

# 震后灾区民用建筑重建工程质量模糊 积分综合评价模型<sup>\*</sup>

常志朋<sup>1,2</sup>, 程龙生<sup>1</sup>

(1. 南京理工大学 经济管理学院, 江苏 南京 210094; 2. 安徽工业大学 经济学院, 安徽 马鞍山 243002)

**摘 要:** 首先根据“加强抗震能力”和“建设两型社会”的科学发展观内涵, 构建了震后灾区民用建筑重建工程质量评价指标体系, 然后利用模糊测度和 Choquet 模糊积分算子构建模糊积分综合评价法, 并给出了详细的评价步骤, 最后以某震后重建小区工程质量的调查数据为例, 验证了本评价模型的可行性和有效性。

**关键词:** 民用建筑; 工程质量; 模糊测度; Choquet 模糊积分; 综合评价

**中图分类号:** X43; TU712.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2013)04-0165-06

近年来, 我国连续发生汶川 8.0 级、玉树 7.1 级、芦山 7.0 级等多个较强破坏性地震, 给人民生命财产带来了极大的损失。汶川特大地震重灾区面积超 10 万 km<sup>2</sup>, 倒塌房屋达 778.91 万间, 损坏房屋 2 459 万间; 玉树地震波及约 3 万 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 受灾人口约 20 万人。在党中央、国务院的正确领导下, 灾区政府积极开展重建工作并提出: 灾区重建必须坚持科学发展观, 灾区重建必须坚持以关系到民生的民用建筑(包括居住建筑和公共建筑)为重点, 灾区重建工程质量好坏必须以人民群众满意为标准。因此, 在科学发展观指导下构建一套普通居民易于理解和可操作的震后民用建筑重建工程质量评价指标体系, 并构建适当的评价模型进行主观评价, 对检验重建工程灾区群众是否满意具有重要的意义。

目前, 关于建筑质量的主观评价模型最常用的是基于加权平均算子的模糊综合评价模型<sup>[2-6]</sup>, 加权平均算子应用的前提是假设指标之间相互独立, 然而在实际应用中指标间往往存在一定的交互作用, 因此利用传统模糊综合评价模型进行主观评价可能会导致评价结果失真。针对这种情况, 本文利用模糊测度来衡量指标间的交互作用, 利用 Choquet 模糊积分算子代替加权平均算子, 从而构建了模糊积分综合评价模型, 并用此模型对震后民用建筑重建工程质量进行评价。

## 1 震后灾区民用建筑重建工程质量评价指标体系

### 1.1 评价指标体系的构建原则

(1)加强民用建筑抗震能力构建原则。灾害是由一个孕灾环境、致灾因子和承灾体共同作用的复杂系统<sup>[7]</sup>。在震后民用建筑重建的过程中, 必须把加强民用建筑抗震能力放在首要位置, 一方面保持孕灾环境的稳定性, 另一方面降低致灾因子的发生频率和承灾体的脆弱性;

(2)建设“资源节约型、环境友好型社会”为构建原则。震后民用建筑重建, 不仅要保证建筑的抗震能力, 还要根据国家提出的建设“资源节约型、环境友好型”社会要求, 使民用建筑既具有节能的功能, 又能使人与建筑环境和谐共处;

(3)可操作性构建原则。由于在建筑质量评价中一些相关指标专业性较强, 这些指标不仅不利于普通居民的理解, 而且基础数据可观测性和可采集性较差, 因此在构建评价指标体系时要便于普通居民理解和操作;

(4)全面性、简明性构建原则。震后民用建筑重建工程质量评估指标体系不仅要反映建筑工程本身的质量, 而且还要反映建筑设计质量、建筑环境质量以及建筑节能设计的质量。另外, 还要尽量避免评价指标体系内部存在着相互重叠度很

\* 收稿日期: 2013-03-04      修回日期: 2013-04-25

基金资助: 教育部人文社会科学规划基金资助项目(10YJA630020)

作者简介: 常志朋(1978-), 男, 吉林榆树人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为管理综合评价、多准则决策、外贸救济系统等。

E-mail: changzp@126.com

大的一些指标，确保指标简明的基础上保持指标间最大程度的相互独立。

1.2 评价指标体系

以加强震后民用建筑抗震能力为首要原则，根据建设“资源节约型、环境友好型”社会的科学发展内涵，全面梳理文献<sup>[2-4, 7-23]</sup>，筛选出如下震后灾区民用建筑重建质量评价指标体系(表1)。

