

线性引射阻力方向舵研究

邓建*, 陈斌

成都飞机工业(集团)有限责任公司 技术中心, 四川 成都 610092

摘要: 由于飞翼式布局固有的气动特性, 飞翼布局飞行器的航向是不稳定的或是稳定性不足的, 需用阻力方向舵进行主动控制。针对现有的传统阻力方向舵舵面效率及线性程度不高的问题, 讨论了一种对新型阻力方向舵, 并通过CFD方法模拟分析了其特征。

关键词: 飞翼布局飞行器; 阻力方向舵; CFD

中图分类号: V212.12+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2014) 01-33-4

随着空气动力学的发展, 尤其是涡动力和非定常气动力研究的发展, 非常规布局不断出现, 飞翼式布局是其中的一种。飞翼式布局飞机没有传统布局飞机的桶状机身, 它的装载区完全浸没在巨大的机翼内^[1]。因此, 其外形按照气动最优的条件进行设计, 整个机体都成了一个升力面, 同时平尾、垂尾等外形突起部件被去除了, 这有效降低了浸润面积, 有助于阻力的减少, 提高了升阻比。

1 问题的提出

由于飞翼式布局是一种无尾的结构形式, 其航向是不稳定的或是稳定性不足的。这就要求利用飞翼上各种操纵面和推力矢量等共同来产生所需要的各种力和力矩。通过有效地利用放宽静稳定性和多元矢量推进技术, 飞翼式布局飞行器的稳定控制是可以实现的^[2]。操纵面综合了多种多面的功能, 能实现对俯仰力矩、滚转力矩、侧力系数等特性的耦合控制。由于飞翼式飞行器没有垂尾, 仅靠飞机气动布局本身的特性, 航向安定性及操纵性是很难实现的。因此, 现代飞翼式布局飞机大多通过阻力方向舵技术实现对航向控制与操纵。B-2A等飞机就是成功的范例。

阻力方向舵通过主动调节飞机两侧机翼的阻力差从而产生航向力矩。这种因阻力差而产生的航向力矩可实现

对飞机偏航操纵。但是传统的开裂式阻力方向舵位于机翼之后, 处于机翼尾迹之中, 气流流态复杂, 能量较低^[3]。这导致存在阻力方向舵效率较低、线性程度不高等问题。大多数飞翼式布局飞机尾部分集中布置了升降襟翼、升降副翼等舵面, 舵面布置空间有限^[4]。因此, 可以在阻力方向舵上、下舵面间引入少量发动机喷流, 通过引射流来大幅度提高飞翼式布局飞行器阻力方向舵效率。在效率大幅度增加的基础上, 阻力方向舵效率的线性程度可得以完美控制, 通过调节引射流落压比按需控制阻力方向舵舵面效率及线性度, 实现对航向有效控制。

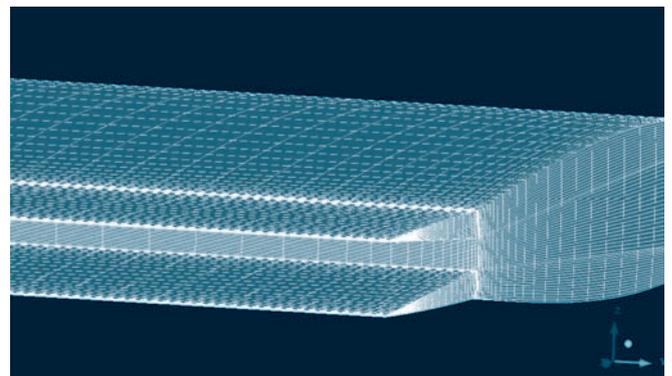


图1 阻力方向舵高能气流出口
Fig.1 High energy flow exports of drag rudder

收稿日期: 2013-06-15; 录用日期: 2013-07-20

*通讯作者. Tel.: 028-87408219 E-mail: rsw2006@126.com

引用格式: DENG Jian, CHEN Bin. Research of linear ejector drag rudder[J]. Aeronautical Science & Technology, 2013, 25(1): 33-36. 邓建, 陈斌. 线性引射阻力方向舵研究[J]. 航空科学技术, 2013, 25(1): 33-36.

