

地面防空混合部署效率评估研究

王远振, 王颖龙, 耿道田

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:从现代空防对抗作战的实际出发,在对防空作战混合部署的部署原则、影响因素进行全面分析,并借鉴前人有关研究成果的基础上,提出了地面防空混合部署效率评估的指标体系并建立了其相应的评估模型,对部署方案优选提供了理论依据和决策支持。

关键词:地面防空作战;混合部署;效率评估

中图分类号:V55;E816 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)06-0021-04

有效的战斗部署是地面防空兵达成合理使用兵力,充分发扬火力,取得战斗胜利的基础和前提,是其战斗行动极其重要的一环^[1]。而对战斗部署进行量化分析,评估部署方案的优劣则是科学实施战斗部署的关键。

对此问题,具有不同主观价值观念的决策者给出了不同的量度方法。在以前的研究中,所确立的种种效率评估指标,如“七一P连乘法”、“四目标函数法”等,在某种程度上都能反映战斗部署的合理程度,但不能全面反映部署的整体效率,不能反映部署的主导目的即完成任务程度(被保卫目标受损程度),尤其是不能适应高技术条件下防空作战发展对战斗部署的一系列新要求。如高技术条件下空防的体系对抗要求多型地空导弹、高炮兵力必须实施合理的混合部署;高技术条件下精确、非线性式的空袭要求地面防空部署模式必须从以往要地防空部署向点面结合区域动态部署转变;此外高技术条件下复杂的电磁环境和地面防空部队自身生存能力所面临的威胁都对其部署具有重要影响^[2]。这些都要求战斗部署中必须既要考虑完成任务的程度,又要考虑火力单位机动能力、抗干扰能力、抗摧毁能力及整个部署体系的可靠度等。

在高技术条件下空防对抗作战中,新兵器、新战法的应用,使防空作战面临许多新的研究课题。为适应防空作战面临的新的作战任务和作战环境,对防空作战部署进行全面、客观、有效的效率评估是其重要课题之一。

1 部署效率评估指标体系

在实施地面防空兵的战斗部署时,一方面要使不同型号的地面防空兵器混合配置,最大限度地形成有利于发挥己方战斗力、能对敌实施整体高效抗击,确保被保卫目标的安全;另一方面又要考虑己方防空兵力自身的生存问题,最终形成能够最有效消灭敌人,保证要地安全以及保存自己的目的。可见,部署效率是一个综合性效率,影响它的因素很多,因此采用任何单一的效率指标都不能满足对部署效率评估的要求。通过对地面防空作战混合部署的原则、影响因素及要求的全面分析,总结并借鉴前人相应的研究成果,本文中提出了以下的评价指标。

抗击概率:综合反映对从不同方向、不同高度入侵的敌飞机、导弹的击毁概率;

敌突防概率:经过己方防空兵力的层层拦截后,敌机或导弹最终能够进入己方防线内的概率,它一方面能够反映己方击毁、击溃敌机或导弹的概率,另一方面能够间接反映己方保卫目标遭敌空袭、破坏的程度;

敌投弹的失效度:它反映己方防空布势通过影响敌投弹时的既定战术、技术的有效发挥,而使敌有效投

收稿日期:2001-10-24

作者简介:王远振(1975-),男,安徽宿州人,博士生,主要从事防空作战运筹优化理论研究;

王颖龙(1945-),男,陕西富平人,教授,博士生导师,主要从事防空作战指挥运筹研究。

弹率降低的程度;

被保卫目标受损程度:反映被保卫目标受敌摧毁、压制、破坏及功能下降的程度;

地面防空部署体系的可靠度:指地面防空部署体系自身对敌干扰、袭击等软硬杀伤的抵抗能力,防空部署体系自身遭敌干扰、袭击等软硬杀伤破坏时仍能担负作战任务的程度;

