

# 冰箱用旋翅式冷凝器的计算机辅助设计

刘杰 辛海亚 陈艳君  
(合肥晶弘电器有限公司 安徽合肥 230601)

**摘要:** 本文介绍了冰箱用旋翅式冷凝器的结构特点以及计算机辅助设计在冷凝器设计中的优点,通过比较冰箱常用制冷剂的物性特点,选择R600a作为设计计算的制冷剂,提出了冷凝器的换热四区模型,并建立了冷凝器的数学计算模型以及计算程序流程图,并且通过实验结果与数学模型的计算结果相比较,得出实验结果与计算结果可以较好的吻合,验证了数学模型与计算程序的可靠性。

**关键词:** 旋翅式冷凝器; 计算机辅助设计; 数学计算模型

## Computer-aided design method for spiral-fin condenser of refrigerator

LIU Jie XIN Haiya CHEN Yanjun  
(Hefei Kinghome Electrical Co.,LTD Hefei 230601)

**Abstract:** The paper introduces the structure features of spiral-fin condenser and the advantages of computer-aided design in the design of the condenser. Choose R600a as the design calculation through the comparison of characteristics of commonly used refrigerator. The four region model of the condenser heat exchanger was raised, and establish the mathematical model and calculation program flowchart, compare with the results of the experimental and the calculation of mathematical model, both can be in good agreement, and verify the reliability of the mathematical model and calculating program.

**keywords:** Spiral-fin condenser; Computer-aided design; Mathematical model

### 1 引言

旋翅式冷凝器是一种紧凑高效的换热器,广泛应用于大容积风冷冰箱上,具有结构紧凑、换热效率高的特点,与传统的丝管式冷凝器以及翅片式冷凝器相比,换热效率可以提高30%以上。如图1、图2所示,旋翅式冷凝器使用螺旋翅片管,螺旋翅片以螺旋的形状紧密地缠绕在冷凝管的外表面上,这种特殊的设计可以

使更多的空气与螺旋翅片相接触,从而提高冷凝器的换热能力。

在冰箱旋翅式冷凝器的设计中,目前主要采用两种方法,一种是传统的人工手算设计,另外一种借助计算机辅助设计,即模拟仿真设计。传统的人工手算方法在计算过程中有大量的参数都是凭设计人员的经验而选择的,加之在设计中存在许多迭代计算,因而设计人员的设计计算

工作量巨大,且设计周期长、精度不高。而计算机辅助设计作为迅速发展起来的综合性计算机应用系统技术,可以建立冷凝器的数学模型,并对模型进行求解计算,得到其制冷剂和空气的流动特性与换热特性,从而把设计人员从繁杂的人工计算中解放出来。本文利用计算机辅助设计对旋翅式冷凝器进行模拟仿真计算,编制一种旋翅式冷凝器的设计软件,能够显著提高冷凝器

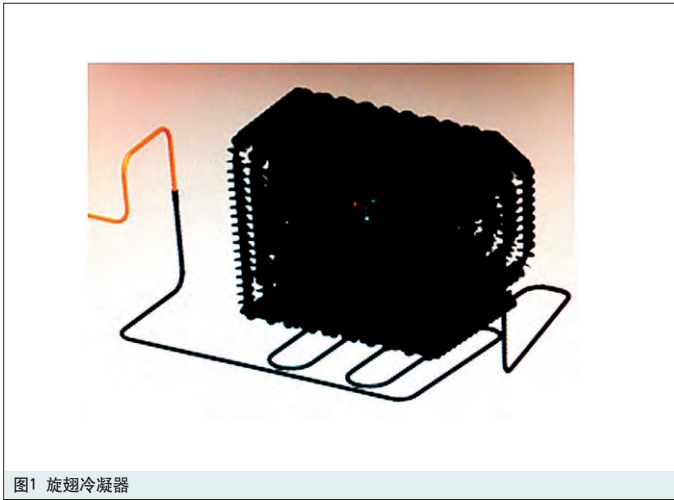


图1 旋翅冷凝器



图2 旋翅冷凝器局部放大图

的设计质量, 缩短设计周期。

## 2 制冷剂的选择与物性分析

目前冰箱使用的制冷剂主要是R600a、R134a以及混合类工质, 由于混合类工质对臭氧层具有一定的破坏作用, 而且使用该类工质的冰箱具有一定的噪音大、能耗大等缺陷, 因此目前R600a与R134a为公认的两种冰箱用制冷剂。

