

# 深基坑支护方案综合评价模糊 优化理论模型及其应用

冯玉国

(山东岩土工程勘察总公司, 济南 250014)

**【摘要】** 运用扩展的最小二乘方准则构造目标函数, 建立了一种适用于深基坑支护方案综合评价的模糊优化理论模型。以某大厦深基坑支护拟用的4种方案评价为例, 说明了该模型的应用, 并与采用其它方法得到的结果进行了对比。

**【关键词】** 深基坑支护; 方案评价; 模糊优化理论模型

**【中图分类号】** TU473.2; TU12

## A Fuzzy Optimal Theory Model Comprehensive Evaluating Bracing Deep Foundation Pit Program

**【Abstract】** With constructing objective function by using the rule of extensive minimum two-multiplication, a fuzzy optimal theory model of comprehensive evaluation to bracing deep foundation pit program is established. By taking 4 kinds of program which will be used in a certain square as an example, its application is introduced and compared to the results achieved by other methods.

**【Key words】** bracing deep foundation pit; program evaluation; fuzzy optimal theory model

### 0 引言

在深基坑工程中, 为达到同一支护目的, 可供选择的方案有多种。在这些方案中, 每种方案都有其各自的特点。如有的工期短, 有的造价低, 有的环境污染小等。因此, 在投标或施工(细部)设计前, 根据工程实际拟定几个方案, 从中选择一个相对最优的作为施工(细部)设计的基础, 是岩土工程师的一项重要任务。

深基坑支护方案的评价优选是一个多目标的决策问题。根据“最优化原则”求解是一理想的途径。但实践表明, “最优化原则”只是一种理想原则, 现实中并不存在。正如诺贝尔经济学获得者 H.A. 西蒙指出, 决策者由于受到认识上的限制, 不可能知道他们的决策所产生的全部结果, 由于

决策环境的日益复杂和决策因素的日益增多, 决策者也不可能了解全部的决策方案; 另外, 由于人力、物力和财力的限制, 也不可能将所有方案一一进行比较。因此“满意化原则”才是一种现实原则。根据这条原则, 在有限个离散方案中选择一个相对最优的方案即能达到优化的目的。

考虑到有限方案多指标决策的模糊性, 应用模糊数学方法建立模糊优化理论模型进行求解, 可找出一个综合的相对最优方案。

### 1 模糊优化理论模型的建立<sup>[1]</sup>

设有  $n$  个待评价的对象组成备择对象集, 每个待评价的对象有  $m$  个评价因素, 即组成评价指标集。若每个评价指标对每一备择对象的评价用特征量表示, 则有下面的特征量矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $x_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$ ) 为第  $j$  个备择对象的第  $i$  个评价指标的特征值。一般情况下, 它有效益型和成本型两种类型。为建立模糊优化理论模型, 需将评价指标的特征值转化为隶属度。对于效益型(越大越优型)指标, 其隶属度计算式为

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{\max}} \quad (2)$$

式中:  $x_{\max}$  为  $\{x_{ij}\}$  中的最大值。

对于成本型(越小越优型)指标, 其隶属度计算式为

$$r_{ij} = \frac{x_{\min}}{x_{ij}} \quad (3)$$

式中:  $x_{\min}$  为  $\{x_{ij}\}$  中的最小值。

于是, 得隶属度矩阵

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (4)$$

若定义系统的优向量

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_m)^T = (r_{11} \vee r_{12} \vee \dots \vee r_{1n}, r_{21} \vee r_{22} \vee \dots \vee r_{2n}, \dots, r_{m1} \vee r_{m2} \vee \dots \vee r_{mn})^T \quad (5)$$

式中:  $g_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 为优向量  $G$  的分量,  $\vee$  为取大运算符。次向量

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T = (r_{11} \wedge r_{12} \wedge \dots \wedge r_{1n}, r_{21} \wedge r_{22} \wedge \dots \wedge r_{2n}, \dots, r_{m1} \wedge r_{m2} \wedge \dots \wedge r_{mn})^T \quad (6)$$

式中:  $b_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 为次向量  $B$  的分量,  $\wedge$  为取小运算符。

则通过扩展的最小二乘方准则构造目标函数,

并令其导数为零求得模糊优化理论模型为

$$U = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\sum_{i=1}^m \left( w_i |r_{ij} - g_i| \right)^p}{\sum_{i=1}^m \left( w_i |r_{ij} - b_i| \right)^p} \right]^{\frac{2}{p}}} \quad (7)$$

式中:  $w_i$  为评价指标的权重,  $p$  为距离系数, 取 1 时为海明距离, 取 2 时为欧氏距离。两种距离计算所得的结论通常是一致的, 而以海明距离更为简便。

