

文章编号: 1000-4882(2005)S-0543-07

## 复合式油气水分离器研究

郑之初<sup>1</sup>, 吴应湘<sup>1</sup>, 李清平<sup>2</sup>, 张军<sup>1</sup>, 郭军<sup>1</sup>, 唐驰<sup>1</sup>, 周永<sup>1</sup>, 龚道童<sup>1</sup>

(1.中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2.中海石油研究中心, 北京 100027)

### 摘要

油气水的高效分离是陆上和海上油田在油气生产、输送、存储中关注的问题, 复合式分离方法是近期的发展方向。“十五”期间中国海洋石油总公司与中国科学院重大科技合作项目中列入了该研究课题。本文回顾了自2001年开始的五年来中国科学院力学研究所在新型复合式分离器研制方面开展的研究工作以及取得的进展。首先通过文献总结、专利调研和国内现场考察, 提出了集重力、离心、膨胀于一体的复合式分离方法, 采用以实验为主, 结合数值模拟计算的研究路线。2003年力学所建成了模拟油气水分离的实验装置。2004年对离心和重力膨胀的关键部件——螺旋管、梯型管等进行了不同粘度、不同流速、不同油水配比条件下的油水分离实验, 得到了螺旋管回转半径、开孔数量、孔径、方向, T型管垂直管的高度、数量、管径等对分离效果的影响。配合直管和螺旋管的数值模拟, 得到了上述重要分离部件的设计准则, 然后按工业使用分离器处理量的1/10缩尺比例, 2005年设计制造了高效的复合式油水分离器。3月底, 长4.5m、宽2.2m、高2.5m, 全部由不锈钢制成的样机在力学所安装完毕。在粘度1~1500Mpa·s, 油水混合液流速变化范围为0.2~1.5m/s, 油水配比为10%~90%范围内进行了分离器的实验室样机试验, 达到了分离后油中含水率小于1%的当代国际先进水平。目前将设计全尺寸的复合式分离器, 用于陆上油田工业现场试验以考核它的最终指标。

**关键词:** 油气水, 三相分离, 复合式分离器

## 1 引言

随着海上油气田开发向深海发展, 为了最大限度地节省平台或油轮空间, 配合水下生产, 利用卫星进行远距离油田开发, 结构简单、体积小、重量轻、分离效率高, 处理量大、安全可靠、容易安装维护, 并能适应多相流各种流态等特点的油、气、水的多相分离技术研究得到了世界各国的重视<sup>[1-2]</sup>。这种小型、高效快速的油气水分离设备, 对在建和将建的海上油气田, 特别是采用混输方式的海上油气田具有重要意义。为此, 十五期间, 中国海洋石油总公司与中国科学院重大科技合作项目中, 列入了上述研究课题, 并提出了稠油条件下, 以油水分离为主, 油水分离后达到油中含水小于1%的技术指标。

## 2 实施方案

从历史发展情况来看, 分离器的研究基本上是从陆上油田开始的, 通常应用的分离原理有重力、膨胀、离心、电、复合等几种方式。分离器研制的发展历史经历了从简单到综合, 从低效到高效, 从大型到紧凑的发展方向。在国内外文献、专利调研以及国内陆上油田分离器使用状况考察的基础上,

收稿日期: 2005-08-10

基金项目: 中科院与中国海洋石油总公司科技合作项目; 中科院“十五”重大项目 (KJ CX2-SW-L03)。

2002年底,我们提出了结合离心、重力、膨胀、振动几种分离原理于一体的复合式高效分离方案(见图1)并制定了项目实施路线。它以实验研究为主,在实验中分项考核离心、重力、膨胀等分离原理对油气水分离的有效程度,结合对直管、螺旋管、容器中分离的数值模拟,设计复合式分离器的样机<sup>[3]</sup>,首先在实验室中在不同油水配比,不同粘度和不同流速条件下的考核油水分离效果,然后结合陆上油田现场条件制作工业分离器进行现场试验,最后推广用于海上,图2为实验室样机试验原理示意图,图3为实验方案框图。

