

文章编号: 1000-8055(2005) 01-0018-04

翼型近尾迹流中大尺度涡结构的理论模型

龙 锴, 陆利蓬

(北京航空航天大学 能源与动力工程学院, 北京 100083)

摘要: 根据流动稳定性理论相干结构的相关理论, 提出了一种二维波模型来描述翼型近尾迹流动中的大尺度涡结构, 通过采用对近尾迹流动区域分区处理的方法计算了近尾迹区域的大尺度涡结构。计算所得的流线图, 涡量分布以及雷诺应力分布具有与实验结果相似分布规律。说明该二维模型能够较好的描述近尾迹流动中这种大尺度涡结构的运动学和动力学特性。

关键词: 航空、航天推进系统; 翼型; 湍流尾迹; 涡结构; 二维波

中图分类号: V 231. 1

文献标识码: A

Theoretical Model of the Large-Scale Eddy Structures in the Near Wake Region Behind an Airfoil

LONG Kai, LU Li-peng

(School of Jet Propulsion, Beijing University of Aeronautics and Astronautics,
Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the theory of flow instability and coherent structure, a new theoretical 2-D wave model of the large eddy structures in the near wake region behind an airfoil was proposed. By calculation, we obtained the streamlines and the vorticity contours. They were in good agreement with those of experimental observations. Also the theoretical results of Reynolds Stress variation show good agreement with experimental results. It can be concluded that this model can depict the physical mechanism of the large-scale eddy structures in the near wake region.

Key words: aerospace propulsion system; airfoil; turbulent wake; eddy structures;
2-D wave

翼型尾迹流是我们在工程实践中能够经常遇见的一种复杂流动。翼型尾迹流中的主要流动特点就是流场中存在复杂的涡系结构, 旋涡与周围流体之间, 旋涡之间, 以及旋涡与物面之间的相互作用, 支配和决定着整个流场的主要流动特性和

物体的受力情况, 例如在叶轮机机械的涡轮设计中, 上游尾迹是叶片流动情况变化的一个重要因素。因此对翼型近尾迹流动的细致研究, 可以加深翼型尾缘对翼型气动性能及其近尾迹流动所起作用的认识, 促进对尾流与其下游物体的相互作用的

收稿日期: 2004- 01- 12; 修订日期: 2004- 03- 19

联系人: 陆利蓬

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10172016, 50476004); 国家自然科学基金重点基金资助项目(50136010)

作者简介: 龙锴(1978-), 男, 湖南株洲人, 北京航空航天大学能源与动力工程学院硕士生, 主要从事叶轮机机械中的复杂流场研

© 1994-2005 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

沿中线也是 2 倍尾迹厚度的区域内, 在基于尾迹厚度 δ 和自由流速度 U_e 的雷诺数为 9 560 的情况下进行了计算, 图 1 给出了这三个区域内本文计算所得的流线和等涡量线的复合图。从图中可以清楚的看到, 在翼型近尾迹区, 具有清晰的涡形态, 而且旋涡已经交替排列起来。同时顺时针旋转的涡对应负的涡量集中分布于上半部, 而逆时

