

军用飞机隐身与高度指标综合权衡

董彦非^{1,2}, 雷洪利², 周洲¹, 汪凯²

(1. 西北工业大学 航空学院, 陕西 西安 710072; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:首先指出了军用飞机战技指标论证中孤立分析各项性能参数的缺陷;然后以军用飞机高度指标和隐身指标论证为例,综合分析了隐身与高度指标之间的关系,并结合类比分析结论,最后形成了军用飞机隐身与高度指标的综合论证要求。

关键词:军用飞机;隐身;飞行高度

中图分类号: V218 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)04-0004-04

目前,在军用飞机战技指标的论证中,一般是对各个关键指标分别进行论证分析,最后综合得到对新机研制的战技指标要求列表。这种论证方式在早期飞机的研制中取得了良好的效果,但是随着航空科技的进步,军用飞机越来越复杂,其战技指标涉及内容也越来越多。在战技指标中,很可能出现相互影响和相互制约的指标。如果仍采用独立地对各指标进行论证的方式,忽略其中的内部联系,很可能造成指标“浪费”甚至导致矛盾,影响后期的研制工作。针对以上情况,本文以隐身和高度指标为例进行综合权衡分析。

1 隐身指标论证

1.1 空中威胁对雷达反射截面积(RCS)要求

1.1.1 空中威胁

根据现代战斗机及其导弹系统的性能,在飞机飞行高度不大于21.5 km的情况下,只要飞机被敌方指挥自动化系统发现,就可以引导攻击机击落飞机。对于空中威胁,应以在执行任务过程中不被对方预警系统发现为目标提出隐身要求。因此空中威胁的要求就转化为预警体系(地面预警雷达及机载预警雷达)对飞机隐身指标的要求。雷达在未携带和携带有源干扰机情况下的最大作用距离公式分别为 $R_{\max} = [P_i G^2 \lambda^2 \sigma / (4\pi)^3 S_{\min}]^{1/4} = k_1 \sigma^{1/4}$, $R_{\max} = k_1 \sqrt{\sigma / P_j G_j} = k_2 \sigma^{1/2}$ 。式中参数含义见文献[1]。对于某特定雷达,以上参数固定,记为 k_1 ; P_j 和 G_j 分别为干扰机的发射功率和天线增益; k_2 为与雷达和干扰机有关的常数。可以看出,与无电子对抗情况下雷达的最大作用距离公式相比,两者在 σ 的指数上相差两倍。

1.1.2 RCS 要求

选取防区外侦察模式和突防模式进行论证。

1.1.2.1 无电子对抗

防区外侦察模式。按照远程预警雷达对 5 m^2 目标最大探测距离计算。通过降低飞机 RCS,使其发现距离降到任务设备的作用距离,则对应的临界 RCS 为 $\sigma_{\text{cr}} = \sigma_0 (R_u / L_{\max})^4$ 。式中: σ_{cr} 是飞机临界 RCS (m^2); σ_0 为基准 RCS (这里为 5 m^2); R_u 为任务设备的作用距离 (km); L_{\max} 为预警雷达的最大作用距离 (km)。

这里将机载任务设备的作用距离设定为 75 km、100 km、120 km、150 km、180 km 和 200 km 分别计算,计算结果见表 1 (设 $L_{\max} = 500 \text{ km}$)。

收稿日期:2005-08-30

基金项目:国家 863 计划资助项目(2004AA7520110103)

作者简介:董彦非(1970-),男,河南太康人,副教授,博士(后),主要从事飞行品质和航空武器系统效能评估研究。

表1 飞机临界 RCS 计算结果

作用距离/km	75	100	120	150	180	200
临界 RCS/m ²	0.002 5	0.008 0	0.016 6	0.040 5	0.084 0	0.128 0

可以看出,飞机临界 RCS 随任务设备作用距离增大先是缓慢增加,后增加速度加快。任务设备作用距离到 150 km - 180 km 时,任务设备作用距离每增加 10 km 将使临界 RCS 增加 0.015 m²,到 180 km - 200 km 时,任务设备作用距离每增加 10 km 将使临界 RCS 增加 0.022 m²。可见,任务设备作用距离提高越大,对飞机临界 RCS 要求越低,可以显著降低隐身设计难度。

突防模式。在预警雷达组网时,为了不漏敌情,雷达站间距离应小于等于雷达的探测半径。此时飞机隐身的主要意义是将敌方多部雷达组成的雷达网探测区域压缩,产生足够的空隙,使其可以采用规避飞行,从雷达网的空隙中穿越进入敌方腹地。设某系统出现间隙需要将原雷达探测半径从 R_0 压缩到 $0.5R_0$,临界 RCS 为 $\sigma_{cr} = \sigma_0 \times (0.5)^4 = 0.312 5 \text{ m}^2$ 。

