

## 溴化锂吸收式热泵热力循环过程的理论分析

胡秋明, 王景刚, 鲍玲玲

(河北工程大学 城市建设学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要:** 针对溴化锂吸收式热泵系统, 研究了在热力循环过程中影响其性能的相关参数, 这些参数包括驱动热源压力、冷却水进出口温度以及冷媒水温度。运用控制变量法, 从理论上模拟计算了不同运行参数下溴化锂吸收式热泵系统的 COP。研究表明, 当上述 4 个运行参数发生变化时, 系统 COP 也随之发生变化。计算结果显示, 随着驱动热源压力和冷媒水温度的升高, 系统 COP 也随之升高; 当冷却水进出口温度升高时, 系统 COP 反而下降。

**关键词:** 溴化锂吸收式热泵; 循环分析; COP

中图分类号: TG333. 17

文献标识码: A

## Study of cyclic process of lithium bromide absorption heat pump system

HU Qiu - ming , WANG Jing - gang , BAO Ling - ling

( School of Urban Construction , Hebei University of Engineering , Hebei Handan , 056038 , China)

**Abstract:** For the system of Lithium Bromide Absorption Heat Pump( LBAHP) , parameters that affect the performance of LBAHP are researched in the process of thermodynamic cycle , including the pressure of driving heat source , the temperatures of inlet and outlet cooling water , and refrigerant water temperature. The overall COP of the system under different operating conditions is calculated by control variable. Accordingly , COP would be changed when the above four parameters is converted , the calculation results indicated that COP is increased with the rising of the pressure of driving heat source and refrigerant water temperature , while COP decreased as the temperatures of inlet and outlet cooling water went up.

**Key words:** lithium bromide absorption heat pump; cyclic process; COP

作为一种节能技术, 热泵技术在全国范围内广泛地应用于供热和空调领域<sup>[1]</sup>。电厂排放大量的低温冷却水中拥有丰富的低位能源, 但是这些低温能源(比环境温度高约 10 °C) 很难直接利用。溴化锂吸收式热泵可以有效利用电厂废水资源, 把它转换为可利用的高位热能<sup>[2]</sup>。当热交换器中质量流量一定时, 随着蒸发器和发生器中冷却水进口温度升高, 溴化锂吸收式热泵的性能也随之提高, 它的 COP 之所以会升高, 是因为当进口水温为常数时, 质量流速会升高, 根据研究, 温度对系统性能的影响效果比流速更大<sup>[3]</sup>。通过对溴化锂吸收式热泵的焓损失和焓效率的模拟分析来看, 系统各部件和工质对溴化锂溶液的参数的影响程

度不同, 从各部件的焓损失以及焓损失系数来看, 要想降低焓损失, 着重在系统的“四器”上消除相关因素, 最大限度的降低系统的不可逆性<sup>[4]</sup>。以工业余热为驱动热源的溴化锂吸收式热泵在蒸汽参数不变的时候超负荷能力很小, 这与以锅炉供气驱动的吸收式装置截然不同; 余热蒸汽在蒸发器和发生器之间的分配比例对热泵性能影响很显著, 在设计和运行时控制正确的分配比例, 以保证溴化锂吸收式热泵的高效率运行; 当冷却水温度过低或余热蒸汽量过小时将会是系统产生结晶现象<sup>[5]</sup>。纵观以上研究, 这些内容对于溴化锂吸收式热泵的性能研究仅仅涉及到一两个因素, 本文将考虑 4 个参数对溴化锂吸收式热泵 COP 的影响。

收稿日期: 2014 - 07 - 12

基金项目: 河北省应用基础研究计划重点基础研究项目( 14964206D - 07); 国家自然科学基金资助项目( 51408182)

特约专稿

作者简介: 胡秋明( 1990 - ), 男, 湖南邵阳人, 在读硕士研究生, 从事制冷与热泵理论及技术方面的研究。

### 1 循环计算

通过焓湿图,查表可以确定一些典型状态点的参数,包括焓值、温度、压力和溴化锂溶液的浓度等,于是可以计算出热交换量、热力系数、热负荷和其他重要的性能指标。首先,定义溶液循环倍率(用  $f$  表示)。

