

基于 ANSYS 单牙轮钻头井底流场的研究^{*}

邓嵘 马红伟

(西南石油学院)

邓嵘等.基于 ANSYS 单牙轮钻头井底流场的研究.天然气工业,2005;25(4):98~99

摘要 文章运用 CAD 软件 Pro/E,对 $\varnothing 152.4$ mm 球形单牙轮钻头的几种喷嘴组合所形成的井底流场建立了 3D 模型,并应用软件 ANSYS 对流场模型进行分析。研究了喷嘴的结构参数对井底流速、井底压降的影响。提出了井底流场效果的评判:①较高的井底压降;②较小的涡旋;③较大上返速度。从多种喷嘴组合中找出能够形成最好净化井底流场的喷嘴组合。指出在其它条件不变的情况下,上、下喷嘴直径比为 0.5 时,井底流速和井底压力降最大;而当上、下喷嘴直径比不变, $L=75$ mm 时,井底流速和井底压力降最大。建议在单牙轮钻头水力系统设计时,上、下喷嘴直径保持上小下大,直径比 0.50 左右, L 取 75 mm 左右时可以获得较大的井底流速、井底压力降以及较小的井底涡旋;喷嘴出口处的设计时尽量做到圆滑过渡。

关键词 钻井 单牙轮钻头 喷嘴直径 数值模拟 井底 流场

井底流场的空间狭小,形状复杂;钻头的转动以及井底淹没非自由射流等因素导致井底流场极其复杂。流体力学对于像钻井井底流场这样复杂的研究对象很难单纯用数学和力学的理论方法进行分析。如果单靠实验的方法来解决具有滞流区、回流现象、旋涡等问题的井底流场是不能完全测试出所有结果的。同时,由于试验条件和测试手段的不同,会得出不同的试验结果。现在由于电子计算机的运算速度不断提高和容量不断扩大,以及流体力学理论知识的不断完善和发展,对复杂几何边界条件下的射流流动规律的数值模拟已成为可能。用通用流体力学软件来模拟井底流场,只需建立三维实体模型,给出流体性质和流动参数等条件,则可自动求解。可以使研究工作量、编程工作量大大减少。

一、模型简化

(1)建立钻头三维模型时,忽略了牙齿。由于钻头模型比较复杂,为了简化钻头的井底流场,方便计算,提高计算的收敛性,因此,建模时忽略了牙轮上的牙齿。

(2)研究单牙轮钻头井底流场特性时,不考虑钻头的转动。

二、模型的建立

分析钻头的类型为 $\varnothing 152.4$ mm 的球形单牙轮钻头。轴倾角 $\beta=35^\circ$,偏心距为 10 mm,喷嘴位置见图 1。喷嘴组合为以下 5 种结构:① $d_{\text{上}}=0$ mm, $d_{\text{下}}=18$ mm;② $d_{\text{上}}=8$ mm, $d_{\text{下}}=16$ mm;③ $d_{\text{上}}=10$ mm, $d_{\text{下}}=15$ mm;④ $d_{\text{上}}=12$ mm, $d_{\text{下}}=14$ mm;⑤ $d_{\text{上}}=12.8$ mm, $d_{\text{下}}=12.8$ mm。

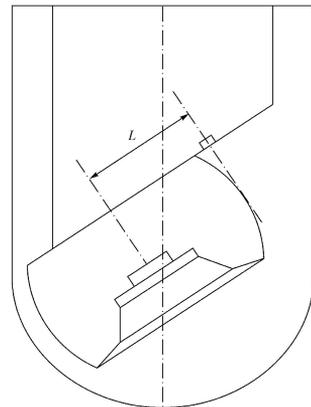


图 1 喷嘴位置示意图

每种喷嘴结构组合中,下喷嘴位置不变,改变上喷嘴的位置 L 分别为 70、75、80、85 mm,总共 20 种

^{*} 本文受 CNPC 中青年创新基金资助。

作者简介:马红伟,助教,1977 年生;2001 年毕业于江汉石油学院机械制造及设计;现在西南石油学院攻读硕士。地址:(637001)四川省南充市。电话:(0817)2642922。E-mail:deng0152_crf@sina.com

组合。

每组喷嘴组合的当量直径为 $8.94\sim 9.22\text{ mm}$ ；排量 $Q=20\text{ L/s}$ ；泥浆的运动粘滞系数为 $\nu=18.2\text{ mm}^2/\text{s}$ 。

