

引用格式:朱浩浩,陈勇,陈铁健,等.合成分队目标综合排序方法研究[J].电光与控制,2019,26(5):95-99. ZHU H H, CHEN Y, CHEN T J, et al. Research on synthetic sorting of composite team targets[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(5):95-99.

合成分队目标综合排序方法研究

朱浩浩, 陈勇, 陈铁健, 张文斌
(北方自动控制技术研究所,太原 030006)

摘要:综合分析目标的各项属性并进行排序,是合成分队辅助决策的核心问题。针对传统目标排序方法的不足,提出了一种改进层次分析法与熵权法相结合的模糊综合排序方法。在充分借鉴以往评判指标的基础上,将目标的心理价值纳入评估指标体系,提升了评估的全面性;在评估指标权重计算过程中,使用改进层次分析法与熵权法相结合的方法,综合考虑专家打分的主观与客观特性,提升了权值求解的合理性;基于评估指标及权值,采用一种多层次模糊评判算法进行目标综合排序。采用上述方法,对想定中的8个重要目标进行排序,结果表明:所提方法得出的排序结果符合指挥员认知,提高了决策的科学性和有效性。

关键词:目标排序;模糊综合评判;目标综合价值;主客观综合权重

中图分类号:TP391.9 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2019.05.019

Research on Synthetic Sorting of Composite Team Targets

ZHU Hao-hao, CHEN Yong, CHEN Tie-jian, ZHANG Wen-bin
(North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Comprehensive analysis of the various attributes of the targets and the comprehensive sorting are the core issues in the composite team's decision-making. Aiming at the shortcomings of traditional target ranking methods, this paper proposes a fuzzy comprehensive sorting method that combines the Improved Analytic Hierarchy Process (IAHP) with the Entropy Weight Method (EWM). On the basis of making full use of the previous evaluation indicators, the psychological value of the target is included in the evaluation index system, which improves the comprehensiveness of the evaluation. In the process of calculating the weight of the evaluation index, the IAHP-EWM is used, and the subjective and objective characteristics of expert scoring are taken into consideration, thus the rationality of weight calculation is improved. Based on the evaluation index and the weights, a multi-level fuzzy evaluation algorithm is proposed for target sorting. Eight important goals in the scenario are sorted by using the method. The results show that the ranking result is in line with the commander's cognition, which can improve the rationality and effectiveness of decision-making.

Key words: target ranking; fuzzy comprehensive evaluation; target comprehensive value; subjective and objective comprehensive weight

0 引言

随着新型陆军建设,合成多功能战斗分队日益成为未来作战的主力。在信息化作战条件下,基于复杂

的战场态势,对目标进行综合排序和优选,是实现各类型火力优化运用与有机较链的基础。然而,随着战场情况复杂度的加剧,战场上的目标呈现出多样性和多变性;另外,由于武器性能和编配数量、类型的提升,合成分队能够打击的目标类型和数量也在不断增加,针对上述变化,亟需基于合成分队特点,研究自动化的目标综合排序和优选模型,辅助指挥员进行科学、快速的目标打击决策。

传统的目标排序与优选理论方法研究大多针对单

收稿日期:2018-12-12

修回日期:2019-02-20

基金项目:装备预研课题

作者简介:朱浩浩(1993—),男,河南周口人,硕士,研究方向为合成分队辅助决策技术。

一兵种,如炮兵分队、防空分队、装甲分队等,对于合成分队的研究相对较少。对于炮兵分队,目标排序和优选主要基于目标价值,例如:文献[1]提出了一种基于综合价值的炮兵打击目标排序方法;文献[2]提出了一种基于灰色关联分析的炮兵火力打击目标排序方法。对于防空分队,空袭目标排序主要基于目标的威胁程度,保卫目标排序主要基于目标价值,如文献[3]提出了一种基于防空系统建模的目标价值排序方法。对于装甲分队,主要基于目标威胁程度进行目标排序,如文献[4]提出了一种基于BP神经网络的目标威胁评估及排序模型。对于合成分队,虽然有相关目标分配的研究,但主要局限在分配流程方面如文献[5],对核心的目标排序模型则研究较少。

