

采用溴化锂溶液的蓄能空调/供热系统及其数学模型

徐士鸣*, 张莉, 徐长红

(大连理工大学 能源与动力学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 利用工作溶液浓度差储存的能量可转换成暖通、空调所需的热能、冷能或除湿能。以工作溶液为溴化锂水溶液时的闭式蓄能空调/供热系统为研究对象,通过阐述其工作原理和运行过程中储罐内溶液质量、质量分数、温度等参数随时变化,导致系统内各状态点溶液工作参数、各热力设备的工作负荷均发生变化的特点,建立起该蓄能系统充、释能过程的动态数学模型。其结果可为进一步数值研究、分析该蓄能空调/供热系统工作特性、设备负荷特性提供参考。

关键词: 能量转换; 化学势能; 储存; 溴化锂溶液; 建模

中图分类号: TK02 **文献标识码:** A

0 引言

当前国内由使用空调所产生的峰、谷间的电力负荷差正在不断增大。这种不断增加着的用电负荷和用电负荷差给电网安全、合理和经济运行带来很大麻烦,仅靠电网调度来满足昼夜电力需求变化已经非常困难。然而,通过用户侧的用电负荷时段调整(蓄能调荷)达到对电网供电负荷“削峰填谷”的作用,来实现电力负荷均衡不失为是一种更好的电力调峰方式^[1~4]。

当前在各种蓄能空调技术中,技术最成熟、应用最广泛的为冰蓄冷空调技术^[5~7]。但是冰蓄冷因其较低的蒸发温度使制冷循环COP值降低,能耗增大,蓄冷装置比较复杂以及体积较大也限制了它的应用。属于溶液浓度差蓄能技术范畴的变质量能量转换及储存技术,因其能量转换及储存的方式完全不同于常规蓄能技术而使其应用范围得到极大的拓展^[8,9]。本文所研究的对象属于变质量能量转换及储存技术之一,采用溴化锂溶液的闭式循环蓄能空调/供热系统。通过对该系统的充、释能过程及工作特性研究,为系统设计、设备设计或选型、水蒸汽压缩机设计,系统运行技术经济评价等提供理论依据。

1 蓄能空调/供热系统描述

文献^[10]已详细叙述了采用溴化锂溶液的变质量能量转换及储存蓄能空调系统的工作原理与过程。为了便于建立新蓄能循环热力过程动态数学模型,再简要介绍一下采用溴化锂溶液的蓄能空调/供热系统工作过程(图1)。

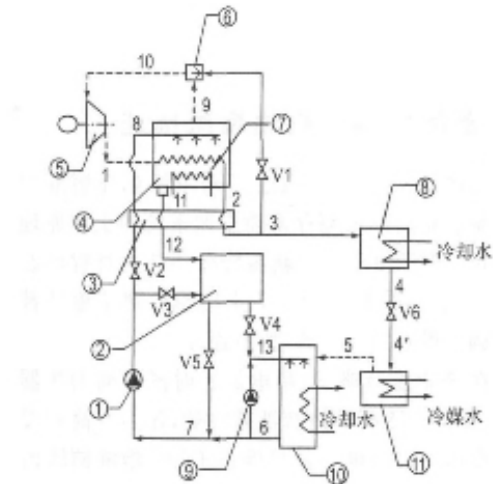
在全蓄能策略下,用电低谷时段辅助加热器工作,发生/冷凝器内溶液被加热,压力升高到设计工作压力后辅助加热器热停止工作。溶液储罐内溴化锂稀溶液经溶液泵加压后喷淋在发生/冷凝器的管束外,产生过热蒸汽经加湿冷却处理后进入压缩机。压缩后的水蒸汽在管束内冷凝,冷凝热作为发生热传递给管外的溶液。凝结水大部分进入水储罐。出发生/冷凝器的浓溶液经换热后流回溶液储罐。随着上述过程的进行,溶液储罐内溴化锂质量分数逐渐增加,导致溶液化学势能逐渐增大。当溴化锂质量分数达到设计值后,压缩机停止运行。压缩机消耗的电能部分转换成溶液的化学势能并储存在储罐内。这一过程称为充电过程。

