

技术探讨

# 冰箱冷藏蒸发器铝回气管与毛细管换热的实验研究

刘洋 孙彬 周超 王国庆

(海信(山东)冰箱有限公司 青岛 266000)

**摘要** 本文针对一台170 L容积的单系统直冷冰箱,在25 °C环境温度下,通过研究冷藏蒸发器采用铝回气管与毛细管缠绕换热和分离换热两种换热方式,得出制冷过程各系统点温度变化规律。研究发现长度为1600 mm的回气管与毛细管缠绕换热时,换热效果明显提高,毛细管温度比无换热时低2 °C,冷冻蒸发器蒸发温度可以达到-30.5 °C,回气管出箱段温度可以达到23.5 °C,回气管不会凝露,压缩机无液击风险,制冷系统设计合理。

**关键词** 电冰箱;铝回气管;换热;毛细管

## Experimental Research on Aluminum Suction Pipe and Capillary Heat-exchange of Refrigeration Evaporator on Refrigerator

Liu Yang Sun Bin Zhou Chao Wang Guoqing

(Hisense (Shandong) Refrigerator Co., Ltd., Qingdao, 266000)

**Abstract** In this paper, a single-system straight cold refrigerator of 170-L capacity is studied. At 25 °C ambient temperature, two methods of heat-exchange is studied, which between aluminum suction pipe and capillary are parcel by aluminum foil, and aluminum suction pipe and capillary are separated. The temperature distribution of various points of each system in the cooling process is obtained. The results show that the effect of heat-exchange is obviously improved with both aluminum suction pipe of 1600 mm and capillary are parcel by aluminum foil. The temperature of capillary is lower 2 °C than without heat-exchange. The temperature of evaporation in evaporator can reach -30.5 °C, and the temperature of suction pipe out of refrigerator is more than 23.5 °C. Condensation don't occur in the suction pipe, and compressor is free of the risk of liquid slugging. The design of refrigeration system is reasonable.

**Keywords** refrigerator; AL-suction pipe; heat-exchange; capillary

当前冰箱制冷方式主要分为风冷冰箱和直冷冰箱两种。对于直冷冰箱的研究主要集中于保鲜、减霜(除霜)及保温等方面<sup>[1-4]</sup>,关于制冷系统性能匹配的研究则相对较少<sup>[5]</sup>,本文针对这一方面进行了深入的探索。

目前绝大多数单系统直冷冰箱在蒸发段制冷剂流向为冷冻蒸发器、冷藏蒸发器、回气管和压缩机<sup>[6]</sup>。冷藏蒸发器回气管与毛细管之间的换热方式有铜管的锡焊换热和铝管的铝箔包裹换热两种(见表1所示)。考虑到铜铝原材料价格的差异(2018年1-9月铜铝价格对比见图1所示),冷藏蒸发器回气

管段多采用铝管与毛细管铝箔缠绕换热。本文针对铝回气管与毛细管在25 °C环境温度下的换热效果进行分析研究,测试铝回气管和毛细管不同位置处的温度变化,为了后期制冷冰箱的制冷系统设计优化,提供理论支持。

表1 回气管与毛细管换热形式

Tab. 1 Suction pipe and capillary heat-exchange type

回气管材质	毛细管材质	加工方式	优点
铜管	铜管	锡焊	换热好
铝管	铜管	铝箔缠绕	成本低

作者简介:刘洋,男,高级工程师,主要从事冰箱制冷设计与优化。

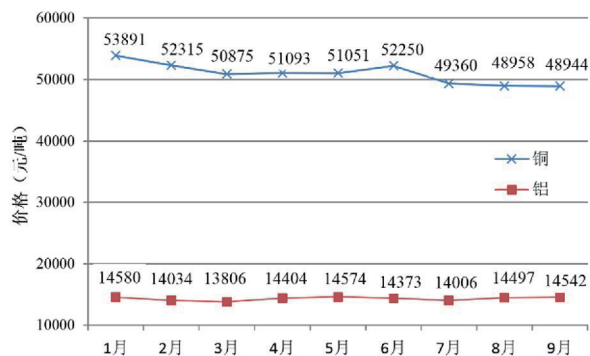


图1 2018年1-9月份铜、铝价格对比

Fig. 1 Comparison of prices of copper and aluminum from January to September of 2018