表 1 灾区民用建筑重建工程质量评价指标及模糊密度

层面	评价指标	模糊密度	$\lambda$ 值
X	$X_1$ 抗震能力	0.953 3	$\lambda_0 =$ $-0.999\ 7$
	$X_2$ 节能目标	0.735 2	
	$X_3$ 建筑环境及心理恢复	0.810 9	
	$X_4$ 无障碍设计	0.889 7	
$X_1$	$X_{11}$ 地基基础抗震能力	0.602 1	$\lambda_1 =$ $-0.809\ 5$
	$X_{12}$ 结构工程抗震能力	0.450 0	
	$X_{13}$ 疏散的便捷性	0.352 0	
	$X_{14}$ 内部设置的防灾空间	0.225 4	
$X_2$	$X_{21}$ 节能灶具使用情况	0.152 7	$\lambda_2 =$ $-0.444\ 7$
	$X_{22}$ 节能技术使用情况	0.143 6	
	$X_{23}$ 节水器具使用情况	0.190 9	
	$X_{24}$ 可再生能源使用情况	0.252 7	
	$X_{25}$ 节能宣传与培训情况	0.486 9	
$X_3$	$X_{31}$ 交往空间	0.814 7	$\lambda_3 =$ $-0.998\ 6$
	$X_{32}$ 建筑空间色彩	0.623 9	
	$X_{33}$ 室外噪音与室内隔音	0.925 4	
$X_4$	$X_{34}$ 室外植被与绿化	0.743 1	$\lambda_4 =$ $-0.311\ 9$
	$X_{41}$ 楼梯间无障碍设计	0.359 5	
	$X_{42}$ 住宅内部无障碍设计	0.554 3	
	$X_{43}$ 社区及周边无障碍设计	0.202 0	

2 模糊积分综合评价模型

2.1 模糊积分理论

传统模糊综合评价法<sup>[24]</sup>常用的加权平均算子是建立在评价指标间相互独立基础上的,然而在实际中评价指标间往往是存在一定的交互作用。1974年 Sugeno<sup>[25]</sup>提出了模糊测度的概念,模糊测度是在考虑指标间交互作用情况下的一种主观计量模糊对象重要程度的尺度。因此,当模糊测度应用于评价问题时,模糊测度即为指标或指标集的权重值<sup>[26]</sup>。模糊测度主要有 $k$ 可加模糊测度<sup>[27]</sup>和 $\lambda$ 模糊

测度<sup>[25]</sup>,由于 $\lambda$ 模糊测度计算量相对较小,因此本文采用 $\lambda$ 模糊测度。

定义 1<sup>[28]</sup> 设  $X = \{X_1, X_2, \cdots, X_n\}$  为有限集,  $(X, P(X))$  是一可测空间,  $g: P(X) \rightarrow [0, 1]$  是一组函数,具有如下性质:

(1)  $g(\emptyset) = 0, g(X) = 1$ ; (2)  $\forall A, B \in P(X)$ , 若  $A \subseteq B$ , 则有  $g(A) \leq g(B)$ ;  
函数  $g$  称为模糊测度,如果还满足以下条件:对于  $\forall A, B \in P(X), A \cap B = \emptyset$ , 存在  $\lambda > -1$  使得  $g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A)g_\lambda(B)$ ,

(1)

则称  $g_\lambda$  为  $\lambda$  模糊测度。

当  $\lambda > 0$  时,所有评价指标间存在积极的合作;当  $\lambda < 0$  时,所有评价指标间存在消极的合作;当  $\lambda = 0$  时,所有评价指标间是相互独立的。

设  $X = \{X_1, X_2, \cdots, X_n\}$  为有限集, 令  $g_i = g(X_i)$  为评价指标  $X_i$  的模糊密度,如果  $A = \{X_1, X_2, \cdots, X_n\}$ , 则:

$$g_\lambda(A) = \sum_{i=1}^n g_i + \lambda \sum_{i_1=1}^{n-1} \sum_{i_2=i_1+1}^n g_{i_1} g_{i_2} + \cdots + \lambda^{n-1} g_1 g_2 \cdots g_n = \frac{1}{\lambda} \left[ \prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_i) - 1 \right]. \quad (2)$$

式中:  $\lambda > -1$ ,  $\lambda$  值可以通过  $g_\lambda(X) = 1$  唯一确定,即

$$\prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_i) = \lambda + 1. \quad (3)$$

