

浅谈三相分离器设计与经济效益分析

石玉春（中石化石油工程设计有限公司机械设备设计所，山东 东营 257000）

摘 要：三相分离器是广泛用于石油工业中油气水分离的重要关键设备之一，其主要功能是实现油气水的有效分离，确保顺利的原油生产和污水等的及时排出。本文主要对当前国内外分离现状及其发展进行详尽阐述，并归纳总结现存的分离原理。通过优化设计和合理的操作参数，三相分离器能够提高油气水分离的效率，降低生产成本。减少能源消耗、提高原油产量以及降低污水处理成本等方面都能为企业带来显著的经济效益。随着技术的不断进步，新型材料和先进制造工艺的应用将进一步提升三相分离器的性能和可靠性，使其在石油工业中的作用更加突出。综上所述，三相分离器的设计和应用不仅具有重要的技术意义，还能为石油企业带来可观的经济效益，对推动石油工业的可持续发展具有重要意义。

关键词：三相分离器；工作原理；分离指标；经济效益；效益分析

1 前言

在石油工业生产中，为保证安全生产，需使用三相分离器对油气水混合物进行分离。油田开发中，井流物常含天然气、水、盐类和泥沙等杂质。初期伴生气多，原油含水少；中后期则原油及伴生气减少，含水量上升，盐类溶解于水，泥沙等杂质增加，给原油输送和炼制带来困难，包括：气液混输难题、含水增加输送成本和难度、盐垢形成降低设备效率并可能引发安全问题、机械杂质造成堵塞和磨损。因此，原油的处理是油田生产中的重要环节，需脱除水、脱除盐、脱除机械杂质，以达到国内外对原油含水、含盐、含杂质的标准。

《油田油气集输设计规范》中明确规定：“出矿合格原油质量含水率小于等于1%，优质原油质量含水率为0.5%”。而国外对原油含水、含盐、含机械杂质的要求也不尽相同，一般说来脱水原油质量含水率在0.5%~2%，含盐小于200mg/L^[1]。

2 三相分离器的工作原理

原油从油气进口切向进入预分离筒，首先进行初步的气液分离。之后，气体从顶部的顶部气相空间，这样的有效避免了气体带来的扰动，为油水分离创造了更有利的条件。原油经初步分离后，经过降液管，经液面以下的水层喷出，并箱出口端流动。在水平流动过程中，原油密度较小，它逐渐上浮，而水的密度较大的则向下沉入设备下部，其间经过波纹板聚结器，加快了油水的分离沉降。分离后的游离水经喇叭口溢流进入集水腔，经浮子液面调节器控制，由水出口排出。脱除大部分游离水的原油溢过油溢流堰板，与气体一起从油气出口排出。

2.1 三相分离器的种类与用途

2.1.1 按应用范围分类

生产分离器，也称为批量分离器或初始分离器。广泛应用于井场、集油站、处理厂或海上石油平台，对单口或多口井的气流进行分离。它可以分两相或三相分离。“初始”分离是指已经产生的流体的第一次分离过程。如果将生产分离器安装在大型集油站或处理厂，其容量可能较大，可以处理一个或几个生产区，甚至整个油田的气液流量。集油站或处理大量气体和液体流量的处理厂通常使用多个平行运行的生产分离器。

计量分离器用于测量单井中的油、气或气液和废水的量，其设计目的是确保同时只处理一口井的流量。气体和液体通过计量阀组进入每口井，进行手动或自动循环检测。计量分离器常与生产分离器并联安装，计量后的产品与之汇合。在油气水混输过程中也可单独使用，产品经计量后混合输送至集油站处理^[3]。

气体分离器，这是一种处理高油气比的分离器，即从大量空气中“洗涤”少量液体，因此也称为气体脱脂器。这种分离机不适用于大量液体的初始分离，但适用于小而不稳定的液体生产，对液体有明确要求的场合。因此，建议在以下情况下使用气体洗涤器：

