

# 多型导弹协同对海突击任务规划模型研究

宋 剑<sup>1</sup>, 许二旭<sup>1</sup>, 章 良<sup>2</sup>

<sup>1</sup>91976部队, 广东 广州

<sup>2</sup>91047部队, 福建 福州

收稿日期: 2022年11月12日; 录用日期: 2022年12月6日; 发布日期: 2022年12月14日

## 摘 要

科学规划多型导弹协同对海突击任务, 对提升指挥员指挥控制能力具有重要的军事意义。由于各武器平台特点迥异, 多型导弹的协同火力分配问题非常复杂, 综合考虑各平台与导弹的性能特点, 依据重创敌单艘舰的基本条件以及各型反舰导弹的成爆弹量, 运用线性规划模型进行计算, 以实现最优的打击效果, 在实战中提高多种导弹联合打击敌舰的效能。

## 关键词

重创概率, 成爆弹量, 线性规化

# The Research on the Mission Planning Model of Multi Missile Cooperative Sea Assault

Jian Song<sup>1</sup>, Erxu Xu<sup>1</sup>, Liang Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>91976 Troops of PLA, Guangzhou Guangdong

<sup>2</sup>91047 Troops of PLA, Fuzhou Fujian

Received: Nov. 12<sup>th</sup>, 2022; accepted: Dec. 6<sup>th</sup>, 2022; published: Dec. 14<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Scientific planning of multi missile coordinated sea assault mission is of great military significance for improving commanders' command and control capability. Due to the different characteristics of various weapon platforms, the problem of cooperative fire distribution of multiple missiles is complex. Considering the performance characteristics of each platform and missile, the linear programming model is used to calculate according to the basic conditions of heavy damage to the enemy's single ship and the explosive amount of each anti-ship missile, so as to achieve the optimal strike, and improve the effectiveness of multiple missiles in joint strike against enemy ships.

## Keywords

### Probability of Heavy Damage, Damage Demand, Linear Programming

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

单一的武器装备系统已经很难适应信息化条件下作战的要求，对海突击需置于“合”的环境当中，以合制敌才能保持作战优势。综合运用海、空、岸导力量发射多种导弹联合打击敌舰，使实战效能的优势得到充分的发挥。而武器装备的运用受到诸多因素的制约，如果规划不当，在实战中就发挥不了优势。[1]如何从战术上科学制定多型导弹协同对海突击方案是提高导弹对敌海上舰艇联合突防效能的关键，对于指挥员提升对多型导弹指挥的控制能力具有重要的军事意义。

由于各武器平台特点迥异，多型导弹的协同火力分配问题非常复杂，目前对海突击规划问题较多的运用在目标分配、航路规划、时间规划等方面，本文综合考虑各平台与导弹的性能特点，立足导弹协同需要建立火力分配模型，根据重创敌单艘舰的基本条件以及各型反舰导弹的成爆弹量，分析突防后能够造成重创的配弹组合。运用线性规划模型计算重创敌单舰需要发射相应型号导弹的分配方案，最终确定红方各型导弹对蓝方不同防空手段的突防概率。该模型对作战行动进行数学分析和验证的方法更贴近实战，对比分析的结果验证了方法的有效性。

## 2. 问题描述

为充分发挥联合火力打击中导弹的作战效能，在制定联合火力打击计划时需要在对敌方防空平台的武器装备性能及防空能力进行科学分析的基础上，对己方弹型、弹量、火力发射平台的阵位配置、突击时空协同等进行计算，以实现最优的打击效果。[2]在上述分析的基础上，探讨采用反舰导弹的最佳组合，以使采用最少导弹数达成齐落打击敌舰。

建模做如下假设：

- 1) 敌舰使用中远程防空导弹、无源干扰、有源干扰、密集阵等防空手段对红方导弹实施反制拦截，主要针对单舰防空策略，暂不研究协同防空问题。
- 2) 红方各火力平台同一时刻的发射导弹数量不受限制，不考虑各导弹航路转弯点。
- 3) 轰炸机发射阵位入射角与其他平台入射角不同，即不选择在同一火力线上即可。
- 4) 敌方的防控策略已给定。即对每枚来袭导弹在远中距和中近距两层多波次防空拦截过程按照每层 1 拦 1 的策略进行拦截。对不同批反舰导弹分配拦截弹顺序按照导弹被探测时刻的先后顺序，探测时刻相同则按照入射角度顺时针顺序分配；对同一批反舰导弹的拦截弹分配按照先远中距、后中近距的层次顺序进行分配，每一层次内的多波次拦截按照由远及近进行分配。[3]
- 5) 不考虑红方导弹抵近发射，默认排除蓝方导弹杀伤区的范围以内发射。
- 6) 敌舰航向、位置已知。

