

基于多级可拓的砖木结构古建筑安全性评价

李辉山, 王思莹

(兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; E-mail: 2458533615@qq.com)

摘要:为了科学合理地对砖木结构古建筑的安全性进行评价,针对砖木结构古建筑评价内容的综合性和结构构造的复杂性提出了基于多级可拓理论的安全性评价方法。在物元可拓理论的基础上,建立包含地基基础、上部承重结构及围护结构等3个方面的砖木结构古建筑安全评价体系。运用层次分析法确定各级评价指标的权重,在此基础上通过多级可拓评价法分别对3个层次的评价指标进行多级评价。并将此评价模型应用到广福寺安全性评价中,以此来验证该模型的科学性与合理性。

关键词: 砖木结构古建筑; 安全性评价; 多级可拓方法; 层次分析法

中图分类号: TU714 文献标识码: A 文章编号: 1674-8859(2019)02-081-05 DOI: 10.13991/j.cnki.jem.2019.02.015

Safety Evaluation of Ancient Masonry-timber Buildings Based on Multilevel Extension

LI Hui-shan, WANG si-ying

(School of Architecture and Construction, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China,

E-mail: 2458533615@qq.com)

Abstract: In order to scientifically evaluate the safety of ancient masonry-timber buildings, this study proposed a safety evaluation method based on multilevel extension theory for comprehensive evaluating the content and the complex structure of ancient masonry-timber buildings. On the basis of the matter-element extension theory, a safety evaluation system of ancient buildings, including foundation, bearing superstructure and enclosure, was established. The weight of the evaluation index was determined by the analytic hierarchy process. On this basis, the multilevel evaluation method was used to the safety evaluation of Guangfu Temple to verify the rationality of the model.

Keywords: ancient masonry-timber buildings; safety evaluation; multilevel extension; analytic hierarchy process

古建筑作为我国文化遗产的重要载体,具有很高的历史文化价值与艺术价值。不同于西方的石构建筑,我国古建筑以砖木结构和木结构为主^[1]。砖木结构古建筑因为其实用性和耐久性广泛留存,但建筑物在长期使用过程中因自然环境与人为因素的影响其安全性、适用性以及耐久性均不满足要求,需要定期对其进行维修加固。而科学的评估砖木古建筑的安全性是维修保护工作的前提条件与必备工作。

由于砖木结构古建筑独特的营造技术和构造特点以及为了减少检测过程中对建筑物的干预^[2],目前对古建筑的安全性评价主要是以定性鉴定为主,定量鉴定为辅,在现行规范的基础上采用建立

数学模型的方法进行分析评价建筑安全性。徐帅、郭小东等^[3-5]基于层次分析、灰色系统理论和模糊数学,对木结构古建筑进行安全性评估。张德军^[6]利用有限元模型和现场检测的数据对上海沈义生住宅进行了安全性评价。朱跃武等^[7]和申克常等^[8]在现行的规范基础上,对木结构古建筑进行安全检测。以上的这些研究成果对于砖木结构古建筑安全性评价提供了一定的参考,但是影响其安全性的因素有哪些,如何对这些因素进行系统评价并且在评价结果中如何综合反映各评价因素对建筑安全性的影响程度是当前研究存在的不足之处。

本文依据可拓学中的物元理论^[9]建立砖木结构安全性评价指标体系,利用可拓集合与关联函数结合层次分析法建立砖木结构古建筑安全评价模型。

收稿日期: 2018-11-13.

模型首先通过建立评价标准集将影响砖木结构古建筑安全性的影响因素等级化,运用层次分析法确定指标权重,再确定指标的物元模型并通过关联函数计算出指标层的关联度进行一级可拓评价,依据指标层的权重与关联度进行准则层可拓评价,最终根据准则层的关联度与权重按照最大隶属度原则确定评价对象的安全等级。