当用户需要空调/供热时,将储罐内的水和浓溶液分别引入蒸发器和吸收器。水在蒸发器内

收稿日期: 2006-05-20; 修回日期: 2007-09-10.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50576006).
作者简介: 徐士鸣*(1957-),男,教授。

蒸发产生冷量并在吸收器内被浓溴化锂溶液吸收成为稀溴化锂溶液,吸收过程产生的热量可以被用来供热或提供生活热水.出吸收器的稀溶液一部分与来自储罐的浓溶液混合再次进入吸收器,保证吸收器内有足够的溶液喷淋量;另一部分进入溶液储罐.随着上述过程的进行,溶液储罐内溶液的质量逐渐增加,溴化锂质量分数逐渐降低,导致溶液化学势能逐渐减小,这一过程称为释能过程.当溶液储罐内溴化锂质量分数达到设计值后,释能过程结束,储存的溶液化学势能被转换成冷能或热能,系统完成一个工作循环.

因新蓄能系统运行过程中储罐内溶液质量、质量分数、温度等参数随时变化,导致系统内各状态点溶液工作参数、各热力设备的工作负荷均发生变化.因此,其工作过程是动态的.



① 溶液泵; ② 溶液储罐; ③ 溶液热交换器; ④ 发生 / 冷凝器; ⑤ 压缩机; ⑥ 加湿器; ⑦ 辅助加热器; ⑧ 水储罐; ⑨ 再循环泵; ⑩ 吸收器; ⑪ 蒸发器

图 1 采用溴化锂溶液的蓄能空调 / 供热系统循环流程

Fig.1 The working flow of the energy storage system for air-conditioning and heating using water-LiBr mixture as working fluid

2 动态热力学模型建立

2.1 简 化

为了便于建立蓄能空调 / 供热系统的动态热力学模型,将系统分割成若干个模块,并对系统工作过程作如下简化:

- (1) 不考虑系统启动时由辅助加热器来提高

发生 / 冷凝器压力的过程,不计辅助加热器所消耗的能量;

- (2) 忽略发生 / 冷凝器内的存液量;
- (3) 不考虑设备的热容;
- (4) 除与外界的换热外,其他热损失为 0;
- (5) 不考虑系统内流体流动阻力;
- (6) 溶液储罐内的温度和浓度分布均匀.

2.2 充能过程动态热力学模型

广义充能过程的定义:在蓄能系统内无论是否有释能现象存在,只要压缩机运行就定义为是充能过程.在广义充能过程中,储罐内的能量可增、可减.增减的趋势取决于充、释能速率差.

广义充能过程蒸发器和吸收器模块质量和能量动态平衡物理模型如图 2 所示,在任意微时段 $(t, t + dt)$ 内质量和能量平衡关系如下:

$$\frac{dm_w(t)}{dt} = \frac{dm_{g,i}(t)}{dt} - \frac{dm_{stor,o}(t)}{dt} - \frac{dm_{stor,o,ab}(t)}{dt}$$
 (1)

$$\frac{dm_{g,i}(t)}{dt} \xi_7(t) = \frac{dm_{stor,o}(t)}{dt} \xi_{stor}(t) + \frac{dm_{stor,o,ab}(t)}{dt} \xi_{stor}(t)$$
 (2)

$$\frac{dQ_c(t)}{dt} = \frac{dm_w(t)}{dt} [h_5(t) - h_4(t)]$$
 (3)

$$\frac{dQ_{ab}(t)}{dt} = \frac{dm_w(t)}{dt} [h_5(t) - h_6(t)] + \frac{dm_{stor,o,ab}(t)}{dt} [h_{stor}(t) - h_6(t)]$$
 (4)

以上各式中, m 为质量, kg ; t 为充能过程时间, h ; ξ 为 LiBr 质量分数, $kg \cdot kg^{-1}$; Q 为热量, $kW \cdot h$; h 为比焓, $kJ \cdot kg^{-1}$; 下标 w 为水, g 为发生过程, i 为进, $stor$ 为溶液储罐, o 为出, ab 为吸收过程, e 为蒸发过程, $4 \sim 7$ 为图 1 中的状态点.

