

气体钻井井底压力影响因素分析

闫铁 陈勋 毕雪亮 孙士慧

(东北石油大学提高油气采收率教育部重点实验室, 大庆 163318)

摘要 井底压力控制是气体欠平衡钻井技术的核心, 该文在 Guo 模型的基础上, 采用微分迭代的方法求解井底压力。考虑气体注入速率、井口回压、井深、机械钻速和井径扩大率对井底压力的影响, 并利用编制的计算程序进行模拟。模拟结果表明, 随着气体注入速率、井口回压、井深、机械钻速的增大, 环空井底压力逐渐升高; 随着井径扩大率的增大, 环空井底压力逐渐降低。计算为气体钻井设计和井控理论研究提供了一定的依据。

关键词 气体钻井 井底压力 井口回压 井径扩大

中图法分类号 TE242.6;

文献标志码 A

由于气体钻井具有提高机械速、保护油气层、减少井的漏失、延长钻头寿命、井眼清洁、利于环保、防斜打快、降低成本等优势得到广泛应用^[1-3]。气体钻井工艺的核心就是井底压力的研究与控制, 其中, 井底负压值的大小直接影响到地层流体进入井筒内量的多少, 关系到能否安全、快速钻进^[4]。

本文在正循环气体钻井模式的基础上, 根据 Guo 模型对各种主要钻井参数对井底压力的影响规律进行了分析。

1 计算模型

图1展示了一个简化U形管的正循环流动。通常, 在气体钻井中, 两相流会产生于钻柱内和通过钻头喷嘴处。三相流发生在钻井液携带岩屑从井底向地面流动的环空里, 三相流由可压缩的气体、不可压缩的液体及由钻头切割产生的固体岩屑组成。气体钻井中可压缩的气体通常是空气、天然气、氮气(或去氧的空气)。不可压缩的液体通常是指经过处理的淡水、处理过的盐水(地层水)、水基

钻井液、柴油、油基钻井液或原油^[5-7]。

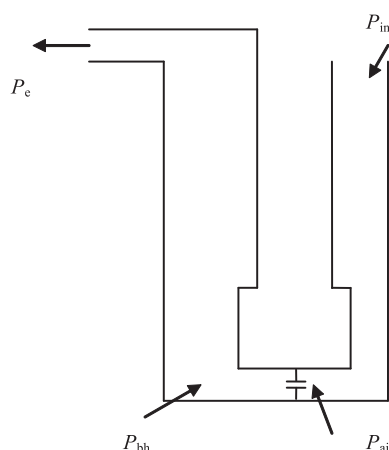


图1 正循环流动示意图

注: P_{in} 为钻柱顶部注入流体的压力; P_{ai} 为钻柱内钻头上的压力; P_{bh} 为环空井底的压力; P_e 为环空顶部压力。

本文采用 Guo 模型进行环空井底压力的计算, Guo 模型做了以下假定: 可压缩气体符合气态物质的性质; 可压缩气体和不可压缩液体的混合可以达到均质; 当固体颗粒被混入气流时, 在大小、密度上一致的岩屑能一直地分布于气液流中; 混合物符合已知的最基本的流体流动机理^[8]。气体钻井环空压力 Guo 模型计算公式如下:

$$P_{bhi} = \left[(P_{ati}^2 + b_{ai} T_{avi}^2) e^{\frac{2a_{ai} H_i}{T_{avi}}} - b_{ai} T_{avi}^2 \right]^{0.5} \quad (1)$$

2011年5月31日收到

国家科技重大专项课

题(201108ZX05021-006)资助

第一作者简介: 闫铁(1957—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 石油钻井工艺技术。E-mail: yant@nepu.edu.cn。

式(1)中 $a_{ai} = \left(\frac{S}{R}\right)\left[1 + \frac{w_s}{w_{gi}}\right]$ (2)

$$b_{ai} = \frac{f_i}{2g(D_{hi} - D_{pi})}\left(\frac{R}{S}\right)^2 \frac{w_{gi}^2}{\left(\frac{\pi}{4}\right)^2 (D_{hi}^2 - D_{pi}^2)^2}$$

(3)

$$f_i = \left[\frac{1}{2\lg\left(\frac{D_{hi} - D_{pi}}{e}\right) + 1.14}\right]^2$$

(4)

式中： P_{bhi} 为第 i 段底部压力,lb/ft²； P_{ati} 为第 i 段顶部压力,lb/ft²； T_{avi} 为第 i 段平均温度,°R； H_i 为第 i 段井深,ft； S 为特定气体相对密度； R 为 API 标准下干空气气体常数,53.36 ft·lb/(lb·°·R)； w_s 为固相重量流量,lb/s； w_{gi} 为第 i 段气相重量流量,lb/s； D_{hi} 为第 i 段井眼内径,in； D_{pi} 为第 i 段钻柱外径,in； f_i 为第 i 段摩阻系数,无因次。

