

doi: 10.7690/bgzdh.2021.04.015

基于直觉模糊 VIKOR 拓展的中型合成营作战能力评估

朱学耕, 贺潇男, 王武科, 刘家路, 王强, 王作根
(陆军装甲兵学院蚌埠校区战术系, 安徽 蚌埠 233000)

摘要: 针对评估指标和评估专家权重未知的中型合成营作战能力评估问题, 从作战要素的角度建立一种评估指标体系。利用熵权法获得评估指标和专家的权重信息, 在传统多准则优化妥协决策 (vlse kriterijumska optimizacija i kompromisno resenje, VIKOR) 思想的基础上, 结合直觉模糊数的计算法则, 利用直觉模糊加权平均算子 (intuitionistic fuzzy weighted average operator, IFWA) 对多个专家的评估结果进行集成, 进而对每个合成营的作战能力进行排序, 并将其结果与利用 TOPSIS 方法获得的结果进行比较。结果表明, 该模型可靠、准确、稳定。

关键词: 中型合成营; 作战能力评估; 直觉模糊数; VIKOR; 群决策
中图分类号: E917 **文献标志码:** A

Operational Capability Assessment of Medium-sized Combined Battalion Based on VIKOR Extension Method for Intuitionistic Fuzzy Set

Zhu Xuegeng, He Xiaonan, Wang Wuke, Liu Jialu, Wang Qiang, Wang Zuogen
(Department of Tactics, Bengbu Campus, Army Academy of Armored Forces, Bengbu 233000, China)

Abstract: Aiming at the problem that the weight of evaluation index is unknown and the weight of evaluation expert is unknown, an evaluation index system is established from the perspective of operational elements. The entropy weight method is used to obtain the weight information of evaluation indexes and experts. On the basis of the traditional vlse kriterijumska optimizacija i kompromisno resenje (VIKOR) idea, combined with the calculation rule of intuitionistic fuzzy number, the intuitionistic fuzzy weighted average operator (IFWA) is used to integrate the evaluation results of multiple experts, and then ranks the combat capability of each synthetic battalion, and compares the results with the results obtained by TOPSIS method. The results show that the model is reliable, accurate and stable.

Keywords: medium-sized combined battalion; operational capability assessment; intuitionistic fuzzy set; VIKOR; group decision making

0 引言

作战能力评估是作战体系评估的核心内容^[1], 采用科学有效的方法对作战单元进行作战能力评估, 能够为指挥员应对未来信息化战争提供决策参考。常用的作战能力评估方法, 主要有专家评估法、统计分析法和作战模拟法。专家评估法简洁明了, 具有代表性的是层次分析法^[2], 但受专家的学识水平、专业领域的限制, 具有较强的主观性; 统计分析法^[3]主要是对历史作战演习数据进行分析, 虽然操作实现比较容易, 但是不太适合大规模、复杂的作战问题研究; 作战模拟法^[4]通过诸多元素的考虑能够比较客观反映实际情况, 但是模型建设周期太长, 对作战模型、作战数据及技术人员的要求较高。针对传统方法的不足, 刘伟等^[5]利用逼近于理想解的排序方法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS) 对自动目标

识别的作战能力进行评估, 评估结果在一定程度上克服了因专家个人偏好变化引起的不确定性, 具有较强的军事应用价值, 但是在对评估指标进行描述时仍与传统的评估法相似, 采用精确值进行评估。作战能力评估是一个复杂的系统工程, 精确值不能完全反映各作战要素的客观情况。为了能更准确地反映专家的真实想法和各评估指标的客观状态, 国内很多学者将模糊理论成功的运用在作战评估中, 比如: 蒋彦等^[6]利用区间数对指挥信息系统作战效能进行评估, 增加了评估结果的可信度, 且在区间数中各数值的取值机会均等, 较好地反映了指标参数的不确定性, 但有时为了全面表示决策者的意图, 区间可能取得过大, 得出的结果与实际偏差较大; 针对这一问题, 李琳琳等^[7]利用三角模糊数结合变权理论解决了混合多属性指挥控制系统效能评估问题。这些模糊数比精确值在一定程度上能较好

