

轴入式旋流油水分离器的分水结构优化研究

王瑶¹, 苏中良², 王胜¹, 郭沛文¹, 王洪¹, 史仕荧³

(1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452;

2. 北京盈建科软件股份有限公司, 北京 100013;

3. 中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘要:轴入式旋流油水分离器经过现场检验是一种性能稳定可靠的井下分离器, 为了进一步提高其分离性能, 本文利用室内实验和计算流体力学方法对其分水结构进行了进一步优化。研究表明, 将切向开孔分水改进为切向设置出水管后, 在同样的工况下, 切向出水管的分水方式对旋流场的影响小、油水分离效率更高; 通过室内实验对比发现, 优化分水结构后的旋流油水分离器性能更稳定、分离效率更高, 且对于变化的入口含水率, 分离性能均很好, 研究结果为我国大处理量井下油水分离提供了指导。

关键词:轴入式旋流油水分离器; 分水结构; 实验; 油水分离性能

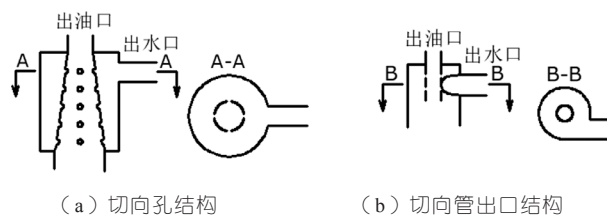
中图分类号: TE932

文献标识码: A

随着世界上日益紧张的淡水资源和不断恶化的环境, 油田回注水的保障问题将会日益突出, 国外在上个世纪 90 年代初提出解决此问题最好的办法是采用井下油水分离 (DOWS) 技术, 即当油井含水率 $> 85\%$ 时, 在井底对油水进行分离并就地回注地层。在井下与地面的不同之处在于, 地面上的空间一般较富裕, 且操控维修方便; 而在井下, 需要给电缆等预留空间, 使得井下油水分离器的可用空间更加有限。鉴于上述原因, 对于用在井下的油水分离器需要其径向结构紧凑, 分离性能稳定可靠。我国海上油田单井产液量大, 部分油井甚至高达 $2\ 000\sim 3\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$, 油井含水率高达 95% 以上的井不少, 为了降低油井开采成本, 采用井下油水分离是一种有效的方案。2012 年中海油联合中国科学院力学研究所开展了处理量范围在 $1\ 200\ \text{m}^3/\text{d}$ 内井下油水旋流分离器的开发工作, 研发的井下油水分离器在现场应用表明, 其能够在井下进行油水分离, 且分离后的水中含油率低于 $950\ \text{ppm}$ 。为了将这种分离器应用到我国所有油井中即单根处理量达到 $3\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$, 本研究在前期对导流片结构优化的工作基础上, 拟对分离器的分水结构进行优化, 分水结构即在旋流场形成之后, 油水在径向上分离开来后, 分布在壁面附近的水从分水结构中流出。

1 轴入式旋流油水分离器的分水结构设计 (图 1)

前期研究的导流片型油水旋流分离器的分水结构为锥段切向开孔分水, 当单根处理量达到 $3\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$, 孔



