

电机散热风扇外流道流场 CFD 分析

徐立超¹, 胡海波²

1 龙煤矿业集团股份有限公司双鸭山分公司供电公司, 黑龙江双鸭山(155100)

2 依兰电业局, 黑龙江依兰(154800)

摘要 电机风扇是电机冷却的关键零件, 以业内常见的 YKK 电机风路为例, 介绍了一种利用 CFD 手段分析电机风扇外流道流体场的方法。由于该方法比较复杂, 我国电机行业内应用不多, 读者可对该技术手段有一定的了解, 并可在实际工作中应用。

关键词 风扇; 外流道流场; CFD; 风扇效率; 截面压力

中图分类号: TM301.4⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1008-7281(2011)02-0018-04

CFD Analysis on Fluid Field of Motor Cooling Fan Outer fluid channel

Xu Lichao and Huo Haibo

Abstract The fan is a key part of motor in cooling. Taking the ventilation circuit of a YKK motor commonly used in motor industry as an example, this paper introduces a method to analyze fluid field of motor cooling fan outer fluid channel by CFD. This method is more complex, so it is less applied in motor industry now. The authors can have some understanding on this technical means in this paper, and it can be applied to actual work.

Key words Fan; fluid field of outer fluid channel; CFD; fan efficiency; cross-section pressure

1 电机散热风扇数值 CFD 分析的意义

电机冷却风扇是电机冷却系统中非常重要的零部件。散热风扇的效率和性能, 是整个电机系统性能评价的主要指标之一。无论是散热风扇的设计还是性能评价, 都是建立在风道试验的基础上。近年来随着计算机技术及 CFD 技术的迅速发展, 借助计算机来进行模拟性能测试变为可能, 使用商业 CFD 软件 FLUENT 进行散热风扇模拟性能测试是一种更方便、经济的测试方法。电机散热风扇示意图如图 1 所示。

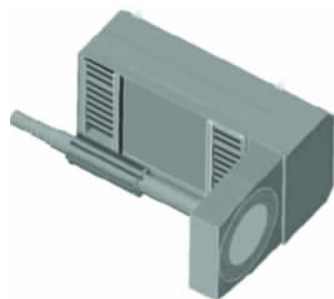


图 1 YKK 电机散热风扇的示意图

2 电机散热风扇 CFD 分析的主要内容

2.1 散热风扇风量的分析

当电机风扇工作时, 它将空气从进口百叶窗处吸进来, 通过旋转的离心力将其甩出, 空气通过风道排出。电机工作过程中, 通过散热风扇的流量是随着电机转速不断变化的, 在本文中将按照电机额定功率下的转速为条件进行计算分析。电机散热风扇最终的性能表示都是以流量和转速为自变量, 静压及功率为因变量的流量—静压、流量—功率图。即给定风扇转速, 通过计算得到风扇静压及功率。在分析过程中把空气当作不可压缩流体来处理。本文以按最常见的工况进行了以下分析

(1) 风扇正常工作状态下, 风道内的流场分析;

(2) 风扇正常工作状态下, 风道进口、出口的质量流率, 风扇对轴的力矩;

(3) 对计算结果进行分析。

在 FLUENT 中, 提供了三种适用于旋转机械

的计算模型:多参考系模型、混合平面模型和滑动网格模型。其中多参考系模型对计算机的要求为三种模型中最低的,而且经过长期检验,计算的精度也有一定的保证。

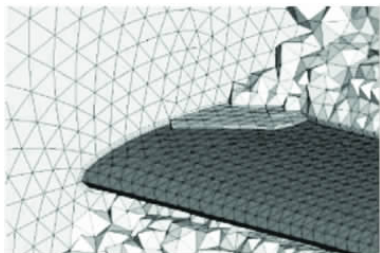


图2 FLUENT 中混合类型网格自动划分

2.2 百叶窗风叶优化

电机散热风扇的百叶窗对进入流场通道的流体流量大小有着很大的影响,所以对百叶窗的优化也就成为影响风扇效率的重要因素。百叶窗优化的目的:在不影响风扇效率的前提下,尽可能的使百叶窗的几何形状简单,加工方便。结合目前行业内的百叶窗形式,采用不同的形式进行流场分析计算,并根据计算结果,设计优化合理的百叶窗形状,如图3所示。

