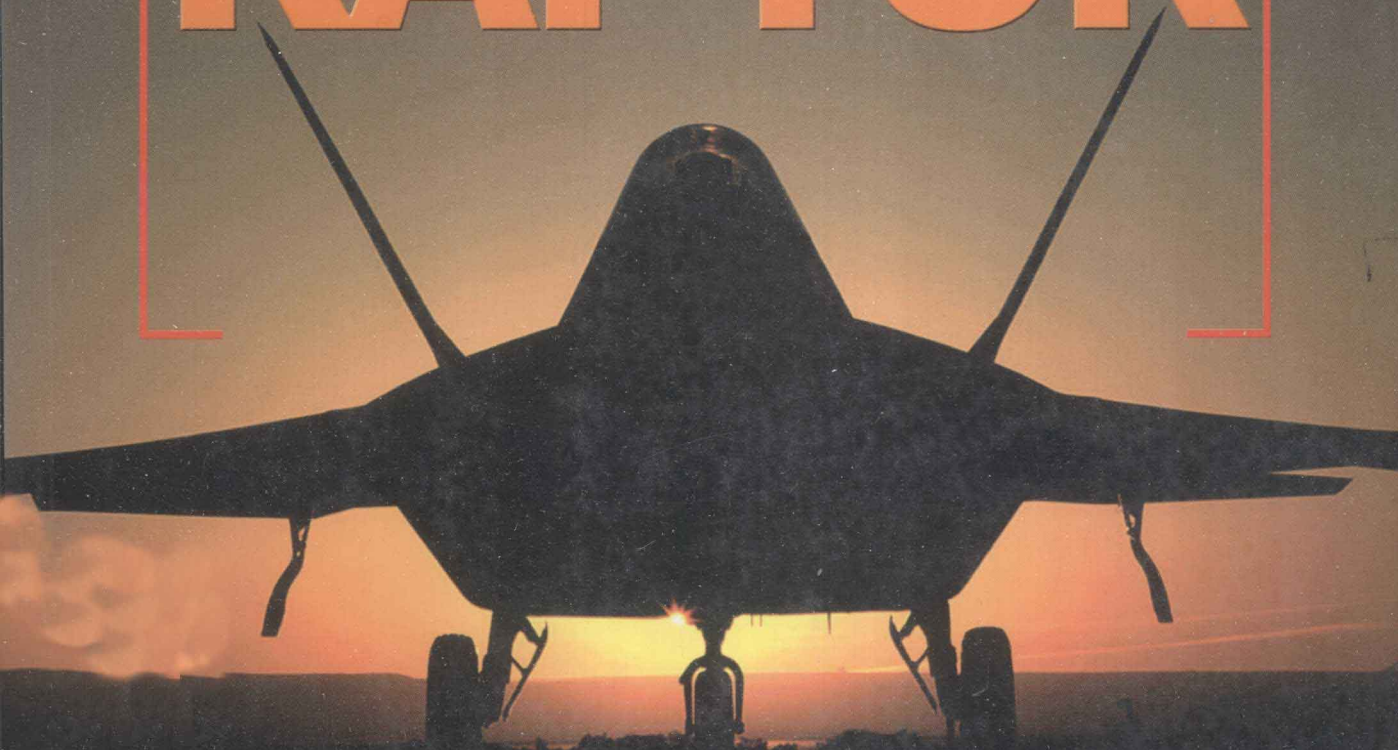


杨 伟 主编

美国第四代战斗机 F-22 “猛禽”

