

文章编号: 1002-0640(2005)06-0033-03

## 航空兵封锁敌机场的模拟

姜青山<sup>1</sup>, 吴国良<sup>2</sup>, 范波涛<sup>1</sup>

(1. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001; 2. 陆军航空兵学院, 北京 101116)

**摘要:** 描述了航空兵在想定条件下封锁的过程, 分析了机场跑道等目标特点, 在此基础上构建了航空兵封锁机场的仿真模型, 对突破敌方防空拦截编队、地面防空兵力的模拟和轰炸目标的过程进行了模拟, 最后对封锁机场的效果进行了统计。

**关键词:** 航空兵; 机场封锁; 作战模拟

**中图分类号:** TP391.9

**文献标识码:** A

## Simulation Study on Blockading Enemy Airports by Aviation

JIANG Qing-shan<sup>1</sup>, WU Guo-liang<sup>2</sup>, FAN Bo-tao<sup>1</sup>

(1. Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China,

2. Journal of Army Aviation Institute, Beijing 101116, China)

**Abstract:** This article deals with the process of blockading enemy airfield by aviation on a supposed condition, and analyzes the characteristics of the airfield runway. Based on the process, the construction of emulational mathematic modol of aviation blockading enemy airfield is made. According to the model, a simulation of penetrating the enemy air formation, the airground air-defence forces, the bombing to the target and the statistics of blockade effect are made.

**Key words:** aviation, airfield blockade, battle simultion

## 引言

对敌机场进行有效的封锁是遏制敌空中力量并进而夺取制空权的有效手段。如何有效地发挥航空兵突击编队对地攻击能力来封锁机场是一个在实际作战中非常重要的问题。本文通过对敌机场封锁的典型过程进行模拟来评估封锁效果, 结论可用于评估航空兵突击力量的作战效能, 模拟系统中初始化双方的空战力量。

## 1 封锁机场过程的作战想定

封锁兵力由轰炸机编队、护航机编队组成; 反封锁兵力由拦截机编队、地空导弹防区、高射炮防区组成。实施机场封锁的方式是采用轰炸机编队进行低空远程奔袭, 突防敌防空体系对机场实施突击。而实际作战中则可能先用常规地地导弹进行远程精确打

击, 在效果不理想的情况下, 用轰炸机编队进行突防突击。考虑到在地空导弹射程内其防空任务优先于歼击机, 因此拦截体系分为歼击机拦截区、地空导弹拦截区、高射炮拦截区。其航空兵作战模拟过程如图1所示。

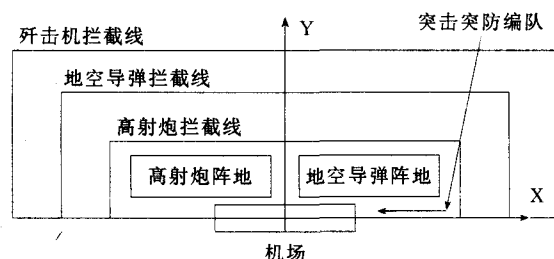


图1 机场封锁与反封锁作战想定描述

在常规地地导弹未达成预定封锁目的的情况下, 为扩大机场封锁效果, 我方出动轰炸机编队实施突防突击。对于我突击编队, 敌防空雷达开启, 引导机场歼击机组成拦截编队在预计各个拦截点进行拦截, 并与我护航编队发生空战。空战后, 我突防的突击编队顺序进入敌地空导弹、高射炮拦截区, 最后到达机场跑道上空实施轰炸, 不同编队的轰炸目标可

收稿日期: 2003-11-23

修回日期: 2004-01-23

作者简介: 姜青山(1962- ), 男, 陕西蒲城人, 副教授、硕士生导师, 主要从事海军战术学专业。

能不同,分别为塔台、机场油库与停机坪、跑道。

## 2 目标特点与封锁原则

通常情况下,目标按几何形状分为点目标、线目标、面目标。塔台、机场油库、停机坪属于点目标,而机场跑道虽属于一种面目标,但选取的效果指标不同于一般的面目标。封锁机场跑道,并不需要破坏整个跑道,通常把跑道炸成几段。只要跑道的完好地段的长度不能保障飞机起飞,就算达到封锁目的。因此,对于跑道的打击效能指标取为毁伤后跑道上没有供飞机起飞的完好的最小矩形区域。

