

基于不同 CFD 方法的机翼型架外形设计分析

谢萌 程攀 薛飞

(上海飞机设计研究院总体气动系统设计研究部,上海 200235)

Design and Analysis of Wing Jig-Shape by Different CFD Methods

Xie Meng Cheng Pan Xue Fei

(General Configuration and Aerodynamics Department of SADRI, Shanghai 200235, China)

摘要:型架外形设计涉及气动、结构以及气动同结构相互作用三个部分,通过使用 Euler 方程和雷诺平均 N-S 方程两种控制方程进行气动力计算,并将两组结果用于型架设计的气动输入,经过对比分析得到,气动力对型架设计有一定的影响,开发出更细致高效的气动力计算方法是提高型架设计准确性的重要部分。

关键词:静气动弹性;型架设计;Euler 方程;N-S 方程

[Abstract] Aerodynamics, structure modal analysis and the interaction of fluid and structure are three significant parts in wing jig-shape design. Aerodynamic force is evaluated by using Euler equation and RANS equation separately in this paper. A few differences in results are found in jig-shape analysis that uses different equations. The comparison shows that the efficient and accurate method of aerodynamic evaluation is important in wing jig-shape design.

[Key words] Static Aeroelasticity; Jig-Shape; Euler Equation; Navier Stock Equation

0 引言

型架设计是属于静气动弹性专业中的工作,在飞机设计中起着重要作用。通常飞机机翼气动力优化设计的外形是在巡航状态下的外形,也称为 1G 外形,飞机生产时的外形称为型架外形。飞机在实际飞行中会发生弹性变形,尤其是大展弦比上单翼的民用飞机,由于弯扭耦合效应,弹性变形可分解为在展向的上反弯曲变形和顺气流方向的扭转变形。将飞机的设计巡航状态外形反设计到型架外形称为型架外形设计,其准确性直接影响飞机的气动特性。本文主要研究气动力计算对型架外形设计的影响。

1 型架设计概述

本文所使用的型架设计方法流程如图 1 所示,主要分为 4 个步骤:(1)使用 CFD 方法得到设计巡航状态下的气动力分布;(2)使用插值或分区积分的方法将气动力加载至结构节点上;(3)使用 CSD 方法计算得到弹性扭转角分布;(4)由巡航外形和扭转角分布得到型架外形。从设计方法中可以看出,气动力计算、结构模拟以及气动与结构之间力传递的准确性都对型架设计起着重要作用。

2 气动力的计算

2.1 计算流体力学模型

本文针对某型民用飞机外形采用两种气动模型

进行研究。基于贴体的结构网格流场采用雷诺平均 N-S 方程作为主控方程,其在直角坐标系 Oxyz 中表示为:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F_1(U)}{\partial x} + \frac{\partial F_2(U)}{\partial y} + \frac{\partial F_3(U)}{\partial z} = \frac{\partial G_1}{\partial x} + \frac{\partial G_2}{\partial y} + \frac{\partial G_3}{\partial z} \quad (1)$$

基于非贴体笛卡尔网格流场采用 Euler 方程作为主控方程,其形式可表示为:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F_1(U)}{\partial x} + \frac{\partial F_2(U)}{\partial y} + \frac{\partial F_3(U)}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