## 3. 目标函数设计

通过分析，模型可以分为以下几步解答：

第一步：计算重创敌舰的配弹组合，即突防后的导弹最低配弹需求。

第二步：计算达到重创敌舰需要发射相应型号导弹的分配方案，从得出的方案中选取最优用弹策略。

第三步：确定红方火力计划。解算流程图如图 1 所示。

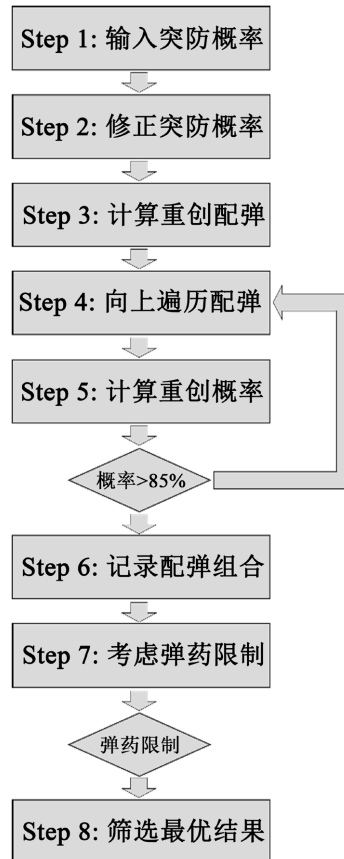


Figure 1. Solution flow chart  
图 1. 解算流程图

### 3.1. 模型建立

#### 3.1.1. 重创敌舰的配弹组合

成爆弹量是指命中舰船的导弹数量应超过指定枚数，即满足以下条件才能达到对敌舰打击达到重创程度。[4]

$$\sum_{i=1}^4 \frac{n_i}{D_i} \geq 1 \tag{1}$$

其中， $D_i$  表示 A- $i$  反舰导弹的成爆弹量， $n_i$  表示 A- $i$  反舰导弹的命中弹量， $i = 1, 2, 3, 4$ 。

#### 3.1.2. 重创蓝舰需要发射相应型号导弹的分配方案

假设已知  $A_i$  类反舰导弹(A-1, A-2, ..., A- $i$ )要打击 1 个目标，第  $i$  个反舰导弹对敌目标的打击效能为  $C_i$ ，用  $x_i$  表示反舰导弹对地目标的分配方案，即

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{当第 } i \text{ 个反舰导弹被分配给敌目标时} \\ 0 & \text{当第 } i \text{ 个反舰导弹未被分配给敌目标时} \end{cases}$$

现在已求得的条件是重创敌舰的配弹组合, 要得到红方发射导弹的数量  $M$ 。目标就是这个函数的最小值, 即

$$\min G = \sum_{i=1}^{A_i} \sum_{i=1}^n N_i x_i \quad (2)$$

约束条件为:

$$\begin{cases} N_1 \leq M_1 & (3) \\ N_2 \leq M_2 & (4) \\ N_3 \leq M_3 & (5) \\ \vdots & \\ N_{A_i} \leq M_{A_i} & (6) \\ \sum_n^m C_n^m P^m (1-P)^{n-m} > 0.85 & (7) \end{cases}$$

其中假设红方发射  $n$  枚弹, 每枚弹命中的概率是  $P$ , 若要突防不少于  $m$  枚弹。

### 3.1.3. 确定红方火力计划

已知  $T$  为红方反舰导弹齐落时刻, 确定发射时刻  $T - T'$ 。

$$T' = \frac{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{v \times 1224} \quad (8)$$

通过火力发射时刻完成火力计划。

## 3.2. 模型分析

### 3.2.1. 约束条件的含义

约束条件(3)是 A-1 反舰导弹的总数不应超过  $M_1$  枚。

约束条件(4)是 A-2 反舰导弹的总数不应超过  $M_2$  枚。

约束条件(5)是 A-3 反舰导弹的总数不应超过  $M_3$  枚。

约束条件(5)是 A- $i$  反舰导弹的总数不应超过  $M_{A_i}$  枚。

约束条件(7)确保突防不少于  $m$  枚弹命中的概率大于 0.85。

$n$  枚弹突防不少于  $m$  枚的概率如下:

仅打中  $m$  枚弹, 概率为  $C_n^m P^m (1-P)^{n-m}$ ,

仅打中  $m + 1$  枚弹, 概率为  $C_n^{m+1} P^{m+1} (1-P)^{n-m-1}$ ,

.....

