

# 关于溶解式制冷机和Латышев 教授商榷

(清华大学核能技术设计研究院)

乔力 李新秋 徐光 王永庆

**[摘要]** 首先介绍了俄罗斯制冷研究院 В. П. Латышев 教授发明的溶解式制冷机的基本原理,然后依据作者的经验和理解对其在技术上推广可能遇到的困难提出了自己的见解。

**关键词** 制冷机 溶解热 COP 值 稳定性

**中图分类号** TU831.6

丙酮,丙烷 - 丁烷(煤气)在不同混合比时的溶解热

工质对	$\alpha(\%)$	$H(\text{kJ/kg})$
丙酮,丙烷 - 丁烷	5.22	4.69
	12.1	9.92
	26.7	17.96
	34.4	22.32
	48.0	25.20
	59.7	23.24
	74.5	17.08
	91.3	6.36
98.0	0.20	

## 1 溶解式制冷机的基本原理

拉德舍夫(В. П. Латышев)教授于 1978 年获苏

联专利的溶解式制

冷机系统组成如图

1 所示,它有隔热箱

1,其内部设有混合

器 2 和三管换热器

3;在其外部叠放有

双管换热器 4,加热

器 5,气液分离器 6,

蒸馏器 7 和冷凝器

8;加热器 5 和冷凝

器 8 由蛇形壳管换

热器构成。该系统通

过两种工质组份液

体混合后溶解吸热

来实现制冷目的。试

验选用工质对为

50% 丙酮和 50% 丙

烷 - 丁烷(煤气)。

在不同混合比

$\xi(\%)$  时,所对应溶

解热  $H(\text{kJ/kg})$  可

由下表查得。

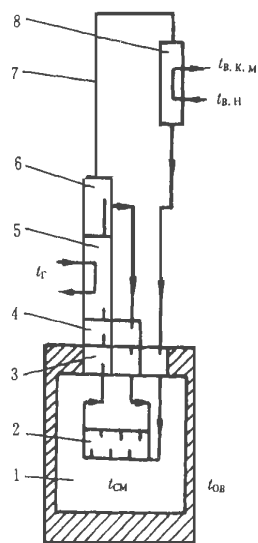


图 1 溶解式制冷机系统组成

- 1-隔热器,  $t_{CM}$ -混合器温度
- 2-混合器,  $T_{amb}$ -环境空气温度
- 3-三管换热器,  $t_r$ -加热水温度
- 4-双管换热器,  $t_{c1}$ -冷却水初温
- 5-加热器,  $t_{c2}$ -冷却水终温
- 6-气液分离器
- 7-蒸馏器
- 8-冷凝器

系统循环的热虹吸由加热器 5 和气液分离器 6 促成,未蒸发的丙酮液体和冷凝后的丙烷受重力作用分两路向下流动,然后于混合器 2 中混合溶解,由水泵向加热器 5 提供循环热水,冷凝器可由上水冷却。除液体静压外,系统各部分基本保持恒定压力。

对该系统进行了两次实验,第一次保持加热水量和温度  $t_r$  为定值,改变恒温 ( $t_{BK}$ ) 冷却水耗量  $M$ ,所得混合器 2 的温度  $t_{CM}$  随其变化关系如图 2 所示;第二次实验保持冷凝器 8 出口水温  $t_{c2}$  恒定而改变定量加热水温度  $t_r$ ,所得混合器 2 的温度  $t_{CM}$  随其变化关系如图 3 所示。实验中测定的制冷系统 COP 值为 0.05。

## 2 关于溶解式制冷机的几点商榷

溶解式制冷机可利用太阳能或工业废热等低位热能提供的热量去实现空调或制冷目的,不仅对于人们的日常生活具有现实意义,而且对于人类能源的长远合理规划具有重要的战略意义。然而溶解式制冷机也存在一些原理上固有的局限性,并且这些局限性在一定程度上制约了其商业化进程中的经济

