

文章编号: 1000-7393(2010)01-0022-04

气体钻井偏心环空气固两相流模拟研究

朱红钧¹ 林元华¹ 田 博¹ 明传中² 朱 伟¹

(1. 西南石油大学石油管力学和环境行为重点实验室, 四川成都 610500; 2. 塔里木油田公司, 新疆库尔勒 841000)

摘要: 国内气体钻井技术仍处于发展阶段, 井内流场分布及工艺参数研究方面还不成熟, 尤其是在气体钻井过程中发生偏心时环空内的流场分布变化研究较少。基于流体动力学方法, 利用 FLUENT 软件对气体钻井时环空内气固两相流场进行了数值模拟研究, 模拟发现偏心环空中岩屑流速偏离对称分布, 在倾斜井眼中有明显增加, 最大速度在环空厚度较大处发生; 钻柱旋转使环空压降增大, 而随井斜角的增大, 压降逐渐减小; 偏心环空的岩屑浓度较大, 随钻柱旋转速度的增大先增后减, 而随井斜角的增大而增大。数值模拟气体钻井形象直观地反映了井内各参数的分布情况, 为进一步设计技术参数提供了有效的依据。

关键词: 偏心环空; 气体钻井; 气固两相流; 数值模拟; FLUENT

中图分类号: TE242.6; TE252.3 **文献标识码:** A

Numerical simulation of the gas-cuttings flow properties in eccentric annulus by gas drilling

ZHU Hongjun¹, LIN Yuanhua¹, TIAN Bo¹, MING Chuazhong², ZHU Wei¹

(1. Key Laboratory for Mechanical and Environmental Behavior of Tubular Goods, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;
2. PetroChina Tarim Oilfield Company, Karamay 841000, China)

Abstract: Gas drilling technology is being developed in China, research on distribution of flow and parameters of gas drilling is still in the rough, especially the research on the distribution of flow properties in eccentric annulus. Based on the computation fluid dynamics method, the gas-cuttings flow properties in eccentric annulus are simulated by FLUENT. The velocity of cuttings is asymmetrical in eccentric annulus and it increases obviously in inclined borehole. The maximum velocity occurs in the major eccentric annulus. The pressure fall increases when drill string revolves, and it drops gradually with the augment of deviation angle. The concentration of cuttings gets higher in eccentric annulus. It first increases and then decreases while the rotation speed gets higher. And it increases with the augment of deviation angle. Numerical simulation of gas drilling reflects the distribution of all borehole parameters vividly and directly, providing an effective basis for further parameters design.

Key words: eccentric annulus; gas drilling; gas-cuttings flow; numerical simulation; FLUENT

气体钻井是采用气体或含气流体作为循环工作液的一种钻井技术, 作为欠平衡钻井技术的一个分支, 因其钻速快、成本低和对储层伤害低的显著特点而倍受关注^[1]。20 世纪 90 年代, 美国、加拿大、欧洲一些国家开始了气体钻井技术的应用, 并不断发展完善^[2]。近年来, 国内新疆、长庆、四川、玉门等油田

的部分油气井也开始推广气体钻井技术, 并取得了较好的效果^[3]。但整体技术还不够成熟, 井内流场分布的控制和工艺参数的选择上还需要进一步技术攻关, 尤其是钻井过程中发生偏心时环空内流场分布的变化还没有相应的研究成果, 其对工艺参数的影响不容忽视。国外, Angel R, R 等^[4]对空气钻井中

基金项目: “新世纪优秀人才支持计划”(NCET-08-0907)、四川省杰出青年学科带头人培养基金(06ZQ026-028)和中国石油天然气集团公司应用基础研究项目“非 API 标准油气井管材及管柱安全性与优化设计技术研究”(2008A-3005)资助。

作者简介: 朱红钧, 1983 年生。2007 年河海大学硕士研究生毕业, 主要从事油气流体力学及计算流体力学的教学与研究工作, 讲师, E-mail: ticky863@126.com。

空气的需求量作了大量的研究,把钻井所需排量与气体的密度,井眼的大小、深度,钻柱的尺寸以及机械钻速关联起来。Cooper, Leonard W, Hook 和 Wilson G E 等对空气钻井中的井斜进行了研究^[5-10],提出了控制空气钻井的 2 个基本原理: 钟摆效应和刚性满眼钻具。国内孟英峰、练章华等^[11-14]对空气钻井进行了大量深入细致地研究,尤其是空气需求量、气体携岩能力等方面,并且研制了国内第 1 只适用空气钻井的反循环钻头。

