

# 热功复合驱动热泵循环的敏感性分析

张娜<sup>1</sup>, 王康<sup>2</sup>, 韩巍<sup>1</sup>, 亓海青<sup>1</sup>

(1. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190; 2. 国核电力规划设计研究院, 北京 100095)

**摘要:** 经热压缩再机械压缩后, 对热功复合驱动热泵循环的性能进行了模拟及计算分析。在相同的能量输入前提下, 比较了压缩式热泵与吸收式热泵并联循环与热功复合驱动热泵循环。在基本工况下热功复合热泵的性能系数、焓效率与热驱动系数分别提高了 10.15%、12.24% 和 16.59%。以制热温度、制热量、性能系数、热驱动系数和焓效率等作为评价指标, 将压机压比  $\varepsilon$ 、溴化锂稀溶液的浓度  $X$  对热功复合驱动热泵循环性能的影响进行了敏感性分析。研究表明: 综合考虑热压缩与机械压缩的能耗分配、能源利用率等因素, 将压比  $\varepsilon$  取 1.3, 溴化锂溶液的浓度  $X$  取 0.622 为宜。

**关键词:** 热功复合驱动; 复合热泵循环; 热力性能; 压比; 工质浓度

中图分类号: TL353.13 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.03.004

## 引言

热功复合驱动热泵循环的概念早在 1985 年已由德国学者 Osenbruck 提出<sup>[1]</sup>; 1950 年 Alterkich 的研究表明复合逆循环具有较大的节能潜力<sup>[2]</sup>。与吸收式逆循环相比, 在相同能量输入的条件下热功复合驱动逆循环能够制取更高的供热温度或更低的制冷温度; 与压缩式逆循环相比, 在制取相同的供热(制冷)温度情况下, 热功复合驱动逆循环可以节省大量高品质的电能<sup>[3]</sup>。热功复合驱动热泵循环的实质是在吸收式循环中耦合机械压缩, 通过热能和电能两种不同形式能量输入的互补, 来达到拓宽复合系统工作温度区间和提高复合系统性能系数的目的。热功复合驱动热泵循环按照热压缩和机械压缩的相对位置不同可以构成不同的复合循环构型<sup>[4]</sup>。热功复合驱动热泵循环还能和其它热力环节结合产生新型的复合循环, 如陈光明提出了两种不同的热功复合循环系统, 即一种新型的太阳能和功复合驱动制冷循环和一种无需外部功加入的功热复合驱动

制冷循环, 两种新型复合驱动循环的热力性能都优于单纯的吸收式制冷循环<sup>[5-6]</sup>。

本研究对先热压缩后机械压缩的热功复合驱动热泵循环进行了研究, 分析表明吸收式热泵循环耦合压缩过程后, 提高了极限温升, 改善了高温段吸收子循环的热力性能, 拓宽了适用范围, 存在最优压比使得复合循环的性能最优。

本研究继续深入上述工作, 将对复合循环的关键参数进行敏感性分析, 考察压比  $\varepsilon$ 、工质浓度  $X$  对循环性能的影响, 选取制热量、性能系数、热驱动系数和焓效率等为评价指标, 分析它们随  $\varepsilon$ 、 $X$  变化的规律和原因, 并就本研究工况中最优压比  $\varepsilon_{opt}$  设置提出建议。

## 1 系统介绍

图 1 是热功复合驱动热泵循环的流程图。与吸收式热泵循环相比, 主要的部件和流程保持不变, 在发生器与冷凝器之间, 增添一台压缩机, 构成热功复合驱动热泵循环。溴化锂稀溶液进入发生器, 先被加热, 接着闪蒸, 闪蒸出来的制冷剂水蒸气先进入压缩机加压后再进入冷凝器, 冷凝放热后流经节流阀, 然后在蒸发器吸收环境热量气化, 随后水蒸气与从发生器出来后途径溶液换热器、节流阀与溴化锂浓溶液混合, 稀释放热, 从吸收器出来经溶液泵加压并溶液换热器热后重新送入发生器, 形成整个循环。

复合系统需要两个热源, 发生器的热源温度为 150~200 °C 之间, 可以采用工业余热、燃气透平排气、太阳能集热装置等, 蒸发器所需热源温度为 30 °C 左右, 可以直接采用环境热源。吸收器与冷凝器的制热温度取为 80 °C, 可直接用于居民供热。本研究选用溴化锂水溶液作为复合循环系统的吸收式工质对。溴化锂(LiBr)沸点很高(常压下沸点为 1 265

收稿日期: 2015-01-13; 修订日期: 2015-04-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51576169); 国家重点基础研究发展计划(973计划)(No. 2014CB249202)

