

攻击机对地攻击 WSEIAC 模型研究

郑海, 黄树采, 刘晖

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:为有效分析攻击机的作战效能,在航空武器性能指标基础上,以突防敌地面防空火力为作战背景,从实战角度提出了攻击机对地攻击的 WSEIAC 模型及模型参数的确定方法,给出了效能评估的基本过程并进行了应用实例分析。结果表明该模型较充分考虑了影响武器效能的多种因素,客观的描述了攻击机对地作战的实质,能够为作战指挥人员提供决策参考。

关键词:攻击机;系统效能;参数;模型

中图分类号:V21;E926.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)02-0027-03

WSEIAC(Weapon System Effectiveness Industry Advisory Committee)模型或 ADC 模型的定义是:“系统效能(E)是系统满足一组规定任务要求程度的度量,它是可用度(A)、可信赖度(D)及能力(C)的函数,即: $E = A \cdot D \cdot C$ ”^[1]。可用度是系统开始执行任务时系统状态的度量,通常表示为系统处于何种状态的概率。可信赖度是在已知开始执行任务时的系统状态条件下,系统在执行任务过程中的某一时刻或某个阶段由于出现事件而形成的系统状态的度量,通常表示为系统开始处于某一状态条件下,在任务执行过程中转移成另一个状态的概率。能力是在已知系统执行任务期间的系统状态条件下,系统完成规定任务的能力度量。该模型把系统 3 大要素组合成一个可反映武器系统总体性能的单—效能度量。以此模型为基本框架,分析影响攻击机对地攻击作战效能的主要因素,从整体观点出发,建立攻击机对地攻击的作战效能模型,为定量评价航空武器系统性能及系统的优化,新系统的研制、装备的选用等提供了理论依据。

1 攻击机 WSEIAC 模型

1.1 系统效能模型

系统效能向量 E 是系统可用度向量 A ,可信赖度矩阵 D 和能力矩阵 C 的乘积

$$E = A \cdot D \cdot C \quad (1)$$

又可表示为

$$E = (e_1, e_2, \dots, e_n) = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ c_{1n} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ 是系统效能向量; $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 为可用度向量,是一个行向量,表示在开始执行任务时武器系统处于不同状态的概率。可信赖度矩阵 $D = (d_{ij})_{n \times n}$ 中的 d_{ij} 表示执行任务过程中由状态 i 转移到状态 j 的概率。能力矩阵 C 的元素 c_{jk} 表示系统在有效状态 j 中的第 k 个效能指标。

由于航空武器基本构成有:瞄准、指控、发射、航空 4 部分,每部分工作状态又存在正常、故障 2 种,所以初始状态有 16 种。由于在作战过程中系统具有不可修复性,因此可简化为如下的形式:

$$E = [a_1 \quad a_2] \cdot \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ 0 & d_{22} \end{bmatrix} \cdot [C_1 \quad C_2]^T \quad (3)$$

1.2 模型参数的确定

收稿日期:2003-05-23

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:郑海(1979-),男,陕西三原人,硕士生,主要从事系统优化与系统仿真研究。

1.2.1 可用度矩阵 A

航空武器基本组成的4个部分中,如有一个故障,则整个系统无法正常工作。上述4个部分可用度存在串联关系:

$$a_1 = \prod_{j=1}^4 a_{1j} \quad (4)$$

a_{1j} 表示第 j 部分的可用度 ($j = 1, 2, 3, 4$ 分别表示为瞄准、指控、发射和航空4个部分)。

$$a_2 = 1 - a_1 \quad (5)$$

因此,系统的可用度矩阵可由 t_{MTBF} 及 t_{MTTR} 得出。 t_{MTBF} 为系统平均无故障工作时间,也就是系统在相邻2次故障间的平均工作时间。 t_{MTTR} 为系统平均故障修复时间,指系统从出现故障到恢复正常所需时间平均值。