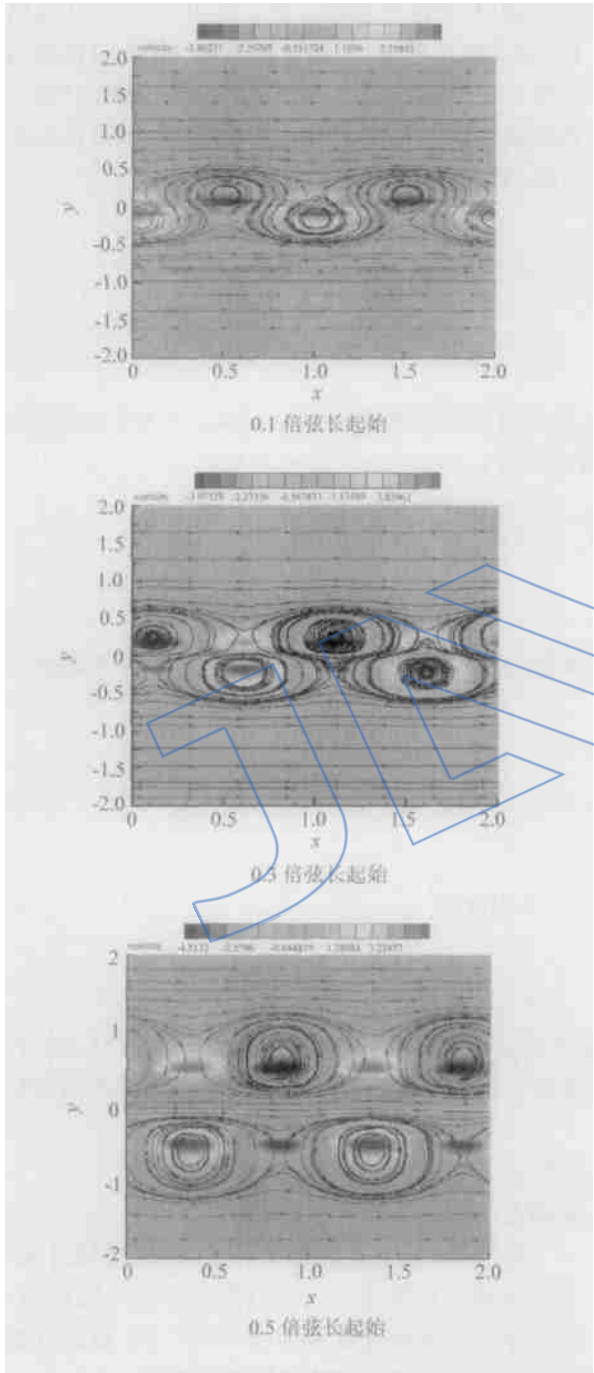


图 1 流线涡量 (x 为流向坐标, y 为法向坐标)

Fig. 1 Streamline and contours of vorticity

针旋转的涡对应正的涡量集中分布于下半部。涡量集中分布于旋涡涡核处, 这与文献[3]所观测到

的流动形态相当接近。由于旋涡的涡量较高, 而且流动速度较低, 所以旋涡具有较强的诱导能力, 可以将主流中的流体卷吸到尾迹之中, 并被相邻旋涡吸收, 使旋涡得到增强。同时由于卷吸进的主流具有较高的 x 方向动量, 从而也会使旋涡向下游迁移的速度不断提高。从计算结果图中可以发现沿流向旋涡不断增强的趋势, 而计算所得的 3 个流向位置的旋涡迁移速度分别为: $0.7U_e$, $0.75U_e$, $0.9U_e$ 。也说明了旋涡迁移速度沿流向不断提高。

从距翼型尾缘 0.1 倍弦长的旋涡速度分量 $\tilde{u}, \tilde{v}$ 的等值线分布来看, 流向速度 $\tilde{u}$ (图 2) 沿尾迹中心线呈反对称分布, 并沿流向正负相间。而法向速度 $\tilde{v}$ (图 2) 沿尾迹中心线呈对称分布, 沿流向正负相间, 峰值位置在流向上与 $\tilde{u}$ 相差约半个波长, 这与文献[4]的观测到的流动结构比较相似。

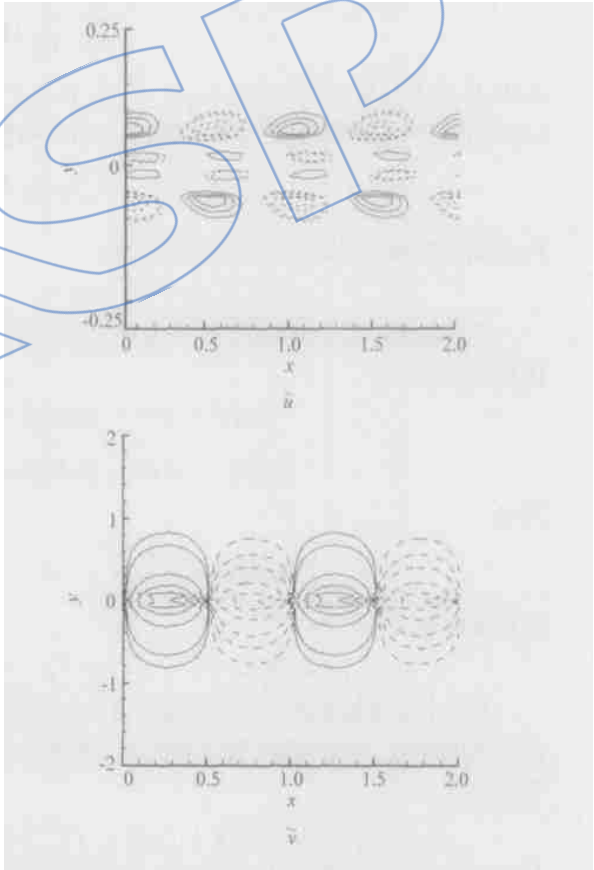


图 2 $\tilde{u}, \tilde{v}$ 等值线 (x 为流向坐标, y 为法向坐标)

Fig. 2 Contours of the periodic velocity components

本文计算了距翼型尾缘 0.3 倍弦长处的雷诺应力在一个周期内的变化。从正应力 $\tilde{u} \cdot \tilde{u}, \tilde{v} \cdot \tilde{v}$ 的分布(图 3)可以看到正应力均在一个周期内出现两次峰值, 同时当正应力 $\tilde{u} \cdot \tilde{u}$ 增大时, 对应的正应力 $\tilde{v} \cdot \tilde{v}$ 相应的处于衰减过程。从剪切应力 $\tilde{u} \cdot \tilde{v}$