1 建立砖木结构古建筑安全评价指标体系

1.1 评价体系分级

由于砖木结构古建筑独特的营造方式、复杂的力学机制、建筑材料的不统一以及相应设计施工资料的缺失等特点,不能直接运用相应的规范和标准评价砖木结构古建筑的安全性^[10]。在参考现行规范的基础上,结合代表性、科学性、系统性和可操作性原则^[11],依据可拓学中的物元理论建立三层次的砖木结构古建筑安全评价体系(见图1)。评价体系在考虑能独立承担某种特定的功能基础上将砖木结构古建筑按其作用与受力特点分为地基基础,上部承重结构与围护结构三大结构单元即准则层A。准则层B分析每一结构单元的组成构件,地基基础由地基与基础构成;上部承重结构木构件有受压构件柱、受弯构件梁、仿椽条檩条,由柱、梁、仿、椽经榫卯连接而成的木构架以及承重砖墙;围护结构主要考虑维护墙体与屋盖结构。根据每个构件的结构特征及材料的特点建立了指标层C即构件具体的检测内容。

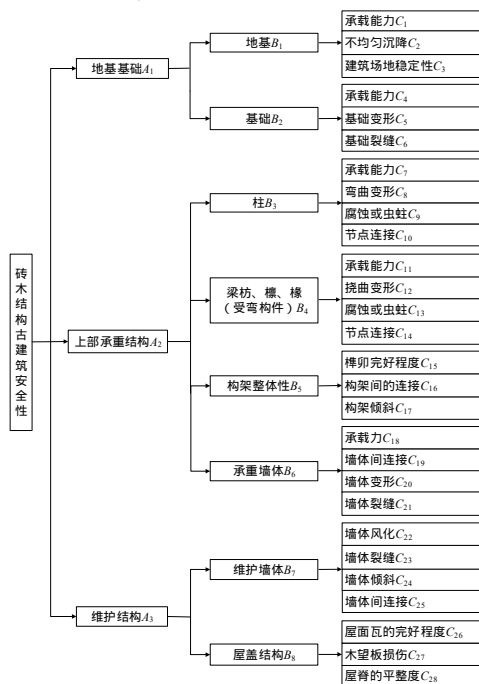


图1 砖木结构古建筑安全评价体系

1.2 构件检测内容

构件的检测内容即影响构件安全性的因素。在参考有关规范的基础上充分考虑砖木结构古建筑的特征确定构件的检测内容。

(1) 地基基础。地基检测内容包括其承载力、不均匀沉降的速率及建筑场地的不稳定性,其中建筑场地的不稳定性即为地基不稳定滑移水平位移。基础检测包括承载力、基础的水平滑移变形以及因基础老化腐蚀等与柱础连接处产生的裂缝。

(2) 上部承重结构。上部承重构件中的木构件主要考虑木材的腐蚀虫蛀、构件自身的承载能力、构件连接处的变形。承重墙体即山墙检测内容包括其自身的承载力、裂缝、变形以及与其他墙体连接处的裂缝状况。

(3) 围护结构。维护结构中的非承重墙体检测主要有砖砌体的风化、墙体的裂缝、倾斜以及墙体间连接处的断裂及裂缝。对于屋盖结构木望板检查其糟朽、虫蛀渗漏,屋面瓦检查其裂损、脱落,屋脊的平整度主要检查构件的下垂造成的檐口和屋面的凹凸不平。

2 建立多级可拓砖木结构古建筑安全评价模型

2.1 建立评价标准

将砖木结构古建筑安全等级划分为安全(N_1),较安全(N_2),较危险(N_3),危险(N_4),为了方便进行多级可拓评价,分别对以上4个等级赋值1、2、3、4。

评价指标分为定性指标与定量指标。定量指标及其测评标准划分范围依据相关规范如表1所示。定性指标在相关的规范中只有相关的语言描述,没有定量的数据规定,本文针对砖木结构古建筑的4个安全等级结合相关规范等级分别给定界限标准为1、0.75、0.5、0.25。

表1 定量指标等级测评表

评定等级	地基承载力 $R/\gamma_0 S$	建筑场地沉降速率 mm/月	基础稳定性 性/mm	基础裂缝 /mm	基础变形 /mm	柱弯曲变形 /mm	梁挠曲变形 /mm
安全	>1.0	<1.3	<3.3	<3.0	<0.6	$<1/300$	$<d^2/3150h$
较安全	$0.95\sim 1.0$	$1.3\sim 2.6$	$3.3\sim 6.6$	$3.0\sim 6.0$	$0.6\sim 1.3$	$1/300\sim 1/250$	$d^2/3150h\sim d^2/2730h$
较危险	$0.9\sim 0.95$	$2.6\sim 4$	$6.6\sim 10$	$6.0\sim 10$	$1.3\sim 2.0$	$1/250\sim 1/200$	$d^2/2730h\sim d^2/2100h$
危险	<0.9	>4	>10	>10.0	>2	$>1/200$	$>d^2/2100h$

