

赫-巴流体同心环空流动的数值模拟

王常斌 陈海波* 徐 洋 赵艳红

(东北石油大学石油工程学院, 大庆 163318)

摘 要 运用 fluent 软件在三维笛卡尔直角坐标系下建立同心环空流动的物理模型。分别对同心环空圆管中赫-巴流体层流和紊流流动进行数值模拟。得到流体在出口处以及流场内部的速度等值图。通过改变流变指数和动切力,进而分析各流场中速度的变化规律,速度大小以及速度分布情况,并将其进行比较分析。计算结果很好的反映出了赫-巴流体同心环空流动的基本特征。

关键词 fluent 同心环空 赫-巴流体 流变指数 动切力

中图法分类号 O351.1; **文献标志码** A

赫谢尔-巴尔克莱流变模式在国内俗称带动切力的幂律模式,是一个三参数模式。常用于钻井液及水泥浆的仍是两参数流变模式。近年来,三参数流变模式已在不断地发展和应用,初步显示了它的优越性,而四参数流变模式却只是在探讨之中。赫-巴模型既能反映流体的塑性特征,又能反映流体的假塑性特征,所以它综合了宾汉和幂律两种流变模式^[1]的特点,能较好地反映钻井液和水泥浆的流变性,且具有适应范围广和精度高的特点。该文通过 fluent 软件对赫-巴流体同心环空流动进行数值模拟^[2,3],并利用 Origin、Photoshop 等后处理软件对计算后的数据、图片做了处理。用曲线图的方式,更加直观的定性分析同心环空流场的流动特性^[4-6]的问题。

1 数学模型

赫-巴流体比幂律流体的本构方程多出了一个额外的参数,即动切力,也正因此赫-巴流体模型是一个三参数模式,只有当外力达到能克服赫-巴流体

的动切力的时候才能发生剪切变形,由此可以得出赫-巴流体的本构方程^[7,8]为:

$$\begin{cases} \dot{\gamma} = 0, & \tau \leq \tau_{HB} \\ \tau = \tau_{HB} + K\dot{\gamma}^n, & \tau > \tau_{HB} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: K —稠度系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$;

n —流变行为指数, 无因次;

$\dot{\gamma}$ —剪切速率, S^{-1} ;

τ_{HB} —赫-巴流体的动切力。

在赫-巴流体中, $\dot{\gamma}$ 在同心环空中有:

$$\begin{cases} \dot{\gamma} = \frac{du}{dr}, & R_1 \leq r \leq R'_1 \\ \dot{\gamma} = 0, & R'_1 \leq r \leq R'_2 \\ \dot{\gamma} = -\frac{du}{dr}, & R'_2 \leq r \leq R_2 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: R'_1 —塞流内径;

R'_2 —塞流外径。

根据赫-巴流体的流动过程和前面的假设,可以得出本构方程的边界条件:

$$\begin{cases} u|_{r=R_1} = u|_{r=R_2} = 0 \\ \frac{du}{dr}|_{r=R'_1} = \frac{du}{dr}|_{r=R'_2} = 0 \\ u|_{r=R'_1} = u|_{r=R'_2} = u_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

2011年6月28日收到

第一作者简介:王常斌(1964—),教授,博士,大庆石油学院石油工程学院副院长,研究方向:计算流体力学,复杂流体流动与处理技术。

* 通信作者简介:陈海波。E-mail: xuyangalex@163.com

2 建立模型及网格划分

2.1 建立模型

在 GAMBIT 中建立物理模型,坐标系选择笛卡尔直角坐标系,设置模型的管长取为 5 m,外管内径取为 20 cm;内管外径取为 10 cm。模型的径向为 Z 方向和 Y 方向, X 方向表示管道轴向。设定出/入口的边界条件,入口选择速度入口,即 VELOCITY_INLET,出口选择自由出流,即 OUTFLOW。建立的模型图如图 1 所示。



图 1 同心环空管模型图

2.2 网格划分

模型的网格划分,首先在进口端面的内管和外管的两个底边上各取 120 个节点,在进口端面上生成面网格,当面网格生成结束后进行体网格的划分,在 GAMBIT 的体网格划分对话框中 interval size 选项中填写 4,生成体网格,这样在整个计算区域中共计有 184 968 个节点,169 375 个六面体网格。生成网格后,同心环空圆管的计算模型及网格的划分如图 2 所示。