## 1 试验方案

实验选用容积为170 L的直冷冰箱，制冷剂为R600a，冷藏蒸发器使用铝回气管，回气管与毛细管的换热方式为铝箔缠绕，长度为1600 mm。为了测试回气管与毛细管的换热效果，拆除冰箱后背板，在回气管和毛细管的换热段和各关键系统点处布置温度监测点，具体温度监测方案见表2和图2所示。安装完毕用泡料密封并盖上后背板。

表2 试验温度测量点布置方案

Tab. 2 Experimental program of temperature measurement points

序号	位置	数量	作用
1	压机仓	2	监测出箱后两管温度
2	换热结束段	2	监测出箱前两管温度
3	换热段	10	监测回气管(5个)、毛细管(5个)温度
4	冷藏蒸发器进、出口	2	监测回气管温度
5	喷射口(前、后)	2	监测毛细管喷射口温度
6	冷冻蒸发器进、出口	2	监测冷冻蒸发器进出口温度



图2 铝回气管温度点

Fig. 2 The temperature points on aluminum suction pipe

## 2 试验测试

### 2.1 铝回气管与毛细管正常换热状态

首先测试回气管和毛细管使用铝箔缠绕状态下，在25℃环境温度，冰箱稳定运行时制冷系统的温度变化情况，按照制冷剂的流动方向，从毛细管开始测量沿程的温度变化。

#### 2.1.1 毛细管节流段

毛细管的入口温度为32.4℃，入箱后，毛细管与回气管之间进行换热温度下降，从1600 mm长的换热段开始，毛细管温度依次为27.9℃、23.9℃、19.8℃、14.9℃、8.7℃、0.3℃。毛细管与回气管分离后，通过一段400 mm的无换热的毛细管，温度下降幅度很大，经过毛细管连接管时，温度到-28.5℃，随后的200 mm喷射段，温度下降到-30.5℃。此段全长约为2200 mm，温度变化见图3所示。从图中可以看出，在换热段毛细管温度下降速度均匀，温度下降约为2℃/100 mm，毛细管与回气管分离后达到闪蒸点，温度下降幅度很大，随后进入喷射段温度变化不大。

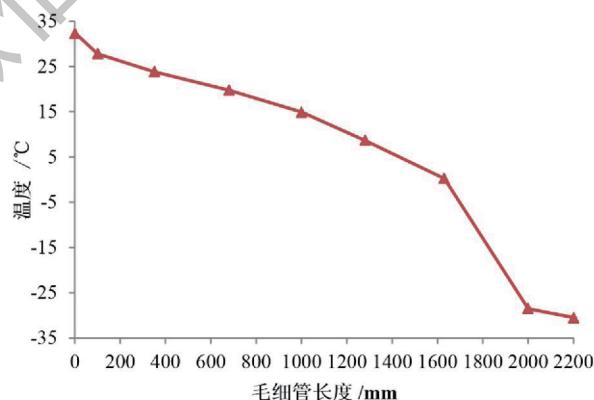


图3 毛细管段温度变化

Fig. 3 The temperature change of capillary

#### 2.1.2 冷冻室和冷藏室蒸发段

制冷剂进入冷冻蒸发器，冷冻蒸发管长10500 mm，因制冷剂在此处进行蒸发相变换热，温度基本保持不变。冷冻蒸发器出口温度为-30.5℃（见图4）。连接冷藏蒸发器入口，此段长约1000 mm，冷藏入口温度-30.6℃，基本保持不变。经过冷藏蒸发器管路换热，制冷剂液体蒸发殆尽，冷藏出口温度随之升高，达到-19.9℃。

#### 2.1.3 回气管段

在回气管段入口处，制冷剂为气液混合态，温度为-19.9℃（见图4），经过与毛细管的末端

换热，温度升高到-0.9℃。此后沿1600 mm长的换热段，温度依次升高7.5℃、14.1℃、18.7℃、21℃、23.3℃，出箱回气管与毛细管分离100 mm后，温度为23.5℃。

