

doi: 10.7690/bgzd.2023.06.013

基于最大毁伤能力的岸导突击群阵地优化研究

沈培志¹, 王志鹏¹, 姬正一², 殷实¹

(1. 海军航空大学, 山东 烟台 264001;

2. 中国人民解放军 92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要: 针对机动岸导突击群对海突击需要选择合适的阵地进行优化部署的问题, 建立岸导突击群阵地部署优化模型。采取以最大化毁伤概率为目标函数, 以岸舰导弹火力覆盖区域等为约束条件, 运用遗传算法解算得出阵地部署的优化方案。通过仿真验证, 结果表明: 该方法可节省岸舰导弹航程, 增强打击的突然性, 提高命中概率, 并给出岸舰导弹的射向, 为指挥员决策提供参考。

关键词: 岸舰导弹; 突击群; 阵地部署; 遗传算法

中图分类号: TJ762.1⁴ **文献标志码:** A

Research on Position Optimization of Shore-guided Assault Group Based on Maximum Damage Capability

Shen Peizhi¹, Wang Zhipeng¹, Ji Zhengyi², Yin Shi¹

(1. Naval Aviation University, Yantai 264001, China; 2. No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: In order to solve the problem of choosing the right position to deploy the mobile shore-guided missile assault group to the sea, a position deployment optimization model of the shore-guided missile assault group is established. Taking maximizing the damage probability as the objective function and the fire coverage area of shore-to-ship missile as the constraint condition, the optimization scheme of position deployment is obtained by using genetic algorithm. The simulation results show that the method can save the range of the shore-to-ship missile, enhance the suddenness of the attack, and improve the hit probability. The firing direction of the shore-to-ship missile is given, which provides a reference for the commander's decision-making.

Keywords: shore-to-ship missile; assault group; position disposition; genetic algorithm

0 引言

发射阵地是岸导突击群装备展开和导弹攻击的配置地域, 是岸导突击群作战的基本依托。岸导突击群的主要作战特点是“以点控面、以岸制海、机动制胜”, 所谓“以点控面、以岸制海”就是充分发挥不同发射阵地的地理位置优势增强对海突击的效果, 而机动作战也是在各个发射阵地间进行兵力机动以寻求战机; 因此, 如何对发射阵地进行优化部署成为岸导突击群对海突击作战中的重要问题。

郭遨宇等^[1]针对岸导部队多阵地组合攻击的作战任务, 在给出协同毁伤能力、毁伤区域及毁伤效果等概念基础上, 建立了基于最大协同毁伤能力的多阵地岸导射向优化模型, 可为岸导部署决策提供支持 and 参考。王晶等^[2]借助层次分析方法, 将影响导弹发射阵地选址的因素进行量化评价和比较, 给出了阵地优选的一种基本思路, 该方法简单可行但存在一定的主观性。姜子劫等^[3]分析了多型岸导作

战单元优化部署的基本原则, 根据岸导射击方式和运动特性, 构建了岸导火力覆盖区域计算模型, 为多阵地岸舰导弹射向优化提供了一种解决方案, 但该模型对分散部署、节省航程等方面因素考虑还不够全面。上述文献对地理地形条件、快速机动条件、生存力条件、指挥通信条件等决策因素考虑较多, 对如何通过阵地选择减少岸舰导弹飞行航程、便于进入合适攻击角度等考虑的还不够; 因此, 笔者在参考国内外研究现状基础上, 借助于火力覆盖程度这个量化指标构建了复杂约束下的机动岸导突击群阵地部署优化模型, 以期提升岸导突击群的最大毁伤能力。

