

第三章 水处理系统

海上油田处理系统,包括含油污水处理系统、用于注海水的海水处理系统、注水及生活所用浅层地下水处理系统、以及收集冲洗甲板水及雨水的辅助污水处理系统等。

海上油田的含油污水处理系统,均采用闭式。辅助性污水处理系统采用开式。

海上油田注水,主要采用了注海水、注污水和地下水,到目前为止,还未进行过混注,但随油田进一步开发,也有可能采取海水、地下水、污水混注方式。

本章重点叙述含油污水及注入水处理的、方法和流程设备。

第一节 含油污水处理

一、含油污水水质、处理目的及要求

海上油田污水来源于在油气生产过程中所产出的地层伴生水。为获得合格的油、气产品,需将伴生水与油气进行分离,分离后的伴生水中,含有一定量的原油及其他杂质,这些含有一定量原油和其他杂质的伴生水称之为含油污水。

1. 含油污水水质

含油污水一般偏碱性,硬度较低,含铁少,矿化度高。含油污水中含有以下有害物质:

①分散油:油珠在污水中的直径较大,为 $10\sim 100\mu\text{m}$,易于从污水中分离出来,浮于水面而被除去。这种状态的油占污水含油量的 $60\%\sim 80\%$ 。

②乳化油:其在污水中分散的粒径很小,直径为 $0.1\sim 10\mu\text{m}$,与水形成乳状液,属于 O/W “水包油”型乳状液。这部分油不易除去,必须反相破乳之后才能将其除去,其含量占污水含油量的 $10\%\sim 15\%$ 。

③溶解油:油珠直径小于 $0.1\mu\text{m}$ 。由于油在水中的溶解度很小,为 $5\sim 15\text{mg/L}$,这部分油是不能除去的。其占污水含油量的 $0.2\%\sim 0.5\%$ 。

④污水中含有的阳离子常见的有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 等,阴离子有 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等。这些离子在水中的溶解度是有限的。一旦污水所处的物理条件(温度、压力等)发生变化或水的化学成分发生变化,均可能引起结垢。

⑤污水中还可能含有溶解的 O_2 、 CO_2 、 H_2S 等有害气体,其中氧是很强的氧化剂,它易使二价铁离子氧化成三价铁离子,从而形成沉淀。 CO_2 能与铁反应生成碳酸铁 $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ 沉淀, H_2S 与铁反应则生成腐蚀产物——黑色的硫化亚铁。

⑥污水中常见的细菌有硫酸盐还原菌、腐生菌和铁细菌。这些细菌均能引起对污水处理、回注设备及管汇的腐蚀和堵塞。

2. 含油污水处理的目的及要求

含油污水经过处理后,要进行排放或者作为油田回注水、人工举升井动力液等。处理含油污水的目的是要求排放水或回注水达到相应的排放或回注标准,同时应充分考虑防止系统内腐蚀。

排放的污水水质要求是:渤海海域排放污水含油量小于 30mg/L ;南海海域为小于

50mg/L。

对回注的污水水质要求是：达到本油田规定的注水水质标准（参考本章第二节）。

3. COD 污水处理指标

工业废水中含有大量有机物和无机物，在生物和化学反应过程中，消耗了水中的氧气，这种耗氧指标叫 BOD（Biochemical Oxygen Demand）即生化需氧量。而测试 BOD 的方法往往需要五天时间。

COD（Chemical Oxygen Demand）即化学需氧量，同样反映水中物质耗氧情况，且由于 COD 测试的方法只需几小时，所以往往应用 COD 指标来控制污水指标。

BOD 和 COD 测试方法，可依照国标执行：

GB11914－89 [水质化学需氧量的测定（重铬酸盐法）] 和 GB7488－87 [水质五日生化需氧量的测定（稀释与接种法）]。

二、污水处理方法

含油污水处理方法有物理方法和化学方法，但在生产实践过程中两种方法往往结合应用。归纳目前海上主要应用的含油污水处理方法如表 3－1－1 所示。

表 3－1－1 目前海上油田含油污水处理的主要方法

处理方法	特 点
沉降法	靠原油颗粒和悬浮杂质与污水的比重差实现油水渣的自然分离，主要用于除去浮油及部分颗粒直径较大的分散油及杂质
混凝法	在污水中加入混凝剂，把小油粒聚结成大油粒，加快油水分离速度，可除去颗粒较小的部分散油
气浮法	向污水中加入气体，使污水中的乳化油或细小的固体颗粒附在气泡上，随气泡上浮到水面，实现油水分离
过滤法	用石英砂、无烟煤、滤芯或其它滤料过滤污水除去水中小颗粒油粒及悬浮物
生物处理法	靠微生物来氧化分解有机物，达到降解有机物及油类的目的
旋流器法	高速旋转重力分异，脱出水中含油

1. 沉降法

沉降法主要用于除去浮油及部分颗粒直径较大的分散油。由于水中油珠相对密度小而上浮，水下沉，经过一段时间后油与水就分离开来。油珠上浮速度可用下面的公式来计算：

$$W = \beta (\rho_w - \rho_o) \cdot d_o^2 \cdot g / 18 \mu \psi$$

式中 W ——油珠上升速度，m/s；
 β ——污水中油珠上浮速度降低系数，取 $\beta=0.95$ ；
 $\rho_w、\rho_o$ ——分别为污水与油的密度，kg/m³；
 g ——重力加速度，m/s²；
 d_o ——油珠直径，m；

μ ——污水的动力粘度系数, $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$;

ψ ——考虑水流不均匀、紊流等因素的修正系数, 一般取 $\psi = 1.35 \sim 1.50$ 。

根据该速度就能大致确定污水沉降罐的沉降速度 V , 即沉降速度 V 不能大于或等于油珠上浮速度 W , 否则油珠就将浮不上来, 而被水带到水管中去, 或是油珠在水中悬浮着。沉降法能除去直径较大的油珠。沉降法除油一般在沉降罐、沉降舱等中进行。

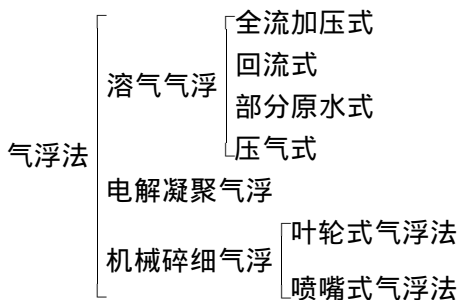
2. 混凝法

所谓混凝法就是向污水中加入化学混凝剂(反向破乳剂)使乳化液破乳, 使油颗粒发生凝聚, 油珠变大, 上浮速度加快。

电泳试验证明, 污水中的油珠带负电荷, 因此只要加入水解后能形成带正电的胶体物质, 使其和油珠所带的负电荷中和, 就能达到凝聚作用。混凝剂的加药量与污水水质有关, 尤其与污水含油量或悬浮物含量有关, 室内应评选出合适的混凝剂并确定最佳的加药量, 然后根据现场试验进行上下调整以确定现场的最佳使用浓度。

3. 气浮法

气浮法就是向污水中通入或在污水中产生微细气泡, 使污水中的乳化油或细小的固体颗粒附在空气泡上, 随气泡一起上浮到水面, 然后采用机械的方法撇除, 达到油水分离的目的。气浮法按采用的供气方式不同又可分为以下几种方法:



(1) 溶气气浮

溶气气浮是使气体在一定压力下溶于含油污水中, 并达到饱和状态, 然后再突然减压, 使溶于水中的气体以微小气泡的形式从水中逸出的气浮。

(2) 电解凝聚气浮法

电解凝聚气浮法是把含有电解质的污水作为被电解的介质, 在污水中通入电流, 利用通电过程的氧化-还原反应使其被电解形成微小气泡, 进而利用气泡上浮作用完成气浮分离。这种方法不仅能使污水中的微小固体颗粒和乳化油得到净化, 而且对水中的一些金属离子和有机物也有净化作用。

(3) 机械碎细气浮法

机械碎细气浮法是海上油田应用较广泛的方法, 是采用机械混合的方法把气泡分散于水中。

1) 叶轮式气浮法

在叶轮式气浮装置的运行中, 污水流入水箱, 叶轮旋转产生的低压使水流入叶轮。叶轮旋转, 起泵的作用, 把水通过叶轮周围的环形微孔板甩出, 于是装叶轮的立管形成了真空, 使气从水层上的气顶进入立管, 同时水也进入立管, 水气混合, 被一起高速甩出。当混合流

体通过微孔板时，剪切力将气体破碎为微细气泡。气泡在上浮过程中，附着到油珠和固体颗粒上。气泡通过水面冒出，油和固体留在水面，形成的泡沫不断地被缓慢旋转的刮板刮出槽外，气体又开始循环。

2) 喷嘴式气浮法

喷嘴式气浮装置的结构与叶轮式气浮装置类似，多有四个串联一起的气浮室。喷嘴式气浮法的基本原理是利用水喷射泵，将含油污水作为喷射流体，当污水从喷嘴以高速喷出时，在喷嘴处形成低压区，造成真空，空气就被吸入到吸入室。喷嘴式气浮要求有 0.2MPa 以上的压力，当高速的污水流入混合段时，同时将吸入的空气带入混合段，并将空气剪切成微小气泡。在混合段，气泡与水相互混合，经扩散段进入浮选池。在气浮室，微小气泡上浮并逸出水面，同时将乳化油带至水面加以去除。

在喷嘴式气浮污水处理中，喷嘴是关键部件，在国内外喷嘴都是专利产品。喷嘴的设计原则是喷嘴直径小于混合段的直径，这样流体速度提高，压力升高，气体在水中的溶解度提高。

在喷嘴式气浮污水处理中，喷嘴的位置直接影响除油效果，喷嘴入水较深为好。另外，喷嘴与气浮室之间要有一段较长的管道，使水和气有充分接触混合的时间，增加溶气量，提高气浮效率。在渤中 34-2/4E 油田就采用了喷嘴式浮法装置。

(4) 影响气浮法效率的因素分析

气浮法净化油田污水的理论研究和试验结果说明，除油效率随着气泡与油珠和固体颗粒的接触效率和附着效率的提高而提高。气液接触时间延长可提高接触效率和附着效率，从而提高除油效率。增大油珠直径，减小气泡直径和提高气泡浓度既可提高接触效率，也可提高附着效率。因此是提高除油效率的重要措施。其它一些因素如温度、pH 值、矿化度、处理水含油量和水中所含原油类型也都直接或间接地影响除油效率。因此处理不同的油田污水，即使同样的设计，处理后的含油量也不相同；同一个水源，采用不同的气浮法处理，处理后的水质也不一样；即使同一个水源，采用同样的气浮法处理，但随着处理水物性的变化，处理后的水质也会发生变化。因此，必须搞清这些因素对除油效率的影响及其之间的相互作用，从而采用针对性措施，提高气浮法净化油田污水的效率。