收稿日期: 2020-12-10; 修回日期: 2021-01-14

基金项目: 陆军装备军内科研研究项目 (LJ20182B040043)

作者简介: 朱学耕 (1991—), 男, 河南人, 硕士, 助教, 从事装甲兵作战指挥与效能评估研究。E-mail: 64271555@qq.com。

地反映专家的真实判断,但这些信息只包含支持和不支持 2 方面,不包括弃权的信息;张浩等^[8]在直觉模糊数的基础上利用改进的 TOPSIS 方法对防空作战中目标威胁评估进行了研究,其结果具有一定的可靠性,但无法反映评估专家的偏好变化对各方案与理想解接近程度的影响。为避免这一问题,笔者在决策信息用直觉模糊数(intuitionistic fuzzy set, IFS)表示的基础上,依据传统多准则优化妥协决策(VIKOR)的基本思想^[9],对评估指标和评估专家权重未知的合成营作战能力评估问题进行分析研究。

1 作战能力评估指标体系及指标的预处理

1.1 评估指标体系的建立

合成营兵种力量集中、作战要素齐全、指挥扁平高效,是陆军高级战术分队,具有独立的作战指挥力量、情报侦察力量和综合保障力量等,能够独立遂行城市进攻作战任务。目前,作战能力评估指标体系可以从基于任务、基于体系和基于要素 3 个方向进行构建。在基于任务构建时,由于每个作战单位的任务方向、具体任务和作战目标不同,在研究时具有很强的针对性。基于体系构建时,要考虑自成体系、支持体系和体系资源利用等多个方面,相对复杂。基于要素构建具有很强的通用性,简洁明了。笔者主要结合作战想定的假设及作战任务特点,采用从基于要素的角度建立如图 1 所示的评估体系。

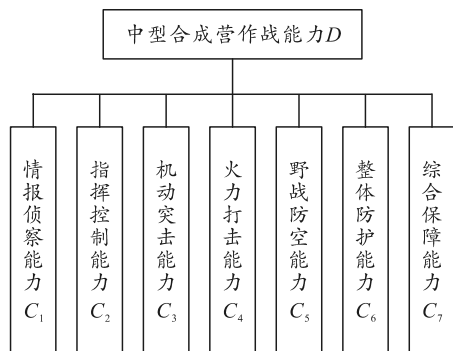


图 1 中型合成营作战能力评估指标体系

1) 情报侦察能力。

合成营依托其侦察力量,可以进行技术侦察和武装侦察,主要依靠地面传感器、无人侦察机、侦察车、炮位侦察校射雷达、战斗车辆火控定位系统和单兵目标定位装备等获取战场信息,并依托指挥信息系统,对获取的图文信息、摄像信息等进行处理,进而实现信息共享。影响其评估的因素主要有

昼夜间目标感知、识别和印证能力及信息的处理能力。

2) 指挥控制能力。

主要指指挥员及其指挥机构根据战场态势谋划决策与调控分队行动的能力。影响合成营指挥控制能力的因素主要有指挥力量、指挥手段、指挥方式和技术手段 4 方面。指挥力量主要考虑指挥所的力量构成是否精干,指挥员参加演习活动的规模和数量;指挥手段主要考虑是否具备无线、有线、运动和卫星等多种通信手段;指挥方式主要考虑能否统一有效地指挥战斗、火力、侦察和保障等力量;技术手段主要考虑能否依托指挥信息系统控制作战节点和实施快速、灵活的指挥。

3) 机动突击能力。

主要包括 2 方面:① 战场兵力转移的能力;② 实施攻击夺占行动的能力。前者主要考虑昼夜间利用铁路、公路或者海上输送的方式远距离投送兵力的能力;后者主要考虑担任突击力量时的进攻正面和进攻纵深等。

4) 火力打击能力。

主要体现在压制火力、突击火力能力。通过对自行迫榴炮、坦克火炮、步战车火炮、反坦克导弹和反坦克火箭等武器装备的运用来实现打击敌人的目的;因此,评估该项指标时主要是围绕武器装备的类型、数量、射程和弹药毁伤效果等进行。

