

玄武双尊

俄罗斯第五代战机

Двое могущественных с севера -
российские истребители пятого поколения

作者：杨政卫 / 笔名：杨可夫斯基
(俄罗斯圣彼得堡大学物理系博士生)



航空工业出版社



玄武双尊

——俄罗斯第五代战机

杨政卫 著

航空工业出版社
北京

内 容 提 要

本书全面、详细地介绍了俄罗斯苏-35BM和T-50战机,内容包括苏-35BM的机体设计与动力配置、航电系统、反隐身能力、武器系统和战术技术特性;T-50的机体设计与动力系统、航电系统与机上设备、隐身能力、武器系统、战术技术特点;苏-35BM、T-50战机与F-22、F-35及欧洲同类战机的性能对比。本书适于从事俄罗斯第五代战机研究的相关人员及广大军事爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

玄武双尊:俄罗斯第五代战机/杨政卫著.--北京:航空工业出版社,2014.9
ISBN 978-7-5165-0561-8

I. ①玄… II. ①杨… III. ①隐身飞机—介绍—俄罗斯 IV. ①E926.31

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第205342号

北京市版权局著作合同登记

图字:01-2013-7973

玄武双尊:俄罗斯第五代战机/杨政卫著.--初版.--台北市:菁典,民101.09
面; 公分.--(国防军事系列;3)
ISBN 978-986-87217-2-2(精装)

1. 战斗机 2. 俄国

598.61 101017524

玄武双尊——俄罗斯第五代战机

Xuanwu Shuangzun——Eluosi Di-wu Dai 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:010-84934379 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

2014年9月第1版

2014年9月第1次印刷

开本:787×1092

1/16

印张:32

字数:606千字

印数:1—2000

定价:198.00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)





简体中文版出版说明

本书为台湾地区出版的繁体中文版《玄武双尊——俄罗斯第五代战机》的简体中文版。繁体中文版中涉及飞机机体、动力装置、飞控、机电、航电、武器以及型号等的名称、术语，有许多与大陆的规范表述不一致。在编辑加工过程中，我们对一些能用大陆规范表述的名称、术语进行了替换，如匿踪战机（隐身战机）、飞弹（导弹）、电浆（等离子）、后燃器（加力燃烧室）、射控（火控）、相位数组（相控阵）、荚舱（吊舱）、旁通比（涵道比）、举升体（升力体）、热影像（热成像）、近迫快炮系统（密集阵系统）、次音速（亚声速）、缄默（静默）、

幻象2000（“幻影”2000）和“缸鱼”（“鳐鱼”）等。对书中其他虽与大陆不一致，但无法用大陆规范准确表述的名称、术语我们予以了保留。书中作者列举的一些数据、型号与大陆相关研究人员掌握的情况不一致，某些观点、结论也与大陆学者不尽相同，为尊重作者，同时为大陆读者提供一种新的看问题的视角，我们未作修改。在编辑加工过程中，我们对书中一些不符合国家新闻出版规定的文字进行了适当删改。

航空工业出版社

2014年7月



美国F-22战机的问世将喷气战机带入第五代，其引发的一系列新技术与新概念都是相当有趣的科学研究问题。然而在全球化与处在和平时期的今日，第五代战机大大影响了各国空防安全与区域空权均衡：有别于冷战时期世界基本上只有美苏两强拥有最先进武器在彼此对抗，现代先进武器往往已成为国际贸易的一部分而扩散到全球。因此，这些源自冷战时期霸权对抗的科技产品现在已逐步扩散到许多小国，从而对区域安全构成影响。多用途战机拥有克服地形障碍与时间限制的先天优势，搭配日益成熟的高精准武器，已成为高科技局部战争最重要的环节之一。因此，第五代战机技术的全球化不仅关系到空权均衡，实际上已关系到区域安全，第五代战机研究无论是科技层面还是战略层面都极为重要。近年来俄罗斯军事工业因为急需外销创汇，因此武器信息透明度有时反而较欧美高，藉由俄罗斯第五代战机我们可更轻易地掌握最先进的航空技术。

