

新型无溶液泵氨水吸收式制冷空调系统及其性能分析

何树青¹, 吴铁晖¹, 吴裕远¹, 王晶¹, 陈燕²

(1. 西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安; 2. 西北工业大学动力与能源学院, 710072, 西安)

摘要: 介绍了一种新型无溶液泵和精馏装置的氨水吸收式制冷空调系统, 确定了系统在空调工况运行的基本参数, 并针对该系统定义了一个新参数, 即发生器溶液存留系数然后对系统热力性能进行了计算分析. 分析结果表明: 在设定制冷量为 1.5 kW 时, 系统的性能系数可达 0.28; 当溶液存留系数由 0 增加到 3 时, 系统性能系数较初始值降低 60%, 溶液存留系数对系统性能系数影响显著; 冷剂含水率增加使系统性能系数和制冷量迅速线性递减, 当冷剂含水率增加到 0.14 时, 系统丧失制冷能力; 蒸发温度降低或冷凝温度升高都会降低系统的性能系数, 二者的影响较为平缓. 针对各参数的影响初步探讨了提高系统性能系数的措施.

关键词: 吸收式制冷; 氨水; 溶液存留系数; 热力性能; 冷剂含水率

中图分类号: TB 651 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)09-1062-04

Presentation and Thermodynamic Evaluation of a Novel $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ Refrigeration System Without Distillation Equipment and Solution Pump

He Shuqing¹, Wu Tiehui¹, Wu Yuyuan¹, Wang Jing¹, Chen Yan²

(1. School of Power and Energy Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. School of Power and Energy, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: A novel kind of ammonia absorption refrigeration (AAR) system without solution pump and distillation equipment for air conditioning was presented. The basic operation property parameters were selected and a new parameter of solution reservation of generator, β was defined for the special system. Then the thermodynamic characteristics were analyzed by means of boiling temperature, condensation temperature, and water content in refrigerant as well as solution reservation of generator. The results show that coefficient of performance could be up to 0.28 when calculated cooling capacity is set at 1.5 kW, which indicates that the system is feasible in using waste heat and solar energy. When β increases from 0 to 3, the decrease of coefficient of performance would be up to 60%. Water content deteriorates cooling capacity and coefficient of performance significantly, the system could lose cooling capability when the water content is greater than 0.14. Both increasing boiling temperature and reducing condensation temperature could enhance the coefficient of performance. The solution to reducing the influences of these parameters was also discussed.

Keywords: absorption system; ammonia-water; solution reservation; thermodynamic characteristics; water content in refrigerant

能源与环境问题的日益加重, 使制冷行业的人们对系统的节能和对环境的无害化要求越来越高.

$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 吸收式制冷系统因其能有效利用过程余热、太阳能、生物能和良好的环保特性(臭氧层破坏

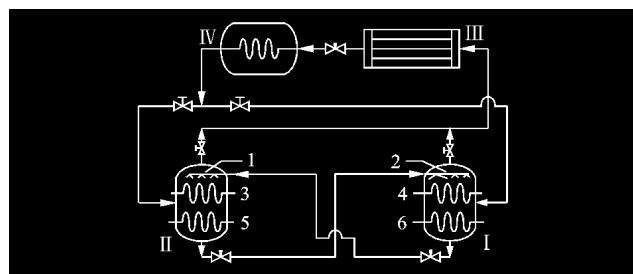
潜能 ODP 为 0, 温室效应潜能 GWP 为 0), 在工业上得到了很好的应用. 尽管目前有各种吸收式工质对在研究中, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 工质对是前景最好的一个^[1], 但是同其他工质对相比, $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 工质对在应用到吸收式制冷系统时, 必须考虑从发生器出来的制冷剂蒸气的含水量, 特别是在低温制冷系统中, 含水率对制冷性能影响更加严重^[2]. 制冷剂中含有的水分会在蒸发器中聚集, 影响制冷效果并最终使系统丧失制冷能力, 但将其应用在空调系统中影响并不大^[3]. 传统 $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 吸收式制冷系统多为工业上的大型系统, 在利用大规模的废热时起到了很好的节能效果, 但在只有小规模废热排放时, 由于其设备庞大, 要求高, 初投资非常高, 故多不能被采用.

