文章编号：1001-506X(2012)03-0529-05

基于模糊偏序关系的混合型多属性决策方法

陈小卫[1]，王文双[1]，宋贵宝[2]，宋殿宇[3]

（1. 海军航空工程学院科研部，山东 烟台 264001；
2. 海军航空工程学院飞行器工程系，山东 烟台 264001；
3. 北京航空航天大学经济管理学院，北京 100191）

摘　要：针对权重已知且属性值为精确实数型、区间型和模糊型的混合型多属性决策问题，提出了一种基于模糊偏序关系的混合型多属性决策方法。该方法利用混合型评估值模型来描述多属性决策问题；在对属性值预处理后，通过构建混合型模糊偏序关系模型，将决策问题转化为评估关系模型；然后对偏序关系进行集结，得到全序关系，从而获取所有方案的优劣排序。算例验证了方法的有效性。计算过程表明，该方法计算简单，且避免了逼近理想解的排序方法(technique for order preference by similarity to ideal solution，TOPSIS)难以合理定义距离函数的局限性。

关键词：混合型多属性决策；评估值模型；评估关系模型；模糊偏序关系；全序关系

中图分类号：C 934　　**文献标志码**：A　　**DOI**：10.3969/j.issn.1001-506X.2012.03.18

Hybrid multiattribute decision making based on fuzzy preference relation

CHEN Xiao-wei[1], WANG Wen-shuang[1], SONG Gui-bao[2], SONG Dian-yu[3]

(*1. Department of Scientific Research, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. Department of Airborne Vehicle Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;
3. School of Ecomomics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China*)

Abstract: An approach based on fuzzy preference relationship is proposed to solve the multiattribute decision making problem whose attributes weights are known, and attributes values include real number, interval number and fuzzy number. The approach uses a hybrid evaluation value model to describe the hybrid multiattribute decision making problem. A hybrid fuzzy preference relation model is established after pretreatment, which transforms the decision problem into an evaluation relation model; then the fuzzy preference relation is aggregated to a complete order relation, and the preference orders of all objects are obtained. The validity of the method is verified by an example. The calculation process shows that the approach can avoid the problem that it is hard to define rational distance functions in technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)

Keywords: hybrid multiattribute decision making; evaluation value model; evaluation relation model; fuzzy preference relation; complete order relation

0　引　言

在多属性决策中，由于决策环境的复杂性和人类认知的局限性，决策者往往难以对备选方案给出精确的评价信息，因此常常存在属性(指标)值为多种形式的情况，如精确数、区间型、模糊数等，称之为混合型多属性决策。目前，对于属性值为单一数据类型多属性决策问题研究较多，已取得大量较为成熟的研究成果[1-3]，而关于混合型多属性决策问题的研究则相对较少。文献[4]提出基于模糊模式识别的方法，来求解定量与定性混合的多属性决策问题。文献[5]基于逼近理想解的排序方法(technique for order preference by similarity to ideal solution，TOPSIS)对混合型多属性决策进行了有益探索，通过定义不同类型属性值到理想点的距离来排序。文献[6]认为这种距离的定义存在不足，并采用“垂直”距离的概念对其加以改进。文献[7]采用粗糙集方法求解属性值为确定型和随机型的混合型多属性决

收稿日期：2011－04－18；**修回日期**：2011－09－26。

基金项目：国家自然科学基金(71071010)资助课题

作者简介：陈小卫(1982－)，男，博士研究生，主要研究方向为装备管理。E-mail：chenxiaowei276@sohu.com

策问题，文献[8]对其进行扩展，来求解属性值为确定型、随机型和模糊型的混合型多属性决策问题，但粗糙集方法需要给出决策信息表，而这在实际过程中往往难以获取。文献[9]将不同类型的属性值定义在统一的广义属性值下，提出相应的广义相似度，将各类型属性值的相似度计算规范到统一的度量空间。文献[10]将区间数和模糊数转化为精确数后求解，这将会造成信息丢失的问题。文献[11]采用直觉模糊集来求解多属性决策问题，建立了直觉模糊优选模型，引入了一种基于直觉模糊运算的得分函数，从而获取方案的优劣排序。文献[12－13]分别提出了基于偏好矩阵的决策方法和优先序关系的方法来求解属性值为精确实数型、区间型和风险型的多属性决策问题。文献[14]提出了基于二元语义关系的方法来求解属性权重未知的混合型多属性决策问题。文献[15－16]分别采用熵方法和 E-VIKOR 方法来求解混合型多属性决策问题。

