

国际科技合作课题 论文集

SELECTED PAPERS IN SCIENTIFIC AND TECHNICAL
INTERNATIONAL COOPERATION PROGRAM



中国航空研究院

CHINESE AERONAUTICAL ESTABLISHMENT

国际科技合作课题 论文集

SELECTED PAPERS IN SCIENTIFIC AND TECHNICAL
INTERNATIONAL COOPERATION PROGRAM

(8)

21 世纪航空发展与展望中俄学术交流会专集
SPECIAL PUBLICATION OF DEVELOPMENT AND OUTLOOK
OF AVIATION IN 21 CENTURY CHINA - RUSSIA SEMINAR

中国航空研究院

CHINESE AERONAUTICAL ESTABLISHMENT

航空工业出版社

AVIATION INDUSTRY PRESS

1998

《国际科技合作课题论文集》编辑部
Editorial Department of Selected Papers in Scientific and
Technical International Cooperation Program

主 编

周 俊

Editor - in - Chief

Zhou Jun

编 辑

陈亚莉

Editor

Chen Yali

通信地址:北京 761 信箱

Address: P. O. Box. 761, Beijing, China

邮政编码:100012

Post Code: 100012

电 话:64232696

Tel.: 64232696

电 传:210467CAECN

Txl.: 210467CAECN

传 真:64232507

Fax.: 64232507

出 版:航空工业出版社

Published by China Aviation Industry Press(AIP)

图书在版编目(CIP)数据

国际科技合作课题论文集 (8)/周俊等编. - 北京:
航空工业出版社, 1998. 11
ISBN 7-80134-409-X

I. 国… II. 周… III. 航空-科学技术合作:国际合作-
文集 IV. V2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30111 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

航空工业出版社印刷厂印刷

1998 年 12 月第 1 版

1998 年 12 月第 1 次印刷

开 本:850×1168 1/16 印 张:11.25 字 数:335 千字

印 数:1-1000

定 价:60.00 元

目 录

21 世纪前 25 年航空技术装备发展方向分析	(1)
军用飞机新技术展望	(9)
民用飞机和体育飞机介绍	(18)
21 世纪航空前景与问题	(33)
未来航空发动机的发展展望	(55)
未来“空-空”导弹发展的主要方向	(66)
民用飞机航空电子系统发展前景	(73)
民用飞机航空电子及其系统综合	(86)
利用大比例飞行模型的飞行试验综合系统	
进行高超音速飞行试验研究	(91)
飞行力学和飞行控制飞行试验技术	(94)
建立第五代飞机飞行控制自动系统的趋势与问题	(105)
航空制造技术未来展望	(107)
“虹”工程设计局的高超音速技术	(112)
民用飞机研制生产并行工程	(117)
无人机与未来战争	(122)
飞机飞行控制技术展望	(128)
新一代空空导弹的特点及关键技术	(139)
综合航空电子系统的发展与展望	(143)
智能材料结构与航空	(148)
中国航空声学研究概况	(159)
民用飞机销售工程	(165)

21 世纪前 25 年航空技术 装备发展方向分析

俄罗斯航空工业科研中心 A.M. 巴特科夫

摘 要

本报告分析了 NASA 及美国空军描述的最近 10~20 年内美国航空技术装备发展方向,该发展方向应保证美国在航空领域的世界领先地位。描述了世界市场上民用航空装备的竞争力状况。确定了对未来航空装备特性的要求,使其能保证在冲突情况下顺利地对抗美国的作战航空装备。

表 1 2010~2020 年民用航空装备竞争力特性

序号	特性名称	NASA 目标 2010 年前 2020 年前	竞争力要求	达到要求的途径
1	2	3 4	5	6
1	飞行安全性	事故率系数降低: 5 倍 10 倍	提供有保障的 安全性	提高飞机控制自动化水平: ——排除在复杂情况下人为错误(事故的 70%); ——消除设计—生产缺陷; ——排除与其它飞机相撞或撞地; ——探测并回避气象危险; ——制止飞机进入危险状态; ——研制单发飞机用的超可靠发动机
2	出航与转场的 可靠性	在任何气象条件下航空 系统通告能力增加 3 倍	提供有保障的 出航与转场的 可靠性	提高飞机可靠性: ——功能与硬件综合; ——实现“自由飞行”概念; ——采用失效预报、探测与定位; ——增加空中交通管制系统的通行能力
3	使用可靠性		保证飞机无停 歇运营	完善运营系统: ——“视情”运营; ——机体、发动机和设备寿命增至 60000 小 时