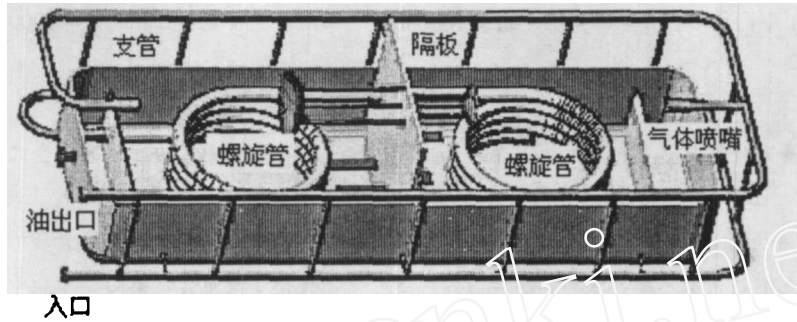


图1 分离器结构示意图

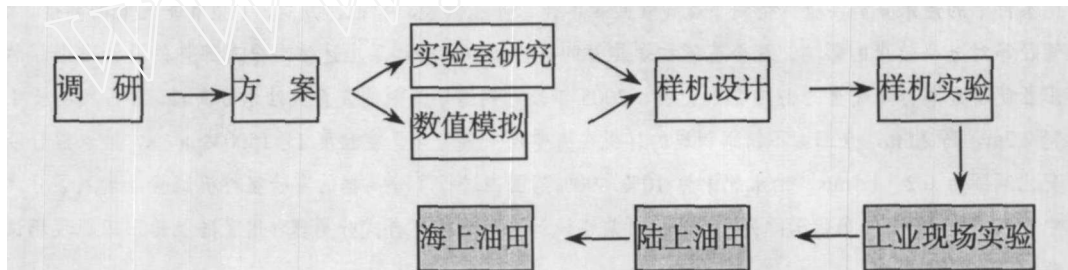


图2 试验原理示意

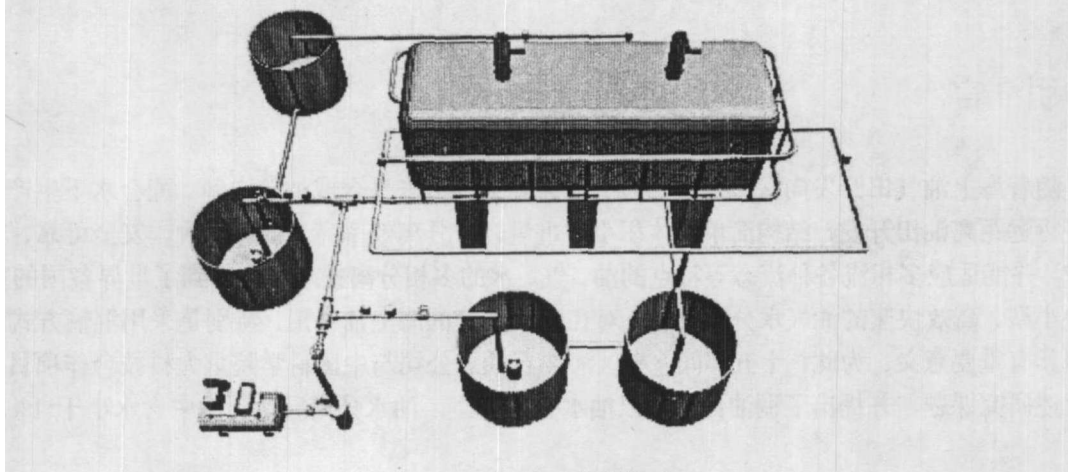


图3 实验方案框图

### 3 研究进展

#### 3.1 关键部件实验研究

2003年底,力学所建成了可以模拟油气水复合式分离器关键部件实验的实验装置,它由储油罐、储水罐、射流混合器、供气系统、水循环系统以及计量系统等部分组成。主管直径50mm,管内油水混合物最大流速为2m/s,单相时管内最大气体流速为50m/s,自行研制的射流混合器可使油水均匀混合,在油气水三相混合时,水平管及垂直管中能实现如泡状、弹状、栓状、环状等各种流态。图4为设备原理示意图,图5为建成后设备的全景照。设备建成后开展了一些关键部件试验研究工作。

