

新型管道式导流片型油水分离器结构优化初探

史仕荧¹, 刘 敏², 罗昌华², 王 胜², 钟兴福¹, 高梦忱¹

(1.中国科学院力学研究所, 北京 100190; 2.中海油能源发展股份有限公司钻采工程研究院, 天津 300451)

摘 要

介绍了一种用于油水分离的新型管道式导流片型分离器, 与切向入口旋流器相比结构更为紧凑, 空间利用率更高, 更适合于井下油水分离。通过室内实验, 对其油水分离性能的影响因素—流速、导流片和除水孔的结构进行了初步研究, 得到了流速对油水分离性能影响的规律; 并对导流片和除水孔结构进行了优化。实验结果为进一步研究新型管道式导流片型油水分离器提供了方向, 对促进其在海上油田井下油水分离系统中的推广应用具有重要意义。

关 键 词: 管道式导流片分离器; 油水分离; 导流片; 除水孔; 实验

0 引 言

根据海上采油经济学理论, 单井采油量越大、地面设备量越少越经济。而随着海上油田进入开采的中后期, 油井采出液含水率不断升高, 对海洋平台污水处理设备的处理能力提出了严峻的挑战, 甚至使得部分海洋平台因污水处理需求超过设备处理极限而停采, 为了解决这一矛盾, 通常会扩建污水处理设备, 但这样使得海上油田开采极不经济^[1]。在这种背景下采用井下油水分离, 即在井下将一部分水分离后直接回注地层, 再将分离后的富油混合物举升至地面。既可以缓解平台的污水处理压力, 保持油藏压力, 减少举升至地面产出水量的处理费用; 还可以提高采收率, 延长海上油田的经济开采期^[2], 这对于单井产量大的海上油田具有重要的经济价值。

目前, 井下油水分离系统分为旋流分离型和重力分离型^[3], 显然旋流分离型的分离效率高于重力分离型。对于旋流型井下油水分离系统一般采用传统的锥形旋流器^[4]产生旋流场, 在旋流场中油与水因密度差异而实现分离。

传统的锥形旋流器采用切向式入口, 湍流较为严重, 分散相液滴容易破碎^[5]。一旦液滴破碎成足够小的小液滴, 将很难实现低含油水的分离, 在无法直观检测的情况下, 有将原油回注地层的风险。其中最致命的是, 由于井下作业空间有限, 对油水分离器的结构尺寸要求较高, 而传统的油水分离旋流器为锥形切向式入口, 径向结构所要求的空间较大^[6]。为了适应井下油水分离的需求, 通常将其尺寸缩小, 限制了其处理量, 不能满足海上油田的需求。

为提高井下旋流器的油水分离效率, 国内外学者均积极改进锥形旋流器结构或者试验开发新产品^[7-9]。在此背景下, 本文提出了一种新型油水旋流分离器—管道式导流片型油水分离器。

1 管道式导流片型油水分离器结构原理

新型管道式导流片型油水分离器的导流片如图1所示, 直板型的导流片与管道横截面呈30°倾斜安装, 油水混合物进入分离器后通过叶片(如图1)来产生旋流场, 在旋流场中利用油水两相密度差

异实现油水在径向上的分离，当油水分离稳定后，靠壁面分布的水由沿管壁螺旋开设的除水孔流出而进入套管，从套管壁之除水口流出而被分离（其结构简图见图 2）；油相分布在管中心沿主流方向流出，从而实现油水混合物分离。在本文的研究中，对两种导流片形状开展了相关研究，即是截去两头的半椭圆形导流片和半椭圆形导流片。