1.1.2.2 有电子对抗情况

防区外侦察模式。在电子对抗情况下,飞机临界 RCS 计算结果见表 2(设 $L_{max} = 500 \text{ km}$)。表中相对增加倍数是在电子对抗情况下,飞机临界 RCS 相对于没有电子对抗情况的增加程度。可以看出,飞机临界 RCS 随着任务设备作用距离增大先是较缓慢增加,后增加速度稍有加快。可见,任务设备作用距离提高越大,对飞机临界 RCS 要求越低,可以显著降低隐身设计难度。

表2 计算结果

作用距离/km	75	100	120	150	180	200
临界 RCS/m ²	0.112 5	0.200 0	0.288 0	0.450 0	0.648 0	0.800 0
相对增加倍数	44.00	24.00	16.35	10.11	6.714	5.250

由表 1 和表 2 可以看出,有、无电子对抗对飞机临界 RCS 要求值的影响极大,尤其是在任务设备作用距离较小的情况下影响最为显著。可见机载电子对抗设备的重要作用。

突防模式。在突防模式下将雷达探测半径从 R_0 压缩到 $0.5R_0$,临界 RCS 为 1.25 m^2

1.2 地面威胁对雷达反射截面积要求

对于地面威胁的有关论述较多^[2-5],最低要求应以在执行任务过程中不被地空导弹雷达系统截获作为目标提出飞机隐身指标要求。计算结果见表 3。

表3 地空导弹要求飞机临界 RCS

作用距离/km	75	100	120	150	180	200
无电子对抗/m ²	0.015 1	0.047 7	0.098 9	0.241 4	0.500 6	0.762 9
有电子对抗/m ²	0.274 7	0.488 3	0.703 1	1.098 6	1.582 0	1.953 1

1.3 雷达反射截面积指标综合要求

根据前面的分析,地面威胁要求远低于空中威胁要求。而在以两种作战方式制定的空中威胁要求中,第二种作战方式要求远低于第一种作战方式要求。因此军用飞机雷达反射截面积要求最终要以第一种作战方式下空中威胁要求制定。以最小的 RCS 从严要求,按照任务设备的作用距离不同以及有、无电子对抗制定的雷达反射截面积指标综合要求见表 4(设 $L_{max} = 500 \text{ km}$)。

表4 RCS 指标要求

作用距离/km	75	100	120	150	180	200
无电子对抗/m ²	0.00 3	0.01	0.02	0.04	0.08	0.12
有电子对抗/m ²	0.10	0.20	0.25	0.45	0.60	0.80

2 巡航高度指标论证

2.1 空中威胁对巡航高度要求

目前世界各国装备的战斗机多为第二代和第三代超音速战斗机,其升限通常在 15 km - 20 km 范围,最大飞行速度为 $2.0Ma$ 左右^[5]。本文使用“空空导弹攻击区通用计算程序”进行了仿真计算^[6]。通过多次不同空战态势下仿真结果分析,得到以下结论:单纯依靠高度优势保证生存力,飞行高度要达到 23 km;空空导

弹攻击区范围随机过载增大而显著减小。

2.2 地面威胁对巡航高度要求

在不具备隐身能力和电子干扰装置的情况下,军用飞机要保证高生存力,必须在地空导弹杀伤区范围外飞行。地空导弹杀伤区范围主要由地空导弹的最大有效射高 F_h 和最大有效射程 F_r 等参数描述。一般要求在地空导弹杀伤区范围外飞行,可以分为两种情况分析:

2.2.1 飞机巡航高度 $H_u \leq$ 地空导弹最大有效射高

这种情况只出现在飞机第一种作战模式。要求飞机巡航高度不大于地空导弹最大有效射高,必须对飞机装载主要任务设备的作用距离 R_u 提出要求,即要满足: $R_u > \sqrt{F_h^2 + F_r^2}$ 。

在飞机作用距离较大的情况下,最大巡航高度可以不受地空导弹射高限制。而此时巡航高度最低值要受任务设备视角限制和低空近程地空导弹和高射炮限制。

2.2.2 飞机巡航高度大于地空导弹的最大有效射高

如果飞机任务设备的作用距离小于一定值,则对于任何作战模式都要求飞机巡航高度必须大于敌对方所有地空导弹的最大有效射高。

根据地空导弹性能数据,并考虑到今后地空导弹的升级换代,要求飞机巡航高度值 ≥ 26 km。

2.3 类比分析

在以飞行高度优势保证飞行安全的飞机设计中,最成功的是 U-2 和 SR-71。1959年10月至1967年9月,解放军使用 SAM-2 先后击落5架 U-2。前苏联防空军也于1960年6月1日使用 SAM-2 首次击落了 U-2。U-2 的失利促使美国研制出3倍音速的 SR-71。SR-71 以其高的巡航高度加上出众的飞行速度优势和一定的隐身能力,直至1990年全部退役仍保持无一被击落的记录。可以看出,面对高威胁环境,仅靠飞行高度优势难以保证侦察机的安全。将高度优势和速度优势结合,并适当进行隐身设计可有效提高飞机生存力,但是会显著增加设计难度和寿命周期费用。

