

Einstein 循环制冷机导流式气泡泵的性能研究

平亚琴, 刘道平, 陈盛祥, 薛相美
(上海理工大学 制冷技术研究所, 上海 200093)

摘要: 为了解决气泡泵效率低、不能有效利用低品位不稳定热源等缺点, 提出了一种导流式气泡泵, 并对其提升性能进行了实验研究。在给定运行条件下, 研究不同加热功率和沉浸比对液体提升量的影响, 给出了实验曲线, 并与传统气泡泵进行了对比分析。实验结果表明: 当提升管直径为 16 mm, 沉浸比为 0.4 时, 导流式气泡泵的启动功率可降低 100 W, 提升效率最高可提高 13%, 证明导流式气泡泵具有启动功率低、效率高、节能等显著特点, 分析结果对气泡泵效率的提升以及 Einstein 循环制冷机性能的提高具有重要的意义。

关键词: 导流式气泡泵; 低品位热源; 液体提升量

中图分类号: TB61, TK511 **文献标识码:** B

引言

气泡泵作为一种利用热能输送液体的装置, 常被应用于吸收式制冷, 如无泵溴化锂-水吸收式制冷系统, 扩散吸收式系统以及 Einstein 制冷循环, 也可以用于一些特殊的场合, 例如输送具有腐蚀性或放射性的液体。气泡泵可利用太阳能、余热、废热等作为热源, 没有任何机械运动部件, 所以可靠性较高、没有噪音^[1~4]。

目前国内外学者所研究的气泡泵主要存在问题与缺点: (1) 效率低: 研究表明提升管中两相流流型为弹状流时提升效率最高^[5]。而传统气泡泵在垂直提升管底部进行加热, 产生的气泡流须先从泡状过渡到弹状, 不能保证提升管内两相流一直处在弹状流下工作, 故气泡泵的效率较低; (2) 工作不稳定: 气泡泵的提升性能受热源品位的影响较大, 在不稳定热源下运行时^[6], 气泡泵的液体提升量无保证; (3) 无法有效利用低品位热源: 利用太阳能、工厂余热废热时, 需要增加两重换热结构^[7], 热损失增大, 设备投入加大, 经济性下降。

因此, 提出了一种导流式气泡泵, 采用复叠的八字结构, 即对气泡进行收集, 可以减小两相流入口处的局部压降, 并对通道周围的液体起到了导流的作用,

有利于提高无泵吸收式制冷系统的性能, 可利用太阳能等低品位不稳定热源扩大气泡泵的应用范围, 从而提高经济性能。

1 Einstein 循环制冷机

Einstein 循环制冷机是以丁烷作为制冷剂^[8], 氨作为压力平衡剂, 水作为吸收剂, 利用气泡泵下端的热源(该热源可以利用太阳能或者工厂的废热、余热等)进一步加热来自发生器中稀氨水溶液使部分液体在气泡泵提升管内受热沸腾, 产生的气泡在垂直管中上升将其上面的液体带入高位储液器, 由于提升管中汽液混合物的密度比发生器中液体的密度要小, 因此成为系统正常循环的动力, 其原理如图 1 所示。

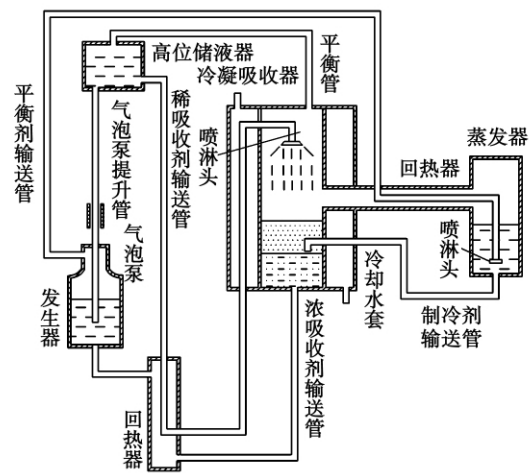


图 1 Albert Einstein 制冷工作原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the Albert Einstein system

系统运行时, 从发生器发生出的氨气导入到蒸发器中使丁烷表面的分压力降低, 迫使液相丁烷产生相变, 从而达到制冷效果。从蒸发器出来的混合

收稿日期: 2010-09-02; 修订日期: 2010-10-13

基金项目: 上海市研究生创新基金资助项目(JWCXSL1002)