段塞流吸收器，它是一种用于冲击流或塞流中气体和液体粗分离的分离器。段塞流吸收器也可作为生产分离器使用，其配置要求具有较好的分离性能。设计良好的分离器可以减缓水流。

过滤分离器，这是一个通用术语，包括真过滤器分离器、过滤器聚合器和干过滤器。当液体颗粒小或固体污染物不能被常规分离器去除时，使用过滤分离

器去除杂质。

除砂器,这是一种去除油气气流中的砂粒的装置,主要用于高压气井。泡沫分离器,这是一种用于生产泡沫原油的分离器。蒸汽分离器,它主要用于地热工程或有蒸汽发生器的场所,从蒸汽中除去游离水。目标是产生 100% 的蒸汽。闪蒸分离器是一种将气体从液体中分离出来的两相容器。例如,为了消除静电聚结器或除盐器中不允许的自由气体,首先在聚结器的上游安装闪光分离器,以从液体流中除去气体。

2.1.2 按结构形式分类

分离器按结构分为卧式、立式和球形三种,其中卧式还分为单筒和双筒。每种分离器各有优缺点,适用于不同场合。卧式分离器经济高效,特别适合处理高油气比、大流量及泡沫原油。立式分离器常用于中等或较低油气比场合,便于清洗排放固态杂质,且能承受较大液体波动。球形分离器虽具备一般分离器特征,但液体波动承受能力和分离空间有限,多用于天然气分离或小型矿场。

2.2 三相分离器的结构和主要内件

三相分离器大致可分五个区,每区功能如下:

①入口区:控制流体动量,分布气液流,完成初分离。

②沉降区:该区对气体中的液体进行重力沉降。

③除雾区:除去气流中的细液雾沫。

④液体滞留区:聚集分离后液体,使油中游离气体逸出,并进行油水分离(三相分离器)。

⑤出口区:控制气体和液体排出,防止液滴再带出。

在处理含泥砂原油时,分离器的底部还有一个集砂排砂区,其作用是收集沉降下的泥砂,并利用水利冲砂装置将泥砂排出。

2.2.1 入口区内件

油井来的气液以扰动、高速的形态进入分离器,这是一种混合流体的状态。由于流速较高,其在离开管线时有很大的动量。然而,当这股流体进入分离器后,由于容器的直径远大于管线的直径,对于具有连续流率的流体,其自然流速会出现明显下降。因此,必须迅速且有效地克服流体在进入容器时产生的惯性效应,以确保在容器的特定尺寸条件下,气液流能够以正常的流速自然地进行重力分离。为了实现这一过程,需要一个精心设计的入口装置,通过碰撞或其他机制来降低来流的速度,这种装置通常称为“动量吸收器”。

入口装置的结构有多种,其中主要的有两种常见高效形式:动能吸收性入口装置和旋流式入口装置。

动能吸收性入口装置又有如图所示的几种结构形式:

图 2-1 是一种碟形冲击头和隔板装置,用于低油气比场合,适合用于直径大的容器原油分离器中。使用时要给冲击头一个倾斜角度,并且安装隔板在正常液位以上,防止碟表面滴下的液体冲击容器底部的控制液面,导致飞溅和液滴再挟带进入气相,保持液面稳定同时也有利气泡浮升^[4]。

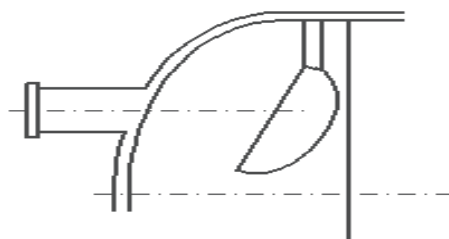


图 2-1 转向冲击头与隔板入口装置

图 2-2 是带有包尔环箱的碟形冲击头装置,这种结构避免了流体直接冲击包尔环箱。由于有非常大的表面面积,这种装置能很好的初分离,它适用于非常大的分离器。但造价昂贵,只在容器尺寸特大,工艺要求有必要时才用这种装置。

