

控压节流阀压降特性及结构改进

艾志久¹, 喻久港¹, 王琴², 柴希伟¹, 郑锦祥¹, 李杰³

1. 西南石油大学机电工程学院, 成都 610500
2. 中国石油天然气集团公司济柴动力总厂成都压缩机厂, 成都 610100
3. 中海油田服务股份有限公司油田技术研究院, 廊坊 065201

摘要 针对控压钻井过程中节流阀压降调节线性度差的问题, 采用计算流体力学方法对塔里木油田现用节流阀进行数值模拟, 分析现有结构下阀芯开度与压降的关系, 并对阀芯进行了结构改进。结果表明, 改进后的节流阀更加符合控压钻井工艺要求, 其压降特性线性度明显提升, 在开度20%~70%时, 线性相关系数达到0.973, 提高了节流阀压降可调性和控压钻井的安全性。阀芯结构的改进改善了内部流场的涡流现象, 比较改进前后速度云图发现最大速度减小了29.78%, 提高了节流管汇防冲蚀能力。

关键词 压降特性; 节流阀; 控压钻井; 线性度

中图分类号 TH703

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.03.011

Flow resistance characteristics and structural improvements of managed pressure throttle

AI Zhijiu¹, YU Jiugang¹, WANG Qin², CHAI Xiwei¹, ZHENG Jinxiang¹, LI Jie³

1. School of Mechanical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China
2. Chengdu Compressor Plant, Jichai Power Equipment, CNPC, Chengdu 610100, China
3. Oilfield Technology Research Institute, China Oilfield Services Limited, Langfang 065201, China

Abstract For the pressure control in the process of drilling, the non-linearity in the throttle valve pressure drop tuning is a serious problem. In this paper, using the computational fluid dynamics (CFD) method, numerical simulations of the throttle valve in the Tarim Oilfield are carried out, and the structural relationship between the valve opening and the pressure drop is analyzed. The structure of the valve core is improved on this basis, and the linearity of the relationship between the valve opening and the pressure drop is greatly improved. It is shown that the improved throttle valve can better satisfy the requirements of the drilling pressure control technology, the improved throttle valve pressure drop characteristics are significantly improved with better linearity, and in the opening of 20% to 70%, the linear correlation coefficient is 0.973. the adjustability of the throttle valve pressure drop and, therefore the safety of MPD, are greatly improved. With the improved core structure of the valve, the vortex phenomenon of the internal flow field is ameliorated with the maximum speed being reduced by 29.78%, also the throttle manifold erosion prevention is improved.

Keywords pressure drop characteristics; throttle; managed pressure drilling; linearity

控压钻井技术(managed pressure drilling, MPD)是近年来发展起来的一项解决复杂钻井问题的重要技术^[1,2], 控压钻井的核心^[3,4]是控制井口回压使井底压力接近地层压力。当地

层需要一定的回压来保持时, 通过节流阀来控制井口回压, 调节节流阀的开度^[5,6], 使回压达到所需值, 保证钻井的顺利完成。而目前国内如塔里木油田使用的控压节流阀的流阻

收稿日期: 2014-05-16; 修回日期: 2014-11-20

基金项目: 中国石油塔里木油田分公司重点项目(TLMYT-2011-GC-007)

作者简介: 艾志久, 教授, 研究方向为石油天然气装备及油气井安全工程, 电子信箱: aizhijiu123@vip.sina.com; 喻久港(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为石油天然气装备及油气井工作行为力学仿真, 电子信箱: yujiugang999@163.com

引用格式: 艾志久, 喻久港, 王琴, 等. 控压节流阀压降特性及结构改进[J]. 科技导报, 2015, 33(3): 70-74.