作者简介: 平亚琴(1986-), 女, 江苏南通人, 上海理工大学硕士研究生。

气体(丁烷和氨气)经回热器流进冷凝吸收器,氨气被稀氨水吸收,从而使丁烷的蒸汽压升高并能在较高的温度下被外部介质冷凝,由于液态丁烷和氨水互不相溶,在重力作用下会自然分离;位于混合液上部的液态丁烷通过制冷剂输送管从冷凝器回流到蒸发器,完成制冷剂循环过程;位于吸收器下部的浓氨水通过浓吸收剂输送管流进回热器预热后进入发生器,外部热源加热浓氨水而产生的氨气通过平衡剂输送管被导入到蒸发器中,完成压力平衡剂的循环过程。从发生器出来的稀氨水溶液由于热虹吸现象进入气泡泵的垂直管路,气泡泵中的稀氨水在外接热源的作用下产生气泡,气泡在提升管内上升并推动稀氨水溶液流向高位储液器,稀氨水通过吸收剂输送管从高位储液器流到冷凝吸收器完成吸收剂循环,而高位储液器中的气体通过平衡管连接冷凝吸收器,保证系统的压力平衡。

2 导流式气泡泵

导流式气泡泵如图 2 所示,即在普通式气泡泵基础上增加两部件,即气泡收集器以及低位储液器。气泡收集器如图 3 所示。

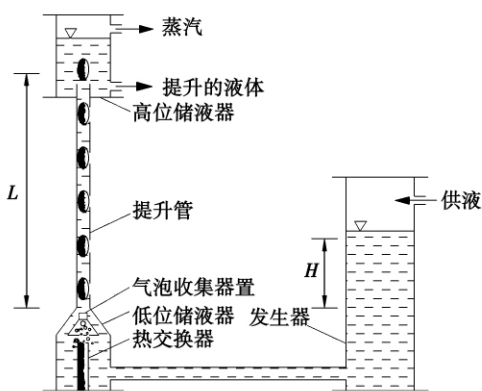


图 2 导流式气泡泵结构

Fig. 2 Schematic diagram of a flow guide type bubble pump

在 Einstein 循环制冷系统中,发生器中稀溶液先流入低位储液器中,然后被其外接热源加热,大部分氨受热沸腾产生气泡。开始时,由于气泡形成的速率较快,而收集器的上端出口较小,产生的气泡来不及全部逸出,小气泡先在收集器的储气室中慢慢积聚,随着压力的升高,逸出的速率提高,提升管中的含气率也越来越大,达到一定的压力后,气泡形成的速率与气泡逸出的速率达到平衡,从而形成稳定

的气泡,同时在气泡泵提升管内形成稳定的气泡流。收集器的上端则不断逸出气泡,气泡在上升过程中推动液体到达高位储液器。由于提升管内的气液混合物的密度低于发生器中液体的密度,因此产生足够的压力差推动低位储液器中的液体进入提升管中。

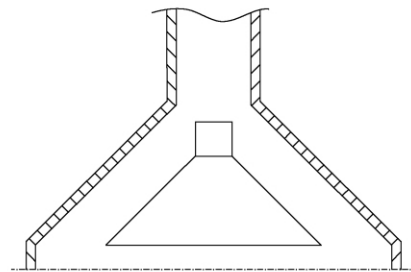


图 3 气泡收集器

Fig. 3 Bubble collector

该气泡收集器犹如气泡逐步长大的一个“休息室”,达到一定压力后进入提升管,从而保证气泡泵提升管一直保持在稳定的弹状流下工作^[3],而不经其它流型的转变,既提高了气泡泵的工作效率,又减少热量的输入。另外,在气泡收集器与低位储液器的容器壁之间有充分的液体流动空间,可以减小两相流入口处的局部压降,并对通道周围的液体起到了导流的作用。

3 实验过程

影响气泡泵的液体提升效率的主要因素包括:垂直提升管管径、外部加热功率(P)以及沉浸比(H/L)。沉浸比指发生器的液位高度 H 与提升管长度 L 的比值。实验通过改变加热功率、沉浸比来模拟气泡泵不同的运行工况,并以单位时间内的液体提升量作为气泡泵提升性能的评价标准。

