

湿气管道内气-油-水三相界面模型研究

张卫敏¹, 周中强², 张 春¹

(1. 中国石化集团管道储运公司华东管道设计研究院;
2. 中国石化管道储运分公司运销处, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 随着普光气田的探测发现, 国家加大对湿气田的探索开发。湿气管道内存在三相流动时, 界面模型的选取对管线压降与管流平均持液率计算准确性具有一定影响。根据各界面模型对实验数据的计算效果, 分析各界面模型的适用条件, 为建立完善的湿气管道水力计算模型提供理论依据。

关键词: 湿气管道; 界面形状; 低含液率; 三相

石油天然气管道运输中经常会遇到多相流动。湿气输送管道内经常含有水和碳氢化合物冷凝液, 这些液体都会引发多相流动。但是, 湿气管道具有不同的特性, 管线内液体含量较少, 也就是低含液量多相流动。少量冷凝液的存在会导致沿管路的压降明显增加。在流动状态下, 管线内水相分布对于分析腐蚀发生和腐蚀抑制剂作用等也是很重要的。因此, 在湿气输送过程中, 研究低含液量气-油-水三相流动的流动特性具有非常重要的意义^[1]。

目前, 专门对于湿气管道内三相流动界面形状进行的研究较少, 国内的研究仅局限于对国外模型的验证, 没有形成独立的理论体系; 国外建立的界面模型主要有: Hart 等人 (1989)^[2]建立的水平形状界面模型; Chen 等人 (1997)^[3]建立的双圆环形状界面模型。在以上界面模型的基础上, 对其进行建模分析, 并利用实验数据对其进行适用性分析, 评价其计算结果。

1 界面模型介绍

本文所建立的界面模型是在湿气管道气-油-水三相分层流动基础上, 建立多相流动动力学模型, 从而对比分析界面模型对湿气管道流动的模拟影响, 进而建立适用于湿气管道的多相界面模型。下文以气-液界面模型为例介绍本文所用到的界面模型, 油-水界面模型建立与气-液界面模型相似。

1.1 水平形状界面

如下图所示为气-液界面处于水平界面时, 截面含液率 H_L 与液相高度 h_L 、中心角 θ_o 以及液相湿壁分数 Θ_L 之间的几何关系图。图中虚线所示为气-液水平界面, 中心角

θ_o 和截面含液率 H_L 之间的关系如式 (1) 所示

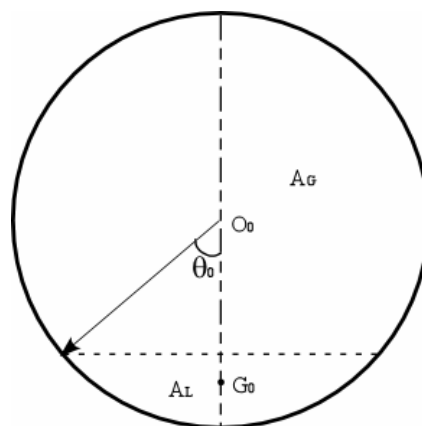


图1 气-液水平界面几何关系

$$\theta_o - \frac{1}{2} \sin(2\theta_o) = \pi H_L \quad (1)$$

当截面含液率 H_L 低于 0.1 时, 可以采用式 (2) 和式 (3)

代替式 (1) 进行近似计算。

$$\theta_o = 1.7875 H_L^{0.345} \quad 0 \leq H_L \leq 0.1 \quad (2)$$

$$\theta_o = \pi H_L + \left(\frac{3\pi}{2} \right)^{1/3} \left[1 - 2H_L + H_L^{1/3} - (1 - H_L)^{1/3} \right]$$

$$0.1 < H_L \leq 1.0 \quad (3)$$

1.2 下凹界面模型^[4]

如下图所示为气-液界面处于下凹界面时，截面含液率 H_L 与液相高度 h_L 、中心角 θ_1 、假想圆环中心角 θ_2 以及液相湿壁分数 Θ_L 之间的几何关系图。图中虚线所示为气-液下凹界面，截面含液率 H_L 、中心角 θ_1 和假想圆环中心角 θ_2 之间的关系式如式 (4) 所示。

