

文章编号: 1001-0920(2008)07-0730-05

群决策中多阶段多元判断偏好的集结方法研究

朱建军¹, 刘思峰¹, 李洪伟², 田 飞¹

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 山东科技大学 经济管理学院, 山东 青岛 266510)

摘 要: 研究群决策过程中决策者基于多个决策阶段、多种结构形式的判断偏好集结方法. 基于互反判断偏好与互补判断偏好的转化公式, 将多种类偏好的结构一致化; 利用决策者判断偏好的一致性水平和与群体综合偏好偏差的距离, 提出了确定决策者权重的方法; 建立了基于决策先验信息的多阶段偏好集结的决策阶段赋权模型. 根据各决策阶段的权重, 将多阶段判断偏好集结成群体综合偏好.

关键词: 群决策; 多阶段; 多元偏好; 集结

中图分类号: C943 **文献标识码:** A

Aggregation approach of multiple stages multiple judgment preferences styles in group decision-making

ZHU Jian-jun¹, LIU Si-feng¹, LI Hong-wei², TIAN Fei¹

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China. Correspondent: ZHU Jian-jun, E-mail: zhujianjun@nuaa.edu.cn)

Abstract: A problem of aggregation approach of multiple stages multiple judgment preference styles is studied in group decision-making process. Multiple preferences are translated into single one preference style based on the reciprocal comparison matrix and complementary matrix translation formula. The weight of the decision-maker is suggested according to the consistency level of the decision preference and the deviation of the individual and the group. The weight of the decision-stage is presented based on the priori information. Following that, the multiple stages and multiple preferences are aggregated into the group preference.

Key words: Group decision-making; Multiple stages; Multiple preference; Aggregation

1 引 言

由于决策者的生活阅历、工作经验、心理素质、判断水平、外部环境和个人偏好等方面的差异, 决策过程中常采用不同的偏好结构形式, 如判断矩阵、效用值、偏好序值、语言值等^[1-3]. 决策者对客观事物的认识遵循由浅入深的规律, 而事物也是处于不断发展变化之中. 此外, 决策者往往需要研究决策问题的多个阶段特点以进行综合评估, 这些阶段相互影响, 且各阶段决策者的偏好表现形式可能不同. 因此, 如何有效地集结决策群体多个决策阶段的多类结构形式的偏好信息是一个值得研究的课题. 偏好结构不尽相同的确定性偏好集结研究已引起了学术界的重视^[4-8], 但尚没有多阶段、多类结构形式的偏好信息

集结的文献报道.

目前需要解决的问题主要集中在两个方面: 1) 合理确定决策群体和决策阶段的赋权问题, 要基于发展和变化的眼光来审视问题并作出科学决策; 2) 决策者的偏好属于主观判断, 与客观的属性数据不同, 在多阶段、多元判断偏好集结过程中, 存在决策者判断逻辑是否一致的问题, 而现有的多阶段决策模型^[9-12]并未涉及. 对此, 本文研究了群决策过程中多阶段互反判断矩阵和互补判断矩阵的集结方法.

2 多阶段多元判断偏好的集结模型

2.1 决策群体多元判断偏好的一致化

采用下式将互补判断矩阵转化成互反判断矩阵^[11]:

收稿日期: 2007-05-10; 修回日期: 2007-08-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70473037, 70701017); 中国博士后科研基金项目(2005038575); 江苏省博士后科研基金项目(苏人通[2005]255号); 江苏省软科学项目(BR2007020).

