

高压气提水泵耗气量与提水量关系试验研究

包艳¹, 李海森², 孙阳^{2,3}, 陆明伟³

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 南京水汇能源科技有限公司, 南京 211800)

摘要:在我国一些偏远地区还存在着结构性缺水的问题,设计出利用河流中本身蕴藏的水力能实现泵水功能的装置,是解决这一问题的途径之一。试验的研究对象是一套提水装置,它可将自然界的低落差水力能转换成高压气体,然后再用产生的高压气体实现将水提到更高扬程的目的。通过对试验数据以及观察到的现象的分析,探究了耗气量与提水量之间的关系,并考虑进气管直径、回水高度、淹没比、泵管外径等因素的影响,得到了耗气量与提水量的相互作用规律,为该装置的实际工程应用提供科学试验依据。

关键词:耗气量; 提水量; 高压空气; 提水泵

中图分类号:TV76

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2018)01-0178-04

Experimental study on the relationship between the gas consumption and the capacity of water delivery of high pressure gas pump

BAO Yan¹, LI Haimiao², SUN Yang^{2,3}, LU Mingwei³

(1. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research

Institute, Nanjing 210098, China; 2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University,

Nanjing 210098, China; 3. Shuihui Energy Technology Co., Ltd, Nanjing 211800, China)

Abstract: There are still problems of structural water shortage in some remote areas of China. One of the ways to solve this problem is to design a device that utilizes the inherent hydraulic power in the river to realize the function of pumping water. The object of the study is a set of water - lifting device that converts natural low - drop hydraulic energy into high - pressure gas and then pump the water to the higher lift with the resulting high - pressure gas. Through the analysis of experimental data and observed phenomena, the relationship between the gas consumption and the capacity of water delivery is explored, and the influence of the factors such as the diameter of the inlet pipe, the height of the returning water, the submerged ratio and the outer diameter of the pump pipe are taken into account, and the law of interaction between gas consumption and water withdrawal is obtained. The experimental conclusion can provide scientific basis for the practical engineering application of the device.

Key words: gas consumption; capacity of water delivery; high pressure gas; water lift pump

1 研究背景

目前我国仍有部分山区居民和耕地存在用水困难的问题,虽然当地水资源丰富,却输送不到需要的地方。同时电网不稳定,利用传统的电泵站很难解决山区供水问题^[1-4]。在自然界和现代工业生产过程中,气液两相流现象随处可见,它与人类的生产和

生活密切相关。在能源动力工程中的锅炉、石油、天然气的输送过程、冶金工程中的溶炼炉、化学工程设备中的各式气-液反应器、生物环境工程中的污水处理过程和造纸过程、水力能发电过程、选矿工程中的浮选过程中都广泛存在气液两相流动^[5-10]。对气液两相流问题,国内外学者在理论分析、数值计算及实验研究等方面开展了一些研究工作。气液两相

收稿日期:2017-07-24; 修回日期:2017-09-25

基金项目:南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放基金项目(2016491611);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014B17414)

作者简介:包艳(1977-),男,内蒙通辽人,博士,副研究员,研究方向为流固耦合及多相流。

流领域开展的试验研究工作主要涉及流型判别和两相流运动特性^[11-14]。近年来,对于气液两相流的研究,除了实验研究外,数值模拟研究也得到了广泛的应用。数值模拟可降低实验研究所需的时间和成本,同时也能获取实验研究不能得到的一些重要信息。另一方面,由于气液两相流动的研究涉及到偏微分方程,求解往往非常困难,而数值模拟技术能有效解决这个问题^[15-17]。通过气液之间的相互作用机制,可以实现气液能量的相互转化,对低水头水力能的应用具有重要的启发意义,国内外在此超低水头水力能应用领域的研究也尚未开展。

2 试验装置

篇幅所限,本文只讨论该装置的第二部分—高压气体提水。高压气提水泵是一种利用高压气体实现提水功能的水泵,图 1 给出了试验装置示意图,装置主要由水源、泵管、进气管、空气压缩机等几部分组成。用空气压缩机产生的高压气体来模拟从自然界水流中搜集到的高压气体。根据连通器原理,水源对进气管与泵管连接处具有回水高度为 T 水柱的压强。当水与进气管提供的气体相遇时,产生气液两相流。由于气体进入泵管后,气液之间发生强烈的掺混,在泵管内导致大量的能量消耗,此时泵管内两相流速度为混合物的流动速度。而试验及工程所需参考的量为纯气量和纯提水量,即由空气压缩机进入进气管的耗气量和泵管出口处分流而得的提水量,即本文将分析的两组变量。探究耗气量与提水量的关系,当在一定回水、需要一定扬程条件下,可根据所需的水量来选择需要提供相应气量,大大地节约能量不致浪费。高压气体的持续输入使得液气混合物密度大大降低,同时,考虑回水高度 T 水柱的静压及高压气体的压强,此时泵管与进气管连接处的压强远远大于泵管出水口处的大气压,形成压强差。且泵管中气体上升速度大于液体,气体在上升过程中对液体微粒具有拖曳力,液体在气体的带动下上升。水在压强差及气体拖曳力的共同作用下,使得水源不断地被泵送到扬程 H 处,从而实现泵水的功能。图 1 中的管道均为 PVC 材质。