注: R 为结构抗力; γ_0 为结构构件重要性系数; S 为作用效应; l 为柱的高度 d 为梁的跨度; h 为梁的截面高度

2.2 利用层次分析法确立各指标的权重

(1) 构造判断矩阵。以相关的理论研究为基础,通过理论分析和专家咨询的方式得到各级指标相对重要程度,通过1~9标度法量化指标重要程度得到判断矩阵 A 为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

(2) 权重计算。根据判断矩阵计算评价指标的权重常采用方根法和求和法,本文采用方根法步骤如下:

根据式(1)计算矩阵 A 各行元素的乘积 A_i ;根据式(2)计算 w_i ;根据式(3)对 w_i 进行归一化处理得到评价指标的权重向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_n)$ 。

$$A_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (i=1, 2, n) \quad (1)$$

$$w_i = \sqrt[n]{A_i} \quad (2)$$

$$\omega_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

(3) 一致性检验。在计算出矩阵的特征向量之后,需要检查判断矩阵是否有逻辑性错误即一致性检验。检验过程中,首先计算判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{\max} ,由式(4)计算得一致性指标 CI ,由表2查得评价随机一致性指标 RI ,再由式(5)计算出一致性比例 CR 。当 $CR < 0.1$,即可视为通过一致性检验。否则,应对判断矩阵进行修改。

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (4)$$

$$CR = CI / RI \quad (5)$$

表2 平均随机一致性指标 RI

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26

限于篇幅,本文只列出砖木结构古建筑综合评价判断矩阵(见表3)。准则层与指标层的权重如表4所示。

表3 砖木结构古建筑综合评价判断矩阵及权重计算

判断矩阵	地基基础	上部承重结构	围护结构	权重
	A_1	A_2	A_3	w
地基基础 A_1	1	2	5	0.581
上部承重结构 A_2	1/2	1	3	0.309
围护结构 A_3	1/5	1/3	1	0.110
一致性指标 $\lambda_{\max}=3.004$, $CI=0.002$, $RI=0.52$, $CR=0.004$				

从上述计算结果来看,一致性比例 CR 均小于0.1,即各判断矩阵满足一致性条件。

表4 准则层及指标层权重向量

判断矩阵	权重向量	CI	CR
A_1-B	[0.500, 0.500]	0	0
A_2-B	[0.278, 0.095, 0.467, 0.160]	0.0100	0.0100
A_3-B	[0.667, 0.333]	0.0000	0.0000
B_1-C	[0.558, 0.320, 0.110]	0.0050	0.0100
B_2-C	[0.624, 0.239, 0.173]	0.0050	0.0100
B_3-C	[0.331, 0.038, 0.088, 0.543]	0.0130	0.0150
B_4-C	[0.331, 0.038, 0.088, 0.543]	0.0130	0.0150
B_5-C	[0.110, 0.581, 0.309]	0.0013	0.0025
B_6-C	[0.482, 0.300, 0.082, 0.136]	0.0750	0.0840
B_7-C	[0.331, 0.038, 0.088, 0.543]	0.0310	0.0350
B_8-C	[0.122, 0.230, 0.648]	0.0020	0.0040

2.3 建立物元模型

依据可拓学中物元的定义,建立对砖木结构古建筑安全性评价指标物元模型。可拓模型以 N 为对象, C 为特征, N 关于 C 的量值 V 构成的物元 $R = (N, C, V)$ 基本对象进行评价^[12]。本文以 R 表示物元, N 为4个安全评价等级, C 为影响砖木结构古建筑安全性的影响因素, V 为特征 C 关于安全等级的取值范围即各评价指标的取值范围。

2.3.1 确定经典域物元

根据指标的评价标准和砖木结构古建筑的4个安全等级,可将砖木结构古建筑安全评价的经典域物元表示为:

$$R_j = (N_j, C_i, V_{ji}) = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, R_j 为经典域物元;其中 N_j ($j=1, 2, 3, 4$),表示砖木结构古建筑第 j 个安全等级; C_i 表示第 i 个评价指标; V_{ji} 为 C_i 关于 N_j 的取值范围,即经典域 $\langle a_{ji}, b_{ji} \rangle$ 。

