

常规导弹联合火力打击统一分配模型研究

金宏, 张如飞

(北京控制与电子技术研究所信息系统工程重点实验室)

摘要: 研究常规导弹参与联合作战过程中目标与火力的统一分配问题。假设在同一波次打击内, 同一弹型导弹携带固定战斗部打击同一类型目标, 它的突防概率、命中概率和毁伤概率不变; 所有打击同一目标的不同弹型导弹的打击都是相互独立的, 对不同目标的打击也是相互独立的。在此基础上, 建立了常规导弹联合火力打击的目标与火力弹型、火力发射单元之间的统一分配模型。

关键词: 联合火力打击; 常规导弹; 统一分配模型

0. 引言

常规导弹在联合火力打击中, 如何紧贴实战需求, 综合提高常规导弹装备的实战能力, 需要解决的问题有: (1) 用于应急作战的到底是哪一弹型导弹? 哪一导弹旅执行任务? 这里有战术应用问题, 也有如何进行作战应用组合问题; (2) 不同弹型导弹的齐射问题, 多个弹型导弹同时采用的作战应用, 不同弹型导弹如何进行组合, 技术上如何实现; (3) 不同地点的多个火力发射单元的齐射问题, 如何进行组合。

常规导弹部队作为一支拥有多弹型的远程火力突击力量, 为了充分发挥装备的作战效能, 在统一制定火力配置时需要对弹型、弹量、导弹旅(或火力发射单元)与目标之间进行科学的匹配, 在一定的作战意图下根据给定的打击目标和现有的武器条件, 将可用的弹型、弹量、导弹旅和火力发射单元最优配置到各个目标上去, 确定打击各目标所使用的弹型和数量, 确定从哪个导弹旅和火力发射单元进行打击, 以追求更快和最优的打击效果。常规导弹火力配置模型的统一建立, 将为导弹部队的作战指挥决策提供科学的依据, 具有重要的实用价值。

本文讨论的目标与火力统一分配是指待打击目标对火力弹型和火力发射单元之间的分配。对于联合火力打击的目标与火力统一分配问题, 涉及到多个打击目标、多个火力弹型和多个火力发射单元之间的相互分配问题, 需要考虑的影响因素很多, 并且存在大量的不确定因素。由于各火力弹型对目标的毁伤概率、风险概率、打击匹配度以及诸目标本身价值的不同, 各火力发射单元对目标的打击时间需求也不一样, 打击目标与火力弹型、火力发射单元之间的分配依照不同的最优化目标要求存在多种方案。如何充分发挥多火力弹型和多火力发射单元的整体优势, 在给定的条件下寻求符合统一分配原则的最佳方案, 使联合火力打击效益最佳, 是本文应重点解决的问题。

1 国内研究现状

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。而火力分配是联合火力打击指挥决策的主要内容。针对联合火力打击的火力分配优化, 由于考虑的因素较多, 优化问题极为复杂。

目前, 针对联合火力打击的目标分配、火力分配和多波次火力打击已有一些研究。刘晓亮等(2010)建立了基于目标毁伤的多弹型多目标火力配置的数学模型及波次规划模型。欧阳才超等(2009)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, 建立了目标分配的、并考虑附带损伤的线性规划模型。王三喜等(2009)结合目标打击的弹药需求和在对抗条件下武器损耗因素, 建立了基于目标的弹药需求计算模型。汪民乐等(2009)研究了多波次对地攻击的火力分配问题。黄伟等(2009)结合联合火力打击行动的战略目的、指挥员的意图和作战阶段等因素, 建立了联合火力打击的火力计划量化评估模型。蒋鸣等(2006)建立了巡航任务规划中的双旅打击多目标火力分配模型。但这些研究都是针对确定的弹型数量来建立数学模型, 没有考虑到有些火力发射单元因其地理位置和目标的移动而不能直接参与作战, 因

此,在联合火力打击的任务规划系统中,适用的弹型和可投入作战的火力发射单元数量、弹型数量和相关的可用的导弹数量是可变的、不确定的。此外,可变的因素还包括不同弹型对不同目标的突防概率、命中概率和毁伤概率等。