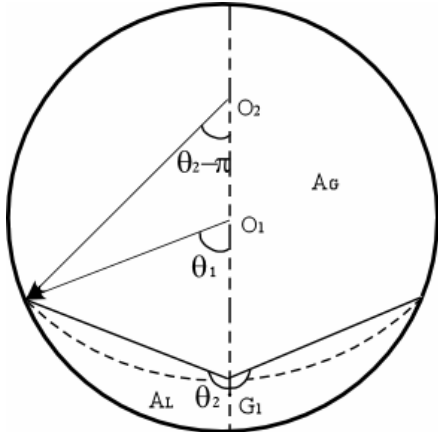


图 2 气-液下凹界面几何关系

$$\theta_1 - \frac{1}{2} \sin(2\theta_1) - \frac{\sin^2 \theta_1}{\sin^2 \theta_2} \left[\theta_2 - \pi - \frac{1}{2} \sin(2\theta_2) \right] = \pi H_L \quad (4)$$

Grolman (1994) [5] 提出了如下形式的经验关系式，用于近似计算湿壁分数：

$$\Theta_L = \left(0.57 H_L^{0.345} + 0.0637 Fr_L^{0.68} \left(\frac{v_{SG}}{v_{SG,C}} \right)^{0.68} \right) \left(\frac{\sigma_W}{\sigma_L} \right)^{0.15}$$

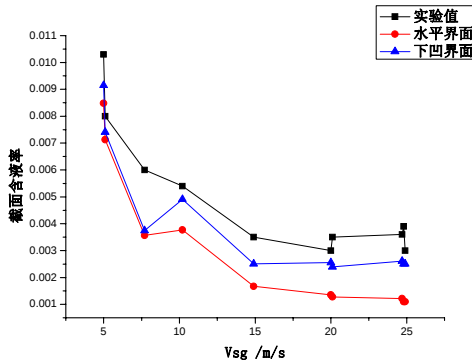


图 3 $v_{SL}=0.0015\text{m/s}$, H_L 计算对比

$$0 \leq \Theta_L \leq 0.5 \quad (5)$$

$$\Theta_L = \left(0.57 H_L^{0.345} + 0.0637 Fr_L^{0.68} \left(\frac{v_{SG}}{v_{SG,C}} \right)^{0.55} \right) \left(\frac{\sigma_W}{\sigma_L} \right)^{0.15}$$

$$0.5 < \Theta_L \leq 1.0 \quad (6)$$

式中： $v_{SG,C}$ —临界气相表观流速，

$$v_{SG,C} = 5 \left(\frac{1.24}{\rho_G} \right)^{0.5} ; \quad \sigma_W, \sigma_L \text{—水相、液相表面张力；}$$

$$Fr_L \text{—液相傅劳德数, } Fr_L = \frac{\rho_L v_L^2}{\Delta \rho g D \cos \beta}。$$

已知截面含液率 H_L 情况下，根据以上所述计算式，计

算得到相应的湿壁分数 Θ_L ，可以计算相应的中心角 θ_1 ，

从而得到相应的液相湿周 S_L 、气相湿周 S_G 以及气-液界面

周长 S_{GL} 。

2 界面模型对比分析^[1]

根据管段分层流动量控制方程，选取一定的液相表观流速，通过选取不同的气相表观流速，采用两种界面模型分别计算这一工况下的截面含液率，将计算结果在图中表示出来，如下四图所示。横坐标所示为气相表观流速，而纵坐标为截面含液率计算值与实验值。

