

编队协同对地攻击总体作战效能评估^①

吴 静, 王 琪

(南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

摘 要: 根据编队协同作战的特点, 运用层次分析法提出了编队总体作战效能的评估指标体系。重点研究了影响编队总体作战效能的因素, 如突防能力、攻击能力、协同能力和指挥决策能力等并建立其评估模型, 之后深入分析了影响每个因素的条件且计算了准则层中各因素的权重系数。最后通过实例论证有效证明了该评估指标体系的合理性, 为编队协同对地攻击的作战效能评估提供了有效的理论基础。

关键词: 编队协同作战; 层次分析法; 作战效能; 对地攻击; 评估指标

Operational Effectiveness Evaluation for Formation Attacking Ground Targets

WU Jing, WANG Qi

(Department of Information Engineering, Nanchang Aeronautic University, Nanchang 330063, China)

Abstract: According to the characteristics of the collaborative combat formation, applying to the analytical hierarchy process puts forward the formation of the overall operational effectiveness evaluation index system. The key of the researches are factors that influence the overall operational effectiveness formation, such as the penetration ability, attack ability, interoperability and command decision-making ability and establish the evaluation model. Then in-depth analysis of the influence conditions of each factor and calculate the standard layer in the weighting coefficient of various factors. Finally it is proved that the evaluation index system of rationality effectively by examples of demonstration. For the collaborative attacking formation of assessment operational effectiveness provides the effective theory basis.

Key words: formation cooperative combat; operational effectiveness; ground attack; AHP

为了增加完成任务的成功机会, 提高飞机的作战效率, 通常是多机一起执行任务, 这样即使某架飞机因敌人的通信干扰或是受到攻击而被毁, 剩下的依然可以完成任务。编队协同对地攻击是未来战争主要的作战模式。

作战效能分析在作战中发挥着重要的作用, 广义地讲, 作战效能分析包括作战效能评估和作战效能优化。目前, 关于编队协同作战效能评估的成果较多的讨论了飞机、武器、机载设备对效能的影响, 较少关注编队协同对效能的影响^[1]。编队协同作战效能评估是一个需要综合主观信息与客观信息的复杂问题, 关于编队协同作战的效能评估研究目前还不够深入, 本文提出的编队协同作战效能评估综合考虑影响作战效能的各指标, 为编队协同效能评估提供了一种科学合

理的评估方法。

1 评估指标体系设计

编队进行作战, 影响其总体作战效能的因素很多, 根据编队作战过程, 利用层次分析法建立编队作战总体效能评估指标体系。如图 1 所示。

根据图 1 可推断出编队协同作战效能指标与突防能力指标、攻击能力指标、协同能力指标和指挥决策系统指标有关, 其中突防能力指标包括: 火力对抗能力、规避机动性能力、电子对抗能力; 攻击能力指标包括: 目标探测能力、目标识别能力以及目标毁伤能力; 协同能力指标包括: 协同可信性指标和协同可靠性指标; 指挥决策系统指标包括: 态势感知能力、战术决策能力、指挥控制能力、系统生存能力。实际上,

① 收稿时间:2011-06-17;收到修改稿时间:2011-08-17

编队协同对地攻击总体效能还与飞行员操作水平和作战环境有关,但由于这些因素难以进行量化处理,这里暂且不将其考虑在内。综合考虑上述决定总体作战效能的因素,将编队协同作战作为一个有效的武器系统其总体效能定义为:

$$E = f(E_P, E_A, E_{CP}, E_{DEC})$$

$$= \omega_P \cdot E_P + \omega_A \cdot E_A + \omega_{CP} \cdot E_{CP} + \omega_{DEC} \cdot E_{DEC} \quad (1)$$

其中, E_P 表示突防效能指标; E_A 表示攻击能力指标; E_{CP} 表示协同能力指标; E_{DEC} 表示决策指挥能力指标; $\omega_P, \omega_A, \omega_{CP}, \omega_{DEC}$ 为权重系数。本文将根据式(1)来研究决定总体作战效能的各个因素,最后确定总体作战效能。

