

从战斗机的发展历程看空气动力学的贡献

王钢林[†] 郑 遂

(中国航空研究院 飞行物理研究中心 北京 100012)

2016-09-09 收到

[†] email: wglxy@china.com

DOI: 10.7693/wl20161004

The development of fighter planes and the contribution of aerodynamics

WANG Gang-Lin[†] ZHENG Sui

(Flight Physics Research Center, Chinese Aeronautical Establishment, Beijing 100012, China)

摘 要 战斗机在各种类型的飞机中具有最高的空气动力学要求,其技术水平也最能反映航空科学技术的发展情况。随着空气动力学及其他航空科技的阶段性突飞猛进,战斗机的发展也呈现出阶跃的现象。因此,文章从最早的战斗机直至现代最新投入使用的战斗机,乃至正在研制或未来可能出现的战斗机的性能和特点出发,进行了分代,从中可以看出空气动力学对于战斗机发展具有明显的推动作用。

关键词 飞机, 航空, 空气动力学, 战斗机分代

Abstract Fighter planes have the highest aerodynamic requirements amongst all aircraft. Their technical level reflects the development of aviation science and technology. With the changing leaps of progress in aerodynamics and related fields, the development of fighter planes also underwent various leaps and bounds. This history may be divided into different stages according to the technical level, and covers the earliest fighters, modern fighters, those under development, and even those potentially possible. The importance of aerodynamics for future development is obvious.

Keywords airplane, aviation, aerodynamics, fighter plane generations

1 航空飞行器的分类

根据克服重力的方式的不同,航空飞行器可以分为轻于空气的飞行器和重于空气的飞行器。轻于空气的航空器包括气球、飞艇等,采用空气浮力克服重力;重于空气的航空器包括常见的飞机、直升机等,通过翼型与空气之间的相对运动产生空气动力克服重力。在历史上,轻于空气的航空器更早得到发展,但重于空气的航空器是现代航空飞行器应用的主流。

按照产生升力的装置的不同,重于空气的航空器可以分为三大类:固定翼航空器(fixed-wing

aircraft)、旋翼机(rotorcraft)和扑翼机(ornithopter)。这其中,固定翼航空器又可以根据有无动力装置而被分为飞机(airplane)和滑翔机(glider)。根据国际民航组织的定义,旋翼机可以分为直升机(helicopter)、自转旋翼机(autogyro 或 gyroplane)和旋翼式螺旋桨飞机(gyrodyne)。

按照用途的不同,航空器可以按照图1的方式进行划分。

在各种飞机中,战斗机具有最高的空气动力学要求,其技术水平也最能反映航空科学技术的发展情况。通过分析历史上的各种主流战斗机的性能和技术等方面特点,并进行适当的归类分代,根据各

代的技术特征即可理清空气动力学的发展脉络,以及空气动力学发展对于飞行器设计技术的推动作用。

2 早期战斗机的发展

自莱特兄弟发明飞机之后,飞机很快便被

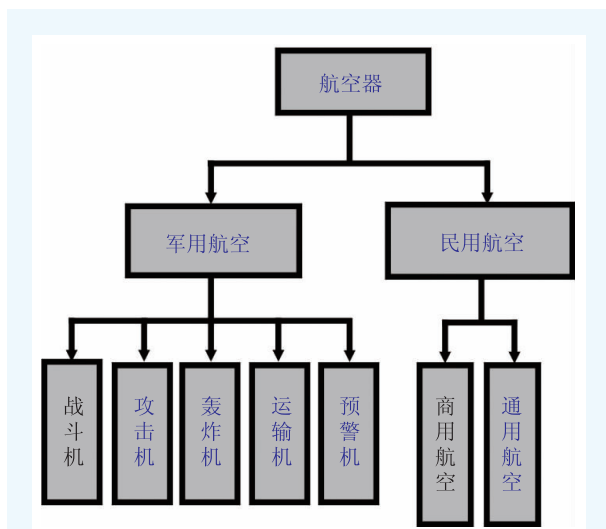


图1 按用途进行分类的航空器种类



图2 法国“纽波尔”双翼战斗机



图3 第二次世界大战出现的优秀战斗机 (a)英国“喷火”; (b)德国BF-109; (c)苏联拉-7

应用于军事领域。特别是第一次世界大战的爆发,军事需求大大促进了航空工业和航空科技的迅猛发展,并且出现了专门针对空战需求而研制和生产的战斗机(当时被称为驱逐机)。这一时期战斗机的主要技术特点包括:气动布局以双翼机(图2)为主,少量采用单翼或者三翼布局;采用活塞式发动机驱动螺旋桨产生动力;木质与织物蒙皮相结合的结构形式;飞行速度小于200 km/h,升限5000—8000 m。这些战斗机所应用的空气动力学成果都是航空先驱们早期探索的结果。