作者简介: 朱建军(1976—), 男, 江苏丹阳人, 副教授, 博士后, 从事多属性决策理论与方法、智能优化算法等研究; 刘思峰(1955—), 男, 河南平舆人, 教授, 博士生导师, 从事灰色系统理论、区域科技发展战略规划等研究.

$$a_{ij} = \frac{b_{ji}}{b_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

其中 b_{ij} 表示决策者基于方案 i 与方案 j 相比较给出的判断值。

由式 (1), 两种结构形式的判断偏好转化成同一形式, 记作 $A_i^k (i = 1, 2, \dots, t; k = 1, 2, \dots, m)$, 表示第 i 阶段第 k 个决策者的判断矩阵。对于 A_i^k , 按照特征根方法^[11] 计算其导出权重和一致性比例, 分别记作 w_{ij}^k 和 $CR_i^k (j = 1, 2, \dots, n)$, 分别表示第 i 阶段第 k 个决策者第 j 个方案的权重数值和一致性水平。

2.2 决策者权重的确定方法及方案排序

很多文献 (如文献 [3, 13]) 通过挖掘决策者的偏好信息来确定决策者的权重, 这是一个有新意的探索。决策者权重的确定一般应由决策者的政治素质、思想素质、道德素质、业务素质、心理素质和身体素质综合决定, 单凭某次判断就确定决策者权重的方法在一些情况下是欠妥的。而多阶段决策过程中的决策者经历多次判断, 故在此情景下, 基于决策者判断偏好信息来确定决策者的权重具有更大的说服力。

2.2.1 基于一致性水平的决策者赋权

文献 [14] 指出, 好的决策大都基于一致的判断, 一致性水平反映了逻辑关系的协调性。文献 [15] 采用模拟方法得到了如下结论: 在决策者对某方案没有偏见且一致性比例 $CR < 0.1$ 时, 一致性比例数值越小, 由判断矩阵导出的权重向量作为决策依据的可靠性会越高。对此, 本文基于 CR 的差异来确定决策者的权重。基于 CR_i^k , 采用下式计算决策者的平均一致性水平:

$$CR^k = \sqrt[t]{\prod_{i=1}^t CR_i^k}, k = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

定义 1 称

$$e_{CR}^k = \frac{\min_{k=1, \dots, m} CR^k}{CR^k} \Bigg/ \frac{\min_{k=1, \dots, m} CR^k}{CR^k}, k = 1, 2, \dots, m$$

为决策者 k 基于自身判断一致性而确定的权重。

由定义 1, 若 t 个阶段中, 决策者的平均一致性比例数值越小, 则 e_{CR}^k 越大。

2.2.2 基于决策偏差的决策者赋权方法

设基于决策阶段 i 的决策者具有同一权重, 则该决策阶段的群体偏好 $w_{ij} (i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, n)$ 一般应具有下述特点: 群体偏好与所有个体偏好具有最小的偏差距离。采用 $\prod_{j=1}^n (w_{ij} - w_{ij}^k)^2$ 来度量群体和个体的判断偏差, 则有

$$\min Q = \prod_{j,k} (w_{ij} - w_{ij}^k)^2, i = 1, 2, \dots, t;$$

$$P_1 \begin{cases} \prod_{j=1}^n w_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, t; \\ w_{ij} = 0, i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, n. \end{cases}$$

定理 1 记 P_1 的最优解为 w_{ij}^* , 则有

$$w_{ij}^* = \prod_{k=1}^m w_{ij}^k / m.$$

证明 令 $Q = \prod_{j,k} (w_{ij} - w_{ij}^k)^2 - (1 -$

$\prod_{j=1}^n w_{ij})$, 则

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial w_{i1}} = 2 \prod_k (w_{i1} - w_{i1}^k) - \dots, \\ \dots \\ \frac{\partial Q}{\partial w_{in}} = 2 \prod_k (w_{in} - w_{in}^k) - \dots, \\ \frac{\partial Q}{\partial} = 1 - \prod_{j=1}^n w_{ij}. \end{cases}$$

令

$$\frac{\partial Q}{\partial w_{i1}} = 0, \dots, \frac{\partial Q}{\partial w_{in}} = 0, \frac{\partial Q}{\partial} = 0,$$

