

六大超级战机

SUPERFIGHTERS

- ★ 战机的研制与试飞
- ★ 新世纪的航电系统
- ★ 战机的武器系统
- ★ 战机的飞行特性
- ★ 战机的性能对比

[美] 梅尔·威廉姆斯 (Mel Williams) 一著

王志波 一译

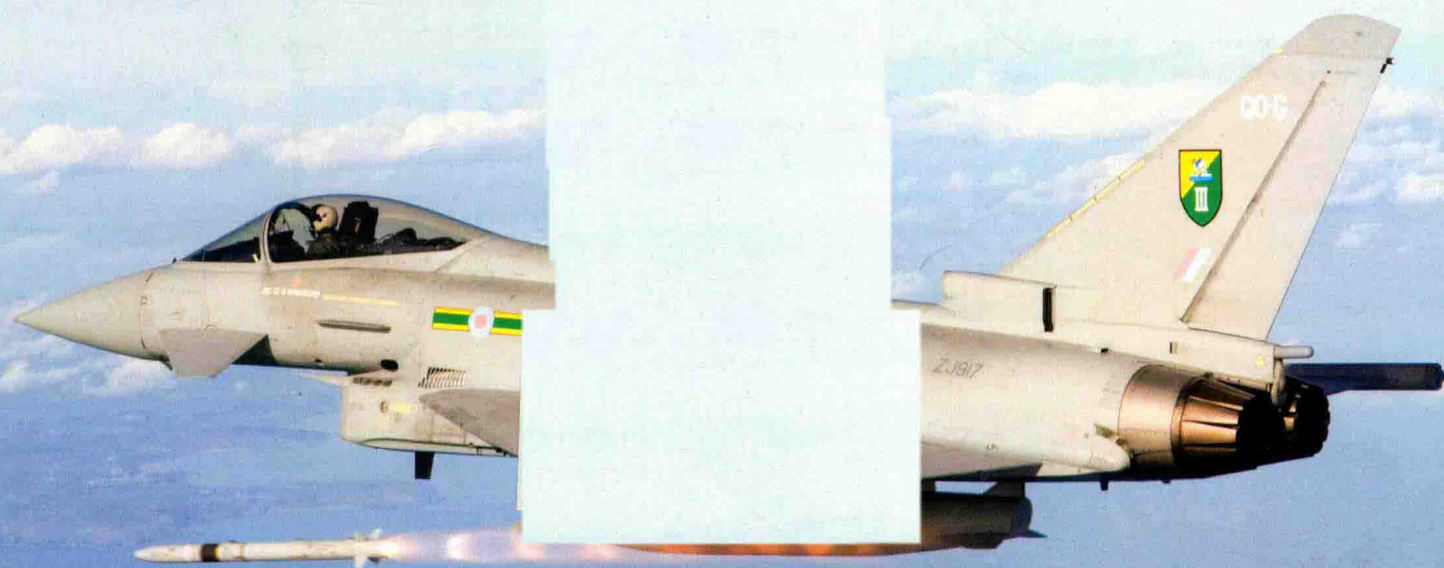
航空工业出版社



六大超级战机

SUPERFIGHTERS

[美] 梅尔·威廉姆斯 (Mel Williams) 著 王志波 译



航空工业出版社

北京

内 容 提 要

本书详细介绍了六大超级战机的研制、系统、武器和生产前景,是目前国内有关全球六大顶级主力战机最完整的普及性资料性图书。全书从六大战机的研发缘起、研发过程、技术特点、试生产与试飞、航电设备、武器系统、飞行特性、生产订单、详细参数等全部过程都有所叙述,堪称一部完整的六大战机全史。

图书在版编目(CIP)数据

六大超级战机 / (美) 梅尔·威廉姆斯
(Mel Williams) 著; 王志波译. — 北京: 航空工业出版社, 2017.8
书名原文: Superfighters
ISBN 978-7-5165-1240-1

I. ①六… II. ①梅… ②王… III. ①军用飞机—介绍—世界 IV. ①E926.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第155822号

北京市版权局著作权合同登记

图字: 01-2017-1343

Copyright © 2002 Airtime Publishing Inc.

Copyright in the Chinese language translation (simplified characters rights only) © 2017 Portico Inc.