假设跑道长为  $L$ , 宽为  $B$ , 每发弹可形成半径为  $r$  的弹坑。设模拟产生每枚弹落点坐标  $(x_{ij}, y_{ij})$ ,  $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$ , 飞机起飞所需跑道的最长长度  $L_1, B_1$ 。排除落在跑道外的弹,对跑道内的弹进行分析,设这些弹按  $x_{ij}$  的顺序从大到小进行排列,记为  $\{(x_j, y_j)\}$ 。从  $j=1$  开始,将这些点沿  $X$  轴逐点形成一个长方形判断区,在该区域内各点按  $y_j$  的顺序从小到大排列,如果存在一对相邻的点,其  $Y$  坐标相差均不小于  $B_1 + r$ , 则飞机在该判断区内能起飞,从而跑道未被封锁;如果所有相邻点均小于  $B_1 + r$ , 则飞机在该区域内不能起飞,令  $j=j+1$  连续判断,直到所有区域判断完成。

对跑道、塔台、油库、停机坪等目标的轰炸计算以瞄准中心为原点,飞机进入方向为纵向坐标轴的直角坐标系。在飞机对目标的轰炸过程中,设编队中飞机保持相同的编队间隔,采用相同的连投弹间隔。根据机体散布参数产生的正态分布的随机数和间隔,算出每颗炸弹的坐标点,再模拟产生每一炸弹的个别散布点,并转换到目标上,再根据目标大小判断命中目标的弹数。

## 3 封锁机场仿真模型

根据想定描述,整个模拟过程包括:拦截机编队拦截突击编队模拟、拦截编队与护航编队空中交战模拟、突击编队突破防空导弹阵地、高射炮阵地模拟、突击编队轰炸目标模拟五个部分。

### 3.1 拦截机编队拦截我突击编队

防空雷达通过我方突击编队的坐标、航向、航速,算出各个可能的拦截点,并引导拦截机进行拦截。拦截机拦截概率:  $P_{LJ} = P_{ld}P_{gz}P_{qf}P_{ss}$

突击编队突防拦截机拦截概率:  $P_{TF} = 1 - P_{LJ}$

其中,  $P_{ld}$  为敌防空雷达发现概率、 $P_{gz}$  为雷达跟踪概率、 $P_{qf}$  为机场可起飞拦截机的概率、 $P_{ss}$  为拦截编队在预计拦截点附近空中搜索的概率。 $P_{qf}$  是目标

机场可起飞的拦截我突击编队的拦截机概率,设机场拦截编队反应时间为  $T$  (即从防空雷达发现到拦截机升空),拦截编队进入拦截区近界的飞行时间为  $t_{lj}$ ,到达最远拦截线的飞行时间为  $t_{ly}$ ,速度为  $v_{lj}$ ,突击编队被发现的坐标为  $(x_0, y_0)$ ,速度为  $v_{jg}$ ,为保证拦截机能在拦截区与突击编队相遇,进行如下判断:

(1) 判断突击编队坐标是否位于最小拦截范围外(地空导弹拦截线外);

(2) 计算拦截点是否落在最小拦截线外,此时雷达的反应时间要满足:

$$0 \leq T \leq \frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - v_{lj}t_{lj}}{v_{jg}} - t_{lj}$$

$$\text{令 } T_{\max} = \frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - v_{lj}t_{lj}}{v_{jg}} - t_{lj}$$

在模拟过程中,  $T$  是服从指数分布的随机变量,

即:  $T \sim e(\lambda)\lambda > 0$ , 因此:  $P_{qf} = \int_0^{T_{\max}} \lambda e^{-\lambda t} dt$  若

