



从EFA到“台风”看鸭式布局 飞机设计的可持续发展

Sustainable Development of Aircraft Design On Canard Configuration
From EFA to “Typhoon”

原中航工业成都飞机设计研究所 杨国才



杨国才

原中航工业成都飞机设计研究所研究员。现受聘为中国科协中国未来研究会未来研究院研究员等职务。先后参与歼-10、枭龙/FC-1等3个国家重点型号飞机的设计与研制。曾获首届全国科学大会“科技进步”二等奖、原航空工业部级科研成果二等奖以及多个省部级奖项。2005年荣获“国家重点人才创新科研成果”一等奖。

32 航空制造技术 • 2010年第21期

在关键技术上追求可持续发展,就要掌握好20世纪90年代国际先进技术战斗机一些有用的技术,相信凭借这些技术的支撑,鸭式布局设计必将为飞机设计的后续研究,为新世纪有人机或无人机的研发带来再创辉煌的光明前景。

从当前国际上“三代半”和第四代战斗机的发展中不难发现,欧洲先进技术战斗机几乎都采用了鸭式气动布局。在俄罗斯,不论是苏-30系列还是前几年提出的验证机米格-1.44和苏-47(S-37)也都采用了鸭式气动布局,而美国现役和在研的先进战斗机,包括F-22和F-35,则几乎全部采用了常规的气动布局。

那么,鸭式气动布局究竟有哪些特色,使欧洲国家和俄罗斯对这种布局情有独钟,而美国坚持常规布局又

出于哪些考虑,这些问题已成为各国飞机设计人员关注的热点。

从EFA到“台风”的 改型改进背景

“台风”是EFA先改型、后改进的产物。EFA计划本是20世纪90年代冷战时期东、西方对抗的产物,最初由西欧5国——英国、西德、意大利、西班牙和法国于1984年7月共同发起。后来,一贯奉行独立自主政策的法国退出并独立研发了“阵

风”(Rafale)鸭式飞机,其余4国共同组建了欧洲战斗机集团公司和欧洲喷气发动机集团公司来负责EFA的设计、研制和管理。

EFA战机主要用于防空和空地任务,采用短间距(“近耦”)鸭式隐身布局 and 腹部进气的设计特点,飞机最大高空平飞速度 $Ma1.85$,空重 9750kg ,最大起飞重量 17000kg ,起降距离为 500m ,作战半径 $463\text{km}\sim 556\text{km}$,飞控系统采用4余度全权主动控制技术以满足其高机动性能要求。

当时EFA的目标是生产一种新型先进技术战斗机,用以在21世纪抗衡来自华约组织先进的米格-29和苏-27战斗机的威胁。但是,1990年前后苏联和整个东欧形势的深刻变化使得西德开始质疑是否值得继续执行这项高额费用计划;另外,来自苏联威胁的削弱,也促使德国等合作国家要减少对EFA生产型飞机的定购数量。

按最初计划生产700架的预算,EFA出厂单价将是3700万美元以下(1992年币值),若是产量降到400架以下,单机价格有可能突破1亿美元,为降低成本来满足合作各国的不同要求,1992年欧洲战斗机集团公司进行了替代方案研究,最终敲定了由航空工业界提出的替代方案。

该替代方案被称之为“NEFA方案”,以原EFA机体为基础,不做根本性设计更改。据称,基本型NEFA性能比原EFA降低了 $4\%\sim 5\%$,而成本却降低了 $12\%\sim 30\%$ 。促使成本下降的主因是机载电子设备和发动机水平有所下降。最低档NEFA以6000万美元价格满足了德国的要求,而最高档的NEFA作为“狂风”(Tornado)和F-104S等战机的后继机,英、意2国都可接受单机6500万美元的价位。为进一步适应合作各国的不同要求,EFA做了改型,形成了NEFA飞机家族,并在1992年改称为EF2000,由此化解了EFA计划

危机,使欧洲20世纪90年代战斗机计划得以持续发展。

随着华约组织的解体、苏联的“红旗落地”和航空科学技术的进步,追求战斗机质量胜于数量的新理念逐渐形成,进一步促进了EF2000的改进,从第三代向“三代半”战斗机升级,其技术指标有相应提高,其中之一为最大平飞速度从 $Ma1.8$ 提升到 $Ma2.0$,使之成为适应21世纪战争环境的先进技术战斗机。1998年EF2000被正式命名为“台风(Typhoon)”,并在2002年6月开始批量生产。

