

文章编号:1005-0523(2012)03-0011-05

# 基于 Vague 集贴近度的工程项目投资快速估算方法

易 欣

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

**摘要:**根据 Vague 集理论和贴近度计算方法,构建了一种工程造价的快速估算模型。首先从历史资料中选出与拟建工程项目类似的既有项目,然后选取了影响项目造价的主要特征元素并全部赋权,建立起相应的特征值矩阵。利用区间数综合单价建立了既有项目对拟建项目的 Vague 集隶属矩阵,再按照 Vague 集贴近度计算方法计算出既有项目与拟建项目的相似程度。借助于造价指数和贴近度最大的项目快速估出了拟建项目的单价。最后以某工程项目为实例,计算结果表明该模型准确、有效。

**关键词:**工程项目;快速估价;Vague 集;贴近度计算;特征因素

**中图分类号:**TU723.3

**文献标志码:**A

准确快速的估算工程造价,一直是极为重要的一项工程管理工作。无论是项目前期的投资估算、设计的方案比选,还是招投标阶段的价格确定等,都与工程造价的估算工作关系密切。现代工程项目规模愈来愈大、结构越来越复杂,这使得想要快速准确的估价变得更加困难,也愈发凸显其工作的重要性。另一方面,由于重大自然灾害事故频发,类似“汶川地震”这样的抢险救灾工程,很多时候不得不采取边设计、边招标,业主根本没有足够的时间来计算工程量,快速估价成为项目前期科学决策的必然之选。因此,寻求有效的理论支持和准确的估算方法具有很强的现实意义,也成为学术界研究的又一热点。

工程造价快速估算模型研究起步于欧美,20世纪50年代末到60年代利用BCIS模型即单位面积来估算造价,但误差较大;70年代Taylor和Bowen采用了线性回归、指数回归和自回归等模型进行改进,但该方法要求因变量和自变量存在稳定的相关关系,并通过相应假设检验;80年代出现了蒙特卡洛模拟技术,但该方法要求知道每个因素的概率分布函数,并要求它们之间是独立的<sup>[1]</sup>。80年代后期随着模糊数学、灰色系统和人工神经网络等理论的广泛应用,新的估价模型不断出现:王祯显教授最早提出了模糊数学在土建工程招投标中的应用<sup>[2]</sup>;杨明辉提出工程量清单计价模式下的模糊相似优先比快速估价方法<sup>[3]</sup>;张传友提出灰色系统理论应用于建筑工程快速估价<sup>[4]</sup>,荀志远等提出加权灰色关联度法在工程投资估算中的应用<sup>[5]</sup>;任宏等提出神经网络在工程造价和主要工程量快速估算中的应用研究<sup>[6]</sup>,也有学者基于文献[7]的模糊神经网络应用于工程快速估价。这些研究在估算精度上较之前的方法有所提高,但也存在对既有信息处理不全面,对样本数量要求严格等缺点。Gau和Buehrer提出的Vague集<sup>[8]</sup>是对模糊理论的一种推广,对模糊信息的分析处理较普通模糊集更强、更灵活,已大量应用于控制决策、模式识别和人工智能等,但在工程造价领域尚未见到相关研究文献。本文希望以Vague集贴近度为原理,建立起改进的快速模糊估价模型,从而为建设单位、咨询单位和施工企业等工程项目参与各方,进行投资或报价决策提供一种有效的方法。

