

# 基于动态三角模糊数与改进 TOPSIS 法的冲突型群决策方法研究

王克克<sup>1</sup> 艾伟<sup>1</sup> 殷艳艳<sup>2</sup> 钱钱<sup>1</sup>

1 中国航天系统科学与工程研究院 北京 100037

2 北京师范大学-香港浸会大学联合国际学院 广东 珠海 519087

**摘要** 当前采用三角模糊数与 TOPSIS 法进行群体决策的方法往往仅考虑由专家组共同给出专家评价信息,未考虑不同专家对同一事物的看法不尽相同,以及出于其他未知因素考虑,可能对同一事物存在有不同的偏好,同时不同专家有不同的个人权重。因此,在对动态三角模糊数与改进 TOPSIS 法进行充分调查和研究的基础上,将专家组共同给出评价信息的群体决策方法扩展为由不同专家分别给出评价信息后进行群体决策,并提出了专家个人评价信息与群体决策信息冲突的判断方法和冲突消解方法,且采用实际案例验证了所提出方法的科学性和有效性。邀请若干名专家分别对不同候选方案做出评价,分别计算获得各位专家对不同候选方案的正、负理想方案的欧氏距离、灰色关联度和相对贴近度;然后,结合各位专家的个人权重,计算获得各方案的群体相对贴近度;接着,计算获得进行冲突检测的阈值和冲突测度值,如果存在决策冲突的情况,则由相应专家修改评价信息并对相应专家采取降低个人权重的惩戒措施;最后,重新计算获得各位专家对不同候选方案的相对贴近度和最终的群体相对贴近度,以用于确定最佳方案。

**关键词:** 动态;三角模糊数;TOPSIS;冲突;群决策;消解

**中图分类号** TP182

## Research on Conflict-type Group Decision-making Method Based on Dynamic Triangular Fuzzy Numbers and Improved TOPSIS Method

WANG Keke<sup>1</sup>, AI Wei<sup>1</sup>, YIN Yanyan<sup>2</sup> and QIAN Qian<sup>1</sup>

1 China Aerospace Academy of Systems Science and Engineering, Beijing 100037, China

2 Beijing Normal University-Hong Kong Baptist University United International College, Zhuhai, Guangdong 519087, China

**Abstract** Currently, methods utilizing triangular fuzzy numbers and TOPSIS for group decision-making often solely consider the expert evaluation information collectively provided by the expert group, neglecting the fact that different experts may have varying preferences for the same matter, as well as differing personal weights among experts. Therefore, based on dynamic triangular fuzzy numbers and the refined TOPSIS method, this study extends the collective evaluation information provided by the expert group to individual evaluations from different experts. It proposes methods for judging and resolving conflicts between individual expert evaluations and group decision information. Furthermore, it employs practical cases to validate the scientific validity and effectiveness of the proposed methods. In this study, several experts are invited to evaluate various candidate schemes. The study calculates the Euclidean distance, grey correlation degree, and relative closeness of each expert to the positive and negative ideal schemes for different candidate schemes. Subsequently, by incorporating the individual weights of each expert, it computes the group relative closeness of each scheme. Additionally, it determines the threshold and conflict measure values for conflict detection. If a decision conflict arises, the respective experts revise their evaluation information and implement disciplinary measures by reducing the individual weights of the concerned experts. The study then recalculates the relative closeness of each expert to different candidate schemes and the final group relative closeness. Decisions are made based on the final group relative closeness, leading to the selection of the optimal scheme.

**Keywords** Dynamic, Triangular fuzzy numbers, TOPSIS, Conflict, Group decision, Resolving conflicts

### 1 引言

群体决策是管理科学领域一个重要的分支,该概念虽然正式诞生于 1948 年<sup>[1]</sup>,但在人类生活实践中早已经应用了数千年之久,在许多领域发挥了重要作用。

考虑到不确定环境下群决策集结问题和专家水平判断问题,Chen 在语言判断矩阵的一致性分析问题与群决策问题、语言决策矩阵的群决策问题、不确定信息的专家水平判断问题方面分别提出了解决方案<sup>[2]</sup>。针对直觉语言偏好问题, Li

提出了直觉模糊集型群体决策方法<sup>[3]</sup>,Liu 也提出了适用于直觉语言偏好的多属性群体决策方法<sup>[4]</sup>。

群体决策虽然有助于突破个人决策的局限性,但也带来了决策冲突问题。不同决策专家的文化背景、专业水平、个人认知等均可能存在差异,并对决策过程产生影响,不同专家可能会做出不同的决策。Xu 等在冲突消解模型中采用易于计算和扩展的矩阵进行现状分析,达到了良好的消解效果<sup>[5-6]</sup>; Zhang 等<sup>[7]</sup>在相似度基础上定义冲突测度值,令专家之间通过协商降低冲突水平;Xu 等<sup>[8]</sup>通过建立权重重置来修正冲突

消解环节中的专家偏好信息;Cai 等<sup>[9]</sup>通过模糊聚类法达到了降低各阶段专家冲突阈值的效果。

考虑到客观事物存在模糊性和不确定性,为准确表达和处理这种现实存在的情况,Zadeh 创造性地提出了模糊集理论<sup>[10]</sup>。模糊决策问题引来大量学者开展研究<sup>[3-4,11-15]</sup>。三角模糊数是模糊集理论的一个重要拓展形式,它有效提高了模糊数的表达能力,且计算简单,在决策领域应用十分广泛。Wei 等<sup>[11]</sup>通过三角模糊诱导有序加权平均算子进行多属性决策方案的排序,Wan 等<sup>[16]</sup>通过对三角模糊数冠以有序加权平均算子和广义混合加权平均算子进行多属性决策。Dong 等<sup>[17]</sup>采用三角模糊数算子描述偏好,并结合改进的层次分析法选择最优方案,取得了良好的效果。Qin 等<sup>[18]</sup>提出了三角模糊数交互多属性决策方法。Zhang 等提出了考虑冲突消解的三角模糊数多属性决策方案,其案例验证效果良好<sup>[19]</sup>。Wan 等在对三角模糊数进行泛化处理的基础上,提出了一种 WSM-TOPSIS 多属性群决策方法<sup>[20]</sup>。Ma 等将三角模糊数扩展为动态三角模糊数,并适应性改进 TOPSIS 的多属性群决策方法<sup>[21]</sup>。Chen 等将后悔理论和动态三角模糊数结合应用在方案选择方法中<sup>[22]</sup>。Li 等考虑备选方案之间可能存在差异,将三角模糊数应用在动态多属性决策中,提出了基于 TOPSIS 的决策方法<sup>[23]</sup>,充分利用了 TOPSIS 法考虑到备选方案之间的差异性和增长情况的特性,解决了动态三角模糊多属性决策研究只是简单将各时刻的静态评价数值进行动态加权的问题。