从表1可知:

(1) R600a的ODP与GWP几乎均为零, 对环境完全没有破坏作用, 而R134a对全球变暖有较大的影响;

(2) R600a较低的冷凝压力、蒸发压力和

排气温度减小了制冷系统制冷剂泄露的可能性, 提高系统效率, 延长了压缩机的使用寿命;

(3) R600a较高的蒸发潜热以及较低的液相密度, 使得制冷剂的灌注量较R134a大为减少。

通过对R600a与R134a两种制冷剂的物性比较, 可知R600a具有热力性能好、能效高、环境友好性强等优点, 因此选择R600a作为本文软件设计的制冷剂。

## 3 旋翅冷凝器的设计

### 3.1 模型分区

按照制冷剂的状态和流动换热状态的不同, 将冷凝器分为四个区(A、B、C、D)的一维流

动换热模型, 如图3所示。

#### A. 干壁面过热气体区

冷凝管管壁的温度高于冷凝管内制冷剂的饱和温度(图中虚线所示), 所以壁面是干的, 换热系数按照单相换热系数计算。

#### B. 湿壁面过热气体区

冷凝管管壁的温度低于冷凝管内制冷剂的饱和温度(图中虚线所示), 所以壁面上有蒸汽凝结, 是湿润的, 换热系数按照干度为1的两相换热系数计算, 换热温度按照真实的温度计算。