特性(开度与压降)成非线性,严重影响了控压钻井的正常使用,甚至会导致生产事故。因此研究控压节流阀阻特性,并在此基础上对阀芯结构进行改进具有重要意义。

控压钻井过程中,当钻井液通过阀门时产生压降,即控压时所需的回压,节流阀压降的计算公式^[7]为

$$\Delta p = \rho \frac{v^2}{2} \zeta$$

式中, ρ 为钻井液密度, kg/m^3 ; v 为钻井液流速, m/s ; ζ 为节流阀流阻系数。

钻井液 ρ 根据现场数据提供, v 可根据节流阀结构计算得到。 ζ 是节流阀压降计算中最重要又最不确定的参数,与钻井液在节流阀内方向的改变、阀内流通面积的变化、阀内壁面的摩擦等相关。对于一个结构简单的调节阀,想要通过理论计算得出 ζ 值也是不可能的,需要通过试验来确定。目前,仅可以查到闸阀、截止阀和升降式单向阀及旋启式单向阀的试验 ζ 值。而本文讨论的节流楔形阀,是在原有节流阀的基础上对阀芯结构进行改进,属于新型阀类,没有经验值可以借鉴,因此本文采用 CFD 软件^[8-10]对控压节流阀进行数值模拟,以此研究其压降特性。

1 结构分析及模型建立

1.1 节流阀结构分析

图1为某油田常用的JLK78-70手动节流阀结构图,该节流阀广泛用于控压钻井作业。

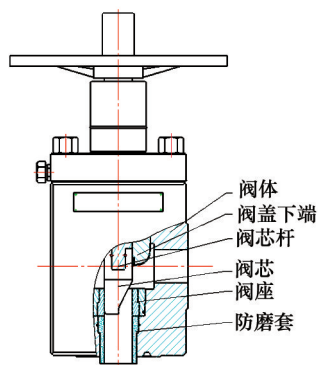


图1 JLK78-70手动节流阀结构
Fig. 1 JLK78-70 manual throttle structure

钻井液从阀体的通道进入节流阀,经阀芯与阀座和防磨套间的流道流出节流阀进入节流阀管汇;阀芯在阀芯杆的带动下在阀盖内上下移动,以此调节阀芯开度,进一步调节回压至特定值。

1.2 CFD模型建立

在 ANSYS-Workbench^[11]建立节流阀流体域模型,因为阀芯的位置变化而引起开度的不同,在建立流体域时分成了两部分,即阀体内的流体域和防磨套内的流体域。再按不同开度下的阀芯位置尺寸,移动阀座和防磨套内的流体域,得到不同开度下的计算区域。在建立模型时,对模型的倒角及圆

柱小台阶进行了简化,对防磨套内流体域进行了加长处理。计算域采用多面体网格进行划分,对壁面区域采用网格加密处理,计算域及划分后的网格如图2所示。

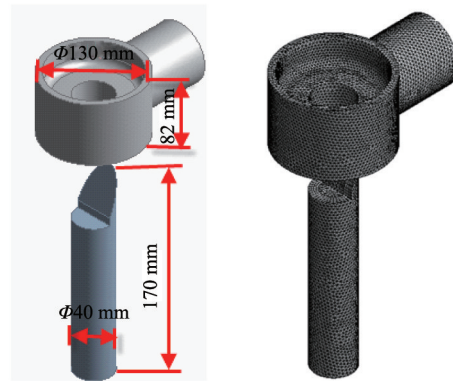


图2 节流阀内部流体域模型及网格划分
Fig. 2 Throttle internal fluid domain model and mesh

用压力进口,设定进口边界压力为 60 MPa;出口边界:钻井液流量为 40 L/s;固壁边界:采用无滑移壁面边界,壁面粗糙度 0.006 mm。钻井液密度 1080 kg/m^3 ,钻井液为宾汉流体,极限动切应力 $\tau_0=3$ Pa,塑性黏度 $\eta=0.012$ Pa/s。湍流控制方程采用标准 $k-\epsilon$ 方程。