当前采用三角模糊数与 TOPSIS 法进行群体决策的方法往往仅考虑由专家组共同给出专家评价信息,未考虑不同专家的偏好不同,可能会对同一事物存在不同观点。对此,本研究考虑将专家组共同给出评价信息扩展为每一位专家分别给出自己的评价信息;同时,考虑到不同专家给出的评价信息可能存在冲突,本研究提出了针对专家决策信息冲突判断和冲突消解的方法。

本研究的主要贡献在于:1)将原本适用于仅给出一组评价信息的动态三角模糊数与改进 TOPSIS 法,改进为由多名专家分别各自给出一组评价信息的动态三角模糊数与改进 TOPSIS 法;2)提出了针对专家评价信息与群体决策信息进行冲突判断和冲突消解的方法;3)通过案例验证了本研究提出方法的科学性和有效性。

## 2 基础知识

### 2.1 动态三角模糊数

三角模糊数是模糊数的重要拓展形式之一,具有视觉直观、计算简单等优势,已经被应用于多个科研生产和社会生活领域。令  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$  表示一个三角模糊数,其中  $0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3 \leq 1$ 。根据文献<sup>[21]</sup>,将  $\beta = [(\beta^{L-}, \beta^{L+}), \beta^M, (\beta^{U-}, \beta^{U+})]$  称为动态三角模糊数,其中  $(\beta^{L-}, \beta^{L+})$  和  $(\beta^{U-}, \beta^{U+})$  称为灰色区间数,  $\beta^{L-}$  和  $\beta^{U-}$  分别表示各自灰色区间数中的下限,  $\beta^{L+}$  和  $\beta^{U+}$  分别表示在各自灰色区间中的上限数值,  $\beta^M$  为动态三角模糊数中的取值重心,即取值可能性最大的数。

### 2.2 改进 TOPSIS 法

根据文献<sup>[21]</sup>,对于包含  $n$  个评价指标的  $m$  个方案进行评价,其指标属性矩阵为  $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ 。对于第  $i$  个方案的第  $j$  个评价指标,其对应的动态三角模糊数为  $y_{ij} = [(y_{ij}^{L-}, y_{ij}^{L+}), y_{ij}^M, (y_{ij}^{U-}, y_{ij}^{U+})]$ ,参数  $i$  需满足条件  $i = 1, 2, \dots, m$ ,参

数  $j$  需满足条件  $j = 1, 2, \dots, n$ 。适用于动态三角模糊数的改进的 TOPSIS 法包含确定正、负理想方案,计算欧氏距离,计算灰色关联度和计算整体贴近度 4 个步骤。

步骤 1 确定正理想方案、负理想方案。正理想方案为  $Y^+ = (a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+)$ ,对于任意  $1 \leq j \leq n$ ,有  $a_j^+ = [(a_j^{L-}, a_j^{L+}), a_j^M, (a_j^{U-}, a_j^{U+})]$ ;负理想方案为  $Y^- = (b_1^-, b_2^-, \dots, b_n^-)$ ,对于任意  $1 \leq j \leq n$ ,有  $b_j^- = [(b_j^{L-}, b_j^{L+}), b_j^M, (b_j^{U-}, b_j^{U+})]$ 。 $Y^+$  表示将每个属性的正理想值组合成为正理想方案, $Y^-$  表示将每个属性的负理想值组合成为负理想方案。

步骤 2 计算各方案与正、负理想方案之间的欧氏距离。根据文献<sup>[2]</sup>,可分别按照式(1)一式(6)计算各方案与正、负理想方案之间的欧氏距离。对于第  $i$  个方案,其到正、负理想方案之间的欧氏距离如式(3)、式(6)所示。

$$d_i^{L+} = \sum_{j=1}^n \omega_j d_{ij}^{L+} = \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{[(y_{ij}^{L-} - a_j^{L+})^2 + (y_{ij}^M - a_j^M)^2 + (y_{ij}^{U-} - a_j^{U+})^2] / 3} \quad (1)$$

$$d_i^{U+} = \sum_{j=1}^n \omega_j d_{ij}^{U+} = \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{[(y_{ij}^{L+} - a_j^{L-})^2 + (y_{ij}^M - a_j^M)^2 + (y_{ij}^{U+} - a_j^{U-})^2] / 3} \quad (2)$$

$$d_i^+ = [d_i^{L+}, d_i^{U+}] \quad (3)$$

$$d_i^{L-} = \sum_{j=1}^n \omega_j d_{ij}^{L-} = \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{[(y_{ij}^{L-} - b_j^{L+})^2 + (y_{ij}^M - b_j^M)^2 + (y_{ij}^{U-} - b_j^{U+})^2] / 3} \quad (4)$$

$$d_i^{U-} = \sum_{j=1}^n \omega_j d_{ij}^{U-} = \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{[(y_{ij}^{L+} - b_j^{L-})^2 + (y_{ij}^M - b_j^M)^2 + (y_{ij}^{U+} - b_j^{U-})^2] / 3} \quad (5)$$

$$d_i^- = [d_i^{L-}, d_i^{U-}] \quad (6)$$

步骤 3 计算各方案与正、负理想解之间的灰色关联度。根据文献<sup>[2]</sup>,可分别按照式(7)一式(12)计算各方案与正、负理想方案之间的灰色关联度。对于第  $i$  个方案,其与正、负理想方案之间的灰色关联度分别如式(9)、式(12)所示。

$$s_{ij}^{L+} = \frac{\min_{i,j} d_{ij}^{L+} + \rho \max_{i,j} d_{ij}^{L+}}{d_{ij}^{L+} + \rho \max_{i,j} d_{ij}^{L+}} \quad (7)$$

$$s_{ij}^{U+} = \frac{\min_{i,j} d_{ij}^{U+} + \rho \max_{i,j} d_{ij}^{U+}}{d_{ij}^{U+} + \rho \max_{i,j} d_{ij}^{U+}} \quad (8)$$

$$R_i^+ = [R_i^{L+}, R_i^{U+}] = [\min(\sum_{j=1}^n \omega_j s_{ij}^{L+}, \sum_{j=1}^n \omega_j s_{ij}^{U+}), \max(\sum_{j=1}^n \omega_j s_{ij}^{L+}, \sum_{j=1}^n \omega_j s_{ij}^{U+})] \quad (9)$$

