

石结构房屋高限问题的 模糊综合评判

白连生 施玉山 劉木忠

(土木工程系)

摘 要

本文应用模糊数学的综合评判原理,对石结构房屋建筑的高度限值问题进行了研究,并对文[1]的有关问题进行了解释和补充。

一、前 言

石结构建筑在福建省南方得到了广泛地应用,但在地震区使用这类结构的最大高度的限值问题,在理论上,至今尚未得到解决。由于确定石结构的高度限值所涉及的因素很多,而这些因素都不容忽略,而且它们之间并不存在着很明确的相关性。此外,尚有某些例如场地土条件、砌筑方法、材料性能、结构总体刚度、地震震级等一系列没有办法用定量来描述的因素。因而,确定石结构高度的限值问题就存在着模糊性。

本文尝试利用模糊数学的综合评判,作为理论根据,把单层次综合评判的数学模型改造成多层模型,对影响石结构高限的主要因素,进行了经验性评价。从而,得出多模糊因素子集对高限论域的隶属情况。综合评判后,得到在一定条件下的石结构高度的模糊限值。

二、综合评判的方法

首先,选取综合评判模型。对取决于单因素的综合评判,可以用下面的框图型式来表示^[2]。

但是,对于比较复杂的系统,需要考虑的因素往往不止一个,而且因素又分有不同的层次。在进行综合评判时,若应用单因素综合评判模型,其权重难以仔细分配;若一一给出权

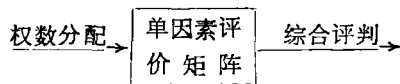


图 1

重,由于需要满足等式 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 每个因素所得到的权重必然很小,经过模糊矩阵的复合运

本文1985年10月30日收到。

算后,得到的综合评判值也就很小 $\left(b_j \leq \bigvee_{i=1}^n a_{ij}\right)$ 。因而,较小权值的因素在运算中,实际上已“泯没”了,得不出有意义的结果。如果通过分层评判,可在一定程度上改变这种状况。

根据国内有关资料和工程经验,石结构的高度限值论域可以取为:

$$\tilde{V} = [3, 7, 12, 18, 24, 24] \quad (1)$$

上述六个等级,其高度单位为米。对首层的因素集合,可表示为:

$$\tilde{U} = [\tilde{U}_1, \tilde{U}_2, \tilde{U}_3, \tilde{U}_4] \quad (2)$$

其中: \tilde{U}_1 表示场地条件子集; \tilde{U}_2 表示结构因素子集; \tilde{U}_3 表示施工条件子集; \tilde{U}_4 表示地震烈度子集。

场地条件涉及的因素,有土壤类别、覆盖层厚度、土层结构、地下水位、平均剪切波速等。因此, \tilde{U}_1 子集仍然是属于多因素的综合评判。经过对场地土条件的各因素筛选结果,我们取场地土条件的因素子集为:

$$\tilde{U}_1 = [U_{11}, U_{12}] \quad (3)$$

其中: U_{11} 表示地基土地震时的卓越周期; U_{12} 表示地基土容许承载力。

结构因素 \tilde{U}_2 包括有结构型式的合理性,结构强度等,可表示为:

$$\tilde{U}_2 = [U_{21}, U_{22}] \quad (4)$$

其中: U_{21} 表示结构型式的合理性; U_{22} 表示结构强度。

施工条件 \tilde{U}_3 包括施工手段、施工质量等,可表示为:

$$\tilde{U}_3 = [U_{31}, U_{32}] \quad (5)$$

其中: U_{31} 表示施工条件; U_{32} 表示施工质量。

地震烈度 \tilde{U}_4 ,可根据抗震设防需要,取为:

$$\tilde{U}_4 = [4, 6, 7, 8, 9, 10] \quad (6)$$

它的评判因素包括有震级、震中距、地面运动速度峰值、加速度峰值等。

综上所述,石结构高度限值论域的诸评判因素,可用如下形式表示。

$$\text{石结构高限 } \tilde{V} \left\{ \begin{array}{l} \text{场地条件 } \tilde{U}_1 \left\{ \begin{array}{l} \text{地基土卓越周期} \\ \text{容许承载力} \end{array} \right. \\ \text{结构因素 } \tilde{U}_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{结构型式} \\ \text{结构强度} \end{array} \right. \\ \text{施工因素 } \tilde{U}_3 \left\{ \begin{array}{l} \text{施工手段} \\ \text{施工质量} \end{array} \right. \\ \text{地震烈度 } \tilde{U}_4 \left\{ \begin{array}{l} \text{震级} \\ \text{震中距} \\ \text{.....} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