**收稿日期:**2012-03-01

**作者简介:**易欣(1978—),男,讲师,博士研究生,研究方向为建筑企业管理、土木工程经济与项目管理等。

## 1 Vague集及其贴适度计算原理

### 1.1 Vague集的基本概念

**定义1**<sup>[9]</sup> 设  $U$  是一个论域,  $x$  表示其中任一元素,  $U$  中的一个 Vague 集  $A$  可用一个真隶属函数  $t_A$  和一个假隶属函数  $f_A$  表示,  $t_A(x)$  是从支持  $x$  的证据所导出的  $x$  的隶属度下界,  $f_A(x)$  则是从反对  $x$  的证据所导出的  $x$  的否定隶属度下界, 不确定部分为  $1-t_A(x)-f_A(x)$ 。  $t_A(x)$  和  $f_A(x)$  将区间  $[0, 1]$  中的实数与  $U$  中的每一个元素联系起来。即  $t_A(x): U \rightarrow [0, 1]$ ,  $f_A(x): U \rightarrow [0, 1]$ , 为讨论方便, 简记  $t_A(x)$  为  $t_x$ ,  $f_A(x)$  为  $f_x$ 。

1) 当  $U$  是连续的时候, Vague 集  $A$  表示为  $A = \int_U (t_A(x), 1-f_A(x))/x dx, x \in U$ 。

2) 当  $U$  是离散的时候, Vague 集  $A$  表示为  $A = \sum_{i=1}^n (t_A(x_i), 1-f_A(x_i))/x_i, x_i \in U$ 。

式中:  $t_A(x)+f_A(x) \leq 1$ , 若  $t_A(x)=1-f_A(x)$ , 则 Vague 集退化为 Fuzzy 集; 如果  $t_A(x)$  和  $1-f_A(x)$  同时为 0 或 1, 则 Vague 集退化为普通集合。

### 1.2 Vague集的贴适度计算原理

由于 Vague 集是一种新兴理论, 学者对其贴适度计算仍在深入中, 不断有新的公式提出, 尽管几乎没有哪个公式能处理好所有 Vague 集之间距离的问题, 但并不影响它们在模糊推理、模糊识别等方面应用。

**定义2** 设  $A, B$  是定义在论域  $U$  上的两个 Vague 集, 如果  $M(A, B)$  满足下述性质: ①  $0 \leq M(A, B) \leq 1$ ; ② 当且仅当  $A=B$  时,  $M(A, B)=1$ ; ③  $M(A, B)=M(B, A)$ ; ④ 若  $A, B, C$  都是定义在论域  $U$  上的 Vague 集,  $A \subseteq B \subseteq D$ , 则  $M(A, D) \leq M(A, B)$ ,  $M(A, C) \leq M(B, D)$ , 则称  $M(A, B)$  为 Vague 集  $A, B$  之间的贴适度, 其值越大, 则两者相似程度就越高。

**定义3**<sup>[10]</sup> 设  $A$  是定义在论域  $U$  上的一个 Vague 集, 称  $S_A(x)=t_A(x)-f_A(x)$  为  $x$  的 Vague 核,  $S_A(x) \in [-1, 1]$ ; 若  $x, y$  是论域  $U$  上的两个 Vague 值, 且  $S_A(x)=t_A(x)-f_A(x)$ ,  $S_A(y)=t_A(y)-f_A(y)$ , 则

$$M(x, y) = 1 - \frac{|S(x) - S(y)|}{2} = 1 - \frac{|(t_x - t_y) - (f_x - f_y)|}{2}, M(x, y) \in [0, 1] \quad (1)$$

基于上述理论, 只要我们能够求出待估工程与既有项目的贴适度, 便能进行快速模糊估价。

## 2 基于 Vague 集贴适度的快速估价模型

工程造价管理的实践经验表明, 依据已建成项目造价资料并经过数据的分析和处理, 按照拟建和既有工程的主要特征和时间情况, 就能够快速估算出其造价。为分析方便起见, 本文以建筑工程项目为例, 来说明如何使用 Vague 集贴适度构建工程项目快速估价模型, 并进行实证分析。

### 2.1 建立工程造价的特征因素集

分析对工程造价有重大影响的主要因素, 建立特征因素集。虽然完全相同的两个建筑物是不存在的, 但影响其造价的主要特征因素是相同的。令  $C$  代表特征因素集合, 则建筑工程项目的特征因素集  $C = (\text{基础类型、结构类型、层高、门窗工程、内外墙装饰、楼地面工程})$ 。显然, 如果找到与拟建项目最相似的既有工程, 根据其单方造价便可快速估算出拟建工程的单方造价, 再根据建筑面积就能得到总造价。

