

不同轮毂比对矿用对旋式轴流通风机电动性能影响分析

钟丽¹, 金永平^{2*}

(1. 湖南科技大学 期刊社, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 海洋矿产资源探采装备与安全技术国家地方联合工程实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 矿用对旋式轴流风机因其流量大、效率高、安全可靠等特点, 在矿山通风领域中应用十分广泛, 本文以矿用对旋式轴流风机为研究对象, 首先运用三维 Solidworks 软件构建不同风机轮毂比的矿用对旋式轴流风机三维几何模型, 然后利用计算流体力学软件 Fluent 分析不同风机轮毂比对矿用对旋式轴流风机气动性能的影响, 结果表明: 随着矿用对旋式轴流风机轮毂比的增大, 矿用对旋式轴流风机的全压会先增大而后减小, 而矿用对旋式轴流风机的效率会不断增大. 通过进一步对比不同轮毂下的矿用对旋式轴流风机内部三维流场的流动状况可知, 当轮毂比为 0.6 时通风机三维流场的流动状况更为理想. 研究结果对矿用对旋式轴流风机的优化设计具有重要的指导意义.

关键词: 矿用对旋式通风机; 轮毂比; 气动性能; 分析

中图分类号: TD441.2 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2018)04-0068-05

Analysis of Hub Ratio on the Aerodynamic Performance of Mine Contra-Rotating Axial Fan

Zhong Li¹, Jin Yongping²

(1. Periodical Press of Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. National-Local Joint Engineering Laboratory of Marine Mineral Resources Exploration Equipment and Safety Technology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Mine contra-rotating axial fan is widely used in mine ventilation field for its high gas volume, high efficiency, safety and reliability. In this paper, the mine contra-rotating axial fan is used as the research target. Firstly, the three-dimensional software Solidworks is used to build the three-dimensional geometric model of mine contra-rotating axial fan. Secondly, the effects of the hub ratio on the aerodynamic performance of fan is studied by using the computational fluid dynamics method. Results show that by increasing the hub ratio, the total-pressure of the mine contra-rotating axial fan is increased at the beginning and decreased in the end, and the efficiency of the mine contra-rotating axial fan is enhanced along with the increase of the hub ratio. Further analysis shows when hub ratio is set to 0.6, the three-dimensional flow is more rational than others. This research has great significance for optimization design of the mine contra-rotating axial fan.

Keywords: mine contra-rotating axial fan; hub ratio; aerodynamic performance; analysis

矿用对旋式轴流风机因其流量大、效率较高、安全可靠等优点, 在矿山通风领域中应用广泛^[1]. 矿用对旋式轴流风机气动性能中的全压、效率等是衡量矿用对旋式轴流风机的重要指标, 通过开展矿用对旋式轴流风机气动性能研究, 进而为设计效率高、噪音低的矿用对旋式轴流风机提供技术支撑, 已经

成为相关学者的研究热点.刘晶^[2]运用 CFD 软件,分析对旋通风机内部流场速度、压力等的分布情况.刘德顺^[3]通过构建矿用对旋式轴流通风机的三维气动模型,研究通风机气动噪声产生机理和内部三维流场情况.戴巨川^[4]采用粒子群优化算法对矿用对旋式轴流通风机的不同扩散器结构进行参数化优化设计.幸欣^[5]开展了不同安装角对对旋局部通风机调节性能及其内部流动影响分析,当同时增大对旋局部通风机两级叶片的安装角时,该对旋局部通风机的全压曲线将向右上移动,则对旋局部通风机在大流量、低风压的工况下运行效率高.金永平^[6]利用 Fluent 软件分析了不同叶片数及轴向间隙对矿用对旋式轴流通风机气动性能的影响.上述研究工作中主要涉及叶片数、轴向间隙、叶片的安装角等对对旋式通风机气动性能的影响,而对于矿用对旋式轴流通风机叶片的轮毂比(所述的轮毂比为通风机轮毂直径与叶轮直径的比值)对矿用对旋式轴流通风机气动性能的研究鲜见文献报道.

本文以矿用对旋式轴流通风机为研究对象,运用三维 Solidworks 软件构建不同轮毂比的矿用对旋式轴流通风机三维几何模型,利用计算流体力学软件 FLUENT 分析不同风机轮毂比对矿用对旋式轴流通风机气动性能的影响,为矿用对旋式轴流通风机结构的优化设计提供技术支撑.