$$s_{ij}^{L-} = \frac{\min_{i,j} d_{ij}^{L-} + \rho \max_{i,j} d_{ij}^{L-}}{d_{ij}^{L-} + \rho \max_{i,j} d_{ij}^{L-}} \quad (10)$$

$$s_{ij}^{U-} = \frac{\min_{i,j} d_{ij}^{U-} + \rho \max_{i,j} d_{ij}^{U-}}{d_{ij}^{U-} + \rho \max_{i,j} d_{ij}^{U-}} \quad (11)$$

$$R_i^- = [R_i^{L-}, R_i^{U-}] = [\min(\sum_{j=1}^n \omega_j s_{ij}^{L-}, \sum_{j=1}^n \omega_j s_{ij}^{U-}), \max(\sum_{j=1}^n \omega_j s_{ij}^{L-}, \sum_{j=1}^n \omega_j s_{ij}^{U-})] \quad (12)$$

其中,  $i=1,2,\dots,m$  且  $j=1,2,\dots,n$ , 并将  $\rho \in (0,1)$  称为分辨系数。

步骤 4 计算各方案的整体贴近度。

首先,将区间值欧氏距离与区间值灰色关联度进行实数化处理,以便进行后续计算。对于区间值  $a=[a^l, a^u]$ , 按照式(13)进行实数化处理。

$$F=(a^l+a^u)/2+(2\alpha-1)(a^u-a^l)/2 \quad (13)$$

其中,参数  $\alpha \in [0,1]$  称为决策者心态指标。当  $0 \leq \alpha \leq 0.5$  时,具有显著的不期望冒险倾向;当  $0.5 < \alpha \leq 1$  时,具有显著的冒险倾向。将根据式(3)、式(6)、式(9)、式(12)获得的区间值  $d_i^+=[d_i^{l+}, d_i^{u+}]$ ,  $d_i^-=[d_i^{l-}, d_i^{u-}]$ ,  $R_i^+=[R_i^{l+}, R_i^{u+}]$ ,  $R_i^-=[R_i^{l-}, R_i^{u-}]$  分别按照式(13)进行实数化处理,可得对应实数  $d_i^{+'}, d_i^{-'}, R_i^{+'}, R_i^{-'}$ 。

其次,计算各方案与正、负理想方案之间的接近程度。方案与正理想方案之间的距离越小越好,与负理想方案之间的距离越大越好;方案与正理想方案的相似度越高越好,与负理想方案之间的相似度越低越好。由此,可计算方案与正、负理想方案之间的相似度,如式(14)、式(15)所示。

$$D_i^+=\alpha d_i^{-'}+(1-\alpha)R_i^{+'} \quad (14)$$

$$D_i^-=\alpha d_i^{+'}+(1-\alpha)R_i^{-'} \quad (15)$$

其中,  $i=1,2,\dots,m$ 。

最后,计算方案的相对贴近度。它反映了方案与正、负理想方案在态势变化上的接近程度,如式(16)所示。

$$c_i=D_i^+/(D_i^++D_i^-) \quad (16)$$

其中,  $i=1,2,\dots,m$ ;  $c_i$  表示第  $i$  个方案的相对贴近度。对所有方案的相对贴近度降序排序,数值最大的方案即是最佳方案。

### 3 决策模型

本研究考虑将专家组共同给出评价信息扩展为每一位专家分别给出自己的评价信息;同时,考虑到不同专家给出的评价信息可能存在冲突,提出了冲突消解方法。本研究建立的决策过程如图 1 所示。

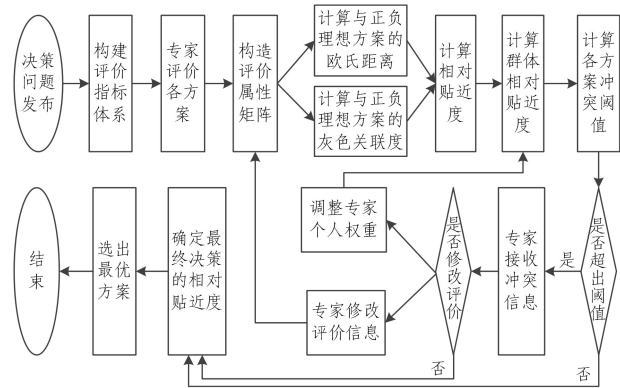


图 1 面向冲突的群体决策方法

Fig. 1 Conflict oriented group decision-making methods

#### 3.1 构建评价指标体系

对于需要进行决策的问题,构建评价决策指标体系,并需确定决策指标体系中各指标的权重  $\omega=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ , 即第  $j(j=1,2,\dots,n)$  项指标的权重为  $\omega_j$ 。

#### 3.2 评价信息量化

本研究将评价指标属性分为 5 个等级,从低到高依次排序,并列举对应的评价标准和动态三角模糊数,如表 1 所列。

表 1 评价指标属性与动态三角模糊数对应表

Table 1 Corresponding table of evaluation index attributes and dynamic triangular fuzzy numbers

序号	自然语言	评价等级	评价标准	动态三角模糊数
1	差	C	指标优秀程度为差	$[(0,0.15);0.3;(0.45,0.55)]$
2	中等	M	指标优秀程度为中等	$[(0.25,0.35);0.5;(0.65,0.75)]$
3	较好	F	指标优秀程度为较好	$[(0.45,0.55);0.7;(0.8,0.95)]$
4	好	G	指标优秀程度为好	$[(0.55,0.75);0.9;(0.95,1)]$
5	很好	VG	指标优秀程度为很好	$[(0.85,0.95);1;(1,1)]$

假设有  $K$  位专家参与方案评价,且分别根据表 1 中的评价标准做出评价信息,对各评价指标都确定了对应的评价等级。

#### 3.3 属性矩阵构造

对于  $K$  位专家做出的评价信息,根据表 1 中的对应关系建立评价指标属性矩阵。第  $k$  位专家的评价指标属性矩阵  $Y_k$  如式(17)所示。

$$Y_k=(y_{ijk})_{m \times n}=\begin{bmatrix} y_{11k} & y_{12k} & \dots & y_{1nk} \\ y_{21k} & y_{22k} & \dots & y_{2nk} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1k} & y_{m2k} & \dots & y_{mnk} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (17)$$

