

X-47B战术技术指标分析研究

李志*, 孙智孝

中航工业沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035

摘要: X-47B是舰载起降的无尾飞翼布局自主攻击机,是未来作战飞机的一个发展方向。本文以逆向设计方法,分析研究了X-47B演示验证机的战术技术指标,其中包括最大起飞重量、飞行包线、航程、隐身特性等指标。目的是为了揭示类似无人作战飞机的发展远景。

关键词: X-47B; 无人作战飞机; 战术技术指标; 最大起飞重量; 飞行包线; 航程; 隐身特性

中图分类号: V215.3

文献标识码: A

文章编号: 1007-5453 (2016) 04-0060-04

20世纪80年代前,有人作战飞机的作战效能主要依靠飞机平台的战术和技术性能指标来评价,因此,军用飞机的研制目的主要是追求最高水平的战术技术指标。以第四代战斗机F-15/16、米格-29和苏-27的研制历程为例,它们的发展形式主要体现在3个方面:第一,努力改善飞机的机动性,主要措施是提高飞机的推重比,增大使用过载等;第二,增加战斗载荷,包括增加制导和非制导武器的使用种类、数量、重量等;第三,设备完善,尤其是机载航电设备的现代化,如安装大功率雷达,系统综合等。

在第五代战斗机F-22/35、T-50的研制中,除了要求飞机具有超机动性、超声速巡航能力等性能指标外,又增加了两项重要指标:隐身特性指标和经济性指标。进入20世纪90年代中期,一方面,无人机系统在军事领域内的使用范围急剧扩大,另一方面,无人机同时向微型化、大型化两个方向发展。目前,国内外研制的无人机重量范围从几百克到几十吨不等,这就给无人机战术技术指标的制订提出了新的问题,其评价指标也成为研制方和订货方共同关心的问题。

进入21世纪,世界航空强国开始研究F-22、F-35等第五代战斗机的后续机问题,也就是所谓的第六代战斗机,无人作战飞机无疑是第六代战斗机的一个发展方向。2013年,美国结束了演示验证无人作战飞机X-47B的飞行试验,欧洲、俄罗斯也分别推出了各自的无人作战演示验证飞机。为了研究这些无人作战飞机各国提出的战术和技术指标,研究

其先进性。本文以X-47B为例,采用目的法预测手段,对其部分战术和技术性能指标进行了系统研究,试图找出美国研制无人作战飞机的发展思路,给我国的无人作战飞机发展提供参考。

1 战术技术指标分析

战术性能是指作战飞机完成战斗任务的部分功能特性,如无人作战飞机将杀伤武器投送到预定地点、发现并摧毁目标的能力。体现作战飞机战术性能的指标主要有:法向和切向过载、爬升率、最大飞行速度、升限、航程、携带武器的数量、机载雷达探测目标距离、摧毁目标的概率等。技术性能是飞机及其部件实现其物理原理的能力。如飞机在气动力、万有引力和推力作用下改变动量的能力。体现飞机技术性能的指标有:飞机的重量特性,如结构重量、燃油重量、机载设备重量、翼载、推重比等;飞机几何特性,如机翼面积、翼展、展弦比、前后缘后掠角、翼型厚度、根梢比等;气动特性,如升阻比、最大升力系数、零升阻力系数等。各国正在研制的无人作战飞机主要分为两大类:攻击型无人作战飞机和制空型无人作战飞机。目前,所研制的无人作战演示验证机都还是亚声速、有限机动能力的作战飞机。因此,暂时并未考虑有人战斗机所具有的超机动性、超声速巡航等。但出于预先研究阶段的制空型无人作战飞机,在没有了飞行员的生理限制后,其最大使用过载可以超过现有战斗机的

收稿日期: 2016-01-11; 录用日期: 2016-02-10

*通讯作者. Tel.: 024-86780638 E-mail: lz601201@163.com

引用格式: Li Zhi, SUN Zhixiao. Analysis and research on tactic and technique characteristics of X-47B [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(04): 60-63. 李志, 孙智孝. X-47B战术技术指标分析研究[J]. 航空科学技术, 2016, 27(04): 60-63.