则有

$$w_{ij}^* = \prod_{k=1}^m w_{ij}^k / m, i = 1, 2, \dots, t.$$

因 P_1 是凸规划, 故 w_{ij}^* 是其最优解。

由定理 1, 第 i 阶段决策者 k 的判断矩阵导出方案权重与群体偏好 w_{ij}^* 的偏差可表示为

$$d_i^k = \prod_{j=1}^n (w_{ij}^* - w_{ij}^k)^2,$$

$$i = 1, 2, \dots, t, k = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

对决策者 k 而言, 阶段 $i \in \{1, 2, \dots, t\}$ 的偏差

几何平均数值为 $d^k = \sqrt[t]{\prod_{i=1}^t d_i^k}, k = 1, 2, \dots, m$ 。若某

个决策者的偏好与群体偏好越为接近, 依据群体决策追求决策群体与个体偏好偏差数值最小的目的, 可将

$$e_d^k = \frac{\min_{k=1, \dots, m} d^k}{d^k} \Bigg/ \frac{\min_{k=1, \dots, m} d^k}{d^k}$$

称为基于个体偏好和群体偏好偏差得到的决策者权重。

因 e_{CR}^k 与 e_d^k 的取值并不具有一致的变化规律 (即没有 e_{CR}^k 大, 则 e_d^k 一定大的结论), 故采用下式计算决策者的最终权重:

$$pe^k = \frac{\sqrt{(ae^k)(CR^k e_{CR}^k)}}{\prod_{k=1}^m \sqrt{(ae^k)(CR^k e_{CR}^k)}}, k = 1, 2, \dots, m.$$

(4)

其中: a 和 CR 分别为偏差距离和一致性比例调整

因子, 设 $d + \text{CR} = 1$. 若 $d < \text{CR}$, 则在确定决策者的权重时更看重偏好的集中程度; 反之, 则更看重决策者作出判断的一致性程度. 在实际决策过程中, 一般可设 $d = \text{CR}$.

定义2 称 pe^k 为决策者判断水平的综合权重.

得到决策者的权重 pe^k 之后, 再次修正阶段 $i \in \{1, 2, \dots, t\}$ 的群体偏好 w_{ij} , 即

$$\min_{j,k} pe^k (w_{ij} - w_{ij}^k)^2, \quad i = 1, 2, \dots, t;$$

$$P_2: \begin{cases} \sum_{j=1}^n w_{ij} = 1, & i = 1, 2, \dots, t; \\ w_{ij} \geq 0, & i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, n. \end{cases}$$

定理2 基于 P_2 的群体偏好优化结果为

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^m pe^k w_{ij}^k, \quad i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, n.$$

定理2的证明参见定理1的证明.

2.3 基于先验信息和方案区分度的阶段赋权方法

上节得到了第 i 阶段方案 j 的权重为 $w_{ij}, i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, n$. 本节研究如何把 t 个阶段的偏好进行集结.

首先设各决策阶段具有相等的权重, 则基于 t 阶段的平均群体偏好可表示为

$$w_j = \sum_{i=1}^t w_{ij} / t, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

易得 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. 一般地, 决策阶段权重 $p_i (i = 1, 2, \dots, t)$ 的设置可考虑以下几个原则: 1) 越近的决策阶段, 越能反映事物的发展和决策者的最新认知, 一般应有 $p_i > p_{i+1}$ 的结论; 2) 多阶段决策过程中还可设定阶段之间的权重比例因子 α_i , 有 $p_i = \alpha_i p_{i+1}, i = 1, 2, \dots, t-1$.

3) 决策阶段的权重应以最小化各决策阶段偏好与阶段总偏好的偏差 ($d_i = \sum_{j=1}^n p_i (w_j - w_{ij})^2, i = 1, 2, \dots, t$) 为目标. 综上, 可建立决策阶段权重 p_i 的设置模型

$$\min_{i,j} p_i (w_j - w_{ij})^2;$$

$$P_3: \begin{cases} \alpha_i p_i = p_{i+1}, & i = 1, 2, \dots, t-1, \\ p_i = 1, & i = t, \\ p_i \geq 0, & i = 1, 2, \dots, t. \end{cases}$$

其中 w_j 为已知量 (由式 (5) 得到). 然后, 建立确定方案最终优先排序 w_j 的模型 P_4 , 即

$$\min_{i,j} p_i (w_j - w_{ij})^2;$$

$$P_4: \begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j = 1, \\ w_j \geq 0, & j = 1, 2, \dots, n. \end{cases}$$

其中 p_i 由 P_3 获得.