美国F-22的问世掀起了一场先进战机设计革命，也塑造了21世纪初期先进战机的基本外貌，它除了将上一代战机的各项性能加以进化外，更将超凡的隐身技术与飞行性能巧妙融合。按照设计目标，其藉由优越的隐身特性可在敌方无法察觉的情况下发动突袭，而对于那些漏网之鱼，凭借其优于传统战机的一切性能而获胜。时至今日，这样的设计路线已成为战机设计者的圭臬，各国新开发的有人或无人战机均比照F-22的路线设计，甚至全球的军事评论家也以F-22的指标作为衡量战机性能的标杆。

继承昔日超级强权的俄罗斯自不愿落于人后，从昔日的MFI（多用于前线战斗机）计划到今日的PAK-FA（前线空军的未来航空系统），尽管拖延了十余年，第五代战机技术仍以各种形式延续并持续发展以至最终落实于PAK-FA，在2010年1月的寒冬之中破冰腾空。俄罗斯第五代战机在试图与F-22竞争之余也务实地考量了经济层面，最终造就了一种

在性能与价格上均衡发展的战机。不知是早有预谋还是纯属巧合，俄罗斯第五代航空技术显现了一种“有别于F-22但又足以与之抗衡”的非主流路线。此种特性在“四代皮五代骨”的苏-35BM上早已显现出来，但因其“了无新意的外形”而鲜少获得注意；而在最新的T-50上，许多评论仍旧单纯聚焦于隐身技术，自然也忽略其非主流特性。这种轻视无疑将造成不当的后果：轻则耗费巨资开发或采购过度昂贵的隐身科技，重则在战场上因轻敌而挫败。

即使是俄罗斯媒体都未必如此高度评价苏-35BM与T-50，在出版物上公开提出“苏-35BM可以反隐身”这种“谬论”的恐怕亦仅此一家，事实上这并非出自偶然。基于老祖宗“万物相生相克，一物克一物”的哲学，不信邪的笔者偏偏要探索如何反制号称已能制霸蓝天的隐身战机。2006年底笔者在尖端科技杂志三期连载“反F-22可能吗？从另类眼光看俄欧系新型战机”，探索如何以当时已公开的技术打造一种不追随F-22的设计路线、更便宜，但是可以给予F-22压力的防卫型战机，以便将多余的经费用于开发更具前瞻性的反隐身技术。该文后来辗转传到大陆地区，被部分媒体拆成“反F-22技术点评”等标题冒名刊登，然而这也反映该文内容受重视的程度。2006年起，俄罗斯陆续释出研制中的苏-35BM的最新信息，直至2007年笔者亲至莫斯科航展采访，亲见苏-35BM以及其航电设备后，赫然发现这架看似不起眼的非隐身战

机不仅满足笔者预期的“反F-22”，而且远胜之：相较于笔者提出的“反F-22”只能消极地“给隐身战机压力”，苏-35BM确有机会与F-22打对台，更别说本身还有充分隐身设计的T-50了！

本书将透过对苏-35BM与T-50这两款具有第五代航空技术的最先进俄罗斯战机的深入研究来探讨其“非主流设计路线”对21世纪空权环境以及战机设计思路的影响。由于苏-35BM问世较早，机体性能较易掌握，加上其与T-50的主要差距仅在隐身技术一项，因此本书将首先着重对苏-35BM进行分析，之后再进一步探讨T-50多出来的优越性。透过一系列分析后我们将能发现，T-50不只是像一般评论所说的“力追F-22”，而是体现了一种比F-22更成熟的战机设计方向：其相当于将F-22与更复杂的航电和武器装备融合。因此，与其说T-50是战斗机，不如说它是复合体（complex）更为贴切，正如其计划名称一般。

在内容上本书分四大篇与附录。前四篇系本书所要传达的主要内容，尽可能移除繁杂的分析过程与技术数据而让读者能知其然。附录中则详加讨论正文中出现的各种特殊观点与技术细节，让读者能进一步知其所以然。