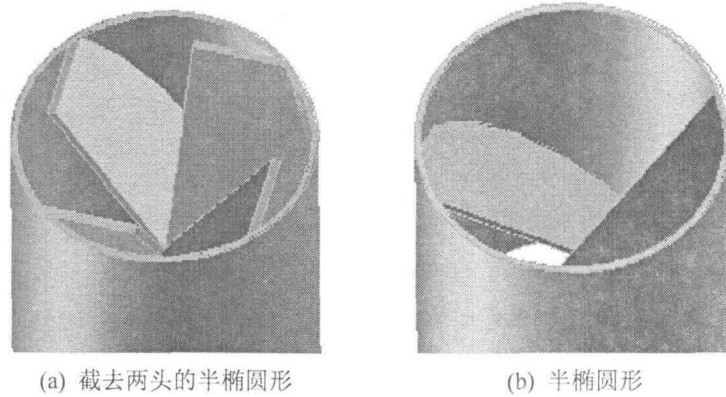


图1 两种不同的导流片

2 管道式导流片型油水分离器试验设施简介

对于由这种导流片起旋产生旋流场的管道式油水分离器，国内外还未见报道。为此，在中国科学院力学研究所多相流重点实验室开展了可行性实验。实验系统如图2所示，由循环系统、控制系统和测量系统组成。循环系统由水箱、油箱、泵、Φ50mm透明有机玻璃管、VTPS、沉降分离罐组成；控制系统由控制台、阀组成；测量系统由电磁流量计、腰轮流量计、量筒和秒表组成。实验时，通过控制台控制开启泵和管道中的阀门。油水两相液体分别由油箱、水箱经过油泵和水泵抽吸后在Y型管混合进入VTPS中；经过导流片导流后，形成旋流场，进入水平带孔管，分布在管壁附近的流体经过除水孔（孔与壁面垂直）进入套管中，由除水口流出；分布在管中心区域的流体继续向前运动进入罐中进行沉降分离；并通过相应的泵压回水箱和油箱中，从而实现循环实验。除水口处流出的流体通过量筒接样、秒表计时，既可观察分离后的效果，也可计算除水口处的流量。通过油泵和水泵后的电磁流量计、腰轮流量计进行油水两相的流量计量，从而计算入口的流量和含油率。实验系统上还在管道中安装了两片b型导流片来观察油水在其中的分离。