This new edition of *Superfighters* published in 2017 is published by arrangement with Amber Books Ltd.

Originally Published in 2002 by Airtime Publishing Inc.

ALL RIGHTS RESERVED

六大超级战机
Liuda Chaoji Zhanji

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话: 010-84936597 010-84936343

北京世汉凌云印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2017年8月第1版

2017年8月第1次印刷

开本: 787×1092 1/12

字数: 420千字

印张: 22

定价: 80.00元

(凡购买本社图书, 如有印装质量问题, 可与发行部联系调换)

引言

电子技术领域的巨大进步，从根本上改变了现代战机和空战的本质。智能电脑芯片和更为精密的软件给航电系统和武器系统带来了革命性变化，使机组成员和指挥官获得了前所未有的精确侦察和攻击能力。再加上国防预算紧缩、军方苛刻的要求和全球化竞争，使得战机的资金、概念和设计等方面都出现了全新的方式。这也使得新一代战机在通用性、性能甚至外观上与以前的战机有所不同。本书详细介绍了这些新战机及其研制、系统、武器和生产前景。



目录

CONTENTS

超级战机·1 洛克希德·马丁F-22A“猛禽” /1

研制与试飞	/1
航电设备	/6
武器系统	/13
飞行特性	/22
生产订单	/29
详细参数	/34

超级战机·2 洛克希德·马丁F-35联合攻击战斗机 (JSF) /35

研制	/35
试飞	/61
航电设备	/70
武器系统	/75
生产订单	/76
详细参数/变型	/78

超级战机·3 欧洲战斗机“台风” /79

研制与试飞	/79
航电设备	/94
武器系统	/96
飞行特性	/97
生产订单	/99
详细参数	/116

超级战机·4 萨伯“鹰狮” /117

研制与试飞	/117
-------	------

目录

CONTENTS

航电设备	/119
武器系统	/126
作战与飞行特性	/134
飞行运行情况	/138
生产订单	/150
详细参数	/152

超级战机·5 达索“阵风” /159

研制与试飞	/159
航电设备	/173
武器系统	/190
生产订单	/196
详细参数	/202

超级战机·6 苏霍伊“超级侧卫” /203

研制目标	/203
苏-27M/苏-35/苏-37	/209
苏-27PU/苏-30	/211
苏-27K/苏-33	/216
苏-27IB/苏-32/苏-34	/230
生产订单	/234
详细参数	/242

附录1 计划关键日期	/246
------------	------

附录2 英文缩写术语表	/247
-------------	------

附录3 英文缩写术语表	/254
-------------	------



超级战机·1

洛克希德·马丁F-22A“猛禽”



研制与试飞

洛克希德·马丁公司研制的F-22A“猛禽”是有史以来最昂贵的战斗机，也是有史以来最优秀的战斗机。该型战斗机在军事和工业领域都具有重要意义，没有它，美国就无法成为新一代“超级战机”领域无可争议的领跑者。也许为新一代超级战机做广告的成分很大，但F-15和F-16等老一代作战平台确实已很难匹敌“阵风”、“鹰狮”和“台风”了，即便F-15和F-16可以通过安装新设备进行大幅度的升级。此外，F-15和F-16仍然要受到米格-29、苏-27和“幻影”2000升级版的纠缠。而F-22A则不然，它的性能超过了现有的和研发中的飞机，唯一的问题是——购买足够的数量需要足够的资金。但尽管性能和重要性无与伦比，F-22A的未来也未必称得上高枕无忧。

“猛禽”现在被称作空优战斗机

(ADF)，而它的最初称号是先进战术战斗机(ATF)——这个简称始于1971年，当时的战术空军司令部开始制定A-10和F-16的作战预案，当时A-10和F-16正在大量装备。米格-29“支点”和苏-27“侧卫”的出现动摇了美国长期依靠F-15和F-16夺取制空权的信心，专职的空对地思路让位于双轨制。80年代初，ATF的研究工作展开了，旨在探讨在一个平台上满足空对空和空对地作战需要的可行性；还要确认当两种任务都不能很好地完成时，哪种任务的优先级更高。由于经费紧张，研究工作转交给了飞机制造商，要求他们给出建议。

