

CDA 叶型在高压头、高效率轴流 通风机设计中的应用

王殿平

(黑龙江科技学院,哈尔滨 150000)

摘 要:针对于低速 CDA(可控扩散叶型)叶型的气动特点,研究了将低速 CDA 叶型应用于高压头风机设计中的具体技术路线,以及叶型生成与空间积迭问题。在此基础上分析了 CDA 叶片风机的流场特点。

关键词:通风机;CDA 叶型;正问题迭代;三维设计

中图分类号:TK83 **文献标识码:**A **文章编号:**1002 - 6339 (2006) 01 - 0072 - 04

Application of CDA Blade Shape in the Design of High Pressure and High Efficiency Propeller Fan

WANG Dian - ping

(Heilongjiang College of Science and Technology ,Harbin ,China)

Abstract :Based on the characteristics of low velocity CDA blade shape ,this paper investigated low velocity CDA used in the design of high pressure fan and analyzed the characteristics of flow field of CDA blade shape fan.

Key words fan ; CDA blade shape ; 3D design

1 前言

轴流通风机叶轮的气动性能是决定通风机性能好坏的主要因素,叶轮是通风机中最重要的部分,它是唯一进行能量转化的元件,因此,叶轮的好坏就决定了通风机效率的高低。而其中叶轮叶片的剖面形状(叶型)又是最关键的。亚音速 CDA 叶型具有相对较好的气动性能^[1-3],在压气机行业得到了较为广泛的应用^[4]。本文对某高压轴流风机进行了采用低速 CDA 叶型的优化设计,用以验证 CDA 叶型在风机设计中应用的可行性及其相应的设计特点。

对于传统轴流式通风机设计而言,由于叶栅稠

度不大,可以把叶片当作一个相互不影响的孤立叶片,因而可利用孤立叶型的空气动力试验数据进行设计,这种方法称孤立叶型法。这种方法设计简便,试验数据完善,目前大都采用这种方法进行设计。这种方法忽略了叶片之间的影响,在低压性能范围内准确可靠,但在设计叶栅稠度大、风压高的通风机时,叶片之间的影响较大,采用上述方法设计风压高的通风机时,风机实际压力普遍偏低。因此本次设计中采用了正问题迭代设计方法,正问题迭代法采用特定的几何造型方法设计叶型,然后利用正问题全三维流场计算得到通风机的各项指标。如果指标不满足要求,则修改叶型设计再进行正问题计算。如此反复迭代,最后得到满意的叶型。

收稿日期 2005 - 11 - 30 修订稿日期 2005 - 12 - 05

作者简介:王殿平(1965~),男,黑龙江宁安人,工程师。

2 设计方法与叶片成型

采用一维气动参数计算确定总体参数分布,而后按顶部和根部两截面造型生成三维计算所需要的叶型数据,再用 Numeca 软件包生成网格并进行全三维流场计算。采用了正问题迭代设计方法,反复迭代最后得到满意的叶型。

2.1 叶片造型

对于几何方法生成的叶型,影响其性能的主要因素有三个方面:中弧线形状、厚度分布和前后缘形状。中弧线形状决定了叶型的弯度分布,也就在一定程度上决定了功的分布。从双圆弧叶型到多圆弧叶型,再到多项式叶型,主要是通过中弧线的变化来改善性能。厚度分布影响到叶背和叶盆的曲率,通过它能够调整叶型表面压力分布。前后缘多年来一直采用圆弧设计,一方面是由于对其影响认识不够,另一方面是由于加工能力的限制。实际上,前后缘形状对叶型性能有很大的影响,尤其是前缘对于控制膨胀波及分离泡有重要的作用。本文中介绍的 CDA 叶型采用五次曲线中弧线、特定的厚度分布和圆弧前后缘。

采用自编程序按一维气动计算的结果生成五次曲线的中弧线,然后加上特定的厚度分布,前后缘采用圆弧连接,从而生成基元级平面叶型数据。造型采用根部和顶部两截面造型,并参考中间截面的各项参数。生成的二维叶型按重心积迭形成造网格所需的三维叶型数据。

2.2 三维流场计算、正问题迭代

本文的三维流场计算采用 Numeca 软件包。

采用 IGG/ AutoGrid 模块生成计算所需的网格,如图 1 所示。计算网格均采用与壁面准正交的 H 型网格。其中动叶 14 片,周向、径向及轴向的计算网格点数为:49 * 49 * 115;静叶 23 片,周向、径向及轴向的计算网格点数为:49 * 49 * 115;总网格数为 565612。