定理3 P_4 的最优解可表示为

$$w_j^* = \sum_{i=1}^t p_i w_{ij}.$$

定理3的证明参见定理1证明.

3 算例

某单位选拔任用干部, 考察4位候选人的综合能力, 在候选人的现职任期内, 组成一个5名专家的考核小组, 3年内对候选人进行了3次年度考核, 每次考核专家的评价数据 (考评专家给出了两类偏好结构形式) 列于下文. 问题是, 究竟哪位候选人的综合评价成绩最优?

第1阶段考评数据为

$$MD1: \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.75 & 0.67 \\ 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.67 \\ 0.25 & 0.2 & 0.5 & 0.33 \\ 0.33 & 0.33 & 0.67 & 0.5 \end{bmatrix},$$

$$MD2: \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1 & 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$MD3: \begin{bmatrix} 0.5 & 0.25 & 0.5 & 0.33 \\ 0.75 & 0.5 & 0.67 & 0.67 \\ 0.5 & 0.33 & 0.5 & 0.5 \\ 0.67 & 0.33 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix},$$

$$MD4: \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 2 \\ 3 & 1 & 5 & 2 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$MD5: \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}.$$

第2阶段考评数据为

$$MD1: \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 & 1/2 \\ 3 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1/2 & 1 & 1/3 \\ 2 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$MD2: \begin{bmatrix} 0.5 & 0.33 & 0.67 & 0.25 \\ 0.67 & 0.5 & 0.8 & 0.67 \\ 0.33 & 0.2 & 0.5 & 0.25 \\ 0.75 & 0.33 & 0.75 & 0.5 \end{bmatrix},$$

$$MD3: \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 2 \\ 1/5 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 1/3 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$MD4: \begin{bmatrix} 0.5 & 0.25 & 0.33 & 0.75 \\ 0.75 & 0.5 & 0.2 & 0.75 \\ 0.67 & 0.8 & 0.5 & 0.8 \\ 0.33 & 0.25 & 0.2 & 0.5 \end{bmatrix},$$

$$MD5: \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 2 & 3 \\ 4 & 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}.$$

第 3 阶段考评数据为

$$MD1: \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 3 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$MD2: \begin{bmatrix} 0.5 & 0.75 & 0.83 & 0.75 \\ 0.25 & 0.5 & 0.67 & 0.5 \\ 0.17 & 0.33 & 0.5 & 0.33 \\ 0.25 & 0.5 & 0.67 & 0.5 \end{bmatrix},$$

$$MD3: \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2 & 2 \\ 1/6 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/7 & 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$MD4: \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$MD5: \begin{bmatrix} 0.5 & 0.25 & 0.33 & 0.5 \\ 0.75 & 0.5 & 0.5 & 0.67 \\ 0.67 & 0.5 & 0.5 & 0.67 \\ 0.5 & 0.33 & 0.33 & 0.5 \end{bmatrix}.$$

Step1 将决策者在各阶段给出的多元判断偏好转化成互反判断矩阵,并计算一致性比例 CR 和权重(数据略).结果表明,除了决策者 4 在第 1 和第 2 阶段的一致性比例超过 0.1 之外,各决策者在各决策阶段的判断一致性水平良好.因本文基于决策者的一致性比例来确定其权重,故对 CR 超过 0.1 的判断不加处理.

Step2 决策者赋权及群体偏好集结.

