

风冷冰箱冷藏室风道流场数值模拟

盛伟¹, 高相启², 李飞¹, 裴阳¹, 王跃河²

(1-河南理工大学; 2-河南新科隆电器有限公司;)

摘要 通过对某一款风冷冰箱冷藏室进行 CFD 流场分析, 研究了风冷冰箱风道设计的合理性, 并提出了改进方案, 为风冷冰箱风道改进提供参考。

关键词 风冷冰箱 冷藏室 CFD 模拟

NUMERICAL SIMULATION OF AIR DUCT FLOW IN ARI COOLED REFRIGERATOR

SHENG Wei¹ GAO Xiangqi² LI Fei¹ PEI Yang¹ WANG Yuehe

(1. School of mechanical and power engineering, Henan Polytechnic University Jiaozuo 454000; 2. Henan Xin Kelong Electric Co. Ltd Xinxiang 453002)

Abstract Rationality of air duct design for air cooled refrigerator is studied by analysis of CFD flow field in a cold refrigerator room of a certain air cooled refrigerator, and the improvement scheme is put forward to provide reference for the improvement of air cooling fridge air duct.

Keywords Air cooling fridge, Cold refrigerator room, CFD simulation

0 前言

由于风冷冰箱风道空气流动的复杂性, 可能会出现局部温度、流动速度等分布不均匀问题^[1-2]。通过对风冷冰箱风道、冷藏室和冷冻室内部有限区域进行 CFD 模拟, 分析模拟结果, 进行优化, 解决传统风冷冰箱的“实验-经验-实验”设计过程, 缩短设计周期, 节约大量资源。利用数值模拟的方法可以大大缩短设计周期, 为生产合格、低能耗的风冷冰箱提供有力的理论依据和设计思路^[3-6]。

本文通过对某一款风冷冰箱冷藏室进行 CFD 模拟, 分析预测出温度场和速度场的分布, 对模拟和实验结果进行对比分析, 改进结构, 提高其性能。

1 风道及风口结构

冷藏室后风道出风口按形状可分为四类: “一”字形形状、格栅形状、圆形以及混合形状出风口。其中混合形状出风口是用前三种出风口混合搭配的出风口。各种出风口形状如图 1 所示。



图 1 出风口类型

其中“一”字型出风口又分为横向“一”字型出风口和纵向“一”字型出风口。

2 风道物理模型

冰箱采用单系统控制, 即采用一个压缩机同时控制冷藏室和冷冻室的蒸发器以单独调节其内部温度, 结构上采用上冷藏下冷冻式, 冷藏室温控探头位于面板中部, 如图 2 所示, 此处的温度能充分反映整个箱体的平均温度。低温气流在进入风道后自下向上流动, 经过四段不同截面的区域最终从出风

口流入冷藏室内部，受面板结构的限制，区域 1 位于风道左侧，且不关于中间平面为对称，在该区域内截面积较小且不发生变化；经圆弧过渡后气流进入区域 2，在此区域内截面逐渐扩大，同时气流方向发生改变，结构上变化为关于中间平面对称，截面最大面积扩大至原来的 3 倍，流动阻力降低；气流到达风道顶端后通过区域 3 和区域 4 两个分支向下继续流动，区域 4 的气流经过增压档板后进入区域 5。最终气流全部从出风口流入冷藏室。

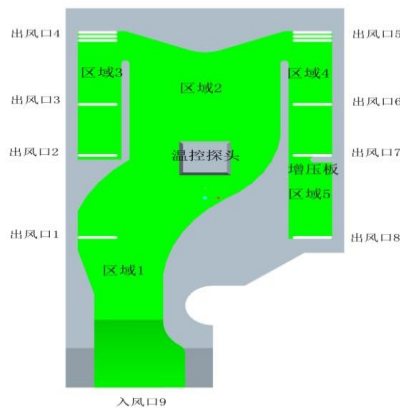


图 2 风道结构图

分析风道截面面积逐渐增大的原因在于：①低温气流本身具有向下流动的趋势，增大上部截面积有利于降低静压，促使气流向上流动。②随着气流向上流动，由沿程力损失和水头损失造成的压降，以及部分气流从下部出风口进入冷藏室导致的动能进一步降低了总流量。为弥补损失和压降，必须扩大节流面积增大总流量。出风口采用横向“一”字型出风口和栅栏型出风口相结合。风道顶部出风口采用栅栏型出风，其余均为横向“一”字型风口，下部所有出风口面积均相等，顶部面积为下部面积的三倍，布局在面板的两侧。由于横向“一”字型风口造成的压力损失较纵向“一”字型较小，因此在出风口面积上小于纵向“一”字型风口。各风口尺寸见表 1。

