

空战模型研究

黄厚三 沙基昌

(西安空军工程学院) (国防科技大学)

摘要 本文论述了空战一般作战模式及空战构模特点,并具体构造了一个集团军作战规模的训练用空战模型。利用该模型对不同空战编队的作战效果进行了计算,其结果可用于战术分析。

关键词 运筹学,应用数学,计算机应用,作战运筹,作战模拟,空战模型

分类号 O224, TP391.1

引言

计算机作战模拟是和平时训练军队各级指挥员的一种有效途径。我国在计算机作战模拟方面起步较晚,但近几年来发展很迅速。然而目前在国内已建立的作战模拟模型中,不少尚未包括空战部分,特别是集团军作战规模的空战描述更少。因此,对空战一般作战模式及空战模型很有必要进行深入研究。

1 空战一般概念、模式

本文所指的空战是广义下的空战,它涉及一切与空中力量发生关系的活动,例如飞机空战,空对地轰炸、攻击,地面防空等军事行动,也包括地面后勤保障,主要是机场地勤维护保障。

战术空战的根本目的就是支援地面作战,为陆军或海军提供有效的支援。一方面要阻止敌空军对我军地面部队的攻击;另一方面要攻击敌地面部队,断敌通信、后勤运输。

有限兵力及资源的合理分配使用,是空战指挥员面临的重要决策。航空兵的作战飞机在空战中有三个基本任务:制空;近距支援;封锁。制空就是取得一定空域的空中优势,它包括空空交战、地面防空及对敌方机场实施轰炸破坏;近距支援是直接攻击前沿地带的敌地面部队;封锁是有效地切断敌后勤运输线。

围绕三项基本任务,为提高作战效率,空战部队的作战行动还将包括护航、地面火力压制、电子战、侦察、空中加油等辅助行动。例如,轰炸机遂行歼击机护航执行对敌纵深目标的轰炸即可提高轰炸机的突防概率,从而大大提高作战效率。

执行同一任务的飞行编队由指挥员的命令而建立,然后按预定航线飞行,在敌方空

域内突防飞行, 到达目的地后执行任务, 最后返回机场, 编队实体解散, 着陆飞机接受地勤维护, 这是一般飞行编队的典型作战流程, 如图1所示。

地面防空武器包括高炮和地对空导弹, 高炮对飞机的射击一般过程是: 远程警戒雷



图 1

达发现目标之后, 指挥系统立即通知高射炮部队进入战斗状态; 当目标进入炮瞄雷达的探测范围时, 炮瞄雷达开始搜索跟踪目标, 测定飞行数据, 并计算射击诸元, 待目标进入开火距离, 高射炮开始射击。

地空导弹对来袭飞机的射击过程与高炮类似, 如图2所示。图2中将射击过程分为五个时间段: T_d : 最大可能探测点至实际探测点的时间; T_i : 实际探测点至跟踪点的时间; T_f : 跟踪至开火射击的时间; T_s : 开火射击至导弹击中目标的时间; T_a : 判断是否击中目标所需时间。可参见[1]。

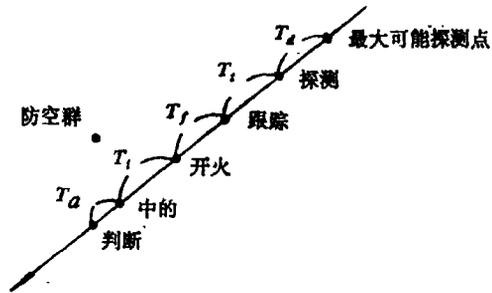


图 2

2 空战构模

空战构模与一般作战模型构模的方法是类似的。首先确定实体及其属性, 然后选定效能度量、变量, 构造出定性模型, 最后由理论与经验以及来自实际的数据, 构造出变量间的逻辑关系, 明确控制关系, 建立数学模型。