2 计算结果及分析

模拟节流阀开度从 10%~90%,每间隔 5%的 17 个开度下的内部流场情况。

图3为开度 10%时节流阀内部的流畅图,可以看出,钻井液在通过节流阀最小过流面积时速度达到最大,正是由于速度分布不均,涡流现象严重。由图4中3个截面的压力分布可以看出,不同位置的最高压力分布区域不同,从阀芯到出口位置只旋转1周。利用 CFD 计算器算出节流阀出口平均总压为 4.65 MPa,则压降值为 55.35 MPa。

通过对 17 个开度进行流场数值模拟,得出各开度下的节流阀压降值。某油田现场测量是从开度 15%开始的,将计算值和实测值作表进行比较,如图5所示。

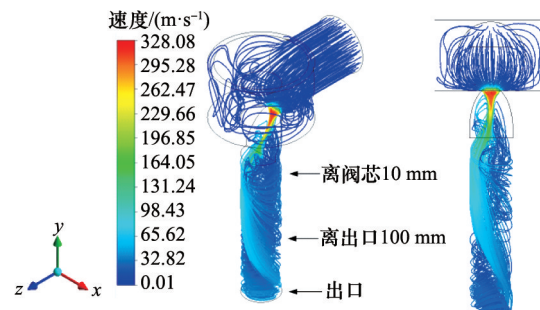


图3 开度 10%时节流阀内部流场
Fig. 3 Internal flow field for 10% throttle opening

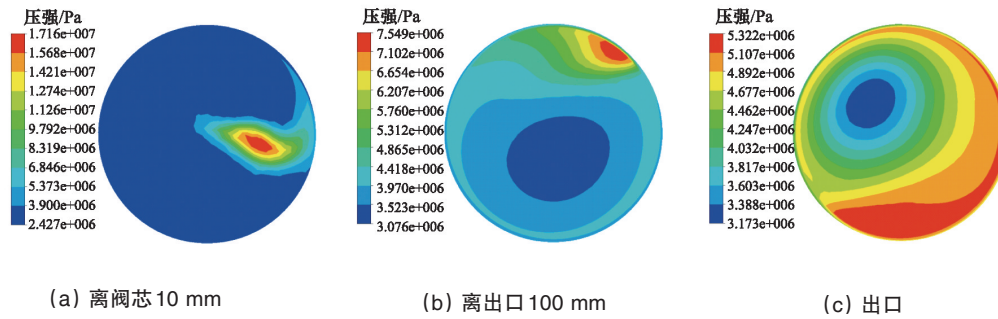


图4 开度10%时节流阀内部截面压力分布

Fig. 4 Internal section pressure distribution for 10% throttle opening

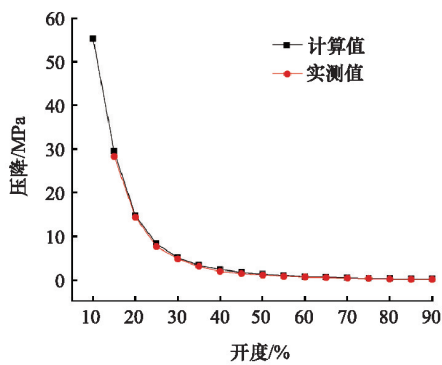


图5 节流阀压降特性

Fig. 5 Throttle pressure drop characteristics

由图5可以看出:

- 1) CFD计算值和实测值相当接近,且开度与压降成非线性关系;
- 2) 节流阀在开度较小的范围($< 30\%$)内压降很急,而在开度较大时的范围内压降基本没有,整体压降范围大。

由此可见,原节流阀的压降调节成非线性关系,计算值线性相关系数^[12-14]为0.639,在控压时常用开度20%~70%范围内的相关系数为0.830。节流阀的压降特性线性度差,有效可调行程范围小。常规控压钻井控制回压一般在10 MPa的范围内,为了使现场调节更加方便、准确,需对其进行结构改进,提高其压降调节线性度。

