

# 抗击巡航导弹的火力部署和射击策略分析

宁伟华, 赵英俊, 陈永革  
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**根据现代巡航导弹的特点,结合现有装备和技术水平,提出了抗击巡航导弹的最佳火力部署方案。在此基础上,引入了武器最佳射击策略的有关概念和定理,并对抗击巡航导弹的组合武器最佳射击策略的求取在理论和方法上进行了深入的探讨。

**关键词:**巡航导弹;火力部署;射击策略

**中图分类号:**TJ761.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)06-0048-04

巡航导弹以其突防能力强,命中精度高,射程远,作战有效度高,造价低等特点,已成为现代防空体系的重点威胁之一。如何有效地抗击巡航导弹已成为军方研究的紧迫课题。确定最佳的火力部署和射击策略是提高抗击巡航导弹效率的两个重要方面。本文针对抗击巡航导弹的火力部署和射击策略进行了深入分析,具有一定的参考价值。

## 1 抗击巡航导弹的最佳火力部署

一般来说,地空导弹是拦截巡航导弹的主力军。但由于巡航导弹巡航高度低,隐身性能好,雷达反射面积小,并常伴有强干扰掩护,使得地空导弹雷达探测和制导困难,引战配合效率降低。这在很大程度上,降低了地空导弹对巡航导弹的杀伤概率。考虑到巡航导弹巡航段长,飞行速度慢,弹道相对固定的特点,最有效的作战方式应该是多种防空武器混合使用,多层部署层层拦截,大纵深抗击巡航导弹<sup>[1]</sup>。根据当前装备的实际情况,能对巡航导弹实施有效拦截的武器有:战斗机、地空导弹、高炮、高射机枪和轻重机枪等速射武器。

### 1.1 战斗机

战斗机自上而下拦截巡航导弹具有视野广阔,不受地形限制,机动性强的特点。机上装备的下视雷达、红外搜索与跟踪装置能够发现低空巡航导弹的航迹,携带的空空导弹具有发射后不管的能力,不仅命中精度高而且转移火力时间短。考虑到实战时,敌巡航导弹往往由战斗机护航,我方战斗机的主要任务还是对付敌方战斗机。所以战斗机拦截巡航导弹常用于当敌方巡航导弹密集型进攻时,用战斗机对其进行消耗性攻击。战斗机应布署在防区最前沿,在防御目标 100 km 之外进行远距离游猎截击。战斗机一般采用双机截击,可以采取仰击和尾追两种射击方式。

### 1.2 地空导弹

能用来拦截巡航导弹的地空导弹武器有中高空中远程地空导弹、低空近程地空导弹、便携式地空导弹三类。中高空中远程地空导弹反应时间短,飞行速度快,命中精度高,采用相控阵雷达制导,具有多目标通道,是抗击巡航导弹的中坚力量。射击方式采用两发连射,可及时转移火力,实施多次拦截。部署时应选择空旷辽阔的地域,以减少制导雷达的盲区。低空近程地空导弹拦截巡航导弹,有系统机动性强的优点,如果与高炮构成弹炮结合系统联合作战,取长补短,效果更佳。便携式地空导弹采用尾追方式射击巡航导弹,具有“发射后不管”,转移火力快的特点,近界近似为零。

### 1.3 高炮

高炮抗击巡航导弹具有轻便灵活,反应敏捷,射速高,火力猛烈,抗电子干扰能力强的优势,海湾战争和

科索沃战争已经证实了高炮在巡航导弹防御体系中的重要作用。高炮射程远,反应时间短,射角为  $7^\circ$ 、 $8^\circ$  时,自炸点高度为 100 m 左右,正是巡航导弹的巡航高度,因此可利用高炮自炸形成密集的弹片网,威胁和打击巡航导弹,当巡航导弹在高炮自炸距离以内时,高炮可采用  $7^\circ$  以下射角进行触发式打击。

### 1.4 速射武器

美国兰德公司论证表明,如果有及时的预警信息,高射机枪、轻重机枪等速射武器完全可以用来拦截巡航导弹。速射武器的特点是火力密集,灵活机动,费用低。部署在防御目标附近,采用密集式火力对其进行射击。

