

海上平台生产污水处理

张明如

中海石油（中国）有限公司深圳分公司 广东 深圳 518000

摘要：海上平台生产污水处理意义重大。目前，生产污水产量随海上平台数量增加而上升，排放受严格监管，部分平台实现“零排放”，但仍有部分平台存在排放问题。处理水平方面，大型石油公司平台处理技术先进，部分老旧或小型平台则工艺落后、效率低，且操作因素也影响达标排放。处理技术包括物理、化学和生物处理技术，设备有油水分离、过滤、气浮设备等。工艺流程含一级、二级、三级处理，选择时需综合考虑水质、水量、处理要求、平台情况及经济性等因素。

关键词：海上；平台生产；污水处理

引言

随着海洋资源开发利用的不断深入，海上平台数量持续增加，其生产污水处理成为重要课题。海上油气田井下采出的是油、水、气三相混合物，经处理后会产生大量生产污水。这些污水若处理不当直接排放，会对海洋生态及地层地质环境产生难以逆转的恶劣影响。同时，相关法律法规对海上平台生产水排放要求愈发严格，这促使相关企业和科研机构不断探索高效、环保的处理技术和工艺流程，以实现生产污水的达标排放和资源的有效利用。

1 海上平台生产污水处理现状

1.1 产量与排放情况

随着海洋资源开发利用的不断深入，海上平台的数量与日俱增，其生产污水的产量也呈上升趋势。以南海东部的陆丰13-2平台为例，该平台每天处理原油近万立方米，与之相随的，每天需处理的生产水达上万立方米。在排放方面，由于相关法律法规的严格要求，海上平台生产水的排放受到了严格的监管。一些先进的海上油田通过技术升级实现了生产水的“零排放”，如秦皇岛32-6油田在2020年底主动关闭了全部5个水排放口，将所有生产污水经过三级处理，达到注水水质要求后，通过注水泵增压全部回注到地层中，用于补充平衡地层能量，维持油气正常开采。然而，仍有部分海上平台因技术或成本等原因，在生产水排放方面存在一定的问题，如含油浓度超标等。

1.2 处理水平与达标情况

不同海上平台的污水处理水平存在较大差异。一些大型石油公司旗下的海上平台采用了先进的处理技术和设备，处理水平较高。比如，乌石23-5油田群终端处理厂创新建设生产水处理站，通过连续四级水处理工艺，将

上游平台所产含油污水处理到A2级注水标准（含油量 $\leq 6\text{mg/L}$ ；悬浮固体含量 $\leq 2\text{mg/L}$ ，悬浮物颗粒直径中值 $\leq 1.5\mu\text{m}$ ）后，全部输送至海上平台回注地层，实现了整个油田群生产水全流程零排放、零污染。而部分老旧海上平台或小型作业平台，由于设备老化、资金投入不足等原因，污水处理工艺相对落后，处理效率较低，难以达到相关排放标准。此外，即使一些平台的污水处理设备能够正常运行，但在实际操作过程中，由于操作人员的技术水平、管理水平等因素的影响，也可能导致处理后的污水不能完全达标排放。为提高海上平台生产污水处理水平和达标率，相关企业和科研机构正在不断研发和推广新的处理技术和设备，同时加强对操作人员的培训和管理，以确保海上平台生产污水处理的稳定达标排放。

2 海上平台生产污水处理技术

2.1 物理处理技术

（1）重力分离法：该方法依据油和水密度的不同，借助重力作用使油滴上浮至水面，水下沉到底部，以此实现油水分离。重力分离法操作简便、成本低廉，常作为海上平台生产污水处理的初级工艺^[1]。然而，其对微小油滴的分离效果欠佳，一般认为油粒直径小于 $50\mu\text{m}$ 就很难分离。为提升分离效果，可采用斜板、波纹板等改进措施，使油产生涡流、转折和碰撞，促使细小油滴聚集成大油滴而上浮。（2）过滤法：运用砂滤、纤维过滤等过滤介质，能够有效拦截污水中的固体颗粒和部分油类，降低污水的悬浮物含量。但在实际应用中，过滤介质会因截留杂质而逐渐堵塞，需定期进行更换，否则会严重影响过滤效果。此外，对于粒径较小的油滴和溶解性有机物，过滤法的去除能力有限。（3）气浮法：通过向污水中通入空气，形成大量微小气泡，使油滴和固体颗粒附着在气泡上，随气泡上浮到水面，进而实现分离。气浮法对乳化