其中,  $i=1,2,\dots,m$  且  $j=1,2,\dots,n$ 。对于第  $k$  位专家而言,其对第  $i$  个方案的第  $j$  项评价指标所对应的值为  $y_{ijk}=[(y_{ijk}^l, y_{ijk}^u), y_{ijk}^m, (y_{ijk}^u, y_{ijk}^l)]$ , 对于第  $j$  项评价指标的正理想值对应优秀程度最高的动态三角模糊数,即有  $y_{jk}^+=[(0.85,0.95);1;(1,1)]$ , 可获得正理想方案为  $Y_k^+$ , 详见式(18);对于第  $j$  项评价指标的负理想值对应优秀程度最低的动态三角模糊数,即有  $y_{jk}^-=[(0,0.15);0.3;(0.45,0.55)]$ , 可获得负理想方案为  $Y_k^-$ , 如式(19)所示。

$$Y_k^+=(y_{1k}^+, y_{2k}^+, \dots, y_{nk}^+) \quad (18)$$

$$Y_k^-=(y_{1k}^-, y_{2k}^-, \dots, y_{nk}^-) \quad (19)$$

#### 3.4 方案与正负理想方案的欧氏距离计算

对于第  $k$  位专家而言,其对第  $i$  个方案的评价信息与正理想方案之间的欧氏距离可采用式(1)一式(3)进行计算,分别获得  $d_{ik}^+, d_{ik}^u, d_{ik}^+=[d_{ik}^+, d_{ik}^u]$ 。同理,可根据式(4)一式(6)分别获得  $d_{ik}^-, d_{ik}^u, d_{ik}^-=[d_{ik}^-, d_{ik}^u]$ 。

#### 3.5 方案与正负理想方案的灰色关联度计算

对于第  $k$  位专家而言,其对第  $i$  个方案的评价信息与正理想方案之间的灰色关联度可采用式(7)一式(9)进行计算,分别获得  $s_{ijk}^+, s_{ijk}^u, R_{ik}^+=[R_{ik}^+, R_{ik}^u]$ 。同理,可根据式(10)一式(12)分别获得  $s_{ijk}^-, s_{ijk}^u, R_{ik}^-=[R_{ik}^-, R_{ik}^u]$ 。

#### 3.6 方案相对贴近度计算

对于第  $k$  位专家而言,在 3.4 节中获得  $d_{ik}^+=[d_{ik}^+, d_{ik}^u]$  和  $d_{ik}^-=[d_{ik}^-, d_{ik}^u]$ , 在 3.5 节中获得  $R_{ik}^+=[R_{ik}^+, R_{ik}^u]$  和  $R_{ik}^-=[R_{ik}^-, R_{ik}^u]$ , 根据式(13)对上述数据进行实数化处理,获得  $d_{ik}^{+'}, d_{ik}^{-'}, R_{ik}^{+'}, R_{ik}^{-'}$ 。

采用式(14)、式(15)分别计算获得第  $k$  位专家对第  $i$  个方案的评价信息与正理想方案、负理想方案的接近程度,对原式(14)、式(15)进行细化,分别如式(20)、式(21)所示。

$$D_{ik}^+=\alpha_k d_{ik}^{-'}+(1-\alpha_k)R_{ik}^{+'} \quad (20)$$

$$D_{ik}^- = \alpha_k d_{ik}^+ + (1 - \alpha_k) R_{ik}^- \quad (21)$$

其中,参数  $\alpha_k$  表示第  $k$  位专家的心态指标。如果  $0 \leq \alpha_k \leq 0.5$ ,第  $k$  位专家具有显著的保守倾向;如果  $0.5 < \alpha_k \leq 1$ ,第  $k$  位专家具有显著的冒险倾向。

采用式(16)计算第  $k$  位专家对第  $i$  个方案的评价信息与正、负理想方案的相对贴近度,对式(16)进行细化,如式(22)所示。

$$c_{ik} = D_{ik}^+ / (D_{ik}^+ + D_{ik}^-) \quad (22)$$

### 3.7 群体相对贴近度计算

不同专家的个人权重也不尽相同,令  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K)$  表示  $K$  位专家的个人权重,其中对于第  $k$  位专家,其个人权重为  $\beta_k$ ,且有  $k=1, 2, \dots, K$ 。 $K$  位专家对  $m$  个方案做出评价获得相对贴近度信息  $C = (c_{ik})_{m \times K}$ ,即第  $k$  位专家对第  $i$  个方案评价的相对贴近度为  $c_{ik}$ ,则考虑不同专家的个人权重时,第  $i$  个方案的群体相对贴近度如式(23)所示。

$$c_i = \sum_{k=1}^K \beta_k c_{ik} \quad (23)$$

### 3.8 决策冲突判断

不同专家有不同的偏好和认知,所做出的决策可能存在冲突。本研究设定,对于第  $i$  个方案,第  $k$  位专家个人的相近贴近度  $c_{ik}$  应在群体相对贴近度  $c_i$  的  $\pm 10\%$  范围内。令第  $i$  个方案的冲突判定阈值  $\delta_i = c_i / 10$ ,将  $\Delta = |c_{ik} - c_i|$  称为冲突测度值,当  $\Delta > \delta_i$  (即  $c_{ik} < (1 - 10\%)c_i$  或  $c_{ik} > (1 + 10\%)c_i$ ) 时,即判定第  $k$  位专家个人对第  $i$  个方案的评价信息与群体存在冲突。如果不存在冲突,则直接进入最终决策环节。

### 3.9 决策冲突消解

对于第  $i$  个方案,当  $|c_{ik} - c_i| > \delta_i$  时,第  $k$  位专家个人的决策信息与群体决策信息产生冲突,此时可要求第  $k$  位专家修改对第  $i$  个方案的评价信息,同时对第  $k$  位专家进行惩戒,将第  $k$  位专家的个人权重降低  $10\%$ 。各位专家调整后的

个人权重如式(24)所示。

$$\beta_p' = \begin{cases} (1 - 10\%) \beta_k, & p = k \\ \frac{\beta_p \beta_k}{10(1 - \beta_k)}, & p \neq k \end{cases} \quad (24)$$

其中,  $p=1, 2, \dots, K$ ,即调整后的专家个人权重  $\beta' = (\beta_1', \beta_2', \dots, \beta_K')$ 。

第  $k$  位专家可根据要求重新对第  $i$  个方案进行评价,然后计算获得新的相对贴近度  $c'_{ik}$ ,再根据各专家调整后的个人权重值重新计算群体相对贴近度  $c'_i = \sum_{k=1}^K \beta'_k c'_{ik}$ ,其中  $i=1, 2, \dots, m$ 。如果仍存在决策冲突的情况,就再次进入冲突消解环节,否则进入最终决策环节。