$\sqrt{x_0^2 + y_0^2}$  较大,即发现的足够早,则  $P_{qf} = 1$ 。

### 3.2 拦截编队与护航编队空中交战模拟

双方编队进行空战时,根据当时态势情况而定。一般而言,突击编队在发现敌拦截编队后,护航编队对敌歼击机编队进行拦截,轰炸机突击编队迅速摆脱;而拦截编队则分出一部分兵力攻击我护航编队,同时继续追击我轰炸编队。设突击编队中轰炸机架数为  $n_1$ ,护航机架数为  $n_2$ ,每架护航机携带空空导弹数量为 2 枚,拦截编队总的飞机架数为  $m$ ,每架也携带空空导弹 2 枚。其攻击目标按拦截任务进行分配。即对我护航编队架数,拦截编队抽出  $m_2$  架飞机交战,剩余  $m_1$  架攻击轰炸编队。其比例为任务分配系数  $k_1$ 。我护航编队则抽出  $n_{21}$  架飞机与敌  $m_2$  空战,  $n_{22}$  架攻击敌  $m_1$  架飞机,其比例为分配系数  $k_2$ 。因此,在模拟时应并行计算:

(1) 拦截编队中的  $m_2$  架飞机与护航编队中的  $n_{21}$  架飞机进行空战。

此时,模拟方法按照双方所携带的导弹数量进行交战,每个回合双方每架飞机各发射一枚导弹,优先开火权按双方飞机所携导弹的最大射程来定,并计算损失。未损伤飞机作为新的兵力,进入下一回合。直到双方中某一方的飞机被全部击毁或空空导弹用完,火力分配按火力均摊原则。其中:令导弹的单发命中概率为  $P_1$ , 则:  $P_1 = P_{kg}P_{kif}P_{pz}P_{jh}$

$P_{kg}$  为导弹的抗干扰概率,  $P_{kif}$  为导弹抗击毁的概率,  $P_{pz}$  为导弹捕捉目标的概率,它由制导雷达的选择波门、发射方向和被攻击方向飞机编队之间相

邻的距离所定,  $P_{jh}$  为击毁概率。

目标遭受  $k$  发导弹攻击的命中概率为  $P_k$ :

$P_k = 1 - (1 - P_1)^k$  考虑到双方的飞机数, 有:

若  $0 < \frac{m_2}{n_{21}} < 1$ , 则  $n_{21}$  中有  $m_2$  架飞机遭到单发导弹攻击;

若  $1 < \frac{m_2}{n_{21}} < 2$ , 则  $n_{21}$  有  $m_2 - n_{21}$  架飞机遭到 2 发导弹攻击, 其余遭到单发导弹攻击;

若  $2 < \frac{m_2}{n_{21}}$ , 则  $n_{21}$  中飞机全部遭到 2 发导弹攻击。

(2) 考虑导弹的飞行时间, 拦截编队中的  $m_1$  架飞机攻击轰炸机  $n_1$ , 同时护航编队中的  $n_{21}$  架飞机攻击该  $m_1$  架飞机。

此时, 模拟方法首先计算出突击编队中轰炸机遭到攻击后的损失, 随后计算敌拦截机遭到我护航机攻击的损失, 并生成新的兵力, 直到敌拦截机全部被摧毁或轰炸机编队全部被摧毁。

(3) 计算突击编队突防效果。

突击编队的突防效果可用编队中飞机的平均突防百分数作为衡量指标, 它分为护航机编队的突防百分数  $E_1$  和轰炸机编队的突防百分数  $E_2$ 。

### 3.3 突击编队突破防空导弹阵地、高射炮阵地模拟

在突防过程中, 设地空导弹一次射击事件是相互独立的。根据敌防空导弹制导雷达的探测距离, 突击编队的飞行速度和高度, 模拟计算突击编队的突防概率。

(1) 按火力均摊原则, 每个回合中, 防空阵地的一个防空导弹火力单位一次发射一枚导弹攻击突击编队中的一个目标, 其单发命中概率为  $P$ , 有:  $P = P_{zh}P_{kk}P_{jh}P_{kd}P_{kg}$ 。

其中  $P_{zh}$ 、 $P_{kk}$ 、 $P_{jh}$ 、 $P_{kd}$ 、 $P_{kg}$  分别为防空导弹指挥成功率、可靠度、单发击毁概率、突击编队的反机动概率、反干扰概率。

每个回合中, 一个高射炮火力单位一次齐射  $n$  发炮弹攻击突击编队中的一个目标, 其命中概率为  $W$ , 有:  $W = (\alpha(1 - e^{-\frac{nP_1}{\omega}}) + (1 - \alpha)P_1)P_{zh}P_{kk}P_{kd}$