1 岸导火力覆盖范围

建立阵地部署优化模型的基础是确定岸舰导弹的火力覆盖范围^[4], 需要找出岸舰导弹火力覆盖范围的数学表达式。

收稿日期: 2023-02-10; 修回日期: 2023-03-09

作者简介: 沈培志(1972—), 男, 山东人, 博士, 教授, 从事海军兵种作战运用研究。E-mail: 514785482@QQ.com。

1.1 坐标系建立

1.1.1 基准坐标系

为计算简便，在岸导突击群的作战海域建立一个基准坐标系，该坐标系以正北为 oy 轴，垂直于地

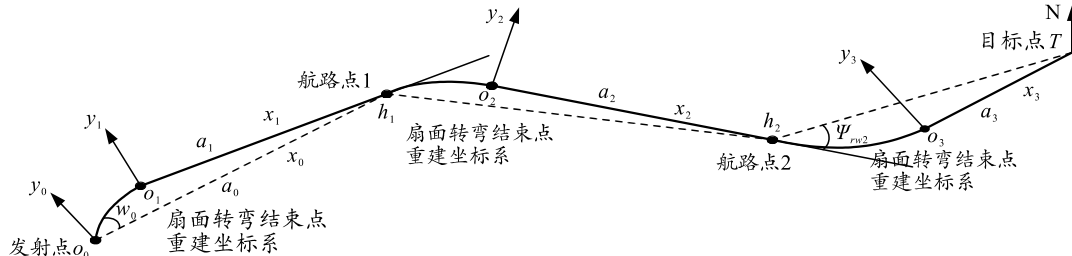


图 1 相对坐标系

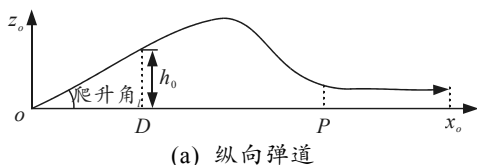
$o_0x_0y_0z_0$ 为初始相对坐标系，原点为发射时刻导弹质心； o_0x_0 轴沿射向方向； o_0z_0 轴垂直于 o_0x_0 轴所在水平面指向天； o_0y_0 轴在水平面内，与 o_0x_0 、 o_0z_0 成右手坐标系。 $o_1x_1y_1z_1$ 为扇面转弯后重建的相对坐标系，原点为导弹质心； o_1x_1 轴指向新的航路点； o_1z_1 轴垂直 o_1x_1 轴所在水平面指向天； o_1y_1 轴在水平面内与 o_1x_1 、 o_1z_1 组成右手坐标系。

1.2 火力覆盖范围的左右边界

岸舰导弹的射向和射击扇面角决定了火力覆盖范围的左右边界^[5]。岸舰导弹的射向 β 是指发射时刻导弹沿水平方向指向与地面坐标系正北方向的夹角(顺时针为正)。为便于分析规定目标舰艇航向 μ_j 为沿其当前舰艇方向与地面坐标系正北方向的夹角(顺时针为正)。发射扇面角 w 是指当目标不在射向方向上，导弹经过转弯对准目标后导弹的航路方向与射向的夹角。发射扇面角 w 的基准是发射点与第 1 个航路点的连线，规定 w 位于基准线的左侧为正，右侧为负，值域范围 $[-180^\circ, +180^\circ]$ 。

1.3 火力覆盖范围近界

火力覆盖范围近界 d_{OT_min} 取决于岸舰导弹的最小射程，岸舰导弹的最小射程受射击扇面角的影响。岸舰导弹飞行弹道可分解为纵向弹道和侧向弹道。纵向弹道是指导弹飞行弹道在导弹飞行方向铅垂面上的投影，侧向弹道是指导弹飞行弹道在水平面上的投影，在初始相对坐标系上岸舰导弹的典型纵向和侧向弹道如图 2 所示。