(5) 各种气浮法的特点

①与油田污水的其它处理方法比较，气浮法具有停留时间短，处理速度快、除油效率高和占地面积小等优点，适于海上油田污水处理。

②各种气浮法各有其优缺点，气浮方法的选用要根据处理量、来水特点、出水水质要求、操作条件、动力消耗等进行综合分析比较，选用较适合的气浮污水净化方法。机械碎细气浮法是在油田污水处理中应用最广泛的气浮污水净化方法。

③机械碎细气浮法是晚于溶气气浮法出现，但其应用是远比溶气气浮法更加广泛、高效的污水处理工艺。

(a) 喷嘴式气浮法除油效率高，电耗低，结构紧凑占地面积少，但对循环水的压力、水质和动力等运行条件要求较高，适于污水处理量小，水质要求不高、运行条件好的情况下采用。

(b) 叶轮式气浮法溶气量大，溶气率都在 600% 以上；停留时间短，仅为 4~5min；除油效率高；造价低，四级叶轮式气浮装置的除油效率相当于或高于单级溶气气浮装置，而其造价仅为前者的 60%；适于处理不同含油量的油田污水，但是入口含油量要求不能大于

2000mg/L。叶轮式气浮法是现在国内外应用最广泛的油田污水处理工艺。

④油田污水气浮处理工艺要与其它污水处理方法结合采用，如气浮助剂、混凝剂和发泡剂等可以大大提高气浮法的效率。

4. 过滤法

过滤就是通过滤料床的物理和化学作用来除去污水中的微小悬浮物和油珠及被杀菌剂杀死的细菌及藻类等。过滤法是一种用于含油污水深度处理的方法。污水经过自然沉降除油，气浮分离，混凝沉降后，再经过滤进一步处理，就可达到污水排放或回注油层的标准。

过滤一方面是通过滤料的机械筛滤作用，把悬浮固体、油珠及细菌及藻类等截留在滤料表面，或转到先前被截留在滤料内的絮凝体表面；另一方面，通过滤料的电化学特性把悬浮固体颗粒、油珠及细菌藻类等吸附在滤料的表面上。影响吸附的因素有滤料颗粒、絮凝体和油珠的大小以及它们的粘着特性和剪切强度等物理因素，还与悬浮固体颗粒、油珠等的电化学特性有关。

滤料的粒径、级配、厚度对过滤效果有直接影响。滤料的级配是指不同粒径的滤料所占的比例，适当的滤料级配是取得良好的过滤效果的前提。滤料的种类很多，以石英砂应用最广泛，常用的还有无烟煤、石榴石、磁铁矿、聚苯乙烯球粒、陶粒、核桃壳等。对滤料的选材有下列要求：

- ①具有足够的机械强度，在反冲洗时不产生严重的磨损和破碎现象；
- ②具有稳定的化学性质，不与水发生化学反应；
- ③具有一定的颗粒和适当的孔隙度。

当过滤装置工作一定时间后，滤料的孔隙会被油粒和杂质所堵塞，这时污水通过滤料的水头损失大大增加，因此需要对滤料层进行反冲洗，以恢复滤料层的工作能力。反冲洗间隔时间各平台应根据本油田的水质情况确定。过滤装置进行反冲洗时，反冲洗水自过滤装置底部进入，自下而上依次经过配水系统、承托层、滤料，最后从反冲洗排水管排走，反冲洗水使滤料层膨松，颗粒间相互碰撞，把截留下的污泥洗下随反冲洗水排除。

5. 生物处理法

用微生物氧化分解有机物这种作用来处理污水的方法就叫做生物处理法。目前生物处理法主要用来处理污水溶解的有机污染物和胶体的有机污染物。在处理含油污水时，如果要求排放标准很高则可用生物处理法进行深度处理。生物处理法与化学法相比，具有经济、高效等优点。生物处理法有好气生物处理法和厌氧生物处理法两种。生物处理法对被处理的污水水质有以下的具体要求：

- ①水的 pH 值：对于好气生物处理，要求水的 pH 值在 6~9 之间。对于厌氧生物处理，水的 pH 值在 6.5~7.5 之间。
- ②污水温度：温度也是一个主要因素。对大多数微生物来讲，适宜的温度在 20~40℃。
- ③养料：微生物生长繁殖除需要碳水化合物作为食料外，还需要一些无机元素如氮、磷、硫、钾、钙、镁、铁等，因此用生物法处理含油污水时，需投加适量的营养物。
- ④有害物质：污水中不能含有过多的有害物质，如酚、甲醛、氰化物、硫化物以及铜、锌、铬离子等。

用生物法处理含油污水时，首先需对微生物进行驯化，使其能适应含油污水的环境。

6. 水力旋流器法

水力旋流器进行含油污水处理，是近期才发展起来的一种方法，在我国海上油田得到了

成功应用。

水力旋流器进行污水处理，是让含油污水在一个圆锥筒内高速旋转，由于油水密度不同，密度大的水受离心力的作用甩向圆锥筒筒壁，而密度稍小的油滴则被挤向筒的中心，因此油和水可以从不同的出口分别流出，达到使含油污水脱油的目的。

三、污水处理系统设备及流程

当开发方案确定后，应给定油田高峰污水处理量，索取地层水水质资料等基础数据，同时确定污水处理后的用途。根据用途确定污水处理后要求的水质标准，按照高峰污水处理量、地层水性质和污水水质处理要求标准，结合海上空间面积来选择经济、合理的污水处理设备和设计污水处理流程。

1. 部分污水处理系统设备结构及工作原理

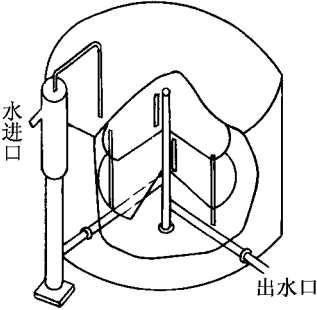
采用的污水处理装置品种很多，例如采用浮式生产装置的储油舱，固定式平台的储油罐也可以看成一个沉降脱水装置，过滤罐又可分带压滤罐、无压滤罐，按处理量不同又可选用立式过滤器或卧式过滤器等等，种类繁多。下面仅对部分污水处理所使用的设备结构及原理加以介绍，参见表 3-1-2。

表 3-1-2 部分污水处理设备及对应方法表

序号	设 备	对应主要方法	序号	设 备	对应主要方法
1	API 矩形多道分离器	沉降法	7	固定滤料式聚结器	混凝法、过滤法
2	沉降罐	沉降法	8	活动滤料式聚结器	混凝法、过滤法
3	加压容器浮选装置	气浮法	9	过滤罐	过滤法、化学法
4	叶轮式浮选装置	气浮法	10	重力无阀过滤罐	过滤法
5	喷嘴自然通风浮选池	气浮法	11	单阀过滤罐	过滤法
6	聚结板式聚结器	混凝法、沉降法、物理法	12	水力旋流器	旋流器法

(1) API 矩形多道分离器（沉降隔油池）

API 矩形多道分离器（沉降隔油池）由矩形的大槽组成。含油污水进口在该装置的一端，出口在另一端。原油被沉降分离浮到顶部，水下沉到底部。该装置内分为多个平行通道，这种设计能使 150 μm 或更大些的油滴从水中分离出来。滞留时间大约为 30min，出口水中，含油量一般在 50~100mg/L 之间。该装置通常较长较宽，但相当浅。这种装置需较大空间，不适合海上平台。



(2) 沉降罐

沉降罐目前在油田上应用较广，这种罐是按照标准容器制造的圆筒形分离器，它有一个中心进口和一个外缘出口，其结构如图 3-1-1 和图 3-1-2 所示。

气导管相当于一个预分离筒用以减缓流速，可使天然气分离。通向立管的管线和立管在 API 分离器中起着前舱室的作用，液体流经管线到立管的速度被保持在一定范围内。

图 3-1-1 沉降罐剖视图

位于两个分水器之间的空间相当于 API 分离器油水分离的流道。每个分水器的面积几乎是大罐面积的一半。分离器外缘和罐壁之间的空间，留作建造空间。

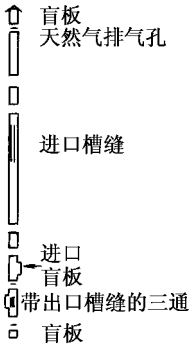


图 3-1-2 沉降罐
内部结构图

出口槽缝和管线被连接到外边的虹吸管弯上，以便控制内部液面。油界面要保持在高于上部分水器的位置，在上部分水器的上方安装了一个撇油器，以便连续回收分离出的原油。在两个分水器之下或在中央立管之中放出的任何天然气将从罐顶排出。天然气帽可使罐与空气隔绝。锥底罐用于收集污泥和沉渣。

(3) 加压容器浮选装置

其装置流程图如图 3-1-3 所示。加压溶气浮选是用水泵将废水加压到 0.2~0.3MPa，同时注入空气，在溶气罐中使空气溶解于废水中。废水经过减压阀进入浮选池，由于突然减到常压，这时溶解于废水中的空气便形成许多细小的气泡释放出来。

(4) 叶轮式气浮装置

叶轮式气浮污水净化装置有两个流体通路：气体通路和液体通路。它分为三个不同的区，对于提高设备的除油效率，三个区都是重要的。见图 3-1-4、图 3-1-5。

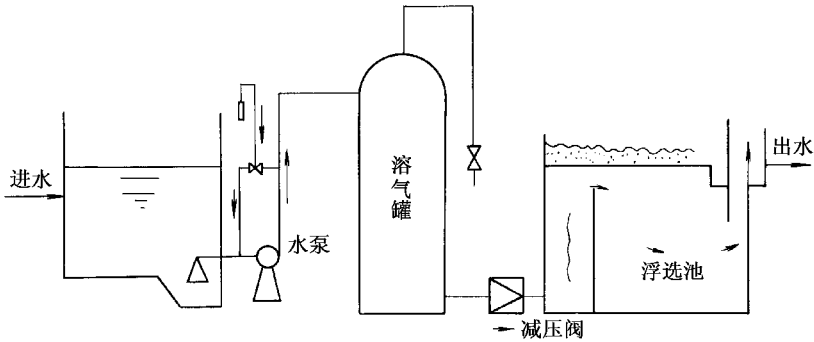


图 3-1-3 加压溶气浮选装置流程图

气体从气浮室的上部气顶进入液体中，这就是通路 A。同时液体从气浮室下部向上循环，这就是通路 B。液体向上循环到两相混合区与气体混合。混合区对于该工艺非常重要，必须注入足够的气体，在足够量的剪切力下破碎为微细气泡。使气泡与油珠和固体颗粒附着。即气泡在混合区与液体充分接触，形成附着有气泡的油和固体絮凝体。