模糊积分是定义在模糊测度基础上的一种非线性集成算子<sup>[26]</sup>,它不需要假设指标间相互独立,因此广泛被应用于指标间具有相互作用的主观评价问题。模糊积分的形式较多,常用的有 Sugeno 积分和 Choquet 积分,本文采用 Choquet 积分。

定义 2<sup>[29]</sup> 设  $g$  是定义在  $X$  上的  $\lambda$  模糊测度,  $f$  是定义在  $X$  上的非负实值可测函数,则  $f$  关于  $g$  的 Choquet 积分为:

$$\int f(X) dg = \sum_{i=1}^n (f(X_{(i)}) - f(X_{(i-1)})) g(A_{(i)}). \quad (4)$$

式中:  $(i)$  指的是按照

$$f(X_{(1)}) \leq f(X_{(2)}) \leq \cdots f(X_{(n)})$$

进行排序后的下标,令:

$$A_{(i)} = \{X_{(i)}, X_{(i+1)}, \cdots, X_{(n)}\}, f(X_{(0)}) = 0.$$

2.2 模糊积分综合评价步骤

本文借鉴传统模糊综合评价原理,利用  $\lambda$  模糊测度和 Choquet 积分算子构建了模糊积分综合评价模型,具体评价步骤如下:

设评价指标体系  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  有  $n$  个准则,其中准则  $X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in_i}\}$ ,  $n_i$  为第  $i$  个准则内部的指标个数。

- 步骤 1: 确定评语集  $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}$ 。
- 步骤 2: 确定评价准则的模糊评价矩阵。
- 设评价准则的模糊评价矩阵为:

$$R_i = \begin{bmatrix} X_{i1}(\theta_1) & X_{i1}(\theta_2) & \cdots & X_{i1}(\theta_m) \\ X_{i2}(\theta_1) & X_{i2}(\theta_2) & \cdots & X_{i2}(\theta_m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{in_i}(\theta_1) & X_{in_i}(\theta_2) & \cdots & X_{in_i}(\theta_m) \end{bmatrix}。$$

(5)

式中: $X_{ij}(\theta_k)$  为第  $i$  个准则内第  $j$  个评价指标的第  $k$  个评语值,其中  $0 \leq X_{ij}(\theta_k) \leq 1$ ,且  $\sum_{k=1}^m X_{ij}(\theta_k) = 1$ 。

- 步骤 3: 计算准则  $X_i(i = 1, 2, \dots, n)$  的模糊密度  $g(X_i)$  和准则  $X_i(i = 1, 2, \dots, n)$  内部第  $j$  个指标  $X_{ij}(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n_i)$  的模糊密度  $g(X_{ij})$ 。

- 步骤 4: 根据式(3)计算准则  $X_1, X_2, \dots, X_n$  之间的  $\lambda$  值,记为  $\lambda_0$ ,以及准则  $X_i(i = 1, 2, \dots, n)$  内部  $n_i$  个评价指标  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in_i}$  之间的  $\lambda$  值,记为  $\lambda_i$ 。

- 步骤 5 根据式(2)计算准则集  $X$  的  $\lambda$  模糊测度,以及指标集  $X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in_i}\}$  的  $\lambda$  模糊测度,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。

- 步骤 6 计算评价目标  $X$  的模糊评价矩阵  $R$ 。
- 根据准则  $X_i(i = 1, 2, \dots, n)$  的模糊评价矩阵  $R_i$ ,利用式(4)计算准则  $X_i$  在评语  $\theta_k$  下的评语值:

$$X_i(\theta_k) = \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij}(\theta_k) - X_{i(j-1)}(\theta_k))g(A_{i(j)}).$$

(6)

式中:( $j$ ) 指的是按照

$X_{i(1)}(\theta_k) \leq X_{i(2)}(\theta_k) \leq \cdots X_{i(n_i)}(\theta_k)$  进行排序后的下标,令:

$$A_{i(j)} = \{X_{i(j)}, X_{i(j+1)}, \dots, X_{i(n_i)}\}, X_{i(0)}(\theta_k) = 0; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n_i; k = 1, 2, \dots, m。$$

故可得评价目标  $X$  的模糊评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} X_1(\theta_1) & X_1(\theta_2) & \cdots & X_1(\theta_m) \\ X_2(\theta_1) & X_2(\theta_2) & \cdots & X_2(\theta_m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_n(\theta_1) & X_n(\theta_2) & \cdots & X_n(\theta_m) \end{bmatrix}。$$

