

微型轴流风扇优化设计系统的设计实现

吴文浩,柳 品,金英子,钱红玉,赵 屹

(浙江理工大学机械与自动控制学院,杭州 310018)

摘 要:设计高性能的微型轴流风扇,同时降低设计成本、缩短设计周期,是轴流风扇研究的主要目标。采用孤立叶型法、计算流体动力学技术和遗传算法相结合的策略,构建微型轴流风扇优化设计系统。该系统采用面向对象的设计方法和模块化的构造方法,采用 C++ 及 Open GRIP 语言编写,并提供开放式接口,使系统易于完善和扩充。在此系统下可以实现微型轴流风扇优化设计的整个流程。通过优化实例证实了该系统的可靠性和实用性。

关键词:轴流风扇;遗传算法;优化设计;数值模拟

中图分类号: TM925.11 **文献标识码:** A

0 前 言

微型轴流风扇的传统设计方法需要进行大量分析计算及试验,设计周期长,所得结果一般为可行方案而非最优方案。

随着流体力学理论,特别是计算流体动力学的发展,可以用先进的计算流体动力学(computational fluid dynamics, CFD)技术代替传统设计模式中计算及试验部分,通过这种“数值试验”可以充分认识轴流风扇内部流动规律^[1-3],为改进设计提供可靠的依据,大大减少实验的工作量和耗费。优化理论的发展与应用使传统的工程设计也发生了变化。李杨、欧阳华等^[4]利用人工神经网络 BP 算法和遗传算法,通过叶片弯掠技术对叶片的周向弯曲角进行寻优,使全压效率提高 1.27%,全压升提高 3.56%,并减小了上、下端部的流动损失;梁武科、罗兴铸^[5]等利用小生境遗传算法对平面叶栅进行了多目标优化,提高了叶栅的能量性能和空化性能,且改善了叶栅的流场特性;王一伟,钟星立^[6]等采用多目标遗传算法对翼型进行优化,优化后翼型的气动性能有了很大提高,升阻比增幅可达 182%。

目前,轴流风扇的设计方法主要有两种:一是利用单独翼型进行空气动力试验所得到的数据进行设计,称为孤立叶型设计法;另一种是利用叶栅理论和叶栅吹风试验成果来进行设计,称为叶栅法。本文结合孤立叶型设计法、CFD 技术、遗传算法等理论构建了一个针对微型轴流风扇的优化设计系统。实例计算表明,使用该系统进行设计能得到较优的设计方案,缩短了设计周期并提高了风扇的性能。

1 开发语言及系统组成

1.1 开发语言

采用 C++ 及 Open GRIP 两种开发语言。C++ 主要负责风扇参数计算、网格划分、流场计算、数据库及优化程序的开发,Open GRIP 主要通过 UG 进行二次开发实现风扇三维模型的创建。两者通过进程间

通信实现数据传递。

1.2 系统组成

微型轴流风扇主要包括轮毂比、叶顶间隙、安装角、弦长、风扇外径等参数,微型轴流风扇优化设计系统主要是对以上参数进行优化。该系统包括风扇设计、前处理、流场计算、风扇优化 4 个模块,每个模块可以单独使用也可以通过优化模式串联使用。用户在提出轴流风扇设计目标后,首先调用风扇设计模块得到符合设计目标的原始风扇模型,然后确定需要优化的参数如轮毂比、叶顶间隙、安装角、弦长等,以及优化目标如效率、静压等,并确定遗传算法中的各个参数,调用遗传算法对风扇进行优化,最终得到性能最优的风扇。