9g,达到15g以上。具有大过载机动能力的制空型无人作战飞机,可以有效规避现有的空-空导弹。这是未来制空型无人作战飞机的优势之一,也是其优先发展方向。

美国启动无人作战飞机研制计划的战略方针为:保持美国空中力量和航空工业技术领先优势。在制订X-47B无人作战飞机的战术技术指标时,并没有将其作为第四代战斗机的后继飞机,而是作为作战能力的补充。F-22/35与T-50、歼-31等第五代战斗机与上一代战斗机相比,主要优势在于隐身特性,而在航程和续航时间上并没有优势,F-22战斗机超声速巡航状态的作战半径只有700km,正常使用的作战半径也只有1500km,很难满足亚洲太平洋地区的作战形式。与F-22/35相比,X-47B的隐身性能和航程均表现优异,X-47B的雷达散射截面(RCS)值比F-22低一个数量级,T-50和F-22战斗机的RCS值都在0.3m²左右,即大于0.1m²,而X-47B的RCS值可以降低到0.01m²,X-47B作战半径超过2500km,远大于F-22和F-35战斗机;而在续航时间方面,利用空中加油,X-47B的留空时间具有F-22和F-35所无法超越的优势。表1给出了不同研制阶段X-47B的飞行技术特性指标。

表1 X-47B各阶段方案的飞行技术特性
Table 1 Flight technical Characteristics of X-47B in different stage

	升限/m	作战半径/m	速度/(km/h)	飞行小时/h	起飞重量/kg
UCAS 攻击/侦察	1200	大于2500/无	约850/无	9	20880/无
UCAS-D 攻击/侦察	1200	大于2500/大于2500	890/730	-/12-14	20250/24000
UCAS-N 攻击/侦察	1200	大于2500/大于2500	890/730	-/12~14	无/无

通过对比可以得出推断:F-22是冷战时期的产物,所谓的“全球到达和全球力量”只是针对欧洲战场。美国重返亚洲太平洋地区后,当时为F-22制订的战术技术指标已经不再适用,因此,美国海军需要X-47B这样的无人作战飞机予以弥补。

2 几项战术技术指标的逆向设计

2.1 最大起飞重量的确定

重量是无人机设计初期使用的最重要的技术指标之一,重量设计贯穿飞机的整个研制周期,一部分重量指标直到飞机投入批量生产才能确定。飞机重量指标包括最大和正常起飞重量、最大和极限着陆重量、最大武器重量等。重量设计的目的,是为了研制出满足所有要求的、重量最轻的飞机。为此,需要确定飞机起飞重量的各个组成部分,包括

飞机机体、动力装置、起落装置、燃油、任务载荷(武器)等重量分量。在开展飞机重量设计工作时,要求在飞机设计的每一个阶段不断地精细化各部分的重量。

X-47B最大起飞重量的确定包括两种方法。第一种方法可以通过确定机体、动力装置等各部分重量,从而得到最大起飞重量:

$$G_0 = G_{\text{机体}} + G_{\text{动力}} + G_{\text{设备}} + G_{\text{燃油}} + G_{\text{载荷}}$$

对于有人战斗机, $G_{\text{载荷}}$ 包含了机组乘员和武器,一般用 $\bar{G}_{\text{载荷}}$ 表示,随着现代飞机所携带武器数量和重量的不断增加,这个值有逐渐增大的趋势。X-47B无人作战飞机方案与中型轰炸机类似,其 $\bar{G}_{\text{载荷}} \approx 0.1$ (见表2),外挂武器1800kg,再加上挂架等,任务载荷共约2t。因此,在第一次计算X-47B起飞重量时,可以得到重量上限值:

$$G_0 = \bar{G}_{\text{载荷}} / \{1 - (\bar{G}_{\text{动力}} + \bar{G}_{\text{燃油}} + \bar{G}_{\text{系统}} + \bar{G}_{\text{机体}})\}$$
$$\approx 2000 / 0.1 = 20000\text{kg}$$

表2 不同类型飞机各部分相对重量
Table 2 Each part's relative weight of different types of aircraft

机型	$\bar{G}_{\text{机体}}$	$\bar{G}_{\text{动力}}$	$\bar{G}_{\text{载荷}}$	$\bar{G}_{\text{燃油}}$
夺取空中优势战斗机	0.28 ~ 0.32	0.18 ~ 0.22	0.11 ~ 0.13	0.26 ~ 0.3
战斗-轰炸(攻击)机	0.24 ~ 0.28	0.12 ~ 0.16	0.1 ~ 0.12	0.35 ~ 0.4
轰炸机(中型)	0.22 ~ 0.24	0.08 ~ 0.1	0.07 ~ 0.1	0.45 ~ 0.5
X-47B(攻击型/侦察型)	0.25/0.23	0.093/0.079	0.09/-	0.42/45

