

文章编号: 1000-8055(2006)06-1048-05

轴流风机中支板通道的流动分析及改进

张 夏, 楚武利, 邓文剑, 张皓光, 杨 泳
(西北工业大学 动力与能源学院, 陕西 西安 710072)

摘 要: 采用了 NUMECA FINE 软件包 Euranus 求解器对轴流风机电机支板内部流动进行了全三维数值模拟, 结果表明电机支板的安装对风机的性能具有较大的影响。根据计算结果对支板结构进行了改型设计, 并对改型后轴流风机的气动性能进行了数值计算, 改型结果表明, 采用改型后的支板结构使得整个流量范围内风机的效率有所提高, 电机支板内部流动损失明显减小, 流动更加合理。

关 键 词: 航空、航天推进系统; 轴流风机; 支板; 效率; 损失; 数值模拟
中图分类号: V211.4 **文献标识码:** A

Flow analysis and the improvement of axial fan support strut

ZANG Xia, CHU Wu-li, DENG Wen-jian,
ZHANG Hao-guang, YANG Yong
(School of Power and Energy,

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Three-dimensional numerical investigation were carried out to investigate the flow field in the passage between support struts in front of the axial-flow fan with the help of the commercial code EURANUS, which is an integral part of the software package NUMECA FINE. It was found that the support strut had significant impact on the axial-flow fan performance. The optimization design was performed for the support strut based on numerical result and flow analysis. In addition, three-dimensional flow analysis was carried out to verify the performance improvement of the newly optimized support strut. It was found that with the new strut the efficiency of the fan is improved over the entire range of mass flow, the losses are locally reduced and the flow in the passage between the support struts becomes more reasonable.

Key words: aerospace propulsion system; axial fan; support strut; efficiency; loss, numerical simulation

轴流通风机设备的应用是相当广泛的,但在目前实际应用中都存在着效率普遍较低的问题,因而造成的能源浪费是相当惊人的。尤其是在航空航天等设备中,节省能源有相当重要的意义。本文是针对某型飞机中液压冷却系统中使用的风

机问题进行研究。由于飞机在飞行中能源是相当有限的,所以在这种情况下节省能源提高工作效率显得尤为重要。

在一些低压风机中后支板对风机的性能有决定性作用,它引起的流动损失直接影响了风机的

收稿日期: 2005 - 12 - 12; 修订日期: 2006 - 03 - 20

基金项目: 西北工业大学研究生创业种子基金资助(Z200536); 航空基础科学基金资助(05C53016)。

作者简介: 张夏(1981 -),男,陕西省西安市人,西北工业大学动力与能源学院在读硕士研究生,研究方向为流体机械及工程。

性能。对于风机来说,流动损失主要由叶型损失、环壁面损失以及二次流损失构成。国内外许多学者对于叶栅损失的研究已作了很多工作^[1-3],但是对于风机支板这种结构所作的研究很少。支板同导叶有着很大的区别,导叶本身有较好的流动形状同时加工成本较高,而支板一般是安装结构需要而且结构简单加工简便。在轴流通风机中存在着很复杂的三元流动,本文主要通过对流场的分析寻找流动的规律,按照流场中气流的流动规律对支板进行了改型,支板改型后的风机效率与原来支板的风机相比有所提高,证明本文所提出的优化方法是有效的。目前国内外对通风机的结构也有一些研究^[4-5],但是针对支板这种特殊的结构研究还不多,所以本文对此问题进行一个初步的研究。

1 数值求解方法及模型参数

数值计算采用了 NUMECA FINE 软件包的 Euranus 求解器。采用 Jameson 的有限体积差分格式并结合 Spalart-Allmaras 湍流模型对相对坐标系下的三维雷诺平均 Navier-Stokes 方程进行求解,由于本风机内部流动速度较低 ($Ma < 0.3$),计算中采用了预处理技术。采用显式四阶 Runge-Kutta 法时间推进以获得定常解,同时加入二阶和四阶人工粘性项以消除数值计算过程中的伪数值振荡,为提高计算效率,采用了多重网格法、局部时间步长和残差光滑等加速收敛措施。对于动叶与支板之间的交接面采用了混合平面法来处理。计算时根据试验给定进口速度、温度以及气流角,出口给定静压。在机匣、轮毂、叶片表面等固壁给定绝热无滑移边界条件。

本文的研究对象是某小型轴流风机,其具体的结构如图 1 所示,风机的基本几何参数如表 1 所示。风机的设计流量 1 100 kg/h,重量不大于 0.5 kg,入口气流温度 60 ℃,入口空气压力 99 510 Pa,全压头不小于 490 Pa。

