

基于响应面法的风管机蜗壳布置优化

杨岳, 刘涔钰, 赵希枫, 郝玉密, 任晓庆

(海信(山东)空调有限公司, 青岛, 266071)

(0532-55752841 Email: yangyue3@hisense.com)

摘要: 本文基于响应面法对风管机的蜗壳电机布置进行优化, 结合中心复合试验方法对风机蜗壳距离箱体距离, 风机蜗壳与电机之间的距离 2 个参数进行实验设计, 利用 CFD 分析软件求解相应实验组的风量与噪音数据, 对得到的实验结果进行响应面拟合, 结合优化条件, 寻求风量最大, 噪音最低的迭代优化结果, 最终确定风管机的蜗壳与电机距离位置, 以分析数据为指导设计风管机样机进行试验, 对比优化前后的风量噪音数据, 结果表明, 优化后风量提升 2.3%, 噪音水平相当。

关键词: 响应面法; 风管机蜗壳布置; 中心复合试验方法

Optimization of Volute Arrangement of Ducted Air Conditioning Unit Based On Response Surface Method

Yangyue, Liu CenYu, Zhao XiFeng, Hao YuMi, Ren Xiao Qing

(Hisense (Shandong) Air-conditioning Co. Ltd., Qingdao 266071)

Abstract : In this paper, based on the response surface method, the spiral casing motor of air duct machine is optimized. Combined with the central composite test method, the distance between the volute casing and the distance between the volute casing and the motor is entered into the experimental design, and the CFD analysis is used. The software solves the air volume and noise data of the corresponding experimental group. The experimental results are fitted to the response surface, combined with the optimization conditions, to find the iterative optimization results with the largest air volume and lowest noise, and ultimately determine the distance between the volute and the motor of the air duct machine. Based on the analysis of data, a prototype of the ducted duct was designed and tested. The air volume noise data before and after optimization was compared. The results showed that the air volume was increased by 2.3% after optimization, and the noise level was equivalent.

Keywords : Response Surface Method; Duct Arrangement of Wind Turbine; Center Composite Test Method

0 前言

随着人们的生活水平的提高, 中央空调正在逐步取代传统的分体式空调, 其中风管式空调由于造价便宜, 安装方便, 装饰美观以及维护方便等特点, 适用于独立大开间使用, 近些年来逐渐被普通家用用户接受, 其中风道系统作为风管机的主要组成部分, 逐渐成为提升风管机性能的关键结构, 很多工程师对于风管机风道系统做了优化设计[1]~[6]。

本文基于响应面法对风管机的蜗壳电机位置进行优化, 结合中心复合试验方法对风机蜗

壳距离箱体距离, 风机蜗壳与电机之间的距离 2 个参数进实验设计, 利用 CFD 分析软件求解相应实验组的风量与噪音数据, 对得到的实验结果进行响应面拟合, 结合优化条件, 寻求风量最大, 噪音最低的迭代优化结果, 从而达到通过改变蜗壳、电机之间的间距提高风道特性, 提供一种风道优化的方法。

1 风管机几何模型

风管机的几何模型如图 1 所示, 风管机主要部件包括 1 风管机箱体、2 风机蜗壳、3 风扇 (2 个)、4 蒸发器组件、5 电机组件、6 电机钣金支架、7 接水盘、8 电路板与电器盒、9 电加热装置等。对风管机流体模型抽出并进行简化, 如图 2 所示。主要简化了蒸发器管路、水泵等结构, 简化后的流体分析模型主要包括 1 进风口以及延长段、2 风扇流域、3 风机蜗壳流域、4 箱体内部流体流域、5 蒸发器流域、6 流体出口以及延长段。

