

嵌入式冰箱压缩机仓室及底部流场 CFD 分析

张波 张魁仓

(合肥美菱股份有限公司 230601)

摘要: 针对一款嵌入式风冷冰箱, 对其压缩机仓室及底部散热风道系统进行了 CFD 仿真分析, 对比了几种不同的散热方案对流量的影响。为了减少嵌入式冰箱底部散热短路情况, 提出在压缩机后盖板及箱体底部增加档条结构, 提高冰箱压缩机仓室冷凝器的散热效果, 改善冰箱整机性能, 通过实验测试验证其可行性和正确性。

关键词: 嵌入式冰箱, 风道系统, CFD

The CFD Analysis of Compressor Warehouse and Bottom Flow Field of the Embedded Refrigerator

Zhang Bo Zhang Kuicang

(Hefei Meiling Co., Ltd., 230601)

Abstract: In this paper, the CFD simulation analysis of the air cooling duct system of the compressor warehouse and the bottom of the air cooled refrigerator is carried out, and the influence of different cooling schemes on the flow rate is compared. In order to reduce the embedded at the bottom of the refrigerator heat short circuit situation, put forward in the compressor HouGaiBan increase file structure and the bottom of the box body, improve warehouse room refrigerator compressor condenser cooling effect, improve the machine performance freezer, through experimental tests verify the feasibility and correctness.

Keyword: the embedded refrigerator; air duct system; CFD

1、前言

在美观、整体化和面积的多重驱动下, 嵌入式冰箱应运而生, 其实现了冰箱与家用橱柜的一体化, 给消费者带来了更加美观的居住环境, 而且节省了空间成本。

嵌入式冰箱作为一种新型冰箱品类, 其技术方面还需要亟待解决散热、机身、开门等问题。本文主要针对嵌入式冰箱的压缩机仓室及底部散热进行分析。

外置冷凝器作为提高风冷循环效率的主要手段之一, 一般大风冷冰箱都会配置有外置冷凝器。外置冷凝器放置在压缩机仓室内, 并配置有风扇及风扇支架, 在风扇支架及冷凝器的周边要贴有密封块, 将风扇支架及冷凝器周边的风路系统进行密封隔离, 以防止其短路, 提高冷凝器的循环效率。

嵌入式冰箱由于距离橱柜较近, 嵌入式冰箱的四周间隙会更小, 对其散热要求更高。本文将对冰箱非嵌入和嵌入后散热的几种方案进行 CFD 仿真分析与实验测试对比, 寻求嵌入式冰箱的最优散热方案。

2、冰箱非嵌入状态下的压缩机仓室及底部散热仿真模型

本文首先对冰箱非嵌入状态下压缩机仓室及底部散热风道系统进行分析, 预估当前非嵌入状态下压缩机仓室的冷凝风量。

2.1 仿真三维模型

压缩机室的内部构造主要包括压缩机、冷凝风扇、冷凝风扇支架、冷凝器及接水盘, 为了充分利用冷凝器的换热效果, 在冷凝器的四周以及冷凝风扇支架的四周贴有高密度海绵条, 其紧密配合压缩机后盖板, 将压缩机仓室分成流体单向流动的一个状态, 避免仓室内部

短路和混流的现象。

仿真模型是模拟冰箱在通常情况下实验室测试时的一个位置状态，箱体两侧距离两侧测试板有一定距离，箱体后背距离壁面有一定距离，箱体底部间隙即冰箱底部滚轮的高度，箱体前部、顶部及周边建有适当的进风区域，仿真三维模型如图 1 所示：

