

文章编号: 1005-0329(2004)02-0054-02

# 冰箱制冷系统性能优化

黄鑫风, 刘楚芸, 赵明峰, 段毅

(浙江大学, 浙江杭州 310027)

**摘要:** 建立了冰箱制冷系统性能参数优化模型, 编制了优化程序, 并对一台 BCD-180W 冰箱(工质为 HFC-134a)进行了优化, 使得该系统性能达到最佳, 优化结果与理论分析相吻合。该优化方法和思路具有较强的实用性。

**关键词:** 优化模型; 系统性能; 优化方法

**中图分类号:** TB657.4      **文献标识码:** A

## Performance Optimization of Refrigeration System

HUANG Xin-feng, LIU Chu-yun, ZHAO Ming-feng, DUAN Yi

(Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** The parametric optimization model of the refrigeration system is built. A refrigeration named BCD-180W (refrigerant: HFC-134a) is optimized in order to get the optimal system performance. Results of optimisation are consistent with the theoretic analyse. The method and the thinking of optimization have strong utility.

**Key words:** optimization model; system performance; method of optimization

### 符 号

- $T_1'$ ——吸气温度, K  
 $T_e$ ——蒸发温度, K  
 $T_k$ ——冷凝温度, K  
 $T_{amb}$ ——环境温度, K  
 $m$ ——质量流量, kg/s  
 $R$ ——气体常数,  $R=81.4881629 \times 10 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$   
 $k$ ——根据实验得出的多变指数,  $k=1.14$   
 $T_b$ ——根据实验得出的冷冻室空气温度, K  
 $P_{1'}$ ——压缩机进口吸气压力, kPa  
 $P_{2'}$ ——压缩机出口排气压力, kPa  
 $Z_{1'}$ ——实际气体在吸气状态下的压缩因子  
 $Z_{2'}$ ——实际气体在排气状态下的压缩因子  
 $\eta$ ——压缩机轴效率, %  
 $\eta'$ ——电效率, %, 其意义可参见文献 [3]  
 $W$ ——压缩机最大额定功率, kW

## 1 前言

制冷装置的优化包括最优设计与最优控制

(优化运行)。优化运行是指在符合工艺条件(满足使用)的前提下, 对有限个参数进行综合调节, 使得综合能耗最低或者制冷系数最大。本文在建立参数化优化模型的基础上, 对一台 BCD-180W 冰箱(工质为 HFC-134a)进行优化, 使得该制冷系统性能达到最优。

## 2 冰箱制冷系统性能参数优化模型的建立

### 2.1 目标函数的建立

冰箱合理匹配的目的在于在满足电冰箱各项规定指标的前提下, 使制冷系数最大。同时, 要求制冷系统的热量平衡和制冷系统的质量守恒。

由制冷系数的定义我们不难得出:

$$COP = \frac{\text{制冷量}}{\text{压缩机耗功}} = \frac{\text{冷凝器散热量}}{\text{压缩机耗功}} - 1 \quad (1)$$

冷凝器散热量由过热、饱和及过冷三部分组成。冷凝器散热不仅与工质的种类、冷凝器的结构有关, 而且还与工质及环境的温度、流速有关。用传热方程式表示为:

$$Q_c = K_c F_c \Delta t_{cm}$$

以饱和区为例:  $Q_{c2} = K_{c2} F_{c2} \Delta t_{c2m}$

过热区和过冷区可类似表示(下标分别以  $c_1$  和  $c_3$  区分)。平均温差  $\Delta t_{c2m} = T_k - T_{amb}$ , 并且有  $\Delta t_{c1m} > \Delta t_{c2m} > \Delta t_{c3m}$ 。为便于整理, 我们令  $\xi_1 < 1, \xi_3 > 1$ , 使得  $\xi_1 \Delta t_{c1m} = \Delta t_{c2m} = \xi_3 \Delta t_{c3m}$ , 则:

$$Q_c = (K_{c1} F_{c1} \xi_1 + K_{c2} F_{c2} + K_{c3} F_{c3} \xi_3) (T_k - T_{amb}) \quad (2)$$

令  $(KF)_c = (KF)_{c1} \xi_1 + (KF)_{c2} + (KF)_{c3} \xi_3$ , 则有:

$$Q_c = (KF)_c (T_k - T_{amb}) \quad (3)$$

式中  $(KF)_c$  —— 冷凝器传热系数与传热面积的乘积, kJ/K

对于某一压缩机而言, 不同工况下的压缩多变指数基本不变, 故  $k$  值可取为一个常数, 这里根据多组实验数据取平均值。在稳定运行状况下, 整个系统的质量流量恒为  $m$ , 则有:

$$W = mRT_1' \frac{k}{k-1} \left[ \left( \frac{P_2''}{P_1'} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \frac{Z_1' + Z_2''}{2} \quad (4)$$