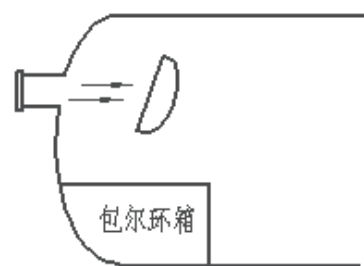


图 2-2 折流冲击头与包尔环箱

图 2-3 是称作为“捕鼠器”式的入口装置。它能使入口气流得到良好碰撞,造价较图 2-2 所示装置要低一些。

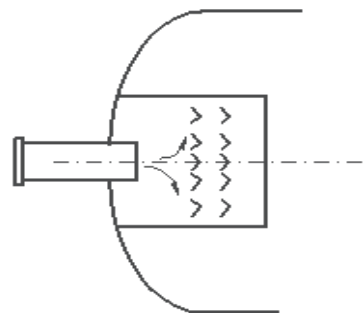


图 2-3 捕鼠器式入口装置

进液端一般设置油气预分离筒。该预分离筒同样采用螺旋通道和旋流分离技术,使油气在离心力的作用下分离。在预分离筒的下方,通过大小头连接着一根垂直的降液管。油气混合物首先进入预分离筒进行初步的分离处理,分离后的液体则经由降液管从液面以下的水层中流出。这样设计不仅使液体首先受到水洗作用,还利用了设备封头内的容积进行均匀分布和起到缓冲作用,从而有效避免了气体对液体的搅动,有利于油气水的进一步分离。

2.2.2 液珠沉降区内件

油井中的气液流在进入分离器后,在入口装置的特殊设计作用下,实现了初步的气液分离。这一过程中,大部分的气体 and 液体被有效地分开。然而,值得注意的是,尽管经过了初步的分离,气相中仍然不可避免地携带着许多大小不等的液珠。这些液珠以紊流状态继续流动,并随后进入第二分离区进行进一步的分离处理。在第二分离区,通过更加精细的分离技术和设备,旨在将这些残留的液珠从气相中彻底分离出来,以达到更高的分离效率和纯度。对于一个设计优良且有效的分离器而言,第二分离区至关重要。在这个区域内,应很好的控制气体湍流,并充分利用重力和碰撞原理,确保 $100\mu\text{m}$ 以上的液珠能够全部被分离出来,同时尽可能多地分离出 $10\mu\text{m}$ 以上的液珠^[5]。

液珠沉降区内的组件是整流构件,它们在分离器内设置了一系列适当间距的平行薄板,这些薄板充满了整个容器截面。板面与液面垂直,与容器轴线平行。气体通过平行间隙形成层状流动,减弱了扰动,促进了液珠的重力沉降。

在本次设计中,我们采用了双波波纹板聚结器。这种聚结器是在美国 NATCO 公司的波纹板聚结器基础上进行改进而成的。油水介质流过双波波纹板时,因其巨大的凹凸不平接触面,会产生强烈碰撞和吸附。这改变了流体流动状态,降低了雷诺数,使微小油水颗粒聚结,显著加快沉降分离速度。

2.2.3 除雾区内件

除雾区的作用就是从气流中除去挟带的细液雾沫。除雾区常用的内件有平行斜板除雾器、同心圆弧板组合、蛇形叶片除雾器和丝网除雾器。同心圆弧板组合除雾器的工作原理与平行斜板除雾器类同。蛇形叶片除雾器和丝网除雾器是效果较好并且应用较广的两种除雾器。前者适用场合比较广泛,而后者用于高的油气比的工况,其除雾效率可达 99.9%,但不适