仅打中  $n$  枚弹, 概率为  $C_n^n P^n (1-P)^{n-n}$ ,

因此突防不少于  $m$  枚弹命中的概率, 只需对上述情况求和即可, 即  $\sum_n^m C_n^m P^m (1-P)^{n-m}$ 。

### 3.2.2. 突防概率

在不考虑多波次拦阻后来弹减少引起的拦截概率的动态变化的条件下,

突防概率 = 中远距离突防概率 \* 有源 \* 无源 \* 中近距离突防概率 \* 密集阵突防概率[5]。

### 3.2.3. 符号说明

本文中用到的公共符号如表 1 所示, 各问题分别用到的符号在各章中均有说明。

**Table 1.** Symbol description**表 1.** 符号说明

变量符号	符号含义变量说明
$D_i$	A-i 反舰导弹的成爆弹量
$x_i$	反舰导弹对地目标的分配方案
$N_i$	A-i 反舰导弹的总数
$P_{ij}$	1 枚红方 A-i 反舰导弹对蓝方 1 枚 FK-j 防空导弹的突防概率
$P'_{ij}$	$m$ 枚 FK-j 防空导弹拦截 $n$ 枚 A-i 反舰导弹, 每枚 A-i 反舰导弹对该批防空导弹的突防概率
$(x, y)$	位置坐标
$v_{A-i}$	A-i 反舰导弹的速度

#### 4. 实验与分析

红方岸导部队、航空兵和驱护舰接到上级命令, 对 1 艘蓝方舰艇进行合同突击。2 个岸导部队分别部署 A-3 型反舰导弹 12 枚、16 枚。红方航空兵分别部署于 4 个机场(部署 4 架飞机和 A-4 反舰导弹 16 枚、2 架飞机和 A-4 反舰导弹 20 枚、2 架飞机和 A-4 反舰导弹 20 枚、4 架飞机和 A-4 反舰导弹 16 枚 A-4 反舰导弹)。蓝方远中距拦截分配拦截弹的优先级依次为 F-2 防空导弹、F-1 防空导弹, 中近距使用 F-3 防空导弹。

第一步, 通过四型反舰导弹的成爆弹量, 分析突防后能够造成重创的配弹组合, 如表 2 所示。

**Table 2.** Ammunition combination of severely attacking enemy ships**表 2.** 重创敌舰的配弹组合

策略	导弹类型			
	A-1 反舰导弹(枚)	A-2 反舰导弹(枚)	A-3 反舰导弹(枚)	A-4 反舰导弹(枚)
策略 1	0	0	0	3
策略 2	0	0	1	2
策略 3	0	0	2	0
策略 4	0	1	0	2
策略 5	0	1	1	0
策略 6	0	2	0	0
策略 7	1	0	0	2
策略 8	1	0	1	1
策略 9	1	0	2	0
策略 10	1	1	0	1
策略 11	1	1	1	0
策略 12	1	2	0	0

Continued

策略 13	2	0	0	1
策略 14	2	0	1	0
策略 15	2	1	0	0
策略 16	3	0	0	0

第二步，确定重创蓝舰需要发射相应型号导弹的分配方案，给出具体用弹策略及对应重创概率，如表 3 所示。

Table 3. Missile allocation scheme

表 3. 导弹的分配方案

序号	配弹组合 (至少命中数量)	A-1 数量 (枚)	A-2 数量 (枚)	A-3 数量 (枚)	A-4 数量 (枚)	重伤概率	完成重伤概率的总弹量
1	1 枚 A-3 2 枚 A-4	—	—	12	2	0.8528	46
2		—	11	35	—	0.8604	
3		—	12	34	—	0.8674	
4	1 枚 A-2	—	13	33	—	0.8705	46
5	2 枚 A-4	—	14	32	—	0.8703	
6		—	15	31	—	0.8672	
7		—	16	30	—	0.8616	
8		15	—	—	33	0.8575	
9		16	—	—	32	0.8629	
10		17	—	—	31	0.8655	
11	1 枚 A-1 2 枚 A-4	18	—	—	30	0.8656	48
12		19	—	—	29	0.8632	
13		20	—	—	28	0.8586	
14		21	—	—	27	0.8518	
15	2 枚 A-1	23	—	—	25	0.8534	48
16	1 枚 A-4	24	—	—	24	0.8632	
17		16	12	—	21	0.8529	
18		16	13	—	20	0.8544	
19		16	14	—	19	0.8544	
20	1 枚 A-1	17	11	—	21	0.8515	49
21	1 枚 A-2	17	12	—	20	0.8556	
22	1 枚 A-4	17	13	—	19	0.8560	
23		17	14	—	18	0.8530	
24		18	11	—	20	0.8527	