综上，混合型多属性决策的难点在于如何对不同类型的属性值进行集结，从而获取方案的综合评估值。大多数文献仍采用 TOPSIS，在定义理想解的基础上，计算各属性值到理想解的距离来实现不同类型属性的集结，但如何定义合理的距离函数尚未达成共识。针对这一问题，论文提出了基于模糊偏序关系的混合型多属性决策方法，利用建立的模糊偏序关系模型将决策问题转化为评估关系模型，最后对偏序关系集结，获取全序关系，从而获得方案的优劣排序。

1 相关理论

利用粗糙集理论信息系统的概念，能较好地描述多属性决策。一般多属性决策可描述如下：

定义 1[17] 称(U,A,F)为评估值模型，其中$U=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$为评估对象或方案集，x_i为第 i 个评估对象；$A=\{a_1,a_2,\cdots,a_m\}$为评估属性集，a_l 为第 l 个评估属性；$F=\{f_l:U\rightarrow V_l(l\leqslant m)\}$为评估对象与评估属性之间的关系集，其中 $f_l(x_i)$表示评估对象 x_i 关于评估属性 a_l 的测定值，V_l为属性 a_l的可能取值全体，称为评估属性 a_l的取值域。

参考定义 1，对于混合型多属性决策，可描述如下：

定义 2 称(U,A,F)为混合型评估值模型，其中$U=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$为评估对象或方案集，x_i为第 i 个评估对象；$A=\{a_1,a_2,\cdots,a_m\}$为评估属性集，a_l 为第 l 个评估属性；$F=\{f_l:U\rightarrow V_l(l\leqslant m)\}$为评估对象与评估属性之间的关系集，$f_l(x_i)$表示评估对象 x_i 关于评估属性 a_l 的测定值，其中对 $f_l(x_i)(l=1,2,\cdots,h_1)$为精确实数值，对 $f_l(x_i)(l=h_1+1,h_1+2,\cdots,h_2)$ 为区间值，对 $f_l(x_i)(l=h_2+1,h_2+2,\cdots,m)$为模糊语言，同时各属性具有不同的物理含义和量纲；$V_l$ 为属性 a_l的可能取值全体，称为评估属性 a_l 的取值域。显然，V_l 包括精确实数值，区间值和模糊语言等类型。

定义 3[17] 称$(U,\boldsymbol{R})$为评估关系模型，其中$U=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$为评估对象集，$\boldsymbol{R}$ 为评估对象之间的关系集，即

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} R(x_1,x_1) & R(x_1,x_2) & \cdots & R(x_1,x_n) \\ R(x_2,x_1) & R(x_2,x_2) & \cdots & R(x_2,x_n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R(x_n,x_1) & R(x_n,x_2) & \cdots & R(x_n,x_n) \end{bmatrix} \tag{1}$$

评估值模型与评估关系模型有本质上的区别。评估值模型是由评估对象集、属性集、属性值集组成，表现形式为数据表；评估关系模型由评估对象集、评估对象间的二元关系组成，表现形式为关系矩阵。但二者可以相互转化，通过构建偏序关系，可将评估值模型转化为评估关系模型。

对任何一种评估决策模型，由于涉及多个属性或多个个体，都构成偏序关系。通过偏序关系的集结则可将偏序关系转化为全序关系，从而获取评估对象的优劣排序。对评估值模型，则是对评估对象的属性值进行集结；对评估关系模型，则是对任意两个评估对象之间的二元关系进行集结。对于混合型评估值模型，由于属性值具有不同类型，难以直接进行集结。而二元评估关系的集结则不存在这一问题。因此，可构建模糊关系，将评估值模型转化为评估关系模型，再对偏序关系进行集结转化为全序关系，从而获取评估对象的优劣次序。