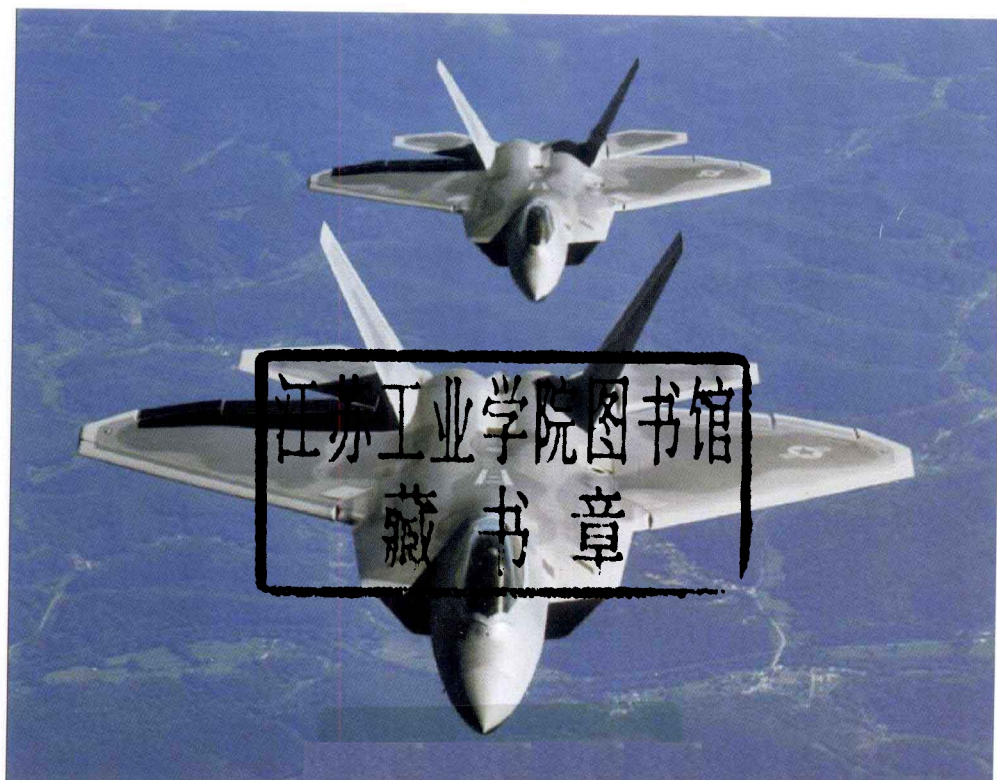
RAPTOR



航空工业出版社

美国第四代战斗机

—— F-22 “猛禽”



航空工业出版社

北京

内 容 提 要

本书对美国第四代战斗机——F-22“猛禽”的研制背景、研制历程、总体设计特点、结构与选材、航电武器、推进系统、隐身技术、项目管理以及装备与部署等作了较全面的介绍。本书图文并茂、内容丰富，对有关技术问题的分析也较为专业、准确，选取的基础素材翔实可信，篇目结构合理，作为系统介绍F-22战斗机的专著，可供工程技术人员、航空院校学生和爱好者参考借鉴。

图书在版编目 (CIP) 数据

美国第四代战斗机：F-22“猛禽”/杨伟主编. —北京：
航空工业出版社，2009.7

ISBN 978-7-80243-344-1

I. 美… II. 杨… III. 歼击机-简介-美国 IV. E926.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 104056 号

美国第四代战斗机——F-22“猛禽”
Meiguo Disidai Zhandouji——F-22“Mengqin”

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号)

发行部电话：010-64815615 010-64978486

北京凯达印务有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2009 年 7 月第 1 版

2009 年 7 月第 1 次印刷

开本：787×1092 1/16

印张：14.5

字数：281 千字

印数：1—1500

定价：58.00 元

《美国第四代战斗机——F-22 “猛禽”》

编 委 会

主 任 宋文骢

委 员 (按姓氏笔画排序)

向立学 李文正 李屹东 杨 伟 季晓光 郑 遂
赵 民 聂海涛 桑建华 黄 炜 谢 品 蒲小勃
戴亚隆

编 写 组

主 编 杨 伟

副主编 季晓光 赵 民

编 者 吕 剑 冷洪霞 谢志航 赵文兵 李悦霖 谭 勇
沈玉芳 陈裕兰 汪晓红 马洁萍 谢文婷 秦 荀
范 怡 罗 辉 古志强 马丽花 杨晶晶 李 伟
宋春来 郭 勇 刘海丽 许媛媛 郭晓春 李晓莉
于 凯 朱小曼



