内置式液动冲击器结构参数仿真优化应用及经济效益

江定川（中石化西南石油工程有限公司钻井工程研究院，四川　德阳　618000）

摘　要：为解决深部硬地层钻井提速工具稳定性差、造斜率低、提速效果有限的问题，研制了一种内置于钻头的液动冲击器以辅助提高机械钻速。据此，本文通过对国内外现有提速工具的调研，针对当前深部硬地层钻井造斜效率低，提速工具稳定性差，提速效果有限的问题，研制了一种内置于钻头，在不降低造斜率情况下提高破岩效率，可配套于常规和旋转导向工具使用的内置式液动冲击器，并开展了仿真优化分析和现场试验验证了设计的合理性，为提高深部硬地层机械钻速，缩短钻井周期，降低钻井成本提供有力的技术支撑，也促进了企业经济效益实现正向增长。

关键词：油气开采；钻井提速；深部硬地层；液动冲击器；流道仿真；优化应用；经济效益

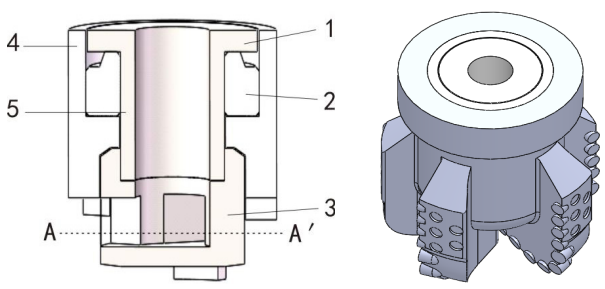
0 引言

随着勘探开发由浅、中部地层向深部地层发展，油气开采难度和开采成本也将随着地层深度的加深而不断提高，深井、超深井钻井过程长期面临深部地层地质条件复杂、地可钻性差、钻井效率低、成本高等难题[1,2,3]，因此开发新的钻井提速工具来提高钻井效率和降低钻井成本将具有重要意义。目前，国内外已经出现了一批成熟的冲击钻井提速工具，例如水力振荡器、轴冲、扭冲及复合冲击器等，但依然存在增加了钻头到钻铤之间的距离，降低了造斜率，使用成本高，无法配套旋导使用等不足[4-6]。

1 内置式液动冲击器结构及工作原理

1.1 结构组成

内置式液动冲击器结构组成主要包括旋转动力机构，轴承，外壳，密封圈。其中旋转动力机构由连接体和旋转体组成，为自旋转内置钻头冲击器的核心部件，起到能量转换和产生脉冲压力的作用。外壳通过过盈与钻头连接，内部设有凸台，凸台上方放置轴承，下方放置旋转体。连接体放置在轴承上方，在连接体与轴承中间安置密封环。连接体下端加工有螺纹与旋转体连接。



1- 连接体；2- 轴承；3- 旋转体；4- 外壳；5- 密封圈

图 1 内置式液动冲击器结构及与钻头装配图

1.2 工作原理

内置式液动冲击器使用时置于钻头内腔，工作过程中利用钻井液的动能带动旋转动力机构运动产生轴向冲击力。

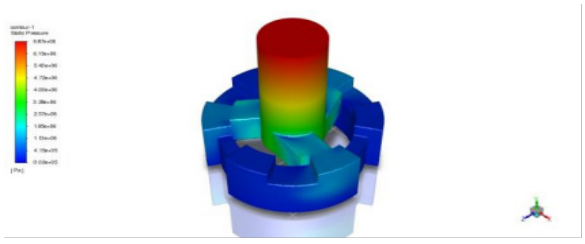
钻井液通过连接体中空的流道进入旋转体，经由旋转体开设的三个通孔流出。由于旋转体开设的通孔不是垂直于旋转体，与旋转体呈一定角度，在钻井液流出后冲向外壳壁面时会产生一定的反向冲击力，该冲击力与旋转体呈一定角度，因此在射流反作用力的作用下，旋转体产生旋转。外壳上有能充分挡住旋转体流道的挡块，在旋转体的旋转运动下，流道与挡体间歇性的接触，因此改变了钻井液的流通面积，在面积的周期性变化作用下，产生周期性的轴向脉冲压力波动，由于冲击器外壳与钻头过盈连接，使得脉冲压力波动直接作用于钻头，从而使钻头产生轴向振动。同时，高压流体具有脉冲空化射流作用于井底，可辅助破岩。

2 内置式液动冲击器仿真分析

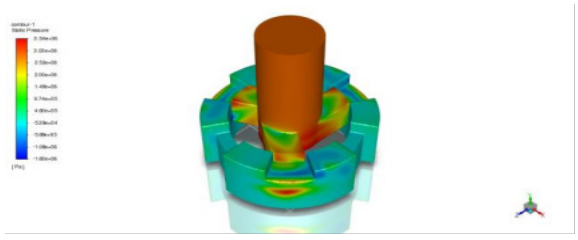
2.1 仿真结果分析

利用 solid works 软件建立冲击器仿真模型，对边界条件进行设置后网格化模型，设置好模型各个参数进行了仿真模拟。为观察不同时刻下内置钻头液动冲击器的压降规律，提取不同时刻下内置式液动冲击器的压力和速度云图，从图 2 中可知在水力冲击的作用下，旋转体呈现顺时针旋转。随着旋转体的旋转，流道的连通面积也相应发生变化，因此导致在工具的进入与出口之间出现压力差，即工具压降。随着旋转体的旋转，流道的连通面积最大时，如图 2c）所示，此时旋转流域与静止流域连接位置的最大压力为 2.18MPa。当连通面积最小时，如图 2d）所示，