下面给出模糊偏序关系的定义[17-18]。

定义 4 设$(K,\leqslant)$满足以下性质：

(1) 自反性，$x\leqslant x(x\in K)$；

(2) 反对称性，当 $x\leqslant y,y\leqslant x$ 时，$x=y(x,y)\in K$；

(3) 传递性，当 $x\leqslant y,y\leqslant z$ 时，$x\leqslant z(x,y,z)\in K$。

则称$(K,\leqslant)$为偏序集。若进一步有$\forall x,y\in K$，且 $x\leqslant y$ 或 $y\leqslant x$，则$(K,\leqslant)$是全序集。

定义 5 设$(U,\leqslant)$是偏序集，称关系模型$(U,\leqslant,R)$为模糊偏序模型，若 R 为模糊偏序关系，即满足以下条件：

(1) $0\leqslant R(x_i,x_j)\leqslant 1(x_i,x_j\in U)$；

(2) 当 $x_i\geqslant x_j$ 时，$R(x_i,x_j)\geqslant R(x_j,x_i)(x_i,x_j\in U)$；

(3) 当 $x_i\geqslant x_j$ 时，$R(x_i,x_k)\geqslant R(x_j,x_k)(x_i,x_j,x_k\in U)$；

(4) 当 $x_i\geqslant x_j\geqslant x_k$ 时，$R(x_k,x_j)\geqslant R(x_k,x_i)(x_i,x_j,x_k\in U)$。

2 基于模糊偏序关系的排序方法

2.1 评估值模型的建立

在收集信息的基础上，可建立混合型评估值模型(U,A,F')。其中$U=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$为评估对象或方案集。$A=\{a_1,a_2,\cdots,a_m\}$为评估属性集。$f'_l(x_i)$表示评估对象 x_i 关于评估属性 a_l 的测定值，其中对 $f'_l(x_i)(l=1,2,\cdots,h_1)$为精确实数值，对 $f'_l(x_i)=[m'_l(x_i),n'_l(x_i)](l=h_1+1,h_1+2,\cdots,h_2)$为区间值，对 $f'_l(x_i)(l=h_2+1,h_2+2,\cdots,m)$为模糊语言。

2.2 预处理

由于各属性具有不同的量纲和不同的类型。有的属性为效益型，而有的属性则为成本型，因此需要预处理。设 $f'_l(x_i)$预处理后的值为 $f_l(x_i)$，若 $f_l(x_i)$为区间值，记 $f_l(x_i)=[m_l(x_i),n_l(x_i)]$。

若属性值为精确数和区间数，可采用以下的公式进行预处理[5]。

精确实数值(效益型)为

$$f_l(x_i)=\frac{f'_l(x_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(f'_l(x_i))^2}} \tag{2}$$

精确实数值（成本型）为

$$f_l(x_i)=\frac{(1/f'_l(x_i))}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(1/f'_l(x_i))^2}} \tag{3}$$

区间值（效益型）为

$$\begin{cases} m_l(x_i)=\dfrac{m'_l(x_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(n'_l(x_i))^2}} \\ n_l(x_i)=\dfrac{n'_l(x_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(m'_l(x_i))^2}} \end{cases} \tag{4}$$

区间值（成本型）为

$$\begin{cases} m_l(x_i)=\dfrac{(1/n'_l(x_i))}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(1/m'_l(x_i))^2}} \\ n_l(x_i)=\dfrac{(1/m'_l(x_i))}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(1/n'_l(x_i))^2}} \end{cases} \tag{5}$$

若属性值为模糊语言，则可将其转化为区间值模糊集来处理。令$\{VG, G, F, P, VP\}=\{[0.9, 1],[0.8, 0.9],[0.6, 0.8],[0.4, 0.6],[0.2, 0.4]\}$。其中，$VG$ 为 very good，G 为 good，F 为 fair，P 为 poor，VP 为 very poor。

