

doi: 10.7690/bgzdh.2014.11.005

一种无人作战飞机作战效能评估的模型及方法

郑晓辉

(中国人民解放军 94907 部队 58 分队, 南昌 330013)

摘要: 为了检验无人作战飞机作战效能, 优化战场配置, 建立了无人作战飞机作战效能评估模型。采用分步评估、整体评价的方法, 给出了无人作战飞机作战效能评估的具体计算过程, 并用该方法对 MQ-9 “收割者” B 无人作战飞机和 F-16、幻影 2000 战斗机进行实例分析。结果表明: 实例运算结论比较客观, 验证了该模型及方法的可行性。同时, 该模型能客观地分析现阶段无人作战飞机的优劣, 为无人作战飞机的发展和运用提供参考。

关键词: 无人作战飞机; 作战效能; 层次分析法

中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

A Model and Method for Operational Capability Evaluation of Unmanned Combat Air Vehicles

Zheng Xiaohui

(No. 58 Unit, No. 94907 Army of PLA, Nanchang 330013, China)

Abstract: To test operational capability of the unmanned combat air vehicles (UCAV) and optimize the allocation of the battlefield, the operational capability evaluation model of the UCAV was constructed. Give the specific calculation process of UCAV's operational capability evaluation, the method of step by step evaluation and overall assessment was used. By using the method, this paper analyzed the evaluation of the MQ-9 “Reaper” B UCAV and F-16, Mirage 2000 fighters. The results illustrated that the operation results of the example were objective and the evaluation model and method were feasible. At the same time, the model could objectively analysis advantages and disadvantages of the UCAV and provided references for UCAV's development and application.

Keywords: unmanned combat air vehicles; operational capability; analytic hierarchy process

0 引言

无人作战飞机是由无人驾驶飞行平台加载攻击系统并实施作战任务的一种新型航空武器。无人作战飞机不必考虑人员的伤亡、轻巧灵活、便于战场全域配置、能够执行多种作战任务, 但由于对无人作战飞机研究还处于起步阶段, 存在着战场防护能力差、受外界环境影响大、协同作战能力差、操控难度大等弱点。随着相关技术的发展和军事需求的牵引, 无人作战飞机正逐步朝着长航时、小型化、隐身化、高生存、多用途、智能化等方向发展^[1]。无人作战飞机作为一种高效费比、攻防兼备的高效武器, 在现代战争中的地位和作用日益突出, 其军事用途正在不断扩大, 必将成为未来战场一种新型的空中力量。因此, 对无人作战飞机的作战效能进行评估具有深远意义。

1 评估指标体系

武器装备进行作战效能评估的标准各异^[2], 但基于无人作战飞机的特点和发展趋势, 结合系统工

程的理论, 从无人作战飞机作战效能系统本身的结构层次出发, 笔者将无人作战飞机作战效能的指标主要分为作战能力 (Capability)、生存能力 (Survivability) 和可用性 (Availability)。其结构模型如图 1 所示。

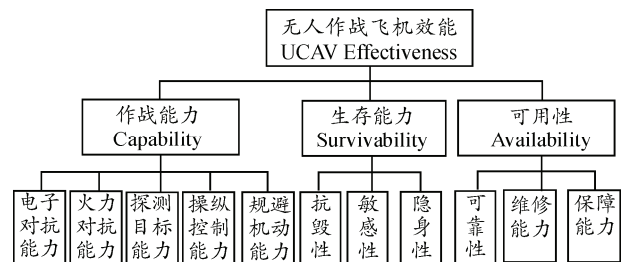


图 1 无人作战飞机作战效能指标体系

2 评估模型

显而易见, 无人作战飞机的作战能力 (C)、生存能力 (S) 和可用性 (A) 三项中只要有一项的评估结果很差, 那么这种飞机总的“效能”也就很低, 因此, 无人作战飞机作战效能可表达如下:

$$E = C \times S \times A \tag{1}$$

收稿日期: 2014-06-04; 修回日期: 2014-07-10

作者简介: 郑晓辉(1976—), 男, 湖北人, 硕士, 工程师, 从事空天一体信息作战研究。

分别对无人作战飞机的作战能力、生存能力和可用性进行评估后，就可通过上式得出无人作战飞机的作战效能评估结果。

2.1 作战能力评估

无人作战飞机的作战能力主要包括：电子对抗能力(C_1)、火力对抗能力(C_2)、探测目标能力(C_3)、操纵控制能力(C_4)和规避机动能力(C_5)等。采用层次分析法(AHP)^[3]，对上述 5 种能力分别进行两两对比，1 代表相当，3 是稍好，5 是明显地好，7 是十分好，9 是极好。通过专家评定结果如下：电子对抗能力与火力对抗能力相当，即 1:1；电子对抗能力和火力对抗能力与探测目标能力相比，稍为重要些，分数比值为 2:1；与操纵控制能力相比介于稍重要与明显重要之间，即 4:1；与规避机动能力相比属明显重要，记为 5:1。探测目标能力与操纵控制能力相比，前者重要，记做 4:1；与规避机动能力相比十分重要，即 7:1。操作控制能力与规避机动能力相比，操作控制能力稍为重要一些，记为 2:1。根据这些评价可列出判断矩阵如表 1，其参数量 $m=5$ 。