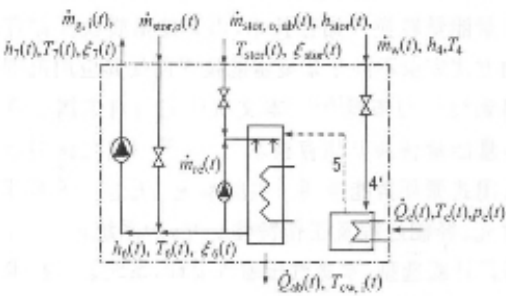


图 2 蒸发器和吸收器模块质量和能量动态平衡物理模型

Fig.2 The dynamic model of the evaporator and absorber block

广义充能任意时段(0, t) 蒸发器和吸收器所分别提供的冷、热能为

$$Q_e(t) = \int_0^t \frac{dQ_e(t)}{dt} dt \tag{5}$$

$$Q_{ab}(t) = \int_0^t \frac{dQ_{ab}(t)}{dt} dt \tag{6}$$

对于采用溴化锂溶液的蓄能系统,其制冷剂是水,而水在低压下的蒸汽密度非常小,因此在常规压缩式制冷/热泵系统中难以应用^[11]. 但在新蓄能空调/供热系统中,压缩机吸入压力仅与发生压力有关. 可以通过提高发生压力来增大水蒸汽密度,有效减小水蒸汽压缩机尺寸. 但带来的问题是水蒸汽温度升高,且水蒸汽具有较大的绝热指数. 如果采用普通“干”压缩,则压缩终了的温度会超过 350 ℃,对压缩机运行非常不利. 解决的办法是采用“湿”压缩,使压缩终了的水蒸汽处于饱和状态. 这样可以降低压缩机的排气温度. 湿压缩前需要对来自发生/冷凝器的过热水蒸汽进行加湿处理. 加湿器和压缩机模块质量与能量动态平衡物理模型如图 3 所示. 在任意 t 时刻压缩机功率为

$$N(t) = \frac{dW_{comp}(t)}{dt} = \left(\frac{dm_{wv}}{dt} + \frac{dm_1}{dt} \right) [h_1(t) - h_{10}(t)] = \left(\frac{dm_{wv}}{dt} + \frac{dm_1}{dt} \right) [h_1(t) - h_{10,is}(t)]_{is}/\eta_{is} \tag{7}$$

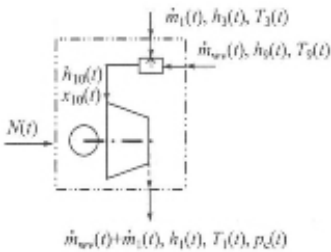


图 3 湿压缩过程动态平衡物理模型

Fig. 3 The dynamic model of the wet compression process

其中

$$h_{10}(t) = h_1(t) - [h_1(t) - h_{10,is}(t)]_{is}/\eta_{is} \tag{8}$$

喷入加湿器水流率为

$$\dot{m}_1 = \frac{dm_1}{dt} = \frac{h_9(t) - h_{10}(t)}{h_{10}(t) - h_3(t)} \frac{dm_{mv}}{dt} \tag{9}$$

以上各式中, W 为功, kW · h; η_{is} 为压缩机绝热效率; 下标 comp 为压缩过程, wv 为水蒸汽, is 为等熵过程.