因素集论域 \tilde{U} 和它的子集论域 \tilde{U}_i 必然满足下面二个条件:

$$\bigcup_{i=1}^4 \tilde{U}_i = \tilde{U} \quad (7)$$

$$\bar{U}_i \cap \bar{U}_j = \phi \quad i, j \quad (8)$$

因此, \bar{U} 若用如下划分:

$$\bar{U}/P = [\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \bar{U}_4] \quad (9)$$

则其子集合, 可以进行各层次的综合评判.

大家知道, 从 \bar{U} 到 \bar{V} 单因素评判的一个模糊映射 \bar{R} , 对于任给 $\bar{U}_i \in \bar{U}$, 则有:

$$\bar{R}(\bar{U}_i) = [r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{iq}] \in \mathcal{F}(\bar{V}) \quad (10)$$

鉴于目前所见到的有关石结构研究的资料不多, 本文仅根据工程经验, 进行了数学推理, 把 $\bar{R}(\bar{U}_i)$ 用表 1 的内容表示.

表 1 $\bar{R}(\bar{U}_i)$

场地卓越 周期(S)	场地承 载力	结 构 条 件 刚度	施 工 形 式	施 工 条 件	地 震 烈度(度)	1 3	2 7	3 12	4 18	5 24	6 24
>0.90	很大	很高	合理	很好	<4					0.33	0.67
0.75~0.90	大	高	较合理	好	4~6		[0]		0.25	0.50	0.25
0.60~0.75	中等	一般	一般	一般	6~7			0.25	0.50	0.25	
0.45~0.60	稍小	稍差	不太合理	稍差	7~8		0.25	0.50	0.25		
0.30~0.45	小	差	不合理	差	8~9	0.25	0.50	0.25		[0]	
<0.30	很小	很差	很不合理	很差	≥10	0.67	0.33				

这样, P 划分中的 \bar{U}_i 集就可以用图 1 的单因素综合评判模型, 若 \bar{U}_i 的诸因素权重为 \bar{A}_i , 则有综合评判结果:

$$\bar{B}_i = [b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}] = \bar{A}_i \circ \bar{R}_i \quad (11)$$

\bar{R}_i 为根据表 1 得到的 U_i 评价矩阵.

下面把经过 \bar{U}/P 评判后的首层, 作为下层的评价矩阵:

$$\bar{R} = [\bar{B}_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_n]^T = (b_{if})_{n \times m} \quad (12)$$

\bar{U}_i 对于 \bar{U} 的权重集为 \bar{A} , 则:

$$\bar{B}^* = \bar{A} \circ \bar{R} = \bar{A} \circ \begin{pmatrix} \bar{A}_1 \circ \bar{R}_1 \\ \vdots \\ \bar{A}_n \circ \bar{R}_n \end{pmatrix} \quad (13)$$

若用框图形式可表示为图 2.

这就是石结构高限的二级综合评判模型.

对于高限论域 \bar{V} , 综合评判的结果是:

$$\bar{B} = \bar{B}^* \cdot \bar{V}^T \quad (14)$$

在 $\mu_{\bar{A} \circ \bar{R}} = \bigvee_{u,v} (\mu_{\bar{A}}(u) \wedge^* \mu_{\bar{R}}(u, v))$ 中, 模糊运算的算子, 通常有 $M(\vee, \wedge), M(\cdot, \vee)$ 和 $M(\cdot, \oplus)$ 型. 我们把 $M(\vee, \wedge)$ 称为主因素决定型, 因为它的结果实际上是由指标最大的决定, 其余指标在一定范围内变化都不影响评

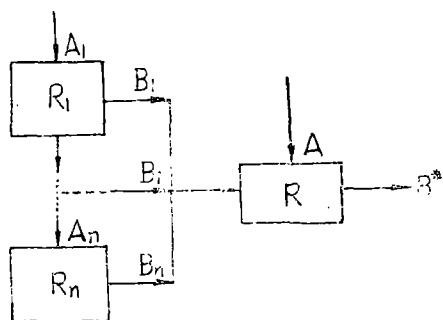


图 2

判的最终结果。 $M(\cdot, \vee)$ 称为主因素突出型,它将使得运算结果与 $M(\vee, \wedge)$ 有一定接近,又能在一定程度上反映了非主要因素的影响。 $M(\cdot, \oplus)$ 称为加权平均型,它对所有因素,无论重要性如何,均依各自的权重进行兼顾,因此能体现出整个评判中各指标的影响。