表 1 根据评价列出的判断矩阵

E	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C_1	1	1	2	4	5
C_2	1	1	2	4	5
C_3	1/2	1/2	1	4	7
C_4	1/4	1/4	1/4	1	2
C_5	1/5	1/5	1/7	1/2	1

2.1.1 矩阵的计算

矩阵各行乘积的 $1/m$ 次方数值(W_i):

$$W_1 = (1 \times 1 \times 2 \times 4 \times 5)^{1/5} = 2.091$$

$$W_2 = (1 \times 1 \times 2 \times 4 \times 5)^{1/5} = 2.091$$

$$W_3 = (1/2 \times 1/2 \times 1 \times 4 \times 7)^{1/5} = 1.476$$

$$W_4 = (1/4 \times 1/4 \times 1/4 \times 1 \times 2)^{1/5} = 0.500$$

$$W_5 = (1/5 \times 1/5 \times 1/7 \times 1/2 \times 1)^{1/5} = 0.310$$

上述计算结果之和($\sum W_i$):

$$W_{\text{总}} = 2.091 + 2.091 + 1.476 + 0.500 + 0.310 = 6.468$$

各参数的重要性(或加权系数):

$$\text{电子对抗能力 } \bar{W}_1 = W_1 / W_{\text{总}} = 2.091 / 6.468 = 0.323;$$

$$\text{火力对抗能力 } \bar{W}_2 = W_2 / W_{\text{总}} = 2.091 / 6.468 = 0.323;$$

$$\text{探测目标能力 } \bar{W}_3 = W_3 / W_{\text{总}} = 1.476 / 6.468 = 0.228;$$

$$\text{操纵控制能力 } \bar{W}_4 = W_4 / W_{\text{总}} = 0.500 / 6.468 = 0.077;$$

$$\text{规避机动能力 } \bar{W}_5 = W_5 / W_{\text{总}} = 0.310 / 6.468 = 0.049。$$

2.1.2 一致性检验

矩阵与各参数重要性分配值的乘积:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 4 & 5 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & 5 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 4 & 7 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/5 & 1/7 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.323 \\ 0.323 \\ 0.228 \\ 0.077 \\ 0.049 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{bmatrix}$$

$$X_1 = 1 \times 0.323 + 1 \times 0.323 + 2 \times 0.228 + 4 \times 0.077 + 5 \times 0.049 = 1.655$$

$$X_2 = 1 \times 0.323 + 1 \times 0.323 + 2 \times 0.228 + 4 \times 0.077 + 5 \times 0.049 = 1.655$$

$$X_3 = 1/2 \times 0.323 + 1/2 \times 0.323 + 1 \times 0.228 + 4 \times 0.077 + 7 \times 0.049 = 1.202$$

$$X_4 = 1/4 \times 0.323 + 1/4 \times 0.323 + 1/4 \times 0.228 + 1 \times 0.077 + 2 \times 0.049 = 0.394$$

$$X_5 = 1/5 \times 0.323 + 1/5 \times 0.323 + 1/7 \times 0.228 + 1/2 \times 0.077 + 1 \times 0.049 = 0.249$$

矩阵的最大特征根(λ_{\max}):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{m} \left(\frac{X_1}{W_1} + \frac{X_2}{W_2} + \frac{X_3}{W_3} + \frac{X_4}{W_4} + \frac{X_5}{W_5} \right) = 5.144$$

随机一致性(CR):

平均随机一致性指标(RI)与矩阵阶数(m)的关系如表 2。

表 2 平均随机一致性指标

m	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

此处 $m=5$ ，故 $RI=1.12$ 。

$$CR = CI / RI = [(\lambda_{\max} - m) / (m - 1)] =$$

$$[(5.144 - 5) / (5 - 1)] / 1.12 = 0.032 01$$

结果表明，上述评比的一致性很好。

2.2 生存能力评估

生存能力是无人作战飞机能始终保持可工作状态的一种能力^[4]，无人作战飞机生存能力的综合评价，可以理解为在一定的战场环境中，在具体的遭遇条件下，无人作战飞机所获得的生存概率。但战场环境牵涉诸多因素，难以及时准确把握。在这里，根据以往统计和经验，生存能力可以用飞机尺寸系数作为评估参数来估算，以尺寸系数 55 m^2 的飞机，生存能力定为 1.0 为准，飞机的相对生存能力与尺寸系数的线性关系^[5]是：

$$S = 35 / (\text{尺寸系数} - 20) \quad (2)$$

式中尺寸系数的单位为 m²，计算公式如下：

$$\text{尺寸系数} = \frac{\text{飞机顶面投影面积}^2 + \text{飞机侧面投影面积}^2 + \text{飞机迎面投影面积}^2}{2} \quad (3)$$

