
一种自由嵌入式冰箱技术开发研究

陈开松、陈俊、张波、张魁仓

(合肥美菱股份有限公司, 合肥, 230601)

摘要: 以带有外置冷凝模块的大容积风冷冰箱为研究载体, 依托 CFD 仿真分析软件分析自由摆放与嵌入式状态下的冰箱载体性能, 同时通过实验验证, 两者结果进行对比分析, 得出自由嵌入式冰箱的设计研究方法。结果表明, 宣称自由嵌入式的冰箱须以满足嵌入式冰箱测试状态的性能为基准。外置冷凝模块的散热优劣是自由嵌入式冰箱整机性能优劣的关键因素, 在进、出风口之间采用档条等措施避免冷凝模块进、出风短路, 通过侧帮开孔等方式提升冷凝换热风量, 确保了带有外置冷凝模块的大容积风冷冰箱在自由摆放与嵌入式状态下的冰箱载体整机性能的可靠性。

关键词: 自由摆放、嵌入式、大容积风冷冰箱、冷凝模块

Study on technological development of a free embedded Refrigerator

Chen Kaisong Chen Jun Zhang Bo Zhang Kuicang

(Hefei Meiling Company Limited Co.,Ltd,Hefei,China,230601)

Abstract: The performance of refrigerator carrier under free placement and embedded state is analyzed with CFD simulation analysis software, the results are compared and analyzed through experiments, the design and research method of free embedded refrigerator is obtained with a large volume air cooled refrigerator with an external condensing module as the research carrier. The results show that the refrigerator, which claims to be free and embedded, must be benchmarked to meet the performance of the embedded refrigerator. The heat dissipation of the external condensing module is the key factor of the performance for the free embedded refrigerator. The use of the gear between the inlet and outlet to avoid the short circuit of the condensing module, and to improve the heat transfer volume, ensure the freedom of the large volume air cooled refrigerator with the external cold condensing module. Reliability of the whole refrigerator carrier placed in the embedded state and free placement is ensured through the use of the gear between the inlet and outlet to avoid the short circuit of the condensing module, the sides opening and so on.

Keywords: Free placement Embedded state Air cooled refrigerator with large volume Condensing module

0 前言

当前, 随着社会的进步, 人们生活水平的提升, 大容积风冷冰箱逐渐成为人们的生活必需品。大容积风冷冰箱因其冷藏、变温以及冷冻温区的间室容积大, 很好地满足了当前人们日益增长的物质文化需求。

大容积冰箱的体积比较大, 实际家庭摆放位置占用空间较大, 为了可以更好地利用家用空间, 国内越来越多的使用者将冰箱进行嵌入式设计, 置于家用厨房的嵌入式空间内或者与

作者简介：陈开松，(1982-)，男，高级工程师，从事冰箱制冷新技术及节能技术研究工作

家用的橱柜等做成一体式结构设计^[1]，突出美感，确保整个家居看起来格调一致性好等要求。

但目前销售的大容积风冷冰箱为了要满足此种嵌入式的设计需求，在自由摆放与嵌入式状态下的冰箱整机可靠性与性能都均需进行进一步研究，确保一款冰箱可以很好地满足自由摆放状态与嵌入式状态的要求。

1 具体方案

以BCD-558W风冷冰箱为研究载体，依托CFD分析软件^[2]对冰箱载体建模，从自由摆放、嵌入式，结构改进后的状态进行分析，同时进行对应的实验验证，对比仿真与实验结果的一致性，给出满足自由嵌入式冰箱可靠性要求的具体设计方案。

2.1 CFD 仿真分析

以BCD-558W风冷冰箱为载体，根据现有的冰箱尺寸结构图，重点关注冰箱载体正常使用位置摆放状态，冰箱压缩机仓室的风道仿真建模依据其各零件分布进行建模，箱体外部的风道系统依据冰箱常规测试实验时后背及两侧挡板位置进行建模，主要分为以下四种状态。

