

海上油气混输中的分离技术

郑之初 周永 郭军 张军

(中国科学院力学研究所,北京 100080)

李清平 安维杰

(中海石油研究中心,北京 100027)

摘要 本文介绍中国科学院力学所在“十五”期间,从发展海上油气混输特殊工艺要求出发,在油气水和液固分离技术方面开展的研究工作。通过有关文献总结、专利调研和国内现场考察,在液固分离方面选用离心分离方法,用于井口除砂;在气液分离方面研制集重力、离心、膨胀于一体的复合式分离器,以达到高效快速分离的目的;尚有油水精细分离的研究,既可提高输送效率也可用于特殊输送工艺。如用于春晓油田,首先油中除水,再进行油气混输,防止长距离管输时在高压低温条件下油中产生水化物而阻塞管线。同时介绍为了达到油水精细分离,开展的直管和螺旋管相应的油水分离模拟计算。

关键词 油气水,分离,混输,除砂

1 引言

在国外,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,配合水下生产系统利用卫星进行远距离油田开发,水下油气水处理及除砂系统的研究工作得到了世界各国的重视。

我国分离器的研究是从陆上油田开始的,纵观分离器的发展历史,它符合逐步从简单走向综合,从低效转向高效,从大型转向紧凑的发展方向。

用于海洋采油平台或海底水下生产系统的分离器,不但要求具有结构简单、体积小、重量轻、分离效率高、处理量大、容易安装维护、安全可靠等特点,而且要求具有适应多相流各种流态、防止段塞流对其产生的剧烈扰动和处理油水乳化的能力。这些要求给这类分离器的研制造成了极大的困难,使其成为海洋油气开采和输送中亟待解决的关键技术。

2 油气水砂分离技术调研综述

2.1 油气水分离技术

按照中国科学院力学所和中海油合作的要求,在分离技术的研究方面有两个内容,其一是研制一种高效油气水分离器,能达到油中含水低于1%的国际先进指标^[1]。我们认为各种分离原理综合使用,取长补短,才能满足要求。为此,着重调研了可以达到精细分离的复合式分

分离器。

作为典型的例子,图1示意一种海上油井生产分离系统。该系统应用于北海海上生产平台。设备包括三级重力油气水三相分离器和三级油水旋流分离器。先利用重力分离法分离气、油和含有少量残油的水,然后使用旋液分离器除去水中的残油。三个重力分离器在油流的方向上串联联接,经重力分离器分离后的水相联于除油旋液分离器,底流再流过一浮罐以去除气、油后排入海中。分离后的油中含水低于1%,水中含油小于 40×10^{-6} 。

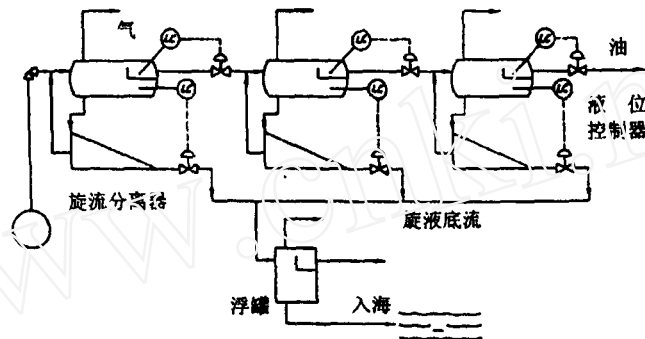


图1 油井生产分离系统

在文献和专利调研的基础上,我们对国内几个油田,如江苏油田、胜利油田现河采油厂和胜利海上油田的达到高精度分离指标的分离装置进行现场调研。

图2为胜利油田现河采油厂分离器布置及现场照片,分离过程主要靠重力方式。其中,三相分离器直径2m,长度8m,共计5台。重力沉降罐共有4个分离沉降罐和4个污水沉降罐,直径为14m,高度为22m。胜利海上油田油中含水较低,约36%左右,故主要靠电解方式进行油中脱水。

通过国内外文献和专利调研,我们认为:

(1) 国内使用的油水精细分离的设备基本上是重力式和电解式的分离器。虽然少数能达到油中含水小于1%,但体积庞大,单位体积处理量小。

(2) 发展复合式的油气水分离装置,充分结合重力、离心、膨胀等多种分离原理,实现油气水的精细分离是一条可探索的方向。

(3) 对用于海上油田的分离器,首先要在陆上实验达标,然后考虑海上环境的影响,设计出合理的分离器。

2.2 除砂技术

油中除砂是分离技术的第二项研究内容,它是为了避免采出液中所含的砂粒对原油开采、长距离输送、储存等正常生产造成的危害而进行的研究。通常除砂装置按其工作原理不同可分为井下除砂装置、重力式除砂装置、过滤式除砂装置及漩流除砂装置四种形式。

我们认为四种形式的除砂装置各有利弊:井下除砂条件复杂,改造困难;过滤除砂结构简单,效果好,但需反复冲洗使用不便;重力除砂装置结构庞大,处理速度较慢,对不同流态适应

性小,需定期清罐,在海上不适用;被动式旋流除砂装置结构简单,没有运动部件,各种分离粒径可有效控制,所消耗的能量仅是部分来液压力,因此,可以考虑在海上推广应用。图3为力学所旋流分离装置的示意图及实验室设备照片,并且得到了一些油中除砂的初步实验结果^[6]。

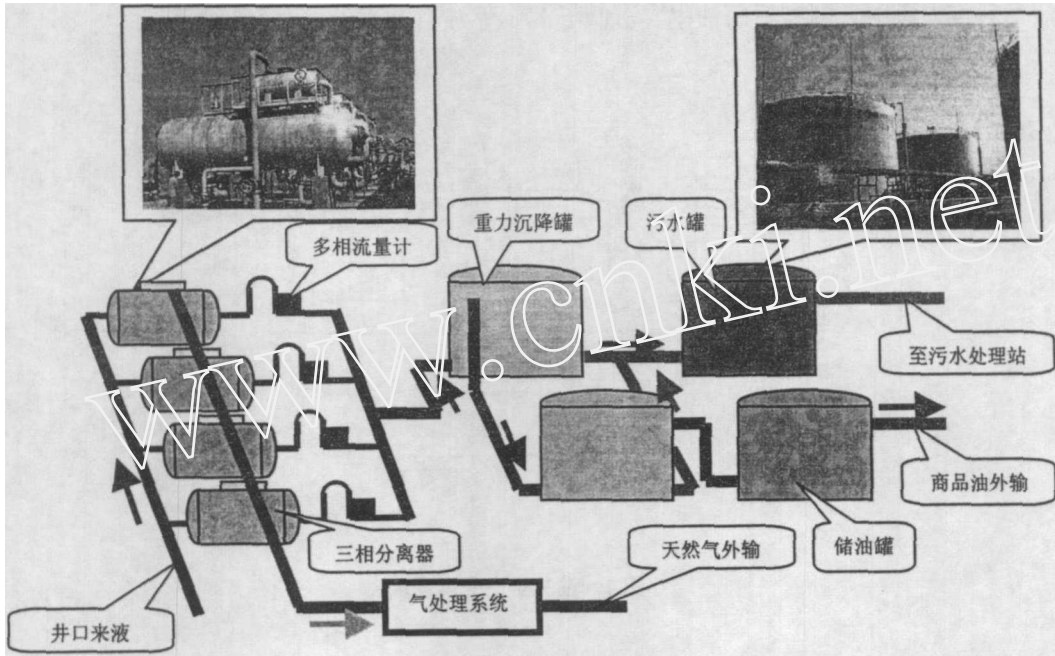


图2 胜利油田分离器布置示意

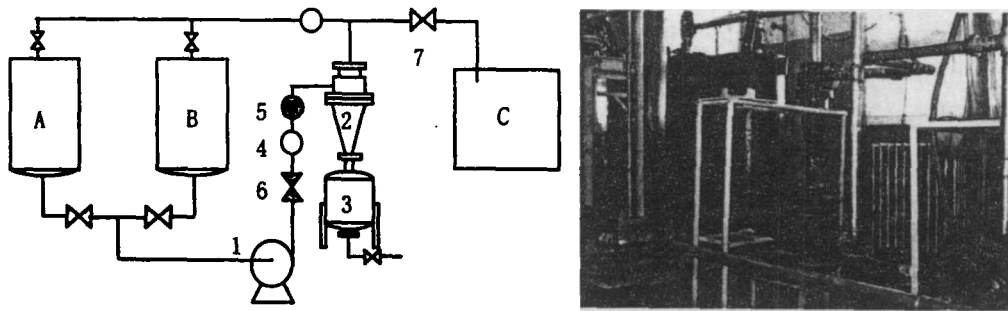


图3 除砂分离器实验原理及设备照片

3 油气水分离的实施方案

油气水高效分离器的研究以春晓油田混输方案作为基点,首先是油气分离、油中除水,除水要求油中含水少于1%,目的是防止低温高压下长距离管输管中形成水化物,以利于油气再度混合进行海底管线的油气混输。