作者简介: 张娜(1968-), 女, 陕西西安人, 中国科学院工程热物理研究所研究员, 博士生导师。

通讯作者: 王康(1989-), 男, 国核电力规划设计研究院助理工程师。

℃), 易溶于水, 性质稳定, 且与水的沸点相差很大, 发生过程时, 气相基本全是水蒸气, 无需蒸馏。

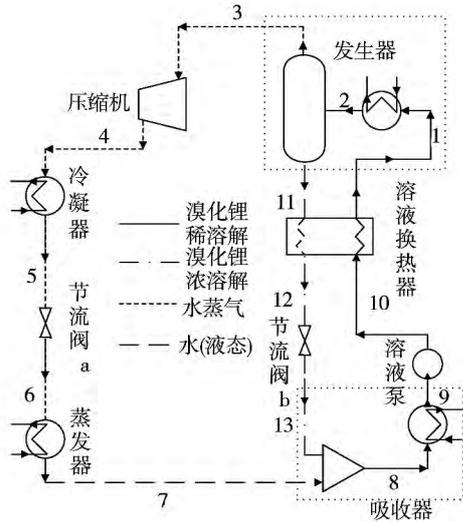


图 1 热功复合驱动热泵循环流程图

Fig. 1 Flow of heat power hybrid heat pump cycle

## 2 评价准则

### 2.1 性能系数

热泵循环的性能系数为系统输出能量与系统输入能量之比:

$$COP(\text{能效比}) = \frac{Q_C + Q_A}{Q_G + W} \quad (1)$$

式中:  $Q_C$ 、 $Q_A$ —冷凝器与吸收器的发热量, kW;  $Q_G$ —发生器的吸热量, kW;  $W$ —循环输入功近似等于压缩机的输入功忽略溶液泵功, kW。

### 2.2 热驱动系数

复合循环有机械功和热量两种能量输入,  $COP$  只是简单地直接相加, 没能体现两种输入能量品位的差异, 因此提出热驱动系数  $\omega$ 。为了突出低品位热在复合循环的驱动作用, 热驱动系数的计算式在能量输出项减去了机械功的作用:

$$\omega = \frac{(Q_C + Q_A) - COP_C \times W}{Q_C} \quad (2)$$

式中:  $\omega$ —热功复合驱动热泵循环的热驱动系数;  $COP_C$ —在相同的冷凝温度和蒸发温度下, 压缩式热泵的  $COP$ 。

### 2.3 焓效率

热驱动系数虽然考虑了两种输入能量的差异性, 但只反映了热能的驱动效益, 忽视了功的驱动效益。这里从热力学第二定律的角度, 引入了焓效率<sup>[7]</sup>:

$$\eta = \frac{E_C + E_A}{E_G + W} \quad (3)$$

式中:  $E_G$ —发生器输入热焓, kW;  $E_C$ 、 $E_A$ —冷凝器和吸收器的输出热焓, kW。

上述热焓都是相对环境而言, 环境温度取值为 30 ℃。

## 3 循环模拟计算

### 3.1 基础循环参数的设定

为了简化, 将 0.7 MPa、155 ℃ 的热水作为热物流, 环境温度取为 30 ℃。冷凝器温度设置为 80 ℃, 即保证压缩机出口压力 47.4 kPa, 发生温度为 145 ℃ 不变, 传热温差为 10 ℃。文献 [8] 运用 Aspen plus 软件对溴化锂/水为工质对的吸收式热泵进行模拟时, 对 LiBr 溶液选用 ELECNRTL 物性方法和 NRTL 电解质模型, 对水蒸气和水选用 STEAM-TA 物性方法, 得到了与实验数据相近的结果。本研究应用文献 [9] 方程作为模拟的物性模型; 通过对文献 [10] 中溴化锂/水的 VLE 数据进行拟合, 回归和归纳出的方程中最大的相对误差为 5.74%, 平均相对误差均不超过 1.66%, 能够满足溴化锂吸收式热泵循环热力计算和传热计算的要求。

选取压比  $\varepsilon = 1.5$ 、溴化锂溶液的浓度  $X = 0.624$  kg/kg 时, 系统的运行工况为基础循环工况, 其主要参数如表 1 所示。

表 1 基础循环参数表

Tab. 1 Table of parameters for a basic cycle

基本工质( LiBr 水溶液)		热源( 蒸汽)		环境参数		发生器		
流量/kg · s <sup>-1</sup>	LiBr 质量分数	温度/℃		温度/℃	温度/℃	压力/kPa	压损/%	
1	0.645	155		30	145	32.1	3.0	
冷凝器		蒸发器		吸收器		泵		压缩机
压力/kPa	压损/%	压力/kPa	压损/%	压力/kPa	压损/%	效率/%	等熵效率/%	压比
47.4	3.0	4.2	3.0	4	3.0	75	72	1.5

