

国外射流飞行控制技术发展及前景分析

2019年8月,美国国防预先高级研究计划局(DARPA)发布了“带有效应器的革命性飞机控制”跨部局公告,旨在演示验证采用射流飞行控制技术之后飞机的飞行品质,解决工程应用问题。此前,英国“岩浆”无人机于2019年5月成功完成使用射流飞行控制系统的首飞,表明国外射流飞行控制技术日趋成熟。该技术一旦实用化,可能对飞机设计带来较大影响。

1 技术原理

飞机通常在机翼和尾翼上布置襟翼、副翼、方向舵、升降舵等操纵面,飞行员通过控制操纵面偏转,改变翼面的形状,影响翼面流场,从而控制升力/阻力分布及变化,产生控制力矩,达到改变飞行状态、保持飞行姿态或改善飞机起降性能等目的。射流飞行控制技术则是沿飞机翼面喷射高速流动的气体或通过射流控制发动机排气方向,形成偏转力矩,以控制飞机的俯仰、滚转和偏航,达到控制飞机的作用。

射流飞行控制技术主要有两种控制途径。一是机翼环量控制,是将部分发动机引气压缩后通过喷嘴沿翼面向后缘喷出,形成偏转力矩,通过调节喷气流量可直接控制偏转力矩大小,起到与控制操纵面偏转相同的飞行控制效果;二是射流推力矢量,将部分发动机引气压缩后,经转向机构从发动机尾喷口后面吹向发动机排出的气流,使发动机排气转向,并且通过调节引气流量来控制发动机排气偏转程度,达到飞行控制的目的。

2 发展情况

迄今,北约组织、英国BAE系统公司已对射流飞行控制技术进行了较为持续、系统的研究,并开始进入装机试飞阶段,DARPA也正在启动研究工作。

2.1 北约组织“创新控制效应器”项目

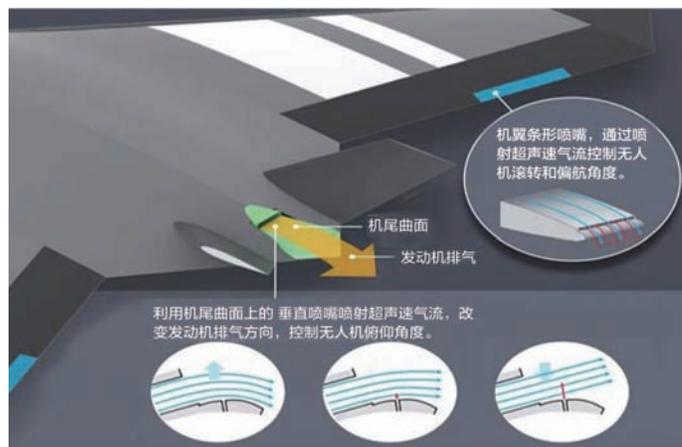
北约组织从20世纪70年代开始实施“创新控制效应器”项目,开发机翼翼尖和中段前缘喷气、机翼后缘喷气和射流推力矢量等射流飞行控制技术,寻求替换传统襟翼等。但在当时,该技术所需发动机引气量过大,对飞行性能的影响难以承受,导致研究进展缓慢。

2013年,随着飞机、发动机和增材制造等技术发展,北约组织的科学与技术机构联合英国BAE系统公司、美国洛马公司、美国空军科学研究办公室、英国国防部国防科技实验室等成立AVT-239任务组,决定对“创新控制效应器”(ICE)技术应用于未来无人机系统开展5年性能评估。评估工作针对两款有可能应用射流飞行控制技术的无尾布局飞机开展,一种是采用 65° 后掠三角翼的ICE-101,另一种是采用 53° 后掠 λ 翼的“赛肯”(SACCON,“稳定和控制技术构型”的缩略语)。任务组为开展评估而构想了典型想定的三个飞行阶段,分别是:在9150m高度分别以马赫数0.9(ICE-101)和0.8(“赛肯”)“进入战场”;以规避等机动动作“退出战场”和“起降”。

聚焦“进入战场”的第一阶段评估于2017年12月完成,结果是:“进入战场”过程中,控制飞行姿态所需的引气量是发动机总引气量的3%(ICE-101)或1.8%(“赛肯”),可以承受;在此过程中,射流飞行控制系统对航程的影响为1%,可以接受;“进入战场”阶段,机翼后缘喷气的飞行控制效果与机翼翼尖和中段前缘喷气相比更好;“退出战场”和“起降”阶段,机翼翼尖和中段前缘喷气则更适用;对于无尾布局的飞机,必须使用射流推力矢量来控制飞机偏航。北约组织现已规划了下一阶段评估,着重对“退出战场”和“起降”阶段继续开展深入评估,并评估飞机射流飞行控制系统的故障率和冗余架构设计。

2.2 英国BAE系统公司的相关研究

2004年起,英国BAE系统公司在英国工程与物理科学委员会的支持下,联合克兰菲尔德、莱斯特、利物浦等多所大学,实施了“无操纵面飞行器综合工业研究”项目。此间,该公司在其“日蚀”无人机上测试了机翼环量控制和射流推力矢量技术。2010



