

封锁战役中攻势布雷任务优化分配模型

董世海

(中国人民解放军92942部队, 北京100161)

摘要 攻势布雷任务优化分配是提高水雷障碍封锁作战的效费比的关键。从分析攻势布雷任务的基本问题和封锁特性出发, 针对攻势布雷任务计划拟制中涉及到的出航地、布雷平台、水雷、敌港口目标等要素, 采用规划论的方法, 分别对最大限度节省资源投入和现有资源的利用最大化这2类问题构建了攻势布雷任务优化分配模型。探讨了模型内的有关数据筛选问题, 并通过某典型案例验证了模型方法。

关键词 攻势布雷; 任务分配; 优化模型

中图分类号 E925.2

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2020)02-0094-06

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2020.02.002

Optimal Allocation Model of Offensive Mine-laying Operation in Blockade Campaign

DONG Shihai

(Unit 92942 of PLA, Beijing 100161, China)

Abstract The optimal allocation of offensive mine-laying operation (OMLO) is the key to improve the benefit-cost of mine obstruction. Based on the analysis of fundamental problems of OMLO and blockade characteristics, the naturalization method is adopted for elements such as sailing place, mine platform, mines and enemy port targets involved in the OMLO plan. Then, the optimal allocation model of OMLO on maximizing resource investment and maximizing the utilization of existing resources has been built respectively. This paper also discusses the data screening problem of the model which has been verified by typical case.

Key words offensive mine-laying; task allocation; optimization model

0 引言

海上封锁战役中,水雷障碍封锁配系是整个封锁体系的重要组成部分,可以达成一定的战略、战役目的,对战争全局产生重大影响,实现“不战而屈人之兵”。攻势布雷作战行动涉及大量的布雷兵力、作战支援保障兵力的使用,以及水雷武器的消耗。由于布雷平台和水雷的类型数量、出航港口或机场、被封锁的敌港口目标、封锁程度等不同,构成了数量巨大的布雷任务分配组合。布雷任务分配组合的合理与否将直接影响到整个障碍封锁配系

的作战效能。

国内目前对于任务分配优化模型研究有一定的基础,但主要集中于火力打击领域^[1-4]或运输任务^[5];对于布雷任务,主要集中于水雷障碍战术层级的毁伤计算^[6-8],也有提出建设布雷决策系统的构想^[9],提出系统框架结构,但未建立相关具体数学模型;对于战役层级水雷障碍封锁任务分配或封锁评估的研究相对较少。从战争的消费比和封锁战役的可维持性来看,必须对攻势布雷作战任务进行优化设计,实现水雷障碍封锁的高效费比;从封锁战役筹划的角度,应自足现有的布雷兵力、水雷兵

器情况, 准确衡量障碍封锁能力, 合理确定水雷障碍的封锁指标。因此, 使用规划论的方法对封锁作战中攻势布雷任务进行优化分配, 具有一定的应用价值。

1 攻势布雷任务分配问题分析

1.1 基本问题

海上封锁战役中, 会赋予水雷障碍具体的封锁指标, 或完全由水雷障碍来达成封锁战役指标。攻势布雷任务优化分配问题分为 2 类: 1) 最大限度节省资源投入问题, 即当现有水雷兵器和布雷兵力充足, 可达成规定的封锁指标, 寻求成本最小时的任务规划问题; 2) 现有资源的利用达到最大化问题, 即当现有水雷兵器或布雷兵力不足, 无法达成规定的封锁指标, 寻求封锁效能最大时的任务规划问题。基本问题就是上述 2 类情况下, 选择各机场或港口所部署的何种类型布雷平台, 以及选用何种类型的水雷对敌港口实施水雷障碍封锁的任务分配问题。目的是求出布雷兵力的任务分配矩阵, 假设我方自港口或机场 i 使用 j 型布雷平台对敌港口 l 布设 k 型水雷的数量为 n_{ijkl} , 则矩阵 $N = [n_{ijkl}]$ 即为布雷任务分配矩阵。