3 回水高度对耗气量与提水量关系的影响

将淹没比 ε 定义为回水高度 T 与扬程 H 的比值:

$$\varepsilon = \frac{T}{H} \quad (1)$$

式中:回水高度 T 为输水管液面高度与泵管与进气管连接处高度之差,m;扬程 H 为输水管液面高度以上水泵的提水高度,m。淹没比可以很好地表达回水高度 T 与扬程 H 的关系,为后续试验过程及数据处理提供具有参考性的类比参数。

取泵管外径为 20 mm,探究在不同淹没比的情况下,回水高度对耗气量与提水量关系的影响。试验过程中,在回水高度改变的情况下通过调节进气管输入气体的压强保持试验装置淹没比不变,并令耗气量达到一定值时得到的提水量开始满足本组试验所要求的淹没比时作为初始状态,开始记录试验数据。

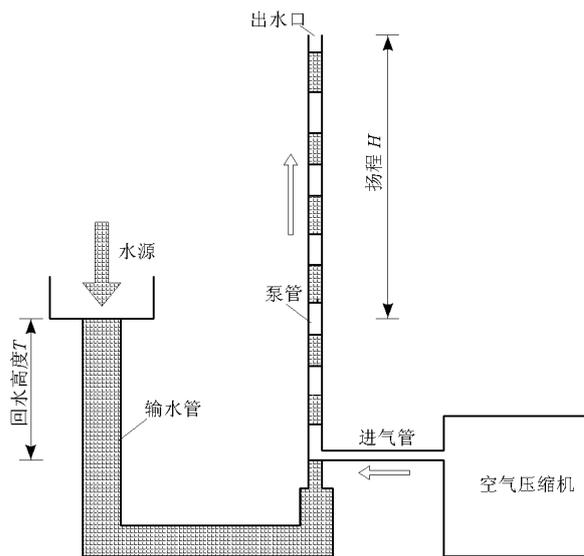


图 1 气压水试验装置图

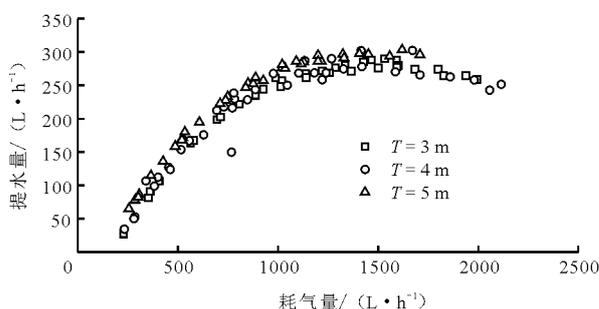


图 2 $\varepsilon = 0.5$ 时不同回水高度耗气量与提水量关系

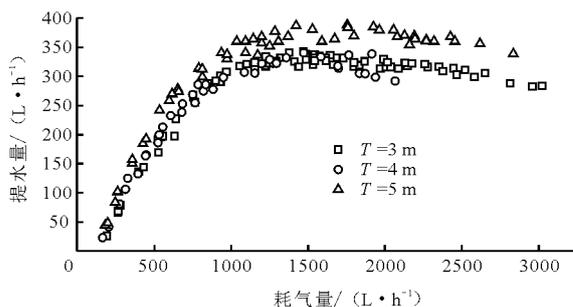


图 3 $\varepsilon = 0.6$ 时不同回水高度耗气量与提水量关系

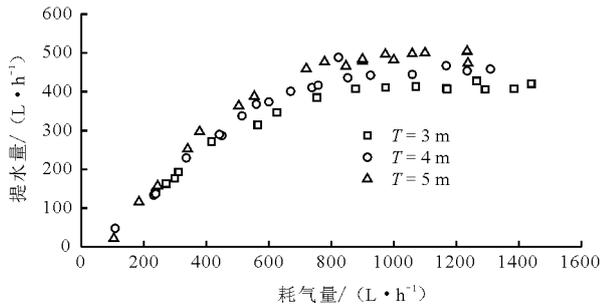


图4 $\varepsilon = 1$ 时不同回水高度耗气量与提水量关系

由图2~4可知,在淹没比一定时, T 分别为3、4、5 m条件下所得耗气量与提水量变化的整体规律相似。当耗气量到达一定范围时,在 T 为3、4、5 m条件下的提水量几乎同时达到峰值。同时,随着淹没比的增大,在回水条件一定的情况下,为满足本组试验所需要的扬程,试验初始状态和提水量达到峰值时所需耗气量减少。如 $T = 5$ m的条件下,淹没比为0.5、0.6、1时的初始状态耗气量分别为257、224、108 L/h,提水量达到峰值时耗气量分别为1620、1443、1123 L/h。这是由于当所需扬程一定时, T 增加使得回水高度处至进气管处之间的压强增大,试验装置提水能力提高,使得在所要求的提水量一定的情况下,耗气量减少。另外还可以看出,在泵管外径、淹没比、耗气量一定的条件下,提水量随回水高度增加而略有增加。从整体看, T 的变化对提水量随耗气量增加而变化的趋势影响有限。