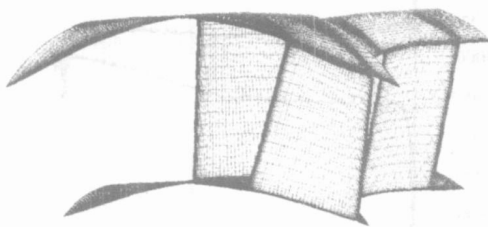


图 1 整级网格图

方案计算采用 Fine/ Turbo 模块,通过求解三维 N - S 方程进行定常流场的数值模拟。湍流模型采用 Spalart - Allmaras 模型,差分格式采用二阶迎风格

式,辅以失通量分裂算法。采用全多重网格法加速收敛。边界条件定义为:进口总压 $p^* = 101\ 325\ \text{Pa}$,进口总温 $T^* = 288\ \text{K}$,轴向进气。出口给定设计工况时的工作背压 $p_b = 101\ 325\ \text{Pa}$ 。动静叶交接面采用混合平面法处理。

采用正问题迭代设计方法,在流场收敛后通风机各项指标如果不符合设计要求,则重新修改叶型进行计算,如此反复迭代,直到各项指标符合设计要求,由此得到满意的叶型。

3 流场结构分析

经过多次迭代得到满意的叶型,然后计算了 3 个特性点的流场。以下通过对工作背压为 102 500 Pa 的整级流场结构的分析来说明 CDA 叶型在通风机设计中应用的优点。此工作背压下,整级等熵效率为 88.15%,流量为 36.7 kg/s,滞止压比为 1.0431。

3.1 动叶效率

等熵效率是衡量动叶流动损失有效的参数。如图 2 所示,左侧为动叶出口截面静参数等熵效率分布,右侧为动叶出口节距平均静参数等熵效率沿叶高的分布。

观察动叶出口截面的效率分布可以发现,在主流区由于流动比较均匀,效率维持在 90% 以上,这点在右侧效率沿叶高分布图上也可以清楚地看到。左图的右侧边界为动叶的吸力面,可以看到这里的效率急剧降低,尾迹损失应该较大;压力面附近效率较高,尾迹损失较小。在上下端壁区域,由于附面层的存在以及间隙内复杂的二次流动,使得效率降低。

3.2 静叶总压损失系数

静叶出口的总压损失分布及沿叶高分布如图 3 所示。

其中出口的左侧边界为压力面,右侧为吸力面。从图中可以看出,在两侧边壁及上下端壁附近由于附面层的存在使得总压损失较主流区大。在主流区,总压损失总体较小,并且从右图中可以清楚看到,沿叶高方向总压损失系数是逐渐减小的。

3.3 三维压力场分析

图 4、5、6 分别为叶片根、中、顶三个截面的型面压力分布图。对比动叶根、中、顶的型面压力分布可以发现叶片顶部加功量较大,中部和根部加功量差不多。而静叶的型面压力分布显示根部负荷较小,中部及顶部负荷较大。动叶吸力面加速区域较长,削弱了前缘马蹄涡的强度,但过短的后部扩压段也导致动叶后部载荷较大,对叶片的强度将会有较大影响。