在常规导弹联合火力打击中目标与火力的统一分配需要回答两方面的问题:(1)火力配置,即确定打击不同目标需要使用的弹型、战斗部及导弹数量;(2)任务划分,即各导弹旅及火力发射单元所要打击的目标、发射导弹的数量以及使用的作战区。在目前所有论文讨论中火力的分配都没有涉及到导弹旅及火力发射单元的分配。在统一分配模型中需要考虑这些变化因素和导弹旅、火力发射单元的任务划分。

2 火力分配中的符号和变量

2.1 弹型及其分布

火力弹型、火力发射单元是火力统一分配问题的基本要素之一,其特性主要有类别、弹型、弹量、位置、对各种目标的战斗部及毁伤率等。

记 $XH = \{XH_1, XH_2, \dots, XH_n\}$ 表示弹型型号,共有 n 个弹型装备,其中 XH_i 为第 i 个弹型 ($i = 1, 2, \dots, n$); $N = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$ 表示弹型导弹的枚数,其中, N_i 是弹型 XH_i 导弹的枚数。

每个弹型将装备在不同的基地、不同的导弹旅,这里以导弹旅为单位,记 $DDL_i = \{DDL_i^{(1)}, DDL_i^{(2)}, \dots, DDL_i^{(n_i)}\}$ 和 $N_i = \{N_i^{(1)}, N_i^{(2)}, \dots, N_i^{(n_i)}\}$ 分别表示拥有弹型导弹 XH_i 所在的导弹旅及拥有的导弹数,共有 n_i 个导弹旅配置弹型 XH_i , 导弹旅 $DDL_i^{(k_i)}$ 拥有导弹 XH_i 的枚数为 $N_i^{(k_i)}$ ($k_i = 1, 2, \dots, n_i$)。

需要说明的是,同一个导弹旅可能装备有不同弹型的导弹及战斗部,不同弹型装备的导弹旅个数也不尽相同。

2.2 目标

目标是火力统一分配问题的基本要素之一,其特性主要有目标类型、数量、位置、运动特性、价值、威胁程度、易损性以及目标几何特性等。

记 $MB = \{MB_1, MB_2, \dots, MB_m\}$ 表示有 m 个需要打击的目标, $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ 和 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 分别表示这 m 个目标的摧毁价值及需要达到的摧毁概率,其中, V_j 和 P_j 分别是目标 MB_j 的摧毁价值和概率 ($j = 1, 2, \dots, m$)。

这里,目标可以是陆上的固定目标,如机场、建筑、阵地、地下掩体等;也可以是可移动目标,如海上航母等。联合火力打击选择目标时,要在“精”字下工夫,如敌人的作战指挥控制系统、高技术武器系统、后方保障系统、交通枢纽,以及敌有生力量。

3.1 几种概率

记 $P^{(i)} = (p_{ij}^{(i)})$ 、 $P^{(m)} = (p_{ij}^{(m)})$ 和 $P^{(n)} = (p_{ij}^{(n)})$ 分别表示不同弹型导弹对不同目标的突防概率矩阵、命中概率矩阵和毁伤概率矩阵,其中, $p_{ij}^{(i)}$ 、 $p_{ij}^{(m)}$ 和 $p_{ij}^{(n)}$ 分别表示弹型 XH_i 对目标 MB_j 的突防概率、命中概率和毁伤概率 ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$)。

需要说明的是,对于任何一个预先可以确定的目标,采用那种战斗部进行打击也是可以预先确定的,这样采用哪种弹型进行打击所得到的毁伤概率也是可以预先确定的。

2.3 联合火力分配矩阵

记 $N = (N_{ij})$ 和 $X = (x_{ij})$ 分别表示不同弹型导弹对不同目标打击的可分配导弹个数的上限分布矩阵和实际火力分配矩阵,其中, N_{ij} 表示可分配导弹 XH_i 打击目标 MB_j 的导弹个数上限; x_{ij} 是实际计划分配弹型 XH_i 用于打击目标 MB_j 的枚数。

这里, $N_{ij} \leq N_i$, N_{ij} 是不确定的,是随着战局的变化、目标位置的变化、时间的变化而变化,取决于

弹型的主打目标、目标的性质和重要性、目标的位置和打击的紧迫性。比如，某弹型主要用来打击海上移动目标，某弹型主要用来打击陆上固定目标；当目标在某弹型导弹的射程之外，特别是可移动的目标在一定时间内可能逃离该弹型导弹的有效打击范围时，就没有必要安排该阵地的弹型导弹来打击已逃离出其射程之外的目标。