第二种方法,可以用飞机布局密度 $\gamma_{\text{密度}}$ 确定,如图1所示:

$$\gamma_{\text{密度}} = m_{\text{满}} / V_{\text{飞机}}$$

式中, $m_{\text{满}}$ 为飞机最大起飞重量, $V_{\text{飞机}}$ 为飞机容积。

根据图1统计曲线,X-47B的布局密度应该在 $\gamma_{\text{密度}} = 480 \sim 570\text{kg/m}^3$ 之间,飞机容积 $V_{\text{飞机}} = 50\text{m}^3$,由此得出到飞机最大起飞重量约 $m_{\text{满}} = 24000 \sim 28500\text{kg}$ 。

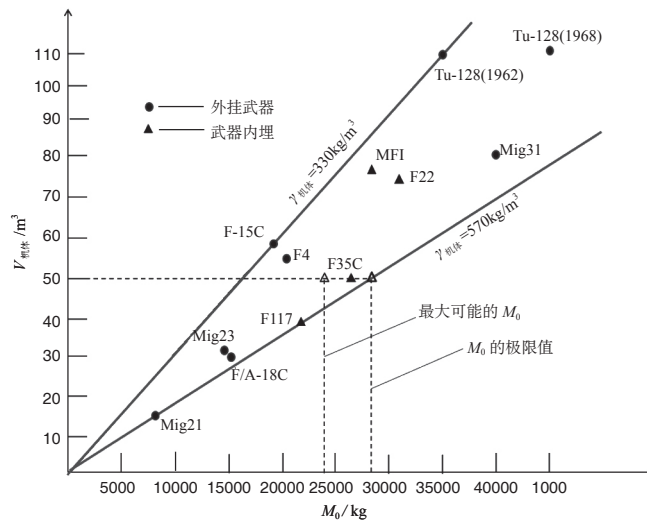


图1 飞机容积、密度随重量变化分布图

Fig.1 Curve of bulk , density vs weight

2.2 航程的确定

X-47B的研制思想并不复杂,它只承担攻击和侦查任务,并且仅限于亚洲太平洋地区使用。2001年,美国海军开展这个项目的目的是“为了将美军航空母舰的长手伸向太平洋”。但到了2006年,在X-47B准备正式投产时,其研制目的调整为“史无前例地提高美国的作战能力”。X-47B和X-45C无人作战飞机的主要作战模式包括抵近长时间防空压制和穿透性纵深打击两种。假设X-47B以夏威夷为基地,当我国东南沿海爆发武装冲突时,X-47B以850km/h (0.8Ma)的速度巡航飞行、在10h内即可到达战区,它们在第四代战斗机的掩护下实施对地目标攻击,并且以航空母舰作为基地,补充燃油和弹药,实施长时间抵近防空压制任务。对于穿透性纵深打击任务,如攻击对方指挥部,虽然X-47B侦察型有能力承担这样的“战略”任务,但在目前阶段由于政治敏感性太强而没有明确提出。

对X-47B航程和续航时间进行估算,计算原始条件为:飞机最大起飞重量分别为24t和28.5t,战斗载荷1800kg;气动特性采用计算方式获得,发动机高度-速度特性取自F100-PW-220U,考虑了安装推力损失修正。假设全部战斗载荷在执行任务时投放掉,采用亚声速巡航的“高-高”飞行剖面,武器使用模拟时间为1min。使用分段积分方法确定的X-47B的航程和飞行时间如图2所示。