为研究导流式气泡泵的液体提升效率,进行了两组对比实验,一组未加气泡收集器,即普通式;另一组带有气泡收集器,即导流式。为简化实验、方便比较,两种类型气泡泵均采用相同的提升管管径,实验以饱和水为工质,发生器以及低位储液器中的液体均为饱和状态;以电加热模块模拟低品位热源。实验过程中,固定提升管长度 L ,改变发生器的液位高度 H 与低位储液器的加热功率 P ,通过测量液体的提升量考察气泡泵的提升性能。

4 实验结果与分析

4.1 不同加热功率对液体提升量影响

实验对提升管直径为 16 mm, 沉浸比为 0.4 的两种气泡泵进行了不同加热功率下提升液体量的对比分析, 结果如图 4 所示。

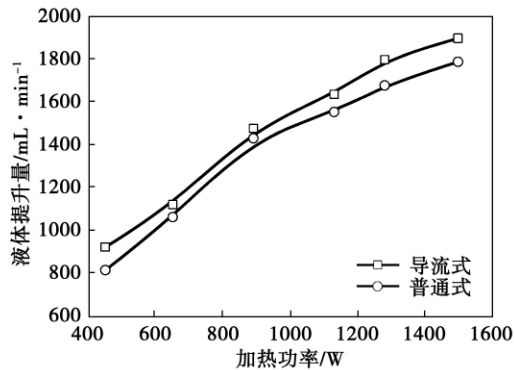


图 4 不同加热功率下两种气泡泵的液体提升量
Fig. 4 Liquidlifting flow rate of two types of bubble pump at different heating powers

由图 4 可以看出, 在给定条件下, 相同加热功率为 450 W 时, 导流式气泡泵液体提升量 925 mL/min, 普通式为 818 mL/min, 两者最大差值可达 13%; 在 890 W 时出现最小差值 3.2%。同时, 在相同的提升量下, 导流式气泡泵输入功率总是小于普通式气泡泵, 如: 液体提升量 925 mL/min 时, 导流式气泡泵输入功率 450 W, 而普通式为 550 W。说明该提升量下, 导流式气泡泵启动功率可降低 100 W。这说明了预先收集气泡能够提高系统的提升效率, 减缓流型过渡的影响; 液体提升量相同时, 导流式气泡泵所需的加热功率较小, 说明需要较少的热量就能够启动气泡泵, 从而降低了对加热热源的要求, 这对于低品位能源的利用有着重要的意义。

4.2 不同沉浸比对液体提升量影响

实验对提升管直径为 16 mm, 加热功率为 650 W 的导流式、普通式气泡泵进行了不同沉浸比下液体提升量的对比分析, 如图 5 所示。

图 5 可以看出, 在一定范围的沉浸比下, 导流式气泡泵的液体提升量总比普通式大, 数据显示: 从沉浸比 0.25 到 0.4 之间, 两者类型的气泡泵每分钟增加的液体提升量差值相当(相差 53 mL/min, 效率高出 10%); 沉浸比为 0.45 时, 两者提升量一致(1490 mL/min)。

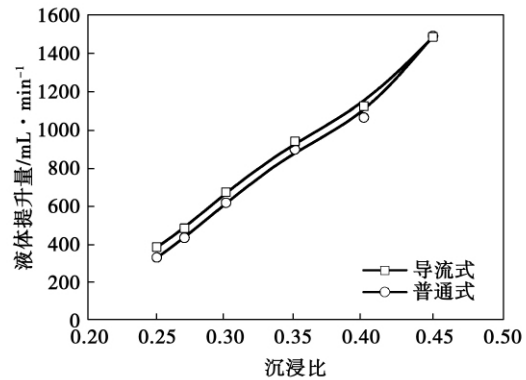


图 5 不同沉浸比下两种气泡泵的液体提升量
Fig. 5 Liquidlifting flow rate of two types of bubble pump at different immersion ratios

这说明导流式气泡泵失去了提升优势, 这可能是由于提升管中两相流流型已改变, 生成气泡速率加快导致收集器失去收集功能, 小气泡直接进入提升管, 在提升管内变成连续的气体流形成了气相轴心^[9]。

