

文章编号:1673-2049(2016)01-0038-08

基于模糊评价的单层工业厂房搬迁可行性研究

陈大川,周一帆,颜胜蓝

(湖南大学 土木工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要:为提升单层工业厂房搬迁加固改造评估的准确性,基于模糊数学理论,将该评估分为结构损伤评估、费用评估和环境保护评估 3 个部分,选取 12 个指标作为评估因子,采用隶属函数法和类比法构造判断矩阵,再由层次分析法确定权系数向量,建立三层次两阶段的模糊综合评估模型;以某公司 2 栋单层厂房为例,应用该评估模型对其搬迁加固改造的技术性与经济性进行了评估。结果表明:模糊综合评估方法的评估结果客观合理,能较准确地反映单层工业厂房搬迁加固改造的优势,可为单层工业厂房的继续使用与持续发展提供有效的科学依据。

关键词:单层工业厂房;模糊数学;搬迁加固改造;综合评估

中图分类号:TU398

文献标志码:A

Research on Relocation Feasibility of Single-layer Industrial Plant Based on Fuzzy Evaluation

CHEN Da-chuan, ZHOU Yi-fan, YAN Sheng-lan

(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of evaluation for single-layer industrial plant relocation and reinforcement based on fuzzy mathematics theory, the assessment was divided into three parts, including structural damage assessment, economic cost estimation and environmental protection. Twelve indexes were selected as evaluation factors, and the membership function method and analogy method were used to construct judgment matrix. Then the weight coefficient vector was determined by using analytic hierarchy process (AHP) method, and three-level two-stage fuzzy comprehensive evaluation model was built. Taking the two single-layer plants of a company as examples, the technical and economical evaluations for industrial plant relocation and reinforcement were carried out. The results show that the evaluation result of fuzzy comprehensive evaluation method is objective, and can accurately reflect the advantages of single-layer industrial plant relocation and reinforcement. It can provide scientific references for the continual use and sustainable development of single-layer industrial plant.

Key words: single-layer industrial plant; fuzzy mathematics; relocation and reinforcement; comprehensive evaluation

0 引言

随着工业迅速发展,城镇化速度加快,不少工业

厂房不能满足使用要求和环境保护要求面临迁址^[1],而原有厂房的使用寿命还远未结束^[2]。据统计,中国工业厂房面积已累计 $7 \times 10^8 \text{ m}^2$ ^[3],环境污

收稿日期:2015-08-26

基金项目:国家自然科学基金项目(51278179)

作者简介:陈大川(1967-),男,湖南长沙人,教授,工学博士,E-mail:hdcdc67@163.com。

染中与建筑相关的污染所占比例约为 34%^[4],为了寻找适合中国国情的旧工业建筑再利用途径^[5],减少新建厂房对环境的污染,同时在更具经济性的考虑下对原有构件进行保护性拆除、搬运,再重新安装继续使用的方法显然更符合新时代下绿色、环保、节约的需求^[6]。

研究显示,目前针对单层工业厂房搬迁加固改造工程只有单方面的研究,没有综合评估。全书敬^[6]提出了基于层次分析 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 法的单层工业厂房可靠性鉴定,但未进行经济性与环保相结合的综合评估,且不涉及地基基础的评估。罗佳^[7]提出了基于模糊理论的单层工业厂房构件可利用性评判,但未结合其他因素对单层工业厂房是否进行搬迁进行整体评估。

由于工业厂房搬迁加固改造技术还不成熟,其综合评估涉及众多影响因素,且各因素之间还存在相关性、不确定性和模糊性。模糊数学是处理不确定性问题的理论,它以模糊集合为基础,通过隶属函数和隶属度描述模糊集合^[8]。本文基于模糊数学理论,建立针对混凝土排架结构的单层工业厂房搬迁加固改造的模糊综合评估方法,以某单层厂房为例,应用该方法进行评估,以期为类似工业厂房的继续使用提供有效的科学依据。

1 模糊综合评估模型的建立

单层工业厂房搬迁加固改造相比拆除重建具有工期短、成本低以及绿色环保 3 个方面的特点,本文的评估方法采用三层次两阶段模糊综合评估模型。首先,将单层工业厂房搬迁加固改造的可行性作为评估模型的目标层,由结构损伤情况、费用、环境保护构成评估模型的系统层。然后,系统层选取主要的评估因子构成因素层,其中,结构损伤情况选取裂缝、表面损伤、钢筋锈蚀、连接件损伤、混凝土强度以及混凝土碳化深度作为主要的评估因子。费用选择拆除费用、运输费用、重装费用以及加固改造费用作为主要的评估因子,而环境保护评估则选取粉尘排放量和固体垃圾排放量作为评估因子。通过确定权系数向量和构造判断矩阵,分两阶段计算,最终得到目标层的评估结果,从而判别单层工业厂房搬迁加固改造是否可行。模糊评估模型如图 1 所示。