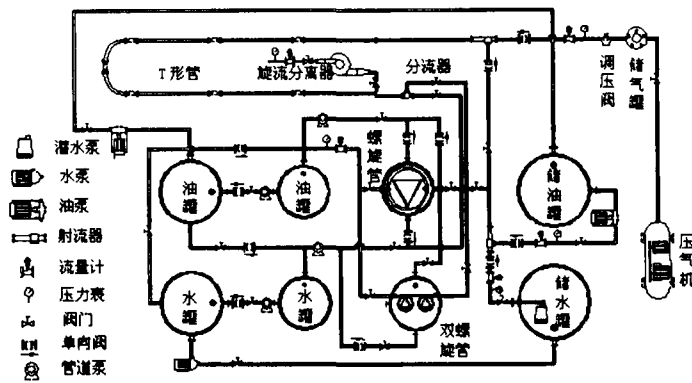


图4 实验设备原理示意图

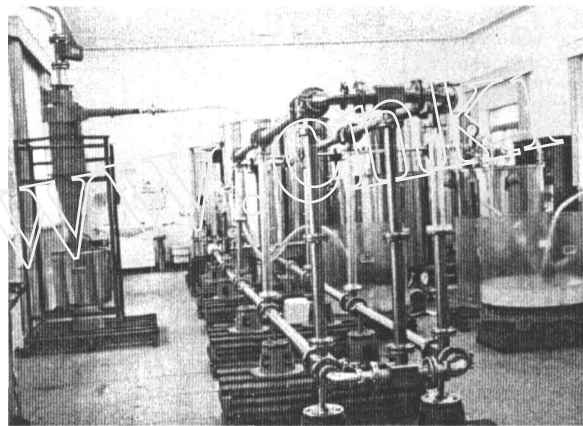


图5 建成的实验系统

### 3.1.1 螺旋管试验

带孔螺旋管是实现离心分离的关键部件, 油水离心分离的动力来自离心力差, 它由  $\rho_w/\rho_o$ ,  $u^2/Rg$  两个无量纲量支配, 将此用于油水分离, 国内外尚无先例, 我们选用了表1所示的二种螺旋管在不同粘度油品, 不同油水配比, 不同流量条件下进行了油水分离实验, 图6为实验照片。

表1 螺旋管的尺寸参数

螺旋管	回旋半径 R(mm)	管直径 D(mm)	螺距 T(mm)	螺旋圈数	总高度 H(mm)
1	400	40	100	6	600
2	150	25	100	6	600
3	150	25	60	12	720

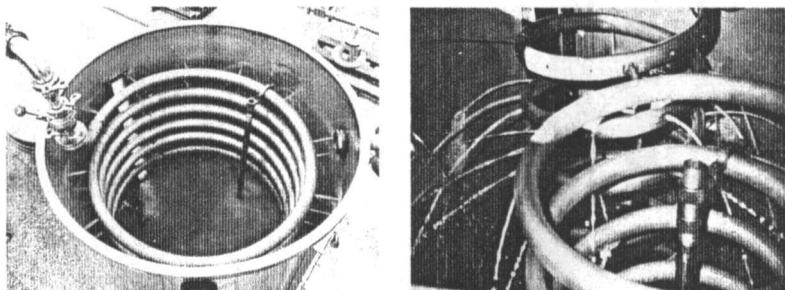


图6 螺旋管试验照片

实验后发现带孔螺旋管的离心作用对促进油水分离是有效的, 回转半径越小, 分离效果越好, 而过分提高螺旋管液体速度使流经螺旋管的压降大大增加, 为了弥补降低流速使离心力减少之不足, 以减少螺旋管螺距, 增加转圈数。为保证分离效率, 开孔圈数不大于三圈, 小孔孔径和数量采用多圈递减形成, 亦即它们应与螺旋管内油水含水量减少相匹配, 结合数值模拟<sup>[4]</sup>, 考虑  $u^2/Rg$  其值在 1~10 之