1) 原冰箱+原测试状态：

箱体后背间隙 250mm，两侧挡板距离 1200mm，挡板的长度 360mm，箱体的顶部空间建模高度 250mm，箱体前面 300，箱体两侧最大宽度建模 2200mm。仿真建模轮廓和外形图分别如下图 1 (a) 所示。

2) 原冰箱侧帮开孔+原测试状态

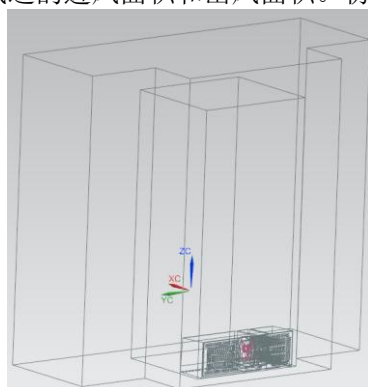
在状态(1)基础上，冰箱载体两侧帮压缩机仓位置开孔，孔的尺寸为长*宽：150mm*150mm，仿真建模轮廓和外形图分别如下图 1 (b) 所示。

3) 原冰箱+嵌入测试

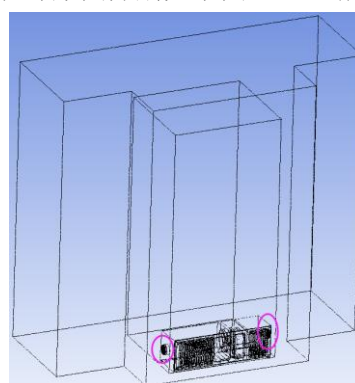
冰箱为原始状态，箱体后背间隙 20mm，两侧挡板距离 20mm，箱体顶部间隙 20mm。仿真建模轮廓和外形图分别如下图 1 (c) 所示。

4) 冰箱侧帮开孔+嵌入测试状态

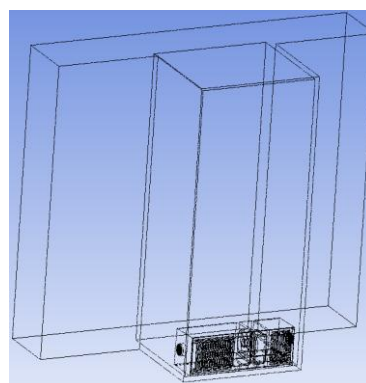
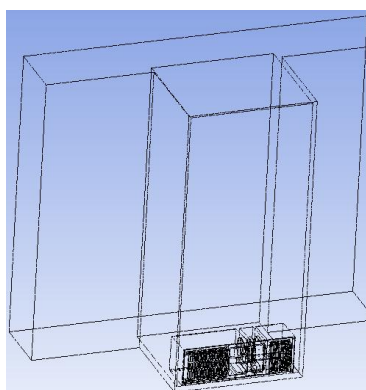
箱体后背间隙 20mm，两侧挡板距离 20mm，箱体顶部间隙 20mm，两侧帮分别开孔增加压缩机仓风道的进风面积和出风面积。仿真建模轮廓和外形图分别如下图 1 (d) 所示。



(a) 原冰箱+原测试状态



(b) 原冰箱侧帮开孔+原测试状态



(c) 原冰箱+嵌入式

(d) 冰箱侧帮开孔+嵌入式

图 1 仿真建模结构图

2.2 实验测试

以 BCD-558W 风冷冰箱为载体，以上面 CFD 仿真设计提到的四种状态在实验室中对冰箱进行位置摆放，重点测试压缩机仓的风循环对冷凝器，压缩机等重要部件的换热影响，以及整机运行过程中的安全性与可靠性。考虑到自由状态摆放测试为常规使用使用方式，再此不做详述，重点考察嵌入式状态下的冰箱性能，压缩机仓风循环结果，冰箱以嵌入式状态再测试台台上的摆放图见图 2 (a)。从图 2 (a) 中可知，冰箱置于嵌入式围栏中，冰箱侧帮、后背、顶部与测试围栏之间的间隙按照上面 CFD 仿真设计的尺寸进行摆放，确保试验结果的有效对比性。