意见无非两种，要么是研制一种通用型平台并以此为基础研制不同改型，要么是进行完全独立的设计。仙童公司和沃特公司



上图和下图：1990年9月29日，第一架原型机(PAV1)进行了首次试飞，一个月前它刚刚离开洛克希德·马丁公司在加利福尼亚州帕姆代尔的工厂。这架飞机安装的是通用电气公司的YF120发动机(下图)，而第二架YF-22安装的是竞争对手普拉特·惠特尼公司的YF119，而后者最终赢得了发动机合同。1991年洛克希德·马丁宣布赢得战斗机选型后，第一架原型机就完成了飞行使命。





上图：尽管F-22A的设计初衷是通过隐身性能、先进的航电设备和智能武器的结合，进行超视距（BVR）战斗，但是它也具备近距离格斗必需的机动能力。

选择了不回应美国空军的咨询，而波音、通用动力、格鲁门、洛克希德、麦克唐纳·道格拉斯、诺斯罗普和洛克韦尔公司做出了回应，但是意见并不一致。诺斯罗普提出了轻型机概念，而洛克希德则提出了一种重120000磅、巡航速度2.8马赫的设计。

1982年，美国空军的兴趣转移至空空任务。此时，似乎没有必要安排F-111退役，另外，极为机密的F-117A也即将服役。

此外，F-15和F-16的改进型也能够填补攻击机的空白。这使得美国空军倾向于研制F-15A/C的代替机型，它可以飞到任何发现目标的地方痛击敌人。这也使得ATF的性能要求、尺寸、重量和航程初具

端倪。后来，又采用了超高速集成电路（VHSIC）、曲面机翼、不易燃的高压液压系统、探测器共形天线和集成式飞行控制/推进控制系统。美国空军最初提出的某些系统的语音控制和短距起降（STOL）能力，后来则被放弃。

波音、通用动力、格鲁门、洛克希德、麦克唐纳·道格拉斯、诺斯罗普和洛克韦尔公司再一次对完善后的特性做出回应，并且都获得了概念定义合同。美国空军决定在验证/定型阶段汇总所有的建议，并最终在两种原型机的竞争中选出获胜者。同时，通用电气公司和普拉特·惠特尼公司被要求提出“联合先进战斗机发动机”的研制建议，这直接促成了YF120和YF119原型发动机的诞生。

1986年，ATF的重要性增强，当时美国海军宣布将购买中标的ATF方案的海军型（NATF）来代替美国海军的格鲁门F-14“雄猫”。这意味着飞机产量将会超过1000架，美国空军购买750架ATF，美国海军购买546架NATF。因此，从商业角度来看，赢得合同的利润是很高的，一部分竞标者开始组队。无论队伍中的哪家公司的方案被选中，大家都要共同分享，获胜者只作为主要承包商。洛克希德、波音和通用动力公司组成一队，而麦克唐纳·道格拉斯则参加了诺斯罗普公司组织的另一队。洛克希德排在第一位，诺斯罗普第二，接下来依次是通用动力、波音、麦克唐纳·道格拉斯、格鲁门和洛克韦尔。

1986年10月31日，洛克希德和诺斯罗普

两队分别获得了研制两架原型机的合同。两架原型机中，一架安装YF119发动机，另一架安装YF120发动机，配套的航空设备也一并生产。洛克希德小组中的三家公司进行了分工，洛克希德公司负责机头、机身前部、座舱、核心电子系统和雷达隐身性能；通用动力负责机身中部、红外隐身性能、后勤和飞控系统；波音公司负责机身尾部、机翼和飞行试验室。1988年5月设计工作结束。

尽管原型机没有安装作战设备，但是在主要性能方面它们必须达到生产型的预期水平。此外，为了进行耐力测试，雷达吸波材料没有完全应用。相反，还需要打几个补丁。诺斯罗普/麦克唐纳·道格拉斯的第一架YF-23（安装YF119发动机）于1990年8月27日首飞，第一架YF-22（安装YF120发动机）于同年9月29日首飞。第二架YF-22（安装YF119发动机）10月30日升空，第二架YF-23则在此前4天升空。



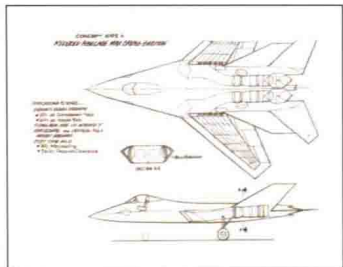
YF-23的非正式名称是“黑寡妇”，沿袭自诺斯罗普最著名的战斗机；YF-22的非官方名称则是“闪电II”，对应的是二战时洛克希德的P-38。