第二次世界大战将活塞式螺旋桨战斗机的发展推上了顶峰。在气动设计方面,基本上都采用了平直翼正常布局,普遍应用了低速空气动力学的研究成果,诸如增升装置、层流翼型等等。活塞式发动机演化出了液冷和气冷两种体系,并且出现了增压技术,功重比较第一次世界大战时的技术水平得到了大幅度的提升。武器方面,除了机枪之外,更大口径的机炮也得到了广泛应用,并且具有了陀螺瞄准装置,提高了机载武器射击的精度。飞行员可以通过机载电台从地面或者友机获得信息。除此以外,这一时期全金属机体结构、应力蒙皮,以及可收放式起落架等新技术也得到了广泛的应用。

这些技术的综合应用,使得战斗机的最大飞行速度普遍达到了600 km/h,某些机型甚至超过了700 km/h,升限达到了12000 m,海平面最大爬升率达到了15 m/s的水平。

第二次世界大战的优秀战斗机层出不穷,其典型代表如图3所示。

3 第一代战斗机的发展

第二次世界大战末期，以空气动力学为代表的航空科学技术取得了革命性的进展，例如，可压缩流空气动力学(后掠翼、进气道等)以及涡轮喷气发动机等等。这些革命性的技术进步导致了第一代喷气式战斗机的诞生。

第一代喷气式战斗机始于德国的Me262，作为第一种实用的喷气式战斗机，拉开了喷气式时代的大幕。在朝鲜战争中大放异彩的米格-15和F-86(图4)达到了喷气式战斗机的第一个高潮。米格-19和F-100(图5)则是首批实用化的超声速战斗机，其中米格-19在越南战场与第二代战斗机的对抗中也取得过不俗的战绩。

这一代战斗机在气动设计方面应用了后掠翼等可压缩流空气动力学的研究成果；动力装置采用了离心式涡轮喷气发动机和轴流式喷气式发动机，推重比为3的量级；机载武器装备仍然为机枪和机炮，但机炮已经取代机枪成为主要的机载武器。除此以外，增压座舱、弹射座椅、液压助力系统等开始在这一代飞机上得到应用。

空气动力学和动力装置的革命性进步使得第一代喷气式战斗机的最大飞行速度超过了声速，达到了1000 km/h，远远超过了活塞式螺旋桨战斗机；升限达到了大约16000 m；海平面最大爬升率更是提高到40 m/s的水平。

4 第二代战斗机的发展

根据第二次世界大战和朝鲜战争的经验，以及人类对于飞行速度和高度的不懈追求，随着空气动力学的发展和进步，第二代喷气式战斗机开始登上了历史舞台。

第二代喷气式战斗机在空气动力学方面较前一代有了长足的

进步，面积律成为飞机设计的重要准则，小展弦比薄翼得到了广泛应用，与千篇一律的第一代战斗机气动布局不同，这一代飞机出现了形式多样的气动布局。带加力的涡轮喷气发动机的推重比提高到了5的量级，使得飞机的推重比可以达到大约0.8。在武器系统方面，第一代的红外制导格斗空对空导弹和半主动雷达制导中距空对空导弹逐渐取代机炮，成为战斗机的主要武器装备。信息的获取和控制对于第二代战斗机而言更是获得了前所未有的突破，雷达、自动火控系统、导航系统等的使用使得战斗机在战场态势感知以及作战效率方面得到了跨越式的发展。

各种技术的进展及应用使得第二代喷气式战斗机的最大飞行速度突破了两倍声速，最大飞行高度提高至大约18000 m，海平面最大爬升率大幅度提升至200 m/s。飞机的作战效能明显提高，因此直至今日仍然有不少第二代战斗机活跃于世界各地的天空。

这一代战斗机的种类繁多，最具代表性的包括前苏联的米格-21、米格-23(图6(a)和(b))，美国的F-104、F-4(图6(c))，中国的歼-7、歼-8等等。



图4 米格-15与F-86



图5 首批实用化的超声速战斗机 (a)米格-19；(b)F-100



图6 第二代战斗机典型代表 (a)米格-21; (b)米格-23; (c)F-4

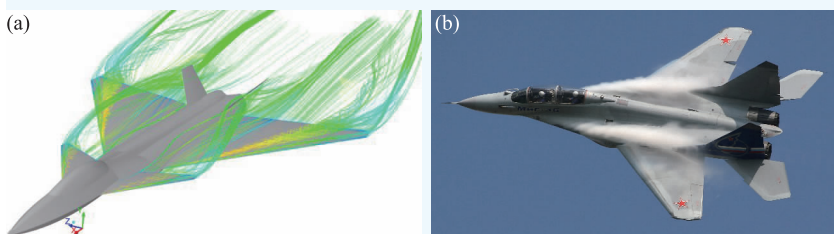


图7 (a)鸭翼的脱体涡; (b)米格-35的边条脱体涡



图8 第三代战斗机典型代表 (a)F-15; (b)F-16; (c)F-18; (d)歼-10

5 第三代战斗机的发展

上世纪60年代越南战争的爆发成为检验第二代战斗机的战场。实战经验表明,现代空战的主要空间并未延续第二次世界大战和朝鲜战争的发展趋势,战斗机空战发生的主要高度由之前的万米高空下降至6000—8000 m,作战时的飞行速度仍然在高亚声速,但是飞机机动性的需求却成为了空战胜负的主要因素。