优化设计的整个流程如图 1 所示。

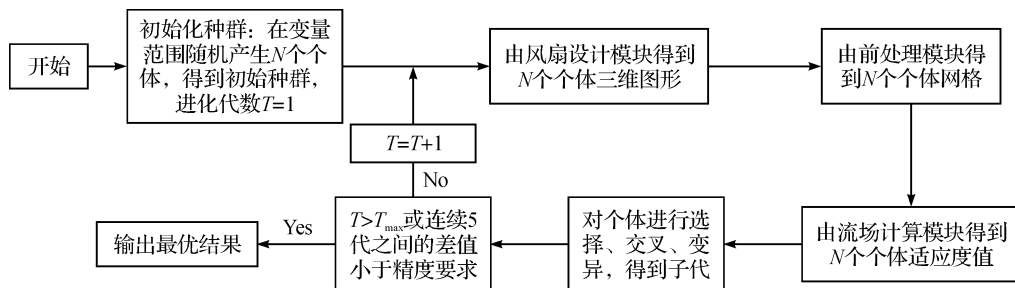


图 1 优化设计流程图

2 风扇设计模块

风扇设计模块通过孤立叶型法得到风扇的所有几何参数信息,并将数据传递给画图程序,实现三维模型的创建。

在风扇设计模块中主要的涉及类包括 Cyhes、Cjyces、Cqtcs 分别对应基本参数、基元级参数及其它参数。Cyhes 类主要用于风扇基本参数的计算,根据轴流风扇的设计目标,使用孤立叶型法进行风扇参数计算,得到每个基元级的半径、弦长及安装角,并将这些值导入到基元级参数中;Cjyces 类主要用于保存计算得到的基元级半径、弦长及安装角,并采用最小二乘法对弦长及安装角进行拟合,拟合后的弦长及安装角过渡更加光滑,保证生成叶片的光滑性,有助于提高风扇性能,降低噪声;Cqtcs 类主要用于设置风扇积迭线沿轴向和切向的偏移量,产生弯扭叶片,并且可以选择不同的基元级产生不同型式的叶片,如: NACA 型叶片、clark 型叶片等。使用以上 3 个类便可以根据设计目标得到三维模型,并以 .igs 和 .prt 文件进行保存。

分 3 个类进行编程可以将每个功能区进行隔离,这样在对其中一个类进行编程时就不会影响到其它的类。因此,当需要加入新的轴流风扇设计方法时,只需在源程序中增加一个新的类,无需更改其它程序,从而方便对软件进行升级。

3 前处理模块及流场计算模块

前处理及流场计算主要是由 Gambit 和 Fluent 软件来完成。本系统中使用 Gambit 和 Fluent 提供的基于“命令流”方法,先在 Gambit 和 Fluent 中将脚本文件制作完成并保存为 .jou 文件,再用 C++ 编程调用这些脚本文件,完成计算过程的自动化运行。图 2 所示为前处理模块界面。

在该界面中打开由风扇设计模块得到的 .igs 文件,输入流场区域的高度、半径及各区域网格大小,再单击网格绘制按钮便可调用 Gambit 进行网格绘制,将结果以 .msh 文件进行保存。轴流风扇数据库用于保存风扇参数及流场计算结果等信息。

流场计算模块界面如图 3 所示,在该界面中打开前处理模块得到的 .msh 文件,输入进口流量、步长、步数、旋转速度、迭代次数、进出口位置等参数,选择迎风格式,然后单击计算按钮便可调用 Fluent 进行流场计算,结果以 .cas 和 .dat 文件进行保存。计算完成以后单击 E-Q 曲线(效率-流量曲线)或 P-Q 曲线(静压-流量曲线)按钮便可显示风扇的 E-Q 曲线及 P-Q 曲线。