其中,  $\alpha$  为火炮的修正系数,  $\omega$  为平均必须命中弹数,  $n$  为齐射的炮弹数,  $P_1$  为火炮的单发击毁概率,  $P_{zh}$ 、 $P_{kk}$ 、 $P_{kd}$  分别为防空火炮指挥成功率、可靠度、突击编队的反机动概率。

(2) 考虑高射兵器的反应时间, 设各次火力射击的间隔时间为  $T$ , 突击编队进入防空区的时间为

$t_{jr}$ , 离开的时间为  $t_{lk}$ , 计算出一个火力单位射击的次数  $k$ :

$$k = \frac{t_{lk} - t_{jr}}{T}$$

(3) 计算突击编队突防地面防空的效果。

突击编队的突防效果可用编队中飞机的平均突防百分数作为衡量指标, 它分为护航机编队的突防百分数  $E_1$  和轰炸机编队的突防百分数  $E_2$ 。

### 3.4 突击编队轰炸目标模拟

突击编队到达机场上空, 即按原计划对塔台、油库、停机坪、跑道等目标进行轰炸。轰炸的效果取决于轰炸的准确性、目标的大小、炸弹的威力、编队剩余飞机的数量等指标有关。在模拟计算时, 首先产生  $(0, 1)$  均匀分布随机数  $(x_1, x_2)$ , 再转换为正态分布

$$\text{随机数}(N_1, N_2): \begin{cases} N_1 = \cos(2\pi x_2) \sqrt{-2\ln x_1} \\ N_2 = \sin(2\pi x_2) \sqrt{-2\ln x_1} \end{cases}$$

设目标中心处于坐标中心, 相对于目标中心而言, 炸弹弹着点散布中心的数学期望  $(M_x, M_y)$ ,  $r$  为弹着点的相关系数, 弹着点的落点偏差为  $(E_x, E_y)$ , 则符合条件的弹着点位置为:

$$\begin{cases} X_{\#} = N_1 \cdot \sqrt{r} \cdot E_x + M_x \\ Y_{\#} = N_2 \cdot \sqrt{r} \cdot E_y + M_y \end{cases}$$

考虑到编队飞机数目  $m$ , 连投弹的数目  $n$  的因素, 以第一枚弹落点中心为准, 纵向上的连投间隔为  $i$ , 横向上编队间隔为  $j$ , 计算每个弹的位置坐标分别为:

$$\begin{cases} X_{1,1} = X_{\#} - i(n-1)/2 \\ Y_{1,1} = Y_{\#} - j(n-1)/2 \\ \begin{cases} X_{u,v} = X_{1,1} - (v-1)i \\ Y_{u,v} = Y_{1,1} - (v-1)j \end{cases} \end{cases}$$

$$(u = 1, 2, \dots, m; v = 1, 2, \dots, n)$$

结合每颗炸弹各自的误差, 模拟产生每个弹着点的位置  $(X'_{u,v}, Y'_{u,v})$ , 若炸弹携带子弹头, 则产生以母弹弹着点为圆心, 以抛散半径为  $R$  的圆内均匀分布的各子弹头的弹着点, 设  $x_1$  为  $(0, 1)$  之间的均匀分布的随机数, 则第  $i$  枚弹的第  $j$  枚子弹的落点

$$(X_{ij}, Y_{ij}) \text{ 为: } \begin{cases} X_{ij} = X_i + R \sqrt{x_1} \cos(2\pi x_1) \\ Y_{ij} = Y_i + R \sqrt{x_1} \cos(2\pi x_1) \end{cases}$$

结合目标的外形尺寸和每个弹着点的坐标, 可判断出该弹是否命中目标。对各种点目标而言, 其毁伤概率为  $P_{毁伤}: P_{毁伤} = 1 - (1 - 1/\omega)^n$  其中  $\omega$  为目标被毁伤平均必须命中弹数;  $n$  为命中目标弹数。

信区间为(0.057 09,0.079 658)。那么,机械专业可顺利完成保障任务的概率

$$p_1=p_2=p_3=1-y=0.931\ 626;$$

同理,根据其它专业的失误率数据统计可得到  $P_4=0.982, P_5=0.983, P_6=0.986, P_7=0.99$ , 则根据式(3)得人力系统可信度  $D=0.942\ 0$ ;