对于蒸发器而言, 我们假设它只是吸收冷冻室(-18℃)的热量, 而冷藏室则通过向冷冻室放热达到热平衡, 故有:

$$Q_e = (KF)_e (T_b - T_e)$$

这里认为蒸发器吸热是在饱和状态和过热状态。根据式(1)、(3)、(4), 并且为了便于求解, 选定目标函数如下:

$$F = \frac{1}{COP + 1} = \frac{\text{压缩机耗功}}{\text{冷凝器散热量}} = \frac{\{ mRT_1' k / (k-1) [ (P_2'' / P_1')^{(k-1)/k} - 1 ] (Z_1' + Z_2'') / 2 \} / \eta}{[ (KF)_c (T_k - T_{amb}) ]}$$

选定  $T_1', T_e, T_k$  为设计变量, 即

$$x = [x_1, x_2, x_3]' = [T_1', T_e, T_k]$$

则:  $f(x) = 1 / (COP + 1)$

$$= \frac{\{ mR \chi_1 k / (k-1) [ (P_2'' / P_1')^{(k-1)/k} - 1 ] (Z_1' + Z_2'') / 2 \} / \eta}{[ (KF)_c (\chi_3 - T_{amb}) ]} \quad (5)$$

其中,  $m, P_1', P_2''$  的计算式参见文献[4]。 $R, k, Z_1', Z_2''$  根据工质性质选取。

### 2.2 约束条件

#### (1) 等式约束条件

压缩机最大额定功率条件:

$$f_1(x) = \eta W - mR \chi_1 k / (k-1) [ (P_2'' / P_1')^{(k-1)/k} - 1 ] (Z_1' + Z_2'') / 2 \quad (6)$$

制冷系统能量守恒条件:

$$f_2(x) = (KF)_c (x_3 - T_{amb}) - (KF)_e (T_b - x_2) - \{ mR \chi_1 k / (k-1) [ (P_2'' / P_1')^{(k-1)/k} - 1 ] (Z_1' + Z_2'') / 2 \} / \eta \quad (7)$$

#### (2) 不等式约束条件

压缩机进口温度范围:  $20 \leq x_1 \leq 40$ ;

冷凝器饱和温度范围:  $35 \leq x_3 \leq 65$ 。

### 2.3 优化方法的选择

从上面的分析可以看出, 冰箱制冷系统性能优化设计的数学模型是多约束的非线性混合规划问题。根据目标函数的特性及其所具有的约束条件, 并结合复合型法的优点, 选择复合型法作为系统的优化方法。

### 3 计算实例及结果分析

在实际使用状态下, 要准确地确定传热系数  $K$  是不可能的。考虑到实际使用状态的不确定性, 认为传热系数在一定范围内变化。

根据上述优化模型, 对一台 BCD-180W 冰箱(工质为 HFC-134a)进行了优化(假设环境温度为 25℃), 使制冷系统的性能达到最优。

根据优化结果得出了图 1~3 关系曲线, 每根曲线分别为等  $(KF)_e$  线,  $(KF)_e$  的取值为图中的一组值。

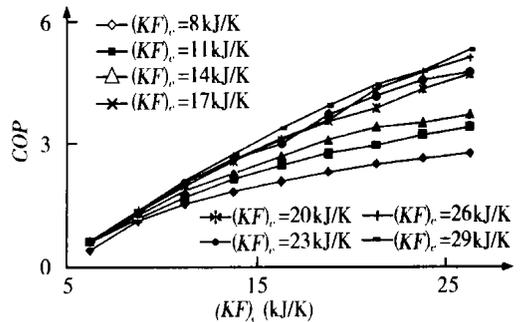


图 1 最优状态下 COP 与  $(KF)_c$  的关系曲线

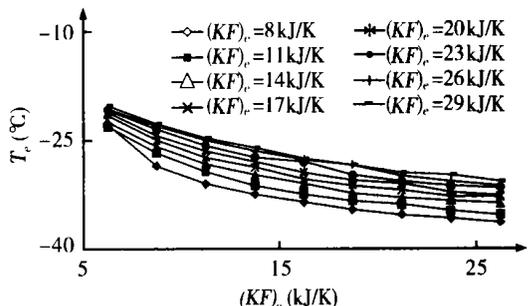


图 2 最优状态下  $T_e$  与  $(KF)_c$  的关系曲线

(下转第 53 页)