可以发现方程(2)和方程(1)的差别是省略了右边的粘性项。当流体运动的雷诺数足够大而且只考虑定常状态下的流动,则粘性效应是可以忽略的^[1]。

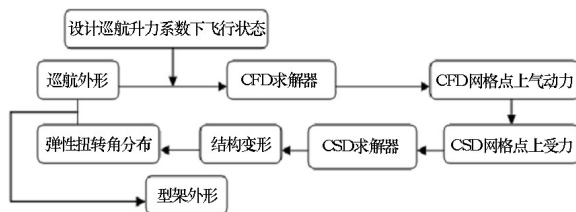


图 1 设计流程

2.2 气动力计算结果与分析

对某型民用飞机外形进行计算,两种方法的机翼展向截面压力分布比较如图 2 所示,两种方法沿机翼展向的升力分布比较如图 3 所示。

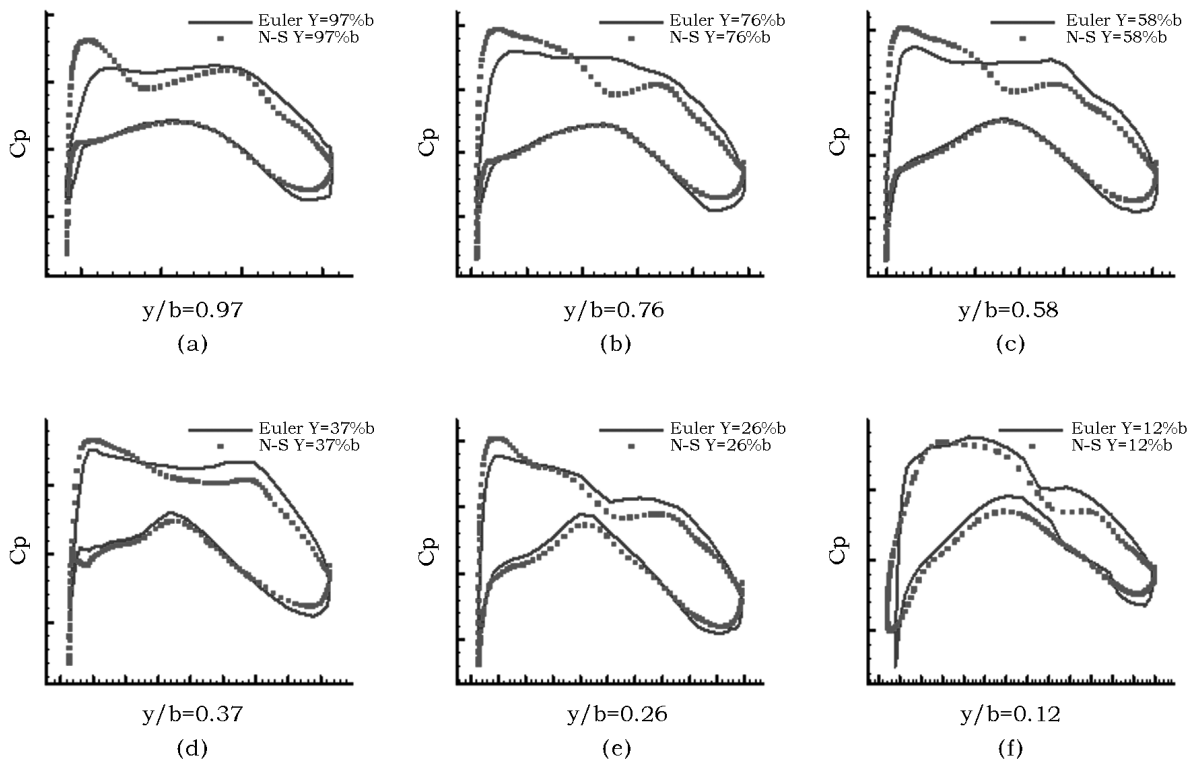


图 2 两种方法机翼展向截面压力分布比较

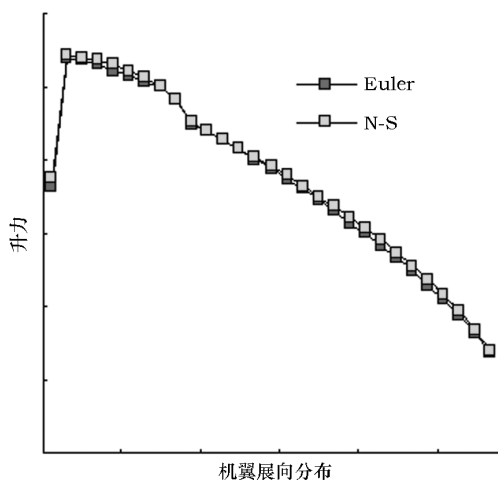


图 3 两种方法沿展向升力分布比较

从图 3 中可以看出,使用 N-S 方程计算的结果比用 Euler 方程计算的结果在前缘部分的压力差大,从而导致压心更靠前,即产生的负扭矩会比使用 Euler 方程所得到的。同时,从图 3 中还可以看出使用 Euler 方程计算的结果在压力发生较大变化时,其压心位置更加靠前,在靠近翼梢部分站位的压力分布中还可以看出使用 N-S 方程的计算结果能更好地捕捉出激波的位置。图 3 说明两者沿展向的升力值比较吻合。

2.3 型架设计计算结果与分析

从原理上讲用 N-S 方程计算的结果要比用 Euler

方程计算的结果更加准确,因为其对流动粘性的模拟更加真实,但从工程角度来看,使用 Euler 方程计算具有更高的效率,而且使用非贴体网格在飞机外形发生变形后其空间网格不需要重新划分,这在型架外形的复核工作(即从型架外形推算到巡航外形,以校核型架外形设计)中会大大提高效率。

图 4 为两种不同气动力输入的计算结果。

从图 4 中可以看出两者弯曲变形的差别不大,但是扭转变形有一定差别,在翼梢站位的扭转角相差约 0.3° , 占总变形量的 10%。这主要是由于扭转力矩的不同所造成,从图 4(c) 中可以很明显的看出。此结果同前面的气动力分析结果基本吻合,由此说明,气动力的准确性对变形计算有直接的影响,尤其是顺气流方向的扭转变形。

3 结论

从本文的研究可以发现,气动力的计算结果直接影响型架外形的设计,尤其是确保升力计算的准确性。开发针对型架外形设计更准确、更高效的 CFD 方法是型架外形设计工作的关键。同时,如何对型架外形进行复核(即从型架外形推算到巡航外形)也会遇到相应的 CFD 问题,例如动网格技术等,这些都是需要根据工程实际做更进一步的研究。

(下转第 54 页)