气浮区要充分平衡，这样絮凝体才可上浮并从液体中分离出来。气浮区紊流过量会使气泡与絮凝体分离，甚至污染物会重新乳化到水中去。因此，在气浮区要把紊流降低到最小程度，形成适于絮凝体上浮并从装置中去除掉的流型。

在叶轮式气浮装置中，实际上仅有一部分用于气浮和分离。在气浮区，油珠和气泡的有效密度和直径必须适合快速分离，因此要在混合区达到要求的密度直径。也就是说，油珠直径必须充分大，油珠与气泡的接触率要高。由于气泡与油珠和固体颗粒之间的相互作用受到表面化学的影响，因此通常多通过添加混凝剂、气浮助剂和发泡剂的办法，加快油珠和固体颗粒的絮凝效果，提高絮凝体与气泡的附着力。

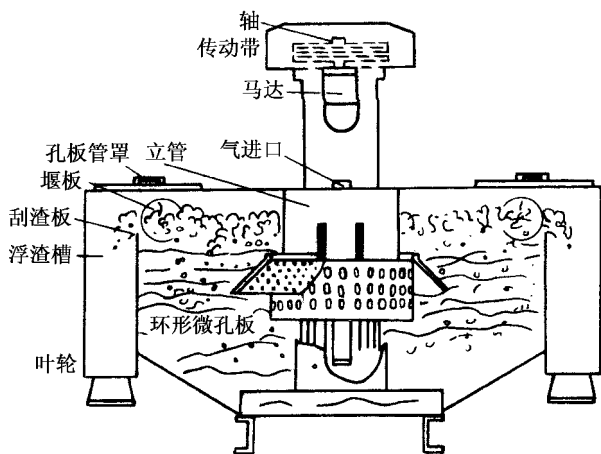


图 3-1-4 叶轮式气浮装置净化含油污水示意图

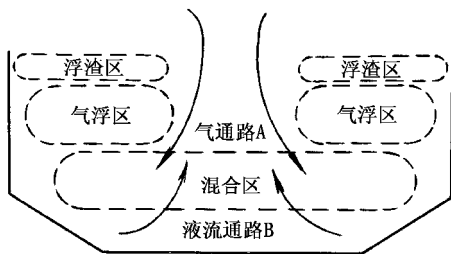


图 3-1-5 叶轮式气浮装置气浮室水力特性图

(5) 喷嘴自然通风浮选池

见图 3-1-6。水喷射泵将含油污水作为喷射流体，当污水从喷嘴以高速喷出时，在喷嘴处形成低压区，造成真空，空气就被吸入到吸入室。喷嘴式气浮要求有 0.2MPa 以上的压力，当高速的污水流入混合段时，同时将吸入的空气带入混合段，并将空气剪切成微小气泡。在混合段，气泡与水相互混合，经扩散段流入浮选池。在气浮室，微小气泡上浮并逸出水面，同时将乳化油带至水面加以去除。

(6) 聚结板式聚结器

聚结板式聚结器是聚结器的一种，聚结器由于内部结构不同又分为聚结板式、固定滤料式、活动滤料式等，后面将介绍固定滤料式、活动滤料式。

聚结板式又称板式聚结器（PPI 和 CPI 装置）。最早应用的是由平行板组成的称为平行板除油器（PPI）装置。为了清除聚结的油，这些板被安装在 API 除油分离器中，并与水流方向呈 45°角。后改用波纹板。这种波纹板在除油分离器内呈一定角度安放，叫做波纹板除油器（CPI）。倾斜的波纹板较平板提供了更大的聚结面，而且也油上升到集油槽提供了凹形的通道。

沉渣沉积到由平行板构成的每个通道的底部，并且下滑到分离器底部的集污槽中（如图 3-1-7 所示）。

在使用波纹板时，固体在下滑到集污槽之前就沉积到由波纹板构成的通道之中。而除油后的水通过板道进入除油器底部，漫过出口堰板进入出口通道。原油经固定的水平撇油管而被清除。这个撇油管安装在出口堰板的最高水平面之上，这样可防止水从油的出口溢流管流出。目前应用的还有交叉聚结波纹板。以涇 11-4 油田污水处理系统的板式聚结器为例来进一步说明聚结器的结构及工作原理。

涇 11-4 油田污水处理系统板式聚结器为卧式，由筒体、两个标准椭圆形封头及一集油穹顶组成，其外部主要是各种管咀接口、扶梯、操作平台、人孔及插入式电加热器；其内部主要是污水分配管、固体颗粒阻隔板及 8 组沿筒体轴向排列与水平面成 45°角的波纹板片。

当含油污水进入板式聚结器后，其内较大的固体颗粒首先在颗粒阻隔板前沉积下来，污

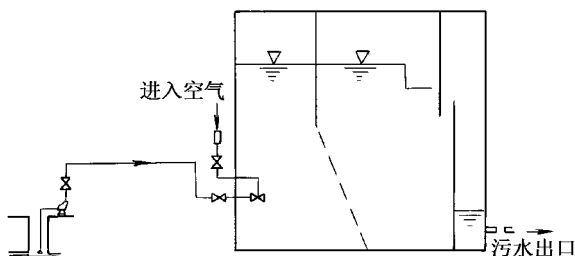


图 3-1-6 喷嘴自然通风浮选池

水则溢出隔板穿经各波纹板间的孔隙，流向聚结器的出口。

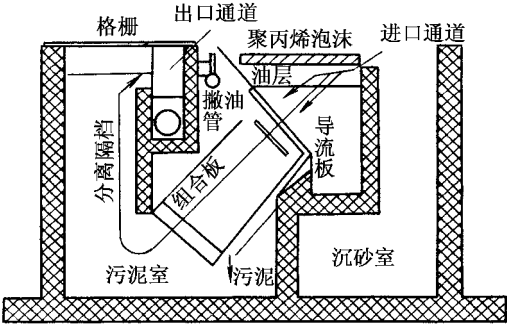


图 3-1-7 典型波纹板除油器的断面和流程图

当含油污水在波纹之间的孔隙中流过时，由于污水中的油滴比水轻，油滴向上浮起并很快粘附在波纹板的底面。波纹板底面上的油滴相互聚结在一起形成一层油膜，沿波纹板向上移动，并在波纹板的顶端化成较大的油滴浮到污水的表面，最后经穹顶上的排放口排到开式排放罐的集油槽中。图 3-1-8 为涇 11-4 油田板式聚结器的结构及工作原理示意图。

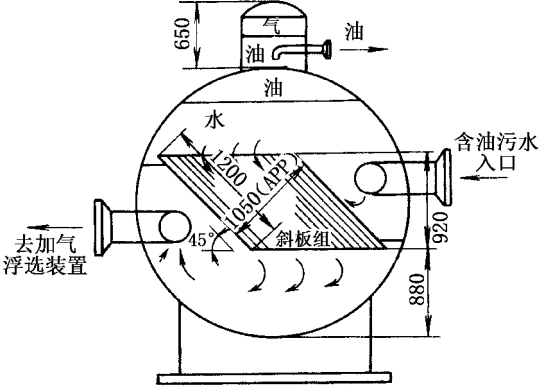


图 3-1-8 板式聚结器结构原理图

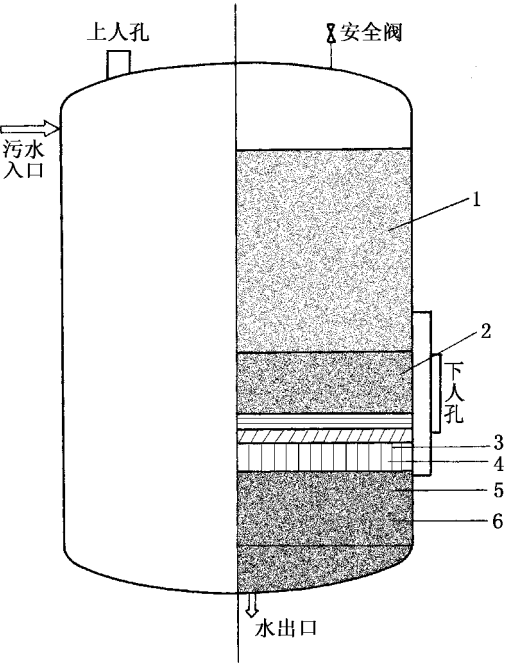


图 3-1-9 埕北滤罐

不同滤料层由于颗粒直径不同，层内形成不同的孔隙，污水中所含污油、悬浮杂质就被截留下来。

当过滤器工作一定时间后，需进行反冲洗作业，其反冲洗水流向与污水处理流向相反。

(7) 固定滤料式

固定滤料聚结器是一种利用高孔隙亲油聚结滤料处理含油污水的设备。这种滤料有海绵状的外观。当污水中的油浸润聚结滤料的表面时，就从水中分离出来，同时在滤料内小油滴逐渐聚结成较大的油滴。在通过滤料之后，那些变大的油滴则在容器的分离室内因重力作用而最后被分离出去。当滤料被油饱和后应进行反冲洗。

(8) 活动滤料式

活动滤料聚结器是一个内有盛装着滤料的滤床的容器。滤床提供了很大的表面积。产出水中的微小油滴可在此滤料上聚结。它能起到常用砂滤器的作用。在滤床的表面上滤出悬浮固体。

(9) 过滤罐

以埕北油田过滤罐为例，参见图 3-1-9。含油污水由上部进口进入过滤罐，由上至下逐级通过滤料层。滤罐内共充填六层滤料

表 3-1-3 埕北油田滤罐（F-301）内部填料表

序 号	材 料	粒径, mm	填层厚度, mm
1	无烟煤	1.2	1000
2	细砂	0.8	400
3	粒砂	2.0~5.0	100
4	细砾石	5.0~10.0	100
5	粗砾石	10.0~15.0	200
6	粗砾石	15.0~25.0	749

(10) 重力式无阀滤罐

重力式无阀滤罐结构示意图如图 3-1-10 所示。重力式无阀滤罐是一种靠水力控制达到无阀和自动反冲洗的滤罐。在正常过滤时，污水由进水分配槽沿进水管进入无阀过滤罐，通过挡板改变水流方向，从上而下流过滤料层、承托层、底部空间、连通渠，进入反冲洗水箱，最后经出水管排出罐外。当反冲洗时利用自身的反冲洗水箱可进行反冲洗。

