

参数可调的战斗机空战效能评估系统研究

黄国庆^{1,2}, 王国良¹, 臧青松³

(1. 郑州大学信息工程学院, 郑州 450001; 2. 空军第一航空学院航空电子工程系, 河南 信阳 464000;

3. 中国人民解放军71960部队, 河南 信阳 464000)

摘要: 针对战斗机新的技术和战术特点, 建立了完备的战斗机空战效能评估指标体系。突出了战斗机的高机动性、强态势感知能力及优良的电子战能力, 并给出了运用解析法计算各指标的公式。在分析战斗机空战效能评估方法的基础上, 提出了一种基于S型曲线的参数可调的战斗机空战效能评估模型。将S型曲线中的一个参数作为可调参数, 大大增强了评估模型的灵活性。利用该模型对F-16C使用数据链前后及3种机型的空战效能进行仿真评估, 详细说明了可调参数的选取方法及该模型的应用。仿真结果表明, 该模型灵活、有效, 在评估过程简单可行的前提下增强了评估结果的可信度。

关键词: 战斗机; 空战; 效能评估; 参数可调; S型曲线

中图分类号: V271.4 文献标志码: A 文章编号: 1671-637X(2013)02-0033-04

An Air Combat Effectiveness Evaluation System with Adjustable Parameters for Fighters

HUANG Guoqing^{1,2}, WANG Guoliang¹, ZANG Qingsong³

(1. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Department of Aeronautic Electronic Engineering, The First Aeronautical College of Air Force, Xinyang 464000, China;

3. No. 71960 Unit of PLA, Xinyang 464000, China)

Abstract: Considering the new technical and tactical characteristics of the fighters, we established a comprehensive air combat effectiveness evaluation index system. The fighter's high mobility, strong situational awareness and excellent electronic warfare capability were highlighted, and the index calculation formulas were given using the analytical method. Based on the analysis to the fighter air combat effectiveness evaluation methods, an air combat effectiveness evaluation model with adjustable parameters based on S-shaped curve was put forward. A parameter in S-shaped curve was used as an adjustable parameter, which greatly enhanced the flexibility of the evaluation model. The air combat effectiveness of F-16C before and after using data link and the operational effectiveness of three types of fighter were analyzed, and the method for selecting the adjustable parameters and the application of the model were given. The simulation results showed that the model is flexible and effective, which can enhance the credibility of the evaluation results while the evaluation process is simple and feasible.

Key words: fighter; air combat; effectiveness evaluation; adjustable parameters; S-shaped curve

0 引言

目前, 战斗机的空战效能多采用解析方法进行评
估, 如对数法、幂指数法及模糊评估法等^[1-4]。但随着
战斗机空战的作战使命、作战环境、作战样式日趋多样

化, 以及高新技术不断地应用于战斗机, 上述评估方法
表现出灵活性不足、不能很好地适应战斗机快速发展的
境况, 如不能很好地表现出数据链作为战斗力“倍增
器”的效果等。为了更好地反映战斗机新的技战术特
点, 提高战斗机空战效能评估系统的灵活性及可重用
性, 本文建立了完备的战斗机空战效能评估指标体系,
对参数可调的战斗机空战效能评估模型进行了初步的
探索, 提出了一种基于S型曲线的参数可调的评估模

收稿日期: 2011-11-29

修回日期: 2012-02-23

作者简介: 黄国庆(1963—), 男, 河南唐河人, 硕导, 副教授, 研究方
向为通信导航技术和武器装备效能评估。

型,并利用该模型对 3 种机型的空战效能进行了评估。

1 空战效能指标体系

1.1 指标集选取的理想条件

文献[5]中指出,描述一个多准则决策问题时,指标体系应该满足如下理想条件^[5]:1)完整性,指标体系应表征决策要求的所有重要方面;2)可运算性,指标能有效地用到随后的分析中去;3)可分解性,可将决策问题分解,以简化评估过程;4)无冗余性,希望不重复考虑决策问题的某一个方面;5)极小性,即不可能用其他元素更少的指标体系来描述同一问题。