然而,“台风”的研制也不顺利,为控制飞机重量,特别为减少超音速飞行阻力,欧洲战斗机集团公司耗费了大量时间和精力。

远距离耦合腹部进气鸭式布局方案的推出

“台风”为了减少超音速飞行阻力,采用了有别于EFA的短间距耦合鸭式布局方案,这就是“远距离耦合”大三角翼无平尾鸭式布局,其准二元的保形“笑口”式进气口位于机身腹部。

之所以不沿用EFA原来的鸭式布局方案,是因为早在1998年以前,

欧洲战斗机集团公司就发现,对于腹部进气的鸭式布局战斗机方案,当前翼的纵向位置接近机翼时,前翼将产生很大的超音速阻力,由此成了飞机提速的技术瓶颈。因此,在研发“台风”气动布局时,最终把前翼置于距机翼较远的位置上,称之为“远距离耦合”方案。

该方案的提出基于对气动布局的大量理论数值计算和风洞试验研究的结果,特别吸取了英国EAP(Experimental Aircraft Programme)技术在验证鸭式布局飞机上取得的经验。该精选气动布局体现了按空战性能优化设计的风格,即要求飞机在具有小的超音速阻力和良好的亚音速敏捷性2个主要性能指标上进行综合,用低翼载和高推重比提高飞机的机动能力,同时保证短距起落能力和对地攻击任务中的大载弹量能力。

为了达到减小超音速飞行阻力的目的,“台风”还采取了其他辅助技术措施,其中有:

(1)把前翼面积从 3.81m^2 减小为 2.40m^2 (鸭式布局的前翼面积一般为机翼的 $5\%\sim 8\%$);

(2)4枚“空-空”导弹采用半埋于机身的方案可减小飞机阻力并减小飞机的雷达反射横截面积



“台风”战斗机

(RCS),有利于隐身设计,特别是减小超音速阻力;

(3) 选用最大直径为 863mm,而推重比为 10 一级的 EJ200 涡扇发动机,减小了机身横截面积,从而降低了超音速阻力;

(4) 选用前缘后掠角 53° 、小展弦比为 2.4 的三角机翼,不但超音速直飞和机动的阻力小,而且重量轻,机翼油箱容积也大。

“台风”战机已进入服役状态,2002 年 10 月第一架生产型飞机已交付英国空军。据试飞资料报道,该机已获得“惊人”的加速性能,敏捷性超过 2006 年服役的最好战斗机。飞机经常进行发动机不加力的超音速飞行,发动机加力时的飞行速度超过 $Ma2.0$,而飞机带副油箱时能达到 $Ma1.6$ 。

虽然与第四代战机相比,其部分隐身能力显得不足,但其前半球的 RCS 仅为 $2m^2$;飞机的无顾虑操作和最新先进武器使其空战效能将是改进第三代战斗机的 $1\sim 2$ 倍,对地作战效能将是其 1.25 倍。

就其综合指标来看,“台风”已实实在在地达到了“三代半”水平。业界人士普遍看好其市场前景。除了满足项目合作 4 国目前共计 620 架内需之外,预估在 2005~2025 年,“台风”将可得到约 400 架新机的出口份额,从而成为美国 F-35 最有力的竞争对手。

观察与思考

美国田纳西大学知名教授吴建民早在 1985 年来华讲学的一篇学术报告《空气动力学的新曙光》中指出,“非正常涡升力的利用,可以使飞机的升力为现在的十几倍以上”;在 20 世纪 80 年代,国内业界吴介之等人就流型和涡动力学再谈“向涡索取升力”课题,使得人们对非正常涡控制产生高升力的物理机理和技术途径有了更深刻、更具体的认识。

根据涡动力学理论,利用鸭翼对主翼面气流的有利涡干扰,鸭翼和升降副翼的优化配合偏转,可获得飞机大迎角气动特性,升阻力比高的效果。因此,鸭式布局飞机具有优越的机动性能、操作性能和短距起落能力^[1],受到了飞机设计师的青睐。1993 年 6 月开始交付空军使用的瑞典 JAS-39 轻型战斗机是该理论工程应用的一个成功范例。

