

防爆抽出式对旋轴流局部通风机叶轮的静力分析

贺秋冬¹,李丽君²,李 坤³

(1. 湖北工程学院计算机与信息科学学院,湖北 孝感 432000;

2. 湖北工程学院外国语学院,湖北 孝感 432000;

3. 湖北赛福机械有限公司,湖北 孝感 432000)

摘 要:为提高矿用防爆抽出式对旋轴流局部通风机叶轮的安全可靠性,以FBDCNo9.0/2×30型通风机叶轮为研究对象,利用有限元分析软件对叶轮建立了有限元计算模型,对其应力和位移进行了计算。经测试,通风机运转平稳,无异常声响,风量为655~978 m³/min,全压为412~3 443 Pa,静压为118~3 314 Pa,最高静压效率达到70.35%,最高全压效率达到74.23%,比A声级噪声为17.6 dB,叶轮的强度和刚度满足要求。样机试验及现场应用表明:对该型通风机叶轮所建立的计算与分析模型正确;通过合理的设计,采用等厚圆弧板叶型、普通热轧低碳钢板材质作叶片的对旋轴流叶轮,其强度、刚度能够满足要求,整机的空气动力性能较好。

关键词:有限元分析;抽出式;叶轮;叶片;应力;位移;局部通风

中图分类号:TD441.2

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.05.017

0 引 言

在现代煤矿生产中,随着开采深度的加大,煤层瓦斯含量增加,综放工作面单产水平的不断提高,使工作面瓦斯绝对涌出量不断增大^[1],压入式局部通风方式已不能完全满足煤矿通风安全的需要,很多情况下需要采用抽出式通风^[2-4],因而对抽出式局部通风机的需求量越来越大,研制大风量、高效、安全、环保、性能可靠的抽出式局部通风机是非常必要的。

矿用抽出式局部通风机叶片承受离心力、流体动力、振动和介质等的综合作用,是通风机的关键部件^[5],如果出现故障,轻则影响正常生产,重则引起瓦斯爆炸事故,造成巨大的人身和财产损失,其安全性非常重要^[6],为此有必要对叶轮的强度和位移进行有限元分析与计算。本研究以FBDCNo9.0/2×30矿用防爆抽出式对旋轴流局部通风机(F——“通”风机,B——“防”爆,D——“对”旋,C——“抽”出式,叶轮直径0.9 m,2级,单级功率30 kW)叶轮为对象,利用有限元分析软件ANSYS对叶轮的应力和位移进行了计算、分析,并通过试验和现场运行进行了验证。

1 叶轮的结构

FBDCNo9.0/2×30矿用防爆抽出式对旋轴流

局部通风机的叶轮由叶片、轭圈、轴盘、辐板等零件组焊而成,如图1所示。由于钢板冲压叶片叶轮的加工过程绿色特性较好^[7],故叶片材质采用普通热轧低碳钢板,叶型为等厚圆弧板,叶片角度不可调。通风机的第一级叶轮和第二级叶轮直径、轮轂比、转速相同,但两级叶轮的叶片数、安装角、叶片弦长、旋转方向不相同。因第一级叶轮的叶片数较多,重量较大,故分析与计算选用第一级叶轮。

2 叶轮结构的有限元分析与计算

因组成叶轮的零件材质均为Q235热轧低碳钢,并已组焊成一体,故分析计算过程中将叶轮当作一个材质连续、均匀的整体,并认为其密度、弹性模量和泊松比相同(分别为7 850 kg/m³、2.06 GPa、0.3^[8])。

通风机叶轮各部件的应力主要是由离心力所引起^[9],和叶轮的离心力相比,其气动力小得多,对叶轮强度的影响可以忽略^[10],因而作用在叶轮分析模型上的载荷有2个^[6,11]:

(1) 叶轮旋转引起的惯性载荷角速度:

$$\omega = \frac{k\pi n}{30} = \frac{1.2 \times 3.1416 \times 1470}{30} = 184.6 \text{ (rad/s)}$$