第  $k$  位专家也可拒绝修改对第  $i$  个方案的评价,从而直接进入最终决策环节。

### 3.10 最终决策

令进入决策阶段的群体贴近度为  $c^{\text{end}} = (c_1^{\text{end}}, c_2^{\text{end}}, \dots, c_m^{\text{end}})$ ,对其中元素进行降序排序,最大元素对应的即是最优方案。

## 4 案例分析

### 4.1 场景介绍

以航天系统某单位视频监控网络系统设计方案为例,该单位拟建设覆盖园区区界、厂房和办公楼的视频监控系统,对此提出了4个设计方案  $(A_1, A_2, A_3, A_4)$ ,并邀请若干名专家对各个设计方案分别进行评价,拟综合考虑受邀专家意见,以确定最佳方案。

### 4.2 决策过程

#### 4.2.1 构建评价指标体系

本研究采用文献[24]中对视频监控网络的安全评估指标体系,指标体系如图2所示,各指标的综合权重值如表2所列。

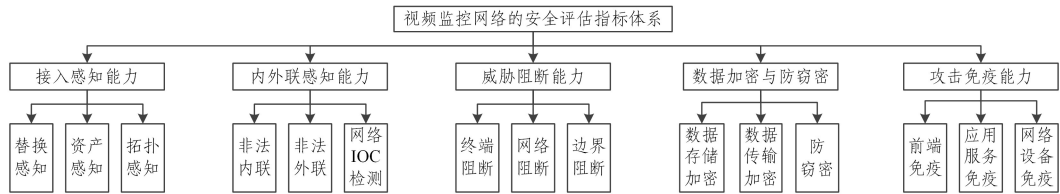


图2 视频监控网络系统的安全评估指标体系

Fig. 2 Security evaluation index system for video surveillance network system

表2 视频监控网络系统的安全评估指标体系的综合权重

Table 2 Comprehensive weight of security evaluation index system for video surveillance network system

序号	一级指标	二级指标	三级指标	综合权重编号	综合权重
1	接入感知能力		替换感知 $U_{11}$	$\omega_1$	0.0351
2			资产感知 $U_{12}$	$\omega_2$	0.0104
3			拓扑感知 $U_{13}$	$\omega_3$	0.0061
4	内外联感知能力		非法内联 $U_{21}$	$\omega_4$	0.0653
5			非法外联 $U_{22}$	$\omega_5$	0.2150
6			网络IOC检测 $U_{23}$	$\omega_6$	0.1186
7	威胁阻断能力		终端阻断 $U_{31}$	$\omega_7$	0.0187
8			网络阻断 $U_{32}$	$\omega_8$	0.0351
9			边界阻断 $U_{33}$	$\omega_9$	0.0989
10	数据加密与防窃密		数据存储加密 $U_{41}$	$\omega_{10}$	0.0078
11			数据传输加密 $U_{42}$	$\omega_{11}$	0.0504
12			防窃密 $U_{43}$	$\omega_{12}$	0.0342
13	攻击免疫能力		前端免疫 $U_{51}$	$\omega_{13}$	0.0499
14			应用服务免疫 $U_{52}$	$\omega_{14}$	0.1641
15			网络设备免疫 $U_{53}$	$\omega_{15}$	0.0905

由表 2 可获得各指标的综合权重  $\omega=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{15})$ 。

$A_2, A_3, A_4\}$  进行评价,并按照表 1 的对应关系对评价信息进行量化。

4.2.2 评价信息量化

本研究邀请 3 位专家  $\{Z_1, Z_2, Z_3\}$  分别对 4 个方案  $\{A_1,$

评价结果情况分别如表 3—表 5 所列。

表 3 专家  $Z_1$  的评价结果情况  
Table 3 Expert  $Z_1$  evaluation results

指标	自然语言				评价等级			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$U_{11}$	好	中等	很好	差	G	M	VG	C
$U_{12}$	很好	好	中等	较好	VG	G	M	F
$U_{13}$	中等	差	好	很好	M	C	G	VG
$U_{21}$	中等	差	好	很好	M	C	G	VG
$U_{22}$	很好	好	中等	差	VG	G	M	C
$U_{23}$	差	中等	很好	中等	C	M	VG	M
$U_{31}$	好	很好	中等	中等	G	VG	M	M
$U_{32}$	中等	中等	好	中等	M	M	G	M
$U_{33}$	很好	中等	中等	很好	VG	M	M	VG
$U_{41}$	中等	好	很好	好	M	G	VG	G
$U_{42}$	很好	中等	好	差	VG	M	G	C
$U_{43}$	中等	很好	好	较好	M	VG	G	F
$U_{51}$	较好	好	中等	中等	F	G	M	M
$U_{52}$	好	中等	很好	好	G	M	VG	G
$U_{53}$	很好	较好	差	中等	VG	F	C	M

表 4 专家  $Z_2$  的评价结果情况  
Table 4 Expert  $Z_2$  evaluation results

指标	自然语言				评价等级			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$U_{11}$	好	中等	很好	差	G	M	VG	C
$U_{12}$	很好	好	中等	较好	VG	G	M	F
$U_{13}$	好	中等	很好	差	G	M	VG	C
$U_{21}$	很好	好	差	较好	VG	G	C	F
$U_{22}$	中等	差	好	很好	M	C	G	VG
$U_{23}$	中等	中等	好	很好	M	M	G	VG
$U_{31}$	很好	好	中等	差	VG	G	M	C
$U_{32}$	差	中等	好	差	C	M	G	C
$U_{33}$	好	很好	中等	中等	G	VG	M	M
$U_{41}$	中等	中等	好	中等	M	M	G	M
$U_{42}$	好	较好	中等	很好	G	F	M	VG
$U_{43}$	中等	好	很好	很好	M	G	VG	VG
$U_{51}$	好	中等	好	差	G	M	G	C
$U_{52}$	中等	好	好	中等	M	G	G	M
$U_{53}$	较好	好	中等	中等	F	G	M	M