JAS-39 飞机采用类似 Saab-37 的近距耦合鸭式布局,具有瑞典特色,可以适应瑞典特有的防卫飞行剖面,是一种兼顾格斗、攻击、侦察任务的多用途战斗机。

1 近耦前翼方案的优缺点

一般认为,在“近耦”方案中,当在机翼前方配置近耦前翼的脱体涡流扫过机翼时,可产生以下增益:

(1) 可延迟机翼失速,获得较大的迎角升力,提供过失速飞行状态时的稳定性;

(2) 和气动弹性剪裁的后掠翼联用,有助于使机翼产生接近椭圆的展向压力分布,从而减小了飞行阻力;

(3) 特别适宜和三角翼的机翼匹配,可减小起飞、着陆距离,增加机动能力,减小飞机总体尺寸,降低成本;

(4) 可用来作为直接力控制技术的有效操纵面,并很适合放宽静稳定技术的采用。

该方案的主要缺点是超音速飞行阻力大,存在一定的技术风险(相对于常规布局而言)。因此,早在 20 世纪 80 年代初,西德的道尼尔公司就提出了他们的看法:不论是从超音速的零升力特性,还是从亚、超音速的升致阻力特性看,都不能断言鸭式布局一定比常规布局好,而且前翼还会带来其固有的大迎角横/航向不稳定问题。

一般认为“近耦”方案较为突出的技术难点是^[1]:采取静稳定设计的

飞机,其成败几乎完全取决于各翼面几何参数的选择及其相对位置。如果 2 者选择不当,将会造成纵向、横向和航向气动特性的异常;采取静稳定设计的飞机,尽管该设计能在亚音速持续和瞬时转弯率要求与超音速持续转弯率和大剩余功率要求之间取得最好的折中,并且可明显降低升致阻力,但如何控制其固有的飞机抬头趋势是一个很重要的问题。业已证明,鸭式布局的前翼,即使不偏转也存在着使飞机抬头的固有趋势,对俯仰特性有负面影响。

在某一迎角范围内,由于前翼脱体涡的破裂不仅会引起横向力矩非线性变化和不稳定,还可能会出现滞后现象,对大迎角下的全机横/航向特性有较大不利影响。与常规布局一样,鸭式布局的偏航稳定性在整个迎角范围内也难以保证。

正因为前翼大迎角问题要解决并非易事,技术上的风险较大,且增加前翼对飞机的隐身设计也较为不利。因此,在权衡利弊之后,不仅在第三代,而且在第四代先进技术战斗机布局上,美国都依然采用常规布局设计方案。另外一个很重要的原因是美国的推力矢量技术已经相对较为成熟,可以取得比前翼更好的机动性能控制,同时可以获得更全面的飞机整体隐身性能。

所以,如果要使鸭式布局在第四代战斗机上得到继续采用,其最大的挑战是在隐身技术领域得到突破;如米格公司声称,在研的米格-1.44 虽然也采用了远距耦合鸭式布局,但由于他们在飞机上采用了等离子流隐身技术,所以其隐身特性完全可以和 F-22 媲美。

2 远耦前翼方案的优缺点

以“台风”设计方案为例,远耦前翼方案有下列优点:

(1) 亚音速飞行时,对于纵向不稳定布局的飞机,升力作用在重心之前,使飞机产生抬头力矩,通过机翼

后缘操纵面的向上偏转,形成有利机翼弯度,从而减小配平阻力,提高了飞机的机动性能;

(2) 不稳定的鸭式布局对纵向操作反应迅速,从而提高了飞机的敏捷性;

(3) 超音速飞行时,虽然飞机气动焦点后移而使飞机变得稳定,但比常规布局(亚音速稳定)的飞机有较小的配平阻力,从而提高了飞机的超音速稳定盘旋能力,更重要的是它突破了“近耦”方案超音速飞行阻力的瓶颈;

(4) 前翼本身产生升力,更重要的是其形成的旋涡与机翼气流产生有利的气动干扰,在机翼上表面的一定区域内形成吸力,增大飞机升力,使飞机的总升力大于单独机翼和单独前翼升力之和;