· $\tilde{v}$ (图 4) 可以清楚的看到在一个周期内, 剪切应

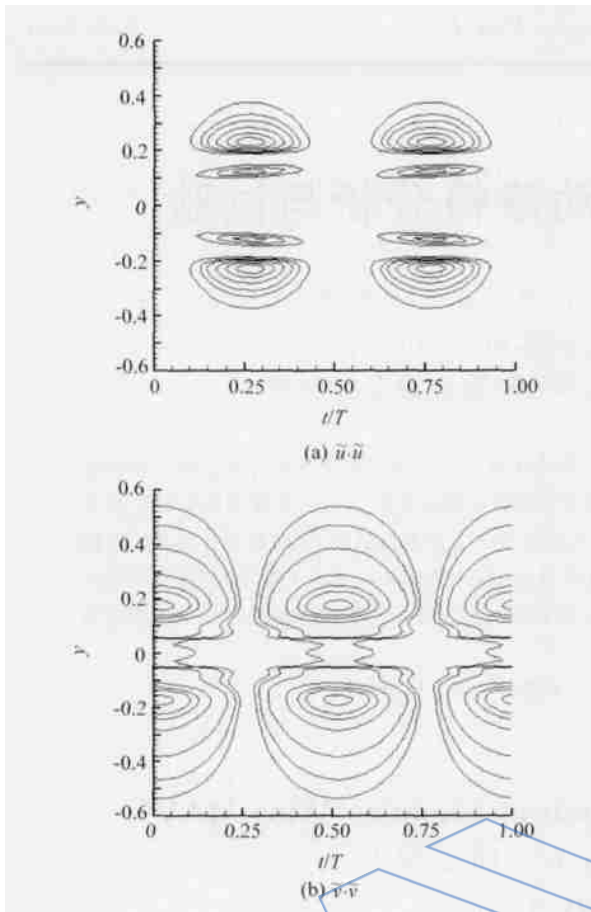


图 3 正应力 $\tilde{u} \cdot \tilde{u}, \tilde{v} \cdot \tilde{v}$ 分布
Fig. 3 Contours of normal stress

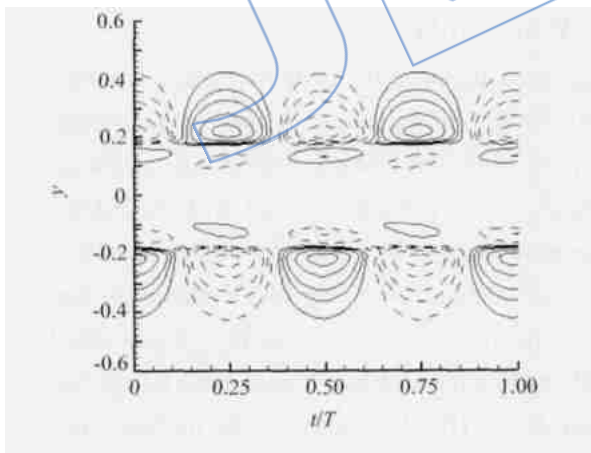


图 4 剪切应力 $\tilde{u} \cdot \tilde{v}$ 分布(x 为流向坐标, y 为法向坐标)
Fig. 4 Contours of shear stress

力会改变二次符号, 这应与前面所述 $\tilde{u}$ 与 $\tilde{v}$ 之间存在一定的相位差有关。这与文献[5]的实验结果的分布规律是一致的。

与文献[3]的实验结果相比, 本文计算结果也还有不一致的地方, 主要是实验结果中流线两个鞍点之间是一个发散的焦点, 而本文计算结果是一个中心点, 初步分析是由于本文的计算是纯二维的, 而实际流动是三维的, 这就会对二维计算中连续方程的准确性带来误差。

3 结 论

- (1) 翼型近尾迹流动中, 存在着有序的涡结构, 沿流向这种结构会逐渐发展壮大并且迁移速度也会逐步提高。
- (2) 存在一定的相位差, 导致剪切应力 在一个周期内会改变二次符号。
- (3) 近尾迹流中的大尺度涡结构是可以 用波的模型来描述。

参考文献:

[1] 罗纪生, 周恒. 湍流边界层外区大尺度相干结构的理论模型及与实验的比较[J]. 中国科学, A 辑, 1993, 36(7): 825~832.

LUO Ji-sheng, ZHOU Heng. A Theoretical Model for the Large Scale Coherent Structures in the Outer Region of a Turbulent Boundary Layers and its Comparison with the Experimental Observations [J]. SCIENCE IN CHINA (Series A), 1993, 36(7): 825~832.

[2] Kiya M, Matsumura M. Incoherent Turbulence Structure in the Near Wake of a Normal Plate[J]. J. Fluid Mech. 1988, 190: 343~356.

[3] 刘宝杰. 尾流旋涡的流动机制及其应用[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1998.

[4] Marina Ubaldi, Pietro Zunino. An Experimental Study of Unsteady Characteristics of the turbulent Near Weak of a Turbine Blade [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2000, 23: 23~33.

[5] Cetin Mazharoglu, Hasan Hacisevki. Coherent and Incoherent Flow Structures Behind a Normal Flat Plate[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 1999, 19: 160~167.