

运用模糊综合评判选择施工方案的最优解可靠性分析方法^①

王 东

(建筑工程学院,云南工业大学,昆明,650051)

摘要 对利用模糊综合评判选择施工方案的最优解可靠性进行了详细的分析,提出了对最优解可靠性进行分析的两种方法.

关键词: 模糊优化, 隶属度, 专家系统

前 言

不同施工方案的选择是现代施工组织设计中时常遇到的一大问题,也是合理地利用现有的财力、物力和人力,以较小的劳动耗费来换取较大的劳动成果的问题,施工方案选择不当,轻则带来建设成本的提高,工期的延长,重则给国民经济带来不可估量的损失.常用的选择施工方案的方法称为“主要因素法”,即在影响施工方案选择的各种因素中,选择最主要的而又可以量化的几项指标来进行比较,如工期最短或费用最低的方案是最优方案.但是这种方法,对影响施工方案选择的大多数不能量化的影响因素,往往忽略不计,从而使选出的“最优”方案并不真正最优;特别是遇到不同方案、不同主要因素的优越性相互交叉时,会产生矛盾的结果.

近年来,利用模糊数学的理论,采用对不同施工方案进行多层次模糊综合评判来选择最优施工方案的方法,就可以克服前者的不足,它可以使影响施工方案选择的包括能量化和不能量化的(即定量部分和定性部分的)全部因素参加运算,从而获得比前者更符合客观现实的最优方案.

1 多层次模糊综合评判法的基本步骤

1) 确定影响施工方案选择的因素层次,建立因素集 U

设因素集为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$, U_i ($i = 1, 2, \dots, m$) 为第一层次中的第 i 个因素,而它又是由第二层次的 n 个因素决定的,即 $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in}\}$, ($i = 1, 2, \dots, m$), 依此类推^[2~4].

本条的实质是建立起影响施工方案选择的指标体系,例如施工的可能性指标、工期指标、造价指标、质量和安全指标等等;上述各项指标又分别是由各自的影响因素确定,例如造价指标中的材料费、机械费、人工费、技术设施费、辅助设施费和间接费等等^[1].

2) 建立权重集 A

根据每一层次中各个因素的重要程度,分别给每一因素赋以相应的权重 A : $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, a_i ($i = 1, 2, \dots, m$), a_i 为第一层次第 i 个因素 U_i 的权重. 其中 $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$, ($i = 1, 2, \dots, m$), a_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) 为第 j 层次中决定因素 U_i 的权数. 权重确定后,一般应进行一致性检验.

①收稿日期: 1995-12-25收到第一稿, 1996-05-03收到第二稿

3) 建立备择集 V

不论因素层次有多少, 备择集仅有一个, 设备择集为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_p\}$, 其中, $V_k \{k = 1, 2, \dots, p\}$ 为总评判的第 k 个可能的结果.

4) 对各影响因素进行专家评语

即用隶属度的方式对经验或逻辑推理的评语加以一定的等级描述, 从而获得对各种指标描述的一致性. 设评语等级分为七级: $V = \{\text{很差, 差, 较差, 一般, 较好, 好, 很好}\}$, 并将备择集 V 的七个等级分别赋予对应的等级矩阵值, $C = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, 从而评语集 V 则由评语描述的强弱分为七个等级.

本条的实质是对各决定施工方案选择的影响因素作横向的比较, 例如某一方案的造价最低, 则该方案造价指标的经验或逻辑推理评语等级就定为好或很好等; 另一方案的造价不高不低, 则该方案造价指标的经验或逻辑推理评语等级就定为一般等. 通常评语等级的确定取决于专家系统的健全和完善.

5) 选取隶属度值, 确定变换矩阵 R

设因素集 U , 备择集 $V = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, 则得实践经验或逻辑推理从 V 到 U 的 Fuzzy 映射(见表 1).

