

随钻扩眼器球座的周边流场分析及参数优化

邓宇丰¹ 刘嘉玮¹ 张辉² 张杨^{1*}

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 中石化胜利石油工程有限公司

钻井工艺研究院, 山东 东营 257000)

摘要: 采用 Fluent 软件对随钻扩眼器控制短节中球座周边流场进行流场仿真, 并通过速度流场的分析以及优化前后速度的对比, 对扩眼器流道结构进行优化。仿真结果表明, 通过采用优化后的球座结构以及球座外滑套结构, 能够有效减小流体对球座和球座外滑套内壁的冲蚀, 平缓流场。研究结果可为工程上流道结构设计提供一种新的优化思路。

关键词: 随钻扩眼工具; 球座; 优化设计; 流场模拟

中图分类号: TE921 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2018.02.011

引言

随钻扩眼器是一种新型的石油开发钻井工具, 其工作方式是在钻头钻进的同时对其钻出的井眼进行扩大。该工具目前正在开发和完善阶段, 其中扩眼器控制短节的球座周边冲蚀问题最为明显。球与其落座后的球座之间的密封性能直接影响扩眼器控制短节的憋压情况, 进而决定着能否剪切掉销钉、心轴是否能带动刀翼张开或是张开是否到位。因此需要使球座的流道结构和材质设计在投球前有抵抗冲蚀的能力, 以保障投球后球与球座好的密封性能^[1]。另外, 憋压同时球座下移后新流道被打开, 流体仍会冲蚀新流道的相关部位, 长期反复冲蚀会影响控制短节的再次使用。流体流经流道时与壁面摩擦, 即发生冲蚀效应^[2]。影响冲蚀的主要因素是流体流速、含砂量和冲蚀时间。用 Fluent 模拟流场时, 无法考虑冲蚀时间, 所以重点考虑流体冲蚀速度^[3]。

目前可查阅的文献多数是通过 Fluent 软件对阀座、流道等结构进行流场模拟、数值分析和结构改进^[4], 而对随钻扩眼器控制短节中的流体压力控制元件球和球座的相关研究很少。本文主要针对随钻扩眼器控制短节内未投球时, 球座入口内壁的冲蚀

性能以及投球之后新流道的冲蚀性能两个方面, 基于 Fluent 流体模拟软件对流道流场情况进行模拟, 优化流道结构参数, 降低冲蚀速度。

1 球座流道有限元分析

1.1 流道结构

随钻扩眼器球座位于随钻扩眼器的控制短节如图 1 所示, 通过投入一枚球, 在球座处卡住球产生憋压, 致使销钉剪断, 球座等下移一系列动作完成, 最终使扩眼器扩眼短节刀翼张开。未投球时, 流道冲蚀位置在球座内壁和球的密封面上, 其流道如图 1(a) 所示; 投球后球及球座等在球座外滑套内轴向向下移了一定距离, 并在球座外罩周边形成新的流道(图 1(b), 图中 A、B、C 表示流道变化情况)。本文将对未投球和投球后流道展开两种情况分别进行有限元分析。

1.2 模型建立

应用有限元分析软件 ANSYS Workbench 进行建模, 在 Fluent 软件中分析流场情况, 得到两种情况下的 Workbench 流体模型如图 2 所示。

图 2(a) 中原设计参数值为: 球直径 $\Phi = 55$ mm, 入口直径 $d_1 = 60$ mm, 出口直径 $d_2 = 40$ mm, 流道收敛角 $\alpha = 45^\circ$ 。图 2(b) 中原设计参数值为: 入口半径 $r_1 = 49$ mm, 环形空间部分外径 $r_2 = 62$ mm, 流道外扩角度 $\beta = 30^\circ$ 。