5) 野战防空能力。

主要是指对空防御能力,依托防空火器来实现。合成营的防空火力主要包括专业防空火力和群众性防空火力,主要考虑防空武器的射程、反应速度和弹药的毁伤效果。

6) 整体防护能力。

主要包括整体防侦察能力、抗打击能力和主动防护能力。防侦察能力主要考虑是否具有防红外、防激光、防热成像和防微光能力;抗打击能力主要考虑抗穿甲能力;主动防护能力主要考虑三防装置的效果和激光武器的压制效果。

7) 综合保障能力。

主要包括战斗保障、后勤保障和装备保障 3 方面,指对战场伤员的定位搜寻,战损装备的抢救抢修,油料、弹药、器材的补给,道路上临时障碍排除和炊事保障等。

1.2 评估指标的转换

评估指标的数据处理方法直接影响评估结果的

可靠性。文中的评估指标均为定性指标，按照表 1 所列的模糊语言来表示专家对其打分的优劣，再将模糊评价语言映射到相应的直觉模糊数，实现定性指标的定量化。

表 1 模糊语言变量转化为直觉模糊数

语言变量	直觉模糊数	语言变量	直觉模糊数
极差	(0.05, 0.95, 0)	中等	(0.65, 0.25, 0.10)
非常差	(0.15, 0.80, 0.05)	好	(0.75, 0.15, 0.10)
差	(0.25, 0.65, 0.10)	非常好	(0.85, 0.10, 0.05)
稍差	(0.35, 0.55, 0.10)	极好	(0.95, 0.05, 0)
一般	(0.50, 0.40, 0.10)		

1.3 评估指标权重及专家权重的确定

1.3.1 确定评估指标的权重

为了降低专家的主观性，采用熵权法得到每个评估指标权重，利用文献[10]中的公式求直觉模糊熵：

$$H_j = -\frac{1}{n \ln 2} \sum_{i=1}^m [\mu_{ij} \ln \mu_{ij} + \nu_{ij} \ln \nu_{ij} - (1 - \pi_{ij}) \ln(1 - \pi_{ij}) - \pi_{ij} \ln 2] \quad (1)$$

如果 $\mu_{ij} = 0$ ， $\nu_{ij} = 0$ ， $\pi_{ij} = 1$ ，那么 $\mu_{ij} \ln \mu_{ij} = 0$ ， $\nu_{ij} \ln \nu_{ij} = 0$ ， $(1 - \pi_{ij}) \ln(1 - \pi_{ij}) = 0$ 。则第 j 个属性的熵权可以定义为：

$$w_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad (2)$$

式中： $w_j \geq 0$ ， $j=1,2,\dots,n$ ， $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

1.3.2 确定评估专家的权重

为了降低专家个人的主观影响，增加评估结果的可靠性，采用群决策的模型，邀请 3 名该领域专家对合成营的作战能力进行评估。在确定专家权重时，同样采用语言变量来描述其重要性程度，这些语言变量与直觉模糊数的对应关系如表 2 所示。

表 2 评估专家的重要性

语言变量	直觉模糊数	语言变量	直觉模糊数
非常重要	(0.90, 0.05, 0.05)	不重要	(0.25, 0.60, 0.15)
重要	(0.75, 0.20, 0.05)	很不重要	(0.10, 0.80, 0.10)
一般	(0.50, 0.40, 0.10)		

设第 k 个评估专家的重要性程度用直觉模糊数 $D_k = (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$ 来表示，参照文献[11]，其权重可以用下式计算：

$$a_k = \left(\mu_k + \pi_k \left(\mu_k / (\mu_k + \nu_k) \right) \right) / \sum_{k=1}^t \left(\mu_k + \pi_k \left(\mu_k / (\mu_k + \nu_k) \right) \right) \quad (3)$$

