

盐析液固两相流对化工泵性能的影响

刘 栋, 杨敏官, 董 祥, 王 群

(江苏大学 能源与动力工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 为解决卤水输送过程中普遍存在的盐析现象, 减少由于盐析物质堵塞泵的内部流道而给相关工业生产带来的不良后果, 采用卤水中常见的硫酸钠作为溶质, 利用动态盐析实验台测量了不同流速、不同温度下的延迟时间, 研究了延迟时间随着流速和温度的变化规律。结果显示: 初始温度降低, 延迟时间缩短; 流速小于 1 m/s 时, 延迟时间随速度增加而增加; 流速大于 1 m/s 时, 延迟时间变化不明显。研究了化工泵的性能随着盐析过程发生的变化, 分析了扬程、功率以及效率随系统运行时间的变化规律, 并运用晶体动力学和两相流体力学理论对相关结果进行了检验。

关键词: 化工泵; 盐析; 液固两相流; 硫酸钠溶液; 晶体生长动力学

中图分类号: TH311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-6254(2008)04-0061-04

Influence of salt-out liquid-solid two phase flow on chemical pump performance

LIU Dong, YANG Min-guan, DONG Xiang, WANG Qun

(School of Energy and Power Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: In order to solve the salt-out problem which is common in the bittern transferring process, and reduce the clogging problem in the chemical pump which will deteriorate the daily production, sodium sulfate which commonly exists in bittern is used as solute, the delay times under different flow rates and temperatures are measured, and the relations among delay time, flow rates and temperature are studied. The results of the experiment indicate that the delay time becomes shorter as initial temperature decreases. For the flow rate below 1 m/s, the delay time increases with the increase of flow rate. However for the flow rate exceeding 1 m/s, the delay time does not change obviously. Performances of chemical pump under different salt-out processes are also studied; relations among time, head and power are analyzed. The results are proved by the theories of crystal growth kinetics and two-phase hydrodynamics.

Key words: chemical pump; salt-out; liquid-solid two phase flow; sodium sulfate solution; crystal growth kinetics

在造纸工业碱回收工艺流程中, 由于盐溶液输送管道较长, 使得溶液的温度降低而形成较大的过饱和度, 导致输送过程中析出大量晶核^[1]。根据传统的晶体生长动力学理论, 一方面, 晶核部分二次溶解到溶液中, 部分晶核随着溶液的输运, 在过流通道

中长大形成大量的晶体颗粒, 悬浮于溶液中, 当晶体颗粒群的重力大于颗粒群阻力的时候, 产生重力沉降, 因而形成盐析; 另一方面部分晶核直接吸附于过流通道的壁面四周, 使得壁面粗糙度增加, 加速了晶体的吸附。

收稿日期: 2008-03-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50776040); 国家自然科学基金资助项目(50476068)

作者简介: 刘 栋(1981—), 男, 江苏泰州人, 博士(liudong@ujs.edu.cn), 主要从事流体机械性能及内部流动分析研究。

杨敏官(1952—), 男, 江苏常州人, 教授, 博士生导师(mgyang@ujs.edu.cn), 主要从事流体机械性能及内部流动分析研究。

以上盐析现象普遍存在于化工行业中,在盐溶液的输运过程中,一旦发生盐析现象,析出的晶体吸附在泵叶片的表面,导致流道逐渐变小,严重时会将泵的流道全部堵塞.本研究针对以上现象,设计研究化工泵动态盐析特性的实验台,通过改变温度、质量浓度等来考察化工泵性能随着盐析过程的变化情况,得到不同条件下的外特性曲线,为解决盐析问题提供一定的参考.

1 试验装置及流程

1.1 试验装置

试验装置如图1所示.试验中采用IH 65-50型化工离心泵,其设计流量 $25\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 20 m ,泵的进出口均安装了压力传感器,用于监测泵的进出口压力变化,扭矩仪用于测量化工泵的功率及转速,利用电磁流量计来测量试验过程中的流量变化;试验所用管道均为碳素钢管,试验段主管道长度为 1 m ,采用法兰连接,主要考虑为了方便拆装以及清洗管壁盐析层,管道上均匀布置了10个热电偶,测量沿程的温度变化,传热模拟段上均匀布置了8个热敏电阻,利用其采集的温度数据获得盐析层热阻.试验过程的所有温度、压力、流量等信号,均通过数据采集系统输入并保存在计算机中,以便分析盐析过程对泵性能影响.

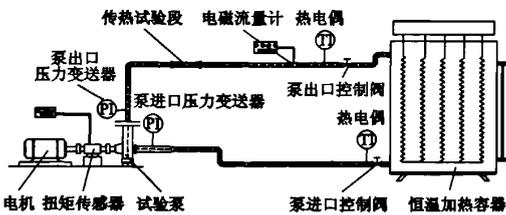


图1 试验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

1.2 试验方法

所有试验段的内表面在试验前用清水冲洗干净,试验中硫酸钠溶液连续使用,首先将工业硫酸钠溶解到水中,用加热电阻对恒温搅拌器内的溶液加热至试验需要温度,并搅拌均匀.由于恒温容器容积较大,经检测在试验过程中,硫酸钠的质量浓度基本保持不变,可忽略由于盐析造成的质量浓度降低.打开泵进口控制阀,根据所需流量调节泵出口控制阀,保持化工泵稳定运行在设计工况下.硫酸钠溶解度由表1给出^[2].