2.4 典型弹型火力分配矩阵

当完成联合火力统一分配之后，需要对同一弹型导弹进行典型弹型火力的统一分配。同一弹型导弹可能装备在不同导弹旅或不同基地，有的距离目标近，有的距离目标远，他们在打击同一目标时所需要的导弹飞行时间也不相同，这时就需要对同一弹型导弹所在的导弹旅进行目标统一分配。

(1) 典型弹型火力打击分配矩阵

记 $N_i = (N_i^{(k_i, J)})$ 和 $Y_i = (y_i^{(k_i, J)})$ 分别表示典型弹型导弹 XH_i 对不同目标打击的可选的导弹枚数上限分布矩阵和实际枚数的分配矩阵，其中， $N_i^{(k_i, J)}$ 分别是导弹 XH_i 的第 k_i 个导弹旅 $DDL_i^{(k_i)}$ 可用于打击目标 MB_j 的该弹型导弹的枚数上限， $y_i^{(k_i, J)}$ 是实际分配的枚数。

(2) 典型弹型火力打击时间需求矩阵

记 $T_i = (t_i^{(k_i, J)})$ 分别表示典型弹型导弹 XH_i 对不同目标打击所需的时间矩阵，其中， $t_i^{(k_i, J)}$ 是弹型导弹 XH_i 所在的第 k_i 个导弹旅 $DDL_i^{(k_i)}$ 用于打击目标 MB_j 所需的时间。

3 统一分配计算模型

3.1 基本假设

(1) 在同一波次打击内，在不同导弹旅的同一弹型导弹装载相同战斗部打击同一目标，其毁伤概率相同；此外，同一弹型导弹打击同一目标的突防概率相同，命中概率也相同。

(2) 每枚导弹对同一目标的打击都是相互独立的，无论是从同一个导弹旅或从同一火力发射单元发射，无论是同一弹型导弹还是不同弹型导弹的打击；此外，对不同目标的打击也是相互独立的。

3.2 有效毁伤概率的计算

以目标 MB_j 为例，计算 MB_j 被摧伤的概。按联合火力统一分配矩阵，假设共有 x_{1j} 枚导弹 XH_1 、 x_{2j} 枚导弹 XH_2 、...、和 x_{nj} 枚导弹 XH_n 用于打击目标 MB_j 。

在考虑突防概率、命中概率和毁伤概率情况下，目标 MB_j 被一枚导弹 XH_i 有效毁伤的概率为这三类概率的乘积：

$$p_{ij}^{(1)} = p_{ij}^{(t)} p_{ij}^{(m)} p_{ij}^{(h)}$$

在每枚导弹相互独立打击的假设下，目标 MB_j 在 x_{ij} 枚导弹 XH_i 的联合打击下没有被毁伤的概率为：

$$\bar{p}_{ij}^{(n_j)} = (1 - p_{ij}^{(1)})^{x_{ij}} = (1 - p_{ij}^{(t)} p_{ij}^{(m)} p_{ij}^{(h)})^{x_{ij}}$$

在不同弹型导弹相互独立打击的假设下，用目标 MB_j 在 x_{1j} 枚导弹 XH_1 、 x_{2j} 枚导弹 XH_2 、...、和 x_{nj} 枚导弹 XH_n 的联合打击下被毁伤的概率为：

$$p_j = 1 - \prod_{i=1}^n \bar{p}_{ij}^{(x_{ij})} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{ij}^{(t)} p_{ij}^{(m)} p_{ij}^{(h)})^{x_{ij}}$$

3.3 目标优化指标函数

3.3.1 联合火力分配

考虑目标价值的方案。联合火力分配策略是：通过对弹型和目标的联合统一分配 $\{x_{ij}\}$ ，使得所摧毁的

目标的总价值越高越好。用函数表示就是：

$$f_1 \{x_{ij}\} = \sum_{j=1}^m (V_j p_j) = \sum_{j=1}^m \left\{ V_j \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{ij}^{(t)} p_{ij}^{(m)} p_{ij}^{(h)})^{x_{ij}} \right] \right\}$$