1.3 网格划分与前处理

利用有限元分析软件 ANSYS Workbench 进行图 2 中两种模型的网格划分, 采用六面体网格和网

收稿日期: 2017-10-10

第一作者: 男, 1992 年生, 硕士生

* 通讯联系人

E-mail: zhangyang@mail.buct.edu.cn

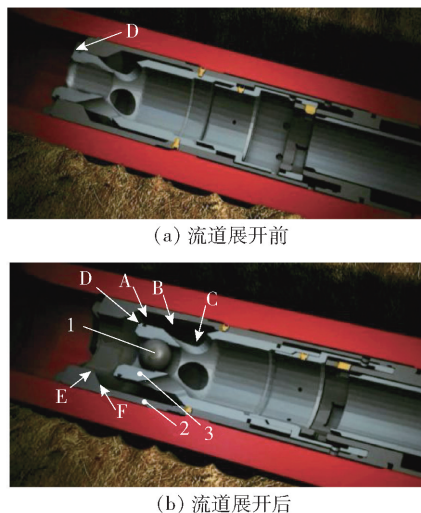


图1 流道结构示意图

Fig. 1 Structural representation of the runner

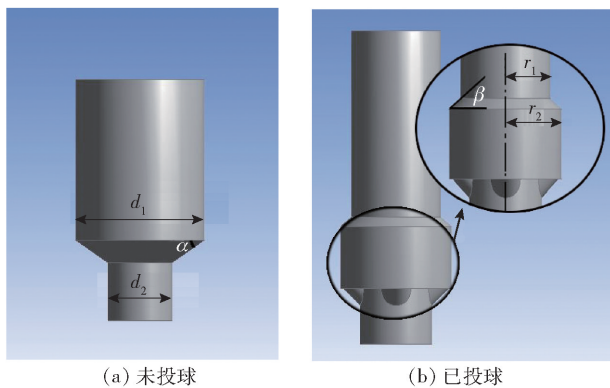


图2 两种情况下的 Workbench 流体模型

Fig. 2 Workbench fluid models for two cases

格细分命令建立网格模块,网格数量近百万,网格规整,可以用于后续的分析。选择 $k-e$ 二相流进行模型定义,类型选择标准模型,定义流体材料为泥浆,密度 1200 kg/m^3 ,黏度 $10^{-3} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$;入口边界为质量流动速率入口,入口速率 28 L/s ,入口压力 15 MPa ;温度 313 K ,湍流强度 5% ,水力直径^[5] 68 mm ;出口设为自由流动出口,迭代步数 5000 步,每 10 步记录为一组数据^[6-7]。

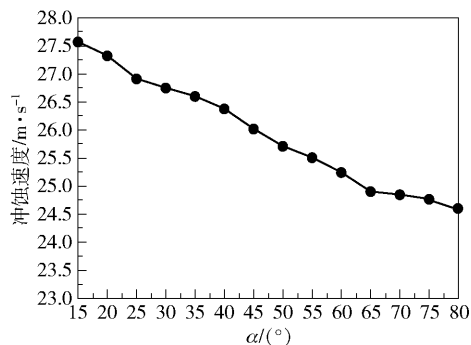
2 流场模拟及结果分析

2.1 未投球过程

2.1.1 改变流道收敛角

按照 1.3 节设定模拟条件并控制 $d_1 = 60 \text{ mm}$, $d_2 = 40 \text{ mm}$,将 α 值在 $15^\circ \sim 80^\circ$ 范围内改变,得到对

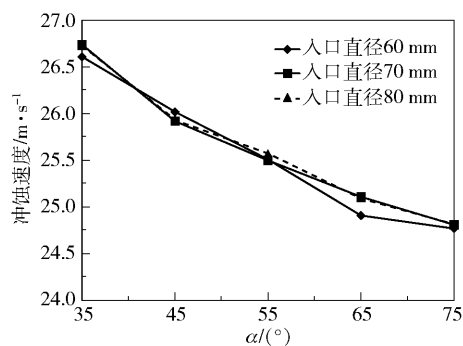
应冲蚀速度如图 3。

图3 d_2 不变,改变 α 时的冲蚀速度Fig. 3 Erosion speed when fixing d_2 and changing α

由图 3 看出,随着 α 的增大,流道变得平缓,冲蚀速度逐渐变小,湍动程度降低,对球座内壁的冲蚀效果变缓。 d_1 、 d_2 不变情况下增大 α 值,会使球座的轴向长度变大,从而联动其他结构尺寸改变; α 角增大到一定值时,投球后球会卡在球座处,卡住球的流道极限角度 α 值为 81.47° ^[8-9]。所以 α 值不能无限增大。

2.1.2 改变入口直径

固定出口直径 $d_2 = 40 \text{ mm}$,改变入口直径 d_1 为 60 、 70 、 80 mm ,得到不同 α 下冲蚀速度数据如图 4。

图4 d_2 不变,改变 d_1 时不同 α 下的冲蚀速度Fig. 4 Erosion speed when fixing d_2 and changing d_1 under different α