为了避免不必要的讯息丢失,本文在综合评判过程中,采用加权平均型 $M(\cdot, \oplus)$ 算子:

$$a \vee * b = \min(a + b, 1) \quad (15)$$

$$a \wedge * b = a \times b \quad (16)$$

在综合评判过程中的权分配,有时无法确切给定,这时的权集,便是模糊权。在本文综合评判过程中无法确切给定的权集,采用由综合、推理、统计的模糊权集,用表2形式表示^[3]。

表 2 因素集的模糊权表

评语 隶属度 等级C权	很次要	次 要	不太重要	一 般	重 要	很重要
0	0.67	0.25				
0.20	0.33	0.50	0.25		[0]	
0.40		0.25	0.50	0.25		
0.60			0.25	0.50	0.25	
0.80		[0]		0.25	0.50	0.33
1.00					0.25	0.67

三、石结构高限的模糊综合评判

根据石结构抗震设计的需要,下面以现行规范中的Ⅱ类场地土(其场地卓越周期一般为0.4~0.75秒,场地的容许承载力为中等偏高)为条件,选择具有一定抗震强度的刚性石结构房屋,其结构形式比较合理,施工条件良好,地震烈度为6°~9°的情况下,对其高度限值进行了如下模糊综合评判。

1, 场地土条件的一级综合评判。由表1得:

$$\tilde{R}_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 \end{pmatrix}$$

我们根据卓越周期和容许承载力在高限论域中的重要性,来综合评判场地土条件。取 \tilde{M}_1 的数列如下:

$$\tilde{M}_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0.25 & 0 \\ 0.5 & 0.25 \\ 0.25 & 0.5 \\ 0 & 0.5 \end{pmatrix}$$

因此,

$$\tilde{B}_1' = \tilde{M}_1 \circ \tilde{R}_1$$

$$\tilde{B}_1' = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0625 & 0.125 & 0.0625 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0.25 & 0.1875 & 0.125 & 0.0625 \\ 0 & 0.0625 & 0.125 & 0.1875 & 0.25 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0625 & 0.125 & 0.0625 \end{pmatrix}$$

权数的等级矩阵为:

$$C_{\text{权}} = [0 \quad 0.20 \quad 0.4 \quad 0.6 \quad 0.8 \quad 1.0]$$

因此, 场地土条件的一级综合评判结果为:

$$\tilde{B}_1 = [0 \quad 0.1071 \quad 0.2143 \quad 0.25 \quad 0.2857 \quad 0.1429]$$

2. 结构条件的一级综合评判, 取 \tilde{R}_2 为:

$$\tilde{R}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 \end{pmatrix}$$

因素研究表明, 结构强度和结构形式在高限问题中的影响同样显著, 因而:

$$\tilde{M}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0.25 & 0.25 \\ 0.50 & 0.50 \\ 0.25 & 0.25 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{B}_2' = \tilde{M}_2 \circ \tilde{R}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0625 & 0.1875 & 0.1875 & 0.0625 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0.375 & 0.375 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0.0625 & 0.1875 & 0.1875 & 0.0625 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{B}_2 = C_{\text{权}} \cdot \tilde{B}_2' = [0 \quad 0 \quad 0.125 \quad 0.375 \quad 0.375 \quad 0.125]$$

3. 高度限值的综合评判。经过一级评判后, 得到评定结果 \tilde{B}_i , 它们构成高限综合评定的评价矩阵 \tilde{R} 。

当地震烈度为 6° 时:

$$\tilde{R}_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0.1071 & 0.2143 & 0.25 & 0.2857 & 0.1429 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0.375 & 0.375 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 \end{pmatrix} \quad (17)$$

下面为表明地震烈度在石结构高限中的影响,取因素集的权集为:

$$\bar{A} = [0. \quad 0.1 \quad 0.1 \quad 0.7] \quad (18)$$

则评判结果为:

$$\bar{B}_6^* = \bar{A} \circ \bar{R}_6 = [0 \quad 0.01 \quad 0.03 \quad 0.26 \quad 0.47 \quad 0.23]$$