2.3.2 确定节域物元

砖木结构古建筑安全性评价的节域物元表示为:

$$R_p = (N_p, C_i, V_{pi}) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, R_p 为节域物元; N_p 表示砖木结构古建筑安全等级的全体; C_i 表示第 i 个评价指标; V_{pi} 表示指标 C_i 关于等级 $N_1 \sim N_4$ 所取量值的范围,即节域 $\langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 。

2.3.3 选取待评物元

将现场检测以及专家打分的数据用物元表示即为待评物元,具体形式:

$$R_0 = (N_0, C_i, V_i) = \begin{bmatrix} N_0 & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中, N_0 表示待评某砖木结构古建筑安全等级状况; $v_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示评价指标 C_i 的实际数据。

2.4 确定关联函数

物元与可拓理论中用关联度函数对评价指标属于哪个界域进行定量描述^[13], 本文采用可拓学中的简单关联函数来确定评价指标隶属等级。

(1) 确定待评价砖木结构古建筑第 i 个评价指标关于砖木结构古建筑安全等级 $N_j (j=1, 2, \dots, m)$ 的关联函数为:

$$K_{kj}^i = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{ji})}{\rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{ji})} & x \notin (a_{kj}^i, b_{kj}^i) \\ & v = a_{kj}^i \text{ 或 } v = b_{kj}^i \\ -\frac{\rho(v_i, V_{ji})}{b_{kj}^i - a_{kj}^i} & x \in (a_{kj}^i, b_{kj}^i) \end{cases} \quad (9)$$

$$\rho(v_i, V_{ji}) = \left| v_i - \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} \right| - \frac{b_{ji} - a_{ji}}{2} \quad (10)$$

$$\rho(v_i, V_{pi}) = \left| v_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2} \quad (11)$$

式中, v_i 为砖木结构古建筑评价指标的实际量值; V_{ji} 为物元经典域的取值范围; V_{pi} 为节域物元的取值范围; $\rho(v_i, V_{ji})$ 表示点 v_i 与区间 V_{ji} 之间的距; $\rho(v_i, V_{pi})$ 表示点 v_i 与区间 V_{pi} 的距。

(2) 在确定了综合权重 $w_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的基础上和指标层的关联度的基础上, 按式 (9) 计算准则层 B 与准则层 A 的指标关于评价等级 N_j 的综合关联度 $K_j(Z_i)$:

$$K_j(Z_i) = \sum_{i=1}^n w_i k_j(v_i) \quad (12)$$

(3) 计算待评价对象关于各等级的关联度 $K_j(N_0)$:

$$K_j(N_0) = \sum_{i=1}^n w_i k_j(Z_i) \quad (13)$$

2.5 确定综合评价等级

根据最大隶属度原则, 确定最后评价对象的安全等级 j_0 为:

$$K_{j_0}(N_0) = \max_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(N_0) \quad (14)$$

在研究过程中, 为了使评价结果更加客观, 需要确定待评价的砖木结构古建筑安全等级状况一级偏向另一级的程度即等级变量特征值 j^* 。令:

$$\overline{K_j(N)} = \frac{K_j(N_0) - \min_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(N_0)}{\max_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(N_0) - \min_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(N_0)} \quad (15)$$

则评价对象 N_0 的等级特征变量值 j^* 为:

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \overline{K_j(N_0)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(N_0)}} \quad (16)$$

3 工程案例

3.1 工程概况

广福寺位于兰州市城关区正宁路, 现存大殿及偏房均为单层砖木结构建筑, 建于明朝, 距今约有 600 多年历史, 无任何图纸及相关资料。现以广福寺前殿为例。经现场检测, 房屋现状如下:

(1) 地基基础。该建筑房屋地基为湿陷性黄土, 房屋山墙出现水平贯穿裂缝, 判断为地基不均匀沉降引起。基础埋深较浅, 承载力薄弱, 柱础与基础连接处有裂缝, 但未发生错位的情况, 房屋整体发生倾斜。