这样,广义充能任意时段(0, t) 压缩机所消耗的电能为

$$W_{comp}(t) = \int_0^t \frac{dW_{comp}(t)}{dt} dt = \int_0^t N(t) dt \tag{10}$$

如图 1 所示,在任意微时段(t, t + dt) 内,发生/冷凝器内的质量和能量动态平衡关系如下:

$$\frac{dm_{wv}(t)}{dt} = \frac{dm_{g,i}(t)}{dt} - \frac{dm_{g,o}(t)}{dt} \tag{11}$$

$$\frac{dm_{g,i}(t)}{dt} \xi_6(t) - \frac{dm_{g,o}(t)}{dt} \xi_{11}(t) = 0 \tag{12}$$

$$\begin{aligned} \frac{dQ_{cond}(t)}{dt} &= \left(\frac{dm_{wv}}{dt} + \frac{dm_1}{dt} \right) [h_1(t) - h_2(t)] = \\ &= \frac{dQ_g(t)}{dt} = h_9(t) \frac{dm_{wv}}{dt} + h_{11}(t) \frac{dm_{g,o}}{dt} - \\ &= h_8(t) \frac{dm_{g,i}}{dt} \end{aligned} \tag{13}$$

式中下标 cond 为冷凝过程.

按溶液循环倍率(f) 的定义有

$$f(t) = \dot{m}_{g,i}(t)/\dot{m}_{wv}(t) \tag{14}$$

将式(9)、(11) 和(14) 代入式(13),得

$$\begin{aligned} \frac{h_9(t) - h_3(t)}{h_{10}(t) - h_3(t)} [h_1(t) - h_2(t)] &= h_9(t) + \\ f(t) [h_{11}(t) - h_8(t)] - h_{11}(t) \end{aligned} \tag{15}$$

式(15) 表明,蓄能空调/供热系统在充能过程中发生/冷凝器内的能量平衡仅与溶液循环倍率和工作介质的热物性有关,与在发生/冷凝器内分离出的水蒸汽质量流率 $\dot{m}_{wv}(t)$ 无关. 但从式(13) 和(14) 可以得到,出发发生/冷凝器的水蒸汽质量流率将影响发生/冷凝器换热量负荷.

在任意微时段(t, t + dt) 内,溶液热交换器能量动态平衡关系如下:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_{ex}(t)}{dt} &= [h_{11}(t) - h_{12}(t)] \frac{dm_{g,o}(t)}{dt} + [h_2(t) - \\ &= h_3(t)] \left[\frac{dm_{wv}(t)}{dt} + \frac{dm_1(t)}{dt} \right] = \frac{dm_{mv}}{dt} \times \\ &= \left\{ [f(t) - 1][h_{11}(t) - h_{12}(t)] + \right. \\ &= \left. \frac{h_9(t) - h_3(t)}{h_{10}(t) - h_3(t)} [h_2(t) - h_3(t)] \right\} \end{aligned} \tag{16}$$

式中下标 ex 为热交换过程.

$$h_8(t) = h_7(t) + \frac{dQ_{ex}(t)}{dt} \frac{dm_{g,i}}{dt} \tag{17}$$

溶液和水储罐模块的质量和能量动态平衡物理模型分别如图 4 和图 5 所示. 在任意微时段(t, t + dt) 内,溶液和水储罐内的质量变化率分别为

$$\frac{dm_{stor}(t)}{dt} = \frac{dm_{g,o}(t)}{dt} - \frac{dm_{stor,o}(t)}{dt} - \frac{dm_{stor,o,ab}(t)}{dt} =$$

$$\frac{dm_w(t)}{dt} - \frac{dm_{wv}(t)}{dt} \tag{18}$$

$$\frac{dm_{ws}(t)}{dt} = \frac{dm_{wv}(t)}{dt} - \frac{dm_w(t)}{dt} = - \frac{dm_{stor}(t)}{dt} \tag{19}$$