1 矿用对旋式轴流通风机结构参数与数值模拟方法

本文以某煤矿矿用对旋式轴流通风机的主扇作为物理模型,该通风机的设计参数如表 1 所示,在矿用对旋式轴流通风机三维模型构建时,将通风机叶轮直径设为固定值.

表 1 通风机设计参数

流量/ (m^3/min)	转速/ (r/min)	叶轮直 径/ mm	第一级叶轮叶 片安装角 $\beta_1/(\text{°})$	第二级叶轮叶 片安装角 $\beta_2/(\text{°})$	第一级叶 轮叶片数	第二级叶轮 叶片数
1 928.6	980	1 500	37.8	28.3	16	13

运用三维 Solidworks 软件建立矿用对旋式轴流通风机叶轮的三维模型(如图 1),在第一级叶轮前端加上集流器和流线罩,在第二级叶轮后端加上扩散器以形成一个完整的通风机三维几何模型(如图 2).

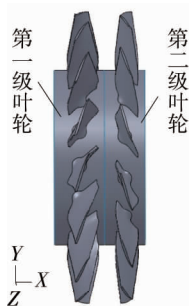


图 1 叶轮模型

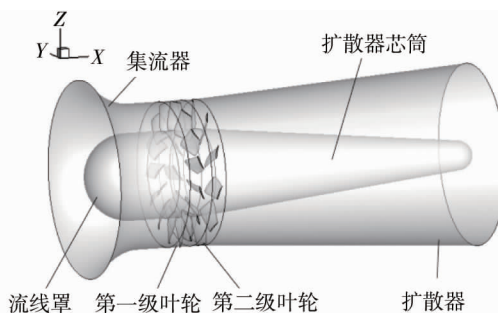


图 2 通风机三维几何模型

将通风机三维几何模型导入到计算流体力学(CFD)前处理软件 Gambit 中,应用非结构四面体网格 TGrid 对通风机三维几何模型进行网格化(图 3),然后应用 Fluent 软件对其进行三维流场模拟,采用三维定常 Navier-Stokes 方程和标准 $k-\varepsilon$ 模型进行求解^[7].

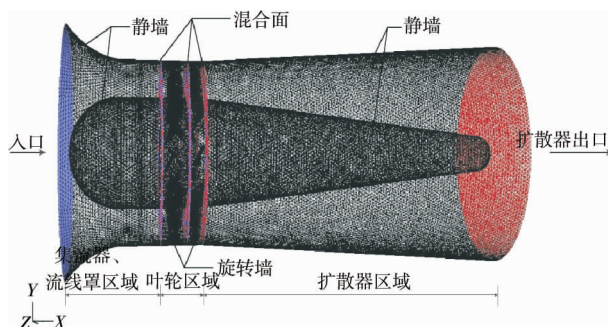


图 3 通风机计算网格及边界条件

在三维定常不可压缩流动下,经过雷诺平均后的连续性方程和动量方程其形式如下:

a) 连续性方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0. \quad (1)$$

b) 动量方程:

$$\frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial x_i} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(p + \frac{2}{3} \rho k \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \right]. \quad (2)$$

式中: ρ 为气体密度; p 为时均压力; μ 为动力粘性系数; v_i, v_j 为速度分量; μ_t 为流体湍流粘性系数, 可表示为 k 和 ε 的函数 $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$, 为了使方程封闭, 还需要湍动能和湍动消耗率的运输方程, 这里采用标准模型, 方程为

c) 标准模型:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon; \\ \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\varepsilon} \varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}. \end{aligned}$$

式中: $G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$; $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_\mu, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ 为经验常数, 其取值分别是: $C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$.

2 数值模拟与结果分析

图4~图7分别给出了对应轮毂比分别为0.45, 0.50, 0.55, 0.60时, 矿用对旋式轴流通风机前后两级叶轮叶片各自压力面的全压分布. 由图4~图7可知, 对应于同一轮毂比的矿用对旋式轴流通风机而言, 第二级叶轮叶片的全压较第一级叶轮叶片的全压大, 这主要是由于第二级叶轮的入口压力是第一级叶轮的出口压力, 通过第二级叶轮叶片进一步加压, 使得矿用对旋式轴流通风机出口压力进一步提高. 进一步分析发现, 随着轮毂比的不断增大, 对应的第一级叶轮叶片压力面和第二级叶轮叶片压力面所受的全压将不断减小, 这样就使得各级叶轮叶片的安全系数进一步提高.