用于含固体颗粒较多的场合,容易引起堵塞。

2.2.4 液体聚集区(滞留)内件

它使存在于液体中的自由气泡能够有效地与气液分离。通过确保足够的停留时间和避免过度的干扰,气泡可以自然漂浮,这一过程通常不需要特殊的内部组件。

液体积聚区也负责油水分离。为了改善油和水的分离,可以考虑使用额外的内部元件。聚结元件在液相油水分离过程中起着重要的作用,它能有效地促进油水颗粒的聚结,从而加速分离过程。为了进一步提高油水分离效率,选择合适的填料尤为重要。蜂窝挡板填料以其独特的结构和优异的性能,在油水分离领域得到了广泛的应用,是一种高效、理想的填料选择。

蜂窝挡板填料还具有安装方便、适应性强的特点。它可以很容易地安装在任何普通水平分离器的液体收集区域,而不需要对原始设备进行大量修改。这使得蜂窝挡板填料成为提高卧式分离器油水分离性能的理想选择。

2.2.5 出口区重要内件

防涡装置,如果出口区设计结构不好,在气液出口处会发生涡流。解决的办法是安装设计良好的破涡器以阻止旋流。防涡装置设在气、液出口处。在气液出口处设置防涡装置可以有效地防止由气、液涡流对液面带来的波动和气、液涡流情况,保持液面的相对稳定。

3 三相分离器的经济效益分析

三相分离器的应用可以带来显著的经济效益。首先,通过有效的分离,可以提高产品的质量和纯度,增加产品的附加值。例如,在石油开采过程中,使用三相分离器可以将原油中的水和砂等杂质分离出来,提高原油的品质,从而提高销售价格。

三相分离器的应用可以降低生产成本。通过分离回收有用的物质,如溶剂、油等,可以减少原材料的消耗,降低生产成本。同时,减少废水、废气和废渣的排放,降低环保处理成本。

三相分离器的应用还可以提高生产效率。通过快速有效地分离三相物料,可以缩短生产周期,提高设备的利用率,增加产量,从而提高企业的经济效益。

为了更直观地说明三相分离器的经济效益,我们以某石油化工企业为例进行分析。该企业采用了一套新型的三相分离器,对原油进行分离处理。经过实际运行数据统计,该分离器的分离效率达到了 95% 以上,

原油的品质得到了显著提高,销售价格每吨提高了 50 元。同时,通过回收原油中的溶剂和油等物质,每年节约原材料成本 200 万元。此外,由于减少了废水、废气和废渣的排放,环保处理成本每年降低了 100 万元。该分离器的投资成本为 500 万元,使用寿命为 10 年,每年的设备折旧成本为 50 万元。通过计算,该企业使用三相分离器后的年经济效益为:

假设该企业每年的原油处理量为 10 万吨,则使用三相分离器后的年经济效益为 700 万元,

由此可见,三相分离器的应用可以为企业带来显著的经济效益。随着技术的不断进步和应用领域的不断扩大,三相分离器的市场前景将更加广阔。

4 结论

①油气预分离筒处采用了螺旋通道设计,这种设计能够显著提升分离效率。

②通过按照波纹板聚结器,有助于油水的沉降分离;加入波纹板后,设备的处理效果和处理能力得到显著提升。

③在气液出口处设置防涡装置,可有效防止气、液涡流对液面的波动,保持液面相对稳定。

参考文献:

- [1] 冯叔初等. 油气集输, 山东: 石油大学出版社 [M], 1988.
- [2] 倪玲英等. 油水分离用水力旋流器的应用前景 [J], 新疆石油科技, 1999.
- [3] 郭福民, 张学礼等. 油气分离器原理设计与计算, 上海: 上海交通大学出版社 [M], 1993.
- [4] 蒋明虎, 赵立新. 液-液水力旋流器的入口形式及其研究 [J]. 石油矿场机械, 1998, 27(2): 4.
- [5] 陆耀军等. 重力式油水分离设备中影响液滴运动的因素 [J]. 油气田地面工程 (OGSE), 1993, 6: 1.