式中下标 ws 为水储罐。

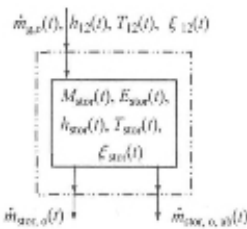


图 4 溶液储罐模块动态平衡物理模型

Fig. 4 The dynamic model of the solution storage tank block

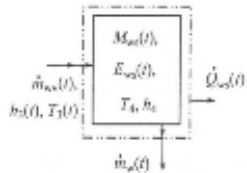


图 5 水储罐模块动态平衡物理模型

Fig. 5 The dynamic model of the water storage tank block

在 t 时刻, 溶液和水储罐内的质量、溶液储罐内溶液中的溴化锂质量分数分别为

$$M_{stor}(t) = M_{stor}(t)|_{t=0} + \int_0^t \frac{dm_{stor}(t)}{dt} dt \tag{20}$$

$$M_{ws}(t) = M_{ws}(t)|_{t=0} + \int_0^t \frac{dm_{ws}(t)}{dt} dt \tag{21}$$

$$\xi_{stor}(t) = [\xi_{stor}(t)M_{stor}(t)]_{t=0}/M_{stor}(t) \tag{22}$$

以上各式中 M 为溶液和水储罐内的质量, kg。

在任意微时段 ($t, t + dt$) 内, 溶液和水储罐内的能量变化率分别为

$$\frac{dE_{stor}(t)}{dt} = h_{12}(t) \frac{dm_{g,o}(t)}{dt} - h_{stor}(t) \times \left[\frac{dm_{stor,o}(t)}{dt} + \frac{dm_{stor,o,ab}(t)}{dt} \right] \tag{23}$$

$$\frac{dE_{ws}(t)}{dt} = h_3(t) \frac{dm_{wv}(t)}{dt} - h_4 \frac{dm_w(t)}{dt} - \frac{dQ_{ws}(t)}{dt} \tag{24}$$

以上各式中 E 为能量, kW · h。

其中

$$\frac{dQ_{ws}(t)}{dt} = c_{p,w}[T_3(t) - T_4] \frac{dm_{wv}}{dt} \tag{25}$$

式中 $c_{p,w}$ 为水比热容, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$; T 为温度, K。

t 时刻, 溶液和水储罐内的能量及水储罐冷却器排出的热量分别为

$$E_{stor}(t) = E_{stor}(t)|_{t=0} + \int_0^t \frac{dE_{stor}(t)}{dt} dt \tag{26}$$

$$E_{ws}(t) = E_{ws}(t)|_{t=0} + h_4 \int_0^t \frac{dm_{ws}(t)}{dt} dt \tag{27}$$

$$Q_{ws}(t) = \int_0^t \frac{dQ_{ws}(t)}{dt} dt \tag{28}$$

在充能过程中的任何时刻 t , 进出系统的能量必须守恒, 这是检验充能过程数值模拟是否准确的重要判据。即

$$W_{comp}(t) + Q_e(t) = E_{stor}(t)|_{t=0} + E_{ws}(t)|_{t=0} + Q_{ab}(t) + Q_{ws}(t) \tag{29}$$

2.3 释能过程动态模型

释能过程压缩机和发生 / 冷凝器不工作。如图 2 所示, 在任意微时段 ($\tau, \tau + d\tau$) 内, 蒸发器和吸收器模块的质量和能量动态平衡关系分别为

$$\frac{dm_w(\tau)}{d\tau} = \frac{dQ_e(\tau)/d\tau}{h_5(\tau) - h_4(\tau)} \tag{30}$$

$$\frac{dm_w(\tau)}{d\tau} = \frac{dm_{stor,i}(\tau)}{d\tau} - \frac{dm_{stor,o}(\tau)}{d\tau} \tag{31}$$

$$\frac{dm_{stor,i}(\tau)}{d\tau} \xi_6(\tau) = \frac{dm_{stor,o}(\tau)}{d\tau} \xi_{stor}(\tau) \tag{32}$$

$$\frac{dQ_{ab}(\tau)}{d\tau} = \frac{dm_{stor,o}(\tau)}{d\tau} h_{stor}(\tau) + \frac{dm_w(\tau)}{d\tau} h_5(\tau) - \frac{dm_{stor,i}(\tau)}{d\tau} h_7(\tau) \tag{33}$$