1) 基于决策者判断一致性水平的决策者权重 e_{CR}^k 的确定.基于各阶段专家的判断一致性水平,根据式(2)及定义 1,得到基于判断一致性水平的决策者权重.其中:决策者 3 的判断一致性最好,其权重为 0.356;其他依次为决策者 2,5,1 和 4.决策者 2 和决策者 3 的判断一致性水平要远高于决策者 1 和决策者 4,尽管后两个决策者的一致性平均值都小于 0.1,但与决策者 2 和决策者 3 相比,其一致性比例明显偏高.

2) 基于个体判断与群体判断偏差的决策者权重的确定.首先设决策者权重相等,基于 P_1 试计算各阶段的群体偏好;然后计算决策者判断偏好与群体偏好的偏差,并基于式(3)计算各决策阶段专家的权重.经计算,决策者 5 的判断偏好与群体偏好偏差最小,而决策者 3 与群体偏好的偏差最大.

3) 决策者综合权重的确定.基于式(4)计算决策者的综合权重,见表 1.可以看出,并不是 e_{CR}^k 大即有 e_d^k 大的数据特点.如 MD3,其一致性水平得到的权重为 0.356,从一致性水平角度获得的权重最大;但该决策者的判断偏好与群体偏好的偏差并不是最小的.说明有必要通过一定方式对二者确定的权重加以组合.

表 1 决策者综合权重表

| 权重 | MD1 | MD2 | MD3 | MD4 | MD5 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| e_{CR}^k | 0.092 | 0.315 | 0.356 | 0.037 | 0.200 |
| e_d^k | 0.220 | 0.240 | 0.123 | 0.159 | 0.258 |
| pe^k | 0.153 | 0.296 | 0.225 | 0.083 | 0.244 |

4) 基于决策者权重的各阶段群体偏好的计算(由 P_2)表明,各方案在不同阶段下的方案权重会发生变化:方案 2 的权重持续减小;方案 3 的权重有进一步提高的趋势;方案 1 的权重虽有波动,但总体上呈现增大的趋势;而方案 4 则总体呈现减小的趋势.

Step3 阶段赋权及方案权重修正.先设阶段权重相同,计算基于多阶段的方案排序,得到各阶段方案权重与阶段综合权重的差异,见表 2.可以看出,3 个决策阶段与试算阶段群偏好的偏差各不相同,阶段 1 最小,而后呈现逐步增大的趋势.

表 2 各阶段方案排序偏差平方和

| 阶段 | 方案 1 | 方案 2 | 方案 3 | 方案 4 | d_i |
|----|---------|---------|---------|---------|-------|
| 1 | 0.026 2 | 0.082 7 | 0.036 9 | 0.009 3 | 0.155 |
| 2 | 0.085 2 | 0.105 4 | 0.107 5 | 0.069 | 0.367 |
| 3 | 0.203 | 0.089 | 0.084 | 0.029 | 0.405 |

基于 P_3 ,有

$$\min z = 0.155 p_1 + 0.367 p_2 + 0.405 p_3;$$

$$s. t. \begin{cases} p_3 & p_2 & p_1, \\ p_1 + p_2 + p_3 & = & 1, \\ p_1, p_2, p_3 & \geq & 0. \end{cases}$$

则得 $p_1 = p_2 = p_3 = 1/3$.一般,与最终决策阶段越近的判断越应得到重视,但经过综合偏差距离的调整,3 个阶段的权重得到了平衡抵消.由 P_4 可得 3 个决策阶段的最终结果为 $w_1 = 0.297, w_2 = 0.320, w_3 = 0.193, w_4 = 0.192$.结果表明,方案 2 为最优方案,依次分别为方案 1,方案 3 和方案 4,其中最后两个方案的差距较小.

4 结 论

基于多决策阶段的群体决策是一个值得研究的课题. 本文提出了决策者权重和决策阶段权重的确定模型, 进而建立了多决策阶段、多决策者、多类判断偏好的集结模型, 并论证了该方法所具有的性质. 具体计算结果表明, 该方法简易可行, 易于理解. 下一步将研究如何集结多决策阶段多种类不确定性偏好问题.