1.2 要素间相互影响关系分析

封锁战役中攻势布雷任务优化分配的目的就是如何发挥整体优势, 把我方水雷布设至敌方港口外, 达到最大的障碍封锁效果。可把各港口运输舰船所通过的水雷障碍区触雷概率作为联系布雷任务和封锁效果之间的中间变量来看, 原因有 2 个: 1) 封锁效果用敌航运的下降程度来表示, 敌航运的下降是由于受到水雷障碍的威慑和毁伤造成的, 可用触雷概率的大小进行测算; 2) 各港口的触雷概率大小可转化为对布设于该雷区的水雷类型和数量的需求, 以及对布雷平台类型和数量的需求。由于敌港口的防御重点、严密程度不同, 导致不同港口或机场出航的各型布雷平台所面临的威胁程度不同、布雷成本也不同, 所以, 要求必须结合敌各港口防御和航运实际以及地理环境特点来对布雷平台的使用、水雷的选择进行优化。

1.2.1 触雷概率与航运降低程度之间的函数关系

由于组成各港口航运系统的船舶性质、类型、数量等不同, 所以各港口的航运降低程度与触雷概率之间的函数关系不同。水雷障碍对敌运输舰船的作用体现为威慑和毁伤, 分 2 步进行分析: 1) 对不同的触雷概率下, 因威慑而停运的各型舰船比例可采用效果期望理论或累积前景理论进行定量分析, 建立单港口因水雷威慑而导致的航运降低程度与触雷概率之间的曲线关系, 进而拟合出其分布函数 $Q(P)$; 2) 综合水雷威慑和毁伤对运输舰船的影响, 当触雷概率为 P 时航运的总下降程度为

$$D(P) = Q(P) + (1 - Q(P)) * P \quad (1)$$

1.2.2 触雷概率与水雷数量之间的函数关系

通常认为, 对敌进行封锁攻势布雷的雷区为不规则水雷障碍。水雷在全雷区范围内大体上是均匀分布的, 所以敌运输船在雷区内遭遇水雷的概率可選用泊松公式表示, 则敌在雷区中触雷概率为

$$P = 1 - e^{-\lambda\omega} \quad (2)$$

式中: λ 为水雷障碍区内水雷平均密度; ω 为舰船穿过雷区的面积, 即 $\omega = 2 \times r \times s$, r 为水雷打击半径, s 为舰船在雷区中的航程。

因水雷障碍区必须有足够的遮拦宽度 B , 以确保对港口的全面封锁; 敌运输舰船在雷区中航行, 必定以垂直穿过雷区为其首选, 此时遭受的水雷威胁最小。敌舰船在雷区中的航程 s 即等于水雷障碍区的纵深, 则需处于战斗状态的水雷数量 n 与触雷概率 P 的关系为

$$n = -\frac{\ln(1-P) \times B}{2r} \quad \text{或} \quad P = 1 - e^{-\frac{2nr}{B}} \quad (3)$$

2 攻势布雷任务优化分配模型构建

攻势布雷任务优化分配问题可抽象为整数规划问题, 以整数规划作为任务分配模型的核心理论。

2.1 第 1 类问题的模型构建

2.1.1 确定目标函数

根据对资源投入的不同理解, 可初步确定为 3 类基本的目标函数, 可单独使用或组合使用。

1) 最小化的布雷平台总出动价值。

$$\min Z_1 = \sum_{\substack{i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J \\ k=1,2,\dots,K, l=1,2,\dots,L}} \frac{n_{ijkl} \times DV_{jl}}{D_{jk}} \quad (4)$$

式中： Z_1 表示最小的布雷平台总出动价值； I 、 J 、 K 、 L 分别表示我方港口或机场、布雷平台型号、水雷型号、敌方港口的总数； DV_{jl} 表示 j 型单布雷平台至敌港口 l 执行1次布雷任务的出动价值； D_{jk} 表示 j 型单布雷平台可载 k 型水雷的数量（假定单布雷平台每次执行布雷任务时只载1个型号的水雷，且同型布雷平台载同型水雷的数量相等）。

