

联合火力打击目标分配

欧阳才超¹, 李为民², 阳曙光³

(1. 解放军炮兵学院, 安徽 合肥 230031; 2. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 3. 国防大学 战役教研部, 北京 100091)

摘 要: 目标分配是联合火力打击指挥决策的核心内容,但是构建合理、可信的联合火力打击目标分配模型是相当复杂和困难的。根据联合火力打击循环过程的分析,设定了目标分配优化的时间周期;综合红蓝双方情况以及战场态势更新,建立了目标分配的思维机制;在将整个作战空间划分为网格、降低目标分配复杂性的基础上,结合基本输入变量以及各约束条件的量化表达式,构建了目标分配的线性规划模型;最后,利用算例进行了验证性分析。该模型为联合火力打击目标分配优化、制定作战方案提供了定量分析工具。

关键词: 联合火力打击;目标分配;ATO

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2009.03.011

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)03-0050-05

现代战争表明,联合火力打击已经成为贯穿战争全过程并能够直接达成战略、战役目的的主要作战样式,越来越受到国际社会的重视。而目标分配是联合火力打击指挥决策的主要内容。目前,目标分配研究的领域主要集中于地面防空、常规导弹突击以及航空兵打击等^[1]。针对联合火力打击的目标分配优化,由于考虑的因素较多,优化问题极为复杂,研究较少。本文仅对联合火力打击理论中的目标选择问题进行了探讨,对联合火力打击目标选分配的时间周期、思维机制、基本要求、目标选择的程序和方法等问题进行研究。

1 联合火力打击目标分配的时间周期

联合火力打击通常划分为多个作战阶段,一个作战阶段又分为多轮实施,根据打击力量及目标数量,每轮又可能需要区别为多个波次实施打击^[2];一个阶段主要围绕联合火力打击的局部或阶段性目的,而一个波次主要指一个或多个联合火力编队一次作战行动的组合。

由于每个作战阶段、每个波次的时间长度都是不固定的,可以将联合火力打击直接视为以时间周期为变量的循环过程。参考美军的空中任务指令(ATO)周期^[3-4],可将该周期简称为联合火力任务指令(JFTO)周期,总周期为 72 h。根据联合火力打击作战筹划的内容,可以得到联合火力任务指令周期见图 1。由于 JFTO 是不断迭代和循环的,而目标分配优化作为 JFTO 的重要环节,事实上也是不断迭

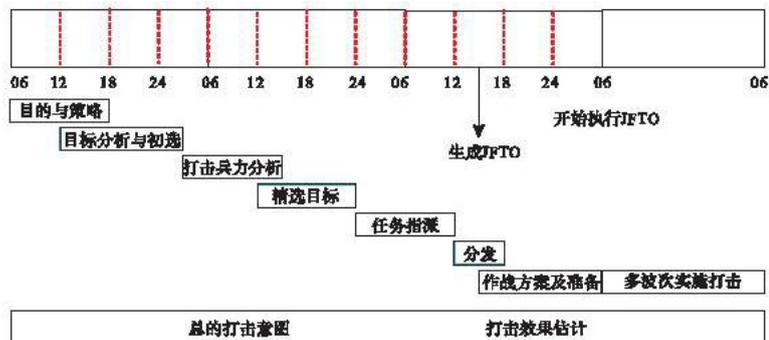


图 1 联合火力任务指令循环周期示意图

Fig.1 The circulation of joint fire attack mission command

* 收稿日期:2008-09-27

基金项目:国家“863”计划资助项目(2007AAXX6102)

作者简介:欧阳才超(1983-),男,湖南双峰人,硕士生,主要从事炮兵作战指挥研究。

E-mail: ouyang7922BD@126.com

李为民(1964-),男,甘肃民勤人,教授,博士生导师,主要从事防空反导研究。

代的,迭代的时间周期通常为 24 h。

2 联合火力打击目标分配的思维机制

联合火力打击目标分配的最终目标是发挥诸火力单位的整体协调优势,寻求对蓝方最大的打击效果并使自己的损耗最小,这是用兵的原则问题。因此,目标分配时应考虑目标打击效果以及红方损失情况 2 个方面,取益损值最优的分配方案^[5-6]。