序号	特性名称	NASA 目标 2010 年前 2020 年前		竞争力要求	达到要求的途径
1	2	3	4	5	6
4	生态环境要求	降低排放水平 3 倍 5 倍 降低噪声水平 2 倍 4 倍		保证飞机排放 与噪声在自然 背景水平上	研制新一代有低噪声水平的发动机和飞机机体
5	飞行费用	降低飞行费用 25% 50% 活塞发动机 费用降 50%		提供各阶层居民都可接受的飞行费用	降低： ——直接使用费,其中包括技术维护费及燃料费; ——飞机费用(考虑生产费用的结构研制); ——飞机设计周期减少 50%,增加飞机的年飞行时间
6	飞行持续时间	跨洋航线飞行时间减少 50%,并保持票价在亚音速飞机票价水平上 涡扇发动机飞机飞行速度增加 160 km/h		军用超音速客机并增加亚音速飞机的飞行速度	研制具有超音速巡航状态及亚音速发动机的生态性与经济性的发动机,采用廉价材料与结构
7	乘客舒适性			在所有各型飞机上保证世界水平的舒适性	——采用个体通信与娱乐系统; ——增大客舱宽度与容积; ——增加过道的数量与宽度; ——按乘客所需改变客舱布局结构
8	满足航空公司要求			保证最好地满足航空公司要求	——在基本型方案基础上设计飞机家族; ——按个别要求研制飞机的方案

表 2 涡轮喷气发动机干线客机的划代

基本指标	代	I (1950~1960年)	II (1960~1975年)	III (1975~1990年)	IV (1990~2000年)	V (2000~2020年)
机型 (最典型代表)		图-104 波音 707 “快帆”	伊尔-62、波音 727 图-154、波音 737 图-134、DC-10	伊尔-86、波音 747 A-310、波音 767 MD-11、雅克-42 L-1011	伊尔-96、波音 777 图-204、A-340 A-321	中远程 近中程 远程
飞机类别 (用途)		中程	远、中、近	宽体	远、中、近程	多功能飞机
动力装置		涡喷发动机	涡喷发动机	涡扇发动机	涡扇发动机	涡扇发动机
涵道比		0	0	2	5	<20
耗油率(公斤油/公斤推力小时)		1.2	0.9	0.7	0.5	0.45
燃油经济性 (克/座·公里)		40	30~50	25~30	20~25	10~20
升阻比 (Kmax)		14~15	14~15	15~17	17~20	>25
巡航速度 (M)		0.75	0.75	0.8	0.8~0.85	0.9~2.4
机体寿命 (千飞行小时)		<20	25~30	35~40	40~60	>60
相对运输成本		-	1	0.85	0.75	0.4
满足生态环境要求		-	-	ICAO II 部	ICAO III 部	与 ICAO III 部相比 改进 4 倍
设计完善性 (M _{CH} /座)			250~300	300~350	250~300	200~250

表 3 亚音速干线客机用航空燃气涡轮发动机的划代

代	1	2	3	4	5
发动机型	涡喷发动机	同左	涡扇发动机	大涵道比涡扇发动机	大及超大涵道比发动机 (桨扇发动机)
$R_{\text{起飞最大}}, t$	≤ 3	4~8	5~13	6~40	可能进一步扩大范围
涵道比	0	0	0.3~2	4~6.5	8~16
最高燃气温度, K	1000~1100	1150~1250	1300~1450	1450~1680	1650~1800
最大增压比	3~5.5	7~13	16~20	24~38	35~70
流通部分的机构	级间引气活门	压气机的偏转向装置	双轴布局	可调冷却;三轴布局	风扇偏转叶片
比油耗 当 $M=0.8, H=11\text{km}$, $\text{kg/kg}\cdot\text{h}$	1.4~1.2	1.1~0.9	0.8~0.7	0.64~0.58	比第四代发动机 降低 10%~15%
噪声水平			ICAO 第 2、3 章	ICAO 第 3 章	未来规范
有害排放			ГОСТ. 17228~71		
规定寿命, 千小时			12~18	20~30	与机体寿命相当
国产发动机例子	БК-1, PD-500, ТР-1	PD-3M, (AU-20, HK-12MA)	D-20П, D-30, D-30ky/кп, HK-8-2y, HK-86, АИ-25	ПС-90А D-36/436, (D-18Т)	

