

$$B = A \cdot R = [0.1299 \quad 0.6737 \quad 0.1648 \quad 0.0000]$$

根据模糊综合评价结果显示来看,该住宅楼的安全等级最大隶属度为 0.6737。根据最大隶属度原则,评判该住宅楼的安全评价结果为 B 级,出于较安全状态。据建筑房屋单项评价向量  $B_6$ (屋盖围护系统)的显示结果来看,住宅楼顶部分存在着较大安全隐患,需要对存在的危险部位及时采取针对性的修缮处理。

建立的建筑房屋安全评价体系同文献[16]对该住宅楼建筑进行安全评价结果对比,其计算评估结果也是 B 级,由此可见该方法是切实可行的。

## 3 结 论

运用模糊数学和层次分析法理论,结合现有相关规范和安全评价指标标准,基于某住宅楼的现有勘查数据结果和建筑住宅楼结构的各级指标组成提出了适用于建筑结构的安全评价体系并进行了可行性验证,得到如下结论:

(1)结合模糊数学基本原理,根据建筑房屋结构的自身特性建立安全评价体系,可以解决现有规范中对于复杂建筑结构的适用性不足的情况,同时本文所建立的安全评价体系考虑到建筑构件相对重要性的一方面,相对于标准<sup>[12]</sup>中根据危险构件数量来判断建筑结构整体危险性具有很大的提升。

(2)根据建立的安全评价体系模型得出住宅楼处于较安全状态,但根据各构件安全评价结果显示,屋盖围护系统部分存在较大安全隐患,在后期修缮工作中需要采取针对性加固措施。由于提出的安全评价模型涉及指标全面,基于的方法可行,得到的评价结果与现有相关规范评价结果相比,更为可靠。

利用层次分析获得的评价指标权重是根据专家个人工程经验以及相关专业知识的掌握程度进行评判的,主观性较强。建议判断矩阵的权重值通过对大量现场管理人员和设计人员进行问卷调查的方式获得,评价结果将更加客观合理。