$$f = \frac{\xi_2}{\xi_2 - \xi_1} \quad (1)$$

式中  $f$  - 发生器中生产 1 kg 溴化锂蒸汽的稀溶液的循环量,分别表示发生器中浓溶液和吸收器中稀溶液的浓度。

在整个循环过程中,根据热平衡可以计算出各个设备的单位热负荷。

在蒸发器中,热负荷用  $Q_0$  表示,则

$$Q_0 = h_1 - h_3 \quad (2)$$

式中  $h$  - 该点的焓值(下同)。

在冷凝器中,热负荷用  $Q_g$  表示

$$Q_g = (f - 1) \cdot h_4 + h_3 - f \cdot h_7 \quad (3)$$

在发生器中,其热负荷用  $Q_k$  表示

$$Q_k = h_1 - h_3 \quad (4)$$

在吸收器中,热负荷用  $Q_a$  表示

$$Q_a = (f - 1) \cdot h_g + h_1 - f \cdot h_2 \quad (5)$$

所以,溶液热交换器中的热负荷为  $Q_{ex}$ ,于是

$$Q_{ex} = (f - 1) \cdot (h_4 - h_g) \quad (6)$$

理论上,系统应该符合能量守恒定律,即

$$Q_g + Q_0 = Q_a + Q_k \quad (7)$$

从而,可以计算溴化锂吸收式热泵的性能系数

$$COP = \frac{Q_k + Q_a}{Q_g} \quad (8)$$

### 2 计算结果及分析

本文只做理论计算,所以不考虑水质、真空度、流量和其他涉及到实际运行状况的因素。我们研究了参数对系统 COP 的影响,包括驱动热源的压力、冷却水进出口温度以及冷媒水温度。

在溴化锂吸收式热泵的循环过程中,设置了 4 个基本参数,驱动热源的压力为 0.4 MPa,冷却水进口温度为 25 °C,冷却水出口温度为 45 °C,冷媒水温度为 30 °C,在这 4 个参数中,利用控制变量法,在研究 1 个参数时,保持其他 3 个参数不变。

#### 2.1 热源驱动压力对系统性能的影响

选择的驱动热源压力范围为 0.3 MPa 至 0.5 MPa,保持其他参数不变。根据上述计算方法,计

算出不同驱动压力下的 COP,计算结果如图 1 所示。从图 1 中可以看出,随着驱动热源压力的增大,COP 开始升高的比较快,然后变得较为平缓。当驱动热源压力升高,相应的饱和温度也随之上升,因此,在冷凝压力不变的情况下,溴化锂溶液浓度增大,然后使循环倍率增大,于是产生更多的高温蒸气<sup>[6]</sup>。在另一方面,当驱动热源的压强大于 0.4 MPa 的时候,它对 COP 的影响会越来越小。所以,过大的蒸汽压力对系统无益。

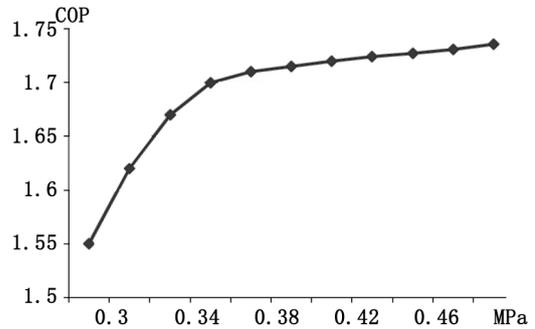


图1 驱动热源压力与COP的关系

Fig.1 The relationship between steam's pressure and COP

#### 2.2 冷却水进口温度对系统性能的影响

冷却水进入机组被加热,温度升高,用作地板辐射供热的热源,所以冷却水进口水温也会影响溴化锂吸收式热泵的性能。本文选择的冷却水进口水温的范围为 20 °C 到 30 °C,在整个过程中,保持其他参数不变,只研究冷却水进口温度对 COP 的影响,经过计算,其结果如图 2 所示。

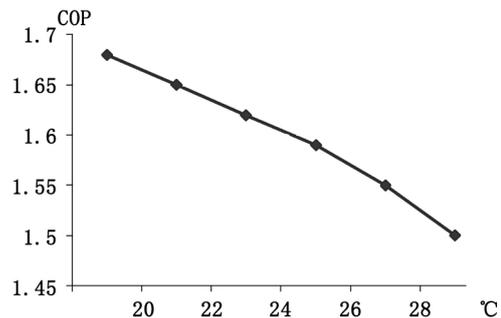


图2 冷却水进口温度与COP的关系

Fig.2 The relationship between inlet cooling water's temperature and COP

从图 2 可以看出,随着冷却水进口温度的上升,COP 急剧下降,几乎成直线下降。冷却水进口温度的升高导致吸收器出口的溴化锂稀溶液温度升高,于是,在蒸发压力一定的条件下,吸收完的溴化锂稀溶液的浓度增大,所以高温蒸汽量减少,COP 随之下降。故,在溴化锂吸收式热泵系统中,较低的冷却水进口温度对系统有利<sup>[7]</sup>。

### 2.3 冷却水出口温度对系统性能的影响

出口的冷却水是溴化锂吸收式热泵系统生产的热水,一般作为地板辐射供热的热源。选择的冷却水出口温度的范围为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在循环过程中,驱动热源压力为 $0.4\text{ MPa}$ ,冷却水进口温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冷媒水温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,蒸发温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冷凝温度为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。计算出不同冷却水出口温度下的COP如图3所示。

