

离散协同射流控制下的后掠翼气动特性研究

解正耀*, 赵伊冉*, 陈诚+, 黄江涛+, 许和勇*

*西北工业大学航空学院飞行器空气动力学系, 西安 710072

+中国空气动力研究与发展中心空天技术研究所, 绵阳 621000

xuheying@nwpu.edu.cn

介绍

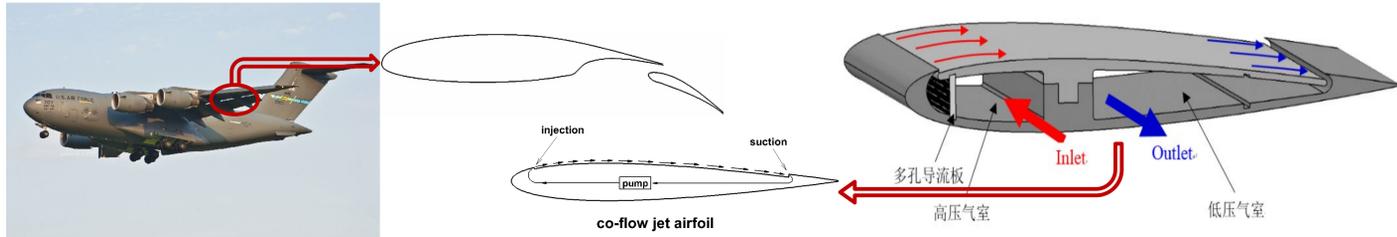
协同射流技术(Co-flow Jet, CFJ)作为一项全新的主动流动控制技术,有望在低能耗条件下实现翼型增升减阻和提高失速攻角的目标。本研究开展了基于bacj翼型的二维翼型和三维后掠机翼的协同射流相关参数影响规律研究,其中在后掠机翼上主要开展了离散协同射流的堵塞度和密集度两种参数对气动特性的影响规律。首先,对bacj翼型进行修形,得到多种不同射流槽道下沉量的CFJ翼型,研究在射流开启状态下射流槽道下沉量对CFJ翼型气动性能的影响。计算结果表明,射流动量系数较大时,随着射流槽道下沉量的增加,翼型的气动性能逐渐上升。再以bacj翼型为基准翼型生成后掠机翼,在后掠翼上布置了离散协同射流(Discrete Co-flow Jet, DCFJ)装置,通过改变相关的离散化参数(不同堵塞度、密集度)生成多种DCFJ后掠翼构型,研究了吹气口堵塞度、密集度和射流动量系数对后掠翼气动性能的影响规律,同时研究了其增升减阻效果的内在联系与相互作用机制。

研究背景

增升减阻一直以来都是飞行器设计追求的目标,为了在增升的同时最大限度地抑制流动分离,推迟失速的发生,人们提出了前缘缝翼、开缝襟翼、多段翼等增升装置。不同于以上机械式增升装置所形成的被动射流,主动射流动量可调,使用灵活。

协同射流控制在翼型上表面前缘和后缘附近分别开口,前缘开口处进行吹气,同时在后缘开口处进行吸气,且保持吸气量和吹气量相等。吹吸气通过翼型内部的气泵驱动,因此可以认为协同射流技术是一种零质量射流。

通过在翼型前缘吸力峰值处吹气,同时后缘压力最高处吸气这一独特方式,协同射流技术实现了对流动低能耗、高效的控制。研究表明施加协同射流的翼型能够显著提升升力,明显减小阻力,增大失速迎角,提高能量利用率。另外,实验结果表明,离散协同射流的增升减阻效果优于连续协同射流,并且能量利用率也高于连续协同射流,离散协同射流翼型在小迎角下有远高于常规翼型的升阻比,大迎角下有升阻比、大升力的特点。



结果和讨论

如图1-1所示,当 $C_{\mu}=0.1$ 时,不同射流槽道下沉量的CFJ翼型的升力系数都要大于bacj原始翼型,CFJ翼型的失速攻角和最大升力系数随着射流槽道下沉量逐渐提高,但射流槽道下沉量与分离前的升力系数大小基本成负相关,另外,由于考虑了气泵功耗,并将其计入有效阻力系数中,CFJ翼型的有效阻力系数几乎均高于bacj原始翼型,并且在大多攻角下随着射流槽道下沉量逐渐增大。