通过图 4 可以看出,3 种直径下随 α 变化的冲蚀速度线非常贴近,说明在流量值不变的情况下,增大入口直径对冲蚀速度的影响较小,湍动程度不高。

2.1.3 球座结构优化

基于 2.1.1 节和 2.1.2 节的分析结果,设定流道收敛角度 $\alpha = 80^\circ$,同时不改变球座主体外形尺寸(球座外形尺寸宽度为直径 75 mm 的圆柱,高度为 46 mm),得到流道优化结构如图 5(a) 所示,新结构下模拟结果如图 5(b) 所示。由图 5(b) 看出,结构

优化后球座流道中的最大冲蚀速度为 19.72 m/s, 小于上两节算例中的最小冲蚀速度, 所以此结构为最优球座结构。

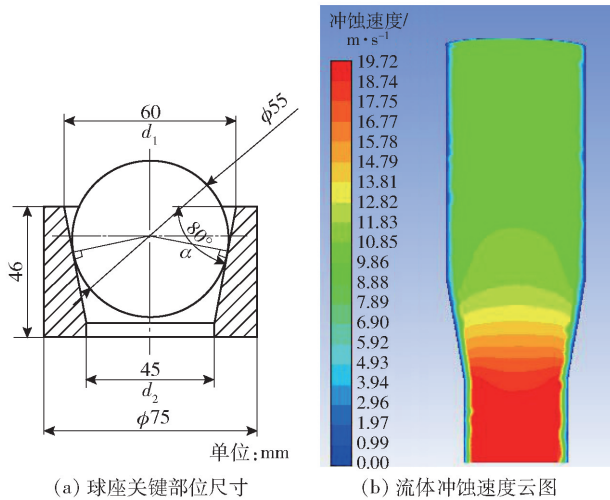


图 5 优化后的球座结构及流体冲蚀情况

Fig. 5 Analysis of the tee structure and fluid erosion situation after optimization

2.2 已投球过程

通过模拟试验可知, 投球后流道中 A 处 (图 1 (b)) 产生较为严重的冲蚀情况, 因此本文重点对 A 处流道进行分析和改进。通过改变 β 角来探究流体进入环形空间的速度变化情况, 从而选取较小的冲蚀速度所对应的 β 角。模拟计算结果如图 6 所示。

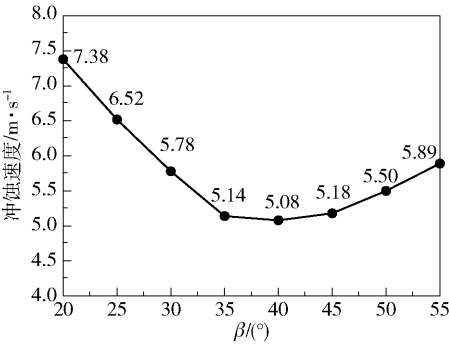


图 6 改变 β 值时的冲蚀速度变化

Fig. 6 Variation in erosion velocity when changing β

由图 6 可知, 随着 β 的增大, 冲蚀速度减小, 对控制短节的冲蚀强度降低, 这是因为 β 过小使环形流道变窄, 造成憋压; β 过大时外扩流道长度会增大, 从而使图 1 (b) 中 E 点上移或 F 点下移。E 点上移过多会导致投球前球座上端外部与球座外滑道上端口之间的密封面在轴向方向减短, 影响密封性能; F 点下移过多又会使环形流道变窄, 导致冲蚀速度加大^[8]。而 β 角取 45° 时密封效果最好, 冲蚀程度

最小。综合考虑各种因素可得, 当 $r_1 = 49 \text{ mm}$, $r_2 = 62 \text{ mm}$, $\beta = 45^\circ$, $h = 13 \text{ mm}$ 时流道结构最佳。

3 结论

(1) 未投球状态下, 冲蚀影响较大位置出现在球座的收缩处, 优化球座内结构参数, 使入口直径 $d_1 = 60 \text{ mm}$ 、轴向高度 $h = 46 \text{ mm}$ 、流道收敛角度 $\alpha = 80^\circ$ 时, 球座结构受冲蚀影响最小, 可使投球前具备更高的抵抗冲蚀的能力, 以保障投球后球与球座的高密封性能。