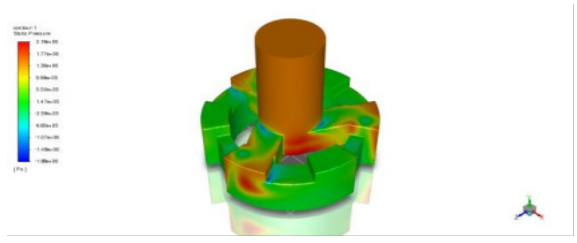
此时旋转流域与静止流域连接位置的最大压力达到3.89MPa。其中流体的最大流速在旋转流域与静止流域连接位置，流速随着连通面积的增大而减小。



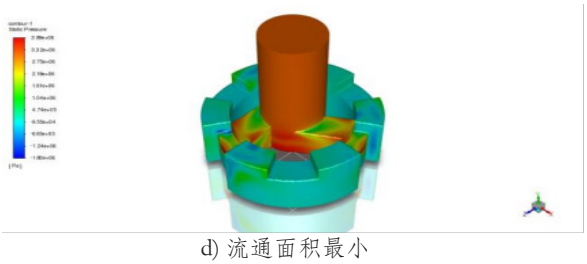
a) 初始时刻



b）流道部分连通



c) 流通面积最大



d) 流通面积最小

图 2 任意时刻流道压力图

根据模型提取进口和出口之间的压力，计算出工具压降和相应产生的轴向冲击载荷，得到压降变化曲线和冲击载荷曲线类似正弦波动，显示其产生平均压降为 2.00MPa，频率约为 14.47Hz，平均冲击载荷为 26.2kN，载荷的变化频率与压降的频率相同。

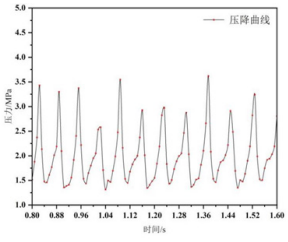


图 3 不同时刻压降曲线

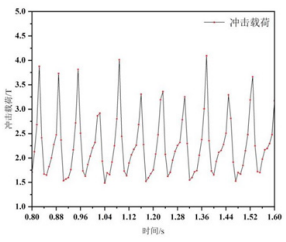


图 4 不同时刻冲击载荷曲线

2.2 相关参数对性能影响仿真分析

2.2.1 钻井液排量仿真

钻井液的排量作为内置式液动冲击器的重要工作参数之一，考虑冲击器的实际工作环境，分析不同钻井液排量下工具的性能参数变化。结构参数保持入口直径为 43mm，旋转体流道角度为 30° ，流道高度为 23mm 不变，钻井液密度为 1.7g/cm³ 。分别研究排量为 30L/s，35L/s，40L/s，45L/s 下工具的轴向冲击载荷和压降。模拟数据显示（表 1）随着排量的增加，冲击载荷均值、峰值、压降和频率均呈现增大的趋势。

表 1 不同排量下相关性能参数表

流量 (L/s)	30	35	40	45
冲击载荷均值 (kN)	13.67	18.55	22.62	25.92
冲击载荷峰值 (kN)	24.82	34.28	42.00	54.26
压降 (MPa)	1.219	1.651	2.008	2.303
振荡频率 (Hz)	7.69	8.33	14.47	25.67

2.2.2 流道高度仿真

在保持流量 40L/s，钻井液密度 1.7g/cm³ ，入口直径 43mm，流道角度 30° 不变的情况下，分别研究流道高度为 23mm，20mm，17mm，14mm 下工具所产生的冲击载荷和压降。当流道高度为 23mm 时，最大冲击载荷为 42kN，均值为 22.62kN；流道高度为 20mm 时，最大冲击载荷为 76.71kN，均值为 32.51kN；流道高度为 17mm 时，最大冲击载荷为 151.36kN，均值为 54.22kN；流道高度为 14mm 时，最大冲击载荷为 423.18kN，均值为 112.59kN。当流道高度为 23mm 时，压降为 2.008MPa；流道高度为 20mm 时，压降为 2.876MPa；流道高度为 17mm 时，压降为 4.797MPa；流道高度为 14mm 时，压降为 9.960MPa。因此，流道高度越高，内置式液动冲击器产生的轴向载荷和压降越小。