表 4 21 世纪政治军事局势的特点及航空兵在军事冲突中的作用

局 势 特 点	航 空 兵 作 用
1. 全球(世界)冲突的可能性下降; 2. 采用大规模杀伤武器的冲突可能性下降; 3. 中、小强度的地区和局部军事冲突的可能性增长; 4. 美国在世界各地利益扩张,其在调节冲突中的作用增长	航空兵成为决定战争结局及预防军事冲突升级的战略手段,表现如下: ——保证全球监视与侦察; ——保证快速反应部队的全球机动; ——在决策后直接对冲突进行武装干扰的能力; ——不损失有生力量及不破坏和平目标而有效地摧毁军事目标

表 5 21 世纪初美国空军的发展计划

空军的发展目标	空军的发展方向	保证空军发展的技术手段
建立全球侦察—攻击航空航天系统,保证美国武装力量在地球的任何地区发生的军事冲突中具有全面优势	1. 空中及太空优势 2. 全球打击	1. 宇航系统 EELV; 2. 采用常规武器的战略飞机 B-52、B-1、B-2、FB-111 的改进型; 3. 研制多功能歼击机 F-22、JSF 等; 4. 在“爱国者”防空导弹系统及激光系统 ABL 的基础上研制反导弹系统
	3. 信息优势	1. 航天红外系统 SBIRS; 2. GPS 卫星导航与通信系统; 3. AWACS、Rivet、Joint、JSTART 综合系统; 4. 装有 TESAR 系统的无人机; 5. JTIDS 通信系统
	4. 精确打击	导弹和 ITAE:JDAM、JSOV、JASSM
	5. 全球机动能力	运输机: C-5、C-130、C-17、FLA、V-22
	6. 对步兵的快速直接支持	1. 研制 JSF 以替代 A-10; 2. 改进“阿帕奇”直升机; 3. 研制武装直升机“卡曼奇”
	7. 综合解决问题	按军兵种建立作战技术实验室

表 6 21 世纪初侦察设备的发展方向

空军的发展目标	空军的发展方向	功 能 与 设 备
获取有关作战单位及军事目标详细信息的作战地区的综合图像,并实时地将数据传输给控制站	研制综合空一天监视、侦察与通信系统	有下列功能的卫星系统: ——监视; ——确定目标; ——卫星导航; ——卫星通信
	研制细节侦察的航空系统	——AWACS、Xokau 型 PJIДH 系统; ——电子侦察航空系统; ——带侧视雷达和合成孔径雷达航空系统; ——遥控驾驶飞行器; ——高超音速侦察机
	研制侦察—攻击系统	系统包括: ——带有细节侦察红外与雷达设备的飞机、直升机和无人机,并有数据链; ——攻击飞机、武装直升机;“地—地”导弹,“空—地”导弹; ——局部地面运动实时控制站

表 7 21 世纪初保障空中优势设备的发展方向

发 展 目 标	保障的方法与阶段	保 障 设 备
排除敌方在己方领土上空的侦察与攻击,并保证航空兵在战区敌方领土上空自由行动	1. 摧毁防空控制中心; 2. 用干扰压制并摧毁敌方防空导弹系统; 3. 摧毁敌方机场及地面上的飞机; 4. 摧毁弹道导弹发射场; 5. 在空战途中击毁敌方飞机	——多功能战术歼击机; ——轻型多功能歼击机; ——歼击—轰炸机; ——强击机; ——干扰飞机及干扰直升机; ——C-300 型要地反导弹系统; ——飞机反导弹系统