绪论

“什么是第五代战机”简单总览了战机划代原则与最新战机的技术特性，点出“第五代战机不能只以单一国家的标准为标准”而应“将能否适应当前战场

作为客观标准”的概念。

第一篇

“五代前奏——4++代战机苏-35BM”将详细检视苏-35BM。读者将从基本型苏-27演进到苏-35BM的过程了解苏-27家族各阶段的主要技术差异。也将掌握苏-35BM的技术细节。

第二篇

“苏-35BM已反映出的反隐身特性”在通盘考虑飞机性能以及所配备的武器性能后，了解它如何以非隐身战机之姿而有望与F-22等隐身战机打对台。本篇本应属于较复杂的深入研究资料，然而其分析结果与一般分析大异其趣，加上之后会一再引用，故考虑阅读的连贯性而安排在五代战机篇章之前。

第三篇

“第五代隐身战机——T-50与无人战机”将详细探讨俄系第五代战机。首先对苏联MFI到目前PAK-FA的演进过程做一浏览；之后着眼于最终完成的PAK-FA上，除了剖析其技术细节外，还将探讨其作战能效与反隐身特性等。最后由米格设计局的Skat“鳐鱼”无人攻击机探讨俄隐身无人战机的发展。

第四篇

以宏观的眼光检视苏-35BM、T-50与无人战机。有别于前三篇着眼于单机战术技术特性，本篇将以宏观的眼光探

讨新型俄系战机在未来防空体系与在攻势作战中的协同作战、非主流设计路线，以及两者的市场概况分析。

最后在附录中，将收录本书许多重要论点的理论依据与研究资料，供有心深入研究了解的读者参考。

在内容与架构上本书相对于同类书籍做了几大突破：

- (1) 首先，一般探讨俄系战机的文章或书籍通常仅着重于气动力与机械性能的探讨，对于影响现代战机战力至关重要的航电与武器系统则仅简单带过。因而导致“苏-27是设计用来在缠斗中击败对手”之类的普遍而错误的印象，而本书极大量的篇幅都着眼于航电与武器系统。
- (2) 其次，由于俄罗斯并不像美国一样大方地发表自身武器的设计思想，使得一般的文章或书籍多是基于美式武器的使用思想去分析俄系武器。这类分析看似客观而权威，但一开始就是站在单一国家的主观标准，并不能充分反映事实。相反地，本书并不以任何单一国家的基准去分析武器，而是以“能够在战场上获胜的就是好武器”“能够成功地将武器投射到目标区而将目标摧毁就是好战机”这样简单而基本的标准去分析。
- (3) 介绍俄系战机的书籍常常苦于无适当的图片，而本书逾450张图片包括笔者多年来在各种展览与博物馆拍摄而得的照片以及自制图解，

而俄罗斯航天厂商近年也开始大方公布高分辨率图片。因此书中所提的多数分系统、设计细节，以及抽象观念多有对应的图片以帮助读者理解。图片若无特别注明则属笔者自行拍摄或与台湾尖端科技杂志参访MAKS2009所摄得，如需要更多原尺寸图片可洽尖端科技军事图库（<http://photo.dtmonline.com>）。

- (4) 有感于俄系武器资料经常很混乱，乱到最后变成“大家错就是对”，本书技术数据源尽可能追溯原始数据，包括俄媒访谈、笔者亲自采访等。特别是关于苏-35BM与发动机的数据由于可追溯至十年前，故作了相当详细的考证。不过在第五代战机的发展方面，许多重要的概念性访谈都出自2005年之前，而由于近年俄罗斯网站经常更新以致数据散佚，故部分数据无法列出具体出处而仅能列举年份，或是虽已列出但已查不到网址。不过无论如何，这些数据几乎都是来自一手数据，而非辗转通过西方媒体传出的，甚至即使是俄罗斯论坛的数据，只要笔者追踪结果不是出自自己发表刊物或专家访谈，亦尽量不予采用，仅在必要时以“网络数据表示……”引用之，方便读者区别来源。