表 5 专家  $Z_3$  的评价结果情况  
Table 5 Expert  $Z_3$  evaluation results

指标	自然语言				评价等级			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$U_{11}$	好	中等	中等	差	G	M	M	C
$U_{12}$	很好	好	差	较好	VG	G	C	F
$U_{13}$	差	差	好	很好	C	C	G	VG
$U_{21}$	中等	中等	较好	很好	M	M	F	VG
$U_{22}$	很好	好	中等	差	VG	G	M	C
$U_{23}$	差	中等	好	差	C	M	G	C
$U_{31}$	好	很好	差	中等	G	VG	C	M
$U_{32}$	差	中等	好	中等	C	M	G	M
$U_{33}$	好	较好	差	很好	G	F	C	VG
$U_{41}$	中等	好	很好	很好	M	G	VG	VG
$U_{42}$	好	中等	好	差	G	M	G	C
$U_{43}$	中等	好	好	差	M	G	G	C
$U_{51}$	较好	好	中等	中等	F	G	M	M
$U_{52}$	很好	差	差	差	VG	C	C	C
$U_{53}$	很好	较好	差	中等	VG	F	C	M

4.2.3 属性矩阵构造

根据表 1 中对应关系,可获得专家  $Z_1, Z_2, Z_3$  各自的评价指标属性矩阵  $Y_1, Y_2, Y_3$ 。由式(18)获得正理想方案  $Y^+ =$

$(y_1^+, y_2^+, \dots, y_{15}^+)$ , 其中  $y_j^+ = [(0.85, 0.95); 1; (1, 1)]$ ,  $j = 1, 2, \dots, 15$ 。由式(19)获得负理想方案  $Y^- = (y_1^-, y_2^-, \dots, y_{15}^-)$ , 其中  $y_j^- = [(0, 0.15); 0.3; (0.45, 0.55)]$ ,  $j = 1, 2, \dots, 15$ 。

4.2.4 方案与正负理想方案的欧氏距离计算

从上述步骤可获得专家  $Z_1, Z_2, Z_3$  各自的评价指标属性矩阵  $Y_1, Y_2, Y_3$ , 以及正理想方案  $Y^+$  和负理想方案  $Y^-$ 。从

式(1)一式(6)可获得专家  $Z_1, Z_2, Z_3$  对方案  $\{A_1, A_2, A_3, A_4\}$  的评价信息对正、负理想方案的欧氏距离。

欧氏距离和灰色关联度信息如表 6 所列。

表 6 欧氏距离和灰色关联度

Table 6 Euclidean distance and grey correlation degree

专家	候选方案	正理想方案 欧氏距离	负理想方案 欧氏距离	正理想方案灰色 关联度	负理想方案灰色 关联度
$Z_1$	$A_1$	[0.1968, 0.2656]	[0.4453, 0.5677]	[0.7644, 0.8225]	[0.5550, 0.6095]
	$A_2$	[0.3127, 0.4261]	[0.2757, 0.4162]	[0.5721, 0.6548]	[0.6411, 0.7651]
	$A_3$	[0.2614, 0.3433]	[0.3604, 0.4903]	[0.6818, 0.7364]	[0.6026, 0.6968]
	$A_4$	[0.3599, 0.4605]	[0.2787, 0.3808]	[0.5820, 0.6345]	[0.7050, 0.7835]
$Z_2$	$A_1$	[0.1993, 0.2928]	[0.4226, 0.5518]	[0.7203, 0.8147]	[0.5615, 0.6222]
	$A_2$	[0.3124, 0.4358]	[0.2847, 0.4152]	[0.5646, 0.6611]	[0.6530, 0.7503]
	$A_3$	[0.3598, 0.4810]	[0.2561, 0.3687]	[0.5448, 0.6288]	[0.7054, 0.7990]
	$A_4$	[0.3883, 0.4908]	[0.2692, 0.3537]	[0.5696, 0.6182]	[0.7429, 0.8015]
$Z_3$	$A_1$	[0.2034, 0.2718]	[0.4460, 0.5627]	[0.7651, 0.8204]	[0.5652, 0.6116]
	$A_2$	[0.3124, 0.4358]	[0.2847, 0.4152]	[0.5646, 0.6611]	[0.6530, 0.7503]
	$A_3$	[0.4066, 0.5307]	[0.2246, 0.3207]	[0.5084, 0.5810]	[0.7540, 0.8336]
	$A_4$	[0.4846, 0.5822]	[0.2069, 0.2595]	[0.5140, 0.5253]	[0.8389, 0.8816]

4.2.5 方案与正负理想方案的灰色关联度计算

令分辨系数  $\rho=0.5$ , 从式(7)一式(12)可获得专家  $Z_1, Z_2, Z_3$  对方案  $\{A_1, A_2, A_3, A_4\}$  的评价信息对正、负理想方案的相对贴进度, 如表 6 所列。

4.2.6 方案贴进度计算

根据式(13)对上述数据进行实数化处理, 然后采用式(20)、式(21)分别计算各位专家对各个方案的评价信息与正、负理想方案的接近程度。令决策者心态指标  $\alpha=0.5$ , 各位专家不具有明显的保守倾向或冒险倾向, 再采用式(22)计算各位专家对各个方案的评价信息的相对贴进度。各位专家对各个方案的评价信息对正、负理想方案的贴进度以及相对贴进度如表 7 所列。

表 7 相对贴进度

Table 7 Relative closeness

专家	候选方案	正理想方案 贴进度	负理想方案 贴进度	相对 贴进度	排序
$Z_1$	$A_1$	0.6500	0.4067	0.6151	1
	$A_2$	0.4797	0.5362	0.4722	3
	$A_3$	0.5672	0.4760	0.5437	2
	$A_4$	0.4690	0.5772	0.4483	4
$Z_2$	$A_1$	0.6273	0.4189	0.5996	1
	$A_2$	0.4814	0.5379	0.4723	2
	$A_3$	0.4496	0.5863	0.4340	3
	$A_4$	0.4527	0.6059	0.4276	4
$Z_3$	$A_1$	0.6485	0.4130	0.6109	1
	$A_2$	0.4814	0.5379	0.4723	2
	$A_3$	0.4087	0.6313	0.3930	3
	$A_4$	0.3764	0.6968	0.3507	4

4.2.7 群体相近贴进度计算

令专家  $Z_1, Z_2, Z_3$  的个人权重为  $\beta=[0.397, 0.386, 0.217]$ , 根据式(23)计算可获得如表 8 所列的群体相对贴进度。