2) 最小化的布雷平台总损耗价值。

$$\min Z_2 = \sum_{\substack{i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J \\ k=1,2,\dots,K, l=1,2,\dots,L}} \frac{n_{ijkl} \times WA_{ijl} \times DW_j}{D_{jk}} \quad (5)$$

式中： Z_2 表示最小的布雷平台总损耗价值； WA_{ijl} 表示 j 型布雷平台自港口或机场 i 出航对敌港口 l 执行布雷任务的战损率； DW_j 表示 j 型单布雷平台被击毁时损耗价值。

3) 最小化的水雷总投入价值。

$$\min Z_3 = \sum_{\substack{i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J \\ k=1,2,\dots,K, l=1,2,\dots,L}} n_{ijkl} \times DM_k \quad (6)$$

式中： Z_3 表示最小的水雷总投入价值； DM_k 为单枚 k 型水雷的价值。

2.1.2 确定约束条件

1) 封锁指标约束。

$$\sum_{l=1,2,\dots,L} D(P_l) \times H_l \geq G \quad (7)$$

式中， $D(P_l)$ 表示敌港口 l 航运下降程度与所遭遇水雷障碍的触雷概率 P_l 之间的函数关系。

$$D(P_l) = Q(P_l) + (1 - Q(P_l)) \times P_l \quad (8)$$

关于 P_l 与水雷数量 n_l 之间的函数关系分析如下：

$$P_l(n_l) = 1 - e^{-\frac{\sum_{\substack{i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J \\ k=1,2,\dots,K}} (2 \times r_{kl} \times n_{ijkl} \times SU_{ijkl} \times IN_{ijkl} \times AC_{ijkl} \times AP_{ijkl})}{B_l}} \quad (9)$$

式中： r_{kl} 为 k 型水雷在敌港口 l 外水文地理环境下的打击半径； B_l 为封锁港口 l 的水雷障碍遮拦宽度； SU_{ijkl} 、 IN_{ijkl} 、 AC_{ijkl} 、 AP_{ijkl} 分别表示由港口或机场 i 出航的 j 型布雷平台对敌港口 l 布设 k 型

水雷的布雷行动成功率、水雷完好率、进入战斗状态且定次为1的水雷比例、打击概率， $0 \leq SU_{ijkl}$ 、 IN_{ijkl} 、 AC_{ijkl} 、 $AP_{ijkl} \leq 1$ 。

H_l 表示敌港口 l 的航运量占被封锁方总航运量的比重，可列式： $H_l = HT_l / \sum_{l=1}^L HT_l$ 进行计算， HT_l 为港口 l 的航运量。

G 为上级所赋予的总的封锁指标，若对某些港口有具体的封锁指标，则将各封锁指标约束分别列出，即有

$$D(P_l) \times H_l \geq G_l \quad (10)$$

2) 布雷平台力量约束。

$$\sum_{k=1,2,\dots,K, l=1,2,\dots,L} \frac{n_{ijkl}}{D_{jk} \times NU_{ijl}} \leq T_{ij} \quad (11)$$

式中： T_{ij} 表示港口或机场 i 可执行布雷的 j 型布雷平台的数量； NU_{ijl} 表示由港口或机场 i 出航的 j 型布雷平台在规定时间内对敌港口 l 进行布雷的平均出动次数。

若要求1次完成布雷任务 $\mu=1$ 或该布雷平台为一次性布雷平台 $WA_{ijl}=1$ ，则 $NU_{ijl}=1$ ；若在规定时间内，可进行 μ 次布雷，则

$$NU_{ijl} = \begin{cases} \frac{1 - (1 - WA_{ijl})^\mu}{WA_{ijl}}, & \text{当 } 0 < WA_{ijl} < 1 \text{ 时} \\ \mu, & \text{当 } WA_{ijl} = 1 \text{ 时} \end{cases} \quad (12)$$