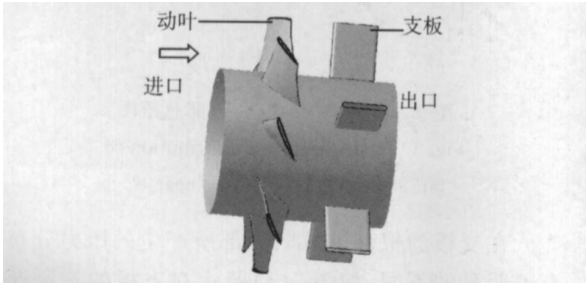


图 1 带支板小型轴流风机结构图(不含机匣)
Fig. 1 Structure of fan with support board (without case)

网格生成采用商用软件 Numeca 中的 Auto-grid 模块生成网格。在针对加支板的情况时,要采用 igg 模块连接动叶与支板。单叶轮网格由于叶片数目较少所以叶片通道较宽而且叶片弯扭较大,所以采用 H 型网格结构,从而提高网格的正交性及延展性。

单叶轮网格划分为:进出口延伸段网格与转子网格构成,其网格数为:193 × 49 × 45(流向 × 周向 × 展向)。在单叶轮计算过程中为了准确的捕捉后边尾迹的流动使得计算准确所以出口延伸段为 1 倍弦长。加支板以后风机动叶轮网格划分为:进出口延伸段网格与转子网格构成,其网格数为:161 × 49 × 45(流向 × 周向 × 展向)。支板网格划分为:支板及其进出口延伸部分网格,其网格数为:159 × 81 × 45(流向 × 周向 × 展向)。在整体计算中将动叶片与支板网格连接,如图 2 所示,并定义进出口界面^[7]。改型后风机的网格分布与改型前相同。

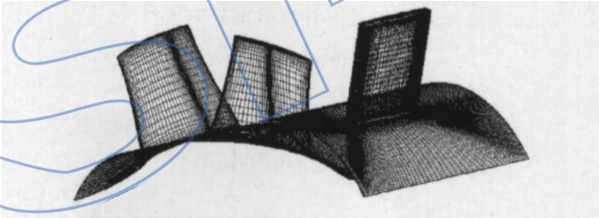


图 2 带支板风机的三维网格图
Fig. 2 3D grid of fan with support board

表 1 风机的基本几何参数
Table 1 Basic geometry parameter of fan

	动叶	支板
数目/个	8	5
间隙/mm	0.5	0
转速/r/min	11000	0
轮毂外直径/mm	80	80
机匣内直径/mm	141	141

2 数值模拟计算结果及实验数据对比

图 3 给出了试验和计算得到风机的效率特性。可以看出数值计算所得的效率特性与试验所测的效率特性在大部分流量范围内符合良好,总体趋势一致,而在近大流量点和近失速点附近存在一些误差。这可能是由于计算模型中通道比较

宽同时叶片弯扭较大,所以叶尖及间隙处网格的处理正交性不够理想,导致在数值模拟计算中对于顶端和间隙处的流动现象捕捉不够理想,对于叶尖的二次流动捕捉有一定的误差导致计算的效率与实验数据有一定误差。另外,网格数目、网格质量、数值结果带有一定的非定常波动特性均对计算结果产生一定的误差。

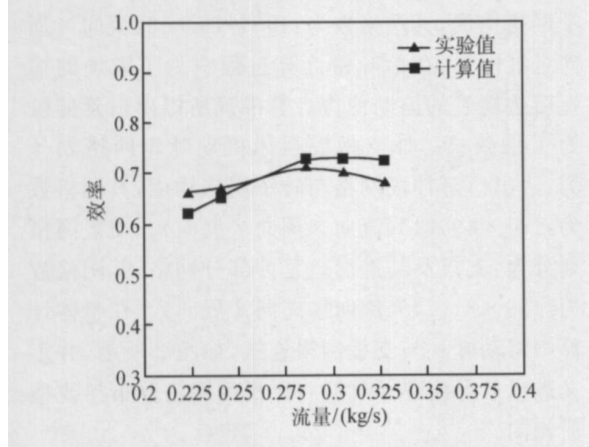


图 3 实验与计算数据进口流量效率对比(带支板)
Fig. 3 Efficiency comparison between experiment result and calculation result (with support board)

