

油气水复合式分离器样机实验

郭军, 张军, 唐驰, 龚道童, 郑之初

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要

本文介绍了油气水分离技术方面的研究工作, 分析了复合式油气水分离器的核心部件螺旋管和 T 型管对分离器性能的影响和作用, 以及螺旋管侧壁开孔的大小、数量和位置的影响。通过试验得出适当增加 h/d 的值, 如 $h/d \approx 20$, 直管直径为 DN40, 高度 900, 在大粘度下分离效果更好。联合实验表明, 对一定配比的油水混合液(含水率 60~80%)经 T 型管、螺旋管分离后, 油中含水可小于 1%。

关键词: 油气水分离; 复合式分离器

1 引言

用于海洋采油平台或海底水下生产系统的分离器, 应具有结构简单, 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。因此这类分离器的研制成为海洋石油开采和输送中亟待解决的关键技术。因此十五期间, 在中国海洋石油总公司与中国科学院重大科技合作项目中, 将研制此类分离器作为项目的重要内容, 并要求油水分离后油中含水小于 1%。经过文献专利调研和国内陆上油田分离装置考察, 我们提出了结合离心、重力、膨胀、振动多种分离原理于一体的高效分离器设计方案(见图 1), 并制定了以实验研究为主, 通过实验分项考核离心、重力、膨胀部件对油气水分离影响的技术途径^[1, 2]。

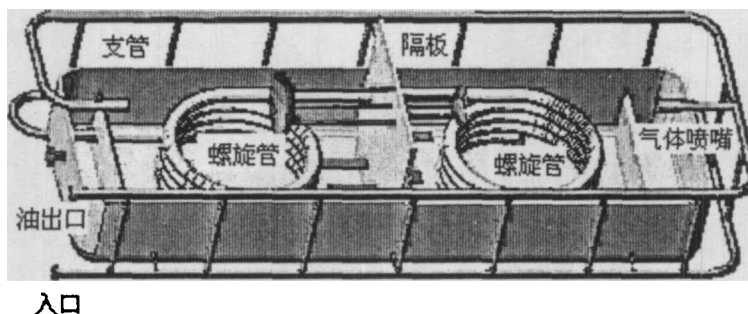


图1 复合式分离器结构示意图

为此, 我们建成了可以模拟油气水复合式分离器关键部件的实验装置(详见图 2), 进行了不同油水比和不同油品条件下, 各种形式螺旋管离心分离效率, T 型管气液分离效果和油水重力沉降分离的实验研究。本文主要介绍应用上述关键部件试验和数值模拟研究结果设计的分离器样机以及样机在实验室运行和一些试验结果。

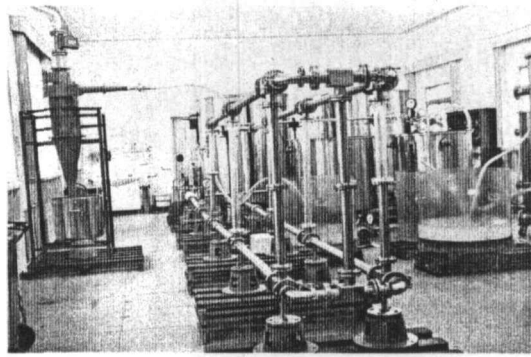


图2 实验装置

2 关键部件研究结果

2.1 螺旋管实验

离心分离的关键部件是螺旋管, 由文献[3]可知, 油水分离效果主要由 ρ_w/ρ_o 和 u^2/Rg 两个无量纲量支配, 对于稠油 $\rho_w/\rho_o \approx 1$, 所以分离效果主要取决于 u^2/Rg 的大小, 前期实验采用三种规格的螺旋管, 实验系统及实验布置如图 3、图 4 所示。

此外, 螺旋管侧壁开孔的大小及数量也是影响油水分离的重要因素, 早期实验采用螺旋管出口处的最后三圈, 开相同直径相同数量的小孔, 经实验后发现, 孔径和孔的数量采用每圈递减的形式, 亦即它们应与螺旋管内油中含水量减少相匹配这样分离效果会更好。