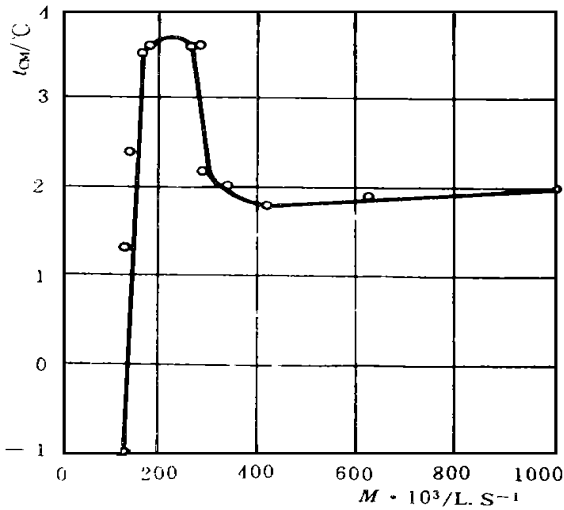


图 2 混合器温度  $t_m$  (°C) 与冷却水耗量  $M$  (l/s) 之间关系

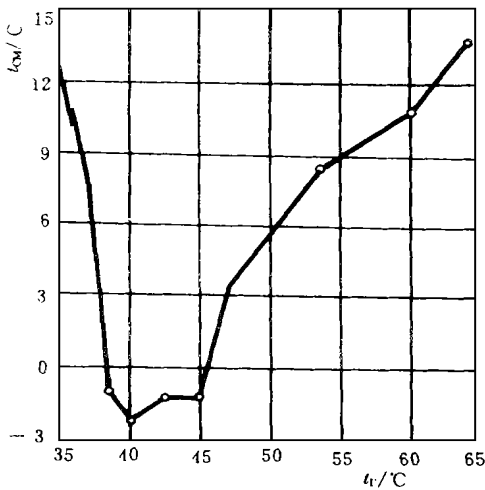


图 3 混合器温度  $t_m$  (°C) 与加热水温度  $t_h$  (°C) 之间关系

评价。各主要制约因素分述如下:

### 2.1 溶解热过小

目前已商业化的制冷机,大多利用的是液体气化潜热,因此所需制冷剂循环量、装填量、蒸发换热器面积和重量都可降至理论上的最低值。而溶解式制冷机是利用冷凝后的液态工质组份与稀溶液的混合溶解吸热来实现制冷,由于单位重量工质液体之间的溶解热远低于液体的气化潜热,这就注定了溶解式必然低效与耗材。例如拉德舍夫在试验中选用的丙烷和丙酮,其最佳混合比时的溶解热为 25.20 kJ/kg,远小于水的蒸发潜热 2510.4 kJ/kg 和氟里

昂的蒸发潜热 125.52 kJ/kg。一般而论,水的蒸发潜热很大,因此对循环速率的要求可降低,故适用于循环较慢的吸收式、吸附式和蒸气喷射式制冷系统;氟里昂蒸发潜热虽相对小些,但用于高速循环的压缩式制冷机中,仍能获得可观的制冷功效。溶解式制冷机不但其溶解热很低,而且靠热虹吸作用的循环速率也极低,这就从溶解热和循环速率两方面制约了其制冷功效。简而言之,利用溶解热而不是蒸发热制冷是该制冷方式的全新之处,但它也必然为此付出商业化的代价。

### 2.2 缺少自稳定性

压缩式制冷机由于是单路循环(回路无分支支点和旁通回路),因此循环速率、冷凝速率的波动只正比影响蒸发速率或制冷量的大小;而溶解式制冷机由于存在加热溶液分离后溶质的冷凝和稀溶液的热虹吸循环分支点及液态溶质和稀溶液的汇合溶解支点,因此加热速率、冷凝速率、稀溶液热虹吸循环速率和溶解速率之间交叉制约,必须付出较高的自控代价。特别需要注意的是,溶解热只在混合比为 30% ~ 60% 的范围内取值较高,超过该范围,两头对称急骤减小。因此制冷系统自稳定性的判据将是加热速率、冷凝速率、稀溶液循环速率的相互配合以确保汇合支点的混合比在使溶解热取值较高的有效范围内 30% ~ 60%。这一点在拉德舍夫的实验曲线中得到证实,如果在最佳配合工况下,只过大增加冷却水流量,汇合支点的液态溶质的产生速率增高,混合比超出有效取值范围的上限,而导致系统制冷效率下降,如图 2 所示;如果只过大增加热量,则气化的溶质来不及冷凝,而稀溶液的热虹吸循环速率却被加速,混合比超出有效取值范围的下限,而导致系统制冷效率下降,如图 3 所示。