首先,必须明确红蓝双方的基本情况,这是进行目标分配优化的基础。其次,需要依次考虑蓝方目标自身情况及其防卫情况,红方火力单元的情况及弹药剩余量,红蓝双方区域的气象环境也会影响到火力打击行动;而这些因素,通常都是随时变化的;因此,需要不断更新战场态势。在此基础上,通过定性分析,避免打击平台和弹药的不恰当使用,得到各目标可用打击编队及弹药。再结合具体的作战约束条件,基于打击效果最大化构建火力分配模型,解算得到目标分配方案。但是,一次解算得到的目标分配方案并不一定就是最优方案,需要经作战决策者判断打击效果和红方损失后,得到反馈信息,更新战场态势,进行再计算,决策者的再反馈;最终得到最佳的、符合作战决策意图的目标分配方案。因此,联合火力打击目标分配的思维机制见图 2。

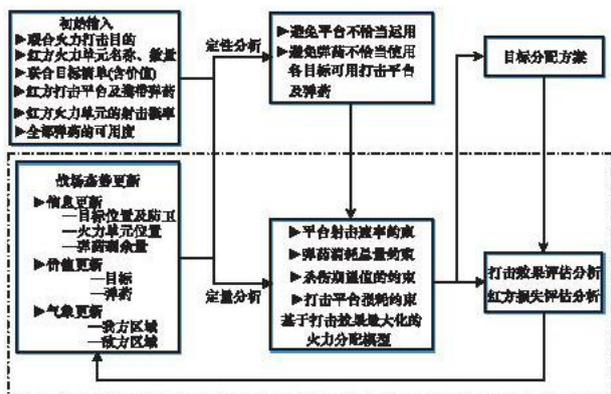


图 2 联合火力打击目标分配的思维机制

Fig. 2 The thought of target assignment in joint fire attack

3 联合火力打击目标分配的数学建模

为了降低方程式的复杂性,在此将整个作战空间划分为网格,目标和火力单元都并入相应的网格。假设整个战场空间被划分为网格 $i(i=1,2,\dots,I)$ 。 $n_{i,t}$ 为第 i 个网格里的第 $t(t=1,2,\dots,T)$ 类目标, $f_{s,i}$ 为第 i 个网格里的第 $s(s=1,2,\dots,S)$ 类火力单元。假设不存在跨越网格的附带损伤。

3.1 输入数据说明

在建立目标分配模型前,需要先对每个输入数据进行必要说明:①火力单元、弹药、目标的地理位置需要在统一地理坐标的基础上提供;②火力单元的数据信息包括名称、数量和位置;③弹药的数据信息除名称、数量和发射平台之外,还有弹药的价值以及可接受的最高预算量。弹药的价值及最高预算量迫使高价值的弹药被保留去打击更高价值的目标;④目标的数据信息包括名称、数量和位置之外,还有每个目标的价值和所在的网格,目标的价值是评估整体打击期望效果的前提;⑤每种类型的火力单元都能和其他的火力单元对某一目标齐射,但其弹药数量有限;⑥目标分为肯定目标和否定目标,肯定目标是指指挥官希望打击的目标,否定目标是禁止打击目标,例如公共汽车和教堂之类,但是打击肯定目标也可能产生不期望的附带损伤,否定目标及附带损伤都产生负价值。

在作战中,可以利用 ACCESS 和 EXCEL 软件,将各类输入数据信息组成战场态势数据库,目标分配所需数据可以直接从中获得,而且需要对数据库进行实时更新。

3.2 约束条件的量化表示

在此基础上,可以结合计算变量的定义,对各种约束条件进行量化。

1) 平台及弹药的边界约束。设定 $b_{m,i}$ 代表第 i 个网格里的第 $m(m=1,2,\dots,M)$ 类弹药的数量;当第 s 类火力单元可能使用第 m 类弹药时 $l_{s,m}=1$,否则 $l_{s,m}=0$; $x_{s,m,i,t,j}$ 表示第 i 个网格里的第 s 类火力单元使用第 m 类弹药打击第 j 个网格的第 t 类目标时的开火次数,为了符合实际作战情况,令 $x_{s,m,i,t,j} \geq 0$ 。以每次开火使用的弹药为一个单元,则弹药使用的约束条件可表示为:

$$\begin{aligned}
 x_{s,m,i,t,j}(1-l_{s,m}) &= 0, \forall s,m,i,t,j \\
 \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J x_{s,m,i,t,j} &\leq b_{m,i}, \forall m,i
 \end{aligned} \tag{1}$$