油和细小颗粒的去除效果显著,但设备运行成本较高,且对污水的性质和气泡的产生条件要求较为严格。

2.2 化学处理技术

(1) 混凝沉淀法:向污水中添加混凝剂,使水中的胶体和细微悬浮物发生凝聚反应,形成较大的颗粒,然后通过沉淀将其去除。混凝沉淀法能有效去除污水中的悬浮物、油类和部分重金属离子,但需根据污水的性质合理选择混凝剂,并严格控制反应条件,如pH值、反应时间和搅拌强度等,以确保处理效果。(2) 化学氧化法:利用臭氧、过氧化氢等强氧化剂,将污水中的有机物氧化分解为二氧化碳和水,从而达到净化水质的目的。化学氧化法对难降解有机物的去除效果较好,但运行成本高,且可能会产生二次污染,如使用臭氧氧化时可能会生成溴酸盐等有害物质。因此,在实际应用中需谨慎选择氧化剂和控制反应条件。

2.3 生物处理技术

(1) 活性污泥法:借助活性污泥中的微生物对污水中的有机物进行分解代谢,将其转化为二氧化碳、水和微生物细胞物质。活性污泥法处理效果好、运行稳定,但对水质和环境条件的要求较高,如需要适宜的温度、pH值和溶解氧浓度等,同时还需要进行严格的污泥管理和控制,以防止污泥膨胀和流失。(2) 生物膜法:使微生物附着在固体表面形成生物膜,污水流经生物膜时,其中的有机物被微生物分解^[2]。生物膜法具有耐冲击负荷、污泥产量低等优点,但生物膜的生长和更新需要一定的时间和条件,如需要提供适宜的营养物质和微生物生长环境等。此外,生物膜法对进水水质的要求也较为严格,否则可能会影响生物膜的活性和处理效果。

3 海上平台生产污水处理设备

3.1 油水分离设备

(1) 斜板分离器:斜板分离器是海上平台生产污水处理中常用的油水分离设备之一。其工作原理是利用斜板增加油水分离的表面积,从而提高分离效率。斜板的设置使得油滴在上升过程中能够更容易地聚集和分离,水则下沉到底部。该设备结构简单,占地面积小,运行成本较低,适用于处理含油量较高的生产污水。然而,斜板分离器对油滴的粒径有一定要求,对于微小油滴的分离效果相对较差。为了提高其分离效果,可以在斜板分离器前设置预处理装置,如格栅、滤网等,去除较大颗粒的杂质和悬浮物。(2) 旋流分离器:旋流分离器通过离心力作用使油水分离,具有分离速度快、效果好等优点。当油水混合物进入旋流分离器后,在离心力的作用下,油滴和水会分别向不同的方向运动,从而实现分

离。旋流分离器对进口流量和压力的稳定性要求较高,一旦进口流量和压力发生较大变化,可能会影响其分离效果。此外,旋流分离器的内部结构较为复杂,对制造工艺和材料的要求也较高。为了确保旋流分离器的正常运行,需要对其进口流量和压力进行严格的控制和监测,同时定期对设备进行维护和保养。

3.2 过滤设备

(1) 砂滤器:砂滤器以石英砂等为过滤介质,主要用于去除污水中的固体颗粒。其工作原理是通过过滤介质的拦截和吸附作用,将污水中的固体颗粒截留在过滤介质表面,从而达到净化水质的目的。砂滤器运行成本低、维护简单,适用于处理固体颗粒含量较高的生产污水。但是,砂滤器的过滤精度相对较低,对于微小颗粒和油类的去除效果有限。为了提高砂滤器的过滤效果,可以在砂滤器前设置沉淀池或其他预处理装置,去除较大颗粒的杂质和悬浮物。(2) 精密过滤器:精密过滤器采用高精度的过滤材料,如滤芯、滤膜等,能够有效去除微小颗粒和油类。其工作原理是通过过滤材料的微孔结构,将污水中的微小颗粒和油类截留在过滤材料表面,从而达到净化水质的目的。精密过滤器过滤效果好,能够有效降低污水中的悬浮物和油类含量。然而,滤芯或滤膜需要定期更换,成本较高。为了降低精密过滤器的运行成本,可以根据污水的水质和处理要求,合理选择滤芯或滤膜的材质和规格,同时定期对滤芯或滤膜进行清洗和维护。

3.3 气浮设备

(1) 溶气气浮机:溶气气浮机将空气溶解在水中,然后释放出微小气泡,使油滴和固体颗粒附着在气泡上,随气泡上浮到水面,实现分离。其气浮效果好、运行稳定,能够有效去除污水中的悬浮物、油类和胶体等杂质。但是,溶气气浮机设备体积较大,需要配套的溶气系统,运行成本较高。为了提高溶气气浮机的处理效率和降低运行成本,可以优化溶气系统的设计和运行参数,如溶气压力、溶气时间等,同时合理选择气浮剂和絮凝剂,提高气浮效果。(2) 电解气浮设备:电解气浮设备通过电解水产生氢气和氧气气泡,使油滴和固体颗粒上浮。该设备不需要额外的气源,具有结构简单、操作方便等优点^[3]。但是,电解气浮设备能耗较高,运行成本相对较高。为了降低电解气浮设备的能耗,可以优化电解槽的设计和运行参数,如电解电压、电解时间等,同时选择合适的电极材料和电解液,提高电解效率。