### 2.3 COP 值较低

溶解式制冷机不是利用相变潜热制冷,但过程中却包含相变。对整个制冷系统而言,它是利用浓溶液加热蒸发分离(相变潜热)和溶质冷凝(相变潜热)的热量差值(溶解热)来实现制冷。由于该差值远远小于两个相变过程换热功率,因此导致该系统制冷效率极低。拉德舍夫的丙酮、丙烷工质对溶解式

制冷机的  $COP$  值为 0.05,而单效吸收式(溴化锂)的为 0.7 左右。

#### 2.4 系统重量过大

过低的  $Cop$  值使得设备重量加大。当  $COP$  值为 0.05 时,为得到 1 份冷量,必须支付 20 份加热量和近乎 20 份冷却量,这样加热器和冷凝器的换热功率之合就为混合产冷器换热功率的近 40 倍,以产生 1kW 冷量蒸发器(带动 10 m<sup>2</sup> 空调建筑面积)重量仅 10 kg 的保守估计,溶解式制冷机用在加热器和冷凝器的重量就约为 400 kg,加上管路、自控设备、支架及外壳的重量,单位制冷功率的设备重量至少也超出 500 kg/kW。

#### 2.5 安全性

采用煤气(丙烷)并处在 0.8 MPa 工作压力下的溶解式制冷机,如果装在有碰撞可能的交通工具上,必然对安全技术提出更高要求

#### 2.6 混合产冷器重量较大

由于溶解热远低于蒸发热,因此混合产冷器的能流密度较小,其换热面积必将成为倍大于蒸发换热器的面积。这又构成一个增加系统重量的因素

#### 2.7 循环速率对制冷功效的贡献受制约

由于溶解热很小,为了加大制冷功效,拉德舍夫提出把试验装置中的热虹吸泵改为强制机械循环泵;然而问题在于:如果循环速率过大,则溶质和溶剂可能来不及充分分离和混合,使得混合比超出有

效范围,从而实际溶解热将小于其理想情况下的最大值 25.20 kJ/kg 这就使得制冷量被限制在一定范围内。

### 3 结语

综上所述,溶解式制冷机虽然利用的低位热能(37°C 以上)是无代价的,但它所需换热功率为普通压缩式制冷机的近 40 倍,并且需要较高的自控代价和安全技术代价,而这些又都直接关系到系统开发的经济评价。

#### 参考文献

- 1 Латышев В. П. Союзционная теплоиспользующая холодильная машина: Результаты испытаний, преимущества, области применения. Холодильная Техника, 1996, (7).
- 2 Латышев В. П. Экспериментальное определение теплового эффекта смешения жидкостей. Холодильная Техника, 1982, (3).
- 3 Латышев В. П. Новый способ получения холода на основе поглощения тепла при смешении жидкостей. Холодильная Техника, 1982, (2).
- 4 Пономаренко А. В., Латышев В. П. Союзционная холодильная установка с теплоавтокатализаторным насосом. Холодильная Техника, 1982, (10).

(复 编)

(接第 456 页) 将参数  $T_s$  增大 40%,得到过渡过程曲线如图 10 中的曲线 2,其  $IATE = 1.2843 \times 10^5$ ; 将参数  $\tau$  减小 20%,得到过渡过程曲线如图 11 中的曲线 1,其  $IATE = 1.0900 \times 10^5$ ; 将参数  $\tau$  增大 20%,得到过渡过程曲线如图 11 中的曲线 2,其  $IATE = 1.570 \times 10^5$ ; 将参数  $K_s$  减小 25%,得到过渡过程曲线如图 12 中的曲线 1,其  $IATE = 7.7974 \times 10^4$ ; 将参数  $K_s$  增大 25%,得到过渡过程曲线如图 12 中的曲线 2,其  $IATE = 2.1507 \times 10^5$ 。由此可见本文的控制系统对蒸汽扰动模型参数具有很强的鲁棒性