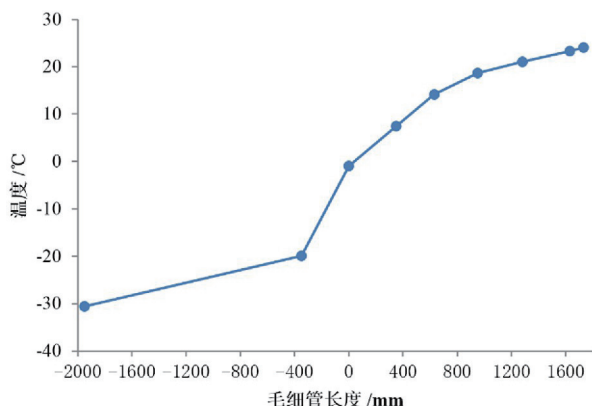


图4 冷藏至回气管段温度变化

Fig. 4 The temperature change of refrigerating chamber evaporation pipe to suction pipe

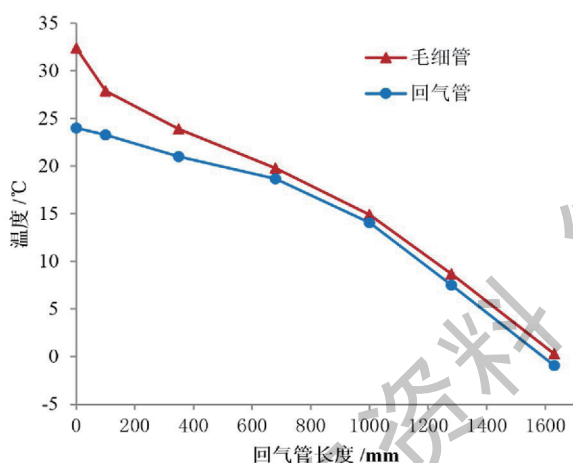


图5 回气管与毛细管相同位置温度对比

Fig. 5 The temperature contrast at the same point of suction pipe and capillary

回气管与毛细管换热段，从毛细管入箱到毛细管与回气管分离，在相同的位置毛细管与回气管二者之间的温度变化见图5所示。从图中可以看出靠近毛细管与回气管分离，两者温度变化较大，换热较好，靠近毛细管入箱位置，温差虽然较大，但温度变化速率较小，换热效果变差。

## 2.2 铝回气管与毛细管分离状态

为了对比测试铝回气管与毛细管的换热效果，重新把冰箱后背拆开（如图6所示），将回气管和毛细管的换热段的铝箔剥离，铝回气管与铜毛细管分别独立，温度测试点的位置同原实验，共计20个温度传感器，并重新用发泡料密封，盖紧后盖板，进行对比实验测试。

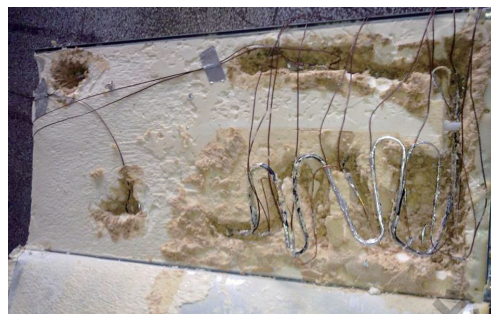


图6 铝回气管与毛细管测试点位置

Fig. 6 The test points of the separated aluminum suction pipe and capillary

在25℃环境温度下，制冷系统稳定运行后，沿制冷剂的流动方向，从毛细管开始记录沿程的温度变化。

### 2.2.1 毛细管节流段

如图7所示，毛细管的入口温度为32.8℃，入箱后，因与回气管没有换热，温度下降缓慢，在1600 mm长管段（即原始换热段），温度依次30.4℃、27.3℃、25.7℃、23.7℃、20.1℃、14.7℃，整体温度下降为1℃/100 mm，温度呈线性均匀下降，临近毛细管喷射口温度骤然下降到-28.3℃，随后的200 mm喷射段，温度下降到-28.7℃，此段全长约为2200 mm。