(a) 切向孔结构 (b) 切向管出口结构

图 1 两种分水结构设计对比

径为 $3\ \text{mm}$ 时, 需要开孔 1089 个。因此在大处理量时将分水结构从多孔截面分水改为单管分水, 切向管分水。

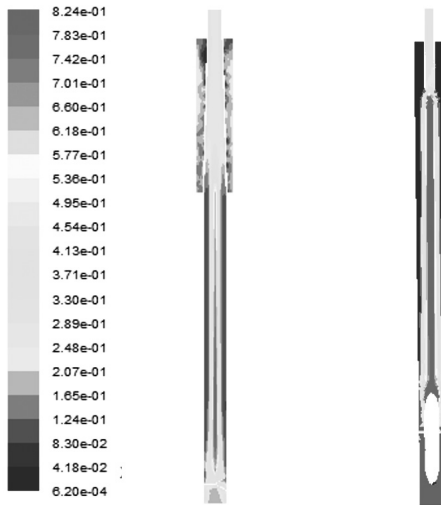
2 分水结构对流场的影响

鉴于利用实物对旋流流场进行测试是比较困难的, 本文利用数值模拟的方法对两种分水结构中的油水分布进行了研究。

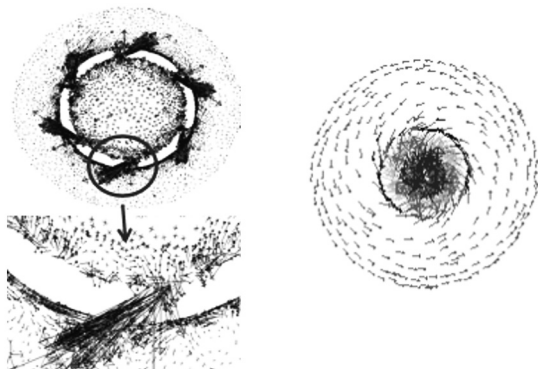
将多孔截面分水结构改成单管出水、切向管出水之后, 从图 2 截面含油率分布可以看出, 油水两相通过分水结构时, 油核均从出油管流出, 且出水口的含油率较低, 通过分析可以发现, 快速从出油口分出内旋流即油相形成的旋流流场, 对旋流的稳定性影响较小。从图 3 出水口处的横截面流场分布可以看出, 流体在切向开孔的结构形式中, 当流体从孔中流出时局部有不规则的流动, 从而对旋流场中的旋转流动形成的扰动, 破坏了旋转流动的螺旋运动, 而切向管出口方式则不存在这种现象。因此, 在大处理量时的分水结构改成切向管出水设计对于提高油水分离效果有利。

作者简介: 王瑶 (1985-), 女, 本科学历, 中级职称, 采油方向, 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司。