表 8 21 世纪初运送及保障快速反应部队的航空装备的发展方向

发 展 目 标	改 进 方 向	保 障 设 备
保证在决策后最短时间内将有生力量与装备运抵冲突地区(数小时内),并在整个作战期间供应及支持它们	——保证用军用运输航空兵把部队送到简易机场上; ——保证高精度地运送空降部队及装备; ——建立受到保护的空中桥梁; ——建立机动的机场与广场	——大、中型军用运输机(安-124、伊尔-106、安-70、图-330); ——通用轻型飞机(C-80、米格-110、伊尔-102); ——垂直起降运输机和直升机; ——水平起降的单级空天飞机; 新一代军用运输机的特点: ——高燃料经济性(110~130g/t·km,现在是200~250); ——在小于600米的跑道上起降; ——增大航程(5000~7000km); ——提高寿命达60000小时; ——低雷达散射截面; ——高精度卫星导航

表 9 21 世纪初局部冲突中用的战略航空兵飞机的改进方向

目 的	改 进 方 向	保 障 设 备
保证在冲突地区防空系统条件下用常规武器摧毁目标	——改进战略航空兵现有飞机的导航、武器控制系统和突防设备设施; ——开展未来远程轰炸机的科研与试制工作	——采用卫星导航; ——引入激光、电视导引头,滑翔式常规炸弹,带常规战斗部的高精度导弹用的瞄准系统; ——具有多目标攻击能力(达10个); ——开发侦察、通信和电子战设施; ——增加杀伤武器的重量及品种

表 10 21 世纪初航空武器改进方向

目 的	改 进 方 向	保 障 设 备
保证在白天和夜间、在简单和复杂气象条件下,不进入防空火力圈,且不造成和平设施损失的条件 下,高精度地摧毁固定的 和战场发现的目标	在“空一面”导弹和滑翔炸弹上采用 3 ~5 米高精度制导系统。保证使用机 身内置式武器	——卫星导航系统,按当地地形的制导 系统; ——领航员(飞行员)用的电视和红外 成像,指令导引系统; ——目标映像电视与热成像自寻的系 统; ——电辐射被动自导的系统; ——主动寻的毫米波雷达; ——提高假目标与有干扰防护系统

表 11 21 世纪初对陆军支援力量的改进方向

目 的	工 作 方 向	系 统 与 设 备
按步兵要求保证高效杀 伤战场上的地面固定目 标和运动目标	——研制新一代强击机; ——研制侦察—攻击系统; ——研制轻型多功能歼击机; ——研制新型武装直升机; ——提高生存力; ——采用信息—火力对抗系统	1. 强击机、直升机、苏-39、卡-52、米-28、 新品质的“卡曼奇”; ——提高防护能力(防 30mm 口径弹的 装甲); ——采用热成像设备和雷达保证全天 候能力; ——采用短程“空—空”导弹; ——增加“空一面”导弹射程; ——扩展电子战设备构成; 2. 采用 JSF 型短距起飞飞机; 3. 采用长航时无人机

表 12 21 世纪初新型武器装备研制方法改进

目 标	工 作 方 向	保 障 设 施
在综合评估各研制阶段 效率的基础上缩减新型 武器系统的研制周期和 费用	在决定开始批生产之前,在设计与试验 样机制造阶段用仿真和试验的方法综 合评估新型武器系统的作战能力	——在计算机上的使用条件,作战应用 和被设计系统的情况的综合数学模型; ——半实物仿真系统及包含系统样机 的外部作用模拟; ——在使用和演习条件下的样机检测 试验; ——组成包括研制者,工艺师,战术家 和使用者在内的集体,以进行系统综合 设计

(黄尉嘉译)

军用飞机新技术展望

沈阳飞机研究所 李 天

摘 要

本文对战斗机总的发展趋势作了介绍,并重点介绍了隐身技术、气动技术、推力矢量技术、航空电子系统综合技术、保形天线技术以及机载电子对抗系统的综合化、小型化、模块化技术等新一代战斗机采用的新技术。