### 2.2 计算特征因素值并构造特征值矩阵

为准确体现各因素对造价影响的大小, 还需对所有因素赋予不同的权重。赋权的方法很多, 而在众多方法中, 层次分析法(AHP)应用最为广泛, 本文亦采用该方法, 限于篇幅不再赘述, 详细可参见文献[11]。

再利用既有工程、拟建工程的特征因素基础数据、综合单价和权重等数据, 计算各建筑工程对应特征值<sup>[12]</sup>:

$$\text{特征因素值} = \text{各分项工程占分部工程的百分比} \times \text{综合单价} \times \text{权重} \quad (2)$$

若存在  $n$  个既有建筑工程的造价资料, 每个工程具有  $m$  个特征因素, 则可构建其特征值矩阵如下:

$$C=(C_{ij})_{mn}=\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \cdots & C_{mn} \end{pmatrix}, i \in 1, 2, \cdots, m; j \in 1, 2, \cdots, n \quad (3)$$

### 2.3 构建既有工程与拟估项目的Vague集矩阵

文献[12]根据普通模糊集理论来确定工程隶属度。工程隶属度在这里是指既有工程特征值隶属于拟建项目特征值的大小程度,计算公式如下

$$R=(r_{ij})_{mn}=\frac{\min(C_{ij}, C_i)}{\max(C_{ij}, C_j)}, i \in 1, 2, \cdots, m; j \in 1, 2, \cdots, n; r_{ij} \in [0, 1] \quad (4)$$

式中:  $r_{ij}$  为既有工程  $j$  的特征因素  $i$  对拟估项目的隶属度;  $C_{ij}$  为既有工程  $j$  的特征因素  $i$  的特征值;  $C_j$  为拟建工程特征元素  $i$  的特征值。显然,根据(3)式便可将(2)式的特征值矩阵  $C_{ij}$  转换成既有工程对拟估项目的隶属度矩阵  $r_{ij}$ 。由于隶属度矩阵  $R$  只是普通模糊集,还需要进一步构造出相应的Vague集矩阵。一般而言,分项工程在分部工程所占百分比是由施工图设计决定的确定值,而分项工程的每平方米综合单价则存在一定的不确定性,并存在相应的上限和下限,换言之它应该是一个区间数。因此,根据式(2)和(3)所求出的特征值矩阵是区间数矩阵,也使得式(4)求出的隶属度矩阵亦为区间数矩阵。设  $a, b$  均为区间数,根据其除法定义:  $a/b=[a^-/b^+, a^+/b^-]$ , 便可将隶属度矩阵  $r_{ij}$  转换为Vague集矩阵  $A_{ij}$ 。

$$A=(A_{ij})_{mn}=\begin{pmatrix} [r_{11}, r'_{11}] & [r_{12}, r'_{12}] & \cdots & [r_{1n}, r'_{1n}] \\ [r_{21}, r'_{21}] & [r_{22}, r'_{22}] & \cdots & [r_{2n}, r'_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [r_{m1}, r'_{m1}] & [r_{m2}, r'_{m2}] & \cdots & [r_{mn}, r'_{mn}] \end{pmatrix}, i \in 1, 2, \cdots, m; j \in 1, 2, \cdots, n \quad (5)$$

式中:  $r_{ij}$  为既有工程  $j$  的特征因素  $i$  对拟估项目的真隶属度  $t_{ij}$ ,  $r'_{ij}$  为  $1-f_{ij}$ , 其计算公式:

$$r_{ij}=\min\left[\frac{\min(C_{ij}, C_i)}{\max(C_{ij}, C_j)}\right], i \in 1, 2, \cdots, m; j \in 1, 2, \cdots, n; r_{ij} \in [0, 1] \quad (6)$$

$$r'_{ij}=\max\left[\frac{\min(C_{ij}, C_i)}{\max(C_{ij}, C_j)}\right], i \in 1, 2, \cdots, m; j \in 1, 2, \cdots, n; r_{ij} \in [0, 1] \quad (7)$$