2.2.3 流道角度仿真

在保持流量 40L/s，钻井液密度 1.7g/cm³ ，入口直径 43mm，流道高度 23mm 不变的情况下，分别研究流道角度为 30° ，25° ，20° ，15° 下工具所产生的冲击载荷和压降。结果显示，内置式液动冲击器所产生冲击载荷峰值、均值和压降变化不大，而频率随着流道角度的增加而增大。当流道角度为 30° 时，频率为 14.47Hz；流道角度为 25° 时，频率为 11.11Hz；流道角度为 20° 时，频率为 10.29Hz；流道角度为 15° 时，频率为 6.25Hz。

通过钻井液排量和结构参数仿真优化分析，得到内置式液动冲击器优化后的结构参数为内部流道角度30°，流道高度23mm，钻井液排量为40L/s。

3 室内试验

结合仿真分析结果优化了内置式液动冲击器的结构参数，并开展了室内试验。试验设置排量为35L/s，介质为清水，密度1.0g/cm^3，结果显示（表2）排量为35L/s时，工具振动频率为14.08Hz，压耗为1.97MPa，轴向冲击载荷为21.2kN，与市面上冲击钻井工具性能指标相近。

表2 室内试验性能参数表

参数 条件	频率 (Hz)	最大 压力 (MPa)	最小 压力 (MPa)	平均压 降(MPa)	冲击载 荷 (kN)	备注
35L/s（清水1.0g/cm^3）	14.08	3.59	0.06	1.97	21.2	室内试验
35L/s(1.0g/cm^3)	13.36	/	/	1.7	19.92	仿真模拟

4 现场应用与经济效益

研制的内置式液动冲击器先后在XS206井和XY8井开展了入井试验。

4.1 XS206井应用情况

XS206井入井试验层位为沙溪庙–须家河组。试验过程中对比了近似排量下井口测试、滑动钻进、复合钻进工况下泵压变化，显示冲击器压降为2~3.1MPa。钻进过程中MWD仪器信号正常且连续传输，表明冲击器脉冲不影响仪器信号正常传输，安全可靠。

试验趟钻进尺560m，井段为2569m~3129m，平均机械钻速6.61m/h，使用时长167.53h，XS206井试验井段平均机械钻速较同区块10口邻井同井段同层位的平均机械钻速提高23.8%，提速效果明显。

4.2 XY8井应用情况

XY8井试验层位为沙溪庙–凉高山组地层。入井前测试压耗2.4–3.5MPa，钻进过程中MWD信号稳定。试验井段同层位单趟进尺356m，平均机械钻速22m/h，试验井段较前期邻井（兴页L24HF井二开第一趟钻2008m–2466m，地层沙溪庙组，单趟进尺458m，平均机械钻速11.72m/h，沙溪庙组平均机械钻速12.05m/h）同层位提高87.7%。

4.3 经济效益

本研究创新研发了基于环形流道过流面积周期性变化产生脉冲压力的脉冲冲击器结构，实现内置式、低成本、高能量转化率的冲击器，适用于常规螺杆钻具组合和旋转导向钻具组合，在不降低造斜率情况下提高破岩效率，增加钻头稳定性，在保证安全的前提下辅助钻井提速，缩短钻井周期，符合提速提效理念，可以为天然气经济开发提供支撑，符合国家大力开发天然气，加快建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系的政策，具有良好的经济社会效益和应用前景。内置式液动冲击器技术应用2井次，进尺916m，按米费150元/米计算，可获取效益13.74万元。综合缩短钻井周期约9天，按钻机日费6万元/天计算，可节约经济成本约54万元。

5 结论

①通过流道模型仿真模拟分析，得到排量40L/s，密度1.7g/cm^{3}时内置式液动冲击器理论性能参数，其理论压耗为2.00MPa，频率约为14.47Hz，平均轴向冲击载荷为26.2kN；

②通过验证不同钻井液排量和内部流道相关结构参数对冲击器性能的影响，得到优化后的结构参数为内部流道角度30°，流道高度23mm，钻井液排量为40L/s；

③内置式液动冲击器室内清水试验结果与仿真结果基本一致，XS206井与XY8井试验井段平均机械钻速较邻井分别提速23.8%和87.7%，提速效果明显，表明冲击器设计合理，可有效辅助钻井提速，为油田发展提供了较好的经济效益支持。

参考文献：

[1] 曹继飞. 难钻地层钻井提速技术应用及优化建议[J]. 中外能源,2020,25(S1):34-38.

[2] 刘伟. 川西气田须家河组致密坚硬地层钻井提速关键技术[J]. 天然气技术与经济,2020,14(05):44-51.

[3] 刘清友. 若干智能钻井装备发展现状及应用前景分析——以四川盆地页岩气开发为例[J]. 钻采工艺,2022,45(01):1-10.

[4] 贾涛，徐丙贵，李梅. 钻井用液动冲击器技术研究进展及应用对比[J]. 石油矿场机械,2012,41(12):83-87.

[5] 甘心. 钻井提速用振动冲击工具研究进展[J]. 钻探工程,2021,48(02):85-93

[6] 付加胜，李根生，田守嶒，等. 液动冲击钻井技术发展与应用现状[J]. 石油机械,2014,42(6):16.

作者简介：

江定川（1997-），男，2022年硕士毕业于西南石油大学，助理工程师，主要从事钻完井工程、地质工程等研究工作。