2.3　混合型模糊偏序关系模型的建立

定理 1　设(U,A,F)为评估模型，$a_l(l=1,2,\cdots,m)$为精确值属性，$\boldsymbol{W}=(w_1,w_2,\cdots,w_m)$为属性权重，其中 w_l 为属性 a_l 的权重，令 $w_1+w_2+\cdots+w_m=1$，则

$$R_l(x_i,x_j)=1\wedge(1+f_l(x_i)-f_l(x_j)) \tag{6}$$

$$R(x_i,x_j)=\sum_{l=1}^{m}w_lR_l(x_i,x_j) \tag{7}$$

为$(U,\leqslant)$上的模糊偏序关系。

定理 1 可由定义 5 直接证明。

定理 2　设(U,A,F)为评估模型，$a_l(l=1,2,\cdots,m)$为区间值属性，记 $f_l(x_i)=[m_l(x_i),n_l(x_i)]$，对 $\forall\, l,k$，$f_l(x_i)=[m_l(x_i),n_l(x_i)]$，$f_k(x_i)=[m_k(x_i),n_k(x_i)]$，$f_l(x_i)\geqslant f_k(x_i)$当且仅当 $m_l(x_i)\geqslant m_k(x_i)$，$n_l(x_i)\geqslant n_k(x_i)$；$\boldsymbol{W}=(w_1,w_2,\cdots,w_m)$为属性权重，$w_1+w_2+\cdots+w_m=1$。则

$$R_l(x_i,x_j)=\begin{cases}\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{(m_l(x_i)-m_l(x_j))+(n_l(x_i)-n_l(x_j))}{|m_l(x_i)-m_l(x_j)|+|n_l(x_i)-n_l(x_j)|}+1\right), \\ \qquad f_l(x_i)\neq f_l(x_j) \\ 1,\ f_l(x_i)=f_l(x_j)\end{cases} \tag{8}$$

$$R(x_i,x_j)=\sum_{l=1}^{m}w_lR_l(x_i,x_j) \tag{9}$$

为$(U,\leqslant)$上的模糊偏序关系。

定理 2 可由定义 5 直接证明。

定理 3　设(U,A,F)为混合型评估模型，$a_l(l=1,2,\cdots,h)$为精确值属性，$a_l(l=h+1,h+2,\cdots,m)$为区间值属性，$\boldsymbol{W}=(w_1,w_2,\cdots,w_m)$为属性权重，$w_1+w_2+\cdots+w_m=1$。

若 a_l 为精确实数值，则

$$R_l(x_i,x_j)=1\wedge(1+f_l(x_i)-f_l(x_j)) \tag{10}$$

若 a_l 为区间值，则

$$R_l(x_i,x_j)=\begin{cases}\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{(m_l(x_i)-m_l(x_j))+(n_l(x_i)-n_l(x_j))}{|m_l(x_i)-m_l(x_j)|+|n_l(x_i)-n_l(x_j)|}+1\right), \\ \qquad f_l(x_i)\neq f_l(x_j) \\ 1,\ f_l(x_i)=f_l(x_j)\end{cases} \tag{11}$$

则

$$R(x_i,x_j)=\sum_{l=1}^{m}w_lR_l(x_i,x_j) \tag{12}$$

为偏序集$(U,\leqslant)$上的模糊偏序关系。

根据定义 5，利用定理 1 和定理 2 的结论，可直接证明定理 3。

利用定理 3 建立的模糊偏序关系模型，可将预处理后的混合型评估值模型(U,A,F)转化为评估关系模型，即

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} R(x_1,x_1) & R(x_1,x_2) & \cdots & R(x_1,x_n) \\ R(x_2,x_1) & R(x_2,x_2) & \cdots & R(x_2,x_n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R(x_n,x_1) & R(x_n,x_2) & \cdots & R(x_n,x_n) \end{bmatrix} \tag{13}$$