一般战机介绍专著通常局限于战机本身的技术细节，而在非技术层面则通常仅以冷战时大国对抗的眼光作军事用途分析。本书在技术上将飞机与武器作

为整体加以分析，而在非技术层面上还加入“军售是贸易的一部分”这样的现代观念，探讨现代战机作为国际贸易的一部分全球化而造成的区域安全问题。

笔者希望藉由本书让读者能跳脱出传统思维，站在制高点上公平地看待不同体系下设计出来的武器，撇开成见地认识俄罗斯独树一格的第五代战机。当然也希望抛砖引玉，激发出更多新观点。

致谢

感谢空军学术双月刊前总编辑刘学文中校、《尖端科技》杂志总编辑毕诚岱先生长期提供发表平台。更感谢菁典有限公司董事长黄铭俊先生不惜血本，支持这本市场行情不明的专著出版。最后当然要感谢家人的“后勤”支持，让笔者能有闲暇从事感兴趣的研究！



2010年8月
于俄罗斯彼得堡

CONTENTS

目录

绪论	1
第一篇 五代前奏——4++代战机苏-35BM	13
第一章 侧卫家族30年——浅谈苏-27家族战机	15
第二章 苏-35BM的机体设计与动力配置	33
第三章 苏-35BM的航电系统	57
第四章 俄罗斯最新型空空导弹大全	84
第五章 俄罗斯最新型对面攻击武器大全	100
第六章 苏-35BM战术技术特性总体检	122
第二篇 苏-35BM已反映出的反隐身特性	139
第七章 消极反隐身能力：有效抵抗隐身战机的攻击并冲击其友军	141
第八章 苏-35BM的积极反隐身能力——反击隐身战机	149
第九章 苏-35BM的超远程武器使用方式研析与其对反隐身的贡献	162
第三篇 第五代隐身战机——T-50与无人战机	175
第十章 从MFI到PAK-FA：第五代战机发展始末	177
第十一章 T-50的机体设计与动力系统	198
第十二章 T-50的航电系统与机上设备	225
第十三章 T-50的武器系统	247
第十四章 T-50战术技术特性总体检	260
第十五章 俄罗斯中大型无人攻击机浅谈	280

第四篇 以宏观的眼光检视苏-35BM、T-50与无人战机 ————— 289

第十六章 新世代俄系战机的联合作战	291
第十七章 “守旧的创新”——开创有别于F-22的设计思路	304
第十八章 苏-35BM与T-50的市场分析与政治影响	313

附 录 深入研究资料 ————— 327

附录一 苏-35BM用电分配与辅助发电机用途研析	329
附录二 苏-35BM的结构特性与飞行性能详析	334
附录三 俄制第五代航空发动机发展与最新动态	344
附录四 超级被动相控阵雷达Irbis-E	366
附录五 从Irbis-E看机电复合扫描相控阵雷达设计	383
附录六 AFAR-L主动相控阵雷达性能研析与其反隐身潜力	391
附录七 俄罗斯4++与五代光电系统	404
附录八 第五代航空计算机简介与俄罗斯的发展	416
附录九 “电子飞行员”——俄罗斯战机专家系统的发展	428
附录十 超机动性简介与浅析	435
附录十一 俄制战机隐身技术的发展(一): 主流隐身技术	449
附录十二 俄制战机隐身技术的发展(二): 等离子隐身技术	459
附录十三 新型俄制飞机的“人道需求”	477
附录十四 中国对苏-35BM、T-50或相关技术的需求与四代战机的 发展	484

绪论

现代空权与第五代战机

有别于20世纪末空中武力与防空武力彼此互相制衡而达到平衡，新世纪的新一代战机与防空武器，将对上世纪末的系统构成强大的冲击。这些构成冲击的技术包括隐身战机、超远程防空系统、300km级攻击武器等。

隐身战机能针对最有效的探测与火控波段（X波段）隐身，大幅缩短各式管制雷达、战机、防空导弹对其操作距离；俄制S-400与美制爱国者-3等新一代防空系统防空距离远达200~400km，远远超出一般战机的探测与射击半径；而欧洲“金牛座”、俄制Kh-59MK-2等射程300km级的巡航导弹及俄制Kh-58UShKE等反辐射导弹，射程都远在传统防空导弹射程以外……这些皆正中传统系统的某些要害，而构成不对称攻击。由于这些具有攻击性的系统并不由单一政治集团垄断，加上现代军火交易已不完全取决于冷战时期的政治支持，而是越来越像贸易行为，因此这些具有攻击性的武器相对容易扩散，从而打破区域安全均衡。

