

基于 CFD 仿真的冰箱风道系统优化

Study on the Optimization of Cooling System Based on the CFD Simulation

刘道金 韩斌斌

(杭州华日家电有限公司 杭州 311401)

摘要：本文探讨通过 CFD 仿真的方法，对电冰箱的风道内部流场进行数值分析，从而找出冰箱风道及相关部件在设计中的不足之处，为优化及改进设计方案提供指导。通过优化分析及对相关的结构及部分参数进行调整，冰箱的整机的噪音降低 3 dB。从实验的数据验证了仿真结果的正确性。本文探讨的数值仿真分析方法，可为产品开发之前的电冰箱技术方案的可行性分析提供依据，预知产品方案中的风险点，提前采取应对措施，从而可以缩短新产品开发周期，提高产品开发的可靠性，并降低新产品投资风险。

关键词：CFD 仿真；数值计算；冰箱

Abstract : This paper discusses that through CFD simulation, the numerical analysis is implemented in inner flow field of air flue of refrigerator, so as to find out the weak point in the design for air flue and related parts, and to provide instruction for optimizing and improving design scheme. Through optimized analysis and adjustment for related construction and part of parameters, the noise of refrigerator reduces 3 dB. The data from experiments verifies the validity of simulation result. This paper discusses the method of numerical simulation analysis, which can provide basis for the feasibility analysis of refrigerator technical proposal before product development, foresee the risk points of product scheme, adopt corresponding measures ahead of schedule, so as to shorten development period of new product, improve stability of product development, and reduce investment risk of new product.

Key words : CDF simulation; numerical calculation; refrigerator

计算流体力学 CFD，是通过高速计算机求解一组偏微分方程来，来描述实际流体运动的数值分析技术。CFD 通过对系统内的流体的数值模拟，可以得出在不同的工况下，流体在系统内的压力、速度等相关参数在空间的分布；并可知流体的速度、压力等参数在不同位置的变化，进而为工程技术人员提供比较直观的、图形化的分析数据。

近年来，随着电冰箱朝着智能化、无霜化的发展，冰箱的制冷系统及控制系统越来越复杂，计算流体力学用于冰箱风道及风流场分析，为智能无霜冰箱的开发提供可视化的理论参考，可以在新产品开发初期提供的风险预警，从而为项目设计人员优化关键参数及制冷系统

结构提供了较好的理论依据；从而降低了产品开发的成本，减少产品开发的成本，减少了新产品的开发周期，提升新品的应市效率。

1 CFD 的基本方程及计算模型

1.1 液体力学的基本方程：

CFD 流体动力学基本方程有：连续方程、动量方程和能量守恒方程。这些方程是液体流动需满足的基本控制方程。

连续方程：

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (1)$$

式中：

ρ —流体密度, kg/m^3 ;

t —时间, s ;

u, v, w —指速度在 x, y, z 方向上的矢量分量, m/

s 。

动量方程:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{u}) = \text{div}(\mu \text{grad} u) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{u}) = \text{div}(\mu \text{grad} v) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{u}) = \text{div}(\mu \text{grad} w) - \frac{\partial p}{\partial z} + S_w \quad (4)$$

式中:

S_u, S_v, S_w ——方程广义源项;

能量守恒方程:

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \text{div}(\rho T \vec{u}) = \text{div}\left(\frac{k}{c} \text{grad} T\right) + S_T \quad (5)$$

式中:

k —表面传热系数;

ρ —流体密度;

C —液体比热容;

S_T —粘度耗散项;

该方程是以温度 T 为变量的能量守恒方程, 液体的总能量包括内能、动能、势能。

1.2 湍流计算模型:

Realizable $k-\epsilon$ 模型能在工程用中, 在精度及效率方面均能满足要求; 该模型的特点是引入湍流粘度系数, 将湍流运动方程中的雷诺力项表示成湍流粘度的函数, 从而达到使方程封闭求解的目的。即

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$k-\epsilon$ 方程是湍动能 k 和湍动耗散率 ϵ 方程, 标准 $k-\epsilon$ 双方程模型包括:

$$\frac{\partial}{\partial x} [\rho u_j k - (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x}] = \rho (P_k - \epsilon) \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} [\rho u_j \epsilon - (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x}] = \rho \frac{\epsilon}{k} (C_1 P_k - C_2 \epsilon) \quad (8)$$

其中 P_k 是湍流湍动能 K 的生成项, 被定义为:

$$P_k = \frac{\mu_t}{\rho} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (9)$$

经验常数如下:

$$C_\mu = 0.09, C_1 = 1.44, C_{\mu 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

1.3 边界条件和相关设置:

根据冰箱的直流风机工作电压为DC12 V, 冰箱运转速度为1 960转时, 做为典型的风机运行的工况进行分析。对冰箱的进风口及出风口均采用压力边界条件, 对冰箱内部的流场进行分析, 当各计算残差值小于设定值, 且进出口流量也没有变化时, 计算结果为满足要求的结果。

2 网格模型:

采用Gambit2.3.16进行网格划分, 使用6面体单元, 风道及风叶结构图如图1、图2所示。

3 有限元计算

采用Fluent6 进行求解, 该软件含有丰富的湍流模型, 能够求解流场和进行多相流、流固耦合热辐射计算, 便于二次开发, 软件界面具有视窗化, 求解设置相同的情况下, 对比计算结果。假设中, 假设流体空气为不可压缩, 密度(Density)为: 1.225 kg/m^3 , 黏度 (Viscosity) 为 $1.754 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{S}$ 。

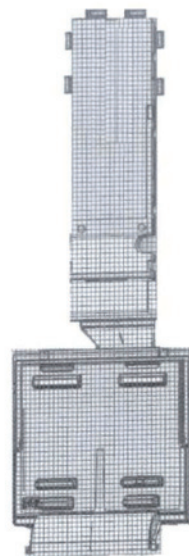


图1 风道

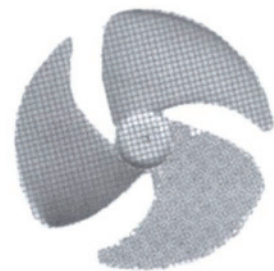


图2 风叶

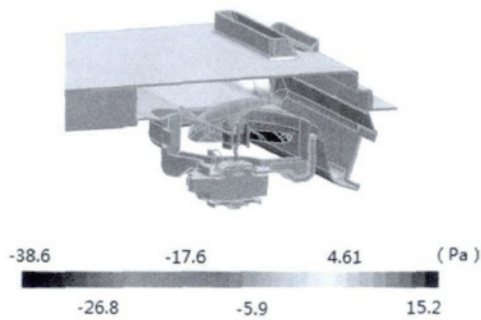


图3 风机静压

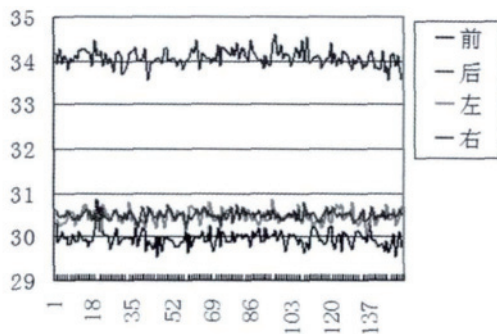


图4 1 960 rPM 声频

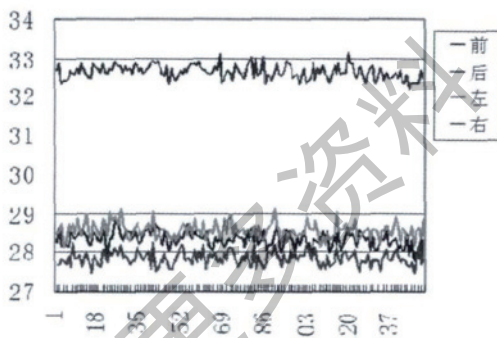


图5 1 650 rPM 声频

4 仿真结果及分析：

图3为风机的静压值，从图中可以看出，轴流式风机的出风面的压力比较大，风机为风冷冰箱的主要噪音源之一。通过把风机的转速度从1 960 rPM调整到1 650 rPM，从对比的噪音的测试结果可以看出，冰箱的整机的噪音可以降低1.5 dB的左右。通过对风道进一步的优化，对风阻比较大的结构进行调整，减少风道阻力，整机噪音进一步降低1.5 dB；整机噪音优

化，降低了3 dB。

5 结论

CFD仿真分析可以为冰箱的风道设计优化提供直观的理论参考，为降低风冷产品的开发风险提供了辅助参考，可以在新产品开发初期提供的技术风险预警，从而为项目设计人员优化关键参数及制冷系统结构提供了较好的理论依据；从而降低了产品开发的成本，减少产品开发的开发的风险，缩短了新产品的开发周期，提升新品的上市效率。

参考文献：

- [1] 霍长宏, 刘江波, 俞燕. CFD 分析和模拟技术在某轻卡风道设计中的应用 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2007, 30(S1): 19-21.
- [2] 王福军. 计算流体动力学分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [3] 韩非非, 赵旭, 席德科. 多翼离心通风机内部流场数值模拟 [J]. 风机技术, 2008(3): 13-16.
- [4] 吴金玉, 陈江平. 汽车空调蒸发器总成及风道的数值研究 [J]. 流体机械, 2008, 36(7): 59-62.
- [5] 王福军. 计算流体动力学分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.