1.2 空战效能指标体系

较早提出的战斗机空战效能评估指标体系包括以下 7 个项目:机动性、火力、探测目标能力、操纵效能、生存力、航程和电子对抗能力。文献[6]依据现代战机及空战出现的新特点,对上述指标体系进行了改进,将探测目标能力提升为态势感知能力;在机动性的计算中加入了最大瞬时转弯角速度和最大巡航飞行马赫数;区分了空空导弹参数计算模型中的主动弹和半主动弹的差别;并对生存性的模型进行了完善。依据指标体系选取的理想条件,通过不断比较筛选建立的评估指标体系如图 1 所示。

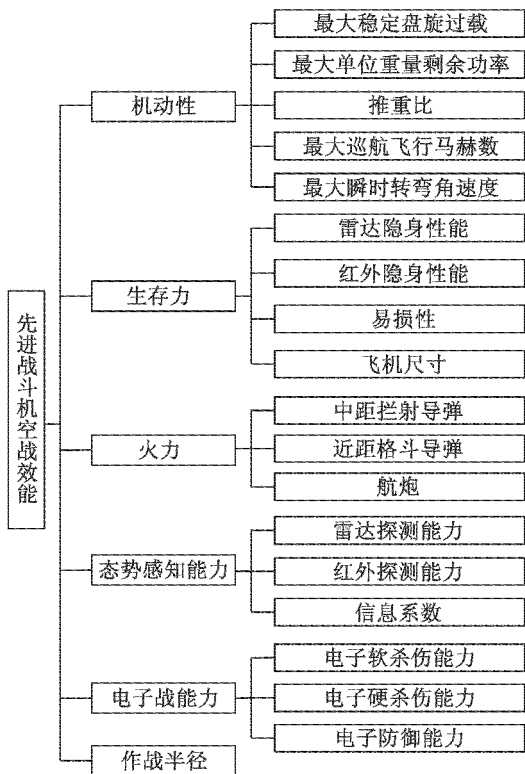


图 1 战斗机空战效能评估指标体系

Fig. 1 Index system for air combat effectiveness evaluation of fighter

考虑到先进战机间的操作效能差别不大,且假设飞行员的操作能完全发挥出战机能力,因此没有将操作效能纳入到评估指标体系中。

2 各指标值的计算

机动性的计算模型为

$$B = 0.35 \cdot \bar{P}_{SEP} + 0.25 \cdot \bar{n}_{y,cir} + 0.15 \cdot \bar{T}_R + 0.15 \cdot \bar{Ma} + 0.1 \cdot \bar{\omega} \quad (1)$$

式中: \bar{P}_{SEP} 为最大单位重量剩余功率; $\bar{n}_{y,cir}$ 为最大稳定盘旋过载; \bar{T}_R 为最大可用加力推力与正常起飞重量所得的推重比; \bar{Ma} 为最大巡航飞行马赫数; $\bar{\omega}$ 为最大瞬时转弯角速度。指标值上面的横线表示进行了归一化处理,下同。

生存力的计算模型为

$$S = (0.6 \cdot (5/A_{RCS})^{0.25} + 0.4 \cdot \bar{T}_n) \cdot \sqrt{1/L_{\omega}L_{all}} \cdot (1 - A_{P_i}P_{K/H_i}/A_v) \quad (2)$$

式中: A_{RCS} 为雷达散射截面积,表征飞机的雷达隐身性能; \bar{T}_n 为战机尾喷管温度,表征飞机的红外隐身性能; L_{ω} 为翼展; L_{all} 为飞机全长,表征飞机尺寸; A_{P_i} 为结构元件的面积; P_{K/H_i} 为元件被击中一次的情况下发生致命损伤的概率; A_v 为飞机表面积。它们联合表征飞机的易损性^[7]。

火力的计算模型为

$$A = 0.6 \cdot \bar{A}_m + 0.3 \cdot \bar{A}_c + 0.1 \cdot \bar{A}_{gun} \quad (3)$$