序 言

20 世纪 90 年代中期，以美国为代表的军事强国在以信息技术为核心的新军事变革的推动下，掀起了一场新军事变革的浪潮，迅速将战争从机械化阶段带入了信息化阶段。未来，以信息技术为特征，具有隐身、超声速巡航、高机动和先进航电等能力的第四代战斗机将逐渐成为空中力量的主宰。空中打击能力和战争形态将发生让世人震惊的骤变。

历次战争表明，运用空中打击力量、夺取空中优势是决定战争胜负的主要因素。战斗机作为航空武器装备的核心，是夺取和保持空中优势的关键，在近几次高技术局部战争中发挥了越来越重要的作用。战斗机自进入喷气式时代以来，已从最初的第一代发展到目前的第四代，其性能、功能和综合作战效能发生了质的飞跃。目前，美国、俄罗斯以及我国周边的一些国家和地区在装备、改进第三代战斗机的同时也在谋求发展和装备第四代战斗机。美国已经批量装备了第一型的第四代战斗机 F-22。

F-22 是 20 世纪 80 年代初根据先进战术战斗机计划开始研制的，其设计目标是对抗苏联米格-29 和苏-27 等高性能第三代战斗机及其先进的陆基防空导弹系统，其后根据新军事变革和新技术的发展不断调整其设计思想和技术。与第三代战斗机 F-15 相比，F-22 具备隐身、超声速巡航、高机动、先进航电以及自主保障等诸多全新的技术性能特征。F-22 几乎综合了超视距空战和近距空战所需的全部技术，拥有“先敌发现、先敌发射、先敌摧毁”优势。在空战中，F-22 强调超视距发射后不管的多目标攻击能力，力争以少打多并且不给敌方还手的机会；对地攻击时，可以在超声速飞行中使用精确制导武器从防区外打击先进的陆基防空导弹系统。

系统了解和分析第四代战斗机的典型——F-22，不但有助于了解当今军用航空技术的发展趋势，也可以通过其发展历程加深对第四代战斗机的设计思想、作战能力的理解。

美国第四代战斗机
F-22 “猛禽” RAPTOR

本书对 F-22 的发展历程、作战使用思想、设计特点、技术特征、项目管理等进行了全面的介绍。本书不仅图文并茂、内容丰富，而且对有关技术问题的介绍也较为专业、准确，选取的基础素材翔实可信，篇目结构合理，作为系统介绍 F-22 飞机的专著，可以为工程技术人员、航空院校学生和航空爱好者提供有价值的参考。

本书在编写过程中，唐艳华、王子熙、瞿薇等同志在资料搜集、整理方面提供了大力支持与帮助，在此表示感谢！限于时间和水平，本书难免有错误疏漏之处，欢迎和感谢读者批评指正！

编者

2009 年 3 月



目 录

第一章 研制背景.....	1
1.1 ATF 发展研究	1
1.2 AFTI 计划	3
1.3 TAWD 研究	3
1.4 ATS 研究	4
1.5 OASMA 研究	5
1.6 S ³ 研究	5
1.7 空 - 空任务研究	5
1.8 ATASMA 研究	8
1.9 FFAS 研究	10
1.10 ATF 任务项目需求书	11
1.11 RFI	12
第二章 研制历程.....	15
2.1 方案论证阶段	15
2.2 演示验证阶段	24
2.2.1 演示验证阶段的主要工作.....	25
2.2.2 飞行试验.....	36
2.2.3 演示验证阶段总结.....	42
2.3 工程制造阶段	44
2.4 生产、部署和使用保障阶段	49
第三章 总体设计特点.....	63
3.1 设计需求与性能指标	63
3.2 气动布局	64
3.3 材料和结构	68

3.4 主要隐身措施	70
3.4.1 外形隐身	70
3.4.2 材料隐身	72
3.4.3 红外隐身	73
3.5 动力装置	74
3.6 武器挂载	74
3.7 飞控航电	75
3.8 可靠性、维修性和保障性	76
第四章 结构与选材	79
4.1 机身结构	79
4.1.1 前机身	80
4.1.2 中机身	80
4.1.3 后机身	81
4.2 机翼结构	82
4.3 尾翼结构	83
4.4 起落架及拦阻钩	83
4.5 结构设计的突出特点	85
4.5.1 承力结构	85
4.5.2 吸波结构	85
4.5.3 隐身与维修性兼顾	86
4.6 选材概况	87
4.6.1 选材考虑的主要因素	88
4.6.2 结构选材特点	89
第五章 航电武器	95
5.1 航电系统	95
5.1.1 航电系统的发展	95
5.1.2 F-22 航电系统概述	96
5.1.3 F-22 航电系统的技术特点	97
5.1.4 F-22 航电系统结构的主要特征	98
5.1.5 F-22 航电系统的主要设备	100