(7)

- 步骤 7: 计算评价目标  $X$  的各评语值。
- 根据评价目标  $X$  的模糊评价矩阵  $R$ ,利用式(4)计算评价目标  $X$  在评语  $\theta_k$  下的评语  $X(\theta_k)$ :

$$X(\theta_k) = \sum_{i=1}^n (X_i(\theta_k) - X_{i-1}(\theta_k))g(A_{(i)}).$$

(8)

式中:( $i$ ) 指的是按照  $X_{(1)}(\theta_k) \leq X_{(2)}(\theta_k) \leq \cdots X_{(n)}(\theta_k)$  进行排序后的下标,令  $A_i = \{X_{(i)}, X_{(i+1)}, \dots, X_{(n)}\}, X_{(0)}(\theta_k) = 0$ 。

- 步骤 8: 确定评价目标的状态
- $$\theta^* = \arg \max_{1 \leq k \leq m} X(\theta_k)。$$
- (9)

### 3 实例分析

以汶川县某重建居民小区(该小区已投入使用 2 年)为例,根据表 1 中的评价指标体系,利用模糊积分综合评价模型,从小区住户的角度对其重建的工程质量进行评价,以期为相关部门提出相应的改进建议和为以后类似工程积累建设经验。本次评价的数据均来自问卷调查,调查方式采取小区内随机拦访,共发放出 23 份调查问卷,选取 20 份有效问卷做数据分析,具体评价步骤如下:

- 步骤 1: 确定评语集。
- 对小区的工程质量划分不同的评价等级,有利于直观的分析工程质量好坏,以便小区居民提出相应的改进建议。评价等级划分的越多,评价越准确,但是心理学研究表明,人的最佳区分能力在 6 个等级左右,最高 9 个等级,5 ~ 7 等级为宜<sup>[30]</sup>。本文将指标的评价等级划分为 5 个等级<sup>[31]</sup>(表 2)。

表 2 评价等级及说明	
评价等级	说明
好( $\theta_1$ )	指标相关方面表现非常优秀
较好( $\theta_2$ )	指标相关方面表现良好,不足之处不需要改进
一般( $\theta_3$ )	指标相关方面表现稍好,不足之处需要一定改进
较差( $\theta_4$ )	指标相关方面表现一般,不足之处需要较大改进
差( $\theta_5$ )	指标相关方面表现极差,需要彻底整改

- 步骤 2 确定各准则的模糊评价矩阵。
- 根据表 1 的评价指标体系和表 2 的评价等级说明,邀请被调查者对其所居住的房屋进行单指标评价,每个评价指标在相应等级下的投票数见表 3。根据表 3 的统计数据,得各准则的模糊评价矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.40 & 0.15 & 0.30 & 0.15 & 0 \\ 0.50 & 0.10 & 0.30 & 0.05 & 0.05 \\ 0.20 & 0.20 & 0.25 & 0.10 & 0.25 \\ 0.05 & 0.25 & 0.50 & 0.10 & 0.10 \end{bmatrix},$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.05 & 0 & 0.40 & 0.30 \\ 0.75 & 0.15 & 0.10 & 0 & 0 \\ 0.30 & 0.55 & 0.15 & 0 & 0 \\ 0.40 & 0.25 & 0.30 & 0 & 0.05 \\ 0.10 & 0.05 & 0.75 & 0.10 & 0.05 \end{bmatrix},$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.50 & 0.10 & 0 & 0.25 \\ 0.70 & 0.20 & 0.10 & 0 & 0 \\ 0.50 & 0.25 & 0.05 & 0.20 & 0.05 \\ 0.45 & 0.25 & 0.15 & 0.10 & 0.05 \end{bmatrix},$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.20 & 0.10 & 0.65 & 0 \\ 0.15 & 0.25 & 0.10 & 0 & 0.50 \\ 0.10 & 0.05 & 0.45 & 0.35 & 0.05 \end{bmatrix}.$$

表 3 各评价指标的评定等级统计表  
(20 份问卷)