### 2.2.2 冷冻室和冷藏室蒸发段

制冷剂进入冷冻蒸发器，冷冻蒸发管长10500 mm，制冷剂在此处为蒸发相变换热，温度基本保持不变。冷冻蒸发器出口温度为-28.7℃。连接冷藏蒸发器入口，此段长约1000 mm，温度基本保持不变，冷藏入口温度-29.0℃。经过冷藏蒸发器管路换热，冷藏出口温度随之升高，达到-27.9℃，如图8所示。

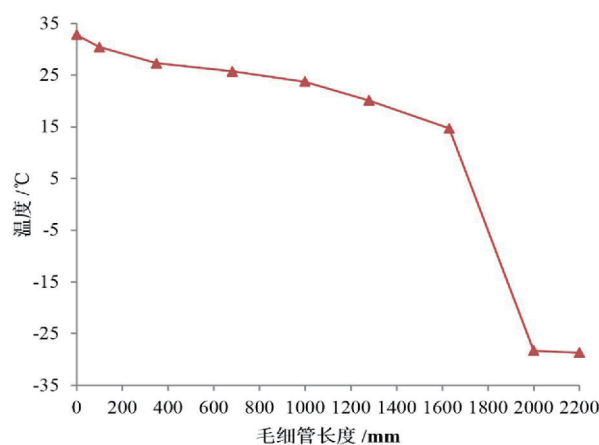


图7 毛细管温度变化

Fig. 7 The change of temperature of capillary

### 2.2.3 回气管段

回气管段在入口处，制冷剂为气液混合态，温度为-27.9℃，经过约300 mm长的管段，温度上升到-25.7℃。此后在这段1600 mm长的非换热段回气管内，温度依次升高-25.6℃、-24.2℃、-21℃、-15.5℃、-12.1℃，出箱回气管与毛细管分离100 mm后，温度为2.8℃，如图8所示。