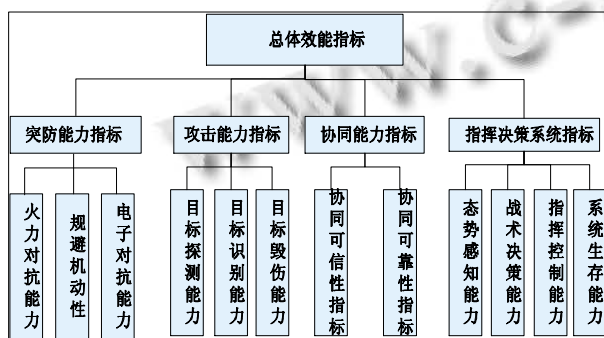


图1 编队作战总体效能指标体系

2 评估模型

2.1 突防能力评估模型

编队对地攻击的过程,首先就是要突破敌方防空火力的威胁。本文提出的突防能力指标有:火力对抗能力、规避机动性、电子对抗能力。突防能力模型指标效能可用下式(2)表示:

$$E_P = \lambda_{jd} \cdot E_{jd} + \lambda_{dk} \cdot K_{dk} + \lambda_{hk} \cdot P_{h1} \cdot P_{h2} \quad (2)$$

其中, E_{jd} 为规避机动性指标, K_{dk} 为电子对抗能力系数, P_{h1}, P_{h2} 为突破高炮和低空导弹的概率。

高炮和地空导弹是地面防空火力打击的两大主要方式。无人机被地空导弹威胁杀伤的概率可表示为^[2]:

$$P_1 = \frac{r_0^2}{2\delta_r^2 + r_0^2} \cdot P_f \cdot P_y \quad (3)$$

则无人机突破 M 发地空导弹威胁的概率为:

$$P_{h1} = (1 - P_1)^M \quad (4)$$

无人机突破地面高炮威胁的概率可表示为^[3]:

$$P_2 = \frac{A_0}{\sqrt{2\pi\delta_x^2 + x_0^2} \sqrt{2\pi\delta_y^2 + y_0^2}} \cdot \exp\left[-\frac{\pi x_0^2}{2\pi\delta_x^2 + x_0^2} - \frac{\pi y_0^2}{2\pi\delta_y^2 + y_0^2}\right] \quad (5)$$

则无人机突破 N 发高炮威胁的概率为:

$$P_{h2} = (1 - P_2)^N \quad (6)$$

其中, P_f 为低空导弹的雷达发现目标的概率; P_y 为无人机被引爆的概率; r_0 可取 $1.2 r_1$, r_1 为弹头杀伤半径; δ_y 为低空导弹脱靶距离的标准值; A_0 为无人机的易损面积; δ_x, δ_y 分别为高炮命中目标的标准差; x_0, y_0 为飞机易损面积的等效边长。

2.2 攻击能力评估模型

攻击能力是协同作战效能的重要因素,也是协同作战任务的关键。本文表征攻击效能的因素有:目标探测能力、目标识别能力和目标毁伤能力。攻击能力模型总体效能可定义为^[4]:

$$E_A = 1 - (1 - E_a)^N \quad (7)$$

$$E_a = P_F \cdot P_I \cdot P_K \quad (8)$$

其中, P_F 表示发现目标概率, P_I 表示目标识别概率, P_K 目标被击毁概率, N 为编队中攻击机的数目。

假设飞机有多种对地攻击武器,其计算公式可用式(9)表示^[5]:

$$P_K = [1 - (1 - P_m)^m] + [1 - (1 - P_n)^n] \quad (9)$$

式中, m, n 分别为各种武器数量, P_m, P_n 分别为各种武器的杀手概率。

在预警机和攻击机协同作战模式下,预警机首先对目标进行大范围的搜索,当发现目标后对攻击机编队进行战术引导。在预警机的引导下,目标所在范围变小,攻击机发现目标的概率变大。因此攻击机发现目标的概率可用公式(10)表示。

$$P_F = 1 - (1 - P_H)(1 - P_K) \quad (10)$$

其中, P_H 表示预警指挥机发现目标的概率, P_K 为攻击机发现目标的概率。

2.3 指挥决策系统能力评估模型

指挥决策能力主要是指指挥主体根据战场态势完成目标分配、战略决策和战术决策的能力。态势感知能力是发挥作战效能的前提,它决定了战场信息的感知度、信息的准确度以及信息的时效性。战术决策是以信息融合和信息共享为基础,完成威胁判断、目标优先排序和火力分配,是真正实现协同的关键之所在。指挥控制能力影响着战术决策执行情况,协同控制能

力越好, 战术决策执行的效果越好。

因此, 指挥决策系统能力可以用态势感知能力、战术决策能力、指挥控制能力和系统生存能力表示。如公式(11)所示。

$$E_{DEC} = \lambda_{gz} \cdot C_{gz} + \lambda_t \cdot P_t + \lambda_s \cdot C_s + \lambda_{jc} \cdot C_{jc} \quad (11)$$