在目标排序算法方面,目前主要的方法是建立评估指标体系,基于各指标加权^[6]或多属性决策^[7]进行排序。基于各指标加权^[8]的方法主要基于专家打分,包括层次分析法、网络层次分析法等,主观性较强;多属性决策主要包括TOPSIS法^[9]、灰度关联法等,主要利用目标各评估指标的客观关联性。前者可以较好地利用专家知识,但由于专家认知理念的不同,容易造成决策偏差;后者可以根据评估指标的客观关联性,但缺乏对专家知识的利用。另外,当前目标排序算法对目标评估指标的不确定性处理能力不强。

针对上述不足,本文综合考虑了合成分队可打击各类型目标,并考虑影响目标排序的各个因素,如目标的类型、抗毁性、打击迫切性、目标打击效用^[10]和目标的心理价值等,建立了合成分队目标排序指标体系。提出一种改进层次分析法与熵权法相结合的目标排序方法,可基于专家打分区间,有效处理不确定性^[11];既能够充分利用专家知识,又能够利用各目标评估指标的关联性,提升了权值求取的科学性。最后提出目标多层次模糊综合排序方法,实现了合成分队作战目标的合理排序。

1 目标指标因素分析

打击目标,需要解决的是怎样依据目标价值确定目标打击决策的问题。考虑到现代战争的复杂性,合成分队在执行打击任务过程中,会遭遇到多种作战目标^[12]。对目标进行排序,就必须科学合理地分析影响目标价值的各项指标因素,得到准确的目标综合价值。文献[13]只考虑了目标的威胁度;文献[14]对目标的8种价值指标进行评价,综合评价因素较少,排序的可信度不足。本文通过对军事目标学相关文献的查阅以

及多位专家意见的整理,在原有评价体系的基础上加入目标的心理价值部分,将目标在敌方领导、军队和民众心目中的地位作用作为一个重要的指标因素,结合目标的价值、目标的抗毁性、打击的迫切性以及目标打击效用^[13]构建打击目标指标因素体系,共5个方面19项综合评价指标,具体如图1所示。

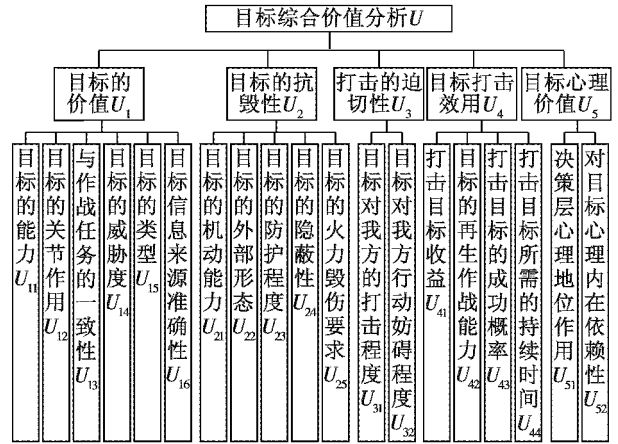


图1 目标综合价值影响因素体系

Fig. 1 Influencing factor system of target comprehensive value

2 目标综合价值排序模型与方法

2.1 构造目标评判矩阵

综合排序流程如图2所示。

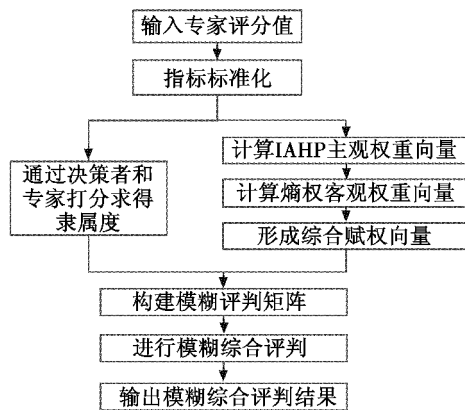


图2 目标综合价值排序流程图

Fig. 2 Flow chart of target comprehensive value ranking

首先要根据专家打分值构造目标判断矩阵。假设目标综合价值受到 N 个因素的影响,这些因素又分别受到若干个二级因素的影响,则将价值评价指标体系上层指标值设为 (U_1, U_2, \dots, U_N) ,下层指标值设为 $(U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{il_i})$,其中, $i = 1, 2, \dots, N, l_i$ 为第 i 个上层指标所含下层指标的个数。假设有 m 个目标需要排序,指标因素体系中共有 n 个下层指标,军事专家对每个目标的下层