根据上述的分析,我们初步确定了精细分离器的原理和研究方法:采用结合离心、重力、膨胀、振动多种分离原理,发展高效、精细的油气水分离器装置(设想如图4)。以实验方法为主,在实验中分项考核离心、重力、膨胀、振动原理对油气水分离的有效程度(实验室布置见图5)。结合分析计算,设计出分离器样机首先在陆上油田考核其性能(样机的实验室布置见图6),加上海上环境的修正,最后定型。在轻油分离试验成功的基础上,进一步考虑用于稠油的分离器改进。

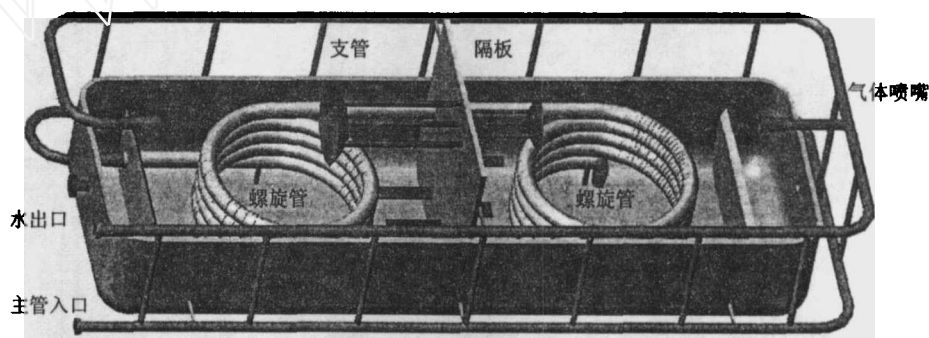


图4 分离器样机内部结构示意图

4 油气水分离的分析研究

油气水精细分离的研究以实验为主,在实验的基础上进行一些分析计算。关于分离器性能计算主要围绕着气泡上浮、液滴沉降(包括水滴和油滴)以及水中油滴上浮和油中水滴下降,并确定在一定条件下的沉降临界直径。

下面以气相中油滴沉降为例。设油滴直径为 d ,密度为 ρ_0 ,在气相中受力为重力及阻力,油滴作匀速运动时重力与阻力相等:

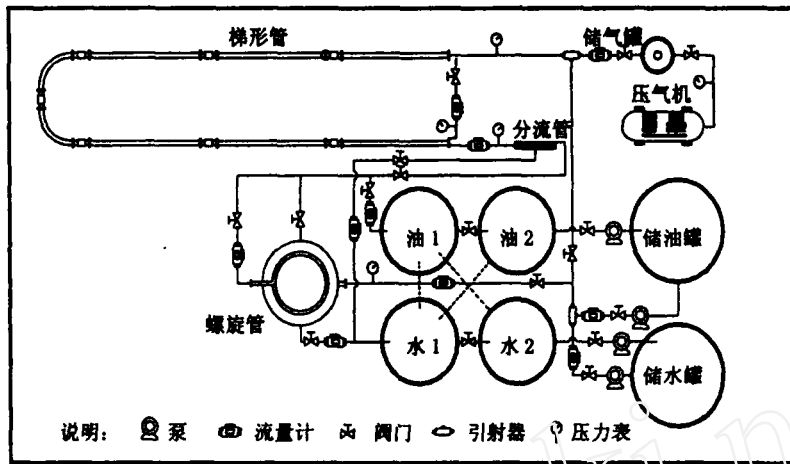


图5 分项实验实验室布置示意图

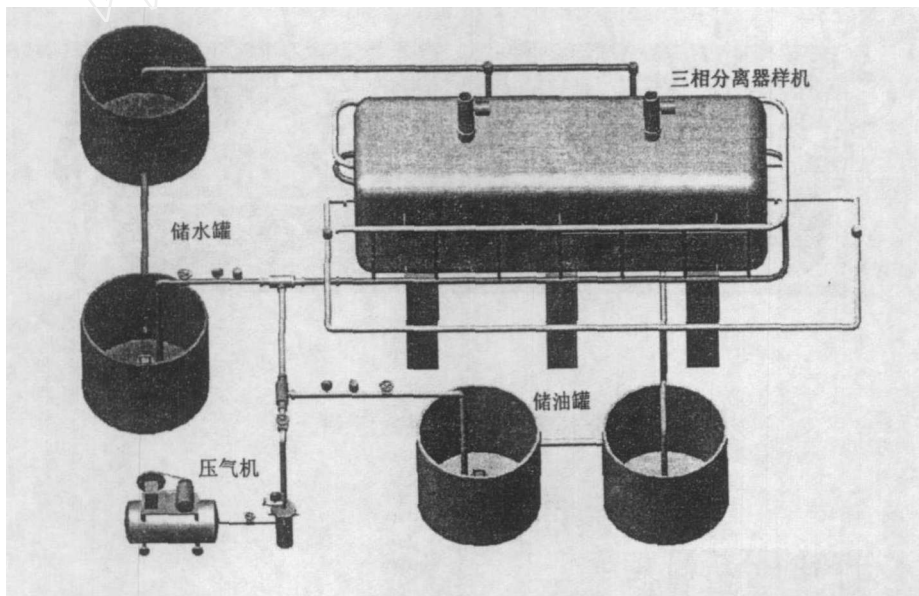


图6 样机实验室布置示意图

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{\pi d^3}{6} (\rho_0 - \rho_s) g \\ R &= \xi \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho_s \end{aligned} \right\} \text{由 } F = R \text{ 求得沉降速度为 } v = \sqrt{\frac{4gd(\rho_0 - \rho_s)}{3\xi\rho_s}}$$

阻力系数 ξ 是雷诺数 Re 的函数, 各雷诺数范围下 ξ 的关系如下, 相对沉降速度关系如式

1、2、3 所示。

$$Re \leq 2 \quad \xi = 24Re^{-1} \quad v = \frac{d^2 g (\rho_0 - \rho_g)}{18\mu_g} \quad (1)$$

$$2 \leq Re \leq 500 \quad \xi = 18.5Re^{-0.6} \quad v = \frac{0.153g^{0.714} d^{1.143} (\rho_0 - \rho_g)^{0.714}}{\mu_g^{0.428} \rho_g^{0.286}} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} 500 < Re \leq 2 \times 10^5 \quad \xi = 0.44 \\ Re > 2 \times 10^5 \quad \xi = 0.1 \end{aligned} \quad v = 1.74 \left[\frac{gd(\rho_0 - \rho_g)}{\mu_g} \right]^{0.5} \quad (3)$$

其中, ρ_g 、 μ_g 分别为气体的密度及粘性系数。通过上式可以计算出沉降速度为零时的临界直径。

但是, 两相流计算中最困难的是在油水均匀混合情况下在容器或管道中, 由密度差产生的分离的估计。为此, 我们与清华大学合作进行了一些模拟计算。

假定原油仅为油、水两相的均匀混合物, 并采用混合模型。支配其流动的基本方程包括连续方程、动量方程和被输运相的组分方程, 还有相间相对速度的代数表达式。在湍流情况下, 还包括湍流模式方程。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m) + \nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m) = \dot{m}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m \vec{v}_m) = \nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m \vec{v}_m) = -$$

$$\nabla p + \nabla \cdot [\mu_m (\nabla \vec{v}_m + \nabla \vec{v}_m^T)] + \rho_m \vec{g} + \vec{F} + \nabla \cdot \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \vec{v}_{d,k} \vec{v}_{d,k} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_p \rho_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_m) = - \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_{d,p})$$

其中 \dot{m} 表示质量生成率, 本计算中为零; \vec{v}_m 是质量加权平均速度; ρ_m 是混合物的密度; n 是相的数目; \vec{F} 是体积力; μ_m 是混合物的粘性系数; $\vec{v}_{d,p}$ 是二次相 k 的漂移速度。

湍流模型采用多相流中的 $k-\epsilon$ 模式。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m k) + \nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m k) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_{t,m}}{\sigma_k} \right) + G_{k,m} - \rho_m \epsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m \epsilon) + \nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m \epsilon) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_{t,m}}{\sigma_\epsilon} \nabla \epsilon \right) + \frac{\epsilon}{k} (C_{1\epsilon} G_{k,m} - C_{2\epsilon} \rho_m \epsilon)$$