3.2 模拟结果

基于表1的基础循环参数表,假定系统一直处于稳定运行状态,模拟计算得到各流股参数如表2所示,复合循环与性能系数的对比如表3所示。

表2 基础工况的流股参数

Tab.2 Parameters of a stream in a flow under the basic load operating condition

流股	温度/°C	压力/kPa	干度	流率/ kg·s <sup>-1</sup>	质量组分	
					LiBr	H <sub>2</sub> O
1	108.5	32.1	0	1	0.642	0.358
2	145	31.6	0.103	1	0.642	0.358
3	145	31.6	1	0.064	0	1
4	204.2	47.4	1	0.064	0	1
5	80	46.8	0	0.064	0	1
6	30	4.2	0.086	0.064	0	1
7	29.4	4.1	1	0.064	0	1
8	93.4	4	0.115	1	0.642	0.358
9	80	4	0	1	0.642	0.358
10	80.1	3.21	0	1	0.642	0.358
11	145	31.6	0	0.936	0.686	0.314
12	113.5	31.4	0	0.936	0.686	0.314
13	95.3	4.2	0.018	0.936	0.686	0.314

表3 性能系数的对比

Tab.3 Contrast of the performance coefficients of a compound cycle and a reference system

类别	复合系统	参比系统			相对提高值/%
		吸收	压缩	合计	
输入	145 °C热/kW	23.15	\	23.15	\
	电/kW	0.73	0.73	0.73	\
输出	30 °C环境热/kW	14.22	6.71	2.57	9.98
	80 °C/kW	38.1	29.91	3.20	33.11
	COP	1.598	1.290	4.479	1.389
	η	0.761	\	\	0.678
	ω	1.507	\	\	1.290

选取吸收式热泵和压缩式热泵的组合作为参比系统,其中吸收式热泵的发生器温度、蒸发器温度、冷凝器温度和吸收器温度与复合热泵的保持相等;压缩式热泵的蒸发器温度、冷凝器温度与复合热泵保持相等。由表3可知,在两种输入能量都相等(即参比系统中吸收式热泵的发生器吸热量和压缩式热泵的电能输入量分别与复合热泵的相等)的情

况下,与分系统相比,复合循环的热量输出、COP、η效率分别提高了10.15%和12.24%,热驱动系数提高的幅度更大达16.59%。可见,在吸收式热泵中耦合机械压缩形成吸收的热压缩与机械压缩“梯级串联”复合系统的能量利用效率比热压缩与机械压缩的“并联”分系统更高,对低品位热能的利用效果更显著。

4 敏感性分析

4.1 压比对循环热力性能的影响

在基础循环的基础上,就压比η对循环热力性能(输入功W<sub>C</sub>、发生器输入热量Q<sub>G</sub>、制热量Q<sub>out</sub> = Q<sub>C</sub> + Q<sub>A</sub>、输入热功比、COP、热驱动系数ω和η效率)的影响进行了敏感性分析。其中W<sub>C</sub>、Q<sub>G</sub>、Q<sub>out</sub>都是采用无量纲形式,即分别是与基础循环W<sub>C,D</sub>、Q<sub>G,D</sub>和Q<sub>out,D</sub>的比值<sup>[11-12]</sup>。

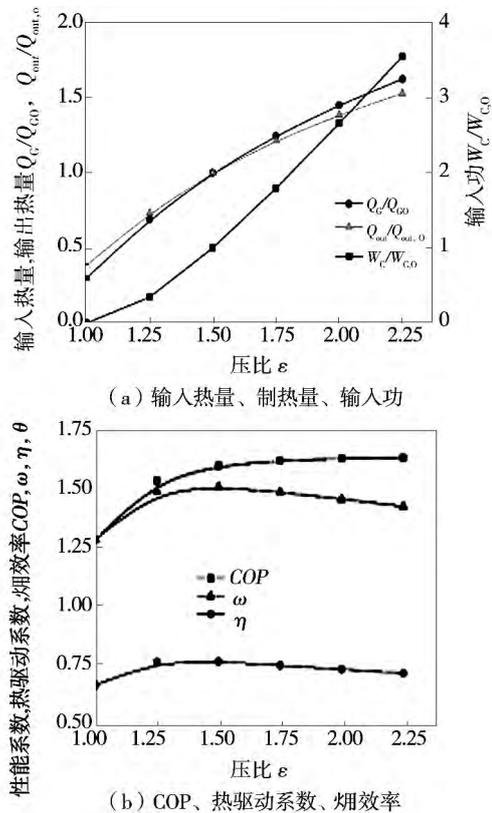


图2 压比ε对循环性能的影响

Fig.2 Effect of the pressure ratio ε on the performance of the cycle

当基本工质浓度 X = 0.642 kg/kg 时,冷凝器压力为47.4 kPa,发生温度为145 °C并保持不变,如图2(a)所示,随着压比ε的增大,即发生器压力降低,