式中： $a_k \geq 0$ ， $k=1,2,\dots,t$ ， $\sum_{k=1}^t a_k = 1$ 。

2 直觉模糊 VIKOR 拓展的作战能力评估方法

1) 构建直觉模糊评估矩阵 $R^{(k)}$ 。根据建立的作战能力评估指标体系，设定有 p 个不同的专家 ($k=1,2,3,\dots,p$)，有 m 个评估对象，有 n 个评估指标，则目标集合为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ，属性集合为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。则专家 k 对每个评估对象在每个评估指标下的评估值为 $r_{ij}^{(k)}$ ($i=1,2,\dots,m$ ； $j=1,2,\dots,n$)，则建立作战能力评估矩阵为：

$$R^{(k)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(k)} & r_{12}^{(k)} & \dots & r_{1n}^{(k)} \\ r_{21}^{(k)} & r_{22}^{(k)} & \dots & r_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1}^{(k)} & r_{m2}^{(k)} & \dots & r_{mn}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中 $r_{ij}^{(k)}$ 为直觉模糊数。

2) 利用 1.3.2 节确定评估专家权重 a ， $a = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ 为所有评估专家的权重信息，且

$$a_k \geq 0, \sum_{k=1}^p a_k = 1 \quad (5)$$

3) 构造集成的直觉模糊决策矩阵 R 。设 $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ 为第 k 个评估专家的直觉模糊决策矩阵。在群决策过程中，所有的个体决策信息需要集成为群决策信息，从而构建集成的直觉模糊决策矩阵，为此利用直觉模糊加权平均算子 (IFWA)^[12] 进行集成，其中：

$$r_{ij} = \text{IFWA}_\lambda (r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(k)}) = a_1 r_{ij}^{(1)} \oplus a_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus a_t r_{ij}^{(t)} = \left(1 - \prod_{k=1}^p (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{a_k}, \prod_{k=1}^p (\nu_{ij}^{(k)})^{a_k}, \prod_{k=1}^p (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{a_k} - \prod_{k=1}^p (\nu_{ij}^{(k)})^{a_k} \right) \quad (6)$$

集结后的直觉模糊决策矩阵如下：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中： $r_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij})$ ， $\mu_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^p (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{a_k}$ ，
 $\nu_{ij} = \prod_{k=1}^p (\nu_{ij}^{(k)})^{a_k}$ ， $\pi_{ij} = \prod_{k=1}^p (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{a_k} - \prod_{k=1}^p (\nu_{ij}^{(k)})^{a_k}$ ，
 $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ 。

4) 对集成的决策矩阵 R 利用 1.3.1 节的公式求解评估指标的熵权，进而确定评估指标的权重。

5) 确定直觉模糊理想解 x^+ 和负理想解 x^- 。

$$x^+ = \{x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+\}, x^- = \{x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-\} \quad (8)$$

式中： $x_j^+ = (1, 0, 0)$ ， $x_j^- = (0, 1, 0)$ 。为了便于描述，把方案 $x_i (i=1, 2, \dots, m)$ 记为

$$x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\} (i=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

6) 参考文献[13]中的直觉模糊数距离公式，设任意 2 个直觉模糊数 $\beta_1 = (\mu_{\beta_1}, \nu_{\beta_1}, \pi_{\beta_1})$ ，

$\beta_2 = (\mu_{\beta_2}, \nu_{\beta_2}, \pi_{\beta_2})$ ，则 β_1 、 β_2 之间的距离为：

$$d(\beta_1, \beta_2) = \frac{1}{2} (|\mu_{\beta_1} - \mu_{\beta_2}| + |\nu_{\beta_1} - \nu_{\beta_2}| + |\pi_{\beta_1} - \pi_{\beta_2}|) \quad (10)$$

计算群体效益值 S_i 、个体遗憾度 R_i 及折衷值 Q_i 。其中：

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (d(x_j^+, x_{ij}) / d(x_j^+, x_j^-)), (i=1, 2, \dots, m),$$

$$R_i = \max_j \{w_j (d(x_j^+, x_{ij}) / d(x_j^+, x_j^-))\}, (i=1, 2, \dots, m),$$

$$Q_i = \lambda \left(\frac{S_i - S^+}{S^- - S^+} \right) + (1 - \lambda) \left(\frac{R_i - R^+}{R^- - R^+} \right), (i=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