2 模型建立

本文的研究对象为一段展长为2m,弦长为1m的平直机翼,翼型是相对厚度为12%的对称翼型。阻力方向舵位于机翼后部,以75%机翼弦长为起点,阻力方向舵上舵和下舵同步偏转。为了在上舵和下舵之间引入高能气流,在其间隙设立高能气流出口,见图1红色区域。

对其CFD建模后,网格量为800万结构网格,如图2所示。首先对其进行传统阻力方向舵CFD分析,外流场速度为 $Ma0.4$,雷诺数 Re 为 3.4×10^6 ,大气温度为 $-20^{\circ}C$,阻力方向舵开度为 $0 \sim 8^{\circ}$,机翼整体攻角为 0° 。采用N-S方程模拟,湍流模型为S-A模型。

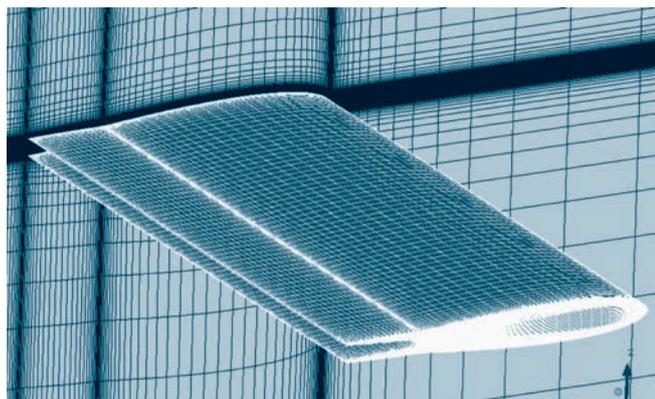


图2 CFD网格模型

Fig.2 Mesh model for CFD

从图3的模拟结果可以看到,当传统的阻力方向舵开度小于 4° 时,舵面效率维持在较低水平,当开度大于 4° 以后,传统的阻力方向舵效率有一定程度的增加,但舵面效率整体偏低,与趋势线对比可知,其线性程度不高。其原因是,阻力方向舵位于机翼后部,随着机翼弦长的增加,附面层容易堆积,阻力方向舵的气流能量相对较低;在小开度情况下,阻力方向舵容易淹没在低能量气流中,导致效率较低,见图3和4。

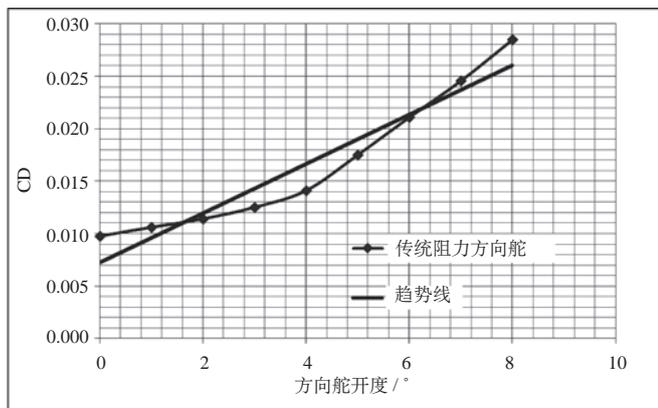


图3 传统阻力方向舵效率

Fig.3 Efficiency of traditional drag rudder

鉴于传统阻力方向舵以上特点,为了分别模拟线性引射阻力方向舵在小开度($1^{\circ} \sim 6^{\circ}$)下的舵面效率,在阻力方向舵中引入少量发动机喷流,在上舵面与下舵面间隙处设置高能气流出口(见图2),高能气流温度设定为 $600^{\circ}C$,落压比设定为1.1~2。模拟计算结果见图6~图9。

可以看到,带入喷流后,阻力方向舵的效率有显著地增强。在引射流落压比小于2的前提下,线性引射方向舵效率斜率曲线最高可达传统阻力方向舵的12倍(其中,图8中红色实线为线性引射方向舵效率斜率理论最大值)。不