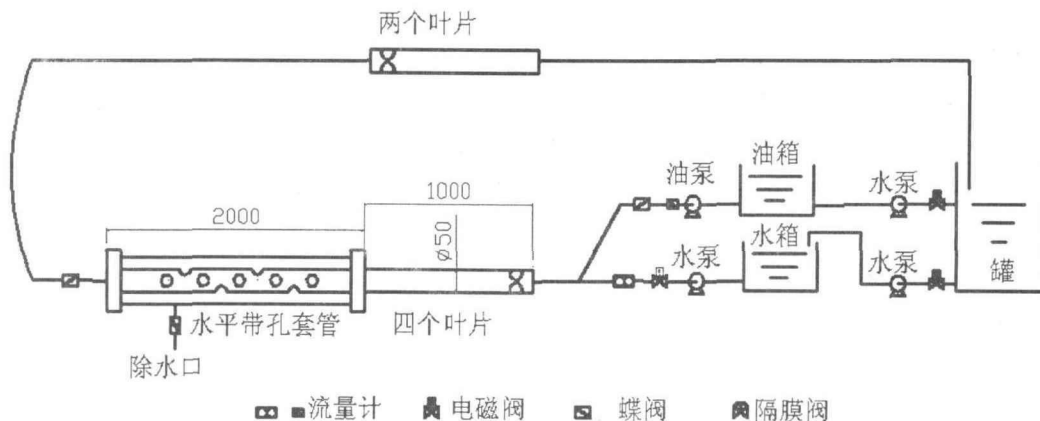


图2 实验装置示意图（单位：mm）

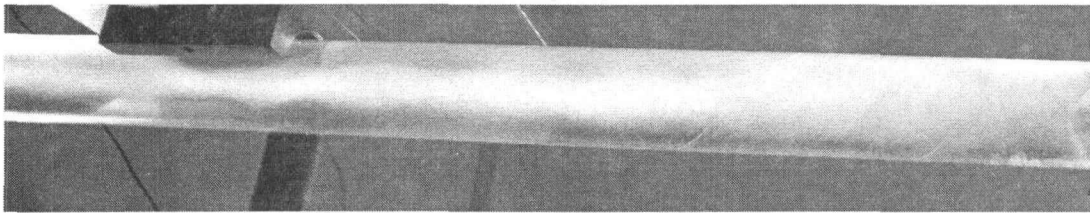
以LP-14白油-水为实验介质，对管道式导流片型油水分离器的分离性能进行了初步实验，其中，

$$\rho_{\text{油}}=836.0\text{kg/m}^3, \mu_{\text{油}}=31.0\times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}, \rho_{\text{水}}=1000.0\text{kg/m}^3, \mu_{\text{水}}=1.0\times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}.$$

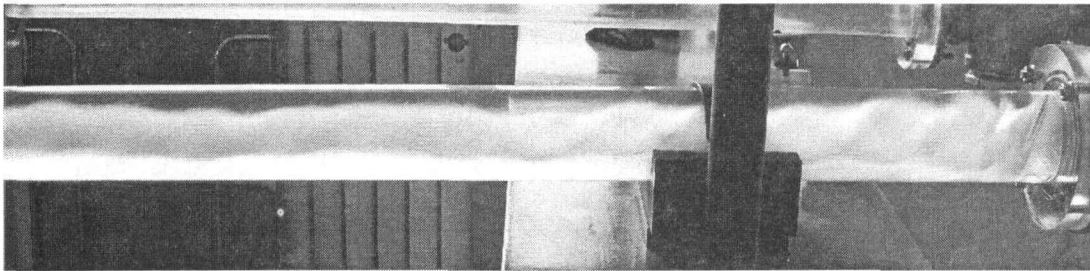
3 试验情况介绍

3.1 叶片形式对分离性能的影响

图3为水表观流速0.67m/s,油表观流速为0.03m/s时的实验照片,经过水平带孔套管被放掉50%的水,这部分水含油在1%以内,实验获得初步的成功,油水两相在管道中实现了分离。经过管式分离器的分离作用,后面的两叶片管式分离器中油核明显变粗,且两叶片管式分离器中管壁附近的水仍然清澈,说明这种管道式分离对油滴的剪切作用较小,乳化效应小。同时由图3a、b照片又可看出,它们形成的油核在管道中基本成直线,间接反应了导流后的流场比较对称,图3(c)是实验取样图,可以看出分离后的水中含油极少(在1000ppm以下)。从图中还可以看出,图3(a)所示的入口含油率低于图3(b)所示入口含油率;但是经过a型导流片导流后,油相从边壁运动到中心的轴向距离要长于b型导流片,说明经过b型导流片导流后油相更快地运动到轴心。观察这两种导流片,主要原因在于油水混合物在经过导流片时,b型导流片因为没有截去尖端,相对导流长度长,因此b型的要好。



(a) 四叶片 a 型实验图



(b) 两叶片 b 型实验图



(c) 试验取样图

图3 油水分离初步结果

3.2 油相表观流速对分离的影响

当保持入口水的表观流速为0.67m/s时,改变油相的表观流速,除水口取出水中含油率随分流比(除水口处的流量与入口流量之比)的变化如图4所示。从图中可以看出,随油相表观流速的增加,在相同的分流比下,除水口取出的水中含油率增加。在实验过程中发现:随着油相表观流速的增加,油核变粗,即油核占管截面的比例增加,使含水区域相对减小,油核离管壁除水孔的距离变小,导致一部分油被水从除水孔带入套管中,使得除水口取出的水中含油率增加。