构造了Vague集矩阵  $A_{ij}$  后,便可按照前述Vague集贴近度原理来计算。最后,当求出了所有既有工程与待估项目的贴近度后,取其中贴近度值最大的工程作为拟建项目估价的基数。

### 2.4 估算拟建项目的造价

考虑到拟建项目与既有项目在建设时间上存在一定的先后顺序,而工程造价受到人工费、材料费和施工机械费的时间波动性影响,因此还需要引入项目所在地管理部门定期发布的造价指数进行修正。假设贴近度值最大的工程单方造价为  $p^*$ , 造价指数为  $k^*$ , 拟建工程的单方造价是  $p$ , 造价指数为  $k$ , 则

$$p=p^*(k^*/k) \quad (8)$$

## 3 实证分析

某地欲新建一综合办公楼,其建筑面积为3 993 m<sup>2</sup>,设计4层,层高为3.5 m,建筑高度为14.95 m。钢筋混凝土框架结构,采用独立基础。按照快速估价的要求,先从当地既有项目中找到了4个结构和基础类型相同且功能相近的工程,以它们的历史造价资料作为拟估项目的基础数据,然后按照本文介绍的估价方法和步骤对该项目的单位工程造价进行快速估算。所有项目的层高、基础类型、内外墙做法、门窗工程及楼地面工程等相关详细数据见表1所示。

表1 某办公楼特征因素数据详表

Tab.1 Table of feature factors of a building

| 工程项目                   |    | 层高<br>/m | 基础形式/%  |       | 门窗类型/% |       | 内墙做法/% |         |       | 外墙做法/% |         |       | 楼地面/% |         |
|------------------------|----|----------|---------|-------|--------|-------|--------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|---------|
|                        |    |          | 独立基础    | 基础埋深  | 木门     | 铝合金窗  | 加气砌块   | 混合砂浆/%  | 普通抹灰  | 多孔粘土砖  | 水泥砂浆    | 涂料    | 地面砖   | 细石砼     |
| 既有工程项目                 | H1 | 3.0      | 70      | 30    | 40     | 60    | 20     | 60      | 20    | 30     | 60      | 10    | 25    | 75      |
|                        | H2 | 3.2      | 75      | 25    | 35     | 65    | 15     | 70      | 15    | 35     | 50      | 15    | 22    | 78      |
|                        | H3 | 3.3      | 60      | 40    | 30     | 70    | 17.5   | 65      | 17.5  | 32     | 60      | 8     | 20    | 80      |
|                        | H4 | 3.4      | 65      | 35    | 45     | 55    | 10     | 80      | 10    | 35     | 55      | 10    | 15    | 85      |
| 拟建工程项目                 | H  | 3.5      | 66      | 34    | 28     | 72    | 15     | 73      | 12    | 28     | 62      | 10    | 26    | 74      |
| 综合单价/元·m <sup>-2</sup> |    |          | 140~165 | 55~65 | 25~30  | 70~80 | 35~45  | 180~200 | 20~30 | 50~60  | 220~250 | 12~16 | 30~40 | 110~130 |
| 权重 $w$                 |    |          | 0.25    |       | 0.15   |       | 0.40   |         |       | 0.08   |         |       | 0.12  |         |

注:建筑物层数只影响建筑面积大小,层高决定了钢筋、混凝土、模板和砌体用量,基础埋深决定了土方工程量,类似建筑物的差异还体现在材料和做法上,因此本文选取了上述特征因素。