#### C. 两相冷凝区

在这个区域, 制冷剂从饱和气体完全冷凝为

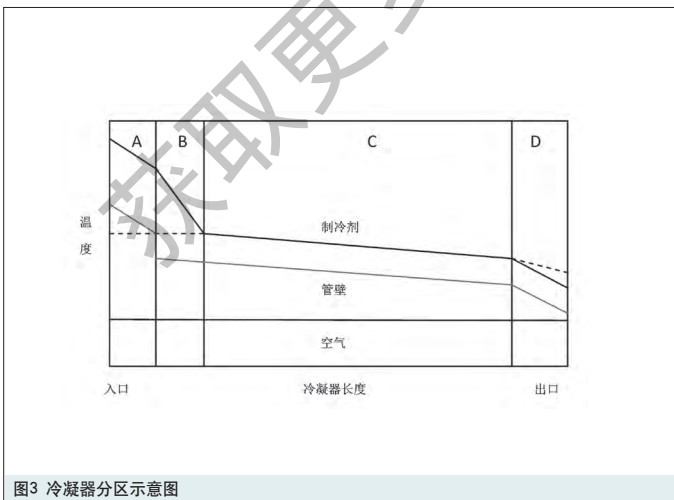


图3 冷凝器分区示意图

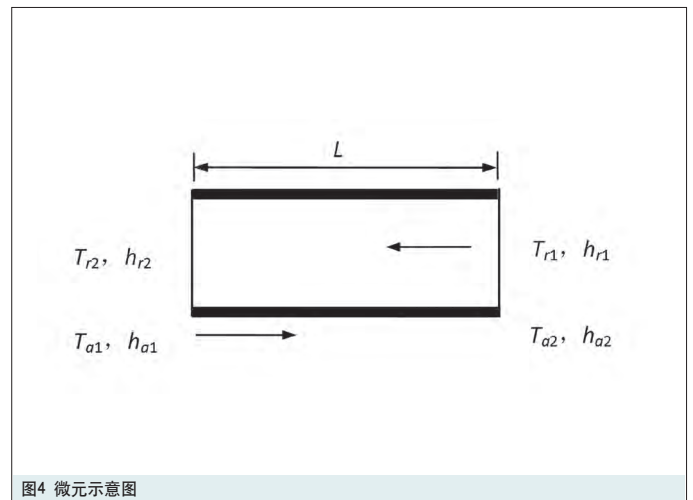


图4 微元示意图

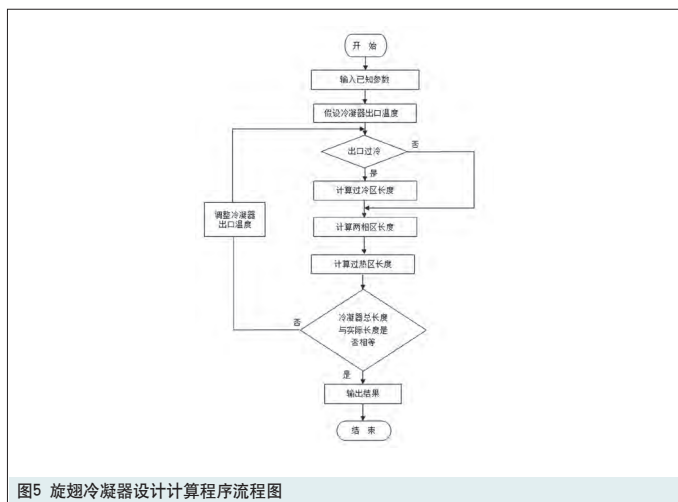


图5 旋翅冷凝器设计计算程序流程图

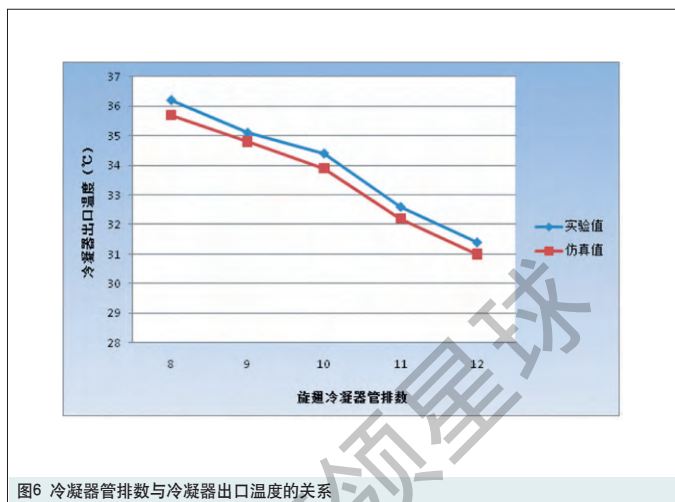


图6 冷凝器管排数与冷凝器出口温度的关系

饱和和液体。

#### D. 过冷液体区

在这个区域, 制冷剂饱和和液体被进一步过冷。

### 3.2 基本模型

如图4所示为冷凝器一维模型的微元示意图。

对任一微元, 可以建立如下的方程组:

空气侧流动换热方程:

$$Q_a = m_a(h_{a2} - h_{a1})$$

制冷剂侧流动换热方程:

$$Q_r = m_r(h_{r1} - h_{r2})$$

管内外换热平衡方程:

$$Q_a = \xi Q_i$$

微元导热方程:

$$Q_r = KA_i(T_{rm} - T_{am})$$

上式中,  $A_i$  为管内表面积:

$$A_i = \pi d_i L$$

$T_{m}$  为制冷剂平均温度:

$$T_{rm} = (T_{r1} + T_{r2})/2$$

空气侧平均温度:

$$T_{am} = (T_{a1} + T_{a2})/2$$

管壁长度:

$$L = A_i / (\pi d_i)$$

在以上各方程中,  $Q$ 、 $h$ 、 $T$  和  $m$  分别为换热

量、焓值、温度和质量流动速率; 下标  $a$  代表空气侧,  $r$  代表制冷剂侧,  $m$  代表平均值,  $i$  代表管内。漏热系数  $\xi$  一般为  $0.8 < \xi < 1$ , 在冷凝器的基本模型中取作平均值 0.9。  $K$  为总表面传热系数, 其定义温差为空气侧和制冷剂侧算术平均温度差。计算公式为:

$$K = [1/\alpha_0 + A_i/(\alpha_i A_0)]^{-1}$$

式中,  $\alpha_i$  为制冷剂侧表面传热系数,  $\alpha_0$  为空气侧表面传热系数。

$A_0$  为冷凝器外有效传热面积:

$$A_0 = A_f + A_b$$

$A_b$  为单位管长冷凝管表面积:

$$A_b = \pi \times d_b \times \left(1 - \frac{\delta_f}{s_f}\right)$$

$A_f$  为单位管长翅片表面积:

$$A_f = \frac{\sqrt{3}s_1^2}{s_f} - \frac{\pi d_o^2}{2s_f}$$

可以通过下述微元方程组求得微元的长度:

$$L = [1/\alpha_0 + A_i/(\alpha_i A_0)] m_r (h_{r1} - h_{r2}) / [(T_{rm} - T_{am}) \pi d_i]$$

对于单相区 (过冷区、过热区), 制冷剂侧换热系数  $\alpha_i$  由 Dittus Boeler (1947) 的换热关联式计算:

$$Nu_i = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

其中  $Nu_i = \alpha_i d_i / \lambda$ ,  $Re = G_r d_i / \mu$ ,  $G_r$  为制冷

剂流密度,  $d_i$  为管内径。

对于两相区, 制冷剂侧换热系数采用 Shah 关联式:

$$\alpha_{TP} = \alpha_l \left[ (1-x)^{0.8} + \frac{3.8x^{0.76}(1-x)^{0.04}}{Pr^{0.38}} \right]$$

其中,  $\alpha_{TP}$  为两相区换热系数,  $\alpha_l$  为单相区换热系数,  $x$  为两相区干度。

对于空气侧的换热系数, 由于旋翅冷凝器的特殊翅片形式以及翅片与冷凝管的结构, 采用以下正弦波纹形翅片结构的换热关联式:

$$Nu_u = 0.274 Re^{0.556} \left(\frac{s}{d_3}\right)^{-0.2020} \left(\frac{N \cdot s_2}{d_3}\right)^{-0.0372}$$

其中,  $s$  翅片间距,  $s_2$  为沿空气流动方向管间距,  $d_3$  为翅根直径,  $N$  为管排数,  $Nu_i = \alpha_i d_i / \lambda$ 。

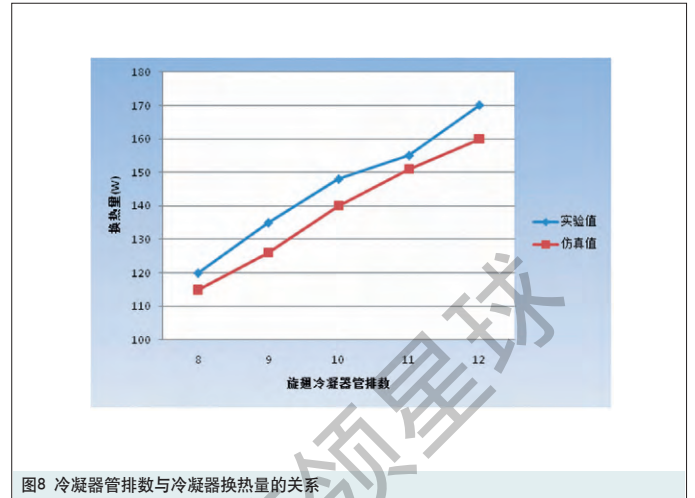
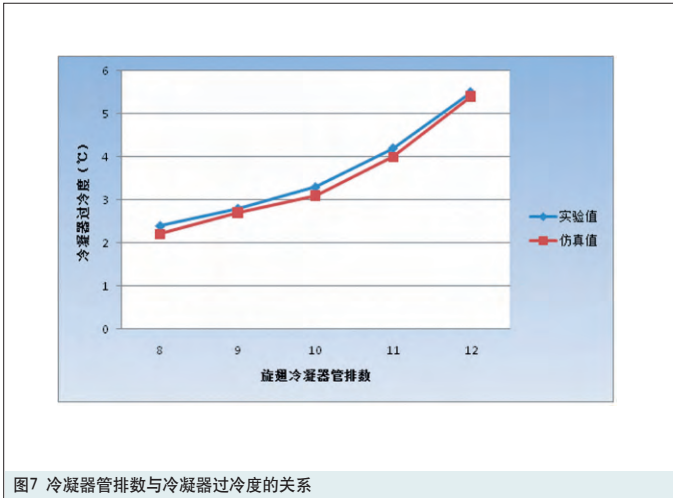
### 3.3 算法设计

