

# 油气水三相分离器油水界面层位在线调节技术改造与经济效益分析

王安达（中海石油（中国）有限公司天津分公司，天津 300459）

**摘要：**渤海某平台的原油处理流程设计使用两套一级分离器设备，该平台对上游七个井口平台产液进行第一次油、气、水三相分离处理。由于采用聚合物驱采油，随注聚规模扩大化，渤海某平台产出液处理难度和处理量逐步上升，对平台原油外输造成较大的成本负担。本文通过采取一级分离器流程改造等措施，保证油水的高效分离，从而使油相出口含水率可调，同时使污水处理与零部件的损耗成本得到最大程度的降低，显著增加了生产效益。

**关键词：**一级分离器；油水界面；生产成本；含水率；经济效益

中图分类号：TE974 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 013-0065-03

## Technical transformation and economic benefit analysis of online adjustment of oil-water interface layer in oil gas water three-phase separator

Wang Anda (Tianjin Branch of CNOOC (China) Co., Ltd., Tianjin 300459, China)

**Abstract:** The crude oil processing flow design of a certain platform in Bohai Sea uses two sets of primary separator equipment. The platform performs the first three-phase separation treatment of oil, gas, and water for the produced liquid from seven upstream wellhead platforms. Due to the use of polymer flooding for oil recovery and the expansion of polymer injection scale, the difficulty and processing capacity of the produced fluid on a certain platform in Bohai Sea have gradually increased, causing a significant cost burden on the platform's crude oil export. This article adopts measures such as the transformation of the primary separator process to ensure efficient separation of oil and water, thereby making the water content of the oil phase outlet adjustable, and at the same time minimizing the cost of sewage treatment and component losses, significantly increasing production efficiency.

**Keywords:** primary separator; Oil-water interface; production costs; Moisture content; economic benefits

### 1 研究背景

#### 1.1 平台概况

渤海某中心处理平台拥有多级油、气、水处理设备和流程，是海洋石油高效开发国家重点实验室矿场试验基地。平台主要接收七个井口平台来液，通过一级、二级分离器和电脱水器对井口产出液进行处理，之后将含水较低的原油经海管外输至陆地原油终端厂。其中一级分离器分离效果的优劣直接影响电脱水器的处理效果和外输含水的高低，最终影响着平台的整体经济效益。

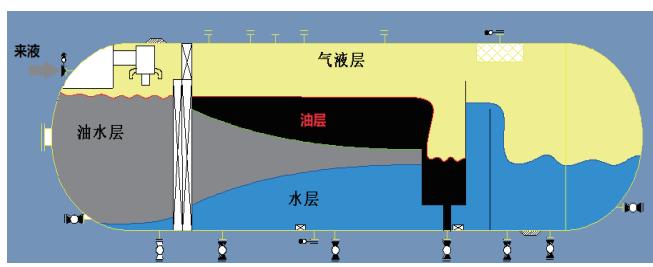
#### 1.2 平台现状分析

目前，平台单日处理液量约 28600 方 / 天，污水处理量约 21600 方 / 天，外输原油约 7000 方 / 天，外输原油含水 15% 以上，终端厂接收上游平台来水 1500 多方。通过对标原油处理系统处理能力与当前处理量对标，如下表数据所示，发现平台原油处理量已经超限，但液处理量及污水处理量、天然气处理量均留有一定的处理空间。实际总液量  $28600\text{m}^3/\text{d}$ ，占设计处理液量的 72.6%，原油处理量约为  $7000\text{m}^3/\text{d}$  左

右，严重超出设计能力。

#### 1.3 平台一级分离器简介

渤海某平台老区来液以及平台内部转液经过一级分离器，主要通过离心分离、重力分离、热化学分离进行三相分离。重力分离在三种方法中采用最为广泛，重力分离是利用油、气、水之间的不同密度，将密度小的气体分离到上部，密度大的液体分离到沉降区。原油流入到填料区后进行初步的分离，并在区域将其内部剩余的水粗粒化处理，初步分离结束后，原油和水分别进入油室和水室，（如图 1 所示）。



#### 1.4 一级分离器现存问题与分析

① 平台内部“老化”循环液无法消化。渤海某平

台平台接收来液主要为七个上游平台产液。而平台内部循环转液：污水罐；新、老污油罐“老化油”转液；闭排罐；电脱水器乳化液排放。在平台投产后陆续对流程进行改造，为提升一级分离器的处理效果，最大程度的采用其他设备来分担循环中的转液。减少了部分一级分离器的总处理液量，减轻了“老化”液对一级分离器处理效果的影响。②一级分离器的有效容积减少。渤海某油田在长时间注聚驱油的影响下，造成较为严重的聚合污泥返出现象，无法处理的返出物在药剂作用和重力沉降作用下在一级分离器容器中无法有效分解和循环，且平台的一级分离器是两套同时使用，由于处理量的原因无法做到一备一用，导致一级分离器长时间无法进行清罐作业，长时间带污运转，导致含聚油泥持续沉降累增，最终致使一级分离器有效容积被含聚污泥占据，对于混合室底部联通水室部分造成腔室缩径，影响了水室的正常波动，从而影响油水室的有效处理空间。③一级分离器的油相处理量及出口含水率超标。根据实际校核能力与现处理能力数据的分析对比，发现一级分离器实际油处理量以及油相出口含水率超标，造成一级分离器油相超负荷运行。对下游设备设施造成负担，严重影响外输含水率。④一级分离器设计停留时间不能满足当前工况。某平台来液在一级分离器的停留时间设计值是10分钟，通过第三方校核数据可以看出停留时间符合设计值，但在一级分离器的当前处理液（油）量和处理模式下（来液含聚浓度骤涨、来液综合含水、油相处理量超设计值、油水界面偏高），10分钟不能满足当前油水分离的需要。