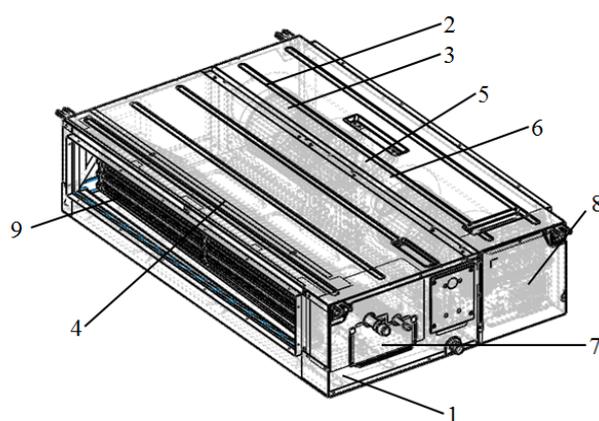


图 1 风管机的几何模型

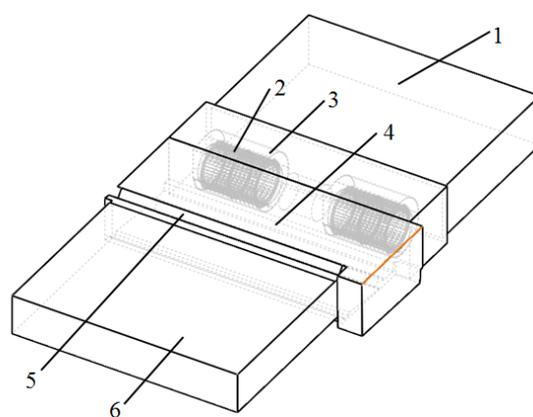


图 2 风管机流体模型

2 风管机蜗壳布置优化数学模型

2.1 设计变量

本文主要探究蜗壳位置, 以及蜗壳与电机位置布置对整机的风量与噪音的影响, 其中机箱尺寸不变、风机 (风扇蜗壳) 尺寸不变, 电机尺寸不变, 电机转速不变, 探究蜗壳与机箱之间距离 x_1 、电机与蜗壳之间距离 x_2 对风量与噪音的影响, 设计变量如图 3 所示, 其中现

有设计为 $x_1 = 100\text{mm}$, $x_2 = 72\text{mm}$, 变量范围为 $x_1 = 50 \sim 100\text{mm}$, $x_2 = 50 \sim 90\text{mm}$ 。

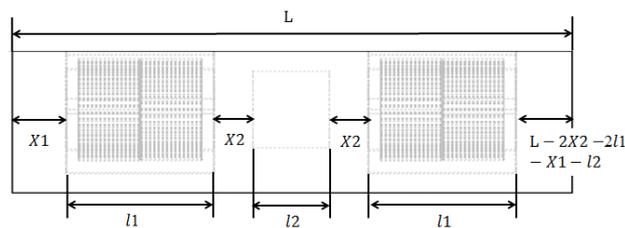


图 3 变量设计

2.2 目标函数与约束条件

风管机蜗壳布置优化的目的是不改变风机、电机以及箱体基础上, 通过调整蜗壳与电机之间的距离, 寻求风量最高、噪音最低组合, 故将该问题的数学模型建立如下:

$$\begin{cases} \max f(x_1, x_2) \\ \min g(x_1, x_2) \\ x_{n\min} \leq x_n \leq x_{n\max} \quad (n=1, 2) \end{cases}$$

式中: x_1, x_2 ——设计变量, 分别对应尺寸为蜗壳与机箱距离、蜗壳与电机距离, mm;

$f(x)$ ——目标函数 1, 风管机风量 m^3/h ;

$g(x)$ ——目标函数 2, 风管机噪音, dBA;

$x_{n\max}, x_{n\min}$ ——设计变量上、下界, 即蜗壳与机箱距离、蜗壳与电机距离的最大最小值, mm。

3 响应面模型建立

3.1 响应面法

响应面法是通过一系列确定性实验, 多项式函数来近似极限状态函数。通过合理的选取试验点和迭代策略, 保证多项式函数能在失效概率上收敛于真实的极限函数。本文利用响应面法优化流程如图 4 所示。

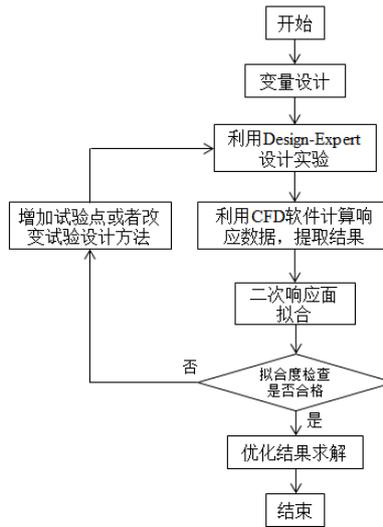


图 4 响应面法优化流程

3.2 试验设计

利用流体分析软件对风管机流场进行计算, 得到不同试验样本的风量与宽频噪音计算响应值。其中风扇转速 1300rpm, 进出口风压为 0Pa, 蒸发器采用多孔介质模拟, 计算模型采用 k-epsilon RNG 湍流模型, 进行试验设计并收集数据如表 1。