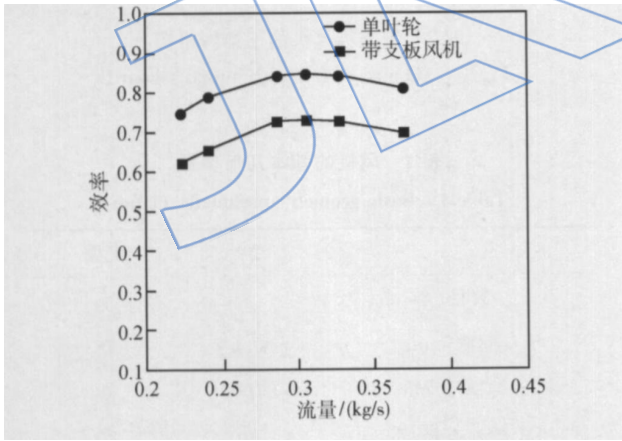


图 4 进口流量效率图
Fig. 4 Efficiency comparison between isolated rotor and the whole stage

3 支板对流场影响的机理分析及改进

图 4 所示为单叶轮与加支板后的风机效率对比图,可以清楚的看到电机支板的加入使得风机整个流量范围内的效率降低。这说明叶轮后部的支板确实对风机的流场产生了影响,影响了流场的原有流动,具体支板如何影响流场的流动下面

作初步的分析。

3.1 支板流场分析

在通过叶轮做功后的气体流动已经不是轴向了,在周向有一个速度,也是由于这个速度和支板构成一个角度,对于叶轮出口气流速度 c_2 来讲支板构成了阻碍,所以档风板的迎风面产生强烈的撞击,而在背风面产生了一个低压区,在这两部分都会产生很大的损失,尤其是在背面可以通过如图 5 中所示的表示气流的总压图看到支板背风面气流的压力分布。如图可以清楚的看到支板通道中的低压区影响了气流流动,从而影响了效率。

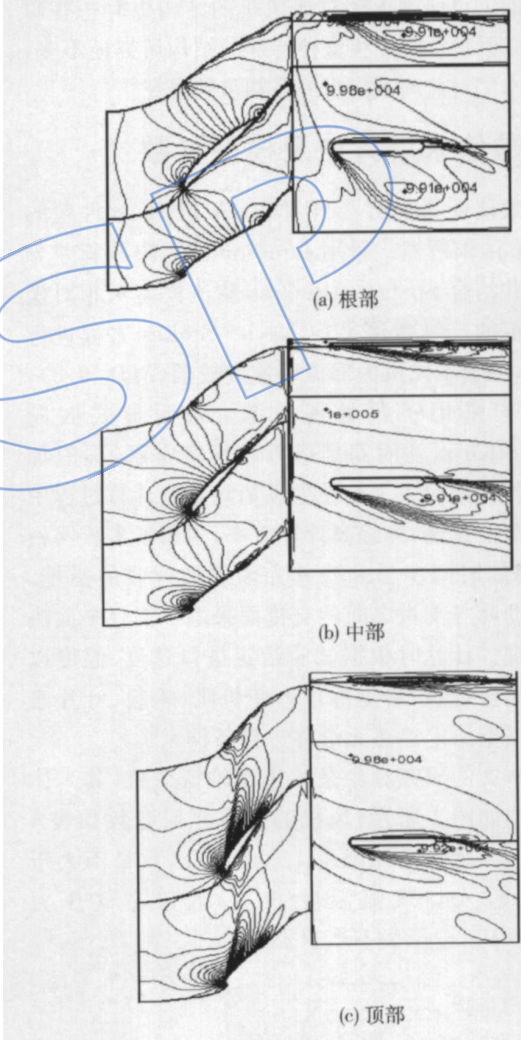


图 5 风机根部、中部、顶部总压图
Fig. 5 Total pressure distribution of fan at near hub , middle , near tip

在支板的根部、中部、顶部所产生的压力分布有着明显的不同,如图 5(a) 所示在支板的背风面有一个较大的压力梯度分布区域,其中间压力低,周围压力不断增加。这个区域几乎影响到了半个

支板通道。同时从图 6 所示的速度矢量图可以清楚地看到由于这个压力梯度区域的存在,在支板根部气流有明显分离漩涡以及逆向流动,所以总压损失较大;图 5(b) 中的支板背风面也存在着一个明显的压力梯度区域,但是其影响的范围已经明显变小,这个压力梯度区也使得其产生一个支板表面的气流分离,与(a)相比其总压损失小一些;对比可以看出图(c)中的压力分布情况最好,其产生的低压影响只在支板表面附近,所以总压损失最小。