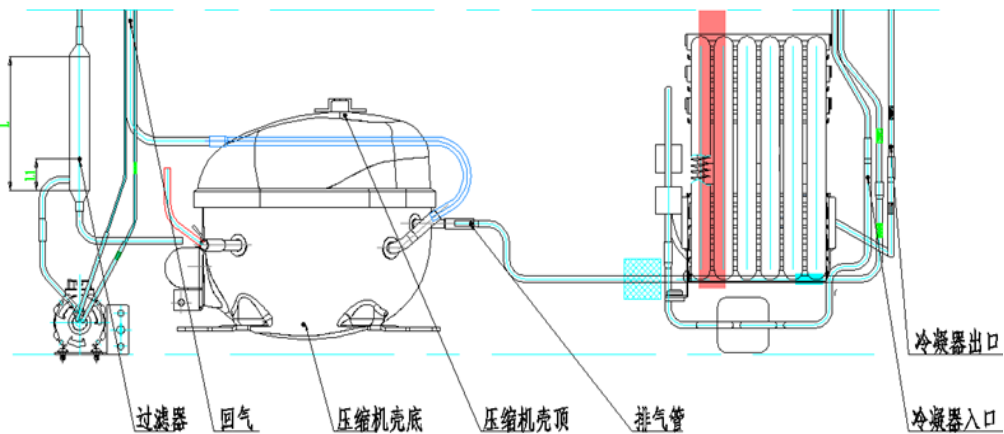
同时，冰箱侧帮底部开孔，实现压缩机仓从侧帮进风需求，对比分析侧帮开孔与不开孔条件下的压缩机仓进出风量变化，侧帮开孔尺寸与上面提到的仿真尺寸相同，见图 2 (b)。在嵌入式状态下，为了解冰箱压缩机仓各部件的温升结果，对压缩机仓重要部件进行布点测试，见图 2 (c)，从图 2 (c) 中可知，压缩机顶部、排气、冷凝器进口、冷凝器出口等点是重点监测的，这些数据的结果直接比较直观的分析出冰箱整机运行的可靠性。



(a) 冰箱嵌入式状态摆放



(b) 侧帮开孔结构图



(c) 压缩机仓各部件布点图

图 2 冰箱与压缩机仓布点图

2 仿真软件与实验室测试

3.1 CFD 仿真软件

本研究主要采用的是 CFD 仿真分析软件，CFD 即计算流体力学，其作为流体力学的一个分支，是数值数学和计算机科学结合的产物，以电子计算机为工具，应用离散化的数学方法，对流体力学的各类问题进行数值实验、计算机模拟和分析研究，以解决各种实际问题。文中利用 CFD 软件模拟冰箱在运行过程中压缩机仓室风道系统流体的流动状态。

3.2 冰箱性能测试实验室

我司实验室为国家级实验室，测试冰箱性能所使用的测试室是按照国家标准设计的，性

能测试时按照 GB12021.1-2015, GB8059-2016 要求进行。环境温度为 43℃, 32℃ 等, 嵌入式状态的冰箱所在台位摆放方式见图 2 (a) 所示。

3 试验结果分析

4.1 CFD 仿真结果

依托 CFD 仿真分析软件得到图 1 (a) 原冰箱+原测试状态、图 1 (b) 原冰箱+嵌入式, 图 1 (c) 原冰箱侧帮开孔+原测试状态与图 1 (d) 原冰箱侧帮开孔+嵌入式共计四种仿真结果, 具体如下:

1) 原冰箱+原测试状态的整机仿真流线图, 压缩机仓室仿真流线放大图, 压缩机仓室速度矢量图如下图 3 所示:

参见图 3 中可知, 从目前常规的测试状态来判断, 压缩机仓室的短路问题不明显, 冷凝换热较好, 冰箱整机运行可靠性满足要求。

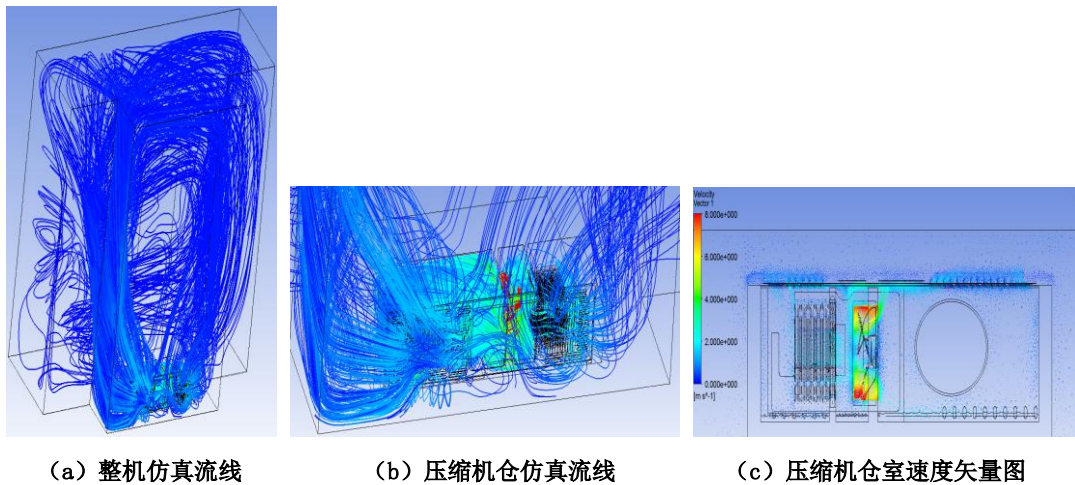


图 3 原冰箱+原测试状态仿真结果

2) 原冰箱+嵌入式的整机仿真流线图, 压缩机仓室仿真流线放大图, 压缩机仓室速度矢量图如下图 4 所示:

参见图 4 中可知, 嵌入状态下, 冰箱后背会有明显的短路现象, 致使冰箱整机载体尤其是压缩机仓的换热效果很差, 实际运行过程中, 压缩机负荷较大, 可靠性不满足要求。

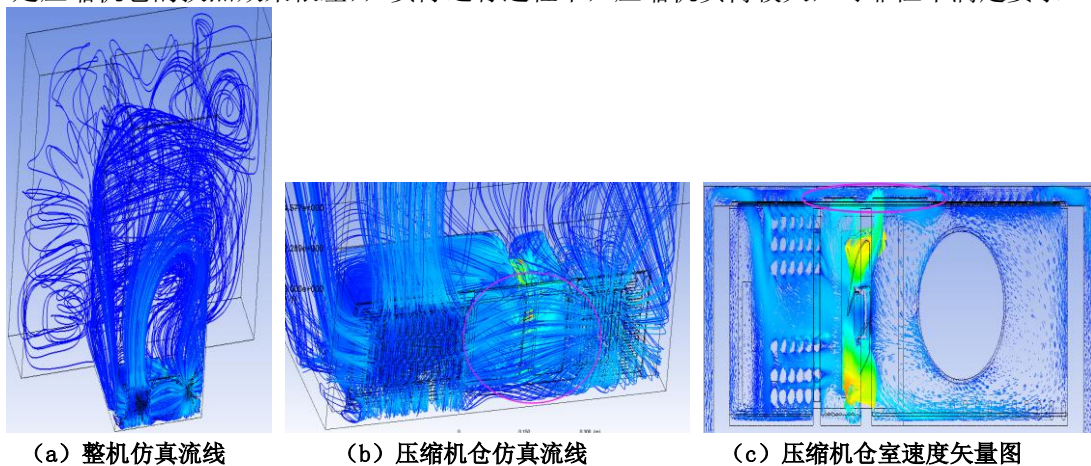
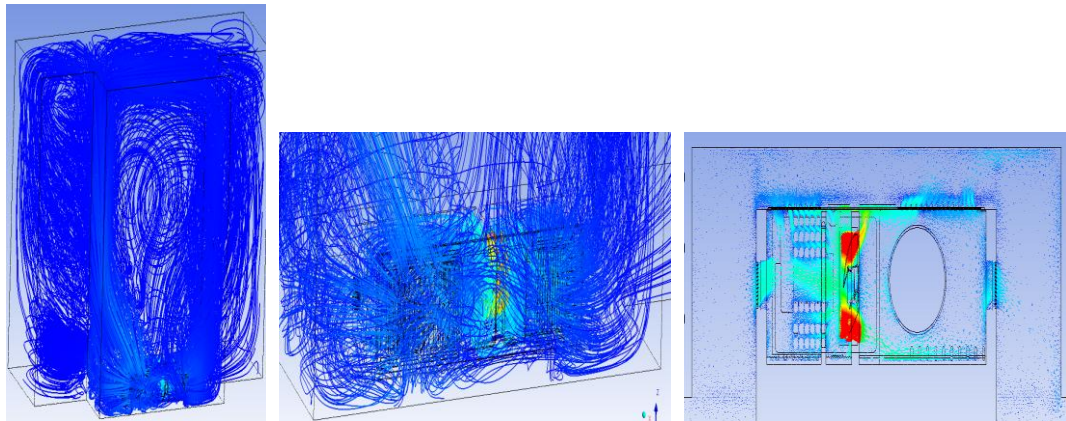