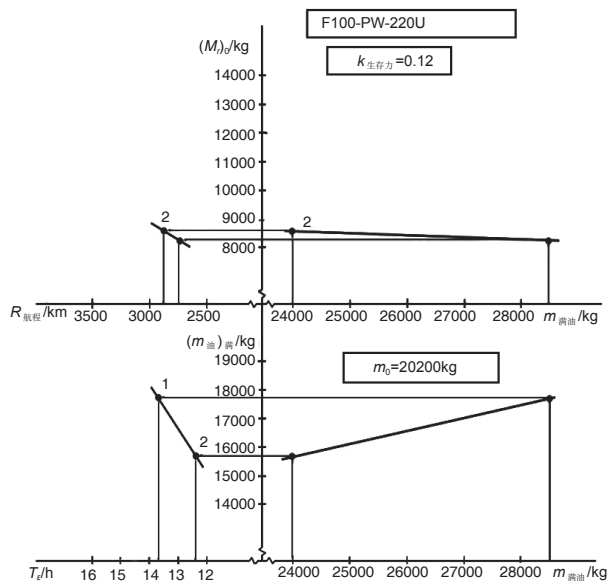


图2 X-47B航程和飞行时间

Fig.2 Range and endurance of X-47B

2.3 飞行包线的确定

飞机平衡方程可以简化为:

$$C_{y\text{平衡}} q S = n_y m g$$

式中: $C_{y\text{平衡}}$ 为飞机平衡时升力系数; q 为动压, 单位 N/m^2 , S 为

机翼参考面积, 单位 m^2 ; n_y 为飞机重心处过载; m 为飞机质量, 单位 kg 。考虑到X-47B无人作战飞机采用飞翼布局, 纵向静安定度很低, 所以, 可近似认为 $C_{y\text{平衡}} = C_{y\text{max}}$; 由此可以得到飞行包线右边界上的最小平飞速度:

$$V_{\min} = \sqrt{2n_y m g / (\rho S C_{y\text{允许}})}$$

在中低空阶段 ($H \leq 7000\text{m}$), 飞机重量取最大起飞重量, 飞机最大升力系数取英国国防科技研究所(Dstl)1303方案模型低速风洞试验结果。1303无人作战飞机为 λ 型, 前缘后掠角 47° , 后缘前掠角 30° , 无外翼。考虑到X-47B无人作战飞机有外翼, 但前缘后掠角略大, 所以, 计算飞行包线时, 取1303模型升力曲线的上限值。

稳定盘旋时, 飞机重量取余油50%, 允许使用的最大升力系数取 $C_{y\text{允许}} = 0.85 C_{y\text{max}}$, 由此得到不同稳定盘旋过载时X-47B的飞行包线, 如图3所示。

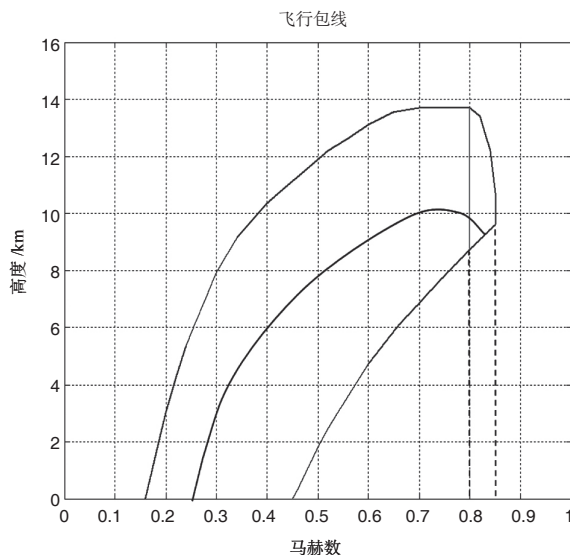


图3 逆向设计推算的X-47B飞行包线

Fig.3 Reverse design calculation of X-47B flight envelop

2.4 隐身特性计算分析

现代作战飞机的隐身特性取决于其所发出的各种频率和波长的雷达、红外、声、可见光特征。X-47B选择高空飞行, 可以有效降低声音、可见光特征, 采用二元喷管后, 其红外特征也明显减弱。因此, 无人作战飞机的生存性主要取决于雷达可探测性水平的降低。确定雷达可探测性的主要特性是有效散射面积, 这是代表飞机将落到其上面的电磁波转变成向接收机方向传播的散射波的能力。整体上, 无人作战飞机RCS可以写成下面形式:

$$\text{RCS} = \sigma_{\text{机体}}^* + \Delta\sigma_{\text{连接}} + \Delta\sigma_{\text{天线}} + \Delta\sigma_{\text{管道}} + \Delta\sigma_{\text{天线馈线}} + \Delta\sigma_{\text{发动机}}$$

式中: $\sigma_{\text{机体}}^* = \sigma_{\text{机体}} + \Delta\sigma_{\text{边缘}} + \Delta\sigma_{\text{吸波}}$, $\sigma_{\text{机体}}$ 为单独飞机机体的有效散射面积, $\Delta\sigma_{\text{边缘}}$ 为机翼、尾翼、进气道边缘所引起的有