表1 硫酸钠溶解度

Tab. 1 Solubility of sodium sulfate						
$t/^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50	60
溶解度/ (g/100 g水)	9.0	19.4	40.8	48.8	46.7	45.3

2 试验结果及分析

2.1 延迟时间

过饱和溶液中析出晶核从无到有的时间,称为延迟时间^[3-5].系统的延迟时间受溶液温度、流速等因素的综合影响,试验中通过阀门调节化工泵的流量,获得不同流速条件下的延迟时间的变化规律,如图2所示;通过容器中的电阻加热装置调节溶液的温度,并保持流量稳定,获得了不同温度对延迟时间的影响,如图3所示.

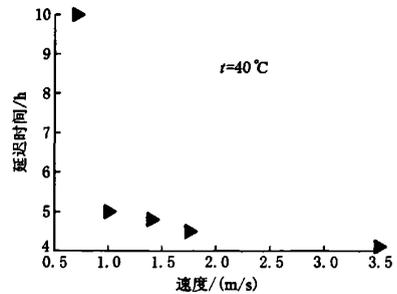


图2 延迟时间随流速变化规律

Fig. 2 Change of delay time under different flow rates

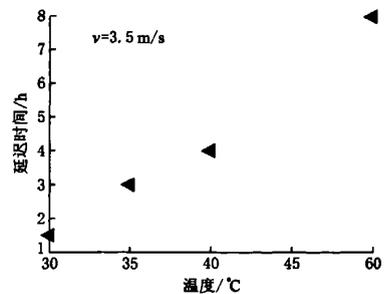


图3 延迟时间随温度变化

Fig. 3 Change of delay time under different temperature

由图2可知,在保持溶液箱中温度为 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 的情况下,当流速小于 1 m/s 时,随着流速的逐渐增大,延迟时间从流速为 0.5 m/s 时的 10 h 迅速减小至流速为 1 m/s 时的 5 h .其降低的主要原因就是在流速小于 1 m/s 的工况下,盐析晶体的成核主要受传质过程控制,流速增加,溶液中离子的传质速率增

大,成核速率随之增大,使得延迟时间明显缩短;在流速大于1 m/s后,随着流速增大,延迟时间缓慢降低,其主要原因就是流体的剪切作用随着流速增加也相应增大,不利于过流通道表面的晶体颗粒的聚集和生长,由于传质和剪切的共同作用^[3],使得流速对延迟时间的影响不再明显。

由图3可知,保持泵的流量稳定在设计工况下,即保持试验管道内的流速 $v = 3.5 \text{ m/s}$ 不变,随着温度的升高,溶液中析出晶核的时间明显变长,其主要原因是硫酸钠具有正向溶解度,即随着温度升高,溶解度增加,使得盐析驱动力变小,增加了延迟时间。

2.2 盐析过程对泵性能影响

利用电阻加热装置将溶液箱中的溶液保持在40℃,该状态下溶液质量浓度为340 g/L,考察化工泵的外特性在盐析晶体生长不同阶段的变化。由图4可以看出,在同一流量下输送溶液时,泵的扬程要比输送清水时低,这一点与数值模拟的结果一致^[6,7];由于溶液的密度以及粘度比同等条件下的清水大,使得系统在输送溶液时的功率比输送清水时要大,化工泵效率有所下降。

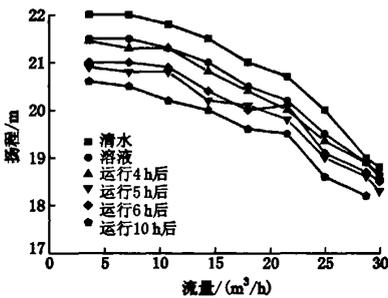


图4 扬程随时间变化
Fig. 4 Head change with time

如图5,图6所示:在系统稳定运行4h后,化工泵的性能才发生变化,由上述延迟时间的分析,本研究认为这4h盐析过程处于延迟阶段,溶液中没有析出大量晶体;在系统运行5h后,化工泵的扬程较前一阶段明显下降,功率显著增加,效率下降;在之后的1h内,化工泵的扬程、功率以及效率基本在一个很小范围内上下波动。初步分析,认为这一阶段溶液中晶体的析出和沉积速度相近,基本保持了溶液中的晶体数量稳定;在系统稳定运行10h后,系统的流量有所下降,其最大流量只有28.8 m³/h,化工泵的效率进一步降低。待停机,拆开试验装置(包括管道和泵),检查发现叶轮的工作面靠近出口处吸附了大量粒径较小的晶体颗粒,背面上吸附了部分大颗粒,叶