石结构高限论域:

$$\bar{V} = [3 \quad 7 \quad 12 \quad 18 \quad 24 \quad 24].$$

当地震烈度 6° 时, 石结构模糊高度限值为:

$$\bar{H}_6 = \bar{B}_6^* \cdot \bar{V}^T = [0 \quad 0.01 \quad 0.03 \quad 0.26 \quad 0.47 \quad 0.23] \begin{bmatrix} 3 \\ 7 \\ 12 \\ 18 \\ 24 \\ 24 \end{bmatrix} = 21.91(\text{米})$$

同样当地震烈度为 7° 时:

$$\bar{R}_7 = \begin{bmatrix} 0 & 0.1071 & 0.2143 & 0.25 & 0.2857 & 0.1429 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0.375 & 0.375 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 & 0 \end{bmatrix}$$

评判结果为:

$$\bar{B}_7^* = \bar{A} \circ \bar{R}_7 = [0 \quad 0.01 \quad 0.21 \quad 0.44 \quad 0.29 \quad 0.05]$$

石结构的模糊高度限值为:

$$\bar{H}_7 = \bar{B}_7^* \cdot \bar{V}^T = 18.67(\text{米})$$

当地震烈度为 8° 和 9° 时:

$$\bar{R}_8 = \begin{bmatrix} 0 & 0.1071 & 0.2143 & 0.25 & 0.2857 & 0.1429 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0.375 & 0.375 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 \\ 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{R}_9 = \begin{bmatrix} 0 & 0.1071 & 0.2143 & 0.25 & 0.2857 & 0.1429 \\ 0 & 0 & 0.125 & 0.375 & 0.375 & 0.125 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.50 & 0.25 \\ 0.25 & 0.50 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

则有:

$$\bar{B}_8^* = [0 \quad 0.19 \quad 0.38 \quad 0.26 \quad 0.12 \quad 0.05]$$

$$\bar{B}_9^* = [0.175 \quad 0.36 \quad 0.21 \quad 0.09 \quad 0.12 \quad 0.05]$$

石结构模糊高度限值为:

$$\bar{H}_8 = 14.65(\text{米})$$

$$\bar{H}_9 = 11.30(\text{米})$$

下面按照现有的石结构普通层高, 把它们折算成模糊高度的层数, 如表 3 所示。

表 3 地震烈度与模糊高度对照表

地震烈度 模糊高度	6°	7°	8°	9°
高度(米)	21	18	14	10
层数(层)	6	5~6	3~4	2~3

为便于比较, 现把文[1]的有关规定, 用相应于表 3 的表示法列于表 4。

表 4 设计烈度与规定高限对照表

设计烈度 规定高限	7°	8°	9°
高度(米)	16	10	7
层数	5	3	2

从表 3 与表 4 可以看出, 文[1]的有关规定并没有超过模糊高度, 我们认为是合适的。

四、结 束 语

石结构房屋的高度限值本身就是一个难以确定的模糊值, 而确定高度的各种因素也都存在着其模糊性。我们在参加文[1]的制定工作中, 曾经根据本省石结构房屋建造的一般材料、构造和施工方法、结合工程实际情况, 初步确定了不同设计烈度下的最大高度限值, 但颇感缺乏应有的理论分析结果。本文的综合评判结果, 似可略为弥补文[1]的不足, 但尚待工程实践的进一步检验。同时, 对于非抗震设防地区的石结构高限, 目前尚没有规定。我们建议采用本文地震烈度为 6 度时的模糊高度, 作为设计的最大高度限值。

参 考 文 献

- 〔1〕 福建省石结构房屋抗震设计与施工暂行规定(试行),福建省建设委员会,1(1985).
〔2〕 陈永义等,综合评判的数学模型,模糊数学,3,(1983).
〔3〕 徐岳东等,Fuzzy 数学在化纤工艺综合评判中的应用,模糊数学,3,1(1983).

A Fuzzy Comprehensive Evaluating on the Problem
of the Limited-height of Stone Structure

Bai Liansheng Shi yushan Liu Muzhong

Abstract

Applying the principle of fuzzy comprehensive evaluation, this paper researches comprehensively the problem of limited-height of stone structure. The results in this study give a reasonable explanation and serve as a supplement to those in paper[1]