3) 布雷平台损耗约束。

$$\sum_{k=1,2,\dots,K, l=1,2,\dots,L} \frac{n_{ijkl} \times WA_{ijl}}{D_{jk} \times T_{ij}} \leq S_{ij} \quad (13)$$

式中， S_{ij} 表示上级规定的港口或机场 i 的 j 型布雷平台的损耗百分比指标。

4) 水雷数量约束。

$$\sum_{j=1,2,\dots,J, l=1,2,\dots,L} n_{ijkl} \leq M_{ik} \quad (14)$$

式中， M_{ik} 表示港口或机场 i 所拥有的 k 型水雷的数量。

2.2 第2类问题的模型构建

2.2.1 确定目标函数

由于在原约束条件下无法达成障碍封锁指标，

第 2 类问题的目标函数应为满足布雷兵力和水雷兵器使用条件下寻求最大的封锁效能。为此, 建立目标函数:

$$\max G' = \sum_{l=1,2,\dots,L} D(P_l) \times H_l \quad (15)$$

式中, G' 为立足现有约束条件下的最大封锁指标, 即所能实现的敌航运系统的最大封锁程度。

2.2.2 确定约束条件

布雷平台力量约束、布雷平台损耗约束、水雷数量约束与第 1 类问题的约束条件相同; 各参数、函数的定义与第 1 类问题中的定义相同。

此外, 应立足于敌情、我情和战场环境实际, 将我方布雷行动损失大、效能低的敌港口布雷任务调整为改由其它作战行动样式, 如对敌火力封锁、对敌港口的火力打击、对敌陆上重要交通枢纽或交通线的火力打击等, 来实现敌航程度的降低, 以确保现有水雷、布雷能力的最大作用发挥。此时, 可对调整后的障碍封锁能力进行重新计算, 若可实现障碍封锁指标, 则按第 1 类问题的模型计算最佳方案; 若仍不能实现障碍封锁指标, 则按第 2 类问题的模型计算最佳方案。

3 关于模型数据的筛选问题^[1]

对于确定的作战想定, 模型内变量的数据量很大, 应使用模型外的约束, 对数据进行预处理, 分析港口或机场与部署的布雷平台、布雷平台与水雷类型、布雷平台与敌港口、水雷类型与敌港口等之间联系的可能性, 删除不可行数据, 以提高模型的运算速度和结果的可行性。具体分析如下。

1) 删除港口或机场部署布雷平台的不可行数据。

攻势布雷行动在一定程度上可将水面舰艇布雷的可行性排除在外。对于机场, 只可能部署空中布雷平台, 如轰炸机、歼轰机或空中无人布雷平台等, 而不可能部署水下布雷平台; 对于港口, 只能部署水下布雷平台, 如潜艇、水下无人布雷平台等, 而不能部署空中布雷平台。删除此类数据, 可有效降低 n_{ijkl} 中下标为 i, j 的数据量。

2) 删除布雷平台装载水雷类型的不可行

数据。

布雷平台与水雷类型之间是有相互联系的, 某型布雷平台仅能布设其中 1 种或几种水雷障碍, 某型水雷也仅能由其中 1 种或几种布雷平台布设。以自航式水雷为例, 通常仅能由潜艇布设, 而空中布雷平台、水下无人布雷器等无法布设或应用意义不大; 航弹式水雷, 通常由空中布雷平台布设, 而水下布雷平台却无法布设。删除此类数据, 可有效降低 n_{ijkl} 中下标为 j, k 的数据量。

3) 删除布雷平台对敌港口封锁的不可行数据。

主要有: ①组织对敌某港口布雷行动, 已超出我方部署于某港口或机场的某布雷平台活动半径, 且无法组织中途油料补给时, 则无法使用该平台组织对该港口实施布雷; ②敌对某港口防御极为严密, 使用某布雷平台战损率极高, 可确定某一指标值, 战损超过此值的予以删除; ③港口环境不满足某布雷平台使用条件, 如水深限制潜艇活动等。删除此类数据, 可有效降低 n_{ijkl} 中下标为 i, j, l 的数据量。

