



## 中高温热泵热水装置的研制与实验研究

曲敬儒, 陈 东, 谢继红  
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 基于生产过程中对中高温工艺热水的需要和采用常规工质的中低温热泵热水装置的不足, 研制了一种采用新工质的中高温热泵热水装置. 实验表明, 生产温度为 60~90℃ 的热水时, 其工作压力低于 1.4 MPa, 制热系数大于 3.4. 其采用常规部件构建工业化装置, 为干燥、杀菌、漂烫、清洗、供暖等领域提供了一种较好的热水制取装置.

**关键词:** 热泵; 热水; 中高温; 热水器

中图分类号: TQ051.5 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2010)03-0047-03

### Development and Experimental Study of a Mid-High Temperature Heat Pump Water Heater

QU Jing-ru, CHEN Dong, XIE Ji-hong

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** In order to meet requirements of mid-high hot water used in processing industry, and overcome shortcomings of traditional heat pump water heaters with conventional refrigerants, a mid-high temperature heat pump water heater was developed and was experimentally studied. Experiments show that it could work with the pressures lower than 1.4 MPa, and its coefficient of performance is higher than 3.4 when hot water of 60~90℃ was produced. It can make use of common components to fabricate practical equipment, and provide a competent method for hot water supply in drying, sterilizing, scalding, rinsing, space heating fields, etc.

**Keywords:** heat pump; hot water; mid-high temperature; water heater

热泵热水装置是一种先进的水制取方法, 与电加热、燃烧燃料加热、太阳能加热等方法相比, 其具有能源效率高、环境友好、对气候的适应性强、占用空间小、安全可靠等综合优势<sup>[1-3]</sup>.

目前常规的热泵热水装置多采用环境空气作为低温热源, 装置的热泵工质为 R22、R134a 等, 通常制取的是低于 60℃ 的中低温热水<sup>[4-6]</sup>. 但在干燥、杀菌、漂烫、清洗、供暖等领域, 往往需要温度为 60~90℃ 的中高温热水, 此时如用常规空气源热泵热水装置来制取中高温热水, 不但装置的能源效率较低(热泵热水装置的能源效率一般用制热系数表示, 定义为装置提供给热水的制热量与耗电量之比. 当空气源平均温度为 15℃ 时, 其制取 90℃ 热水时装置的制热系数仅为 2.0 左右), 而且其工作压力也过高(当所制取的热水温度

超过 70℃ 时, R22、R134a 工质的压力均大于 2.0 MPa, 超出了工程常规压力), 对装置的成本、寿命和可靠性均造成不利影响. 因此, 本文配制了新的热泵工质, 并以此为基础研制了以工艺废水、地热排水或太阳能预热水为低温热源的中高温热泵热水装置, 对其运行参数、能源效率、热水产量等进行了实验研究.

### 1 中高温热泵热水装置

#### 1.1 工质的特性

为适应中高温热泵热水装置的工作需要, 配制了新工质 KD07A, 其在不同温度下的相变压力如图 1(a) 所示, 不同温度下的相变潜热如图 1(b) 所示, 作为对比也给出了 R22 和 R134a 的相关数据.

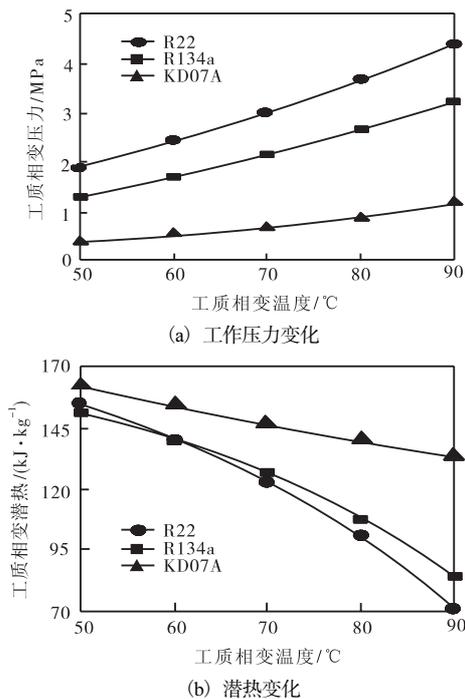


图1 新工质 KD07A的特性  
Fig.1 Behavior of KD07A

由图 1(a)可见,当新工质的温度高达 90 °C时,其压力也小于 1.2 MPa,这样不但可以选用常规部件降低装置成本,而且装置的可靠性也较好;图 1(b)中潜热是单位质量工质在冷凝相变时可释放给热水的热量,可见,当新工质的温度高达 90 °C时,其潜热仍大于 130 kJ/kg,比 R22 或 R134a 高出 50%以上。

此外,新工质的液体热导率、压缩比与 R22、R134a 相近,其臭氧层破坏潜值 ODP 小于 0.02,温室效应潜值 GWP 小于 400,均低于 R22(ODP 约为 0.034, GWP 约为 1 700),具有较好的环境友好性。

### 1.2 主要部件的选型

压缩机采用全封闭活塞式;蒸发器和冷凝器均为盘管式,材料为紫铜,管外表面积均为 0.4 m<sup>2</sup>,放在水箱中,热泵工质在蒸发器和冷凝器的管内流动,水箱中的低温水和热水在管外自然对流;节流部件采用手动节流阀.实验装置的示意图见图 2.