5 结论

基于目前 Einstein 循环制冷机中气泡泵存在的主要问题及缺点, 即效率低、稳定性差以及不能有效利用低品位热源等, 提出了一种导流式气泡泵, 可以有效地提高气泡泵的溶液提升效率, 更有利于低品位热源的直接利用。通过实验分析了其提升性能, 并与普通式气泡泵进行了实验对比, 结果如下:

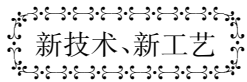
(1) 相同的加热功率, 导流式气泡泵液体提升量较普通式大, 提升效率更高, 最大两者可相差 13%, 最小为 3.2%; 且导流式气泡泵需要较少的热量就能够启动, 启动功率可降低 100 W, 对加热热源的要求更低, 更有利于低品位热源的利用。

(2) 相同加热功率下, 一定范围的沉浸比 (0.25 - 0.4 之间), 导流式气泡泵的提升效率比普通式气泡泵高 10%; 当沉浸比超过某一范围, 则两者的提升量相当, 效果下降。

参考文献:

- [1] 汤成伟, 刘道平, 祁影霞, 等. 单压吸收制冷系统气泡泵性能的试验研究 [J]. 流体机械, 2009, 37(8): 49 - 53.
TANG Cheng-wei, LIU Dao-ping, QI Cai-xia, et al. Experimental study of the performance of a bubble pump in a single pressure absorption refrigeration system [J]. Fluid Machinery, 2009, 37(8): 49 - 53.
- [2] 王强, 张小艳, 吴裕远. 弦月形通道在太阳能空调系统中的

- 强化传热研究[J]. 制冷学报, 2003(1): 18-22.
WANG Qiang, ZHANG Xiao-yan, WU Yu-yuan. Study of the intensified heat transfer of arched passages in a solar energy air conditioning system [J]. Journal of Refrigeration, 2003(1): 18-22.
- [3] 王汝金, 刘道平, 薛相美, 等. 单压吸收式 Einstein 循环制冷机中气泡泵参数的设计确定[J]. 流体机械, 2008, 36(1): 62-65.
WANG Ru-jin, LIU Dao-ping, XUE Xiang-mei, et al. Design determination of the parameters of a bubble pump in a single pressure absorption type Einstein circulating refrigeration machine [J]. Fluid Machinery, 2008, 36(1): 62-65.
- [4] 王 艺, 吴裕远. 小型太阳能无泵溴化锂制冷机的试验研究[J]. 制冷与空调, 2007, 7(2): 76-79.
WANG Yi, WU Yu-yuan. Experimental study of a small-sized solar energy pump-free lithium bromide refrigeration machine [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2007, 7(2): 76-79.
- [5] WHITE S. Bubble pump design and performance [D]. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2001.
- [6] 王剑锋, 高广春, 陈光明. 低品位不稳定热源驱动的吸收制冷循环研究[J]. 低温工程, 1999, 2(108): 34-38.
WANG Jian-feng, GAO Guang-chun, CHEN Guang-ming. Study of a low quality absorption refrigeration cycle driven by an unsteady heat source [J]. Cryogenic Engineering, 1999(108): 34-38.
- [7] 周永红. 小型太阳能气泡泵吸收式制冷机研究[J]. 制冷与空调, 2005(2): 42-45.
ZHOU Yong-hong. Study of a small-sized solar energy bubble pump absorption type refrigeration machine [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2005(2): 42-45.
- [8] 宋玫瑰, 刘道平, 黄文件. 单压吸收式制冷技术的发展[J]. 暖通空调, 2005, 35(3): 31-35.
SONG Mei-feng, LIU Dao-ping, HUANG Wen-jian. Development of the single pressure absorption type refrigeration technology [J]. Heating, Ventilation and Air-conditioning, 2005, 35(3): 31-35.
- [9] 阎昌琪. 气液两相流[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2007.
YAN Chang-qi. Two phase flow [M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2007.