4) 删除水雷类型与对敌港口封锁的不可行数据。

受港口外水文地理环境的限制, 某些水雷可能不适宜布设于敌方某些港口外, 如水深较深时, 沉底水雷打击效果将大大降低; 或受引信限制, 该海区不适合于布设该型水雷等。删除此类数据, 可有效降低 n_{ijkl} 中下标为 k, l 的数据量。

优化模型外的上述约束内容, 是需要计划拟制人员依靠自身经验进行确定的, 尽管删除此类数据较为繁琐, 需要结合实际进行逐一考虑, 但却可以有效降低计算的数据量, 能为迅速准确确定最优布雷任务分配方案发挥重要作用。

4 案例分析

本节以 1 个简单案例介绍上述模型的使用。假定红方从某机场起飞的 3 型飞机拟对蓝方 A、B、C 3 个港口组织 1 次集中布雷, 红方布雷能力见表 1, 蓝方港口和航运情况见表 2, 分析红方对蓝方

的最大封锁程度以及优化布雷任务。为避免出现单架次飞机执行任务,各型飞机按 2 架为 1 编组进行

计算,并假定红方机场可保障甲型、乙型水雷,且 2 型水雷数量充足。

表 1 红方布雷能力
Table 1 The RED's mine-laying capability

飞机型号	数量/架	单架次飞机可携带水雷数量/枚		布雷行动成功率/%			水雷完好率/%	打击概率/%	备注
		甲型水雷	乙型水雷	A 港口	B 港口	C 港口			
F ₁	16	16	8	60	80	70	95	90	1) 甲型水雷打击半径 30 m, 乙型水雷打击半径 50 m
F ₂	24	8	4	75	90	85	95	90	
F ₃	32	4	2	70	85	80	95	90	2) 水雷定次均设定为 1 次

表 2 蓝方港口和航运情况
Table 2 The BLUE's port and shipping information

港口	各港口占蓝方总航运比例/%	水雷障碍封锁所需遮拦宽度/km	水雷威慑对航运的影响	备注
A	50	55.56	若 A、B、C 港口的触雷概率达到 0.5、0.3、0.4 时,有 70% 的船舶退出航运;若小于该值,船舶仍冒险航运;大于该值,则剩余 30% 的船舶冒险航运	假设航运船舶目的港相对固定
B	20	27.78		
C	30	37.04		

该问题属于第 2 类问题。1) 先分析若红方所有布雷平台分别对蓝方 3 个港口实施攻势布雷所达到的封锁程度,经计算分别为 0.300 6, 0.877 8, 0.838 0, 即对蓝方整个航运的封锁程度为 0.150 3, 0.175 6, 0.251 4, 均未能达到对蓝方实施封锁的目的指标; 2) 分析如何实现布雷任务最优化,以达到最大的封锁程度为目的指标,根据第 2 类问题的模型,求解可得最大封锁程度为 0.276 3。布雷平台兵力分配见表 3,布雷均为甲型水雷。

等封锁条件下,可有效增大封锁程度。

情况 A: 关于迫使蓝方航运船舶放弃航运的触雷概率,若通过舆论造势等,使其对此所认为的触雷概率较实际值大 0.2,则红方所有布雷平台分别对蓝方 3 个港口实施攻势布雷所达到的封锁程度分别为 0.790 2, 0.877 8, 0.838 0, 可实现对蓝方最大封锁程度为 0.460 0。布雷平台兵力分配见表 4,布雷均为甲型水雷。