5.2 武器装备和火力配置	112
5.2.1 固定航炮	112
5.2.2 空-空导弹和空-地武器	113
5.2.3 武器舱和武器悬挂装置	113
5.3 作战使用	116
5.3.1 作战任务	117
5.3.2 作战范围	117
5.3.3 兵力使用	117
5.3.4 武器使用	117
第六章 推进系统	119
6.1 早期发动机研制情况	119
6.2 地面演示验证发动机	120
6.2.1 XF119 发动机	121
6.2.2 XF120 发动机	122
6.2.3 全权数字式电子控制系统	124
6.3 飞行演示验证发动机	124
6.3.1 喷管	125
6.3.2 YF119	126
6.3.3 YF120	128
6.3.4 发动机飞行试验	129
6.3.5 发动机的保障性	129
6.4 工程制造阶段的发动机选择	130
6.5 发动机工程制造阶段及之后	132
6.6 F119 涡扇发动机的性能特点与技术分析	134
6.6.1 F119 涡扇发动机的性能特点	134
6.6.2 F119 涡扇发动机的技术分析	135
6.7 发动机研发大事记	138
第七章 隐身技术	141
7.1 气动布局与结构设计	142
7.2 内埋式武器系统	146

7.3 推进系统	147
7.4 雷达与电子战系统	147
7.5 隐身作战战术	149
第八章 项目管理	151
8.1 F-22 项目团队组成及职责	151
8.1.1 用户	152
8.1.2 项目办公室	152
8.1.3 承包商	153
8.2 F-22 项目的阶段划分及任务管理	154
8.3 F-22 项目的创新管理	157
8.3.1 F-22 项目的风险识别	157
8.3.2 F-22 项目的管理创新	158
8.3.3 F-22 项目管理的不足	187
第九章 装备与部署	195
9.1 采购量	195
9.1.1 高昂的成本	196
9.1.2 现有空军装备	197
9.1.3 战略需求	198
9.1.4 F-22 与 F-35	199
9.2 本土装备	200
9.3 海外部署	202
9.4 海外销售	207
缩略语表	209
参考文献	217

第一章 研制背景

由洛克希德·马丁和波音公司共同研制、以普·惠公司 F119 发动机为动力的 F-22 “猛禽” 战斗机 (图 1-1), 是目前世界上唯一装备部队的第四代战斗机, 主要用于替换美国空军现役的 F-15 战斗机, 是美国先进战术战斗机 (ATF) 计划执行的结果。F-22 总的目标是获取 “制空权”, 做到先敌发现、先敌发射、先敌摧毁。其核心性能是: 隐身、发动机不加力工作状态下的持续超声速巡航和综合航电系统, 其他性能还包括高机动性, 比第三代战斗机具有更大的航程, 更强的杀伤力, 更高的可靠性、维修性与保障性 (RM & S), 以及空-面精确攻击能力。F-22 优异的隐身性能可大大缩短被敌机发现的距离, 先进的机载火控系统和复杂的机外传感器网络保证被敌机发现以前就能捕获到敌机, 并利用其超视距主动雷达制导的空-空导弹将敌机击落。F-22 不开加力超声速巡航能力既可以增加导弹的发射初始动能, 又能提高飞机的突防能力。



图 1-1
F-22 “猛禽”
战斗机

1.1 ATF 发展研究

ATF 计划始于 20 世纪 70 年代早期, 作为美国战术空军司令部 “1985 研究” (TAC-85) 计划的一部分, 在空军资助下于 1969 ~ 1970 年逐渐为人所知, 被公认为是先进战术战斗机方案的起源。TAC-85 研究的目标是: 预测战术空军在 1970 ~ 1985 年必须面对的作战环境; 明确这一时期在指挥与控制、侦察、特种空军、空运和战斗机领域内战术空军需要达到的能力。因为当时

