

叶栅稠度对多翼离心风机性能影响的研究

凌敬¹ 刘乾坤¹ 季振勤¹ 冀春俊²

(1.广东美的制冷设备有限公司; 2.大连理工大学能源与动力学院)

摘要: 用数值模拟方法对风机的性能参数和三维流场结构变化进行分析,研究叶栅稠度对小型多翼离心风机性能的影响。数值模拟结果表明:多翼离心风机的流量、全压、全压效率都随叶栅稠度增大先增大后减小,存在最佳稠度使风机的性能最优;叶栅稠度小时,叶片的负荷大,叶轮容易产生大尺度流动分离,尤其是在径向速度较小的叶顶附近,严重时可能造成风机失速,流动损失增大,风机性能下降;叶栅稠度大时,叶片表面积大,附面层摩擦损失大,风机效率低,同时叶片数多使叶轮流通面积减小,流动阻塞,风机流量降低。

关键词: 多翼离心风机;稠度;流量;全压;效率

中图分类号: TH432;TK05

文献标志码: A

文章编号: 1006-8155-(2017)03-0029-05

DOI: 10.16492/j.fjjs.2017.03.0004

Effect of the Cascade Solidity on the Performance of a Multi-blade Centrifugal Fan

Jing Ling Qian-kun Liu Zhen-qin Ji Chun-jun Ji

(1.Guangdong Midea Refrigeration Equipment Co.,Ltd.;

2.School of energy and Power Engineering,Dalian University of Technology)

Abstract: In order to investigate the effect of cascade solidity on the aerodynamic performance of a multi-blade centrifugal fan, aerodynamic performance parameters and three-dimensional flow structures are analyzed by numerical simulations using ANSYS/ICEM CFD. The numerical results show that the mass flow, total pressure and efficiency of the multi-blade centrifugal fan vary with the solidity approximately like a parabola. For an optimized solidity the performance of the multi-blade centrifugal fan is the best. When the solidity is reduced, the blade loading will increase, generating larger flow separations which decrease the performance. A larger solidity increases the friction loss due to the boundary layers on blade surface, and thus reduces the mass flow.

Keyword: multi-blade centrifugal fan, solidity, mass flow, total pressure, efficiency

0 引言

离心风机主要由三个核心部件组成:叶轮、蜗壳和

收稿日期:2017-04-17 广东 佛山 528311

电机,叶轮高速旋转将气体从轴向吸入叶轮,并在叶轮内折转,沿着径向流出叶轮,最后通过蜗壳将气体减速增压并流出风机^[1]。小型多翼离心风机以其流量系数高、全压系数大、机身尺寸小、噪声低等突出优点,被广

泛应用于家用空调室内机设计中。

国内外对离心风机的研究主要集中在叶轮^[2-5]和蜗壳^[6-8]两个主要结构部件上,研究不同的几何结构参数对风机性能的影响,结果表明叶轮形式、叶片角度、叶轮通道形式、蜗壳开度、蜗舌形式以及叶轮和蜗壳之间的配合对离心风机的性能影响比较大。只有合理的选择叶轮和蜗壳参数才能得到高性能的离心风机。

对离心风机性能的研究主要有两种方式:实验研究和数值模拟研究^[9-11]。数值模拟具有周期短、成本低等优点,但是数值模拟可靠性是一个亟待解决的问题。近年来随着计算机技术和计算流体力学的高速发展,湍流模型、差分格式以及网格划分技术的发展,数值模拟的速度和精度都有了很大的提高,已经广泛应用于离心风机的设计和优化中^[12-15]。

叶栅稠度作为多翼离心风机设计中的一个重要参数,对流量系数、全压系数和风机效率有很大影响。一方面叶栅稠度大时,叶片数过大,会造成叶轮质量增大,成本增加,叶片表面积增大,摩擦损失增大,效率降低;另一方面叶栅稠度小时,叶片数过少,会造成叶片负荷过高,叶轮通道内流动分离,损失增加,效率降低。只有合理选择叶栅稠度和叶片数才能得到较高的气动性能,因此本文用数值模拟方法研究了叶栅稠度对空调用多翼离心风机气动性能的影响。

