

基于Fluent的矿山风机仿真分析研究

张 伟

枣庄新中兴实业有限责任公司 山东枣庄 277100

摘 要: 随着经济的发展,煤炭行业对我国的发展有着至关重要的作用,在煤炭开采过程中,矿山风机可以向施工地点不断的更换空气,保证工人正常的工作要求。现阶段,矿山风机有不同的数量的扇叶组成,其中最为常见的有六、八、十等扇叶组成,本文根据矿山风机扇叶不同的数量作为研究对象,通过Fluent仿真分析软件,对矿山风机的周围压力、风速以及速度方向作为参数,对整体的矿山风机性能进行研究,根据分析可以得出,在相同的转速有效范围内,十扇叶的风速最强,产生的静压力最大;在相同转速下,在有效范围内,六扇叶产出的风范围更广。

关键词: 矿山风机; Fluent; 扇叶

Mine fan Simulation analysis based on Fluent

Wei Zhang

Zaozhuang Xinzhongxing Industrial Co., LTD., Zaozhuang 277100, Shandong, China

Abstract: With the development of the economy, the coal industry has a vital role in the development of Our country. In the process of coal mining, the mine fan can continue to replace the air at the construction site to ensure the normal work requirements of workers. At present, the mine fan has a different number of blades, one of the most common six, eight, or ten blades. In this paper, according to the different quantities of mine fan blades as the research object, through the simulation analysis software Fluent, the pressure, wind speed, and direction of speed around the mine fan parameters, to the whole mine fan performance research. According to the analysis, in the same effective range of rotating speed, the wind speed of ten blades is the strongest and the static pressure is the largest. At the same speed, in the effective range, the six blades produce a wider range of wind.

Keywords: mine fan; Fluent; fan blade

引言:

煤炭行业的发展对我国的整体发展有着重要的意义,而在矿井中,主扇风机是关乎煤炭生产安全的重要技术装备,主扇风机的正常运转对于员工来说,可以改善舒适度,为井下的工人提供一个舒适、健康的环境,对于畜牧来说,可以提高存活率,为井下提供充足的新鲜空气,保证井下的工作人员和畜牧能够在井下生活下去,同时主扇风机在工作时,还能将井下的有毒、有放射性的气体、粉尘等吸出,主扇风机还能改善井下的温度和湿度,一定程度保证井下的环境。主扇风机是功率大且常年工作的设备,而且是矿井设备的主要消耗部件,维持矿下主扇风机的正常工作对与矿井安全有着十分重要的作用。

随着我国煤炭行业的迅速发展,维护煤炭行业设备

的正常运行对于生产、发展来说有着重要的意义,提高了煤炭行业的效益,也增强了煤矿生产的安全性,维护好主扇风机长时间的正常工作具有十分重要的意义,也是一项很重要的工作,目前各个矿井在维护主扇风机工作时,主要是分为简单的日常维护、中等定期维护和有计划或大型维护,这些维护虽然可以保证风机能够正常工作,但是维护需要花费大量的时间和精力,同时需要很大的维护费用。这种矿井的维修工作由人工制定,制定完成之后,无论机械是否故障,维护人员都要按照日常维护计划进行维护,这种日常维护将会产生两种结果:人员的过度维修和维修不足。过度维修指的是,机器并没有出现任何的故障,但是工作人员却要要进行正常的维修,不足维修指的是,在机器出现故障时,并没有到达指定的维修时间,所以上两种情况,会导致发生很多

的浪费,资金紧张时,无法保证按照计划进行维修,会导致维护不到位,维护不足的情况发生,会给矿井下的工作人员造成很大情况的干扰。

事实证明,很多企业在进行维护管理的时候,会因为维护计划的工时不佳导致以上的两个问题产生,更有甚,由于维护时间的不合理,导致设备在负荷下工作,增加了设备停滞的可能,设备的停滞,将会严重影响煤矿生产的安全性。