收稿日期: 2020-01-13



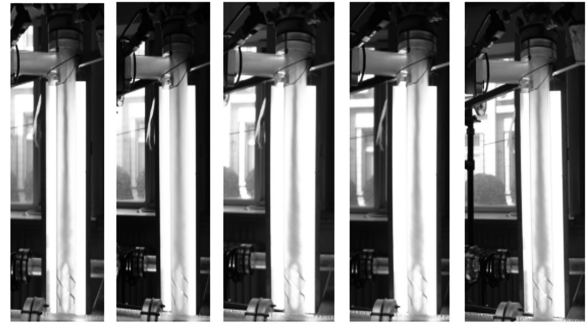
除水孔设计 (a) 切向管设计
图 2 两种分水结构中的油水两相分布



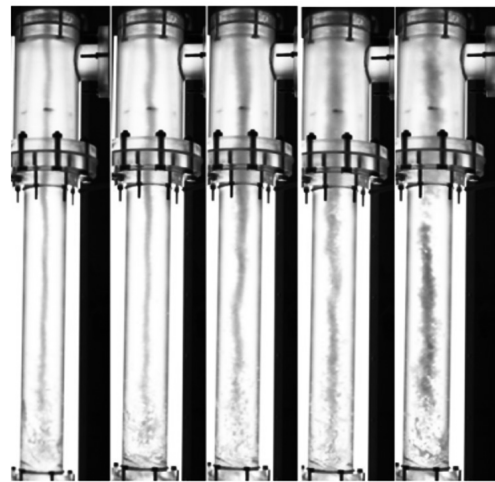
出水孔设计 (a) 切向管设计
图 3 两种分水结构中的速度矢量分布

3 分水结构优化后的油水分离效果对比

分水结构优化后的流线型旋流油水分离器分离性能是否比前期研究的直板型导流片型油水旋流分离器性能更优，在室内开展了相关实验进行对比，图 4 为当入口流速为 0.8 m/s，含油率为 0.06，不同分流比下两种分离器中油水分离情况随分流比的变化情况。从图中可以发现，两种分离器均能够实现油水分离，但是可以看出，在分流比较大时，优化后的分离器油核仍然较细，而直板型导流片型有数旋流分离器中的油核比较分散，该现象验证了前述数值模拟的现象。图 5 为入口含油率为 0.08、入口流速为 0.8 m/s 时两种分离器分离后的水中含油率随分流比的变化情况，说明两种分离器均能够有效的实现油水分离，两者的效果接近。图 6 显示了入口流速增加到 1.7 m/s 时两者的分离效果对比，可以发现，当入口流速的增大，第二种导流片型油水旋流分离器分



分流比 0.09 0.41 0.58 0.78 0.84



分流比 0.10 0.25 0.74 0.82 0.89

图 4 两种导流片型油水旋流分离器分离效果图

分离效果对比图

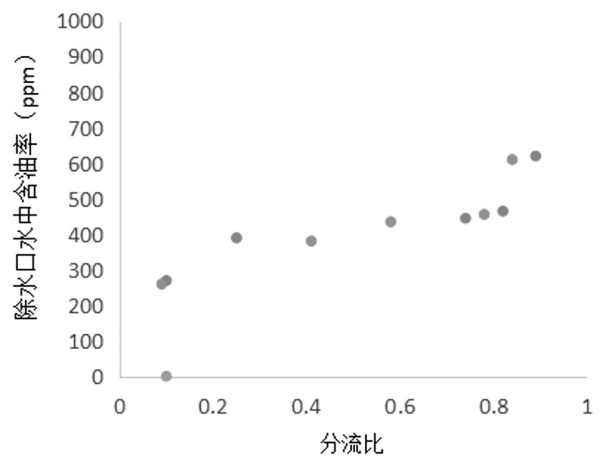


图 5 入口流速为 0.8 m/s 时两种分离器分离效果对比

离后的水中含油率要远低于第一种导流片型油水旋流分离器。证明了高流速下优化后的分离器分离性能更优。

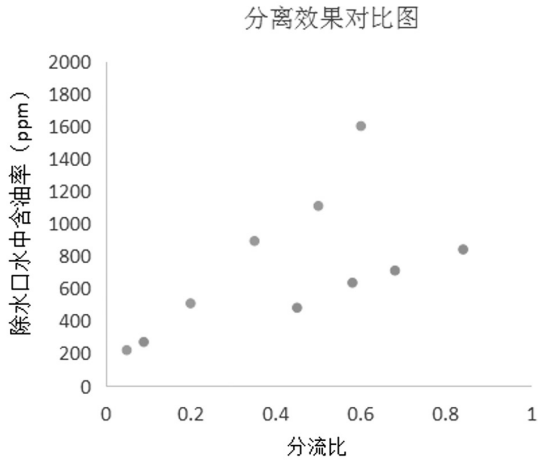
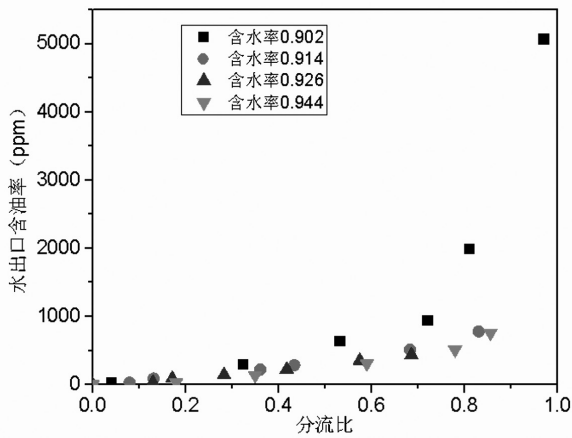
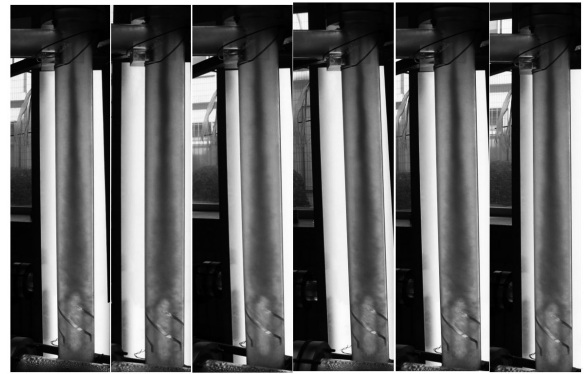