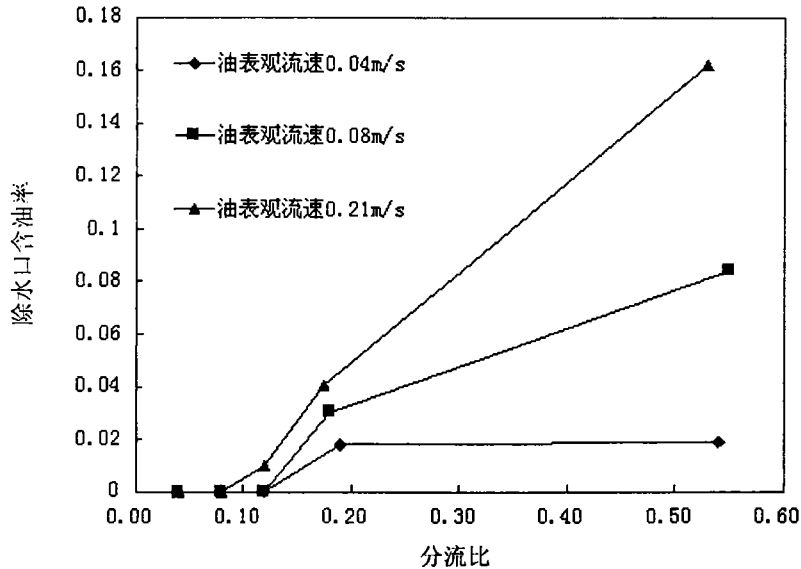


图4 油相表观流速对油水分离的影响

3.3 入口混合流速对分离的影响

在保持入口含油率为11%,改变入口油水混合流速,除水口出水含油率随分流比的变化如图5所示。从图中可以看出,在相同的分流比下,除水口取样水中含油率随表观流速的增加而减小,说明表观流速的增加有助于提高分离效果。这点不难解释,入口表观流速的增加,经导流片导流后的切向流速和轴向流速也增加,由于离心力与切向流速的平方成正比,在其余条件不变时,离心力同时也增加,使油水在径向上能够更好的分离开来,故除水口出水中含油率降低。

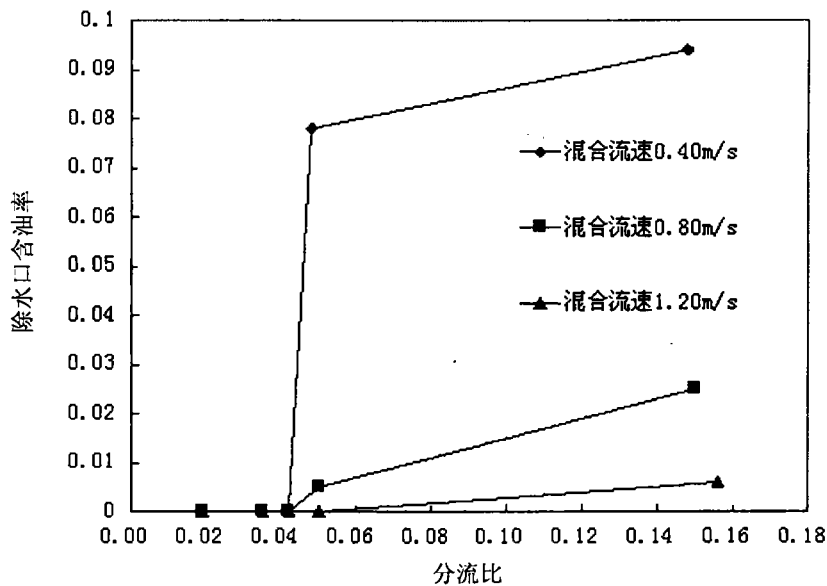
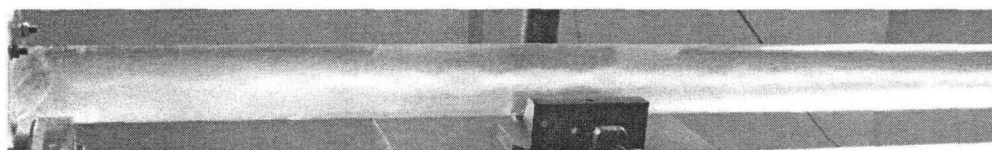


