

喷射气举的实验研究

杜 鹏, 唐川林, 胡 东, 何湘桂

(湖南工业大学 水射流研究所, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 设计出新型气举结构——喷射气举, 选用精筛选的河沙(粒径1~3 mm)作为提升对象, 实验研究了喷射气举的扬水能力、扬沙能力和扬沙效率。实验结果表明: 喷射气举可有效提升固体颗粒, 影响喷射气举扬沙能力和效率的主要因素是进气量和浸入率, 存在最优进气量使扬沙量最大, 浸入率越高扬沙能力越强。

关键词: 气举; 效率; 浸入率; 进气量

中图分类号: TD432

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)04-0054-04

An Experimental Study on Jet Air-Lift Pump

Du Peng, Tang Chuanlin, Hu Dong, He Xianggui

(Research Institute of Water Jet, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Designs a new type of air-lift pump (gas-injection pump). With riversand (diameter 1~3 mm) as the work object, makes an experimental study on gas-injection pump from lifting water capacity, lifting solid particles capacity and efficiency of lifting solid particles. The experiment shows that gas-injection pump can lift solid particles effectively and the main factors affecting the capacity are the submergence ratio and the flow rate of air supplied: there exists an optimal value of air supply which makes the flow rate of solid particles biggest and the more the submergence ratio, the stronger lifting solid particles capacity.

Keywords: air-lift pump; efficiency; submergence ratio; flow rate of air supply

0 引言

气举 (airlift pump, 也称气力提升泵) 是以压缩空气为工作介质, 来抽吸和压送液体或浆体的流体输送机械^[1]。与其他种类的泵相比, 气举泵的机械结构较简单, 它没有运动部件, 不会出现润滑或磨损的问题, 因此, 从理论上讲, 气举泵有较高的可靠性, 设备维护费用较低。在化工行业中, 气举泵可用来提升腐蚀性或有毒性的物质; 在矿物开采工程中, 可用来运输泥浆类物质; 在深海采矿中, 可运输深度达4 000~6 000 m的锰结核; 在江河、湖泊、港

口等水下开挖和清淤工程以及桥梁混凝土灌注桩施工的清孔工程中, 具有明显的技术经济优势和应用潜力。

在海洋矿物开采中, 这种气力提升泵和普通泵相比有较多优点。用常规泵提升时, 在进气口可能会产生空化效应 (液体中空泡溃灭时产生的空蚀、噪声、振动和发光等现象。空化噪声是一种很强的水动力噪声, 在有关工程中应尽量避免)。而气举泵不会产生空化效应, 气举的动力部分可安装在采矿船的甲板上^[2]。

影响气举装置效率的因素较多, 现有的研究大

收稿日期: 2011-04-01

作者简介: 杜 鹏 (1987-), 男, 山东临沂人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为高效射流理论及应用,

E-mail: 303365620@qq.com

多集中在影响气举装置的参数方面^[2-3], 这些参数主要有:

1) 浸入率。在气举装置的设计中, 浸入率(进气口到液面的距离和进气口到提升管顶端的距离之比)是非常重要的因素。

2) 工作流体流量。

3) 固体颗粒自身的特性。如粒径、密度等。

传统气举装置的效率较低, 如何设计出新型气举结构提高工作效率, 是学者们将要研究的方向。

1 气举工作原理

气举装置主要由空气压缩机、气体喷射装置和提升管构成, 其提升原理如图1。压缩空气经进气口射入提升管, 在提升管内, 由于气流与液体的冲击, 形成很多气泡, 在浮力作用下, 气泡沿着垂直管向上运动, 在上浮过程中, 气泡会发生聚结, 当聚结到其横截面积约等于管道截面积时, 气泡开始破裂, 大气泡分裂成许多小气泡, 小气泡向上运动时, 又重复上述过程。因此, 在管道提升过程中, 液体和大气泡交替出现, 气泡的这种运动导致了流体在管道内的上升运动。由此可见, 气泡的运动是液体被提升的源动力, 当液体被提升后, 沉积到底部的固体颗粒受到运动流体的摩擦力(又称拖曳力)和自身重力作用, 当摩擦力大于固体颗粒的重力时, 固体颗粒就被提升上去^[4]。