图4 传统阻力方向舵不同截面速度云图

Fig.4 Speed cloud of different sections for traditional drag rudder

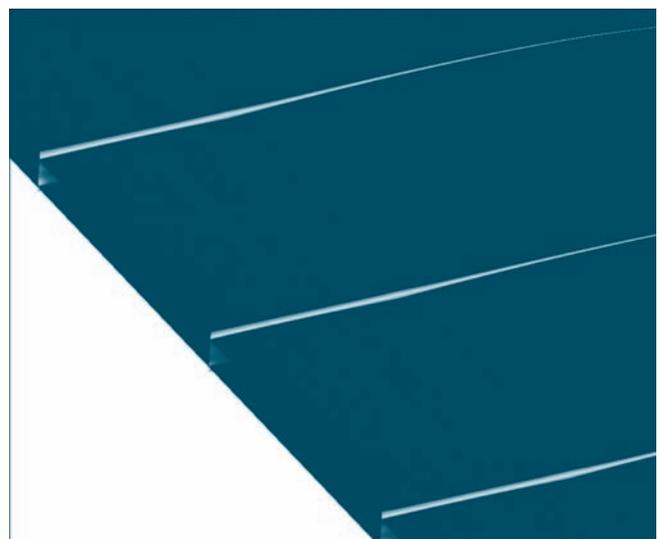


图5 传统阻力方向舵不同截面附面层厚度

Fig.5 Boundary layer thickness of different sections for the traditional drag rudder

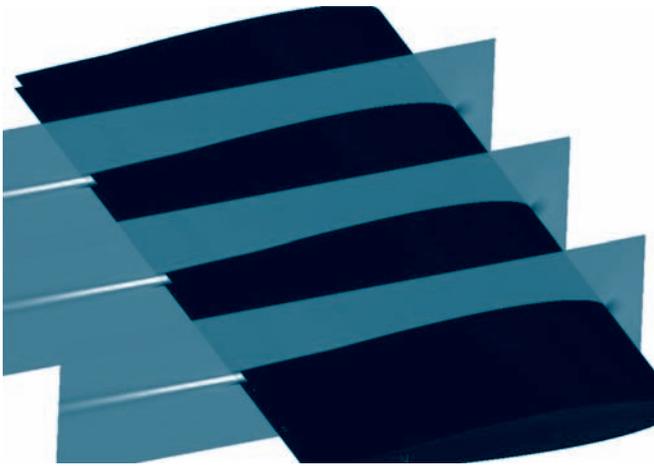


图6 线性引射方向舵不同截面速度云图

Fig.6 Speed cloud of different sections of the linear ejector rudder

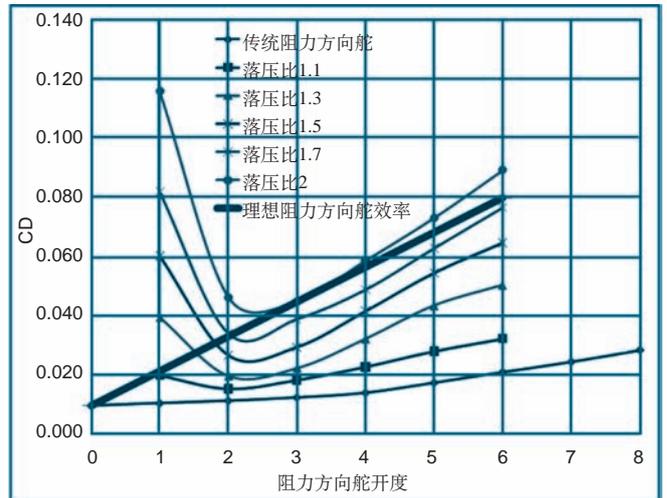


图8 线性引射方向舵效率斜率包线(落压比小于2)

Fig.8 Efficiency slope envelope of linear ejector rudder



图7 线性引射方向舵不同截面附面层厚度

Fig.7 Boundary layer thickness of different sections of linear ejector rudder

仅如此,通过控制阻力方向舵在不同开度下的引射流落压比,在线性引射方向舵效率包线以内,各开度下的阻力增量可达到相当高的线性,见图9。这将大大增强飞翼式布局飞行器航向力矩的可控性。

传统阻力方向舵在引入喷流之后,效率得到了很大的增强,这是跟喷流的引射作用相关。在阻力方向舵位置,附面层容易堆积,气流能量相对较低;在小开度情况下,阻力方向舵容易淹没在低能量气流中,特别是阻力方向舵上舵面与下舵面之间空间的流态非常复杂。高能量气流的注入