2.4 巡航高度综合要求

参考类比分析结果,在不具备隐身能力和自卫防御装置的情况下,军用飞机巡航高度必须取所有要求值的最大值,即要求军用飞机巡航高度 ≥ 26 km。

3 高度与 RCS 指标综合论证

3.1 单纯依靠高度保证生存力的可行性

根据上节分析,在不具备隐身的情况下,单纯依靠高度保证生存力,巡航(任务飞行)高度必须 ≥ 26 km。参考发动机等因素的制约,再类比国外军机研制情况,可以得出结论:单纯依靠高度保证生存力不可行。

3.2 巡航高度与隐身指标关系

根据雷达原理,目标在一定 RCS 下,雷达系统探测距离除与雷达具体型号有关外,还受地(海)面杂波、天气杂波、地球曲率、地形地貌以及阵地条件等因素的影响,雷达对其探测距离和目标高度不存在明确对应关系,特别是对低空目标的探测距离受到很大限制。受地球曲率影响,雷达探测的最远距离 R 与雷达自身高度 H_R 和目标高度 H_T 存在以下关系: $R \approx 4.12(\sqrt{H_R} + \sqrt{H_T})$, 可见,在雷达位置不变的情况下,雷达探测距离与目标高度的平方根成正比。

雷达实际探测能力是所有因素的综合,但是也体现类似规律。如国外某地面预警体系对高度5 km 以上目标探测距离约300 km;对高度1 km 目标探测距离为160 km;对低空目标探测距离为80 km。E-2 预警机可在268 km 外发现巡航导弹,对中空战斗机探测距离约400 km。机载火控雷达探测距离也和目标高度存在类似关系。

综合以上分析,实际运用中,针对一定 RCS 目标,雷达探测距离与目标高度存在类似正比关系,即目标飞行高度越高,雷达对其探测距离越远。因此,在一定的隐身指标下,应适当降低飞行高度,以降低雷达发现距离,巩固和加强隐身效果。

3.3 类比分析

为了减少被探测的可能,国外隐身飞机升限都较低,如作为 F-15 重型战斗机换代机型的 F/A-22 战

斗机,由于其 RCS 指标降低到了 0.08 m^2 ,其升限也降低到 $15\,240 \text{ m}$,相对于 F-15 的 $18\,300 \text{ m}$ 升限降低了 $3\,060 \text{ m}$ 。国外隐身飞机 RCS 及高度指标见表 5。

表 5 国外隐身飞机 RCS 及高度指标

机型	暗星	B-2	F/A-22	F-117A	F-35	B-1B	X-45A	X-45B
RCS/ m^2		0.057	0.080	0.025		0.75		
升限/m	13 716	15 152	15 240	14 763	15 240	>9 144	10 668	12 200

从以上分析可知,已经具备全隐身设计的飞机,升限等高度指标不应太高。目前国外全隐身飞机相对非隐身飞机都具有较低的升限,这充分说明全隐身飞机降低升限的重要意义。

3.4 综合论证结论

综合分析高度与 RCS 指标论证结论及两者之间关系,并参考国外同类型飞机的相关参数,可以得到现代军用飞机高度与隐身指标综合要求为:实用升限: 15 km ,巡航高度(任务飞行): $12 \text{ km} - 14 \text{ km}$ 。RCS 指标要求同表 4。

4 结 论

1) 本文从相互影响的角度综合分析了隐身与高度指标的关系,分析思路和方法对具体军用飞机论证具有一定借鉴意义。

2) 有、无电子对抗对雷达探测距离的影响极大,尤其是在任务设备作用距离较小的情况下最为显著。因此,飞机应携带机载电子对抗设备以提高生存力,并可以降低隐身设计难度和风险。

参考文献:

- [1] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [2] 涂洪涛,张永顺,齐立峰. 对一种多基地雷达系统定位精度的计算与分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2005,6(4):8-11.
- [3] 白渭雄,吴法文. 便携导弹对巡航导弹的探测距离[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(1):31-34.
- [4] 黄建新,杜文字,张志峰. 雷达系统效能的灰色综合评估[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(1):35-38.
- [5] 世界飞机手册[M]. 北京:航空工业出版社,2001.
- [6] 胡朝晖,李东文,汪浩生. 通用空空导弹攻击区仿真研究[J]. 弹箭与制导学报,2002,(3):18-23.

(编辑:姚树峰)

Synthetically Analysis of Military Aircraft's Stealth and Altitude Indexes

DONG Yan-fei^{1,2}, LEI Hong-li², ZHOU Zhou¹, WANG Kai²

(1. Northwestern Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710072, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: Firstly, the flaw of separately analyzing performance indexes in military aircraft demonstration is pointed out. Then, the stealth and altitude indexes are demonstrated; by synthetically analyzing the relationship between the stealth and altitude indexes, and combined with the result of analogy analysis, the requirement of stealth and altitude indexes is formed finally.

Key words: military aircraft; stealth; flight altitude