输入功  $W_c$ 、发生器输入热量  $Q_G$  和制热量  $Q_{out}$  都是不断增大,其中  $Q_G$  和  $Q_{out}$  随  $\varepsilon$  增长的速度是逐渐变小,而  $W_c$  随  $\varepsilon$  增长的速度逐渐变大。

压缩机出口压力不变,压比  $\varepsilon$  变大,发生器压力降低,而发生温度不变,溴化锂稀溶液发生过程更容易实现,单位质量水蒸气发生过程所需的热量  $Q_0$  减少,但发生器中分离出的水蒸气质量  $m_0$  增多,且增幅更大,因此综合而言,  $Q_G$  整体表现为不断增大。

压缩机出口压力不变,压比  $\varepsilon$  变大,进入压缩机的  $m_0$  变大,两个因素共同作用下压缩机耗功  $W_c$  逐渐增大,且增大的速度也逐渐变大。

由能量守恒定律可知,复合循环的输出热量  $Q_{out}$  等于输入量之和,即  $Q_{out} = W_c + Q_G + Q_E$ 。由上述分析可知,  $W_c$ 、 $Q_G$  都随着压比  $\varepsilon$  的增大而增大,  $Q_E$  的数值大小在其它条件相同下与  $m_0$  成正比,故也随着压比  $\varepsilon$  的增大而增大,因此  $Q_{out}$  随着压比  $\varepsilon$  的增大而增大。

如图 2(b) 所示,在一定条件和变化范围内,  $COP$  随着压比  $\varepsilon$  的增大而不断增大;热驱动系数  $\omega$ 、焓效率  $\eta$  都随着  $\varepsilon$  的增大而先增大后减小。

保持压缩机出口压力不变,  $\varepsilon$  变大,发生器压力降低,压缩过程耗功增大,与此同时,发生温度不变,吸收子循环的热力性能提高;二者对循环性能的影响此消彼长。在计算  $COP$  时,忽视输入电能和热品位的差异性,只考虑数值大小,低压比时由于压缩机耗功与发生器输入热量比值较小,所以吸收子循环热力性能提高对复合循环  $COP$  的积极作用占主导作用。但是随着压比  $\varepsilon$  的继续变大,压缩耗功增大的影响逐渐显现,故整体表现为  $COP$  随着  $\varepsilon$  的增大而不断增大,且增大速率逐渐减小,  $COP$  趋于定值,为 1.63。

在计算热驱动系数  $\omega$  时,由式(2)知,所选定的压缩式热泵  $COP_c$  只与压缩机出口压力和蒸发温度相关,即当  $\varepsilon$  不断增大时,  $COP_c$  为定值,而  $W$  快速增大,  $COP_c \cdot W$  乘积的增长值会大于  $\varepsilon$  增大引起  $Q_c + Q_A$  的增大值,所以当  $\varepsilon$  增大到一定值时,  $\omega$  会随着  $\varepsilon$  增大而减小。两者增长值相当时,  $\omega$  存在最大值,即当  $\varepsilon = 1.4$  时  $\omega$  最大,为 1.49。

在计算焓效率  $\eta$  时,不仅考虑数值大小,还考虑了输入电能和热品位的差异性,可以看作是将  $COP$  中热量和电能项分别乘以两个不同的因子折算成焓。因为电能的焓因子为 1,热量的焓因子小于 1,随着  $\varepsilon$  增大,压缩耗功  $W$  快速增大,其对复合循环性能的影响增大并逐渐占据主导地位,导致当

$\varepsilon$  增大到一定值时  $\eta$  会随着  $\varepsilon$  增大而开始减小,此时出现  $\eta$  最大值。当  $\varepsilon = 1.25$  时  $\eta$  最大为 0.75。

#### 4.2 溶液的浓度、压比对循环热力性能的共同影响

选取吸收器出焓稀溶液浓度  $X = 0.602, 0.622, 0.642$  和  $0.662 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$  4 种情况进行对比分析。

模拟计算表明,不同  $X$  条件下,压比  $\varepsilon$  增大后,各项循环热力性能参数变化的趋势、原因都是一样。所以这里重点讨论  $\varepsilon$  相同时,不同  $X$  给循环性能带来的变化。