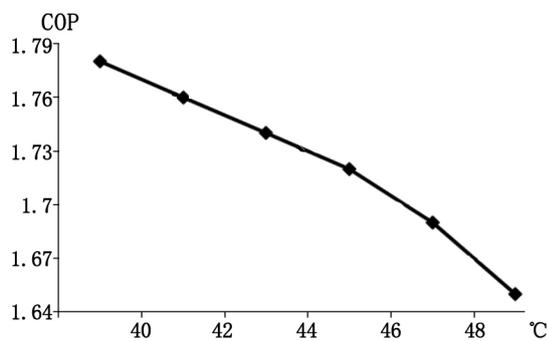


图3 冷却水出口温度与COP的关系

Fig.3 The relationship between outlet cooling water's temperature and COP

从图3可以看出,随着冷却水出口温度的增大,COP减少的很快,几乎成直线下降。当冷却水出口温度上升时,冷凝压力随之增大,在驱动热源压力不变的情况下,溴化锂浓溶液的浓度会减少,所以COP减小。考虑到COP的变化情况,冷却水出口温度不应过大<sup>[8]</sup>。

### 2.4 冷媒水温度对系统性能的影响

蒸发器中冷媒水的温度决定了系统中的蒸发压力,所以冷媒水温度对溴化锂吸收式热泵COP影响较大。选择计算的冷媒水温度范围为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在系统循环过程中,驱动热源的压力为 $0.4\text{ MPa}$ ,冷却水进口温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冷却水出口温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在这些计算条件下,计算出不同冷媒水温度下的COP如图4所示。

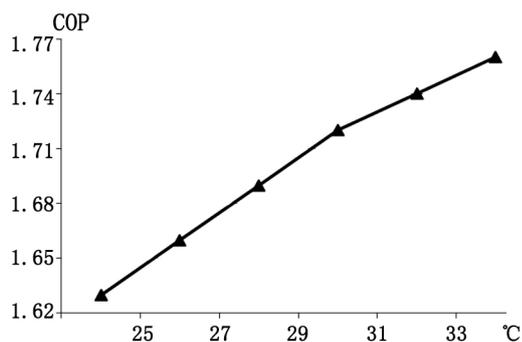


图4 冷媒水温度与COP的关系

Fig.4 The relationship between refrigerant water's temperature and COP

从图4曲线的变化情况来看,当冷媒水温度升高时,COP升高的很快,几乎成直线增大。随着冷媒水温度的增大,对应的蒸发压力也随之增大,这就导致吸收器中的溴化锂浓溶液吸收水蒸气的能力增强,溴化锂稀溶液的质量分数也下降了,所以COP增大。可以考虑适当增大冷媒水温度。

### 3 结论

1) 随着驱动热源压力的增大,COP开始升高的比较快,然后变得较为平缓。当驱动热源的压力大于 $0.4\text{ MPa}$ 的时候,它对COP的影响会越来越小。所以,过大的蒸汽压力对系统并不是有利。

2) 随着冷却水进口温度的上升,COP急剧下降,几乎成直线下降。在溴化锂吸收式热泵系统中,较低的冷却水进口温度对系统有好处。

3) 随着冷却水出口温度的增大,COP减少的很快,几乎成直线下降。考虑到COP的变化情况,冷却水出口温度不应该太大。

4) 当冷媒水温度升高时,COP升高的很快,几乎成直线增大。可以考虑适当增大冷媒水温度。

### 参考文献:

- [1]张明杰,王景刚,鲍玲玲.我国地源热泵的发展现状及国外热泵推广策略[J].河北工程大学学报:自然科学版,2008,25(2):25-28.
- [2]PATTERSON M R, PEREZ-BLANCO H. Thermodynamic design data and optimum design maps for absorption refrigeration systems [J]. Applied Thermal Engineering, 1997, 17(3): 211-221.
- [3]张伟,朱家玲.低温热源驱动溴化锂第二类吸收式热泵的实验研究[J].太阳能学报,2009,30(1):38-44.
- [4]金山,赵宗昌.溴化锂第二类吸收式热泵热力过程的焓分析[J].化工科技,2003,11(2):64-67.
- [5]陆震,王长庆,唐劲松,等.溴化锂高温吸收式热泵的变工况模拟[C].尉迟斌,上海制冷学会论文集,上海:同济大学出版社,1989:56-62.
- [6]陈彦君.溴化锂吸收式热泵循环的计算和分析[J].制冷学报,1984,2(1):18-28.
- [7]舒斌,戚永义,孙士恩,等.参数变化对LiBr吸收式热泵性能的影响[J].节能,2012,358(7):22-28.
- [8]彦启森,石文星,田长青.空气调节用制冷技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.

(责任编辑 刘存英)