(a) 纵向弹道

面朝上方向为 oz 轴，右手法则确定 ox 轴，在计算中将目指信息转换到基准坐标系中。

1.1.2 相对坐标系

借鉴岸舰导弹控制系统中的方式建立一套相对坐标系，如图 1 所示。

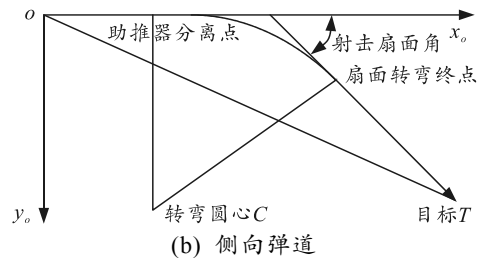


图 2 岸舰导弹初始段纵向与侧向弹道

假定导弹发射后以 a 的爬升角爬升，爬升至 h_0 高度后在 D 点助推器分离，导弹开始以扇面角 w 转弯，转弯半径为 r ，在 P 点导弹完成扇面转弯，航路方向指向目标。由于弹上雷达开机需要导弹处于稳定平飞状态，因此考虑 2 种情况：1) 导弹经过扇面转弯后已经处于稳定平飞状态，可将转弯后的 P 点作为雷达开机点，导弹与目标点距离为弹上雷达最小开机距离 l_m ；2) 导弹完成扇面转弯后仍处于下降阶段，经过时间 t_p 下降至预定平飞高度(导弹速度为 v)此时雷达可开机，导弹与目标点距离为弹上雷达最小开机距离 l_m 。第 1 种情况，对 m 型岸舰导弹的最小射程 d_{m_min} 可表示为：

$$\left. \begin{aligned} d_{m_min} &= \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \\ x_1 &= y_1 \cot |w| + r \tan \frac{|w|}{2} + \frac{h_0}{\tan \alpha} \\ y_1 &= \text{sgn}(w)(l_m + r \tan \frac{|w|}{2}) \sin |w| \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 $\text{sgn}(w)$ 表示符号函数，下同。

$$\text{sgn}(w) = \begin{cases} 1, & w > 0 \\ 0, & w = 0 \\ -1, & w < 0 \end{cases} \quad (2)$$

对第 2 种情况， m 型岸舰导弹最小射程 d_{m_min} 可表示为：

$$\left. \begin{aligned} d_{m_min} &= \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \\ x_2 &= y_1 \cot |w| + r \tan \frac{|w|}{2} + \frac{h_o}{\tan \alpha} \\ y_2 &= \operatorname{sgn}(w) \left(l_m + vt_p + r \tan \frac{|w|}{2} \right) \sin |w| \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

以上两式可合并为:

$$\left. \begin{aligned} d_{m_min} &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ x &= y \cot |w| + r \tan \frac{|w|}{2} + \frac{h_o}{\tan \alpha} \\ y &= \operatorname{sgn}(w) \left[l_m + \max \{ vt_p, 0 \} + r \tan \frac{|w|}{2} \right] \sin |w| \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中: d_{m_min} 为 m 型岸舰导弹最小射程; x, y 分别为目标在初始相对坐标系中的坐标; l_m 为岸舰导弹雷达最小开机距离; t_p 为导弹完成扇面转弯后转为稳定平飞需要的时间; v 为导弹稳定平飞时的速度; h_o 为助推器脱落高度。

1.4 火力覆盖范围远界

岸舰导弹的最大射程决定了其火力覆盖的远界 d_{max} , 通常最大射程可通过查阅武器装备的性能得知。在本文中假定仿真中所需的 A 型岸舰导弹最大射程(远界)为 222 km, B 型岸舰导弹最大射程(远界)为 333 km。

2 发射阵地部署优化模型

2.1 问题描述

假定岸导突击群由 M 类火力单元组成, 其中第 m 类火力单元可使用数量为 $N_m(m \in (1, M))$, 有 n 个阵地可用且阵地数量满足突击群部署要求。预警平台探测到敌方海上编队的 T 艘舰艇向某海域航行, $T_j(x_{T_j}, y_{T_j})$ 为第 j 个目标在基准坐标系中的坐标位置。要求制定岸导突击群发射阵地部署优化方案, 并明确基准坐标位置为 $P_i(x_i, y_i)$ 的第 i 个阵地应当部署的火力单元类型和数量, 以及部署于第 i 个阵地岸舰导弹的基准射向角度 β_i 。规定每个发射阵地仅部署 1 个火力单元, 且部署于该阵地的导弹基准射向均相同。