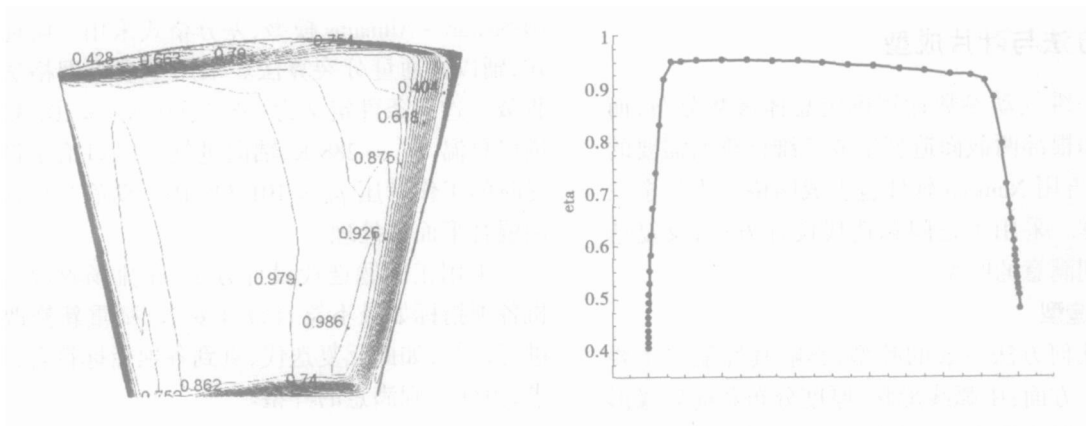


图 2

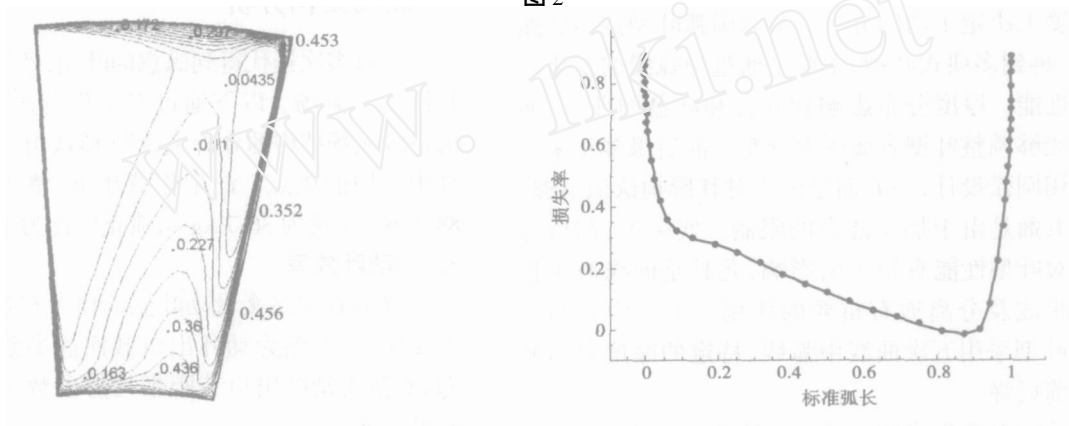


图 3

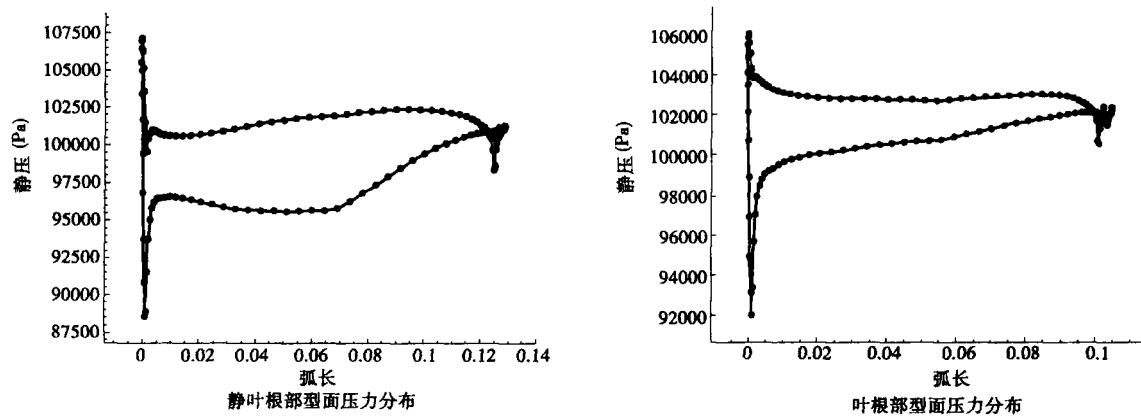


图 4

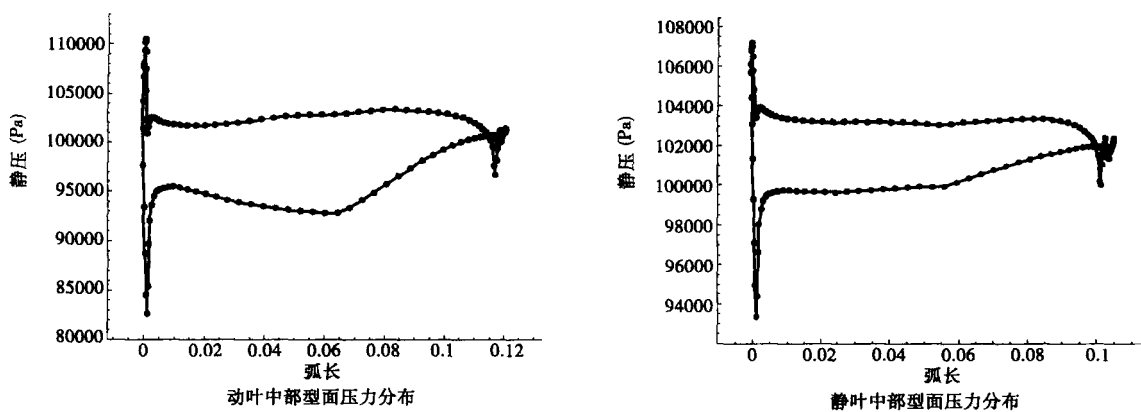


图 5

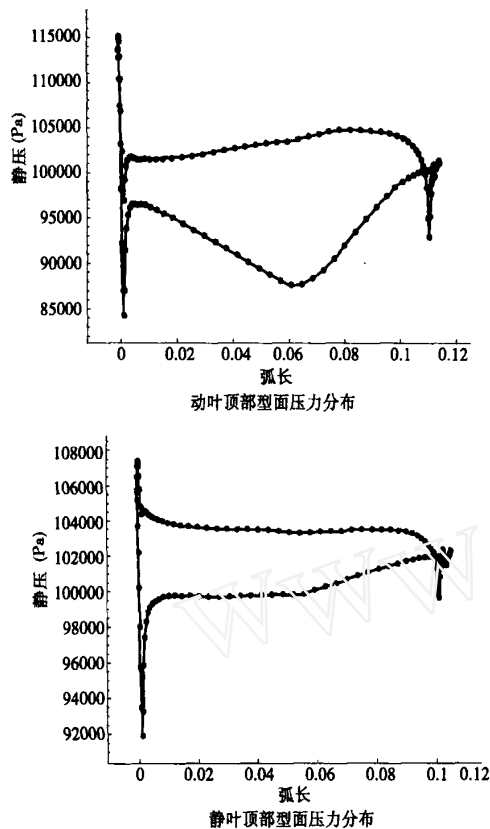


图 6

3.4 壁面极限流线图

图 7 为吸力面及下端壁的极限流线图。从图中可以看到,下端壁角区分离区域不大,上端壁几乎没有分离,尾缘也没有大的分离区。

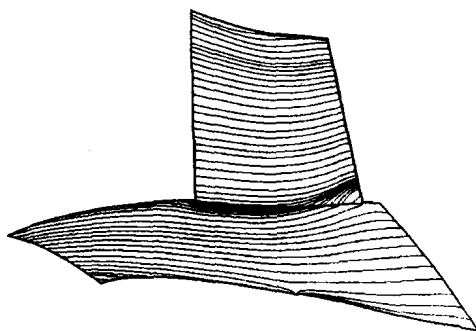


图 7

3.5 动静叶出口气流角

图 8、9 分别为动叶和静叶出口气流角沿叶高的分布图。从图 8 中可以看到,在主流区域动叶出口气流角变化不大,比较均匀。而在两端壁附近,由于粘性作用使得出口气流角急剧增大,相当于气流转折角转减小,叶片对气体做功变不。而从图 9 中可以看到,静叶出口气流角分布不均匀,大致趋势是沿叶高增加,并没有按轴向 0 度出气。造成这种情况的原因是静叶转折角不够。

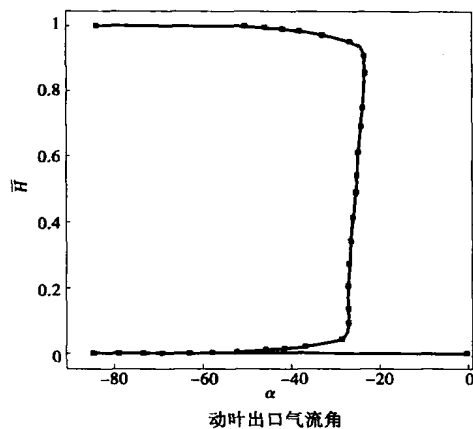


图 8

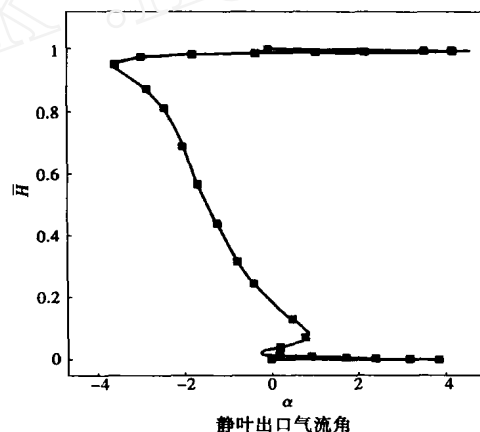


图 9

4 结论

本文将 CDA 叶型成功地应用在风机设计中,设计了一台性能比较好的高压头轴流风机。设计中采用了正问题迭代设计方法,一维参数计算、平面叶型生成到三维基迭造型,然后进行全三维流场计算。从设计结果来看,CDA 叶型在风机设计中应用是切实可行的。另外,在设计过程中加入优化设计思想,使得设计过程更简便、更快速是可能的。

参考文献

- [1] S. Gel, J. Cofer, S. Hardev. Turbine Airfoil Design Optimization. 1996, ASME Paper. 96 - GT - 158.
- [2] 赵晓路,秦立森. 可控扩压叶型变工况粘性数值分析[J]. 工程热物理学报, 1993, 14(4): 386 - 389.
- [3] Garth V. Hobson, Denis J. Hansen, David G. Schnorenberg, Darren V. Grove. Effect of Reynolds Number on Separation Bubbles on Controlled - Diffusion Compressor Blades in Cascade. 1998, ASME Paper 98 - GT - 422.
- [4] R. F. Behlke. The Development of a Second Generation of Controlled Diffusion Airfoils for Multistage Compressor. Journal of Turbomachinery, Transactions of the ASME. 1986, 108(4): 32 - 41.