式中 τ 为释能时间, h。

在任意时刻 τ , 蓄能空调 / 供热系统所提供的冷能或热能分别为

$$Q_e(\tau) = \int_0^\tau \frac{dQ_e(\tau)}{d\tau} d\tau \tag{34}$$

$$Q_{ab}(\tau) = \int_0^\tau \frac{dQ_{ab}(\tau)}{d\tau} d\tau \tag{35}$$

在任意微时段 ($\tau, \tau + d\tau$) 内, 溶液储罐内溶液质量变化率为

$$\frac{dm_{stor}(\tau)}{d\tau} = \frac{dm_{stor,i}(\tau)}{d\tau} - \frac{dm_{stor,o,ab}(\tau)}{d\tau} = \frac{dm_w(\tau)}{d\tau} = - \frac{dm_{ws}(\tau)}{d\tau} \tag{36}$$

式(36)表示释能过程溶液储罐内溶液质量增加率等于水储罐内水质量减少率. 这样,在 τ 时刻溶液储罐内溶液质量和溶液中溴化锂质量分数分别为

$$M_{\text{stor}}(\tau) = M_{\text{stor}}(\tau)|_{\tau=0} + \int_0^\tau \frac{dm_{\text{stor}}(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (37)$$

$$\xi_{\text{stor}}(\tau) = [\xi_{\text{stor}}(\tau)M_{\text{stor}}(\tau)]_{\tau=0}/M_{\text{stor}}(\tau) \quad (38)$$

溶液储罐内的能量变化率为

$$\frac{dE_{\text{stor}}(\tau)}{d\tau} = h_7(\tau) \frac{dm_{\text{stor},i}(\tau)}{d\tau} - h_{\text{stor}}(\tau) \frac{dm_{\text{stor},o}(\tau)}{d\tau} \quad (39)$$

在 τ 时刻,溶液储罐内溶液所具有的能量为

$$E_{\text{stor}}(\tau) = E_{\text{stor}}(\tau)|_{\tau=0} + \int_0^\tau \frac{dE_{\text{stor}}(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (40)$$

同样,在 τ 时刻水储罐内的质量和能量分别为

$$M_{\text{ws}}(\tau) = M_{\text{ws}}(\tau)|_{\tau=0} - \int_0^\tau \frac{dm_w(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (41)$$

$$E_{\text{ws}}(\tau) = E_{\text{ws}}(\tau)|_{\tau=0} - h_4 \int_0^\tau \frac{dm_w(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (42)$$

在释能过程任意时刻 τ ,进出系统的能量必须守恒,这也是检验释能过程数值模拟是否准确的重要判据. 即

$$E_{\text{stor}}(\tau)|_{\tau=0}^{\tau=\tau} + E_{\text{ws}}(\tau)|_{\tau=0}^{\tau=\tau} = Q_{\text{ab}}(\tau) - Q_{\text{c}}(\tau) \quad (43)$$

当蓄能空调/供热系统完成一个工作循环后也必须满足下列质量和能量守恒条件:

$$\sum W_{\text{comp}} + \sum Q_{\text{c}} = \sum Q_{\text{ab}} + \sum Q_{\text{ws}}, \Delta M_{\text{stor}} = 0, \Delta E_{\text{stor}} = 0, \Delta M_{\text{ws}} = 0, \Delta E_{\text{ws}} = 0 \quad (44)$$

3 COP 值与有效蓄能密度

由于新蓄能空调/供热系统的蓄能原理和运行方式与常规蓄能空调完全不同,系统所储存的溶液化学势能既可转换成冷能,也可转换成热能,甚至可冷、热联供. 因此,在不同的运行方式下蓄能系统的COP值表达式有所不同.