1 离心风机几何模型

本文研究的是单吸多翼离心风机,主要包括两个部件:离心叶轮和蜗壳,风机几何模型如图1所示。离心风机原型主要几何结构参数如表1所示。

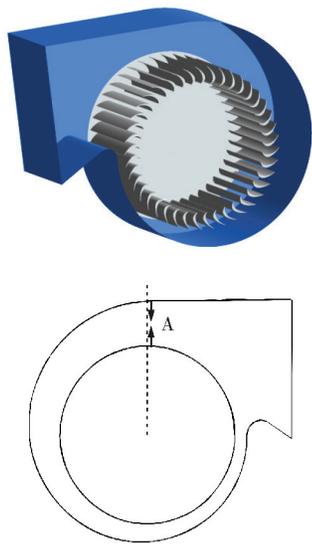


图1 风机几何模型
Fig.1 Geometry of centrifugal fan

表1 离心风机几何参数

Tab.1 Geometric parameters of multi-blade centrifugal fan

几何参数	数值
叶轮外径 D_2 /mm	140
叶轮内径 D_1 /mm	112
叶片最大厚度 d /mm	2
叶片弦长 b /mm	15
叶轮宽度 H /mm	93
进口几何角 $\beta_{1s}/(^{\circ})$	60
出口几何角 $\beta_{2s}/(^{\circ})$	135
叶顶间隙 δ /mm	10
蜗壳开度 A /mm	40

2 风机网格划分及数值模拟方法

2.1 网格划分

根据本文研究多翼离心风机几何结构和各个部件气体流动状态,将离心风机分为进口段、叶轮、蜗壳三部分,并分别进行网格划分。

本文模拟的多翼离心风机网格划分采用商业软件 ANSYS/ICEM CFD 模块,所有部件网格均为结构化网格,固体壁面第一层网格厚度 0.01mm,保证 $y^+ < 10$ 。经过网格无关性验证,风机总网格数约为 800 万。叶轮网格划分方法:首先用分块结构化方法划分单个流道网格,并在叶片表面、端壁和叶顶间隙内进行网格加密,设置边界层;再复制得到整个叶轮网格,总数约为 620 万,如图2所示。进口段网格总数约为 40 万,在叶根和叶顶设置边界层,如图3所示。蜗壳用分块结构化网格划分,总数约为 140 万,在固体壁面设置边界层,并在叶顶间隙进行网格加密,如图3所示。

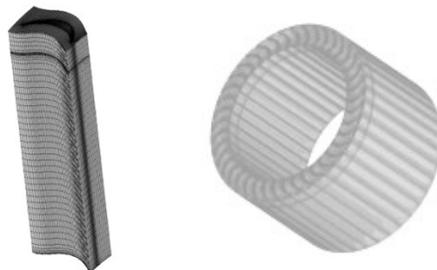


图2 叶轮网格
Fig.2 Grid of impeller

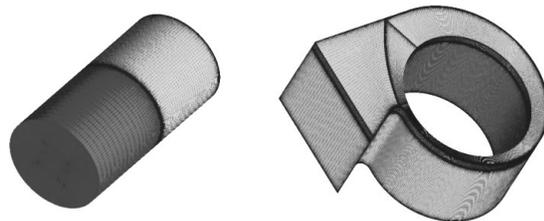


图3 进口段和蜗壳网格
Fig.3 Grid of inlet and volute

2.2 数值模拟方法

本文分别对叶片数为23, 29, 35, 41, 47, 53的多翼离心风机进行数值模拟, 对应的叶栅平均稠度为0.871 6, 1.098 9, 1.326 3, 1.553 7, 1.781 0, 2.008 4, 研究叶栅稠度对风机性能的影响。

数值模拟采用商业软件ANSYS/CFX进行N-S方程求解, 差分格式为高精度混合差分。本文数值模拟湍流模型选择参考了文献[9]的数值模拟结果和实验结果对比分析, 选择了两方程k-ε模型。将进口段和蜗壳设