效散射面积附加值, $\Delta\sigma_{\text{吸波}}$ 为采用无线电吸波材料所引起
的有效散射面积附加值; $\Delta\sigma_{\text{天线}}$ 为雷达天线引起的有效散射面
积附加值; $\Delta\sigma_{\text{管道}}$ 为空气管道引起的有效散射面积附加值;
 $\Delta\sigma_{\text{馈线}}$ 为天线馈线引起的有效散射面积附加值; $\Delta\sigma_{\text{连接}}$ 为飞机
机体连接、对接处引起的有效散射面积附加值; $\Delta\sigma_{\text{发动机}}$ 为发
动机所引起有效散射面积附加值。

计算模型中事先考虑了吸波涂层材料的使用, 模型估
算的是这些涂层的相对面积 ($S_{\text{涂层}} / S_{\text{浸润}}$)。分析时采用如下
计算条件: 雷达波水平极化, 雷达波波长取 3.5cm 和 11cm; 辐
射源相对飞机的返回角取 0°, -10°, -20°; 扇形方位角均分取值
±2°。计算结果如表 3 所示。

表3 X-47B隐身特性计算结果
Table 3 Stealth features of X-47B

X-47B(UCAS-N)	前向RCS/m ²	后向RCS/m ²
不使用雷达吸波材料波长λ=3.5cm	0.6	0.3
不使用雷达吸波材料波长λ=11cm	0.59	0.3
使用雷达吸波材料波长λ=3.5cm	0.046	0.1
使用雷达吸波材料波长λ=11cm	0.045	0.1

3 结论

本文对X-47B的战术技术指标进行了分析, 并对其最大
起飞重量、航程、飞行包线、隐身特性进行了逆向计算分析,
得到以下两点结论:

(1) X-47B演示验证机的战术技术指标是针对亚洲太平
洋地区的战场想定为依据制订的。如果以航空母舰为基地,
侦察型的作战半径可以覆盖我国东部大部分领土, 攻击型
可以覆盖东南沿海。

(2) 在X-47B的战术技术指标中, 隐身特性、航程和续
航时间比F-22、F-35等第四代战斗机具有明显优势, 因此, 在
未来发生的战争中, 它可以作为战争初期压制对方防空火
力的最有力的航空武器装备。

AST

参考文献

- [1] 李志 译. 国外攻击型无人作战飞机状态分析及发展趋势[J]. 飞
机设计参考资料, 2010(7): 12-20.
LI Zhi translate. Foreign attack unmanned combat aircraft condition
analysis and development trend[J]. Feiji Sheji Cankaoziliao, 2010(7): 12-20.
- [2] Kevin A, Wise. First flight of the X-45A unmanned combat air
vehicle[C]//AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and
Exhibit 11-14 August, 2003.
- [3] Northrop Grumman-built U.S. navy X-47B unmanned combat
aircraft completes historic first flight[EB/OL]. Http://www.
northropgrumman.com.
- [4] Northrop Grumman completes structural proof testing of second
X-47B aircraft[EB/OL]. Http://www.northropgrumman.com.

作者简介

李志 (1964—) 男, 研究员。主要研究方向: 无人机方案, 飞
行试验和数据处理。

Tel: 024-86780638

E-mail: lz601201@163.com

孙智孝 (1976—) 男, 研究员。主要研究方向: 无人机总体设计。

Analysis and Research on Tactic and Technique Characteristics of X-47B

LI Zhi*, SUN Zhixiao

AVIC Shenyang Aircraft Design & Research Institute, Shenyang 110035, China

Abstract: The X-47B is the first tailless, autonomous strike fighter-sized unmanned aircraft to launch from and land on
an aircraft carrier. It is a future direction of fighters. In this paper, these tactic and technique characteristics of X-47B
UCAV demonstrators were analysed and researched with conversed designed method, including MTOW, flight
envelop, flight range, RCS, etc. The purpose is to uncover perspective development of UCAV.

Key Words: X-47B; UCAV; tactic and technique characteristics; MTOW; flight envelop; range; stealth characteristics

Received: 2016-01-11; Accepted: 2016-02-10

*Corresponding author. Tel.: 024-86780638 E-mail: lz601201@163.com