表 1 从 V 到 U 的 Fuzzy 映射

经验或 逻辑推 理评语	隶 属 度							语 言 描 述	变换 矩阵 R_i
	等 级 V								
	-3	-2	-1	0	1	2	3		
很 好	0	0	0	0	0	0.33	0.67	很大程度上属于 3 级	R_1
好	0	0	0	0	0.25	0.50	0.25	很大程度上属于 2 级	R_2
较 好	0	0	0	0.25	0.50	0.25	0	很大程度上属于 1 级	R_3
一 般	0	0	0.25	0.50	0.25	0	0	很大程度上属于 0 级	R_4
较 差	0	0.25	0.50	0.25	0	0	0	很大程度上属于-1 级	R_5
差	0.25	0.50	0.25	0	0	0	0	很大程度上属于-2 级	R_6
很 差	0.67	0.33	0	0	0	0	0	很大程度上属于-3 级	R_7

将上述 Fuzzy 映射之全体向量并列起来得到一矩阵: $R_i = (r_{ij})$, $(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$, 则 $R_i = (r_{ij})$ 称为模糊综合评判的变换矩阵.^[4]

6) 计算综合评判结果 B

$$B = A \circ R = A \circ [A_1 \circ R_1 \quad A_2 \circ R_2 \quad \dots \quad A_n \circ R_n]^T$$

其中 A 与 R 的运算采用不同的模糊算子可得到不同的 B 值.

7) 计算综合价值系数 W

取 $W = B \circ C^T$; $C^T = (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)$.

8) 计算总综合价值系数 V

$V = \sum W(i)$, $W(i)$ 为各模糊算子 $6i$ 计算出之综合价值系数.

9) 重复 4~8 的步骤, 即可计算出不同方案之 V , V 值最大者为最优方案.

表 2 是某项施工方案通过施工的可能性指标、工期指标、造价指标、质量和安全指标各计四类 15 项影响因素, 经上述模糊综合评判后之计算结果(待选方案共有四个, 模糊算子取常用的四组)^[1,3].

因方案 III 总综合价值系数为最大, 故方案 III 为最优方案.

2 优化结果分析

通过上述步骤,即可十分方便地选择出最佳方案,但是还需进一步对最优解的可靠性进行分析处理.最优解的产生取决于

总价值数值的大小,而影响总价值系数值大小的实质是 $\tilde{A} \circ \tilde{R}$ 的关系. \tilde{A} 为相对权重系数矩阵,一般经一致性检验后此矩阵为定值; \tilde{R} 为变换矩阵,其中包括两层含义:一是由评语等级的高低而选取的变换矩阵 \tilde{R}_i ,另一是变换矩阵中隶属度值的大小,这两点实际上构成了影响总价值系数大小的关键,所以最优解可靠性的分析应从此变换矩阵中的数值大小来考虑.

1) 评语等级的调整

利用模糊综合评判来进行施工方案的选择,其中最关键的一点就是对方案的指标作经验或逻辑推理评语的确定,评语确定准确与否,直接关系到最优解的可靠性.目前多采用的方法是专家系统的专家评分法.不同的待选方案有着自己不同的优越性,满足各项指标的好坏程度也各不相同,最优方案在各项指标中处处占优是不太可能的,所以最优方案实际上是一种综合实力的表现.在一定条件下,其他方案也有可能成为最优方案,为此考虑对非优方案的评语进行调整.目前,一般解决此问题的方法是把非优方案的专家评语全部上调一级,再来参与运算,若上调后的最优方案还是原最优方案,则原方案为最优.若上调后的最优方案不是原最优方案,则此方案非优.但是,如果把非优方案的评语全部上调一级来计算,这可能使上述首次专家评语失效,再者与实际也有出入,因此调整方法为:提高非优方案权重系数较大者的评语一级来计算,若此时计算出最优方案还是原评语不变的最优方案,则最优方案为此;若此时最优方案不是原最优方案,则再按本文后面方法比较计算.此法的实质是突出了主因素对方案的选择的影响^[1].

表3是提高非优方案权大者评语一级后的计算结果汇总表.

通过计算,各非优方案之总价值系数有明显提高,但还低于原最优方案,方案Ⅲ仍为最优方案.

