

# 垂直管中气液两相弹状流和 段塞流的流动规律

韩洪升 陈家琅

(大庆石油学院)

**内容提要** 本文是在垂直管中气液两相气泡流的流动规律<sup>[1]</sup>基础上,对弹状流和段塞流的初步探讨,得出了弹状流和段塞流条件下的空隙率和压降的相关表达式。并进行了实验验证。

在石油、化工、原子能等工业领域中经常遇见大量的气液两相流动问题。除了介质与流道壁面之间存在作用力外,在两相界面之间也有作用力存在。但在连续流动条件下,这种作用力处于平衡状态,整个两相流体只与外界物体和进出口界面发生力的作用。可是从能量平衡观点来看,气液两相流动除了在整个界面上存在能量交换外,两相界面之间也会有能量交换,而且这种能量交换必然伴有机械能的损失,因此,整体流动的能量平衡变得复杂起来。其次,在气液两相流动中,即使气相介质与液相介质的质量比例相同,两相之间的分布状况也可以是各种各样的。如密集的或分散的。当其密集时可能有不同的聚并现象,如小气泡合并成大气泡或小液滴合并成大液滴,甚至两相截然分开。这种不同的分散状态称为两相流动的流动机构。流动机构的不同,不但影响两相流动的力学关系,而且影响其传热和传质性能。因此,正确地掌握各种流动机构下的流动规律是气液两相流动的重要研究方面。

垂直管中气液两相流的流动机构大致可分为气泡流、弹状流、段塞流、环状流和雾状流。本文仅对弹状流和段塞流的流动规律作初步探讨。

## 弹 状 流

气液两相介质在垂直管中的流动过程中,当气相流量逐渐增大时,原来悬浮在液体中的小气泡,由于趋中效应,逐渐聚并成大气泡。大气泡的形状是:头部呈弹状,底部是平的。大气泡后边有时还会有许多小气泡。这种流动机构被称为弹状流。气液两相弹状流可以认为是由无数个单元体组成,每个单元体都可以表示弹状流的总体特性。取这样一个单元体作为研究对象,称这种方法为单元体法。

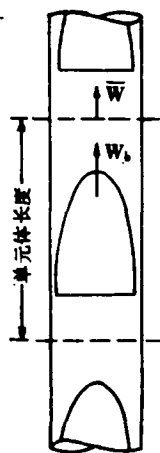


图1 弹状流的单元体

在一个单元体中(见图1),液塞以两相流速 $\bar{W}$ 向上运动,两相流速的定义为:

$$\bar{W} = \frac{Q'' + Q'}{A} \quad (1)$$

式中  $Q''$ ——气相的体积流量;

$Q'$ ——液相的体积流量;

$A$ ——管道的流通截面积。

由于在重力差的作用下,气体会在静止的液体中以速度 $W_s$ 上升。因此,在运动的液体中气弹的上升速度 $W_s$ 要大于液塞的速度 $\bar{W}$ 。根据漂移流动模型,气相的漂移速度为: $W_s = W_s - \bar{W}$ ,这样,气弹的上升速度为:

$$W_s = \bar{W} + W_s \quad (2)$$

但是,气弹上升速度除受重力影响外,还要受到液相速度分布的影响,因此,应对气弹上升速度加以修正。取:

$$W_s = a\bar{W} + bW_s \quad (3)$$

经过前人的研究证明<sup>[2]</sup>,气弹在充分发展的紊流液塞中运动时,当液相雷诺数 $Re_L > 8000$ 时,其修正系数为: $a = 1.2$ ;  $b = 1$ 。

$$\text{则 } W_s = 1.2\bar{W} + W_s \quad (4)$$

另外,由气相折算速度 $W_{0''}$ 的定义:

$$W_{0''} = \frac{Q''}{A}$$

以及平均空隙率 $\bar{\varphi}$ 的定义:

$$\bar{\varphi} = \frac{A''}{A}$$

式中 $A''$ ——两相流过断面中,气相所占截面积。

可得出气相折算速度和气体真实速度(上升速度)的关系:

$$\bar{\varphi} = \frac{W_{0''}}{\bar{W}}$$

将式(4)代入上式得:

$$\bar{\varphi} = \frac{W_{0''}}{1.2\bar{W} + W_s} \quad (5)$$

由上式可看出,要得到平均空隙率 $\bar{\varphi}$ ,必须找出气泡在静止液体中的上升速度 $W_s$ 的表达式。

当忽略粘性和表面张力的影响时, $W_s$ 可由如下解析形式给出<sup>[2]</sup>:

$$W_s = 0.345 \sqrt{\frac{gD(\rho' - \rho'')}{\rho'}} \quad (6)$$

式中 $\rho'$ ——在某压强 $P$ 和温度 $T$ 下,液相的密度;

$\rho''$ ——在某压强 $P$ 和温度 $T$ 下,气相的密度;

$D$ ——管道直径;