空战实体一般包括指挥员、飞机(或飞机编队)、机场、地面防空群(高炮、导弹)。对于一个飞行编队实体, 重要的属性有: 编队号、编队位置、航向、飞机种类、数量、任务区分、起飞机场等; 对于一机场, 重要属性应含: 位置、各类飞机数量及完好程度, 一等飞机产生率等。

空战较陆战而言, 其构模要简单一些, 这是由空战本身的特点所决定的, 空战较陆战涉及少得多的实体。对飞机而言, 其损耗的描述就是两个值: 生存和击毁, 而对一个陆战团而言, 损耗达到一定的百分数时, 仍须适当描述其相应减弱了的战斗力。空战环境也较陆战简单得多, 比如地形因素的影响对陆战单位至关重要, 而对机群编队来说, 其影响要小得多。

空战模型一般按其规模大小分为“一对一”、“少数对少数”和“大量对大量”三类。其抽象程度按上列的顺序后者高于前者, 抽象程度的提高是模型描述更广泛的作战过程所必需的。关于这三类空战模型的详细论述可参考文[2]。

效能度量是系统功能的数量指标。空战效能度量即是指一定的空战系统(机群、防

空群)完成一定的作战任务的能力度量。对于深入敌方空域执行任务的飞机或飞机编队,常用到的效能度量是其突防概率,且可将其定义为深入对方空域距离(突防纵深)的函数[3]。在空空交战中,可考虑敌、我双方各自飞机的损耗数,敌、我各自飞机损耗的百分数,以及我方与敌方的损失比。在空地交战中,常考虑地面目标的损耗百分数,且可按硬、中、软区分不同地面目标。

3 K-865空战模型

3.1 模型概述

K-865空战模型是供集团军战役训练之用的,模拟层次较高,模型是确定型的、“大量对大量”的。模型以机场、执行同种任务的机群编队以及高炮群为描述实体,描述了空战中的指挥控制、实体运动、空空交战、地面防空、空对地轰炸(攻击)及空战中的各种效能度量。模型描述流程如第4页图所示。

模型允许受训指挥员在五类任务中分配航空兵兵力,五类任务是:1)封锁轰炸;2) 近距支援;3) 空域待战;4) 空中拦截;5) 空降。

飞行编队是一个飞机集群,可执行上述五类任务。一个编队的飞机可由执行任务的主攻机和辅助执行任务的掩护机组成,以提高主攻机突防概率。

封锁轰炸与近距支援的主攻机由歼轰机(强击机)和/或轰炸机组成,空域待战编队和拦截编队主攻机由歼击机组成,它们的作用都是“制空”,但前者是处于空中警戒状态,后者按命令升空作战。空降编队主攻机由运输机组成,用于完成将整建制的陆战部队空降至预定作战地域,实现指挥员的作战意图。

K-865空战模型的基本输入输出如下:

输入:

- 1) 生成的编队;
- 2) 集团军作战命令;
- 3) 地面或空中目标特性;
- 4) 飞机、高炮武器性能参数。

输出:

- 1) 飞机编队航迹、兵力;
- 2) 机场状态;
- 3) 双方航空兵力损耗;
- 4) 地面目标损伤百分数(对点目标,即桥梁、要道,抽随机数决定毁伤与否);
- 5) 高炮群状态;
- 6) 各类战情、战况报告。

3.2 主要算法

3.2.1 地面防空算法

约定:

- 1) 编队进入不同地面防空火力有效射程之内时,相应地空武器即开火射击;
- 2) 编队中飞机区分为歼击机、强击机(歼轰机)和轰炸机、运输机二类分别计算

平均被击毁率。设

$$Q_N = \frac{1}{2} Q'_N + \frac{1}{2} Q''_N$$

$$Q'_N = \exp\left(-\frac{a}{N}\right)$$

$$Q''_N = 1 - \frac{a}{N}$$

$$a = n_{\text{平均}} \cdot W'$$

其中:

Q_N : 编队平均生存百分数; Q'_N : 防空火力不转移火力射击情形下的 Q_N ;

