

# 管式多相分离技术的工业化测试分析

万年辉<sup>1</sup>, 倪威<sup>1</sup>, 吴奇霖<sup>1</sup>, 张健<sup>2\*</sup>, 许晶禹<sup>2</sup>

(1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司 深圳 518000;

2 中国科学院力学研究所 北京 100190, Email: zhangjian@imech.ac.cn)

**摘要:** 管道式多相分离技术具有结构简单、占地空间小、免维护、压降低等优势,符合油气资源开采技术的发展趋势。本文主要结合前期的研究成果,对该技术在南海平台的应用情况进行详细介绍,给出管道式分离系统的工艺流程、生产参数与工作条件、现场安装、调试运行情况等。经过系统的工业化测试得出,设计安装的管道式分离装置整体运行稳定,空间尺寸优势明显,且压降损耗较低,处理后的油中未见游离水,水中体积含油率低于1%,满足平台管道式分离装置初始设计的指标,可大幅度降低后续油气水分离装置和污水处理的压力,提高污水处理的指标,为后续管道式分离技术的工业化应用推广提供了可靠的技术和数据基础。

**关键词:** 管式分离技术; 多相分离; 工业测试; 污水处理

## 1 引言

海洋油气田开采开始逐步走向深海,油气水分离系统是海洋石油开采过程中的重要工艺环节,伴随海洋石油产量的不断增加,以及油气开采后期含油率的不断增加,给已有油气水分离系统带来较大的压力,影响海洋油气的正常开采<sup>[1]</sup>。而且,由于海洋采油平台或海底水下生产系统的操作空间和承载重量都受到严格限制,这就要求多相分离系统具有结构简单、体积小、重量轻等特点,并同时能够满足不断增长的处理量的要求。因此,发展新型的高效紧凑型分离器,减小采油平台的载重,降低开采成本,成为海洋石油工程研究的热点。

管道式采出液处理技术<sup>[2]</sup>,综合动态重力分离、离心分离和浅池理论等基本原,仅依靠物理的方法即可实现混合液流动状态下的分离,具有结构简单、占地空间小、免维护、压降低等优势。前期研究中,对管道式分离技术的基本原理、工艺方案和小型样机测试等开展了大量研究<sup>[3-5]</sup>,形成了以T型分岔管路和柱型旋流分离器为主的管道式油气水多相分

基金项目: 国家自然科学基金(11972039)

离系统。T型分岔管路<sup>[6]</sup>，由上下水平管和多个分支立管构成，根据流动过程中因受重力作用而形成的自然分层，通过流量匹配控制实现两相的动态分离。柱型旋流分离器<sup>[7]</sup>，针对传统水力旋流器压降大，处理量受最小横截面制约等缺点，对传统旋流器加以改进创新而来<sup>[8]</sup>，高含水等油田应用中可实现对混合液除去70%以上水的目标。管道式多相高效分离技术的推广应用不仅能为油田带来极大的经济效益，还能为环境保护提供了一种新的技术保障，具有重要的社会价值和经济效益。

为进一步完善管道式分离技术成果，分别在陆地油田和海上平台开展了系列的工业化测试和分析。本文将对管道式分离技术在南海平台的应用情况进行详细的介绍，包括管道式分离系统的工艺流程、生产参数与工作条件、现场安装、调试运行情况等，为后续管道式分离技术的工业化应用推广提供技术和数据基础。

## 2 采油平台生产流程和参数

选取平台的采出液处理工艺流程如图1所示，油井采出液经生产管汇集，依次进入两组板式换热器和蒸汽加热器进行换热，然后输运至生产分离器进行油气水分离，分离出的气相输运至气体处理存储设备或火炬系统，分离出水相进入生产水处理系统，分离出的油相再次经过板式换热器系统和蒸汽加热设备，输运至电脱水器进行原油脱水处理，最终达标油相进入原油储存舱。

