

The Application of Inversion to Scheme Optimum in Civil Engineering

Hongguang Luo^{1,2}, Yaojie Guo¹, Xibin Duan¹, Ling Ji¹

¹School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan, China

²Urban construction department, Shaoyang University, Shaoyang, China

Email: whluohongguang@163.com

Abstract: The inversion is used to optimize projects in civil engineering. In the first place, every evaluated project is taken as the final optimum project. As the weight coefficient is the key in the scheme optimum, the most favorable weight coefficient is obtained for every evaluated project. Then the value of every evaluated project is calculated by the most favorable weight coefficient. The evaluated project will be rejected if its value is lower than others under its advantageous condition. So the evaluation range is reduced. The decision makers' basic purposes may be considered in the procedure of evaluation. Finally, the final optimum scheme is determined. It is rational to optimize projects in civil engineering. The calculating processes are displayed by an example which can give reference to the engineers and technicians.

Keywords: civil engineering; weight coefficient; inversion; scheme optimum

反演在土木工程方案优选中的应用

罗洪光^{1,2}, 郭耀杰¹, 段熙宾¹, 纪玲¹

1. 武汉大学土木建筑工程学院, 武汉, 中国, 430072

2. 邵阳学院城建系, 邵阳, 中国, 422000

Email: whluohongguang@163.com

【摘要】在土木工程方案优选中引入反演, 即首先视每一个方案都是优选方案, 指标权重系数是方案优选的关键, 从而得到对每个方案最有利的指标权重系数。接着计算各方案在最有利的指标权重系数条件下的评价价值。在最有利的指标权重系数条件下, 如果方案评价价值较低, 该方案即被剔除, 逐步缩小优选范围, 最终得到优选方案。在这一过程中, 可结合决策者的基本主观愿望进行优选。在方案优选中引入反演, 考虑了决策者的基本主观愿望, 合理确定了优选方案。本文给出了案例, 可供工程技术人员参考。

【关键词】土木工程; 权重系数; 反演; 方案优选

1 引言

土木工程方案优选一般需进行多指标综合评价。权重是指对每一个指标在评价中的重要程度的度量, 各指标的权重系数可用一正数表示且所有权重系数之和为 1。在多指标综合评价中, 各个指标对决策者而言, 它们的重要程度(即权重)是不同的。各个指标的权重的大小(即权重系数)对最终的评价结果起着至关重要的作用。因此, 在建立综合评价模型时, 确定各指标的权重是核心。对于权重的确定, 根据确定的途径不同, 通常可分为主观赋权法和客观赋权法两大类, 文献[1-2]从集成角度探讨了权重。由于确定主观权重时, 会由于决策

者的知识、经验的缺乏或不足, 将使指标的权重带有主观随意性。比如, 目前应用较广的层次分析法(The Analytical Hierarchy Process, 简称 AHP^[3]) 在构造判断矩阵时, 需要对因素两两比较, 会受到主观因素的干扰^[4]。另外, 客观权重虽然利用了完善的数学理论知识, 但常常违背了决策者的主观愿望^[5]。为了有效避免主观赋权法和客观赋权法的不足, 本文针对多指标综合评价, 提出权重系数反演。

2 反演

一般来说, 多指标综合评价需先确定指标权重系数, 再进行评价对象的优选。那么, 如果先假设确定

了优选对象，然后推算相关的指标权重系数，这个过程就是前一过程的反演。

对任一被评价对象来说，如果指标权重系数分配对该被评价对象最有利，该对象被优选的可能性就最大。因此，首先对各个被评价对象的各项指标一致化和标准化，其次进行各项指标的排名。假设某一被评价对象为优选对象，如果该对象某一指标排序靠前，那么该指标分配到较大的权重系数。然后计算各指标评价价值与权重系数乘积之和，得到被评价对象的评价价值。对比被评价对象的评价价值，如果设为优选对象的被评价对象不能胜出（即该被评价对象的评价价值排名不是第一位），就可认为假设错误，将该被评价对象排除出优选范围。经过上述计算后，优选范围缩小了。