指标进行打分,最终可得一个 $n \times m$ 矩阵 $R'_{n \times m}$,规范化处理后,得到模糊综合评价矩阵 $R_{n \times m}$,表示为^[15] $R_{n \times m} =$

$$(r_{ij})_{n \times m} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix}.$$

2.2 基于改进的层次分析法 (IAHP) 的主观权重计算模型

本文计算指标主观权重时采用 IAHP 法,IAHP 法将区间数学与传统层次分析法 (AHP) 相结合,用区间数代替判断点值形成判断矩阵,可以很直观地反映出判断的不确定性,改进了 AHP 过于主观的缺陷,极大地降低了人为判断的不确定性,能够较客观地对诸多不确定因素进行两两比较,所得到的区间权重也会更为科学、准确。

设 $\bar{A} = (\bar{a}_{ij})_{n \times n}$ 为区间数矩阵,即 $\bar{a}_{ij} = [a_{ij}^L, a_{ij}^U]$ 。记 $A^L = (a_{ij}^L)_{n \times n}, A^U = (a_{ij}^U)_{n \times n}, A^L$ 和 A^U 分别表示区间数下限矩阵和上限矩阵,并记 $\bar{A} = [A^L, A^U]$ 。同样对于区间数向量 $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, x_i$ 表示上层指标的区间数值,即 $\bar{x}_i = [x_i^L, x_i^U]$,记 $x^L = (x_1^L, x_2^L, \dots, x_n^L)^T, x^U = (x_1^U, x_2^U, \dots, x_n^U)^T, x^L$ 和 x^U 分别表示上层指标区间数下限向量和上限向量,并记 $\bar{x} = [x^L, x^U]$ 。对给定的区间数矩阵 \bar{A} ,计算权重的过程如下:

1) 用特征向量法分别求得 A^L, A^U 的最大特征值,然后求最大特征值所对应的具有正分量的特征向量,并将其归一化,得到 x^L 和 x^U, x^L, x^U 分别是 A^L 和 A^U 最大特征根对应的分量全部是正实数的特征向量归一化后的结果;

2) 由 $A^L = (a_{ij}^L)_{n \times n}, A^U = (a_{ij}^U)_{n \times n}$ 计算 α 和 β 分别为

$$\begin{cases} \alpha = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^U}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^L}} \\ \beta = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^L}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^U}} \end{cases} \quad (1)$$

式中, α 和 β 是区间数主观赋权法计算过程中两个常量;

3) 确定主观权重向量 $\bar{\omega} = [\alpha x^L \quad \beta x^U]$ 。

2.3 基于熵权法的客观权重计算模型

本文计算指标客观权重时采用熵权法,在对目标价值进行排序时,引入熵对专家之间的差异性进行衡量,某个评判指标的熵值越小,即是专家打分值的偏差越小,这个指标在综合评价中所起到的作用也越大,表明该指标的权重越大。用熵权法计算客观权重过程如下:

1) 计算得到矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$,归一化后得到的评判矩阵 $D = (d_{ij})_{n \times m}$;

2) 计算目标属性的熵值

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \bar{c}_{ij} \ln \bar{c}_{ij} \quad 1 \leq j \leq m \quad (2)$$

当 $\bar{c}_{ij} = 0$ 时,规定 $\bar{c}_{ij} \ln \bar{c}_{ij} = 0$,其中, $\bar{c}_{ij} = d_{ij} / \sum_{j=1}^m d_{ij}$;

3) 计算打击目标价值评判指标的客观权重向量 $\omega'' = (\omega_1'', \omega_2'', \dots, \omega_m'')$,其中

$$\omega_j'' = (1 - E_j) / \sum_{k=1}^m (1 - E_k) \quad 1 \leq j \leq m \quad (3)$$

2.4 确定目标价值综合权重

为了突出重要目标大权重的作用,决定采用线性加权法确定组合权重^[16]。设上层指标主观权重为 ω' ,下层指标主观权重为 ω'_i ,上层指标客观权重为 ω'' 和下层指标客观权重为 $\omega''_i, i = 1, 2, \dots, n$,则组合权重向量为

$$\begin{cases} \omega_i = k_1 \omega'_i + k_2 \omega''_i \\ k_1 + k_2 = 1 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中, k_1, k_2 为主客观权重影响平衡因子, $0 \leq k_1 \leq 1, 0 \leq k_2 \leq 1$ 。