1990年12月28日，YF-22完成飞行试验，共计飞行74次，累计飞行91.6小时。在此期间，YF-22飞行速度超过了2.0马赫，在不开加力的情况下，速度可以维持在1.58马赫。在试验期间，YF-22完成了内置弹舱安装的AIM-9和AIM-120导弹的发射，迎角（AoA）可达60°，不过这些并不在试验要求的范围内。YF-23累计飞行65小时，但是

上图：洛克希德·马丁公司为原型机安装了很大的垂尾，因为设计师不希望遭遇像F-117A那样因垂尾过小而经历的各种难题。但诺大面积的垂尾并不必要，因此生产型将垂尾减少了20%~30%。

下图：三架F/A-22A（00-4012、00-4013、00-4015）2004年3月在内华达州的内利斯空军基地。





上图：线图描绘的是为ATF改进而进行的090P设计方案所提出的一种结构概念。中间的图片显示YF-22样机已经成形。YF-22和F-22A（下图）的设计差异显而易见。生产型飞机的座舱位置较为靠前，进气道的位置则较为靠后，这是为了改善飞行员的视野。机翼的翼展增加、后掠角减小，连外形也有变化，最明显的是垂尾面积减小，而水平尾翼经过重新设计，面积也增加了。

右图：位于爱德华兹空军基地的F/A-22A（99-4010），用于作战测评项目。

没有进行过武器发射或大角度AoA试验。不过，YF-23却展示了极强的“超音速巡航”能力，速度可能超过1.6马赫（真实的速度仍然保密）。因此该型机的速度将超过YF-22，而雷达反射截面（RCS）却比YF-22要小。风洞试验则表明，YF-23没有迎角限制，机动性极佳。在概念上，诺斯罗普的设计注重隐形和高速性能，试图在敌方飞机进入目视距离前将其击落。洛克希德则采取了折衷方式，把机动性也考虑在内。

1991年4月，洛克希德ATM小组胜出，部分原因在于他们获得了NATF设计——该设计将在YF-22的机身上加装双座座舱和可变后掠翼。讽刺的是，ATF的抉择刚做出几个月，NATF计划便取消了。此外，生产型F-22A采用了普拉特·惠特尼公司的更为保守的YF119发动机，而放弃了采用变循环技术的YF120。这是因为普拉特·惠特尼公司在喷气推进技术上经验丰富，而发动机的复杂性和风险也要低。

洛克希德·马丁的生产型F-22A在YF-22原型机的基础上做了几处修改。鉴

于洛克希德在F-117A上遇到的难题——主要是垂尾面积不足，洛克希德在YF-22上力求稳妥。最终，承包商将生产型F-22A的垂尾面积减少了20%~30%。机翼前缘的后掠角减小了6°，而且由于机翼后缘和水平尾翼进行过重新设计，隐身性能也得到了提高。最后，座舱位置也稍微前移，以改善前方视野，而发动机进气道则后移，为飞行员提供较好的两侧下视视野。安装YF-120发动机的YF-22最终作为工程样机退役，而第二架YF-22飞机在接下来的试验中飞行39次，累计飞行61.6小时。但是这架飞机在1992年4月25日发生了一起严重的着陆事故——遭遇了严重的驾驶员诱发振荡（PIO）。此后，在安装了生产型F-22A的机翼和尾翼后，它被用于天线试验，再也没有飞行。

工程和制造发展（EMD）合同的初步需要7架单座型F-22A和两架F-22B，以及两架不进行飞行的静态试验机。根据这一合同，预计1996年期间该批飞机将进行首次飞行，1999年第一架完全生产型F-22A