本文针对小规模的过程余热和太阳能, 根据氨吸收式制冷系统的特点, 提出了一种小型无溶液泵和精馏装置的 $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 吸收式制冷空调系统. 经过结构设计, 使蒸发器内不形成制冷剂液体积聚, 从而解决了蒸发器制冷剂中水的积聚的影响. 虽然其系统性能系数较传统 $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ 吸收式制冷系统低, 但因吸收式制冷系统中无溶液泵和精馏塔这两项投资较大的设备, 而使得系统较为简单经济, 在小规模废热回收和太阳能利用方面较为可行.

1 系统的设计特点及运行过程

本系统根据本课题组以前的专利^[4]改进而成, 系统结构如图 1 所示.

系统中喷淋器与冷却器构成吸收器, 换热器作为发生器, 两者在同一个容器内, 如图 1 中发生(吸收)器 I、II 所示. 2 个容器分别交替作为发生器和吸收器, 实现发生和吸收的功能.



1、2: 喷淋器; 3、4: 冷却器; 5、6: 换热器
I、II: 发生(吸收)器; III: 冷凝器; IV: 蒸发器
图 1 系统结构示意图

系统工作过程分为如下阶段:

(1) 用容器 I 中的换热器预热和加热, 使容器内的蒸气压力比发生状态压力稍高; 用容器 II 中的换热器通冷水预冷, 使容器内压力比吸收状态压力稍

低;

(2) 用容器 I 中的换热器继续加热作发生器, 发生的蒸气进入冷凝器冷凝, 冷剂经节流进入蒸发器 IV 蒸发; 在容器 II 中继续冷却作吸收器, 吸收蒸发器中蒸发的蒸气;

(3) 用容器 II 中的换热器加热预热, 使容器内蒸气压力比发生压力稍高; 用容器 I 中的换热器通冷水预冷, 使容器内蒸气压力比吸收状态压力稍低;

(4) 用容器 II 中的换热器继续加热作发生器, 发生的蒸气进入冷凝器冷凝, 冷剂经节流进入蒸发器蒸发; 容器 I 继续冷却作吸收器, 吸收蒸发器中蒸发的蒸气.

2 热力性能分析

2.1 系统分析参数设定及假设条件

①设定制冷量为 1.5 kW; ②加热热水温度为 92 °C; ③冷却水温度为 30 °C; ④假设在发生器发生过程中浓溶液浓度不发生变化; ⑤假设从发生器中流出进入吸收器参与吸收过程的稀溶液浓度不发生变化.

2.2 溶液存留系数对系统性能系数的影响

由于溶液循环不是闭合回路, 在发生和吸收过程中, 发生器中溶液逐渐减少, 吸收器中溶液逐渐增多. 为保持发生过程安全有效地进行, 要求发生器中的换热器始终浸没在溶液中, 即发生器中溶液在一次发生结束时不能完全发生流出, 而要保留一部分至少浸没加热器的溶液. 为此, 定义一个新的系数: 发生器溶液存留系数 β , 即发生结束后发生器中剩余溶液的质量 m_{SR} 与进入循环溶液的质量 m_{SC} 的比值

$$\beta = \frac{m_{\text{SR}}}{m_{\text{SC}}} \quad (1)$$

受溶液存留影响的系统性能系数

$$C_{\text{COP}} = \frac{Q_E}{Q_G + \beta Q_1} \quad (2)$$

式中: Q_E 为系统的制冷量, Q_G 为发生器的热负荷, Q_1 为发生器的预热热量.

理想情况是溶液完全发生或实现闭路循环, 此时 $m_{\text{SR}}=0$, 即 $\beta=0$, 在发生结束有溶液存留时, $\beta>0$. 因为本系统运行过程中存在着一个预冷、预热过程, 所以溶液存留越多, 预冷、预热过程中需要转移的热量越大, 会对性能系数和冷却水量有重大影响, 溶液存留系数对系统性能系数的影响见图 2, 图中 T_e 为蒸发温度, T_c 为冷凝温度.

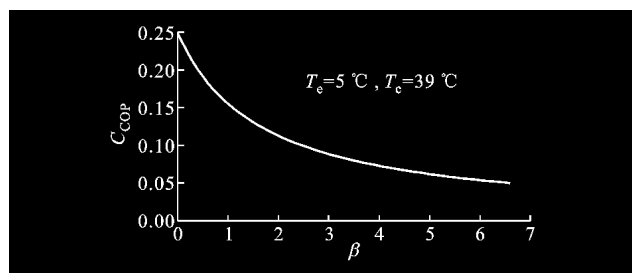


图2 溶液存留对系统性能系数的影响

从图2可以看出:在 $\beta=0$ 时,即溶液全部进入循环回路时,系统性能系数最大;在 β 值由0增加到3时,由于预热量 Q_1 的快速增加使得系统性能系数急剧下降;在 $\beta=3$ 时, C_{COP} 值已经小于0.1;当 $\beta>3$ 时, C_{COP} 变化较平稳,但其值已较小.这是因为当 β 较大时,发生器的热负荷 Q_G 与预热热量 βQ_1 相比只是个较小的值,如式(2)所示的系统性能系数主要受预热影响.因此,在系统设计时应优化发生器的结构设计,尽量减小 β 值,增大系统性能系数.