从以上的分析可以得到在支板的根部损失最大,在支板顶部的损失最小,其原因可以从前边动叶的安装角分析得到。动叶是又弯又扭的,在叶片根部的安装角最大为 45° ,叶片尖部最小为 25° ,所以通过叶轮做功后的气体流动方向从叶根到叶尖不同,根部气流出口方向与轴向夹角最大,通过计算可得叶根同叶尖出口气流与轴向夹角相差约 20° 。所以导致支板根部的背风面有一个很大的低压区,使得气流分离漩涡现象较为明显如图 6 所示,损失较大。

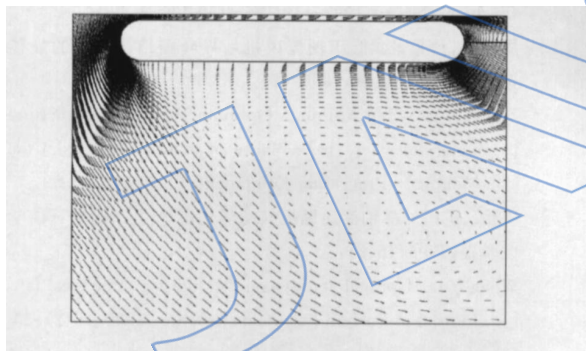


图 6 支板根部速度矢量图

Fig. 6 Vector velocity of support board at near hub

3.2 支板改型后分析

3.2.1 改型思路及改型前后总性能对比

根据以上分析可知支板处气流分离漩涡造成了较大的损失,尤其在根部存在较大的分离漩涡,因此改善支板通道气流流动状况十分必要。由计算可得到动叶叶根到叶尖的气流出口角,取出口平均角度 35° (与轴向夹角)作为我们改型支板的依据,并且根据实际工程加工使用角度考虑将支板改型为弯曲形状而不进行扭转。弯支板是将支板前半部分向来流方向转折 35° ,后半部分支板不改变,将两部分支板圆弧过渡连接。这样使得支板对来流有一个导流作用,使原来冲击到支板的来流流动缓慢过渡为主流方向,从而减小气流

在支板背风面造成的低压区,减小气流分离引起的损失,提高效率。计算结果如图 7 所示,支板改型后风机性能同原始支板时相比较效率有明显的提高,在相同流量下效率最大提高 5% 左右。从计算结果可以看出对支板改型对提高性能是十分有效的。

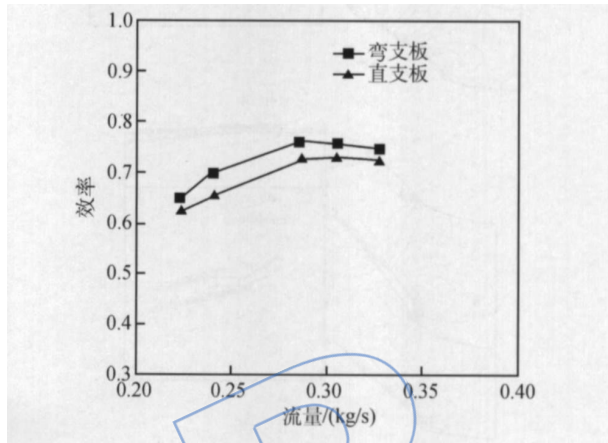


图 7 进口流量效率对比

Fig. 7 Efficiency of fan with different support board compared

3.2.2 改型后流场分析

支板改型后流场是如何变化的,如图 8 所示,同原始支板流动比较(图 5)可以清楚的看到流动情况明显转好,尤其是支板根部的气流流动情况。如图 8(a)所示改型后的支板的压力分布,根部的压力梯度区域分布及其影响范围都明显减小,产生的旋涡及逆流都减小,同时从图上的数值可以看到在低压区的最低压力也有所提高,总压提高约为 100 Pa ;图 8(b)(c)的压力梯度区域分布更加接近支板表面,其影响范围减小,低压区的总压力也提高约 100 Pa ,分布更加合理,对气流流动的影响减小。从以上分析可得,由于支板的改型,使得支板通道内气流的压力分布较为合理,支板对气流起到了导流作用,减小了原有的低压区的分布范围。但是由于气流从动叶流出时根部到顶部的角度不一样而且速度大小也不一样,我们改型所取的是平均角度,所以优化后在叶根到顶部的流动情况还是有所区别。通过分析总体上优化是合理地减小了损失,所以提高了效率。