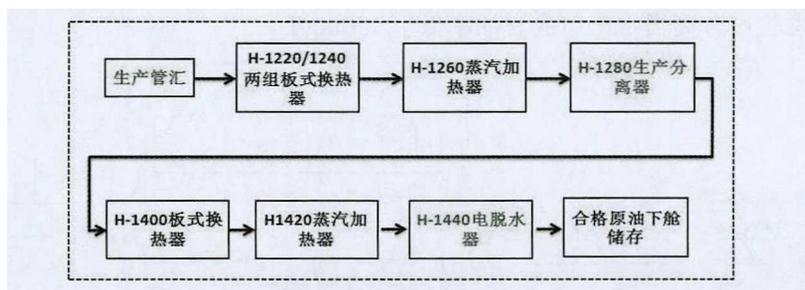


图1 采油平台原油处理工艺流程

表1 采油平台生产参数

序号	名称	参数
1	产液量	24000m <sup>3</sup> /D
2	体积含水率	95%
3	体积含气率	8%
4	油相密度	942.8kg/m <sup>3</sup> (50°C)
5	油相黏度	141mPas (50°C)
6	操作温度	98°C
7	管汇压力	0.55MPa

### 3 管道式多相分离系统设计方案

按照上述的生产工艺流程，在采油平台油气水多相分离系统改造方案，拟在两组板式换热器和生产分离器间增加高效管道式分离设备，管道式分离器的入口连接在两组板式换热器的入口管线、出水口和出气口连接至蒸汽加热器 H-1260 的出口管线、出油口连接至蒸汽加热器 H-1420 的入口管线，经加热后进入电脱水器进行处理。

依据前期管道式分离技术的研究，以及工业现场中试的应用成果，在此次管道式分离系统设计中，采用 T 型多分岔管路分离器和柱型旋流分离器，分别对来液进行气液分离和油水分离。图 2 给出了管道式分离系统的整体设计工艺流程，生产井产出液经管汇，进入 T 型多分岔管路分离器，然后经 T 型多分岔管路处理后，上水平分支管出口直接连接至生产分离器，即将分离出的气相输运至原有生产分离器，T 型管的下水平管和中间水平管出口汇集成一根管道后分别连接至四组柱型旋流分离器组的入口。经柱型旋流器组处理后，四组柱型旋流器组的溢流口汇集，然后以三通的形式，同时连接至生产分离器的入口和 H-1420 蒸汽加热器的入口管线，并以阀门控制各个管路的流动，当汇集后的溢流口管线中体积含水率低于 10% 则开启至 H-1420 蒸汽加热器入口管线，关闭连接至生产分离器的管线；当汇集后的溢流口管线中体积含水率高于 10% 则开启至生产分离器入口的管线，关闭连接至 H-1420 蒸汽加热器的管线。同样，经柱型旋流器组处理后，底流口的管线汇集，直接连接至生产分离器，即将处理后的水相输运至生产分离器进行进一步的处理。最终，经处理后，确保生产分离器水出口的含油率低于 150mg/L。

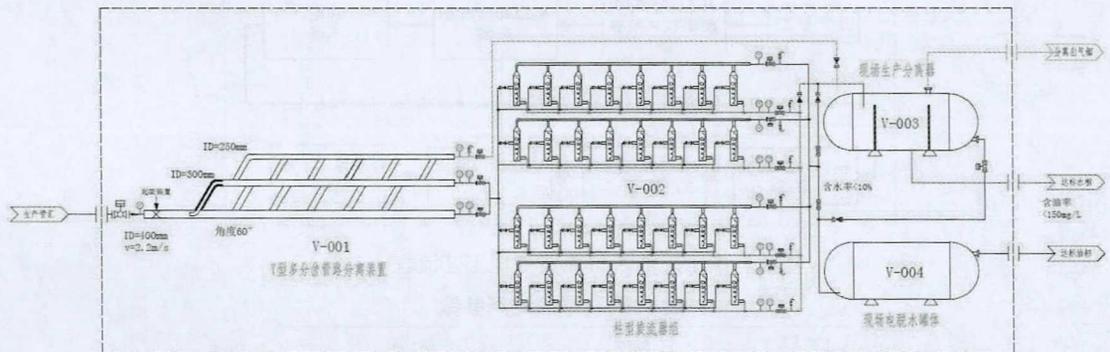


图 2 管道式分离系统设计工艺流程

经过油气水各相的流量匹配，设计形成的 T 型管道式分离装置的主管道内径为 400 mm，长度为 15m，同时，为增加气液分离的效率，立管采用倾斜设计，倾斜角度为 60°；柱型旋流器的主体尺寸为 100mm，共 36 根，分成 4 组安装。图 3 给出了 T 型管道式分离装置在采油平台的安装情况，在占据空间上可以看出，其具有明显的优势。图 4 给出了柱型旋流器组的安装情况。