式中, n 为叶轮转速, $n=1470$ r/min(叶轮直接安装在电动机轴伸上,其转速等于配套电动机转速,

收稿日期:2012-04-20

基金项目:湖北省教育厅科学技术研究计划项目(B20122602)。

作者简介:贺秋冬(1963-),男,湖南湘潭人,高级工程师,硕士。研究方向:流体机械、矿山机械。

配套的 YBF2-200L-4 型防爆电动机额定转速为 1 470 r/min); k 为载荷系数,取 $k=1.2$ 。

(2) 叶轮本身重量引起的重力加速度惯性载荷,取 $g = -9.8 \text{ m/s}^2$ 。

叶片为三维圆弧板扭曲成形,具有形状复杂的曲面,分析计算时选用 ANSYS 软件中适合此种情形^[6,12]的 10 节点四面体实体单元 SOLID92,通过智能自由划分方式^[13-14],对整个叶轮建立网格模型(网格粗细设置为 5),共生成了 185 476 个单元,332 044 个节点,图 1 为叶轮网格图。

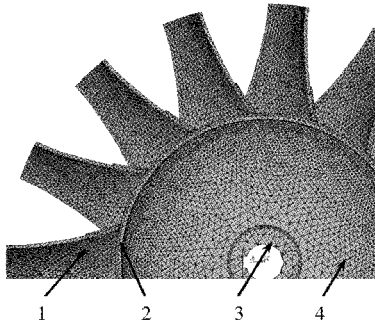


图 1 叶轮网格图

Fig. 1 Mesh plots of impeller

注:1——叶片,2——毂圈,3——轴盘,4——幅板。

图 2 至图 4 分别为求解后所得叶轮的 1~3 主应力云图。

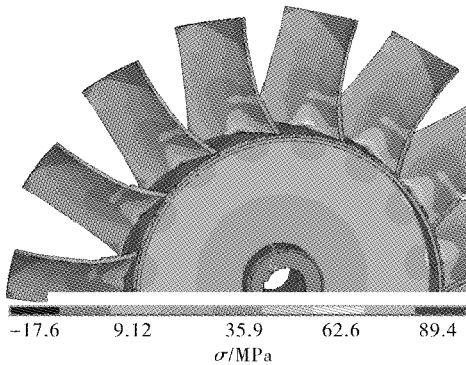


图 2 叶轮的第 1 主应力云图

Fig. 2 1st principal stress of impeller

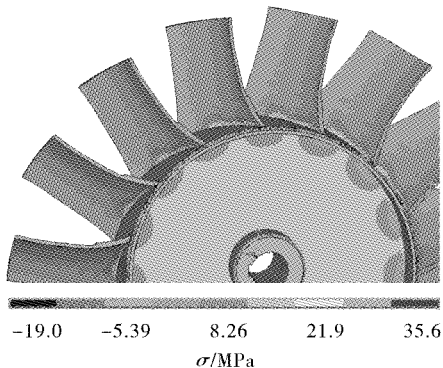


图 3 叶轮的第 2 主应力云图

Fig. 3 2nd principal stress of impeller

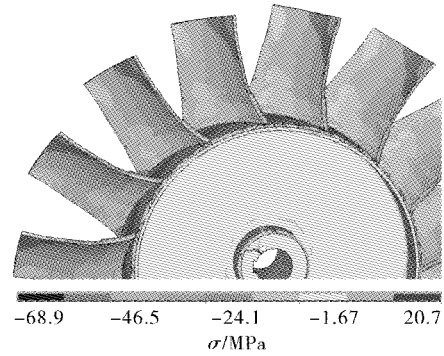


图 4 叶轮的第 3 主应力云图

Fig. 4 3rd principal stress of impeller

图 5 为求解后所得叶轮的 Von Mises 应力云图,最大 Von Mises 应力 $\sigma_{\text{Max}} = 83.6 \text{ MPa}$,位于叶片根部,根部截面为危险截面。其安全系数为:

$$S = \frac{\sigma_s}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{235}{23.6} = 2.81 > 2$$

式中, σ_s 为材料的屈服强度, $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$ (按 GB/T700-2006 碳素结构钢)。

