

表面活性剂添加对水平管内气液两相流含液率的影响

夏国栋¹ 赵庆国¹ 程伟良² 马重芳¹ 麦维斯³

- (1. 北京工业大学环境与能源工程学院传热强化与过程节能教育部重点实验室,
传热与能源利用北京市重点实验室, 北京 100022;
2. 华北电力大学动力系, 北京 100085;
3. 德国汉诺威大学工艺工程研究所, 汉诺威 30167)

摘要 应用电导断层测量技术研究表面活性剂添加对水平管内气液两相流含液率的影响, 实验工质为空气 / 水、空气 /100 mg/kg 十二烷基硫酸钠 (SDS) 水溶液。结果表明, 空气 / 水气液两相流动在光滑分层流型区, 表面活性剂添加对平均截面含液率基本没有影响。随着液体流速的增加, 空气 / 水气液两相流动进入波状分层流型区域, 添加表面活性剂可以抑制或消除界面波动, 增大平均截面含液率。表面活性剂的添加使弹状流含液率下降, 气液流速较低时这一现象尤为明显。

关键词 表面活性剂; 断层测量; 两相流; 含液率
中图分类号: O359.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2005)04-0628-03

INFLUENCE OF SURFACTANT ON LIQUID HOLD-UP OF GAS-LIQUID TWO-PHASE FLOW IN A HORIZONTAL PIPE

XIA Guo-Dong¹ ZHAO Qing-Guo¹ CHENG Wei-Liang² MA Chong-Fang¹ D Mewes³

- (1. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;
2. Department of Power Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
3. Institute of Process Engineering, University of Hannover, Callinstr. 36, 30167 Hannover, Germany)

Abstract This paper presents investigations on the effect of a surface active agent on the liquid hold-up of gas-liquid two-phase flow in a horizontal pipe using the electrical conductive tomographic technique. Air/water and air/100 mg/kg sodium dodecyl sulphate (with 95% purity grade) aqueous solution are used as working fluids. The results presented a demonstration that the surfactant has no effect on the average liquid hold-up for the air-water stratified smooth flow regime. With increasing the liquid velocity, the stratified wavy flow regime is observed in the air-water flow system. At the moment, the addition of surfactant can suppress or eliminate the interfacial waves and make the liquid hold-up increased. For air-water slug flow, adding surfactant can decrease the liquid hold-up, especially at the lower gas and liquid velocities.

Key words surfactant; tomography; two-phase flow; liquid hold-up

1 前言

含液率是描述气液两相流体相分布的重要参数, 了解含液率对于准确计算两相流体的各种平均参数具有十分重要的意义。众所周知, 表面活性剂的添加可以减小液体的表面张力, 进而影响两相流

体的流动与传热特性。迄今为止, 已有一些学者研究了表面活性剂对气液两相流含液率的影响。Hand 等 (1992)^[1] 研究了直径为 0.0935 m 的水平管内空气 /0.1%(wt/wt)Chemtreat 271 水溶液气液两相流动特性。结果显示, 当气体体积流率为 0.02~0.07

收稿日期: 2004-11-24; 修订日期: 2005-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目资助 (No.50476035); 北京市自然科学基金项目资助 (No.3052004); 北京市教委科技发展项目资助 (No.KM200410005008)

作者简介: 夏国栋 (1965-), 男, 河北景县人, 教授, 博士学位, 主要从事多相流与传热方面的研究。

m^3/s 时, 表面活性剂添加可以增大含液率, 最高可达 30%。文献 [3~5] 研究了表面活性剂对弹状流流动特性的影响, 结果表明表面活性剂添加可以降低流动阻力, 但不影响含液率。Sylvester & Brill^[6] 指出在水平环状流中添加表面活性剂可以降低流动阻力, 但含液率不会发生变化。Spedding & Hand (1997) 对以往的研究结果进行了总结归纳, 指出表面活性剂对含液率的影响与流型密切相关。

本文的目的是研究表面活性剂对水平管内两相流含液率的影响。实验中采用电导断层测量技术测量气液两相流含液率。

2 实验系统和方法

实验是在空气 / 水两相流实验回路上进行的, 详见文献 [7]。瞬时截面含液率测试采用 Mewes 等^[8] 研制的电导断层测量系统。断层传感器由三层平行导线组构成, 每组包含 29 条平行的、直径为 100 μm 的不锈钢导线, 以保证超过 95% 的截面空间为导线相交而成的网格所覆盖。相邻两层导线组的交角为 60° , 相距 3 mm。相邻两条导线间的电导率与线间各相所占比例有关, 对每一层导线, 可以得到 28 个线性无关的测量结果, 三层共计 84 个。采用代数重构法 (ART) 获得相分布信息。在实验中采用空气 / 100 mg/kg、纯度 95% 的十二烷基硫酸钠 (SDS) 水溶液为工作流体, 其表面张力为 0.04 N/m。