一、战斗机总的发展趋势

1. 研制高性能的新一代战斗机是军机发展的主旋律

通过海湾战争可以看出,未来局部战争将是一场高技术的较量,要取得胜利,空中打击力量是起支配作用的,空中优势的体现又是以战斗机的性能为标志。海湾战争中,美国的 F-117, F-15, F-16 和 F-18 充分显示了其优势和实力。军用飞机作为一支超常规战略打击力量,具有很强的威慑能力,它的特点是:覆盖面广,攻击力强,机动灵活。它将在战争的全过程中发挥重要作用,并对战争结局有举足轻重的影响。由于战斗机在未来战争中居重要地位,各军事大国都将战斗机的发展放在首位,研制高性能的新一代战斗机是当前战斗机发展的主旋律,在这一领域,以美、俄处于世界领先地位,由于美国经济实力雄厚,其进展更为迅速。

2. 追求高性能而价格猛涨,经济上难于承受,“能买得起”将成为发展新一代战斗机的主导思想

F-22 作为下一世纪的空中优势战斗机,把不开加力进行超音速巡航、好的隐身能力及高机动性、高敏捷性、电子综合化和高生存力等新技术融合在一架飞机上,使它在超视距作战及近距离格斗中都占有绝对优势,到下世纪初可装备美国空军,作为空中威慑力量,保证在未来战争中的优势地位。由于要求远的航程(载油量大增),装载多种武器而内埋,使飞机重量达到 25~30 吨, F-22 单机价格已涨到近一亿美元。这么昂贵的飞机,美国到目前已将采购架数降到 339 架。马丁公司董事长奥古斯订(Augustine)曾预言:“到 2054 年美国国防预算将只够采购一架战术飞机。”对于幅员辽阔的大国要保持作战能力,必须装备相当数量的战斗机,而在未来空战中,性能再好的飞机,数量少也难取得空中优势。因此,美国也采用高、低搭配的思想,加速发展性能较优越,价格在 3 千万美元左右的三军通用的“JSF”飞机计划,期望在 2010 年前后可生产 3000 架,以取代 F-16、F-14、F-18 等机种。该机强调隐身特性、高机动、垂直/短距起落及较大的航程。

3. 发展 20 吨级战斗机受到重视

通过舍弃部分飞机性能来减轻飞机的重量,以达到较大幅度降低飞机成本的目的是发展新一代战

斗机的一种趋势。

对于以积极防御为主的西欧国家,不追求称霸全球,因此对新一代战斗机的航程不要求像 F-22 那样远,同时减少武器装载量,使其重量控制在 20 吨左右,飞机价格可大幅度下降,欧洲战斗机 EF-2000 就是典型例子。据报道,EF-2000 对 Cy-27 的作战效能仅比 F-22 略低,见图 1,但价格却便宜一半左右,见表 1。因此,对新一代战斗机可以不要求有远的航程,这可使载油系数减少,重量下降,需要远航时可依靠空中加油来弥补。超视距作战以中距为主,目前远程探测手段强(预警机、无人机、卫星通信),可以及早防御与躲避,带 2~4 枚中距导弹即可,最终达到近距格斗取胜。因此,发展 20 吨级的可买得起的较轻型战斗机是未来军机发展的方向。

表 1 飞机重量、发动机性能、单机价格

飞机型号	F-22	EF-2000	“阵风”	JSF
机翼面积(米 ²)	78.0	50	46.0	54.8
空机重量(吨)	14365	9750	9060	10000~10900
机内燃油(吨)	11350	4000	4230	6800~7300
最大起飞重量	27200	21000	21000	22680
发动机型号	F119-PW-100	EJ200	M88-2	F119
加力(公斤)	2×15570	2×9060	2×7500	1×15570
推重比	>10	~9	8.5	~10
研制成本(亿美元)	199	122.5	104.5	150~170
计算产量(架)	339	620	294	2945
单机价格(万美元)	9870	5450	~6400	2800(空军) 3200(STOVL) 3800(海军)

二、新一代战斗机采用的新技术

为保证新一代战斗机在作战效能上有大幅度的提高,并可以与 F-22 抗衡,在减重的前提下,必须采用以下新技术。

1. 隐身技术

隐身技术是二次大战后出现的重要军事技术之一,它的出现促使战场军事装备向隐身方向发展。各种新型探测系统(如先进雷达系统、光电探测系统)及精确制导武器的出现,使隐身武器的重要性与日俱增。飞机隐身的目的是保存自己,消灭敌人。

