

文章编号:1674-8190(2019)04-436-09

下一代大型军用运输类飞机气动布局及作战应用趋势分析

杨小川,毛仲君,汪华松,贾涛,孟德虹,黄勇

(中国空气动力研究与发展中心 计算空气动力研究所,绵阳 621000)

摘要: 随着导弹发射车、重型装甲车、智能无人集群等重型物资装备的远程快速投送需求剧增,以及隐身战机、远距空空弹、防区外自主武器等穿透性打击能力的逐渐成熟,现有常规大型军用运输类飞机在适合未来战场需求和生存能力等方面将面临巨大威胁,其投送/加油/预警指挥的活动范围将被严重挤压。本文首先对现有常规大型军用运输类飞机的国内外现状进行简要概述;然后分别介绍美俄等航空大国开展的下一代大型军用运输类飞机及其关键技术研究;最后对下一代大型军用运输类飞机气动布局发展趋势以及可能作战应用场景进行简要分析,并提出一种分布式涵道油电混合推进运输类飞机气动布局。

关键词: 运输机;气动布局;缩比验证机;动力增升;作战应用;反介入/区域拒止

中图分类号: V211.3

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2019.04.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Aerodynamic Layout and Operation Application Trends of Next Generation Large Transportation Aircraft

Yang Xiaochuan, Mao Zhongjun, Wang Huasong, Jia Tao, Meng Dehong, Huang Yong

(Computational Aerodynamics Institute, China Aerodynamics Research and Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: With the increase in demand for long range rapid delivery of heavy equipment and materials such as missile launch vehicles, heavy tanks, and intelligent unmanned clusters, and the gradual maturity of penetrating counterair capabilities such as stealth fighters, long range air to air missiles, and autonomous weapons beyond defense area, the existing conventional large scale military transport aircraft will face great threats in terms of future battlefield requirements and survivability, the range of mobility/refueling/early warning will be severely squeezed. A brief overview of the current status of conventional large scale military transport aircraft is given firstly, then the next generation of large scale military transport aircraft which key technologies are developed by the United States and Russia is introduced. Finally, a brief analysis of aerodynamic layout and operation application trends of next generation large transportation aircraft are presented, and an aerodynamics layout of HWB with TeDP is proposed.

Key words: transport; aerodynamic layout; model aircraft; powered lift; operation application; A2/AD

收稿日期:2019-01-08; 修回日期:2019-04-17

基金项目:国家重点研究发展计划(2016YFB0200700);中国空气动力研究与发展中心基础和前沿技术研究基金(PJD20170253)

通信作者:毛仲君,despmatrix@163.com

引用格式:杨小川,毛仲君,汪华松,等.下一代大型军用运输类飞机气动布局及作战应用趋势分析[J].航空工程进展,2019,10(4):436-444.

Yang Xiaochuan, Mao Zhongjun, Wang Huasong, et al. Analysis of aerodynamic layout and operation application trends of next generation large transportation aircraft[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2019, 10(4): 436-444. (in Chinese)

0 引言

大型军用运输类飞机是战略物资或重型装备快速远程投送的重要支柱,也是衡量大国军事实力和综合国力的重要标志。基于大型军用运输类飞机衍生的空中加油机、预警机或者武库机,能极大地提升各类型武器装备的打击范围、打击强度等作战效能,已成为打赢未来战争不可或缺的核心作战节点^[1]。

随着导弹发射车、重型装甲车、智能无人集群、弹药物资等重型装备物资的远程快速投送需求剧增,以及隐身战机、远距空空弹、防区外自主武器等穿透性打击能力的逐渐成熟,发展下一代能够满足未来战场需求和生存能力的大型军用运输类飞机及关键技术已迫在眉睫。

本文介绍国内外下一代大型军用运输类飞机的发展情况,并从国内外运输机现状、国外下一代大型军用运输类飞机研究进展以及气动布局、作战应用趋势四个方面进行综述,提出一种分布式涵道风扇油电混合布局的初步方案,以期探索下一代大型军用运输类飞机气动布局及作战应用提供参考。

1 国内外现状

美俄等航空大国高度重视航空战略投送能力建设^[2],已在大型军用运输类飞机方面形成规模较大、机型齐全、能力较强的运输类体系,包括空中加油机和预警机等,例如美 C-5 超大型战略运输机为实现“加强灵活反应能力”和“战略空中机动”的全球机动要求研制,以替换退役的 C-141。另外,载重 120 吨级的 C-5 与 80 吨级的 C-17 运输机形成战略战术组合投送能力,成为美全球军事战略存在的核心支柱^[3-4]。例如,美军战略机动 15% 以上由军用运输机完成,且 24 小时内能将整建制师投送到世界任何地区;俄军现有运输机能集中将一个空降兵师投送到 3 800 km 外区域。