轮进口前被堵塞了近1/4左右;在蜗壳流道内,从第一断面到第八断面的流道壁上吸附的晶体颗粒越来越多;系统中的管道内壁上均不同程度地吸附了晶体颗粒,部分弯头和管道连接处有所堵塞,经研究,这些现象均是造成系统流量降低的原因。

设计流量下泵的功率以及效率随着盐析时间的变化如图7所示,可以看出在盐析的整个过程中,化工泵的功率呈逐渐增大的趋势,效率逐渐下降,在系统运行10h后,泵运转所需功率比开机时增加了7.5%,效率降低约5个百分点。

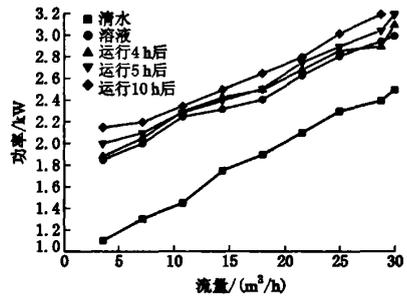


图5 功率随时间变化
Fig. 5 Power change with time

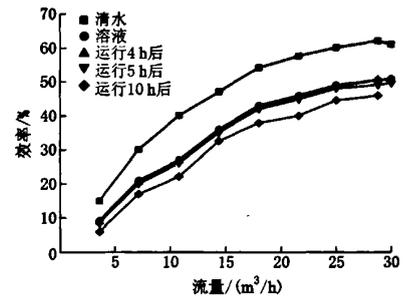


图6 效率随时间变化
Fig. 6 Efficiency change with time

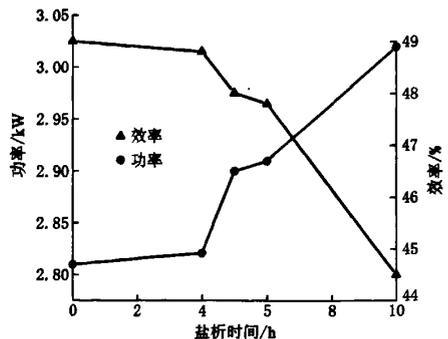


图7 设计流量下功率及效率变化
Fig. 7 Power and efficiency changes under design condition

3 结 论

1) 利用盐析实验台对不同流量、不同温度下的延迟时间作了研究,发现延迟时间随着流量增加,呈先降低后基本保持不变的趋势;随着温度的升高,延迟时间明显增加。

2) 测试化工泵的性能随着盐析过程的变化,发现在延迟阶段化工泵的性能基本保持稳定;在晶体生长阶段,由于大量晶体的出现,导致化工泵的扬程下降,功率增大,效率降低;在系统运行 10 h 后,由于管路和叶轮进口的部分堵塞,使得系统的流量降低,效率降低了约 5 个百分点。

3) 化工泵内部流场随着盐析过程的变化规律有待于作进一步的研究。

参考文献 (References)

- [1] 杨敏官,石玉红,王春林,等. 制浆造纸碱回收流程中结盐机理的初步分析[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2004, 25(4):345-348.
YANG Min-guan, SHI Yu-hong, WANG Chun-lin, et al. Preliminary analysis on the mechanism of crystal in alkali recycling process of pulp and paper manufacture industry[J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2004, 25(4): 345-348. (in Chinese)
- [2] Liley P E. PERRY 化学工程手册(第三篇)[M]. 第 6 版. 朱振东,译. 北京:化学工业出版社,1992:139-136.
- [3] Fahiminia F, Watkinson A P, Epstein N. Investigation of

initial fouling rates of calcium sulfate solutions under non-boiling conditions [C] // 2003 ECI Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Fundamentals and Applications. New Mexico: Berkeley Electronic Press, 2008:31-36.

- [4] Saikhwan P, Gedder T, Augustin W, et al. Effect of surface treatment on cleaning of a model food soil[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2006, 201:943-951.
- [5] Najibi S H, Müller-Steinhagen H, Jamialahmadi M. Calcium sulphate scale formation during subcooled flow boiling[J]. *Chemical Engineering Science*, 1997, 52(8): 1265-1284.
- [6] 王春林,李婷婷,马庆勇,等. 叶片式渣浆泵叶轮中浆体浓度分布数值模拟[J]. 排灌机械,2007,25(2):16-18,29.
WANG Chun-lin, LI Ting-ting, MA Qing-yong, et al. Numerical simulation of the slurry consistence through the impeller of the slurry pump [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2007, 25(2): 16-18, 29. (in Chinese)
- [7] 陈次昌,杨昌明,熊茂涛. 低比转速离心泵叶轮内固液两相流的数值分析[J]. 排灌机械,2006,24(6):1-3.
CHEN Ci-chang, YANG Chang-ming, XIONG Mao-tao. Numerical analysis on two-phase flow through impeller of low-specific-speed centrifugal pump [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2006, 24(6): 1-3. (in Chinese)

(责任编辑 赵 鸥)