随着计算机的行业的不断发展,建模与仿真技术也愈发成熟,很多年前就已有利用计算机技术模拟系统和机械部件的仿真,计算机的技术愈加强大,人们已经陆续开发出了仿真软件和图形处理研究技术,对建模和仿真技术发展提供了新的发展契机,使得仿真技术越来越成熟。相应的领域在仿真技术的提升下,也提升了发展速度,甚至连航天领域也开始运用仿真技术,仿真技术更加真实,仿真技术的作用也更加明显,很多知名企业也开始将仿真技术运用在设备上,对设备进行仿真模拟,运用其模拟的结果,减少了生产成本和研发周期,同时很多学者通过仿真手段对设备性能进行分析,判断设备发生故障的时间和位置,同时利用对设备的仿真结果,对设备进行合理的优化,提高设备的产能及减少设备的功耗,让设备更加适用于所处的环境。

建模仿真主要用到了相似理论,将设备进行建模,同时对建立的模型进行现场工况的模拟,揭示仿真对象的各方面的性能,得到相应的仿真数据,对仿真数据进行分析,分析建立模型和对应设备的不足,进行改进,建立的模型可以是数学模型、物理模型和概念方法的模型。美国人对人类的行为进行一定的仿真研究,且将数据转化到社会层面,对人类有一定的帮助作用。另外,科学界的许多问题都可以通过仿真技术进行研究和解决,这些都足以说明建模和仿真技术的重要性。

目前在风机行业中,计算机被用来做建模和仿真工作,对风机的性能进行一定的评估,如可将模型的应力、应变、变形量、疲劳寿命、功率求出,可对模型的一些故障点、应力集中点进行分析,监测风机的系统,对风机的故障做出预测或对风机进行一些优化,让风机能够长时间的平稳运行,消耗最少量的资金和人力物力,达到最好的运行效果。建模和仿真技术不但能对模型进行一定的优化,而且可以对其运行故障进行分析预测提供重要的依据。

目前,国内外都对矿井风机坐了一定的建模和仿真工作,国外的研究人员已采用流体力学软件对风机进行

流体力学的分析,可以通过分析了解到模型的流域情况,对其流动情况和优势和劣势都进行了分析,袁莉等仿真了对旋式流风机内部的三维流场,分析了其内部常流场,模型相对简化^[1]。胡俊伟等人针对贯流风机的特性进行了数值模拟,分析了其内部流动规律^[2]。毛君等人借助计算流体力学FLUENT软件针对叶轮机械仿真研究了其内部流场,其预测结果与现实较为接近,可以为叶轮的优化设计提供有效依据^[3]。郑小波等利用流体分析的方法采用了雷诺时均方程分析了转轮叶片的刚强度^[4]。Martin Gabi, Juicier Fukutom等人针对贯流风机进行了数值模拟,分析其流场特性等,对其性能进行了预测^{[5][6]}。Sorensen, D.N等人也同样对风机进行了数值模拟,对风机进行了优化计算^[7]。Outa E, HEL等学者在数值模拟过程中采用了二维N-S方程进行了计算^{[8][9]},还有的学者采用了二维欧拉方程进行计算^{[10][11]}。

通过分析的结果,对模型进行修改和优化,然后在进行下一轮的仿真,直到得到最好的仿真结果。同时在仿真的过程中,还可以设置不同的工况,调整风机扇叶不同的参数,来进行模拟仿真。另外,很多学者也开始进行不同的风机模型的建模,对其流场、强度进行分析,主要进行实体建模仿真。

一、研究方法

1. 矿山风机CFD模拟

矿山风机由外轮廓支架、风机扇和控制驱动等组成,其中风机扇中的扇叶数量和扇叶角度对整个矿山风机有影响。本文主要从风机CFD模拟仿真对矿山风机进行研究分析,通过改变扇叶数量以及扇叶角度对风机的性能进行分析。由于矿山风机有很多部件组成,本文研究矿山风机的性能研究,为了保证后续模拟高效性和准确率,省略了矿山风机的驱动动力部分以及传动结构,对复杂的因素进行简化处理,本文仿真分析从风机扇叶的数量作为研究对象,通过改变风机扇叶的数量来仿真分析出风速度大小、两侧压力以及风机扇叶的功率,从而评价不同扇叶数量对矿山风机的性能影响。本文采用6扇叶风机、8扇叶风机和10扇叶风机作为研究对象,同时加以900rpm的转速,介质为常温空气。