图8给出了不同轮毂比对应的矿用对旋式轴流通风机全压的影响, 由图8可知, 矿用对旋式轴流通风机的全压随着轮毂比增大先增大而后减小, 当轮毂比为0.55时, 矿用对旋式轴流通风机的全压为最高值2 654.13 Pa.

图9给出了不同轮毂比对应的矿用对旋式轴流通风机效率的影响, 由图9可知, 矿用对旋式轴流通风机的效率随着轮毂比增大而增大. 当轮毂比为0.55时, 矿用对旋式轴流通风机的效率为80.42%; 当轮毂比为0.6时, 矿用对旋式轴流通风机的效率为最高值81.69%, 对应此时的矿用对旋式轴流通风机的全压为2 512.36 Pa.

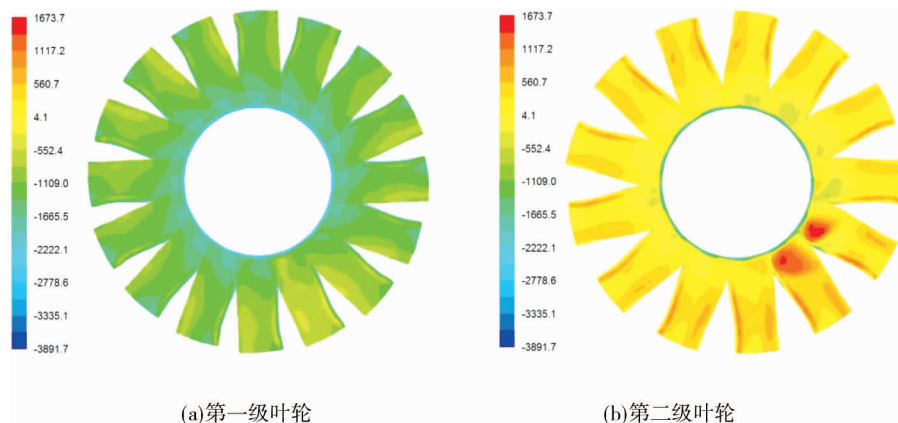


图4 轮毂比0.45时通风机前后两级叶片压力面的全压分布

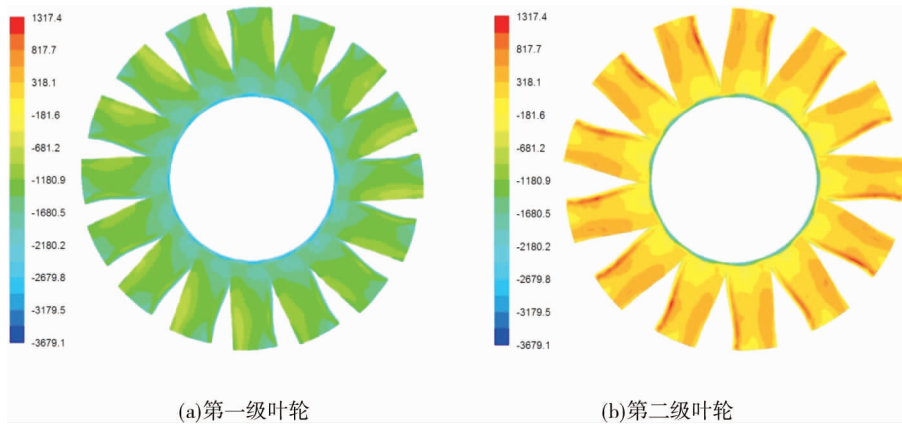


图 5 轮毂比 0.50 时通风机前后两级叶片压力面的全压分布

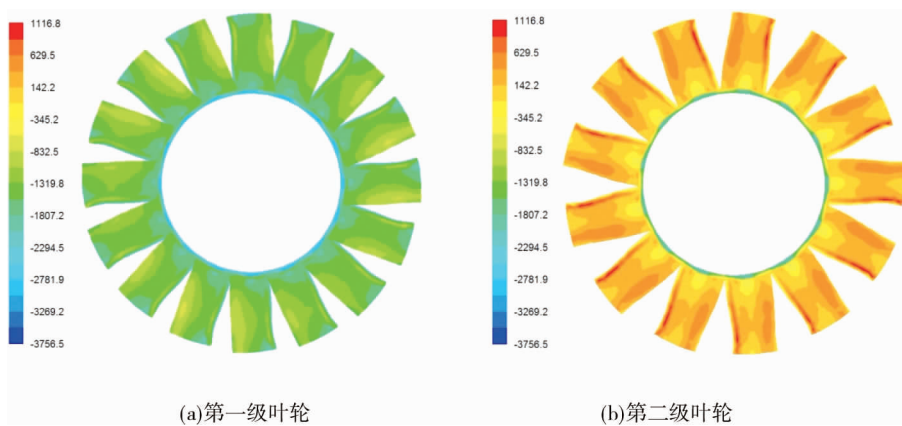


图 6 轮毂比 0.55 时通风机前后两级叶片压力面的全压分布

