

自制泡沫流变仪

姚爱国 戎 信

(中国地质大学·武汉)

本文分析了目前泡沫流变测试中存在的问题,详细介绍了自制泡沫流变仪的结构特点及工作原理。利用该仪器实测了泡沫的流变性能,取得了满意的结果。

关键词: 泡沫; 流变仪

泡沫流体的流变参数,是指导泡沫钻探生产,预测孔内压力的重要依据。但是,目前还没有测定泡沫流变参数的理想仪器。用旋转粘度计测泡沫的流变参数,会出现气泡上浮,液相沉降的分层现象,测试结果不准确。前苏联采用弹簧球式测粘计测泡沫的粘度⁽³⁾,很难保证落球处的流体处于层流状态,因而测试结果也不准确,只能大致估计不同泡沫流体的相对粘度。测定泡沫流变参数用的较多的是毛细管粘度计。但用这种方法测泡沫流体的流变参数也存在下列问题:第一,毛细管管径较细,阻力较大,泡沫大时会出现“塞流”现象;第二,工作管短,不能保证测点处的流体处于完全发展的层流状态,因而必须考虑端部效应。我们自制的泡沫流变测试仪很好地解决了上述问题。

1. 泡沫流变仪的结构与设计说明

试验发现,气液比从 150:1 到 250:1 之间,泡沫流体始终是均匀混合流,气泡结团与破碎现象不明显。故认为把这种稳定泡沫当作均匀连续介质处理是合理的。

参照液体管式流变仪原理,根据钻井泡沫本身特点,我们设计了结构如图 1 的长管泡沫流变仪。它既可测出泡沫的表现粘度,也可测出泡沫的流型。

起泡液由灌注泵 9 注入泡沫发生器

11,与空压机 1 送来的压缩气体充分混合进入贮料罐 12,经工作管 13 流出。测出 X_1 与 X_2 两点的压差与流经工作管的流量,即可计算出被测流体的流变参数。

工作管为管径 15mm、管长 6m 的钢管。测点 X_1 距贮料罐 2m,这样就避开了端部效应段,保证信号采集管段内的流动为充分发展的管内压力流动状态。

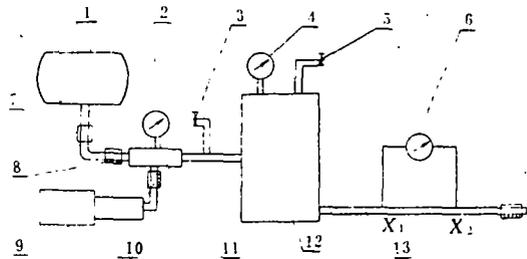


图 1 自制泡沫流变仪结构示意图

1—空压机; 2、4、6—压力计; 3、5—阀门; 7—调节阀; 8、10、14—流量计; 9—灌注泵; 11—泡沫发生器; 12—贮料罐; 13—工作管

由于测点 X_1 与 X_2 相距较近,压力计 6 必须是小量程、高灵敏度差压式压力计。实测时,我们用自制 U 型玻璃双管差压计。工作液体为四氯化碳与水。

流量计 14 可用累积流量计或瞬时流量计。要保持稳定压差情况下,测累积流量,可做到稳定可靠。在测瞬时压差的同时,测

本文1992年5月收到。

瞬时流量, 数据采集量可大大增加。另外, 若测点处的压力较大, 需考虑气体的压缩性。根据气体标准状态方程换算出常态下气体的体积流量。

2. 测试原理

稳定的完全发展的管流, 在极坐标系中有

$$\tau_{rz} = \frac{1}{2} r \Delta P / L \quad (1)$$

其中 τ_{rz} 为沿 Z 向, 即沿管的轴线方向的剪切应力。 ΔP 为相距 L 的两点间的压力差。 r 为极坐标原点, 即管中心线距所讨论点的距离。

在管壁处有

$$\tau_w = \frac{1}{2} R \Delta P / L \quad (2)$$

τ_w 为管壁处的剪应力, R 为管半径。

对于时间不依赖流体处于层流流动时, 其体积流量为

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^R 2\pi r u_z(r) dr \\ &= - \int_0^R \pi r^2 \left(\frac{du_z}{dr} \right) dr \end{aligned} \quad (3)$$

推导上式时利用了边界条件

$$r = R \text{ 时, } u_z = 0 \quad (4)$$

(3)式中 u_z 为流体沿 Z 方向的流速。

$$\text{考虑到 } -\frac{du_z}{dr} = f(\tau_{rz}) \quad (5)$$

$$\text{及 } \frac{\tau_{rz}}{\tau_w} = \frac{r}{R} \quad (6)$$

可得

$$Q = \pi \frac{R^3}{3} \int_0^{\tau_w} \tau_{rz}^2 f(\tau_{rz}) d\tau_{rz} \quad (7)$$

上式对 τ_w 微分并整理, 有

$$r_w = f(\tau_w) = \frac{Q}{\pi R^3} \left(3 + \frac{d \ln Q}{d \ln \tau_w} \right) \quad (8)$$

$$\text{或写作 } r_w = \frac{3n+1}{4n} \left(\frac{8V}{D} \right) \quad (9)$$

$$\text{其中 } n = \frac{d \ln \tau_w}{d \ln \left(\frac{8V}{D} \right)} \quad (10)$$

r_w —— 流体在管壁处的剪切速率;