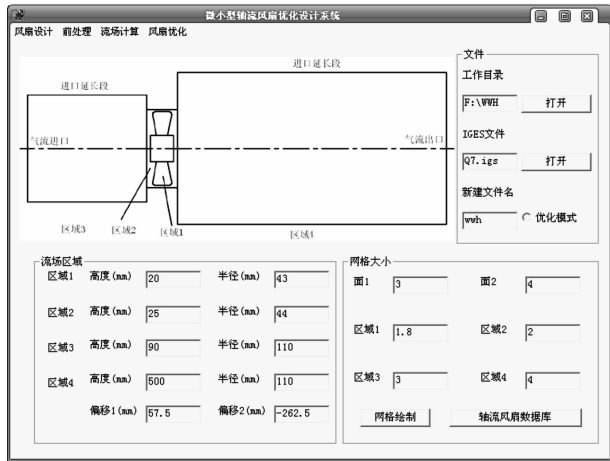


图2 前处理模块界面

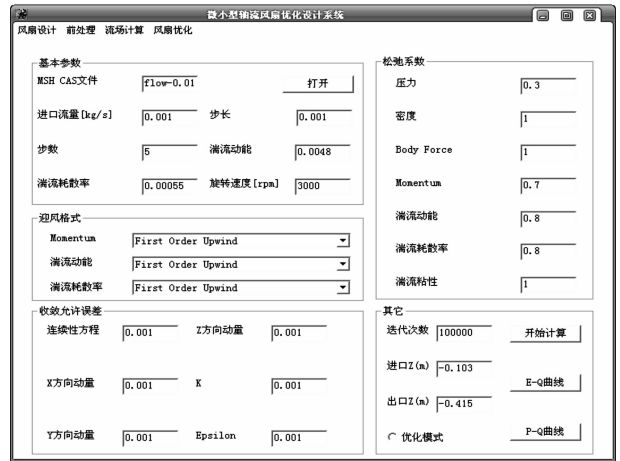


图3 流场计算模块界

4 风扇优化模块

遗传算法使用概率搜索技术,搜索效率高,搜索过程灵活,鲁棒性强,因此,本文选用遗传算法对风扇进行优化。本系统遗传算法采用比例选择算子,可用下式来表示:

$$m(H, t+1) = \sum_{A_i \in H \cap P(t)} \frac{M \times f(H, t)}{\bar{F}(t)} = m(H, t) \frac{f(H, t)}{\bar{F}(t)}$$

式中: $f(H, t)$ 是第 t 代群体中模式 H 所隐含个体的平均适应度; $\bar{F}(t) = F(t)/M$ 是第 t 代群体的平均适应度。若假设模式 H 的平均适应度总是高于群体平均适应度的 C 倍,则上式可写成,

$$m(H, t+1) = m(H, t) \times (1+C)'$$

经选择、交叉、变异以后,群体中模式 H 的子代样本数为:

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \times \frac{f(H, t)}{\bar{F}(t)} \times \left[1 - P_c \frac{\delta(H)}{l-1} - O(H) \times P_m \right]$$

本系统遗传算法采用二进制编码方式、赌盘选择策略、点交叉基因交换方式、基本变异方式。适应度值选用流场计算值表示。通过遗传算法对风扇的轮毂比、安装角、叶型弯折角、叶顶间隙、弦长等进行优化。选择流量或效率为优化目标。在进行优化前,必须先将风扇设计模块、前处理模块、流场计算模块中的优化模式选中,使这些模块中的数据导入优化程序中。在进行优化时系统将每个个体的三维模型、网格模型、流场计算结果保存到相应的文件夹,以方便查询。

5 应用实例

以型号为 RF24S9225H 的微型轴流风扇为研究对象,该风扇的基本参数为安装角 49° 、转速 3 000 r/min、叶轮直径 84 mm、轮毂比 0.4、叶顶间隙 1 mm。使用微型轴流风扇优化设计系统对安装角进行优化,以风扇流量为优化目标,风扇效率为限制条件。优化后的安装角为 55° 。

图4、图5分别为原始风扇和优化后风扇的 P - Q 曲线及 E - Q 曲线。

由图4、图5可以看出,当流量大于 0.006 kg/s 以后,优化后风扇比原风扇产生的静压大大增加,风扇的最大流量由原来的 0.017 kg/s 增大到 0.026 kg/s,增幅为 52.9%。风扇的最高效率由原来的 25.1% 下降到 24.9%,下降幅度非常小。由于微型轴流风扇的功耗很小,其性能主要取决于流量大小,流量越大其散热性越好,因此适当牺牲效率增大流量是可取的。