兵力的机动能力:反映适应动态混合部署要求,各火力单位在既定的作战区域内的机动能力。

综上所述:前四个指标直接或间接反映完成任务程度,后两个指标则是从防空部署体系自身的稳定性、适应性方面来反映对完成作战任务的保障能力及其程度。

2 部署的掩护效率与各指标的评估模型

2.1 防空部署方向扇区的划分及掩护效率的计算

可根据敌机进袭强度和进袭概率的不同情况把全方位 360° 分为 n 个防空方向扇形区域,简称方向区域。

2.1.1 敌机进袭方向的概率分布与概率密度

设 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 把全方位 360° 分为 n 个方向区域,敌机进袭方向的概率分布可由指挥人员根据敌情确定。若敌机进袭方向的概率分布 $Q(\beta)$ 如下:

$$Q(\beta) = \begin{cases} Q_1, & (\beta_1 \leq \beta < \beta_2) \\ Q_2, & (\beta_2 \leq \beta < \beta_3) \\ \dots \\ Q_n, & (\beta_n \leq \beta < 360^\circ + \beta_1) \end{cases}$$

显然
$$\sum_{i=1}^n Q_i = 1$$

若某个扇形区域 $\beta_i \sim \beta_j$ 内敌机进袭的概率分布值为 Q_i , 则在该区间内敌机进袭的概率密度可近似认为是均匀分布, 概率密度 μ_i 为

$$\mu_i = \frac{Q_i}{\beta_j - \beta_i}$$

2.1.2 掩护效率的计算

掩护效率与掩护能力和敌机进袭的概率密度有关。掩护能力为防空兵力在保卫目标时将敌机消灭在某一空域的几何指标。用其拦截空域相对于保卫目标的扇面角度表示。若对从 $\beta_a \sim \beta_b$ 方向扇区进袭的敌机具有拦截能力, 则该方向扇区的掩护能力 $\Delta\beta$ 为

$$\Delta\beta = \beta_b - \beta_a$$

若某方向区域的掩护能力为 $\Delta\beta$, 则在 $\Delta\beta$ 内的敌机进袭方向概率分布值称为该方向扇区的掩护效率。显然, 若某方向扇区内没有防空兵力, 则该方位区域的掩护效率为 0。

这样 n 个防空方向扇区掩护效率 $P_i (i=1, 2, \dots, n)$ 即可以确定。

2.2 各指标的评估模型

2.2.1 抗击概率 P_{hit}

$P_{hit} = \sum_{i=1}^n P_i P_{i, hit}$, $P_{i, hit}$ 为第 i 方向扇区的抗击概率。

设第 i 方向扇区有 k 层防空火力, 第 j 层的抗击概率为 $P_{i, hit, j}$, 则:

$$P_{i, hit} = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - P_{i, hit, j})$$

若把防空部署的火力杀伤区分为 l 个高度层, 设第 i 方向扇区第 j 层防空火力杀伤区的第 s 高度层的抗击概率为 $P_{ij, hit, s}$, 则:

$P_{ij, hit} = \sum_{s=1}^l \alpha_s \cdot P_{ij, hit, s}$, 这里 α_s 是第 i 方向扇区第 j 层防空火力杀伤区的第 s 高度层的权重。

至于 $P_{ij, hit, s}$ 可用抽样统计方法求得, 即:

$P_{ij, hit, s} = \frac{1}{9} \sum_{x=1}^q P_{ij, hit, s}(x)$, q 为样本点数量, $P_{ij, hit, s}(x)$ 为该防空体系的不同火力单位在第 i 方向扇区第 j 层

防空火力杀伤区的第 s 高度层上的样本点 x 处的综合抗击概率。

$P_{jst \text{ hit}}(x) = 1 - \sum_{i=1}^m (1 - P_{ijst \text{ hit}}(x))$, m 为防空部署体系的火力单位数, $P_{ijst \text{ hit}}(x)$ 为第 t 个火力单位对样本点 x 处目标的抗击概率, $P_{ijst \text{ hit}}(x) = P_{i \text{ fire}}(x) \times P_{i \text{ reli}} \times P_{i \text{ kill}}(x)$ 。这里 $P_{i \text{ fire}}(x)$ 、 $P_{i \text{ kill}}(x)$ 分别是第 t 个火力单位对样本点 x 处目标的射击概率和杀伤概率, $P_{i \text{ reli}}$ 为第 t 个火力单位的兵器战斗工作可靠概率。它们均由第 t 个火力单位的兵器的自身性能及所部署的位置决定的。