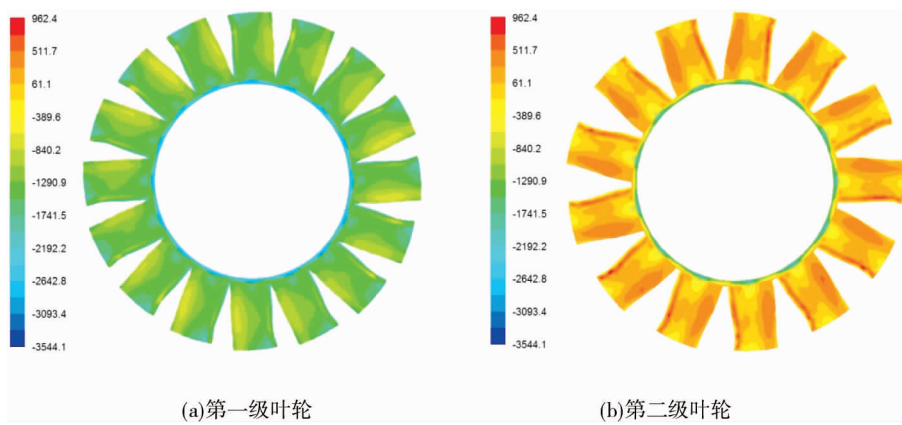


图 7 轮毂比 0.60 时通风机前后两级叶片压力面的全压分布

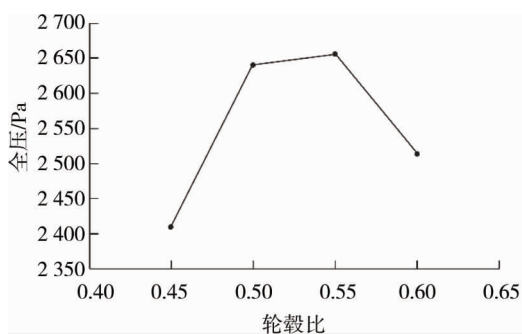


图 8 轮毂比对通风机全压的影响

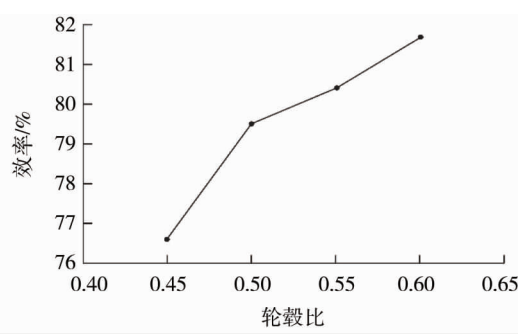


图 9 轮毂比对通风机效率的影响

为了进一步分析和研究对应不同轮毂比时,矿用对旋式轴流风机内部三维流场的流动状况,图10绘出了矿用对旋式轴流风机气流质点从通风机入口处进入通风机内部,经前后两级叶轮叶片加压后从扩散筒出口排出整个过程中,气流质点在矿用对旋式轴流风机内部三维流场的流动状况,由图10可见:当轮毂比为0.45,0.50,0.55时,矿用对旋式轴流风机内部扩散筒内有大量旋转气流,这些气流将会加速矿用对旋式轴流风机振动,将进一步加大矿用对旋式轴流风机气动噪声.当轮毂比为0.6时,矿用对旋式轴流风机内部扩散筒内的气流流动较为平稳,对应该轮毂比的矿用对旋式轴流风机振动以及气动噪声将会比轮毂比为0.45,0.50,0.55时小,因此,在矿用对旋式轴流风机选择轮毂比为0.6是较为理想的设计参数.