3 用模糊综合评价法做出决策

模糊综合评价法^[17]既能考虑到各个因素间的相互影响,又能体现出各个因素在评价体系中的作用,因此本文采用模糊综合评价法对多位专家的意见综合考虑,得到目标排序结果。其中,指标权重采用 IAHP - 熵权法确定。

主要影响打击目标决策的因素是上文所述的 5 个上层指标和 19 个下层指标。第 1 层的指标值为 $U_i, i = 1, 2, 3, 4, 5$,第 2 层的指标值为 $U_{ij}, j \in [1, l_i]$ 。

矩阵 R 中的各行向量表示被评价对象的单因素对各等级模糊子集的隶属程度。通过决策者和专家评价打分的原则,依据最大隶属度原则,求得归一化目标关于下层指标的隶属度,用下层模糊权向量 ω_i 综合第 i 个上层指标所属下层指标的模糊评判矩阵 R ,可得到被评价对象对各等级模糊子集的隶属程度^[18]。由此得到下层指标评判向量 V_i ,即

$$V_i = \omega_i * R_i \quad (5)$$

式中, $*$ 为算子符号。

由前面结果可得出上层指标综合评判矩阵 $D = [V_1^T, V_2^T, \dots, V_n^T]^T$,于是可以得到模糊评判结果向量 U 为

$$U = \omega * D \quad (6)$$

式中: U 向量中分量大小表示最终目标价值大小; ω 为上层指标综合权重向量。

4 应用举例

本文以合成营对敌方阵地进行火力打击计划占领

高地的军事行动为例。敌方是某合成旅下属的一支迫击炮连,于3天前进驻Z地,已在两侧高地前都筑起了排支撑点,且迫击炮阵地呈扇形分布在支撑点掩护下。Z地战略地位非常重要,在东北方向的高地上有1个临时停机坪和2架武装直升机。敌方西南侧阵地上有敌方的防御要点和弹药库,弹药库旁有1个步兵排把守,且在弹药库正南方3 km处有1支装甲预备队。我方准备兵分两路从西北方向的隘口进行突击,一路主要兵力从正面强攻敌东北侧高地,另一路是步兵连和装甲连组成的突击队由阵地西侧的半坡树林摸进阵地南侧,端掉敌防御重点和弹药库。详细部署如图3所示。

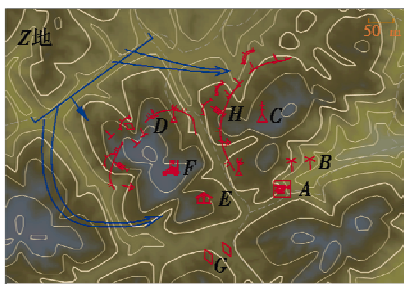


图3 敌方兵力部署与我方进攻路线想定

Fig.3 Employment of enemy forces and our offensive routes

选取此次战斗行动中敌方8个重要目标作为实证研究的对象,其中:A为敌方停机坪;B为2架武装直升机;C为敌方连指挥所;D为迫击炮阵地;E为敌方军械库;F为敌方防御要点;G为装甲预备队;H为敌方排支撑点。