(2) 上部承重结构。前殿木结构构件高跨比、截面高宽比基本符合国家现行设计规范的要求, 构件表面有虫蛀孔洞, 表层有腐朽; 节点处出现松动、连接方式部分破损。木构架整体倾斜, 局部有连接松弛变形和开裂损坏现象, 榫卯虫蛀腐蚀较严重。承重墙体倾斜且有竖向裂缝。

(3) 维护结构。在屋檐下方以及窗洞过梁下部墙体存在裂缝, 墙根处留有大量虚土, 维护墙体倾斜、墙皮脱落、风化较严重。屋面漏水、塌陷; 屋檐破损、屋面瓦破损脱落。

3.2 确定经典域、节域与待评对象物元

砖木结构古建筑安全性评价指标以及评价等级划分范围参照表 1, 各个评价指标的实际评价价值由现场检测以及相关专家打分所得, 如表 5 所示。根据式 (6)~式 (8) 和表 1 可得砖木结构古建筑评价指标的经典域、节域与待评对象物元模型。

3.3 关联度及等级变量特征值的计算

(1) 根据式 (9)~式 (11) 计算出砖木结构古建筑指标层 $C_1 \sim C_{28}$ 关于安全评价 4 个等级的关联度 (限于篇幅未列出)。

(2) 根据各评价指标的权重与关联度按式 (12) 确定准则层 B 的关联度, 再依据准则层 B 的关联度与权重按式 (12) 确定准则层 A 的关联度, 准则层关联度及等级如表 6 所示。

(3) 根据式 (13)~式 (16) 计算出评价对象即广福寺前殿的安全等级。计算结果如表 7 所示。

由计算结果可以看出, 广福寺前殿安全综合评价等级 $j_0=3$, 说明此时建筑整体已经处于较危险状

表5 指标划分范围及实际取值

指标 C_i	经典域				节域	待评物元 实际取值
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$		
C_1	1.0~2.00	0.95~1.0	0.9~0.95	0.00~0.9	0.0~2.0	0.92
C_2	0.0~1.30	1.30~2.6	2.6~4.00	4.00~5.0	0.0~5.0	3.50
C_3	0.0~3.30	3.30~6.6	6.6~10.0	10.0~15	0.0~15.0	5.30
C_4	1.0~2.00	0.95~1.0	0.9~0.95	0.00~0.9	0.0~2.0	0.90
C_5	0.0~0.60	0.60~1.3	1.3~2.00	2.00~2.5	0.0~3.5	1.20
C_6	0.0~3.00	3.00~6.0	6.0~10.0	10.0~15.0	0.0~15.0	8.30
C_7	1.0~2.00	0.95~1.0	0.9~0.95	0.00~0.9	0.0~2.0	0.99
C_8	0.0~3.30	3.30~4.0	4.0~5.00	5.00~6.0	0.0~6.0	3.60
C_9	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.55
C_{10}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.70
C_{11}	1.0~2.00	0.95~1.0	0.9~0.95	0.00~0.9	0.0~2.0	0.92
C_{12}	0.0~1.60	1.60~1.8	1.8~2.40	2.40~3.0	0.0~3.0	1.90
C_{13}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.60
C_{14}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.72
C_{15}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.68
C_{16}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.73
C_{17}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.70
C_{18}	1.0~2.00	0.95~1.0	0.9~0.95	0.00~0.9	0.0~2.0	0.92
C_{19}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.65
C_{20}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.60
C_{21}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.73
C_{22}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.69
C_{23}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.72
C_{24}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.72
C_{25}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.66
C_{26}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.70
C_{27}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.72
C_{28}	0.0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1.0	0.0~1.0	0.42

表6 准则层评价指标关联度及等级计算

准则层 指标	指标权重 W_i	关联度				等级 j_0
		$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	
B_1	[0.558, 0.320, 0.110]	-0.270	-0.089	0.263	-0.142	3
B_2	[0.624, 0.239, 0.173]	-0.185	-0.006	0.359	-0.144	3
B_3	[0.331, 0.038, 0.088, 0.543]	-0.508	-0.284	0.295	-0.021	3
B_4	[0.331, 0.038, 0.088, 0.543]	-0.416	-0.251	0.207	-0.071	3
B_5	[0.110, 0.581, 0.309]	-0.416	-0.251	0.207	-0.071	3
B_6	[0.482, 0.300, 0.082, 0.136]	-0.338	-0.188	0.308	-0.106	3
B_7	[0.331, 0.038, 0.088, 0.543]	-0.580	-0.354	0.261	-0.163	3
B_8	[0.122, 0.230, 0.648]	-0.404	0.067	-0.061	-0.319	2
A_1	[0.500, 0.500]	-0.228	-0.048	0.311	-0.143	3
A_2	[0.278, 0.095, 0.467, 0.160]	-0.524	-0.331	0.216	-0.078	3
A_3	[0.667, 0.333]	-0.521	-0.163	0.184	-0.120	3