4 结论

(1) 本文的计算结果与实验结果吻合较好,采用现有的数值模拟方法能够较为准确地预测风机内部复杂流动。

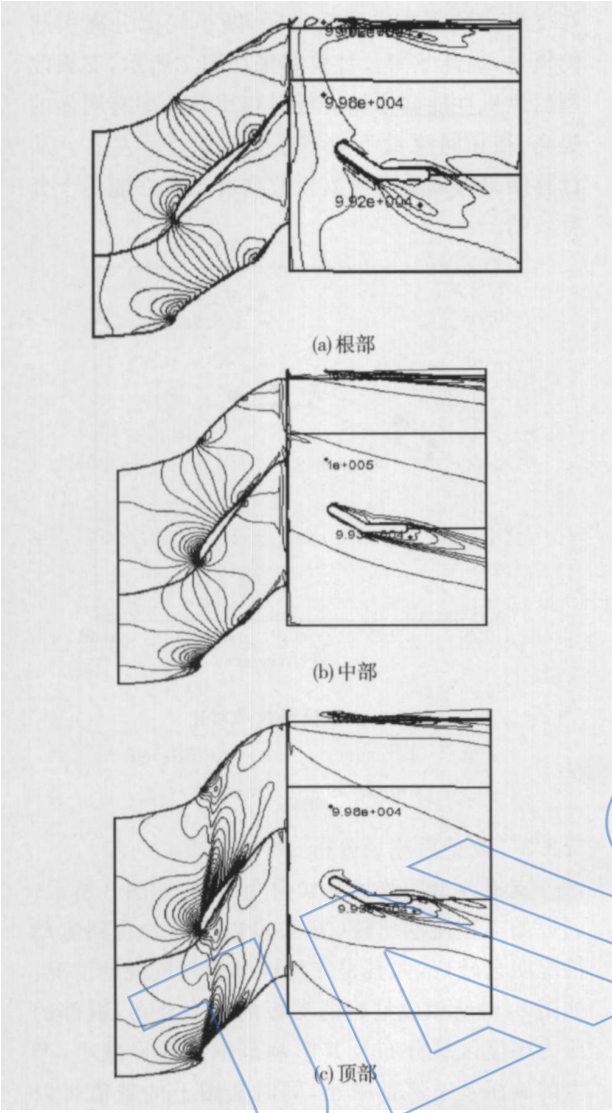


图 8 支板改型后根部、中部、顶部总压图
Fig. 8 Total pressure distribution of fan with
improvement support board at near hub ,
middle , near tip

(2) 数值模拟结果表明,在加支板后,支板对
气流产生了很大的影响,在支板周围出现了低压

区并产生了涡流,产生了很大的损失,尤其在根部
涡流最明显,损失最大,从而影响了风机的效率。

(3) 通过计算和流场分析表明改型的支板改
善了支板通道的气流流动状况,提高了风机的效
率,表明针对小型高速轴流风机支板的改型,对提
高风机性能是十分有效的。

参考文献:

[1] 王正明,贾希诚. 环形叶栅中二次流与损失的数值模拟
[J]. 工程热物理学报, 1999, 20(4): 444-447.
Wang Zheng-ming, Jia Xi-cheng. Numerical simulation of
secondary flow and losses in an annular cascade[J]. Journal
of Engineering Thermophysics, 1999, 20(4): 444-447.

[2] 钟兢军,苏杰先,王仲奇. 压气机叶栅壁面拓扑和二次流结
构分析[J]. 工程热物理学报, 1998, 19(1): 40-44.
Zhong Jing-jun, Su Jie-xian, Wang Zhong-qi. Analysis of
topological and secondary flow structure in compressor cas-
cade[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 1998, 19
(1): 40-44.

[3] Ohkita Y, Kodama H, Nozaki O, et al. Numerical and
experiment investigation of secondary flow in a high-speed
compressor stator (952GT2229) [J]. ASME Journal of
Turbomachinery, 1997, 119(2): 169-175.

[4] 周笃高,孙秀景. 低压轴流风机后导叶栅结构参数的最佳
选择[J]. 矿山机械, 1996, (6): 48-50.
Zhou Du-gao, Sun Xiur-jing. Optimum design for structural
parameters of swept back blades of low-pressure axial fan
[J]. Mining & Processing Equipment, 1996, (6): 48-50.

[5] 王岳. 矿用局部轴流通风机气动优化设计[J]. 抚顺石油学
院学报, 1996, 16(2): 30-35.
Wang Yue. Optimal aerodynamic design for mine local fans
[J]. Journal of Fushun Petroleum institute, 1996, 16(2): 30-
35

[6] Spalart P R, Almaras S R. A one-equation turbulence mod-
el for aerodynamic flows[R]. AIAA Paper, 92 - 0439.

[7] NUMECA. User manual[Z]. IGGTM Version4. 7 - 1, Febru-
ary 2003.