(11) 单阀过滤罐

单阀滤罐的结构如图 3-1-11 所示。在生产过程中，含油污水从进口进入滤料层，通过滤层后，从集水室和上部水箱的连通管返入上部水箱，当液位达到出口管高度时，滤后水经过水管流到吸水罐。反冲洗时，上部水箱的水由连通管到达集水室，通过配水筛板，对滤料层进行反冲洗。进水挡板的作用是避免水流直接冲在石英砂滤层上，把进水口附近的砂粒冲走，使供水尽可能均匀地分布在滤层上。

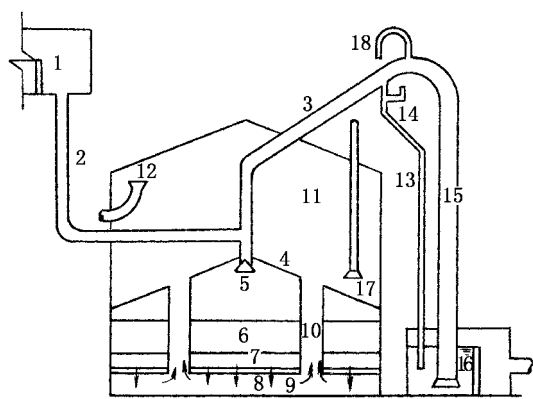


图 3-1-10 重力式无阀滤罐

1—进水分配槽；2—进水管；3—虹吸上升管；4—顶盖；5—挡板；6—滤料层；7—承托层；8—配水系统；9—底部空间；10—连通渠；11—反冲洗水箱；12—出水管；13—虹吸辅助管；14—油气管；15—虹吸下降管；16—水封片；17—虹吸破坏计；18—虹吸破坏管

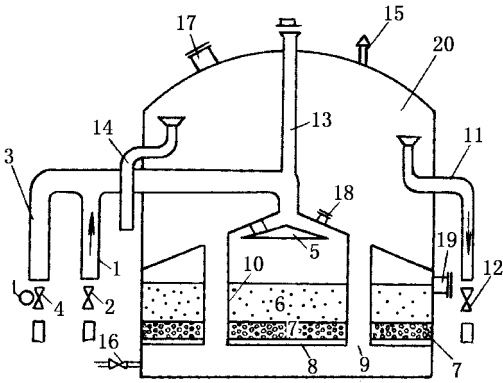


图 3-1-11 单阀过滤罐结构图

1—进水管；2—进水阀；3—反冲洗排水管；4—反冲洗电动阀；5—进水挡板；6—石英砂滤层；7—卵石垫层；8—配水筛板；9—连通管；10—阻力圈；11—出水管；12—出水阀；13—防虹吸管；14—溢流管；15—通气孔；16—排污阀；17、18、19—人孔；20—储水箱

(12) 水力旋流器

水力旋流器是一个外形长，内部装有圆锥形筒的压力容器，见图 3-1-12。生产污水由入口处进入，优化的压力为 700kPa，在圆锥筒内旋转，形成旋流，其离心力足以使油水分离，密度较大的水及固体颗粒靠近管壁，而密度较小的油则集中到中心部位，中心部位为低压区，水相在管壁连续旋转并下降，并且截面积逐渐减少，最后水及固体颗粒从细口端排出，而油则沿中心线从粗口端排出。

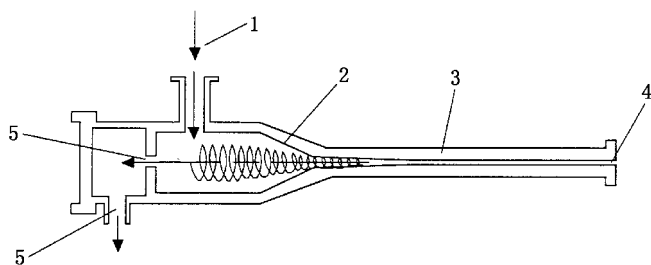


图 3-1-12 水力旋流器结构示意图

1—含油污水入口（切向入口）；2—圆锥体涡流腔（加速部分）；
3—等截面尾部；4—水出口；5—污水出口

当固体颗粒含量大于 200mg/L 时，水力旋流器最好应立式安装。

根据处理量大小也可以选择多个水力旋流器并联方式来加大处理量。

(13) 配套的化学药品泵管系统

针对污水处理系统所配置的化学药品注入系统和原油处理系统，注海水水质处理系统中所配置的化学注入系统一样，都是由化学注入罐、比例泵，和管汇组成。化学注入罐的容量，一般按其注入量大小选择，罐上设有搅拌器，是为了使配置的化学药品达到均匀混合；罐上设有相应的液位显示，人孔等；化学注入泵选用比例泵，能够调整其比例，达到调整注入量的目的；化学注入泵出口管汇，最终接至主流程中所要求的入口处；化学注入泵的出口压力必须高于所注入管汇的压力。

配套的化学药剂注入系统，流程简单，但也是污水处理主流程中必须配置的辅助系统。

含油污水处理设备，常采用组合式装置，如波纹板—溶解气浮选组合装置、平行板—固定滤料组合装置，两级活动滤料组合装置等。总之，含油污水处理装置较多而且发展的较快，以上只是常用的和典型的。

2. 海上油田污水处理设备选择的基本原则

- ①满足油田最高峰污水处理量达标；
- ②设备效率高、体积小、占地面积小；
- ③结构简单，易操作；
- ④价格便宜，经济效益好；
- ⑤维修简便，免修期长等。

3. 海上污水处理流程

所谓海上污水处理流程，可以理解为用管线、泵等将选择的含油污水处理装置连接到一起，含油污水通过逐级处理装置脱除含油污水中的有害物质。这种管线、泵等及含油污水处理装置的组合，就是含油污水处理流程。

由于海上油气田的处理量大小不同，原油及伴生水性质不同，处理后的污水要求标准不同，还有海域、经济效益等等因素不同，所选择的处理设施不可能相同。举例说明如下：

埕北油田污水处理系统实例（见图 3-1-13）：

埕北油田污水流程所设置的污水处理装置，包括聚结器、浮选器、砂滤器和缓冲罐。来自原油处理系统的含油污水，首先经聚结器（V-301A/B），在聚结器入口前加入絮凝剂，

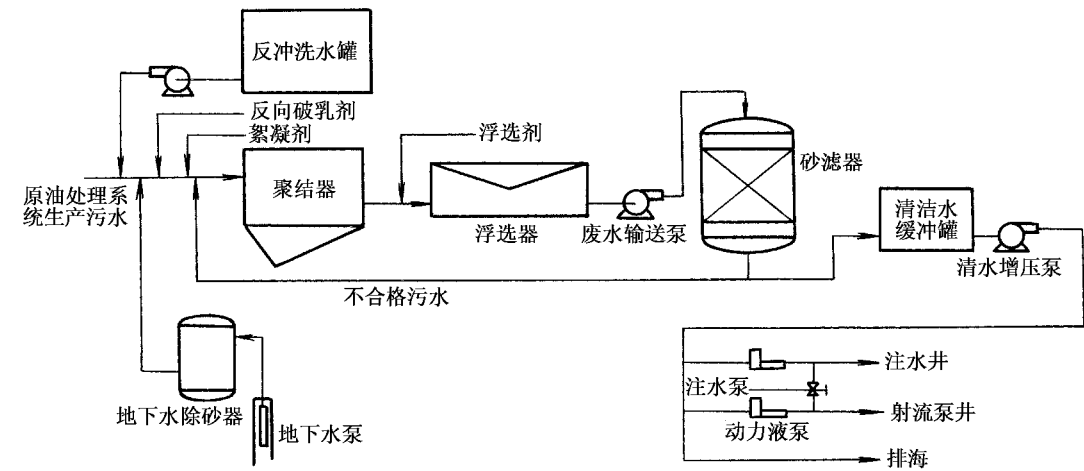


图 3-1-13 埕北油田污水处理系统工艺流程图

在聚结器中，通过絮凝和重力分离。较大颗粒原油及悬浮固体上浮并被撇入导油槽。

处理后的污水靠位差进入浮选器（X-301A/B），设计为加气浮选，由底部加入少量天然气，作为附着小油滴载体与油珠一起上浮到顶部，上部撇油装置将油撇出。处理后的污水由下部出口流出。

来自浮选器的污水由泵加压输送到过滤器（F-301A/B/C），由上至下通过过滤层（参阅本节前文），处理后污水进入缓冲罐（T-301A/B）。此时的污水应是处理后的合格水，可用做注入水或动力液，剩余部分排海。埕北油田污水处理系统为双系列，单系列设计最大处理量为 1800m³/d。各级处理参数见表 3-1-4。

表 3-1-4 埕北油田含油污水处理参数

含油 mg/L		装 置	聚结器	浮选器	过滤器	备 注
项 目						
入口	设计		<3000	<100	<10	实际含油量选用处 理量为 3600m³/d 的状况
	实际		<3000	100~300	30~50	
出口	设计		<100	<10	<5	
	实际		100~300	30~50	15~30	

SZ36-1 油田含油污水处理系统实例（见图 3-1-14）：

SZ36-1 油田污水处理系统采用分散收集，集中处理的方案，设置在浮式储油轮上。由储油水舱、波纹板隔油器、浮选器及废水泵等组成。

来自原油处理系统的含油污水，首先汇集到储油水舱，储油水舱由 4 个舱组成（T-741A/B/C/D），单舱容积 600m³，来水含油小于 3000mg/L，在四个储油舱室中 C 舱设有一个 16m³ 的撇油柜，含油污水在储油水舱内进行重力沉降，较大油滴上浮并收集到撇油柜中，然后排放到污油舱中；经沉降脱水后的污水含油量可降至 300mg/L 以下。

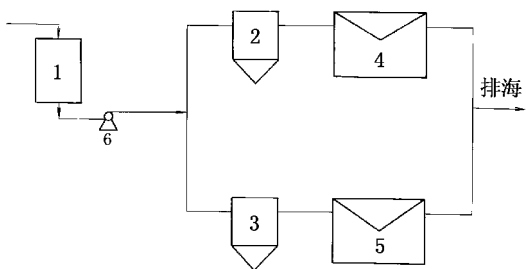


图 3-1-14 SZ36-1 油田污水处理系统示意图

1—除油舱；2—波纹板隔油器；3—波纹板隔油器；4—浮选器；5—浮选器；6—废水泵

来自污油水舱中的污水，由废水泵（P-741A/B/C）提取并送入波纹板隔油器（V-741A/B），波纹板隔油器内装有三组波纹板组，与水流方向成 45° 角，通过波纹板组后，污水中细小水滴可以聚结增大并上浮，由上部设置的撇油器撇出。