图 3(a) 为溴化锂稀溶液在不同  $X$  下,  $Q_G/Q_{G,0}$  随  $\varepsilon$  的变化规律。在相同压比的情况下,稀溶液浓度变高,发生过程也变得更难实现,析出的  $m_0$  变小,同时单位质量水蒸气发生过程所需的热量  $Q_0$  变大,相比之下,前者影响更大,故  $Q_G$  随  $X$  增大而减小。

图 3(b) 为溴化锂稀溶液不同浓度  $X$  下,循环制热量  $Q_{out}/Q_{out,0}$  随压比  $\varepsilon$  的变化规律。复合循环的制热量  $Q_{out}$  随  $X$  的变化规律与吸收器的吸热量  $Q_G$  随  $X$  的变化规律一致。由能量守恒定律可知,复合循环的  $Q_{out}$  是  $W_c$ 、 $Q_G$  与环境输入量热  $Q_E$  三者之和。其中  $Q_G$  的数值占大部分,  $W_c$  和  $Q_E$  的数值都与进入压缩机水蒸气质量  $m_0$  成正比,结合上述对  $m_0$  的分析知,  $Q_{out}$  随  $X$  增大而减小。

图 3(c) 为溴化锂稀溶液不同浓度  $X$  下,  $W_c/Q_G$  随压比  $\varepsilon$  的变化规律。溴化锂稀溶液浓度相同情况下,复合循环的  $W_c/Q_G$  随  $\varepsilon$  的变化大致呈线性变化。相同  $\varepsilon$  下,  $X$  升高引起  $m_0$  减小和  $Q_G$  减少,相比之下对  $m_0$  影响更大,导致  $W_c$  减小,所以  $W_c/Q_G$  随  $X$  的增大而减小,且减小的幅度越来越大。

图 3(d) 为溴化锂稀溶液不同  $X$  下,复合循环热  $COP$  随压比  $\varepsilon$  的变化规律。在发生温度不变的情况下,  $X$  越大,需要将发生压力降到更低,即  $\varepsilon$  越大,才能使发生过程更充分,从而使复合循环的热力性能达到较高值且趋于稳定值;对于同一  $\varepsilon$ ,  $X$  越大,发生前后溶液  $\Delta x$  越小,吸收子循环热力性能越差,而此时压缩子循环的性能,所以对对应复合循环的  $COP$  越小<sup>[5,14]</sup>。所以  $X$  越大,  $COP$  越小,达到稳定  $COP$  对应的  $\varepsilon$  越高。

图 3(e) 为溴化锂稀溶液不同浓度  $X$  下,热驱动系数  $\omega$  随压比  $\varepsilon$  的变化规律。 $\omega$  相当于整体  $COP$  除去压缩子循环的性能,所以结合图 3(d) 可知,  $X$  越大,对应复合循环的  $\omega$  越小,且拐点对应的  $\varepsilon$  越大。

图 3(f) 为溴化锂稀溶液不同浓度  $X$  下,焓效率  $\eta$  随压比  $\varepsilon$  的变化规律。与  $COP$  变化规律相似,浓

度  $X$  越大,在发生温度不变的情况下,需要将发生压力降到更低,即  $\varepsilon$  越大,才能使发生过程更充分,所以  $X$  越大,同一  $\varepsilon$  对应复合循环的  $\eta$  越小;另一方面  $X$  越大,吸收器制热温度越高,能提高同一  $\varepsilon$

对应复合循环的  $\eta$ 。在  $\varepsilon$  较低时  $X$  增大对  $\eta$  的消极影响更强,在  $\varepsilon$  较高即  $\varepsilon > 1.75$  时  $X$  增大对  $\eta$  的积极影响更强。所以在  $\varepsilon$  较低时  $X$  越大,复合循环的  $\eta$  越小;在  $\varepsilon$  较高时  $X$  越大,复合循环的  $\eta$  越大。