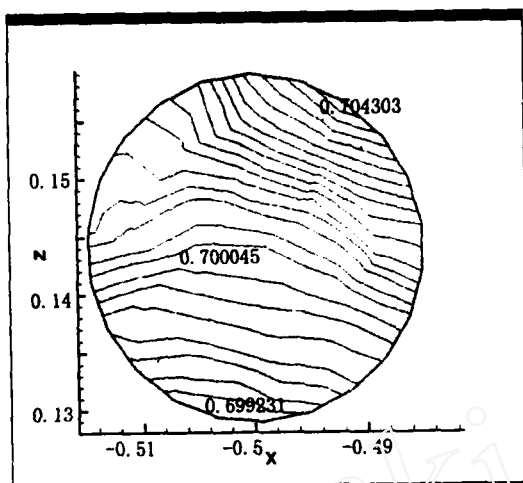


图7 $\theta=180^\circ$ 处的横截面上的油的体积组分的分布

基本方程的离散和求解采用 SIMPLE 算法。我们以直圆管和螺旋圆管为例,计算了一定长度的直管和一定直径的螺旋管的流场,获得了初步计算结果。图 7 给出了数值模拟螺旋管一圈的中间截面,即绕进口处转了半圈 $\theta=180^\circ$ 处的横截面上的油的体积组分的分布,坐标轴为空间位置坐标。计算结果表明,所用方法可以模拟油水两相输运过程中在重力作用下的分离,以及螺旋分离器中在重力与离心力同时作用下的分离现象。其精确性有待实验结果比较。

5 今后的工作

继续进行以气液分离和油水分离为主的分项实验研究,同时与模拟计算的结果相比较,优化实验参数,确定分离器样机的外观结构,然后,进行分离器样机的初步设计。按照 1/10 比例制造分离器样机进行实验室和陆上油田的样机实验,考虑海上环境后设计出适用于海上油田的分离器。

参 考 文 献

- 1 中国科学院知识创新工程重大项目可行性研究报告. 中科院力学所, 2002. 1.
- 2 郑之初等. 用于管线混输关键技术的一些模拟试验. 中国计量测试学会第七届学术会议, 2002.
- 3 李东晖等. 气液两相流下离心泵性能测试. 中国计量测试学会第七届学术会议, 2002.
- 4 S. Movafaghian, J. A Jaua-Marturet, R. S. Mohan, O. Shoham, and G. E. Kouba, The effects of geometry, fluid properties and pressure on the hydrodynamics of gas-liquid cylindrical cyclone separators, International Journal of Multiphase Flow 26(2000) 999-1018.
- 5 M. L. Powers, New Perspective on Oil and Gas Separator Performance, SPE20699.
- 6 郭军等. 液固分离实验中的一些进展. 第十七届全国水动力学研讨会暨第六届全国水动力学学术会议文集, 北京: 海洋出版社, 2003.

Separation Technique for Oil-Gas Multi-phase Flow Transportation in Submarine Pipeline

Zheng Zhi-chu Zhou Yong Guo Jun Zhang Jun

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Li Qing-ping An Wei-jie

(Research Center, China National Offshore Oil CORP., Beijing 100027, China)

Abstract: Based on the special technique requests of the oil-gas multi-phase flow transportation in submarine pipeline, some research work on separation technique of oil-gas-water and liquid-solid performed in Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science is introduced in this paper. By summarizing the relational references, proceeding the patent retrieval and the domestic on-site investigation, centrifugal separation technique is adopted for well-head desanding on the liquid-solid separation. On the gas-liquid separation, a combined separator based on the principle of gravity, centrifugation and expansion is developed for the high efficiency and quick separation. There is also some research work on oil-water fine separation, it can not only increase the transportation efficiency, but also be used for special transportation technique. For example, it is applied to the Chun-Xiao oilfield, by dewatering oil and oil-gas multi-phase transportation, the block instances of pipeline caused by the hydrate generated under the conditions of high pressure and low temperature in the long distance pipe transportation can be prevented.

At the same time, some simulated calculations on oil-water separation of straight pipe and helix pipe for oil-water fine separation is introduced.

Key words: oil-gas-water, separation, multi-phase flow transportation, desanding