间,螺旋管开孔位置应在外侧正中再沿顺时针方向下移一个角度为好。

### 3.2.1 重力沉降实验

工业用密闭的圆柱形筒作重力沉降罐,而衡量分离效率是无量纲时间 $\bar{T} = Au/Sv$ ,式中 $s$ 是沉降罐的截面积, $A$ 是输送管道截面积, $v$ 是油滴、水滴或气泡的沉降或上浮速度, $u$ 是液相平均流速。通过数值模拟和实验结合比较,首先证明了在一种连续相介质中另一分散相以液滴或气泡形式存在是符合实际情况的,而液相的粘性和液滴的直径对油桶内气泡上浮或水滴下沉有非常大的影响,例如对于小于0.1mm的直径或大于500MPs粘度的液体,重力沉降速度就很慢。图7为小粘度下每隔60s油水分层状况的照片,图8为容器内油水分离随时间变化与数值模拟结果的比较<sup>[4]</sup>。由此可见,对于海上油田为了提高分离效率,只有综合使用各种分离原理,最后使用小容量储罐进行重力沉降处理相结合的分离方法。

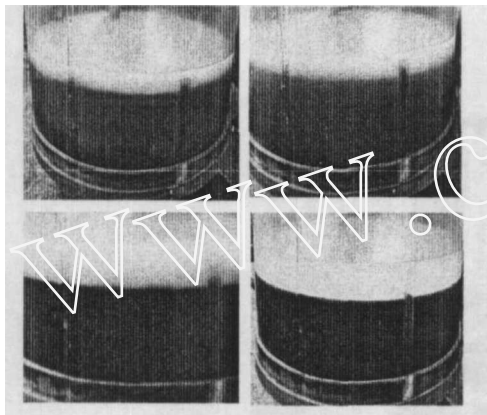


图7 重力油水分层

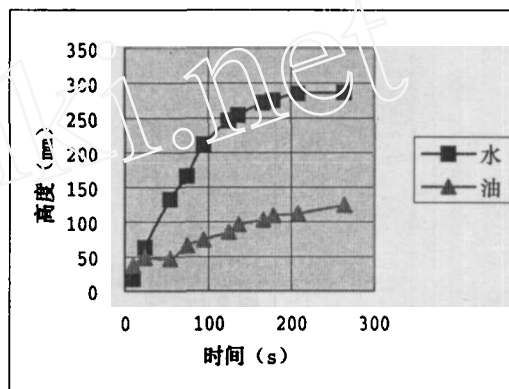


图8: 实验与数值模拟比较

### 3.1.3 T型管试验

T型管由二根水平管与 $n$ 根垂直管组成,它利用重力膨胀双重分离原理,在复合分离器中起气液与液液的预分作用。实验布置见图5,T型管中的流动是复杂的多相叉管流动,主管流量每经一根垂直管就分离一次,起到膨胀及水平管中流动的减速作用,让流体有充足时间进行重力分离,这对气液和液液分离都是有效的,通过大量的实验我们认为控制垂直管的高度 $h/d \geq 20$ 、控制垂直管中的流量为主管流量的 $1/n$ ,而 $n \geq 8$ ,这样在不同粘度的油品下都有较好的分离效果。图9、10是T型管流态及出口取样结果,由图9可见在垂直管中水团下降,气泡和油滴上升,达到很好的预分效果。