3.3.2 典型弹型火力分配

为了达到联合打击的突然性和快速性，在同一波次打击中，要求所有弹型、所有导弹参与作战的总飞行时间越少越好。典型弹型火力分配策略是：通过对导弹旅（或火力发射单元）和目标的联合统一分配分配 $\{y_i^{(k_i, j)}\}$ ，使得联合打击所花费的总时间越少越好。用函数表示就是：

$$f_2 \{y_i^{(k_i, j)}\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k_i=1}^{n_i} \{t_i^{(k_i, j)} y_i^{(k_i, j)}\}$$

3.4 最优化问题及约束条件

最优准则及约束条件是解决火力统一分配问题的基本要素之一。在联合火力统一分配中，如何对弹型和目标之间的火力分配 $\{x_{ij}\}$ ，以及如何对典型弹型所在的导弹旅（或火力发射单元）和目标之间的火力分配 $\{y_i^{(k_i, j)}\}$ ，对目标的毁伤价值(或毁伤的目标数)要大，火力发射单元打击目标的匹配性要高，打击风险性要低，尽可能在很短的时间内予以快速打击，完成联合火力打击任务。

3.5 联合火力分配

(1) 考虑目标的价值

求目标优化指标函数的极大值：

$$\max_{i, j} \{f_1 \{x_{ij}\}\}$$

其中，约束条件是：

$$x_{ij} \in \{0, 1, 2, \dots, \bar{N}_{ij}\}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq N_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

(2) 考虑目标的毁伤需求

求目标优化指标函数的极小值：

$$\min_{i, j} \{f_1 \{x_{ij}\}\}$$

其中，约束条件是：

$$x_{ij} \in \{0, 1, 2, \dots, \bar{N}_{ij}\}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq N_i$$

$$1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{ij}^{(t)} p_{ij}^{(m)} p_{ij}^{(h)})^{x_{ij}} \geq P_j$$

3.6 典型弹型火力分配

求目标优化指标函数的极小值:

$$\min_{i,j,k_1,k_2,\dots,k_n} \left\{ f_2 \left\{ y_i^{(k_i,j)} \right\} \right\}$$

其中, 约束条件是:

$$y_i^{(k_i,j)} \in \left\{ 0, 1, 2, \dots, \min \left\{ \bar{N}_i^{(k_i,j)}, x_{ij} \right\} \right\}$$

$$\sum_{j=1}^m y_i^{(k_i,j)} \leq N_i^{(k_i)}$$

$$\sum_{k_i=1}^{n_i} y_i^{(k_i,j)} = x_{ij}$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; k_i = 1, 2, \dots, n_i)$$

4 结束语

本文讨论了常规导弹参与联合作战时目标与火力的统一分配问题, 建立了统一火力分配计算模型。在统一火力分配模型中, 考虑了可用的弹型及其导弹数量的不确定性, 结合导弹造价、目标毁伤代价、目标毁伤程度和作战时间等要求, 建立了联合火力和典型弹型火力的优化指标函数。在统一火力分配优化模型中, 一方面尽量要求所消耗的弹量越少越好, 要求所打击的目标价值越高越好, 同时满足所打击目标的毁伤要求; 另一方面, 要求导弹旅及火力发射单元的打击时间越短越好, 达到速战速决的目的。

统一分配模型在弹量满足条件的情况下, 确保完成对目标的联合打击任务要求, 同时也可以在完成打击任务要求的前提下尽量节省弹量。对增强常规导弹任务分配的科学性、合理性, 避免弹药或兵力的浪费, 更好地发挥常规导弹部队的作战效能, 提高作战效果具有非常重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 刘晓亮, 谭守林, 杨宁. 基于目标毁伤情况的常规导弹作战波次规划模型[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(12): 121-124.
- [2] 欧阳才超, 李为民, 阳曙光. 联合火力打击目标分配[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2009, 10(3): 50-54.
- [3] 王三喜, 俞杰, 夏新民. 联合火力打击弹药需求计算动态模型研究[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(1): 100-102.
- [4] 汪民乐, 房茂燕. 基于改进单亲 GA 的多波次攻击最优火力分配[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(23): 7697-7699.
- [5] 黄伟, 周奕, 王燕. 联合火力打击中常规导弹作战集团火力计划的量化评估研究[J]. 兵工自动化, 2009, 28(7): 6-8.
- [6] 蒋鸣, 沈生, 刘树文. 巡航双旅打击多目标火力分配优化[C]. 中国系统工程学会第十四届学术年会, 2006: 479-484.