冷战结束后，空权较量从两大集团对抗变为区域较量，复杂度更高，这使

得一般以美国标准衡量第五代战机并不符合潮流。本书将撇开美国F-22的标准，从技术面、区域安全、军售等多个层面检视最新式的俄系战机。

一、何谓第五代战机

目前的战斗机划代是以二次大战后的喷气战斗机为第一代算起的。中英文数据常见的是美国标准，将F-86、F-100、苏制米格-15、米格-17这类以机炮作战为主的喷气战机归类为第一代，F-4等开始具备超视距作战能力的归为第二代，F-14、F-15、F-16时期的归为第三代，而20世纪80年代研制的结合隐身技术与大幅优化的传统技术的F-22被归于第四代。而在苏联，由于将迈入超声速的战机，如米格-21视为第二代，故其分类上多了一代，如美规二代对应俄规三代、美规四代对应俄规五代等，这导致讨论时的混乱。此外，技术指标显然只有美规三代半等级的欧洲四代机也被划分在“第四代”之列，等于是“吃了美俄的豆腐”。过去几年也开始有报道将美制F-22与F-35归类于第五代，而不久前日本公布的“第五世代战机计

划”，亦采用俄式划代，可见俄式分代法已被广为接受，这样一来便可与欧洲四代“划清界线”。不过，本文不深究划代标准，而着眼于技术特性，这里概略提及划代只是为了给读者一个大致的印象。

第一种美规三代与俄规四代战机分别是F-14与米格-31，不过这两者较像是上一代战机的航电武器大幅强化版：F-14承袭上一代战机流行的可变翼设计以兼顾高速与缠斗性能，米格-31则承袭上一代的高空高速拦截思想。不论F-14还是米格-31，都有大幅强化的雷达系统与射程超过100km的空空导弹，等于是极大程度地强化了上一代战机的超视距作战理想。美国20世纪70年代初期研制的F-15开创了现代战机气动设计的主流概念：其放弃需要复杂机械的可变翼设计，而采用低翼载与较小的掠角来造就高机动性，而发动机的进步使得较低的后掠角也可达到所需的超声速速度。这一代战机不再强调最大速度，而是强调加速性与转弯性能：其能很快地加速，并且在必要时借助低翼载将飞机的动能或位能转换成高机动动作。这一代战机的代表有美制F-15、F-16，俄制米格-29、苏-27，法制“幻影”2000等。至此，以后问世的战机多是兼具灵敏的缠斗性能与超视距作战能力。

80年代美国开始研制其先进战术战斗机（ATF）计划，除了大幅强化F-15这一代战机的各项性能与理念外，更引入当时他国不具备的“隐身技术”，藉此跳

脱传统技术竞争的死胡同而不对称地压制对手。ATF计划催生了F-22战机，其技术需求于是成了最先进战机的技术标准。由于F-22是第一种跳脱上一代思想框架的战机，加上本身技术等级也真的超越群伦，因此不论就航空史的眼光还是技术眼光论，其毫无疑问属于第五代战机（俄罗斯与现在惯用分法，最初以美国标准看则被视为第四代）。继F-22之后美国又推出技术等级稍逊的联合打击战斗机（JSF）计划（催生出现在的F-35），其没有完全达到F-22的技术指标，但因为具有类似F-22的隐身外形因此也被称为第五代战机。而俄罗斯于2010年首飞的PAK-FA（T-50）尽管在许多欧美战机研究者心目中与F-22仍有差距，但因也具有大规模隐身设计而被认定为第五代。