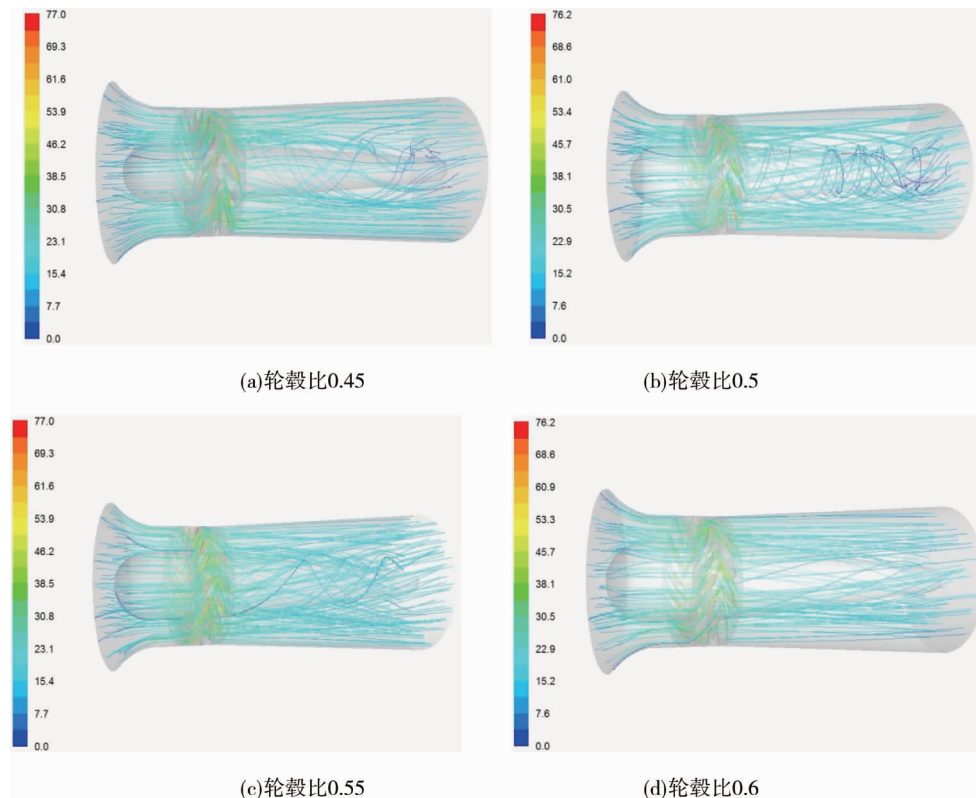


图10 矿用对旋式轴流风机内部三维流场的流动情况

3 结论

1) 随着轮毂比的不断增大,对应的矿用对旋式轴流风机第一级叶轮叶片压力面和第二级叶轮叶片压力面所受的全压将不断减小.

2) 随着矿用对旋式轴流风机轮毂比的增大,矿用对旋式轴流风机的全压会先增大而后减小,而矿用对旋式轴流风机的效率会不断增大.

3) 通过进一步对比不同轮毂下的矿用对旋式轴流风机内部三维流场的流动状况可知,当轮毂比为0.6时通风机三维流场的流动状况更为理想.

参考文献:

- [1] 商景泰.通风机实用技术手册[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 刘晶.对旋局部通风机振动与噪声研究[D].太原:太原理工大学,2017.
- [3] 刘德顺,金永平,岳文辉,等.矿用对旋式轴流风机气动噪声及三维流场数值模拟与分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2012,27(3):22-27.
- [4] 戴巨川,刘德顺,金永平,等.矿用对旋式轴流风机扩散器结构多目标优化设计[J].中国机械工程,2013,24(3):386-391.
- [5] 幸欣.基于叶片安装角调节的对旋局部通风机特性研究[D].太原:太原理工大学,2017.
- [6] 金永平,刘德顺,文泽军,等.叶片数及轴向间隙对矿用对旋式轴流风机气动性能的影响[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2010,25(4):29-32.
- [7] 韩占忠,王敬,兰小平.Fluent 流体工程仿真计算实例与应用[M].北京:北京理工大学出版社,2004.