我国虽然起步较晚但近年来发展迅速,正逐步填补大型运输类飞机的空白。相对美俄等大国,我国在投送能力、机型结构和装载性能上仍存在较大差距,具备重型战略投送能力的超大型战略运输机(C-5、An-124 级别)仍属空白^[5]。这与我国未来

“一带一路”海外利益带保障、高原山地快速部署以及人道主义救援行动等快速机动部署能力的需求差距较大。我国与美、俄在运输机数量、运能等方面的差距如图 1~图 2 所示。

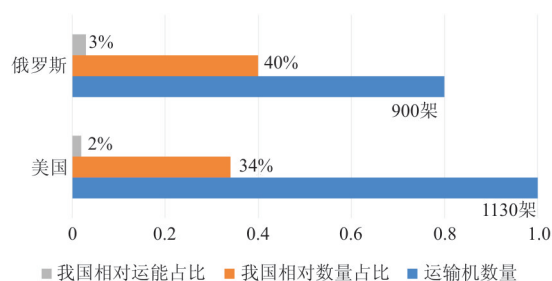


图 1 运输机数量和运能占比

Fig. 1 Number of transport aircraft and capacity ratio

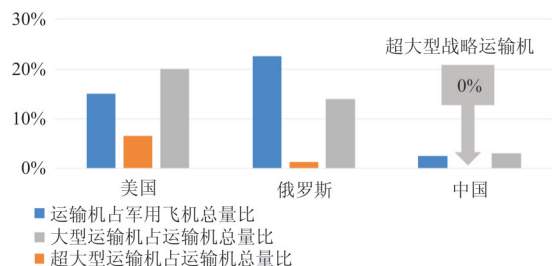


图 2 各型运输机相对军机和运输机总量占比

Fig. 2 The two types of transport aircraft relative to military aircraft aircraft

2 国外下一代大型军用运输类飞机

早在 2000 年,国外开始大力投入对下一代大型运输类飞机的关键技术和布局设计等方面研究^[6-10],特别是军用运输类飞机,虽然相关报道和公开资料相对较少,但发展趋势逐渐明确。

2.1 洛马 HWB

2009 年,洛马公司已开始高燃油效率、低排放、低噪声的混合翼身融合气动布局(HWB)研究,旨在大幅提高美军空中运输效率,并瞄准 C-5(1968 年洛马研制)、C-17(1991 年波音研制)在 2033 年运输机队逐渐到寿后的下一代战略运输机合同^[11]。美运输机机队到寿情况如图 3 所示^[11],自 2033 年开始其 C-17、C-5 等运输机将逐渐退出现役,而下一代军用运输类飞机目前仍处于探索阶段。

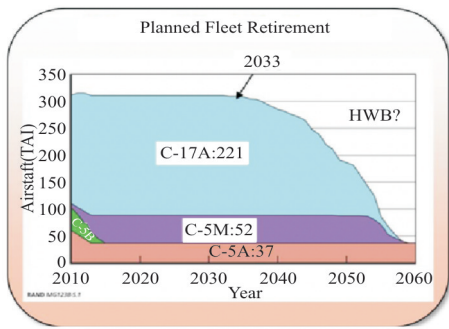


图 3 美军运输机机队到寿情况

Fig. 3 The retirement of US airlifter fleet

目前洛马公司与美空军实验室 AFRL 联合开展了革命性节能布局构型项目 (RCEE), 在洛马低速风洞开展 4% 全翼展比例模型的低速风洞试验, 以及 NASA 国家跨声速风洞 (NTF) 半翼展模型的飞行雷诺数风洞试验, 以验证 HWB 布局的气动特性和计算机数值模拟 CFD 结果的准确性等, 并将进行缩比验证机模型飞行试验, 进一步完善 HWB 相关技术和验证工作^[12]。

该项目研究发现, HWB 在利用现有技术水平 (安装 GEnx 发动机) 以及兼容现有维护保障条件的前提下, 可将现有 C-17 常规军用运输机燃油消耗率降低 70%, 并且能在现有综合结构技术下减重 18%。另外, 还能通过翼上挂架式短舱布置方式来兼容未来先进发动机 Ultra Fan/Open rotor (2030 年) 的安装及升级等改型工作, 具有显著的工程实用性和升级兼容性。

洛马 HWB 布局的发展过程如图 4 所示, 该 HWB 布局与 BWB 相近, 主要通过 BWB 飞机的尾部安装大型 T 型尾翼, 以及一个后部坡道和大涵道比高燃油效率涡扇发动机。