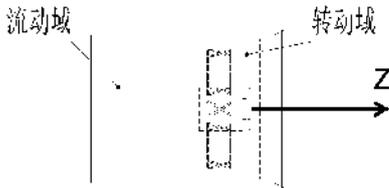
2. 矿山风机三维建模

本文探究的DK40-6系列矿山风机,此种叶轮大约在3000mm左右,为减少计算机运算量,将模型直径缩小至150mm,长度缩小至535mm,能保证在此工作条件下,实现对现实模型仿真。在进行fluent仿真模拟之前,用solidworks三维建模软件对矿山风机进行简化处理,如

图二所示，该模型分为两个区域，分别为转动域和流动域，如图二所示。



图一 简化风机模型图

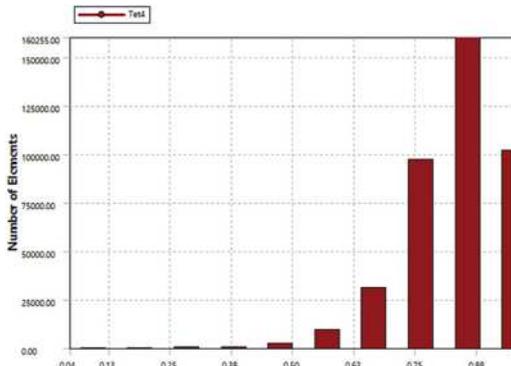


图二 区域示意图

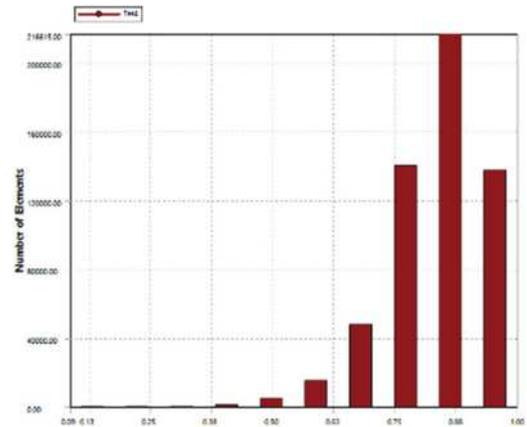
3. 矿山风机前处理

(1) 网格划分

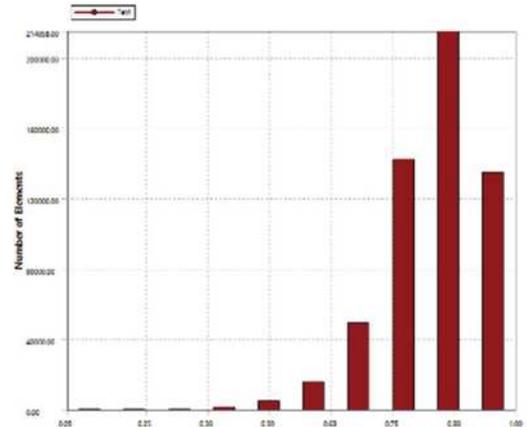
通过workbench中的mesh模块对模型进行前处理，前处理最重要得步骤就是网格划分，针对于该模型，采用非结构化网格进行划分，结构化网格，若保证计算精度，则计算效率降低，若提高效率，则计算精度将会打折扣，因此本模型采用非结构化网格进行划分。本模型采用四面体方法进行网格划分，在划分的过程中，由于工作状态的不同，需要对模型进行局部化加密，由于此次分析的重点是改变风机扇叶的数量研究对入风效果的影响，所以每个分析模型中风机扇叶的数量会有所不同，因此针对于转动域的网格进行特殊的加密，以保证每个模型仿真分析的数值不会因网格划分而产生较大的差别。将每个模型进行网格划分，其内部的转动域网格设置为3mm，其质量均达到标准，六个风机扇叶的质量为0.83599，八个风机扇叶的质量为0.83596，十个风机扇叶的质量为0.83507，如图三所示，满足后续仿真网格划分要求。