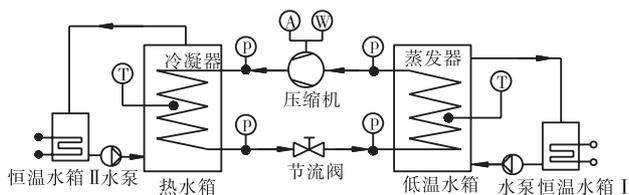


图2 实验装置示意图

Fig.2 Schematic diagram of the experimental equipment

实验中测量压缩机的耗电量(精度 0.005 kW·h)并监测其电流;冷凝器放在热水箱中,在冷凝器前

后的热泵工质管路上布置测压点(精度 0.02 MPa);热水箱中贮水量 23 kg,实验开始前将水注满,并在其中间部位布置测温探头(精度 0.2 °C);蒸发器放在低温水箱中,在蒸发器前后的热泵工质管路上布置测压点(精度 0.02 MPa);低温水箱中贮水量为 31 kg,实验前将水注满,并在其中间布置测温探头(精度 0.2 °C);恒温水箱 I 中装有热源,用于模拟低温热源,通过水泵循环维持低温水箱中的水温在适当值;恒温水箱 II 中装有冷源,用于模拟热水用户和测取装置制热量(误差小于 10 W),通过水泵循环维持热水箱中水温在适当值。

## 2 实验

### 2.1 热水端运行参数

调节实验装置恒温水箱 I 与恒温水箱 II 中的水温,可得热水温度变化时工质的冷凝压力和冷凝温度的变化规律,如图 3 所示。

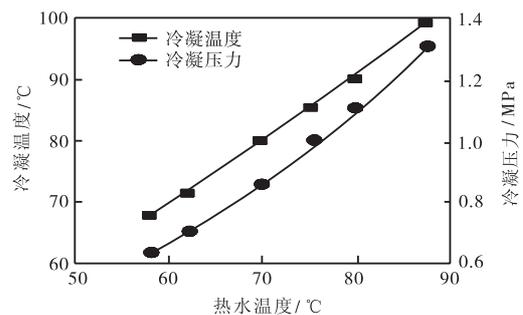


图3 热水温度对工质冷凝压力与冷凝温度的影响

Fig.3 Effect of hot water temperature on the condensing pressure and temperature

由图 3 可见,热水温度升高时,工质的冷凝压力上升很快,但均在 1.4 MPa 以下.与冷凝压力相对应的工质冷凝温度也以相似的规律升高,且从冷凝器的特点可知,工质的冷凝温度与热水温度之差约为冷凝器的平均传热温差  $\Delta t_c$ . 由图 3 可见,冷凝器的平均传热温差在热水升温过程中变化不大,基本维持在 10 °C 左右,利用此参数再结合冷凝器的传热方程,可推算得到冷凝器中工质与热水的平均传热系数。

冷凝器的传热基本方程为

$$Q_c = k_c F_c \Delta t_c \quad (1)$$

式中: $Q_c$  为冷凝器的传热量, W;  $k_c$  为冷凝器的传热系数(基于管外表面积), W/(m<sup>2</sup>·°C);  $F_c$  为冷凝器的管外表面积, m<sup>2</sup>;  $\Delta t_c$  为冷凝器的平均传热温差, °C.

由式(1)可得传热系数的计算式为

$$k_c = \frac{Q_c}{F_c \Delta t_c} \quad (2)$$

其中,冷凝器的传热量  $Q_C$  即为热泵热水装置的制热量,可由恒温水箱 II 中的测量装置读取.与上述工况对应的冷凝器传热量如图 4 所示.