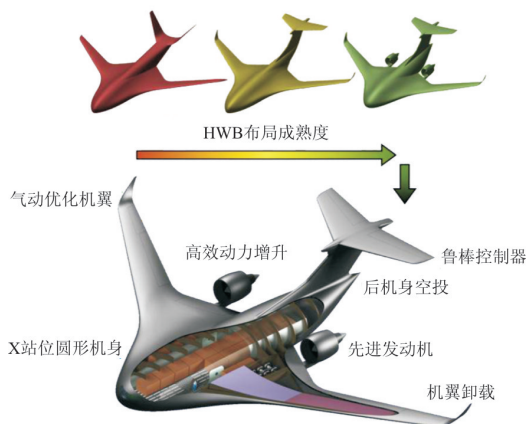


图 4 RCEE 项目中洛马 HWB 成熟布局方案

Fig. 4 Lockheed HWB mature layout of RCEE project

除缩小后体机身的商用客机布局方案外 (较最新型 Boeing-787 气动效率提高 5%~10%), 还包括大型空中运输机和加油机两种军事应用, 如图 5~图 6 所示。

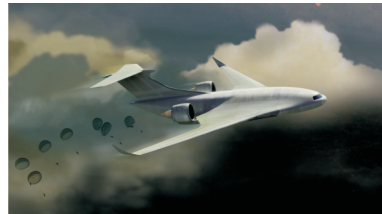


图 5 洛马 HWB 运输机方案构想图

Fig. 5 The concept map of lookheed HWB transport aircraft



图 6 洛马 HWB 加油机方案构想图

Fig. 6 The concept map of Lookheed HWB tanker aircraft

2.2 波音 X-48C

为了进一步探索大型飞机的高燃油效率、低排放、低噪声气动布局技术, 自 20 世纪 90 年代开始, NASA 进行了大量 BWB 技术的研究工作, 例如 1997 年与麦道公司 (后被波音公司收购) 完成了翼展 5.2 m BWB-17 缩比模型飞行试验工作。

随后, NASA 与波音以及美空军联合开展了 X-48 系列验证机试验研究, 包括 A、B、C 三种缩比验证机模型飞行试验研究^[13], 其缩比模型飞行情况如表 1 所示。

表 1 X-48 验证机模型飞行概况

Table 1 The overview of X-48 model flight

型号	试飞时间	翼展/m	架次	备注
X-48A	2004	10.7	—	在模型加工前项目中止
X-48B	2007~2012	6.4	92	翼尖垂尾, 三发布置
X-48C	2012~2013	6.4	30	V 型垂尾, 双发布置

该飞行试验的主要意义在于: 一是证明了 BWB 飞机具有显著提高气动效率和降低噪声的巨大潜力; 二是验证了该类布局能在起飞、着陆和飞行等低速航段过程中, 能像传统筒翼布局飞机一样

有效地操控;三是建立了较为完整的 BWB 布局地面—飞行数据库,确保在飞行包线的低速航段内稳定可控。

同时,波音公司认为该 BWB 项目中 X-48C 验证机布局概念(如图 7 所示)在未来 10~15 年可用于军事应用,例如空中加油和装备运输等^[14],并早已开展相关运输机方案研究工作。BWB 后体“蚌”式舱门开合的水洞油流试验如图 8 所示。



图 7 X-48C 验证机模型飞行试验
Fig. 7 X-48C model aircraft flight test

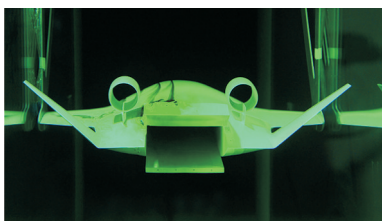


图 8 BWB 运输机方案舱门水洞油流试验
Fig. 8 The oil flow test of BWB transport aircraft

2.3 伊留申“PAK TA”

2015 年,俄罗斯公布了其伊留申航空集团正在设计的新概念隐身运输机“PAK TA”项目,该项目运输机方案计划拥有高达 200 t 的有效载荷,飞行距离可达 7 000 km,可进行超声速飞行。“PAK TA”项目已经设计多款机型,计划在 2024 年开始生产,主要目的之一是运输“阿玛塔”主战坦克、导弹发射车等军事装备和后勤物资,最终将取代俄军目前服役的运输机。

该项目最初公布了一款亚声速运输机(如图 9 所示),其巡航速度 900 km/h,可将 80 t 以上的有效载荷运送到 4 500 km 之外;该机采用大展弦比 V 尾 HWB 布局,背负式单发涡扇发动机+翼身内置双发电动涵道风扇的油电混合动力系统。为了提高运输机短距起降能力,除采用常规机翼增升装置外,该机还利用涵道风扇喷流对襟翼进行吹气

增升。



图 9 PAK TA 亚声速运输机概念图

Fig. 9 The concept of PAK TA subsonic transport aircraft

该全尺寸运输机方案气动布局形式新颖且具有一定工程应用潜力,但方案对全机推重比、高能量密度电池、涡扇动力功率以及 MW 级发电等技术均提出了较高要求。另外,无遮挡的翼身融合处电动涵道风扇以及高置的背负式涡扇发动机(对进气畸变敏感)等布局设计,均可形成明显的前向雷达反射波,使得该型运输机不具备隐身能力,在一定程度上限制了其未来作战场景的使用范围,以及加油或预警等改型使用的潜力程度。