3 阀芯改进结构分析

节流阀在开度较小时,压降随开度变化急剧,开度较大时压降几乎不变。对阀芯的改进即改变阀芯与阀座之间的流道,根据原节流阀压降特点,对阀芯的结构改进方案:增大节流阀在小开度时的流道面积,减小节流阀在大开度时的流道面积(图6)。对阀芯楔面两端进行参数 a 和 b 设置,模拟参数变化时不同开度下的压降值, a 的取值范围为2~5, b 的取值范围为5~15,间隔均为1。

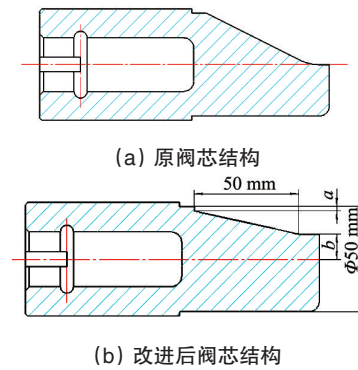


图6 阀芯改进前后结构

Fig. 6 Structures before and after improvement

控压钻井所需回压一般在10 MPa以内,节流阀开度为20%以后。经计算, a 介于2~5,对应的整体相关系数最高的参数为:

- 1) $a=2, b=5$,其整体相关系数为0.750;开度20%~70%相关系数0.878;
- 2) $a=3, b=9$,其整体相关系数为0.807;开度20%~70%相关系数0.927;
- 3) $a=4, b=13$,其整体相关系数为0.918;开度20%~70%相关系数0.973;
- 4) $a=5, b=15$,其整体相关系数为0.883;开度20%~70%相关系数0.957。

改进后4种结构压降特性如图7所示。

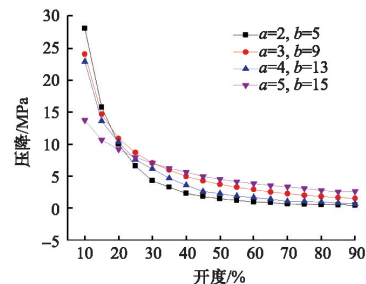


图7 改进后的4种结构压降特性

Fig. 7 Improved pressure drop characteristics for four structures

可以看出, $a=4, b=13$ 的相关系数最高, 根据改进后的阀芯结构, 重新建立 CFD 计算流体域及网格划分, 进行流场数值模拟。

由图 8 和图 9 可以看出, 改进后的节流阀内部流线几乎无涡流现象, 可以从不同截面的压力分布情况得出, 最高压力分布区域位置从阀芯到出口位置只旋转了很小的角度。通过多个开度的模拟, 得出各开度对应的压降值与原结构进行对比分析(图 10)。

由图 10 可以看出, 改进阀芯后的节流阀压降特性线性度明显高于原压降特性, 且在开度 20% 时, 节流阀的压降为 10.86 MPa, 开度 70% 时压降为 2.25 MPa。计算其整体相线性关系系数为 0.918, 开度 20%~70% 线性相关系数为 0.973, 线性度得到较大的提高, 进而大大提高了节流阀压降的可调性。