2 利用层次分析法确定权系数向量

层次分析法通过因素间的两两比较构造判断矩阵,经过数学运算间接确定各因素的权重,具体步骤

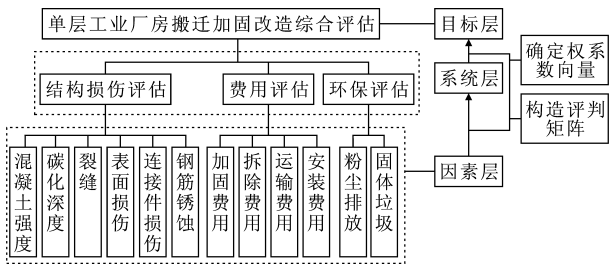


图 1 单层工业厂房搬迁加固改造的模糊评估模型

Fig. 1 Fuzzy Evaluation Model of Relocation and Reinforcement of Single-layer Industrial Plant

如下^[9-10]:

首先根据单层工业厂房搬迁加固改造所包含因素及其相互关系建立层次结构,本文分为 3 个层次,依次为目标层、系统层和因素层;其次将同层次的各因素对上一层某因素水平的影响程度进行两两比较,采用比例标度赋值,构造判断矩阵,两两比较重要性赋值见表 1^[11];最后构造出判断矩阵,求出其最大特征值 λ_{\max} 和相应的特征向量 W_0 ,将特征向量 W_0 归一化处理后,得到的特征向量即为该层次各因素相对上一层中某因素水平的影响权重值。在两两重要性比较时,为了避免出现逻辑性错误,需要根据最大(绝对值)特征值 λ_{\max} 进行一致性检验。根据公式(1)计算出一致性指标 I_C ,即

$$I_C = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \tag{1}$$

式中: n 为同系统层子项下因素层的因素数量。

表 1 两两比较重要性赋值

Tab. 1 Pairwise Comparison Importance Assignments								
V_i/V_j	相同	稍强	强	很强	绝对强	稍弱	弱	很弱
r_{ij}	1	3	5	7	9	1/3	1/5	1/7

注: V_i, V_j 均为同层次的因素; r_{ij} 为 V_i 和 V_j 重要性的比值;相邻程度的中间值取 2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8。

表 2 为平均随机一致性指标 I_R 。由建立的判断矩阵和表 2 可得出平均随机一致性指标 I_R , 再将其代入公式(2),当一致性比率 $R_C < 0.1$ 时,即认为一致性检验通过。

$$R_C = I_C / I_R \tag{2}$$

表 2 平均随机一致性指标 I_R

Tab. 2 Mean Random Consistency Index I_R									
矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_R	0.00	0.00	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

为使相比较的 2 个因素性能条件处于同一水平,还需要根据各影响因子的自身性能条件进行修正^[12],即改进 AHP 法。首先应用 AHP 法求得权重向量 $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T$,然后按照性能越差的因

素对整体性能影响越大的原则,求得权重向量 $\beta=(\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_n)$,最后定义最终的权重向量 $W=(w_1,w_2,\cdots,w_n)^T$,其中的元素 w_i 为

$$w_i=\frac{a_i\beta_i}{a\beta}\tag{3}$$

式中: a_i,β_i,w_i 分别为权重向量 a,β,W 的第 i 个元素。

单层工业厂房搬迁加固改造综合评估因素层的权系数向量采用 AHP 法计算。通过向有经验的专家发放权重问卷调查表,得出上部结构损伤因素的重要性赋值,见表 3。

表 3 结构损伤评估因素重要性赋值

Tab.3 Importance Assignments of Structural Damage Assessment Factors

结构损伤 评估因素	混凝土 强度	碳化 深度	裂缝	表面 损伤	连接件 损伤	钢筋 锈蚀
混凝土强度	1	1/3	1/3	1/5	1/5	1/7
碳化深度	3	1	1	1/3	1/3	1/5
裂缝	3	1	1	1/3	1/3	1/5
表面损伤	5	3	3	1	1	1/3
连接件损伤	5	3	3	1	1	1/3
钢筋锈蚀	7	5	5	3	3	1

根据表 3 中各因素的权系数值,可构造出判断矩阵 A ,则有

$$AW_0=\begin{bmatrix}1&1/3&1/3&1/5&1/5&1/7\\3&1&1&1/3&1/3&1/5\\3&1&1&1/3&1/3&1/5\\5&3&3&1&1&1/3\\5&3&3&1&1&1/3\\7&5&5&3&3&1\end{bmatrix}W_0=\lambda_{\max}W_0$$