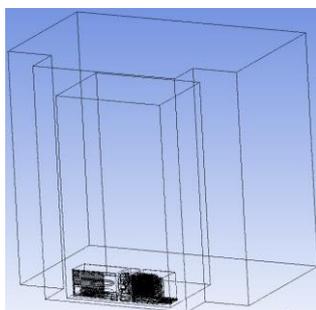


图 1 冰箱非嵌入状态的压缩机仓仿真模型

2.2 数值仿真结果及流场分析

压缩机仓室内流量是通过箱体周围与外界进行交换，由于后部与上下左右是相通的，所以仿真过程主要是监测四周的进风量，面 1~面 4 的分布如图 2 所示，计算发现面 1 和面 2 为出风，面 3 和面 4 为进风。在此将压缩机仓室与外界交换的流量定义为有效风量，即面 1 与面 2（或面 3 与面 4）的流量之和，通过风扇的总流量定义为系统流量，压缩机后盖板的进风口风量定义为后盖板进风量，压缩机底板的进风口风量定义为底板进风量；在后面箱体的两侧开有进风口和出风口，进风侧开孔的风量定义为侧帮进风量，根据流量守恒原则，存在如下关系：

$$\text{系统风量} = \text{后盖板进风量} + \text{底板进风量} + \text{侧帮进风量}$$

有效风量只是系统风量中的一部分，但同时也是能够提高冷凝器换热效率最有效的风量。

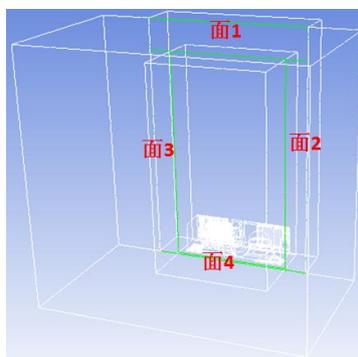


图 2

图 3 和图 4 分别为整机运行之后的流场图和速度矢量图，具体流量分布见表 1 所示：

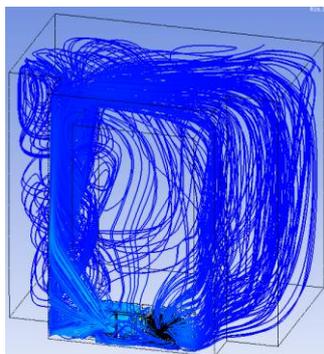


图 3

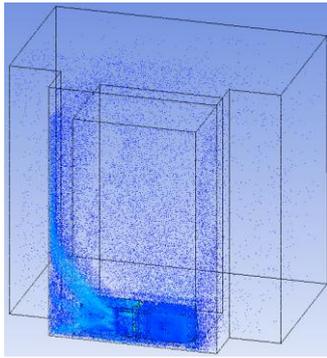


图 4

具体流量见下表 1 所示（单位：g/s）：

表 1

	底板进风	后盖板进风	系统风量	有效风量
流量	5.3	25.99	31.29	18.73
占比	17%	83%	/	59.9%

由图 3 和图 4 的分布图中可以看出，在箱体后背区域还没有明显的短路现象，但是根据运算结果，有效风量的占比情况分析，出风口的风量仍然有部分通过其他路径进入到了进风口，只是可能这个路径会比较长；也可能是因为仿真模型的局限性造成的。实际中有效风量的占比会比上述运算的 59.9% 要高，后面仅以 59.9% 作对比。此状态经能耗测试测得标准能耗为 0.842kw.h/24h，满足一级能效指标。