### 4 结 论

本文对文献 [1] 的汽包水位控制方案作了如下改进:

(1) 考虑到蒸汽流量扰动为主要扰动,本文在

控制方案中加入了 Smith 预估控制形式的蒸汽流量扰动前馈,从而提高了控制质量

(2) 考虑到现在调节器一般采用数字调节器,其 PI 部分可以拆分,本文通过使反馈和前馈不进入 I 调节器来消除稳态误差,避免了文献 [1] 采用高通滤波器的繁琐

通过以上两点改进,控制系统的控制质量得到了提高,而控制系统的复杂度并没有增加

#### 参考文献

- 1 于达仁,杨永滨.一种补偿非最小相位特性的汽包锅炉单冲量给水调节器设计.热能动力工程,1994,9(4): 241~ 245.  
作者简介 王献忠,男,1971 年生,1993 年获得沈阳工业大学应用电子技术专业学士学位,1996 年获得浙江大学工业自动化专业硕士学位,现在为浙江大学控制科学与工程系博士研究生。(联系地址 310027 浙江大学教十 3015)

(渠源 编辑)

湿空气透平 (HAT) 循环的研究发展现状 = **The present Status of Research and Development of Humid Air Turbine (HAT) Cycles** [刊, 中] / Wang Yongqing, Yan Jialu (Harbin Institute of Technology), Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13 (5). - 387~ 391

Described in this paper is a new type of high-efficiency thermodynamic cycle, the so-called humid air turbine (HAT) cycle and the conception of its related cycles, specific features as well as the present status of research and development of HAT. Key words: thermodynamic cycle, electrical power generation system, humid air turbine, HAT cycle

能量系统分析优化中排弃焓计价探讨 = **An Exploratory Study of the Rejected Exergy Costing in the Optimization of Energy System Analysis** [刊, 中] / Chen Qinglin, Hua Ben, Wang Songping, et al (South China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13 (6). - 392~ 395

Based on an analysis of exergy and its economic aspects the authors expound the relationship between rejected exergy and the exergy to be recovered. After an systematic study of the rejected exergy costing in an energy system under various conditions of recovery it is pointed out that with respect to the stage-by-stage recovery and utilization of energy the traditional costing method in accordance with a material flow sequential analysis is not applicable to the costing of rejected exergy. On the basis of an energy system dual subsystem model proposed is an equivalent costing conception aimed at solving the problem of rejected exergy costing. Finally, the practical application of this costing method has been demonstrated through the evolution process of a catalytic cracking gas energy recovery scheme and the variation of rejected exergy costing. Key words: exergy costing, energy recovery, exergy economy, energy system

百叶窗煤粉浓缩器内流场的数值模拟研究 = **A Numerical Simulation Study of the Flow Field in a Louver Pulverized Coal Concentrator** [刊, 中] / Fan Weidong, Gao Jihui, Wu Shaohua, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 396~ 398

Through the use of a dual-equation turbulence model a numerical simulation is conducted of the flow field in a louver pulverized coal concentrator. The results obtained agree well with test ones. From the viewpoint of the flow field distribution features an analysis is conducted of the effect of blade spacing and cover ratio on air flow and gas-solid separation. It is noted that the blade spacing has little effect to the air flow distribution and an increasing blade cover ratio can markedly lead to a more drastic deflection of gas flow, thereby enhancing the effect of concentration. Key words: louver, pulverized coal concentrator, numerical simulation, gas-solid separation

关于溶解式制冷机和ЛАТЫ ЛЕВ 教授商榷 = **An Exchange of Views with Professor Latershev Concerning a Dissolution Type Refrigerator** [刊, 中] / Chou Qiaoli, Li Xinqiu, Xu Guang, et al (Nuclear Energy Design Institute of Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 399~ 401

First, a description is given of the basic principles of a dissolution type refrigerator invented by Professor Latershev V P of Russian Refrigeration Research Institute. Then, on the basis of the experience and understanding of the authors some observations are given regarding the possible difficulties such refrigerators may encounter in the course of their technical popularization. Key words: refrigerator, fusion heat, COP value, stability