2.4 洛马大型隐身加油机

2016 年,美国空军宣布了“KC-Z”计划,其早期外形如图 10 所示,该计划旨在开发下一代加油飞机,可以进入危险空域,执行 F-22 和 F-35 等隐形战斗机的空中加油任务。该新型隐形加油机的最新外形在 2018 年 AIAA 科技论坛上首次展出,其实物模型如图 11 所示。



图 10 洛马公司 KC-Z 计划设想图

Fig. 10 The concept of Lockheed KC-Z project

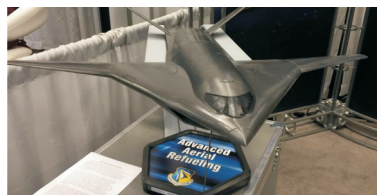


图 11 2018 年 AIAA 会议 AFRL 发布 KC-Z 隐身加油机

Fig. 11 The KC-Z stealth tanker aircraft unveiled by AFRL in 2018 AIAA conference

美空军认为过去的 15 年中,一直在伊拉克和阿富汗的“空旷”天空中飞行,并没有需要躲避防空武器的武装加油任务。但俄罗斯和中国等对手拥有先进防空导弹、远距空空弹等对空武器,能挫败美空军的穿透能力。另外,F-35 和 F-22 隐身战机任务状态作战半径有限,这一点从每年举办的“红旗”军演可以明显发现,其作战飞机的活动区域需临近加油机且非常有限,单次加油后活动时间不超过 3 h。而为其提供加油支援的大型加油机(KC-135R、KC-10A 以及 KC-46A)不具备隐身能力,很容易被雷达发现和攻击,不仅是射程较远的防空导弹,甚至机载空空弹也能将其击落。因此,未来大型加油机需具备应对反介入/区域拒止的隐身加油能力甚至穿透防区能力。

与此同时,MQ-25 等小型隐身无人加油机、穿透性自主隐身巡航弹和防区外高端武器等先进装备的出现,虽然能配合隐身战机或其他平台对敌纵深目标进行有效打击,缓慢降低和解除敌先进综合防空系统,但成本高昂且无法进行快速补充。另外,面对成千上万重要目标,特别是移动目标的打击效果,与隐身战机近距离使用廉价航空弹药直接打击相比,在打击时效、强度、成本以及范围等方面存在显著差距。因此,洛马认为开发一款隐形加油机,以匹配其作战半径有限的隐形战斗机机群,不仅可以在敌反介入/区域拒止区域内进行空中加油,还可以作为 F-35、F-22 等隐身机群的网络情报、电子战支持等中心枢纽,实现敏感地区制空权的快速获取。

2.5 速度敏捷演示器计划

早在 2000 年左右,NASA 联合 AFRL 共同主办了大型飞机超短距起降(ESTOL)技术的关键问题研究工作,洛马、波音、诺格等公司参与并提出了多种 ESTOL 布局方案,包括民用客机和军用运输机两种构型(如图 12 所示),其目的在于充分认识和凝练超短距起降性能的关键技术和可预见的技术成效,例如环量控制/襟翼吹气技术的混合动力增升系统、大涵道比涡扇发动机一体化设计、先进结构和材料减重设计等^[15-16]。

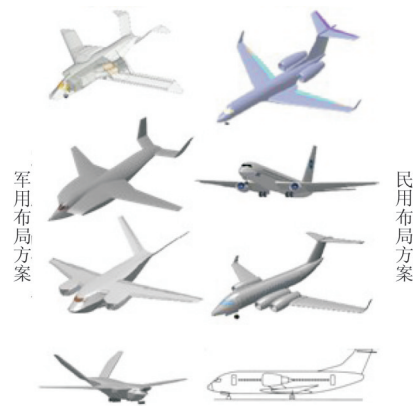


图 12 大型运输类 ESTOL 飞机构型图

Fig. 12 Large transport aircraft ESTOL configuration diagram

2007 年 8 月,为了进一步拓展大型飞机 ESTOL 技术,AFRL 开展速度敏捷概念演示器项目(Speed Agility Concept Demonstrator,简称 SACD),分别资助洛马和波音两家公司进行两种布局构型的试验研究,洛马和波音的运输机外形布局如图 13 所示。该项目重点关注大型运输类飞机 130 km/h 低速起降以及 Ma 为 0.8 高效巡航的速度敏捷能力,旨在为未来大型运输类飞机技术发展提供一种高升力构型、高效跨声速飞行以及稳定飞行控制等技术的集成配置方案,且 2010 年技术成熟度达到五级^[15]。