表 1 中心复合试验设计 (CCD) 试验数据

组号	x_1/mm	x_2/mm	风量/ m^3/h	噪音/dBA
1	134.5	70.0	2535	58.6
2	85.0	70.0	2356	62.8
3	50.0	90.0	2470	66.9
4	120.0	50.0	2339	60.3
5	35.5	70.0	2229	65.4
6	85.0	41.7	2306	62.8
7	120.0	90.0	2328	58.1
8	85.0	70.0	2356	62.8
9	85.0	70.0	2356	62.8
10	85.0	70.0	2356	62.8
11	85.0	70.0	2356	62.8
12	85.0	98.3	2539	57
13	50.0	50.0	2288	60.2

3.3 二阶响应面拟合

二阶多项式响应面是最常用的构建近似模型的方法, 其数学表达形式为:

$$\hat{F}(x) = \alpha_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

式中: $\hat{F}(x)$ —— 拟合函数;

n —— 设计变量个数;

x_i —— 设计变量；

α_0 、 α_j 、 α_{ij} —— 分别为常数项，一次项和二次项待定系数。

利用数据处理分析软件 Design-Expert 对试验数据进行最小二乘法参数估计，得到初始响应函数，对响应面进行优化，去掉失拟项，最终得到拟合公式为：

$$\begin{cases} f(x) = 48.54 + 1.11x_1 + 0.84x_2 - 0.49x_1x_2 \\ \quad + 0.22x_2^2 - 0.4x_1^2x_2 - 1.34x_1x_2^2 \\ g(x) = 47.8 - 2.29x_1 - 2.05x_2 - 2.23x_1x_2 \\ \quad - 0.29x_1^2 - 1.34x_2^2 + 3.18x_1^2x_2 \end{cases}$$

3.4 响应面拟合与优化求解

利用 Design-Expert 软件生成响应值（风量与噪音）与变量（ x_1 与 x_2 ）的响应面图形如图 5 和图 6 所示，由图 5 可知 x_1 靠近 50mm， x_2 靠近 90mm 时风量值出现极大值，由图 6 可知 x_1 靠近 120mm， x_2 靠近 90mm，噪音值出现极小值，故需要通过优化求解寻找最优结果。

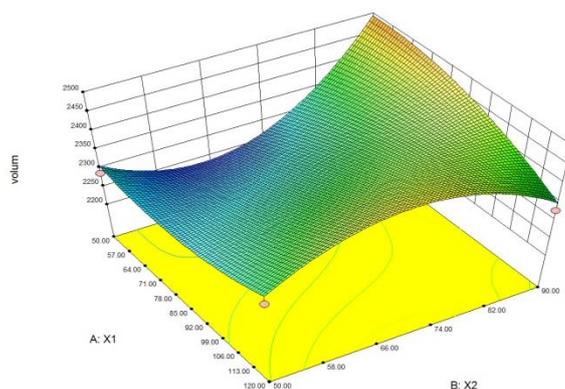


图 5 风量与 X1 和 X2 响应面

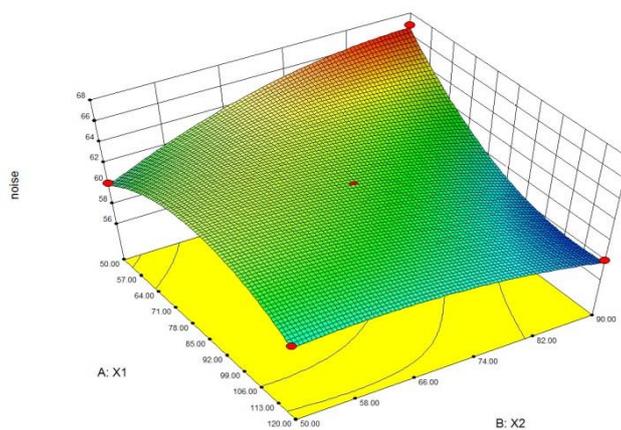


图 6 噪音与 X1 和 X2 响应面

利用 Design-Expert 自带的优化功能，对数学模型进行求解，寻求风量最高、噪音最低组合，最终得到 4 组优化结果，如表 2 所示，对优化结果，3 和 4 组虽然风量较大，但是噪音较 1 和 2 组较高，1 和 2 相比，数据相当，故最终优化方案为 $x_1 = 86\text{mm}$ ， $x_2 = 90\text{mm}$ 。

