

一种环管循环流动观测装置

艾慕阳* 王晓梅 孙 盛

(中国石油天然气管道科学研究院)

艾慕阳 王晓梅等:一种环管循环流动观测装置,油气储运,1998,17(9) 32~34。

摘 要 介绍了一种流体管道流动观测装置,该装置利用场作用力以非接触方式驱动流体在环形管内循环流动,在整个观测过程中流体始终离不开测试管道,所以不改变流体的管道流动历史,实现了在有限长度的试验管道内任意长时间、长距离地模拟及观测实际输油管道的流动,从而满足有记忆流体管流实验的需要,尤其是对于象含蜡原油这样的非牛顿流体的管道流动实验,本装置提供了一种新的试验测量手段。装置测粘范围为 $40 \sim 6\,000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,试验样品用量约 550 mL,温度控制精确度高,具有无级变速功能,观测过程中基本无轻组分损失。

主题词 非牛顿流体 管道 装置 试验

一、前 言

管道内流动的流体由于其在横截面上速度变化率的分布不同,所以各部位流体所受到的剪切效应不同^[1]。旋转粘度计中流动的流体,通常认为各部位速度变化率是相同的,流体受到的剪切效应也相同^[2]。对于牛顿流体,因其表观粘度与剪切速率无关,因此,可以用旋转粘度计来研究其在管道内的流动。但是,对于那些流变特性与其所受的剪切变化历史有关的非牛顿流体,一般需要用管流装置来研究其管流特性。然而,现有的管流观测装置流体一旦流过管道,需经过升压装置再次升压后才能重新进入管道流动,流体的管道流动历史和流动特性必将发生变化,这使得测量的参数失去意义。事实上,常见的各种流体流动试验管道或环道、以及各种类型的管式粘度计,都属于上述类型^[3]。文中介绍的装置是用一种特殊的形式驱动流体在环形管内循环流动,它既不改变流体的管道流动特性,又能任意延长观测流体流动的时间和流动的距离,从而满足有记忆的非牛顿流体管流实验的需要,使管道流动测试达到一个新的水平^[4]。

二、装置的结构与测量原理

装置的结构及工作原理见图 1、图 2。

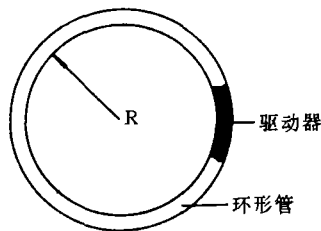


图 1 环管系统示意图

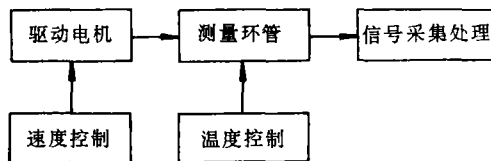


图 2 工作原理框图

图 1 是装置的主要部分环管系统的示意图,主要由环形管和环形管内的驱动器组成。图 2 是该装置的基本工作原理框图,运用驱动电机带动环形管内的驱动器与环管相对运动来驱动流体在管内循环

* 065000,河北省廊坊市金光道 51 号;电话:(0316)2075085。

流动。整个环形管的温度可控,并通过固定在管壁上的信号探头来获取流体温度和不同驱动速度下压力随时间的变化数据(见图3),从而进一步确定其流变参数。

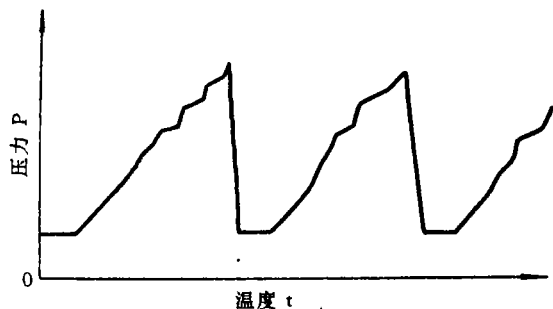


图3 信号输出点压力随时间的变化关系
对于牛顿流体,利用层流的压降公式:

$$\Delta P = \frac{8\mu LQ}{\pi r^4 [1 + \frac{1}{48}(\frac{r}{R})^2 + \dots]} \quad (1)$$

