

进气方式对空气提升泵性能影响的实验研究

赵荣祥, 刘道平, 陈永军, 陆引哲
(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 开展了不同进气方式(上方进气和侧方进气)对于空气提升泵提升性能影响的实验研究。实验以冷态水为介质,通过测量单位时间内的液体提升量,对比分析了在不同沉浸比、不同气体输送量的条件下,不同进气方式对导流式空气提升泵液体提升量的影响。实验结果表明:不管采用何种进气方式,沉浸比越大,液体提升量越大;液体提升量随着进气量的增加先升高后减少,有一个提升极值。在沉浸比为0.5时,气体输送量1-4 L/min时,侧方进气提升量比其它两种方式最高可高出41.45%;气体输送量5-25 L/min时,上方直接进气提升量比其它两种方式最高可高出12.75%;总体而言,上方直接进气方式具有较好的总体提升效果。

关键词: 进气方式;空气提升泵;两相流;沉浸比;气泡泵
冷态实验

中图分类号: TB654; TB61 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.02.011

引言

继 Carl E. Loescher 提出空气提升泵的概念后^[1], Stepanoff 在 1929 年运用热力学理论分析了提升管内管径、沉浸比以及空气-水两者之间比例对空气提升泵性能的影响,但是没有数据来论证此理论的正确性^[2]。1966 年 Zu-koski 开展了提升管管径对于空气提升泵性能影响的研究^[3],研究表明:当管径低于 20 mm 时,垂直弹状流的表面张力对提升泵性能的影响越来越明显。1968 年 Stenning 和 Martin^[4]引入了两相流理论和动量平衡,研究了相对较小管径和较低流量的空气提升泵的提升性能,在假设提升管内流体为一维流动的前提下,对于给定管径,不同沉浸比、不同气体流量下的最大液体提升量。1985 年 Kouremenos 和 Stai-cos 研究了空气提升泵管径为 12 mm、提升管长度范围为 1-3 m^[5],沉浸比在 0.55-0.7 之间变化时,提升管内两相流流型的变化,为了得到最佳的弹状流,设计了一套实验系统。2001 年 Furukawa 和 Fukano 开展了在不同流型下^[6]液体粘度对空气提升泵的性能影响

的实验研究,实验采用了包括水和乙二醇在内的 3 种不同粘度的液体,从实验结果可知,液体粘度对流型的转变有很大影响。郭一令结合实际工程,开展了低扬程空气提升泵性能的实验研究^[7],实验结果表明空气提升泵的提升量与空气流量、淹没深度以及提升高度有关,与空气流量及淹没深度成正比与提升高度成反比。胡东对进气孔数量不同的进气方式进行了研究^[8],得出排液量随着孔的数量 $N=1, 2$ 和 3 变化单调递增,且增幅较大,但整体并不随气孔数量增加呈现单调性,对应 $N=4, \dots, 8$ 的后 6 种进气方式,排液量并无显著差异。

综上所述,已有研究的主要集中在沉浸比、提升管内径、气体输入量、提升管长度、提升工质的粘度、提升高度以及进气口的数量对于空气提升泵提升能力的影响,对于进气方式的研究甚少。由于空气提升泵主要靠气液两相流来输送液体,而进气方式的不同,最终会对提升管内的流型产生影响。为了分析不同进气方式对空气提升泵液体提升能力的影响,本研究就输气末端不同的进气方式对空气提升泵的性能影响进行实验研究,探索空气提升泵的最佳运行方式。

1 实验装置与实验方法

1.1 实验装置

以常温下的水为工质,研究输气末端不同的出气方式对空气提升泵的性能影响,实验装置如图 1 所示。

实验装置主要由输气量为 0-60 L/min 的空气泵,量程为 0-30 L/min 的玻璃转子流量计、圆柱形出气管,内径为 8 mm、高度为 800 mm 的竖直提升管、液位控制器等组成。液体流量用液体称重法测量,由于两相流动的波动性,多次测量取平均值以减少实验误差,测量精度为 0.01 g。提升管使用透明

收稿日期: 2014-05-05; 修订日期: 2014-05-25

基金项目: 上海市教育委员会科研创新项目资助(13ZZ117)