3、嵌入式冰箱的压缩机仓室及底部流场分析

3.1 建立计算模型和网格划分

将上述冰箱不做任何改动，直接嵌入柜体，后背间隙 20mm、两侧均是 5mm，间隙较非嵌入状态下要小的多，其仿真模型如下图 5 所示：

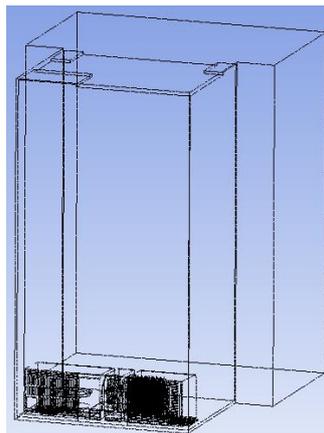


图 5

整机箱体底部和后部的速度矢量图分别如 6 和图 7 所示：

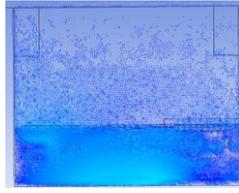


图 6

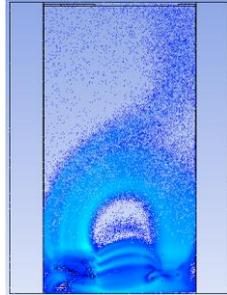


图 7

由以上两个图发现箱体底部和后部有明显的短路现象，具体流量见表 2（单位 g/s）：

表 2

	底板进风	后盖板进风	系统风量	有效风量
流量	5.53	20.13	25.66	2.75
占比	21.6%	78.4%	/	10.7%

系统风量中只有 10.7%是与大气交换的流量，剩下的 89.3%的流量全部是由于系统短路，由出风口的风量直接进入进风口，而且路径较短，所以造成冷凝器的换热效率较差。此状态耗电量测试过程中发现不停机，32℃稳态能耗较非嵌入状态增加了 24%。

4.优化分析

4.1 优化分析方案分析

针对以上分析，在不更改压缩机后盖板的情况下，要在两侧和底部适当的增加进出风面积，首先在箱体两侧对着压缩机仓室内的冷凝风扇位置开孔；其次适当的增加箱体底部的高度等；解决风道短路的问题，采取阻隔的方式，尽可能的将进风路和出风路分开。

4.2 初步优化方案

针对后期的优化方向，侧帮开孔是非常有必要的，所以后面的优化分析均是在原状态加侧帮开孔的基础上进行，分别调整面 1~面 4 的间隙，对其逐一进行分析，分析过程采用逐一累加的方式进行，共有以下四种状态，在此不一一列出矢量图，具体计算结果与前面两个状态的结果汇总见下表 3（单位：g/s）：

表 3

状态	非嵌入	嵌入原状态	优化一	优化二	优化三	优化四
系统风量	31.3	25.7	26.4	27.7	28.9	31.1
底板进风	5.3	5.5	5.5	6.2	5.9	5.5
占比	17%	22%	21%	22%	21%	18%
后盖板进风	26	20.13	18.7	19.6	21.1	20.7

占比	83%	78.4%	71%	71%	73%	66%
侧帮进风	/	/	2.25	1.92	1.89	4.92
占比	/	/	8.5%	6.9%	6.5%	16%
有效风量	18.73	2.75	2.82	3.81	4.01	8.12
占比	59.9%	10.7%	11%	14%	14%	26%

注：优化一：侧帮开孔75mm*75mm；

优化二：侧帮开孔75mm*75mm+底部加高至22mm；

优化三：侧帮开孔75mm*75mm+底部加高至22mm+后背加宽至25mm；

优化四：侧帮开孔75mm*75mm+底部加高至22mm+后背加宽至25mm+两宽至20mm。

结合以上，优化四的系统风量和有效风量都得到了提高，为最优方案。

4.3 短路优化方案

针对短路问题，以下在上述优化方案一的基础上分别做了以下3次调整：

1) 将进风和出风的风路全部分开，即在顶部、后背、压缩机后盖、底部、压缩机底板都加档条，将箱体距离柜体壁面的间隙分成两个部分，其仿真模型如下图7所示：

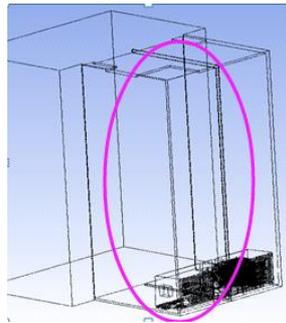


图 8

经计算，系统流量为 19.8g/s，有效流量 19.8g/s，箱体后部和底部的速度矢量图分别如下图8所示：

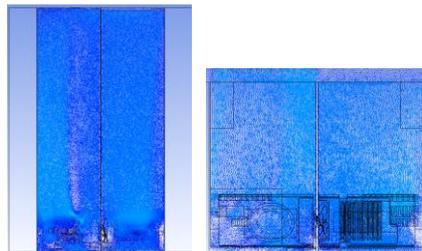


图 8

由以上图所示，进、出风的风路被明显分开了，彻底解决了系统短路的问题，有效风路的占比达到了 100%，但是总的系统风路也有所减少。由于档条较长，其具体实施起来会有很大的困难。