1)在突防中不易被敌方发现,可成功地穿过由先进雷达、高射炮和地对空导弹组成的防空系统,大大缩小了敌防空系统的有效控制区域,可安全地通过空中走廊到达攻击区,提高飞机的生存力(见图 2)。

2)在进攻中,与敌机相遇,可实现先敌发现,先敌发射,首先消灭敌机(见图 3),即由于隐身,本机不易被敌机发现,我机发现敌机后,飞行员可选择最有利的时间和位置进行攻击,发射导弹,进入末制导段后我机迅速脱离危险区。

隐身技术的发展和运用使飞机总体设计产生重大的变化,如何有效地控制和减少飞机的目标信号特征就成为飞机设计师的重要任务,采取的措施包括外形隐身、隐身材料、红外隐身及电子干扰等。

飞机侧向 RCS 的减少主要靠外形隐身措施(如倾斜立尾及机身,带棱边前机身等),前向的进气道

采用斜切口及 S 弯形管道,并部分涂吸波涂层,座舱采用蒸镀金属膜,口盖、缝隙、铆钉等都要采取措施。各种措施的作用见表 2。

表 2 飞机各部件及各种措施对 RCS 影响(估算)

前向 $\pm 15^\circ$, $H+V/2$				
	未采取措施	吸波材料	外形效果	F-22(m^2)
整 机	100%			0.0234
进气道	36%	40%	60%	0.0210(89.8%)
雷达舱	41%	10%	90%(偏天线)	0.0004(1.7%)
座 舱	5%	90%	10%	0.0005(2.1%)
其它部件	18%	80%	20%(铆钉)	0.0015(6.4%)
侧向 $90^\circ \pm 15^\circ$				
整 机	100%	70%~80%		0.6 m^2
单立尾	81%			0.24(40%)
机 身	12%			0.294(49%)
座 舱	1%			0.006(1%)
其它部件	6%			0.06(10%)

隐身技术的发展趋势是:

1)综合应用各种隐身技术措施,要达到所要求的隐身能力,只靠某种单项技术是难于实现的,必须综合应用各种措施,如外形设计,采用吸波材料,应用电子对抗措施等。而在外形设计上隐身与气动要求有时是相互矛盾的,如 S 弯进气道、内埋武器等,这就需要进行总体综合优化及折衷,避免因为过分强调某项隐身技术而使飞机其它性能明显下降。

2)大力发展隐身结构复合材料

雷达吸波结构材料是一种既能承受载荷又能吸收电磁波的多功能复合材料,分热塑性混杂增强吸波复合材料和多层结构复合材料两种,特点是重量轻、强度大、韧性好,又具有吸收和透过雷达波的性能,美国在 F-22 及 B-2 的机翼、机身上已部分采用。

3)重视雷达吸波材料和红外隐身材料的兼容研究

新的隐身吸波材料必须具有宽频带特性,既能吸收各种波长的雷达波又有吸收红外辐射能力。可以是两种性能合一的薄膜材料或将两种吸波材料合成一体同时具有雷达及红外隐身性能。

4)雷达吸波材料向超细粉末及纳米材料方向发展

经研究已证明纳米材料具有极好的吸波特性,美、法等国已把纳米材料作为新一代隐身材料进行探索和研究,已研制出一种宽频带吸波涂层,由粘接剂及纳米级粉末填充材料构成。

2. 气动技术

虽然从有飞机问世以来,气动力设计技术就不断地发展和完善,但对于新一代军用战斗机的研制,古老的气动力布局设计被赋予了崭新的使命:考虑隐身对气动外形的限制条件(如导弹内埋和 S 弯进气道都使机身横截面加大)提供大幅度减少超音速零升阻力的有效措施;考虑超音速巡航低阻要求,提供亚音速时具有大的升力系数及高升阻比、良好的大迎角纵横向稳定特性的布局方案。如何解决气动与隐身在外形设计上的矛盾,如何协调低超音速阻力与高亚音速升力的矛盾要求,为气动设计提出了新的难题。只有探索新的气动措施,突破新的气动布局设计的难点,才能使新一代战斗机的性能有大幅度提高。