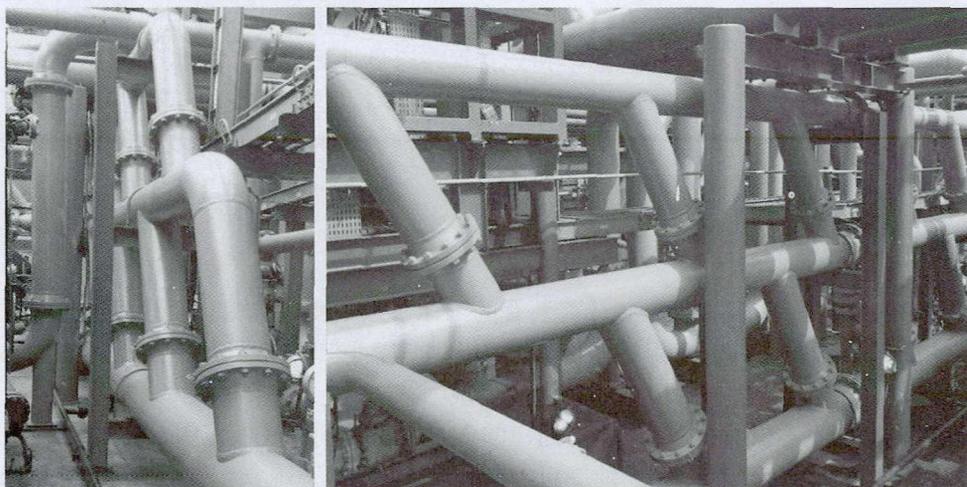


图 3 T 型管道式分离装置现场安装

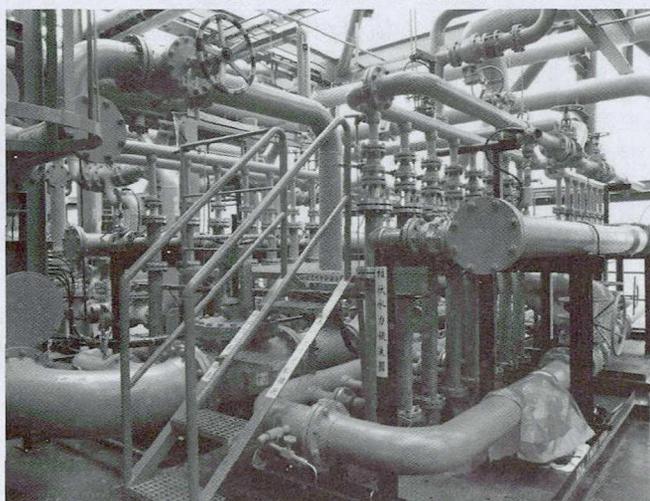


图 4 柱型旋流分离器组现场安装

## 4 管道式分离系统运行情况分析

采油平台管道式分离装置调试中,为得到其各个关键部件的处理效果和规律,分别进行了 T 型管道式分离装置、单组柱型旋流器、管道式分离系统整体的运行调试,测试得到了相应的运行参数和处理效果,为后续管道式分离装置的调试运行提供依据。

### 4.1 T 型管道式分离装置的处理效果

调试中,将生产管汇的采出液引入 T 型管道式分离装置,分别调节 T 型管中间和底部管路上的阀门,控制分支管路的分流比,取样观测中间和底部出口的相含率。

依据取样观察得出：T型管对气液分离具有较好的效果，T型管中间和底部管路取样未见游离气体，但是，根据取样含油率和分支管路流量计算得出，T型管顶部管路含有一定量的液相；T型管底部出口的水质明显好于中间出口，T型管底部出口含油率约为1.1%。综合测量结果可以看出，T型管道式分离装置对气液分离具有较好的效果，且同时可实现油水的初步分离，利于后续油水的快速分离。

#### 4.2 单组柱型旋流器的处理效果

调试中，保持前端T型管道式分离装置的工作参数不变，选取一组柱型旋流器进行测试，具体操作中，关闭其他三组柱型旋流器的出油口，调节选取的柱型旋流器组的出油口和出水口阀门开度，观察相应出口的相含率情况。

通过调试运行得出，柱型旋流器出油口的含水率可控制在较低范围，取样静置30分钟未见游离水，此时对应出水口的含油率可控制在1%左右。另外，当出水口的含油率降至约450mg/L，此时对应的出油口含水率约85%；出油口含水率控制在15%左右时，对应出水口含油率约为0.6%。图5给出了柱型旋流器组底流口和溢流口的取样情况。