式中: A_m 为中距拦射导弹的火力系数; A_c 为近距格斗导弹的火力系数; A_{gun} 为航炮的火力系数^[6]。

态势感知能力的计算模型为

$$P = 0.35 \cdot \bar{I} + 0.65 \cdot (0.8 \cdot \bar{T}_{雷达} + 0.2 \cdot \bar{T}_{红外}) \quad (4)$$

式中: $T_{雷达}$ 和 $T_{红外}$ 分别为雷达和红外的探测能力参数^[6]; I 为信息系数,主要是指数据链系统所提供的信息支持能力,其计算公式为

$$I = a_0 \cdot L_{实时} + a_1 \cdot L_{稳定} + a_2 \cdot L_{准确} + a_3 \cdot L_{安全} \quad (5)$$

式中: $L_{实时}$, $L_{稳定}$, $L_{准确}$, $L_{安全}$ 分别为数据链系统提供信息支援的实时性参数,稳定性参数,准确性参数和安全性参数^[8]; a_i 表示权系数,且有 $\sum_{i=0}^N a_i = 1, a_i > 0$,下同。

电子战能力的评估模型为

$$D = a_0 \cdot \bar{D}_{软} + a_1 \cdot \bar{D}_{硬} + a_2 \cdot \bar{D}_{防} \quad (6)$$

式中: $D_{软}$ 为电子软杀伤能力; $D_{硬}$ 为电子硬杀伤能力; $D_{防}$ 为电子防御能力。

电子软杀伤能力主要考虑机载电子干扰吊舱的有源干扰效能和箔条、红外弹的无源干扰效能,其计算模型为

$$D_{软} = k_0 \cdot (a_0 \cdot D_{硬} + a_1 \cdot D_{干}) + k_1 \cdot D_{箔条} + k_2 \cdot D_{红外} \quad (7)$$

式中: $D_{侦}$ 和 $D_{干}$ 分别为机载电子干扰吊舱的侦察能力和电子干扰能力^[9]; $D_{箔条}$, $D_{红外}$ 分别为箔条弹及红外弹的电子干扰能力^[10]; k_i 表示权重系数,且有 $\sum_{i=0}^N k_i = 1$, $k_i > 0$ 。

电子硬杀伤能力主要是考虑反辐射导弹的效能,其模型为

$$D_{硬} = P_s \cdot P_l \cdot P_a \cdot P_k \quad (8)$$

式中: P_s 为指挥引导概率; P_l 为目标捕捉概率; P_a 为瞄准目标概率; P_k 为杀伤目标概率。

电子防御能力主要指雷达的抗干扰能力,其模型为

$$D_{防} = a_0 \cdot \bar{E}_B + a_1 \cdot \bar{E}_R + a_2 \cdot \bar{E}_A \quad (9)$$

式中: E_B 为基本抗干扰因子; E_R 为工作体制抗干扰因子; E_A 为技术措施抗干扰因子^[11]。

3 参数可调的先进战斗机空战效能评估模型

3.1 效能评估方法分析

按评估所采用的数学方法,可把战斗机空战效能评估方法分为3类:统计法、解析法和作战仿真(模拟)法。

统计法是应用数理统计的方法,依照实战、演习、试验获得的大量统计资料评估系统效能。其结果比较直观、准确、可靠;但需要大量的飞机、武器装备作试验的物资基础,成本高,周期长,较难实行。

解析法是通过分析武器系统的技术、战术性能指标,建立相应的数学评估模型,对武器系统的作战效能做出评估。解析法比较系统,能得出较准确的作战效能综合量化值,且工作量不大,易于实现,解析法公式透明性好,能够进行变量间关系的分析;缺点是考虑因素少,作战环境与解析公式匹配度不高,评估结果存在一定的偏差,而且解析法公式本身也不易得到。

作战仿真(模拟)法由仿真试验得到关于作战进程和结果的数据,可直接或通过统计处理后给出效能估计值。该方法能较详细地考虑影响实际作战过程的诸因素,因而特别适合对装备系统效能或作战方案的作战效能进行评估;缺点是需要大量的基础数据和原始资料作依托,不易实行。