六个风机扇叶网格质量图



八个风机扇叶网格质量图



十个风机扇叶网格质量图

图三 网格质量图

(2) 设置边界条件

在Workbench的mesh模块进行边界条件设置，该模型主要分为两个区域类型，分别为流动域和转动域，壁面边界条件分为风机壁面边界条件、进口边界条件和出口边界条件；本文采用多参考系方法，因此，该模型中流动域是动区域。

4. 矿山风机Fluent分析

在选用fluent模型之前，需要对判断其内部流动的气体是层流或是湍流，针对于平直圆管内的流动，可以用雷诺数计算判断：

$$R_e = \frac{\rho v d}{\mu}$$

式中ρ为流体密度，μ为动力粘度系数，v是流场工况的特征速度，L是流场工况的特征长度，根据工况的计算，数值属于高雷诺数，大于4000，属于完全湍流状态，因此本文采用的Fluent的模型为K-epsilon模型（K-ε模型）。在许多的湍流计算中，此模型应用及其广泛，也是常见的湍流模型之一，该模型属于二方程模型，适配高雷诺数、完全发展的湍流工况，针对与低雷诺数的工况，

在过渡区域和近壁面区域计算的结果不是特别理想。所述的K-ε模型，其中K是指紊流脉动动能，ε是指紊流脉动动能的耗散率。

Fluent K-epsilon模型，主要分为标准K-ε模型、RNG K-ε模型和Realizable K-ε模型。标准K-ε模型可以适用于高雷诺数模型，但在分析强旋流、浮力流、重力分层流又出现问题；RNG K-ε模型，相较于标准K-ε模型，RNG模型修正了黏性系数，并且同时也考虑了工况下平均流动时旋转流动情况，对一下阶段的模型流线影响做出更好的预测性作用，因此RNG K-ε模型，相较于标准K-ε模型，适应性更强，精度又有较高的提升，但是对于旋流，有进步的空间；Realizable K-ε模型，相较于标准的K-ε模型，在分析应变率较大的情况下，会产生负应力，但是Realizable K-ε模型可以有效避免这种问题的出现，为保证不会出现负应力，通常会采用某种数学约束进行区分，相较于前两种的模型，Realizable K-ε模型更加适用于旋转流动、强逆压梯度的边界层流动，而且此种模型，还可以分析喷射区域曲率较大的问题；根据模型工况的研究分析，分析矿山风机的适用环境，得出，Realizable K-ε模型更加更用于此次模型分析。

此外，k-epsilon模型（K-ε模型），在湍流计算过程中，计算量较小，而且占用的内存较小，与此同时，还能脚骨精度的控制。

Realizable K-ε模型的k方程和ε可以表示为：

$$\frac{\partial(\rho K)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j K)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{Pr_K} \right) \frac{\partial K}{\partial x_j} \right] + P_K + G_b - \rho \epsilon - Y_M$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \epsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{Pr_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 \bar{S} \epsilon -$$

$$C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{K + \sqrt{v \epsilon}} + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} C_{\epsilon 3} G_b$$

5. 多重参考系（MRF）模型

MRF模型是一种定常计算模型，模型中假定网格单元做匀速运动，这种方法适用于网格区域边界上各点的相对运动基本相同的问题。大多数时均流动都可以用MRF模型进行计算，特别是运动网格区域与静止网格区域间的相互作用比较微弱时可以使用MRF模型进行计算，例如搅拌器内流场计算、泵和风机内流场计算等等。MRF模型的另一个用途是用来为滑动网格模型计算提供