式中： $S^+ = \min_i S_i$ ， $S^- = \max_i S_i$ ， $R^+ = \min_i R_i$ ， $R^- = \max_i R_i$ ； λ 为决策机制系数，表示决策的风险偏好， $\lambda \in [0, 1]$ 。

7) 对结果进行排序。按照 Q_i 、 S_i 、 R_i 分别从小到大排序，每个序列中排在前面的方案要比后面的方案优。为了考察方案间细微差别并实现方案的完全排序，可以直接利用 Q_i 进行排序^[14]。 Q_i 值越大，表明该方案越差； Q_i 值越小，表明该方案越优。

3 中型合成营作战能力评估仿真

以某中型合成旅编制的 4 个中型合成营为例，已知每个合成营的编制人数、编配的武器装备数量及型号，以近 3 个季度的军事训练成绩和演习训练数据为参考，由 3 名专家利用模糊语言变量分别从情报侦察、指挥控制、机动突击、火力打击、野战防空、整体防护和综合保障等 7 方面进行评估。将每个专家的模糊语言变量转换为相应的直觉模糊数，所得到的直觉模糊评估矩阵如表 3—5 所示。

表 3 专家 1 的直觉模糊评估矩阵 $R^{(1)}$

中型合成营	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
x_1	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.65,0.25,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.95,0.05,0)	(0.95,0.05,0)
x_2	(0.75,0.15,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.75,0.15,0.10)
x_3	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.85,0.10,0.05)	(0.85,0.10,0.05)	(0.85,0.10,0.05)
x_4	(0.75,0.15,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.75,0.15,0.10)

表 4 专家 2 的直觉模糊评估矩阵 $R^{(2)}$

中型合成营	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
x_1	(0.75,0.15,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.65,0.25,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.75,0.15,0.10)
x_2	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.85,0.10,0.05)
x_3	(0.65,0.25,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.85,0.10,0.05)
x_4	(0.75,0.15,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)

表 5 专家 3 的直觉模糊评估矩阵 $R^{(3)}$

中型合成营	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
x_1	(0.50,0.40,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.95,0.05,0)	(0.65,0.25,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.85,0.10,0.05)	(0.65,0.25,0.10)
x_2	(0.65,0.25,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.50,0.40,0.10)
x_3	(0.65,0.25,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.85,0.10,0.05)	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.75,0.15,0.10)
x_4	(0.85,0.10,0.05)	(0.75,0.15,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.75,0.15,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.85,0.10,0.05)	(0.65,0.25,0.10)

3.1 作战能力评估

利用本方法对每个合成营的作战能力进行评估：

1) 确定每个评估专家的决策权重。3 位评估专家的重要性程度对应的直觉模糊数分别为 (0.90,0.05,0.05)、(0.75,0.20,0.05)、(0.50,0.40,0.10)；

可得评估专家的属性权重为 $\lambda_1=0.4133$ ， $\lambda_2=0.3444$ ， $\lambda_3=0.2423$ 。

2) 利用 IFWA 算子把所有专家的直觉模糊评估矩阵 $R^{(k)}(k=1,2,3)$ 集结为综合的直觉模糊评估矩阵 R ，如表 6 所示。

表 6 集结后的综合直觉模糊评估矩阵 R

中型合成营	C_1	C_2	C_3	C_4
x_1	(0.760 6,0.160 9,0.078 5)	(0.752 0,0.162 1,0.085 9)	(0.885 1,0.084 5,0.030 4)	(0.650 0,0.250 0,0.100 0)
x_2	(0.772 5,0.147 6,0.079 8)	(0.712 7,0.185 3,0.102 0)	(0.715 0,0.200 2,0.084 8)	(0.790 3,0.130 5,0.079 2)
x_3	(0.753 4,0.171 2,0.075 4)	(0.728 8,0.169 8,0.101 5)	(0.753 3,0.173 3,0.069 4)	(0.821 1,0.115 0,0.063 9)
x_4	(0.779 1,0.136 0,0.084 9)	(0.677 4,0.220 9,0.101 7)	(0.667 1,0.225 0,0.108 0)	(0.750 0,0.150 0,0.100 0)
中型合成营	C_5	C_6	C_7	
x_1	(0.814 7,0.118 2,0.067 0)	(0.886 4,0.086 3,0.027 2)	(0.860 5,0.107 8,0.031 7)	
x_2	(0.780 4,0.143 6,0.076 0)	(0.750 0,0.150 0,0.100 0)	(0.752 0,0.165 5,0.082 6)	
x_3	(0.850 0,0.100 0,0.050 0)	(0.797 6,0.126 9,0.075 6)	(0.830 2,0.110 3,0.059 4)	
x_4	(0.541 4,0.356 9,0.101 7)	(0.814 7,0.118 2,0.067 0)	(0.728 8,0.169 8,0.101 5)	