作者简介: 赵荣祥(1989-),男,安徽天长人,上海理工大学硕士研究生

玻璃材质,其余部分为不锈钢材料。

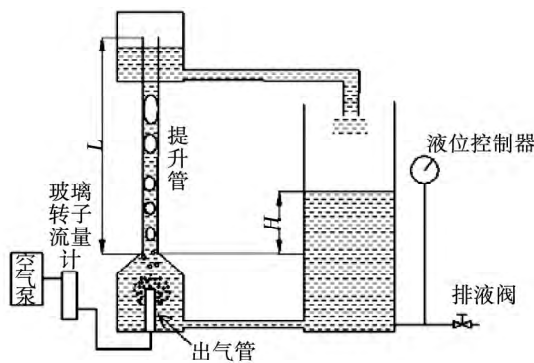


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the test device

图 2 为 3 种不同规格的出气管。管 1 和管 3 为上方送气方式,唯一区别在于管 1 的顶部带有 25 个直径为 2.5 mm 的小圆孔,目的是为了增加气泡的生成量。管 2 为侧方送气方式,上端盖封闭,圆柱体的侧面同样有 25 个直径为 2.5 mm 的小圆孔。

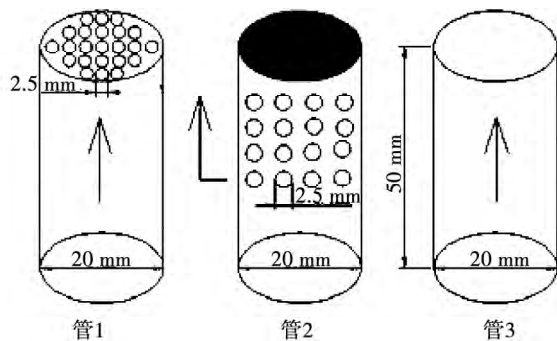


图 2 不同规格的出气管

Fig. 2 Exhaust gas pipe in various specifications

1.2 实验方法

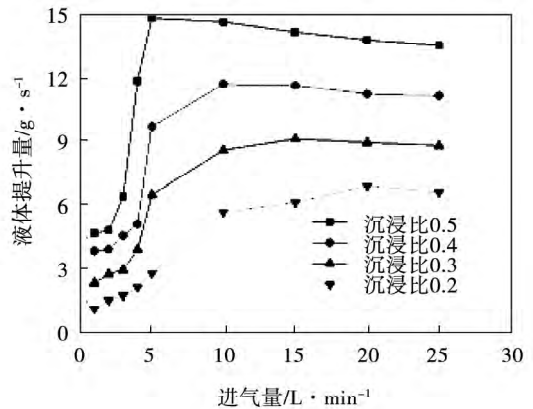
在设定不同的沉浸比、不同的输气量下,采用不同进气方式时,通过流量计测量空气提升泵提升液体的量,来判断不同进气方式空气提升泵提升性能的好坏。沉浸比(H/L)分别取 0.2、0.3、0.4、0.5。为了观察到弹状流下空气提升泵的工作状态,输气量分别取 1、2、3、4、5、10、15、20 和 25 L/min。