式中 μ ——粘度;
 L ——流体流过的距离;
 r ——管截面内半径;
 P ——流体压力;
 R ——环管曲率半径;
 Q ——流量。

对于牛顿流体在圆管中的层流流动当 $(r/R)^2/48 \ll 1$ 时(本装置的 $(r/R)^2/48 = 4.99 \times 10^{-6}$),式(1)近似为:

$$\Delta P = 8\mu LQ/(\pi r^4) \quad (2)$$

经转换得:

$$\mu = \frac{1}{32} \left(\frac{T^*}{\pi} \right) \left(\frac{r}{R} \right)^2 \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (3)$$

式中 T^* ——周期,流体在环管中运行一周的时间;

ΔP —— Δt 时间内,在长度为 L 的管段上产生的压降;

Δt ——时间间隔。

式(3)中的 $\Delta P/\Delta t$ 为压力与时间曲线中直线段的斜率。通过测得的 $\Delta P/\Delta t$ 值及驱动器的运动周期 T^* ,利用式(3)即可得到被测牛顿流体的动力粘度值。

对非牛顿流体管流,测取一组 $(\Delta P/\Delta t)$ 与平均流速 V 的关系,并由式(4)与式(5)确定流动特性指数 n'

$$\tau_b = \frac{\Delta P r}{2L} = \frac{T^* r}{4\pi R} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (4)$$

式中 τ_b ——管壁剪应力。

$$n' = d(\ln \tau_b)/d\left(\ln \frac{8V}{D}\right) \quad (5)$$

式中 n' ——流动特性参数;

V ——环管中流体的平均流速;

D ——管内径。

式(5)中的 n' 由 $\tau_b \sim 8V/D$ 双对数坐标曲线图解求出。由于

$$\left(-\frac{du}{dr}\right)_b = \left(\frac{3n' + 1}{4n'}\right) \frac{8V}{D} \quad (6)$$

式中 $(-du/dr)_b$ ——管壁剪速。

因此,可以得到 $\tau_b \sim (-du/dr)_b$ 的关系曲线及非牛顿流体的表观粘度:

$$\eta = \tau_b/(-du/dr)_b \quad (7)$$

式中 η ——表观粘度。

由于装置可驱动流体连续运行,而且装置有转速控制和温度控制调节系统,所以,可得到流体流变参数随时间、流速及温度的变化关系。例如粘度可表示为 $\mu = f(t, V, T)$ 。

三、性能指标及特点

环管循环流动观测装置经试验测试标定具有以下性能指标。

1、几何指标

环管回转直径为 1 m;管内径为 15.5 mm;装置高度为 0.8 m;操作面积不超过 6 m²。

2、测试能力

流体流速范围为 0~0.11 m/s;测试温度范围为 5~90℃;测试粘度范围为 38~6 000 mPa·s;驱动力范围为 0~50 kPa。

3、精确度

相对误差不超过 3.01%;相对标准差不超过 4.3%。

4、装置的特点

(1)本装置在对流体进行长时间、长距离的管流模拟测试中被测流体始终不离开管道,流体的管道流动历史和流动特性不发生变化,因此,可以用该装置研究非牛顿流体的管流特性。

(2)在测量过程中,通过固定在管壁不同点的压力传感器可以获取大量周期性变化的沿程压力信

号,得到更多有价值的试验数据。

(3)装置采用水槽控制环管温度,温度控制均匀、范围大、精度高。

(4)装置用调频电机控制驱动速度,具有无级变速功能。

(5)装置试验介质用量少(约 550 mL)。此外,测量介质密封在管内,避免了轻组分挥发。并且试验过程中无蜡沉积发生。

5、应用范围

本装置在测试过程中避免了频繁过泵剪切效应,不改变流体的管道流动特性,所以,能完成各种含蜡原油、高粘油及其它有记忆非牛顿流体的管流变行为测试。在含蜡原油的管流变行为测试时,能很好地体现流体低温流动特性和动态凝结规律。