3) 确定每个评估指标的权重信息。根据集结后的综合直觉模糊评估矩阵，求其直觉模糊熵得到每个评估指标的权重信息为

$$w = (0.1419, 0.1318, 0.1397, 0.1410, 0.1419, 0.1549, 0.1488)。$$

4) 确定直觉模糊理想点和负理想点，分别为

$$x^+ = ((1, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 0, 0))；$$

$$x^- = ((0, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 0))。$$

$(0, 1, 0), (0, 1, 0)。$

5) 计算各合成营的群体效益值 S_i 、个体遗憾度 R_i 和折衷值 Q_i ，其中 Q_i 的值随着评估专家的决策风险程度 λ 的变化而发生变化，得到：

$$S = \begin{bmatrix} 0.1976 \\ 0.2463 \\ 0.2083 \\ 0.2897 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} 0.0494 \\ 0.0398 \\ 0.0358 \\ 0.0651 \end{bmatrix}。$$

Q 随 λ 的变化情况如表 7 所示。

表 7 Q 随 λ 的变化情况

折衷值	$\lambda=0.1$	$\lambda=0.3$	$\lambda=0.5$	$\lambda=0.7$	$\lambda=0.9$
Q_1	0.417 6	0.324 8	0.232 0	0.139 2	0.106 4
Q_2	0.177 8	0.256 8	0.335 8	0.414 8	0.493 7
Q_3	0.012 5	0.037 4	0.062 4	0.087 4	0.102 3
Q_4	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
排序	$x_3 > x_2 > x_1 > x_4$	$x_3 > x_2 > x_1 > x_4$	$x_3 > x_1 > x_2 > x_4$	$x_3 > x_1 > x_2 > x_4$	$x_3 > x_1 > x_2 > x_4$

从表中可以看出：当评估专家主要考虑群体效益值时，评估结果为 $x_3 > x_1 > x_2 > x_4$ ；当评估专家主要考虑个体遗憾值时，评估结果为 $x_3 > x_2 > x_1 > x_4$ ；在评估专家没有偏好时，即群体效益与个体遗憾同等重要考虑时，评估结果为 $x_3 > x_1 > x_2 > x_4$ 。虽然评估结果随着专家偏好不同发生变化，但是无论评估专家的偏好如何变化，合成营 3 的作战能力总是最强，其结果具有较强的稳定性。

3.2 模型验证

针对 3 位专家的直觉模糊评估矩阵，结合 TOPSIS 方法^[13]的原理对其进行评估，进一步验证模型的可靠性。其中每个合成营的贴进度计算方法为

$$c(x_i) = \Delta(x_i, x^-) / (\Delta(x_i, x^+) + \Delta(x_i, x^-)) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j (1 - v_{ij})}{\sum_{j=1}^n w_j (1 + \pi_{ij})}。 \quad (12)$$

贴进度的值越大，表明该合成营的作战能力越强，结果如表 8 所示。

表 8 贴进度值

评估结果	x_1	x_2	x_3	x_4
与正理想解的距离	0.208 3	0.246 3	0.196 7	0.289 7
与负理想解的距离	0.862 1	0.840 0	0.862 5	0.804 8
贴进度	0.805 4	0.773 3	0.814 3	0.735 3