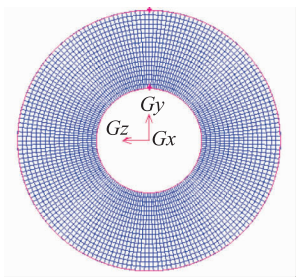


图 2 同心环空管模型径向网格图

3 数值计算

3.1 赫-巴流体同心环空层流和紊流数值计算

初始设定入口流速为 $u = 1.5 \text{ m/s}$,雷诺数分别取为 $Re = 500$, $Re = 10\ 000$,流性指数取为 $n = 0.5$;

屈服应力取为 $\tau_{HB} = 5 \text{ Pa}$ 。流场内的流体为密度是 880 kg/m^3 的油。对赫-巴流体同心环空层流和紊流流场分别进行了数值计算,并观察其轴向速度分布云图并进行对比,如图 3—图 4 所示。



图 3 同心环空轴向层流速度分布云图



图 4 同心环空轴向紊流速度分布云图

3.2 赫-巴流体同心环空层流和紊流的比较

如图 5—图 7 所示。

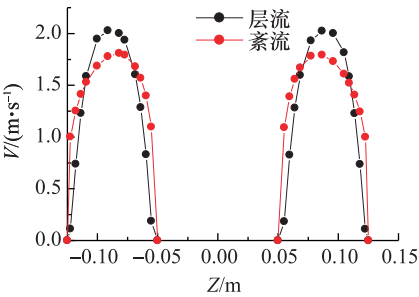


图 5 赫-巴流体层流与紊流 Z 方向速度对比

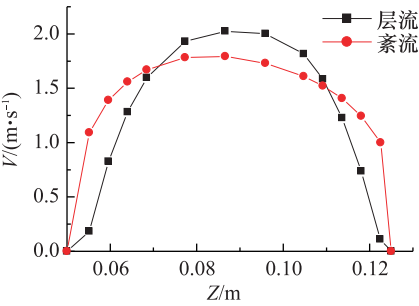


图 6 赫-巴流体层流与紊流半环空 Z 轴正方向速度对比

4 流变指数对速度的影响

取赫-巴流体的屈服应力 $\tau_{HB} = 0.5 \text{ Pa}$,并且将管道的边界条件改为压力入口和压力出口,压力梯

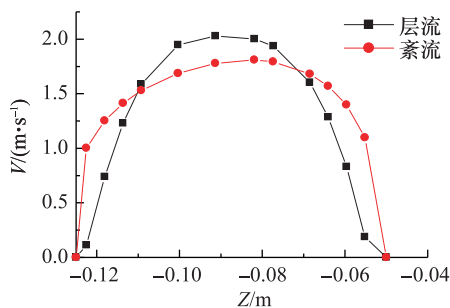


图7 赫-巴流体层流与紊流半环空Z轴负方向速度对比

度设置为 $\frac{\Delta p}{L} = 50 \text{ Pa/m}$, 流变指数分别取 $n = 0.7$, $n = 0.8$, $n = 0.9$, 在 fluent 中计算后, 截取环空部分的一半, 将计算后的数据导入 Origin 中进行处理, 得到曲线如图8所示。其中 $\frac{r}{R_1}$ 表示为管道径长与管道内径的比值。

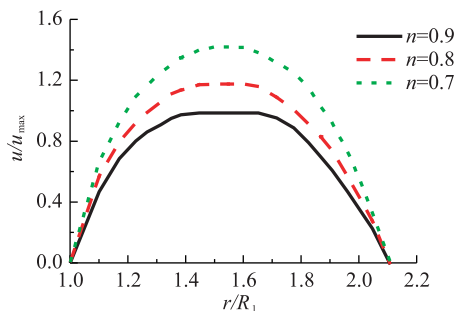


图8 流变指数对速度分布的影响

5 动切力对速度的影响

并且将管道的边界条件改为压力入口和压力出口, 压力梯度设置为 $\frac{\Delta p}{L} = 50 \text{ Pa/m}$, 分别取赫—巴流体的屈服应力 $\tau_{HB} = 0.35 \text{ Pa}$, $\tau_{HB} = 0.5 \text{ Pa}$, $\tau_{HB} = 0.7 \text{ Pa}$, 在 fluent 中计算后, 截取环空部分的一半, 将计算后的数据导入 Origin 中进行处理, 得到曲线如图9所示。