计算可得 A 的最大特征值 $\lambda_{\max}=6.143\ 7$,再根据式(1),(2)可知,随机一致性指标 $I_C=0.028\ 7$,一致性比率 $R_C=0.022\ 8<0.1$,满足一致性原则。根据 λ_{\max} 可求出其对应的特征向量 W_0 ,归一化处理后得到特征向量 $W_1=(0.036\ 8,0.077\ 9,0.077\ 9,0.191\ 3,0.191\ 3,0.424\ 7)^T$,即为上部结构因素层的权系数向量。同理,可求得费用和环保评估因素层的权系数向量,分别见表 4,5。

从表 4,5 可知,费用评估因素层的权系数向量 $W_2=(0.067\ 9,0.389\ 9,0.152\ 3,0.389\ 9)^T$,环境保护评估因素层的权系数向量 $W_3=(0.25,0.75)^T$ 。

单层工业厂房搬迁加固改造综合评估系统层的权系数向量采用改进 AHP 法计算,结果见表 6。由表 6 可知:系统层结构损伤、费用和环保 3 个指标的

表 4 费用评估因素层的权系数向量

Tab.4 Weight Coefficient Vector of Cost Assessment Factor Layer

费用评估 因素	加固 费用	拆除 费用	运输 费用	安装 费用	权系数 向量	一致性
加固费用	1	1/5	1/3	1/5	$(0.067\ 9,0.389\ 9,0.152\ 3,0.389\ 9)^T$	$\lambda_{\max}=4.043\ 5, R_C=0.016\ 3<0.1$,满足一致性原则
拆除费用	5	1	3	1		
运输费用	3	1/3	1	1/3		
安装费用	5	1	3	1		

表 5 环保评估因素层的权系数向量

Tab.5 Weight Coefficient Vector of Environmental Protection Assessment Factor Layer

环保评估因素	固体垃圾	粉尘排放	权系数向量	一致性
固体垃圾	1	1/3	$(0.25,0.75)^T$	$n=2$, 无需检验
粉尘排放	3	1		

表 6 系统层的权系数向量

Tab.6 Weight Coefficient Vector of System Layer

评估因素	结构损伤	费用	环保	权系数向量	一致性
结构损伤	1	1/4	1/3	$(0.122\ 0,0.558\ 4,0.319\ 6)^T$	$\lambda_{\max}=3.018\ 3, R_C=0.001\ 6<0.1$,满足一致性原则
费用	4	1	2		
环保	3	1/2	1		

权系数向量 $W^*=(0.122\ 0,0.558\ 4,0.319\ 6)^T$ 。

根据式(3)对权系数向量进行调整后,得到单层工业厂房搬迁加固改造综合评估系统层的权系数向量 $W=(0.198\ 2,0.428\ 5,0.373\ 3)^T$ 。

3 构造系统层各指标的判断矩阵

系统层各指标的判断矩阵是由因素层各因素的隶属向量构造得到,而因素层各影响因子的隶属向量则根据其不同特点分别通过单指标隶属函数法和类比法确定,其中,单指标隶属函数法是根据各因素等级评定标准和相应的单指标隶属度函数来确定其隶属向量。

3.1 各因素等级评定标准

(1)环境保护各评估因素的评定标准

本文给出粉尘排放和固体垃圾排放的评定标准^[13],见表 7。

(2)费用各评估因素的评定标准

本文结合已有工程经验与专家意见给出费用各评估因素的评定标准,见表 8。

(3)结构损伤各评估因素的评定标准

本文给出结构损伤各评估因素的评判标准^[7],见表 9。

表 7 环境保护各评估因素的评定标准

Tab. 7 Evaluation Criteria for Various Assessment Factors of Environmental Protection

评定等级	粉尘排放 S_t/S_i	固体垃圾排放 G_p/G_i
a	$\leq 80\%$	$\leq 50\%$
b	$80\% \sim 90\%$	$50\% \sim 65\%$
c	$90\% \sim 95\%$	$65\% \sim 80\%$
d	$> 95\%$	$> 80\%$

注: S_t 为粉尘排放量多于基准排放量的面积; S_i 为工业厂房的总面积; G_p 为废弃混凝土的排放量; G_i 为工业厂房总的混凝土用量。

表 8 费用评估各因素的评定标准

Tab. 8 Evaluation Criteria for Various Assessment Factors of Cost

评定等级	加固费用 F_g/F_n	拆除费用 F_c/F_n	运输费用 F_y/F_n	安装费用 F_d/F_n
a	$\leq 5\%$	$\leq 30\%$	$\leq 10\%$	$\leq 20\%$
b	$5\% \sim 8\%$	$30\% \sim 35\%$	$10\% \sim 15\%$	$20\% \sim 25\%$
c	$8\% \sim 10\%$	$35\% \sim 40\%$	$15\% \sim 20\%$	$25\% \sim 30\%$
d	$> 10\%$	$> 40\%$	$> 20\%$	$> 30\%$