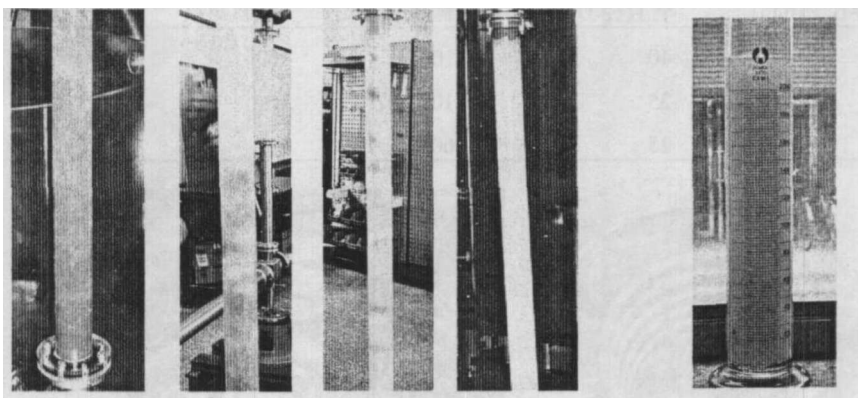


图9 T形管流态

图10 T形管出口取样

## 3.2 样机试验

### 3.2.1 样机设计及制作

2004年中期完成关键部件实验及数值模拟工作,它指出集多种分离原理于一体的复合式分离器的设想是可行的。为检验综合分离效果,按海上油田常用分离器处理量的 $1/10$ 缩尺比例,设计了复合式分离器样机。为避免整个分离器压降损失过大,各螺旋管与进液主管之间采用并联,为使样机制

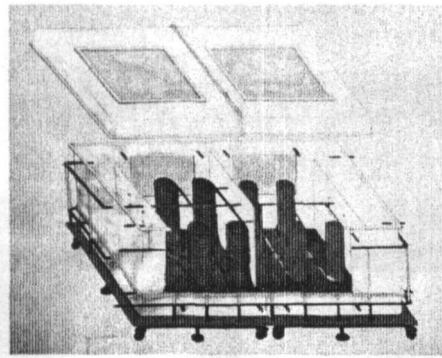


图 11 复合分离样机结构示意图

表 2 螺旋管尺寸参数

螺旋管	回旋半径 R(mm)	管直径 D (mm)	螺距 T (mm)	螺旋圈数	总高度 H (mm)
1	400	32	60	16	932
2	150	25	60	16	925

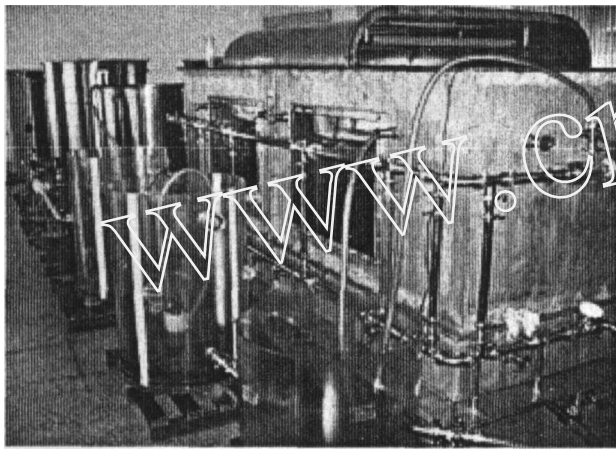


图 12 样机试运行

作简单、降低制造费用, 又保证分离器管内流态及流动条件相似, 我们保证了管流中压比及流量比相同, 而压力绝对值与油田现场不同, 也不在分离器上采用加热及保温措施。样机总长 4.5m, 宽 2.2 m, 高 2.5 m。箱体四周由上下两根水平管(全长约 15m)和 n 根垂直管组成, 在水平及垂直管中都配置有一定数量有机玻璃管, 箱体顶盖及侧壁设有观察窗, 便于随时监测油水分离状况。箱体分成各自密闭的二部分, 每一部分可设四个螺旋管以适应大流量油水分离情况, 改进后的螺旋管尺寸见表 2。每一密闭箱体中又分成大小二部分, 在一位置有连接孔, 小箱体有上下出口, 目的是在箱体