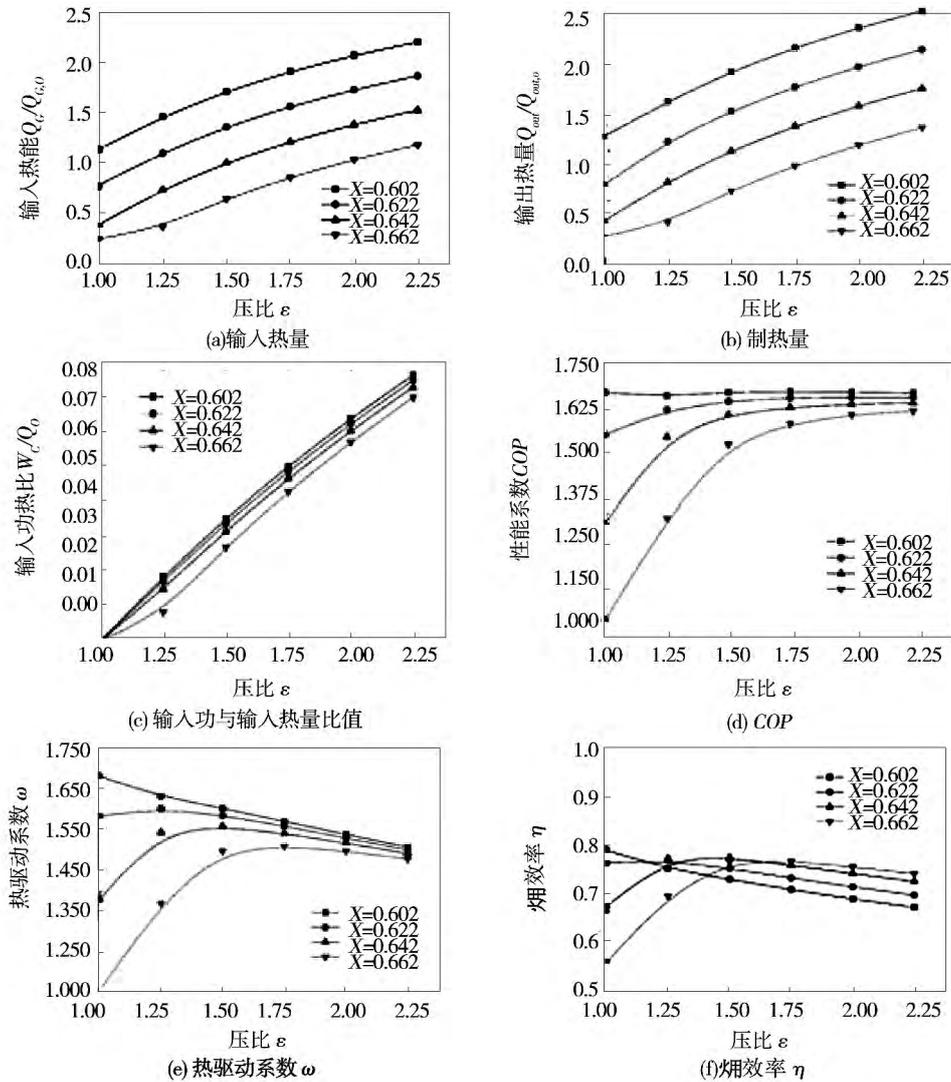


图 3 不同浓溶液浓度  $X$  下压比  $\varepsilon$  对循环性能的影响

Fig. 3 Effect of pressure ratio  $\varepsilon$  on performance of cycle at concentrations

### 5 结 论

- (1)  $X$  一定时,随着压比  $\varepsilon$  增大,输入功  $W_c$ 、发生器输入热量  $Q_c$ 、制热量  $Q_{out}$  都不断增大。
- (2)  $X$  一定时,随着压比  $\varepsilon$  增大,COP 随着压比  $\varepsilon$  的增大而不断增大;热驱动系数  $\omega$ 、烟效率  $\eta$  都随着  $\varepsilon$  的增大而先增大后减小,存在极值点。
- (3) 不同  $X$ ,各项热力学性能参数和评价准则

随  $\varepsilon$  变化的趋势基本相同。

- (4)  $X$  越大,各评价准则达到较大值且趋于稳定所对应的  $\varepsilon$  越高。
- (5)  $X$  越大,相同压比  $\varepsilon$  下,COP 和热驱动系数  $\omega$  越大;而  $\eta$  在压比  $\varepsilon$  较低时随  $X$  增加而降低,在  $\varepsilon$  较高时随  $X$  增加而增大。
- (6) 综合考虑复合循环的热力性能、低品位能量利用率及供热品位等因素,建议  $\varepsilon$  取 1.3, $X$  取 0.622。如需提高制热品位,可考虑适当提高浓度;

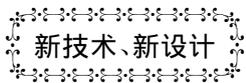
如需较大的热输出,可考虑适当同时降低  $\varepsilon$  和  $X$ 。