图 4 原冰箱+嵌入式的整机仿真结果

3) 原冰箱侧帮开孔+原测试状态的整机仿真流线图, 压缩机仓室仿真流线放大图, 压缩机仓室速度矢量图如下图 5 所示:

参见图 5 中可知, 该种设计方法压缩机仓风循环效果更好, 对应的冷凝器、压缩机、电磁阀等部件的换热效果更优, 可靠性得到进一步提升。



(a) 整机仿真流线

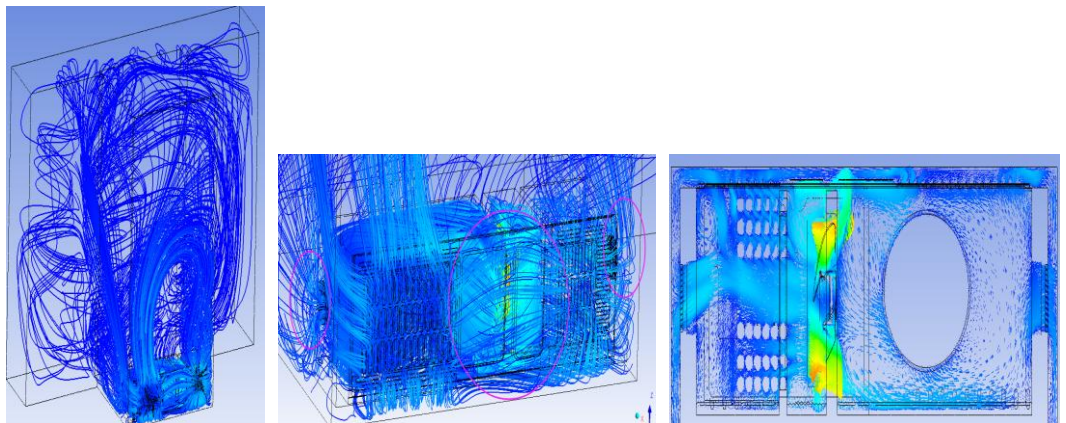
(b) 压缩机仓仿真流线

(c) 压缩机仓室速度矢量图

图5 原冰箱侧帮开孔+原测试状态的整机仿真结果

4) 原冰箱侧帮开孔+嵌入式的整机仿真流线图, 压缩机仓室仿真流线放大图, 压缩机仓室速度矢量图如下图6所示:

参见图6中可知, 该种侧帮开孔的冰箱在嵌入式状态下的压缩机仓冷凝器换热效果改善明显, 还存在稍许的风短路现象, 需要在压缩机后盖板、压缩机底板等部位安装隔风档条, 进一步避免风短路问题, 确保可靠性得到进一步提升。