如果仔细分析F-22、F-35、T-50的技术特性，我们会发现三者的差异不算小，三者最明显的其他战机所无的共同特性是隐身外形。因此姑且不管严格标准是如何分类，至少就普通大众与媒体的眼光来说，所谓的“第五代战机”是指具有隐身外形与内弹舱设计，且具有相当程度灵巧性的战机。在这里需要强调的是，第五代战机彼此间之所以如此没有共识，有一部分起因于苏联解体后各国的国防需求骤变：第二次大战以来军用机是依急切的战争需求而发展的，在同一时期各国因战争需求与技术水平相当，使得同一代战机的技术需求与用途都相当类似。然而第五代战机本来是

因应美苏两强对抗而发展，发展到中途遇上苏联解体，欧美国家没有急切的需求装备第五代战机，后来甚至反恐等非传统需求的重要性日渐提升，使得欧美第五代战机的发展一直拖延；而俄罗斯在苏联刚解体时无力发展第五代战机，直到苏联解体十余年后才重新发展第五代战机，此时在技术与设计哲学的累积方面与ATF和JSF计划自然不可同日而语。

那么，第五代战机的定义到底是什么？笔者并不赞同一般评论将F-22的指标当作第五代战机唯一指标的做法，毕竟各国各有各的国情，以单一国家的技术需求当作整个时代战机的技术需求有失客观。

武器的本质就是要拿来作战，而所谓的新一代武器一般而言就是要能藉由自己独有的技术特性或作战理念而压倒性地胜过上一代武器。F-22的技术特性使其面对上一代战机时能够“先发现、先发射、先摧毁、先脱离”，便充分满足“新一代”的特性，因此划分为第五代当之无愧，而其技术指标也就理所当然相当值得参考的指标。但就如同前面提到的，各国都有自己的国情，满足F-22指标的当然可以归类于第五代，但不满足的，若一样能对上一代战机构成冲击，并足以抵抗F-22，那也没有理由说不是第五代。

不过，战机的划代毕竟已是一种约定俗成的观念，即使有能耐拿出铁证将F-35贬为四代、将欧洲战机拱成五代，也不会有人认同；反之，战机的效

能就摆在那儿，不会受到被划为第几代而有所改变。因此，不妨对战机划代有个概念即可，大家就约定俗成认定F-22、F-35、T-50这类具有科幻外形的飞机叫做第五代，剩下的则充其量是4++代，但心里必须有作战效能不完全取决于划代的观念。依此观念，在分析战机性能时，固然可将战机与F-22的指标加以比较，但不宜像一般的评论那样严格，倒是更应着重于作战效能的分析。毕竟武器的本质是作战，而不是比规格。

二、研究第五代战机的迫切性

探究航空历史可以发现，第五代战机实际上是冷战时大国对抗的产物，其所采用的尖端科技固然是有趣的科学研究议题，但以军事用途而言却未必最适合现代：就现代军事环境而言，只带有轻兵器甚至无武装的恐怖分子带来的威胁可能大于战略轰炸机，因此能够以极高的精确度识别并打击地面点目的重要性可能高过拦截远方的空中目标以及摧毁重要军事据点。然而基于历史因素，像F-22这种未必符合当前真正需要的第五代战机毕竟已是事实，也因此我们仍不得不接受F-22所指引的发展方向。在全球化与处在和平时期的今日，这些第五代战机大大影响各国空防安全与区域空权均衡：有别于冷战时期世界基本上只有美苏两强拥有最先进武器在彼此对抗，现代先进武器往往已成为国际贸易的一部分而扩散到全球，因此这些源自冷战时期霸权对抗的科技产品现在已逐

步扩散到许多小国，从而对区域安全构成影响。多用途战机拥有克服地形障碍与时间限制的先天优势，搭配日益成熟的高精准武器，已成为高科技局部战争最重要的环节之一。因此第五代战机技术的全球化不仅关系到空权均衡，实际上已关系到区域安全，第五代战机研究无论是科技层面还是战略层面都极为重要。