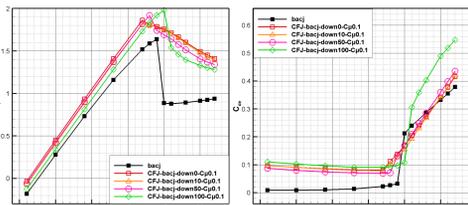


图1-1 $C_{\mu}=0.1$ 时bacj和CFJ翼型的 Cl 与 Cd

如图1-2所示,攻角为 12° 时,bacj翼型和CFJ翼型都为流动附着状态,此时射流槽道下沉量较小的CFJ翼型吹气口过渡段曲率较大,吹气口射流经过过渡段加速后速度更大,压强更小,因而升力系数更大,同时吹气口射流经过加速后到达翼型上表面的速度更大,需要消耗更多的能量,因而气泵功耗系数更大。

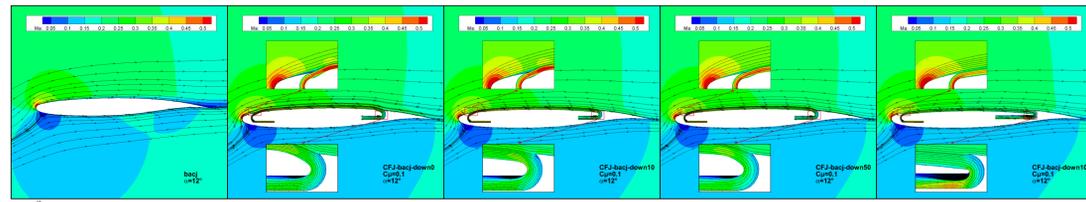


图1-2 bacj翼型和CFJ翼型在 $C_{\mu}=0.1$ 、 $\alpha=12^{\circ}$ 时的马赫数云图

如图1-3所示,攻角为 15° 时,bacj翼型已经产生了大面积分离涡,而CFJ翼型对于流动分离起到了明显的抑制作用,减小了分离区面积,仅在未控制的前缘和靠近尾缘的上翼面仍存在一部分分离。需要特别注意的是,由于吹气口和吸气口周围曲率较小,下沉100%的翼型在前缘和靠近尾缘的上翼面均未发生流动分离,此时流动仍处于附着状态,升力系数最大。

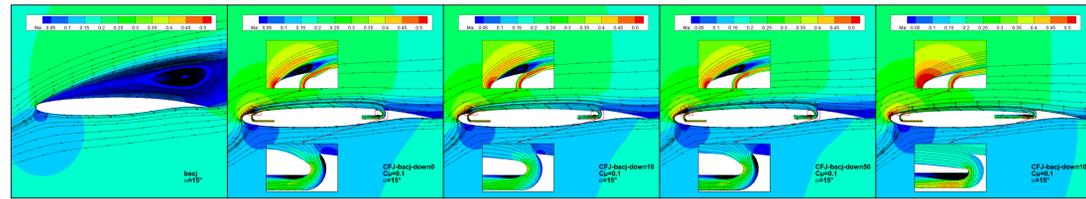


图1-3 bacj翼型和CFJ翼型在 $C_{\mu}=0.1$ 、 $\alpha=15^{\circ}$ 时的马赫数云图

表2-1 DCFJ模型参数表

序号	简称	堵片长度	吹气口长度	堵塞度示意图
1	1/3A	10.26% c	20.52% c	
2	1/3B	5.13% c	10.26% c	
3	1/2A	15.40% c	15.40% c	
4	1/2B	7.70% c	7.70% c	
5	2/3A	20.52% c	10.26% c	
6	2/3B	10.26% c	5.13% c	

表2-1为离散协同射流后掠翼模型参数。定义堵片长度与射流吹气口总长度的比值为堵塞度,堵片数量按照3组和6组分为A和B两种密集度。表中B组的密集度是A组的两倍,在堵塞度相同一致前提下,B组单个吹气口和堵片的长度只有A组的一半。