2) 隶属关系的调整

表1实质上是赋予了某一特定的等级或评语

0.5,相应其上下两级各为0.25,其余为0的隶属程度.例如很大程度上隶属于2级“好”的评语的隶属度为0.5,相应属于1级“很好”和3级“较好”的隶属度为0.25,其余为0,也即隶属度在某级对应之评语处为最大,其余级另依次减到0.这是一个经验取值,此前人们在进行模糊综合评判时常选取此组隶属度^[2~4].

但由于建筑施工评判指标具有特定的模糊性,从定量指标转化为定性指标的界限较难人为地划分,为此,考虑将原表中属于某级隶属度值的数值进行调整,原0.5调整为0.6

表2 某项施工方案模糊综合评判计算结果

算 子	方 案 I	方 案 II	方 案 III	方 案 IV
1	$W(1)=0.760$	$W(1)=0.630$	$W(1)=1.243$	$W(1)=-0.830$
2	$W(2)=0.262$	$W(2)=0.139$	$W(2)=0.335$	$W(2)=-0.024$
3	$W(3)=1.760$	$W(3)=0.449$	$W(3)=4.004$	$W(3)=-0.066$
4	$W(4)=0.727$	$W(4)=0.138$	$W(4)=1.282$	$W(4)=-0.041$
$V=\sum W$	$V=3.590$	$V=1.356$	$V=6.846 \max$	$V=-0.132$

表3 计算结果汇总表

算 子	方 案 I	方 案 II	方 案 III	方 案 IV
1	$W(1)=1.087$	$W(1)=1.255$	$W(1)=1.243$	$W(1)=0.724$
2	$W(2)=0.452$	$W(2)=0.342$	$W(2)=0.335$	$W(2)=0.236$
3	$W(3)=3.097$	$W(3)=2.678$	$W(3)=4.004$	$W(3)=2.325$
4	$W(4)=1.253$	$W(4)=0.790$	$W(4)=1.282$	$W(4)=0.667$
$V=\sum W$	$V=5.880$	$V=5.065$	$V=6.846 \max$	$V=3.962$

和 0.4, 相应原 0.25 分别改为 0.2 和 0.3, 原属度为 0 的不变, 再进行计算.

将 0.2 和 0.6 分别替换表 1 中的 0.25 和 0.5, 得相应从 V 到 U 的 Fuzzy 映射隶属表 4, 用此隶属关系进行计算, 得调整后的综合价值系数汇总表 5.

表 4 调整后的隶属度表

经验或 逻辑推 理评语	隶 属 度							语 言 描 述	变换 矩阵 R_i
	等 级 V								
	-3	-2	-1	0	1	2	3		
很 好	0	0	0	0	0	0.33	0.67	较大程度上属于 3 级	R_1
好	0	0	0	0	0.20	0.60	0.20	较大程度上属于 2 级	R_2
较 好	0	0	0	0.20	0.60	0.20	0	较大程度上属于 1 级	R_3
一 般	0	0	0.20	0.60	0.20	0	0	较大程度上属于 0 级	R_4
较 差	0	0.20	0.60	0.20	0	0	0	较大程度上属于-1 级	R_5
差	0.20	0.60	0.20	0	0	0	0	较大程度上属于-2 级	R_6
很 差	0.67	0.33	0	0	0	0	0	较大程度上属于-3 级	R_7

再将 0.3 和 0.4 分别替换表 1 中的 0.25 和 0.5, 且改语言描述中“很大程度上属于某级”为“较大程度上属于某级”, 得相应从 V 到 U 的 Fuzzy 映射隶属度表 6 和其计算结果汇总表 7.

表 5 调整后的综合价值系数汇总表

算 子	方 案 I	方 案 II	方 案 III	方 案 IV
1	$W(1)=0.204$	$W(1)=0.569$	$W(1)=1.082$	$W(1)=-0.105$
2	$W(2)=0.952$	$W(2)=0.141$	$W(2)=0.341$	$W(2)=-0.024$
3	$W(3)=1.571$	$W(3)=0.349$	$W(3)=3.926$	$W(3)=-0.027$
4	$W(4)=0.727$	$W(4)=0.138$	$W(4)=1.282$	$W(4)=0.041$
$V=\sum W$	$V=3.454$	$V=1.197$	$V=6.631 \max$	$V=-0.115$