置为静止域, 叶轮设置为旋转域, 风机转速1 200r/min, 进口总压101 325Pa, 进口总温293K, 出口静压101 325Pa, 壁面为绝热、无滑移边界。进口段和叶轮交接面、叶轮和蜗壳交接面均设为旋转交接面。

3 数值模拟结果

3.1 风机气动性能

本文用数值方法研究叶栅稠度对多翼离心风机气动性能的影响, 数值模拟结果如表2所示。

表2 不同叶栅稠度下离心风机性能参数表

Tab.2 Aerodynamic performance parameters of different solidity in centrifugal fan

稠度 σ	风机流量	风机全压	风机静压	风机功率	全压效率	叶轮全压	叶轮全压效率	蜗壳总压损失系数
0.871 6	305.140 0	68.382 8	46.703 1	12.306 4	0.471 0	108.375 0	0.740 6	0.215 6
1.098 9	355.675 0	84.242 2	64.335 9	15.829 6	0.525 8	124.086 0	0.759 6	0.150 9
1.326 3	357.495 0	100.508 0	66.945 3	17.278 9	0.577 6	135.438 0	0.781 4	0.146 4
1.553 7	367.803 0	113.578 0	73.132 8	19.143 4	0.606 2	143.781 0	0.795 5	0.126 0
1.781 0	352.473 0	105.047 0	66.906 3	17.638 5	0.583 1	144.555 0	0.798 0	0.156 1
2.008 4	348.378 0	100.508 0	62.437 5	17.490 6	0.556 1	147.078 0	0.773 1	0.171 2

随着多翼离心风机叶栅稠度增大: 风机流量、全压、静压、效率、功率都呈现出先增大后减小的变化趋势, 本文计算中稠度为1.553 7时最大; 叶轮全压则呈现逐渐增大的趋势, 但增长率逐渐减小; 蜗壳总压损失系

数先减小后增大, 本文计算中稠度为1.553 7时最小, 如图4所示。当多翼离心风机叶片数为41, 稠度为1.553 7时, 离心风机的流量、全压和效率最大, 气动性能最优。

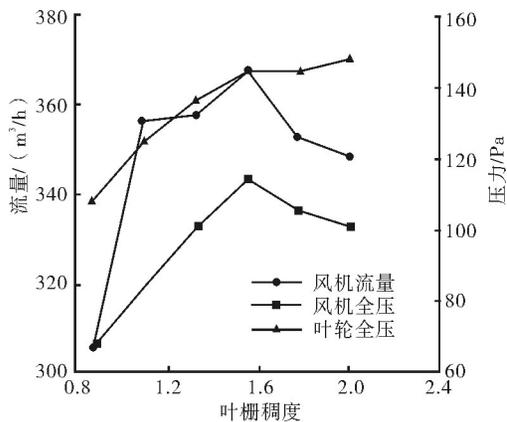


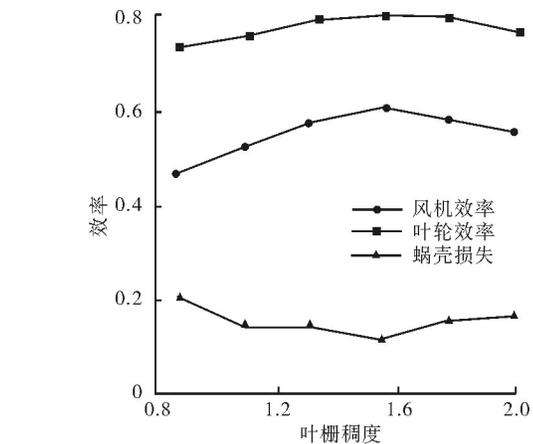
图4 离心风机性能参数随叶栅稠度变化规律

Fig.4 Aerodynamic performance parameters variation with solidity in centrifugal fan