(5) 由于前翼与机翼的气动干扰,导致机翼的气动载荷向内侧移动,减小机翼弯矩,从而减轻了飞机重量。

“台风”气动布局与法国的“阵风”选用的近耦鸭式气动布局相比较,有着本质上的区别(“阵风”飞机的前翼置于两侧肋下进气道的上方位置,离机翼较近,也是“近耦”设计方案):后者主要用于改善低速、大迎角特性,而前者则突破了EFA布局方案的技术瓶颈,减小了超音速飞行阻力,实现了飞机设计的可持续发展。

远耦方案的缺点是飞机长度会加大,因而会带来重量增加等一系列问题,所以,在方案选择上应权衡利弊得失。

3 从EFA到“台风”的启示

(1) 政治、经济环境的深刻变化是战斗机的“研新”与“改现”的原动力,科学技术的进步则是飞机“研新”或“改现”的保证;

(2) 鸭式布局设计可以扬长避短,挖掘潜力。从EFA改型到“台风”,从“远耦”到“近耦”又回到“台

风”设计的沿革,说明了鸭式布局的方案设计不仅与飞机的速度有关,而且与飞机进气形式有关。不同进气形式鸭式布局飞机的比较见表1;

“远耦”布局,使飞机实现了超音速巡航,这无疑为需要减小超音速飞行阻力,以提高最大飞行速度的类似的鸭式布局飞机,提供了可供借鉴的工

表1 不同进气形式轻型鸭式布局飞机设计比较

	JAS-39	Lavi	“阵风”	“台风”
进气形式	两侧进气	腹部进气	两侧半腹式进气	腹部进气
气动布局	近距耦合	近距耦合	近距耦合	远距耦合
前翼	全动式后掠	全动式后掠	全动式后掠	全动式后掠
动力装置	<ul style="list-style-type: none"> • 单台 RM12 • 加力推力 80.5kN • 推重比 8 一级 	<ul style="list-style-type: none"> • 单台 PW1120 • 加力推力 91.7kN • 推重比 8 一级 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 台 M88-2 • 单台加力推力 72.9kN • 推重比 9.0 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 台 EJ200 • 单台加力推力 90kN • 推重比约 10
最大平飞速度	海平面 Ma1.2 高空 Ma2.0	高空 Ma1.85	低空 1390km/h 高空 Ma1.8	高空 Ma2.0+
交付时间	1993 年	1987 年 8 月 30 日下马	海军型 2002 年 空军型 2005 年	2002 年 10 月
最早研制时间	1980 年 6 月	1979 年	1984 年 3 月	1992 年 12 月
需求总量 / 架	内需 204 出口 250	计划内需 300 (实际只有 150)	内需 272 出口 230 左右	内需 620 出口约 400
单机出厂估价 / 万美元	2000~2500	2200 左右(按 300 架估计,1987 年币值)	5000~6000	5500~6500
备注	国际第三代战机	1986 年 12 月 31 日首飞,1982 年年底冻结总体气动布局	国际“三代半”战机	国际“三代半”战机

(3) “机动缝翼”技术的应用进一步减小在中等迎角以上时会产生诱导阻力,使鸭式布局的优势得以充分发挥;

(4) 作为预研平台,EAP 技术验证机及“狂风”计划中的“铁鸟”试验台等项设备的再利用,为EFA到“台风”演变的各项技术发展、研制和节省时间与费用都做出了重要贡献;

(5) 在飞机型号研发进程中,适时地开展总体气动布局方案优化设计课题研究很有必要。

结束语

腹部进气的“台风”飞机,选择

程应用经验。

在关键技术上追求可持续发展,就要掌握好 20 世纪 90 年代国际先进技术战斗机一些有用的技术^[2],相信凭借这些技术的支撑,鸭式布局设计必将为飞机设计的后续研究,为新世纪有人机或无人机的研发带来再创辉煌的光明前景。

参考文献

[1] 宋文骢. 鸭式布局飞机的发展//中国航空学会飞机总体专业委员会. 飞机设计与制造分论坛暨总体专业分会第六次学术交流会议论文集,2003.

[2] 徐德康. 九十年代战斗机要用的几项关键技术. 国际航空,1982,8.

(责编 泰山)