表 8 群体相对贴进度

Table 8 Relative closeness of groups

候选方案	群体相近贴进度	排序
$A_1$	0.6082	1
$A_2$	0.4722	2
$A_3$	0.4686	3
$A_4$	0.4191	4

4.2.8 决策冲突判断

由表 8 中数据可计算出各方案的冲突判定阈值, 结合

表 7 中数据可判定各位专家对各方案的冲突测度值是否在阈值范围内, 如表 9 所列。由表 9 可知, 专家  $Z_1$  和方案  $A_3$  的评价信息与群体决策信息存在冲突, 专家  $Z_3$  和方案  $A_3, A_4$  的评价信息与群体决策信息存在冲突, 具体如图 3 所示。

表 9 决策冲突情况

Table 9 Decision conflict situation

专家	候选方案	相对贴进度	群体相近贴进度	是否存在冲突
$Z_1$	$A_1$	0.6151	0.6082	否
	$A_2$	0.4722	0.4722	否
	$A_3$	0.5437	0.4686	是
	$A_4$	0.4483	0.4191	否
$Z_2$	$A_1$	0.5996	0.6082	否
	$A_2$	0.4723	0.4722	否
	$A_3$	0.4340	0.4686	否
	$A_4$	0.4276	0.4191	否
$Z_3$	$A_1$	0.6109	0.6082	否
	$A_2$	0.4723	0.4722	否
	$A_3$	0.3930	0.4686	是
	$A_4$	0.3507	0.4191	是

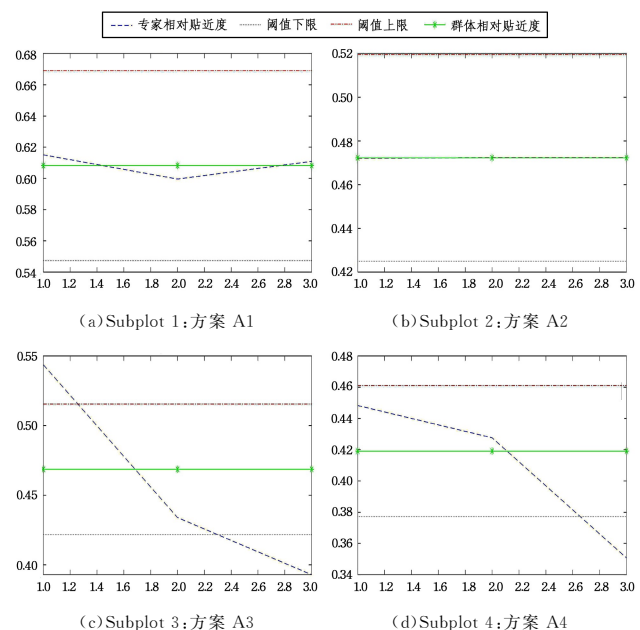


图 3 专家个人与群体的决策信息冲突情况

Fig. 3 Conflict of decision-making information between individual experts and groups

4.2.9 决策冲突消解

将冲突信息传递给专家  $Z_1$  和  $Z_3$ ,专家  $Z_1$  同意修改对方案  $A_3$  的评价信息,专家  $Z_3$  同意修改对方案  $A_3$  和  $A_4$  的评价信息,根据式(24)对各位专家的个人权重进行调整,调整后的专家个人权重为  $\beta'=[0.3573,0.4474,0.1953]$ 。而后重新计算各位专家对各方方案评价信息的相对贴适度、群体贴适度 and 决策冲突信息,如表 10 所列。

表 10 调整后的决策冲突情况  
Table 10 Adjusted decision conflict

专家	候选方案	相对贴适度	群体相近贴适度	是否存在冲突
$Z_1$	$A_1$	0.6151	0.6073	否
	$A_2$	0.4722	0.4723	否
	$A_3$	0.4496	0.4316	否
	$A_4$	0.4483	0.4341	否
$Z_2$	$A_1$	0.5996	0.6073	否
	$A_2$	0.4723	0.4723	否
	$A_3$	0.4340	0.4316	否
	$A_4$	0.4276	0.4341	否
$Z_3$	$A_1$	0.6109	0.6073	否
	$A_2$	0.4723	0.4723	否
	$A_3$	0.3930	0.4316	否
	$A_4$	0.4231	0.4341	否

由表 10 可知,经调整后,各位专家的评价信息与群体决策信息不存在冲突,具体如图 4 所示。

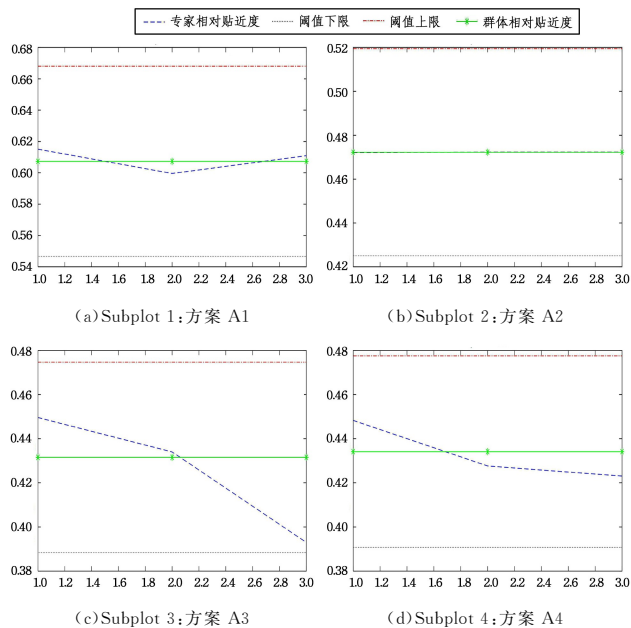


图 4 调整后的专家个人与群体的决策信息冲突情况

Fig. 4 Conflict of decision-making information between individual experts and groups after adjustment

4.2.10 最终决策

进入决策阶段时,群体的相对贴适度为  $c^{end}=(0.6073, 0.4723,0.4316,0.4341)$ ,对其中元素从大到小进行排序,最大元素对应的方案  $A_1$  即最优方案。

4.3 结果分析

经过群体评价和冲突消解等操作,视频监控网络系统设计方案群体的相对贴适度数值越大就说明设计方案越优秀。根据 4.2.10 节,4 个方案的群体相对贴适度从大到小排序为  $A_1, A_2, A_4, A_3$ 。由此可知,  $A_1$  为最佳方案,  $A_3$  为最差方案。

本研究采用的评价方法考虑到了方案评价指标属性与

正、负理想方案之间的区间值欧氏距离和区间值灰色关联度,考虑到了评价指标属性的综合权重和专家个人权重,同时考虑到了不同专家可能存在决策冲突的情况,并采取了有效的冲突消解方法,能够充分反映方案与理想方案之间的接近程度,显示出了本研究采用方案的科学性和有效性。