三、各国新世代战机总览

（一）第五代战机的标杆：

F-22的技术特性

ATF计划的获胜者是F-22，其大幅强化了上一代战机的所有特性。在飞行性能上其拥有低许多的翼载与相当大的推重比因而具备极佳的灵巧性与加速性；并整合矢量推力，其推力甚至大到足以不开加力便进入超声速，且能长时间超声速飞行并于超声速时进行空战机动，因此整体而言在飞行性能上难有战机能胜过它。在航电性能上其拥有大幅强化了的电子支援系统与雷达系统，能被动与主动侦测相当远距离的目标，所有信息统一由中央计算机处理，并以最适当的方式呈现给飞行员，甚至犹如专家一般给予飞行员建议。此外宽带数据链的使用使其战机间便能建构作战网络，大幅增强机队的自主性。

以上特性除超声速巡航外基本上是上一代技术的优化，并非F-22所独创。上一代战机经过改良皆可获得以上性能，唯超声速巡航性能牵涉到强大的发动机

技术外，飞机外形与材料也必须针对超声速优化，这与针对亚声速优化的上一代战机冲突，因此上一代战机即使拥有先进的发动机，超声速巡航性能理论上自然无法媲美F-22。

F-22真正的“独门武功”是其隐身技术，能大幅减低敌方对其探测概率。在ATF开发时美国早已有丰富的隐身飞机设计经验，其透过精密的计算机计算为飞机设计兼顾气动效率的特殊外形，能将敌方雷达波反射到少数几个远离接收机的方向，并且涂上吸波涂料进一步降低回波强度。另外在座舱盖、天线罩等处亦采用特殊处理隔绝不必要的雷达波，维持良好的隐身外形。而其武器能全内挂，故不影响精心设计的隐身外形。隐身技术正好用来克制当前最重要的探测与火控系统——雷达，使得F-22相对拥有更安全的作战环境。

在大幅强化上一代技术以及大幅削减敌方上一代技术作战效能的双重影响下，F-22对传统武力因而有了压倒性优势，从而落实其作战需求：“先发现、先发射、先摧毁、先脱离”。这种作战理念后来成了分析战机性能的标准，而要落实此需求相当关键的因素便是“我见敌，敌不见我”，也因此导致分析战机的第一件事是去分析战机的隐身性能与探测性能。在俄制Irbis-E雷达问世前没有一种机载雷达在探距上能达到APG-77的等级，而其他飞机与F-22在隐身技术上也有着天壤之别，因此所有牵涉到与F-22的性能比较当然都是一面倒。而

即使目前俄制Irbis-E与AFAR-X探距上已追上甚至超越APG-77，但俄制战机的隐身性能极可能还是逊于F-22，因此以F-22的游戏规则观之，F-22仍就是第五代战机之王。

（二）F-35

由于F-22采用各种最尖端技术而不利外销等诸多因素，美国推出了一种市场取向的联合打击战斗机（JSF）计划，也就是现在的F-35。按计划，JSF要采用相对简单的隐身技术，以利于外销并降低成本，作为辅助F-22作战的攻击取向战机。该机不具备超声速巡航能力，推重比亦只有上一代战机标准，隐身性能亦不如F-22般面面俱到，唯航电系统与俱进因此相当先进。也因此不少资料质疑F-35能否与F-22归为同一代。

不过，一味地将F-22的技术指标视为第五代战机指标未必合理。例如超声速巡航的初衷是尽快赶赴战区，并且拥有较高的发射武器初速，但对许多领土较小的国家而言，没有超声速巡航也无伤大雅：需要高速时加力冲到极速一样可以提升导弹的发射初速。因此对许多小领土国家而言，超声速巡航是一种颇为奢侈的性能。

倒是F-35的隐身设计仍然正中许多传统探测系统之下怀，故在实现“先发现、先发射、先摧毁、先脱离”作战想定定时相对于其他非美系战机拥有极大的优势，就此观点而言，F-35是可以归类于第五代。

（三）欧洲双风与钩喙兽

在F-22还普遍被称为第四代战机的20世纪90年代，欧洲于20世纪70年代中后期研制的三种战机：英德意西四国合作的EF2000“台风”、法国的“阵风”（Rafale）以及瑞典的JAS-39“鹰狮”也被分类为第四代战机。然而这几种战机与美规三代改或俄规四代改基本上没有分别，只是因为苏联解体后大家都有喘息空间，服役年限往后推而引入更多新科技，使得局部技术有“超俄赶美”之势。美俄后来改出的F-15、F-16、苏-27、米格-29改型相较于这些欧洲战机一点都不逊色。因此将这些战机与F-22归于同一代，实在是在“吃美俄的豆腐”。近年F-22开始也被称为第五代，与欧洲战机的第四代划清界线，是一种比较妥当的分类方法。