图 13 SACD 项目两种布局构型图

Fig. 13 Two layouts of SACD project

SACD 项目中洛马和波音公司的气动布局总体相近,且均在外形布局上逐渐从常规构型向隐身构型演化。但两者在混合动力增升系统选取上存在一定差异,波音采用背部两侧进气方式,除常规前缘缝翼和后缘襟翼的增升装置外,还结合上表面吹气(Upper Surface Blowing,简称 USB)和仅包含喷口后方的 USB 襟翼,进行混合增升,如图 14 所示。波音方案气动特性数据库主要包含四部分:LB-640A 构型低速风洞试验、LB-641 构型高速风洞试验、高低速动导数分析以及起落架影响

分析^[17-18]。

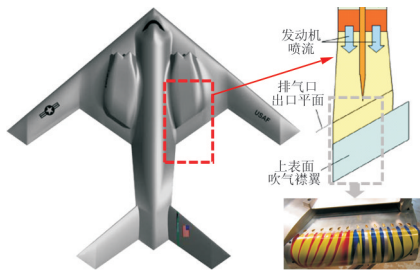


图 14 波音大型隐身运输类飞机布局方案
Fig. 14 The layout of large stealth transport aircraft by Boeing

洛马则采用机腹两侧进气方式,如图 15 所示,除常规前缘缝翼和后缘襟翼的增升装置外,还结合更为复杂高效的可偏折/反推喷嘴(REN)和通过发动机引气的全翼展式环量控制机翼襟翼(CCW-Flap),其中 REN 可分别工作在巡航、高升力以及反推三种模式,CCW-Flap 则通过发动机引气进行襟翼全展向吹气增升^[11,19]。

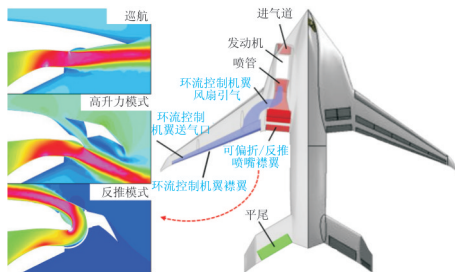


图 15 洛马大型隐身运输类飞机布局方案
Fig. 15 The layout of large stealth transport aircraft by Lockheed

综合来看,洛马方案较波音方案在高升力增升效果上更优异,能满足项目指标要求^[19]。

3 气动布局趋势

为了尽可能满足未来军民两用大型运输类飞机在节能减排以及空中加油和物资运输等任务需求,国外早已开展大量技术探索和工程研究,特别是在关键的总体气动布局设计上已逐步收敛,核心功能和技术方向发展趋势初步明确。

3.1 高效气动布局设计

五类动力增升设计获得的最大升力系数分布如图 16 所示^[20](图中 IBF(Internally Blown

Flap), USB(Upper Surface Blowing), EBF(Externally Blown Flap)),可以看出:常规非动力增升装置所获得的最大升力系数略高于 3.0;采用 IBF 和 USB 动力增升设计最大升力系数能达到 7.0 以上,但对发动机推力、增升机构布置、翼内热气流道设计等要求相对常规非动力增升高^[21];另外,采用分布式推进布局同样能获得高升力效果,例如 X-57 分布式螺旋桨推进布局,在不开增升装置情况下最大升力系数能达到 5.0 以上^[22]。

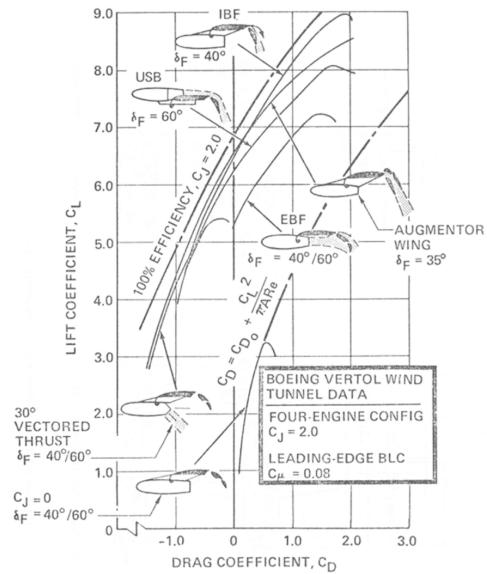


图 16 不同动力增升效果比较
Fig. 16 Comparison of powered lift concepts

因此,对于下一代大型军用运输类飞机而言,翼身融合及进排气一体化动力增升设计是大趋势。基于翼身融合设计的发动机布置方式,较常规翼吊方案更能减小迎风面积,同时利用发动机进气和喷流来实现边界层抽吸或吹气等环量控制效果,实现高升力动力增升效果,提高全机低速短距起降和高速高气动效率巡航能力。