$g$ ——重力加速度。

若 $\rho' \gg \rho''$ 时,上式可化简为:

$$W_s = 0.345 \sqrt{gD} \quad (7)$$

在低粘度液体和流道直径不十分小的情况下,上式与实验结果是相符的。将其代入式(5)得:

$$\bar{\varphi} = \frac{W_{0''}}{1.2\bar{W} + 0.345\sqrt{gD}}$$

经过整理可得出平均空隙率 $\bar{\varphi}$ 和体积含气率 $\beta$ 的关系式:

$$\begin{aligned} \bar{\varphi} &= \frac{1}{1.2 + \frac{0.345\sqrt{gD}}{\bar{W}}} \cdot \beta \\ &= K_2 \beta \end{aligned} \quad (8)$$

显然, $K_2 < 1$ 。

对于一个单元体来说壁面的剪切应力是难于确定的,尤其是当气弹周围的液体相对于气体是向下流动时。所以这部分壁面的平均剪切应力有时是正,有时也可能是负。但通过一些假设条件,可使这个问题得到近似解。如果忽略气弹部分的壁面剪切应力,那么液塞的壁面剪切应力 $\tau_0$ 可根据单相液体计算如下:

$$\tau_0 = \frac{\lambda}{4} \frac{\rho' \bar{W}^2}{2}$$

其摩擦阻力损失梯度为:

$$\begin{aligned} -\frac{dp}{dz} &= \frac{dF}{A} = \frac{\tau_0 D \pi}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4\tau_0}{D} \\ &= \frac{\lambda}{D} \frac{\rho' \bar{W}^2}{2} \end{aligned}$$

式中 $dF$ 为气液两相流中单位长度的总摩擦压力降; $\lambda$ 为摩擦阻力系数,它是雷诺数 $R_e = \frac{WD\rho'}{\mu'}$ 的函数。在单元体中,大约

$(1 - \bar{\varphi})$  倍的长度被液塞占据。因此,可得出长度为 $h$ 的垂直管中气液两相弹状流的总压力损失计算公式:

$$\Delta p = [\rho' - \bar{\varphi}(\rho' - \rho'')]gh + (1 - \bar{\varphi}) \frac{\lambda h}{D} \frac{\rho' \bar{W}^2}{2} \quad (9)$$

假如 $\rho' \gg \rho''$ , 气液两相流的平均密度可近似地表示为:

$$\rho_m = (1 - \bar{\varphi})\rho'$$

则式(9)变为:

$$\Delta p = \rho_m gh + \lambda \frac{h}{D} \frac{\rho_m \bar{W}^2}{2} \quad (10)$$

## 段塞流

在垂直管中气液两相弹状流的条件下,假如再增加气相流量,则弹状大气泡不断增大,几乎充满整个流道;两个较长的大气泡之间的液塞变短,且其中往往含有小气泡;气弹时而还会冲破液塞,使液体沿气弹周围滑落,形成一段气塞、一段液塞的流动。我们将这种流动机构称为段塞流或冲击流。在这种情况下,气液两相间的滑脱更为严重。由于段塞流与弹状流有相似之处,所以仍可采用单元体法加以分析。考虑到段塞流中相间滑脱影响较大,并根据实验,应将(3)式中的修正系数重新确定为: $a = 1.2$ ,  $b = 1.6$ 。这样,段塞流的平均空隙率计算公式为:

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{1.2 + \frac{0.552\sqrt{gD}}{\bar{W}}} \cdot \beta$$

$$= K_3 \cdot \beta$$

显然  $K_3 < K_2$ 。

其它方面与弹状流的单元体法相同。

## 检验与比较

为了验证上述结果,利用水和空气做为流动介质,在室内实验装置上进行了两相流动实验,采用了 $\phi 15.48$ 、 $20.08$ 、 $22.31$  mm 的三种实验管径。其实验参数的范围如下:体积含气率  $0.09 \sim 0.89 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ; 气体流量  $0.03 \sim 3.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ; 液体流量  $0.138 \sim 2.16 \text{ m}^3/\text{h}$ ; 实验温度  $15 \sim 27^\circ\text{C}$ 。从图中可看出本方法是符合弹状流和段塞流的流动规律的,它可用于阻力计算。为了检验上述方法的准确程度,定义算术平均百分比误差参数APD如下:

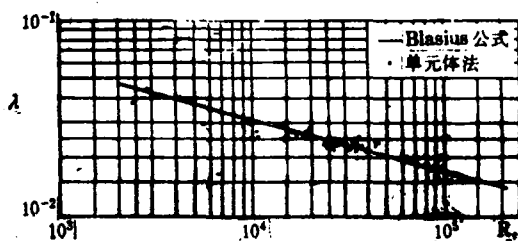


图2 弹状流条件下,计算和实测的摩擦阻力系数对比图。

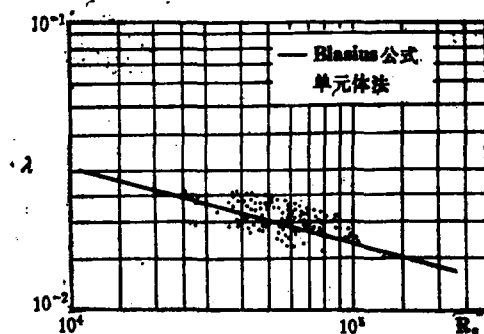


图3 段塞流条件下,计算和实测的摩擦阻力系数对比图。

$$APD = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_m - \Delta p_c}{\Delta p_m} \%$$