综合以上分析,可画出最佳火力部署图(如图 1 所示)。

## 2 抗击巡航导弹的最佳射击策略分析

本文主要从技术角度分析,引入了一些基本概念和方法,结合不同武器的各自特性,对上述抗击巡航导弹的组合武器最佳射击策略进行了探讨。

### 2.1 基本概念和公式

两军交战或攻或守,必然以对抗形式存在。分析射击策略必须以对抗为前提,结合敌我双方特点具体实施,所以以下概念和方法均是基于对抗提出的。

#### 1) 交战距离

敌我双方作战,以我方阵地为基点,战斗可能发生的地点与此基点之间的距离称为交战距离。常用  $s$  来表示。抗击巡航导弹的射击策略将在很大程度上取决于交战距离,很显然在交战距离以外谈射击毫无意义。

#### 2) 射速

射速表示一种武器单位时间内射击的弹数。习惯上说的一种武器的射速是指它实际上能够达到的最大射速,用一分钟能够射击的发数来表示。这里需要把射速当作在各个可能的交战距离上的分配发数来研究,显然它是交战距离  $s$  的函数,用  $\rho(s)$  来表示。它是表现武器射击策略的重要参数。如果用  $\delta$  来表示武器能对敌军射击的所有弹数,则有关系式:

$$\int_0^{\infty} \rho(s) ds \leq \delta \tag{1}$$

即射速在所有可能的交战距离上的积分小于等于总火力值。

#### 3) 增益函数

敌军向我方进攻,离我防御目标(或阵地)越近,我方遭到的威胁和破坏越大,相对地说我方收到的价值越小,如果我方阻止敌人进攻,在离我防御目标(或阵地)越远处消灭敌人,则我方收到的价值就越大,也可以说是我方得到的增益量越大。增益函数就是表示我方受到的增益量与交战距离  $s$  之间的函数关系,常用  $g(s)$  表示。实际上对我方阵地而言,从零开始,随着交战点逐渐远离我方阵地,增益函数逐渐增大到某个有限的不变极值。一般的增益函数可以用下式表达,对应图形如图 2 所示。

$$g(s) = \begin{cases} m(s/s_0)^\beta & s \leq s_0 \\ m & s > s_0 \end{cases} \tag{2}$$

式中:  $m$  与  $\beta$  都是正值常数。  $s_0$  是某一关键性的交战距离,防御方试图在这个距离上或是在这个距离之前使进攻方停止前进。在图 2 中,曲线 I 对应  $\beta$  等于 1,曲线 II 对应  $\beta$  小于 1,曲线 III 对应  $\beta$  大于 1。

#### 4) 杀伤概率函数

杀伤概率函数表示武器的杀伤概率和交战距离  $s$  之间的函数关系,常用  $P_s(s)$  表示。武器的杀伤概率  $P_s$  等于武器的命中概率  $P_h$  和命中即毁伤的条件概率  $P_m$  的乘积,而一般而言,命中即毁伤的条件概率  $P_m$  是根据武器自身的性能和目标的耐抗击性能来决定的,当武器和目标已经确定时,  $P_m$

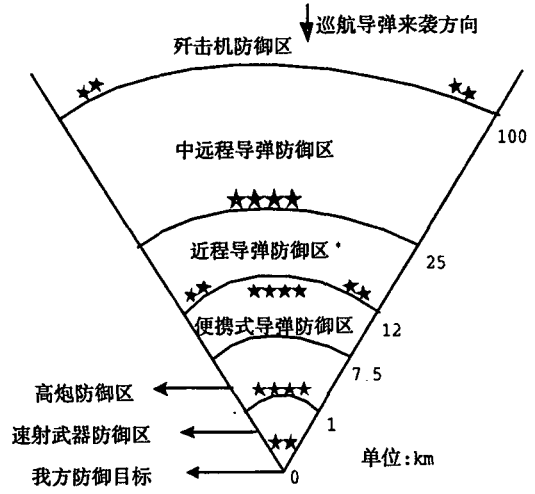


图 1 最佳火力部署示意图

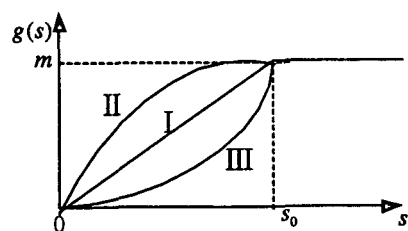


图 2 增益函数示意图

可以通过专家分析或实验统计获得,与交战距离  $s$  的关系不大。所以杀伤概率函数近似正比于命中概率函数。一般的命中概率函数可以用指数型减少定律来描述,表达式如下:

$$P_h(s) = \exp(-s/a) \quad (3)$$

式中:  $s$  表示交战距离,  $a$  是武器平均命中距离的度量。

### 5) 幸存概率

幸存概率  $P_\lambda(s)$  是对敌军或敌方进攻武器而言的,表示敌军到达交战距离  $s$  时尚能存活的概率。它是验证我方采用的射击策略好坏的重要参数。理论上讲,我方用一件精度已知的武器向来袭敌人实施射击,射击的效能可用可变强度为  $\lambda(s)$  的非齐次泊松过程来描述。 $\lambda(s)$  的含义是敌人(或敌方进攻武器)每前进一个单位距离所遭到的毁伤数的积分密度函数。事实上, $\lambda(s)$  可以近似表示为我方武器的射速和杀伤概率函数的乘积,即有:  $\lambda(s) = \rho(s) \cdot P_s(s)$ 。求得  $\lambda(s)$  后,就可得出敌军的幸存概率  $P_\lambda(s)$  的值,两者之间的关系式如下:

$$P_\lambda(s) = \exp\left[-\int_0^s \lambda(s) ds\right] \quad (4)$$

## 2.2 两个重要定理

下面是求取武器射击策略的两个重要定理,定理一用于求取一件武器的最佳射击策略,定理二用于求取组合武器的最佳射击策略<sup>[2]</sup>。

**定理一** 已知杀伤概率函数  $P_s(s)$  和增益函数  $g(s)$ , 其中的  $s = s_0$  为交战距离,且满足下述两个条件:

$$1) \quad \frac{d}{ds}[P_s(s)g(s)] = h(s) > 0, s < s_0, h(s_0) = 0 \quad (5)$$

$$2) \quad f(s) = \frac{1}{P_s(s)} \left\{ \frac{P_s'(s)}{p_s'(s)} - 2 \left[ \frac{P_s(s)}{p_s(s)} \right] - \frac{g'(s)}{g(s)} \right\} > 0, s > s_0 \quad (6)$$

那么,最佳射击策略具有下述形式

$$\rho_0(s) = \begin{cases} 0 & , 0 \leq s \leq s_0 \\ f(s) & , s_0 < s \leq s_1 \\ 0 & , s_1 \leq s \end{cases} \quad (7)$$

其中  $s_1$  值用下面的条件来确定

$$\int_{s_0}^{s_1} f(s) ds = \delta \quad (8)$$

式中的  $\delta$  意义同上所述,为武器能够发射的总弹数。 $\rho_0(s)$  为武器最佳射击策略的射速函数。

**定理二** 已知有  $r$  型武器混合部署对抗敌军,增益函数为  $g(s)$ , 第  $i$  型武器的杀伤概率函数为  $P_{si}(s)$ , 且对于  $i$  型武器和距离  $s$  的所有值而言,有以下两个条件成立:

$$1) \quad P_{s1}'(s)/P_{s2}(s) < P_{s2}'(s)/P_{s2}(s) < \dots < P_{sr}'(s)/P_{sr}(s) \quad (9)$$

$$2) \quad k_i(s) = \frac{P_{si}'(s)}{P_{si}(s)} - 2 \left[ \frac{P_{si}(s)}{p_{si}(s)} \right] - \frac{g'(s)}{g(s)} > 0 \quad (10)$$

定义  $f_i(s)$  为

$$f_i(s) = k_i(s)/p_{si}(s) \quad (11)$$

如果  $f_i(s)$  在给定的距离区间  $(s_i, t_i)$  上有特定的边界,即存在  $f_i(s) \leq M_i$  则第  $i$  型武器的最佳射击策略就是式(11)给定的强度  $f_i(s)$  在距离区间  $(s_i, t_i)$  上进行射击,距离  $s_i$  和  $t_i$  是用下面四个方程以递归方法求解出来的:

$$\int_{s_i}^{t_i} f_i(s) ds = \delta_i \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (12)$$

$$h_i(s_i) = h_{i-1}(t_{i-1}), \quad i = 2, \dots, r \quad (13)$$

取  $s_1 = 0$

$$h_i(s) = g(s) + P_{si}(s)g(s)/P_{si}(s) \quad (14)$$

## 2.3 高炮、高射机枪以及轻、重机枪抗击巡航导弹射击策略的确定

高炮、高射机枪以及轻、重机枪共同具有近界为零,离目标距离越近命中概率越大的特点。可以组合在一起计算其组合的最佳射击策略,求取的步骤如下:

1) 分别确定四种武器射击巡航导弹的命中概率函数、命中即毁伤条件概率,求出其杀伤概率函数;

2) 确定敌方巡航导弹进攻我方防御目标时的增益函数表达式;

3) 按照轻机枪、重机枪、高射机枪和高炮的顺序,分别设定为第1、2、3、4型武器,把步骤1)、2)中求得的价值代入定理二,求取组合武器中每种武器的射击时机和射速函数。

4) 进行距离换算。因为定理二中的假设是混合武器同处于阵地的某一点,与上述火力部署的情况不一致,所以应进行距离换算。比如:计算求得高炮应在交战距离为 $s_1$ 时发射第一枚炮弹,而高炮部署在离防御目标 $s_0$ 的地方,则经过相加换算,高炮应在交战距离为 $s_0 + s_1$ 时发射第一枚炮弹。

#### 2.4 地空导弹抗击巡航导弹射击策略的确定

由于前面介绍的地空导弹拦截巡航导弹的众多优点,因此实战时要求应尽可能地使用地空导弹抗击巡航导弹,使敌巡航导弹消灭在地空导弹防御层中,所以其射击策略就具有一定的特殊性。一般要求当巡航导弹进入地空导弹的发射区远界时,就发射第一枚导弹,以使第一枚导弹与目标能在导弹的杀伤区远界遭遇,然后迅速转移火力,实施多次射击。其第 $i$ 次射击的遭遇点的距离 $R_i$ 可通过以下关系式确定:

$$R_1 = \int_{r_r}^{\tau} v_m dt = R_d - \int_0^{\tau} v_T dt \quad (15)$$

$$R_n = \int_{r_{n-1} + \Delta T}^{\tau} v_m dt = R_{n-1} - \int_{r_{n-1} + \Delta T}^{\tau} v_T dt \quad (16)$$

式中, $T_r$ 、 $\Delta T$ 分别表示武器系统的反应时间和火力转移时间; $v_m$ 、 $v_T$ 分别表示导弹的飞行速度和目标的飞行速度; $T_i$ 表示弹目第 $i$ 次交会的飞行时间; $R_d$ 表示发射第一枚导弹时的弹目距离。

### 3 结束语

防空方式有要地防空和区域防空之分,本文中最佳火力部署示意图是假设以要地防空为前提的,如果换成区域防空,则防御截面加宽,客观上要求防御武器向防御区靠近,近程地空导弹和高炮汇合,扩大防御横截面,增大火力密度,防止防御截面出现空档。

混合部署武器的射击策略涉及到的内容很多,操作起来很是复杂。如何科学地准确地求取武器的最佳射击策略是一个值得研究的问题,如果灵活运用上述的理论方法再结合具体兵器的特性来确定射击策略,不但会大大提高作战效率,而且会节省大量费用。

#### 参考文献:

- [1] 弓梓明. 抗击敌巡航导弹隐形飞机的主要战法[J]. 地面防空兵, 1999, 15(3): 14 - 16.
- [2] (美)陆军装备司令部. 陆军武器系统分析(下册)[M]. 原兵器工业部系统工程研究所. 北京:兵器工业部兵器系统工程研究, 1982.
- [3] 袁俊. 现代巡航导弹防御的特点分析[J]. 现代防御技术, 1999, 27(5): 1 - 5.
- [4] 王凤山, 申卯兴. 防空战略作战的势战律建模研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2000, 1(4): 80 - 82.

## Analysis of Firepower Disposition and Shooting Strategy for Attacking Cruise Missiles

NING Wei-hua, ZHAO Ying-jun, CHEN Yong-ge

(The Missile Institute of the Air Force Engineering University, Sanyuan, 713800, China)

**Abstract:** The optimal firepower disposition is presented for attacking cruise missiles according to our existing weapon equipment and technology level. On this basis, some conception and theorem are introduced to discuss the optimal shooting strategy for the combination weapon to attack cruise missiles in theory and method.

**Key words:** cruise missile; firepower disposition; shooting strategy