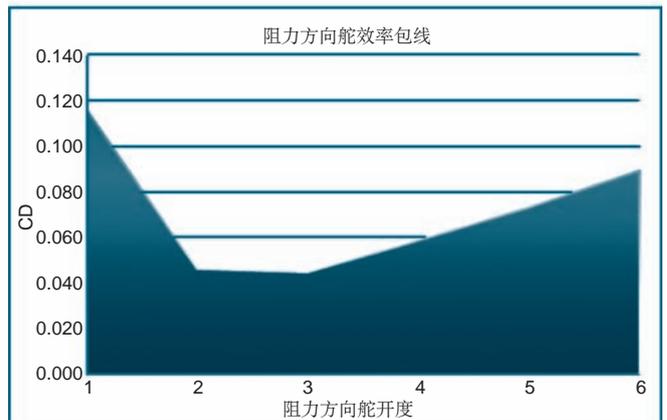


图9 线性引射方向舵效率包线(落压比小于2)

Fig.9 Efficiency envelope of linear rudder ejector

有助于改善整个速度场,削减附面层的堆积。图5和图7分别是传统阻力方向舵与线性引射阻力方向舵在相同开度下的附面层厚度图,从中可以看出明显的区别。

此外,在相同的落压比下,线性引射方向舵在小开度下的增阻效果很强。其原因是因为在小开度下,阻力方向舵的上舵与下舵其实起到了收缩喷管的作用,高能气流冲击舵面带来了额外的阻力增益。

3 结论

综上所述,与传统阻力方向舵相比,线性引射阻力方向舵不仅具有较高的绝对效率,而且其可控性强,可根据实际需要调控其效率及线性度。这对于没有垂尾、航向安

定性严重不足的飞翼式布局飞行器来说,是至关重要的。与传统的阻力方向舵相比,效率增加使得线性引射阻力方向舵可缩减舵面面积,这有利于原本就很紧张的飞翼式布局飞行器尾部舵面空间布置。但是,线性引射阻力方向舵还面临一些因素的制约。例如,由于舵面置于高能量气流的冲击之中,这对线性引射阻力方向舵的材料构成提出挑战。同时,阻力方向舵引射流的落压比智能控制技术等也是尚需研究的领域。

AST

参考文献

- [1] 飞机设计手册编写组.飞机设计手册(第6册)[M].北京:航空工业出版社,2002.
Handbook of aircraft design author group. Handbook of aircraft design (The sixth part) [M].Beijing: Aviation Industry Press, 2002.(in Chinese)
- [2] 李为吉.飞机总体设计[M].西安:西北工业大学出版社,2004.
LI Weiji. Aircraft conceptual design[M]. Xi'an: Northwestern

Polytechnical University Press, 2004. (in Chinese)

- [3] 编写组.航空气动力手册[M].北京:航空工业出版社,2002.
Aviation aerodynamic handbook author group. Aviation aerodynamic handbook [M].Beijing: Aviation Industry Press, 2002.(in Chinese)
- [4] 方宝瑞.飞机气动布局设计[M].北京:航空工业出版社,1997.
FANG Baorui The aerodynamic layout design [M].Beijing: Aviation Industry Press, 1997.(in Chinese)

作者简介

邓建(1972-) 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 气动布局设计及CFD工作。

Tel: 028-87408219

E-mail: rsww2006@126.com

陈斌(1972-) 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 气动布局设计及CFD工作。

Research of Linear Ejector Drag Rudder

DENG Jian* CHEN Bin

Research and Development center, chengdu aircraft & industrial group Ltd. Corp., Shi chuan Chengdu, 610092, China

Abstract: Because of the connatural characteristic of tailless layout, tailless UAV 's directional static stability is not enough. So, directional control by taking the initiative by drag rudder is very necessary. But traditional drag rudder is lack of efficiency and linearity. A new type of drag rudder is discussed. It's characteristic is simulated and analysed by CFD.

Key Words: tailless aircraft; drag rudder; CFD

Received: 2013-06-15; Accepted: 2013-12-09

*Corresponding author. Tel: 028-87408219 E-mail: rsww2006@126.com