3.2 先进节能动力一体化设计

常规大型运输类飞机一般采用大涵道比涡扇发动机,但随着 GTF、Ultra Fan、Open Rotor 以及油电混动动力等先进推进技术的不断发展成熟,相应的气动/推进一体化设计集成度不断提高。这需要充分理解认识相关动力推进的技术特点,并高效地融入 BWB、HWB 等非常规布局设计中。

同时,采用气动/推进一体化设计的翼身融合

类布局,较常规翼吊动力方案更能减小雷达反射面积,适当结合 S 弯进气道、背负式进气以及排气冷气掺混等设计,能进一步降低全机 RCS 和红外辐射,提高战场生存能力。

3.3 具备一定隐身能力

随着隐身与反隐身技术的不断发展和扩散,未来处于作战体系核心节点的空中武器装备,特别是大型军用运输机/加油机等运输类飞机,具备一定程度的隐身能力很可能成为未来基本配置。

传统大型运输机、预警机和加油机均定位于防区内后勤补给、空中指挥、空中加油等低烈度应用环境,但随着隐身战斗机、远程防空导弹以及自主隐身巡航弹等先进远程智能武器的快速发展,不具备一定隐身能力的大型运输类飞机将面临巨大威胁,其投送/加油/预警指挥的活动范围将被严重挤压,这对未来战争的作战效能将产生显著影响。因此,下一代大型军用运输类飞机将具备一定的隐身能力,例如美 SACD 项目中波音和洛马公布的飞机概念图均考虑了隐身设计,一定程度上降低全机 RCS,扩大其作战范围和应用场景。

3.4 兼容多任务模块化设计

大型军用运输类飞机不仅作为运输机运送重型装备和物资,还能改装用于空中加油机、预警机甚至武库机。这需要在设计之初充分考虑,特别是多任务模块化设计,例如将货舱直接装载大容量油桶并加装空中硬/软式加油装置即可作为大型隐身加油机;同样,设计内埋弹仓或货舱空中投放装置可作为空中隐身武库机。

4 作战应用趋势

下一代大型军用运输类飞机的战场应用场景较多,包括海外远程战略力量投送、高原山地装备物资运输、空中加油/预警等。另外,随着未来战场模式的转变,该类飞机将可能发挥更加重要的作用。

4.1 大型隐身加油机搭配隐身战机群

美国针对反介入/区域拒止潜在打击方案及作战效果设想图如图 17 所示,其中 F-35 和 F-22 等隐身战机任务状态作战半径有限,而研发作战半径

大、机动性强的先进隐身战机成本高昂且技术复杂,采用能接近敌防区边缘的大型隐身加油机与之搭配,能显著提升隐身战机作战半径,相较小型隐身无人加油机 MQ-25,其作战规模和强度更大,打击范围更广。



图 17 美针对反介入/区域拒止潜在打击方案及作战效果
Fig. 17 Potential solutions and strike effects of the US against A2/AD

4.2 大型空中隐身武库机

随着各类型空空导弹、反舰导弹、巡航弹等先进导弹技术的发展,未来作战配置和攻击模式多种多样,而现有战机载弹数量和类型有限,一旦起飞弹药不能更换和填充,这种攻击模式很难适应瞬息万变的战场环境。

同时,在飞行器设计中,不同作战应用的飞行器性能需求有所不同,很难兼顾所有性能指标,例如空中格斗型和轰炸型飞行器所追求的性能指标不同,其性能权衡情况如图 18 所示。一般空中格斗型飞机偏重高推重比、机动性等指标,其隐身能力、全机重量、作战半径以及载弹量均会有所下降。

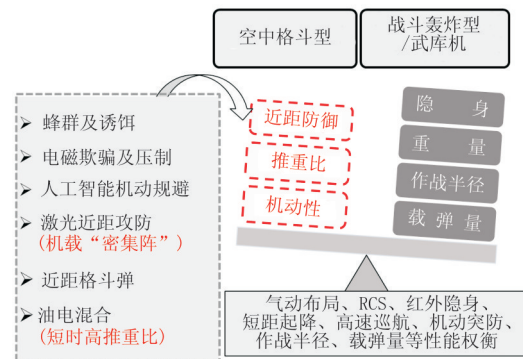


图 18 隐身武库机布局设计能力权衡
Fig. 18 The ability selection of the stealth arsenal aircraft

随着机载激光定向能武器、蜂群诱饵技术、油电混合技术等新技术的不断发展成熟,未来战斗轰

炸型飞行器能在近距防御、短时高推重比以及机动突防等能力上大幅提升,满足低烈度防区边缘或交战区的运输/加油/预警指挥/武器投放等战场支援能力。

因此,具备大载重的大型军用隐身运输类飞机可充当空中武库机,进入敌防区边缘或威胁较低的交战区,大量发射导弹攻击对方敏感目标。

4.3 穿透性无人集群投放平台

近年来,无人集群技术发展迅速,成为各国军事力量的重点发展方向。未来前沿战场高消耗低成本的无人机/自主弹需要空中载体大量投放,这对空中载机的货舱容量、载重能力以及防区边缘生存能力等要求较高。其中可采用战斗机等机载投放的小型无人蜂群(微型无人机)活动范围小,作战效果有限。而航程较远、打击能力较强的无人集群(巡航弹、小型无人机等)则对载机要求较高,此时大型军用隐身运输类飞机可大量携带,并进入敌防区边缘或威胁较低区域发射。