2 软件编制

通过计算模型编制气体钻井井底压力计算软件^[10],输入地层数据、地表数据、井身结构数据、钻柱数据和相应的气体数据。根据气体钻井井底压力公式诸多变量参数都是井深的函数的特点,把整个井筒空间沿轴向微分成多个很小的井段,首先根据井口回压值对其上部的微分井段底端压力和环空摩阻进行计算,然后根据上部微分井段底端压力和环空摩阻的计算结果,再对下一段微分井段进行同样的计算,这样至上而下迭代计算出的底端压力就是该微分井段对应井深处的压力。该过程循环往复,直到计算深度为井眼深度,整个计算过程结束^[11]。最后一个微分井段计算所得的压力就是井底压力。

3 计算实例分析

基本原始数据和条件为:井型为直井;计算井深 3 620 m;套管鞋深度 2 650 m,套管内径 222.4 mm;裸眼直径216 mm;钻杆外径127 mm;钻铤外径171 mm;地面温度-5℃,地温梯度3.85℃/100 m,

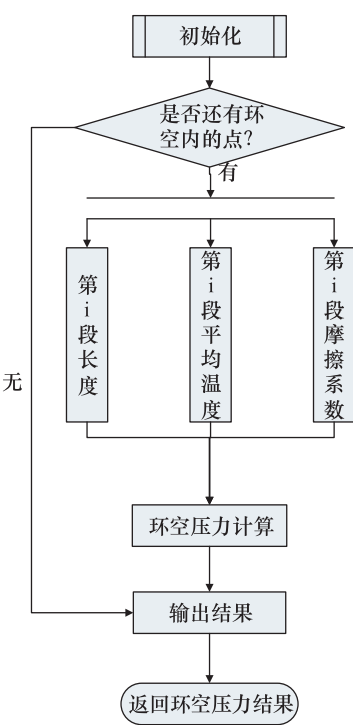


图2 气体钻井井底压力软件计算流程图

井口回压100 kPa;注入氮气,气体注入速度80 m³/min,相对空气比重 0.998;机械钻速7 m/h。

根据程序计算结果,分别分析气体注入速度、井口回压、井深、机械钻速、井径扩大率对井底压力的影响,绘制图形如下所示。

3.1 气体注入速率

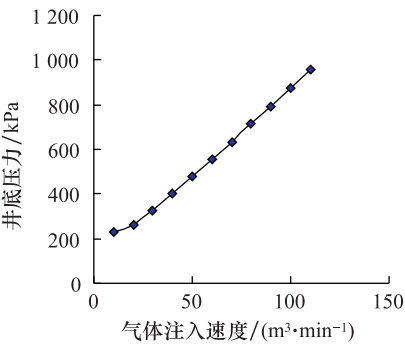


图3 气体注入速度与井底压力关系

从图3可以看出,在其它条件不变的情况下,随着气体注入速率的增加,井底压力逐步升高。出现这种现象的原因是:在其它条件一定时,气体注入速率越大,环空内的气体流速越大,使得流动循环

摩阻增大,井底压力升高。

3.2 井口回压

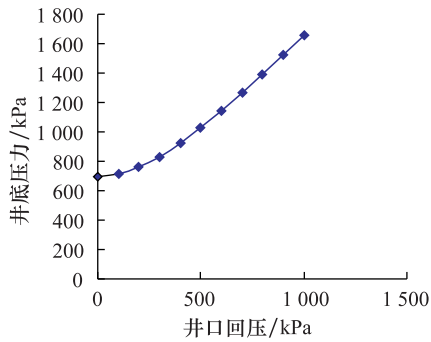


图4 井口回压与井底压力关系

从图4可以看出,在其他条件不变的情况下,随着井口回压的增加,井底压力逐渐增大。当井口回压较小时,井底压力随着井口回压的增加而平稳增加。当井口回压较大时,井底压力随着井口回压的增加而增加,增幅变大。出现上述情况的原因是:井口回压增加使得环空内的气体压缩程度增加,回压越大,气体密度越大,从而导致井底压力随回压增大。在气体欠平衡钻井中,控制一定的回压不仅能调节控制井底压力,还可以避免多相流体到达井口时因过大膨胀而出现过高的流速,冲蚀井口装置,并且避免过高的摩阻压降。