首先请军事专家按照评分标准分别从指标因素 $C_1 \sim C_{10}$ 对8个目标进行评分,经模糊变换后,得到目标模糊综合评判结果如表1所示。

表1 各目标的模糊综合评判结果
Table 1 Fuzzy comprehensive evaluation results of each target

指标	目 标							
	A	B	C	D	E	F	G	H
U_{11}	0.88	0.79	0.54	0.93	0.83	0.91	0.68	0.87
U_{12}	0.92	0.60	0.80	0.90	0.88	0.93	0.75	0.92
U_{13}	0.93	0.82	0.87	0.88	0.85	0.92	0.80	0.92
U_{14}	0.95	0.76	0.81	0.92	0.90	0.92	0.90	0.92
U_{15}	0.93	0.62	0.85	0.93	0.86	0.92	0.85	0.95
U_{16}	0.76	0.89	0.82	0.94	0.86	0.85	0.48	0.72
U_{21}	0.80	0.83	0	0.90	0.87	0.86	0	0.98
U_{22}	0.87	0.88	0.20	0.70	0.67	0.65	0.40	0.84
U_{23}	0.70	0.72	0.20	0.90	0.73	0.77	0.50	0.76
U_{24}	0.60	0.65	0.30	0.85	0.72	0.80	0.40	0.78
U_{25}	0.90	0.88	0.78	0.85	0.87	0.73	0.85	0.80
U_{31}	0	0.20	0	0.85	0.70	0.78	0	0.90
U_{32}	0.92	0.64	0.80	0.92	0.80	0.86	0.78	0.94
U_{41}	0.93	0.68	0.86	0.91	0.88	0.86	0.84	0.90
U_{42}	0.30	0.35	0.20	0.55	0.72	0.75	0.20	0.25
U_{43}	0.89	0.80	0.98	0.75	0.87	0.86	0.95	0.82
U_{44}	0.78	0.51	0.89	0.68	0.82	0.91	0.71	0.78
U_{51}	0.65	0.81	0.68	0.94	0.95	0.78	0.79	0.87
U_{52}	0.63	0.94	0.45	0.83	0.78	0.32	0.78	0.74

4.1 求指标主客观权重

首先确定指标主观权重,上层指标主观权重结果为 $\omega' = (0.5011 \ 0.0572 \ 0.2000 \ 0.1047 \ 0.1370)$;下层指标主观权重结果为 $\omega'_1 = (0.3363 \ 0.1103 \ 0.3020 \ 0.0577 \ 0.0577 \ 0.1360)$, $\omega'_2 = (0.1311 \ 0.0461 \ 0.0730 \ 0.2806 \ 0.4692)$, $\omega'_3 = (0.2500 \ 0.7500)$, $\omega'_4 = (0.5063 \ 0.2531 \ 0.1266 \ 0.1139)$, $\omega'_5 = (0.8694 \ 0.1306)$;再确定指标客观权重,下层指标客观权重结果为 $\omega''_1 = (0.1648 \ 0.1673 \ 0.2145 \ 0.1710 \ 0.1423 \ 0.1401)$, $\omega''_2 = (0.1128 \ 0.0503 \ 0.0811 \ 0.2958 \ 0.4600)$, $\omega''_3 = (0.6935 \ 0.3065)$, $\omega''_4 = (0.1737 \ 0.4004 \ 0.2308 \ 0.1951)$, $\omega''_5 = (0.5545 \ 0.4455)$ 。

4.2 进行模糊综合评判并得出排序结果

将 $\omega_i = k_1 \omega'_i + k_2 \omega''_i$ 代入式(5)进行一级模糊评价得出 V_i ,再将上述评价指标结果 V_i 作为上层指标的评价矩阵,则二级模糊评价结果是 $U = \omega * [V_1^T \ V_2^T \ V_3^T \ V_4^T \ V_5^T]^T$ 。

将不同的平衡因子组合代入式(4)后可得出8个火力打击目标的综合评判结果的排序结果,见表2。

表2 不同平衡因子下的目标排序结果
Table 2 Target ranking results under different balance factors

平衡因子	目标排序结果
$k_1 = 1, k_2 = 0$	$D > H > F > E > A > B > G > C$
$k_1 = 0.7, k_2 = 0.3$	$D > H > F > E > A > B > G > C$
$k_1 = 0.5, k_2 = 0.5$	$D > H > F > E > A > B > G > C$
$k_1 = 0.3, k_2 = 0.7$	$D > H > F > E > A > B > G > C$
$k_1 = 0, k_2 = 1$	$D > H > E > F > A > B > G > C$

5 结果分析

实际作战过程中,我方合成营大部分兵力从正面进攻,高地上敌方火力对我方威胁最大,因此最优先打击的目标是敌方迫击炮阵地和排支撑点。突击小队从侧翼摸进敌方腹地,突破了防卫线之后最先遇见的重要目标即是敌方防御要点和弹药库,由于这两个重要目标在支撑点后方,心理价值较大,一旦遭到破坏会严重挫败敌方士气。发生正面战斗时,武装直升机和停机坪会为敌方提供人装物弹保障,考虑到此地是敌方阵地,若陷入持久战状态对我方十分不利,而且武装直升机有切断我方补给线的可能。此地为高地,有许多装甲车的天然屏障,如山石、树林等,不利于装甲预备役全面发挥战斗力,而战时会会有多处连指挥所,若一个指挥所被打掉,另一个就能迅速接管其指挥职能。经以上分析可得实际排序结果应为 $D > H > F > E > A > B > G > C$,与实例分析结果一致,同时也与文献[19]中目标排序结果一致。