当蓄能系统仅用于供冷时,定义

$$COP_{\text{c}} = \frac{\sum Q_{\text{c}}}{(\sum W_{\text{comp}} + \sum W_{\text{pump}})} \approx \frac{\sum Q_{\text{c}}}{\sum W_{\text{comp}}} \quad (45)$$

当蓄能系统仅用于供热时,定义

$$COP_{\text{h}} = \frac{\sum Q_{\text{h}}}{(\sum W_{\text{comp}} + \sum W_{\text{pump}})} \approx \frac{\sum Q_{\text{h}}}{\sum W_{\text{comp}}} \quad (46)$$

当蓄能系统用于冷、热联供时,定义

$$COP_{\text{int}} = \frac{(\sum Q_{\text{c}} + \sum Q_{\text{h}})}{(\sum W_{\text{comp}} + \sum W_{\text{pump}})} \approx \frac{(\sum Q_{\text{c}} + \sum Q_{\text{h}})}{\sum W_{\text{comp}}} \quad (47)$$

以上各式中下标pump为溶液泵,c为供冷,h为供热,int为冷、热联供.

评价蓄能系统的另一项重要指标是蓄能密度,它可以作为衡量蓄能系统大小的一个尺度. 闭式循环的先进蓄能空调/供热系统采用的是两个结构非常简单的储液罐. 为了便于与常规蓄能空调系统的蓄能密度进行比较,定义先进蓄能空调/供热系统有效蓄能密度为系统最终输出的能量与储罐的总容积之比.

与系统COP值表达方式类似,在不同的运行方式下先进蓄能空调/供热系统有效蓄能密度(SD)定义如下:

$$SD_{\text{c}} = \frac{0.85 \cdot Q_{\text{c}}|_{\text{stor}}}{V_{\text{stor}}|_{\text{max}} + V_{\text{ws}}|_{\text{max}}} = \frac{0.85 \cdot Q_{\text{c}}|_{\text{stor}}}{(M_{\text{stor}}/\rho_{\text{stor}})|_{\text{max}} + (M_{\text{ws}}/\rho_{\text{ws}})|_{\text{max}}} \quad (48)$$

$$SD_{\text{h}} = \frac{0.85 \cdot Q_{\text{h}}|_{\text{stor}}}{V_{\text{stor}}|_{\text{max}} + V_{\text{ws}}|_{\text{max}}} = \frac{0.85 \cdot Q_{\text{h}}|_{\text{stor}}}{(M_{\text{stor}}/\rho_{\text{stor}})|_{\text{max}} + (M_{\text{ws}}/\rho_{\text{ws}})|_{\text{max}}} \quad (49)$$

$$SD_{\text{int}} = \frac{0.85 \cdot (Q_{\text{c}} + Q_{\text{h}})|_{\text{stor}}}{V_{\text{stor}}|_{\text{max}} + V_{\text{ws}}|_{\text{max}}} = \frac{0.85 \cdot (Q_{\text{c}} + Q_{\text{h}})|_{\text{stor}}}{(M_{\text{stor}}/\rho_{\text{stor}})|_{\text{max}} + (M_{\text{ws}}/\rho_{\text{ws}})|_{\text{max}}} \quad (50)$$

式中: ρ 为密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;系数0.85是考虑到液体受温度和压力的影响储罐需要留有一定的空间; $V_{\text{stor}}|_{\text{max}}$ 和 $V_{\text{ws}}|_{\text{max}}$ 分别为计算得到的最大储液量时储罐的容积; $Q_{\text{c}}|_{\text{stor}}$ 和 $Q_{\text{h}}|_{\text{stor}}$ 分别为由系统储存的能量转换输出的冷能和热能.