如果第 i 个网格的第 s 种火力单元可以应用第 m 种弹药打击第 j 个网格的第 t 类目标, $r_{s,m,i,t,j} = 1$, 否则, $r_{s,m,i,t,j} = 0$; 则平台的边界约束条件可以表述为:

$$x_{s,m,i,t,j}(1 - r_{s,m,i,t,j}) = 0, \forall s, m, i, t, j \quad (2)$$

2) 平台射击速率约束。假设 R_s 表示用第 s 类火力单元可以担负的等价任务的最大值; $e_{s,m}$ 表示第 s 类火力单元使用第 m 类弹药担负作战任务时所能同时担负的等价任务的数量, 特殊情况下, $e_{s,m} = 1$; 则平台射击速率的约束条件可表示为^[7-8]:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^I e_{s,m} x_{s,m,i,t,j} \leq f_{s,j} R_s, \forall s, i \quad (3)$$

3) 弹药消耗预算约束。 $\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^I x_{s,m,i,t,j}$ 表示第 i 个网格的火力单元使用的第 m ($m = 1, 2, \dots, M$) 种弹药的数量, $\forall m, i$; c_m 表示对第 m 种弹药的价格; B 为弹药消耗的总预算; 则弹药消耗必须满足以下不等式^[9]:

$$\sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^I c_m x_{s,m,i,t,j} \leq B \quad (4)$$

4) 杀伤期望值的约束条件。假设 $P_{s,m,i,t,\tau,j}$ 表示一次任务中第 i 个网格的第 s 种火力单元用第 m 种弹药打击第 j 个网格的第 t 类目标时, 对第 j 个网格里的第 $\tau = 1, 2, \dots, T$ 类目标的杀伤期望(包括附带损伤), 其值需要根据目标累积量 $\{n_{\tau,i} | \tau = 1, 2, \dots, T\}$ 和专家的估计来进行估算^[10]。

由于火力单元的密度是有限的, 必须从全局的角度进行分配, 比如某个网格的目标被摧毁 $1/10$ 就达到了威阻效果, 那么全歼此网格目标而导致其它网格目标没有被打击则是不允许的。因此, 设 $\delta_{\tau} \geq 0$ 表示允许摧毁的第 $\tau = 1, 2, \dots, T$ 类目标的比例; $d_{\tau,i}$ 表示允许摧毁的第 $i = 1, 2, \dots, I$ 个网格中的第 $\tau = 1, 2, \dots, T$ 类目标的比例; 则对第 j 个网格的第 τ 类目标的杀伤期望值 $K_{\tau,j} = \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I p_{s,m,i,t,\tau,j} x_{s,m,i,t,j}, \forall \tau, j$ 。

假设各个射击任务的结果是独立的, 则任务量与杀伤期望值呈分段式线性关系, 杀伤期望值的约束条件可表示为: $K_{\tau,j} \leq \delta_{\tau,j} n_{\tau,j}, \forall \tau, j$ 。

3.3 目标分配的线性规划模型

根据输入数据及其各约束条件, 加入对附带损伤的考虑, 即可建立目标分配的线性规划模型^[6]。用 $v_{\tau,j}$ 代表第 j 个网格里的第 τ 类目标的价值, 摧毁目标的总价值为 $\sum_{\tau=1}^T \sum_{j=1}^I v_{\tau,j} K_{\tau,j}$ 。

对有些网格的攻击可能导致对否定目标造成了损伤, 在此使用负价值引导火力攻击任务从这些网格转移开来。用公式表示如下:

$$P_{s,m,i,t,\tau,j}^+ = \begin{cases} P_{s,m,i,t,\tau,j} & \text{if } v_{\tau,j} \geq 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

$$P_{s,m,i,t,\tau,j}^- = \begin{cases} P_{s,m,i,t,\tau,j} & \text{if } v_{\tau,j} < 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

于是: $P_{s,m,i,t,\tau,j} = P_{s,m,i,t,\tau,j}^+ + P_{s,m,i,t,\tau,j}^-, \forall s, m, i, t, \tau, j$ 。

用表示第 m 种弹药的价值 v_m , 于是有:

$$\sum_{\tau=1}^T v_{\tau,j} (P_{s,m,i,t,\tau,j}^+ + P_{s,m,i,t,\tau,j}^-) x_{s,m,i,t,j} \geq V_m x_{s,m,i,t,j}, \forall s, m, i, t, \tau, j \quad (6)$$