$$w_{ij} = \operatorname{sgn}(y_{ioj}) \arccos \left(\frac{((y_{ioj} - h_o / \sin \alpha_i) \sqrt{(x_{ioj} - r_i)^2 - r_i^2} + (y_{ioj} - h_o / \sin \alpha_i)^2 - r_i(x_{ioj} - r_i))}{((x_{ioj} - r_i)^2 + (y_{ioj} - h_o / \sin \alpha_i)^2)} \right) \quad (8)$$

3) 计算射程, 计算方法如下:

$$S = x_{ioj} - \frac{y_{ioj}}{\tan |w_{ij}|} - 2 \cdot r_i \cdot \sin \left| \frac{w_{ij}}{2} \right| + r_i \cdot \left(\frac{3.14 \cdot |w_{ij}|}{180} \right) + \frac{y_{ioj}}{\sin |w_{ij}|} \quad (9)$$

2.2 目标函数

岸导突击群阵地部署优化的目的是提高对目标舰艇的毁伤效果, 因此可用岸导突击群在无对抗条件下对目标舰艇的联合毁伤概率 P_j 作为目标函数。首先考虑部署在各个阵地的机动岸舰导弹火力单元 m 对单个目标舰艇 j 的毁伤概率, 可表示为:

$$P_j = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{mi})^{\eta_{ij}} \quad (5)$$

式中: η_{ij} 为 0-1 变量的火力覆盖指数, 求解方法见 1.3; p_{mi} 为无对抗条件下部署于阵地 $i(i \in (1, 2, \dots, n))$ 的岸导火力单元对目标舰艇毁伤概率。 p_{mi} 随岸舰导弹射程变化带来的目标指示误差、目标机动误差、导弹自控终点散布误差等随之发生变化。

当有 T 个目标舰艇时, 目标函数可表示为对 T 个目标舰艇的毁伤概率最大化, 即:

$$\begin{aligned} \max \{ P_j \} &= \max \left\{ \sum_{j=1}^T P_j \right\} = \\ &= \max \left\{ T - \sum_{j=1}^T \left[\prod_{i=1}^n (1 - p_{mi})^{\eta_{ij}} \right] \right\} \quad (6) \end{aligned}$$

2.3 约束条件

2.3.1 火力覆盖指数

式(5)中 η_{ij} 表示部署于阵地 i 的岸导突击群火力单元 m 能否覆盖基准坐标为 (x_j, y_j) 的目标舰艇 j , 如果能覆盖其值为 1, 不能覆盖则为 0, 判断步骤如下:

1) 坐标转换。将目标舰艇 j 的基准坐标 (x_j, y_j) 转换为部署于阵地 i 的岸导火力单元 m 的初始相对坐标中, 其中阵地 i 的基准坐标为 (x_i, y_i) , 计算方法如下:

$$\left. \begin{aligned} x_{ioj} &= (x_j - x_i) \cos \beta_i - (y_j - y_i) \sin \beta_i \\ y_{ioj} &= (x_j - x_i) \sin \beta_i + (y_j - y_i) \cos \beta_i \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式中: (x_{ioj}, y_{ioj}) 为目标舰艇 j 在阵地 i 的初始相对坐标系中的坐标; β_i 为部署于阵地 i 的机动岸舰导弹火力单元射向。

2) 计算部署于阵地 i 的岸舰导弹攻击位于 (x_{ioj}, y_{ioj}) 的目标舰艇所需的扇面角 w_{ij} , 判断是否在射击扇面角 $[-\theta_i, \theta_i]$ 的范围内, 计算方法如下:

4) 计算目标舰艇与部署在阵地 i 的 m 型岸舰导弹距离, 判断是否在 m 型岸舰导弹最小、最大射程之间, 计算方法如下:

$$d_{im} = \sqrt{x_{ioj}^2 + y_{ioj}^2};$$

$$d_{m_min} = \left(\begin{array}{l} \left(y_{ioj} \cot |w_{ij}| + r_i \tan \frac{|w_{ij}|}{2} + \frac{h_{io}}{\tan \alpha_i} \right)^2 + \\ \left(\operatorname{sgn}(w_{ij}) \left[l_m + \max \{v_i \cdot t_p, 0\} + \right. \right. \\ \left. \left. r_i \tan \frac{|w_{ij}|}{2} \right] \sin |w_{ij}| \right)^2 \end{array} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

式中： d_{im} 为目标舰艇与部署在阵地 i 的 m 类火力单元的直线距离； d_{m_min} 为该型岸舰导弹的最小射程。

通过上述分析可求出部署在 i 阵地的 m 类火力单元覆盖指数 η_{ij} ，计算如下：

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1, & d_{m_min} \leq d_{im} \leq d_{m_max} \text{ 且 } -\theta_i \leq \omega_{ij} \leq \theta_i \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

2.3.2 火力单元数量约束

假设一个阵地只部署 1 个火力单元，同时为确保首突奏效，突击群编组内的各火力单元应全部部署到相应阵地上，即部署于各个阵地的某类火力单元数量之和应等于突击群内该类火力单元总数，可表示如下：

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Z_{im} = N_m \\ 0 \leq \sum_{m=1}^M Z_{im} \leq 1 \\ Z_{im} \in (0, 1) \end{array} \right\} \quad (12)$$

式中： Z_{im} 为岸导突击群部署于 i 阵地的 m 类火力单元数量， $m \in (1, 2, \dots, M)$ ， $i \in (1, 2, \dots, n)$ 。

2.3.3 突击效果要求

为充分利用战场资源，规定目标舰艇 j 在阵地 i 的岸舰导弹射程范围内时，应受到该阵地的火力单元攻击，即目标舰艇 j 所受到的毁伤值不应小于部署于阵地 i 的火力单元的毁伤概率。

$$P_j \geq 1 - (1 - p_{mi})^{g(d_{or})}$$

$$g(d_{or}) = \begin{cases} 1, & d_{or_min} \leq d_{or} \leq d_{or_max} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (13)$$

由此可得出机动岸舰导弹突击群发射阵地部署的优化模型，即：

$$\max \{P_j\} = \max \left\{ T - \sum_{j=1}^T \left[\prod_{i=1}^n (1 - p_{mi})^{\eta_{ij}} \right] \right\}; \quad (14)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \eta_{ij} = 0, 1 \\ -\theta_i \leq w_{ij} \leq \theta_i \\ d_{or_min} \leq d_{or} \leq d_{or_max} \\ \sum_{i=1}^n Z_{im} = N_m \\ 0 \leq \sum_{m=1}^M Z_{im} \leq 1 \\ Z_{im} \in (0, 1) \\ P_j \geq 1 - (1 - p_{zi})^{g(d_{or})} \\ g(d_{or}) = 0, 1 \\ 0 \leq \beta_i \leq 2\pi \\ i \in (0, 1, \dots, n) \\ m \in (0, 1, \dots, M) \end{cases} \quad (15)$$

3 基于遗传算法的模型求解

岸导突击群发射阵地部署优化模型是典型的多变量非线性优化问题，遗传算法是针对该类型问题的一种经典智能搜索算法^[6]。运用遗传算法求解该优化问题，其基本思路如图 3 所示。