鉴于以上分析,可以考虑构建参数可调的解析评估模型,再根据已有的使用统计法或作战仿真法得到的结果修正解析法公式中的可调参数,这样既使评估简单可行,又使评估结果有较强的可信度。

3.2 S型曲线的特性

S型函数多被用来对指标值进行归一化处理,这里用S型函数构造参数可调的先进战斗机空战效能评

估模型。

S型函数为

$$f(x) = \frac{1}{1 + ae^{-\beta x}} \quad a > 0, \beta > 0 \quad (10)$$

典型的S型曲线如图2所示。

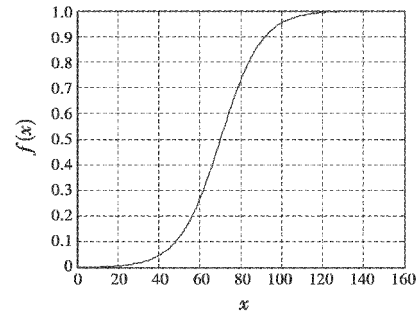


图2 典型S型曲线

Fig. 2 A typical S-shaped curve

S型曲线有以下特性: $f(x)$ 的取值范围为 $(0, 1)$,具有饱和特性,该特性表明,当某个指标的值不断增大时,评估的结果并不会随之无限增大; $f(x)$ 是 a 的减函数,是 β 的增函数,可以用其中的一个参数来表征各指标的权重,另一个用来作可调的参数。

3.3 参数可调的先进战斗机空战效能评估模型

经过对S型曲线的大量仿真验证,构造的战斗机空战效能评估模型为

$$E = f(x_1) \cdot f(x_2) \cdot f(x_3) \cdot f(x_4) \cdot f(x_5) \cdot f(x_6) \cdot K \quad (11)$$

式中: $x_1 \sim x_6$ 为表征战斗机空战效能的6项指标值; K 为调整系数,通过 K 可使评估结果值保持在一个适当的范围内。

模型中 $f(x_i)$ 的具体形式为

$$f(x_i) = \frac{1}{1 + \frac{100}{a_i} e^{-\beta_i x_i}} \quad (12)$$

式中: a_i 表示第 i 项指标的权重值; β_i 为第 i 项指标的调整参数,默认取值为10,可根据已有的使用统计法或作战仿真法得到的结果对该参数进行适当的调整。

例如,20世纪90年代中期,美空军在一项特殊作战项目中探讨了F-15C飞机使用Link16的好处。其结果表明,F-15C通过使用Link16数据链,在空战中空中目标的杀伤率在白天提高了2.62倍,在夜间提高了2.60倍。参考这个数据,F-16C在使用数据链后的态势感知能力从6.80提升到了8.72^[12],假设态势感知能力的权重为0.2745(见下节),对态势感知能力进行归一化后,调整参数 β 值来对F-16C的作战效能进行评估,其中态势感知能力的可调参数 β 值与使用数据链前后评估效能比值关系的仿真结果如图3所示。

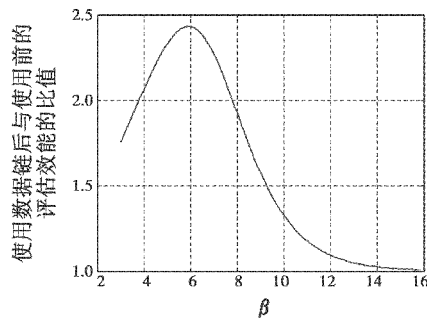


图3 可调参数 β 值与使用数据链前后评估效能比值关系图
Fig. 3 The relationship between β and effectiveness evaluation ratio before and after using data link

由图3可知,只要令 $\beta=6$ 即可使在使用数据链后的评估效能达到使用前的评估效能的2.43倍,这突出了数据链作为战斗力“倍增器”的效果,与美空军的作战项目得出的结论相吻合。