4 进气管直径对耗气量与提水量关系的影响

根据 ε 值将本组试验划分为3组,即在泵管直径为32 mm、 $T = 4$ m条件下, ε 分别为0.5、0.82、1时研究进气管直径变化对耗气量与提水量关系的影响,其结果见图5~7。由以上 ε 与 T 的关系所得结论可知,在同一淹没比下,不同 T 时具有近似的变化规律,即本试验所得数据及结论对其他回水高度条件下的关系仍具有一定参考价值。

由图5~7可知,试验初期提水量随耗气量增加呈线性递增时,进气管直径在3~8 mm范围内变化对耗气量与提水量关系的影响并不明显,即进气管直径在3~8 mm时的数据点组合排列近似为同一条直线,且不同 ε 均满足这一规律。试验中后期,由于耗气量持续增加使截面含气率快速减少,提水量增长速度缓慢。试验装置处于此阶段时能耗增大、提水效率已过峰值并开始呈现下降的趋势。同时泵管内由于气体掺入量过大,使得此时的气液两相流处于极不稳定状

态,故所采集的数据点分布较为散乱,离散性较大,进气管直径变化的影响规律不明显。

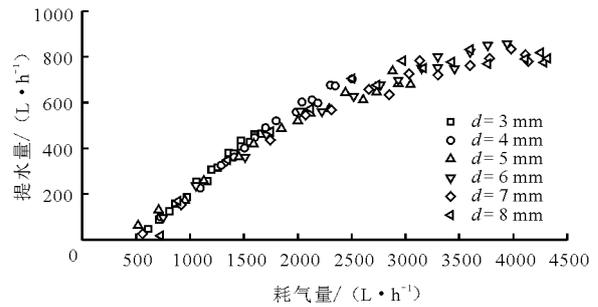


图5 $\varepsilon = 0.5$ 时进气管直径改变对耗气量与提水量关系的影响

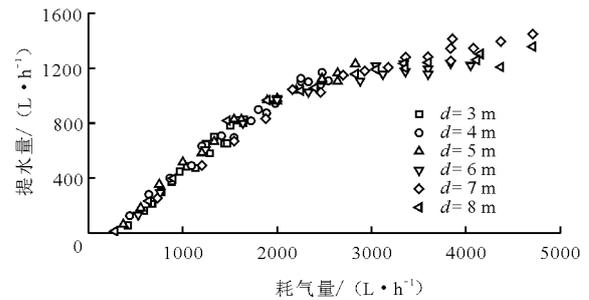


图6 $\varepsilon = 0.82$ 时进气管直径改变对耗气量与提水量关系的影响

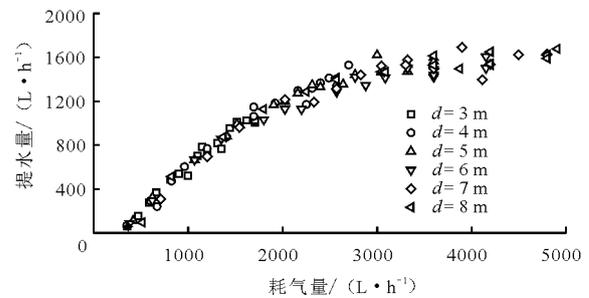


图7 $\varepsilon = 1$ 时进气管直径改变对耗气量与提水量关系的影响

5 结论

(1) 回水高度相同时,试验初始状态和提水量达到峰值时所需耗气量随着淹没比的增大而减少。当扬程确定后,回水高度增加使得回水高度处至进气管处之间的压强增大,试验装置提水能力提高,相同提水量情况下所需的耗气量减少。从整体看,回水高度的变化对提水量随耗气量增加而变化的趋势影响微弱。在今后研究中,可以以一定淹没比、一定回水高度作为条件,探究各个试验变量之间的关系,从而推出在同一淹没比、其他回水高度下相应的变量关系。