## 2 技术改革

### 2.1 问题解决思路

表1 一级分离器 ODP 与实际参数对比

设备名称	设备处理能力		
	介质类型	ODP设计最大值	目前实际处理值
原油一级分离器	油	5212m <sup>3</sup> /d	7000m <sup>3</sup> /d
	水	34182m <sup>3</sup> /d	21600m <sup>3</sup> /d
	气	130300m <sup>3</sup> /d	103000m <sup>3</sup> /d
	油相含水	25%	55%
	水相含油(ppm)	<1500ppm	18900ppm

从本质来讲，一级分离器的主要问题集中在油室处理量超设计和油出口含水率过高两个方面。如何在不增加额外开支的前提下，利用已有的设备来进行优化，是接下来面临的问题，平台通过研究采用了以下解决方案：基于上游平台介质保持稳定输送的状态下，平台优化流程并实施管线改造以及“老化油”实验，减轻了部分一级分离器的压力，但是一级分离器的油相含水一直处于超设计阶段。通过对一级分离器设计参数和实际参数的研究对比（如表1），发现一级分离器的水处理能力尚有余量，可以在原有的基础上再增加部分处理量，因此可以对外部水相流程进行优化

改进，使其油水界面可在设备运行阶段进行调节，从而在不影响流程整体稳定的情况下，保证一定程度上的减少油相出口介质含水比例。

通过研究一级分离器的结构图，我们可以发现其原理与U型管相似（图2）。根据压力守恒原理，当其中一侧的液位出现变化后，另一侧的液位高度也会相应的进行改变。因此，我们可以通过改变液位来调节油室的进液量。

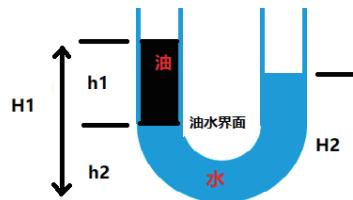


图2 液柱平衡原理示意图

将不同介质代入公式得到：

$$P_{油} = \rho_{油} * g * h_1$$

$$P_{水1} = \rho_{水1} * g * h_2$$

$$P_{水2} = \rho_{水2} * g * H_2$$

$$\text{根据U型管原理: } P_{油} + P_{水1} = P_{水2}$$

$$H_1 = h_1 + h_2$$

$$\text{得出: } \rho_{油} * g * h_1 + \rho_{水} * g * h_2 = \rho_{水} * g * H_2$$

$$h_2 = \frac{\rho_{水} H_2 - \rho_{油} h_1}{\rho_{水}}$$

式中：P- 测定的容器内部压力； $\rho$ - 被测算的介质密度；g- 标况下重力加速度；H- 被测算的介质高度。

通过结合公式进行测算，被测算的油水分离界面 $h_2$ 高度与被测算的水相也为高度 $H_2$ 成正向比例，故降低被测算容器的水室高度 $H_2$ ，最终通过控制水室高度达到降低容器油水分离界面高度的目的。容器水室内部堰板和油室内部堰板作为固定不变量，假设容器底部通行介质（水）量出现改变，则容器油水混合室液位高度和油水分离界面高度同比会出现对应的变化。通过以上公式和图示，如果要在不改变内部结构的情况下实现油水分离界面层位的调节性，则需要实现容器底部介质（水）通行量的调节性。

### 2.2 改造过程与功能预期

具体的改造如下：预制8寸新增底部水相管汇一根，8寸三通两个；将原混合室底部排放出口和预留口管线出口由4寸管径扩至8寸管径；将原底部排放去闭排出口焊接8寸三通；将底部排放出口焊接至新预制的水相出口管线上；将新预制的水相出口管汇连接至原水相出口旁通阀门后端（图3）。

功能预期：改造后一级分离器混合室和水室可通过增加外部管线建立通道，保证水相出口通过新路径额外增加水处理量。通过有选择的调整外部阀门和开度，可将混合室以及水室堰板前的底部物流输送至水