3.4 先进战斗机空战效能评估

通过对F-16C、Mig-29及F-15C三种机型的空战效能进行评估来说明参数可调的战斗机空战效能评估模型的应用。表1为这3种机型空战的6项指标的指标值、权重值及调整参数的值。其中指标值、权重值依据文献[13]获得,可调参数 β 值依据以往的战斗机空战效能评估结果和仿真曲线选取。

表1 3种机型的空战指标值、权重值及调整参数的值

Table 1 The air combat index values, weights and adjustable parameter values of three kinds of fighters

	机动性	生存力	火力	态势感知能力	电子战能力	作战半径
F-16C	0.978	0.827	0.736	0.714	0.846	0.878
Mig-29	0.853	0.687	0.742	0.832	0.987	0.621
F-15C	0.775	0.963	0.838	0.958	0.963	0.912
权重值	0.2168	0.0553	0.2966	0.2745	0.0731	0.0837
调整参数	6	16	16	6	16	16

取调整系数 K 为100,利用式(11)得到的空战效能的评估结果如表2所示。

表2 空战效能评估结果

Table 2 The result of air combat effectiveness evaluation

	F-16C	Mig-29	F-15C
效能值	7.1429	7.0011	8.5353

由表2可知,F-15C的效能值最高,F-16C的效能值略大于Mig-29,这与实际空战情况相符,也与文献[6,13]的评估结果一致,表明该模型有效、可行。

4 小结

对战斗机空战效能的评估绝不是一劳永逸,而是一个动态的、不断发展的过程。本文从构建一个灵活、可重用的解析法战斗机空战效能评估系统的目的出发,立足于当前战机出现的一些新特点,建立了完备的空战效能评估指标体系,并详细给出了各指标值的解析计算方法,提出了一种基于S型曲线的参数可调的战斗机空战效能评估模型。该模型灵活性强,能较好地解决效能值与指标值间的非线性关系问题,是对用已有的资料和结论来修正解析模型的有益尝试。

参考文献

- [1] 朱宝璠,朱荣昌,熊笑非. 作战飞机效能评估[M]. 北京:航空工业出版社,1993:63-72.
- [2] 王锐,张安,史兆伟. 基于幂指数法和AHP的先进战斗机效能评估[J]. 火力与指挥控制,2008,33(11):73-80.
- [3] 邹俊,韩景侗,闫永刚,等. 飞机空-空作战效能加权模糊综合评估[J]. 火力与指挥控制,2005,30(3):30-36.
- [4] 吴玉成,舒文军,李伟. 战斗机作战效能的多层次模糊评估方法[J]. 航空计算技术,2007,37(1):65-67.
- [5] KEENEY R L, RAIFFA H. Decisions with multiple objectives, Preferences and value tradeoffs[M]. New York: Wiley, 1976:32-49.
- [6] 董彦非,王礼沉,张恒喜. 战斗机空战效能评估的综合指数模型[J]. 航空学报,2006,6(11):1084-1087.
- [7] 孙鹏,杨建军. 第四代战斗机作战效能评估[J]. 飞航导弹,2010(6):68-72.
- [8] 王然,李有才,郑春弟. 对数据链系统效能评估模型的研究[J]. 舰船电子对抗,2009,3(6):76-85.
- [9] 蓝启城,贾玉红. 机载电子战效能评估模型研究[J]. 航天电子对抗,2010,26(4):57-60.
- [10] 裴云. 自卫电子对抗系统对战斗机作战效能的影响分析[J]. 电光与控制,2006,13(6):19-24.
- [11] 潘超. 雷达抗干扰效能评估准则与方法研究[D]. 成都:电子科技大学,2006.
- [12] 陈卫平,姚佩阳,冯海刚. 数据链支持下的空战效能评估[J]. 电光与控制,2007,14(6):158-161.
- [13] 龚胜科,徐浩军,周莉,等. 基于区间AHP法与粗糙集的飞机空战效能评估[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2010,11(5):16-20.