参考文献(References)

- [1] Saaty T L. Decision making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary [J]. *European J of Operational Research*, 2003, 145(1): 85-91.
- [2] 徐泽水. AHP 中两类标度的关系研究[J]. *系统工程理论与实践*, 1999, 19(7): 97-101.
(Xu Z S. Study on the relation between two classes of scales in AHP [J]. *Systems Engineering-theory & Practice*, 1999, 19(7): 97-101.)
- [3] 陈岩, 樊治平. 基于语言判断矩阵的群决策逆判问题研究[J]. *系统工程学报*, 2005, 20(2): 211-215.
(Chen Y, Fan Z P. Study on the adverse judgment problem for group decision making based on linguistic judgment matrices[J]. *J of Systems Engineering*, 2005, 20(2): 211-215.)
- [4] Chiclana F, Herrera F. Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision-making based in fuzzy preference relations[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1998, 97(1): 33-48.
- [5] Delgado M, Herrera F, Herrera V. Combining numerical and linguistic information in group decision-making[J]. *Information Sciences*, 1998, 107(1): 177-194.
- [6] 樊治平, 姜艳萍. 基于 OWG 算子的不同形式偏好信息的群决策方法[J]. *管理科学学报*, 2003, 6(1): 32-36.
(Fan Z P, Jiang Y P. Approach to group decision-making with different forms of preference information based on OWG operators[J]. *J of Management Sciences in China*, 2003, 6(1): 32-36.)
- [7] 肖四汉, 樊治平, 王梦光. 群决策中两类偏好信息集成的目标规划模型[J]. *东北大学学报*, 2000, 21(4): 453-455.
(Xiao S H, Fan Z P, Wang M G. Goal programming model for integrating two forms of preference information in group decision making [J]. *J of Northeastern University*, 2000, 21(4): 453-455.)
- [8] 陈华友, 刘春林. 群决策中基于不同偏好信息的相对熵集成方法[J]. *东南大学学报*, 2005, 35(2): 311-315.
(Chen H Y, Liu C L. Relative entropy aggregation method in group decision making based on different types of preference information [J]. *J of Southeast University*, 2005, 35(2): 311-315.)
- [9] 樊治平, 肖四汉. 一类动态多指标决策问题的加权分析方法[J]. *计算技术与自动化*, 1995, 14(1): 20-24.
(Fan Z P, Xiao S H. An weight analytical method for a kind of dynamic multiple attribute decision making [J]. *Computing Technology and Automation*, 1995, 14(1): 20-24.)
- [10] Bendoly E, Bachrach D. A process-based model for priority convergence in multi-period group decision-making [J]. *European J of Operational Research*, 2003, 148(3): 534-545.
- [11] 王应明. 时序多指标理想点决策方法及其应用[J]. *中国软科学*, 1997, 22(7): 94-98.
(Wang Y M. An ideal point method on multiple attribute decision making with time series [J]. *China Soft Science*, 1997, 22(7): 94-98.)
- [12] 金菊良, 汪淑娟, 魏一鸣. 动态多指标决策问题的投影寻踪模型[J]. *中国管理科学*, 2004, 12(1): 64-67.
(Jin J L, Wang S J, Wei Y M. Projection pursuit model for dynamic multiple attribute decision problems [J]. *Chinese J of Management Science*, 2004, 12(1): 64-67.)
- [13] 徐泽水. 群组决策中专家赋权方法研究[J]. *应用数学与计算数学学报*, 2001, 15(1): 19-22.
(Xu Z S. Research on methods for deriving experts' weights in group decision making [J]. *Communication on Applied Mathematics and Computation*, 2001, 15(1): 19-22.)
- [14] Apostolou B. Note on consistency ratio: A reply [J]. *Mathematical and Computer Modeling*, 2002, 35(9/10): 1081-1083.
- [15] Finan J, Hurley W. Analytic hierarchy process: Does adjusting a pair wise comparison matrix to improve the consistency ratio help? [J]. *Computers & Operations Research*, 1997, 24(8): 749-755.