一般情况下，决策者对指标评价有基本愿望，即认为某项指标最重要，某项指标次要等。工程建设项目评标过程中，往往需进行多指标综合评价。比如，招标方认为工程报价最重要，基于招标方的该项基本愿望，我们就可进行第二轮的计算分析。

保留在优选范围内的标书，在上一轮计算中如果工程报价这项指标的排序不是居于第一位，在第二轮计算中，只需将工程报价置于第一位，原排在工程报价之前的指标排序依次降低一位，其余指标排序不作改变，计算各标书的评标分。与第一轮相同，将权重占优但评标分排名不是第一位的标书排除出优选范围。这样，进一步缩小了优选范围。类似于第二轮计算，第三轮计算分析的前提是，已知招标方认为是次重要的指标。如此轮回计算，最终可以筛选出最优标书。

3 案例分析

本文案例来自文献[6]。某工程评标，4 份标书，6 项指标是评标参考依据，无量纲化后的指标汇总如表 1。

Table 1. Summary of dimensionless indicators
表 1. 无量纲化指标汇总

标书	报价	工期	质量 实绩	施工 方案	企业 信誉	项目 经理
甲	3	4	9	9	7	4
乙	4	1	7	9	9	3
丙	1	4	9	7	7	3
丁	2	5	5	7	5	4
指标 均方差	1.1	1.5	1.7	1.0	1.4	0.5

对于甲标，质量实绩、施工方案、项目经理三项指标在四份标书中，排名都是第一位（含并列第一），因此，甲标在上述三项指标上较其他标书有优势（以下简称“占优”），按指标均方差的大小区分以上三项指标的排名。以上三项指标均方差为：1.7、1.0、0.5，那么质量实绩、施工方案、项目经理指标排名 i 为：1、2、3。甲标的报价、企业信誉、工期三项指标在四份标书中，排名都是第二位（含并列第二），总共 6 项指标，可以认为甲标在上述三项指标上不占优，那么与占优指标的排名方法相反，按指标均方差的大小逆序排名。如报价、企业信誉、工期三项指标均方差为：1.1、1.4、1.5，则报价、企业信誉、工期指标排名 i 为：4、5、6。很明显，这样可以凸显甲标的优势，有利于甲标优选。

确定了甲标各项指标排名后，按式（1）分别计算 6 项指标权重系数 k_i ：

$$k_i = (7 - i) / \sum_{i=1}^6 i = (7 - i) / 21 \tag{1}$$

设甲标各指标评价分是 d_i ，则甲标评标分 $p_{\text{甲}} = \sum_{i=1}^6 d_i k_i = 6.8$ 。按甲标指标权重系数计算其余三份标书评标分 $p_{\text{乙}} = 6.2$ 、 $p_{\text{丙}} = 5.8$ 、 $p_{\text{丁}} = 4.9$ 。

同样，分别从最有利于乙标、丙标、丁标优选出发，计算各指标权重系数，并在此基础上计算各标书评标分。各标书评标分汇总如表 2，表中“某占优”表示权重系数对某标书最有利。

Table 2. Summary of evaluation points
表 2. 评标分汇总

标书	甲占优	乙占优	丙占优	丁占优	平均值
甲	6.8	6.3	6.7	5.3	6.3
乙	6.2	6.6	5.7	4.5	5.7
丙	5.8	5.3	6.2	4.4	5.4
丁	4.9	4.6	5.0	4.7	4.8

从表 2 可见，丙标、丁标在各自权重系数占优的条件下，计算所得的评标分排名不是第一，所以，可以将丙标、丁标排除出中标范围。以下进行第二轮计算。

如果评标委员会认为报价在 6 项指标中最重要，那么，在以下计算中，将第一轮计算中的报价指标排名 i 强制定为 1，原来排名顺序在报价之前的指标，其排名 i 依次降低，其余指标排名 i 不变。采用第一轮计算的方法，甲标、乙标评标分如表 3。