其中: C_{gz} 表示态势感知能力; P_t 为指挥控制时效性; C_s 表示系统生存能力; C_{jc} 为战术决策能力; λ_{gz} , λ_t , λ_s , λ_{jc} 为权重系数。

2.3.1 态势感知能力

态势感知是指在单个飞机信息融合的基础上, 利用编队内各机和上级提供的情报, 在编队级的层次上获得作战区完整、清晰、准确的战场态势。态势感知能力考虑的是感知的目标数量和质量的准确性。目标数量和质量准确率可用公式(12)(13)表示:

$$P_1 = N_{gz} / N_{sj} \quad (12)$$

$$P_2 = N_{zs} / N_{gz} \quad (13)$$

其中, N_{gz} 表示过信息融合后得出的目标数量, N_{sj} 表示实际战场中目标的数量, N_{zs} 表示感知到的目标是真实准确的目标数量。

由此可以得出总的态势感知能力表示为:

$$C_{gz} = P_1 \cdot P_2 \quad (14)$$

2.3.2 指挥控制能力

指挥控制能力可用指挥控制效率表示, 指挥控制效率 PK 是指在一定作战时间内所能获得作战效益的可能性, 受指挥控制的时效性影响比较大。根据指挥流程, 编队作战指挥的时间由 5 个时间分量构成: 作战单元发现目标并上报给指挥中心时间 $T_{上报}$, 指挥控制中心进行信息融合和处理时间 $T_{处理}$, 指挥中心进行战术决策时间 $T_{决策}$, 指挥系统下达作战任务时间 $T_{下达}$, 指挥中心监视作战情况并进行调整控制时间 $T_{监控}$ 。指挥控制总时间 $T_{sum} = T_{上报} + T_{处理} + T_{决策} + T_{下达} + T_{监控}$ 。在战场环境中指挥系统对时效性要求很高, 应该在时间允许的范围内做出正确的决策, 当指挥控制时间超出了允许的时间, 则指挥系统丧失了有效指挥的能力^[5]。

设作战指挥允许的时间为 T_{max} , 指挥控制效率可用下式表示^[5]:

$$P_t = e^{-\frac{0.7 T_{sum}}{T_{max}}} \quad (15)$$

2.4 协同能力评估模型

协同决策能力主要指协同作战, 编队协同作战

各飞机之间要进行通信和协调, 实现信息的共享从而实现战术协同。协同作战使战斗群的各战斗单元以极短的延时共享其他无人机获取的目标信息, 发射制导导弹对目标进行攻击, 协同防御各个威胁目标。协同能力考虑的是各作战单元之间的数字通信的可靠性和可信性。可信性与态势感知能力有关, 可靠性与数字通信系统的误信率有关, 因此协同能力可用公式(16)表示^[6]。

$$E_{CP} = \lambda_1 \cdot C + \lambda_2 \cdot \prod_{i=1}^n (1 - P_b) \quad (16)$$

其中, P_b 为数字通信系统的误信率; λ_1 , λ_2 为权重系数; n 为无人机的数量。

2.5 权重系数计算

根据层次分析法中的 1-9 判断和专家经验, 建立准则层 4 个因素的判断矩阵 A 。

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 4 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 3 \\ 1/2 & 2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (17)$$

其中, A_1 , A_2 , A_3 , A_4 分别表示突防能力, 攻击能力, 协同能力和指挥决策能力。成对比较矩阵的 A 的最大特征值 $\lambda_{max}=4.0726$, 该特征值对应的归一化特征向 ω 如(18)所示。

$$\omega = (0.4012, 0.2810, 0.1723, 0.1455) \quad (18)$$

根据公式(19)和(20)进行一致性检验, 其中 RI 可以通过查表得到^[7]。

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (19)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (20)$$

经过计算得: $CR=0.0252 \leq 0.1$, 表明判断矩阵具有很好的一致性。所以公式(1)中的权重系数 ω_p , ω_a , ω_{cp} , ω_{dec} 的值分别为 0.1016, 0.4806, 0.1723, 0.2455。同理可得出指标体系所有指标的权重, 如表 1 所示。

表 1 指标体系所有指标权重

指标	权重	指标	权重
火力对抗能力	0.59	协同可靠性	0.64
规避机动性	0.18	协同可信性	0.36
电子对抗能力	0.23	态势感知能力	0.48
目标探测能力	0.37	战术决策能力	0.23