图5 不同入口表观流速下取样含油率对比图

4 实验结果及后续改进

从前述实验的结果可以看出,这种管道式导流片型油水分离器是可以实现油水分离的。与传统的锥形旋流器相比,其入口径向空间结构紧凑,对于含油率较高的情况也可以实现低含油水的分离,是具有一定研究价值的新型旋流分离器。但是这种管道式导流片型油水分离器还需要继续改进。如图6,经过水平带孔套管分离一部分水后,可以发现油核在管道呈螺旋状运动,使油核与管壁距离变小,增大了油相从孔中流出的概率。对比(a)与(b)可以发现,在水平套管前,油水两相在管道中分布基本上呈中心对称分布,可见是因螺旋开孔即不对称的开孔方式导致油核偏离管中心。故下一步实验应将除水孔沿管截面呈中心对称分布开设。考虑到油水两相在管道中螺旋前进,因此,将孔与壁面相切开设将更有利于减小除水对内部流场的影响,从而减小油相从孔流出的概率。



(a) 水平带孔套管前管道中的油水两相分布



(b) 水平带孔套管除水后的管道中油水两相分布

图6 油水两相在水平带孔套管前后的分布

在上述实验的基础上,设计加工了如下管道式导流片型油水分离器:关键结构设计采用半椭圆形导流片、与壁面相切的周向中心对称式布置除水孔。具体的结构示意图和各部分尺寸见图7。考虑到在井下实际应用时,一般为竖向布置,因此将其竖直安装,进行了相关的实验;并就导流片数对油水分离的影响进行了相关的研究。

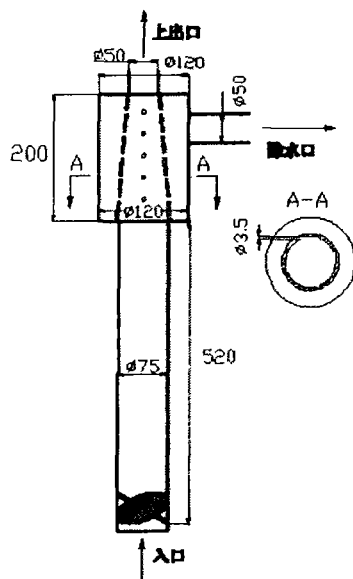


图7 改进型管道式导流片型油水分离器(单位:mm)

在入口水表观流速为 0.20m/s ，油相表观流速为 0.02m/s ，不同分流比时，改进型油水分离器中油水分离效果如图 8 所示，从图中可以看出，油水两相在其中基本上呈现对称分布，除水口出水的含油率得到有效降低。在分流比较大时，除水口出水的含油率仍低于 $1\ 000\text{ppm}$ ，提高了分离效率。也即相对于原设计，新设计的油水分离性能有了较大的改进。