初始流场，即先用MRF模型粗略算出初始流场再用滑动网格模型完成整个计算。

在计算域中同时存在动网格区和静网格区时，可以采用的模型包括MRF模型、混合面模型和滑移网格模型。其中MRF模型和混合面模型用于定常流计算，而MRF则是最简单的，因而也是最经济的模型。在使用MRF模型进行计算时，整个计算域被分成多个小的子域。每个子域可以有自已的运动方式，或静止，或旋转，或平移。流场控制方程在每个子域内进行求解，在子域的交界面上则通过将速度换算成绝对速度的形式进行流场信息交换。如果交界面上网格是正则的，即交界面两侧区域共用相同的网格节点，则网格划分方法与常规方法别无二致。如果网格是非正则的，其处理方法请参阅本书中与非正则网格处理相关的内容，本此仿真采用MRF模型。

二、矿山风机后处理结果及分析

1. 仿真压力及速度分析

对同一尺寸、转速相同的轴，不同密度的扇叶进行压力分析，结果如图1所示，图a1为一周为6扇叶，图b1为一周8扇叶，图c1为一周10扇叶。

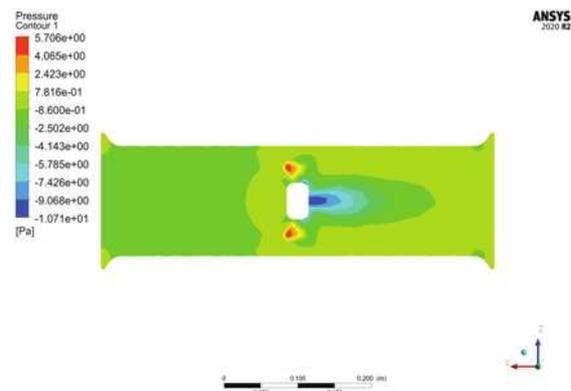


图 a1

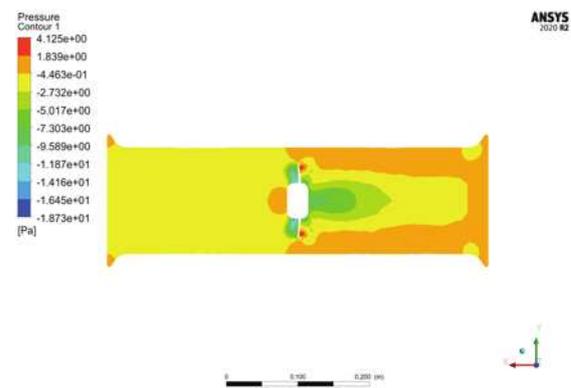


图 b1

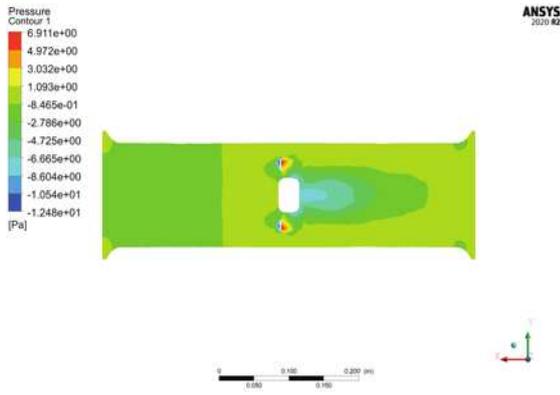


图 c1

由图一可知，三种不同密度的扇叶以同一速度转动时，扇叶外轮廓的压力是最大的，但不同密度的扇叶的压力不同，一周6扇叶的风扇最大压力是5.760pa，8扇叶的风扇最大压力是4.125pa，10扇叶的风扇压力最大是6.911pa。10扇叶的风扇压力是最大的。8扇叶的风扇压力是最小的。

2. 风扇速度分析。

对同一尺寸、转速相同的轴，不同密度的扇叶进行压力分析，结果如图 a2-c2 所示，图 a2 为一周为 6 扇叶，图 b2 为一周 8 扇叶，图 c2 为一周 10 扇叶。