价值数组 $\{v_{\tau,j}\}$ 和 $\{V_m\}$ 根据决策者的判断确定, 但目标价值和弹药潜在价值需要用同一种标准来进行度量。在各约束条件下, 追求打击价值最大化, 则可以建立起目标分配模型如下:

$$\max \quad \sum_{\tau=1}^T \sum_{j=1}^I v_{\tau,j} \left(\sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I P_{s,m,i,t,\tau,j}^+ x_{s,m,i,t,j} + \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I P_{s,m,i,t,\tau,j}^- x_{s,m,i,t,j} \right)$$

$$\text{s. t} \quad \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I c_m x_{s,m,i,t,j} \leq B$$

$$\sum_{\tau=1}^T v_{\tau,j} (P_{s,m,i,t,\tau,j}^+ + P_{s,m,i,t,\tau,j}^-) x_{s,m,i,t,j} \geq V_m x_{s,m,i,t,j}, \forall s, m, i, t, \tau, j$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I P_{s,m,i,t,\tau,j} x_{s,m,i,t,j} \leq \delta_{\tau} d_{\tau,j} n_{\tau,j}, \forall \tau, j$$

$$\begin{aligned}
 K_{\tau,j}^- &= \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T P_{s,m,i,t,\tau,j}^- x_{s,m,i,t,j} \leq \delta_{\tau} d_{\tau,j} n_{\tau,j}, \forall \tau, j \\
 \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^I \sum_{t=1}^T e_{s,m} x_{s,m,i,t,j} &\leq f_{s,i} R_s, \forall \tau, i \\
 \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I x_{s,m,i,t,j} &\leq b_{m,i}, \forall \tau, i \\
 x_{s,m,i,t,j} (1 - r_{s,m,i,t,j}) &= 0, \forall s, m, i, t, j \\
 x_{s,m,i,t,j} (1 - l_{s,m}) &= 0, \forall s, m, i, t, j \\
 x_{s,m,i,t,j} &\geq 0, \forall s, m, i, t, j
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

4 算例分析

图3给出了一个100 km × 70 km的战场范围,在其中有许多火力单元,例如在单元区域(35,3),代表自行式榴弹炮图标。图中也显示了许多目标(坦克、用叉表示),同时,每个单元区域内,对应一个目标就有一个否定目标(用圈表示)。坦克的打击价值为10,对应的否定目标价值为相应负数(-10)。还有一个过分打击系数为2,意味着允许火力单元对每个区域实施双重打击。目标分配结果显示多数目标被打击,用黑圈表示,而2个灰色区域(5,18)、(32,17)的目标没有被射击。本例中,总体打击效果的价值为580,是所有肯定目标和否定目标的价值总合。

基于图3分别改变以下初始参数:①增加否定目标价值;②减少过分打击系数;③增加火力单元射程最短目标的价值。可得联合火力打击目标分配结果分别见图4、图5、图6。

首先,将否定目标的价值从-10调整至-27.5,这意味着一种十分谨慎的打击策略,即尽可能避免附带损伤;结果将导致大量打击任务被取消。目标分配结果见图4,仅仅2个作战网格有打击任务,总体打击价值从580锐减至20。假如打击否定目标的负面价值超出30,将没有打击行动发生。

其次,将战场网格的过分打击系数从2减少至0.5,这就意味每个作战区域内,目标打击的期望数目最多只有达到总量的一半;通常是在火力单元密度较低时的一种折中措施。目标分配结果见图5,随着对战场网格目标打击次数的减少,火力对单位网格的打击效果也相应降低。因此,总体打击价值和从580减少到175。

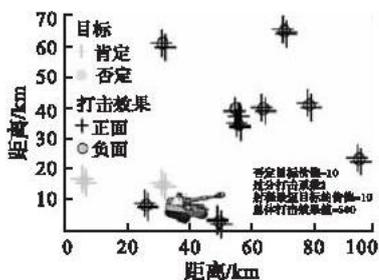
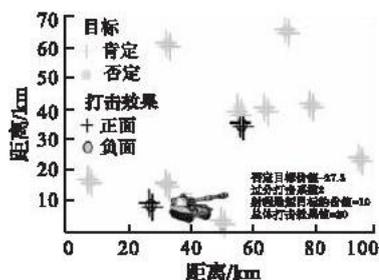
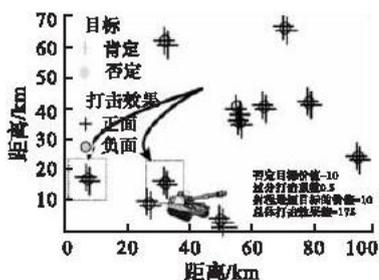


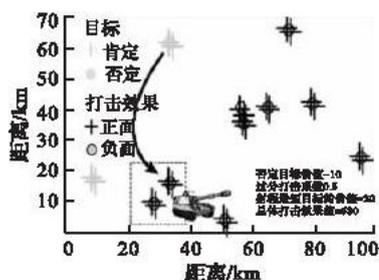
图3 目标初始分配示意图
Fig. 3 Target assignment at first