四、应用实例

把大庆原油注入环管中,加热到 70℃,恒温 20 min,按下例降温速率动态降温到 15℃。

$$70^{\circ}\text{C} \xrightarrow[50\text{ min}]{\text{测 } 60^{\circ}\text{C}, 55^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}} 45^{\circ}\text{C} \xrightarrow[40\text{ min}]{8\text{ min/次}} 35^{\circ}\text{C} \xrightarrow[30\text{ min}]{6\text{ min/次}} 30^{\circ}\text{C} \xrightarrow[180\text{ min}]{6\text{ min/次}} 15^{\circ}\text{C}$$

在降温过程中,用计算机监测输出点压力与时间的关系,以 2.7 cm/s($\dot{\gamma}_b=13.9\text{ s}^{-1}$)、5.4 cm/s($\dot{\gamma}_b=27.8\text{ s}^{-1}$)、8.1 cm/s($\dot{\gamma}_b=41.7\text{ s}^{-1}$)、10.7 cm/s($\dot{\gamma}_b=55.6\text{ s}^{-1}$)四种不同的流速重复上述动态降温过程,每次降温过程中流速恒定不变。由试验结果绘制的管壁剪应力 τ_b 与温度 T 的曲线和 $\tau_b/(8V/D)$ 与温度 T 的曲线见图 4、图 5 所示。

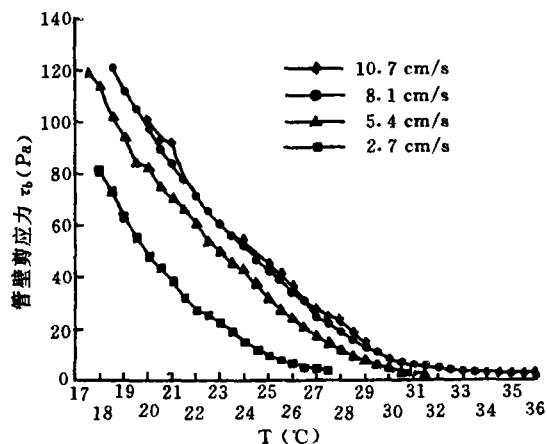


图 4 原油管壁剪应力 τ_b 与温度 T 的关系曲线

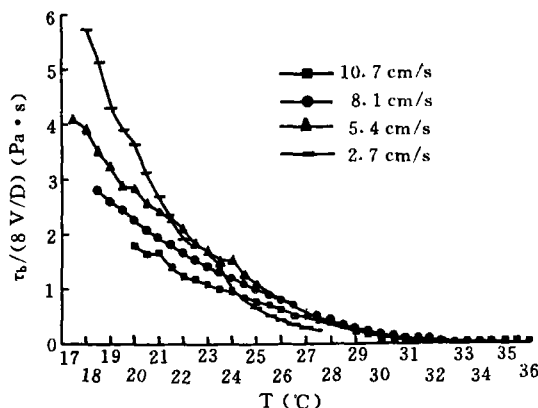


图 5 $\tau_b/(8V/D)$ 与 T 的关系曲线

由图 4 和图 5 可知,测量结果反映了含蜡原油流动特性随温度和剪速变化的特征规律。温度较高时,不同流速下测得的表观粘度趋于一致;温度较低时,随温度的降低蜡的析出量增大,曲线分叉,原油表现出非牛顿特性。从曲线的光滑程度来看,装置能给出较稳定的测量结果。

五、结 论

(1)环管循环流动观测装置首次采用管内驱动器直接给管道内部流体提供动力,从而实现在较短的观测管道内任意延长观测时间和观测距离且不改变流体的管流特性。

(2)应用该装置来研究含蜡原油管流的低温流动规律,避免了频繁过泵产生的高剪作用,使得模拟数据更真实可靠。

(3)该装置为研究非牛顿流体以及多种介质混合流体在管道内的流动提供了一种强有力的手段,促使这方面的研究达到一个新的阶段。

参 考 文 献

- 1, 罗塘湖:含蜡原油流变特性及其管道输送,石油工业出版社(北京),1991。
- 2, 巴勒斯 H. A. 等:流变学导引,中国石化出版社(北京),1992。
- 3, Kestin, J. :Theory of Capillary Viscometers, Appl. Sci. Res. 27, 1973。
- 4, Cheng, D. C. -H. :Thixotropy, International Journal of Cosmetic Science, 1987(9), 151~191。

(收稿日期:1998-02-16)

编辑:张淑英