准则	评价指标	好	较好	一般	较差	差
X <sub>1</sub>	X <sub>11</sub> 地基基础抗震能力	8	3	6	3	0
	X <sub>12</sub> 结构工程抗震能力	10	2	6	1	1
	X <sub>13</sub> 疏散的便捷性	4	4	5	2	5
	X <sub>14</sub> 内部设置的防灾空间	1	5	10	2	2
X <sub>2</sub>	X <sub>21</sub> 节能灶具使用情况	5	1	0	8	6
	X <sub>22</sub> 节能技术使用	15	3	2	0	0
	X <sub>23</sub> 节水器具使用情况	6	11	3	0	0
	X <sub>24</sub> 可再生能源使用情况	8	5	6	0	1
X <sub>3</sub>	X <sub>25</sub> 节能宣传与培训	2	1	15	2	1
	X <sub>31</sub> 交往空间	3	10	2	0	5
	X <sub>32</sub> 建筑空间色彩	14	4	2	0	0
	X <sub>33</sub> 室外噪音与室内隔音	10	5	1	4	1
X <sub>4</sub>	X <sub>34</sub> 室外植被与绿化	9	5	3	2	1
	X <sub>41</sub> 楼梯间无障碍设计	1	4	2	13	0
	X <sub>42</sub> 住宅内部无障碍设计	3	5	2	0	10
	X <sub>43</sub> 社区及周边无障碍设计	2	1	9	7	1

步骤 3： 计算各准则和评价指标的模糊密度。  
参照文献[32] 中的划分方法,将指标的重要程度划分为9 级(表 4)。邀请被调查者对表 1 中的准则和评价指标的模糊密度进行打分,然后将它们的分数进行算数平均,得到 4 个准则和 12 个评价指标的模糊密度,见表 1 第 3 列。

表 4 指标模糊密度的打分尺度

极不重要	非常重要	很不重要	稍不重要	普通	稍微重要	很重要	非常重要	极重要
0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

步骤 4： 确定准则层和各指标层的 λ 值。  
根据表 1 中 4 个准则和 12 个指标的模糊密度,利用式(3) 计算各层面的 λ 值,见表 1 第 4 列。  
步骤 5： 确定准则集和指标集的 λ 模糊测度。  
利用式(2) 计算表 1 中准则集和各指标集的 λ 模糊测度,计算结果见表 5。  
步骤 6： 计算评价目标 X 的模糊评价矩阵 R。  
根据式(4), 利用模糊积分算子计算各准则在不同评语下的评语值,以准则 X<sub>1</sub> 内的 4 个指标{X<sub>11</sub>, X<sub>12</sub>, X<sub>13</sub>, X<sub>14</sub>} 为例,说明计算过程。  
由准则 X<sub>1</sub> 的模糊评价矩阵 R<sub>1</sub> 可知:  
X<sub>14</sub>(θ<sub>1</sub>) ≤ X<sub>13</sub>(θ<sub>1</sub>) ≤ X<sub>11</sub>(θ<sub>1</sub>) ≤ X<sub>12</sub>(θ<sub>1</sub>)  
故根据式(4) 得:  
X<sub>1</sub>(θ<sub>1</sub>) = [X<sub>14</sub>(θ<sub>1</sub>) - 0]g(X<sub>14</sub>, X<sub>13</sub>, X<sub>11</sub>, X<sub>12</sub>) +  
[X<sub>13</sub>(θ<sub>1</sub>) - X<sub>14</sub>(θ<sub>1</sub>)]g(X<sub>13</sub>, X<sub>11</sub>, X<sub>12</sub>) +  
[X<sub>11</sub>(θ<sub>1</sub>) - X<sub>13</sub>(θ<sub>1</sub>)]g(X<sub>11</sub>, X<sub>12</sub>) +  
[X<sub>12</sub>(θ<sub>1</sub>) - X<sub>11</sub>(θ<sub>1</sub>)]g(X<sub>12</sub>)  
= [0.05 - 0] × 1 + [0.20 - 0.05] ×  
0.947 5 + [0.40 - 0.20] × 0.832 8 +  
[0.50 - 0.40] × 0.45  
= 0.407 7  
同理,X<sub>1</sub>(θ<sub>2</sub>) = 0.180 1,X<sub>1</sub>(θ<sub>3</sub>) = 0.340 4,  
X<sub>1</sub>(θ<sub>4</sub>) = 0.123 4,X<sub>1</sub>(θ<sub>5</sub>) = 0.117 3;  
X<sub>2</sub>(θ<sub>1</sub>) = 0.313 5,X<sub>2</sub>(θ<sub>2</sub>) = 0.203 4,  
X<sub>2</sub>(θ<sub>3</sub>) = 0.408 2,X<sub>2</sub>(θ<sub>4</sub>) = 0.106 5,  
X<sub>2</sub>(θ<sub>5</sub>) = 0.077 3;X<sub>3</sub>(θ<sub>1</sub>) = 0.621 6,  
X<sub>3</sub>(θ<sub>2</sub>) = 0.453 6,X<sub>3</sub>(θ<sub>3</sub>) = 0.136 3,  
X<sub>3</sub>(θ<sub>4</sub>) = 0.141 6,X<sub>3</sub>(θ<sub>5</sub>) = 0.212 8;  
X<sub>4</sub>(θ<sub>1</sub>) = 0.113 8,X<sub>4</sub>(θ<sub>2</sub>) = 0.205 5,  
X<sub>4</sub>(θ<sub>3</sub>) = 0.170 7,X<sub>4</sub>(θ<sub>4</sub>) = 0.312 2,  
X<sub>4</sub>(θ<sub>5</sub>) = 0.285 5。  
可以得到评价目标 X 的模糊评价矩阵  
R =  $\begin{bmatrix} 0.4077 & 0.1801 & 0.3404 & 0.1234 & 0.1173 \\ 0.3135 & 0.2034 & 0.4082 & 0.1065 & 0.0773 \\ 0.6216 & 0.4536 & 0.1363 & 0.1416 & 0.2128 \\ 0.1138 & 0.2055 & 0.1707 & 0.3122 & 0.2855 \end{bmatrix}.$   
步骤 7： 计算评价目标 X 的各评语值。  
根据模糊评价矩阵 R 计算评价目标 X 的不同评语值:  
X(θ<sub>1</sub>) = 0.6563,X(θ<sub>2</sub>) = 0.4065,  
X(θ<sub>3</sub>) = 0.3882,X(θ<sub>4</sub>) = 0.2930,  
X(θ<sub>5</sub>) = 0.2755。  
步骤 8： 根据评语值最大原则,得出该重建小区的工程质量为“优”。  
从评价结果看,该小区的居民对所居住小区的工程质量总体来说是感到满意的,但是通过分析模糊评价矩阵 R 发现,该小区的节能目标和无障碍设