2.2.2 敌突防概率 P_{breach}

$P_{\text{breach}} = \sum_{i=1}^n P_i \times P_{i \text{ breach}}$, $P_{i \text{ breach}}$ 是第 i 方向扇区敌机的突防概率, 它与对进袭敌机的击毁概率 $P_{i \text{ killed}}$ 有关。 $P_{i \text{ breach}}$ 与 $P_{i \text{ killed}}$ 之间有如下关系:

$$P_{i \text{ breach}} = \begin{cases} 1 - P_{i \text{ killed}} & (P_{i \text{ killed}} \leq P_{i \text{ killedo}}) \\ (1 - P_{i \text{ killedo}}) - \frac{1}{R}(P_{i \text{ killed}} - 1 - P_{i \text{ killed}}) & (P_{i \text{ killedo}} < P_{i \text{ killed}} \leq P_{i \text{ killedo}}) \\ (1 - P_{i \text{ killedo}} - \frac{m-1}{R}P_{i \text{ killedo}}) - \frac{1}{R^2}(P_{i \text{ killed}} - mP_{i \text{ killedo}}) & (P_{i \text{ killed}} > P_{i \text{ killedo}}) \end{cases}$$

式中: $P_{i \text{ killed}}$ 为第 i 方向扇区内击毁入侵敌机的概率;

$P_{i \text{ killedo}}$ 为第 i 方向扇区内敌机出现溃逃的临界击毁概率;

R 为敌机战斗素质, $0 < R \leq 1$;

$m > 1$ 为比例系数。

根据以往资料 $P_{i \text{ killedo}}$ 取 0.35, m 取 2 较合适。

2.2.3 敌投弹的失效度 P_{bdm}

P_{bdm} 是己方防空部署对敌有效投弹率的影响能力的反映。敌有效投弹率是在正常情况下, 敌机对目标实施有效攻击的弹药当量与其携带攻击武器的弹药当量的比率, 对于携带炸弹的敌机, 其有效投弹率与敌炸弹的杀伤半径、可靠性、投弹时敌机相对于目标的空间位置、速度、姿态、所采用战术及目标周围地理环境和敌飞行员训练素质有关; 对于敌使用导弹攻击时, 其有效投弹率除了与上述因素有关外, 还与其导弹制导精度有关。

$$P_{\text{bdm}} = \sum_{i=1}^n P_i \times P_{i \text{ bdm}}$$

$$P_{i \text{ bdm}} = \frac{P_{i \text{ Obd}} - P_{i \text{ bd}}}{P_{i \text{ Obd}}}$$

这里 $P_{i \text{ Obd}}$ 为已方目标第 i 方向扇区无防卫能力情况下, 敌有效投弹率, $P_{i \text{ bd}}$ 为在己方该防空部署情况下敌的有效投弹率, $P_{i \text{ bd}}$ 可通过分析敌有关作战资料、借鉴《轰炸学》有关的研究方法及其成果估算出。

2.2.4 被保卫目标受损程度 P_{damage}

P_{damage} 反映现有部署对被保卫目标的保卫能力。被保卫目标完好时的功能指数定为 1, 被保卫目标完全失去原有功能时其功能指数为 0, 当受敌攻击后, 其功能将有所下降, 假设其功能下降为 P_{function} , 则: $P_{\text{damage}} = 1 - P_{\text{function}}$ 。

关于遭到攻击后, 被保卫目标的功能指数 P_{function} 可用如下方法来确定:

1) 分析被保卫目标的性质、抗毁能力以及以往的战例资料等以得出其功能与受攻击弹药当量数之间的函数关系 $P_{\text{function}}(y)$ 。如: 对于后勤仓库、交通运输线、铁路编组站、野战机场、洞库机场、重要军事目标、重兵集结地等保卫目标, 受到相同当量弹药攻击后, 其功能损失情况是不同的, 可由专家组分别给出其函数关系。

2) 关于被保卫目标受到攻击的有效弹药当量 y_0 可由预估敌人对被保卫目标可能进攻总兵力及其所携带弹药当量总数、敌突防概率 P_{breach} 及 $P_{i \text{ bd}}$ 来确定。