当中的JAS-39是以其数据链技术而自居于与F-22同代；EF2000与“阵风”则除了航电技术外，在结构特性与飞行性能上也有局部与上一代（F-15、F-16、苏-27等）有代差，但仍逊于F-22之标准，如EF2000与“阵风”的推重比为1.65~1.7，超过上一代战机（约小于1.5）但逊于第五代（1.7以上）；“阵风”的起飞重量一空重比达到第五代标准；EF2000的起飞重量一空重比虽然只有上一代标准，但超声速飞行性能优异，也是最常宣称已测出超声速巡航能力者，虽然其必须在采用增推发动机的情况下才能有真正的超声速巡航能力（ $Ma>1.3$ ），且在外挂武器的情况下是否

还能有此能力仍有疑问，但至少说明其气动设计符合或接近对超声速优化，算是相当先进的指标。

这批欧洲战机最值得注意的撒手锏是近年测试中的“流星”冲压推进空空导弹。这种导弹与现役AIM-120主动雷达导引空空导弹大小与重量相当，但采用冲压推进而具备更大的射程。当配备“流星”导弹的欧系战机遇上配备AIM-120或R-77的非隐身或低可视度美俄系战机时，即使不能率先发现对手，也可能具备“先发射”优势。因此在划代上欧系战机虽属四代，但配备“流星”空空导弹后，空战能力上倒是有媲美五代的态势。

此外欧系战机的武器种类也是一大亮点。这些飞机武器采用外挂方式，因此允许使用大型武器，例如“暴风之影”、“金牛座”之类的巡航导弹便可打击约300km外的目标，远在敌方防区外，因此攻击效能未必逊于携带短程炸弹的隐身的F-35。这些欧系战机中特别是法制“阵风”，因为不像EF2000有多国合作的羁绊，因此早已整合完整的攻击能力，不论攻击武器的种类、挂载能力、相关无线电与光电设备都已发展成熟，因此真要论及攻击能力，仅具备低可视度特性的“阵风”未必输给隐身战机。

（四）“隐形鹰”与“隐形虫”

近年美国仍不断以新技术改造知名的F-15、F-16、F/A-18E/F战机而投入市场。这些战机本来就性能优异，再加上

最新一代美国航电技术的采用以及美国的政治影响力优势，使其仍然是很多国家采购战机时的首选。这些改良方案大都不外乎是提升航电系统，本质上仍然是上一代战机，唯F-15SE与F/A-18E/F大改型引入了弹舱设计，能拥有大幅改进的隐身性能。由于F-15的绰号是“鹰”，F/A-18的绰号是“大黄蜂”，故本文分别称其为“隐形鹰”与“隐形虫”。

这两种飞机都标榜是隐身战机，特别是由于它们都是美国制造的隐身战机，故自然免不了令人猜想它是否又有何神话般的隐身性能。例如波音公司在2009年3月公开F-15SE改良计划，让不少人认为它又是什么登峰造极的新战机，甚至猜想是否是要在F-22订单不保时取代F-22而延续“鹰”式家族的主力地位。

F-15SE与超级F/A-18E/F说穿了是出自商业考虑。F-35的营销策略非常好，在计划初期便包装成廉价、多用途的普及化隐身战机，而吸引了许多合作伙伴与潜在订单。正因为订单过于庞大，那些非计划参与国即使能采购F-35，也得等到美国空军以及合作国装备F-35以后，换言之可能是十几年后的事。除此之外，美国两种第五代战机（F-22与F-35）合约都被洛克希德·马丁（洛·马）公司夺去，波音公司自然得想办法维持军用部门的生计。就在这种背景下，波音推出了这些以F-15和F/A-18E/F为基础的隐身大改计划，让那些短期内没希望获得F-35但又难抵隐身诱惑的国家有折中的