通过大型 CAD 软件 Pro/E 建立流场的环空模型,由于不考虑钻头的转动,流场也具有对称性,同时也为了加快求解速度,建立流场环空模型时,只建立一半。设井筒的半径为 86.2 mm 。流场环空模型由 ANSYS 与 Pro/E 的专用接口输入 ANSYS。在 ANSYS 中对流场模型进行网格划分。网格划分采用了 3D FLOTRAN142 单元模型,单元格划分采用总体控制的单元长度为 4,采用 Tet 单元自由划分的方法。流场模型总共划分了 273330 个单元格。

三、施加流场边界条件及求解

边界条件施加如下。

(1)在喷嘴出口处加上喷射速度(喷射速度可以由流量算出)。

(2)流场出口处加上相对压力 $p=0$,表示井底流场整体处于同一外界压力场中。

(3)流场其它边界处加上速度约束 $v=0$ 。

求解如下。

因为井底流场是典型的充分发展的湍流^[1],可采用常用标准湍流模型 $k-\epsilon$ 模型来分析。

为了提高方程的准确性并保证其收敛性,对压力方程采用半直接共轭方向法(Precond con grad)求解,而对其它的方程采用三角矩阵法 TDMA (TRI-Diagonal Matrix Algorithm)算法求解。

四、结果分析

怎样评判单牙轮钻头井底流场呢?笔者认为在综合考虑了滞流、逆流、涡旋以及下行射流、上返液流与反喷液流之间的相互关系后,一个好的单牙轮钻头井底流场应具备以下几点。

(1)较高的井底压降(井底范围内最高压力与最低压力的压差)。这将保证高的流速,以使岩屑被液流带离井底。

(2)较小的涡旋,这将减轻岩屑被返回井底的几率。

(3)较大的液流上返速度。使岩屑易被带出。由 ANSYS 后处理的结果分析,可得到井底流场的速度分布图、压力分布图及速度流线图。下面仅通过 $L=70\text{ mm}$ 时各喷嘴组合的井底流场的速度分布图、压力分布图以及速度流线图来分析各种参数对井底流场的影响。①各喷嘴组合的速度在喷嘴附近

的速度最大,然后逐步减少。牙轮的正面是液流的主上返面,流体的上返速度较大,牙轮的背面的流体上返速度较小。②喷嘴入口处的压力最大,而在喷嘴拐角处却出现最小的压力,这样一来压差的陡变很容易在喷嘴的拐角处形成漩涡,造成能量损失。因而要求以后的喷嘴设计时喷嘴的出口应该尽量圆滑过渡,以避免形成过大的压力陡变区,进而减少涡旋的形成。③对于同一 L 的 5 种喷嘴组合的涡旋依次增大,即单喷嘴是涡旋最小喷嘴结构。

五、结论

由 ANSYS 分析的 L 分别为 $70、75、80、85\text{ mm}$ 各喷嘴组合流场结果,可以获得各喷嘴组合的流场速度和压力数据。然后由采得的数据做出 L 分别为 $70、75、80、85\text{ mm}$ 时各喷嘴组合的井底液流速和喷嘴上下直径比关系,井底压力降和喷嘴上下直径比关系图。根据做出各喷嘴组合的井底液流速和喷嘴上下直径比关系,井底压力降和喷嘴上下直径比关系图可以得出如下的结论。

(1)同一 L 的各喷嘴组合井底流场流速在 $D_{\text{上}}/D_{\text{下}}=0.5$ 附近有极大值点;而不同 L ,相同的喷嘴组合的井底流场流速相比, L 为 75 mm 时的井底流速较大。

(2)同一 L 的各喷嘴组合井底压力降在上下喷嘴直径比 $D_{\text{上}}/D_{\text{下}}=0.5$ 时出现极大值点,而不同 L ,相同的喷嘴组合的井底流场压力降相比 L 为 75 mm 时的压力降较大。

(3)喷嘴设计时上下喷嘴直径最好能够保持上小下大,直径比为 $D_{\text{上}}/D_{\text{下}}=0.50$ 左右,而 L 取 75 mm 左右时可以获得较大的井底流速、井底压力降以及较小的井底涡旋。

(4)喷嘴出口处的设计时尽量做到圆滑过渡。通过模拟发现圆滑过渡对于压降在喷嘴拐角处的陡降明显减少。

参 考 文 献

- 1 陈小榆.井底漫流场的数值模拟研究.西南石油学院学报,2002;24(1):84~86
- 2 王国强.实用工程数值模拟技术及其在 ANSYS 上的实践.陕西西安:西北工业大学出版社,1999
- 3 陈武等.钻井工作量及钻速分析.天然气工业,2003;23(1)
- 4 刘孝良等.应用漏斗粘度计测定幂律流体的流变参数.天然气工业,2003;23(4)
- 5 熊继有等.井下增压研究新进展.天然气工业,2003;23(6)

(收稿日期 2004-08-16 编辑 钟水清)