经隔油器处理后的含油污水进入浮选器（X-741A/B）进行加气浮选。污水即处理结束排海。

SZ36-1 油田污水处理系统自投产以来，作了大量的工作，包括化学药剂的选择、流程

调整等，使排海污水达到了小于 30mg/L 的标准。

渤中 34-2/4E 油田污水处理流程相对简单，不再赘述（见图 3-1-15）。

渤西油气处理厂污水处理流程见图 3-1-16，其中采用 COD 指标控制，在下文中介绍。

西江油田采用了水力旋流器设备，见图 3-1-17，其污水处理过程主要集中在水力旋流器上，水力旋流器有关原理及结构在前文表述过，不再重复。西江油田在水力旋流器的应用上取得了较好效果，表 3-1-5。

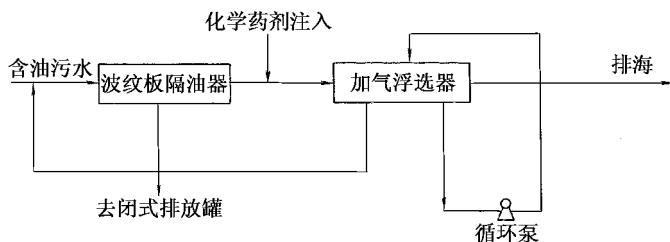


图 3-1-15 渤中 34 油田污水处理工艺流程示意图

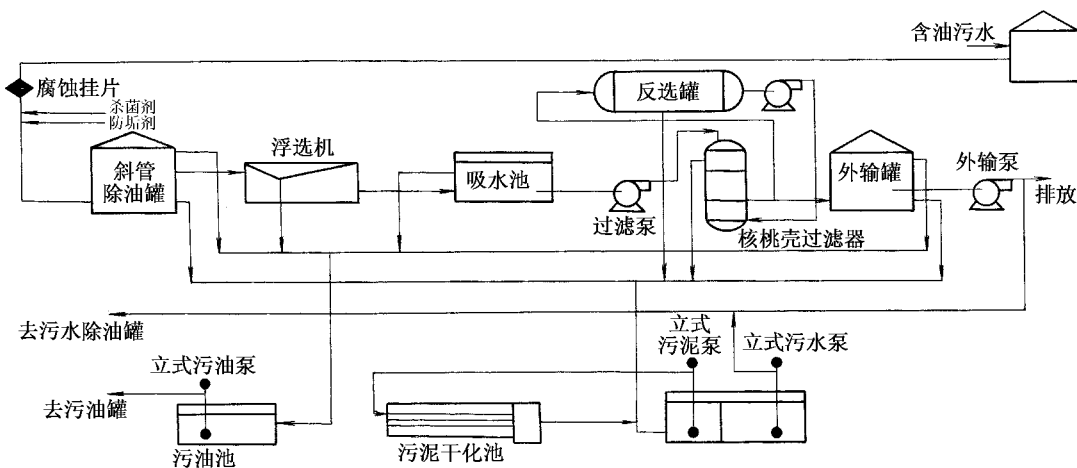


图 3-1-16 渤西油气处理厂污水处理工艺示意图

4. 渤西油气处理厂按 COD 指标控制含油污水生物处理实例

渤西油气处理厂，设计应用生物处理方法，按 COD 污水排放指标控制。

渤西油气处理厂含油污水生物处理装置由北京金源环境保护设备有限公司设计制造。它利用生物处理的方法，在现有污水处理装置的基础上，进一步去除污水中残余的酚类和其他

溶解性难降解的有机物质，使外排污水水质达到排放要求。

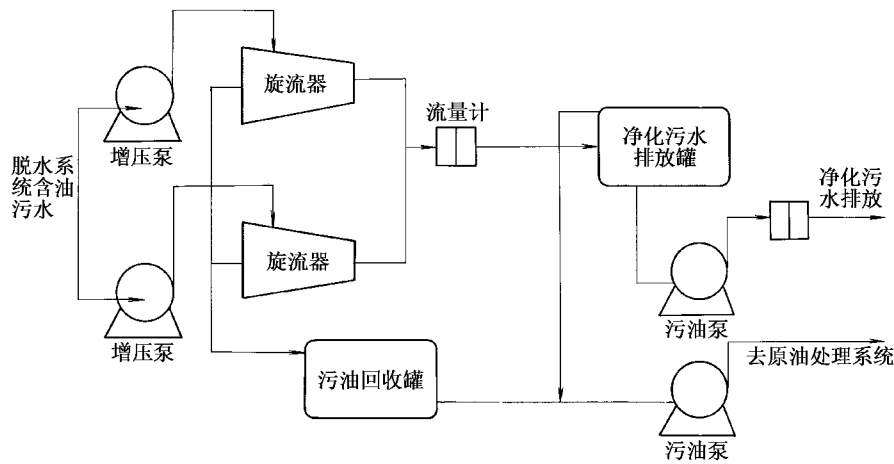


图 3-1-17 西江油田旋流器处理含油污水流程示意图

表 3-1-5 南海东部油田水力旋流器污水处理统计表

油 田	处理设备	制造厂家	设计参数			实际操作参数			处理效果	备 注
			处理量 台数×10 ⁴ bbl/d	压力 psi	温度 ℃	处理量 ×10 ⁴ bbl/d	压力 psi	温度 ℃	水中含油量 mg/L	
惠州 26-1	水力旋流器	Modular Production Equipment INC	2×7			9.2			20~34	在平台
惠州 32-3	水力旋流器	Modular Production Equipment INC. Vortoil.	1×6 1×4.2	240	120	6.8			10~27	在平台
陆丰 13-1	水力旋流器	Modular Production Equipment INC	1×6 1×5	240	120	6.4			10~37	在平台
西江 24-3 西江 30-2	水力旋流器		2×3.7	230	93	2.6			14~41	在 FPSO
流花 11-1	水力旋流器	KRESS (Petroleum Technologies)	6×5	240	120	14.6			39~47	在 FPSO
陆丰 22-1	水力旋流器	KVAERNAR	3×4	290	125	7.5			18~32	在 FPSO

注：规定的污水排放标准≤50mg/L。

该装置分两期进行。一期工程的设计污水处理能力为 30×10⁴m³/a，按年运行天数 350 天计算，每天污水处理量为 860m³，计划在 2000 年 9 月投产；二期工程将扩建为年处理污水 60×10⁴m³ 的处理能力，计划在 2012 年动工。整个处理装置采用 C-TECH 生化处理工艺。

(1) C-TECH 工艺原理

C-TECH 工艺是 SBR 类工艺中的变型工艺循环式活性污泥法 (Cyclic Activated Sludge Technology)。它是在一个或多个平行运行反应容积可变的池子中,按照“曝气-非曝气”阶段不断重复进行。在曝气阶段主要完成生物降解过程;在非曝气阶段则主要完成泥水分离和撇水过程。因此属于序批式活性污泥法。

C-TECH 工艺每一操作循环由进水/曝气、沉淀、撇水以及闲置等四个阶段组成。循环开始时,由于污水的进入,使得池子内部的水位由某一最低水位开始上涨;经过一定时间的曝气和混合后,系统停止曝气以便使反应器内的活性污泥进行絮凝沉淀,活性污泥将在静止的环境中沉淀。当沉淀阶段完成后,撇水器将池子上部的上清液排出系统,同时水位将降到所设定的最低水位。之后,系统将重复以上过程。

(2) C-TECH 工艺的组成

1) 生物选择器

它位于曝气池的前段,主要用于防止活性污泥膨胀。在选择器中,污泥经历一个高负荷的阶段,污水中的溶解性有机物能通过酶反应机理而迅速被絮凝性微生物所吸附、吸收而去除,使系统中可能出现的丝状微生物因无法取得食料而得不到生长优势。

2) 主曝气区

在主曝气区中进行曝气供氧,微生物在好氧条件下降解进水中的有机物质,同时自身得到增殖。

3) 污泥回流/排除剩余污泥系统

在 C-TECH 池子的末端设有潜水泵,污泥通过此泵不断从主曝气区被抽送至选择器中(污泥回流量为进水总量的 20%)。安装在池子内的剩余污泥泵在沉淀阶段结束后将工艺过程中产生的剩余污泥排出系统。

4) 撇水装置

在池子的末端设有可升降的撇水堰,用以排出处理后的污水。撇水装置可以有效地防止池子表面可能出现的浮渣进入撇水系统而随出水排出。

(3) C-TECH 工艺的优点

- ①池子所需容积小,建造费用低;
- ②能较好地缓冲进水水量和水质的波动;
- ③处理效果好,排出的剩余污泥稳定化程度高;
- ④无污泥膨胀,污泥沉降性能好;
- ⑤无需再设置二沉池和庞大的回流污泥泵站。

(4) 工艺流程和设施叙述

1) 来水

在现有的含油污水处理装置中,经斜管除油罐和浮选机处理后,出水进入吸水池,再由过滤泵提升经核桃壳过滤器过滤后进入外输污水罐。

进入该装置的污水来自现有核桃壳过滤器前或后的出水。由架空管廊穿越现有污水处理区进入污水生物处理区冷却塔。当来水含杀菌剂浓度较高时,则先进入贮水池临时贮存,以后少量地掺入下一处理单元。

2) 降温

由于来水温度较高,须先经空气冷却到 40℃ 以下,以利于微生物的生长和保证对有机

物的降解效果。

3) 生物处理

冷却塔出水经过配水并按自动程序配水至 C-TECH 池中进行生化处理。

C-TECH 池有两个，每个池中设有两个区：第一区为生物选择区；第二区为主反应区。生物选择区是防止污泥膨胀，而在主反应区则完成去除有机物等生物处理过程。池内设有污泥循环泵将活性污泥从主反应区不断打回生物选择区。C-TECH 工艺中进水/曝气、沉淀、撇水等各个阶段，污泥循环系统，撇水过程等采用 PLC 自动控制，每个运行循环的周期为 4 小时。

4) 生物处理系统的供氧

活性污泥降解有机物所需的氧量由鼓风机曝气系统供给。其供氧方式采用的是微气泡扩散方式，采用橡胶膜式微孔曝气器。

5) 撇水系统

根据每个周期的实际进水量控制撇水器的撇水速率。在撇水时，移动式撇水堰沿给定轨道以较高的速率降到水面。在与水面接触后，撇水装置的下降速度即转移到正常下降速度。当撇水装置下降到最低水位后，再返回到初始状态。撇水堰渠的前部设有挡板，可以避免水面可能存在的浮渣（泥）随出水一起排出。