左图：一架尚未完成雷达波吸收材料覆层的F/A-22A（01-4020），拍摄于乔治亚州玛丽埃塔制造中心。



上图：一架位于爱德华兹空军基地的F/A-22A。

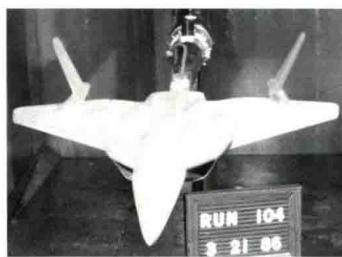
首飞，2003年成立第一支作战中队。但是由于资金有限，这些预定日期都延迟了。1997年4月9日，第一架F-22A（“美国精神”）下线，在规格很高的庆典仪式上被正式命名为“猛禽”。同年9月7日，它在乔治亚州玛丽埃塔的多宾斯空军基地进行了首飞。但是同时，官方于7月10日宣布推迟双座型F-22B的生产。1998年6月29日，第二架F-22A加入飞行试验计划，此外还有几架试验平台机加入这些EMD合同下的F-22A行列。飞行控制软件的研发测试是在F-16D VISTA变稳机上进行的，而整个座舱和航电系统则在一架改造过的波音757飞行试验平台（FTB）上进行测试。

1997年8月，F-22A前段机身/雷达罩的模型安装上波音757；1998年12月，模拟机翼以及保形天线也搬上了飞行平台。机上还有25名技术人员和扩展试验设备，改造过的客机能够实时使用F-22A的航电设备对付模拟目标。这一点特别有价值，因为前3架EMD合同下的F-22A未安装全任务航电设备。在得克萨斯州沃斯堡的一处高塔顶部安装有全尺寸的通信、导航和识别（CNI）

模块，包括F-22A前段机身的全尺寸模型和安装了保形天线的部分机翼。

洛克希德公司完成了初步飞行试验后，将F-22A一架接一架地交给了加利福尼亚州爱德华兹空军基地的联合试验部队（CTF）。试验项目的参与者包括美国空军试飞中心（AFFTC）、空军作战测试评估中心（AFOTEC）、空中作战司令部（ACC）、普拉特·惠特尼公司、F-22系统计划办公室（F-22 SPO）和洛克希德·马丁公司战术飞机系统部。1998年2月5日，第一架飞机由一架C-5B“银河”空运；同年8月26日，第二架飞机自行飞到了爱德华兹空军基地。2000年3月6日，第三架F-22A（也是第一架安装全套内部设备的F-22A）进行了首飞，并于3月15日到达爱德华兹空军基地。

飞机交付缓慢，显然也延误了整个计划。在所有9架EMD飞机中，只有4002号机按时完成首飞，其他几架要比预期晚1年以



上图：洛克希德公司用于风洞试验的众多ATF基本架构研究模型之一。

下图：洛克希德·马丁F-22A“猛禽”（编号91-4001，生产序号No.4001）。1998年5月18日，“猛禽”01加入爱德华兹空军基地的试验项目，主要用于飞行包线扩展试验。



右图：YF-22A（N22YF）在帕姆代尔制造中心进行首次跑道滑行测试。

下图：YF-22A高速风洞模型，配备了武器舱和AIM-120/AIM-9导弹模型。



上。政治因素也干扰了计划的实施，1999年7月，美国众议院投票削减2000财年的F-22A生产资金——数额达18亿美元，这使五角大楼和承包商大吃一惊。这将给整个计划带来极大的危害，在小批量试生产（LRIP）开始前资金就已受限。此外，前期任务还包括Block 3.0软件的交付、AIM-9“响尾蛇”和AIM-120先进中距空对空导弹（AMRAAM）投掷测试，以及AMRAAM发射、RCS和雷达性能测试。由于过去两年的测试效果令人满意，因此LRIP得以继续，美国空军也延长了测试时间表。根据新方案，专用初始作战试验和评价（DIOT&E）将于2003年4月开始，即便那时EMD合同尚未完成。尽管早就察觉到垂尾的缺陷，但是已来不及更改4002号机的结构。因此，只有4003号机才是完全结构的试验机。

2000年底，第一架EMD飞机——4001号机结束了飞行使命，被送至俄亥俄州怀特帕特森空军基地，用于实弹试验。4002号机

最初被指定用于结构试验，后来却被用于武器投掷试验。它还安装了反尾旋伞。4003号机也是用于上述任务，4004号机经过改装用于气候试验，4005、4006和4007号机则用于测试航电系统。资料显示，F-22A的全部性能都很优异，具备“超音速巡航”能力，F-119发动机的性能也超出期望。