6 结论

本文针对合成分队进攻作战背景下打击目标排序问题,提出了一种基于组合权重和模糊评判法来计算目标综合价值的方法。该方法充分考虑专家的主观经验和专家之间认识存在差异的客观性,既避免主观臆断又尊重客观事实,对实际作战过程中对合成分队选择目标打击有重要的指导作用。此方法与其他目标排序方法相比较有3个方面不同:

1) 计算各层次价值指标时,将各个指标值用不同的合并规则得出不同结果,提高了本文所提方法的科学性;

2) 从合成分队的角度考虑目标价值排序问题,不仅顺应现代化作战的趋势,而且对未来合成分队作战提供参考依据;

3) 利用合成营对敌方建制连实施火力进攻的态势图,对目标排序问题进行分析,提高该方法的有效性和可实施性。实例分析结果表明本文所提方法的有效性和科学性,对我军合成火力打击中进行火力资源配置、优化打击排序有参考价值。

参考文献

- [1] 周松,卢晓勇,张晓南,等. 基于双重模糊决策的炮兵战场目标价值排序[J]. 兵工自动化,2014,33(5):35-37.
- [2] 杨宇飞,刘建闯. 基于灰色关联分析法的炮兵火力打击目标排序问题研究[J]. 四川兵工学报,2013,34(3):61-63.
- [3] 杨垚,陈超,刘彦君,等. 防空系统建模与目标价值排序方法[J]. 国防科技大学学报,2015,37(1):179-186.
- [4] 江克宇,冯根生,龚建辉. 坦克火力运用智能系统目标威胁度评估模块[J]. 火力与指挥控制,2013,38(7):135-140.
- [5] 陈晖,马亚平. 联合火力打击目标优化分配模型[J]. 兵器装备工程学报,2017,38(3):14-17.
- [6] 曹淑信. 信息火力战[M]. 北京:国防大学出版社,2006.
- [7] 陈攀,姜长生. 基于多专家权重的空对地多目标攻击决策[J]. 电光与控制,2011,18(7):18-21,45.
- [8] 王庆江,彭军,曾儒伟,等. 无人机对地多目标攻击决策研究[J]. 电光与控制,2014,21(11):57-61.
- [9] 李战武,黄毅,常一哲,等. 突防中火力/电子武器多目标攻击协同决策[J]. 电光与控制,2016,23(1):7-10.
- [10] 高杨,李东生,雍爱霞. 基于组合权重的目标识别系统威胁评估[J]. 火力与指挥控制,2016,41(5):39-42,46.
- [11] 王三喜,杨云松,牡丹. 作战目标价值排序模型研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2015,10(2):195-198.
- [12] BOGDANOWICZ Z R, TOLANO A, PATEL K, et al. Optimization of weapon-target pairings based on kill probabilities[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2013, 43(6):1835-1844.
- [13] 徐克虎,陈金玉,张志勇,等. 坦克分队目标打击价值指标数理研究[J]. 火力与指挥控制,2014,39(7):51-54,58.
- [14] 房茂燕,汪民乐,赵志辉,等. 战场目标综合价值评估研究[J]. 四川兵工学报,2015,36(7):160-164.
- [15] 谢序,包睿,高瑞周. 小直径炸弹对地多目标攻击决策[J]. 电光与控制,2016,23(12):27-30.
- [16] 庞海龙,王文豪,胡盛华,等. 基于任务合成技术的目标分配问题研究[J]. 电光与控制,2015,22(8):48-53.
- [17] 黄捷,陈谋,姜长生. 无人机空对地多目标攻击的满意分配决策技术[J]. 电光与控制,2014,21(7):10-13,30.
- [18] 金宏,余跃,张如飞. 常规导弹联合火力打击统一分配模型[J]. 火力与指挥控制,2014,39(7):27-30.
- [19] 杨绪明,郑津生. 陆军火力毁伤教程[M]. 北京:解放军出版社,2007:266-286.