3 实验结果与讨论

利用电导断层测量系统, 可以直接测量气液两相流瞬时截面含液率。沿时间方向对瞬时截面含液率进行积分可以得到平均截面含液率。

图 1~图 6 所示为不同流速条件下, 表面活性剂添加气液两相流含液率的影响。结果显示, 表面活性剂对含液率的影响与流型密切相关。在低液体流速区 (液体折算流速 $U_{SL}=0.02 \text{ m/s}$), 如图 1 所示, 水平管内空气 / 水、空气 / 表面活性剂水溶液气液两相流均为光滑分层流型, 此时气体和液体实际上相互独立地流动, 所以表面活性剂对两相流流动特性的影响极小。因此, 在这个区域表面活性剂添加对含液率基本没有影响。随着液体流速的增加 ($U_{SL}=0.05 \text{ m/s}$), 如图 2 所示, 空气 / 水气液两相流动进入波状分层流型区域, 但是部分流动条件下 (例如液体折算流速 $U_{SL}=0.05 \text{ m/s}$, 气体折算流速 $U_{SG}=0.6 \text{ m/s}$), 空气 / 表面活性剂水溶液气液两相流流型为光滑分层流。也就是说, 添加表面活性剂可以抑制或消除界面波动, 从而减小界面切应力, 进而

降低流动阻力、增大含液率。从图 2 中可以看到, 表面活性剂通过改变流型使两相流含液率增大。

随着液体流速的进一步增加, 气液两相流动将进入分层流型向弹状流型转变区域。在该区域, 由于流型不确定, 表面活性剂对气液两相流含液率的影响机理十分复杂。在图 3 给出的流动条件下 ($U_{SL}=0.12 \text{ m/s}$), 气液两相流流型依然处在分层流型区域。因此, 表面活性剂的添加使气液两相流含液率增大。

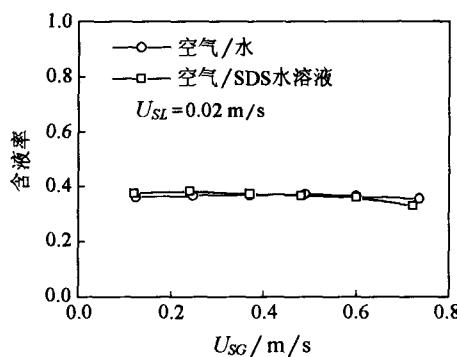


图 1 表面活性剂对平均截面含液率的影响

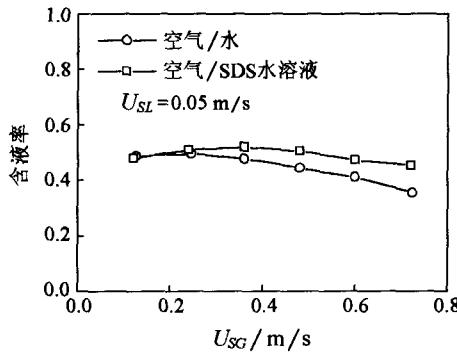


图 2 表面活性剂对平均截面含液率的影响

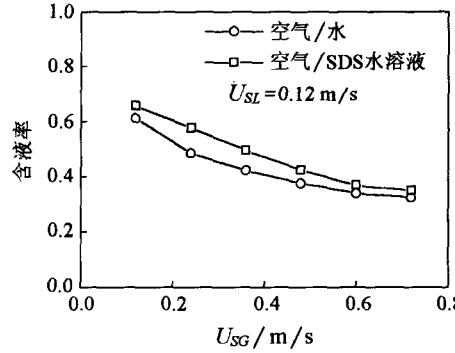


图 3 表面活性剂对平均截面含液率的影响

Greskovich & Shier, Rosehart 等、Otten & Fayed 研究了表面活性剂对弹状流流动特性的影响, 结果表明表面活性剂添加可以降低流动阻力, 但不影响含液率。Spedding & Hand (1997) 也得出相同的实验结果。但是他们特别指出, 由于弹状流本

身的间歇与脉动特征，严重影响了测量结果的精确性。本文用电导断层测量系统测量了空气 / 水、空气 / 表面活性剂水溶液气液两相弹状流的含液率。结果表明，如图 4~ 图 6 所示，表面活性剂的添加使气液两相流含液率下降，气液流速较低时这一现象尤为明显。随着气液流速的增加，表面活性剂对气液两相流含液率的影响逐渐减弱。对这一现象可以做出如下解释：因为表面活性剂添加可以降低表面张力，从而导致弹状流中气相平均流速增加，因而使气液两相流含液率下降。由于在低气液流速下，