注: F_g 为加固所需费用; F_c 为保护性拆除主体构件所需费用; F_y 为运输构件所需费用; F_d 为重新安装构件所需费用; F_n 为新建同样规格厂房所需费用。

表 9 结构损伤各评估因素的评定标准

Tab. 9 Evaluation Criteria for Various Assessment Factors of Structural Damage

评定等级	混凝土强度 $f_{cu,k}/f_{cu,e}$	碳化深度/mm	裂缝	表面损伤	连接件损伤	钢筋锈蚀
a	≥ 1.00	$0.0 \sim 1.0$	无明显裂缝	无明显损伤	连接板完好,无缺陷,工作正常	钢筋完好,工作正常
b	$0.95 \sim 1.00$	$1.0 \sim 3.0$	在次要部位有少量裂缝	在次要部位有轻微损伤	连接板较好,仅有局部表面缺陷,工作无异常	钢筋局部有较少锈迹,工作无异常
c	$0.90 \sim 0.95$	$3.0 \sim 6.0$	重要部位有少量裂缝	重要部位有损伤但不大	连接板有严重缺陷,已发生明显变形或缺损	钢筋较大面积出现锈迹,与混凝土结合强度下降
d	< 0.90	> 6.0	重要部位开裂较多或裂缝较宽产生破坏	重要部位损伤较大	连接板破坏、缺失	钢筋几乎完全锈蚀,与混凝土结合强度大幅降低

注: $f_{cu,k}$ 为设计强度等级的混凝土立方体抗压强度标准值; $f_{cu,e}$ 为现龄期混凝土强度推定值,即相应于强度换算值总体分布中保证率不低于 95% 的结构或构件中的混凝土强度值。

3.2 单项指标的隶属函数

本文采用岭形分布为隶属函数^[14],该函数连续,计算简单,适合工程需要。对于承载力这类定量因素,在评估标准中值越大越安全,因此采用隶属函数中的偏大型升岭形分布处理。设 x 为混凝土强度,若 $x > x_1$ 为 a 级, $x_1 > x > x_2$ 为 b 级, $x_2 > x > x_3$ 为 c 级, $x < x_3$ 为 d 级,这样对于某因素的 x 值就可以建立起相应于 a, b, c, d 各等级的隶属函数 $V_a(x), V_b(x), V_c(x), V_d(x)$ 。同时考虑连续化^[14],即可得到该因素相应于 a, b, c, d 各级的隶属函数表达式。

a 级的隶属函数为

$$V_a(x) = \begin{cases} 0 & x \leq (x_1 + x_2)/2 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left[\frac{2\pi}{x_1 - x_2} \left(x - \frac{3x_1 + x_2}{4}\right)\right] & (x_1 + x_2)/2 < x \leq x_1 \\ 1 & x > x_1 \end{cases} \quad (4)$$

b 级的隶属函数为

$$V_b(x) = \begin{cases} 0 & x > x_1 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin\left[\frac{2\pi}{x_1 - x_2} \left(x - \frac{3x_1 + x_2}{4}\right)\right] & (x_1 + x_2)/2 < x \leq x_1 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left[\frac{2\pi}{x_1 - x_3} \left(x - \frac{x_1 + x_3 + 2x_2}{4}\right)\right] & (x_3 + x_2)/2 < x \leq (x_1 + x_2)/2 \\ 0 & x \leq (x_3 + x_2)/2 \end{cases} \quad (5)$$

c 级的隶属函数为

$$V_c(x) = \begin{cases} 0 & x > (x_1 + x_2)/2 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin\left[\frac{2\pi}{x_3 - x_1} \left(x - \frac{x_1 + x_3 + 2x_2}{4}\right)\right] & (x_2 + x_3)/2 < x \leq (x_1 + x_2)/2 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left[\frac{2\pi}{x_3 - x_1} \left(x - \frac{3x_3 + x_2}{4}\right)\right] & x_3 < x \leq (x_3 + x_2)/2 \\ 0 & x \leq x_3 \end{cases} \quad (6)$$

d 级的隶属函数为

$$V_d(x)=\begin{cases} 0 & x>(x_3+x_2)/2 \\ \frac{1}{2}-\frac{1}{2}\sin[\frac{2\pi}{x_2-x_3}(x-\frac{3x_3+x_2}{4})] & x_3<x\leq(x_3+x_2)/2 \\ 1 & x\leq x_3 \end{cases} \quad (7)$$