2 实验结果与讨论

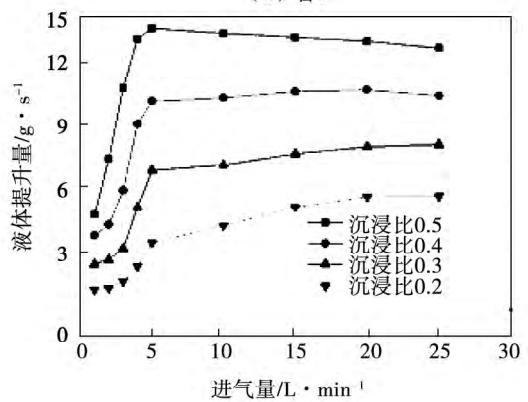
2.1 沉浸比、进气量对于液体提升量的影响

在 3 种不同的进气方式下,沉浸比、输气量对于空气提升泵液体提升量的影响如图 3 所示。从图中可以看出,在 3 种不同进气方式下,在保持其它条件

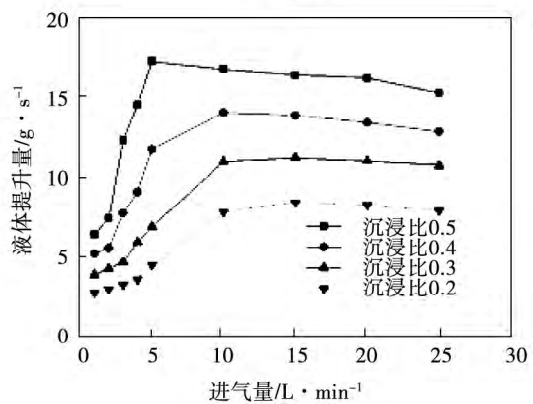
不变的条件下,沉浸比和液体提升量都是呈正相关的关系。以管 1、进气量 5 L/min 为例,当沉浸比在 0.2 - 0.5 之间变化时,液体的提升量分别为 2.79、6.52、9.73 和 14.86 g/s。由于沉浸比的增加,使得空气提升泵的驱动压头增大,故在其它条件保持不变时,液体提升量随着沉浸比的增加不断增大。



(a) 管 1



(b) 管 2



(c) 管 3

图 3 沉浸比、进气量对各管液体提升量的影响

Fig. 3 Influence of the immersing ratio and inlet air flow rate on the quantity of liquid lifted

随着输气量的增大,提升量先增后减。以管 3

为例 在沉浸比为 0.5 的条件下 随着输气量由 1 - 25 L/min 不断变化 液体提升量在 4.97 - 15.84 g/s 之间不断变化 在 5 L/min 时 出现最大值 15.84 g/s。

虽然三者的进气方式不同 但是由于提升原理一样 影响的只是提升的效果 并不影响空气提升泵本身的工作实质。对于整体曲线先增后减 这是由于在低进气量的情况下 在提升管内形成的是泡状流 使得在低进气量下提升量较低。而随着进气量的上升 提升管内气液两相流的流型开始稳定在弹状流状态 此时获得最大的提升量。而当进气量继续增加时 提升管内的气液两相流流型不再处于最佳的弹状流状态 使得提升量下降。

2.2 进气方式对于液体提升量的影响

图 4 比较了在相同的沉浸比、进气量的条件下，不同的进气方式对于空气提升泵的性能影响。不难发现 在不同的沉浸比下 三者性能曲线的关系基本相同：在低沉浸比（0.2、0.3、0.4）、进气量为 1 - 5 L/min 时 侧方出气的提升量较大。以沉浸比 0.3、进气量 5 L/min 为例 管 2 的提升量为 7.06 g/s，管 1 和管 3 的提升量分别为 6.52、5.46 g/s，提升量最大相差 22.61%；在高沉浸比（0.5）、进气量为 5 - 25 L/min 时 上方直接出气的提升量较大。以沉浸比 0.5、进气量 10 L/min 为例 管 3 的提升量为 15.84 g/s，管 1 和管 2 的提升量分别为 14.85、13.82 g/s，提升量最大相差 12.75%。

气体流量较小时 进气的初速度也较低 管 2 的侧方小孔可以产稳定的气泡 气泡向上不断生长 比其它两种方式更加接近弹状流状态(图 5(a) 泡状流向弹状流过渡) 故提升量较大。气体流量较大时 由于管 1 和管 2 的出气孔较小 虽然孔的数量多 对于生成气泡的数量有益 此时产生的气泡受流速的影响 产生的气泡较小 且上升速度过快 产生运输能力较低的泡状流 故提升量偏低 而管 3 能够产生运输效率最大的弹状流(图 5(b)) 提升量最高。对于实验中出现的在沉浸比 0.5 时 上方直接出气方式的液体提升量在进气量为 5 mL/min 时超过侧方出气方式 而沉浸比在 0.3 时 上方直接出气方式的液体提升量在进气量为 7 L/min 时 才超过侧方出气方式。说明随着沉浸比的增加 整个系统流动压头发生了变化 对各种进气方式的液体提升量也产生了影响。