目标识别能力	0.32	指挥控制能力	0.18
目标毁伤能力	0.31	系统生存能力	0.11

3 实例分析

作战战场想定为由预警机和4架对地攻击机构成编队对敌防空指挥阵地攻击。由预警机和攻击机联合编队进行作战的主要模式有以下两种模式：1) 预警机可用，预警机首先对目标进行大范围的探测，当发现目标后对攻击机编队进行战术引导；2) 预警机不参与攻击机编队指挥决策，由攻击机编队执行全自动的作战。

假设防区为炮弹混合防御，地空导弹的预警雷达发现的概率 P_f 为1，地空导弹 CEP(圆概率误差)15m，高炮的 CEP 为20m，近炸弹头的 r_1 为12m，引爆概率 P_y 为1 高射炮炮弹着点偏差均值 $\mu_x=\mu_y=7m$ ，标准差 $\sigma_x=\sigma_y=4m$ 。

某型攻击机的易损面积 $A_U=X_0 \cdot Y_0=2m^2$ 。(且 $X_0=Y_0$)，电子对抗能力系数 K_{dk} 为1.20，攻击机目标发现概率 P_K 为0.8，预警机发现目标的概率 P_H 为0.87，攻击机识别目标的概率 P_I 为0.6。攻击机携带了两种空对地攻导弹，数量分别为 $m=2$ ， $n=3$ ， P_m ， P_n 分别为0.85和0.832，误信率 P_b 为0.231，战术决策能力 C_{jc} 为0.85，指挥决策系统的生存能力为0.9， T_{max} 为120s。

根据以上参数的设置，采用 MATLAB 软件对编队飞机总体作战效能进行仿真研究。

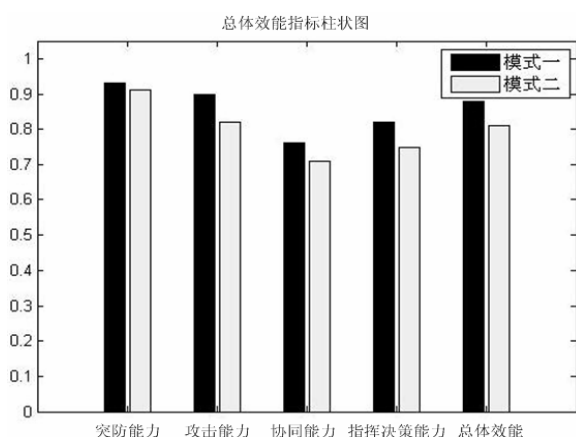


图2 编队飞机总体效能图

由图可以看出：由于模式一是预警机参与指挥决

策的，因此协同能力、攻击能力都远大于没有预警机参与而由编队执行全自动作战的模式二，因而使得总体作战效能模式一比模式二高出很多。

通过以上分析可以看出：在对地攻击时，最好采用由预警机和攻击机联合编队进行攻击，这样能大大提高作战效能。

4 结语

1) 编队协同作战已经引起越来越多的国家的注意和重视，建立一种适用于编队协同作战效能评估方法具有很重要的现实意义；

2) 本文提出的编队协同作战效能评估的指标体现了高技术条件下编队协同作战的特征，较全面地反应和分析了影响系统总体作战效能因素，具有较强实用性，对编队协同作战效能评估做了理论准备；

3) 本文只是初步的建立编队协同作战效能评估模型，模型中的各参数的取值具体还有待通过大量的工程实践检验来进一步修正，以便更能客观的反映不同方式的编队系统在效能上的差异。

参考文献

- 程启月. 作战指挥决策运筹分析. 北京: 军事科学出版社, 2004.
- 李相明, 张晓康, 李志刚. 编队对地攻击总体作战效能. 火力指挥与控制, 2007, 32(7): 99-103.
- 夏庆军, 张安, 张耀中. 战斗机编队协同作战效能评估研究. 系统仿真学报, 2010, 22(9): 2182-2184.
- Dimitriou T, Dimitris F. Secure and Efficient In Network Processing for Sensor Networks. First Annual International Conference on Broadband Advanced Sensor Networks, 2004: 654-665.
- Hwang J, Kim Y. Revisiting Random Key Pre distribution Schemes for Wireless Sensor Networks. 2nd ACM Workshop on Security of Adhoc and Sensor Networks, 2004: 1007-1015.
- Liu DG, Ning P, Du WL. Group Based Key Pre Distribution in Wireless Sensor Networks. ACM WiSE'05, 2005: 745-754.
- Philip L, Nelson L, Matt W, et al. TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire Tiny OS Applications. SenSys, 2003: 342-350.