从表2可以看出,当太阳辐射强度较大时,可以不加或少加辅助热量;当太阳辐射强度较小时,需要进行辅助加热,加热量为 $Q_2$ ;当太阳辐射小到一定量时,集热器几乎不吸收热量,失去其意义。表中 $Q_1$ 也可以说是节约的能耗,但这是以集热器的成本作代价的。

## 5 结论

本文分别计算了单效和双效太阳能溴化锂吸收式制冷循环的性能系数。结果表明,在一定的条件下,太阳能溴化锂吸收式制冷循环的性能系数有一最大值。对单效机而言,达到最大值时的集热器温度在 $90^\circ\text{C}$ 左右(视集热器而定);而对双效机而言,达到最大值时的集热器温度为 $155^\circ\text{C}$ 左右。

如果在高温工况下太阳能集热器没有较高的集热效率,宜采用太阳能单效吸收式制冷循环系统。在设计时,应根据当地太阳能辐射强度,计算是否适合采用太阳能溴化锂吸收式空调系统,并进行经济性分析,如果太阳辐射强度不大,采用太

阳能溴化锂吸收式空调系统无多大意义。在实际运行中,应根据太阳辐射强度的变化,调整辅助加热量。

### 参考文献:

- [1] 岑幻霞. 太阳能热利用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [2] Dr. Schubert. 德国太阳能空调系统的一个实例[J]. 太阳能, 1998(3): 18.
- [3] Bong T Y, Ng K C, Tay A O. Performance study of a solar-powered air-conditioning system[J]. Solar Energy, 1987, 39(3): 173-182.
- [4] 郭廷玮, 等. 太阳能的利用[M]. 科学技术文献出版社, 1987.
- [5] 张洋恩. 太阳能溴化锂吸收式制冷系统的优化设计[J]. 新能源, 1995, 17(9): 10-14.
- [6] 苏树强. 三效溴冷机理论循环研究[D]. 天津商学院硕士论文, 2001.

作者简介: 邹国华(1966-), 男, 天津商学院高级实验师, 在职博士生, 主要从事制冷与空调系统节能方面的研究, 通讯地址: 300134 天津市天津商学院制冷系。

(上接第55页)

我们知道, 由于制冷系统本身的约束,  $COP$  不可能无限制地增大。而且, 随着两者的增大,  $COP$  曲线的上升趋势必将逐渐减弱。从图1可以看到, 在较大的 $(KF)_c$  和 $(KF)_e$  的情况下, 最优 $COP$  也较大。但当 $(KF)_c$  和 $(KF)_e$  的值较大时, 对 $COP$  的影响则不明显了。

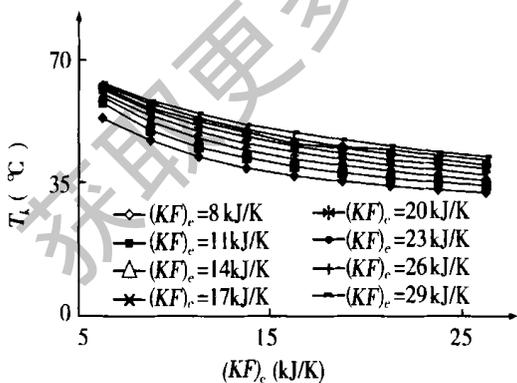


图3 最优状态下 $T_k$ 与 $(KF)_c$ 的关系曲线

另外, 当 $(KF)_c$  和 $(KF)_e$  的值较大时, 其对应的最优 $T_e$  和 $T_k$  的值也几乎不再发生变化。在图2和图3上表现为等 $(KF)_e$  线在较高的 $(KF)_c$  值下趋于水平直线。 $(KF)_e$  值较高的等 $(KF)_e$  线之间比较接近。

## 4 总结

复合型优化算法对于制冷系统优化模型的计算有很大的优越性。采用本文优化程序能够快捷、准确地优化出结果, 具有很强的实用性。该优化方法和思路也能被其它制冷系统性能优化所借鉴。

### 参考文献:

- [1] 丁国良, 张春路. 制冷空调装置仿真与优化[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 吴业正. 小型制冷装置设计指导[M]. 机械工业出版社, 1998.
- [3] 吴业正, 韩宝琦. 制冷原理及设备[M]. 西安交通大学出版社, 1996.
- [4] 邹滢. 制冷工艺设计CAI及电冰箱CAD[D]. 浙江大学硕士学位论文, 2001.
- [5] Khan J U R, Zubair S M. Design and performance evaluation of reciprocating refrigerating systems[J]. International Journal of Refrigeration, 1999, (5): 235-243.

作者简介: 黄鑫风(1978-), 男, 硕士生, 主要研究方向: 制冷方面的仿真、优化及计算机在制冷方面的应用, 通讯地址: 浙江杭州市浙江大学玉泉校区6舍431。