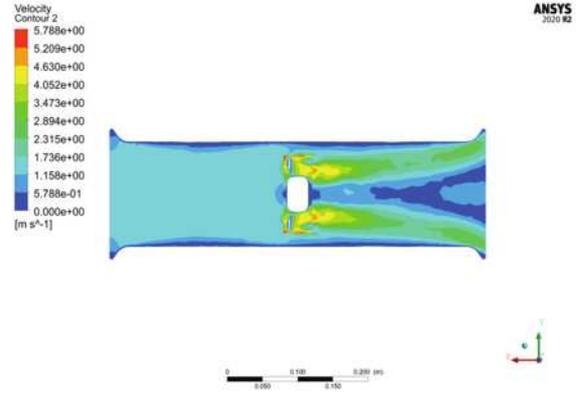


图 c2

由图 2 可知，三种不同密度的扇叶均呈现放射性的速度图，较为均匀的是 6 扇叶和 10 扇叶，8 扇叶的速度图均匀性稍差，其中在放射性速度图的中心处内，10 扇叶的速度是比 6 扇叶和 8 扇叶的速度快。

3. 风扇速度矢量图分析

对密度不同的三个风扇速度矢量图进行分析，如图所示，图 a3 为一周为 6 扇叶，图 b3 为一周 8 扇叶，图 c3 为一周 10 扇叶。

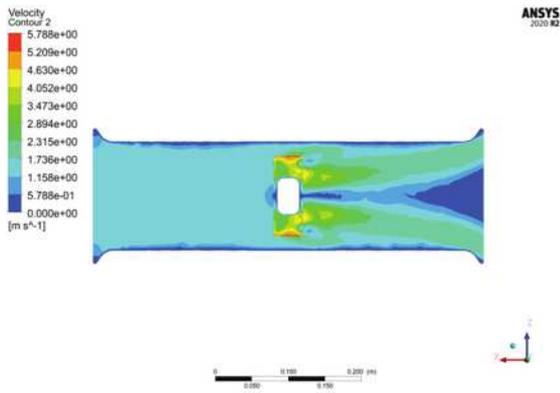


图 a2

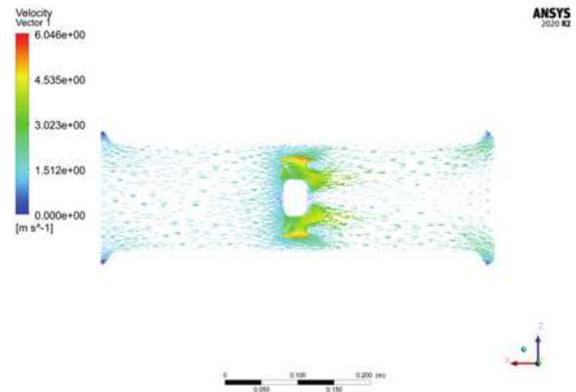


图 a3

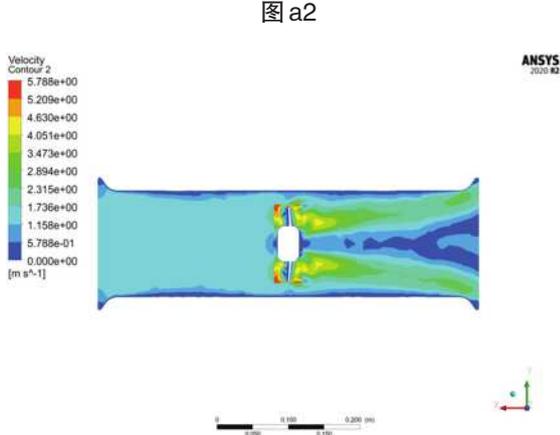


图 b2

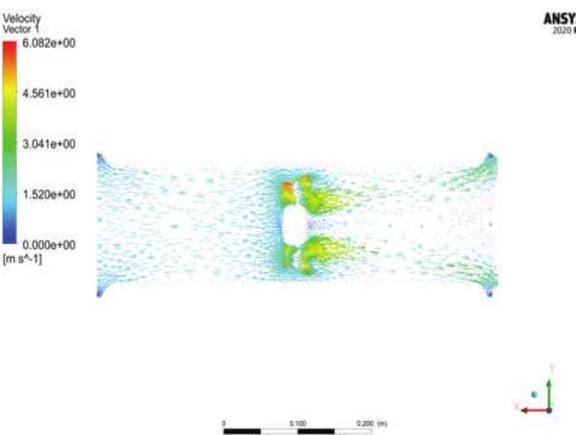


图 b3

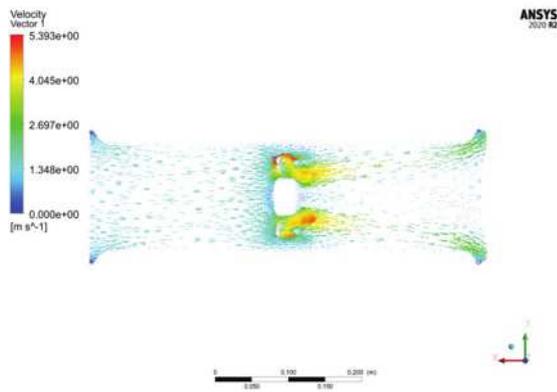


图 c3

由图3可知,在风扇进风之前,风扇的速度是均匀的,风扇吹出风以后,风扇速度矢量图呈散射状,由图3的三张矢量图比较可知,10叶片的速度是最快的。

三、研究结果分析

通过对以上模型和仿真的数据分析可知,在扇叶、功率、角度一致的情况下,在轴的一周安装10个扇叶时,出口处的压力最大,压力已经达到了速度已经达到了6.911pa,且轴的一周安装10个扇叶时,风力较为均匀且最大,根据分析可以得出,在相同的转速有效范围内,十扇叶的风速最强,产生的静压力最大;在相同转速下,在有效范围内,六扇叶产生的风范围更广。

参考文献:

[1]袁莉.对旋式轴流通风机的仿真[D].西安科技大学硕士论文,2004:5-15
[2]胡俊伟,丁国良,赵立等.贯流风机流场模拟与性能分析[J].机械工程学报,2004,40(4):62-66.
[3]毛君,张莉蓉,丁飞,李蕾.基于FLUENT的叶轮机械内部流场的模拟研究[J].风机技术.2007,5:10

[4]郑小波,罗兴,邬海军.基于CFD分析的轴流式转轮叶片刚强度分析[J].水力发电学报.2006,10(5):121-123

[5]Martin Gabi, ToniK lemm. Numerical and Experimental Investigations of Cross-FlowFans[J].Journal of Computational and Applied.2004, 5(2): 251-261.