计表现一般,小区居民不是很满意,需要进一步采取措施改进。另外,通过分析表 1 中的模糊密度值发现,小区居民最关注的是小区的“抗震能力”和“无

表 5 准则集和各指标集的  $\lambda$  模糊测度值

层面	指标集	模糊测度	指标集	模糊测度
X	$\{\varphi\}$	0	$\{2,3\}$	0.9501
	$\{1\}$	0.9533	$\{2,4\}$	0.9710
	$\{2\}$	0.7352	$\{3,4\}$	0.9794
	$\{3\}$	0.8109	$\{1,2,3\}$	0.9979
	$\{4\}$	0.8897	$\{1,2,4\}$	0.9989
	$\{1,2\}$	0.9878	$\{1,3,4\}$	0.9993
	$\{1,3\}$	0.9914	$\{2,3,4\}$	0.9948
	$\{1,4\}$	0.9951	$\{1,2,3,4\}$	1.0000
X <sub>1</sub>	$\{\varphi\}$	0	$\{2,3\}$	0.6738
	$\{1\}$	0.6021	$\{2,4\}$	0.5933
	$\{2\}$	0.4500	$\{3,4\}$	0.5132
	$\{3\}$	0.3520	$\{1,2,3\}$	0.9475
	$\{4\}$	0.2254	$\{1,2,4\}$	0.9062
	$\{1,2\}$	0.8328	$\{1,3,4\}$	0.8652
	$\{1,3\}$	0.7825	$\{2,3,4\}$	0.7762
	$\{1,4\}$	0.7176	$\{1,2,3,4\}$	1.0000
X <sub>2</sub>	$\{\varphi\}$	0	$\{1,2,3\}$	0.4531
	$\{1\}$	0.1527	$\{1,2,4\}$	0.5070
	$\{2\}$	0.1436	$\{1,2,5\}$	0.7114
	$\{3\}$	0.1909	$\{1,3,4\}$	0.5462
	$\{4\}$	0.2527	$\{1,3,5\}$	0.7459
	$\{5\}$	0.4869	$\{1,4,5\}$	0.7911
	$\{1,2\}$	0.2865	$\{2,3,4\}$	0.5388
	$\{1,3\}$	0.3306	$\{2,3,5\}$	0.7394
	$\{1,4\}$	0.3882	$\{2,4,5\}$	0.7847
	$\{1,5\}$	0.6065	$\{3,4,5\}$	0.8176
	$\{2,3\}$	0.3223	$\{1,2,3,4\}$	0.6549
	$\{2,4\}$	0.3802	$\{1,2,3,5\}$	0.8419
	$\{2,5\}$	0.5994	$\{1,2,4,5\}$	0.8842
	$\{3,4\}$	0.4221	$\{1,3,4,5\}$	0.9148
	$\{3,5\}$	0.6365	$\{2,3,4,5\}$	0.9090
	$\{4,5\}$	0.6849	$\{1,2,3,4,5\}$	1.0000
X <sub>3</sub>	$\{\varphi\}$	0	$\{2,3\}$	0.9728
	$\{1\}$	0.8147	$\{2,4\}$	0.9040
	$\{2\}$	0.6239	$\{3,4\}$	0.9818
	$\{3\}$	0.9254	$\{1,2,3\}$	0.9961
	$\{4\}$	0.7431	$\{1,2,4\}$	0.9832
	$\{1,2\}$	0.9310	$\{1,3,4\}$	0.9977
	$\{1,3\}$	0.9872	$\{2,3,4\}$	0.9940
	$\{1,4\}$	0.9532	$\{1,2,3,4\}$	1.0000
X <sub>4</sub>	$\{\varphi\}$	0	$\{1,2\}$	0.8516
	$\{1\}$	0.3595	$\{1,3\}$	0.5389
	$\{2\}$	0.5543	$\{2,3\}$	0.7214
	$\{3\}$	0.2020	$\{1,2,3\}$	1.0000