表7 砖木结构古建筑多级可拓综合评价结果

评价 目标	指标权重 W_i	关联度 K_{ij}	等级 j_0	j^*
N_0	[0.581, 0.309, 0.110]	[-0.352, -0.148, 0.268, -0.120]	3	3.110

态,与实际情况相符。 $j^*=3.110$,说明建筑物安全状态有从较危险向危险状态发展的趋势。从准则层A即建筑物的结构单元地基基础,上部承重结构和维护结构来看,皆处于较危险状态,从各构件层来看只有屋面处于较安全状态,其余构件均处于较危险状态。所以建议此建筑物应尽快进行维修加固。

4 结语

本文在相关规范基础上,依据物元理论综合考虑砖木结构古建筑复杂的材料与结构特点构建了

三层次评价体系,全面分析了从下部地基基础到上部屋盖结构每一构件的安全性,评价指标全面考虑了每一结构单元以及构件的安全性。在评价体系的基础上运用多级可拓评价模型把各级指标的定性描述转换为相应的等级区间,在检测受限的情况下,可以计算每个指标的隶属等级。评价结果不仅可以反映出建筑物的安全等级,而且通过级别变量特征值动态地反映出建筑物未来的发展状况。通过广福寺实例分析,建筑物整体处于较危险状态,与实际情况相符,且相比其他评价方法,多级可拓评价能简单快速有效地得到建筑物的安全状况。为进行建筑物的维修加固提供可靠的依据和指导。

参考文献:

- [1] 马炳坚.中国木构建筑的特点和科学保护[C].文物建筑论文集,2009.
- [2] 梁骄阳,解玉良.城市化进程中古建筑保护的制度困境与出路[J].贵州大学学报(社会科学版),2014(5):197-197.
- [3] 徐帅,郭小东,等.基于层次分析法的古建筑木结构安全性评估方法[J].工业建筑,2016(12):180-183.
- [4] 郭小东,徐帅,宋晓胜,等.基于灰色模糊分析法的古建筑木结构安全性评估[J].北京工业大学学报,2016,42(3):393-398.
- [5] 郭小东,付体彪,徐帅.基于灰色白化权函数聚类法的木结构古建筑安全性评估[J].北京工业大学学报,2017,43(5):780-785.
- [6] 张德军.上海砖木结构历史建筑安全评估与修缮加固研究[D].安徽建筑大学,2016.
- [7] 朱跃武,周宇翔,等.某木质古建筑的检测与修缮[C].古建筑施工修缮与维护加固技术研讨会,2009.
- [8] 申克常,刘佳,等.古建筑木结构安全性检测内容及方法探讨[J].建筑技术,2015(s2):27-31.
- [9] 杨春燕.可拓创新方法[M].北京:科学出版社,2017.
- [10] 秦本东,李泉,檀俊坤.基于模糊层次分析法的砖石木结构古建筑安全评价[J].土木工程与管理学报,2017,34(5):52-59.
- [11] 彭凯祥.基于可拓学的既有砖砌体结构抗震性鉴定理论与方法研究[D].沈阳建筑大学,2011.
- [12] Song R, Bai Y M, Jiang D Y, et al. An Extension Evaluation Model for Building Safety under the Influence of Blasting Seismic[J]. Procedia Engineering, 2012, 43(1):168-173.
- [13] 李晓峰.旅游城市生态安全可拓性测评研究——以太原市为例[D].太原理工大学,2013.

作者简介:

李辉山(1968-),男,硕士,高级工程师,研究方向:建设项目管理,工程造价;

王思莹(1995-),通讯作者,女,硕士研究生,研究方向:工程项目管理。