安全系数大于 2, 叶轮结构的强度满足要求^[15]。

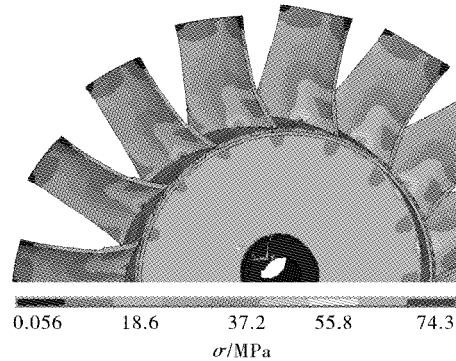


图 5 叶轮的 Von Mises 应力云图

Fig. 5 Von mises stress of impeller

图 6 至图 8 分别为求解后所得叶轮的 X、Y、Z 轴位移分量云图。

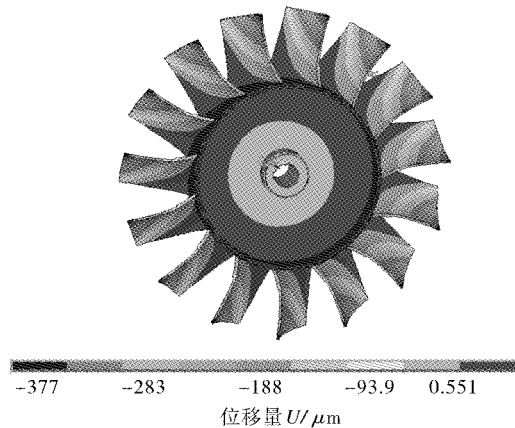


图 6 叶轮的 X 轴位移分量云图

Fig. 6 X-component of displacement of impeller

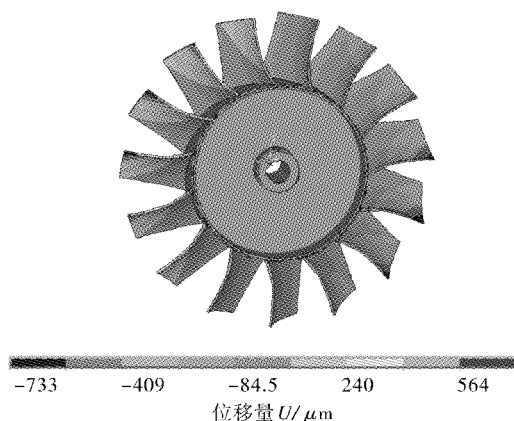


图 7 叶轮的 Y 轴位移分量云图

Fig. 7 Y-component of displacement of impeller

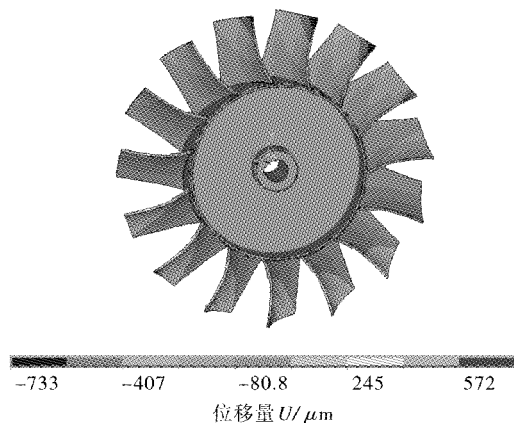


图 8 叶轮的 Z 轴位移分量云图

Fig. 8 Z-component of displacement of impeller

图 9 为求解后所得叶轮的总位移云图,其最大总位移量 $U_{\text{SUM}} = 0.824 \text{ mm}$,位于叶片顶部.为了防止通风机运行时叶片与机壳发生碰擦,标准规定叶轮与机壳之间的最小间隙值(静态时测量)必须大于等于 $2.5 \text{ mm}^{[16]}$,该值远大于叶轮的最大总位移量 0.824 mm ,故通风机运转时叶片不会与机壳发生碰擦,叶轮的刚度满足要求.

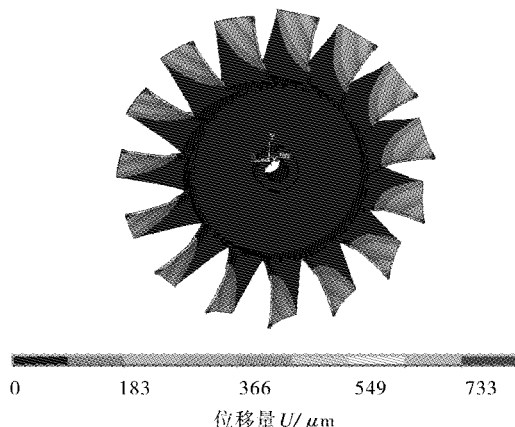


图 9 叶轮的总位移云图

Fig. 9 Displacement vector sum of impeller

3 性能测试与现场试用

3.1 空气动力性能试验

为检验叶轮的综合性能,对通风机样机按国家标准——《GB/T 1236 - 2000 工业通风机用标准化风道进行性能试验》进行了试验,图 10 为通风机的全压、静压、噪声曲线图,图 11 为通风机的全压效率、静压效率、轴功率曲线图.其它主要检测数据如表 1 所示.