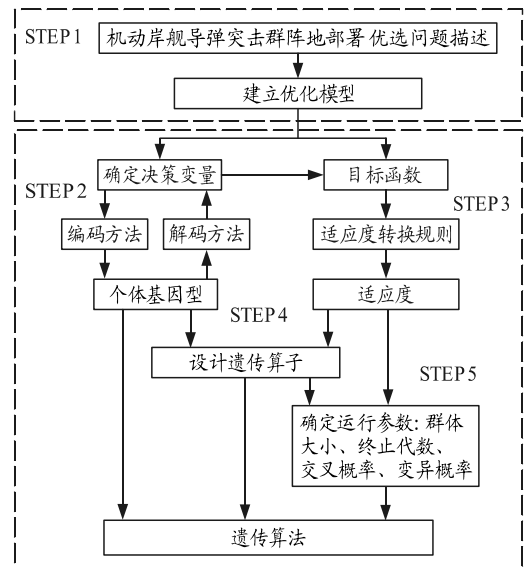


图 3 遗传算法构造步骤

3.1 编码及解码

岸导突击群阵地部署优化问题主要有 2 类决策变量：一类是每个阵地部署各类火力单元的数量；另一类是各个阵地部署火力单元的射向。由于每个阵地的容量有限，因此各类火力单元数量这类决策变量的取值范围较小；而火力单元射向范围是 $0 \sim 360^\circ$ ，取值范围较广，采用统一的二进制编码串连方式会将取值空间无意义地扩大很多。为此将 2 类参数分别编码，而后按照顺序联接组成全码。

对每个阵地部署各类火力单元数量这类决策变量选用 3 位二进制编码即可，但其取值上下界 0~8 即可满足使用。对各个阵地部署的火力单元射向这类决策变量，考虑到岸导突击群攻击目标通常是沿海岸线某一侧的敌方舰艇，其射向角在 0~256° 之间可以满足使用需求，故可选用长度为 8 位的二进制编码串，可以表示从 0~255 之间的 256 个不同的离散点。分别将 2 类决策变量二进制编码串连接组成总码串^[7]，如下式所示。

$$X: \underbrace{001110}_{x_1} \cdots \underbrace{10101001}_{x_k} \quad (16)$$

3.2 适应度函数

适应度表示某个体被下一代遗传的概率，通常其值越大则概率越高，反之遗传到下一代概率就会小^[8]。本文中目标函数 $f(x)$ 代表毁伤概率的全局最大值，可以用其构造适应度函数 $F(x)$ ：

$$F(x) = \begin{cases} f(x) + C_{\min}, & \text{if } f(x) + C_{\min} > 0 \\ 0, & \text{if } f(x) + C_{\min} \leq 0 \end{cases} \quad (17)$$

式中 C_{\min} 为与目标函数值比相对较小的数。

考虑到岸导突击群阵地部署优化问题 2 类决策变量的取值区间差异性较大，在遗传算法运行的初期阶段，群体中可能会有少数的个体适应度体高出很多，导致算法收敛过早，为此采用线性尺度变换调整^[9]，其公式为：

$$F(x)' = aF(x) + b \quad (18)$$

式中： $F(x)$ 为原适应度； $F(x)'$ 为尺度变换后的新适应度； a 和 b 为系数，其选取需满足以下 2 个条件^[10]：

1) 新适应度平均值 $F(x)'_{\text{avg}}$ 应等于 $F(x)_{\text{avg}}$ 的平均值，即：

$$F(x)'_{\text{avg}} = F(x)_{\text{avg}} \quad (19)$$

2) 新适应度最大值 $F(x)'_{\text{max}}$ 应等于 $F(x)_{\text{avg}}$ 指定倍数，即：

$$F(x)'_{\text{max}} = C \cdot F(x)_{\text{avg}} \quad (20)$$

式中 C 为期望复制数 (通常取 1.2~2)。新适应度与原适应度关系如图 4 所示。

在计算中需要根据情况按照上述条件反复进行尝试，以找到合适的系数值。

3.3 约束条件

岸导突击群阵地部署优化模型的约束条件较为复杂，需要首先计算每类火力单元火力覆盖范围，而后判断火力覆盖指数等，同时其 2 类决策变量取

值空间差异性较大，尤其是各个阵地的射向取值从 0~255 之间 256 个不同离散点，在经过组合后造成搜索空间比较大。为此，在约束条件的处理上选择罚函数法^[11]，当搜索空间无可行解，则对适应度 $F(x)'$ 增加 1 个罚函数，从而降低该个体适应性，即降低该个体遗传到下一代的概率，表达式为：