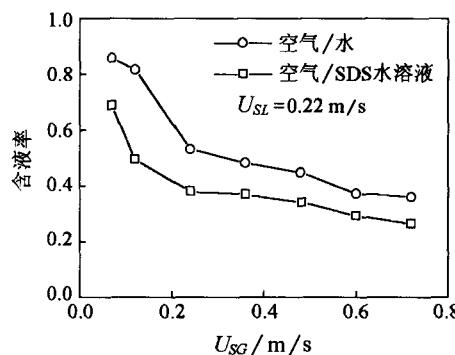


图 4 表面活性剂对平均截面含液率的影响

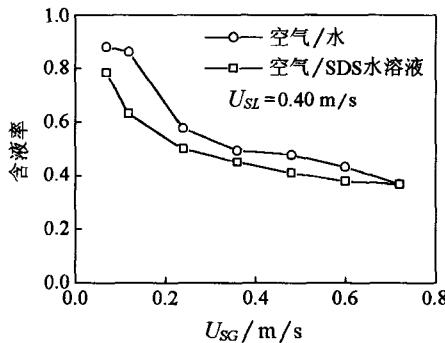


图 5 表面活性剂对平均截面含液率的影响

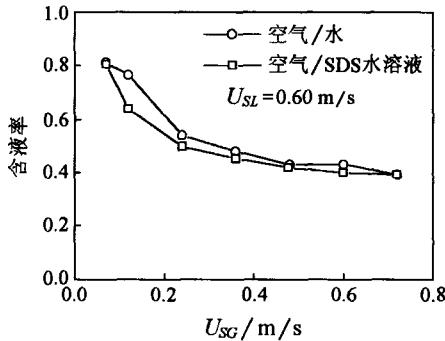


图 6 表面活性剂对平均截面含液率的影响

表面张力的影响比较突出，所以这一现象比较明显（图 4、图 5）。

随着两相混合物流速增大，表面张力对气相速度的影响逐渐减弱，因此添加表面活性剂对气液两相流含液率的影响也逐渐减弱（图 6）。

4 结 论

添加少量纯度为 95% 的十二烷基硫酸钠 (SDS) 到空气 / 水两相流系统，对含液率有如下影响：

(1) 在低气液体流速区，水平管内空气 / 水、空气表面活性剂水溶液气液两相流均为光滑分层流型，表面活性剂添加对平均截面含液率基本没有影响。

(2) 随着液体流速的增加，空气 / 水气液两相流动进入波状分层流型区域，添加表面活性剂可以抑制或消除界面波动，增大平均截面含液率。某些实验条件下，表面活性剂通过改变流型使两相流平均截面含液率增大。

(3) 表面活性剂的添加使弹状流含液率下降，气液流速较低时这一现象尤为明显。随着气液流速的增加，表面活性剂对气液两相流含液率的影响逐渐减弱。

参 考 文 献

- [1] Hand N P, Spedding P L, Ralph S J. The Effect of Surface Tension on Flow Pattern Hold-Up and Pressure Drop During Horizontal Air/Water Pipe Flow at Atmospheric Conditions. *Chem. Eng. J.*, 1992, 48(3): 197-210
- [2] Greskovich E J, Shrier A L. Pressure Drop and Hold-Up in Horizontal Slug Flow. *AIChE J.*, 1971, 17: 1214-1219
- [3] Rosenhart R G, Scott D S, Rhodes E. Gas-Liquid Slug Flow with Drag-Reducing Polymer Solution. *AIChE J.*, 1972, 18(4): 744-750
- [4] Otten L, Fayed A S. Pressure Drop and Drag Reduction in Two-Phase Non-Newtonian Slug Flow. *Can. J. Chem. Eng.*, 1976, 54: 111-114
- [5] Spedding P L, Hand N P. A Revised Analysis of the Effect of Surfactants on Two-Phase Phenomena in Horizontal Air-Water Pipe Flow. *Dev. Chem. Mineral Process*, 1997, 5(3/4): 267-279
- [6] Sylvester N D, Brill J P. Drag Reduction in Two-Phase Annular Flow. *AIChE J.*, 1976, 22(3): 615-617
- [7] 夏国栋, 彭岩, 马重芳, 等. 气体 / 表面活性剂水溶液两相流型的断层测量. *工程热物理学报*, 2003, 24(5): 789-792
- [8] Reinecke N, Petritsch G, Boddem M, et al. Tomographic Imaging of the Phase Distribution in Two-Phase Slug Flow. *Int. J. Multiphase Flow*, 1998, 24(4): 617-634