随着模拟软件的兴起和成熟,基于 CFD 的相关软件开始用于模拟石油工程的实际问题,Adewumi M A^[15]对井内气固两相流进行了二维流动模拟,孟英峰等^[13]对气体钻水平井的流场进行了模拟,郭建华等^[16]对气体钻井井筒冲蚀作用进行了定量分析,但由于数值模拟的初边界条件难以确定,且涉及多相流动,相关研究成果尚未给出十分满意的答案。笔者基于 CFD 对气体钻井时环空内气固两相流场进行了数值模拟研究,得出了不同偏心距、不同井斜、不同转速时的流场变化,直观形象地反映了环空内流体的流动特征。

1 研究问题及模型

Problems and models

选择川东北地区二开时一种常用的空气钻井组合参数建立模型,模型长 10 m,井眼为 $\varnothing 316.5$ mm,钻杆为 $\varnothing 127$ mm,偏心距选择 0.01 m 与 0.02 m 2 种,钻杆旋转速度选取 30 r/min、60 r/min、90 r/min 3 种,井斜选 30° 、 50° 、 70° 3 个角度,气体常态下密度为 1.225 kg/m^3 ,套管、杆的绝对粗糙度 0.04678 mm ,裸眼绝对粗糙度 4.08 mm ,岩屑密度 2600 kg/m^3 ,比热 $1100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$,导热系数 $0.3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 。

对所建模型采用六面体单元进行网格划分,环空偏心距为 0.02 m 时的几何模型及网格划分见图 1。数值计算时,设置了速度入口、压力出口和固体壁面等边界条件,速度入口的气固速度均设置 25 m/s ,固相体积分数为 0.002,环空出口压力取 0.1 MPa 。



图 1 环空偏心距为 0.02 m 时的几何模型及网格
Fig.1 Geometric model and mesh of annulus with 0.02 m eccentric distance

2 数值结果与分析

Numerical results and analysis

选取距入口 5 m 处横截面进行流速分布分析,该处不同条件下环空内的岩屑流速分布见图 2。

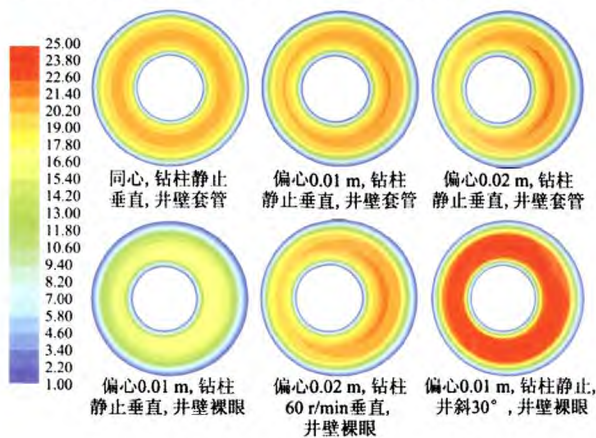


图 2 不同条件下环空内岩屑速度分布

Fig.2 Cuttings velocity distribution in annulus under different conditions

由图 2 可知,在同心环空中,流速沿径向对称分布,最大流速位于环空中心区域,距壁面越近流速越小;当发生偏心环空时,流速也偏离对称分布,且偏心距越大偏离越明显;岩屑的最大速度在环空厚度较大处发生,相对同心环空时大约 1.15 m/s ,但最大流速区域很小,随偏心距的增大而增大;井壁为裸眼时,因受裸眼壁面摩擦影响,岩屑流速明显比外壁为套管时小的多,相差 $4\sim 5 \text{ m/s}$;钻柱旋转对岩屑速度的影响不显著,岩屑在偏心环空中的流速仅有细微的减小;而当井倾斜时,岩屑速度有较明显的增加,约 $1.5\sim 2.4 \text{ m/s}$,最大流速区域仍偏近环空厚度较大处。

图 3 为不同条件下环空内的压强分布,从 3(a)中可以看出,当外壁为裸眼时,压降比外壁为套管时大 $2.5\sim 3$ 倍,且随偏心距的增大,压降逐渐增大,同井深的裸眼段要消耗更多的压力,需要更大的压能注入;外壁为套管时,随偏心距的增大,压降先减小后增加,但没有超过同心时的压降,总体呈现弱下降趋势。

钻柱旋转对偏心环空内压强分布有明显的影,图 3(b)为偏心距 0.02 m 时 3 种不同转速的压强分布。可见,旋转使得环空压降增大,但压降并不是随钻速的增加而逐渐增加,有一个先升后降的过程,在钻速为 60 r/min 时达到最大,10 m 环空段的压降达 757 Pa ;压降随井斜角的增大而逐渐减小,见图 3