根据贴进度值的大小对所有合成营作战能力进行排序，结果为 $x_3 > x_1 > x_2 > x_4$ ，合成营 3 的作战能力最强。

通过与 TOPSIS 方法所得结果对比可知：在利用 VIKOR 方法进行评估时，当评估专家的决策风险较小时，在合成营 1 和合成营 2 的排序结果上出现不同，主要是因为前者没有考虑评估专家的偏好问题导致，但是 2 种方法都得出了合成营 3 作战能力最强的结果，进一步证明文中所建立模型的准确性与可靠性。

4 结论

笔者针对评估指标权重未知的中型合成营作战能力评估问题，建立基于作战要素的评估模型，利用直觉模糊数的计算法则，结合传统 VIKOR 方法

的思想,对 4 个中型合成营的作战能力进行评估,并分析了评估专家偏好的不同对评估结果的影响,证明了该模型具有一定的可靠性、准确性。将其结果与利用 TOPSIS 方法获得的结果进行对比,进一步验证了模型的稳定性,为合成营作战能力评估提供了一种新思路。笔者只对静态作战能力进行了评估,而多时刻动态作战能力的评估能更好地反映作战单元的整体水平,将是下一步的重点研究方向。

参考文献:

[1] 刘德胜,付东. 作战体系评估与评估方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2018, 32(3): 14-17.

[2] 安明伟,方龙,郑少华,等. 基于层次分析法的坦克电台通信效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2016, 41(1): 53-57.

[3] 程恺,张宏军,柳亚婷,等. 作战效能及其评估方法研究综述[J]. 系统科学学报, 2014, 22(1): 88-92.

[4] 李传方,许瑞明,麦群伟. 作战能力分析方法综述[J]. 军事运筹与系统工程, 2009, 23(3): 72-77.

[5] 刘伟,罗鹏程,赵北,等. 基于 TOPSIS 方法的自动目标识别作战能力[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(9): 88-91.

[6] 蒋彦,潘进,顾香,等. 基于区间数的指挥信息系统作

(上接第 44 页)

[10] 何庆. 一种面向步进电机控制的 PID 控制算法[J]. 电工技术, 2018(18): 21-23, 26.

[11] WANG X H, WU X, GUO K M, et al. Efficient Microwave-Assisted Hydrolysis of Microcrystalline Cellulose into Glucose Using New Carbon-Based Solid Catalysts[J]. Catalysis Letters, 2019, 150(1): 138-149.

[12] 安世奇,阮俊林. 组合秤步进电机的智能调控方法应用[J]. 电子测量技术, 2019, 42(15): 99-104.

战效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(7): 175-178.

[7] 张壮,李琳琳,魏振华,等. 基于变权—投影灰靶的指控系统动态效能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(4): 801-809.

[8] 张浩为,谢军伟,葛佳昂,等. 改进 TOPSIS 的多态融合直觉模糊威胁评估[J]. 系统工程与电机技术, 2018, 40(10): 2263-2269.

[9] OPRICOVIC S, TZENG G. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 156(2): 445-455.

[10] VLACHOS I K, SERGIADIS G D. Intuitionistic fuzzy information-Applications to pattern recognition[J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(2): 97-206.

[11] BORAN F E, GENÇ S, KURT M, et al. A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(8): 11363-11368.

[12] 徐泽水. 直觉模糊信息集成理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 74-80.

[13] XU Z S, YAGER R R. Dynamic intuitionistic fuzzy multi—attribute decision making[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2008, 48(1): 246-262.

[14] 王坚强,张忠. 基于直觉梯形模糊数的信息不完全确定的多准则决策方法[J]. 控制与决策, 2009, 24(2): 226-230.

[13] 雷雨晴,张博. 基于专家 PID 控制的压电弹药设计[J]. 电子设计工程, 2017, 25(13): 187-189, 193.

[14] IBRAHIM H E A, HASSAN F N, SHOMER A O. Optimal PID control of a brushless DC motor using PSO and BF techniques[J]. Ain Shams Engineering Journal, 2014, 5(2): 391-398.

[15] LIU G, MAO K, CHEN B D. Position sensorless control of high-speed brushless pm motor based on an improved sliding mode observer[J]. Vacuum, 2018, 153: 232-237.