4 结 论

- (1) 采用水作为制冷剂,ODP和GWP均为0;
- (2) 压缩机吸入压力仅与发生压力有关,可以通过提高发生压力来增大水蒸汽密度,减小压缩机尺寸;
- (3) 储存的能量既可以转换成冷量为空调所用,也可以转换成热量为供热所用,也可以同时转换成冷能和热能;
- (4) 系统运行过程是动态的,其循环热力计算必须采用数值方法,计算比较复杂.

本文为新蓄能空调/供热系统系列研究的一

部分,后续工作将对建筑夏季蓄能空调及热水供应系统进行数值模拟计算。

参考文献:

- [1] 华泽钊,刘道平,吴兆琳,等. 蓄冷技术及其在空调工程中的应用[M]. 北京:科学出版社,1997
- [2] 吴喜平. 蓄冷技术和蓄热电锅炉在空调中的应用[M]. 上海:同济大学出版社,2000
- [3] HASNAIN S M, ALAWAJI S H, AL-IBRAHIM A M, *et al.* Prospects of cool thermal storage utilization in Saudi Arabia [J]. *Energy Conversion & Manage*, 2000, **41**(12):1829-1839
- [4] LIMMEECHOKCHAI B, CHUNGPAL-BULPATANA S. Application of cool storage air-conditioning in the commercial sector: an integrated resource planning approach for power capacity expansion planning and emission reduction [J]. *Appl Energy*, 2001, **68**(2):289-300
- [5] BELEN Z, JOSÉ M M, LUISA F, *et al.* Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications [J]. *Appl Therm Eng*, 2003, **23**(3):251-283
- [6] HASNAIN S M. Review on sustainable thermal energy storage technologies, part 1: heat storage materials and techniques [J]. *Energy Conversion & Manage*, 1998, **39**(11):1127-1138
- [7] HASNAIN S M. Review on sustainable thermal energy storage technologies, part 2: cool thermal storage [J]. *Energy Conversion & Manage*, 1998, **39**(11):1139-1153
- [8] 徐士鸣. 一种蓄能制冷 / 热泵机组的蓄能制冷 / 制热方法: 中国发明专利, 200410021385. 6[P]. 2004-03-15
- [9] 徐士鸣. 一种蓄能除湿 / 空调机组的蓄能除湿 / 空调方法及设备: 中国发明专利, 200410021221. 3[P]. 2004-04-05
- [10] 徐士鸣, 张 莉, 郭亚丽, 等. 变质量体系能量转换及储存技术在暖通、空调中的应用[J]. *暖通空调*, 2005, **23**(6):109-113
- [11] YUAN Q S, BLAISE J C. Water — a working fluid for CFC replacement [J]. *Int J Refrig*, 1988, **11**(2):243-247

Energy storage system for air-conditioning and heating using water-LiBr mixture as working fluids and its mathematic models

XU Shi-ming*, ZHANG Li, XU Chang-hong

(School of Energy and Power Eng. , Dalian Univ. of Technol. , Dalian 116024, China)

Abstract: Using the concentration difference of the working fluids, the stored energy can easily be transformed into heat, cold or dehumidifying energy that is necessary in heating, ventilating and air-conditioning (HVAC) engineering. The closed energy storage system for air-conditioning and heating using water-LiBr mixture as working fluids is presented and researched. The system working principle and flow are described. The mass, mass fraction and temperature of the working fluid in the storage tanks vary with the operation time. It results in different properties of the working fluid at the each state point and the loads of the thermal devices in the system changing. The dynamic models of the system working process are established, which are very helpful for understanding the characteristics and performance of the system and very useful for the devices design or selection.

Key words: energy transformation; chemical potential; storage; water-LiBr mixture; modeling