美国第四代战斗机
F-22 “猛禽” RAPTOR

F-15 仍在开发中, 轻型战斗机计划 (即 F-16) 还未开始, 越南战争尚未结束。越战的一个教训就是由组网雷达、地-空导弹和雷达制导的防空火炮组成的地面防空系统, 已经成为所有战术飞机的严重威胁, 在未来的各种计划中都不得不加以考虑。TAC-85 研究强调应有一种高生存力的战术攻击机来应付中高强度冲突。因此, ATF 最初是以空-面任务作为其主要任务, 空-空能力仅供自卫使用。计划用它取代当时在美国空军前线服役的麦道 F-4 (见图 1-2)、共和 F-105 (见图 1-3) 和通用动力 F-111 (见图 1-4) 等飞机。到 20 世纪 70 年代后期, 才开始考虑空-空任务。自 1982 年起, ATF 计划的统一目标已变成今天所称的“制空权”。



图 1-2(上)
F-4 “鬼怪”
超声速双发舰
队重型防空战
斗机

图 1-3(下)
F-105 是美
国空军装备的
第一架超声速
战斗轰炸机

1971 年 4 ~ 6 月, 战术空军司令部 (TAC)、空军总部 (HQ USAF)、空军系统司令部 (AFSC)、航空系统部 (ASD) 和分析服务公司 (ANSER) 的代表齐聚一堂, 共同讨论 ATF 的发展方向。之后, 空军系统司令部要求航空系统部获取 ATF 的初步设计权衡分析结果。1971 年 11 月, 8 家飞机公司递交了研究方案。最后, 通用动力和麦道公司分别获得了 20 万美元的合同。主要开展以下两项研究。

(1) 进行技术评估, 找出提高性能、改善任务效能和 / 或降低成本的可能性, 预期 1976 可达到工程开发所需的技术水平;

(2) 进行参数和要点设计权衡分析, “初步选定飞机及其任务子系统特性, 这些特

性对于提高未来威胁环境下的攻击能力十分必要”。

该合同从 1972 年 2 月一直持续到 7 月, 在范围很广的速度 / 高度组合条件下对整个飞机设计方案进行了研究, 包括超声速下的攻击任务飞行。

1973 年 1 月 26 日, 首份正式的 ATF 需求文件 TAC ROC 301-73 以草案形式发布, 要求的是一种可在中空作战的高亚声速性能的飞机。该需求文件分发给航空系统部、空军参谋部和其他一些空军机构, 以征求意见。得到



图 1-4 F-111 战斗轰炸机是世界上第一种实用型变后掠翼飞机

的反馈是需要对导航、火控和武器投放精度需求进行进一步定义，并通过电子对抗和飞机雷达散射截面(RCS)减缩来努力提高飞机的生存性。与此同时，空军内部对 ATF 的设计、技术和任务也进行了分析，ATF 计划似乎存在一些突出的问题，因此，1973 年首次发布的需求文件未获通过。

1.2 AFTI 计划

1973 年，当不同的空军部门继续对 ATF 方案进行评审时，空军飞行动力实验室(AFFDL，属于空军莱特航空实验室(AFWAL))发起了先进战斗机技术综合(AFTI)计划。AFTI 进行了大量研究，制造了很多风洞模型，用于探索用在“未来战斗机”上的新技术。尽管与 ATF 没有直接关系，但 AFTI 计划的附带成果对最终的 ATF 构型和飞行包线还是产生了很大影响。

1.3 TAWD 研究

1974 年只进行了一项 ATF 合同工作——目标截获与武器投放(TAWD)研究。1972 年的 ATF 参数和要点设计研究已经考虑了几种在超声速飞行下的空一面攻击任务。分析表明，以超声速进行攻击能从根本上提高攻击机的生存性，但 1972 年的研究并未涉及远距投放、飞行员反应时间减少和超声速

攻击时的目标截获等问题。进行目标截获与武器投放研究就是为了解决这些问题。航空系统部于 1973 年 10 月发布了目标截获与武器投放研究的招标书 (RFP)，得到了 7 家公司的响应。1974 年 2 月，麦道公司获得了一份 20 万美元的合同，并于当年 10 月完成了研究。