[6]Juicier Fukutom, i Rei Nakamura.Performance and Internal Flow o f Cross-Flow Fan with Inlet Guide Vane[J].JSME International Journal 2005,48 (4): 763-769.

[7]Sorensen, D.N., and Sorensen, J.N. Toward Improved Rotor-Only Axial Fans-Part 1:A Numerically Efficient Aerodynamic Model for Arbitrary Vortex Flow[J] ASMEJ.FluidsEng., 2000, 122(2):318-323

[8]OutaE, Ohta Y, Kato D, et al. Two Dimensional Study on Evolution of Deep Rotating Stallunder Uniform Inlet Conditions in an Axial Compressor Cascades [C]. ISABE. Florence,Italy: International Organization, 1999:5-10.

[9]He L. Computational Study of Rotating-stall Inception in Axial Compressor [J] . Journal ofPropulsion and Power.1997, 13(1):31 -38.

[10]Gourdain N, Burguburu S, Leboeuf F, et al. Numerical Simulation of Rotating Stall in aSubsonic Compressor [J] . Aerospace Science and Technology, 2006, 10(1): 9-18.\

[11]Saxer-Felici H M, Saxer A, P, Inderbitzin A, et al. Numerical and Experimental Study of Rotating Stal in an Axial Compressor Stage [J]. AIAA Journal, 2000, 38(7): 1132-1141