表 1 各风口尺寸表

风口序号	风口类型	长 × 宽 (mm)	面积 (mm ²)
9	长方型入风口	40×70	2800

1、8	横向“一”字型出风口	5×45	225
2、7	横向“一”字型出风口	5×45	225
3、6	横向“一”字型出风口	5×45	225
4、5	格栅型出风口	3×5×45	675

2 计算模型

为了确定风道内部气体流动状态，需要对其入风口进行雷诺数 Re 计算，判断是层流还是紊流，

$$Re = \frac{4A\rho U}{S\mu} \quad (3-4)$$

上式中： ρ 为空气密度， U 为入口速度， μ 为空气运动粘度， S 为节流周长， A 为进口面积。

RNGk- ϵ 方程中的常数修正了耗散率方程，主要应用于剪切流，大应变率、涡旋、回流、分离等流动模型，由于出风口有大量的回流和风道内部有涡流存在，计算模型选择 RNG k- ϵ 。

3 模拟结果分析

根据图 3，整个风道区域内部的压强均低于一个标准大气压，为负压区。模拟时，参考压强设置在入口的中心处，其压强最高，风道的截面积逐渐增大，压强开始降低，区域 2 中的圆弧壁面改变风道内部气流的流向，其压强增大，区域 2 内气流主要在右侧流动，右侧压强高于左侧；分流壁面起到了分流作用，其周围压强增大；区域 3、4 关于风道中心平面左右对称，其压强分布基本相同，风口主要分布在区域 3、4、5，出风口设置压力出口，这部分区域压强稍低。

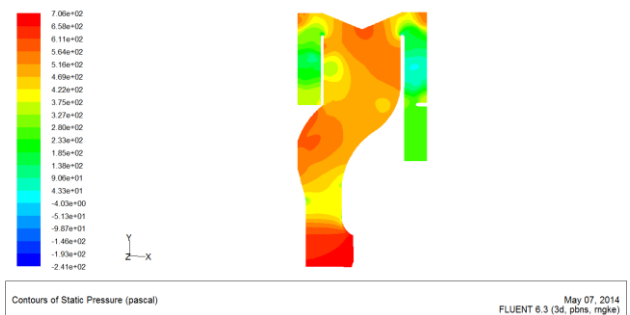


图 3 风道内压强分布图

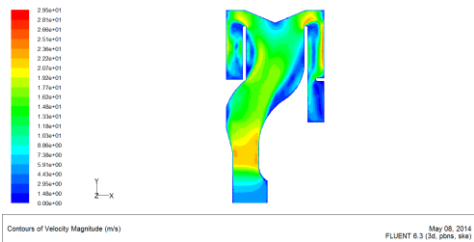


图4 风道中心面 ($z=0.0125m$) 速度分布云图

图4显示风速范围为： $0\sim 29.5\text{ m/s}$ ，壁面为无滑移状态，风速为0。入口处的速度为 5 m/s ，风道区域1截面积突然变窄，风速增至 20 m/s ，流至对称区域2，截面积逐渐扩大，风速有所降低，约为 15 m/s ，但仍比入口速度大。区域2左右两侧出现速度基本为0的区域，主要是由于壁面改变了风流方向，并产生涡旋区域所致。区域3和区域4关于中心线对称，压强分布基本相同，速度分布也基本相同；但由于增压挡板的作用，在区域4中局部速度达到 20 m/s 。区域5中由于风量少，风速较低，在 $1\sim 2\text{ m/s}$ 范围内。

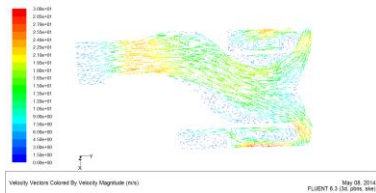


图5 风道中心面 ($z=0.0125m$) 速度分布矢量图

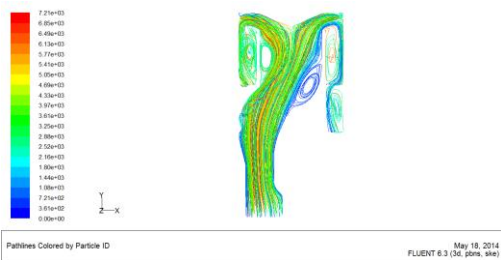


图6 风道中心面 ($z=0.0125m$) 迹线图

由图5、6所示，风道内部气流的流向示意图，分流壁面起到分流的作用，将区域内部气流分成两股，向左右两侧区域3和区域4流动，分流的均匀性与壁面形状、位置布局倾斜角度相关。在区域2左右两侧、区域3、区域4、区域5局部区域产生涡旋，主要是这些区域中存在速度方向大角度的改变，甚至回流现象，导致涡旋区域。涡旋区域的存在严