基于目标截获与武器投放研究和早期研究的成果，1975 年初，空军系统司令部总部制定了一项制造 ATF 原型机的计划。该计划拟在 1977 ~ 1981 财年内拨款 3.78 亿美元，让两家承包商制造两架原型机，它应包括以下设计特点和能力：超声速武器投放、先进技术发动机、全方位电子对抗 (ECM)、可实现目标截获与武器投放的综合数字式航电系统以及先进的座舱设计。原型机仍被设想成 F-4 和 F-111 等飞机的替代机。由于资金问题，实际到 1975 年中期该项工作就停止了。

1975 年间，战术空军司令部对 ATF 需求文件 TAC ROC 301-73 进行了修改，但修订版也未获得通过。

1.4 ATS 研究

从 1974 年初开始，空军飞行动力实验室就一直资助通用动力和麦道公司进行先进空-地战斗机研究。1975 年，对该研究内容进行了扩展，命名为“先进战术战斗机技术评估与综合”研究。1976 年 2 月发布了招标书。该项研究第一次将减缩目标特征作为 ATF 概念中一个重要的部分。到研究合同实际授予时，该计划更名为“空-面 (ATS) 技术评估与综合”研究。在这项研究中，ATS 设计研究承包商特别提到了“隐身”。1976 年 6 月，波音、格鲁门和麦道公司分别获得一份约 70 万美元的合同，研究解决全天候、有人驾驶的空-面攻击机的长、短航程遮断任务问题。ATS 研究的结果强调了以下特性。

(1) 在 $Ma1.6 \sim 2.2$ 时满足生存性所需的高空、超声速和电子对抗要求，高度为 15240 ~ 19812m，作战半径为 463 ~ 740km，突防距离要求达到 463km，主要威胁是面-空导弹 (SAM)；

(2) 需要新型空-面武器，以开发出先进飞机的全部潜能；

(3) 隐身是一种“很有前途的技术”；

(4) 为了隐身和快速突防，需要机内 / 保形武器挂架；

- (5) 采用复合材料以降低成本和重量^①;
- (6) 需要先进航电系统来满足恶劣天气下的作战需求;
- (7) 需要综合系统显示来满足单人作战需求。

ATS 项目正确地预测到: 在 20 世纪 80 年代末期及以后, 战斗机的生存能力和有效作战能力将只能通过一系列先进技术的应用和综合来达到。它的另一项重要贡献就是帮助建立了航空系统部和空军莱特航空实验室间的合作, 这将是后续 ATF 技术开发的关键。

1.5 OASMA 研究

实际上, 在进行 ATS 研究的同时, 航空系统部也在进行一系列空-面任务研究。1975 年开始的是“近距空中支援任务分析”, 对夜间和恶劣天气的考虑是该项研究的重要组成部分。1976 年间, 该研究扩大到包括战场遮断任务, 并重新命名为“近距空中支援/战场遮断 (CAS/BI) 任务分析”。1976 年 10 月, 研究范围再次扩大, 项目名称又改为“进攻性空中支援任务分析 (OASMA)”, 并于 1977 年完成研究。然而, 该项研究并没有解决空-面制空任务 (如针对敌方空域的任务) 或纵深遮断问题, 而这类任务被设想为 ATF 的一项重要任务。因此该项研究对 ATF 的影响有限。

1.6 S³ 研究

1976 ~ 1977 年, 战术空军司令部与空军系统司令部联合开展了攻击系统研究 (S³), 其重点完全集中在空-面上。S³ 研究的范围很广, 除了传统的飞机方案外, 还考虑了垂直/短距起落 (V/STOL) 飞机、无人驾驶飞行器 (UAV) 等。1978 年, S³ 被分成两项研究: 增强型战术战斗机 (ETF) 和先进战术攻击系统 (ATAS), 它们一起被称为改进型战术攻击系统 (ITAS), 即提高近期和远期的战术打击能力。S³ 研究为开发下一代攻击武器系统奠定了较好的基础。