表 3 布雷平台兵力分配
Table 3 Distribution of mine-laying platforms

飞机型号	A 港口 飞机数/架	B 港口 飞机数/架	C 港口 飞机数/架
F ₁	0	2	14
F ₂	4	0	20
F ₃	8	0	24

表 4 情况 A 下的布雷平台兵力分配
Table 4 Distribution of mine-laying platforms in Case-A

飞机型号	A 港口 飞机数/架	B 港口 飞机数/架	C 港口 飞机数/架
F ₁	0	4	12
F ₂	20	0	4
F ₃	30	2	0

为进一步分析水雷障碍威慑作用在封锁战役中的效能发挥,通过调整反映水雷障碍威慑作用的变量值,计算结果如下文所示。通过对比发现,通过舆论造势,增加航运管理者的心理压力等,在同

情况 B: 若在水雷威慑下仅有 50% 的船舶放弃航运,则红方所有布雷平台分别对蓝方 3 个港口实施攻势布雷所达到的封锁程度分别为 0.300 6, 0.796 4, 0.730 0, 可实现对蓝方最大封锁程度为

0.240 3。布雷平台兵力分配见表 5, 布雷均为甲型水雷。

表 5 情况 B 下的布雷平台兵力分配

Table 5 Distribution of mine-laying platforms in Case-B

飞机型号	A 港口 飞机数/架	B 港口 飞机数/架	C 港口 飞机数/架
F ₁	0	2	14
F ₂	4	0	20
F ₃	8	0	24

情况 C: 若在水雷威慑下仅有 50% 的船舶放弃航运, 通过舆论造势等, 使其对此所认为的触雷概率较实际值大 0.2, 则红方所有布雷平台分别对蓝方 3 个港口实施攻势布雷所达到的封锁程度分别为 0.650 3、0.796 4、0.730 0, 可实现对蓝方最大封锁程度为 0.376 1。布雷平台兵力分配见表 6, 布雷均为甲型水雷。

表 6 情况 C 下的布雷平台兵力分配

Table 6 Distribution of mine-laying platforms in Case-C

飞机型号	A 港口 飞机数/架	B 港口 飞机数/架	C 港口 飞机数/架
F ₁	0	4	12
F ₂	20	0	4
F ₃	30	2	0

5 结束语

海上封锁战役中攻势布雷任务优化问题是一个较为复杂和困难的问题, 涉及的布雷平台和水雷的型号杂、数量多, 且出航地不同、对敌封锁的港

口不同使得对布雷平台和水雷的需求也不尽相同, 导致出航地、布雷平台、水雷、敌港口之间的组合多, 依靠人工去进行布雷任务优化分配是很困难的。本文采用规划论的方法, 分别对 2 类问题构建了布雷任务优化的模型, 可为制定封锁战役计划提供定量分析的方法工具, 具有较大的适用性和可操作性。

参考文献

- [1] 王振宇, 马亚平, 李珂. 联合火力打击火力分配方案优化方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2005, 19(2): 12-17.
- [2] 白军, 刘新学, 郭峰, 等. 基于遗传算法的导弹编队攻击任务优化分配策略[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(10): 51-57.
- [3] 张最良. 军事战略运筹分析方法[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009.
- [4] 刘志超, 石章松, 姜涛, 等. 基于最小资源损耗的火力分配模型[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(6): 167-170.
- [5] 杨萍, 刘卫东, 李明雨. 常规导弹战前运输任务优化模型[J]. 火力指挥与控制, 2007, 32(2): 41-44.
- [6] 滕兆新, 张旭. 水雷对舰船的毁伤概率计算模型及仿真[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(16): 4241-4243.
- [7] 樊俊, 谢国新, 邓晋. 舰布雷障对潜毁伤概率计算模型及仿真[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(8): 155-156.
- [8] 颜冰, 孙宝全, 陈振洋. 水雷障碍对舰船毁伤概率的计算模型研究[J]. 水雷战与舰船防护, 2017, 25(1): 1-6.
- [9] 周杰, 高洪林, 王新华. 布雷辅助决策系统的设计与实现[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(4): 36-39.

(责任编辑: 曹晓霖)