$$a_1 = \frac{t_{MTBF}}{t_{MTBF} + t_{MTTR}} \quad a_2 = 1 - a_1 \quad (6)$$

1.2.2 可信赖度矩阵 D

本文考虑单架攻击机在遭受防空火力威胁下攻击非机动地面目标的可信赖度矩阵。在不遭受敌火力攻击情况下,飞机的可信赖矩阵仅仅与飞机平均无故障工作时间(t_{MTBF})有关,对于飞机这样的系统其故障概率近似服从指数分布,且在飞行过程中故障一般不能被修复,因此在不考虑与敌作战对抗环境条件下,可信赖度矩阵可表示为

$$d_{11} = \exp(-t/t_{MTBF}); d_{12} = 1 - d_{11}; d_{21} = 0; d_{22} = 1 \quad (7)$$

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{pmatrix} \quad (8)$$

对于遭受火力攻击情况下,由于来自敌火力的攻击可能是在不同的时间段,因此,对于被击毁概率不考虑遭受敌火力打击时间,考虑每次遭遇威胁被击毁概率。

遭遇一次威胁被击毁概率:

攻击机遭遇单个威胁被击毁概率 P_{KE} 表示为

$$P_{KE} = P_D P_L P_{KSS} \quad (9)$$

式中: P_D 为攻击机被地面雷达探测到的概率; P_L 为目标防御系统向攻击机发射或射击出威胁体概率; P_{KSS} 为攻击机单发被击毁概率,对于不同的威胁体有不同的确定方法。

对于触发或无引信弹头:

$$P_{KSS} = \frac{A_v}{2\pi\sigma_r^2 + A_p} \quad (10)$$

A_v 和 A_p 分别为攻击机的易损面积和迎击面积。

对于近炸弹头:

$$P_{KSS} = \frac{r_0^2}{2\sigma_r^2 + r_0^2} \quad (11)$$

式中: P_f 为引信的引爆概率;比例参数 r_0 可取为 $1.2r_1$, r_1 为弹头杀伤半径; σ_r 为防空武器系统总的脱靶距离标准差,取决于雷达跟踪和火控/制导精度。圆形脱靶距离的圆概率误差 CEP 为 $1.177\sigma_r$ 。当有 N 个同类威胁体射向攻击机时,有

$$P_{KE} = P_D P_L \left(1 + \prod_{i=1}^N (1 - P_{KSS})\right) \quad (12)$$

任务过程中攻击机若与 m 类不同的防空武器系统遭遇,攻击机被击毁概率为

$$p_1 = 1 - (1 - P_{KE1})(1 - P_{KE2}) \cdots (1 - P_{KEm}) \quad (13)$$

因此,在实际作战对抗中,可信赖度矩阵表示为

$$D = \begin{pmatrix} (1 - P_1) \cdot \exp(-t/t_{MTBF}) & 1 - (1 - p_1) \cdot \exp(-t/t_{MTBF}) \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

1.2.3 系统能力矩阵 C

攻击机对地攻击涉及到机载设备搜索发现目标能力,对目标的识别能力,以及机载武器命中概率,并且和携带武器数量有关。由于处于故障时无法完成作战任务,因此 $C_2 = 0$ 。对目标的搜索发现能力表示为 P_s ,对目标的识别能力表示为 P_r ,命中概率表示为 P_a ,毁伤能力表示为 P_p 。假设对目标攻击使用同一种对地攻击

武器,数量为 m 。由于只有在发现并且识别目标情况下才会对目标造成有效杀伤,因此

$$C_1 = P_s \cdot P_l (1 - (1 - P_A P_p)^m) \quad (15)$$

2 算例

设攻击机的平均无故障工作时间为 8 h,平均修理时间为 2 h。由式(6)可得到

$$a_1 = \frac{8}{8+2} = 0.8 \quad a_2 = 1 - a_1 = 0.2$$

作战场景假设为对敌防空指挥阵地攻击,防区为弹炮混和防御,1个地空导弹阵地(雷达导引),2个高炮阵地,总的飞行时间为 1 h。高炮射击有效高度 5 km,地空导弹有效射击高度 1 km ~ 18 km。雷达发现概率 P_D 为 1,地空导弹 CEP 为 15 m,高炮的 CEP 为 20 m,近炸头头的 r_1 为 15 m,引爆概率 P_f 为 1。某型攻击机的 A_p 为 90 m², A_v 为 5 m²。