(a) 整机仿真流线

(b) 压缩机仓仿真流线

(c) 压缩机仓室速度矢量图

图6 原冰箱侧帮开孔+嵌入式的整机仿真结果

在计算过程中没有对后盖板的进出风进行流量监测, 根据流量守恒公示进行计算, 具体如下:

后盖板的进风流量=系统风量-侧帮进风-底部进风

后盖板的出风流量=系统风量-底部出风。

得出的风循环量的结果如下表1所示。从该表中的数据可知, 原冰箱状态+嵌入式测试的系统风量较原冰箱+原测试状态的系统风量降低约19.3%, 经过冷凝器风量降低约13.7%, 说明系统风量变小, 冷凝风量也变小, 会导致冰箱整机换热性能变差, 整机能耗升高, 运行可靠性得不到保证。

冰箱侧帮开孔+原测试状态的系统风量较原冰箱+原测试状态的系统风量提高约11.4%, 经过冷凝器风量提高约18.6%, 说明在侧帮开孔的条件下, 冰箱系统风量达到了较大提升, 冷凝换热也到了提升, 进一步确保了整机的性能与运行可靠性。

表1 CFD 软件仿真分析结果

状态	系统 风量	经过冷 凝器风量	侧帮 进风	侧帮 出风	底部 进风	底部 出风
原冰箱+原测试状态	31.47	21.83	\	\	0.76	1.32
原冰箱侧帮开孔+原测试状态	35.05	25.9	3.09	4.08	0.73	1.67
原冰箱状态+嵌入式测试	25.39	18.84	\	\	0.77	2.04
原冰箱侧帮开孔+嵌入式测试	28.77	21.26	4.79	3.45	0.68	2

原冰箱侧帮开孔+嵌入式状态的系统风量较原冰箱+嵌入式状态的系统风量提高约 13.3%，经过冷凝器风量提高约 12.8%，说明在侧帮开孔的条件下，冰箱系统风量达到了较大提升，侧帮开孔设计方案是一个较理想的设计方案。冷凝换热也到了提升，满足了整机的性能与运行可靠性。

4.2 实验性能测试结果分析

通过以上的一系列仿真优化技术与分析设计来看，原冰箱+嵌入式状态的风循环效果不佳，实际高环温（43℃）条件下，会出现高低压运行、降温试验以及储藏温度等实验测试的压缩机跳机以及压缩机壳温较高等问题，导致可靠性运行不满足设计要求。基于此种情况，重点验证原冰箱侧帮开孔+嵌入式状态的测试数据，环温 43℃，进行降温实验测试，测试结果如下表所示 2。从表 2 中可知，压缩机壳体温度、冷凝器进出口温度均满足要求。

其他的主要性能与可靠性实验如高低压启动、储藏温度均为合格，测试曲线如下图 7、图 8 所示。

表2 降温实验测试数据

名称	稳定值	峰值
功率 (W)	122.6	221.1
冷藏平均(℃)	1.9	/
冷冻平均(℃)	-18.3	/
压缩机壳顶(℃)	79.9	92.1
压缩机壳底(℃)	77	87.3
排气(℃)	87.4	109.6
冷凝器进(℃)	57.3	75.7
冷凝器出(℃)	55.1	64.5
过滤器(℃)	56.4	65.8
回气(℃)	47.2	58.4
冷藏降温时间(min)		95
冷冻降温时间(min)		268