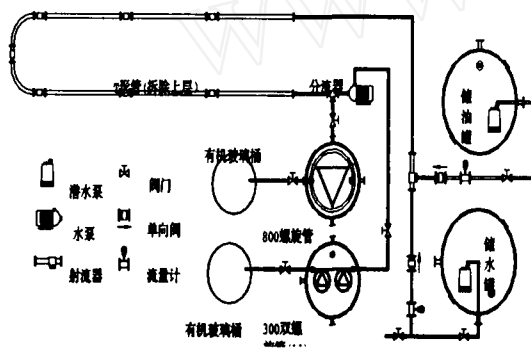


图3 螺旋管分离系统示意图

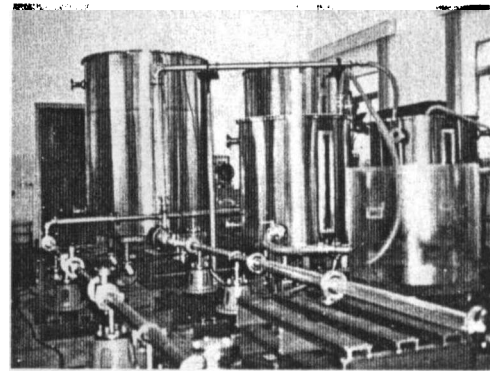


图4 螺旋管实验布置图

实验中 u^2/Rg 值在 1~10 之间变化, 此时重力对管内流动体的影响还相当显著^[5, 6], 最大含水率的位置在管壁右下侧, 所以螺旋管开孔应在管外侧下沿的位置。

在螺旋管离心分离中, 粘性的影响主要通过降低流速减少离心作用来体现, 因此对于特稠油的分离应增加流体进入螺旋管时的动力。

2.2 T型管实验

T型管也叫梯形管, 由二根水平管与 n 根垂直管组成, 在复合式分离器中, 起气液与液液的预分作用, 它利用重力和膨胀双重的分离原理, 实验系统及实验布置见图 5、图 6, 分离效果的好坏主要在于垂直管管径、高度与数量的选择。早期实验我们选择了高度和直径之比 $h/d=10$, 管径选择垂直支管中流量小于主管流量的 $1/4$, $n \geq 6$ 的组合, 并得到了良好的实验结果。通过大量不同粘度油品实验发现适当增加 h/d 的值, 如 $h/d \approx 20$ 分离效果更好。在稠油的情况下, 通过 T 型管的预分在顶管出口处, 能获得少量 1% 含水率的油, 图 7 给出 T 型管出口油取样及部分 T 型管中流态照片^[4]。

2.3 重力沉降试验

衡量重力沉降分离效率的是无量纲时间 $\bar{T} = Au/Sv$, 式中 S 是沉降罐的截面积, A 是输送管道

的截面积, u 是液相平均流速, v 是油滴、水滴或气泡的沉降或上浮速度。我们把一定配比的油水充分混合后注入容器, 观察它的分层时间, 通过与数值模拟比较, 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的假设是符合实验情况的。此外发现液相的粘性和液滴的直径对油滴和气泡上浮或水滴的下沉有非常大的影响, 对粒径小于 0.1mm 、粘性大于 $500\text{mPa}\cdot\text{s}$ 粘度的液体, 重力沉降的速度就很慢, 如对 $10\text{mPa}\cdot\text{s}$ 粘度的油, 油水分离只需几十分钟, 而对 $500\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的油, 油水分离就需 20 多小时。所以, 为了达到分离效率, 陆上油田分离站容器的直径越造越大, $D=14\text{m}$, 22m 甚至 50m 。这在海上油田是不希望的, 固只能配以其它分离方法尽量减小重力沉降容器的体积。到目前为止, 也有不少研究是在重力沉降罐中采用另外的辅助措施以提高效率的^[7]。