由式(10)可得到对于高炮的单发 P_{kss} 为 $\frac{5}{2 \times 3.14 \times (20/1.177)} \approx 0.002$,由式(11)得到对于地空导弹的单发 P_{kss} 为 $\frac{(15 \times 1.2)^2}{2 \times (15/1.177)^2 + (15 \times 1.2)^2} \approx 0.5$ 。攻击机所携带武器为空地导弹(2枚),命中概率 $P_A = 0.7$,毁伤能力 $P_p = 0.85$ 。由于高度对搜索能力以及识别能力有一定影响,300 m 以下低空突防时搜索发现目标概率 P_s 为 0.6,识别能力 P_l 为 0.9,高度为 7 km 攻击时 P_s 为 0.9, P_l 为 0.7。

300 m 以下高度低空突防时地空导弹无法射击,它的 $P_L = 0$,高炮的炮弹发射数量定为 80。此情况下

$$E = [0.8 \quad 0.2] \begin{bmatrix} (1 - 0.002)^{80} \exp^{(-1/8)} & 1 - (1 - 0.002)^{80} \exp^{(-1/8)} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.6 \times 0.9 \times (1 - 0.7 \times 0.85)^2 \\ 0 \end{bmatrix} \approx 0.272$$

7 km 中高空攻击时在高炮杀伤区外,高炮不对攻击机造成威胁,它的 $P_L = 0$,通常,一个阵地对于一个目标的导弹发射数量不大于 3,假设导弹发射数量定为 3,此情况下

$$E = [0.8 \quad 0.2] \begin{bmatrix} (1 - 0.5)^3 \exp^{(-1/8)} & 1 - (1 - 0.5)^3 \exp^{(-1/8)} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.9 \times 0.7 \times (1 - (1 - 0.7 \times 0.85)^2) \\ 0 \end{bmatrix} \approx 0.046$$

在低空时,炮弹的发射数量增加到 150 发, E 变为 0.189,没有很显著的下降,仍然比在中高空时的效能高。由此可以得到地空导弹仍然是对于攻击机的主要威胁,低空突防避开地空导弹有效射击区域是有效的攻击手段。这也就是低空突防被广泛采用的原因。由分析可知,对于提高作战效能,可以从压制敌雷达,降低发现概率 P_D 和发射概率 P_L 来提高作战效能。同时可通过卫星支援等方式来提高攻击机的低空搜索能力和识别能力。

3 结束语

此攻击机对地作战效能模型充分考虑了影响作战效能的各个因素,便于针对敌方具体的火力部署进行分析,针对性强。攻击机受目标探测、火控制导及相关战术软件和人员素质等综合因素影响,效能分析仅仅考虑正常和故障还是不够充分,系统还存在一些非正常工作状态,会对系统能力产生不同的影响。对于不同的机型这种影响也是不一样的。操作人员的疏忽或是熟练程度的影响也是值得注意的。这些问题仍是亟待解决的。

参考文献:

- [1] 陈遵银,葛银茂. 航空武器系统作战效能分析[J]. 航空计算技术, 2001,31(4): 21-23.
- [2] 黄俊,孙义东,武哲,等. 战斗机对地攻击作战效能分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2002,28(3):354-357.
- [3] 郭基联,董彦非. 空-地攻击任务剖面内飞机可信度矩阵的构造[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001,2(3):14-17.
- [4] Habayeb Dr A R. Systems Engineering & Effectiveness Analysis[A]. Proceedings of 5th Annual Systems Engineering Conference [C]. Tampa, FL,2002. 214-125.

(编辑:田新华)

(下转第 58 页)