4 否定目标价值增加时目标分配结果
Fig. 4 Target assignment to the increase of the value of negate target



5 过分打击系数降低时目标分配结果
Fig. 5 Target assingment to the decrease of coefficient of excess attack



6 增加射程最短目标价值时目标分配结果
Fig. 6 Target assignment to the increase of the shorest field of fire

最后,将火力单元射程最短目标的价值从 10 增加至 20,部分打击价值较小目标的火力单元将被重新分配,这意味着一种更风险型的作战决策。图 6 中自行榴弹炮所在网格内的目标价值更高,对比图 3 和图 6,火力单元的打击任务从图 6 中的左上角被重新分配到该网格内目标,相应的总体打击价值和从 580 增加到 680。

5 结束语

本文先分析联合火力打击的循环过程,合理设定了目标分配优化的时间周期;再通过定性分析避免打击平台和弹药的不合适使用,减少打击平台和弹药与目标的配对数;然后将战场划分为网格,降低目标分配方程的复杂性;从而建立起了较为简单、有效的联合火力打击目标分配模型,并进行了算例验证分析。该模型为联合火力打击目标分配优化、制定作战方案提供了定量分析工具。

参考文献:

- [1] 张最良,李长生. 军事运筹学[M]. 北京:军事科学出版社,1993.
ZHANG Zuiliang, LI Changsheng. Military Operation Research [M]. Beijing: Military Science Press,2000. (in Chinese)
- [2] 吕登明. 信息化战争与信息化军队[M]. 北京:解放军出版社,2004.
LÜ Dengming. Informational War and Informational Army [M]. Beijing: Liberate Army Press,2004. (in Chinese)
- [3] Maj Conner, Maj Lambertson, Maj Roberson. Analyzing the Air Operations Center (AOC) Air Tasking Order (ATO) Process Using Theory of Constraints (TOC) [M]. Washington: Department of the Air Force University, 2005.
- [4] Thomas M Kastner. The Joint Fires Element: An Initial Solution [D]. Washington: U. S. Naval War College, 2003.
- [5] James G Taylor. Explicit Analytical Expression for A Lanchester Attrition - Rate Coefficient for Bonder and Farrell's M - Period Target - Engagement Policy [D]. Washington: The Air Force University, 2001.
- [6] Adam J, Hebert. The Baghdad Strikes [J]. Air Force Magazine, 2003, 3(1): 1 - 24.
- [7] 刘学军,徐 洗. 联合火力打击目标毁伤指标分析[J]. 火力与指挥控制, 2004, 10(5): 38 - 40.
LIU Xuejun, XU Guang. Research on Criteria for Target Destruction in Joint Fire Strike [J]. Fire Control and Command Control, 2004, 10(5): 38 - 40. (in Chinese)
- [8] 董树军,张罗政,赵 瑾. 一种武器 - 目标分配模型及求解算法[J]. 火力与指挥控制, 2006, 12(5): 41 - 44.
DONG Shujun, ZHANG Luozheng, ZHAO Jin. A New Weapon - Target Assignment Model and Its Algorithm [J]. Fire Control and Command Control, 2006, 12(5): 41 - 44. (in Chinese)
- [9] Zne Jung Lee, Su Feng Su. Efficient Solving General Weapon Target Assginment Problem by Genetic Algorithms With Greedy Eugenics Systems [J]. International Defense Review, 2003, 33(1): 113 - 121.
- [10] Dolam M H. Command and Control for Joint Air Operations [M]. Washington: Joint Press, 1994.

(编辑:田新华)

Optimal Analysis of Target Assignment Problem in Joint Fire Attack

OUYANG Cai - chao¹, LI Wei - min², YANG Shu - guang³

(1. Artillery College of Chinese People's Liberation Army, Hefei 230031, Anhui, China; 2. Missile Institute, Air force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 3. Campaign Teach - reseach Section, National Defence University of PLA, Beijing 100091, China)

Abstract: Joint fire attack is the most important operation modes in modern wars. Based on the analysis of the joint fire attack's circle process, the optimal time cycle of target assignment is put forward. According to the states of both sides and the battle situation updating, a thinking mechanism for target assignment is established. Connecting with the input variable and the constraint expression, a linear programming model is made up through separating the battlefield into girds to reduce the complexity of target assignment. At the end, an example is given to verify the model. The use of this model can optimize the weapon target assignment, which provides a quantitative analysis tool for setting down the campaign scheme.

Key words: joint fire attack; target assignment; ATO (air tasking order)