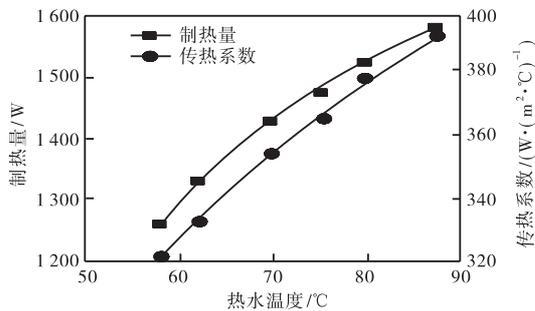


图 4 热水温度对制热量与传热系数的影响

Fig.4 Effect of hot water temperature on the heating capacity and heat transfer coefficient

由图 4 可见,随着热水温度的升高和相应低温热源温度的升高(二者温差保持在  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右,压缩机为定转速运转),装置的制热量增加显著,热水由  $58\text{ }^{\circ}\text{C}$  升高到  $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相应的制热量提高了约 30%,但当升高到  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上时,增加的幅度变缓,这主要是由于随着工作温度的升高,装置的各部分向环境的散热损失明显增加所导致.

与此同时,由式(2)可计算出不同热水温度时热水箱中冷凝器的管内热泵工质与管外热水间的传热系数.可见,热水温度升高,传热系数也随之增加.而传热系数主要取决于冷凝器管与外侧热水的换热系数  $\alpha_w$  和冷凝器管与内侧热泵工质的换热系数  $\alpha_R$ ,三者间近似满足(忽略紫铜管壁的热阻且管内外表面积相近):

$$k_c = 1 / \left( \frac{1}{\alpha_w} + \frac{1}{\alpha_R} \right) \quad (3)$$

当热水温度升高时,水的黏度下降,冷凝器管外表面与热水的换热系数  $\alpha_w$  增加;制热量增加时,管内热泵工质的流速增大,热泵工质与管内侧的换热系数  $\alpha_R$  也增大.因此,换热器的传热系数  $k_c$  随热水温度的升高而明显增加,换热器尺寸可比中低温热泵热水装置相对减小.图 4 中给出的相关数据可为实际工程中热泵热水装置的冷凝器的选择提供较好的参考.

## 2.2 性能指标

中高温热泵热水装置的主要性能指标是制热系数和热水产量,回水温度为  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,其随热水温度的变化规律如图 5 所示.

由图 5 可见,热泵热水装置的热水产量随热水温度的升高而显著降低,故在实际应用中,应在满足工艺过程要求的前提下确定合理的热水温度,使热泵热水装置获得较大的产水量.

此外,当热水温度与低温热源温度之差为  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,热泵工质采用新工质 KD07A,热水温度自  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右逐步升高时,热泵热水装置的工况参数较接近压缩机的额定工况范围,压缩机的效率较高,热泵热水装置的制热系数也较高;但当热水温度升至较高时,热泵热水装置的散热损失增加明显,使有效制热量的增幅减小,制热系数的增长幅度也逐步趋缓.

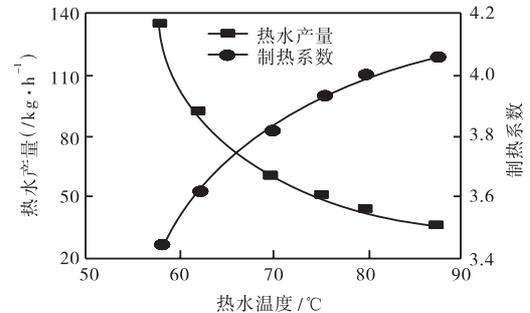


图 5 热水温度对热水产量与制热系数的影响

Fig.5 Effect of hot water temperature on the hot water output and coefficient of performance

## 3 结 语

本文研制的基于新工质 KD07A 的中高温热泵热水装置,其制取的热水温度可高达  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且当热水温度在  $60\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$  变化、与低温热源温度之差为  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,其制热系数可达 3.4 以上,且工作压力温和.该装置易于采用常规部件,为降低工业化装置的成本和其可靠运行提供了良好的基础.

进一步应详细测取新工质在节流部件(毛细管、膨胀阀等)中的流动特性,建立流动模型和流量方程,为工业化装置中节流部件的设计或选型提供基础.

## 参考文献:

- [1] 侯艳辉,陈东,谢继红. 热泵热水装置的性能分析[J]. 天津科技大学学报,2008,23(4):63-65.
- [2] 倪德良,俞善庆. 新型节能热水器——空气源热泵热水器[J]. 上海节能,2004(4):29-31.
- [3] 王如竹,吴静怡,许煜雄. 高效节能的空气能热泵热水器[J]. 上海电力,2004(6):500-502.
- [4] Ji Jie, Chou Tintai. Domestic air-conditioner and integrated water heater for subtropical climate[J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23:581-592.
- [5] 董振宇,陆春林,金苏敏. 空气源热泵热水器的实验研究[J]. 流体机械,2008,36(8):54-57.
- [6] 余乐渊,赵军,朱强,等. 压缩式热泵热水器实验研究及性能分析[J]. 能源工程,2003(4):56-58.