2.3 蒸发、冷凝温度对系统性能系数的影响

由图3可以看出: C_{COP} 在 T_e 为5 °C、 T_c 为35 °C时达到的最大值略大于0.28. T_e 对系统性能系数影响较为平稳, T_e 每升高1 °C, C_{COP} 约增大0.005. T_c 在低于36 °C时 C_{COP} 变化较为剧烈:当 T_c 升高1 °C时, C_{COP} 约减小0.015;当 T_c 高于36 °C时,每升高1 °C, C_{COP} 约减小0.005. 在 $T_e=0$ °C、 $T_c=40$ °C时, C_{COP} 最小,略高于0.22. 因此,在系统设计选定蒸发、冷凝温度时,应在满足冷媒水温度要求的同时提高蒸发温度,综合考虑冷却水的温度和循环量,尽量降低冷凝温度.

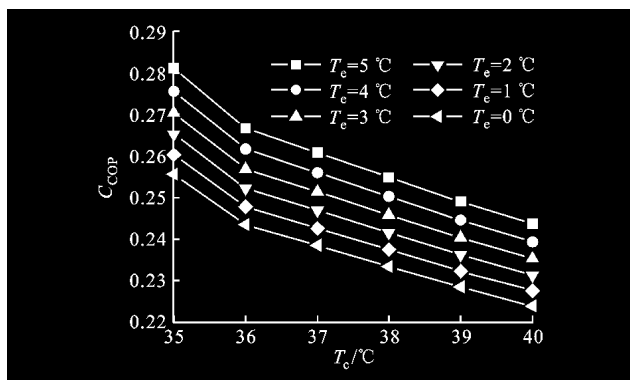


图3 蒸发、冷凝温度对系统性能系数的影响

2.4 制冷剂含水率对制冷量和系统性能系数的影响

进入蒸发器的制冷剂氨若含有水,由于水在此条件下是不蒸发的,它和部分氨结合成为氨水溶液,使得制冷量下降、系统性能系数降低.假设在进入蒸发器的1 kg 制冷剂混合物中,有 φ 对制冷效果不起作

用^[5],则 φ 按下式计算式

$$\varphi = \frac{1 - w(\text{NH}_3)_{\text{Ra}}}{1 - w(\text{NH}_3)_{\text{EF}}} \quad (3)$$

式中: $w(\text{NH}_3)_{\text{Ra}}$ 为制冷剂蒸气中氨的质量分数; $w(\text{NH}_3)_{\text{EF}}$ 为在蒸发温度、压力下的饱和氨水中氨的质量分数.若纯氨的制冷效果为 Q_E ,则含水制冷剂的制冷量按下式计算

$$Q_E^* = (1 - \varphi)Q_E = \left(\frac{w(\text{NH}_3)_{\text{Ra}} - w(\text{NH}_3)_{\text{EF}}}{1 - w(\text{NH}_3)_{\text{EF}}} \right) Q_E \quad (4)$$

当制冷剂含水时,发生器热负荷主要受蒸发出的蒸气含水率的影响,在相同条件下一定质量水的相变焓差约为相同质量氨的2倍,受相变焓差不同的影响,发生器热负荷增加,但发生器预热热量不受其影响.设制冷剂的含水率为 $w(\text{H}_2\text{O})$,在制冷剂含水时受制冷量和发生器热负荷的影响,系统性能系数的计算公式可近似表达如下

$$C_{COP} = \frac{Q_E^*}{Q_G(1 + w(\text{H}_2\text{O})) + \beta Q_1} = \frac{Q_E(1 + \varphi)}{Q_G(1 + w(\text{H}_2\text{O})) + \beta Q_1} \quad (5)$$

从图4可以看出:随着制冷剂含水率 $w(\text{H}_2\text{O})$ 的增加,制冷量曲线呈直线下降趋势,在 $w(\text{H}_2\text{O})$ 约为0.14时制冷量将为0,制冷系统完全丧失制冷能力.