$$F(x)'' = F(x)' - \alpha \cdot \max\{0, R - R_0\} \quad (21)$$

式中： $F(x)'$ 为尺度变换后新适应度； α 为惩罚因子取大于 0 的数； R 为约束条件； R_0 为约束值^[12]。 α 的取值是确定罚函数的关键，在运算中需要反复调参尝试，直至找到使运算结果有效收敛的值。

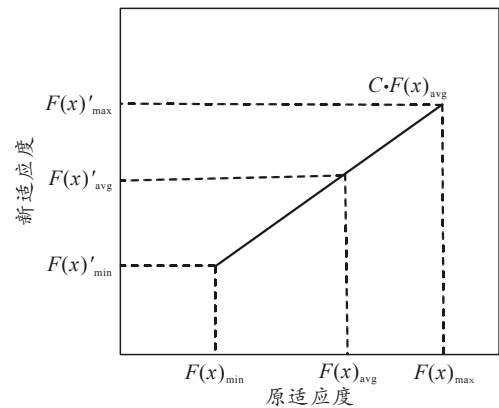


图 4 线性尺度变换

4 仿真实证

假定岸导弹突击群由 2 个装备 A 型武器系统的火力单元和 1 个装备 B 型武器系统的火力单元组成，有 7 个发射阵地可选用，其基准坐标分别为 (134.49, 70.54), (133.29, 129.54), (171.66, 180.07), (230.40, 251.10), (287.26, 309.21), (296.90, 322.77), (320.86, 328.78)。按照敌方活动规律，预计敌方 2 艘舰艇某时刻基准坐标分别为 (336.27, 20.68), (443.21, 45.69)，为达到最佳突击效果，要求制定岸导突击群阵地部署优化方案。

1) 计算装备 A 型武器系统和 B 型武器系统 2 类火力单元的火力覆盖范围。按照 1.3 方法计算得出最小发射距离与发射扇面角的对应关系如表 1 所示。

按照 1.2、1.3、1.4 方法，可以得到装备 A 型武器系统的火力单元和装备 B 型武器系统的火力单元各自火力覆盖范围，如图 5 所示。

2) 建立优化模型。

$$\max\{P_j\} = \max\left\{2 - \sum_{j=1}^2 \left[\prod_{i=1}^7 (1 - p_{mi})^{n_{ij}} \right] \right\}; \quad (22)$$

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 & \eta_{ij} = 0,1 \\
 & -90^\circ \leq w_{ij} \leq 90^\circ \\
 & 51 \leq d_{OT_62} \leq 400 \\
 & 63 \leq d_{OT_62} \leq 500 \\
 & \sum_{i=1}^7 Z_{i_62} = 1 \\
 & \sum_{i=1}^7 Z_{i_12} = 2 \\
 & 0 \leq \sum_{m=1}^2 Z_{im} \leq 1 \\
 & Z_{im} \in (0,1) \\
 & P_j \geq 1 - (1 - p_{z_i})^{g(d_{or})} \\
 & g(d_{or}) = 0,1 \\
 & 0 \leq \beta_i \leq \pi \\
 & i \in (0,1, \dots, 7) \\
 & m \in (0,1,2)
 \end{aligned} \right\} \text{s.t.} \quad (23)
 \end{aligned}$$