2.4　模糊偏序关系的集结

通过模糊偏序关系模型，可以得到所有方案的偏序，要得到所有方案的优劣排序，必须对偏序关系集结，形成全序关系。可以采用文献[18]给出的集结模型，即

$$R(x_i)=\frac{1}{n-1}\sum_{j=1,j\neq i}^{n}R(x_i,x_j) \tag{14}$$

整个排序方法流程如图 1 所示。

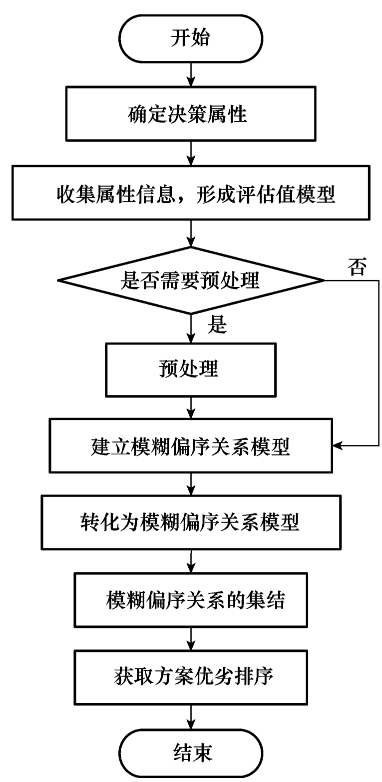

图 1　基于模糊偏序关系的方案排序方法流程图

3 算 例

为了验证本文所提出方法的有效性,采用文献[5]的实例进行计算。问题描述如下:

某国家国防部拟发展一种战术导弹武器装备,研制部门提供了 4 种导弹型号的有关信息。该国防部派出的专家组对 4 种导弹的战术技术指标进行了详细考察,并给出了各指标的权重如表 1 所示,应选择哪一种导弹以使决策的总效用最大。

表 1 导弹型号优选决策的混合型评估值模型

导弹类型	属性					
	命中精度/km	弹头载荷/kg	机动性能/(km·h^{-1})	价格/10^6 美元	可靠性	可维修性
x_1	2.0	500	[55,56]	[4.7,5.7]	一般	很高
x_2	2.5	540	[30,40]	[4.2,5.2]	低	一般
x_3	1.8	480	[50,60]	[5,6]	高	高
x_4	2.2	520	[35,45]	[4.5,5.5]	一般	一般
权重	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2

显然,这是一个混合型多属性决策问题,可采用混合型评估值模型来描述。采用 2.2 节方法对表 1 中数据进行预处理,其中价格为成本型属性,其余为效益型属性。可靠性、可维修性为模糊语言,采用模糊区间数来表示。预处理结果如表 2 所示。

由式(10)~式(12),可将评估值模型转化为模糊偏序关系模型,其中对于精确实数,采用式(10),对区间数,采用式(11)。评估关系矩阵如下

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} 1 & 0.8688 & 0.7 & 0.8867 \\ 0.5 & 1 & 0.5 & 0.7 \\ 0.5867 & 0.8555 & 1 & 0.8735 \\ 0.7 & 0.8821 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$$

采用式(14)将模糊偏序关系集结,可得到全序关系

$$R(x_1)=0.8185,\ R(x_2)=0.5667$$
$$R(x_3)=0.7719,\ R(x_4)=0.6490$$

于是可以得到排序 $x_1>x_3>x_4>x_2$。这与文献[11]的计算结果一致。因此,本文的方法是有效的。

表 2 预处理结果

导弹类型	属性					
	命中精度/km	弹头载荷/kg	机动性能/(km·h^{-1})	价格/10^6 美元	可靠性	可维修性
x_1	0.4671	0.4897	[0.51,0.74]	[0.40,0.59]	[0.6,0.8]	[0.9,1]
x_2	0.5839	0.5289	[0.28,0.46]	[0.44,0.66]	[0.4,0.6]	[0.6,0.8]
x_3	0.4204	0.4701	[0.47,0.69]	[0.38,0.56]	[0.8,0.9]	[0.8,0.9]
x_4	0.5139	0.5093	[0.33,0.52]	[0.42, 0.62]	[0.6,0.8]	[0.6,0.8]
权重	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2

4 结束语

考虑到多属性决策的目的是获取方案的优劣排序,论文引入混合型评估值模型来描述混合型多属性决策问题,通过构建混合型模糊偏序关系模型,将决策问题转化为评估关系模型,然后对偏序关系进行集结,得到全序关系,从而获取所有方案的优劣次序。算例验证了方法的有效性。从计算过程可以看出,该方法避开了当前 TOPSIS 难以获取合理距离函数的局限性,可以有效解决混合型多属性决策不同类型属性值难以直接集结的问题。

论文构建的混合型模糊偏序关系模型仅适用于不同属性的取值类型不同而单个属性取值为相同类型的混合型多属性决策问题,而对单个属性下的各对象的取值也为多种类型的混合型多属性决策问题则不能求解,这将是论文下一步的研究方向。

参考文献:

[1] JallaIlshallloo G R, Lotfi F H, Izadikhall M. An algorithmic method to extend TOPSIS for decision making problems with interval data[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, 175(2):1375-1384.