3.3 井深

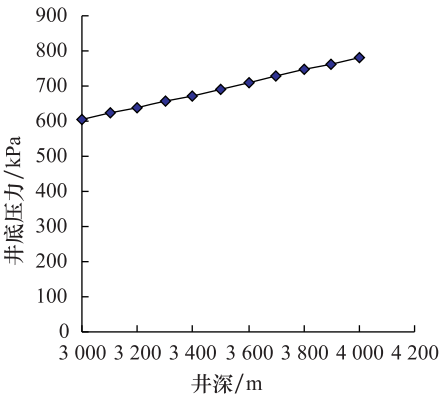


图5 井深与井底压力关系

从图5可以看出,在其他条件不变的情况下,随着井深的增加,井底压力逐渐增大。出现上述情况的原因是:当其他条件一定时,摩擦损耗与井深成

正比关系,井深越大,摩擦损耗也越大,从而导致井底压力增大。

3.4 机械钻速

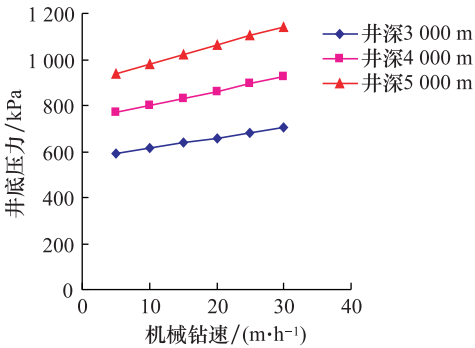


图6 机械钻速与井底压力关系

从图6可以看出,在其他条件不变的情况下,井底压力随着机械钻速的增加而增大,同一机械钻速下井深越大井底压力增量越大。出现上述现象的原因是:随着机械钻速的增加,环空内岩屑含量上升,多相流体密度增大,造成井底压力增大。

3.5 井径扩大率

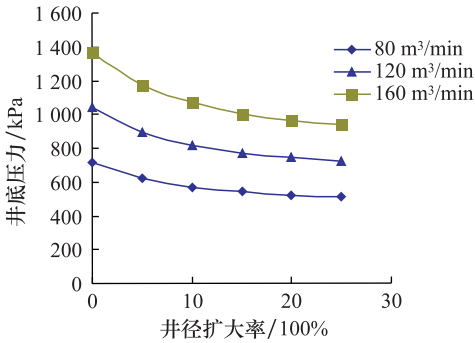


图7 井径扩大率与井底压力关系

从图7可以看出,在其他条件不变的情况下,随着井径扩大率的增大,井底压力逐渐降低;在同一井径扩大率变化范围内,气体注入速率越大,井底压力波动越大。出现上述情况的原因是:在其他条件一定时,井径扩大率的增大,使得裸眼段环空截面积增大,气体流速减小,相应的流动循环摩擦损耗减小,导致井底压力降低;由于携岩的要求,气体注入速率越大,环空气体流速变化范围越大,井底压力波动越大。

4 结 论

(1) 气体钻井中,气体注入速度、井口回压、井深、机械钻速和井径扩大等因素都会造成井底压力波动。井底压力与气体注入速度、井口回压、井深和机械钻速成正比关系,与井径扩大率成反比关系。从计算结果可以看出,当其他条件一定时,气体注入速度和井口回压对井底压力影响很大。

(2) 对于深井气体钻井,由于负压值范围较小,环空岩屑对井底压力的影响不可忽视,否则易造成过平衡钻井,失去负压控制的意义。

(3) 气体钻井中,环空流体对井壁的冲蚀作用较大,易造成井径扩大,对井底压力的影响不可忽视,在实际气体欠平衡钻井设计和施工时,要考虑井径扩大对井底压力的影响。

参 考 文 献

1 赵业荣. 气体钻井理论与实践. 北京:石油工业出版社,2007

2 罗世应,孟英峰. 欠平衡钻井的应用前景. 天然气工业,1999;19(4):55—58

3 Shale L, Christensen E. Development of Air drilling motor holds promise for specialized directional drilling applications. SPE22564, SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Dallas, Texas, 1991;275—286

4 周英操. 欠平衡钻井技术与应用. 北京:石油工业出版社,2003

5 Lyons W C, Guo B, Seidel F A. Air and gas drilling manual. New York: McGraw-Hill Book Company, 2001;131—140

6 郭建华. 气体钻井环空气固两相流动数值模拟研究. 成都:西南石油大学,2006

7 侯绪田. 多相流井筒压力分布规律探讨. 石油钻探技术,2004;32(4):32—34

8 Daugherty R L, Franzini J B, Finne-more E J. Fluid mechanics with engineering applications. Eighth Edition, McGraw-Hill, 1985

9 郭文才,刘绘新. 空气钻井计算方法及应用软件. 钻采工艺,2001;24(1):8—10

10 李维国. 数值计算方法. 东营:石油大学出版社,2004

Analysis on Influence Factors of Bottom-hole Pressure in Gas Drilling

YAN Tie, CHEN Xun, BI Xue-liang, SUN Shi-hui

(Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery of the Ministry of Education, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, P. R. China)

[Abstract] Bottom-hole pressure control is the core of gas drilling technology. Based on model Guo, differential iterative method is used to acquire downhole pressure. The algorithm was realized through program, the influence factors, such as gas injection rate, back pressure, depth, rate of penetration(ROP), and wellhole enlargement, were analyzed. The results show that, with the gas injection rate, back pressure, depth, ROP increases, the annular bottom-hole pressure gradually increasing; with the wellhole enlargement increases, the annular bottom-hole pressure gradually decreaseing. The result can be used to provide foundation for the optimization design and the well control theory in gas drilling.

[Key words] gas drilling bottom-hole pressure back pressure hole enlargement