4.4 比较分析

为进一步说明本研究所提出方法的科学性和有效性,使用文献[19]的多属性群决策与冲突消解方法和文献[23]的基于 TOPSIS 的动态三角模糊多属性决策方法对上述算例进行计算,并对排序结果进行对比分析。其中文献[19]考虑了群决策冲突中的冲突消解问题,文献[23]考虑了 TOPSIS 方法备选方案之间的差异性和增长情况的特性。计算获得的最终结果如表 11 所列。

表 11 文献[19]、文献[23]和本研究提出方法的计算结果对比  
Table 11 Comparison of calculation results between reference [19], reference [23], and the method proposed in this study

候选方案	文献[19]	文献[23]	本文方法
$A_1$	0.9920	0.5996	0.6073
$A_2$	0.9831	0.4617	0.4723
$A_3$	0.9840	0.4495	0.4316
$A_4$	0.9846	0.3956	0.4341

对比分析可知,文献[19]方法、文献[23]方法与本文方法均判定方案  $A_1$  为最优方案,验证了本文方法的科学性和有效性。文献[19]方法和文献[23]方法均存在不同程度的缺陷,文献[19]方法给出的判定数据区分度不够,文献[23]方法没有考虑不同专家会有不同的认知和意见,忽略了专家组内部的矛盾冲突。

**结束语** 本研究在现有的动态三角模糊数与改进 TOPSIS 法进行最优方案选择方法基础上,将专家组共同给出评价信息扩展为每一位专家分别给出自己的评价信息,并提出了针对专家决策信息冲突进行消解的方法。本研究以某单位视频监控网络系统方案评审为例,验证了本研究所提出方法的科学性和有效性。

参考文献

- [1] YANG L, ZHAO J R. Research on Preference Convergence of Group Decision Making under the condition of Uncertainty Information [J]. Operations Research and Management Science, 2017, 26(1): 96-102.
- [2] CHEN Y. Research on Theory and Methods in Group Decision Making Based on Linguistic Information [D]. Shenyang: Northeastern University, 2010.
- [3] LI D F. Intuitionistic Fuzzy Set Decision and Game Analysis Methodologies [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012.
- [4] LIU P D. Some generalized dependent aggregation operators with intuitionistic linguistic numbers and their application to group decision making [J]. Journal of Computer & System Sciences, 2013, 79(1): 131-143.
- [5] ZHU G H. Conflict decision training through multi-space co-operation [J]. Decision Support Systems, 2000, 29(1): 111-123.
- [6] XU H, LI K W, HIPEL K W, et al. A matrix approach to status quo analysis in the graph model for conflict resolution [J]. Applied Mathematics and Computation, 2009, 212(2): 470-480.

- [7] ZHANG L, LI T, XU X. Consensus model for multiple criteria group decision making under intuitionistic fuzzy environment [J]. Knowledge-Based Systems, 2014, 57(Feb. ): 127-135.
- [8] XU Y J, ZHANG W C, WANG H M, et al. A conflict-eliminating approach for emergency group decision of unconventional incidents[J]. Knowledge Based Systems, 2015, 83: 92-104.
- [9] CAI C G, XU X H, WANG P, et al. A multi-stage conflict style large group emergency decision-making method[J]. Soft Computing: A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications, 2017(19): 21.
- [10] ZADEHL A. Fuzzy sets[J]. Information and Control, 1965, 8: 338-356.
- [11] WEI G W. FIOWHM operator and its application to multiple attribute group decision making[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(4): 2984-2989.
- [12] WALCZAKD, RUTKOWSKA A. Project rankings for participatory budget based on the fuzzy TOPSIS method[J]. European Journal of Operational Research, 2017, 260(2): 706-714.
- [13] LAZI M, ABDULLA H, NORSYAHID A, et al. Integration of fuzzy AHP and interval type-2 fuzzy DEMATEL: An application to human resource management[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(9): 4397-4409.
- [14] TANG H X. A novel fuzzy soft set approach in decision making based on grey relational analysis and Dempster-Shafer theory of evidence[J]. Applied Soft Computing, 2015, 31: 317-325.
- [15] CHEN S M, CHENG S H, LAN T C. A new multicriteria decision making method based on the topsis method and similarity measures between intuitionistic fuzzy sets[C] // 2016 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC). IEEE, 2016.
- [16] WAN S P, WANG F, LINL L, et al. Some new generalized aggregation operators for triangular intuitionistic fuzzy numbers and application to multi-attribute group decision making [J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 93(Mar. ): 286-301.
- [17] DONG M G, LI S Y, ZHANG H Y. Approaches to group decision making with incomplete information based on power geometric operators and triangular fuzzy AHP[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42( 21): 7846-7857.
- [18] QIN Q, LIANG F, LI L, et al. A TODIM-based multi-criteria group decision making with triangular intuitionistic fuzzy numbers[J]. Applied Soft Computing, 2017, 55: 93-107.
- [19] ZHANG L Y, LI T. Research on Conflict Style Multi-attribute Group Decision Making Method with Triangular Fuzzy Preference Information [J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(2): 45-51.
- [20] WAN B T, WAN C T. A WSM-TOPSIS group decision-making method based on q-rung orthogonal triangular fuzzy numbers [J]. Computer Engineering & Science, 2023, 45(3): 537-545.
- [21] MA Y C, GAO C Z, MA C G. Evaluation Decision for Residential Building Design Scheme Based on Dynamic Triangular Fuzzy Numbers and Improved TOPSIS Method[J]. Bulletin of Science and Technology, 2024, 40(8): 38-44.
- [22] CHEN J X, LI M, LIU L Y, et al. Application of Dynamic Triangular Fuzzy Number Based on Regret Theory in Cold Chain Distribution Center Location[J]. Journal of Nanning Normal University(Natural Science Edition), 2023, 40(2): 67-72.
- [23] LI M J, YI S C, QIU Q R, et al. Dynamic Triangular Fuzzy Multi-Attribute Decision-Making Method Based on TOPSIS[J]. Journal of System Science and Mathematical Science Chinese Series, 2022, 42(3): 614-625.
- [24] GAO J, WANG K Y, HUANG S H. Research on Security Evaluation Index System for Video Monitoring Network[J]. Netinfo Security, 2021, 21(12): 78-85.



**WANG Keke**, born in 1986, master, senior engineer, is a member of CCF(No. C3050S). His main research interests include risk assessment, scripting language security, virus, multimedia security, cloud computing system security and systems engineering