6) 剩余污泥的排出

为保持池内污泥浓度的稳定，设有剩余污泥泵，其运行时间的长短由 PLC 根据池内污泥浓度自动控制。

7) 营养盐投加装置

该装置用于提供微生物生长需要的氮磷等营养盐类物质。

8) 出水池

出水池用于缓冲、贮存来自 C-TECH 池的污水，保持后续设备的平稳运行。池内设有出水泵和纤维过滤器进水泵。经设在外排污水管道上的 COD 在线检测仪检测达标后由出水泵举升回原污水处理装置内的外输污水罐。

当外排污水 COD 值超标时，出水泵自动停泵。启动纤维过滤器进水泵，将部分或全部污水打到后续过滤系统进行深度处理，然后掺回入出水池；若出水仍不能达标，则从出水池溢流到贮水池重新处理。

9) 深度处理

深度处理设有两级：第一级是纤维过滤器，第二级是活性炭过滤器。如经纤维过滤器过滤后就达标，将不再启动活性炭过滤器。

(5) 主要污物设计去除率

详见表 3-1-6。

5. 涠洲岛陆地终端污水处理实例

(1) 原污水处理流程及处理效果

涠洲岛陆地终端原污水处理流程见图 3-1-18。

处理厂生产初期，每天污水量为 20m^3 左右，大大低于原设计能力 $4000\text{m}^3/\text{d}$ ；由于来水量小，只有当第一级缓冲罐充满后才启动，所以采取氧化塔出口返回二级缓冲罐的循环方式，流程运行是间歇方式与循环方式相结合。

表 3-1-6 渤西油田污物设计去除率

指 标 处 理 段	COD _{Cr}			BOD ₅			挥 发 酚			SS		
	进水 mg/L	出水 mg/L	去除率 %	进水 mg/L	出水 mg/L	去除率 %	进水 mg/L	出水 mg/L	去除率 %	进水 mg/L	出水 mg/L	去除率 %
冷却塔	<1000	<1000		<450	<450		<50	<40	20%	<200	<200	
C-TECH 池	<1000	<120	70~90	<450	<20	80~90	<50	<0.04	90~99	<200	<20	80~90
纤维过滤	<120	<110	5~10	<20	<20		0.04	0.04		<20	<10	50~85
活性炭过滤	<110	<80	10~30	<20	<5	50~70	<0.04	NR	30~50	<10	<5	30~50
出水池	<120	<100		<20	<10		<0.04	<0.04		<20	<10	
总去除率, %	90			98.9			99.9			98.5		

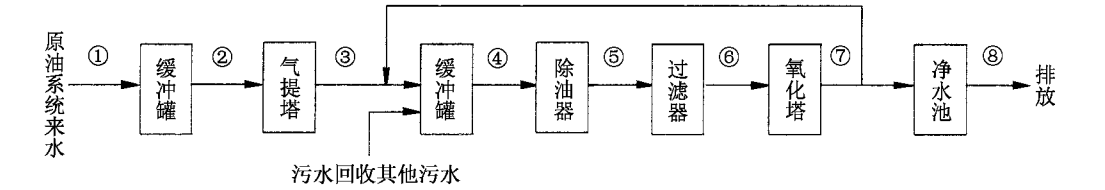


图 3-1-18 涠洲岛陆地终端污水处理流程示意图

现场实例数据表明，污水排放中，油污含量可控制在 20mg/L 以内，可以达标，但 COD 指标却超标严重，实例 COD 值如下（对照图 3-1-18 中各点）（单位 mg/L）：



工业污水处理及排放 COD 值，应由当地政府据排放场所、地区不同给予当地的控制值。涠洲岛陆地终端控制值为 100mg/L。

（2）原设计中降解技术基本原理和使用条件

原设计中氧化塔是降解 COD 的主要装置，共两套，设计处理能力为 4000m³/d。

氧化塔的工作原理是基于生物膜污水处理法，这种方法是模仿土壤自净所创造的一种人工方法。它利用细菌和菌类微生物 原生动物和后生动物等在填料上生长繁育，形成膜状生物污泥，即生物膜。当油田污水通过生物膜时，其中含有的有机化合物作为细菌和微生物的营养物质被消化掉（氧化分解作用），同时排泄出 CO₂，这一过程的进行促进菌类和微生物的繁育，同时达到降解水中 COD 的目的。

填料上细菌生长和繁育有自身规律，见图 3-1-19。

图 3-1-19 中静止期是细菌为适应新的营养环境所需要的一个过渡阶段。在这段时间内细菌并不分裂，只是个体变大。有的细菌可以没有静止期。对数期是当环境中营养物质的浓度很高时，则细菌按对数分裂增殖。这段时间内细菌的增殖率很高而死亡率很低，处于上升阶段。由于细菌吸收营养和合成细胞质都很旺盛，所以分解有机物的速率也最高。稳定期是细菌充分增殖后，环境中营养物质逐渐减少而代谢产物逐渐积累，使细菌的增殖速率减

慢。细菌的增殖率和死亡率相平衡，细菌总数保持不变。这段处于生长率下降阶段。衰老期则是环境中营养物质已消耗殆尽而代谢产物越来越多，细菌所需的养料只能依靠消耗细胞内所贮存的营养物，从而进入内源呼吸阶段。此阶段细菌死亡率增大，细菌数大大减少。

不同的菌种对水质的营养物种类和其它因素的适应能力各不相同，水中的盐类和残油往往不是所有细菌都能适应的。因此，通过生物膜法达到降解 COD 的目的，必须是降解的有机物确是膜上细菌所需要的“食物”，同时，必须使菌种和微生物的生活习性与外界条件（盐含量、残油及温度等）相适应，细菌的繁育才能正常进行。否则，某些客观条件的差异，也会导致细菌中毒而死亡，从而失去降解有机物的能力。

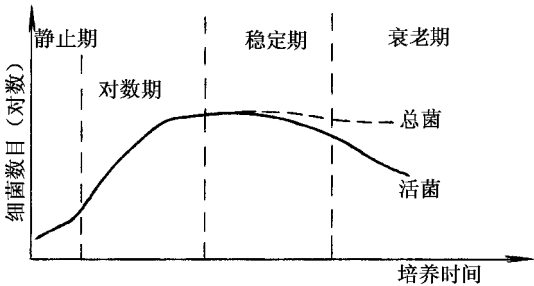


图 3-1-19 细菌生长规律曲线

(3) 涠洲岛陆地终端厂 COD 超标原因

针对 COD 超标与有关科研单位合作共同分析和查找其原因，结论为：

- 1) 生物膜法降解 COD 必须具备的三个条件
 - ①针对引起污水 COD 的有机化合物选择相适应的菌种。
 - ②保证充足和连续的含有机物污水，促使微生物的生长和繁育。
 - ③影响细菌和微生物生长的其它因素，应尽可能减少和降低或者相适应。

以上三个条件涠洲岛终端厂均不具备。

2) 化学药品对 COD 的贡献

原油处理系统中添加的各种化学药品给 COD 增长造成了一定的贡献。根据科研单位所提供的部分化学药品对 COD 的贡献，见表 3-1-7，可以看出，化学药品的含量，对 COD 贡献呈线性关系，而在原油生产过程中，这些化学药品又是不可避免的，这就增加了污水处理排放 COD 达标的难度。

表 3-1-7 部分化学药品对 COD 贡献 单位：mg/L

COD 浓度 药品名	药品浓度		
	10	20	30
三甘醇	20	40	70
烷基胺	30	70	130
IMC-80	20	50	90
破乳剂	20	40	70

注：贡献值取近似整数；实测值与计算值基本吻合。

(4) 适用于涠洲岛陆地终端生产污水 COD 降解技术的选择

污水净化一般分为三级（见表 3-1-8），涠洲岛陆地终端生产污水 COD 超标主要为难降解有机物，因此，对于涠洲岛陆地终端生产污水，不是一般方法所能胜任的，应属于深度

处理，即三级处理。

表 3-1-8 污水的分级处理

处理级别	去除对象	净 化 率	处 理 方 法	特 点
一级处理	不溶解的污染物，酸碱 寄生卵	BOD 35 % SS 60 %	格栅、调节、沉淀、过滤、中积、混凝等	设备简单，费用省，但仅是污水初步净化
二级处理	可降解有机物	BOD90 %， SS90 %， N55 %， P30 %	活性污泥法、生物膜法、沼气等生物处理方法	能去除水中部分有机物，但不能防止水的营养化
三级处理	难降解有机物和溶解性有毒无机物	上述四项指标都有所改进	吸附、电渗析和电解氧化、反渗析、臭氧氧化和化学催化氧化等	处理效果好，费用高

科研单位针对涠洲岛陆地终端污水性质，对超临界水氧化法、光化学降解法、声化学降解法、电化学催化氧化法和一些其它方法比较分析，最后推荐使用电化学催化氧化法。

电化学催化氧化法其主要优点是不产生一氧化碳和氮氧化合物，可在低温下操作，处理工艺相对简单，电流利用效率较高，具有广泛适应性，自动化操作可检验性及与环境可兼容性。其难点是需要选择适宜的高效、无毒、经济的阳极材料。

(5) 电化学催化氧化法的基本原理和使用条件

电化学催化氧化法是通过阳极反应直接降解有机物，或通过阳极反应产生羧基自由基（—OH）。臭氧一类的氧化剂降解有机物，这种降解途径使有机物分解更加彻底，不易产生毒害中间产物，更符合环境保护的要求。

电化学催化氧化法的催化氧化法的技术关键是不溶性阳极材料的选择。所选择的不溶性阳极材料必须是对所降解的有机化合物电流效率达到工业要求，同时它必须是稳定的，使用寿命和价格是工业实际所能接受的。这是一个较大的技术难题，直到 20 世纪 80 年代后才取得了较大进展，并开始了对特种难生物降解的有机物废水进行处理。

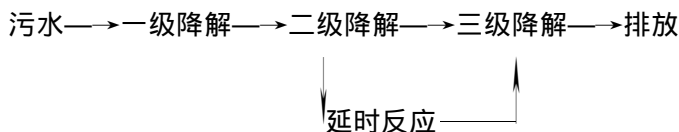
电解质是必须考虑的另一主要因素。电解质对有机物电化学催化氧化过程的影响体现在两个方面：一是电解质浓度增加，意味着导电能力增加，槽电压降低，电压效率提高；二是电解过程会产生复杂的电化学反应，不同的电解质会发挥不同的作用，例如存在 Cl 时，电解过程中会产生 Cl₂、ClO⁻，存在 SO 和 CO 时，会在阳极被氧化为过硫酸盐和过碳酸盐，从而增加对有机物的氧化降解能力。