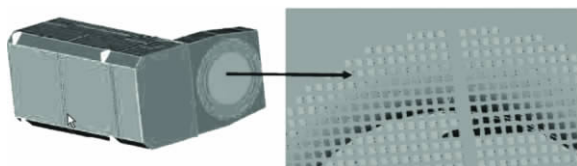


图3 YKK 电机进风口百叶窗示意图

2.3 风扇风阻的计算

评价电机散热风扇的优劣,首先要考虑风扇本身的性能,如风扇静压、风扇流量、风扇效率等。风扇静压为了使冷却系统空气顺利通过散热器并把热量带走,风扇所供给的冷却空气应具有一定的压力,其大小与系统的风阻相等。系统的风阻为散热器的阻力及除散热器以外的所有空气通道阻力之和,如百叶窗、导风罩、冷却器罩等的阻力。风扇流量即是单位时间流过散热器及风扇的冷却空气流量,流量越大,冷却空气从散热器上带走的热量越多,散热效果越好。风扇效率为风扇静压功率与风扇轴功率的比值,反映了风扇的能量消耗与能量利用率。然后还要将风扇与整个散热系统相匹配,如风扇转速与发动机或电机的转速匹配、风扇静压与系统风阻的匹配、风扇流量与发动

机发热量的匹配、风扇最高效率点与散热系统的最高效率点的匹配等。根据风扇风阻及效率的计算公式,从电机散热风扇风量的计算结果中,提取有效的数据赋予其中,通过计算可以得到风扇风阻及效率。

2.4 风扇效率的计算及优化分析

根据以上步骤得出的结果,再利用公式计算出风扇的设计效率是否满足要求,并可根据情况对其进行优化分析设计以满足要求。

3 实例分析

3.1 待分析的风道介绍

本次计算分析的是一个长0.96m、宽0.91m、高0.27m的风箱,风箱内部有一个离心式风扇,风扇有9个叶片。当风扇正常工作时,它将空气从前壁面吸进来,通过旋转的离心力将其甩出,空气通过风道排出,并对正常风道内的流场,风道出口的质量流率,风扇对轴的力矩等进行分析。

3.2 分析中使用的坐标系

本文实例分析中使用的坐标系处于风扇中心,如图4所示。

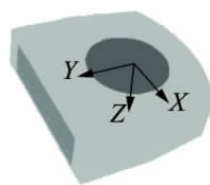


图4 X、Y轴在风扇径向平面内 Z轴指向
风扇中心轴的轴向

3.3 材料参数

本文实例分析中使用材料属性见表1。

表1 材料属性

材料名称	air
密度(kg/m^3)	1.225
粘性($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)	$1.7894\text{e-}5$

3.4 几何分析模型

在正常工作状态下,风扇是主要的工作部件,出口的质量流率主要取决于风扇的功率,而风扇的工作效率主要取决于风箱内流场的形态。在分析风扇的流场时,为了便于建立CFD模型,对流道的几何模型作了一些必要的处理。

3.4.1 模型的简化

简化掉了风扇的一些小圆孔、一些凸出的小

零件,风道外部的轴以及轴承等对分析影响不大的部分。

3.4.2 计算域的分割

在整个计算域中,叶片和叶片相连的部件是运动的,而风道壁面是不动的,因此在建立计算域几何模型的时候,将运动部分与固定不动的部分,分割成两个几何体,见图5、图6。



图5 旋转部分几何图



图6 静止部分几何图

3.5 网格模型

网格划分采用 ANSA12.1.4 版,划分网格时,基本单元尺寸设置为 10mm,网格模型如图7所示;局部网格细化,如叶片、壁面等划分边界层如图8所示;表2是网格单元数目以及网格质量统计表,流体求解软件采用 FLUENT6.3.26 版。

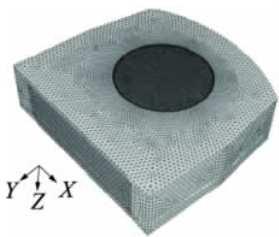


图7 整体网格

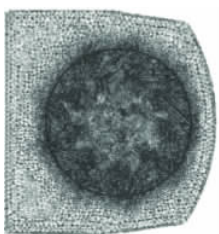


图8 边界层网格

表2 网格组成

有限单元的体单元组成		
类型	数目	占单元总数百分比(%)
单元总数	1931176	100
网格单元形式	四面体	
第一层	0.2mm	
边界层	层间递增	1.2
	层数	3
网格质量检查结果		
质量检查参数	分布范围	占单元总数百分比(%)
扭曲率	<0.8	100