评估因素中分别对混凝土强度按上述方法计算其隶属向量,其中, x_1,x_2,x_3 分别对应表 9 中的 1.00,0.95,0.90。

对于碳化深度、粉尘排放、固体垃圾排放、费用这类定量因素,在评估标准中值越小越安全,因此采用偏小型降岭形分布处理。同理可得这类因素相应于 a,b,c,d 各级的隶属函数表达式。

a 级的隶属函数为

$$V_a(x)=\begin{cases} 0 & x>(x_1+x_2)/2 \\ \frac{1}{2}-\frac{1}{2}\sin[\frac{2\pi}{x_2}(x-\frac{2x_1+x_2}{4})] & x_1/2<x\leq(x_1+x_2)/2 \\ 1 & x\leq x_1/2 \end{cases} \quad (8)$$

b 级的隶属函数为

$$V_b(x)=\begin{cases} 0 & x<x_1/2 \\ \frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sin[\frac{2\pi}{x_2}(x-\frac{2x_1+x_2}{4})] & x_1/2<x\leq(x_1+x_2)/2 \\ \frac{1}{2}-\frac{1}{2}\sin[\frac{2\pi}{x_3-x_1}(x-\frac{x_1+x_3+2x_2}{4})] & (x_1+x_2)/2<x\leq(x_2+x_3)/2 \\ 0 & x>(x_2+x_3)/2 \end{cases} \quad (9)$$

c 级的隶属函数为

$$V_c(x)=\begin{cases} 0 & x\leq(x_1+x_2)/2 \\ \frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sin[\frac{2\pi}{x_3-x_1}(x-\frac{x_1+2x_2+x_3}{4})] & (x_1+x_2)/2<x\leq(x_2+x_3)/2 \\ \frac{1}{2}-\frac{1}{2}\sin[\frac{2\pi}{x_3-x_1}(x-\frac{x_1+x_3+2x_2}{4})] & (x_2+x_3)/2<x\leq x_3 \\ 0 & x>x_3 \end{cases} \quad (10)$$

d 级的隶属函数为

$$V_d(x)=\begin{cases} 0 & x\leq(x_2+x_3)/2 \\ \frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sin[\frac{2\pi}{x_3-x_2}(x-\frac{3x_3+x_2}{4})] & (x_2+x_3)/2<x\leq x_3 \\ 1 & x>x_3 \end{cases} \quad (11)$$

评价因素中对上部结构的粉尘排放、固体垃圾排放、加固费用、拆除费用、运输费用及安装费用按上述方法计算隶属向量,其中, x_1,x_2,x_3 分别对应

表 7 中的 80%(50%),90%(65%),95%(80%)以及表 8 中的 5%(30%,10%,15%),8%(35%,15%,25%),10%(40%,20%,30%)。

3.3 类比法确定隶属向量

对于裂缝、表面损伤、连接件损伤及钢筋锈蚀等定性因素,可采用类比法建立隶属函数,其主要做法是将已知有限个定量数值与论域上的模糊集形成一一对应关系。通过“符合”、“基本符合”、“似符合又似不符合”、“基本不符合”和“不符合”这 5 个语言值来描述,分别对应 1,0.75,0.5,0.25,0,即可建立隶属函数。如上部结构中无明显裂缝,由表 9 中的分级标准可知此种情况符合 a 级,则裂缝的隶属向量为(1,0,0,0)。

4 评估流程

结合单层工业厂房搬迁加固改造模糊评估模型,依据权系数向量和判断矩阵可建立评估流程,如图 2 所示。计算得到目标层评定等级向量 Δ 后,利用最大隶属度原则可以最终确定单层工业厂房搬迁加固改造的评估等级。单层工业厂房搬迁加固改造的评估等级和处理措施的对应关系见表 10。

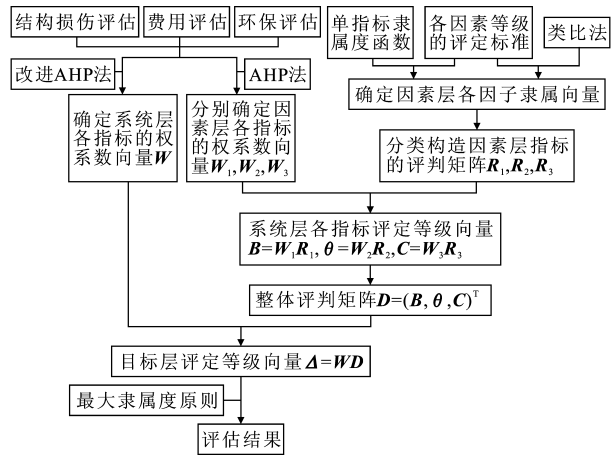


图 2 单层工业厂房搬迁加固改造的模糊评估流程
Fig. 2 Fuzzy Evaluation Flow of Relocation and Reinforcement of Single-layer Industrial Plant

5 实例分析

本文以某公司 2 栋单层厂房为例(图 3),厂房从老厂区整体搬迁至新工业园区,为减少对社会资源的消耗,节约投资,计划将厂房主体结构的混凝土排架柱、吊车梁、屋架和槽形屋面板等主要承重构件在新厂房的建设中继续利用。