由以上优化实例可知,经过系统优化后,风扇的静特性得到了很好的改善,达到了风扇优化的目的,证实了该系统的可靠性和实用性。

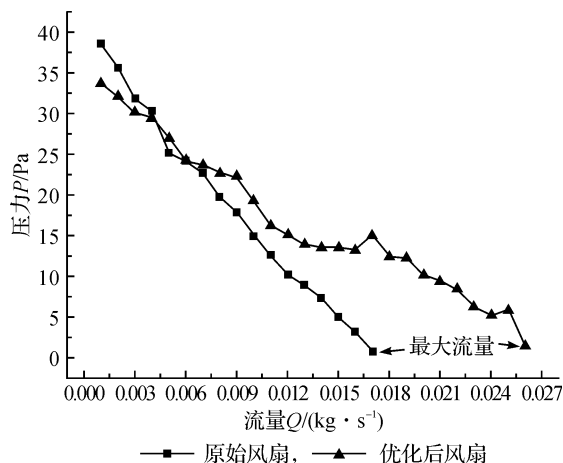


图4 P-Q 曲线

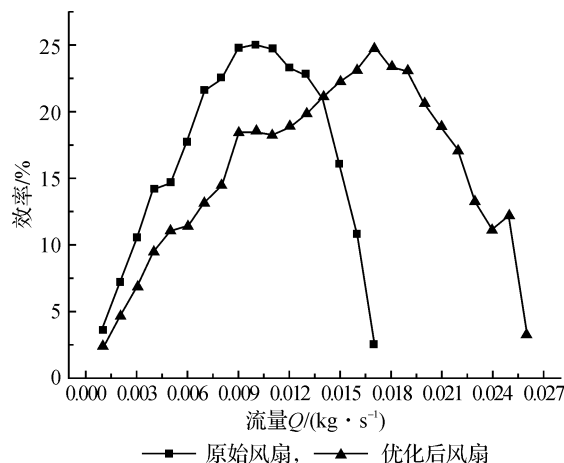


图5 E-Q 曲线

参考文献:

- [1] 田 彬, 席德科, 徐燕飞. 轴流通风机内部流场数值研究[J]. 风机技术, 2004(5): 10-13.
- [2] 王嘉冰, 李 荣, 杨九铭, 等. 低压轴流风扇性能的改善[J]. 华中科技大学学报, 2007, 35(1): 73-76.
- [3] 郭继波, 马宏伟. 非光滑叶片对轴流风扇气动性能的影响[J]. 工程热物理学报, 2007, 28(3): 406-408.
- [4] 李 杨, 欧阳华, 杜朝辉. 轴流风扇转子叶片优化设计[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(9): 1522-1525.
- [5] 梁武科, 罗兴铸, 冯建军. 基于遗传算法的平面叶栅多目标优化设计[J]. 水利学报, 2003(4): 20-23.
- [6] 王一伟, 钟星立, 杜特专. 翼型多目标气动优化设计方法[J]. 计算力学学报, 2007, 24(1): 98-102.

The Realization of Micro Axial Fan's Optimization Design System

WU Wen-hao, LIU Pin, JIN Ying-zi, QIAN Hong-yu, ZHAO Yi

(School of Mechinery & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Designing high performance micro axial fan, meanwhile, reducing the design cost and shortening design period is one of the main purposes of the research on axial fan. In this paper, the isolated blade design method, CFD technology and GA are combined to build an optimization design system for micro axial fans. The system is designed on the basis of the object-oriented and modular-construction design method, programmed by C++ and Open GRIP language and provides open interfaces, which make the system easily enhanced and extended. The whole micro axial fan optimization design process can be achieved in this system and it's proved to be reliable and available by optimizing typical fan samples.

Key words: axial fan; GA; optimization design; numerical simulation

(责任编辑: 杨元兆)