图5 柱型旋流器组底流口和溢流口取样情况

#### 4.3 管道式分离装置整体运行调试

按照管道式分离装置的设计流程，结合上述调试的结果，对T型管道式分离装置和四组柱型旋流器整体的处理效果进行调试，调试中对柱型旋流器进行保压运行(图6)。



图6 整体运行管道式分离系统油相和水相出口取样情况

通过取样分析得出,各旋流器出油口的含水率可同时达到30%以内,其中大部分可控制在15%以内,且对应出水口的含油率均小于1%,处理量和压降均未发生变化。将柱型旋流器保压运行后,各个出口的控制相对稳定,可操作性较强,且可最大程度降低溶解气在旋流器内析出,确保处理效果。

## 5 结论

管道式多相分离技术,具有结构简单、占地空间小、免维护、压降低等优势。本文详细介绍了管道式分离技术在工业化应用过程中的情况,通过现场安装可以充分体现出其具有的占地空间小等优势。调试运行中,为得到其各个关键部件的处理效果和规律,分别进行了T型管道式分离装置、单组柱型旋流器和管道式分离系统整体的运行调试,测试得到了相应的运行参数和处理效果,为后续管道式分离装置的调试运行提供依据。依据上述的测试分析,对管道式分离装置的整体运行进行调试,系统整体运行正常,处理后的油中未见游离水,水中含油低于1%,满足管道式分离装置初始设计的指标,可大幅度降低后续油气水分离装置和污水处理的压力,提高污水处理的指标。

## 参考文献

- 1 李巍,于同川,张晓敏,等.重力式三相分离器内件布置对分离效果影响的数值模拟[J].中国海洋平台,2017,32(2):49-54.
- 2 吴应湘,许晶禹.油水分离技术[J].力学进展,2015,45:201506.
- 3 YANG LL, LIU S, LI H, ZHANG J, WU YX, XU JY. Gas-liquid flow splitting in T-junction with inclined lateral arm[J]. Journal of Hydrodynamics, 2018, 30(1): 173-176.
- 4 王胜,史仕荧.导流片型油水旋流分离器的入口结构优化[J].石油机械,2019,47(4):80-84.
- 5 LIU S, ZHANG J, WANG LS, XU JY. Separation mechanism and influential factor study on vane-type-associated petroleum gas separator[J]. Separation and Purification Technology, 2020, 250: 117274.
- 6 魏丛达,许晶禹,王立洋,等.T型管内油水两相流动规律及其应用[J].油气储运,2012,31(12):923-926.
- 7 LIU HF, XU JY, ZHANG J, et al. Oil/water separation in a liquid-liquid cylindrical cyclone[J]. Journal of Hydrodynamics, 2012, 24(1): 116-123.
- 8 李枫,熊峰,刘彩玉,等.油滴聚并破碎行为对水力旋流器分离性能的影响[J].石油机械,2019,47(6):73-78.

## **Investigation on the characteristics of the pipeline multiphase separation technology by through the industrialization test**

WAN Nian-hui<sup>1</sup>, NI Wei<sup>1</sup>, WU Qi-lin<sup>1</sup>, ZHANG Jian<sup>2\*</sup>, XU Jing-yu<sup>2</sup>

(1 Shenzhen Branch of CNOOC, Ltd, Shenzhen; 51800;

2 Institute of Mechanics, CAS, 100190. Email: zhangjian@imech.ac.cn)

**Abstract:** Pipeline multiphase separation technology has these advantages of simple structure, small floor space, free maintenance and lower pressure drop. It is conformed to the developing trend of the technology of oil and gas resources exploitation and demand. In this paper, the industrial application of this technology in Lihua 11-1 platform is displayed systematically. The entire phenomenon of the technological process, production parameters and working conditions, installation, test and operation is introduced. Through the industrial tests, the installed pipeline separation equipment operates stability, and it shows these advantages in space dimension and pressure drop obviously. On the other hand, there is no free water in the outlet of the crude oil and the oil volume fraction is always lower than 1% which satisfies the demand of the initial design. Furthermore, the application of pipeline separation technology can reduce the demand of the equipment of multiphase separation and sewage treatment greatly. All the consequences are important to the industrial application of the pipeline separation technology.

**Key words:** Pipeline separation technology; Multiphase separation; Industrialization test; Sewage treatment.