由于在厂房拆除之前需要对可利用构件进行评价,判别拆除是否采用保护性拆除施工方案。跟随

表 10 评估等级与处理措施的对应关系

Tab. 10 Corresponding Relationship Between Assessment Levels and Treatment Measures

评估等级	处理措施
A	个别构件加固修缮,总费用远低于新建费用,环境污染指数低
B	小部分构件加固修缮,总费用不超过新建费用 70%,环境污染指数适中
C	部分构件加固修缮后可以达到降低使用标准的要求,总费用大于新建费用 70%,环境污染指数接近限值
D	建议直接拆除重建

某公司专业检测人员对 2 栋厂房进行全面检测,得出了结构损伤程度的鉴定报告,此外,在整个项目跟踪调查中,对工程总费用以及环境污染排放指标进行了统计。

5.1 系统层评估

5.1.1 结构损伤评估

根据专业检测结果,排架柱混凝土设计强度等级为 C30,回弹法最小推定值为 29.2 MPa,两者比值为 97.3%,吊车梁混凝土设计强度等级为 C35,回弹法最小推定值为 38.9 MPa,两者比值大于 1%,取 97.3%,根据式(4)与表 9 可知,混凝土强度的隶属向量 $r_{11}=(0.0157,0.098\ 43,0,0)$ 。碳化深度最大值为 35 mm,绝大部分构件碳化深度均大于 6 mm,与董忠厚^[15]提出的工业厂房混凝土碳化密度函数相符,根据式(5)与表 9 可知,碳化深度的隶属向量 $r_{12}=(0,0,0,1)$ 。

根据检测结果可知,表面损伤与钢筋锈蚀多分

布于屋面板以及管道附近的排架柱^[16],裂缝多分布于吊车梁与屋架下弦^[17]。根据类比法和表 9 可知,裂缝的隶属向量 $r_{13}=(0,0.9,0.1,0)$,表面损伤的隶属向量 $r_{14}=(0,0.1,0.9,0)$,连接件损伤的隶属向量 $r_{15}=(0,0,0.8,0.2)$,钢筋锈蚀的隶属向量 $r_{16}=(0,0.9,0.1,0)$ 。

厂房上部结构的判断矩阵 R_1 为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.015\ 7 & 0.984\ 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.9 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

上部结构的评定等级向量 $B=W_1^T R_1=(0.000\ 6,0.507\ 8,0.375\ 5,0.116\ 1)$ 。

5.1.2 费用评估

根据施工单位与加固单位的报价单,该项目采用外包钢法与碳纤维加固法^[18],结合计价软件模拟同规格厂房所需总费用,得出该项目总费用由加固费用、拆除费用、运输费用以及安装费用组成^[19],其中加固费用占新建费用 3%,拆除费用占新建费用 31%,运输费用占新建费用 9%,安装费用占新建费用 20%。根据式(5)和表 8 可知,加固费用的隶属向量 $r_{21}=(1,0,0,0)$,拆除费用的隶属向量 $r_{22}=(0.981\ 8,0.018\ 2,0,0)$,运输费用的隶属向量 $r_{23}=(0.552\ 3,0.447\ 7,0,0)$,安装费用的隶属向量 $r_{24}=(0.508\ 2,0.491\ 8,0,0)$ 。