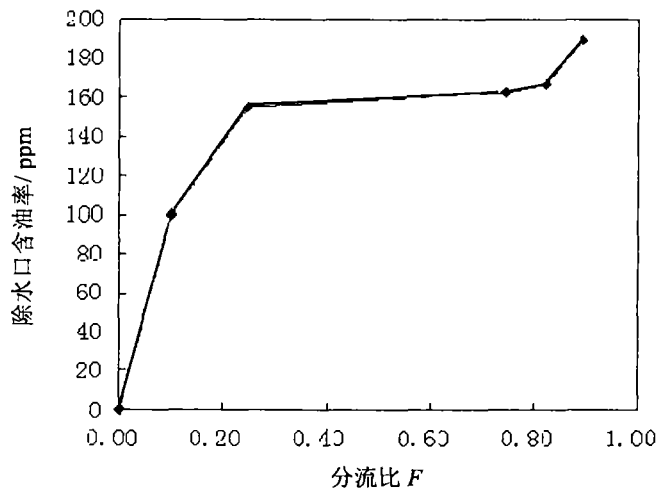
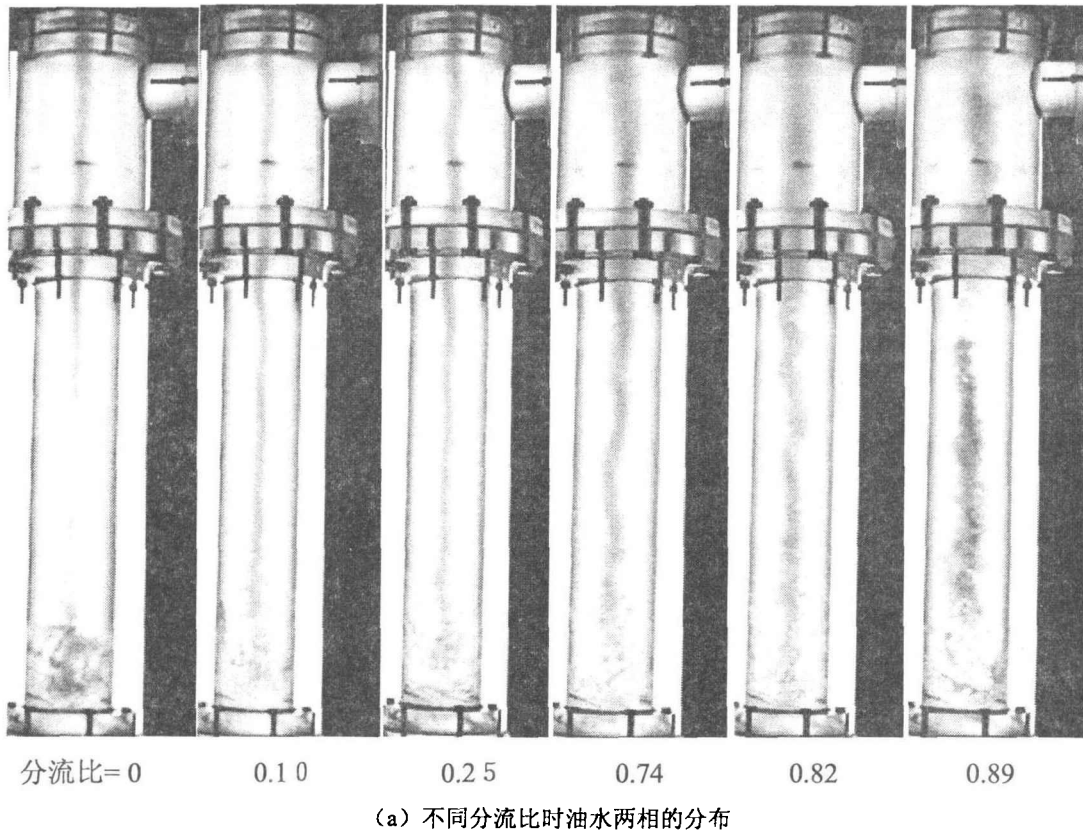


图 8 改进型油水分离器中油水分离情况

5 结 论

本文提出了一种新型油水分离器-管道式导流片型油水分离器，初步实验得到如下结果：

- (1) 新型管道式导流片型油水分离器对油的剪切作用小，能够实现低含油水的分离。

油水两相通过导流片导流后在管道中的分布基本上沿轴线中心对称。与截去两头的半椭圆形导流片相比,经过半椭圆形导流片后油水两相分离的速度更快。

(2) 在其余条件一致的前提下,随分流比的增大,除水口出水中含油率增大;当保持入口水的表观流速为 0.67m/s 时,随着油相表观流速的增大,在相同的分流比下,除水口出水的含油率增加。