表 6 再次调整后的隶属度表

经验或 逻辑推 理评语	隶 属 度							语 言 描 述	变换 矩阵 R_i
	等 级 V								
	-3	-2	-1	0	1	2	3		
很 好	0	0	0	0	0	0.33	0.67	较大程度上属于 3 级	R_1
好	0	0	0	0	0.30	0.40	0.30	较大程度上属于 2 级	R_2
较 好	0	0	0	0.30	0.40	0.30	0	较大程度上属于 1 级	R_3
一 般	0	0	0.30	0.40	0.30	0	0	较大程度上属于 0 级	R_4
较 差	0	0.30	0.40	0.30	0	0	0	较大程度上属于-1 级	R_5
差	0.30	0.40	0.30	0	0	0	0	较大程度上属于-2 级	R_6
很 差	0.67	0.33	0	0	0	0	0	较大程度上属于-3 级	R_7

隶属度经过调整后, 方案 III 仍为最优方案. 但是, 在实际工程中到底选用哪一组隶属关系呢? 三种不同的隶属关系虽然都可以求得统一的优化结果 (同时也确证了方案 III 为

表 7 再次调整后的综合价值系数汇总表

算 子	方 案 I	方 案 II	方 案 III	方 案 IV
1	$W(1)=0.952$	$W(1)=0.726$	$W(1)=1.435$	$W(1)=0.013$
2	$W(2)=0.243$	$W(2)=0.130$	$W(2)=0.329$	$W(2)=-0.024$
3	$W(3)=1.910$	$W(3)=0.549$	$W(3)=4.004$	$W(3)=-0.066$
4	$W(4)=0.727$	$W(4)=0.138$	$W(4)=1.282$	$W(4)=0.041$
$V=\sum W$	$V=3.831$	$V=1.543$	$V=7.051 \max$	$V=-0.036$

最优方案), 然而三种隶属关系一同计算必然带来实际工作量的增加. 从三种隶属关系的

总综合价值系数的级差 $R = V_{\max} - V_{\min}$ 来看, $R_1 = 6.864 - (-0.132) = 6.996$, $R_2 = 6.631 - (-0.115) = 6.746$, $R_3 = 7.051 - (-0.036) = 7.087$, R_3 为最大值, 且 $V_{3\max} = 7.087$ 为最大综合价值系数, 显然用第三种隶属关系更能突出最优方案的优势. 再者, 由于第三种隶属关系把最大隶属度值降低至 0.4, 原“很大程度上属于某级”的语言描述改为“较大程度上属于某级”的语言描述, 从而便于实际工作中的实践或逻辑推理评语的确定, 减轻了评定的难度, 使本法容易在工作中推广和应用.

如果把最大隶属度值再次提高, 则必然带来评语确定难度的增加, 并且随最大隶属度值的提高, 价值系数级差值降低, 优势不易突出; 若再降低最大隶属度值, 则不能满足“较大程度上属于某级”的评语描述, 因此, 很大或较大程度上属于某级的最大隶属度值还是应该在 0.4~0.6 之间取值, 但以 0.4 最为优先.

因此, 在运用模糊综合评判方法选择最优施工方案时, 采用再次调整的第三种隶属关系进行计算(即表 6 的隶属关系), 既可以降低评语确定的难度, 又可使最优方案的总综合价值系数最大限度地突出, 从而突出了最优方案的优势, 便于抉择.

参 考 文 献

- 1 王东. 关于深基础施工中支护方案优化选择问题的研究. 重庆: 重庆建筑大学硕士论文集, 1994
- 2 汪培庄. 模糊集合论及其应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1983
- 3 王彩华. 模糊论方法学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988
- 4 冯仲成. 模糊数学实用集粹. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991

The Analysis Method for the Optimal Solution of Selection Construction Plan by Fuzzy Comprehensive Evaluation

Wang Dong

(School of Civil Engineering, YPU, Kunming, China, 650051)

Abstract This paper gives analysis in detail for the optimal solution of choose construction plan by fuzzy comprehensive evaluation and puts forward two ways of the optimal solution for the first time.

Key words: Fuzzy optimization, Membership degree, Expert system