航电设备

在专用初始作战试验和评价阶段，携带航电设备和软件的F-22A要达到具有初始作战能力（IOC）的标准。硬件和软件首先要西雅图附近的波音工厂航电综合实验室（AIL）进行综合测试，之后它们将被装上波音757飞行测试平台（FTB）。尽管FTB不具备F-22A的机动性，但是雷达和电子战系统在FTB上的使用经验同样适用于F-22A。做中等程度的机动时，设备并无问题。3.1版本的软件已经投入使用，另外两个版本预计将在专用初始作战试验和评价（DIOT&E）阶段开始前完成。2002年夏



上图：由于爱德华空军基地的EMD试验用机大多延期交付，导致这一阶段严重滞后。为了弥补失去的时间，美国空军决定于2003年4月开始专用初始作战试验和评价（DIOT&E），即便那时EMD合同尚未完成。图中，“猛禽”01正由爱德华空军基地412试飞联队的一架飞机伴飞。



左图：YF-22A (N22YF) 在飞行测试中被授予军用编号87-701。

天，3.1.1版将会在评价阶段用于训练飞行员，而3.1.2将是专用初始作战试验和评价（DIOT&E）和初始作战部队使用的标准版本，包括主雷达、电子战、通信、导航和识别（CNI）功能。

在光滑的表面之下，F-22A其实是一架极为精密的飞机，拥有高度集成的航电系统。该系统围绕一对通用集成处理器（CIP）设计，这是飞机的“大脑”。与传统的通信和导航设备相比，如全球定位系统（GPS）、仪表着陆系统（ILS），CIP的相应内置模块便已经可以媲美通信/导航/识别（CNI）系统。每一个CIP都是由66个独立模块组成，能够自动完成程序重调，在一个CIP出现故障或失效时，另一个能够及时填补。武器系统的核心是诺斯罗普·格鲁门/雷神公司生产的AN/APG-77雷达，这种有源电子扫描阵列（AESA）是目前最先进的雷达。它首飞于1997年11月21日。F-22A的CIP同时还是雷达和电子战系统的处理器。

AESA的一大优势是可以减少无线电频

率（RF）的丢失。与传统雷达相比，它的敏感度要高出几倍，部分原因在于每个模块内接收器和放大器几乎耦合在一起。因此，在信号放大前几乎不会有干扰或杂音，因而传输给处理器的信号也就很干净。但也有一点不足之处，与传统的固定阵列机头雷达相比，这种雷达的视野要狭窄。它的探测范围被限定在视轴两侧60°内。F-22A曾在机身前部安装了侧面雷达阵列，但是在演示验证（DemVal）阶段取消，后来也没有重新采用。

APG-77的参数仍然保密，不过为“超级大黄蜂”研制的小一号的雷神APG-79雷达，就已能够探测185千米以外的目标——差不多是大多数现役雷达探测距离的两倍。

APG-77功率更为强大，传输/接收（T/R）模块的数量也更多——差不多是小一号



上图：YF-22A (N22YX) 在爱德华兹空军基地上空进行飞行测试。通过垂直尾翼翼梢上的红白蓝条纹可以辨认出YF-22A。

下图：尽管“猛禽”航电和电子战系统的性能和水平已远远超过现役战斗机，但是美国人仍在努力提高飞行员态势感知能力。主要是通过探测器的融合，来实现清晰的战术图景和降低工作负担。



右图：YF-22A（N22YF）在爱德华兹空军基地测试开始时的滑行。在这个阶段，很少能看到引擎喷口的细节照片。



上图和下图：F-22的进气道很大，它的另一个显著特征是呈拱形的曲面机翼，从这个角度可以看得很清楚。“猛禽”精密的航电系统拥有30多个探测器——全部安装于机身内部，以保证隐身性能。



的APG-79雷达的1.5倍。AESA的效率也很高，它不会重复扫描已经确认没有目标的空域而造成能量的浪费，而能够集中能量跟踪此前探测到的目标。它还具有全新的小型目标探测能力，如探测前跟踪能力，探测阈可以降到很低的水平，从而区分假警报和真目标。当雷达接收到可疑回波时，波束会停留在目标上以确认目标的真实性。如果回波超过阈值时仍不能确认目标，几次扫描的回波可以进行对比；如果