N : 编队飞机总数(区分歼强与轰运二类); Q''_N : 防空火力转移火力射击情形下的 Q_N ;

$n_{\text{平均}}$: 防空火力平均射击次数;

W' : 防空火力一次射击击毁目标概率。而 W' 按以下情况计算:

地空导弹射击情形: $W' = P_{\text{发现}} \cdot P_{\text{可靠}} [1 - (1 - P_{\text{命中}})^m]$

高炮射击情形: $W' = P_{\text{发现}} \cdot P_{\text{可靠}} [\alpha W_{\text{多单}} + (1 - \alpha) P_{\text{命中}}]$

$$W_{\text{多单}} = 1 - \left(1 - \frac{P_{\text{命中}}}{\omega}\right)^m$$

$$n_{\text{平均}} = n_{\text{单位}} \left(\frac{t_{\text{平均射击}}}{t_{\text{间隔}}} + 1\right)$$

$$t_{\text{平均射击}} = \frac{1.57 \xi_{\text{大}} + L}{V}$$

其中:

L : 编队长度;

$\xi_{\text{大}}$: 防空武器最大航路捷径(随高度变化);

$t_{\text{间隔}}$: 防空武器二次射击平均间隔时间;

V : 编队飞行速率;

$n_{\text{单位}}$: 防空单位数;

α : 一次连射击毁率计算经验公式系数;

m : 一次射击发射弹数;

ω : 击毁目标平均必须命中弹数;

$W_{\text{多单}}$: 多次单发射击击毁率;

$P_{\text{发现}}$: 发现目标概率;

$P_{\text{可靠}}$: 发射系统工作可靠性;

$P_{\text{命中}}$: 单发命中目标概率。

3.2.2 空空交战算法

约定:

1) 歼击机之间是一对一交战。当双方歼击机数不相等时, 认为多的一方一部分歼击机不参与交战;

2) 歼击机编队与遂行有护航歼击机的轰炸或空降编队遭遇时, 若歼击机编队歼击机总数不超过护航机总数, 则轰炸或空降编队主攻机全部突防, 否则, 除去歼击机之间的一对一交战兵力, 歼击机编队剩下的飞机全部用于攻击对方编队主攻机;

3) 交战双方均首先使用空空导弹攻击(装备空空导弹条件下), 然后航炮攻击,

导弹及航炮攻击效率随双方机种不同而不同,模型对固定的机种输入固定的典型武器使用方案,模型所取的最终击毁率是两种攻击手段的综合击毁率。

$$E = \min(\sum_i A_i, \sum_j D_j)$$

$$E_{ij} = E \cdot \left(\frac{A_i}{\sum_i A_i} \right) \left(\frac{D_j}{\sum_j D_j} \right)$$

$$A_i^k = \sum_j E_{ij} \cdot p_{ij}$$

$$D_j^k = \sum_i E_{ij} \cdot q_{ji}$$

式中

A_i : A方第*i*种歼击机数; D_j : D方第*j*种歼击机数;

A_i^k : A_i 损耗数; D_j^k : D_j 损耗数;

p_{ij} : *j*对*i*的毁伤概率; q_{ji} : *i*对*j*的毁伤概率。

而毁伤概率 p_{ij} 、 q_{ji} 按下式计算:

$$p_{ij} = W_{1ij} + (1 - W_{1ij})(1 - W_{2ji})W'_{1ij}$$

$$q_{ji} = W_{2ji} + (1 - W_{1ij})(1 - W_{2ji})W'_{2ji}$$

式中

W_{1ij} : *j*对*i*的空空导弹击毁概率; W_{2ji} : *i*对*j*的空空导弹击毁概率;

W'_{1ij} : *j*对*i*的航炮击毁概率; W'_{2ji} : *i*对*j*的航炮击毁概率。

空空导弹与航炮对敌方的击毁率分别按下两式计算:

$$W = P_{\text{发现}} \cdot P_{\text{引导}} \cdot P_{\text{截获}} \cdot P_{\text{可靠}} [1 - (1 - P_{\text{命中}})^m]$$

$$W' = P_{\text{发现}} \cdot P_{\text{引导}} \cdot P_{\text{截获}} \cdot P_{\text{可靠}} [\alpha W_{\text{多单}} + (1 - \alpha) P_{\text{命中}}]$$