由此可知，只要知道某型飞机的基本外形几何尺寸，就能粗略估算出飞机的相对生存能力。

2.3 可用性评估

无人作战飞机的可用性涉及到飞机的可靠性、维修能力和战时保障能力等，它与飞机的完好率、后勤供应能力、战时生产能力息息相关^[6]。对无人作战飞机的可用性评价，要经过训练、演习或实战统计，是一个漫长复杂的过程，目前尚缺乏简易的评估方法。这里，可以根据可用性涉及到的方面，采用专家调查法对飞机可用性的各个方面的重要性进行打分，最后再加权处理，即可得到初步的飞机可用性的评价^[7]。

$$A = \sum_{i=1}^3 \lambda_i A_i \quad (4)$$

式中： A 为无人作战飞机可用性评价指数； $A_i (i=1,2,3)$ 分别为无人作战飞机的可靠性、维修能力和保障能力； $\lambda_i (i=1,2,3)$ 分别为基于无人作战飞

机满足可用性需求的加权系数，其和等于 1。

3 评估实例

现以 MQ-9 “收割者” B 无人作战飞机为例，对比 F-16、幻影 2000 战斗机，利用上述评估方法，对它们进行一个综合的评估比较。

MQ-9 “收割者” B 无人作战飞机可携带 2 枚 500 磅的精确制导炸弹或 14 枚空对地“地狱火”反坦克导弹，具有战斗/攻击机轰炸能力的无人攻击机，是全球第一款真正意义上的无人作战飞机，在阿富汗战场和伊拉克战场都有过实战经验^[8]。

F-16 和幻影 2000 都是 20 世纪 70 年代到 80 年代装备的超声速战斗机，它们机载设备完善，装备电传操纵和脉冲多普勒雷达，武器装备先进，具有全向、全高度、全天候作战能力。

3.1 作战能力评估

采取上述对作战能力的评估方法，在电子对抗能力、火力对抗能力、探测目标能力、操纵控制能力和规避机动能力 5 种能力上分别对 MQ-9、F-16 和幻影 2000 进行两两对比。表 3 中，M 表示 MQ-9、F 表示 F-16、H 表示幻影 2000。计算过程如下。

根据表 1 中矩阵的计算方法，可得出表 4。

表 3 作战能力评价矩阵

机型	电子对抗能力			火力对抗能力			探测目标能力			操纵控制能力			规避机动能力		
	M	F	H	M	F	H	M	F	H	M	F	H	M	F	H
M	1	1/2	1/2	1	1/5	1/6	1	4	3	1	2	2	1	1/3	1/2
F	2	1	1	5	1	1/2	1/4	1	1/2	1/2	1	1	3	1	2
H	2	1	1	6	2	1	1/3	2	1	1/2	1	1	2	1/2	1

表 4 作战能力评价计算结果

机型	电子对抗能力 (0.323)	火力对抗能力 (0.323)	探测目标能力 (0.228)	操纵控制能力 (0.077)	规避机动能力 (0.049)
M	0.200	0.081	0.625	0.500	0.201
F	0.400	0.342	0.136	0.250	0.434
H	0.400	0.577	0.239	0.250	0.365

对评价结果再做加权处理，由

$$C = \sum_{i=1}^5 \lambda_i C_i \quad (5)$$

最终可得 3 种飞机作战能力方面的评估结果：

$$C_{MQ-9} = 0.200 \times 0.323 + 0.081 \times 0.323 + 0.625 \times 0.228 + 0.500 \times 0.077 + 0.201 \times 0.049 = 0.282$$

$$C_{F-16} = 0.400 \times 0.323 + 0.342 \times 0.323 + 0.136 \times 0.228 + 0.250 \times 0.077 + 0.434 \times 0.049 = 0.311$$

$$C_{\text{幻影}2000} = 0.400 \times 0.323 + 0.577 \times 0.323 + 0.239 \times 0.228 + 0.250 \times 0.077 + 0.365 \times 0.049 = 0.407$$

3.2 生存能力评估

已知 MQ-9 “收割者” B 无人作战飞机、F-16

和幻影 2000 战斗机公开的部分数据和飞机外观尺寸，根据式 (3)，可以算出 3 种飞机的尺寸系数，如表 5。

表 5 3 种飞机尺寸数据

机型	翼展/m	机长/m	机高/m	尺寸系数/m ²
M	19.80	10.80	3.50	41
F	10.01	15.04	5.09	52
H	9.13	14.36	5.20	54

根据式 (2) 可知：

$$S_{MQ-9} = 35 / (41 - 20) = 1.67$$

$$S_{F-16} = 35 / (52 - 20) = 1.09$$

$$S_{\text{幻影}2000} = 35 / (54 - 20) = 1.03$$