3.2 流场分析

在3.1节中给出了多翼离心风机性能参数随叶栅稠度的变化规律, 这里主要分析不同稠度下, 风机内的三维流场结构, 而与轴向垂直的展向截面流线能够很好的展示风机的三维流场。图5~图8分别给出了叶顶间隙、90%截面、50%截面、10%截面的二维流线。由于篇幅限制, 文中只给出了稠度为0.871 6, 1.553 7, 2.008 4的数值模拟结果。

不同稠度下, 多翼离心风机的三维流场结构基本相同, 在靠近叶顶区域和蜗舌附近都存在大尺度旋涡



结构。从叶顶到叶根气体由轴向流动逐渐转为径向流动, 轴向速度分量逐渐减小, 垂直于轴向速度分量逐渐增大。下面分别分析风机叶轮和蜗壳内的三维流场。

首先分析风机叶轮内的流场结构。在靠近叶顶区域90%叶高位置, 不同稠度离心风机内, 大部分叶片流道内都发生了大尺度的分离, 分离区周向范围随稠度变化不大, 只有少数几个流道保持着较好的附着流动, 如图5和图6所示。与叶顶区域相比, 在叶展中部50%叶高位置, 叶轮内发生分离区域明显减小, 发生分离的流道数量也会减少, 分离涡尺度随稠度增大而减小, 如

图7所示。与叶展中部相比,在靠近叶根区域10%叶高位置,叶轮分离区进一步减小,而且随稠度增大发生分离的流道数量进一步减少,分离区减小。稠度为1.5537和2.0084时叶轮内基本没有分离流动,只有蜗舌附近的3个流道发生小尺度分离,但是稠度为0.8716时还有近1/4的叶轮流道发生分离,如图8所示。

蜗壳作为离心风机的另一个核心部件,它的性能也直接决定了整个风机的性能。靠近叶顶区域,叶顶

间隙和10%叶高位置,蜗舌附近存在着小尺度的旋涡结构,本文计算结果中稠度为1.5537时旋涡尺度最小,稠度增大或减小时旋涡尺度都有所增大,如图5和图6所示。在叶展中部,蜗壳扩压段和蜗舌附近区域存在大尺度分离涡,同样稠度为1.5537时旋涡尺度最小,如图7所示。靠近叶根区域,蜗壳内没有明显的旋涡结构,流动状态良好,本文计算中只有稠度很小时蜗舌附近有小尺度旋涡,如图8所示。