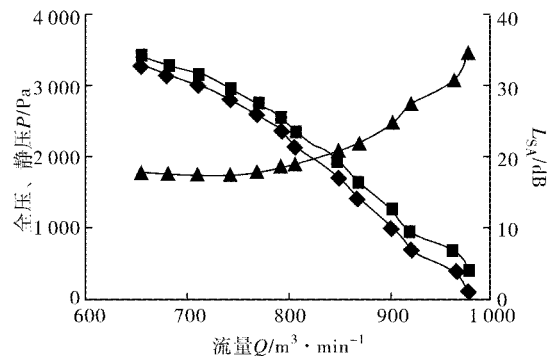


图 10 通风机的全压与静压和噪声

Fig. 10 Total pressure, static pressure and noise of the fan

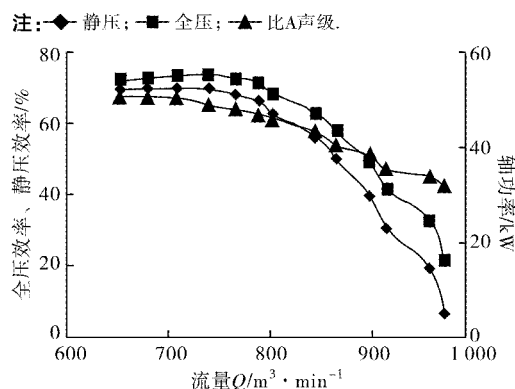


图 11 通风机的全压效率与静压效率和轴功率

Fig. 11 Total pressure efficiency, static pressure efficiency and shaft power of the fan

注:◆—静压效率;■—全压效率;▲—轴功率.

从表 1 可以看出,叶轮运转平稳,无异常声响.通风机整机振动速度小,风量为 $655 \sim 978 \text{ m}^3/\text{min}$,全压为 $412 \sim 3443 \text{ Pa}$,静压为 $118 \sim 3314 \text{ Pa}$,最高静压效率达到 70.35% ,最高全压效率达到 74.23% ,比 A 声级噪声为 17.6 dB .通风机的各项性能指标均达到或优于标准要求.

表1 FBCD№9.0/2×30 矿用防爆抽出式对旋轴流局部通风机性能参数表

Table 1 Performance Parameter of FBCD№9.0/2×30

| 参 数 | 技术要求 ^[15] | 检测结果* |
|--|----------------------|-------------|
| 机械运转 | 运转平稳, 无异常声响 | 运转平稳, 无异常声响 |
| 叶轮间隙/mm | ≥2.5 | 2.96 |
| 风量/ $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ | 970~660 | 970~660 |
| 静压/Pa | 300~3 100 | 281~3 287 |
| 静压偏差/% | ±8 | -6.3~+6.0 |
| 最高静压效率/% | ≥62 | 70.4 |
| 单台电机最大输出功率/kW | ≤30 | 28.07 |
| 噪声 L_{SA}/dB | ≤25 | 17.6 |
| 振动速度有效值/ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ | ≤4.6 | 2.2 |
| 隔流腔压差/Pa | >100 | 328 |

注: * 根据国家安全生产重庆矿用设备检测检验中心检验报告。

3.2 现场应用

为检验叶轮在通风机运行过程中的稳定性、可靠性,对样机进行了半年的现场试用。试用过程中,通风机运转正常,叶轮未出现任何故障。

4 结 语

a. 采用等厚圆弧板叶型、普通热轧低碳钢板材质作叶片的对旋轴流叶轮,其强度和刚度满足要求。采用这种叶片的叶轮不仅加工过程的绿色特性较好,而且其空气动力性能可达到较高的水平。

b. 为 FBCD№9.0/2×30 矿用防爆抽出式对旋轴流局部通风机叶轮的强度和刚度有限元分析所建立的计算模型正确,其有限元分析与计算有效。

c. 叶轮的最大应力部位为叶片的根部,该处为叶片与轭圈的连接部位,必须特别注意该处焊缝的质量,绝不能存在裂纹、气孔、夹渣、咬肉等缺陷。

d. 本文的计算和分析方法对轴流通风机叶轮的设计与进一步研究具有参考意义。

参考文献:

- [1] 刘涛. 综放工作面割煤高度对瓦斯涌出的影响[J]. 煤炭学报,2011,36(7):1161-1164.
- [2] 由长福,徐旭常. 压入式与抽吸式通风中瓦斯浓度对比分析[J]. 工程热物理学报,2007,28(4):702-704.
- [3] 庞浩磊,李晓宁,卓会. FBC 矿用防爆轴流抽出式局部通风机的试制[J]. 电气防爆,2009(1):42-44.
- [4] 王永申. 水力驱动局部通风机的研制及应用[J]. 水力采煤与管道运输,2004(2):3-6.
- [5] 谢志江,刘军,唐一科,等. 叶轮机械叶片故障的叶间动态间距诊断法[J]. 机械工程学报,2004,40(8):96-99.
- [6] 贺秋冬,龚曙光,丁涛. 对旋轴流局部通风机叶片断裂原因分析与改进[J]. 机械工程学报,2011,47(24):122-127.
- [7] 刘德顺,刘爱军,周知进,等. 矿用风机叶轮加工过程资源环境特性综合分析与评价[J]. 煤炭学报,2011,36(1):161-166.
- [8] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [9] Bhoje D V, Padole P M. Experimental and theoretical analysis of stresses, noise and flow in centrifugal fan impeller [J]. Mechanism and Machine Theory, 2004, 39(12): 1257-1271.
- [10] 蔡兆麟,韩海燕,彭鑫. 旋转叶轮三维应力分布及其改善措施[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2003,31(12):81-83.
- [11] 贺秋冬,李丽君. 矿用对旋轴流式主通风机叶轮有限元分析[J]. 机械强度,2007,29(1):170-174.
- [12] 刘伟,高维成,于广滨. ANSYS 12.0 宝典[M]. 北京:电子工业出版社,2010:95-96.
- [13] 贺秋冬. 矿用对旋轴流式主通风机机壳有限元分析[J]. 煤炭学报,2005(3):178-182.
- [14] 王成刚,王小雨,郑晓敏,等. 基于有限元法活塞杆应力集中的研究[J]. 武汉工程大学学报,2011,33(1):88-90,95.
- [15] 机械工程师手册编辑委员会. 机械工程师手册(第二册)[M]. 第2版. 北京:机械工业出版社,2002:128-129.
- [16] MT222-2007. 煤矿用局部通风机技术条件[S].

Impeller static force of extractable explosion-proof contra-rotating axial fan for mine local ventilation

HE Qiu-dong¹, LI Li-jun², LI Kun³

(1. School of Computer and Information Science, Hubei Engineering University, Xiaogan 432000, China;

2. School of Foreign Languages, Hubei Engineering University, Xiaogan 432000, China;

3. Hubei Safe Machine Co., Ltd, Xiaogan 432000, China)

Abstract: To improve the impeller safe reliability of extractable explosion-proof contra-rotating axial fan for mine local ventilation, extractable explosion-proof contra-rotating axial fan for mine local ventilation FBDCN9.0/2 × 30 (impeller diameter of 0.9 m, 2 stages, single stage power of 30 KW) was taken as the research object, and an approximate three-dimensional finite element computation model is built by using ANSYS software. The stress and the displacement were calculated, too. By testing, the fan works stably without unusual sound. The air quantity is 655 – 978 m³/min, total pressure is 3443 – 412 Pa, static pressure is 3314 – 118 Pa. And the highest static pressure efficiency is up to 70.35%, the highest total pressure efficiency is also up to 74.23%, a-weight specific sound level is 17.5 dB. Furthermore, the intension and stiffness of the impeller meet requirements. Sample test and field using show that the computation and the model of this impeller are right, through reasonable design, the impeller of contra-rotating axial fan with equally-thick circular arc blade profile and common hot-rolling low-carbon steel blades has the intension and the stiffness which meet demands, and the air performance reaches higher level.

Key words: finite element analysis; extraction; impeller; blade; stress; displacement; mine local ventilator

本文编辑:陈小平



(上接第 67 页)

Recognition of billet character in heavy rail production line

YANG Yi-jun¹, HONG Han-yu¹, ZHANG Xiu-hua¹, WANG Yi-wen², YU Zhe-jun¹

(1. Laboratory of Image Processing and Intelligent Control, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China;

2. School of mathematics and physics, University of Science Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: To meet the demand of tracking each billet in the heavy rail production line, a billet character recognition algorithm based on computer vision was proposed. Firstly, multistage segmentation filtering based on OTSU and clustering processing was adopted to locate the billet character precisely. Secondly, the segmentation algorithm based on intelligent multi-agent was used to divide the billet character accurately. Lastly, the multilevel recognition algorithm incorporation the template matching and feature recognition was used to recognize billet character correctly. The experimental results show that the proposed algorithm in this paper can recognize the billet character correctly and quickly.

Key words: character location; character segmentation; character recognition

本文编辑:陈小平