目标得以确认，雷达就获得了跟踪数据。

为了进一步降低F-22自身的雷达反射截面（RCS），AESA对飞机隐身性能也有非常重要的影响。机械式天线的形状极为复杂，难以隐蔽，因此现有的隐形飞机还没有安装或者考虑过安装机械扫描雷达的。APG-77的阵列略微向上倾斜，可以使正面主瓣反射向上偏转，使其不被对方雷达的接收器接收。此外，雷达阵列边缘产生的反向散射也被阵列周围的雷达吸波材料屏蔽了。

如果说AESA技术给隐形飞机带来了“杀手锏”，那就一定要数低拦截概率（LPI）了。AESA极大地丰富了LPI技术，使隐形平台在发射雷达波时不会暴露位置或被发现。雷达具有很强的灵活性，可以适时降低峰值功率，当目标接近时，雷达功率可以迅速降低，避免被对方拦截接收

器探测到。AESA雷达可以同时使用多个波束进行搜索，因为当每个波束只搜索一个很小的扇面时，它在一个指定地点的停留时间就可以延长。因此，当探测效果相当时，它所耗费的能量要少。AESA技术的另一个优点是可以干扰拦截系统。它几乎可以改变每一个信号的特征，包括到达角度和每一次的脉冲积累。它可以改变脉冲宽度、波束宽度、扫描频率和脉冲重复频率（PRF）等拦截系统借以识别目标的特征。

另外一项重要的LPI技术是关闭雷达。帮助完成这一操作的系统是BAE系统公司的ALR-94，它可能是“猛禽”安装的技术最精密的系统了。ALR-94是一种被动接收器系统，其功能比大多数战斗机安装的简单的雷达告警接收器（RWR）强大得多。它的多单元天线覆盖多个波段，既能探测主瓣也能探测旁瓣，可以准确地定位和跟踪



发出无线电的目标。它极有可能将AESA雷达用作敏感而精准的辅助接收器。ALR-94和其他不发射无线电信号的设备，如飞机的数据链，会自动向雷达发出指示信号，关闭雷达以降低电子信号。ALR-94可以实

上图：波音757原型机(N757A)成为YF-22A和F/A-22A的机载电子设备空中测试台（空中飞行实验室）。



左图：在加利福尼亚州的洛克希德·马丁公司的帕姆代尔制造中心，YF-22A（N22YX）进行YF119静态发动机试车测试。位于水平尾翼上的杆状物体为动力荷载传感器。



上图：为了支持YF-22演示验证（DemVal）阶段，波音公司专门将一架波音757-200改造成飞行试验室。经过1998年的大规模改造后，这架飞机成为F-22飞行测试平台，主要用于执行F-22的EMD阶段航电设备测试。这架波音757安装了模拟的“猛禽”前段机身，上方安装了特殊的“机翼”，驾驶舱安装了电子战和CNI天线，机头安装了APG-77雷达，并为软件工程师准备了单间。这个飞行平台为验证F-22航电软件包的主要性能发挥了重要作用，尽管最初的EMD样品（01、02和03号机）并没有完整地安装或集成这套航电系统。

右图：YF-22A（N22YX）的军用编号为87-701，正处于着陆状态。

时跟踪优先级最高的发射源，例如距离很近的战斗机，在这种模式下（被称作“窄波束交错搜索与跟踪”，简称NBILST），雷达仅用于提供准确的距离和速度数据，以引导导弹攻击。实际上，敌机的雷达可能已经向ALR-94提供了AIM-120 AMRAAM空对空导弹发射和制导所需的全部信息。这使得AMRAAM更像是半主动制导的空对空导弹。

F-22A的航电设备的另外一个重要方面是能够在超视距（BVR）交战中识别目标。视距内（WVR）交战会增加危险，暴露在目视距离内会使F-22A丧失大部分空对空优势。由于很多战斗机安装了大离轴导弹和头盔显示器（HMD），当F-22A接近时它们将极具威力，所以避免此类交战是非常关键的。所以在BVR交战中击落敌机，特别是在最大射程上，才是“猛禽”的优势所在。交战规则（ROE）是把条件设定为可以对肉眼看不到的敌人发起攻击，而且要随