重影响了气流能量的局部损失和压力损失，从而影响出风口的出风量。

图7显示各个出风口的速度大小，但每个出风口截面内的速度分布不均匀，本文采用大致平均速度来代替整个出风口的速度。“格栅”型出风口4和5关于中心面对称，局部压力分布基本相同，其风速基本相同。6个“一”字型出风口虽关于中心面对称，但由其周围风道结构布局不同，压强分布不同，导致风速相差很大。各风口风速如表3-3所示。

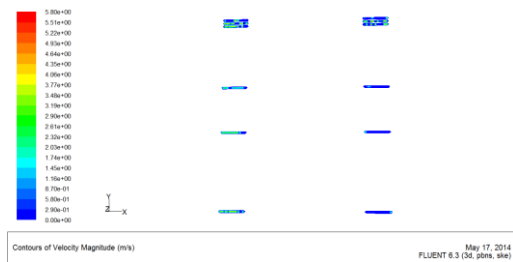


图7 出风口中心面 ($z=-0.0025m$) 速度云图

出风口的速度在 $0.88\sim 3\text{ m/s}$ 范围内。出风口1离风道入风口9较近，且经过区域1的增压作用，风速最大。经过区域2分流后的气流通过窄截面积增压后流至区域3和区域4，出风口4、5处压强大，流速大，且为“格栅”型，故流量最大，出风口4、5位于冷藏室顶部，符合设计理论。

在区域3中，出风顺序为：出风口4、出风口3、出风口2，流至出风口2的风量最小，但出风口2的出风速度仍比出风口3大，主要因为风道在出风口2处结束，在截止壁面上风速变向，压强增大，出风速度增大。

在区域4中，出风顺序为：出风口5、出风口6、出风口7，由于增压挡板占据整个风道路径宽度的一半，起到增压作用，出风口7的出风速度大于出风口6。

在区域5中，出风口8的出风速度大于出风口5的出风速度，主要是由于风道截壁面和增压挡板共同作用的结果，致使区域5压强增大，出风速度增大。

出口的总质量流量为 0.0052 kg/s ，入风口的质量流量为 0.0055 kg/s ，在误差允许范围内，质量守恒，风道的漏气率小，密闭性好。

4 改进建议

通过对风道内流场的模拟结果分析，为了减小冷气流在风道内的局部损失和沿程损失，合理分配各出风口的流量，以提高冷风在冷藏室内部循环的合理性和冷藏室内部温度的均匀性，对风道提出以下改进方案：

(1) 模拟显示风道内的气流存在涡流区域，增加了沿程压力损失、局部阻力损失、能量损耗。通过改变风道中圆弧弧度大小，从而改变内部气流流动方向，以消减风道内部涡流区域，降低损失。

(2) 将出风口的位置设置离增压板 5cm 处（回流方向）较为合理，此处压强值大，出风口速度和流量将会增大。优化分流壁面，将其布局位置向左侧风道移动，以增加右侧风道流量。

(3) 改变出风方式，调整出风口位置布局，优化出风口附件，以提高出风效率，使冷藏室内流场更合理均匀，增强冷藏室温度均匀性。各出风口的出风速度相近，调整出风口面积，从顶层向底层依次减小，以增加顶层出风冷量，提高冷风在冷藏室循环利用率。

参考文献

- [1] 于兵、童灵、阙雄才等. 间冷冰箱气固耦合传热与流动数值研究[J]. 上海交通大学学报, 1998, 32(7): 23~27.
- [2] O. Laguerre, E. Derens, B. Palagos. Study on domestic refrigerator temperature and analysis of factors affecting temperature: a French survey[J]. International Journal of Refrigeration, 25 (2002) 653-659.
- [3] 凌长明、陶文铨. 冰箱内非稳态自然对流的二维数值模拟[J]. 西安交通大学学报, 1995, 29 (10): 35-41.
- [4] 阙雄才、于兵、丁国良等. 间冷式电冰箱风道阻力与流量分配特性的探讨[J]. 上海交通大学学报, 1997, 31 (3): 13~16.
- [5] 于兵. 空气强迫对流冷却小型制冷装置特性研究[D]. 上海: 上海交通大学动力与能源工程学院, 1996.

[6] 于兵、张春路、阙雄才等. 间冷式冰箱箱体模型研究[J]. 上海交通大学学报, 1997, 31(7): 26~36.