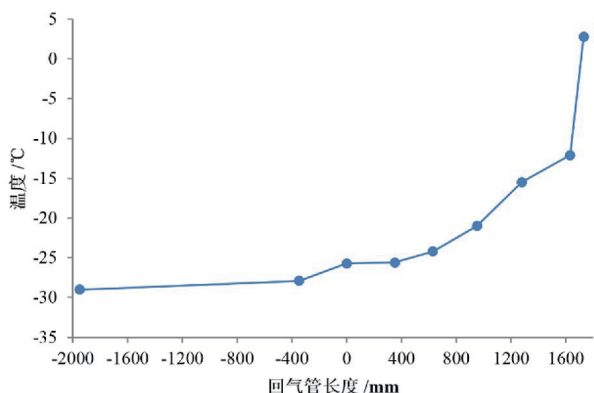


图8 回气管温度变化

Fig. 8 The change of temperature of suction pipe

原回气管与毛细管换热段（本次试验分离无换热），从毛细管入箱到毛细管与回气管分离，在相

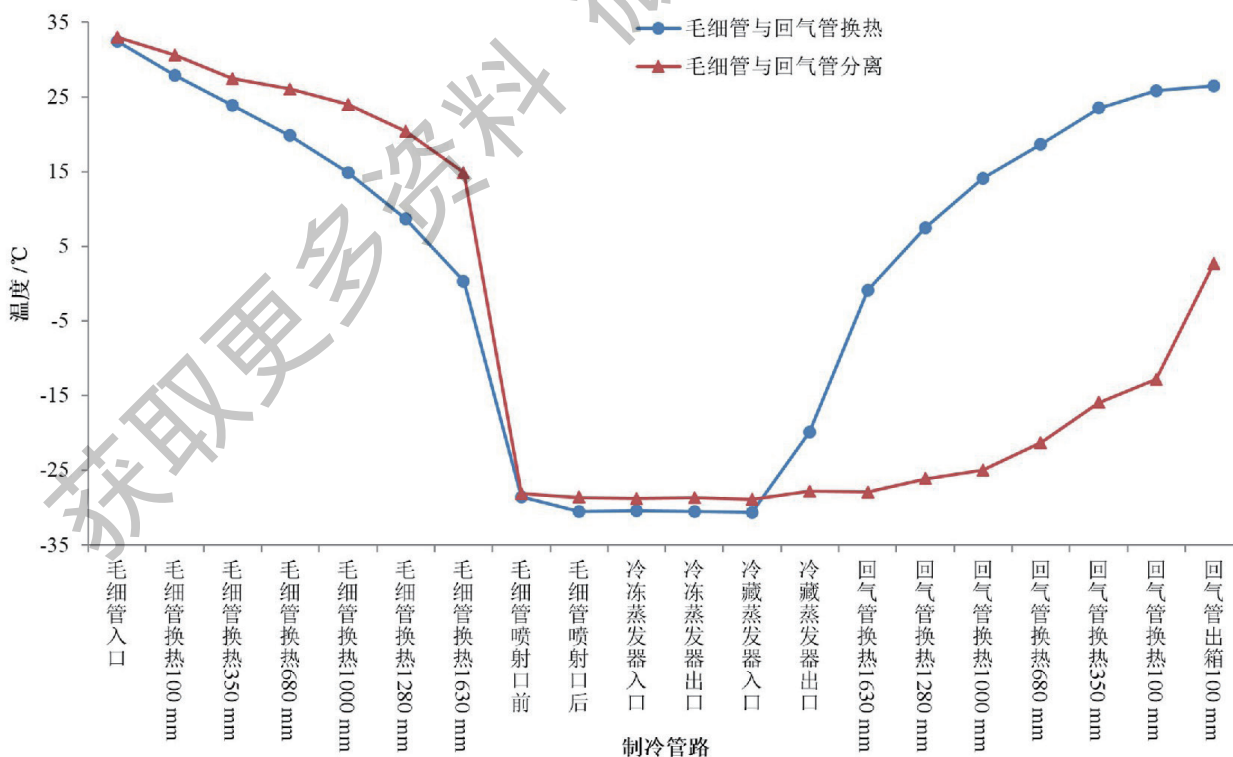


图10 有换热与无换热温度对比

Fig. 10 The temperature contrast between heat-exchange and no heat-exchange

同的位置毛细管与回气管二者之间的温度变化见图9所示。由于两者之间没有直接换热，均为向周围散热和吸热，两者的温度变化幅度都很小。

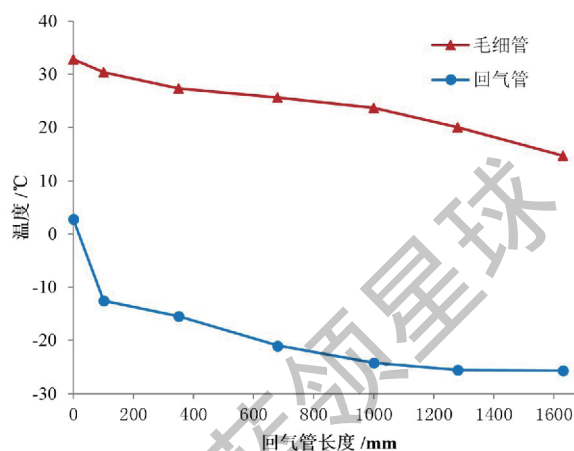


图9 分离状态下回气管与毛细管相同位置温度对比

Fig. 9 The temperature contrast at the same point of the separated suction pipe and capillary

### 3 实验对比分析

在25℃环境温度下冷藏蒸发器铝回气管与毛细管之间铝箔缠绕换热和分离后的温度变化对比如图10所示。

(下转第17页)