在相同条件下,制冷剂含水率对系统性能系数的影响如图5所示.计算结果显示:制冷剂含水率对系统性能系数的影响与对制冷量的影响趋势相同,当 $w(\text{H}_2\text{O})$ 为0.02时, C_{COP} 约下降15%;当 $w(\text{H}_2\text{O})$ 为0.06时, C_{COP} 约下降50%;当 $w(\text{H}_2\text{O})$ 大于0.14时, C_{COP} 降为0,系统失去制冷能力.

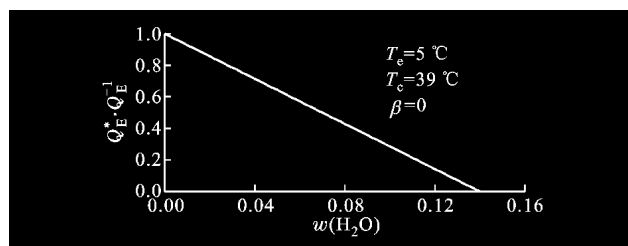


图4 制冷剂含水率对制冷量的影响

由上述结果可知:制冷剂中含有的水分对制冷量和 C_{COP} 影响非常大,控制含水率对于保持制冷效果极为重要;要想使制冷量和 C_{COP} 在可接受的范围内,必须控制制冷剂的含水率不超过0.03.在无蒸馏塔的氨水吸收式制冷系统中通过在溶液中添加盐类,可以起到降低蒸气中水分的作用.在已有的实验

研究中发现:在氨水溶液中加入 LiBr 组成的三元溶液可以使发生出的氨蒸气中的水分含量降低 50%^[6],因而多元溶液可以作为小型氨吸收制冷系统的新的研究方向.本课题组目前正在进行小型化、无溶液泵和精馏装置系统的实验研究.

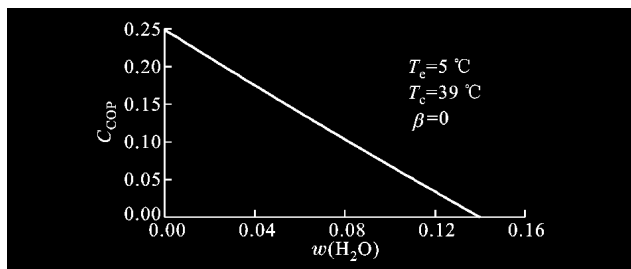


图5 制冷剂含水率对系统性能系数的影响

3 结 论

(1)本文系统的性能系数虽然比传统的氨水吸收式制冷系统低,但因舍去了投资比重较大的溶液泵和蒸馏装置,使得系统容易实现小型化.系统对热源品位要求较低,可以利用过程余热或太阳能,尤其是在传统上不便回收利用的小规模余热排放的条件下,具有较好的废热回收效能和经济效益.

(2)系统溶液存留系数的增大,使系统性能系数在初期迅速降低,而在后期,由于发生器的热负荷与预热负荷相比已是一个较小的值,所以系统性能系数下降较为平缓.在进行系统设计时,应优化发生器结构,尽量使溶液存留系数小于2.

(3)冷凝温度升高、蒸发温度降低都会使系统性

能系数降低,冷凝温度在低于 36 °C 时对制冷影响更明显.

(4)由于系统中无精馏器,制冷剂中的含水率相对较大.制冷剂中含水会使制冷量和系统性能系数直线下降直至丧失制冷能力.在系统设计时应将制冷剂中的含水率控制在一定范围内.

参考文献:

- [1] Ziegler F. Recent developments and future prospects of sorption heat pump systems[J]. Int J Therm Sci, 1999,38(3):191-208.
- [2] Marcel B. Ammonia absorption refrigeration in industrial processes[M]. Houston: Gulf Publishing Company, 1981:69-84.
- [3] Sieres J, Seara J F. Evaluation of the column components size on the vapour enrichment and system performance in small power $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ absorption refrigeration machines[J]. Int J Refrigeration, 2006, 29(4): 579-588.
- [4] 吴裕远,陈流芳,陈燕. 无溶液泵三元溶液吸收式制冷与空调系统:中国,200610042763.8[P]. 2006-04-30.
- [5] 高田秋一. 吸收式制冷机[M]. 北京:机械工业出版社,1987:187-189.
- [6] Wu Yuyuan, Chen Yan, Wu Tiehui. Experimental researches on characteristics of vapor-liquid equilibrium of $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O-LiBr}$ system[J]. Int J Refrigeration, 2006,29(2): 328-335.

(编辑 王焕雪)