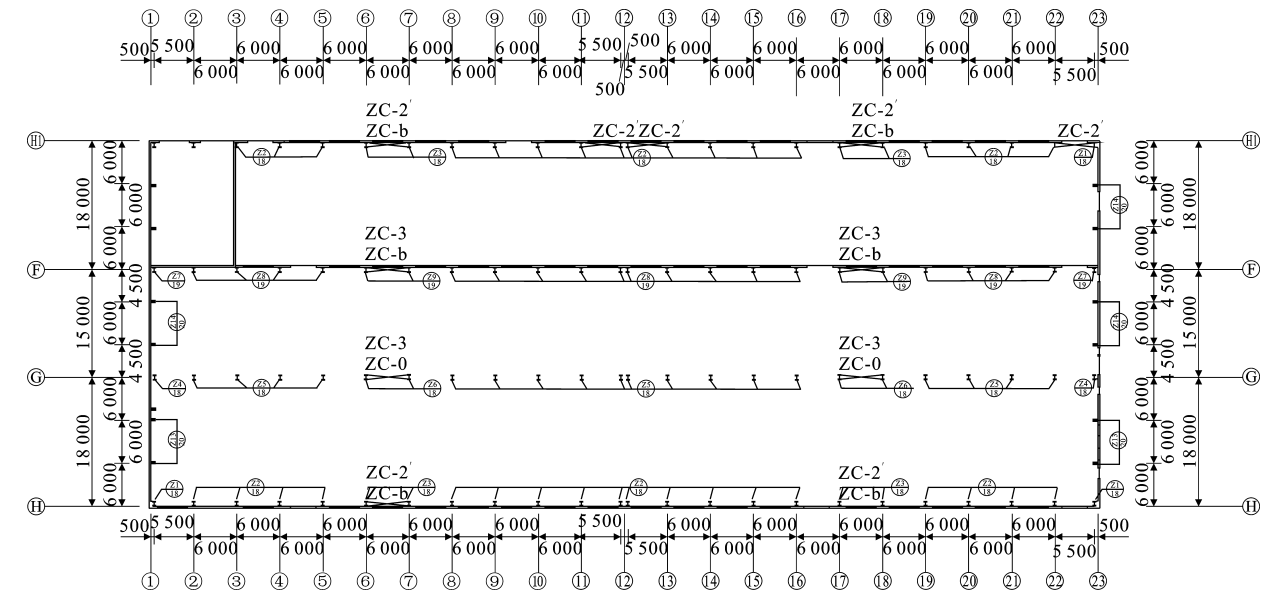


图 3 厂房平面(单位:mm)

Fig. 3 Plant Floor Plane (Unit:mm)

由此可得,基础的评定等级向量 $\theta = W_2^T R_2 = (0.731\ 1, 0.266\ 9, 0, 0)$ 。

5.1.3 环境保护评估

根据施工现场环境,超过粉尘基准排放量的区域位于吊车梁与排架柱附近 2 m 范围内^[20],占厂房总面积 19.6%,根据式(5)与表 7 可知,其隶属向量 $r_{31} = (1, 0, 0, 0)$,该工程中绝大部分上部构件继续使用,固体垃圾排放只有杯口基础、围护砖墙以及个别无法继续使用的构件,根据式(5)与表 7 还可知,其隶属向量 $r_{32} = (1, 0, 0, 0)$ 。

由此可得,地基的评定等级向量 $C = W_3^T R_3 = (1, 0, 0, 0)$ 。

5.2 整体评估

根据上部结构、基础和地基的评判结果,可得单层厂房搬迁加固改造可行性的判断矩阵 D ,即

$$D = (B, \theta, C)^T =$$

$$\begin{bmatrix} 0.000\ 6 & 0.507\ 8 & 0.375\ 5 & 0.116\ 1 \\ 0.733\ 1 & 0.226\ 9 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

系统层结构损伤、费用和环保各指标的权系数向量 $W = (0.454\ 5, 0.198\ 5, 0.347\ 0)^T$,则总的评定等级向量 $\Delta = (0.687\ 6, 0.215\ 0, 0.074\ 4, 0.023\ 0)$ 。

根据最大隶属度原则可知,评定等级向量 Δ 最大值 0.687 6 落入表 10 中的 A 级,则该单层工业厂房搬迁加固改造工程的综合评估等级为 A 级,表明该厂房在使用与拆除过程中受损较小,只需进行少量的加固修缮即可继续投入使用,费用方面较新建厂房也有明显节约;在环境保护方面,该工程也完全符合规范要求。该方法的评估结果与实际施工情况基本相符。

6 结 语

(1)基于模糊数学理论,建立了单层工业厂房搬迁加固改造的评估模型,并给出了该模型的具体评估方法。

(2)以某公司 2 栋单层厂房为例,应用该评估模型对该单层厂房搬迁加固改造工程进行了评估,评估结果与实际情况基本吻合,验证了模型的正确性。

(3)该评估方法可以定量计算单层工业厂房搬迁加固改造是否可行,从而为以后类似工业厂房的继续使用提供了可靠的科学依据。

参考文献:

References:

[1] 高亚男. 单层工业厂房再利用投资决策风险识别及量

化研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2013.

GAO Ya-nan. The Risk Identification and Quantitative Research on the Investment Decision-making of Monolayer Industrial Plants[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.

[2] 王 璐. 上海旧工业厂房的改造与再利用研究[D]. 上海:东华大学,2007.

WANG Lu. A Research on the Reconstruction and Reuse of the Shanghai Old Industry Plants [D]. Shanghai: Donghua University, 2007.

[3] 董军锋. 单层工业厂房可靠性鉴定评级及其加固处理研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2004.

DONG Jun-feng. Study of Reliability Appraisal and Classification and Strengthening of Single-floor Industrial Mill Buildings[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2004.

[4] 孙继德,李希玲. 工业厂房绿色建筑评价的关键指标[J]. 价值工程,2011,30(30):41-42.

SUN Ji-de, LI Xi-ling. Establishment of Industrial Plants Green Building Evaluation Indicators System [J]. Value Engineering, 2011, 30(30): 41-42.