障碍设计”,具体关心的是小区的“地基基础抗震能力”和“住宅的内部无障碍设计”,希望有关部门和设计单位在以后的重建工程中加强这两方面的设计和改进。

4 结论

本文首先全面梳理现有文献,建立了由 4 个准则和 12 个评价指标构成的震后灾区民用建筑重建工程质量评价指标体系;然后将模糊测度和 Choquet 模糊积分算子同传统模糊综合评价原理相结合,构建了模糊积分综合评价模型,该模型考虑了指标之间客观存在的交互作用,使评价结果更符合实际;最后通过实例验证了该模糊积分综合评价模型的可行性和有效性。

参考文献:

[1] 周阿颖,张朝,史培军,等. 影响地震救灾效率的因素分析——以汶川 8.0 级地震和玉树 7.1 级地震为例[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 134–138.

[2] 梁爽,毕继红,刘津明. 建筑工程质量等级的模糊综合评判法[J]. 天津大学学报, 2001, 34(5): 664–669.

[3] 李明金. 建筑工程质量评价研究[D]. 南京:南京理工大学, 2008.

[4] 石百军,刘维刚,赵建. 关于建筑工程观感质量量化评价办法的探讨[J]. 工程质量, 2009, 27(3): 19–21.

[5] 杨玲,姜帆,逢丽凡. 建筑工程质量多层次模糊综合评价方法的原理与应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2009, 7(1): 87–89.

[6] 魏永恒. 模糊方法在建筑工程投资估算和工程质量评价中的应用研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2009.

[7] 辜智慧,葛怡,刘宝印,等. 汶川地震灾后安全建设经验及其对玉树重建的启示[J]. 经济与管理研究, 2010(6): 95–101.

[8] 路忠燕,安艳玲. 贵阳市大型公共建筑节能评价指标体系的构建[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(4): 22–26.

[9] 魏晓东. 基于 AHM 的既有居住建筑围护结构节能改造效益综合评价研究[J]. 科技管理研究, 2011(16): 73–75.

[10] 张立宁,安晶,何燕,等. 基于 GA-ANN 的建筑工程质量评价模型研究[J]. 华北科技学院学报, 2011, 8(1): 50–53.

[11] 辛制高,赵旭,皮佳亮. 基于云模型的建筑工程质量等级评价[J]. 科技与管理, 2011, 13(1): 73–76.

[12] 王清勤,何维达. 既有公共建筑节能改造评价指标体系构建的探讨[J]. 建筑节能, 2011, 39(4): 73–76.

[13] 韩青苗,杨晓冬,占松林,等. 建筑节能经济激励政策实施效果评价指标体系构建[J]. 北京交通大学学报: 社会科学版, 2010, 9(3): 59–63.

[14] 李维玮. 汶川地震灾后重建城镇住宅环境评价因子研究[D]. 成都:西南交通大学, 2011.