Table 3. Summary of evaluation points

表 3. 评分分汇总

标书	甲占优	乙占优	平均值
甲	6.1	6.1	6.1
乙	5.9	6.3	6.1

易知, 不能通过表 3 决定中标对象。如果评标委员会认为质量实绩在 6 项指标中重要性仅次于报价, 那么, 在第三轮计算中, 将第二轮计算中的质量实绩排名 i 强制定为 2, 除报价之外的原来排名顺序在质量实绩之前的指标, 其排名 i 依次降低, 其余指标排名 i 不变。采用前二轮计算的方法, 甲标、乙标评分分如表 4。

Table 4. Summary of evaluation points

表 4. 评分分汇总

标书	甲占优	乙占优	平均值
甲	6.1	6.2	6.2
乙	5.9	6.1	6.0

从表 4 可见, 乙标在占优的条件下, 评分分 $p_{乙} < p_{甲}$, 可以将乙标排除出中标范围, 剩下的甲标为优选标。优选标与文献[6]一致, 说明了本文方法的有效性。文献[6]标书排序从优至劣依次为甲、乙、丙、丁, 这与表 2 按评分分平均值由大到小的标书排序吻合。因此, 如果评标委员会对指标重要性没有任何倾向性, 第一轮计算的评分分平均值在某种程度上反映出各标书的优劣。

需指出的是, 如果评标委员会对某项或某几项指标有明显倾向性, 那么计算上述指标占优标书的权重系数时, 可以突破本文前述指标权重系数计算方法, 增大占优指标权重系数, 避免该标书被排除出中标范围。如本文案例中的丁标, 其工期指标居于四份标书首位, 如果评标委员会特别看重工期指标, 计算表明, 当工期指标权重系数为 0.67 时, 丁标可以避免在第一轮计算中被淘汰。

从上述计算分析过程可见, 本文提出的权重系数反演计算过程简单, 既可手算, 也可借助常用的办公软件, 或简单编程, 迅速优选评价对象。

4 结论

在土木工程方案优选中引入反演有以下特点:

1) 避开了确定指标权重系数这一难点, 降低了主观随意性对决策的影响;

2) 结合决策者的基本主观愿望分析计算, 避免违背决策者的基本主观愿望。

对多指标综合评价指标权重系数进行反演, 得到占优权重系数, 正演计算评价对象的评价值, 逐步缩小评价范围。综合考虑和反映了决策的主观性、客观性, 合理优选。

References (参考文献)

- [1] Zhi-Ping Fan, Jian Ma, Quan Zhang. An approach to multiple attribute decision making based on fuzzy preference information on alternatives[J], *Fuzzy Sets and Systems*, 2002,131, P 101-106.
- [2] Jiang Ma, Zhi-Ping Fan, Li-hua Huang. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights [J], *European Journal of Operational Research*, 1999,112, P 397-404.
- [3] Saaty, T. L. The analytical hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation [M]. McGraw-Hill International Book Co., London, England
- [4] Wu Gao-li. Research on Bidding Evaluation Decision Support System of Construction Project[D], *Wuhan University of Technology*, 2006 (Ch).
吴高莉, 建设工程施工项目评标决策支持系统研究[D], 武汉理工大学, 2006.
- [5] Li Qiao-xing. The Theoretical Research and Application of Index's Weight to be Determined in the Multiple Attribute Decision Making [D], *Guangxi University*, 2004 (Ch).
李桥兴, 多属性决策中指标权重确定的理论研究与应[D], 广西大学, 2004.
- [6] Hu Wen-liang, Yie Ya-qi, Huo Wei-shi. Application of Multi-objective Decision on Bid Evaluation in Construction Engineering [J], *Optimization of Capital Construction*, 2007, 28(2), P21-23 (Ch).
胡文亮, 叶亚齐, 霍卫世, 多目标决策在建设工程项目评标中的应用[J], 基建优化, 2007, 28(2), P21-23.