新技术、新工艺

浓缩光伏太阳能发电技术(2011-X-008)

目前, 太阳能发电技术主要有: 硅晶片太阳能光伏发电技术(Crystalline Photovoltaic), 薄膜光伏太阳能发电技术(Thin Film Photovoltaic), 集中太阳能热电技术(Concentrated Thermal Solar or Concentrated Solar Power, CSP); 浓缩光伏太阳能发电技术(Concentrated Photovoltaic, CPV) 4 种方式。

浓缩光伏太阳能发电技术具有以下优势:

- (1) 当太阳光照增加时, 发电效率不会降低;
- (2) 建造成本和反光镜成本比集中太阳能热电技术低;
- (3) 发电成本比平板硅晶片太阳能光伏发电技术低;
- (4) 可以并行式分布, 既可降低成本, 又可增加电压;
- (5) 太阳能转换效率最高, 薄膜光伏太阳能发电技术只有 10%, 标准的硅晶片太阳能转换效率为 19%, 而浓缩光伏太阳能发电技术的太阳能转换效率可达 45%。先进浓缩光伏太阳能发电技术, 在聚光时采用凹透镜, 并且在光通道中间放置一反光镜, 以进一步增加光的集中度。

该聚光镜具有以下优点:

- (1) 超薄, 最薄可至 1 英寸;
- (2) 不需要光学校直, 因为聚光镜的前面放有一平面反光镜;
- (3) 制造成本低;
- (4) 可大规模生产;
- (5) 可校正颜色和球形偏差;
- (6) 可做到二次聚焦;
- (7) 聚光效率高达 1500 倍。

但它也有反光镜的阴影有点高、太阳光多了两次反射的缺点。

(需要者请与编辑部联系)

other algorithms, the method under discussion takes a short time for testing and needs only 0.022 seconds, thus more suitable for on-line diagnosis. **Key words:** centrifugal pump, fault diagnosis, lifting wavelet package, relevant vector machine

Einstein 循环制冷机导流式气泡泵的性能研究 = **Study of the Performance of a Flow Guided Bubble Pump Destined for Einstein Cycle Refrigerators** [刊,汉] PING Ya-qin, LIU Dao-ping, CHEN Sheng-xiang, et al(Refrigeration Technology Research Institute, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(6) . - 743 ~ 746

In the light of such demerits of a bubble pump as low in efficiency and incapable of effectively utilizing low quality unsteady heat source etc. , presented was a flow guided bubble pump with its lifting performance being experimentally studied. Under a given operation condition, the influence of various heating powers and immersion ratios on the liquid lifting quantity was also investigated. The test curves were given and compared with those of the traditional bubble pumps. The test results show that when the diameter of the lifting tube is 16 mm and the immersion ratio is 0.4, the startup power of the flow guided bubble pump can decrease by 100 W and the lifting efficiency can increase by 13% , proving that flow guided bubble pumps are characterized by such remarkable features as a low startup power, high efficiency and energy-saving etc. The analytic results are of major significance for enhancing the efficiency of a bubble pump and the performance of an Einstein cycle refrigerator. **Key words:** flow guided bubble pump, low quality heat source, liquid lifting quantity

粒子群优化算法及其在发电机组调速系统参数辨识中的应用 = **Particle Colony Algorithm and Its Application in Discriminating Parameters of a Speed Regulation System of a Generator Unit** [刊,汉] LI Yang-hai, WANG Kun, HUANG Shu-hong, et al(College of Energy Source and Power Engineering, Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(6) . - 747 ~ 750

Accurate and reliable model parameters of a speed regulation system of a generator unit are most important for analyzing the stability of its electric power system. As the requirements for test conditions are relatively rigorous when the conventional discrimination methods (such as least square method) are used to discriminate the parameters of a model, so it is very difficult to identify the parameters existing in a large quantity of a nonlinear link of a speed regulation system. The authors introduced a particle colony algorithm, which is now the hot research point, into the identification process of model parameters of the speed regulation system of a power generator unit. The research results show that when using the particle colony theory to discriminate model parameters, it can achieve a quick calculation speed and an accurate and reliable discrimination result and solve very well the intractable technical problems in identifying parameters of a nonlinear link of a speed regulation system. In the meantime, the algorithm enjoys a good universality and through a user definition of the model, it can be used for discriminating the parameters of a grey box model, **Key words:** generator unit, speed regulation system, parameter discrimination, Matlab, par-