[15] 李茂杰. 汶川县城震后重建居民点建筑节能评价[D]. 成

都：西南交通大学，2011.

[16] 王浩. 灾后基础设施重建规划环评环境影响识别及指标体系研究[D]. 兰州：西北师范大学，2009.

[17] 骆雯，张斌. 中国绿色建筑环境质量评价指标和体系的探讨[J]. 制冷与空调，2010，10(6)：10-15.

[18] 殷文杰. 建筑生态环境质量评价的定量研究[J]. 城市环境与城市生态，2003，16(2)：56-58.

[19] 王卫卫. 模糊综合评价法在既有公共建筑节能改造中的应用研究[J]. 潍坊学院学报，2011，11(2)：98-101.

[20] 涂劲松，戈海玉，常光明，等. 皖西地区住宅建筑节能评价分析[J]. 皖西学院学报，2010，26(5)：25-28.

[21] 金振辉. 郑州市建筑节能评价体系的构建和措施建议[J]. 中州大学学报，2010，27(3)：127-128.

[22] 刘朝忠. B市住宅建筑节能综合评价研究[D]. 天津：天津大学，2010.

[23] 张世海，王光远，欧进萍. 高层建筑结构抗震选型的智能评价方法[J]. 世界地震工程，2002，18(3)：161-167.

[24] 潘建华，彭贵芬，彭俊，等. 基于模糊综合评判的汶川8.0级地震重灾区滑坡泥石流气候风险评估[J]. 灾害学，2012，27(1)：10-16.

[25] Sugeno M. Theory of fuzzy integral and its applications [D]. Tokyo: Tokyo Institute of Technology, 1974.

[26] Ishii K, Sugeno M. A model human evaluation proecess using fuzzy measure [J]. International Journal of Man-Machine Studies, 1985(22)：19-38.

[27] Grabisch M. k-order additive discrete fuzzy measures and their representation [J]. Fuzzy sets and systems. 1997，92(2)：167-189.

[28] Sugeno M. Fuzzy measure and fuzzy integrals, a survey, fuzzy automata and decision processes [M]. New York: North-Holland, 1997：89-102.

[29] Murofushi. T, Sugeno. M. A theory of fuzzy measures, representations, the choquet integral, and null sets[J]. Journal of Mathematical Analysis and Applications. 1991，159(2)：532-549.

[30] 郭进平，尚旭光，卢才武. 基于D-S理论的企业安全绩效综合评定研究[J]. 中国安全科学学报，2011，21(4)：150-155.

[31] 常志朋，程龙生. 基于模糊积分综合评价法的我国应急物资对外采购能力评价[J]. 中国安全生产科学技术，2012，8(9)：106-111.

[32] 毕克新，孙金花，张铁柱，等. 基于模糊积分的区域中小企企业技术创新测度与评价[J]. 系统工程理论与实践，2005(2)：40-46.

Comprehensive Evaluation Model of Quality of Post-Earthquake Civil Architecture Reconstruction Based on Fuzzy Integral

Chang Zhipeng<sup>1, 2</sup> and Cheng Longsheng<sup>1</sup>

(1. School of Economics & Management, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 219004, China;  
2. School of Economics, Anhui University of Technology, Maanshan 243002, China)

**Abstract:** Firstly, according to the principle of strengthening the seismic capability and the scientific outlook on development of construction two type society, the evaluation index system is constructed. Then, fuzzy integral comprehensive evaluation based on fuzzy measure and Choquet fuzzy integral is constructed and the detailed evaluation method is given. Finally, an application example in neighborhood of post-quake reconstruction proves the effectiveness and feasibility of the method.

**Key words:** civil architecture; project quality; fuzzy measure; Choquet fuzzy integral; comprehensive evaluation

+++++

《灾害学》2012 年的影响因子及其期刊主要评价指标

据《2013 年版中国科技期刊引证报告(扩刊版)》(万方数据股份有限公司，北京：科学技术文献出版社，2013 年 9 月)，《灾害学》杂志 2012 年的影响因子为 1.038(参与统计的 6225 种期刊的影响因子平均值为 0.427，≥1 的期刊为 398 种)。

《灾害学》2012 年的主要期刊评价指标

总被引频次	影响因子	即年指标	他引率	引用期刊数	学科扩散指标	学科影响指标	基金论文比	H 指数	平均引文数
1423	1.038	0.276	0.84	464	8.92	0.50	1.000	7	15.30