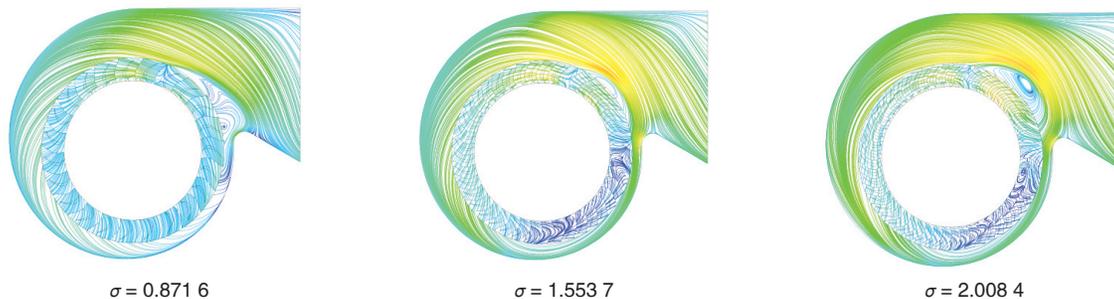


图5 不同叶栅稠度下叶顶间隙内流线
Fig.5 Streamline at tip clearance of different solidity

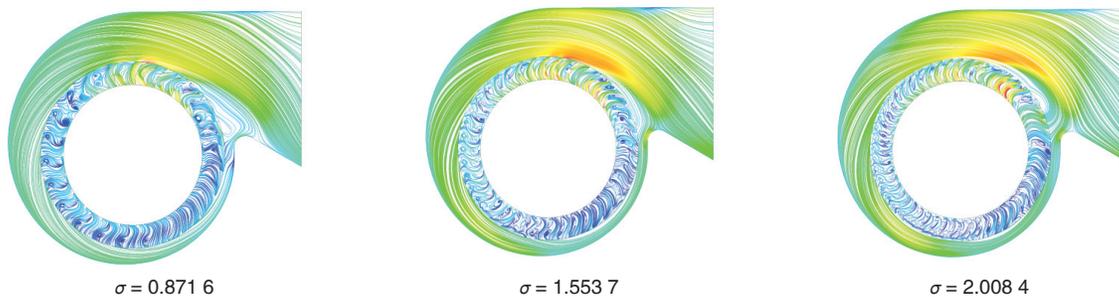


图6 不同叶栅稠度下90%叶高(靠近叶顶)流线
Fig.6 Streamline at 90 percent blade height (near the tip) of different solidity

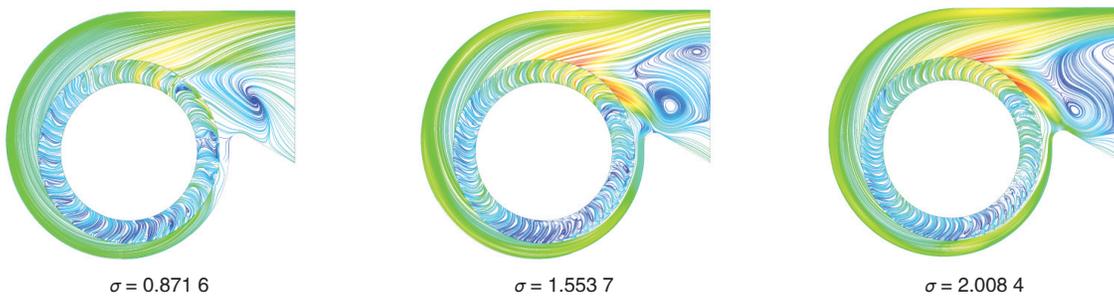


图7 不同叶栅稠度下50%叶高流线
Fig.7 Streamline at 50 percent blade height (mid span) of different solidity

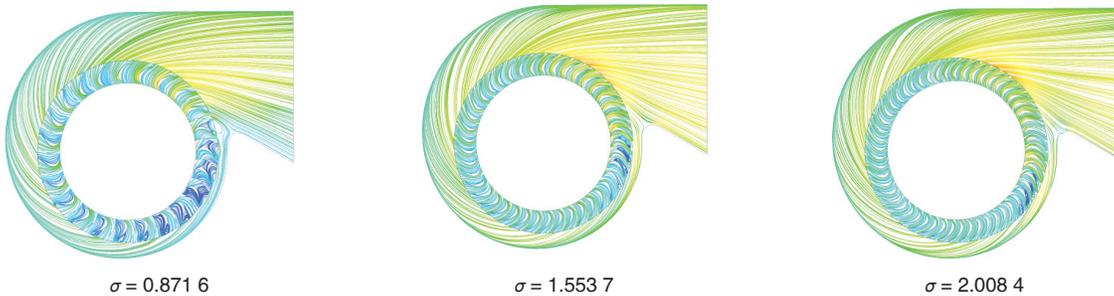


图8 不同叶栅稠度下10%叶高(靠近叶根)流线
Fig.8 Streamline at 10 percent blade height (near hub) of different solidity

4 分析与讨论

本文数值模拟结果中,多翼离心风机的气动性能随稠度增大,先提高后降低,叶片数为41,稠度为1.553 7时风机的流量、全压、效率最大。结合离心风机三维流场结构分析,其原因如下:

叶片数较少,叶栅稠度较小时:每个叶片的负荷较大,气流在叶片流道内易发生分离,而且严重时会造成风机失速,流动损失增大,风机的全压和效率减小,风机流量减小。尤其是靠近叶顶附近区域,气流的径向速度较小,造成气流的进气冲角大,进一步增大叶片负荷,流动极易分离,分离区尺度从叶顶到叶根逐渐减小,如3.2节图6~图8中 $\sigma=0.871 6$ 方案所示。