[2] Abbasbandy S, Hajjari T. A new approach for ranking of trapezoidal fuzzy numbers[J]. *Computers and Mathematics with Applications*, 2009, 57(3):413-419.

[3] Abbasbandy S, Asady B. Ranking of fuzzy numbers by sign distance[J]. *Information Sciences*, 2006, 176(16):2405-2416.

[4] 宋业新,张曙红,陈绵云. 基于模糊模式识别的时序混合多指标决策[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(4):1-4. (Song Y X, Zhang S H, Chen M Y. Hybrid multiple criteria decision making with time series based on fuzzy pattern recognition[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2002, 24(4):1-4.)

[5] 夏勇其,吴祈宗. 一种混合型多属性决策问题的 TOPSIS 方法[J]. 系统工程学报, 2004, 19(6):630-634. (Xia Y Q, Wu Q Z. A technique of order preference by similarity to ideal solution for hybrid multiple attribute decision making problems[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2004, 19(6):630-634.)

[6] 唐亮,王宛山,梁爽,等. 混合型逼近理想解排序决策方法的改进及应用研究[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(6):1194-1201. (Tang L, Wang W S, Liang S, et al. Improvement and application of mixed TOPSIS decision method[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2009, 15(6):1194-1201.)

[7] Zaras K. Rough approximation of a preference relation by a

multi-attribute stochastic dominance for determinist and stochastic evaluation problems[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(2): 305 - 314.

[8] Zaras K. Rough approximation of a preference relation by a multiattribute dominance for deterministic, stochastic and fuzzy decision problems [J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 159(1): 196 - 206.

[9] 丁传明，黎放，齐欢. 一种基于相似度的混合型多属性决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(5): 737 - 740. (Ding C M, Li F, Qi H. Technique of hybrid multiple attribute decision making based on similarity degree to ideal solution[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2007, 29(5): 737 - 740.)

[10] Wang W, Cui M M. Hybrid multiple attribute decision making model based on entropy[J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2007, 18 (1): 72 - 75.

[11] 司艳杰，魏法杰. 基于直觉模糊优选模型的混合型多属性决策[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(12): 2893 - 2897. (Si Y J, Wei F J. Hybrid multi-attribute decision making based on the intuitionistic fuzzy optimum selecting model[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2009, 31(12): 2893 - 2897.)

[12] 何峻，赵宏钟，付强. 基于偏好矩阵的混合型多属性决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(6): 1386 - 1390. (He J, Zhao H Z, Fu Q. Method for solving hybrid multiple attribute decision making problems based on preference matrix[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2009, 31(6): 1386 - 1390.)

[13] 何峻，赵宏钟，肖立，等. 混合型多属性决策问题的序关系求解方法[J]. 控制与决策, 2009, 24(4): 579 - 582. (He J, Zhao H Z, Xiao L, et al. Preference method for solving hybrid multiple attribute decision making problems[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(4): 579 - 582.)

[14] 刘培德，关忠良. 一种基于二元语义的混合型多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2009, 24(7): 1074 - 1082. (Liu P D, Guan Z L. Hybrid multiple attribute decision making method based on 2-tuple[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(7): 1074 - 1082.)

[15] 王威，崔明明. 混合型多属性决策问题的熵方法[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(3): 64 - 68. (Wang W, Cui M M. A technique of entropy for hybrid multiple attribute decision [J]. *Making Problems Mathematics in Practice and Theory*, 2007, 37(3): 64 - 68.)

[16] 索玮岚，樊治平. 混合型多属性决策的 E-VIKOR 方法[J]. 系统工程, 2010, 28(4): 79 - 83. (Suo W L, Fan Z P. E-VIKOR method for hybid multiple attribute decision making[J]. *Systems Engineering*, 2010, 28(4): 79 - 83.)

[17] 张文修，仇国芳. 基于粗糙集的不确定性决策[M]. 北京：清华大学出版社, 2005: 126 - 137. (Zhang W X, Qiu G F. *Uncertain decision making based on rough set* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 126 - 137.)

[18] Qiu G F, Li H Z. An information aggregation method of fuzzy preference relation models[J]. *Journal of Engineering Mathematics*, 2003, 20(3): 72 - 76.