通常在实际废水中，投加电解质是不经济的。相反，实际废水中存在那些无机物，具备多大的电解率，可以作为是否采用电化学催化过程降解的一个依据。

根据确定的阳极材料和实际污水水质，才能确定电化学催化氧化参数和选择工艺流程，然后进入电极结构和电解槽设计、制作，从而实现电化学催化氧化降解 COD 的实际使用。

(6) 模拟三级 COD 处理小型装置现场试验结果

由武汉高压研究所新技术公司及武汉兴达技术有限公司共同提供小型装置，并进行了现场模拟试验。其工艺流程如下：



试验在现场进行，并取得了较好效果，见表 3-1-9。

表 3-1-9 降解 COD 现场模拟试验结果

污水流量 L/h	一级入口 mg/L	一级出口 mg/L	二级出口 mg/L	三级出口 mg/L	备 注
300	437.5	169	0		相当日处理量 150m ³ /d。为设计装置的处理量
	639	265	109	36.7	
	495	98.6	0	0	
400		263	40.1	13.6	相当日处理量 200m ³ /d
		179.5	18.4		
500	495	281	55		相当日处理量 250m ³ /d
	345	172	30		
600	553	323.1	215.4	125.0	相当日处理量 300m ³ /d，是设计处理量的 2 倍

由表 3-1-9 提供数据可以说明，在设计流量范围之内二级出口即可达标；在不超过设计排量 1.6 倍范围内，三级出口可以达标；超过二倍排量，三级出口不能达标。

现场实验数据表明，每降解 1kg COD 耗能约 27kW 电能。

四、开式排放系统及其污水

开式排放系统主要是收集平台各处敞开于大气的水、污水和油污，并进行处理。有的平台的开式排放系统又可以分为非含油污水排放系统和含油污水排放系统。

1. 非含油污水排放系统

非含油污水排放系统由于收集和排放的是不含油和对海洋不会造成污染的水，主要是生产流程中多余的海水，处理后的生活污水，冷却设备水、冷凝水、反冲洗水以及下雨时从各甲板和直升飞机坪（甲板）汇集起来的雨水，因此该系统不采用任何处理设备，只是用管子将各排放口连接，最后汇集到一根总管直接排入大海。

2. 含油污水排放系统

含油污水排放系统的作用是将生产、公用系统中的含油污水进行收集和处理，达到排放标准后排入海中。该系统主要设备有开式排放罐、污水泵等。

开式排放罐是该系统最重要的设备，如图 3-1-20（图 11-4PUQ 的开式排放罐）是一个典型的开式排放罐示意图，其外部主要有各种接口管嘴，仪表、阀门，人孔及插入式加热器等，内部主要有与水平面线成 45°角的一组斜板，油水隔板和导油管等。开式排放水从“1”口进入集装箱，经过斜板时由于油水重度不同，油滴沿着斜板面向上浮起，在水面上聚结成油层，油层通过集油管到集油箱。污水从“2”口流出排海或进行进一步处理，集

油箱里的油通过污油泵打回油气处理系统。这种开式排放罐的主要技术参数：

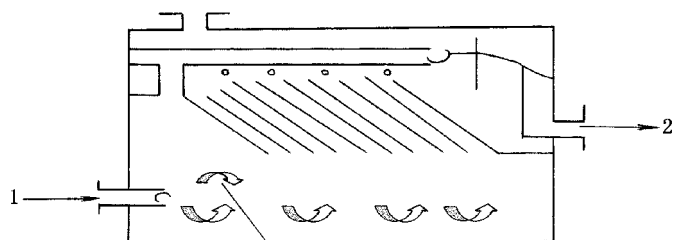


图 3-1-20 罐 11—4PUQ 的开式排放罐示意图

尺寸：4026mm × 1439mm ×

2440mm

处理量：42m³/h

操作条件：0.103MPa/50℃

板组数：1 组（50 片）

板片尺寸：1200mm × 1000mm

板片间隙：15mm

加热器功率：6.0/7.0kW，回收油泵则是用于将排放罐中的原油

打到原油处理流程。

3. 开式排放系统的操作

开式排放系统由于收集的是各处与大气相连的含油液，因此它是在常压下工作，操作中主要注意控制罐内的液位和温度。正常情况下液位和温度都是自动控制，设定好报警值，将液位和温度限制在所要求的范围内，一般的开式排放罐也提供了就地的手动控制的功能，可以就地开启或关停泵来保持罐的液位，就地关断或开启电热源（或热介质）来保持罐的温度。

第二节 注水及水质处理

海上油田注水水源有三个，一是来自海水，这对海上油田来说是取之不尽的水源；二是地层水，地层水是油气伴生的产物，经处理合格后做为注入水回注地层，既减少了污水排放的污染，又能达到配伍性好；三是采取浅层水作为注入水，这是由于一些海上油田在浅层部位含有大量的浅层水，采用这些浅层水工艺又简单。另外，可根据油田的具体情况可以采取海水、地层水、浅层水混注方式。无论采取何种水源都必须在充分研究注水对油层是否能造成伤害以及是否配伍后才能决定。

以下主要叙述注海水、注污水、注浅层水以及混注的水质处理及注水工艺流程。

一、注海水

1. 海水水质

作为注水水源的海水，是由海平面以下一定深度提取，海水具有高矿化度，一般为 3500~4000mg/L，海水中还含有注入油层后会对油层造成伤害的物质，主要有：

- ① 水中含有丰富的溶解氧；
- ② 海水中会有一定量细菌；
- ③ 海水中含有大量的藻类及海生物；
- ④ 海水中还有大量的悬浮固体颗粒，这些固体颗粒的含量又受海域、海流、气象等条件影响。

这些有害物质的存在，会给注水工艺流程、注水井、甚至地层，造成结垢、腐蚀、堵塞等伤害，为此，注海水必须对海水进行处理，达到注水标准以后才能够作为合格的注入水注入油层。

2. 注入海水的水质标准

不同地域和不同油田，凡要以海水为注入水源，都应制定相应的注海水水质标准。

制定各油田的注海水水质标准应遵循以下原则：剔除海水中有害物质的数量，满足注水后不会对流程、井身和地层造成腐蚀、结垢、堵塞；在充分考虑水质要求的基础上要考虑处理设备的体积、重量以及经济合理性；注入海水必须与地层配伍性好，不会对地层造成伤害。

渤海油田的绥中 36－1 油田是开展注海水较早的油田，其制定的绥中 36－1 油田注水水质标准见表 3－2－1。

表 3－2－1 SZ36－1 油田注水水质标准

项 目		水质标准
溶解氧含量，mg/L		≤0.01
硫化氢含量，mg/L		≤0.5
总铁含量，mg/L		≤0.5
亚铁含量，mg/L		≤0.5
滤膜系数		>10
悬浮固体含量，mg/L		≤5
悬浮固体颗粒直径	N%	≥95
	V%	≥80
SRB 菌，个/mL		≤100
TGB 菌，个/mL		≤10000
平均腐蚀率，mm/a		≤0.076

3. 注水处理的主要方法及设备

(1) 加氯装置

加氯装置是由给水泵、发生器、除氢罐、鼓风机、加压泵、及整流器等组成（见图 3－2－1）。

从海底门抽取海水，在发生器中电解产生次氯酸钠和氢气，电解后的产物在除氢罐中由鼓风机在上部吹入空气，稀释氢气，并安全排入大气，次氯酸钠溶液由增压泵送至注水管汇中，起到杀菌和海生物的作用。

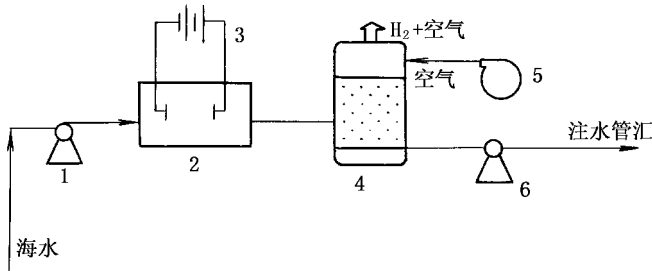


图 3－2－1 加氯装置示意图

(2) 过滤装置

海水过滤一般经多级过滤的方式进行，在海水注入到井口之前设有三至四级过滤，首先，在提升泵入口处，海底门下，有一个较粗的滤网，挡住体积较大的杂物、海生物和藻类，使这些体积较大的物体不至于进入到流程中来；第二级过滤是粗

滤器，它可以滤除海水中较大的悬浮固体；第三级为细滤器，它可以滤除大多数颗粒较小的悬浮固体；第四级是在进入井口之前，再增加一级精细过滤器，进一步滤除直径更小的悬浮固体颗粒。海水过滤装置中主要设备是粗、细过滤器，下面简单叙述一下粗、细过滤器。

1) 粗过滤器

以 SZ36-1 油田为例，粗滤器外壳为一圆筒状（见图 3-2-2），内有一个同心的圆筒金属滤网，镶嵌在容器内，金属滤网壁由外向内网眼变细，最内层可以允许 $<100\mu\text{m}$ 颗粒物质通过。海水入口由上部进入，在压力作用下，通过滤网进入到容器与滤网之间的环形空间，由出口排出，杂质及藻类物质被截留于网内；在滤网内设置一“毛刷”，是用来进行反冲洗的，当进行反冲洗时，电机带动毛刷转动，水流方向与处理过程反向，将截留杂质及藻类物冲刷出粗滤器。

经过几年的实践证明，由于滤网的孔隙太小，在短期内滤网就破损严重，后经改进，适当加大了网的孔隙，效果较好。

2) 细过滤器

细滤器其结构原理基本上与在污水处理系统中介绍滤罐相似，只是内部介质有所不同，不在赘述。

(3) 脱氧装置

为脱除海水中存在的对注水流程、井身及地层有害的溶解氧和其它气体，海水处理系统必须设置脱氧装置，脱氧塔装置一般由二级脱氧塔、真空泵、空气射器及其它配套管系、压力表和安全阀等构成（见图 3-2-3）。