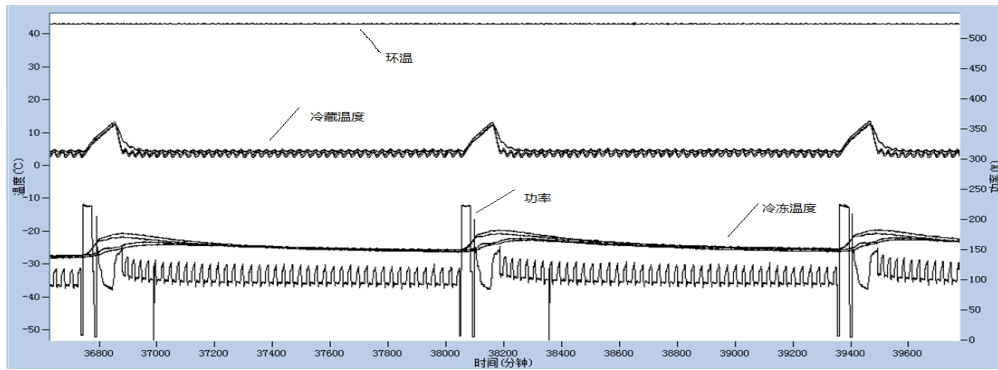


图 7 储藏温度测试曲线图

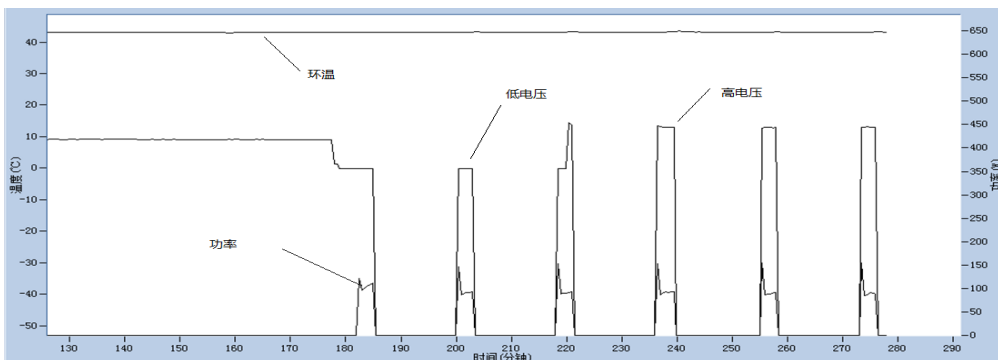


图 8 高低压启动测试曲线图

4.3 自由嵌入式冰箱设计方法

从上面的分析来看，为满足可靠性与整机性能的要求，自由嵌入式冰箱设计方法主要如下：

1) 高环境温度下整机运行率的设计

考虑到嵌入式的不利使用环境，嵌入式产品的气候类型应尽量满足 T 型，常规状态进行试验时，建议其高温储藏温度测试时运行率控制在 90% 以下。

2) 热负荷的估算

冰箱嵌入式使用会使得压缩机腔室经外置冷凝器换热后的高温冷凝出风往冰箱侧面及冰箱背部发散，会使得冰箱背部下侧、冷凝出风端侧帮下部外表面温度升高，在进行热负荷估算时需要考虑这一影响。

3) 压缩机壳体温度超标（嵌入式状态下，43℃环境温度下测试时，稳定运行状态压缩机壳体温度不允许超过 90℃），可以从如下几个方面着手进行改进设计：考虑选用高效外置冷凝器，优化冷凝风循环效率，考虑使用更高效或更大冷量的压缩机。

4) 压缩机仓冷凝换热结构设计

强化底部散热可以考虑：适当的加大压缩机底板与箱体沙发座之间的间隙，适当提高箱体底部与地面之间的距离等。

减小风循环短路可以考虑：增加底部和背部增加挡风条，将冷凝进风和回风之间进行阻隔。

通过在侧帮两侧开孔来改善冷凝风循环，增大风循环量。

4 结论

根据所设计的冰箱结构及摆放方式，运用 CFD 仿真分析软件建立四种状态的模型，对比分析冰箱原冷凝模块的系统风量，并进行试验验证与结果分析，结果表明侧帮开孔的嵌入式结构可以很好地满足可靠性测试要求。为确保自由嵌入式冰箱设计的一致性，给出了自由嵌

入式冰箱设计要点，为自由嵌入式冰箱的设计提供了参考。

参考文献：

- [1] 秦丽. 填补领域空白 嵌入式制冷器具行业标准正在制定. 电器. 2013 年 11 期.
- [2] 刘晓庆, 李凌云等. 基于 CFD 的风冷冰箱风道仿真分析. 家电科技. 2017 年第 1 期.