本文采用顺序算法来求解微元模型的旋翅冷凝模型, 即沿制冷剂或空气流向来顺序求解每个微元模型, 并在冷凝器层面迭代计算进口或出口参数。

#### 3.3.1 假设条件

(1) 冷凝器内制冷剂的流动为一维均相流动, 且不考虑压降;

(2) 冷凝器外空气的流动也视作一维均相流动;



(3) 制冷剂蒸汽在冷凝器内放热的显热段, 管壁热阻忽略不计;

(4) 制冷剂蒸汽在冷凝器内放热的潜热段, 管壁热阻忽略不计, 同时因阻力引起的温度变化也忽略不计。

### 3.3.2 输入输出参数

(1) 输入参数: 旋翅冷凝器的结构参数, 包括冷凝管的总管长、管排数、管间距、管外径、管内

径、翅片间距、翅片厚度等; 制冷剂质量流量。

(2) 输出参数: 冷凝器换热量、冷凝温度、过冷度、冷凝压力等。

### 3.3.3 计算流程图

如图5所示。

(2) 对比分析了两种冰箱常用制冷剂的物性特点, 提出了冷凝器的换热四区模型, 并建立了冷凝器的数学计算模型以及计算程序流程图;

(3) 对旋翅冷凝器的实验结果与数学计算模型的计算结果进行对比, 得出本文所建立的计算模型与实验结果可以较好地吻合, 计算结果可信。

## 4 应用实例

用上述冷凝器计算模型对某对开门风冷冰箱用旋翅式冷凝器进行设计计算, 并与实验值进行比较。假设旋翅冷凝器的冷凝管和翅片的规格以及实验工况不变, 变量为冷凝器的管排数, 表2为旋翅冷凝器确定的结构参数以及实验工况。

图6~图8为在相同的参数(旋翅冷凝器管排数)变化条件下实验结果与软件计算结果的趋势图。

由图6~图8中所示的设计计算结果可知, 本文所建立的旋翅冷凝器计算模型与实验结果可以较好地吻合, 计算结果是可信的。

| 指标                               | R600a   | R134a   |
|----------------------------------|---------|---------|
| 臭氧层破坏指数 (ODP)                    | 0       | 0       |
| 温室效应指数 (GWP)                     | 0.01    | 0.27    |
| 冷凝压力 (+40°C, bar)                | 5.319   | 10.164  |
| 蒸发压力 (-30°C, bar)                | 0.468   | 0.844   |
| 理论排气温度 (°C)                      | 100~105 | 120~130 |
| 液相密度 (kg/m <sup>3</sup> , -25°C) | 608.3   | 1371.0  |
| 润滑油                              | 矿物油     | 酯类油     |
| 对杂质的敏感性                          | 敏感      | 高度敏感    |
| 溶性                               | 极微      | 极易溶     |
| 真空度要求                            | 一般      | 高       |
| 材料兼容性                            | 好       | 不好      |

| 结构参数 | 冷凝管材料 | 单层钢管         |
|------|-------|--------------|
|      | 翅片材料  | 铜片           |
|      | 冷凝管规格 | Φ4.0mmX0.5mm |
|      | 翅片厚度  | 0.2mm        |
| 实验工况 | 翅片间距  | 5mm          |
|      | 环境温度  | 25°C         |
|      | 环境湿度  | 45%          |

## 5 结论

(1) 本文介绍了冰箱用旋翅式冷凝器的结构特点并说明了通过计算机辅助设计对旋翅式冷凝器进行设计计算能够显著提高设计质量并缩短设计周期;

### 参考文献

- [1] 丁国量, 张春路. 制冷空调装置仿真与优化[M]. 北京, 科学出版社, 2001
- [2] 张春路. 制冷空调系统仿真原理与技术. 北京, 化学工业出版社, 2012