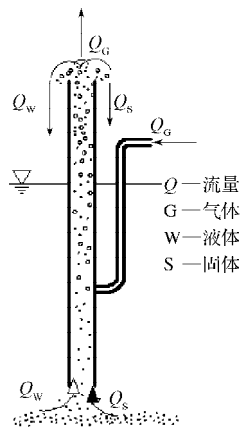


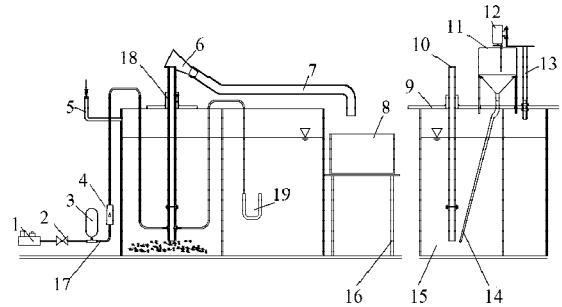
图1 气举工作原理

Fig. 1 The operating principle of the air-lift pump

2 气举提升实验

实验选取不规则固体颗粒(精筛选的河沙), 平均粒径 1~3 mm, 密度 $2.05 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; 采用沙箱供沙; 提升管长度 1.1 m, 内径 40 mm。根据实验室条件并结合工程实际, 设计了一套小型气举提升装置, 如图2。

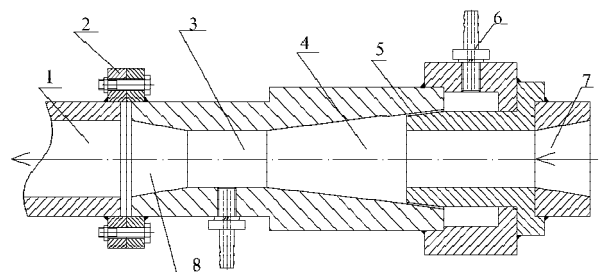
为提高气举扬沙能力, 本实验设计一种新型气举结构(喷射气举), 并进行实验。此结构为环形射流泵形式, 如图3所示。



1—空气压缩机; 2—调压阀; 3—储能器; 4—气体流量计; 5—进水管; 6—存储箱; 7—固液输送管; 8—集水槽; 9—固定钢板; 10—气举提升管; 11—供沙箱; 12—搅拌电机; 13—电机支架; 14—固体输送管; 15—多功能水箱; 16—集水槽支架; 17—配气管; 18—提升管固定套管; 19—U型压力计。

图2 气举装置示意图

Fig. 2 The sketch map of air-lift equipment



1—输送管; 2—法兰; 3—喉管; 4—混合室; 5—环形缝隙; 6—气管接头; 7—吸入管; 8—扩散管。

图3 喷射气举结构

Fig. 3 The structure of jet pump

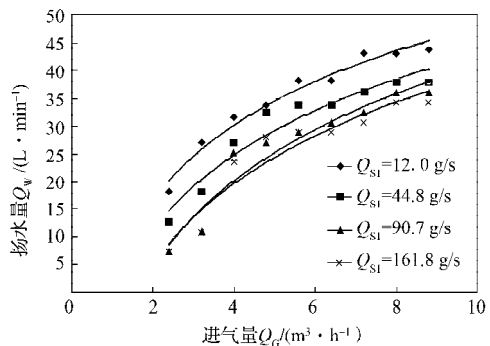
空气压缩机通过配气管与气管接头6连接, 喷射气举工作原理为: 压缩气体经气管接头6进入环形缝隙5, 由于压缩空气经环形缝隙喷出后形成局部真空, 在大气压作用下, 固液混合物经吸入管7进入混合室4, 与压缩空气进行能量交换, 然后进入喉管3, 实现气体、液体、固体的充分混合, 随后进入扩散管8, 实现混合物由动能向压力能的转化, 最后经输送管1到达指定输送地点^[5]。

3 实验结果及数据分析

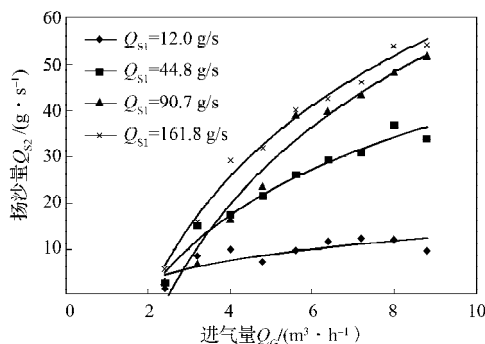
3.1 供沙量及进气量对扬水量和扬沙量的影响

供沙量对气举提升的效果有直接影响, 存在最优进气量 Q_{G0} 使供沙量 Q_{S1} 和扬沙量 Q_{S2} 相等, 即输入的固体颗粒刚好全部输出。若进气量 $Q_G < Q_{G0}$, 则会出现“供大于求”的情况, 若持续进行供沙, 则气举吸头下部的固体颗粒产生堆积, 可能堵塞气举提升管; 若进气量 $Q_G > Q_{G0}$, 则会出现“供不应求”的情况, 输入固体颗粒全部输出, 若进气量过大, 扬水量增加, 固体颗粒浓度和扬沙效率下降。