射流飞行控制系统的两种主要控制途径图解

年,该公司集成项目研究成果,开发出“恶魔”无人机用于射流飞行控制系统试飞,虽保留副翼作为备份,但在试飞中未使用。

2012年起,该公司联合曼彻斯特大学,通过增材制造技术制造了射流喷口、机翼后缘和机尾等部件,基于 53° 后掠入翼的“赛肯”方案开发了“岩浆”无人机,第一架机仅采用传统舵面飞行控制系统,于2017年9月首飞,验证了飞行性能;第二架仅采用射流飞行控制,于2019年5月首飞,验证了技术可行性。BAE公司将继续推进射流飞行控制工程化。

2.3 DARPA 启动射流飞行控制技术项目研究

DARPA在2018年8月发布了“为飞机设计流动控制方法”项目信息征询,旨在演示无舵面的飞机达到一级飞行品质,并通过射流飞行控制完成极短距起降。2019年8月又发布“带有效应器的革命性飞机控制”项目跨部局公告,寻求在飞机设计早期引入射流飞行控制技术和相关设计工具,依托射流飞行控制技术优化飞机布局。该项目拟分4个阶段,分别关注设计开发过程、控制回路分析和建模技术、部件测试/制造/组装/地面试验、飞行演示验证。

3 技术优势和难点

射流飞行控制技术若能实用化,有望提升飞机的隐身等性能,并给飞机设计带来重要变化。但是,该技术的全面实用化仍有技术难点待突破。

3.1 技术优势

采用射流飞行控制系统可为飞机带来如下优势:(1)减小机翼外形尺寸。通过取消布置在翼面外缘的襟翼、副翼等操纵面,翼面外形尺寸将明显缩小,飞机结构重量(质量)也随之减轻。(2)降低使用维护成本。可取消或减少操纵面及其驱动机构,从而减少零部件数量,提高系统可靠性;同时还可规避操纵面频繁的检查维修需求,既降低成本又提高飞机使用效率。(3)降低飞机噪声。襟翼、副翼等操纵面是飞行噪声的一个重要来源,用射流飞行控制系统代替后,飞机噪声将大幅降低,这对提高民用飞机的乘坐舒适性尤为有用。(4)提高军用飞机隐身性能。对军用飞机来说,襟翼、副翼等操纵面及为安装这些部件而形成的一系列尖锐边缘、开口、凸出物、台阶、缝隙等,是不可忽视的雷达反射源。采用射流飞行控制系统后,这些反射源几乎全部消失,加上机翼尺寸减小,可有效降低雷达截面积(RCS)。(5)提高机动性和敏捷性。射流飞行控制系统与其他技术手段相结合,有望显著提高未来军用飞机的机动性和敏捷性。

3.2 当前存在的主要难点

射流飞行控制系统真正实用化还面临一些难点,主要有:(1)飞机能耗增加。通过液压机构等驱动操纵面的能耗较低,采用射流飞行控制系统需发动机额外提供能量,并配备专用辅助装置来压缩空气以提供高速射流,能耗增加。(2)可靠性难以保证。遇到发动机故障、燃油耗尽、翼面表面遭到破坏等情况时可能失去飞行控制能力。(3)适用范围受限。目前射流飞行控制系统可用于代替飞机翼面后缘的襟翼、副翼、方向舵等,如何替代前缘襟翼,尚待进一步研究和解决。(4)制造比较困难。射流喷口内部具有复杂形态、结构,以实现射流流场、状态参数的设计,最大化射流飞行控制效果;翼面后缘和机尾须设计结构复杂的突起、台阶、孔等曲面结构,以使高速射流在机翼环量控制过程中与翼面始终贴合;曲面材料须承受高速射流的气动热,避免因变形影响飞行控制效果。

4 几点看法

射流飞行控制系统可能大幅提高军、民用飞机性能,有望成为使未来飞机性能取得突破的重要源泉,将会很大程度上拓展未来飞机概念设计的空间,给新一代飞行器的设计思想带来革命性影响。该技术虽还面临一些挑战,但“岩浆”无人机的成功首飞表明其技术成熟度已有明显提高。随着国外航空强国持续推进研发,未来可能首先应用于亚声速无人机,特别是小型隐身无人机。

我国南京航空航天大学等机构也开展了射流飞行控制技术开发及原理样机试制和试飞,积累了基础技术和工程经验,但实际应用还有较大距离。需求牵引方面,可借鉴北约组织的经验,分任务、分飞行阶段开展射流飞行控制系统的适用性、使用效能等分析,确保技术探索的审慎性。在效用和需求明确后,推动工业部门、大学和其他科研机构联合开发技术和产品,尽快缩小差距。

作者简介

蔡琰,中国航空工业发展研究中心系统工程研究所,高级工程师,长期从事先进飞机装备技术研究,研究领域主要集中在国外先进飞机装备研制、技术发展等方面。