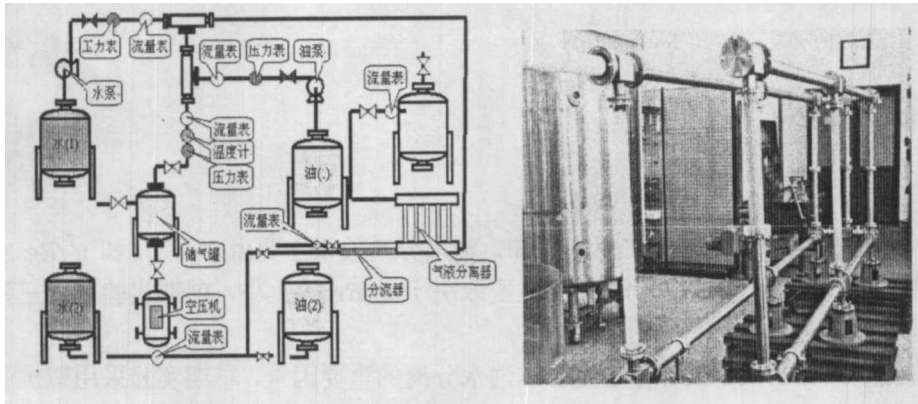


图 5 实验系统示意图

图 6 T形管分离器

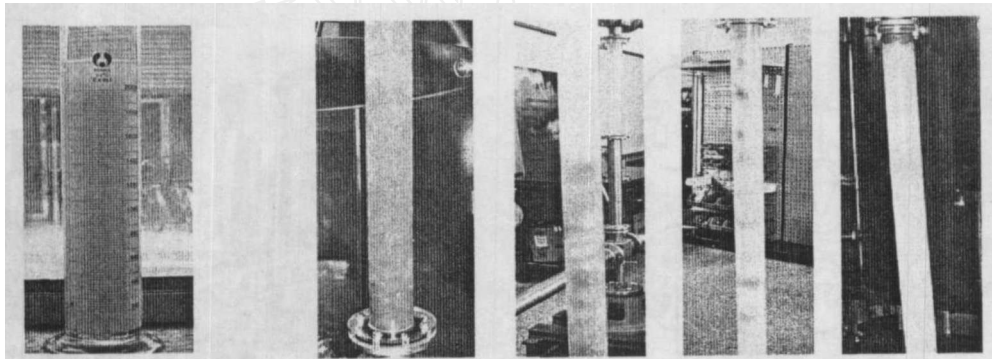


图 7 T形管出口取样及部分T形管流态

3 样机设计及制作

从关键部件实验取得的结果分析, 我们认为采用集多种分离原理于一体的复合式分离器的设想是可行的。为了检验综合分离的效果, 按油田常用分离器处理量的 $1/10$ 的缩尺比例设计了新的复合式分离器样机, 图 8 给出了结构示意图。

样机总长 4.5m , 宽 2.2m , 高 2.5m , 全部由不锈钢制成。便于运输及实验室安装, 样机由八个部分拼装而成, 结构设计保证其强度及密封。实验时为观察螺旋管油水分离现象, 在分离器侧壁及顶盖处设置了有机玻璃观察窗及照明装置。箱体四周由上、下二根水平管(周长约 15m)和 n 根垂直管组成的 T 型管围绕, 水平管内径为 50mm , 垂直管内径为 40mm , 高度为 800mm (目前使用垂直管 8 根), 在水平及垂直管中都配置有一定

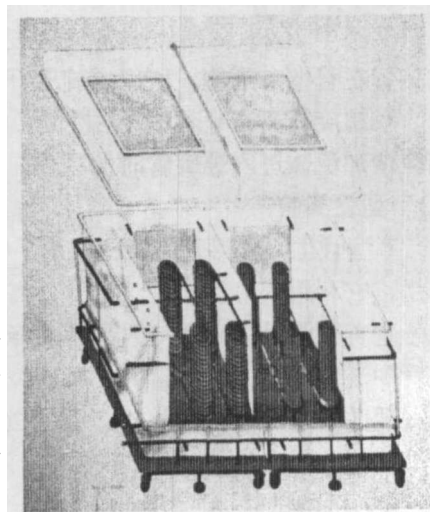


图 8 分离器样机结构示意图

数量的有机玻璃管, 便于观察 T 型管内油水预分的状况。箱体分成密闭的二部分, 每一部分中最多可放四个螺旋管, 以适应大处理量油水分离情况。在具体实验时还可进行通过螺旋数量选择以获得最佳分离效果, 最少能耗及最简单控制的运行工况试验。在每一密闭箱中又分成大小二部分, 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、下出口处引出的是符合指标要求的油和水。

为避免整个复合式分离器压降损失过大, 各螺旋管与进液主管之间采用并联。为使样机制作简单及制造费用降低, 又保证分离器内管流流态及流动条件相似, 我们仅保证了管流中的压比和流量比相同, 而压力的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。将来在进行工业现场样机设计时, 通过强度设计以保证工业现场使用, 同时在外壳设计时加保温层。