上面矩阵  $R$  的元素的实际意义,以第一行为例,表示的是对该机组机械师进行评定时,有 20% 的专家组成员认为他的能力职称程度为‘好’,有 32% 的认为是‘较好’,28% 的人认为是‘一般’,12% 的人认为是‘较差’,8% 的人认为是‘差’。

同理,其它各行表示的是对其它各专业人员的评定,具体计算很简单,将向量  $a$ 、矩阵  $R$  带入式(5)计算可得

$$b=R \cdot x=(0.72, 0.703, 0.705, 0.715, 0.765, 0.75, 0.707\ 5)$$

进而由式(6)得维护能力

$$C=(a, b)=0.724\ 3$$

则该系统的人素质数为:

$$M=A \cdot D \cdot C=0.959\ 6 \times 0.942\ 0 \times 0.724\ 3=0.654\ 7$$

### 3 结 论

本文建立了装备维护系统效能评估人素系数模型,并通过对维护人员可用性、可信性、固有能力的分析得出了该人素系数的确定方法,为更合理地进行分析维护系统效能评估,提供了更科学的量化手段。最后的计算实例验证了该模型的可能性。

#### 参考文献:

- [1] 苏 畅. 单机维护保障系统人力可用性评估模型初探[J]. 装备指挥技术学院学报, 2003, 14(5): 23-26.
- [2] Parsons C. Environmental Ergonomics: A Review of Principles, Methods and models [J]. Applied Ergonomics. 2000, 31: 581-594.
- [3] 章国栋, 陆延孝, 屠庆慈, 等. 系统可靠性与维修性的分析与设计[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 1990.
- [4] 王学义, 孙德宝. 部队装备保障能力评价研究[J]. 军械工程学院学报, 2002, 14(1): 18-21.
- [5] 戴 耀, 汪德虎. 定性定量相结合的舰炮武器系统作战效能评估方法[A]. 2001 年会学术论文集[C], 2001.

(上接第 35 页)

对跑道的封锁效果按第 2 部分的内容进行判断, 结论分成功封锁(封锁概率取 1) 和未成功封锁(封锁概率取 0) 两种。

### 4 封锁效果的统计

封锁效果统计的主要目的是根据前面计算产生的结果, 综合出此次行动的一个量化的指标。针对机场各个目标的权重, 采用 AHP 法给出最终结果。请  $n$  个专家分别对目标价值因素进行两两相对重要性的比较, 得出判断矩阵  $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 进而求出个目标的价值权重。再根据目标毁伤概率和跑道的封锁概率与其相应的价值权重, 得出此次模拟的封锁效果。

设  $A=[a_{ij}]_{n \times n}$ , 计算  $m$  个判断矩阵的各行元素

$$\text{的几何平均值: } \bar{W}_i = n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}; i=1, 2, \dots, n$$

$$\text{向量化: } \bar{W} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n)^T$$

$$\text{规范化: } W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i}; i=1, 2, \dots, n$$

$$\text{所以 } W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$$

将各专家的  $W$  相加求平均值就得出权重因子。重复模拟足够的次数  $k$ , 即得出封锁的效果:

$$P = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k P_i; P_i \text{ 为第 } i \text{ 次封锁的效果。}$$

### 5 结束语

本文较为详细地分析了航空兵封锁机场作战的过程, 目的是探讨航空兵在突防条件下的突击能力。模拟结果表明, 如果在常规地地导弹先期打击敌防空导弹阵地、机场跑道的情况下, 可以大大提高航空兵的突防、突击能力。在作战过程中, 降低敌发现时间、采用航母弹可有效增强对目标封锁的能力。

#### 参考文献:

- [1] 张最良. 军事运筹学[M]. 北京: 军事科学出版社, 1993.
- [2] 崔晓宝. 航空兵作战模拟概论[M]. 北京: 蓝天出版社, 1999.
- [3] 崔晓宝. 航空兵对地攻击效果评估[R]. 北京: 军事科学院军事运筹分析研究所, 2001.
- [4] 杨 军, 等. 用遗传算法求解常规导弹封锁机场的最佳策略[J]. 军事运筹与系统工程, 2001(2): 4-8.