图6 入口流速为 1.7 m/s 时两种分离器分离效果对比



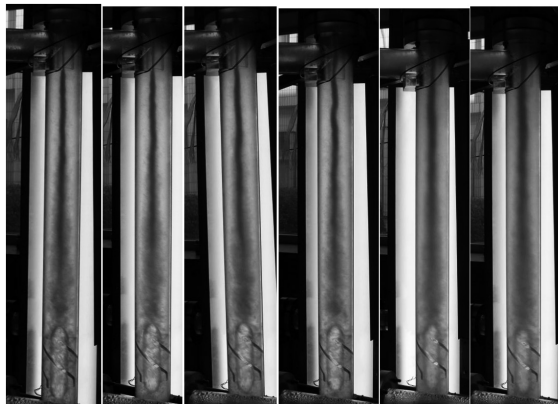
(a) 油水分离效果随入口含水率变化规律



分流比 0.130 0.172 0.283 0.418 0.575 0.686
(c) 入口含水率为 0.926



分流比 0.08 0.132 0.361 0.434 0.683 0.831
(d) 入口含水率为 0.914



分流比 0.00 0.18 0.35 0.47 0.58 0.80
(b) 入口含水率为 0.944



分流比 0.04 0.323 0.531 0.710 0.811 0.900
(e) 入口含水率为 0.902

图7 入口含水率变化对分离性能影响结果

4 分水结构优化后的分离器分离性能试验

分水结构优化后的轴入式旋流油水分离器是否适应

含水率变化的油水分离, 实验研究了变化入口含水率对其分离性能的影响, 保持入口流速 1.0 m/s, 含水率设 (下转 143 页)

不能过小。

3 现场应用

渤海油田某平台为火成岩发育区油藏,地层存在一定倾角且非均质性强,该平台所布井大部为长稳斜段定向井,已钻井揭示地层自然增斜严重,滑动调整轨迹效率低,为此,对导向钻具组合进行了参数优化,如下:

钻具组合1(原钻具): $\Phi 311.1$ mm PDC 钻头(被动保径 $\Phi 76.2$ mm)+ $\Phi 244.5$ mm 螺杆(1.15°弯角、 $\Phi 308$ mm 稳定器)+ $\Phi 203.2$ mm 浮阀+ $\Phi 308$ mm 稳定器+ $\Phi 203.2$ mm 无磁钻铤+ $\Phi 203.2$ mm 随钻测量工具+ $\Phi 203.2$ mm 无磁钻铤+ $\Phi 203.2$ mm 震击器+ $\Phi 127$ mm 加重钻杆。

钻具组合2: $\Phi 311.1$ mm PDC 钻头(被动保径 $\Phi 88.9$ mm)+ $\Phi 244.5$ mm 螺杆(1.15°弯角、 $\Phi 305$ mm 稳定器)+ $\Phi 203.2$ mm 浮阀+ $\Phi 308$ mm 稳定器+ $\Phi 203.2$ mm 无磁钻铤+ $\Phi 203.2$ mm 随钻测量工具+ $\Phi 203.2$ mm 无磁钻铤+ $\Phi 203.2$ mm

