

基于公务机经济性的升阻特性优化

L/D Ratio Optimizing Design Based on Business Jet Economy

邓建 朱阿元 颜永富 / 成都飞机工业(集团)有限责任公司

摘要: 以提高公务机空气动力效率为目的, 讨论了可应用于工程实际的升阻优化技术的优缺点, 并展望了其应用前景。

关键词: 公务机; 升阻比; 优化

Keywords: business jet; L/D ratio; optimization

0 引言

与军用飞机不同,民用飞机强调经济性、安全性和舒适性。民用飞机要在市场竞争中取得一席之地,必须具备经济竞争力。对于占据民机中高端市场的公务机而言,在市场竞争中具备较高的性能显得尤为重要。

直接使用成本(DOC)是体现民机经济性的重要参数,它取决于诸多因素,如研制费用、使用年限等。在其他变量大致相同的情况下,民机的巡航因子 $Ma \cdot K_{cu}$ (Ma 为巡航马赫数, K_{cu} 为巡航升阻比)成为衡量飞机运营经济性的一个重要变量。它代表了民机的空气动力效率,因此,不断提高民机在巡航马赫数下的升阻比水平,采用各种手段来降低激波阻力、摩擦阻力,诱导阻力和干扰阻力,一直是民机设计中重要的目标。

随着飞机设计理念的进步和计算流体力学(CFD)的发展,气动减阻技术也得到了长足进步,出现了翼梢小翼、超临界机翼、紧凑式发动机短舱布局等成功的气动减阻实例。在未来可预见的一段时间内,公务机会出

现一些新的减阻方式,正是本文讨论的问题。

1 新型气动布局

当代喷气公务机的布局多为中等展弦比、下单翼、尾吊常规布局。相对而言,此种布局最为成熟也最为多见,它可使机翼保持干净的流场,升阻特性良好。近年,新型的公务机布局概念相继出现,主要有融合体(IWB)布局(图1)、升力体布局和飞翼布局。

飞翼或者IWB布局有以下优点:优良的气动载荷分布;消除了传统布局中的翼身干扰阻力;升阻特性良好。据估计,飞翼或者IWB布局公务机升阻比可达25~30,优于当今常规布局的公务机,将大大提升公务机的航程和运载能力。

但是,新型气动布局公务机也同时面临以下不足:飞翼或者IWB布局公务机由于没有常规布局中的平尾和垂尾,舵面势必布置于翼面后缘,由于尾力臂不足而造成的舵面效率不足的问题,对飞机的平衡场长(BFL)构成挑战,可能存在适航取证难题;为了不

产生较大的零升低头力矩以造成配平困难,飞翼或者IWB布局公务机可能不能采用当今主流高升阻比翼型,这势必会影响飞翼布局飞机的升阻比;相对于技术及经验成熟的常规布局飞机,飞翼或者IWB布局公务机的安定性问题、安全问题,技术成熟度等可能需要时间完善;可能存在研制难度和成本过高的问题。

2 层流减阻

人工层流及自然层流是一种减小亚声速飞机摩擦阻力的很有前途的手段,由于湍流的摩擦阻力大于层流的摩擦阻力,因此减少摩擦阻力的基本措施大致可设想为:尽可能延迟转捩的发生,扩大层流流动的区域;减少湍流流



图1 新型IWB布局公务机示意图

动的阻力。

为实现大面积的层流流动,可通过适当的外形设计调整绕流的压强分布以保持大面积的层流绕流(实现自然层流流动,NLF)或利用吹吸气进行层流流动控制(LFC)。

在现有技术条件下,如果表面加工质量足够高,小后掠角机翼的层流边界层效应能有效实现。但是现代高端公务机巡航速度的发展有越来越快的趋势,例如“湾流”G650的巡航速度达到了 Ma 0.92,在高巡航速度下,机翼的后掠角不可避免地加大。后掠效应与实现层流流动是相矛盾的,因为后掠限制了实现广泛自然层流流动的弦长雷诺数,且后掠诱导横向流动的扰动和前缘的湍流污染等。因此,即使不考虑噪声与粗糙度等因素,三维层流机翼的设计也必须考虑对横向扰动、流向扰动(如经典的二维T-S波结构)和接触线湍流污染的控制。