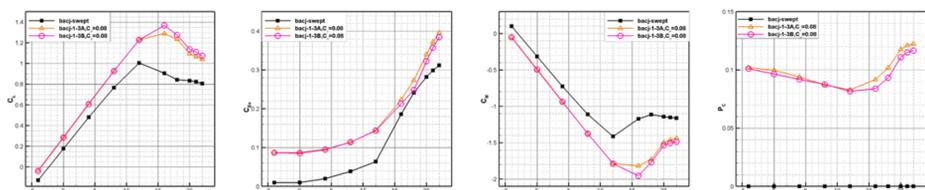


图2-4 $C_{\mu}=0.08$ 时bacj和堵塞度为1/3、不同密集度DCFJ后掠翼的气动力系数

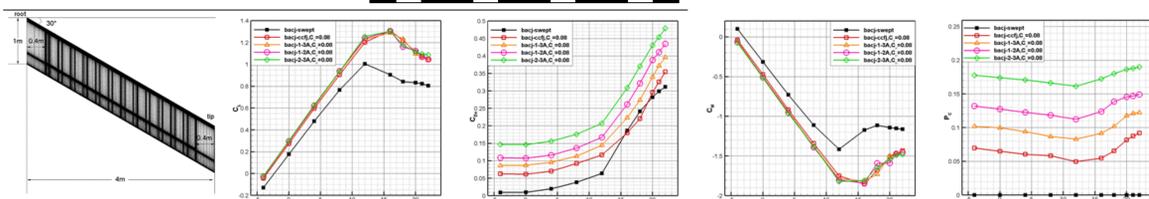
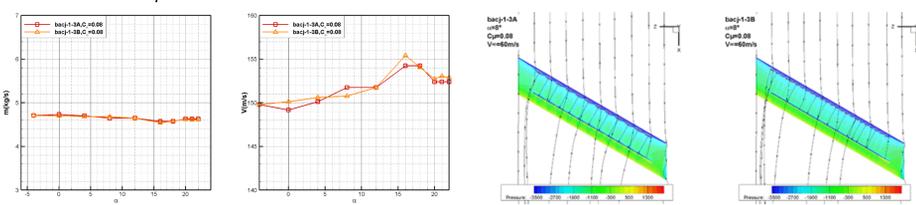


图2-2 $C_{\mu}=0.08$ 时bacj和密集度A、不同堵塞度DCFJ后掠翼的气动力系数



(a)吹气口质量流量 (b)吹气口射流速度 (c)bacj-1-3A上表面 (d)bacj-1-3B上表面
图2-5 $C_{\mu}=0.08$ 时bacj和堵塞度为1/3、不同密集度DCFJ后掠翼的吹气参数及压力云图

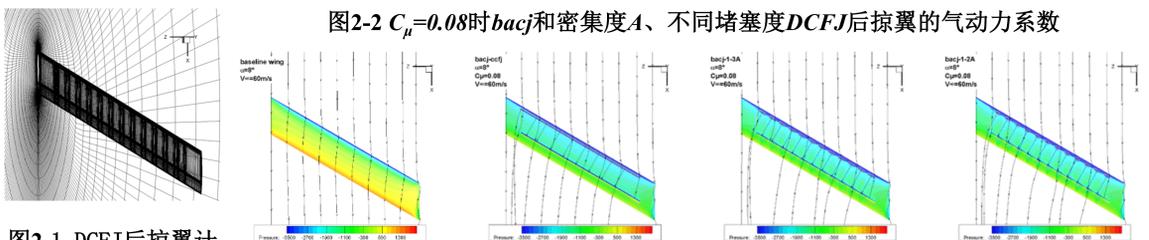


图2-3 $C_{\mu}=0.08$ 时bacj和密集度A、不同堵塞度DCFJ后掠翼的压力云图

图2-1 DCFJ后掠翼计算网格示意图

结论

- 对于二维协同射流翼型,射流动量系数较大时,随着射流槽道下沉量的增加,CFJ翼型的气动性能有明显提高。
- 对于三维协同射流后掠翼,连续型和离散型协同射流技术都能显著增加机翼升力、增大失速攻角,并且能有效地减小阻力,在同一射流动量系数下,两种后掠翼的增升效果相差不大,但离散型协同射流后掠翼的阻力系数要小很多,原因是离散型协同射流后掠翼吹气口面积更小,导致吹气口射流速度更大,气泵功耗也更大,因而离散型协同射流后掠翼的有效阻力系数大于连续型协同射流后掠翼。