### 参考文献

- [1] 方行明, 何春丽, 张蓓. 世界能源演进路径与中国能源结构的转型政治经济学评论[J]. 2019,10(2):178-201.
- [2] Jahangeer K. A., Andrew A. O., Raisul Md. Numerical investigation of transfer coefficients of an evaporatively cooled condenser [J]. Applied Thermal Engineering, 2011, 31(10):1655-1663.
- [3] Kalkan N., Young E. A., Celiktas A.. Solar thermal air conditioning technology reducing the footprint of solar thermal air conditioning [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012,16(8):6352-6383.
- [4] Chow T. T., Yang X. Y. Placement of condensing units of split-type air conditioners at low-rise residences [J]. Applied Thermal Engineering, 2002,22(13):1431-1444.
- [5] Cengel YA, Boles MA. Thermodynamics: an engineering approach. 3rd edition [M]. Boston: McGraw-Hill, 1998.
- [6] Robert O Parker, Robert E Treyball. The heat mass transfer characteristics of evaporative coolers [J]. Heat Transfer-Buffalo, 1961, 57(32): 138-149.
- [7] T Mizushima, R Ito, H Miyashita. Experimental study of an evaporative cooler [J]. Int Chem Eng, 1967(7): 727-739.
- [8] 朱冬生, 沈家龙, 蒋翔, 等. 蒸发式冷凝器性能研究及强化 [J]. 制冷学报, 2006, 27(3): 45-49.
- [9] 朱冬生, 沈家龙, 唐广栋, 等. 水分布对蒸发式冷凝器传热传质的影响[J]. 工程热物理学报, 2007, 28(1): 83-85.
- [10] 全国制冷标准化技术委员会. 远置式机械通风蒸发式制冷剂冷凝器试验室试验方法SB/T 10796-2012 [S]. 北京: 中国标准化出版社, 2012.

(上接第8页)

在毛细管与回气管分离后, 毛细管入口温度与原二者换热时相当, 均约为 $32.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。入箱后, 由于没有换热, 毛细管无法预冷, 因此其温度较有换热情况时偏高接近 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 有换热的冷冻入口蒸发温度 $-30.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 没有换热的仅 $-28.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 不利于冰箱内制冷。

具有毛细管换热的回气管, 回气管出箱后的温度 $23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 该温度不会出现凝露现象(环境温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 且有利于压缩机的吸气(在吸气压力 $0.07\text{ Mpa}$ 时, R600a的气化温度为 $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。而回气管与毛细管没有换热时, 在冷冻蒸发器、冷藏蒸发器和冷藏的回气管前段, 制冷剂一直处于气液混合状态, R600a制冷剂液体没有完全气化, 温度基本保持不变。直到临近出箱段(约 $400\text{ mm}$ 处), 完全变为气态制冷剂。此时回气管出箱温度仅为 $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 会导致回气管凝露, 且不利于压缩机效率的发挥。

## 4 结论

本文在以单系统直冷冰箱为基础, 研究了铝回气管与毛细管在制冷过程中, 换热段温度变化情况。为了充分验证铝回气与毛细管铝箔换热的效

果, 把毛细管与铝回气管分离, 重复进行制冷过程中温度变化的数据测试。两种结果对比分析,  $1600\text{ mm}$ 长度的换热对毛细管和回气管均有利好效果, 毛细管的蒸发温度更低, 回气管出箱温度适宜。并且在试验过程中, 测量制冷管路上温度的变化情况, 有利于冰箱制冷方式的深入理解, 为后期优化冰箱制冷系统提供实验基础。

### 参考文献

- [1] 陈旗, 晏刚, 方忠诚, 苑保利, 任伟. 直冷冰箱冷藏室门封传热特性研究[J]. 制冷学报, 2015, 36(06):66-73.
- [2] 吴昌. 基于CFD的直冷冰箱结霜均匀性改进研究[A]. 中国家用电器协会. 2015年中国家用电器技术大会论文集[C]. 中国家用电器协会, 2015:7.
- [3] 张奎. 直冷冰箱冷冻室结霜机理研究[A]. 中国家用电器协会. 2014年中国家用电器技术大会论文集[C]. 中国家用电器协会:《电器》杂志社, 2014:6.
- [4] 杨大海, 韩丽丽, 王书科, 田永生, 陈庆涛. 家用直冷冰箱泡层优化研究[J]. 电器, 2013(S1):134-137.
- [5] 刘雷, 方盛, 刘新, 等. 两门直冷冰箱制冷系统运行分析[J]. 日用电器, 2017(12):54-57.
- [6] 王如竹. 制冷原理与技术[M]. 第1版. 北京: 科学出版社, 2013: 54-57.