机应变，因此要通过多种独立渠道弄清目标的身份。F-22A至少有4个渠道——CNI集成的敌我识别系统（IFF）、数据链提供的外接识别、ALR-94和雷达。

如果目标在使用雷达，ALR-94就会迅速识别出目标，而APG-77雷达通过发射狭窄而集中的波束，进入多种非合作目标识别（NCTR）模式。其中一种是喷气发动机调制，主要依靠探测压缩机叶片旋转产生的雷达脉冲模式特征。F-15和F/A-18在80年代就已经采用这种技术，更为先进的NCRT主要基于高分辨率（HRR）。雷达沿着目标整个长度测量分辨信号，并将这些信号与模板进行比较。目标有效识别距离尚未解密，不过通常来说，在更远的距离进行识别就需要更多的能量。

数据链的使用，可能是战斗机攻击战术最大的变革。F-22A的机间数据链（IFDL）将几架F-22A的探测器连接起来，这种像铅笔一样窄的波束可以避免被拦截。通过



数据链连接的飞机在飞行中不必保持目视接触，可以散布在几英里范围内的空中。数据链的另一用途是“静默攻击”。敌人可能知道自己被导弹射程范围以外的战斗机雷达跟踪了，但是不知道附近有一架战斗机在不打开自身雷达的情况下正在接收跟踪数据，并准备发射导弹。F-22A使用数据链的方式仍然保密，不过瑞典的JAS-39“鹰狮”作为现役数据链使用最为广泛的战斗机，已经显示出了相互联接的雷达的潜在用途。例如，如果两架战斗机的雷达或电子支援设备（ESM）探测到同一个目标，就可以通过三角测量法迅速定位。数据链可以使主动雷达使用更少的信号完成跟踪。通常来说，在边扫描边跟踪时，需要3个标定点或回波才能完成对目标的跟踪。数据链可以使雷达共享标定点，而不只是跟踪。即便编队内的飞机没有一架获得跟踪目标所需的标定点，但是通过信息的集合也许就能够实现跟踪。不过每一个雷达标定点都是多普勒速度，只为单架飞机提供接近率，这种数据并不是目标的真实速度。通过数据链，两架战斗机获取同步的接近率读数，可以迅速完成对目标的跟踪，免去了雷达传输的必要。

为了更大程度地提高战斗力，F-22已经具备了使用精确制导武器攻击多种地面目标的能力。不过说来好笑，第一次进行设计修改竟是为了解决部分零件停产的问题。80年代末，即YF-22和YF-23原型机刚刚试飞时，美国空军发起了研制384kB记忆芯片的高科技计划——当时还认为未来的

机载数据存储系统容量是用MB衡量的。但是当计划开始时，技术已经发展到商业版英特尔I-960芯片即可当CIP使用的地步了。现在这些处理器已经停产了，8MB只适合于100美元的掌上电脑，而不适合1亿美元的战斗机。此外，半导体行业已经不再对生产质量要求相对较高的军用芯片感兴趣了。实际上，商源短缺（DMS）已经影响了大多数军用电子系统计划。

解决DMS难题的一个方法是采用商用货架产品（COTS）兼容COTS模块或芯片的第一个问题是，如何解决战斗机内的震动、温度、电磁脉冲（EMP）等极端环境。第二个问题是，如何让不断更新的COTS芯片适应战斗机航电系统“固定的核心”，避免给供电、冷却和数据功能带来困难。因此，没有两架F-22A的结构是完全相同的，不过这些细小的差别并不会引起飞行员和地勤人员的注意。第一批小批量生产型F-22A拥有全新的CIP，模块更少，能够更好地适应现代化处理器的供电和冷却需要。

2005—2006年的第一批大批量生产型F-22A采用全新的雷达，采用的技术类似于F-35 JSF或F-16 Block 60的APG-80。T/R模块所使用的砷化镓单片微波集成电路（MMIC）现在已经大量应用于商业通信设备，从卫星到电脑无线宽带调制解调器。目前F-22A使用的是专门研发的处理器，而APG-80使用的是水星电脑系统公司的RACE系统，该系统基于多个商业版处理器。与现有系统相比，F-22A的新雷达工作效率更



上图：YF-22A（N22YF）装备螺旋改出伞。请注意其飞机舵面、副翼、襟翼和水平尾翼的位置。

下图：YF-23A的翼平面形状与传统设计相当不同。