(c), 井眼发生倾斜时, 同井深条件下的环空流体克服位能减小, 所需的压能相应减小。

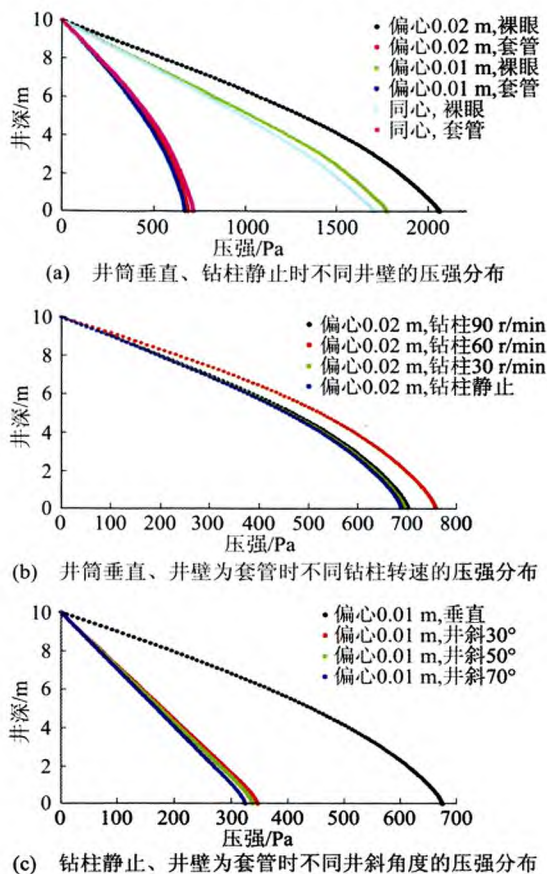


图3 不同条件下环空内压强分布

Fig.3 Pressure distribution in annulus under different conditions

环空内的岩屑浓度是气体钻井中需要关注的对象之一, 决定着井眼净化的相关技术参数。对不同条件下环空内岩屑体积分数分布进行了数值模拟, 见图4。当外壁为套管时, 偏心环空比同心环空中的岩屑浓度大, 体积分数大约 0.0003, 但偏心距的大小对其影响并不明显; 在井壁为裸眼时, 环空内的岩屑浓度较井壁为套管时大 0.001 的体积分数, 且随着偏心距的增大而逐渐增大, 在偏心距为 0.02 m 时的岩屑体积分数达 0.00589; 钻柱的旋转对环空内的岩屑分布产生一定的影响, 随钻柱旋转速度的增大, 岩屑的体积分数先增后减, 最大值发生在钻柱转速为 60 r/min 时; 当井眼发生倾斜时, 环空内的岩屑浓度随井斜角的增大而增大, 因重力影响, 岩屑在下壁面区域聚集, 浓度较大, 而空气在上部流速加大, 携岩效果良好, 故上壁面区域的岩屑浓度很小。

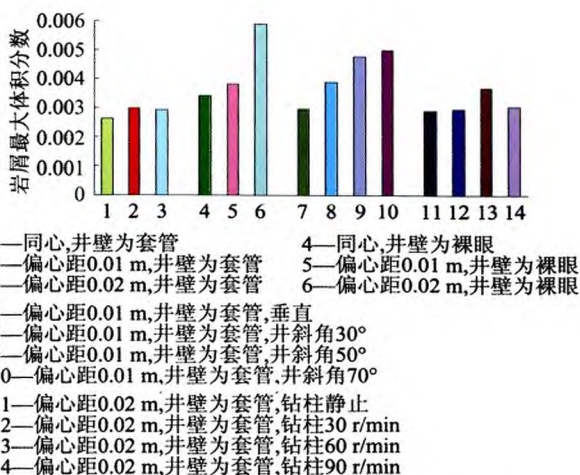


图4 不同条件下环空内岩屑体积分数分布

Fig.4 Volume fraction distribution of cuttings in annulus under different conditions

3 结论

Conclusions

(1) 偏心环空中岩屑流速偏离对称分布, 在倾斜井眼中有明显增加, 而钻柱旋转时变化不大, 最大速度在环空厚度较大处发生;

(2) 裸眼井壁的压降比套管时大 2.5~3 倍, 随偏心距的增大而增大; 钻柱旋转使环空压降增大, 最大值发生在 60 r/min 时, 而随井斜角的增大, 压降逐渐减小;

(3) 偏心环空比同心环空中的岩屑浓度大, 裸眼井壁环空内的岩屑浓度相对较大, 且随着偏心距的增大而逐渐增大;

(4) 随钻柱旋转速度的增大, 岩屑的体积分数先增后减, 最大值发生在钻柱转速为 60 r/min 时; 环空内的岩屑浓度随井斜角的增大而增大, 岩屑在下壁面区域聚集;

(5) 数值模拟气体钻井形象直观地反映了井内各参数的分布情况, 为气体钻井设计与工艺参数选择提供了有效的参考依据。

参考文献:

References:

- [1] 王存新, 孟英峰, 邓虎, 等. 气体钻井注气量计算方法研究进展 [J]. 天然气工业, 2006, 26(12): 97-99.
WANG Cunxin, MENG Yingfeng, DENG Hu, et al. Study advances in gas volume requirement calculation for gas drilling [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(12): 97-99.