Continued

25		18	12	—	19	0.8557	
26		18	13	—	18	0.8547	
27	1枚 A-1	18	14	—	17	0.8502	
28	1枚 A-2	19	11	—	19	0.8514	
29	1枚 A-4	19	12	—	18	0.8531	
30		19	13	—	17	0.8506	
31		16	16	12	—	0.8724	
32	0枚 A-1	17	15	12	—	0.8652	44
33	1枚 A-2	17	16	11	—	0.8522	
34	1枚 A-3	18	14	12	—	0.8564	
35		—	14	12	18	0.8564	
36	1枚 A-2	—	15	12	17	0.8652	44
37	1枚 A-3	—	16	11	17	0.8522	
38	0枚 A-4	—	16	12	16	0.8724	

目的是要求发射导弹数量尽可能少，即  $\min\{\text{完成重伤概率的总弹量}\} = 44$  枚。

从满足 44 枚的方案中选择重伤概率最高的， $\max\{\text{重伤概率}\} = 0.8724$ 。因此，确定发射 A-2 反舰导弹 16 枚和 A-3 反舰导弹 12 枚，配以 16 枚 A-1 反舰导弹或 A-4 反舰导弹 16 枚为解。

第三步，确定红方火力计划，见表 4 所示。

**Table 4.** Red side fire plan

**表 4.** 红方火力计划

平台(编号)	导弹型号	导弹数量	任务成功率
3 号舰	A-2 反舰导弹	16	96.65%
岸舰导弹 A	A-3 反舰导弹	12	90.26%
2 号舰	A-1 反舰导弹	16	100%

## 5. 结论

多型导弹协同对海突击任务规划问题是当前值得研究的一个重大课题，其中规划问题是关键环节。本文通过建立线性规划模型，对作战行动过程进行数学分析和仿真验证，给出了针对敌舰防空策略下，红方对应的火力计划。模型以贴近实战为第一宗旨，依据敌我双方各型兵力平台的特点和战技术性能，着眼提升基于信息系统的体系作战能力。[6] [7]

模型的三个步骤直观反应了作战的现实情况，是多型导弹协同对海突击任务战法的有力补充，下一步可继续细化作战行动的建模分析，依据各型平台的详细战术技术性能和特点，增加目标函数的仿真计算循环次数，使计算结果更加准确和全面。深化考虑敌舰协同下，调整算法使得算法能够支持更多舰船协同拦截的拟合。从而延伸程序的可扩展性，使得模型算法更贴近实战，反馈实战，解决实战问题。

---

## 参考文献

- [1] 姚禹正, 余文斌, 杨立军, 等. 多导弹协同制导技术综述[J]. 飞航导弹, 2021(6): 112-121.
- [2] 温广辉, 吕跃祖, 刘照辉, 等. 多导弹协同作战中的分布式协调控制问题[J]. 指挥与控制学报, 2021, 7(2): 137-145.
- [3] 朱宇光, 张兴有. 智能化反舰导弹突击群协同作战方法及效率[J]. 兵工自动化, 2022, 41(8): 1-4+19.
- [4] 曾家有, 刘天庆, 谢宇鹏. 空舰导弹与岸舰导弹协同对海突击火力分配模型[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(6): 163-169.
- [5] 任东彦, 刘文宝, 陈国良. 水面舰艇编队遭导弹多波次攻击时减员预计模型[J]. 第二军医大学学报, 2020, 41(9): 1037-1040.
- [6] 宋海凌. 导弹对水面舰艇突防及毁伤能力计算方法研究[J]. 兵工学报, 2015, 36(2): 77-82.
- [7] 谭乐祖, 张峥, 张仲元. 多型反舰混合攻击异型舰艇编队多目标整数规划火力分配模型[J]. 兵工自动化, 2016, 35(8): 47-49+70.