而

$$W_{\text{多单}} = 1 - \left(1 - \frac{P_{\text{命中}}}{\omega} \right)^m$$

其中:

$P_{\text{引导}}$: 引导成功概率; $P_{\text{截获}}$: 截获目标概率。

歼击机与主攻机交战算法如下式^[2]。

$$P_A = \exp\left(-\frac{\bar{W}_{AD}(\sum_j D_j - E)}{N}\right)$$

$$P_D = \exp\left(-\frac{\bar{W}_{DA} \cdot N}{\sum_j D_j - E}\right)$$

其中:

P_A : 主攻机生存概率; \bar{W}_{AD} : 歼击机对主攻机的平均击毁概率;

P_D : 歼击机生存概率; \bar{W}_{DA} : 主攻机对歼击机的平均击毁概率。

N : 主攻机总数;

歼击机与主攻机的相互击毁概率按下式计算:

$$\bar{W}_{AD} = \frac{\sum_j (D_j - \sum_i E_{ij}) \cdot \frac{\sum_k N_k \cdot p_{kj}}{N}}{\sum_j D_j - E}$$

$$\bar{W}_{DA} = \frac{\sum_k N_k \cdot \frac{\sum_j (D_j - \sum_i E_{ij}) q_{ji}}{\sum_j D_j - E}}{N}$$

其中：

N_k ：第 k 种主攻机总数。

3.2.3 空对地轰炸（攻击）算法

约定：

1) 区分点状目标与面状目标；

2) 编队一次投完全部航弹；

3) 对面状目标，弹点均匀分布在目标面上，有重复杀伤；

4) 对点状目标，目标等效成正方形，飞机进入方向与目标轴线方向一致，编队分机种成双机依次攻击，弹串中心服从平面上的正态分布，散布中心与瞄准点重合，且位于目标中心。

对面状目标毁伤计算公式是：

$$M = 1 - \prod_i \left(1 - \frac{A_{Li}}{A_T} \right)^{n_i}$$

其中：

M ：毁伤目标面积百分数； A_{Li} ：第 i 种航弹战术摧毁面积（区分不同目标）；

n_i ：第 i 种航弹数量；

A_T ：目标面积。

对点状目标毁伤计算公式是：

$$P = 1 - (1 - P_1)^{\frac{N}{2}}$$

其中，

P ：目标毁伤概率； P_1 ：一个双机编队对目标的毁伤概率；

N ：主攻机总数。

一个双机编队对目标的毁伤概率计算公式如下：

$$P_1 = \sum_{j=1}^{2n} P_j \cdot G_j$$

$$G_j = 1 - \left(1 - \frac{1}{\omega} \right)^j$$

其中：

P_j ：目标命中 j 弹概率。

则

$$p_j = p_{Y_1} \cdot p_{X_j} + p_{Y_2} \cdot \sum_{k+l=j} p_{X_k} \cdot p_{X_l} \quad (k, l=1, 2, \dots, D_X)$$

而

$$p_{X_k} = F_{X_k} - F_{X(k+1)} \quad (k=1, 2, \dots, D_X)$$

$$p_{Y_h} = F_{Y_h} - F_{Y(h+1)} \quad (h=1, 2, \dots, D_Y)$$

$$F_{X(D_X+1)} = F_{Y(D_Y+1)} = 0$$

当 $L \leq X_{目}$ 时, $D_X = n$

$$F_{X_k} = \phi\left(\frac{X_{目} + (n+1-2K)i}{2E_X}\right) \quad (K=1, 2, \dots, D_X)$$