人工层流在理论上可以适用于任何后掠角的机翼,但要消耗一定的能量和增加结构重量,工艺和结构仍有尚未突破的技术难题。而且,对所用层流技术检查及维护的可能性是实际应用层流技术时必须考虑和解决的重要问题,因为层流机翼一旦进入湍流边界层状态,其飞行性能会严重恶化,但是随着技术的进步,上述问题将会得到一一解决。

3 主动气动弹性机翼(AAW)技术

AAW 技术中的机翼带有多个前缘和后缘控制面,在主动控制系统的操纵下,多个控制面可协调偏转,主动使机翼发生希望的弹性变形,由变形的机翼产生控制力,满足飞行特性改变的需求(图2、图3)。



图2 未来智能化AAW飞机

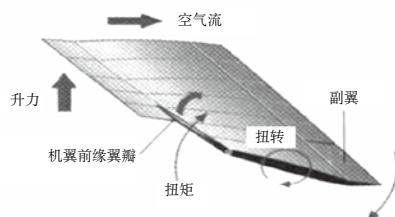


图3 AAW机翼

公务机气动布局的设计均针对特定的飞行条件,称之为设计点。在特定的设计点(升力系数、马赫数、雷诺数、飞行高度等)公务机具备优良的巡航性能,如果其飞行条件偏离设计点,升阻特性将不再是最优的,而公务机的飞行剖面中有很一部分不在最优设计点,因此,采用AAW技术可能会取得很高的空气动力收益。

但是采用AAW后,结构设计上的困难、气动弹性的不稳定性、外形变化激发器能量的缺乏、能够承受外形变化的蒙皮材料等成为亟待解决的难题。随着科学技术的不断发展,高端公务机采用AAW的设想是能够实现的,通过合理的规划可以有效减低和规避风险。

4 细肋减阻技术

由于特定的飞行条件和当今加工工艺水平,多数公务机表面的绝大部分都是紊流附面层,紊流减阻显得尤为重要。细肋减阻的主要机制是展向黏性力的变化导致细肋山谷区摩擦的减少(图4)。用近壁区涡运动的观点来解释,细肋对近壁涡运动的横向分量

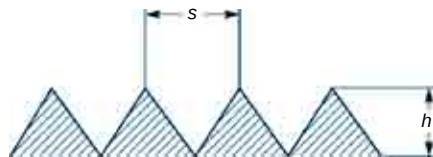


图4 细肋剖面

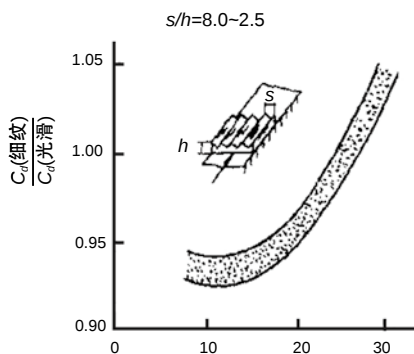


图5 细肋减阻效果实验结果

形成阻力,从而改变了展向的速度梯度。已有的细肋试验数据表明,细肋可减小湍流摩擦约6%~10%(图5)。

目前已有不少紊流减阻的概念、方法和技术,如离子风、再层流化、大涡破裂以及细肋等。其中细肋减阻技术比较成熟并已准备用于型号研制中,这是一种目前湍流减阻各种方法中比较有前途、可供工程应用的方法。关于细肋减阻的后续发展,还涉及维护经验、薄膜的快速覆盖与揭除、薄膜的生产、检验及维护等尚待解决的问题。

5 编队飞行减阻技术

诱导阻力是公务机阻力的重要组成因素。虽然随着速度的增加,诱导阻力在总阻力构成中所占的比重会降低,但是在高亚声速状态,诱导阻力在总阻力的构成中仍然占有很大的比重(约40%左右)。因此,如果能降低诱导阻力的影响,对节约油耗和降低飞机的运行成本具有很高的经济价值。现阶段,虽然可以通过加装翼尖涡耗散装置来降低翼尖涡的强度,但是作用有限,还

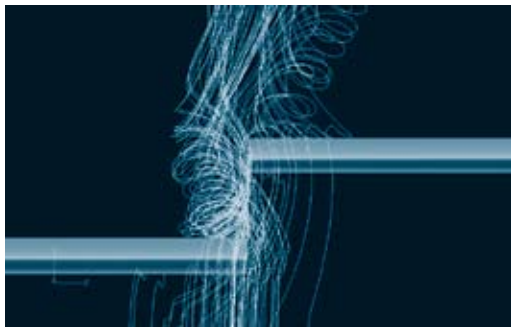


图6 翼梢涡有利干扰示意图(左)