6 结论

(1) 在环空中层流时的速度分布曲线为大致为

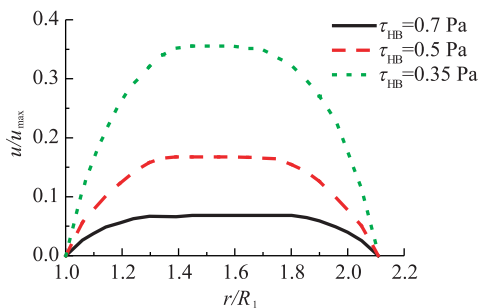


图9 动切力对速度分布的影响

抛物线, 速度的最大值出现在接近环空的中心处。而对于紊流速度曲线, 在管壁附近速度大小的变化非常明显, 之后速度的变化不是很明显, 速度曲线的倾斜度也很小。在除去管壁附近后更接近一条直线。

(2) 流变指数越大, 速度分布中的等速核就越大, 而速度则随着流变指数的增大而减小。

(3) 环空中等速流核的大小随着赫-巴流体的动切力(屈服应力) τ_{HB} 的增大而增大, 而速度则随着动切力的增大而减小。

参 考 文 献

- 1 孙宝江, 高永海, 刘东清. 水泥浆流变性分析及其环空流动的数值模拟. 水动力学研究与进展, 2007;22(3):318—323
- 2 汪海阁, 刘希圣, 丁 岗. 水平井段偏心环空中非牛顿流体层流流场的研究. 石油大学学报, 1993;17(5):26—33
- 3 Redberg B J, Vaughn R D, Donovan W F. Axial laminar flow in a circular pipe containing a fixed eccentric core. Journal of Chemical Engineering, 1962;10(1):12—14
- 4 Mitsuishi N, Van Albada G D, Roberts W W. Non-newtonian fluid in an eccentric annuli. J Chem Eng, 1973;24(2):36—38
- 5 Iyoho A W, Azar J J. An accurate slot model for non-Newtonian fluid flow through eccentric annuli. SPE, 1981;17032, 28—30
- 6 Tosun I. Axial laminar flow in an eccentric annulus; an approximate solution. AIChE J, 1984;26(3):46—48
- 7 汪友平, 郑秀华, 夏柏如, 等. 圆管中赫巴流体层流流动规律的研究. 钻井液与完井液, 2008;25(1):27—28
- 8 Cui Haiqing, Liu Xisheng. Research on heical flow of non-Newtonian fluids in eccentric annuli. SPE29940, 1994

Numerical Simulation of Herschel-Bulkley Fluid Concentric Annulus Flow

WANG Chang-bin , CHEN Hai-bo * ,XU Yang ,ZHAO Yan-hong
(Northeast Petroleum University, Daqing 163318, P. R. China)

[Abstract] Fluent software as applied to establish physics model of concentric annulus flow under 3D rectangular cartesian coordinate system, numerical simulation on Herschel-Bulkley Fluid of laminar flow and turbulent flow separately in concentric annulus tube, got velocity equivalence diagram of fluid at outlet and flow field interior, through alter rheological index and yield value, come to analysis velocity change low, velocity size and velocity distribution situation of each fluid field, and do comparative analysis on them. The calculation result better reflect basic feature of Herschel-Bulkley fluid for concentric annulus flow.

[Key words] fluent concentric annulus Herschel-Bulkley fluid rheological index yield value



(上接第 6790 页)

Digital Simulation and Visualization of Impulsive Differential Systems

LIU Xian-bo, DOU Jia-wei
(College of Mathematics and Information Science Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, P. R. China)

[Abstract] The theory and application of impulsive differential systems have been greatly developed in recent years. For some complicated impulsive differential systems, it is very difficult to theoretically study them, and in this case, using numerical simulation technology to study them will be necessary. Numerical simulation algorithms is mainly studied for impulsive differential systems. An algorithm of assignment functions was established, and according to the characteristics of impulsive differential systems and using Runge-Kutta algorithm for ordinary differential equations as building blocks, combining with the method to determine the pulse. A new numerical algorithm is designed to address the differential systems with impulses. The new numerical algorithms can be applied to general impulsive differential systems to compute their numerical solution, to plot final state diagram and time series diagram. Two typical examples are discussed and the numerical simulations are carried out, some meaningful results are obtained.

[Key words] impulsive differential systems Runge-Kutta algorithm final state diagram numerical simulation time series diagram