图 9 为复合式分离器及螺旋管在厂中进行水压及水密性试验的照片。

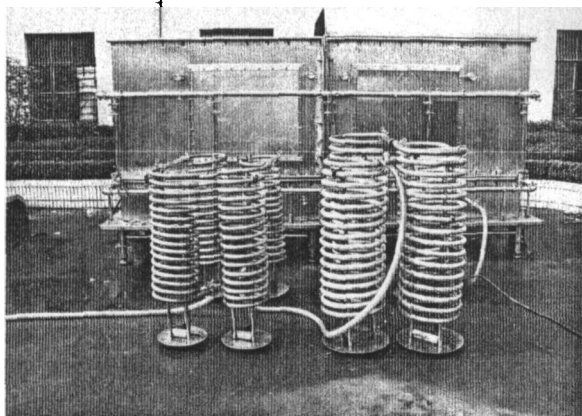


图 9 水压及水密性试验



图 10 实验室内水密性试验

4 样机实验室运行

按以前提出的实验室样机试验的设想(见图 11), 安装了油气循环系统。图 10 是样机在实验室安装并进行完水密性试验后的照片。

分离器样机试验运行原理是: 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(亦可再经引射器与压缩气体混合形成油气水三相流动), 混合好的油水混合物, 通过 T 型管进行预分, 在下水平管中由于油滴不断上浮, 含水率将增大, 流速降低, 在上水平管中含油率将增大, 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的(II)组螺旋管, 将分离出油多水少的混合液, 然后在各自的隔箱中再经过重力沉降和溢流, 在上、下出口处流出的是符合指标的油和水。最后经过泵和循环系统, 油水各自回到储罐中去, 维持实验连续运行。