热功复合驱动热泵循环作为一种多种能量输入的热力循环,设置适当的和压比,可以满足制热量和品位的要求,并提高低品位热的利用率,在工程应用上有着良好的前景。

#### 参考文献:

- [1] Jensen J K, Reinholdt L, Markussen W B, et al. Investigation of ammonia/water hybrid absorption/compression heat pumps for heat supply temperatures above 100 °C [C]. International Sorption Heat Pump Conference ( ISHPC) 2014.
- [2] Altenkirch E. Der Einfluß endlicher Temperaturdifferenzen auf die Betriebskosten vo.
- [3] Meng X, Zheng D, Wang J, et al. Energy saving mechanism analysis of the absorption-compression hybrid refrigeration cycle [J]. Renewable Energy 2013, 57: 43 - 50.
- [4] 孟学林. 热功复合驱动逆循环机理与 HFC/酰胺类工质对汽液相平衡研究[D]. 北京: 北京化工大学 2013.  
MENG Xue-lin. Study of the mechanism governing the heat-power hybrid driven reverse cycles and the vapor-liquid phase equilibrium of HFC/amide working media [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Engineering 2013.
- [5] 陈光明, 冯仰浦, 王剑锋, 等. 一个用太阳能驱动的新型吸收制冷循环[J]. 低温工程, 1999, 01: 50 - 54.  
CHEN Guang-ming, FENG Yang-pu, WANG Jian-feng, et al. Eiji-hihara a novel absorption refrigeration cycle driven by solar energy [J]. Cryogenic Engineering, 1999, 01: 50 - 54.
- [6] Chen G M, Hihara E. A new absorption refrigeration cycle using solar energy [J]. Solar Energy, 1999, 66(6): 479 - 482.
- [7] Noam Lior, Na Zhang, Energy, exergy, and Second Law performance criteria [J]. Energy, Volume 32, 2007 (4): 281 - 296.
- [8] 黄 超. 小型太阳能吸收式空调系统及其吸收器的研究与模拟[D]. 华中科技大学 2009.  
HUANG Chao. Study and simulation of a small-scale solar energy absorption air conditioning system and its absorber [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology 2009.
- [9] 贾明生. 溴化锂水溶液的几个主要物性参数计算方程[J]. 湛江海洋大学学报 2002(3): 52 - 58.  
JIA Ming-sheng. Equation for calculating several main physical parameters of LiBr-H<sub>2</sub>O solution [J]. Journal of Zhanjiang Oceanology University 2002(3): 52 - 58.
- [10] 罗尘丁, 张 娜, 蔡睿贤, 等. 氨吸收式动力/制冷复合循环的敏感性分析[J]. 中国电机工程学报 2008, 17: 1 - 7.  
LUO Chen-ding, ZHANG Na, CAI Rui-xian, et al. Analysis of the sensitivity of an ammonia absorption type power/refrigeration compound cycle [J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering 2008, 17: 1 - 7.
- [11] 罗尘丁, 张 娜, 蔡睿贤. 中低温太阳能与化石能源互补系统的参数敏感性分析[J]. 中国电机工程学报, 2012, 20: 69 - 75 + 141.  
LUO Chen-ding, ZHANG Na, CAI Rui-xian. Analysis of the sensitivity of various parameters in a medium/low temperature solar energy and fossil energy source mutual complementary system [J]. Proceeding of China Electric Machinery Engineering 2012, 20: 69 - 75 + 141.
- [12] Jensen J K, Reinholdt L, Markussen W B, et al. Investigation of ammonia/water hybrid absorption/compression heat pumps for heat supply temperatures above 100 °C [C]. International Sorption Heat Pump Conference ( ISHPC) 2014.

(姜雪梅 编辑)



## Siemens 接到第一个日本的 H 级燃气轮机订单

据《Gas Turbine World》2014 年 9 ~ 10 月刊报道, 2 台 SGT5 - 8000H 燃气轮机将形成在日本栃木真冈市神户钢铁有限公司新的联合循环电站的核心。它标志了来自日本的对 Siemens H 级燃气轮机的第一个订单。

由于装机容量大于 1.2 GW ( $G = 10^9$ ) 并且效率级大于 61%, 该电站将是在日本的最大功率和最有效的烧天然气的电站。

除了供应每台功率为 400 MW 的 2 台 SGT5 - 8000H 燃气轮机以外, Siemens 也将提供有关的辅助系统。由于该电站位于离太平洋海岸以西约 50 km 的内陆, 它将装备有空气冷却的冷凝器。

预期将在 2016 年年中得到对于该电站环境影响评定的批准, 并且预定该电站将在 2019 年末开始商业运行。

(吉桂明 摘译)

search status and interaction in seven aspects of cross section temperature gradient ,two-phase flow patterns ,heat convection ,operation mode flow instability ,thermal storage and control which resulted from above three factors and thermodynamic system own characteristics ,but also forecasts the development tendency of DSG system. In addition , the paper points out the improvement of DSG control system and its heat storage system will promote remarkably the development of DSG system. **Key words:** direct steam generation ( DSG) ,non-uniform heat flux ,gas-liquid two-phase flow ,instability