吸取了越南战争的经验教训,上世纪70年代末开始,第三代喷气式战斗机开始登上了历史舞台,这也是目前世界各国空军的主要作战武器装备。

这一代战斗机在气动设计方面普遍应用了当时旋涡空气动力学的研究成果,采用鸭翼或者边条提供涡升力(图7),大幅度改善了飞机大迎角升力特性,使飞机的机动性能得到有效的提升。

第三代以前的飞机设计指导思想是要求实现附着流,避免产生分离和旋涡,这时升力与迎角呈线性关系。而在第三代喷气式战斗机的设计中,非线性涡升力技术,即利用分离涡产生非线性的涡升力,提高飞机最大升力系数、增大飞机的升阻比,成为这一代战斗机在气动力设计方面的最大成功之处。

在动力系统方面,第三代战斗机普遍采用了带加力燃烧室的涡轮风扇发动机(推重比达到了8),使得飞机推重比达到了1,进一步提升了飞机的机动性能,同时发动机的耗油率降低,提高了飞机的经济性和航程。武器系统装备了具备离轴发射能力的第三代红外制导格斗空空导弹、半主动/末端主动制导中距空空导弹,使得战斗机具有了超视距空战和离轴攻击能力。在信息系统方面,多功能脉冲多普勒雷达大幅度提升了飞机的探测和攻击能力,电传操纵系统有效地提高了飞机的气动性能和飞行品质。

由于诸多先进技术的综合应用，第三代喷气式战斗机实现了机动性和飞行品质的大幅度提升，其最大允许过载达到9，稳定盘旋过载达到6，海平面最大爬升率提升至300 m/s。而在其他方面的指标，第三代战斗机较之于第二代战斗机并没有实质性的改变，例如最大飞行速度维持在两倍声速，升限维持在18000 m左右。

这一代战斗机的典型代表包括前苏联/俄罗斯的米格-29、苏-27，美国的F-15、F-16、F-18(图8(a), (b), (c))，中国的歼-10(图8(d))，欧洲的幻影2000、台风等等。

6 第四代战斗机的发展

由于雷达、航电等技术的发展，导致空军作战方式发生了革命性的改变，超视距作战、隐身、超声速巡航、过失速机动(飞机在超过失速迎角之后，仍然有能力完成可操纵的战术机动)成为引领未来空中作战的需求，由此诞生了第四代喷气式战斗机。这一代飞机在气动方面采用了气动/隐身综合设计，在亚声速减阻和超声速减阻之间进行了有效的协调和折衷，同时改善了大迎角飞行的稳定性和可控制性。带加力的涡轮风扇发动机的推重比达到了10的量级，使得飞机推重比达到了1.2的水平。武器系统普遍装备了主动雷达制导中距空空导弹和具备大离轴角发射能力的红外制导近距格斗空空导弹。有源相控阵雷达和高度综合的航电系统在这一代飞机上得到了应用，大大提高了飞机的信息化水平，有助于作战效能的提升。

第四代喷气式战斗机基本特征可以归纳为4S，即隐身(Stealth)、超声速巡航(Supersonic)、超视距攻击(Superior-sensor)和超机动(Super-agility)。在最大飞行速度、升限以及最大允许过载等方面与第三代战斗机基本一致。

但是并非所有的第四代战斗机都全部具备4S特性。到目前为止，各种四代战斗机中仅有F-22(图9(a))具备了全部4S特性。其

他的第四代战斗机还有俄罗斯的T-50(图9(b))。

7 第四代战斗机的发展

根据对四代喷气式战斗机特点的分析、归纳、总结，可以得到各代飞机特点的对比如表1所示。

表1 各代喷气式战斗机的特点对比

	第一代	第二代	第三代	第四代
气动	后掠翼	面积律	脱体涡	气动/隐身
动力	推重比为3	推重比为5	推重比为8	推重比为10
武器	航炮	航炮+第1代导弹	航炮+第3代导弹	航炮+大离轴/发射后不管导弹
信息	电台	雷达	脉冲多普勒雷达/电传	有源相控阵雷达/综合航电
年代	1945—1955	1955—1970	1970—2000	2000—
特征	机械化		信息化	