先按照公式(3)对表1中的相关数据进行处理,计算后得到所有因素的特征值矩阵:

$$C = \begin{pmatrix} [3.0, 3.0] & [3.2, 3.2] & [3.3, 3.3] & [3.4, 3.4] \\ [2\ 862.5, 3\ 375] & [2\ 968.75, 3500] & [2\ 650, 3125] & [2\ 756.25, 3\ 250] \\ [780, 900] & [813.75, 937.5] & [847.50, 975] & [746.25, 862.5] \\ [4\ 760, 5\ 400] & [5\ 370, 6\ 050] & [5\ 065, 5\ 725] & [5\ 980, 6\ 700] \\ [1\ 185.6, 1\ 356.8] & [1\ 034.4, 1\ 187.2] & [1\ 191.68, 1363.84] & [1\ 117.6, 1\ 280.8] \\ [1\ 080, 1\ 290] & [1\ 108, 1\ 322.4] & [1\ 128, 1\ 344] & [1\ 176, 1\ 398] \end{pmatrix}$$

同理得拟建工程特征向量 $=[(3.5, 3.5), (2\ 777.5, 3\ 275), (861, 990), (5\ 562, 6\ 254), (1\ 212.8, 1\ 387.2), (1\ 070.4, 1\ 279.2)]^T$

再按照公式(5)(6)和区间数除法规则即可构造出全部既有项目对拟建项目的Vague集隶属度矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} [0.86, 0.86] & [0.91, 0.91] & [0.94, 0.94] & [0.97, 0.97] \\ [0.82, 0.87] & [0.79, 0.91] & [0.81, 0.89] & [0.84, 0.85] \\ [0.79, 0.96] & [0.82, 0.92] & [0.86, 0.88] & [0.75, 1.00] \\ [0.76, 0.97] & [0.86, 0.92] & [0.81, 0.97] & [0.83, 0.96] \\ [0.85, 0.89] & [0.75, 0.98] & [0.86, 0.89] & [0.81, 0.95] \\ [0.83, 0.84] & [0.81, 0.87] & [0.80, 0.87] & [0.77, 0.92] \end{pmatrix}$$

显然,拟建项目H所有特征值对自身的Vague集隶属度均为(1,1)。矩阵A的每一列分别对应着4个既有项目分别对拟建项目的Vague集隶属度,进一步根据前述贴近度公式计算它们与拟建工程的相似程度。

首先计算第一个既有项目各特征因素对拟建项目的贴近度:

$$M(H_{11}, H) = 1 - |[1 - 0.86 - (0 - 0.14)]/2| = 0.860$$

$$M(H_{21}, H) = 1 - |[1 - 0.82 - (0 - 0.13)]/2| = 0.845$$

$$M(H_{31}, H) = 1 - |[1 - 0.79 - (0 - 0.04)]/2| = 0.875$$

$$M(H_{41}, H) = 1 - |[1 - 0.76 - (0 - 0.03)]/2| = 0.865$$

$$M(H_{51}, H) = 1 - |[1 - 0.85 - (0 - 0.11)]/2| = 0.870$$

$$M(H_{61}, H) = 1 - |[1 - 0.83 - (0 - 0.16)]/2| = 0.835$$

则第一个既有项目对拟建项目的Vague集综合贴近度: $M(H_1, H) = \sum M(H_{i1}, H)/6 = 0.8583$ 。同理,可求出其他项目对拟建工程的综合贴近度:

$$M(H_2, H) = \sum M(H_{2i}, H)/6 = 0.8708, M(H_3, H) = \sum M(H_{3i}, H)/6 = 0.8758, \\ M(H_4, H) = \sum M(H_{4i}, H)/6 = 0.8850$$