2) 考虑全部加档条实施的困难性，将档条只加在压缩机底板和压缩机后盖位置。

经计算其系统流量为 22.5g/s，但有效流量只有 2.85g/s，占比 12.7%，后部和底部的速度矢量图分别如下图9所示：

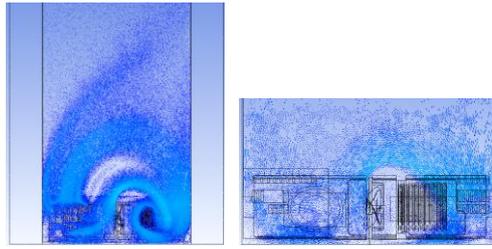


图 9

此状态虽然加了档条，但是从矢量图来看短路仍然是很明显，从计算的流量结果来看，回到了嵌入时最初状态，档条的效果几乎没有起到作用。另外系统风量比优化一状态的 26.44g/s 偏小。

3) 将箱体底部、压缩机底板和压缩机后盖加上档条，即将2) 中压缩机底板的档条延长。

经计算其系统风量为21.15g/s，有效风量为9.07g/s，占比42.9%，后部和底部的速度矢量图如下图10所示：

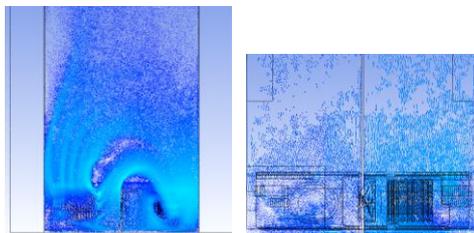


图 10

此状态下的有效风路有了明显提高。

4) 在3) 的基础上将两侧间隙由5mm加大至20mm。

计算结果为系统风量是27.33g/s，有效风量16.73g/s，占比61.2%，后背与底部的速度矢量图如下图11所示：

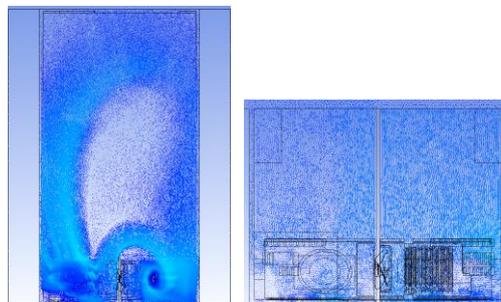


图 11

由以上发现，适当的增加档条可以有效的改善风路短路的现象。

针对状态3) 和4) 分别进行了耗电量测试，标准能耗分别为0.898kw. h/24h 和 0.847kw. h/24h，均达到一级能效指标。5mm时能耗相比增加了6.7%，为增加压缩机底板底部的散热效果，在状态3) 的基础上在冰箱箱体底板和压缩机底板直接增加10mm的间隙，测试结果能耗降低了3.4%；两侧间隙20mm时能耗相比原状态自由状态仅增加了0.6%，几乎达到了冰箱自由状态下的标准能耗；

5. 结论

针对嵌入式冰箱压缩机仓室的散热方案，可以通过以下路径提高冷凝器的换热效率：

- 1) 适当的增加或增大位于压缩机仓室两侧的侧帮上的开孔，增加压缩机仓室的进风和出风面积。
- 2) 在箱体的底部、后背和顶部适当的增加档条，阻隔进风风路和出风风路，改善风道短路

作者简介：张波，(1985-)，女，CFD 及结构工程师，主要从事冰箱风道改进及优化设计工作。

现象。

3) 抬高箱体底部距离地面的间隙，或者增加冰箱箱体底板与压缩机底板之间的间隙，可以有效改善底部风路的散热效果。

4) 将压缩机底部沙发坐靠近压缩机底板一侧做成大倒角形式，增加底部进风和出风面积。