表 2 优化结果数据

优化组号	x_1 /mm	x_2 /mm	风量/ m^3/h	噪音/dBA
1	86.57	90.00	2456.32	59.21
2	85.64	90.00	2458.29	59.32
3	120.00	72.06	2463.80	60.09
4	120.00	71.59	2464.40	60.12

利用得到的优化结果进行风管机的风机板优化设计后进行手板制作,对比优化前后的整机风量与噪音测试数据如表 3。

表 3 现有设计与优化设计仿真与测试数据

		x_1 /mm	x_2 /mm	风量/ m^3/h	噪音/dBA
原始方案	CFD 仿真	100	72	2440	60.1
	测试数据			2285	50.4
优化方案	CFD 仿真	86	90	2457	59.3
	测试数据			2338	50.8

分析表 3 中数据可知:

(1) 原始方案 CFD 仿真数据与测试数据风量测试差别为 6.8%, 优化方案 CFD 仿真数据与测试数据风量测试差别为 5.8%, 分析造成分析误差大于 5%的主要原因在于模型简化, 分析模型由于简化了箱体内部的管路造成风阻减小, 风量结果显示 CFD 分析结果较样机测试结果偏高;

(2) 原始方案 CFD 噪音仿真数据与噪音测试数据差别为 19.2%, 优化方案 CFD 噪音仿真数据与噪音测试数据差别为 16.7%, 故结论是噪音仿真与实际测试噪音数据差别较大, 只能运用 CFD 分析工具判断噪音趋势变化, 计算数值精度不高;

(3) 对比发现样机实际测试, 优化方案比原始方案风量提升 $53m^3/h$, 噪音增大 0.4dBA, 故可疑认为优化方案与原始方案噪音水平相当, 风量提升 2.3%, 达到了噪音水平相当, 提升风量的目的, 具有一定的工程应用价值。

4 结论

本文基于响应面法对风管机的蜗壳电机位置进行优化, 结合中心复合试验方法对风机蜗壳距离箱体距离, 风机蜗壳与电机之间的距离 2 个参数进行实验设计, 利用 CFD 分析软件求解相应实验组的风量与噪音数据, 对得到的实验结果进行响应面拟合, 结合优化条件, 寻求风量最大, 噪音最低的迭代优化结果, 结论如下:

(1) 经过反复对比计算, CFD 仿真手段可以较为精确的分析得到风量数据, 但是分析噪音得到的数据精确度超出工程许可精度范围, CFD 仿真只能近似模拟噪音趋势, 数值精度不足;

(2) 利用响应面法优化结果显示, 优化方案比原始方案风量提升 $53m^3/h$, 噪音增大 0.4dBA, 故可疑认为优化方案与原始方案噪音水平相当, 风量提升 2.3%, 达到了噪音水平相当, 提升风量的目的, 具有一定的工程应用价值。

参考文献

- [1] 黄强. 风管机的风叶和蜗壳优化研究[J]. 科学与财富, 2015(19):103-104.
- [2] 赵丽丽, 吴成刚, 宫天泽. 应用多翼离心式风机的风管机流场优化[J]. 制冷与空调, 2016, 16(12):15-17.
- [3] 姜义. 中静压风管机的流场优化和噪声控制[D]. 华南理工大学, 2016.

- [4] 肖彪, 王成, 武连发. 风管机噪声分析及应对措施[C].全国暖通空调制冷 2006 年学术年会文集, 2006.
- [5] 杨焕弟. 中静压风管机减振降噪应用研究[D]. 华南理工大学, 2015.
- [6] 陈志航, 陈新厂. 进风口样式对离心风机风道流动特性和性能的影响[J]. 日用电器, 2017(11):51-54.