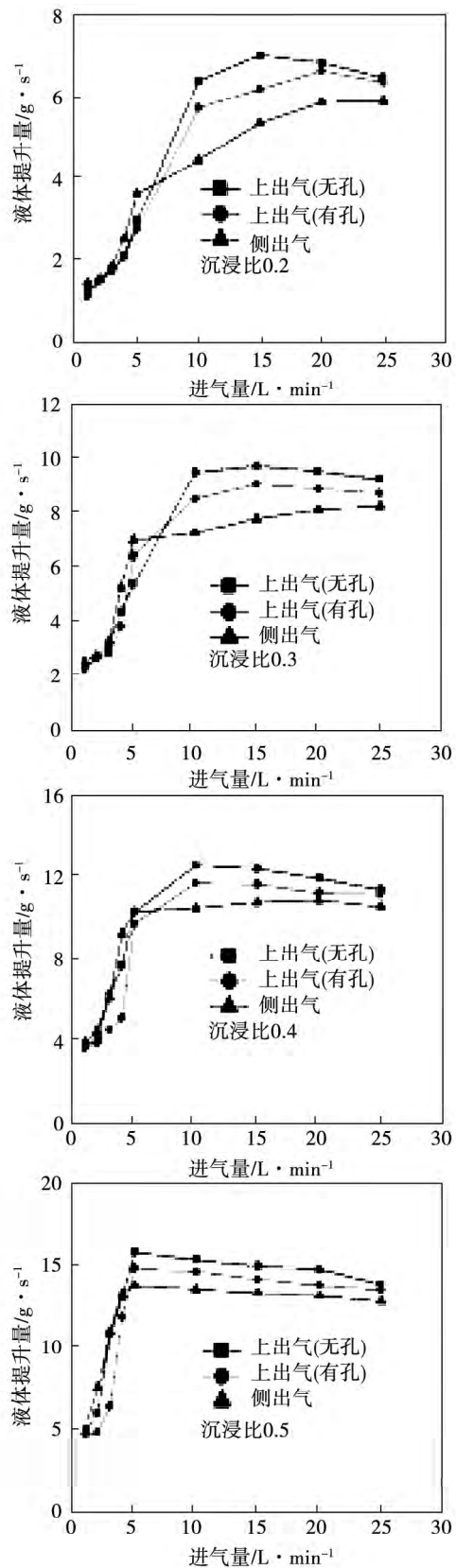


图 4 进气方式对于液体提升量的影响
Fig. 4 Influence of the air admission mode on the quantity of liquid

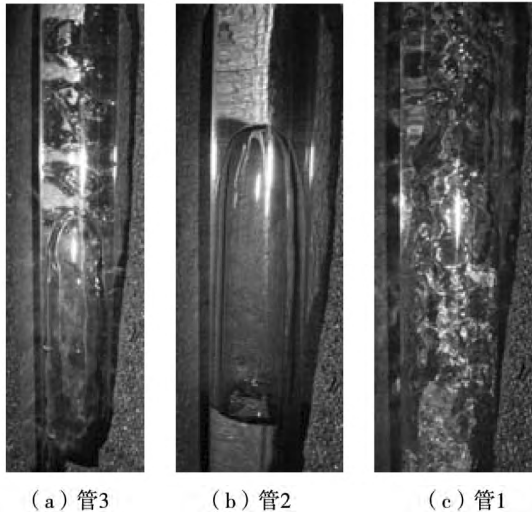


图 5 实验过程中的两相流流型

Fig. 5 Two-phase flow patterns during the test

3 结 论

为研究输气末端不同的出气方式对空气提升泵的性能影响,搭建了空气提升泵的实验系统,对进气量 1-25 L/min、沉浸比 0.2-0.5、不同进气方式的空气提升泵进行实验,得出了相关的性能曲线,为空气提升泵的优化应用提供了实验基础。

(1) 不同的进气方式对于空气提升泵的提升效果影响显著。在实验研究的不同沉浸比下,低进气量(1-5 L/min)时,采用管 2 的侧方进气方式对空气提升泵的性能有着显著提高。在高进气量(5-25 L/min)时,采用管 3 的直接进气方式对空气提升泵的性能有着显著提高。总体来说,无孔上出气方式(管 3)较其它方式的总体效果更好。

(2) 沉浸比的增加有利于提高提升量。同时,为达到某一提升量时,进气量的需求也较小。空气提升泵的提升量随着进气量的不断增加,先增后减,

会有一个最大提升量值。

(3) 综合实验结果,采用上方出气方式的效果最好。最佳进气方式的确定,有利于空气提升泵在类似于小型污水处理系统中的应用,在提高提升量的同时,也可以起到节能效果。

参考文献:

- [1] 宇佐美毅(日),张国昌(译). 利用空气提升泵输送颗粒物料[M]. 配管技术 1987,11: 131-136.
Written by Takeshi Usami, translated by ZHANG Guo-chang. Transmission of particle materials by using an air lift pump[M]. Piping Technology, 1987, 11: 131-136.
- [2] Stepanoff, A. J. Thermodynamic theory of the air lift pump[J]. ASME Transactions, 1929(51): 49-55.
- [3] Zukoski E. E. Influence of viscosity, surface tension and inclination angle on motion of long bubbles in closed tubes[J]. Fluid Mech. 1966(20): 821-832.
- [4] Stenning A. H., Martin C. B. An analytical and experimental study of air lift pump performance[J]. Journal Engineering for Power Trans. 1968(90): 106-110.
- [5] Kouremenos D. A., Staicos J. Performance of a small air lift pump[J]. International journal of Heat and Fluid Flow, 1985, 6(3): 217-222.
- [6] Furukawa T., Fukano T. Effects of liquid viscosity on flow patterns in vertical upward gas-liquid two-phase flow[J]. Int. J. Multiphase Flow 27, 2001: 1109-1126.
- [7] 郭一令,周五一,苏艳芝,等. 低扬程空气提升泵的工作特性[J]. 青岛理工大学学报, 2013(3): 71-74.
GUO Yi-ling, ZHOU Wu-yi, SU Yan-zhi, et al. Operating characteristics of a low-lift air lift pump[J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology, 2013, 03: 71-74.
- [8] 胡东,唐川林,张凤华,等. 进气方式增强气力提升作用的研究[J]. 水动力学研究与进展 A 辑, 2012(4): 456-463.
HU Dong, TANG Chuan-lin, ZHANG Feng-hua, et al. Study of the role played by the air admission mode in enhancing the air lift[J]. Journal of Research and Development in Hydrodynamics, 2012, 04: 456-463.

(丛敏 编辑)

design and through a iterative calculation the flow rate inside the conveying tube of each lifting tubes in the bubble pump was determined and the initial submerging ratio was chosen thus the dimensions of each lifting tube were obtained. According to the operation characteristics of the bubble pump the two-phase flow calculation method and the flow head check and performance formulae the structure of the multiple tube bubble pump was determined: lifting tubes total three diameter of each lifting tube is 20.5 mm their length is 237 mm and the submerging ratio is 0.67.

Key Words: bubble pump pressure drop two-phase flow submerging ratio

进气方式对空气提升泵性能影响的实验研究 = **Experimental Study of the Influence of the Air Admission Mode on the Performance of an Air-lifting Pump** [刊, 汉] ZHAO Rong-xiang, LIU Dao-ping, CHEN Yong-jun, LU Yin-zhe (College of Energy Source and Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(2). - 218 - 221

Experimentally studied was the influence of various air admission modes (top and lateral admission) on the performance of an air lifting pump. With cold-state water serving as the working medium during the test through measuring the amount of liquid lifted in a unit time the influence of various air admission modes on the amount of liquid lifted of a flow guide type air lifting pump was analyzed under the condition of the submerging ratio and the amount of air transmitted being different. The test results show that no matter what kind of air admission mode is adopted, the bigger the submerging ratio the larger the amount of liquid lifted. The amount of liquid lifted will first increase and then decrease with an increase of the amount of air admitted however there will exist an extremum for the lifting. When the submerging ratio is 0.5 and the amount of air transmitted is 1 - 4 L/min the amount of liquid lifted by adopting a lateral admission mode can be higher than that by adopting another admission mode by 41.45% to the most outside. When the amount of air transmitted is 5 - 25 L/min the amount of liquid lifted by adopting the top direct admission mode can be higher than that adopting another mode by 12.75% to the most outside. In general the top direct admission mode can achieve a relatively good overall lifting effectiveness. **Key Words:** air admission mode air lifting pump two-phase flow submerging ratio air bubble pump cold-state test

含湿气体横掠管束的凝结对流传热实验研究 = **Experimental Study of the Condensing Convection Heat Transfer of a Humidified Gas Laterally Sweeping Across a Tube Bundle** [刊, 汉] LI Jun, WU Xin, WANG Shuai, LIU Xuan-yi (Education Ministry Key Laboratory on Energy Source Heat Conversion and Its Process Meas-