中使混合液通过重力沉降和溢流作用, 确保从小箱体上下出口处流出的都是符合指标要求的油和水, 2004 年底样机设计完成, 交付投产。图 11 为复合分离器样机结构示意图。

### 3.2.2 样机实验室运行

2005 年 3 月底, 样机运抵北京, 在中国科学院力学研究所实验室内安装完毕, 按二年前实验样机试验的设想, 安装了油、气、水循环系统。样机试验的原理是: 油和水由油泵和水泵增压后经引射器按要求的油水配比混合, 混合液流入 T 型管进行预分, 在下水平管中由于油滴不断上浮, 流速降低, 含水率增大, 在上水平管中, 含油率增大, 因此, 在下箱体进口处进入 (I) 组螺旋管分离出水多油少的混合液, 而在上箱体进口处进入另一箱体 (II) 组螺旋管, 将分离出油多水少混合液, 然后在各自的隔箱中再经过重力沉降和溢流, 在上、下出口处流出符合指标的油和水。对于不同油品(粘度为 1mPs~1500mPs)主管中流速为 0.2 m/s~1.5m/s, 最大日处理量可达 250m<sup>3</sup>/d, 达到了按 1/10 流量缩尺设计的要求<sup>[5]</sup>。图 12 为样机运行时试验照片, 图 13 给出了不同粘度(从 80 mPs~500mPs)范围内不同处理量, 不同油水配比条件下分离器各部分的流动参数(如压降、流速)变化规律。图 14 为螺旋管小孔出口处, 以及小箱体出口处的取样结果照片。从样机试验的结果可知, 我们设计的复合式分离器, 在进口含水率从 0~90%范围内, 油中含水都小于 1%, 分离器的总压降损失小于 1.5 个大气压, 而且通过管道设计改进, 还可降低, 这一点使本文的复合分离器具有很好的工业应用前景。2008 年 8 月在完成样机性能试验的基础上进行连续循环流动试验。