1)超音速巡航能力

实现不开加力进行超音速巡航是保证超视距作战的主要性能之一,它的作用是:

- 高速突防,快速进入战区,能有效地摆脱敌方防空导弹和各种自动防空火力的攻击,从而大大提

高生存力(见图4)。由图中可见,高空($H=15$ 公里上)超音速($M>1.5$)突防可以躲开射程较小的地空导弹及地面高射炮火的攻击,也可以缩小射程较大的地空导弹的杀伤范围,与亚音速突防相比,超音速突防还可以更快地穿越已被缩小的危险地带。由于地空导弹机动性较差,在其攻击包线最上角的跟踪能力也差,如果再采用隐身技术,降低其可探测性,则具有超音速巡航能力的战斗机在高空超音速突防时被杀伤的概率极低。因此,它适合担任战场遮断、空中支援,迅速占据超视距攻击的有利位置然后对敌机实施攻击。在快速到达战区时也可对地面固定、活动目标进行攻击,效果显著。

- 以超音速巡航的战斗机,其优势是飞行速度大,同时也增加了导弹发射的初始速度,使之既可缩短到达目标的时间,又相当于增加了导弹的射程。当敌我双方战斗机迎面飞来,一方处于超音速巡航,一方为亚音速巡航,如果双方的隐身特性及雷达性能相同,可同时发现对方,同时发射导弹,但超音速巡航飞机的导弹比另一方的速度快,首先接近对方进入自主引导段(末制导的弹),载机就可做机动脱离,而亚音速飞机的导弹还需继续导引,不能做机动脱离而被击中。如图5所示。据估算,当战斗机对空中目标有2:1的速度优势时,其拦截能力可提高到6:1。

- 具有超音速巡航能力的战斗机,担任对空巡逻时,可扩大对空中目标的拦截线,从而减少机场和值班飞机的数量,对幅员辽阔的国家尤为重要。

要实现超音速巡航,首先需要进行飞机总体、气动、隐身综合设计,大幅度减少飞机的超音速零升阻力系数,但机身横截面积压不下来,需寻求新的减阻措施。如采用翼身融合体和面积律修形技术,采用薄翼、取消立尾等,如X-36验证机。减少外挂阻力和RCS,除采用内埋外挂,也可采用保形或半埋外挂方式。其次,需要有高推重比、大推力、小涵道比的发动机。

2) 高机动性

空战由超视距开始,由于隐身能力的提高和有效的电子干扰,以及使用中、远距导弹在攻击中可能失效,致使超视距空战不能完全消灭对方,最终还要转到近距空战中来决胜负。因此,未来作战方式虽然以超视距为主,但不能忽视近距空战。为提高近距空战的效能需要新一代战斗机具有高的机动性及敏捷性。

高机动性是指高的瞬时盘旋率和过失速机动能力。由于全向格斗导弹的出现,使近距空战由尾随攻击转为任何方向都可进行,有高的瞬时盘旋率的飞机就可以快速把机头对准敌机而发射导弹,实现先敌发射,先敌命中。瞬时盘旋率正比于 $C_{y_{max}}$, $C_{y_{max}}$ 越大,机头指向能力越强。需要在气动布局设计上下功夫,以获得尽可能高的 $C_{y_{max}}$ 值。

过失速机动能力是指飞机超过失速迎角飞行仍能进行机动。为在近距格斗中获胜,飞机不仅要快速改变自身的速度矢量,还要使自己始终处于对方转弯半径的内侧,采用过失速机动可以使飞机的能量转为占位优势,从而得到更早更多的攻击机会。要具有过失速机动能力,飞机必须在大迎角($\alpha>60^\circ$)范围具有足够的纵向和横航向稳定性及一定的舵面效率,这给飞机气动布局设计带来很大的困难。