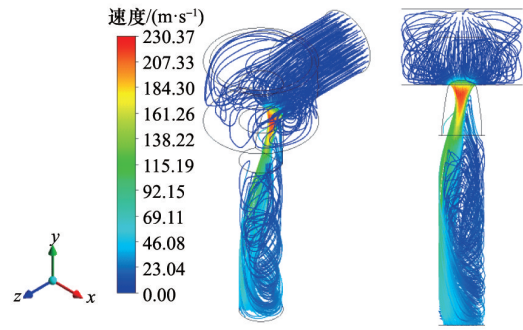


图 8 开度 10% 时节流阀内部流场
Fig. 8 Internal flow field for 10% throttle opening

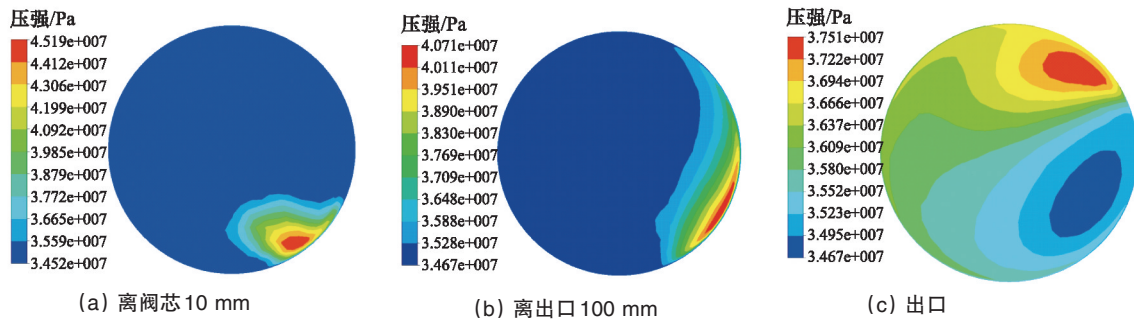


图 9 开度 10% 时节流阀内部截面压力分布
Fig. 9 Internal section pressure distribution for 10% throttle opening

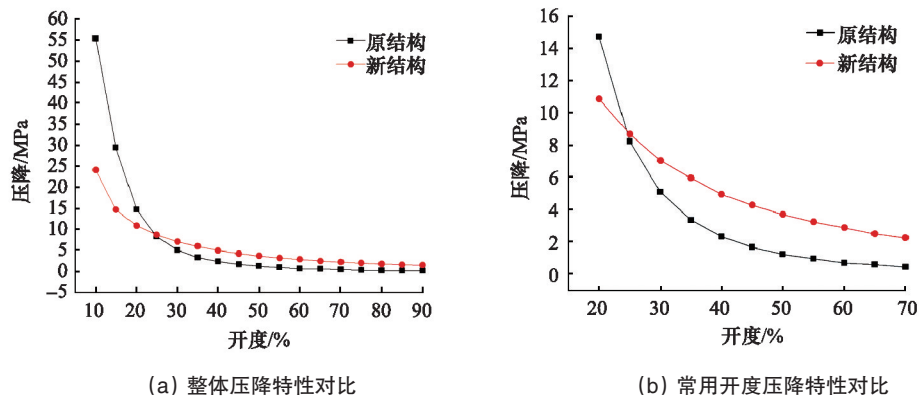


图 10 改进阀芯前后压降特性对比
Fig. 10 Valve pressure drop characteristics before and after improvement

4 结论

对原节流阀和改进后的节流阀内部流场均进行了数值模拟, 分析了改进前后的开度压降特性线性关系。通过阀芯改进后的模拟计算结果对比得出: 改进后的节流阀更加符合控压钻井工艺要求, 增加了有效可调行程; 改进后的节流阀不仅压降特性线性度明显提升, 在开度 20%~70% 时, 线性相关系数达到 0.973, 大大提高了节流阀压降可调性, 从而提高

控压钻井的安全性。阀芯结构的改进改善了内部流场的涡流现象, 比较改进前后速度云图发现最大速度减小了 29.8%, 提高了节流管汇防冲蚀能力。

参考文献 (References)

[1] 黄兵, 石晓兵, 李枝林, 等. 控压钻井技术研究与应用新进展[J]. 钻采工艺, 2010(5): 1-4.