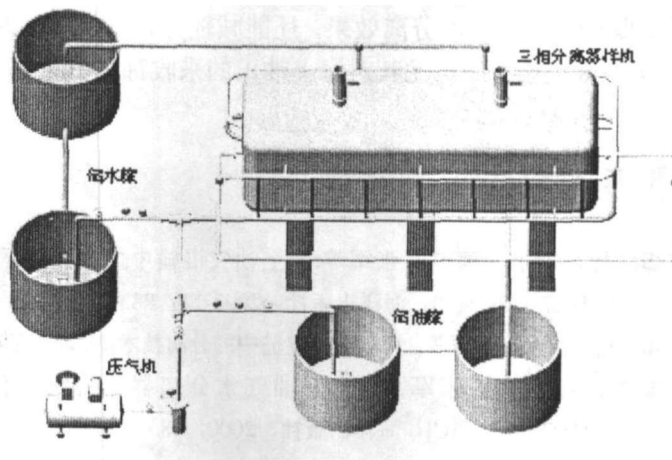


图 11 复合式分离器试验方案

图 12 是样机循环系统安装完毕时的照片。图 13 和图 14 是(I)(II)二组螺旋管在进行试验时从观察窗外拍摄到的照片。

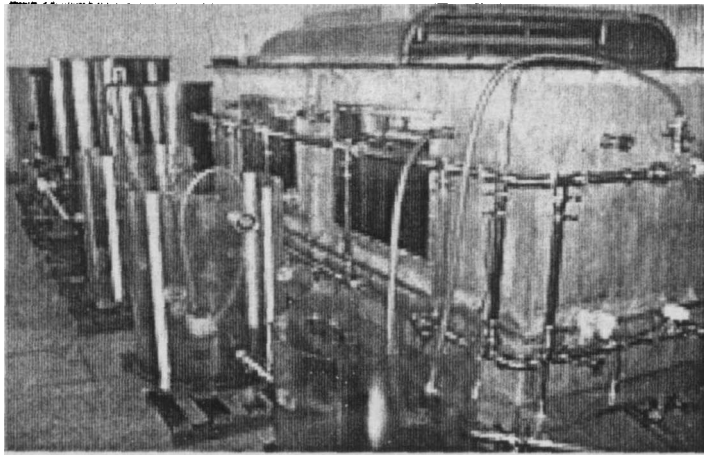


图 12 样机试运行

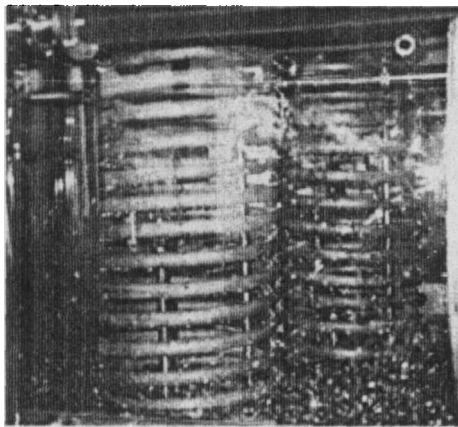


图 13 I 组螺旋管工况

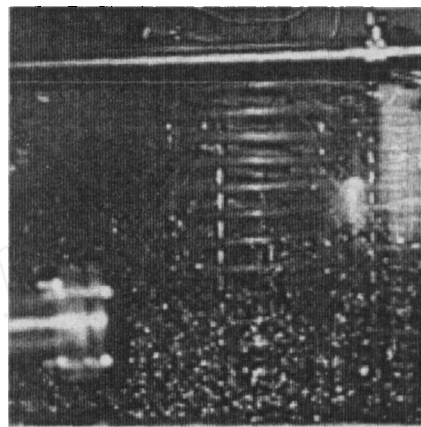


图 14 II 组螺旋管工况

目前,主管道内根据设置的油泵和水泵,对于不同粘度的油品(粘度为 $1 \text{ mPa} \cdot \text{s} \sim 1500 \text{ mPa} \cdot \text{s}$)混合液的流速变化范围为 $0.2 \text{ m/s} \sim 1.5 \text{ m/s}$,最大的日处理量为 $250 \text{ m}^3/\text{d}$,达到了按 $1/10$ 流量缩尺设计的要求,根据实验室储罐及储油量,目前可维持 1 小时的连续运行试验。应当指出的是经 T 型管与分流器组合而未经箱体沉降已经得到了少量含水率小于 1% 的油,它的意义是在于利用复合原理的分离方法,既能达到高粘度分离效果,还能减轻分离器的重量即在相同体积的分离器条件下能增加日处理量,这一点在陆上油田尤其对海上油田的采收都极具重要意义。

参 考 文 献

- 1 郑之初,周永,郭军,张军等.海上油气混输中的分离技术[A],香港第十七届水动力学研讨会论文集,ISBN7-5027-5939-5[C],海洋出版社,2003-12,P830~837.
- 2 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.
- 3 郑之初,郭军,张军.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论文集,ISBN7-5027-6134-9[C],海洋出版社,2000,(8):49~58.
- 4 张军,郑之初,吴应湘等.高效油气水分离器[A].2004年度海洋工程学术会议论文集,ISSN1000-4882,2004,45 增刊:254~261.
- 5 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.
- 6 高琪,吴应湘,刘秋生,郑之初.螺旋管内油水分离两相流动的数值模拟[J].水动力学研究与进展(待发表).
- 7 Schliepes L, chatterjee M, Henschke M, and Pfennig A. Liquid-liquid phase Separation in gravity settler with inclined

plates[J]. AICHE Journal, 2004,(4):802~811.

- 8 龚道童, 吴应湘, 郑之初等. 复合式分离器中重力沉降分离的数值计算[A]. 第七届全国水动力学学术会议暨第十九届水动力学研讨会论文集[C], 322~330.
- 9 郑之初 张军 郭军等. 复合式分离器研究进展之二——分离器样机试验[A]. 第七届全国水动力学学术会议暨第十九届水动力学研讨会论文集[C], 458~467.

Prototype tests of the combined oil-gas-water separator

JUN Guo, JUN-Zhang, CHI Tang, DAO Tong-gong, ZHI Chu-zheng
(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract

This paper describes the research works on oil-gas-water separating techniques for the joint project between Institute of Mechanics of Chinese Academy of Sciences and Research Center of China National Offshore Oil Corporation during the "Tenth-five-year" period. The combined separator prototype with a 1/10 scaling factor and a maximum daily handling capacity of 250m³/d is designed and fabricated based on experiments and numerical simulations at Institute of Mechanics. As key components of the combined oil-gas-water separator, the helical and T-shaped pipes are very important for the separator qualifications of capacity, size and reliability. Therefore single and joint experiments are carried out respectively to verify the separating effect. The helical pipes adopt the principle of centrifugation separation which primarily depends on the magnitude of U^2/Rg . By this way the water content in oil can be reduced 15%-30%. The sizes, number and positions of the holes located in the side wall of helical pipes are also important factors affecting the oil-water separation. Employing proper aperture gradient distributions and angles, i.e. the hole parameters matching with the water outflow process, a better separation result can be obtained. The T-shaped pipes adopting the principles of gravitation and expansion separation pre-separate the gas-liquid and liquid-liquid mixtures, and the separation effect is mainly determined by the diameter, height and number of the vertical pipes. Through experimental researches it is concluded that increasing the value of h/d properly, for example h/d of 20, with a straight pipe diameter of DN40, a height of 900 and a high viscosity, the separation effect can be achieved. For the oil-water mixtures with certain mixture ratios (water content 60-80%), the joint experiment results of water-in-oil ratio less than 1% can be obtained following the procedure of T-shaped pipes pre-separating, helical pipes separating and gravitational settling.

Key words: oil-gas-water bseparation; combined oil-gas-water separator