1.7 空-空任务研究

从首份正式的 ATF 需求文件 TAC ROC 301-73 公布以来, 在差不多 10 年的时间里, 围绕 ATF 项目进行了一系列研究, 包括平台、构型、任务和能力

^① 本书所说重量即为质量。

美国第四代战斗机
F-22 “猛禽” RAPTOR



图 1-5(上) 米格-29 单座双发高机动性制空战斗机

图 1-6(中) 苏-27 单座双发全天候重型战斗机

图 1-7(下) 米格-31 双座双发防空截击机

等较大范围以及上面提及的各种研究。进一步的研究还继续在不同的地方以不同的主题进行着。但这些研究都没有达到任务项目需求书 (MENS) 中的先进制空作战任务分析 (ACEMA) 要求。应该说明的是, 1977 年 1 月 18 日通过了修订后的国防部指令 (DODD) 5000.1, 在新的采办规程下, 规定一项新的重要计划只有在国防部长批准任务项目需求书后才能得到授权。ATF 的任务项目需求书提出的问题如下。

- (1) 应该研制何种战斗机?
- (2) 1995 年的制空需求是什么?
- (3) 技术上有何保障?
- (4) 经济可承受性如何?

1977 年和 1979 年, 美国侦察卫星先后拍摄到了几种苏联的新型原型机, 后来被称为米格-29 (见图 1-5) 和苏-27 (见图 1-6), 这些新一代苏式战斗机与美国情报机构之前关注的任何飞机相比在能力上有显著提升, 具有出众的空战格斗性能, 被认为可与 F-15 和 F/A-18 匹敌。而且在 1978 年, 苏联还宣称已在米格-25 的先进衍生型 (即后来的米格-31, 见图 1-7, 是

一种防空截击机, 主要截击对象是 SR-71 超声速高空战略侦察机和低空来袭的“战斧”巡航导弹) 上成功进行了“下视/下射”雷达试验, 理论上可实现从 6000m 高空击落在 60m 高度飞行的目标。这种能力对低空飞行的北约遮断飞机和轰炸机来说是一种严重威胁。在 1970 年左右开展 ATF 相关工作时, 曾期望 F-15 能在可预见的未来应对这种空-空威胁。然而, 到 1978 年, 有证据显示苏联的战斗机将很快赶上 F-15, 所以, 美国空军明显需要一种能在 20 世纪 90 年代中期服役的新型空-空作战平台来对抗苏联新战机的威胁。

1979年末,新型战斗机的任务开始转变,对ATF开始重新规划,将空-空任务放到与空-面任务平等的地位加以考虑,其研究内容包括以下几方面。

- (1) 设计和技术分析;
- (2) 任务分析——空-空与空-面平等考虑;
- (3) 任务项目需求书的拟定和评估。

到1980年,空-空任务首次作为ATF任务包的一部分研究内容。1980年4月,新版的关于战斗机技术项目管理指南(PMD)为研究确立了新的方向。它对ATF项目进行了重新定位,重点是核心方案的研发,同时对下一代战术战斗机的技术进行验证。慢慢地,但是很明确,“制空权”成为提议的新战斗机的驱动力。PMD R-Q7036(4)/63230F确定了几项重要的更改。首先,取消了近期S³中的ETF工作;其次,将ATAS计划的名称改为先进战术战斗机(ATF)(整个项目仍称为作战飞机技术)。新的项目管理指南不再考虑无人机系统,但增加了空-空任务。

如果只看当时每个任务的近期前景,就会认识到空-面是最紧迫的要求。此时F-15(见图1-8)

和F-16(见图1-9)多用途战斗机的研制可在一段时间内满足制空任务范围内的要求,但由于苏联威胁的加剧,美国在制空任务范围内的能力欠缺在21世纪开始之前就能看到。考虑到采办周期(接近12~14年)和预算上的限制,估计空军到那时仅能研制和部署一种战术战斗机。在满足其近期空-面任务的需求上作出不成熟的承诺有可能会在制空方面留下缺陷,而满足不了制空



图 1-8(上)
F-15“鹰”全天候高机动战术战斗机

图 1-9(下)
F-16“战隼”单发单座轻型战斗机