3.6 边界载荷

3.6.1 旋转域的边界条件与载荷的施加

在 FLUENT 中,求解器通过旋转坐标系来实现求解域的旋转。旋转轴方向: $(0,0,-1)$; 移动类型: 移动参考坐标; 旋转速度: 1485 转/分。

3.6.2 旋转壁面的边界条件与载荷的施加

在叶片以及与叶片相连部件的壁面施加的边界条件是相对于求解域的相对值。

壁面运动: 移动面; 运动: 相对临近单元域、旋转; 速度: 0; 旋转轴方向: $(0,0,-1)$

3.6.3 进口边界条件与载荷的施加

进口压力: 0Pa; 方向: 垂直于壁面方向

3.6.4 出口边界条件与载荷的施加

出口压力: 0Pa; 方向: 垂直于壁面方向

3.7 结果分析

3.7.1 叶片压力云图见图9

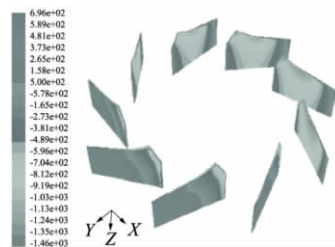


图9 叶片压力云图

3.7.2 沿叶片径向截面的压力云图见图10

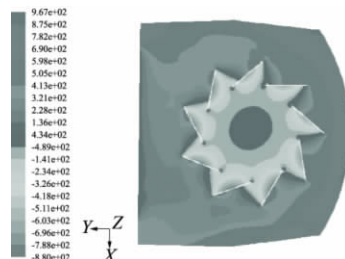


图10 沿叶片径向截面的压力云图

3.7.3 沿叶片径向截面的速度矢量云图见图 11

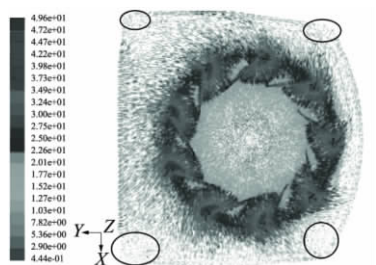


图 11 径向截面的速度矢量云图

由矢量云图看出: 在风箱的四个角上, 存在涡流, 这将损耗一部分能量, 可以在这些地方做一定的改进, 以提高风扇效率。

3.7.4 进出口质量流率

由计算得到整个进口平面上的质量流率为 4.4647164 kg/s; 整个出口平面上的质量流率为 4.4647818 kg/s。

3.7.5 叶片对中心轴的力矩

所有叶片上所受压力相对于中心轴的力矩为 22.640983 N·m

3.7.6 风扇风阻系数

$$\xi = \frac{2S}{\rho V^2}$$

式中, S —管壁上的粘性应力; ρ —密度; V —速度。

由上式计算得到风阻系数为

$$\xi = 0.0044。$$

3.7.7 风扇效率

$$\Pi = \frac{\Delta P Q}{T W}$$

式中, ΔP —全压升; Q —体积流量; T —绝对温度;

W —转速。

由上式计算得到风扇效率为: $\Pi = 0.27$ 。

4 结语

风扇的效率直接影响到使用者的成本, 制造风扇的厂商总是希望用更少的能量, 而送出更多的风。但实际中, 总有一部分能量损失掉, 这些损失掉的能量转化成热能使风扇的温度升高, 从而改变风扇的性能、缩短使用寿命。风扇在使用中, 风和风扇外壳发生摩擦, 使得风速减小, 同时摩擦生热使得风扇的温度升高, 机械能转化成热能损失掉; 另外使用中, 由于风道的设计不合理, 风在风道内形成漩涡, 漩涡将机械能转化成热能损失掉。

通过计算, 本例风扇的效率值为 0.27, 这款风扇的效率比较低。根据以上分析得出, 要提高风扇的效率, 第一可以提高风道表面的光滑度, 使风在风道内受到的摩擦阻力减小; 第二可以改善风道的结构, 使风在风道内的流动更顺畅, 不让它产生漩涡。由计算结果可以明显看出, 这款风扇的风道内, 在四个角部的地方有漩涡产生, 改进的时候, 可以在这些地方改变风道的结构。仔细分析该风路结构后发现, 风扇效率低的原因因为风扇风叶角度设计不合理, 经改正后风扇效率明显提高合格水平。

作者简介: 徐立超 男 1965 年生; 毕业于黑龙江科技学院电气工程及其自动化专业, 现从事电力安装工作。

收稿日期: 2010-11-07

(上接 10 页)

[4] Bhowmik S, Spee R, Enslin J H R. Performance optimization for doubly fed wind power generation systems [J]. IEEE Trans. on Industry Applications, 1999, 35 (4): 949-958.

[5] Muller S, Deicke M, De Doncker R W. Doubly fed induction generator systems for wind turbines [J]. IEEE Industry Applications Magazine, 2002, 8 (3): 26-33.

[6] Hopfensperger B, Atkinson D J, Lakin R A. Combined magnetising flux oriented control of the cascaded doubly-fed induction machine [J]. IEE Proceedings-Electric Power Applications, 2001, 148 (3): 354-362.

[7] 赵仁德, 贺益康, 黄科元, 等. 变速恒频风力发电机用交流励磁电源的研究 [J]. 电工技术学报, 2004, 19 (6): 1-6.

[8] 秦寿康. 最优化理论和方法 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1986.

[9] 席敏, 宋永鹏. 复合非光滑优化的一种非单调线搜索方法. 洛阳大学学报, 2003, 18 (4): 1-4.

作者简介: 饶翔 男 1970 年生; 海军工程大学电气与信息工程学院电气工程系讲师, 博士研究生, 主要研究方向为电机运行理论与设计。

收稿日期: 2010-11-15