式中  $\Delta p_m$ ——实测压力降;

# 深井泵充满系数的计算方法

赵立强

(西南石油学院)

**内容提要** 本文综述了几种计算方法。采用统一的余隙比定义,引入溶解气对充满系数的影响,导出了考虑自由气及溶解气,余隙体积共同影响时充满系数计算公式。并给出了压缩比的估算方法。计算表明比较接近实际。

众所周知,影响深井泵泵效的因素主要是以下三个方面:抽油杆柱和油管柱的弹性变形,抽吸液体通过泵柱塞和泵筒间隙以及凡尔等处的漏失,及由于供液不足及原油中所含天然气的影晌。其中,对于富含气油井,气体的影响是主要因素,气体的存在使泵的充满程度降低。本文采用统一的余隙比定义,考虑泵内压力变化时,泵内油气体积的变化,引入溶解油气比,导出新的表达式,更加接近实际,便于理论分析。

## 充满系数计算公式

符号意义:

$V_s$ ——余隙体积,  $m^3$ ;  
 $V_o$ ——原油体积,  $m^3$ ;  
 $V_g$ ——气体体积,  $m^3$ ;  
 $V_t$ ——地面脱气原油体积,  $m^3$ ;  
 $R$ ——泵内油气比,  $m^3/m^3$ ;  
 $R_s$ ——溶解油气比,  $m^3/m^3$ ;  
 $R_p$ ——生产油气比,  $m^3/m^3$ ;  
 $P_a$ ——大气压,  $1\text{kgf/cm}^2$ ;  
 $P_c$ ——井口套压,  $\text{kgf/cm}^2$ ;  
 $P_t$ ——井口油压,  $\text{kgf/cm}^2$ ;  
 $\Delta P_{v1}$ ——油气混合液经固定凡尔的节流损失,  $\text{kgf/cm}^2$ ;  
 $\Delta P_{v2}$ ——油气混合液经游动凡尔的节流

$\Delta p_c$ ——计算压力降。

算弹状流和段塞流的压力损失。

统计表明:对于弹状流和段塞流的算术平均百分比误差分别为 $-3.38\%$ 和 $-0.55\%$ 。

## 结 论

1. 根据气液两相流动的理论分析和室内实验研究提出了单元体研究法。由此得出了弹状流和段塞流条件下的空隙率和压降计算的相关表达式。

2. 通过三种不同管径的圆管内气液两相流动的实验表明:本方法能够比较准确地计

## 参 考 文 献

- [1] 韩洪升, 陈家琅 垂直管中气液两相气泡流的流动规律 《天然气工业》 1986年第4期
- [2] Wallis, G.B. 《One-Dimensional Two-Phase Flow》 McGraw Hill Book Co. New York 1969
- [3] 赤川浩尔 《气液两相流动》 フロナ社 1974
- [4] 陈之航等编 《气液双相流动和传热》 机械工业出版社 1983

(本文收到日期 1987年5月28日)

# DRILLING/PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

## 25 Thinking about the Azimuth Shift in the Design of Tridimensionally Directional Well Trace

The control of azimuth is a knotty problem in controlling directional well trace. From the statistical rule of azimuth shift, the equation of tridimensional bore hole trace simultaneously changing in deviation and azimuth is derived in this paper. According to the formula derived, the design program of tridimensionally directional well trace which azimuth shift had been thought about is drawn up.

*Duan Yuting*

## 29 A Study of the Damage of Clay Minerals to Oil-and Gas-Bearing Formations and the Antiexpansion Agents

In this paper, the crystal lattice change of clay minerals after being acted by some fluids is determined by X-ray diffraction technique. A contrast observation of the samples was done with scanning electron microscope before and after they were treated by using freezing to prepare them and non-coated method. Combining with permeability test, the damage of clay minerals to oil-and gas-bearing formations is studied, and the preventive measures are approached.

*Lou Ganliang, Zhao Xingquan, Wang Jingke*

## 35 Controlling Casson Viscosity $\eta_{\infty}$ of Mud at the Nozzle to Raise Penetration Rate

By correlation coefficient it is verified that using Casson rheologic model to describe the rheologic parameter of the polymeric mud in the field is suitable. In this paper, the factors influencing  $\eta_{\infty}$  are studied, the technique controlling low  $\eta_{\infty}$  is proposed and the result controlling  $\eta_{\infty}$  for polymeric and non-dispersed low solid mud at the work-site is presented. It is considered that reducing  $\eta_{\infty}$  of the polymeric mud is the way to raise penetration rate at the interval above  $T_c^3$ .

*Zhou Huan*

## 42 Flow Rules of Two-Phase (Gas-Fluid) Elastic and Plug Flows in Vertical Tube

In this article, based on the flow rules of two-phase (gas-fluid) bubbles flow in vertical tube, the elastic and plug flows are preliminarily discussed, and a relational expression of porosity vs. pressure drop in the case of elastic and plug flows is obtained and verified in experiment.

*Han Hongsheng, Chen Jialing*