- Huang Bing, Shi Xiaobing, Li Zhilin, et al. Research and application of MPD technique[J]. Drilling & Production Technology, 2010(5): 1-4.
- [2] 张猛, 贺连敏. 浅谈控压钻井技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(22): 123.
Zhang Meng, He Lianqi. Introduction to control pressure drilling technology research[J]. China Petroleum and Chemical Industry Standard and Quality, 2013(22): 123.
- [3] 伊明, 陈若铭, 杨刚. 控压钻井技术研究[J]. 新疆石油天然气, 2010(4): 32-37.
Yi Ming, Chen Ruoming, Yang Gang. MPD technology research[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2010(4): 32-37.
- [4] 伊明, 陈若铭, 兰祖权, 等. 控压钻井系统研究[J]. 石油钻采工艺, 2010(Suppl 1): 69-72.
Yi Ming, Chen Ruoming, Lan Zuquan, et al. Development of pressure controlling drilling system[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010(Suppl 1): 69-72.
- [5] 丁振龙, 刘绘新, 宋建雪, 等. 平衡钻井井底压力自动控制技术研究[J]. 天然气工业, 2007(7): 63-65.
Ding Zhenlong, Liu Huixin, Song Jianxue, et al. Automatic control of bottomhole pressure during balanced drilling[J]. Natural Gas Industry, 2007(7): 63-65.
- [6] 金业权, 刘刚, 孙泽秋. 控压钻井中节流阀开度与节流压力的关系研究[J]. 石油机械, 2012(10): 11-14.
Jin Yequan, Liu Gang, Sun Zeqiu. Research on the relation between throttle valve opening and throttle pressure in pressure control drilling [J]. Petroleum Machinery, 2012(10): 11-14.
- [7] 陆培文. 调节阀实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
Lu Peiwen. Valve practical technology[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2006.
- [8] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
Wang Fujun. Computational fluid dynamics analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [9] 付玉坤, 刘炯, 王娟, 等. 高压井控楔形节流阀三维流场模拟及阀芯失效分析[J]. 石油矿场机械, 2010(7): 5-8.
Fu Yukun, Liu Jiong, Wang Juan, et al. The 3D flow simulation and erosion mechanism analysis of the high-pressure throttle valves[J]. Oil Field Equipment, 2010(7): 5-8.
- [10] 练章华, 刘干, 龚建文, 等. 高压节流阀流场分析及其结构改进[J]. 石油机械, 2004(9): 22-24.
Lian Zhanghua, Liu Gan, Gong Jianwen, et al. High pressure throttle the flow field analysis and structural improvements[J]. Petroleum Machinery, 2004(9): 22-24.
- [11] 浦广益. ANSYS Workbench12基础教程与实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
Pu Guangyi. ANSYS Workbench12 based tutorials and examples explain[M]. Beijing: China Water Power Press, 2010.
- [12] 方安平. Origin8.0实用指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
Fang Anping. Origin8.0 practical guide[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2009.
- [13] 孙建军, 成颖. 应用数理统计[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.
Sun Jianjun, Cheng Ying. Mathematical statistics[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2007.
- [14] 袁新明, 毛根海, 张士乔. 阀门流道流场的数值模拟及阻力特性研究[J]. 水力发电学报, 1999(4): 60-64.
Yuan Xinming, Mao Genhai, Zhang Tuqiao. Numerical simulation of the flow channel and resistance characteristics of the valve flow field [J]. Hydroelectric Engineering, 1999(4): 60-64.

(编辑 陈华姣)

·学术动态·



2014 当代杰出华人科学家公开讲座在港澳举办

2014年11月27—12月1日,由中国科协、香港特区政府康乐文化事务署、京港学术交流中心、香港科学馆、澳门科学技术协进会、澳门大学共同主办的2014当代杰出华人科学家公开讲座分别在香港科学馆、澳门大学举行。

中国工程院院士、武汉大学测绘学院院长李建成作题为“全球卫星导航系统与精密高程确定”的讲座,从人类对大地测量的历史着手,介绍了世界卫星导航系统领域的发展,推介了中国自主建设的北斗卫星导航定位系统的进展。

中国航空学会常务理事、中国航空工业集团公司科学技术委员会专职委员张聚恩作题为“中国航空科技的发展与进步”的讲座,回顾了世界航空发展的简史及中华民族在航空领域的历史建树,介绍了近20年来中国大陆航空科学技术的飞速发展,展望了世界航空和中国航空的未来,阐释了中国航空人的历史责任。

香港中文大学工程学院院长、中国工程院外籍院士汪正平作题为“纳米材料和技术的最新进展——电子、光电和微机电系统的应用”的报告。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35533/n38575/16141786.html>。