表 1 岸导射击扇面角与最小、最大射程对应关系

发射扇面角/(°)	A 型武器系统		B 型武器系统	
	最小射程/km	最大射程/km	最小射程/km	最大射程/km
±5	18.53		21.97	
±10	20.25		24.14	
±15	21.95		26.28	
±20	23.62		28.39	
±25	25.25		30.47	
±30	26.83		32.50	
±35	28.36		34.49	
±40	29.83		36.43	
±45	31.24		38.32	
±50	32.59	222	40.16	333
±55	33.86		41.93	
±60	35.06		43.65	
±65	36.19		45.30	
±70	37.24		46.90	
±75	38.21		48.43	
±80	39.09		49.91	
±85	39.89		51.33	
±90	40.60		52.71	

3) 用遗传算法求解。首先设定决策变量，决策变量维数为 14 维，用 $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{14})$ 表示，其中： x_1 — x_7 代表 7 个阵地上部署的导弹各自的射向角度，采用连续变量取值范围为 $[0, 180^\circ]$ ； x_8 — x_{14} 代表 7 个阵地的岸舰导弹武器类型，采用离散变量可取值为 $[0, 1, 2]$ ，0 代表该阵地未选择使用，1 代表该阵地部署 A 型岸导武器系统的火力单元，2 代表该阵地部署 B 型岸导武器系统的火力单元。由于 1 个阵地只部署 1 个火力单元，故只需求出每个阵地部署的类型即可。其次设置遗传算法参数，最大迭代次数为 1 000 次，变异因子设为 1，种群规模为 1 000，

杂交参数为 0.9，初始化代数为 1。通过 Matlab 编程运行，结果如图 6 所示。

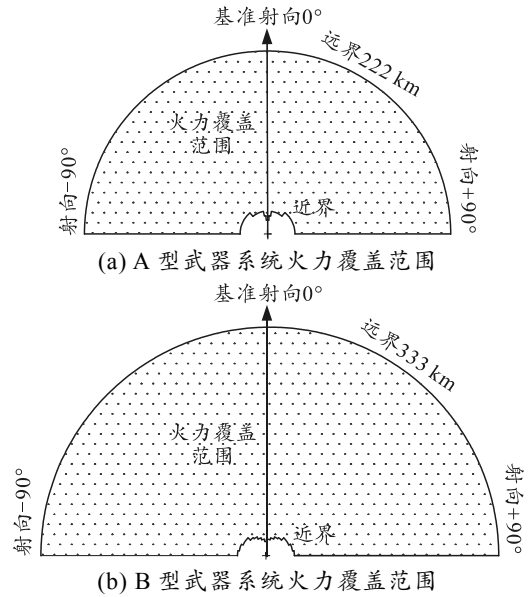


图 5 两型岸导火力覆盖范围

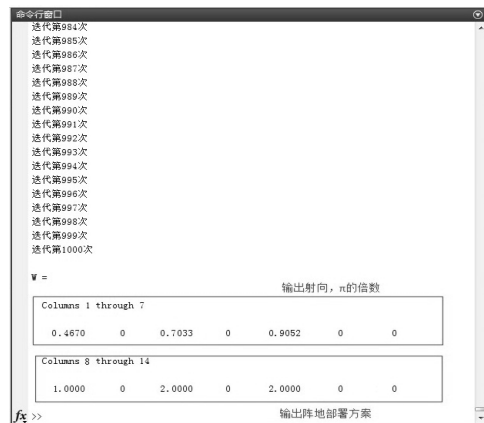


图 6 遗传算法结果

根据计算结果，在阵地 1 部署装备 A 型岸导武器系统的火力单元，在阵地 3 和 5 部署 B 型岸导武器系统的火力单元，3 个阵地的最佳射向分别为 84.06° 、 126.59° 、 162.94° 。

5 结束语

针对如何选择最优阵地进行部署使得岸导突击群毁伤概率最大这个问题，通过找出阵地所处位置、岸舰导弹射向等因素与岸舰导弹毁伤概率之间的数学关系，建立了岸舰导弹突击群发射阵地部署优化模型，并用遗传算法解算该模型。该模型得出的方案能够节省岸舰导弹航程，增强打击的突然性，提高命中概率；并且能够给出岸舰导弹的射向，为指挥员决策提供参考。