实验中,选取出口直径分别为5,10,15和20 mm的供沙箱进行供沙,对应固体颗粒质量流量分别为12.0, 44.8,90.7和161.8,浸入率 $\lambda=0.62$ 时,对扬水量,扬沙量进行测量,实验结果如图4所示。



a) 扬水量与进气量的关系



b) 扬沙量与进气量的关系

图4 不同供沙量下扬水量和扬沙量与进气量的关系

Fig. 4 Relationship between water output, solid output and air input in different condition of solid input

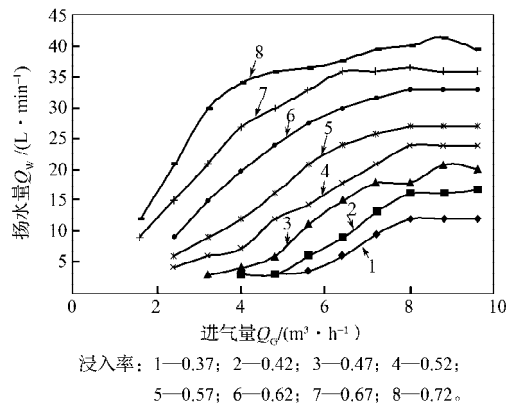
由图a)中扬水量和进气量的关系曲线可知,扬水量随进气量的增大呈指数关系增大,当进气量为 $8.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,扬水量达到最大。根据理论和前人的实验可知^[3],若进气量继续增大,扬水量反而会呈下降趋势,特性曲线为二次曲线,并非图中的指数曲线。供沙量越大,扬水量越小,由于提升管横截面积恒定,提升管内固相体积所占比例增大,相应液相体积比例减小。

由图b)中扬沙量和进气量的关系曲线可知,扬沙量随进气量的增大而增大。但在供沙量 $Q_{s1}=12 \text{ g/s}$ 的情况,当进气量 $Q_G>3.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,扬沙量随进气量的增大并不明显。这表明, $Q_G=3.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,达到供求平衡,增加进气量,受供沙量限制,扬沙量不会再增加。在 $Q_{s1}=90.7 \text{ g/s}$ 和 $Q_{s1}=161.8 \text{ g/s}$ 时,扬沙量均远小于供沙量,这说明气举下端形成堆积,管道产生堵塞。因此,后面实验选取 $Q_{s1}=44 \text{ g/s}$ 。

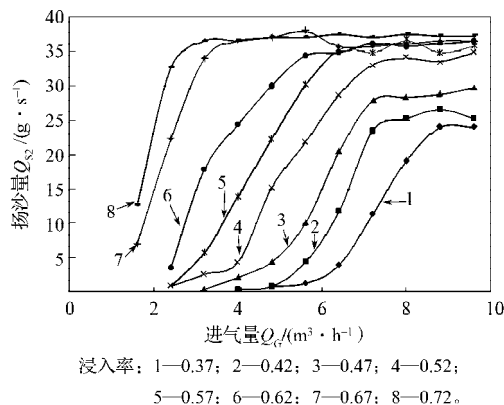
3.2 浸入率及进气量对扬水量和扬沙量的影响

当浸入率 $\lambda=0.37, 0.42, 0.47, 0.52, 0.57, 0.62,$

0.67, 0.72时,进气量对扬水量和扬沙量的影响,如图5所示。



a) 扬水量与进气量的关系



b) 扬沙量与进气量的关系

图5 不同浸入率下扬水量和扬沙量与进气量的关系

Fig. 5 Relationship between water output, solid output and air input in different condition of submergence ratio

由图a)可知,扬水量 Q_w 随进气量的增大而增大,趋于平衡后略有下降趋势;浸入率越高,扬水量越大。喷射气举存在临界进气量,使液体刚好被提升,小于临界进气量,则不能提升液体;浸入率越大,临界进气量越小。不同浸入率下,扬水量存在最大值,对应进气量为 $Q_G=8.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 。当浸入率 $\lambda=0.72$,进气量 $Q_G=8.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,扬水量 Q_w 达到最大值 42 L/min ,进气量 Q_G 继续增大, Q_w 呈下降趋势。以上变化趋势符合流型理论,进气量较小时,提升管内流型为泡状流,对液体的提升能力较差;随着进气量的增加,管中出现适合液体提升的弹状流或搅拌流,此时对液体的提升能力也逐渐加大。