这里介绍的第四代喷气式战斗机的划代方式是目目前主要的战斗机分代方式。除此以外，前苏联/俄罗斯的分法略有不同。俄罗斯的战斗机分代方式是在前述四代划分的基础上，在二代和三代之间定义了俄罗斯的第三代喷气式战斗机，典型飞机包括米格-23和F-111。其主要空气动力学特点是兼顾亚声速/低速气动性能和超声速气动性能的变后掠翼技术；在动力装置方面，发动机的推重比约为6。因此，四代划分方式中的第三代战斗机在俄罗斯标准中被定义为第四代，而四代划分标准中的第四代战斗机则在俄罗斯标准中被定义为第五代。

在传统上，美国对于喷气式战斗机的断代采用的是四代划分法。不过对于F18E/F、台风等上世纪90年代以后出现的战斗机，由于其性能指标明显高出其他三代战斗机，但又达不到四代战斗

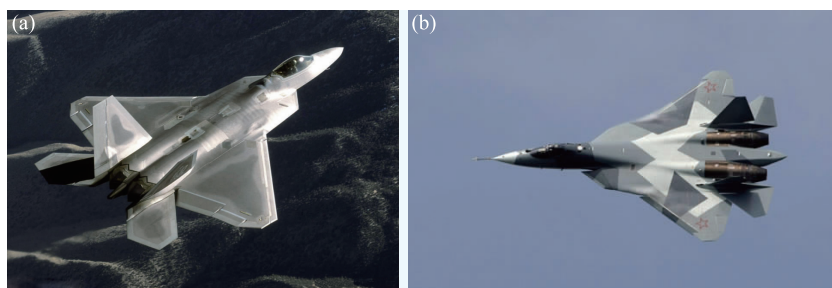


图9 (a)F-22; (b)T-50



微弱信号检测 半个世纪的骄傲

Model 7210
多通道锁相放大器

全球唯一
通道之最



Model 197光学斩波器



生产商: 阿美特克商貿(上海)有限公司北京分公司
电话: 010-85262111-10 传真: 010-85262141-10
Email: info@ametek.cn
网址: www.signalrecovery.com.cn

中国代理商: 北京三尼阳光科技发展有限公司
电话: 010-65202180/81 传真: 010-65202182
Email: sales@sunnytek.net
网址: www.sunnytek.net

机的4S特征, 所以将这些飞机定义为所谓的三代半飞机。近年以来, 美国对于喷气式战斗机的断代又出现了新的一种趋势, 逐渐倾向于将F-86及更早的喷气式战斗机重新定义为第一代喷气式战斗机。这样一来, 无论是按照俄罗斯标准, 还是按照新的美国标准, 以F-22为代表的最新一代喷气式战斗机都被重新定义为第五代喷气式战斗机。

8 走向未来

历史上, 空气动力学在推动社会发展和人类文明进步方面做出了重大贡献, 没有空气动力学理论的突破, 就没有今天各类航空飞行器的发展。

作为最能反映航空科学技术发展情况的战斗机, 目前第四代喷气式战斗机尚在发展之中, 但更新一代战斗机的探索已经启动。未来一代战斗机究竟应该具有何种特性、什么技术指标? 这一切现在都还是未知数。但可以肯定的是, 新一代战斗机较之于第四代喷气式战斗机而言, 必然具有更高的超声速巡航飞行速度、更大的作战半径、更高的宽频全方位隐身能力等。对于空气动力学方面而言, 势必造成高速飞行性能与低速飞行性能之间的矛盾更加突出, 空气动力学与隐身之间的矛盾更加突出等问题。这些新的需求对空气动力学理论、实验技术等提出了新的要求, 同时也为空气动力学的发展指明了方向。

参考文献

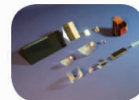
- [1] 温杰. 国际航空, 2016, (1):26
- [2] 郭道平. 国际航空, 2009, (7):54
- [3] 段卓毅, 陈迎春, 赵克良 等. 飞行力学, 2003, 21(3):18
- [4] 莫姆耶尔. 三次战争中的空中力量: 二战、朝鲜和越南. 北京: 世界知识出版社, 2012

标准光学元件库存--- 供您随时选用

总量多达10万片,
超过700个品种规格的透镜,
棱镜, 反射镜, 窗口,
滤光片等常用光学器件;
涵盖紫外, 可见,
近红外,
红外等光学应用领域。



光学透镜



光学棱镜



可见光学元件



红外元件



颜色滤光片



窄带干涉滤光片



北京欧普特科技有限公司
Beijing Golden Way Scientific Co.,Ltd

地址: 北京市朝阳区酒仙桥东路1号M7栋5层东段
电话: 010-88096218/88096099 传真: 010-88096216
邮箱: optics@goldway.com.cn