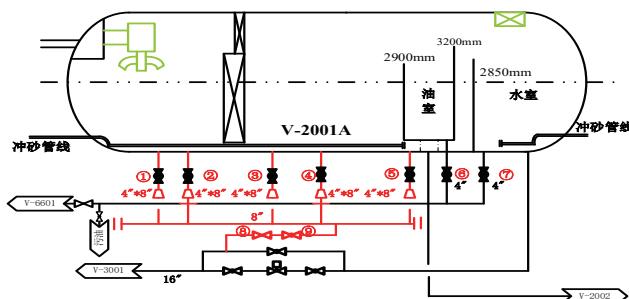


图 3 一级分离器内外部改造示意图

相出口调节阀后, 实现一级分离器的油水界面的上下调整, 降低油相出口含水。

改造阶段完成, 如上图所示阀门 1#~7# 为一级底部排放阀门, 阀门 8#、9# 为出口控制阀门。操作人员首先通过组合阀门 1#~7#, 选择性的打开不同区域的底部阀门, 其次通过调节 8#9# 阀门开度, 调整底部排放量。通过观察油水界面变化和底部排放水质情况, 选择适合现在工况下的阀门组合以及开度。在现工况下选择 3# 及 5# 阀门为最佳排放点, 而后通过出口阀门控制排放量 (约 10%~15% 开度)。

### 2.3 实验实施与对比

#### 2.3.1 一级分离器混合室视窗取样分析

实验前: ①视窗 2700mm 以下: 介质为呈现为褐色水流体; ②视窗 2700mm: 介质为油水分离不完全的乳化液及含水较高的原油; ③视窗 2700mm~3100mm: 介质为含水较低的原油。

实验中 (打开部分底部联通): ①视窗 2100mm: 介质为褐色水流体; ②视窗 2100mm~2700mm: 介质为油水分离不完全的乳化液以及含水 65% 的原油; ③视窗 2700mm~3100mm: 介质为含水较低的原油。

经过实验前和试验后的初步介质样品观察, 一级分离器的油水分离界面有显著的下降, 此处以油水分离不完全的乳化层作为油水界面变化的标准, 实验前 2700mm 的油水分离层, 在调整改造的管路开度后, 油水分离层降低至 2100mm~2700mm 之间。

#### 2.3.2 改造路径调整前后油相出口含水率对比

一级分离器油相出口含水在实验前基本保持在 48%~55% 之间, 试验后化验显示油相出口含水可保持在 35%~40% 之间。油相出口含水降低最高 20%, 调节效果显著。

#### 2.3.3 电脱入口含水与油相出口含水对比

通过数据发现电脱水器的入口含水下降时外输含水也出现同比下降 (图 4)。

### 3 改造后的经济效果分析

#### 3.1 生产处理成本降低

改造后, 充分利用流程降低一级分离器的油水界

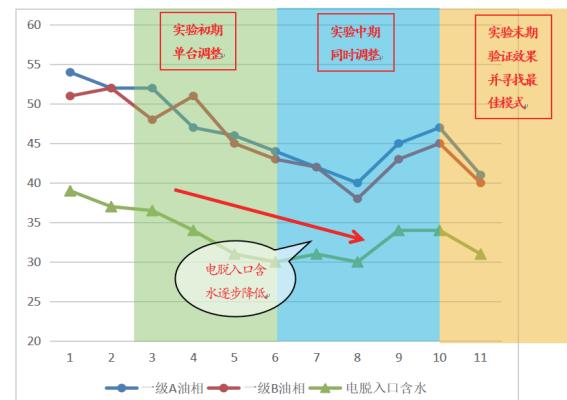


图 4 电脱入口含水和一级油相含水对比图

面, 控制进入油室的原油含水, 同比减少了油相处理液量, 使其向设计数值靠拢。一级分离器的油相含水降低, 处理量的减少, 减轻加热器、电脱水器的处理压力, 处理效果上升, 外输原油含水降幅可达至 7%。

相对改造前, 陆地终端污水处理成本显著降低, 通过数据可以看出, 其外输污水量平均每天减少 300 方左右, 年均可减少约 11 万方左右, 按照每方污水处理 30 元的成本, 流程改造后污水处理成本约节省 328 万元每年。

#### 3.2 设备零部件成本降低

相比较传统设备内部联通器或堰板维护, 需要进行设备停产或者进入限制空间作业, 定制化的零部件维修更换成本高, 设备停产也可能造成产量缩减。对于上下游设备, 加热器、换热器以及电脱水器的运转负荷也较改造前有所减低, 其上下游设备的使用寿命都得到了一定性的延长。通过本次改造, 可利用常见的阀门组合进行更换, 无需造成设备停产或高费用零部件采办, 其维修成本约可降低 30%~40%。

#### 3.3 安全成本降低

进入限制空间作为作业高风险较高的工作之一, 且进入限制空间的作业人员须取得特种作业证明, 通过本次改造, 人员队伍成本和安全成本都得到有效的控制。

#### 参考文献:

- [1] 刘影. 采油平台一级分离器油水界面调控技术探索 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2017(1):30-31.
- [2] 袁勋. 基于某海上油田二级生产分离器油水界面的研究 [J]. 化工管理, 2022(6):3.

#### 作者简介:

王安达 (1989-), 男, 汉族, 浙江慈溪人, 本科学历, 中级工程师, 研究方向: 石油工程, 防灾减灾。