叶片数较多,叶栅稠度较大时:作用(1),每个叶片的负荷较小,气流在叶轮中的分离尺度较小,分离损失减小,效率有所提高;作用(2),由于叶片数增多,叶片表面积增大,叶片表面的附面层摩擦损失增大,又造成风机效率减小,同时会使叶片流道通流面积减小,流动发生阻塞,使风机流量降低。叶栅稠度增加,由(1)引起的性能提高不足以抵消由(2)造成的性能降低时,风机损失增大,效率和流量减小,如3.2节图6~8中 $\sigma=2.008 4$ 方案所示。

另外一方面,本文离心风机数值模拟结果中,随叶栅稠度的增大,蜗壳内的旋涡尺度呈先减小后增大的趋势,稠度为1.553 7时,蜗壳旋涡尺度最小,损失最小。

综上所述,叶栅稠度作为多翼离心风机设计中的一个重要参数,对风机的性能有非常大的影响,主要是两方面的作用(1)和(2)。只有合理的选择叶片数和叶栅稠度才能得到高性能的多翼离心风机设计。

5 结论

本文用数值模拟方法研究了叶栅稠度对小型多翼离心风机性能的影响,得到如下结论:

1) 离心风机的流量、全压、全压效率都随叶栅稠度的增大呈现出先增大后减小的变化趋势,叶轮全压随稠度增大而增大,但变化率逐渐减小。存在最佳稠度使多翼离心风机的性能最优。

2) 叶栅稠度小时,单个叶片的负荷大,气流在叶片

流道内易发生分离,尤其是在径向速度较小的叶顶区域附近,严重时会造成风机失速,流动损失增大,风机性能下降。

3) 叶栅稠度大时,叶片数多,叶片表面积大,叶片表面附面层摩擦损失增大,风机效率降低。与此同时,叶片数增多会使叶轮通流面积减小,流动阻塞,使风机流量降低。

参 考 文 献

- [1] 张玉成,仪登利,冯殿义,等. 通风机设计与选型[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [2] 张力,席德科,孙刚. 前向多翼离心通风机性能改进数值模拟[J]. 风机技术, 2005(6):8-11.
- [3] 王松岭,贾亚奎,蹇宏伟. 离心通风机叶片加长前后的数值模拟研究[J]. 风机技术, 2008(6):17-19.
- [4] 李森,赵军. 小型多翼离心风机叶片斜切分析及试验研究[J]. 风机技术, 2012(4):9-12.
- [5] 李嵩,朱之墀. 离心风机气动设计方法的发展及其应用[J]. 风机技术, 2012(4):60-67.
- [6] Brian de Souza, Andrew Niven, Richard McEvoy. A numerical investigation of the constant-velocity volute design approach as applied to the single blade impeller pump[J]. Journal of Fluids Engineering, 2010, 132(6):061103-1-7.
- [7] 程书山,楚武利,张浩光. 离心风机性能及蜗壳壁面静压分布测试[J]. 风机技术, 2010(5):19-21.
- [8] 丁骏,杜鑫,张龙新,等. 蜗壳开度对离心风机气动性能影响的研究[J]. 风机技术, 2012(5):22-26.
- [9] 刘小民,赵嘉,李典. 多翼离心风机性能的数值模拟计算和实验测量[J]. 风机技术, 2015(3):11-17.
- [10] 曹廷云,陈雪江,秦国良. 多翼离心风机噪声分析的试验及数值研究[J]. 风机技术, 2014(3):21-24.
- [11] 赵付,祁大同,毛义军. 离心风机气动噪声控制的理论与实验研究[J]. 风机技术, 2013(6):24-34.
- [12] 李嵩,朱之墀. 风机气动性能数值模拟的地位和技巧(一)[J]. 风机技术, 2013(5):74-79.
- [13] 李嵩,朱之墀. 风机气动性能数值模拟的地位和技巧(二)[J]. 风机技术, 2013(5):83-87.
- [14] 韩非非,赵旭,席德科. 多翼离心通风机内部流场数值模拟[J]. 风机技术, 2008(3):13-16.
- [15] 张顾钟. 离心风机优化设计方法研究[J]. 风机技术, 2011(5):26-30.