4.4 穿透性武装力量突击平台

在需要地面武装力量进入的作战场景中,具备低空空投或野战跑道起降能力的隐身运输机意义重大,可将轻型装甲车及突击队运输到敏感区域,完成具备较强火力支援的突击任务。

此外,基于下一代大型军用运输类飞机的高功率隐身电子战平台、空中预警指挥平台等均有一定作战应用潜力。

5 一种分布式涵道风扇布局

为了更好地探索运输类飞机非常规气动布局的特点,基于中国空气动力研究与发展中心基础和前沿技术研究基金资助的公开项目,正在开展一种HWB油电混合分布式涵道推进布局设计与研究工作,包括3.5 m翼展缩比验证机加工和试飞。该HWB油电混合分布式涵道推进布局的外形示意图如图19所示,其中涡扇动力内置于翼身融合段,配合S弯进气道布置以提高隐身性能,同时翼根后缘部分的宽距吹气襟翼设计能提高动力增升效果,减小红外辐射;分布式电动涵道风扇动力采用尾部背负内埋布置,一是达到上翼面附面层抽吸的目的,二是电动推进系统相对涡扇动力系统而

言,对进气畸变不敏感,三是提高隐身性能。同时具备俯仰方向偏转和反推能力的涵道风扇尾喷口,能提高起降、近地空投状态的俯仰和偏航配平能力以及着落距离,达到减小尾容积,提高巡航升阻比的目的;尾部舱门采用位于涵道风扇之间的“蚌”式上下开合设计,便于大型货物装载。该3.5 m翼展缩比验证机低速带动力内外流一体化模拟云图如图20所示。

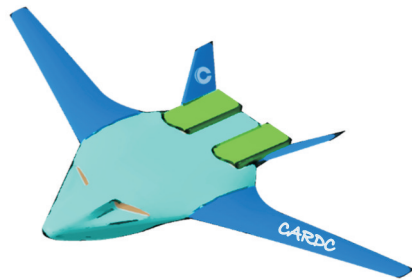


图19 一种大型运输类油电混合推进布局概念图

Fig. 19 The concept of a large stealth transport with TeDP

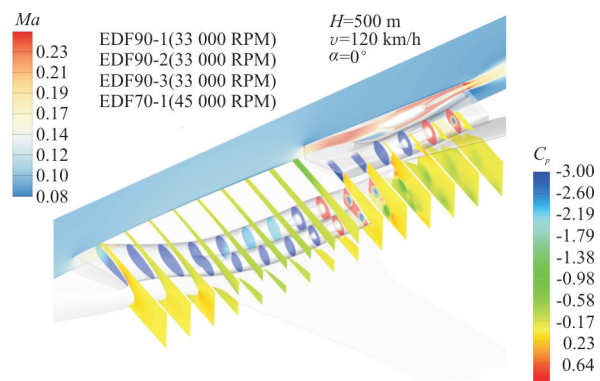


图20 低速带动力内外流一体化模拟云图

Fig. 20 The contour of internal and external flow integration simulation at low speed

采用油电混合动力能在一定程度上降低全机推重比对燃油发动机推力的依赖度,特别是起降阶段可利用发动机和蓄电池同时输出功率,获得短时高推重比。在部分动力失效情况下,也可利用蓄电池作为应急能源,为飞机提供一定时间的应急动力。

6 结束语

通过梳理国外下一代大型军用运输类飞机的公开资料和研究报告,初步分析其发展思路和应用趋势,特别是国外已开展的预研工作,包括关键技术凝练和布局方案优化,以及风洞试验、数值模拟

和缩比验证机模型飞行等多种手段进行的系统分析评估,获得较为清晰的技术路线和发展趋势。同时,国外已开展的相关试验研究对于解决气动布局、高升力增升系统、飞行控制技术下一代大型军用运输类飞机核心问题意义重大,能显著提高关键技术的成熟度,为其后续型号研制提供技术支持。