(3) 在保持入口含油率为 11%,随着入口油水混合流速的增大,在相同的分流比下,除水口出水含油率随表观流速的增加而减小,即提高入口混合流速有利于提高分离效率。

(4) 通过实验还发现,螺旋非对称开孔方式会影响油水两相在管道中的对称分布,对油水分离不利,采用中心对称分布开孔及与壁面相切开孔改进后,分离效率得到提高。

参 考 文 献

- [1] 李珠江,朱坚真. 21 世纪中国海洋经济发展战略[M]. 经济科学出版社. 2007.
- [2] MATTHEWS C M, CHACHULA R C, et al. Application of downhole oil/water separation systems in the Alliance field. 1996,SPE 35817.
- [3] MATTHEWS C M, et al. Application of downhole oil / water separation systems in the Alliance field. SPE 35 8 17, 1996: 453-462.
- [4] 钟功祥, 庞学东, 吕志中. 井下油水分离旋流器数值仿真分析[J], 石油矿场机械, 2009, 38 (2) :55-58.
- [5] 俞接成, 陈家庆, 韩景. 轴向入口油水分离水力旋流器及其数值模拟[J]. 北京石油化工学院学报, 2009, 17 (2) : 20-23.
- [6] 王尊策, 于玲玲, 徐艳, 王家新, 苑井武. 井下油水分离旋流器大锥角参数优化[J]. 大庆石油学院学报, 2009,33 (2) : 78-80.
- [7] VEIL J A. 井下油水分离新技术[J]. 国外油田工程, 2001,17 (8) : 22-23.
- [8] KLASSON K T, TAYLOR P A, WALKER J F, Jr., JONES S A, CUMMINS R L, RICHARDSON S A. Modification of a centrifugal separator for in-well oil-water separation[J]. Separation Science and Technology, 2005, 40:453-462.
- [9] 蒋明虎, 芦存财, 张勇. 井下油水分离系统串联结构设计[J]. 石油矿场机械, 2007,36 (12) : 59-62.

Preliminary Study about the Structure Optimization of a New Vane-Type of Pipe Separator for Oil-Water Separation

SHI Shiyang¹, LIU Min², LUO Changhua², WANG Sheng², ZHONG Xingfu¹, GAO Mengchen¹

(1. Institute of Mechanics, CAS, Beijing 100190, China; 2. CNOOC Energy Technology & Services-Oilfield Engineering Research Institute, Tianjin 300451, China)

Abstract

As the produced water in offshore oil fields continues to increase, it is of great significance to separate the ever-increasing volumes of water from oil downhole and reinject it into a suitable formation. The adoption of these measures could not only extend the economic exploitation of oil fields, but also maintain the reservoir pressure. A new vane-type of pipe separator is brought forward in this paper which is more

suitable for the downhole oil-water separation due to its more compact structure compared to traditional hydrocyclone. Through the indoor experiments, the effects of the velocity at the inlet, the structure of the vane and water-eliminating hole on the oil-water separation performance are investigated. The experimental results which are important for promoting its application in the downhole provide some guidance for the further structure optimization when used in offshore oil fields.

Keywords: vane-type of pipe separator; oil-water separation; guide vane; water-eliminating hole; experiment

作者简介

史仕葵 女, 1984 年生, 博士研究生。专业方向: 工程力学。

刘 敏 女, 1971 年生, 高级工程师。专业方向: 石油开发工程

罗昌华 男, 1968 年生, 高级工程师。专业方向: 石油开发工程

王 胜 男, 1982 年生, 工程师。专业方向: 石油开发工程

钟兴福 男, 1967 年生, 副研究员。主要从事多相流体力学应用及海洋工程。

高梦忱 男, 1989 年生, 硕士研究生。专业方向: 工程力学。