(2) 在不同淹没比条件下,试验初期提水量随耗气量增加呈线性递增时,进气管直径在3~8 mm时的数据点组合排列近似为同一条直线。试验中后

期,由于耗气量持续增加使截面含气率快速减少,提水量增长速度缓慢。此时所测数据点呈现分布散乱、离散型较大的特征,进气管直径变化的影响规律不明显。

(3) 在不同淹没比下的试验得出的提水量随耗气量变化的趋势相似,初始状态耗气量随淹没比的减小而增大。在耗气量一定的前提下,提水量随着淹没比的增加而增加。

(4) 在同一淹没比、同一回水高度条件下,初始状态和提水量达到峰值时所需耗气量随着泵管外径的增加而增大。

(5) 应进一步开展高压气提水泵泵水效率影响因素的系统性试验研究,确定该套装置的关键参数对泵水效率的影响规律,为提水泵在实际工程应用时的系统参数选取提供试验依据。

参考文献:

- [1] 周玉玺,葛颜祥,周霞. 我国水资源[J]. 自然资源学报, 2015,30(1):65-77.
- [2] 郝艳飞. 我国水资源短缺现状及节水措施[J]. 水利科技与经济,2011,17(10):65-67.
- [3] 陈灿平. 我国水资源问题的成因分析和对策研究[J]. 西南民族大学学报(人文社科版),2014,35(6):141-144.
- [4] 胡德胜. 关于改进我国水资源区分类体系的探讨-基于水资源管理范围演进的视角[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2016,37(4):21-26.
- [5] 梁法春,王栋,杨桂云,等. 气液两相流临界分配特性及相分离控制[J]. 西安交通大学学报,2015,49(1):53-58.
- [6] 王晓升,冯建刚,陈红勋,等. 泵站虹吸式出水管虹吸形成过程气液两相流数值模拟[J]. 农业机械学报,2014,45(5):78-83+29.
- [7] 施红辉,高聚瑞,贾会霞,等. 物体高速出水过程中的空化气液两相流流型研究[J]. 中国科学院大学学报,2016,33(2):271-276.
- [8] 马晓旭,田茂诚,张冠敏,等. 水平管内气液两相流诱导振动的数值研究[J]. 振动与冲击,2016,35(16):204-210.
- [9] 宋红伟,郭海敏,戴家才. 倾斜及水平井气液两相流层流流动模型试验分析[J]. 石油天然气学报,2013,35(6):86-92+7.
- [10] 王国玉,崔震宇,黄彪,等. 孔板通气气液两相流动特性研究[J]. 北京理工大学学报,2017,37(1):42-45.
- [11] SAISORN S, WONGWISES S. An inspection of viscosity model for homogeneous two-phase flow pressure drop prediction in a horizontal circular micro-channel [J]. International Communications in Heat & Mass Transfer,2008,35(7):833-838.
- [12] 张建伟,杨坤涛,宗思光,等. 水中气泡运动特性及测量[J]. 红外技术,2011,33(4):219-225.
- [13] 张金亚,蔡淑杰,朱宏武. 叶片式混输泵入口段气液两相流场可视化试验[J]. 机械工程学报,2015,51(18):184-190.
- [14] 刘柳. 垂直上升管中气泡动力学特性实验研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [15] 鞠花,陈刚,李国栋. 静水中气泡上升运动特性的数值模拟研究[J]. 西安理工大学学报,2011,27(3):344-349.
- [16] 赵艳明. 竖直矩形窄流道内气液两相流流动特性的数值模拟研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.
- [17] 王含. 气泡行为的数值研究[D]. 上海:复旦大学,2010.

喜 讯

《水资源与水工程学报》被中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database,简称CSCD)收录为2017-2018年度来源期刊。2017年又被中国科学评价中心(RCCE)、武汉大学图书馆和中国科教评价网联合完成的第五版《中国学术期刊评价报告(2017-2018)》评价为A类核心期刊。