



射流飞控技术正在逐渐展现部分替代飞机舵面的潜力

Fluidic Flight Control Technology is Gradually Showing the Potential to Partially Replace Aircraft Control Surfaces

徐悦 / 中国航空研究院

射流飞控技术通过引入二次射流改变飞机局部或全局绕流，产生飞行控制所需的气动力和气动力矩，实现与机械式活动舵面作用类似的“虚拟舵面”效果。射流飞控技术本质上属于空气动力学中的流动控制范畴，但又有别于传统流动控制技术。传统流动控制通过引入相关控制措施来改变流动状态，以实现飞行气动性能的增强，而射流飞控是以实现飞机飞行姿态控制和机动飞行行为目标，相对需要输入的能量大得多，对控制效率、控制精 / 准度、系统稳定性和可靠性等方面的要求极高。

相对机械活动舵面，采用射流飞控技术可以消除飞机上大量的鼓包、缝隙、尖锐边缘等雷达散射源，提升飞机隐身性能和气动性能，明显减少飞机的活动部件并降低结构重量(质量)，使飞机的机械故障及维护工作量大幅下降，节省下的布局空间可装载更多的燃料或其他载荷。可以预见，如能合理地综合利用各类射流飞控技术，实现完全替代飞机上的全部活动舵面，将有可能发展出一种综合效能跨越式提升的射流飞控飞机，实现飞行器设计技术的革命性飞跃。

世界范围内的多家航空机构早已对射流飞控技术表现出浓厚兴趣。英国 BAE 系统公司 (BAE System) 最早开展了射流飞控技术集成演示验证，至今已经发展出一系列小尺寸的专用技术概念验证机，尤其在 2010 年和 2017 年先后发布了两款相对成熟的射流飞控无人机 DEMON 和 MAGMA，机上均集成了环量控制机翼和射流推力矢量两类射流飞控技术进行协同控制。北约科技组织 (STO) 从 2013 年开始进行多种主动流动控制 (active flow control, AFC) 技术的评估，这其中包括边界层分离控制、前缘吹气涡流控制、等离子体控制、机翼后缘环量控制和射流推力矢量等。在其中遴选出相对高效的控制方式，并在指定的任务场景下进行详细技术论证，初步结论认为所选的控制方式可用于飞行器在不低于马赫数 0.8 的巡航速度下进入战场。

中国航空研究院 (CAE) 联合国内多家高校组成的 CAE 联合研发团队，针对射流飞控技术开展了系统性的研究。第一阶段聚焦于机翼后缘射流环量控制技术的开发与验证，自主设计的射流飞控技术验证机 α -31 分别于 2018 年和 2019 年进行了两次飞行演示验证，研发团队将继续在 α -31 上集成并验证射流推力矢量等其他可用的射流飞控技术。团队研究成果获得 2019 年中国航空学会科学技术奖和 2019 年中国通用航空创新创业大赛特等奖，充分证明了射流飞控技术已开始得到国内航空业界的高度关注和广泛认可。

当前，射流飞控技术已取得了一些关键性突破，但是要想使其尽快进入工程实用阶段，仍然存在巨大挑战。例如，高速飞行时的超声速吹气控制与等比例控制，射流控制效率与发动机引气动力损失的权衡，采用气体作为操控介质的系统维护和失效安全等关键问题。此外，射流飞控技术在民用航空领域同样具有很大的发展空间，但在产品推广过程中需要面对民众在安全性方面的顾虑，有必要充分开展从无人到有人、从小型到大型、从货运到客运的多层次技术演示验证，打消公众疑虑。

专辑组稿专家

徐悦，中国航空研究院，研究员、副总工程师、航空工业特级技术专家、中国航空学会高级会员、中国航空学会空气动力学分会及舰载机分会委员、《航空科学技术》青年编委。长期从事新概念飞行器、超声速民机、空气动力学等方面的研究工作。研究成果获 2010 年和 2019 年军队科技进步奖与 2019 年中国航空学会科学技术奖等。