图7 有利干扰后公务机机翼两侧涡强度示意图(右)

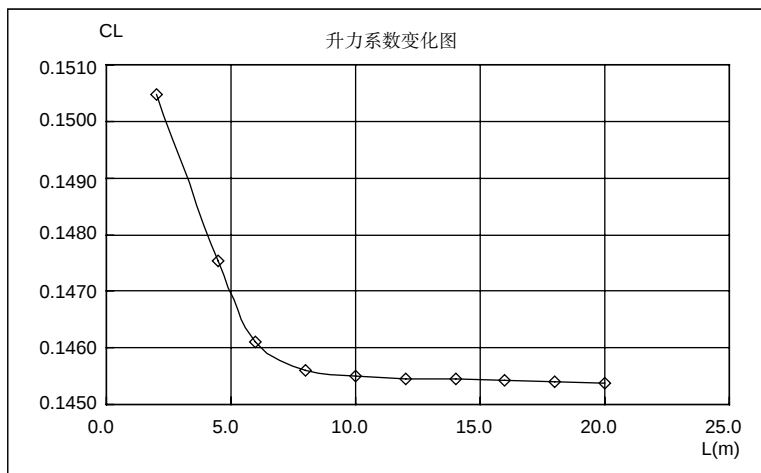


图8 机翼的升力系数随干扰强度变化示意图

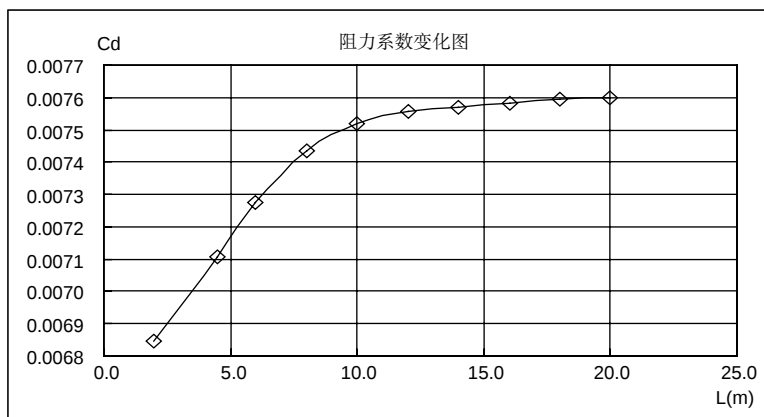


图9 机翼的阻力系数随干扰强度变化示意图

得付出一定的结构和重量的代价。公务机两侧机翼翼尖涡的涡核速度和螺旋速度大小相同,但是方向相反(图6)。因此,两架或者多架型号相同的公务机通过精确的编队飞行,让彼此的翼尖涡相互中和,可以大幅降低后方飞机的翼尖

涡强度(图7),从而降低诱导阻力(图8、图9)。

可以看到,编队飞行可以明显改善飞行效率,对于满足未来航空运输业在节能减排方面越来越苛刻的环保要求具有十分重要的意义。但是也要看到,

编队飞行的减阻效果对于距离十分敏感,仅靠人工驾驶的公务机在涡流干扰中保持精确编队飞行风险极高,因此此项减阻必须有高精度的精确编队飞行控制系统的支持。

6 结论

与鸟类相比,人类飞行器的“单位重量每千米能耗”只是其百分之一,纵观整个飞机设计历程,如何让飞行器以高升阻比进行高效飞行始终是飞行器发展的主题。上述公务机升阻特性优化方式均有其理论与工程方法支持,受制于航空科技、材料技术、飞行控制技术等,上述优化方式均未大规模出现于工程应用中。但是,随着航空科技的飞速发展,它们应用于未来公务机设计的可能性很大。

AST

参考文献

- [1] 张锡金,等. 飞机设计手册 第6册[M]. 北京:航空工业出版社,2002.
- [2] 肖业伦,金长江. 大气扰动中的飞行原理[M]. 北京:国防工业出版社,1992.

作者简介

邓建,飞机气动布局工程师。

朱阿元,飞机结构工程师。

颜永富,飞机气动布局工程师。