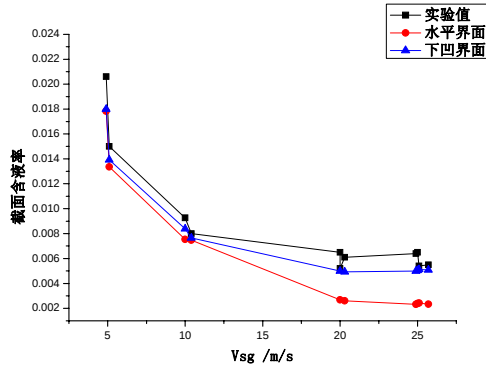
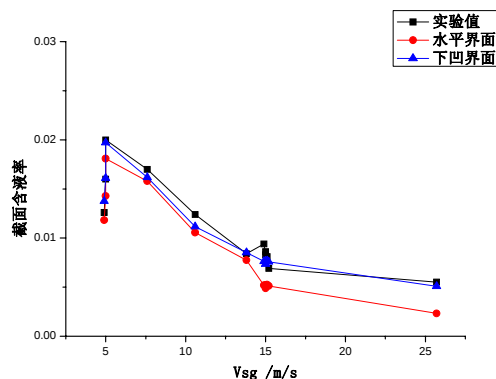
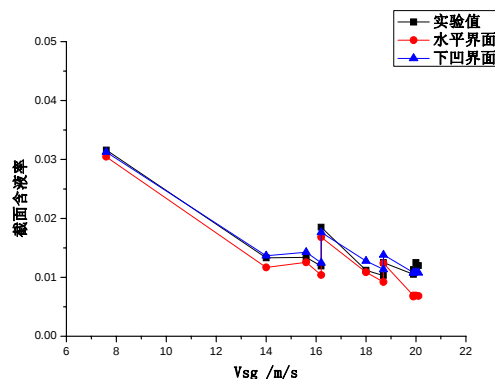


图 4 $v_{SL}=0.003\text{m/s}$, H_L 计算对比

图5 $v_{SL}=0.0045\text{m/s}$, H_L 计算对比图6 $v_{SL}=0.01\text{m/s}$, H_L 计算对比.

通过以上计算结果与实验值的对比分析,我们可以看出:水平界面在一定条件下计算结果与下凹界面相近,但是总的来看,下凹界面具有较好的适用性。

3 结论与建议

根据以上所述,可得出如下结论:

(1) 在某一固定液相表观流速下,水平界面在较低的气相表观流速下,计算效果与下凹界面相近,略差于下凹界面。

(2) 随着表观流速增大,水平界面适用性随之增大,在较大的液相表观流速范围内,计算结果与下凹界面仍旧相近。因此,在气液相流速较低的工况,可选取水平界面进行近似计算。

(3) 由于下凹界面在计算时具有一定的延展性,在气-液界面处于水平时,下凹界面可以通过调节中心角大小,来很好的模拟气-液界面;同时气-液界面无法达到完全水平,而将其视为水平界面,存在一定误差,反而下凹界面更能近似模拟出气-液界面存在的微小起伏。故而,下凹界面在一定程度上更能反映出气-液界面的存在状态。

(4) 总的分析来看,在实验气液相表观流速范围内,下凹界面都要优于水平界面。因此本文推荐湿气管道截面含液率计算中使用下凹界面作为计算模型。

参考文献

- [1] 周中强. 近水平管内低含液量气-油-水三相流动模型研究[D]. 中国石油大学(华东), 2011.
- [2] Hart J, Hamersma P J, Fortuin J M H. Correlations Predicting Frictional Pressure Drop and Liquid Holdup During Horizontal gas liquid Pipe Flow With a Small Liquid Holdup[J]. Int. Journal of Multiphase Flow, 1989, 15(6).
- [3] Chen X T, Cai X D, Brill J P. Gas-liquid Stratified-wavy Flow in Horizontal Pipelines[J]. Journal of Energy Resources Technology, 1997, 119(4).
- [4] Yongqian Fan. An Investigation of Low Liquid Loading Gas-Liquid Stratified Flow in Near-Horizontal Pipes[D]. The university of TULSA, 2005.
- [5] Grolman, E. Gas-Liquid Flow with Low Liquid Loading in Slightly Inclined Pipes[D]. U. Amsterdam, Neitherland, 1994.