表1 测斜数据统计表(不包含定向调整井段)

| 井号 | 钻具结构 | 稳斜井段(m) | 增斜率(°/30 m) |
|----|------|-------------|-------------|
| 2 | 组合1 | 2 100~2 776 | 0.44 |
| 38 | 组合1 | 1 870~2 172 | 0.38 |
| 8 | 组合1 | 2 130~2 588 | 0.37 |
| 6 | 组合2 | 1 843~2 500 | 0.11 |
| 5 | 组合2 | 1 670~3 000 | 0.18 |
| 15 | 组合2 | 1 700~3 200 | 0.21 |

(上接141页)

计为0.944、0.926、0.914、0.902,实验情况和分离后的水中含油率如图7所示,从图中可以看出,轴入式旋流油水分离器的分离效果随着入口含水率的增大,分离后的水中含油率逐渐降低,这是由于随着含水率的减小,含油浓度逐渐增大,油核逐渐变粗,水的区域变小,那么在相同的分水率下,油核占据的空间越大则分出的水中含油率越高。实验还可以发现,分水结构优化后的轴入式旋流油水分离器在变化的入口含水率下分离性能优良、分离效果稳定,证明了前述分水结构优化有效。

5 结语

本文针对一种井下大处理量油水旋流分离器-轴入流线型旋流油水分离器的分水结构进行了优化研究,将切向开孔分水改进为切向设置出水管。通过流场计算表明,设置切向出水管的分水方式对旋流场的影响小、油水分离效率更高;通过室内实验对比发现,优化分水结构后的旋流油水分离器性能更稳定、分离效率更高,且对于变化的入口含水率,分离性能均很好,研究结果为我国大处理量井下油水分离提供了指导。

震击器+ $\Phi 127$ mm 加重钻杆。

钻具组合2与钻具组合1相比,PDC钻头被动保径加长12.7 mm,螺杆稳定器外径增大3 mm,其余参数与钻具组合1保持一致,具体如表1所示。应用表明,在对钻头保径和螺杆外径作出调整后,使用钻具组合2进行长稳斜井段作业,整体稳斜效果良好。

4 结语

(1)单弯螺杆稳定器外径适当减小,可降低钻头的侧向力,起到纠斜的效果。

(2)钻头保径结构是影响钻头侧向力的因素,增加钻头的被动保径长度,可降低钻头的导向性,有利于稳斜钻进工况。

(3)现场应用仅分析了钻头保径、螺杆稳定器外径同时优化后的使用效果,具体各个因素对应用效果的影响有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 白家祉,苏义脑,井斜控制理论与实践[M].石油工业出版社,1990.
- [2] 游云武.“单弯双稳”钻具组合的受力分析与现场应用[J].石油天然气学报,2010,32(06):498~501.
- [3] 徐建飞.定向井PDC钻头结构优化设计研究[D].中国石油大学,2010.

参考文献:

- [1] Petty C.A., Parks S.M., Shao S.M.. The use of small hydrocyclones for downhole separation of oil and water. BHR Group, Vortex Separation, 2000:225~235.
- [2] John A.Veil. Interest revives in downhole oil-water separators. Oil & Gas Journal, 2001,99(9):47~56.
- [3] 罗然,张伟,王家辉,等.用CFD确定物性参数对井下油水分离效率的影响.石油与化工设备,2010,13(6):23~26.
- [4] Wang Z.B., Ma Y., Jin Y.H.. Simulation and experiment of flow field in axial-flow hydrocyclone. Chemical Engineering Research and Design. 2011,89:603~610.
- [5] 王尊策,于玲玲,徐艳,等.井下油水分离旋流器大锥角参数优化.大庆石油学院学报,2009,33(2):78~80.
- [6] 吕凤霞.井下水力旋流器结构优化及制造技术研究.大庆石油学院硕士学位论文,2003.
- [7] Shi S. Y., Xu J. Y., Sun H. Q., et al. Experimental study of a vane-type pipe separator for oil-water separation [J]. Chemical Engineering Research & Design Transactions of the Inst, 2012,90(10):1652~1659.
- [8] 王胜,刘敏,罗昌华,等.海上油田新型井下油水分离及回注工艺[J].石油科技论坛,2014,33(3):58~61.