基于声学与光学相联合的温度场重建技术数值模拟研究 = **Study on Numerical Simulation for Temperature Field Reconstruction Technology Based on the Optical and Acoustical Combined Theory** [刊 ,汉] HUANG Fan ,LIU Shi ,SONG Wei ( Energy & Power Engineering School of North China Electric Power University ,Beijing , China ,Post Code: 102206) ,LIU Bo-yang ( Huaneng Yuhuan Power Plant ,Yuhuan ,Zhejiang Province ,China ,Post Code: 317600) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31( 3) . -16 -23

With the purpose of getting more accurate two-dimensional temperature field of furnace flame in order to realize the real-time monitoring of the furnace flame temperature ,the optical method and acoustical method are used respectively to model the temperature field reconstruction and deduct the simple matrix inversion formula ,meanwhile ,the singular value decomposition ( SVD) algorithm is also adopted for the reconstruction of the two-dimensional temperature field in furnace. The numerical study shows that when the measuring errors are 0.05 and 0.1 ,the optical and acoustical measuring methods can obtain good reconstruction results separately in high-temperature region and in lower-temperature region. Hereby ,based on the Analytic Hierarchy Process ( AHP) ,the paper puts forward the optical and acoustical combined temperature field reconstruction technology for the two-dimensional reconstruction of furnace unimodal symmetric ,unimodal bias and bimodal symmetric temperature fields. The results show that the inversion accuracy can be increased by about 0.01 in comparison of optical method or acoustical method ,which proves the feasibility and accuracy of this combined method have the great significance on furnace temperature field inversion. **Key words:** two-dimensional temperature field of furnace flame ,exponential SVD algorithm ,analytic hierarchy process ( AHP) ,optical and acoustical combined technology

热功复合驱动热泵循环的敏感性分析 = **Sensitivity Analysis on Heat Power Hybrid Driven Heat Pump Cycle** [刊 ,汉] ZHANG Na ,HAN Wei ,QI Hai-qing ( Institute of Engineering Thermophysics ,Chinese Academy of Sciences ,Beijing ,China ,Post Code: 100190) ,WANG Kang ( State Nuclear Electric Power Planning Design & Re-

search Institute ,Beijing ,China ,Post Code: 100095) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(3) . -24 -29

The simulation ,calculation and analysis on the performances of heat power hybrid driven heat Pump cycle were made after hot compression and then mechanical compression. Under the precondition of the same energy input ,the paper compared the compression heat pump and absorption heat pump in parallel loop to the heat power hybrid driven heat pump cycle. The result showed under the basic operating conditions ,the performance coefficient ,exergy efficiency and heat driving coefficient of the heat power hybrid heat pump can be respectively improved by 10.15% , 12.24% and 16.59% . Taking the heating temperature ,heating capacity ,performance coefficient ,heat driving coefficient ,exergy efficiency as the evaluation indexes ,the paper also performed the sensitivity analysis on the influence of some key parameters including the pressure ratio  $\varepsilon$  and the concentration of lithium bromide dilute solution X on the heat pump cycle performance. The study indicated it would be advisable to take pressure ratio  $\varepsilon$  as 1.3 and lithium bromide dilute solution X as 0.622 with synthesization of such factors as energy consumption distribution and energy utilization rate of hot compression and mechanical compression. **Key words:** heat power hybrid driven , hybrid heat Pump cycle ,thermodynamic performance ,pressure ratio ,working medium concentration

岩棉生产成丝室室内气固两相流动的分析 = **Analysis on Gas-solid Two-phase Flow in the Rock Wool Made Room** [刊 ,汉] GAO Li-xiang ,YUAN Zhu-lin ( School of Energy and Environment ,Southeast University ,Nanjing , Jiangsu Province ,China ,Post Code: 210096) ,LIU Chun ( Sinoma Science & Technology Co. ,Ltd. Nanjing Fiberglass Research & Design Institute ,Nanjing ,Jiangsu Province ,China ,Post Code: 210012) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(3) . -30 -37

During the operation of the rock wool made room ,the problems of non-ideal evenness and high rejection rate of collected rock wool may occur. In order to solve the problems ,the numerical simulation method was used in this paper for the study on the gas-solid two-phase flow field in the rock wool made room. The paper adopted separately the Euler and Lagrange methods to describe the rock cotton fiber movement of the gas phase and that of the particle phase ,established and solved the mathematical model of gas-solid two-phase flow ,and obtained the ideal evenness and rejection rate of the collected rock wool under the different operating conditions. The study results show that with the gradual increase of the blow off airflow guide fin angle ,the degree of the mutual interference of blow off airflow behind the roller outlet will enhance accordingly ,which results in the increase of the rejection rate. But the in-