- [2] 朱江, 王萍, 蔡利山, 等. 空气钻井技术及其应用 [J]. 钻采工艺, 2007, 30(2): 145-148.
ZHU Jiang, WANG Ping, CAI Lishan, et al. Air drilling technology and its application [J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(2): 145-148.
- [3] 马光长, 杜良民. 空气钻井技术及其应用 [J]. 钻采工艺, 2004, 27(3): 4-8.
MA Guangchang, DU Liangmin. Air drilling technology and its application [J]. Drilling & Production Technology, 2004, 27(3): 4-8.
- [4] ANGEL R R. Volume requirements for air and gas air drilling [J]. JPT, 1957: 325-330.
- [5] COOPER, LEONARD W, Hook. Air drilling techniques [R]. SPE, 1977, 6435-MS.
- [6] WHITELEY M C, ENGLAND. Air drilling operations improved by percussion-bit/hammer-tool tandem [R]. SPE 13 429.
- [7] ROBERTS Alan P. Future development of water control methods in air drilling operations [R]. SPE 1959, 1420-G.
- [8] JOCHEN J E, LNACASTER D E. Reservoir characterization of an eastern kentucky devonian shales well using a naturally fractured, layered description [R]. SPE 26 192.
- [9] MURTHA J A, LANCASTER D E. Using measured flow rate and bottomhole pressure data to analyze a fracture treatment in a devonian shale well [R]. SPE 21 275.
- [10] KOZIAR G. Devonian shale gas development through multiple completions minimizes the finding cost of new reserves [R]. SPE 19 056.
- [11] 邓虎, 孟英峰, 陈丽萍, 等. 硬脆性泥页岩水化稳定性研究 [J]. 天然气工业, 2006, 26(2): 73-76.
DENG Hu, MENG Yingfeng, CHEN Liping, et al. Study on stability of brittle shale hydration [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(2): 73-76.
- [12] 邓虎, 孟英峰. 泥页岩水化过程的动态模拟 [J]. 天然气工业, 2003, 23(4): 51-53.
DENG Hu, MENG Yingfeng. Dynamic simulation of shale-hydrated process [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(4): 51-53.
- [13] 孟英峰, 练章华, 梁红, 等. 气体钻水平井的携岩 CFD 数值模拟研究 [J]. 天然气工业, 2005, 25(7): 50-52.
Meng Yingfeng, Lian Zhanghua, Liang Hong, et al. CFD Numerical Simulation Research on Cuttings-carried Capability in Gas Horizontal Drilling [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(7): 50-52.
- [14] 练章华, 孟英峰, 唐波, 等. 反循环空气钻井钻头结构设计及其流场分析 [J]. 石油机械, 2003, 31(S1): 15-16.
LIAN Zhanghua, Meng Yingfeng, TANG Bo, et al. Structural Design and Analysis of Flow Field for Reverse Circulation Bit [J]. China Petroleum Machinery, 2003, 31(S1): 15-16.
- [15] ADEWUMI M A, TIAN Shifeng. Analysis of air drilling hydraulics [R]. SPE 21 277.
- [16] 郭建华, 余朝毅, 李黔, 等. 气体钻井井筒冲蚀作用定量分析及控制方法 [J]. 石油学报, 2007, 28(6): 129-132.
GUO Jianhua, SHE Chaoyi, LI Qian, et al. Quantitative analysis and controlling method for pipe string erosion in gas drilling [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6): 129-132.
- [17] 武乾文, 柳贡慧, 李军. 气体循环钻井室内相似模拟研究 [J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(5): 11-14.
WU Qianwen, LIU Gonghui, LI Jun. The research on indoor simulation method of gas circulation drilling in a similar way [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(5): 11-14.
- [18] 柳贡慧, 陶谦, 李军. 气体循环钻井井筒气量控制技术 [J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(4): 32-35.
LIU Gonghui, TAO Qian, LI Jun. Gas volume control techniques for circular gas drilling [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(4): 32-35.

(修改稿收到日期 2009-10-03)

[编辑 薛改珍]