根据模糊优化理论模型(7) 计算出  $n$  个备择对象的优属度, 按最大隶属原则, 即可得到各备择对象的综合优劣排序。

## 2 在深基坑支护方案综合评价中的应用

某大厦地上 18 层, 高 68 m, 地下 2 层, 基底埋深为自然地坪下 10.5 m。地层主要为杂填土、粗砾砂、粉土、中细砂、粉细砂、粉质粘土、粉土混碎石和云母片岩。静止水位埋深 2.0 m, 砂土层渗透系数为  $3.5 \times 10^{-3}$  cm/s。根据地层条件和周围建筑物情况, 拟定了 4 种支护方案, 即  $\phi 800$  悬臂钻孔灌注桩 + 混凝土喷面、 $\phi 1200$  人工挖孔灌注桩 + 旋喷桩、混凝土锚喷网、 $\phi 800$  锚拉钻孔灌注桩 + 混凝土喷面。4 种方案均采用管井并点降水。评价支护方案优劣的主要依据是可靠性、造价、施工难度、工期、环境影响以及对其它工序的影响等<sup>[3]</sup>。其中造价和工期为定量指标, 可按定额或实际要求计算。其余为定性指标, 可按其相对重要程度用 0~1 间的数值进行量化, 这种量化需由经验丰富的专家才能确定较精确的数值。

因对其它工序的影响不大, 可不作考虑。按上述方法, 4 种支护方案的量化指标见表 1。

表 1 4 种支护方案的量化指标表

方 案	可靠性	造价/万元	施工难度	工期/d	环境影响
$\phi 800$ 悬臂钻孔灌注桩 + 混凝土喷面	0.8	220	0.7	40	0.8
$\phi 1200$ 人工挖孔灌注桩 + 旋喷桩	0.9	160	1.0	50	1.0
混凝土锚喷网	0.8	210	0.8	30	1.0
$\phi 800$ 锚拉钻孔灌注桩 + 混凝土喷面	1.0	260	0.8	35	0.9

表中混凝土锚喷网支护的工期不包括开挖时间。

显然,可靠性属于效益型指标,而造价、施工难度、工期和环境影响属于成本型指标。为此,由式(2)、(3)得下面的模糊矩阵

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.9 & 0.8 & 1.0 \\ 0.727 & 1.0 & 0.762 & 0.615 \\ 1.0 & 0.7 & 0.875 & 0.875 \\ 0.75 & 0.6 & 1.0 & 0.857 \\ 1.0 & 0.8 & 0.8 & 0.889 \end{bmatrix}$$

根据式(5)、(6)有  $\underline{G} = (1, 1, 1, 1, 1)^T$ ,

$$\underline{B} = (0.8, 0.615, 0.7, 0.6, 0.8)^T.$$

在5项评价指标中,可靠性是最为重要的一项,因此评价时应赋予较大的权重,而对环境的影响都不是太大,应赋予较小的权重。其它3项重要性介于上面二者之间,可赋予相应权重,为此可得下面的权重向量

$$\underline{w} = (0.3, 0.2, 0.2, 0.2, 0.1).$$

将  $\underline{R}$ 、 $\underline{G}$ 、 $\underline{B}$  和  $\underline{w}$  代入式(7),并令  $p=1$  求得

$$\underline{U} = (0.393, 0.241, 0.472, 0.541)^T.$$

根据最大隶属原则,4个支护方案的优劣顺序依次是:  $\phi 800$  锚拉钻孔灌注桩+混凝土喷面  $>$  混凝土锚喷网  $>$   $\phi 800$  悬臂钻孔灌注桩+混凝土喷面  $>$   $\phi 1200$  人工挖孔灌注桩+旋喷桩。这与用灰色优化理论模型综合评价的结果<sup>[3]</sup>是一致的。

分析4种支护方案可知: $\phi 800$  悬臂钻孔灌注桩+混凝土喷面由于地层条件限制,插入土

中长度过大( $>9$  m),工期较长,安全可靠性较差,尽管施工难度小,对环境影响也不大,但并非是最优的方案。 $\phi 1200$  人工挖孔灌注桩+旋喷桩造价最低,可靠性也较好,但遇碎石时施工难度大,而且地下水丰富,施工时人身安全不易保障,工期较长。混凝土锚喷网支护主要是由于土质较差,锚杆和土钉太长,施工难度大,成本高,且可靠性不易保证。尽管  $\phi 800$  锚拉钻孔灌注桩+混凝土喷面造价最高,但克服了以上其它不足,故仍是相对最优的方案。

### 3 结语

深基坑支护方案的优选是岩土工程设计中的一项重要工作,由于深基坑支护方案受多种因素影响,因而其优选具有模糊性。同时考虑优向量和次向量建立的深基坑支护方案综合评价模糊优化理论模型数学推导严谨、概念清晰、评价值分辨率高、结果可靠,避免了其它方法评价值趋于均化而使分辨率不高的缺点。笔者还将该模型应用于其它深基坑支护方案的综合评价,也取得较好的效果。

### 参 考 文 献

- 1 陈守煜. 水文水资源系统模糊识别理论. 大连: 大连理工大学出版社, 1992. 121~125
- 2 黄运飞. 深基坑工程实用技术. 北京: 兵器工业出版社, 1996. 554
- 3 冯玉国. 深基坑支护方案评价灰色优化理论模型与应用. 岩土工程师, 1999, 11(1): 23~25

收稿日期: 2000-09-04

## 《第五届全国岩土工程实录集》有售

《第五届全国岩土工程实录集》已于2000年9月出版发行, 欢迎各界来函选购, 每本定价70.00元。欲购者, 可将书款从邮局寄北京573信箱《岩土工程技术》杂志社(邮编100053)刘荣先收, 并注明“《第五届全国岩土工程实录集》”字样。

《岩土工程技术》杂志社

2000-12-18