4 海上平台生产污水处理工艺流程

4.1 典型工艺流程

4.1.1 一级处理

一级处理作为海上平台生产污水处理的基础环节,主要依靠物理方法来初步净化污水。重力分离是此阶段常用的方法之一,利用油和水的密度差异,在重力作用下,油滴会逐渐上浮至水面,而水则下沉到底部,从而实现油水的初步分离。比如,在一些海上平台中,会设置大型的沉降罐,含油污水进入罐内后,通过足够的停留时间,让油滴自然上浮,被收集到专门的油层收集装置中。过滤法也是一级处理的重要手段,通过砂滤、纤维过滤等介质,有效拦截污水中的固体颗粒和部分油类,降低污水的悬浮物含量。比如砂滤器,以石英砂为过滤介质,污水流经时,固体颗粒被截留在砂层中,使出水更加清澈。

4.1.2 二级处理

经过一级处理后的污水,虽然大部分油类和固体颗粒已被去除,但仍含有一定量的有机物、氮、磷等污染物,需要进行二级处理。化学处理方法在二级处理中应用广泛,如混凝沉淀法。向污水中加入合适的混凝剂,使水中的胶体和细微悬浮物凝聚成较大的颗粒,然后通过沉淀将其去除。这种方法不仅可以有效去除悬浮物和油类,还能对部分重金属离子起到净化作用。生物处理技术也是二级处理的关键组成部分,比如活性污泥法,利用活性污泥中的微生物分解污水中的有机物,将其转化为二氧化碳、水和微生物细胞物质,从而实现水质的净化。生物膜法同样应用较多,微生物附着在固体表面形成生物膜,污水流经生物膜时,其中的有机物被微生物分解吸收,达到去除污染物的目的。

4.1.3 三级处理

对于一些对水质要求极高的场合,如将处理后的水回注地层等,仅经过一级和二级处理还不够,需要进行三级处理。三级处理主要采用深度处理技术,反渗透是其中一种重要的方法。通过半透膜的作用,在压力驱动下,使水通过半透膜而盐分等杂质被截留,从而实现水的进一步净化。离子交换技术也常用于三级处理,利用离子交换树脂与污水中的离子进行交换反应,去除水中的特定离子,进一步提高水质。

4.2 工艺流程的选择

工艺流程的选择是海上平台生产污水处理的关键决策,需要综合考虑多个因素。首先,污水的水质是重要

的考量因素。如果污水含油量较高,重力分离和气浮等方法应作为优先选择。重力分离可以去除大部分较大粒径的油滴,而气浮法能进一步去除乳化油和细小油滴,提高除油效果。对于有机物含量较高的污水,生物处理技术则更为合适。生物处理能够利用微生物的代谢作用,将有机物分解为无害的物质,有效降低污水的有机物含量。其次,污水的水量也会影响工艺流程的选择。较大的水量可能需要选择处理能力较强、运行稳定的工艺,以确保污水处理的效率和效果。处理要求也是决定工艺流程的关键因素。如果对出水水质要求较高,如需要达到回注地层的标准,那么就需要采用包括三级处理在内的较为复杂的工艺流程。平台的实际情况也不容忽视。比如平台的空间有限,就需要选择占地面积小的处理设备和工艺流程。此外,工艺流程的可靠性、经济性和操作维护的便利性也是重要的考虑因素。可靠性高的工艺流程能够保证污水处理系统的稳定运行,减少故障和维修的次数。经济性方面,需要综合考虑设备投资、运行成本、药剂消耗等因素,选择性价比高的工艺流程。操作维护的便利性则关系到平台工作人员的工作强度和污水处理系统的正常运行,应选择操作简单、维护方便的工艺和设备。

结束语

海上平台生产污水处理是一项系统工程,关乎海洋生态环境保护和油气资源的可持续开发。尽管当前在处理技术和设备等方面取得了一定进展,但仍面临诸多挑战,如部分平台处理水平不高、新技术推广应用困难等。未来,需要进一步加强技术研发,提高处理效率和质量,降低成本,同时加强监管和管理,确保海上平台生产污水处理的稳定达标排放,实现海洋资源开发与环境保护的协调发展。

参考文献

- [1]于传波.海上平台生产污水处理优化实践[J].石化技术,2023,30(9):54-56.
- [2]孙涛,王彬,郑飞,张士明.海上油田生产污水处理系统提升改造研究[J].石油化工建设,2024,46(7):166-168.
- [3]郭信金,王志辉,靖术申,沈心瑞,吴佳伟.海上钻井平台生活污水处理系统运行管理[J].石油工程建设,2024,50(S01):179-183.