(2) 已投球状态下, 在流道外扩处的冲蚀速度较大, 且外扩处的壁面较薄, 若长时间受到冲蚀将降低球座的密封效果, 影响控制短节的使用寿命。对流道结构进行模拟和优化, 得到流道入口半径 $r_1 = 49 \text{ mm}$ 、出口半径 $r_2 = 62 \text{ mm}$ 、收敛角 $\beta = 45^\circ$ 、高 $h = 13 \text{ mm}$ 时冲蚀速度最小, 冲蚀程度最低。

参考文献:

[1] 赵阳, 郑政宝. 基于流场仿真的多路阀流道结构优化设计[J]. 流体传动与控制, 2007, 24(3): 23-25.
Zhao Y, Zheng Z B. Optimum design of flow passage in directional control valve based on flow simulation [J]. Fluid Power Transmission and Control, 2007, 24(3): 23-25. (in Chinese)

[2] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
Wang F J. Computational fluid dynamics analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese)

[3] 杨源泉. 阀门设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
Yang Y Q. Valve design manual [M]. Beijing: China Machine Press, 2000. (in Chinese)

[4] 李广军, 王彦枝. 偏心半球阀流场数值模拟与分析[J]. 阀门, 2013(2): 33-35.
Li G J, Wang Y Z. Numerical simulation and analysis on flow in eccentric hemisphere valve [J]. Valve, 2013(2): 33-35. (in Chinese)

[5] 王朝富, 马浩南, 卢鉴, 等. 强制密封球阀流场模拟分析及优化[J]. 油气田地面工程, 2015, 34(11): 87-88.
Wang C F, Ma H N, Lu J, et al. Flow field simulation analysis and optimization of forced sealed ball valve [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2015, 34(11): 87-88. (in Chinese)

[6] 华剑, 胡磊, 李美求, 等. 金属陶瓷硬密封双偏心半

- 球阀密封性能分析[J]. 机械设计与制造, 2017(2): 243–245.
- Hua J, Hu L, Li M Q, et al. Seal performance analysis for cermet hard seal double eccentric semi-ball valve[J]. Machinery Design and Manufacture, 2017(2): 243–245. (in Chinese)
- [7] 杨志勇, 王宏光, 程云章. 矿浆调节阀三维流动的数值模拟及分析[J]. 流体机械, 2008, 36(1): 26–29.
- Yang Z Y, Wang H G, Cheng Y Z. Numerical simulation and analysis of 3-D flow in pulp regulating valve [J]. Fluid Machinery, 2008, 36(1): 26–29. (in Chinese)
- [8] 李虎生, 田小青, 杨方元, 等. 不同工况下油煤浆调节阀的流动特性分析[J]. 流体机械, 2016, 44(11): 58–60.
- Li H S, Tian X Q, Yang F Y, et al. Coal-oil slurry valve control strategies under differential opening condition [J]. Fluid Machinery, 2016, 44(11): 58–60. (in Chinese)
- [9] 颜震, 汪欢, 李峰, 等. 黑水调节阀内闪蒸现象的数值模拟与结构改进[J]. 化工机械, 2014, 41(5): 642–646.
- Yan Z, Wang H, Li F, et al. Numerical simulation of flashing and structural improvements on blackwater regulating valve [J]. Chemical Machinery, 2014, 41(5): 642–646. (in Chinese)

Flow field analysis and parameter optimization of a reamer nozzle and peripherals

DENG YuFeng¹ LIU JiaWei¹ ZHANG Hui² ZHANG Yang^{1*}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

2. Drilling Technology Research Institute of Shengli Petroleum Engineering Co. Ltd., SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China)

Abstract: The Fluent software has been used to simulate the flow field around the ball seat in the control section of a reamer. By analysis of the velocity flow field and a comparison of the velocity before and after optimization, the reamer's channel structure has been optimized. The simulation results showed that using the optimized structure of the ball seat and siting the ball seat outside the sliding sleeve structure can effectively reduce the fluid erosion on the ball seat and the outside sliding sleeve wall resulting in a gentle flow field. These results thus provide a new way of optimizing the structural design of the channel.

Key words: reaming while drilling instrument; ball seat; optimum design; flow field simulation

(责任编辑:汪 琴)