当 $L > X_{目}$ 时, $D_X = \left\lfloor \frac{X_{目}}{i} \right\rfloor + 1 < n$

$$F_{X_k} = \begin{cases} \phi\left(\frac{X_{目} + (n+1-2K)i}{2E_X}\right) & (K=1, 2, \dots, D_X-1) \\ \sum_{R=D_X}^n \phi\left(\frac{X_{目} + (n+1-2R)i}{2E_X}\right) & (K=D_X) \end{cases}$$

当 $B \leq Y_{目}$ 时, $D_Y = 2$

$$F_{Y_h} = \phi\left(\frac{Y_{目} + (3-2h)I}{2E_Y}\right) \quad (h=1, 2, \dots, D_Y)$$

当 $B > Y_{目}$ 时, $D_Y = \left\lfloor \frac{Y_{目}}{I} \right\rfloor + 1 < 2$

$$F_{Y_h} = \sum_{R=1}^2 \phi\left(\frac{Y_{目} + (3-2R)I}{2E_Y}\right) \quad (h=1)$$

式中:

$X_{目}$: 目标纵长; L : 连投长;
 $Y_{目}$: 目标横宽; B : 双机编队宽(=I);
 i : 连投间隔; E_X : 纵向概率偏差;
 I : 双机编队间隔; E_Y : 横向概率偏差;

$$\phi(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{t^2} e^{-t^2} dt.$$

4 模型运行计算示例

本节给出K-865空战模型的几个计算实例,限于篇幅,本文未给出模型的计算程序框图。

例1 红军编队组成: 歼击机24架, I型轰炸机30架; 蓝军编队组成: 歼击机30架。战果统计如表1所示。

例2 例1中红军编队中的歼击机减少一半, 即12架, 其余不变。战果统计如表2所示。

比较例1、例2看出, 减少护航歼击机后, 红军主攻机损失大增。

表1

机 种	战损(架)
蓝军歼击机	8
红军歼击机	8
红军I型轰炸机	8

表2

机 种	战损(架)
蓝军歼击机	5
红军歼击机	4
红军I型轰炸机	7

例3 编队组成: I型轰炸机 2架, I型轰炸机 2架。

目标: 桥梁;

载弹: I型轰炸机, I型航炸弹, I型轰炸机, I型航炸弹。

轰炸计算结果如表3所示。

例4 编队组成: I型轰炸机 2架;

目标: 暴露步兵;

载弹: I型航炸弹。

轰炸计算结果如表4所示。

表3

机 种	对目标受伤概率
II型轰炸机	0.48458
I型轰炸机	0.10215
综 合	0.53722

表4

目 标	受伤目标面积%
暴露步兵	49.238

表5

机 种	生存概率	战损(架)
歼击机	0.434	7
I型轰炸机	0.345	6

例5 编队组成: 歼击机12架, I型轰炸机 9架防空群组成: 高炮营3个; 三

类地空导弹连各3个。

编队突防高度: 400米。

计算结果如表5所示。

5 结束语

构造一个好的空战模型需要许多人较长时期的共同努力。虽然K-865空战模型只是对集团军战役中空战进行的一个初步研究,但毕竟为进一步深入研究空战提供了一个较好的基础。

参 考 文 献

- [1] Chung Koo Cho and Yong Li Lee. A Generalized Approach to Air Defence Combat Modeling. In AD-A162179, The Naval Postgraduate School, 1985
- [2] Skliris E. An Expected Value Air Combat Model Simulation Algorithm to Predict Mission Performance in Tactical Air Operations. In AD-A137651, The Naval Postgraduate School, 1983
- [3] Monahan R H. BOMPEN A Bomber Penetration Model, In AD 757812, 1972

Research on Air Combat Model

Huang Housan Sha Jichang

Abstract

The general patterns in an air combat and the characteristics of air combat modeling are described in this paper. An air combat model for discipline in a army scale is constructed. Some effects of the air combat for different flying formation are computed using this model. These results can be used to analyze the tactics.

Key words: operations research, applied mathematics, computer application, combatant operation research, combat simulation, air combat model