可见既有工程  $H_4$  与拟建项目相似程度最高。已知工程  $H_4$  在 2008 年建成, 单方造价为  $1\,060\text{元}\cdot\text{m}^{-2}$ , 查询当时的造价指数 129.47 (该指数以 2001 年为基数 100, 逐年发布), 而拟建项目当前造价指数为 140.03, 则由式(7)可得拟建工程项目的单方造价  $p = p^*(k/k^*) = 1\,060 \times (140.03/129.47) = 1\,146.46\text{元}\cdot\text{m}^{-2}$ , 根据面积还可进一步估出总价。

#### 4 结语

即便是在快速估价方法已经具备了一定研究基础的今天, 在国外许多企业已经付诸实践了的当下, 国内很多建设单位却依然并不了解这个领域, 这既是由于管理体制和行业特点造成的, 也与我们的造价从业人员的素质参差不齐有很大关系。而现代系统分析方法, 如模糊数学、灰色理论和神经网络等, 为工程造价快速估算提供了理论上的有效支持, 特别是模糊数学理论, 因其对样本要求少, 精度较高而应用很广。但传统模糊理论存在信息不全面, 易损失中间值等不足。本文为此引入了 Vague 集贴近度理论, 该方法具有很好的动态和信息全面性, 利用区间数更准确地反应了综合单价的不确定性, 并通过实例验证了该模型的有效性, 也为工程项目快速估价研究领域提供了一种新的视角和方法。方法的不足之处在于 Vague 集的运算量较大, 构造隶属度矩阵过程相对复杂, 如果我们能借助计算机编程, 将繁琐的计算以电算代替的话, 就能更好地扩大它的应用范围。

#### 参考文献:

- [1] 马辉. 建设工程项目快速投资估算方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [2] 王祯显. 模糊数学在土建工程中招标投标的应用[J]. 土木工程学报, 1986, 19(6): 64-67.
- [3] 杨明辉. 工程量清单计价模式下的模糊相似优先比快速估价[J]. 福建工程学院学报, 2008, 6(2): 160-162.
- [4] 张传友. 灰色系统理论在建筑工程快速估价中的应用[J]. 福建工程学院学报, 2006, 4(1): 64-67.
- [5] 荀志远, 于彩华. 加权灰色关联度法在工程投资估算中的应用[J]. 建筑技术开发, 2001, 27(9): 47-49.
- [6] 任宏, 周其明. 神经网络在工程造价和主要工程量快速估算中的应用研究[J]. 土木工程学报, 2005, 38(8): 135-138.
- [7] 刘旭政, 张春荣, 陈水生. 基于模糊神经网络的拉索耐久性评价模型[J]. 华东交通大学学报, 2010, 27(2): 8-12.
- [8] GAU W L, BUEHRER D J. Vague sets[J]. IEEE Trans Systems Man Cybernet, 1993, 23: 610-614.
- [9] 符海东, 卢正鼎. 基于 Vague 集距离的多评价指标模糊决策方法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(8): 77-79.
- [10] CHEN S M. Similarity measures between vague sets and between elements[J]. IEEE Trans Syst Man Cybern, 1997, 27(1): 153-157.
- [11] 易欣. 基于 AHP 和蒙特卡罗模拟技术的投标报价风险研究[J]. 煤炭经济研究, 2009, 28(1): 43-45.
- [12] 沈良峰. 建筑工程快速估价的一种模型及应用[J]. 工业工程与管理, 2004, 8(6): 83-85.

## Fast Estimation Method for Project Investment Based on Vague Sets Proximity

Yi Xin

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** According to Vague sets and its proximity calculation, this paper establishes a new fast estimating model of the construction cost. Firstly, the existing similar projects have been selected from the historical data. Secondly, the main characteristic factors which may influence project cost are selected to establish the corresponding characteristic value matrix. Based on interval integrated unit price, the Vague sets matrix of existing project is founded. Similarity degree of all the existing and designed projects is calculated. Through the cost index and maximal similarity project, the designed project cost has been estimated. Finally, the validity and accuracy of this model have been proved by practical data.

**Key words:** construction project; fast estimate; Vague sets; proximity calculation; characteristic factors