由图b)可知,喷射气举存在临界进气量,使固体颗粒刚好被提升。在进气量较小时,扬沙量 Q_{s2} 随进气量增大而增大,存在最佳进气量,使扬沙量最大,大于最佳进气量时,扬沙量有下降趋势,这是由提升管内流型所决定的。在较高浸入率 $\lambda \geq 0.57$ 下,当进气量为 $8.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,相同供沙量 $Q_{s1}=44 \text{ g/s}$,不

同浸入率下的扬沙量接近同一值 $Q_{s2}=38\text{ g/s}$ 。因为在高浸入率、高进气量下出现“供不应求”的情况,输入的固体颗粒几乎全被提升出来。而 $Q_{s2}<Q_{s1}$,是由客观条件(供沙管路未完全与气举提升管相连)造成的。这是考虑到工程实际中,气举系统工作时,提升管内液体垂直向上运动,由于周围液体的扰动作用,流入气举吸口附近的固体颗粒运动极不规律,小部分固体颗粒可能流向离气举吸头较远的地方,这部分固体受到的拖曳力小于自身重力而沉降下去。

3.3 浸入率及进气量对扬沙效率的影响

扬沙效率

$$\eta = \frac{Q_{s2}}{\mu \rho_G Q_G}$$

式中: Q_{s2} 是输出固体颗粒流量, kg/h;

Q_G 是输入气流量, m^3/h ;

ρ 是输入气体密度, kg/m^3 ;

μ 为修正因子, 取 $\mu=13.954$ 。

为保证数据的准确性, 分析在较低浸入率 $\lambda=0.37, 0.42, 0.47$ 下, 进气量对扬沙效率的影响, 实验结果如图6所示。

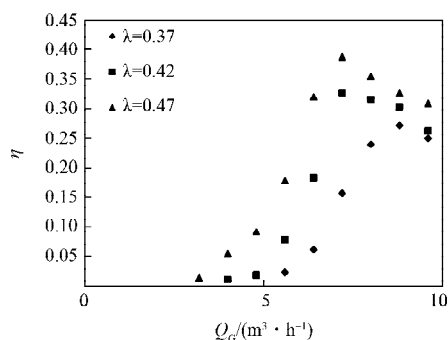


图6 不同浸入率下效率与进气量的关系

Fig. 6 Relationship between the efficiency and air input in different condition of submergence ratio

由图6可知, 不同浸入率下, 存在最佳进气量, 使扬沙效率最大, 但不同浸入率对应的最佳进气量不相同。如 $\lambda=0.37$ 时, 最佳进气量为 $8.8\text{ m}^3/\text{h}$, $\lambda=0.42$ 时, 最佳进气量为 $7.2\text{ m}^3/\text{h}$ 。可见, 浸入率越高, 扬沙效率更易达到峰值; 浸入率越高, 扬沙效率越高。

4 结语

1) 浸入率对喷射气举装置的扬沙和扬水能力有重要影响, 浸入率越高, 扬水量、扬沙量和扬沙效率越大。在较高浸入率下, 扬沙量在进气量较小时可达最大值。

2) 存在最优进气量, 使喷射气举扬水量、扬沙量和效率达到最高, 大于最优进气量, 扬水量和扬沙量有下降趋势。存在临界进气量, 大于此临界进气量, 固体和液体才能被提升, 扬沙临界进气量大于扬水临界进气量。

3) 新型气举结构——喷射气举可有效提升固体颗粒, 提升能力高于传统气举。

参考文献:

- [1] Hatta N, Omodaka M, Nakajima F, et al. Predictable Model for Characteristics of One Dimensional Solid-Gas-Liquid Three-Phase Mixtures Flow along a Vertical Pipeline with an Abrupt Enlargement in Diameter[J]. Journal of Fluids Engineering, 1999, 121(2): 330-342.
- [2] Kassab S Z, Kandil H A, Warda H A, et al. Experimental and Analytical Investigations of Airlift Pumps Operating in Three-Phase Flow[J]. Chemical Engineering Journal, 2007, 131(1/2/3): 273-281.
- [3] Kato H, Miyazawa T, Tiyama S, et al. A Study of an Air-Lift Pump for Solid Particles[J]. Bull JSME, 1975, 18, 286-294.
- [4] 胡东. 气举提升装置的理论分析和实验研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2007.
Hu Dong. The Theoretical Analysis and Experimental Study on an Air-Lift Device[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2007.
- [5] 裴江红. 气举装置的理论及试验分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
Pei Jianghong. The Theory and Experimental Analyses on the Airlift[D]. Chongqing: Chongqing University, 2005.

(责任编辑: 邓光辉)