国内相关研究报告相对较少,因此,下一步将继续开展油电混合分布式推进等创新布局设计与缩比验证机飞行试验等工作,为我国非常规气动布局关键技术等研究提供参考。

参考文献

- [1] 徐顶国,艾俊强,雷武涛,等. 国外新一代轰炸机隐身特性需求分析[J]. 航空工程进展, 2018, 9(4): 451-457.
Xu Dingguo, Ai Junqiang, Lei Wutao, et al. Analysis on stealth requirement of the next-generation bomber[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2018, 9(4): 451-457. (in Chinese)
- [2] Webb G W. Aerodynamic development for efficient military cargo transports[R]. AIAA-83-1822, 1983.
- [3] 王洛. C-17 飞机简介及设计特点分析[J]. 航空科学技术, 2006(2): 11-15.
Wang Luo. Brief introduction and analysis of design characteristic of C-17[J]. Aeronautical Science and Technology, 2006(2): 11-15. (in Chinese)
- [4] Nangia R K, Zeune C, Blake W. Operating efficiency of military jet transports[R]. AIAA-2009-44, 2009.
- [5] 海军,程龙. 对加快我军航空运输装备建设发展的若干思考[J]. 国防交通工程与技术, 2014(4): 4-7.
Hai Jun, Cheng Long. Reflection on speeding-up the construction and development of our military airlifting equipments[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2014(4): 4-7. (in Chinese)
- [6] Potsdam M A, Page M A, Liebeck R H. Blended wing body analysis and design[R]. AIAA-97-2317, 1997.
- [7] Roman D, Allen J B, Liebeck R H, et al. Aerodynamic design challenges of the blended-wing-body subsonic transport[R]. AIAA-2000-4335, 2000.
- [8] Liebeck R H. Blended wing body design challenges[R]. AIAA-2003-2659, 2003.
- [9] Liebeck R H. Design of the blended wing body subsonic[J]. Journal of Aircraft, 2004, 41(1): 10-25.
- [10] 严仁达. 国外亚音速大型飞机的气动布局综述[J]. 航空工程进展, 2010, 1(2): 120-124.
Yan Renda. Aerodynamic layout summary of subsonic large aircrafts abroad[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2010, 1(2): 120-124. (in Chinese)
- [11] Hooker J R, Wick A T. Design of the hybrid wing body for fuel efficient air mobility operations[R]. AIAA-2014-1285, 2014.
- [12] Wick A T, Hooker J R, Clark C M, et al. Powered low speed testing of the hybrid wing body[R]. AIAA-2017-0010, 2017.
- [13] 李伟,黄敏,梁兵兵,等. X-48 混合飞翼技术验证无人机的发展与分析[J]. 飞航导弹, 2014(2): 20-24.
Li Wei, Huang Min, Liang Bingbing, et al. Development and analysis of X-48 hybrid flying wing technology verification UAV[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2014(2): 20-24. (in Chinese)
- [14] Boeing X-48C blended wing body research aircraft completes flight testing [EB/OL]. [2019-01-08]. <https://www.boeing.co.uk/news-media-room/news-releases/2013/april/x48c-flight-testing-ends>, 2013.
- [15] Zeune C H. Enabling speed agility for the Air Force[R]. AIAA-2010-349, 2010.
- [16] Zeune C H. An overview of the Air Force's speed agility concept demonstration program [R]. AIAA-2013-1097, 2013.
- [17] Shweyk K M, Hyde D C. Overview of the aerodynamic model and flight control system of a speed agile concept demonstrator[R]. AIAA-2013-1101, 2013.
- [18] Harrison N A, Vassberg J C, Dehaan M A, et al. The design and test of a swept wing upper surface blowing(USB) concept[R]. AIAA-2013-1102, 2013.
- [19] Wick A T, Hooker J R, Barberie F J, et al. Powered lift CFD predictions of a transonic cruising STOL military transport[R]. AIAA-2013-1098, 2013.
- [20] Wimpres J K, Newberry C F. The YC-14 STOL prototype: its design, development, and flight test[M]. USA: AIAA Case Study, 1998.
- [21] Hyun D K, Jeffrey J B, Scott M J. Low noise cruise efficient short take-off and landing transport vehicle study[R]. AIAA-2006-7738, 2006.
- [22] Stoll A M, Bevirt J, Moore M D, et al. Drag reduction through distributed electric propulsion[R]. AIAA-2014-2851, 2014.

作者简介:

杨小川(1988—),男,硕士,工程师。主要研究方向:旋转机械数值模拟、飞行器总体设计。

毛仲君(1979—),男,硕士,副研究员。主要研究方向:飞行器总体设计。

汪华松(1967—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞控硬件及软件系统设计。

贾涛(1987—),男,硕士,助理研究员。主要研究方向:飞行器控制律设计、智能编队控制技术。

孟德虹(1982—),男,硕士,副研究员。主要研究方向:计算空气动力学、气动弹性耦合计算。

黄勇(1970—)男,博士,研究员。主要研究方向:计算空气动力学、CFD 优化设计。

(编辑:马文静)