则 $P_{\text{function}} = P_{\text{function}}(y_0)$ 。

2.2.5 部署体系的可靠度 $P_{\text{reliability}}$

$P_{\text{reliability}} = \sum_{i=1}^n P_i \times P_{i \text{ reliability}}$, $P_{i \text{ reliability}} = \frac{P_{i1 \text{ hit}}}{P_{i0 \text{ hit}}}$, 这里 $P_{i \text{ reliability}}$ 为第 i 方向扇区的可靠度, $P_{i0 \text{ hit}}$ 为第 i 方向区域未遭到干扰、袭击时的抗击概率, $P_{i1 \text{ hit}}$ 为第 i 方向扇区遭到干扰、袭击, 但由于采用了不同类型武器系统的混

合部署而对敌机仍具有的抗击概率。

2.2.6 兵力的机动能力 P_{maneuver}

$P_{\text{maneuver}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{i \text{ maneuver}}$, $P_{i \text{ maneuver}}$ 为第 i 火力单位的机动能力。

$$P_{i \text{ maneuver}} = \begin{cases} 1 & \text{当 } t_{\text{maneuver}} < T_i \text{ 时} \\ \frac{T_i}{t_{\text{maneuver}}} & \text{当 } t_{\text{maneuver}} \geq T_i \text{ 时} \end{cases}$$

这里 t_{maneuver} 是第 i 火力单位由原阵地上的战斗状态转入行军状态、机动到新阵地、重新转入战斗状态(展开兵器)总共所需时间, T_i 为敌在第 i 火力单位所在方向扇区的空袭间隔时间。

3 总体效率评估模型

对部署方案的评价是一个多指标问题。为了能够对部署方案优选提供直接的决策依据,必须给出能够在不同部署方案之间进行比较的评估指标的量化值。为此就要建立问题的总体效率评估模型。在以前的研究中多采用如:多属性效用分析法、层次分析法及仅考虑主导评估指标的评估模型。我们这里借鉴分层多目标最优化的思想建立问题的分层效率评估模型,采用这种方法建立的效率评估模型既能充分考虑到起主导作用的评估指标在部署方案优选中的决定性作用,又能兼顾到其它非主导指标在部署方案优选及防空战斗中的重要意义。

依据各评估指标在整个评估指标体系中的重要程度,评估模型的目标函数被分为若干个优先层次,在对部署方案集进行效率评估时,按目标函数的优先层次分别对各部署方案进行逐层评估选优^[3]。本问题的评估模型的目标函数共分两层:第一层是单目标规划问题,目标函数为被保卫目标受损程度 P_{damage} ,第二层是多目标规划问题,目标函数包括其余五个评估指标(抗击概率 P_{hit} 、敌突防概率 P_{breach} 、敌投弹的失效率 P_{bdm} 、部署体系的可靠度 $P_{\text{reliability}}$ 、兵力的机动能力 P_{maneuver}),层内采用加权求和法确定目标函数值。所确定总体效率评估模型如下:

$$\begin{cases} P_{\text{damage}} \\ \alpha_1 P_{\text{hit}} + \alpha_2 P_{\text{breach}} + \alpha_3 P_{\text{bdm}} + \alpha_4 P_{\text{reliability}} + \alpha_5 P_{\text{maneuver}} \end{cases}$$

这里 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 分别为抗击概率 P_{hit} 、敌突防概率 P_{breach} 、敌投弹的失效率 P_{bdm} 、部署体系的可靠度 $P_{\text{reliability}}$ 、兵力的机动能力 P_{maneuver} 的相对权重,相对权重可根据敌我作战任务、目的等实际要求采用合适方法,灵活确定。

参考文献:

- [1] 张最良,李长生,赵文志,等. 军事运筹学[M]. 北京:军事科学出版社,1993.
- [2] 陈鸿猷,郭有全,王颖龙. 中国人民解放军空军空地空导弹兵战术学[M]. 北京:解放军出版社,2000.
- [3] 胡毓达. 实用多目标最优化[M]. 上海:上海科学技术出版社,1990.

(编辑:田新华)

Study on Effectiveness Evaluation of Ground - to - air Defense Hybrid Disposition

WANG Yuan - zhen, WANG Ying - long, GENG Dao - tian

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

Abstract: In this paper, from actual conditions, the principle and influencing factors of the air defense hybrid disposition are analyzed. Based on former study, the effectiveness evaluation indexes of ground - to - air defense hybrid disposition is put forward and its evaluation models are established, thus providing a theoretical basis and a decision - making support for the selecting of disposition scheme.

Key Words: ground - to - air defense; hybrid disposition; effectiveness evaluation