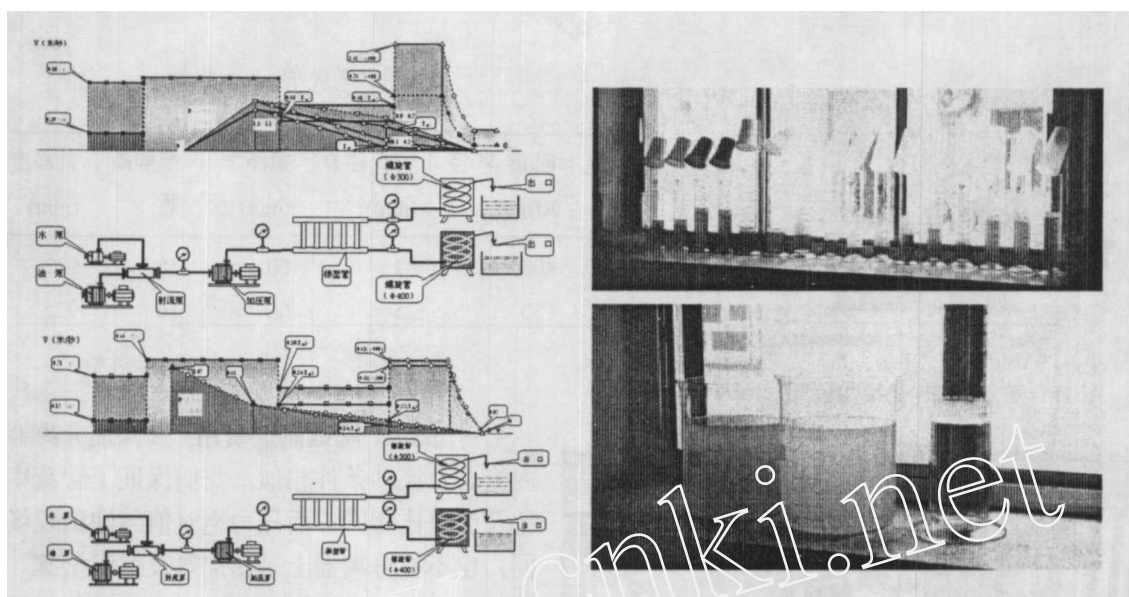


图 13 流态参数变化



图 14 螺旋管小孔取样及最终分离结果取样

## 4 结论及今后工作

(1) 经过四年左右的工作, 得到了如下结论:

- ①复合式分离方法是提高分离效率, 减轻分离器重量的有效途径之一;
- ②带孔螺旋管是一种新型离心分离部件, 通常可通过减少回转半径, 增加圈数来提高离心力。开孔数量、位置和孔径对分离效率有显著影响;
- ③具有膨胀和重力原理预分效果的 T 型管部件, 能起到良好的气液预分作用;
- ④本复合式分离器在不同油品和油水配比条件下可以达到油中含水小于 1% 的分离效果。

(2) 今后工作

完成样机的连续分离试验和适应油田工艺条件的试验后, 我们拟在华北油田采油二厂的多相分离站作为陆上油田工业应用的试验场地, 处理量  $500\text{m}^3/\text{d}$ , 油中含水小于 1% 与原方案相比, 在相同处理量的条件下, 预期减轻重量 1/3。

## 参 考 文 献

- 1 中科院力学所. 中国科学院知识创新工程重大项目可行性研究报告 [R], 2002
- 2 郑之初, 郭军等. 《复合式油气水分离器研究进展》[A]. 第十八届全国水动力学研讨会文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- 3 郑之初, 周永, 郭军等. 海上油气混输中的分离技术[J]. 实验流体力学, 2005, 19(1): 94-98.
- 4 周永, 吴应湘, 郑之初等. 油水分离技术研究之一——直管和螺旋管的数值模拟[J]. 水动力学研究与进展, 2004, 19(4): 540-546.
- 5 郑之初, 张军, 郭军等. 复合式油气水分离器研究进展之二——分离器样机试验[A]. 第十九届全国水动力学研讨会文集[C], 北京: 海洋出版社, 2005.

## A study on the combined separator for oil/water/gas mixtures

ZHENG Zhi-chu<sup>1</sup>, WU Ying-xiang<sup>1</sup>, LI Qing-ping<sup>2</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>,  
GUO Jun<sup>1</sup>, TANG Chi<sup>1</sup>, ZHOU Yong<sup>1</sup>, GONG Dao-tong<sup>1</sup>

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. Research  
Center of China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100027, China)

### Abstract

The high-efficiency separation of oil-gas-water mixtures is still a significant problem in the processes of oil-gas production, transportation and storage in onshore and offshore oil fields. A combined separator is developed in the Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences. This paper describes the achievements obtained since 2001 in utilizing the principles of gravity, expansion and centrifugation to work out the novel structure of separator and the related researches on oil-water separation experiments under conditions of different viscosities, velocities and oil-water ratios for the key components of centrifugation, gravity and expansion – helical pipes, T-shaped pipes, etc.. The influence of gyration radius of helical pipes, the number and diameter of apertures on the helical pipe, the height, amount and diameter of the T-shaped pipes on separating efficiency is gained under the conditions of viscosity: 1-1500mPas, oil-water mixture velocity: 0.2-1.5m/s, oil-water ratio: 10%-90%. A new combined high-efficiency oil-gas-water separator prototype is designed and fabricated in 1/10 scale. The prototype with a size of 4.5×2.2×2.5 meters and stainless steel material is installed in the Institute of Mechanics. The full-scale combined separator is under design for the test of final performance at an onshore oil field.

**Key words:** Oil/gas/water; three-phase separation; combined style separator