[5] 庄简狄. 旧工业建筑再利用若干问题研究[D]. 北京:清华大学,2004.

ZHUANG Jian-di. A Study on the Reuse of Old Industrial Buildings[D]. Beijing: Tsinghua University, 2004.

[6] 全书敬. 基于模糊综合评判的工业厂房可靠性评估系统研发[D]. 郑州:郑州大学,2014.

TONG Shu-jing. The Research of Industrial Plants Reliability Evaluation System Based on Fussy Comprehensive Evaluation [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2014.

[7] 罗 佳. 厂房搬迁模糊网络施工及构件利用性模糊综合评判[D]. 长沙:湖南大学,2011.

LUO Jia. Fuzzy Network Construction of Industrial Workshop Relocation and the Fuzzy Comprehensive Evaluation on Component Utilization[D]. Changsha: Hunan University, 2011.

[8] 孙长明, 葛宝晖, 阎 石. 模糊数学在工业厂房可靠性鉴定中的应用[J]. 沈阳建筑工程学院学报:自然科学版, 2001, 17(4): 268-271.

SUN Chang-ming, QI Bao-hui, YAN Shi. Application of Fuzzy Mathematics for Workshop Structures Reliability Assessment[J]. Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering University: Natural Science, 2001, 17(4): 268-271.

[9] 李铁英, 魏剑伟, 张善元, 等. 木结构双参数地震损坏准则及应县木塔地震反应评价[J]. 建筑结构学报,

- 2004,25(2):91-98.
- LI Tie-ying, WEI Jian-wei, ZHANG Shan-yuan, et al. Double-parameter Seismic Damage Criterion on Wooden Structure and Seismic Response Appraisal on Yingxian Wooden Tower[J]. Journal of Building Structures, 2004, 25(2): 91-98.
- [10] 薛建阳, 张风亮, 赵鸿铁, 等. 古建筑木结构基于结构潜能和能量耗散准则的地震破坏评估[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(8): 127-134.
- XUE Jian-yang, ZHANG Feng-liang, ZHAO Hong-tie, et al. Potential and Energy Dissipation-based Seismic Damage Evaluation of Ancient Timber Structure[J]. Journal of Building Structures, 2012, 33(8): 127-134.
- [11] 贾 华. 层次分析法中权重算法的一种改进[J]. 武测科技, 1995(3): 25-30.
- JIA Hua. Analysis of an Improved Weight Algorithm in Hierarchy[J]. WTUSM Bulletin of Science and Technology, 1995(3): 25-30.
- [12] 王 强. 砖木结构房屋抗震性能评价方法研究[D]. 兰州: 中国地震局兰州地震研究所, 2009.
- WANG Qiang. The Methodological Analysis on the Assessment of the Anti-seismic Performance of the Brick-wood Building[D]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Seismology of China Earthquake Administration, 2009.
- [13] 凌震亚. 工业厂房绿色建筑评价体系研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- LING Zhen-ya. A Research on Green Building Evaluation System of Industrial Plants[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.
- [14] 顾赫巍. 基于模糊综合评判理论的砖石古塔可靠性评价[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- GU He-wei. Reliability Appraisal on Ancient Stone Pagodas Based on Fuzzy Composite Appraisal Theory[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.
- [15] 董忠厚. 工业厂房砼碳化规律的研究及体系可靠性模糊评价[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2004.
- DONG Zhong-hou. The Investigation Research of Concrete Carbonation Regularity and Fuzzy Evaluation on Industrial Factory Buildings[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2004.
- [16] 李献民, 王竹芳, 董法林. 工业建筑中的钢筋锈蚀及防护措施[J]. 电力建设, 1997(8): 49-52.
- LI Xian-min, WANG Zhu-fang, DONG Fa-lin. Rust Problem of Reinforced Bar in Industrial Structures and Their Proof Measures[J]. Electric Power Construction, 1997(8): 49-52.
- [17] 龙建光. 钢筋混凝土构件裂缝研究与工程应用[D]. 长沙: 中南大学, 2006.
- LONG Jian-guang. Research and Engineering Application of Crack in Reinforced Concrete Members[D]. Changsha: Central South University, 2006.
- [18] 丁孙玮. 钢筋混凝土单层厂房抗震鉴定及加固方法研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- DING Sun-wei. A Study on Seismic Evaluation and Retrofit of One-storey Reinforced Concrete [D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [19] 邓 雷. 探析影响工业厂房建造成本的主要因素[J]. 科技资讯, 2006(30): 244-245.
- DENG Lei. A Study on the Main Factors That Affect the Construction Cost of Industrial Plant[J]. Science & Technology Information, 2006(30): 244-245.
- [20] 陈 娟. 建材生产厂房粉尘治理研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2014.
- CHEN Juan. Management of Building Materials Production Plant Dust[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2014.