V —— 平均速度

$$V = \frac{Q}{\pi R^2} \quad (11)$$

测出 τ_w , Q 并绘制 $\tau_w - 8V/D$ 双对数曲线, 图上各点的斜率即为 n 值, 再由 (9) 式计算出 r_w , 即可绘制出 τ_w, r_w 曲线, 即被测流体的流动图。若 n 为常数时, 可对 $\ln \tau_w$ 与 $\ln(8V/D)$ 进行直线回归求出 n 值。流体的稠度系数也可根据直线的截距求得。

表观粘度可由下式求得

$$\eta_a = (\tau_w / r_w) \quad (12)$$

根据以上原理编制成了计算机程序, 输入实测数据即可得出要求的散点图, 最小方差拟合曲线, 并给出状态方程。

3. 测试结果与讨论

利用自制泡沫流变仪测试了十二烷基苯磺酸钠含量为 5% 的泡沫流体。测试条件为: 气液比 180 : 1, 温度 15.5℃。

图 2 为双对数图, 由图可看出数据分布

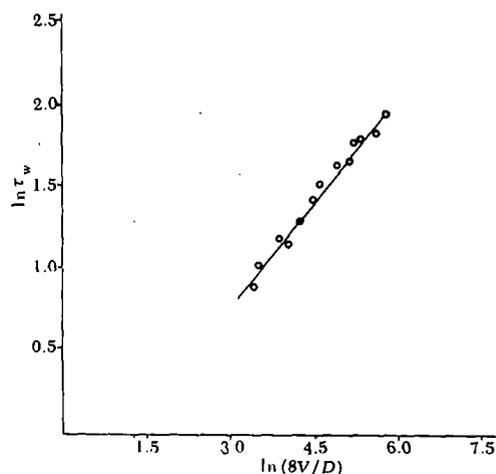


图 2 $\ln \tau_w - \ln(8V/D)$ 图

近似为直线, 故可知 n 为常数。

由图 3 可知, 泡沫流体属于非牛顿流体, 具有很小的 τ_y 值。表观粘度是变化的, 随 r_w 的增大, 其变化率减小。

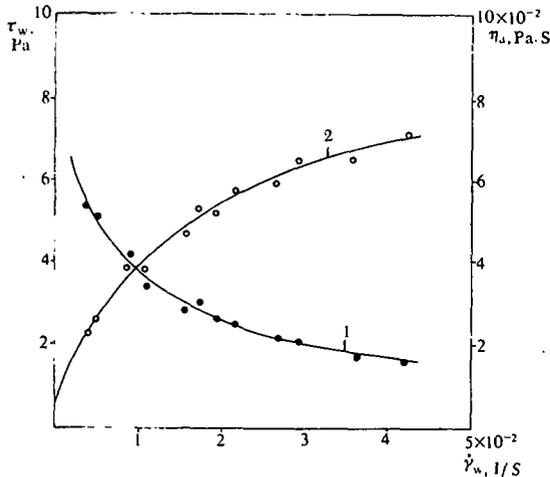


图 3 泡沫流变图

1—实测 τ_w 值; 2—计算 η_a 值

状态方程为

$$\tau = \tau_y + k r^n \quad (13)$$

其中屈服应力 $\tau_y = 0.32 \text{Pa}$, 稠度系数 $k = 0.407 \text{Pa} \cdot \text{S}^n$, 幂律指数 $n = 0.481$ 。

实验证明, 本仪器操作方便, 所得结果精度可满足钻探生产需要。这种流变仪制作方便, 造价低廉, 坚固耐用, 不仅可用于测定泡沫的流变性能, 也可用于其他钻井液的测试; 既可用于实验室内研究, 也适用于钻探现场测定。

参考文献

- [1] 袁龙蔚, 《流变力学》, 科学出版社, 1986 年。
- [2] 张远君等编译, 《两相流体动力学基础理论与工程应用》, 北京航空学院出版社, 1987 年。
- [3] 周凤山, 地质与勘探, 1991, 第 1 期。
- [4] N.P.Chermisinoff, Editor 《Encyclopedia of Fluid Mechanics》, Vol.5, p.214~273, Vol.6, p.628~675, Gulf Publishing Company, 1986.

Self-made Rheometer for Measuring Foam

Yao Aiguo Rong Xin

The problems in measuring the rheologic properties of foam at present are analysed in this paper. The structural features and the principle of operation of the self-made rheometer are also given in detail. With the instrument, a fluid of foam has been measured and got satisfactory results.

(上接第 58 页)

时, 其流速突然下降 4.47 倍。按常用钻进泵量为 $46 \text{L}/\text{min}$ 计算, 通过 II—II 截面的流速只有 $0.372 \text{m}/\text{s}$, 满足不了金刚石钻进排粉返流速度的要求。若加大泵量, 通过改写的范宁方程 $P = f \cdot \frac{2\rho\bar{V}^2}{D} L$ 也可看到: 环空流压力损失 P 与流速 \bar{V} 成正比, 当截面一定时, 流经截面的流速 \bar{V} 又与泵量 Q 成正比。由此可知, 加大泵量, 也会影响泵压变化并影响钻进轴压。

基于上述原因, 钻进中大量岩粉将堆集

在 h 孔段; 从这段钻杆磨得特别光亮即可判断。这样以来, 当打捞内管时, 抽吸作用又将积聚的岩粉吸回孔底, 每回次钻进开始, 都要进行冲粉和扫井。扫井发生憋泵现象, 每次都要持续 20~30 分钟。

通过分析比较认为: 在深孔使用绳索取心钻进时, 应该先下技术套管再换径。采用组合钻杆直接换径钻进, 尽管可不下套管, 速换径, 但整孔效率下降, 无论从经济效益或技术效果来看, 都不可取。