靠常规的气动措施使飞机在大迎角($\alpha>60^\circ$)范围内可控是比较难达到的,而采用喷口转向的推力矢量技术却比较容易实现。

3. 推力矢量技术

推力矢量是新一代战斗机必须采用的重要技术之一。

通过风洞试验及试飞证明,偏转尾喷口可以产生喷气升力及超环量诱导升力,且该效果随迎角的增加而增加,从而提高最大可用升力系数及提供足够的下俯力矩和横滚力矩。以X-31为例,当飞机以 $V=278$ 公里/小时在迎角 70° 飞行时,使用推力矢量,飞机对速度轴的滚转效率达到 45° /秒左右,可使机头以 42° /秒的速度改变方向,盘旋半径由825米减到145米,大大提高战斗机的机动性和敏捷性,扩大了作战包线的低速区。其次,采用推力矢量技术的战斗机可以比较容易实现包括过失速机动在内的各种非常规机动动作,如有名的“赫布斯特机动”、“大迎角机头转向”、苏-37的“科比特”机动等等。这

些可以在空中任意转动机头和迅速改变运动方向的高难动作将使战斗机的近距格斗能力明显增强,并将改变近距空战的战术。X-31 对 F-18 空战模拟表明,当 X-31 不使用推力矢量时,其对 F-18 的空战损失比为 2.4:1,而 X-31 使用推力矢量后则反败为胜,损失比 1:9.6。

最近研究表明,推力矢量不但可用于低速非常规机动,同时也可应用在超音速飞行中,推力矢量可提供较大的俯仰和偏航力矩,将能减小尾翼尺寸或取消平、立尾。无尾带来的好处:①降低 RCS 值,特别是侧向也达到 0.1m^2 ,实现 360° 的全向隐身;②减小飞机重量(省去平、立尾及部分作动器);③减阻增升,波阻减少 20%,最大升力增加 10%,提高超音速巡航能力。推力矢量偏转还不能提供足够大的偏航力矩,必须用其它措施提供所需的操纵力矩,这也是无尾飞机能否成为新一代战斗机的关键所在。

4. 航空电子系统综合技术

新一代战斗机对综合航空电子系统的依赖性越来越高,。现代战斗机在复杂的战场环境下,驾驶员需要处理的信息、数据和实施的操纵动作日益增加。而高度综合的航空电子系统必须以驾驶员容易接受的简单方式把这些信息、数据显示出来,并自动进行信息、数据处理,向驾驶员提出优化了的对策建议,如图 6 的 F-22 座舱显示,可使驾驶员在很短的时间做出各种动作,最大限度地发挥战斗机的作战效能。

1) 模块化技术

它是综合化的基础,由于集成电路的高速发展,各种完整的功能已完全可以“浓缩”在一个标准的电子模块内,从而提高模块的通用性,大大减少模块的数量,减轻重量。

2) 数据传输技术

为实现高度综合,要求数据总线具有更高的分布式处理能力和高吞吐率,并具有抗各种干扰的能力,从而提高在恶劣环境中的生存力和安全性。

3) 数据融合技术

这是一项正在迅速兴起的新技术,F-22 飞机上已初步实现了机内外信息融合资源的数据融合,JSF 将完全实现机内、外信息资料的信息融合,即部分依赖来自友机、预警机、无人机、人造卫星等机外信息,从而尽可能减少机载探测设备,降低飞机成本。

今后空战采用编队出击,出击时仅有个别飞机开雷达以降低暴露目标,因此飞机间的信息支援很重要,不开雷达的飞机能与开雷达的飞机一样,看清环境情况。如图 7 所示。

5. 保形天线技术

将飞机机载系统的天线与飞机外形融合成保形天线,或使飞机表面蒙皮也能起到机载电子系统所需天线作用,即机敏蒙皮,F-22 已初步做到。这可大大减少飞机上所需天线的数目,相应地也会减少飞机表面的鼓包,从而减少阻力,提高飞机的机动性和隐身特性。

6. 机载电子对抗系统的综合化、小型化、模块化技术

F-22 飞机将雷达威胁告警,有源干扰、无源干扰、导弹逼近告警和红外、激光告警及干扰等功能融为一体,代表了未来机载电子对抗系统的发展方向。为减重及减少重复设计,还需进行小型化、模块化和通用化设计,如美正研制的对付红外制导导弹攻击的“先进红外威胁对抗系统”(ATIRCM),将导弹告警、红外干扰和一次性投放干扰等功能综合在一个模块中,使之便于安装在各型号飞机上。