脱氧塔一般具有真空脱气和化学脱气两种功能。

1) 真空脱氧

真空脱氧的基本原理是，依靠真空设备提供的真空压力，降低塔内的气体分压，使海水中溶解的气体逸出，并被抽出，从而达到除去海水中的溶解气体的目的。

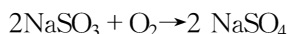
一般真空脱氧可以使海水中含氧量降到 0.05mg/L 以下。

为使海水中的含氧量达到注水要求的 0.01mg/L 以下，还必须进一步采取化学脱氧方法。

2) 化学脱氧

化学脱氧的基本原理是：加入化学药剂，可与溶解氧通过化学反应生成无腐蚀性产物。这些化学药剂称为除氧剂（或脱氧剂）。

① 亚硫酸钠或亚硫酸氢铵：



理论上需要 8ppm NaSO_3 与 1ppm 的 O_2 起反应，实际上常用的比率是 $10:1$ 。在正常操作温度下，亚硫酸钠或亚硫酸氢铵与氧的反应通常是非常慢的，因此，一般需要加催化剂。硫酸钴是最常用的一种催化剂。

② 二氧化硫：

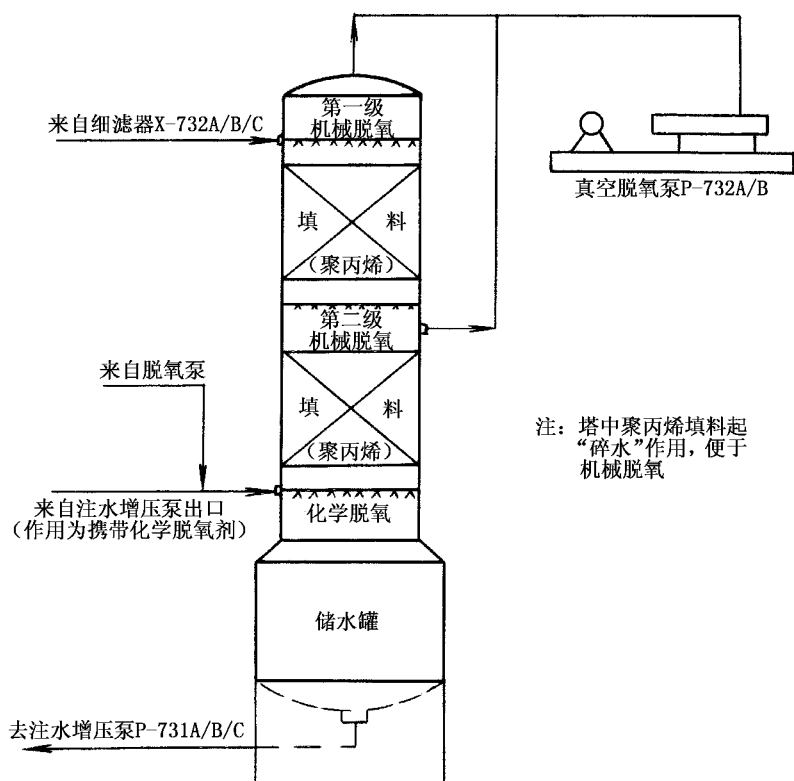
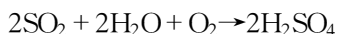
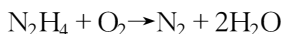


图 3-2-3 两级真空脱氧塔示意图



在这一反应中，1ppm 的氧需要 4ppm 的 SO_2 。与亚硫酸钠一样，这种反应通常需要某些化学物质如硫酸钴作为催化剂。二氧化硫是气体，它比亚硫酸钠价格低，用量也较少。但它用得不如亚硫酸钠那样普遍，因为它不好处理，并且催化剂与其必须分开加。不过，在需要大量脱氧剂的地方还常常使用它。但使用二氧化硫作脱氧剂时，不能过量，否则会降低水的 pH 值，产生腐蚀。

③联氨：



在正常操作温度下，联氨与氧的反应非常慢，油田上不使用。由于联氨在 3.3°C 以上时会迅速地氧发生反应，因此主要用于高压锅炉。

(4) 配套的化学药剂注入系统

与海水处理流程相匹配的还有化学加药系统，输送海水的增压泵、注水泵系统，以及对海水的计量系统等。

化学药剂注入系统，包括相应的化学药剂罐，通过比例泵将所需添加的防腐剂、防垢剂、缓蚀剂、脱氧剂、催化剂、杀菌剂、消泡剂等加压送至流程中设计的各点，流程设备简单不再叙述。

泵系统，是根据油田设计的注入压力，选择相适应的压力、排量，起到了输送、增压作

用，直至将处理后的合格注入海水，输送至各井口，注入地层。

配套的计量系统，是分段计量输送的水量，是注水管理需要录取的重要数据。

在各设备上都应设立相应的排放口，取样口等，便于维修和取样分析等用途。

4. 海水处理实例

以绥中 36-1 为例。

(1) 主要设备构成，及处理能力

绥中 36-1 油田海水处理系统由加氯装置给水泵、加氯装置、海水提升泵、粗滤器、细滤器、脱氧塔、空气喷射器、真空泵、化学药剂注入装置组成。该流程设计最大处理量为 $286.1\text{m}^3/\text{h}$ ；最小处理量为 $60.1\text{m}^3/\text{h}$ 。

(2) 水质要求

执行渤海公司制定的标准。

(3) 工艺流程描述

设在明珠号上的海水提升泵将海水从海底门提升加压进入海水处理流程，先后经由粗滤器、细滤器、脱氧塔、逐级过滤、脱氧后进入注水增压泵，由海底管线输送至各生产平台，各生产平台将分配来的处理后海水经过注水泵进一步增压后进入注水管汇，由注水管汇分配至各注水井（见图 3-2-4）。

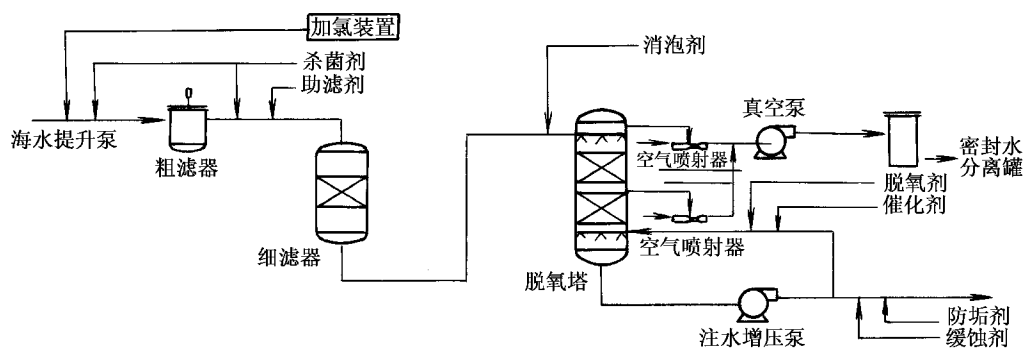


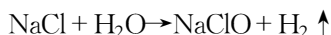
图 3-2-4 绥中 36-1 油田海水处理系统流程图

海水处理系统的流程及设备叙述如下：

①水提升泵：海水提升泵 F-P-1-2102A/B，其单台设计提升水量为 $550\text{m}^3/\text{h}$ ；设计出口压力 1200kPa 。明珠号的海水提升泵提升的海水有两个用途，一个是供注入水，一个是分流一部分作为进舱原油冷却水。

②加氯装置：加氯装置由供水泵、发生器、整流器、控制面板、除氢罐等组成。供水泵 F-P-2104A/B，是用来提供电解用的海水，其设计排量为 $19.3\text{m}^3/\text{h}$ ，设计压力为 540kPa ，生产过程中一运、一备。

发生器有 GN-1，GN-2 两台，每台有 4 个 MKI 电解管组成，电解管由内向外电极分正负两极构成，用来电解的海水在电场中高速通过，被电解，其反应式为：



整流器：整流器是用来提供电解用的直流电，通过整流器将 220V 交流电整流成 24V 直流电，供给发生器。

除氢罐：除氢罐是为了剔出电解后产生的氢气，防止进入流程，采用的方式是空气稀释，排入大气。

产生的次氯酸钠溶液，经脱氢后分别注入提升泵的入口和出口，设计浓度为 0.25mg/L 和 2mg/L；起到杀菌和杀海生物的作用。

③粗滤器 F-X-731A/B/C：来自海水提升泵并加注次氯酸钠的海水进入粗滤器，在压力的作用下从过滤筒内部沿径向朝外流动，穿过设置的过滤网与容器的环形空间，流到出口，完成了粗滤过程。

粗滤器可以滤除直径大于、等于 100 μ m 以上的所有悬浮固体体积总数的 98%。

粗滤器需进行反冲洗作业，反冲洗有三种方式，一是压差控制法，即由粗滤器进出口设置的压差计来控制，当达到设定的压差值（设定为 0.34MPa）时，通过自动控制切换成反冲洗状态；二是定时控制，即通过设定一个时间，如 8 小时或 12 小时，当运转到设定时间，通过自动控制系统就可切换成反冲洗状态；三是手动操作，即人工到达现场，手动启动反冲洗系统。

④细滤器 F-X-732A/B/C：来自粗滤器出口的海水，除一部分分流去往原油冷却系统作为冷却和少量用于脱氧塔密封水外，其于海水进入细滤器进行进一步处理。

细滤器内部填充料分为三层，从上至下为：

过滤介质	粒径，mm	填充厚度，mm
无烟煤	0.8~0.9	457
粒砂	30~40（目）	305
细砾石	8~12（目）	203

进入细滤器的海水，在压力的作用下，由上至下透过三层过滤介质，过滤介质拦截了水中直径大于、等于 5 μ m 的悬浮固体体积 95% 以上，达到了进一步净化海水的目的。

与粗滤器相同，也设有自动和手动方式的反冲洗控制系统，其原理基本相同，不再重复描述。

⑤脱氧塔：脱氧塔内，由上至下为一级填料段、沟槽式水再分配器、二级填料段和盛液段组成。

两级填料段是由聚丙烯材料制成的鲍尔环充填，起到碎水、聚集水中气体的作用，沟槽式水再分配器起到保持两级填料段之间不同真空度的作用。盛液段主要是用来进行化学脱氧。

真空泵给脱氧塔提供的真空压力（设计压力为 -98.7~-99.36kPa），将脱氧塔内脱出气体抽出。通过二级填料段，设计水中含氧，降低到 0.05mg/L 以下。

化学脱氧是在盛液段内进行，利用最终处理后的合格海水作为携带液，与脱氧剂充分混合后注入到盛液段内，在盛液段内，脱氧剂与残留氧发生化学反应，设计使水中含氧量降低到 0.01mg/L 以下。

从脱氧塔出口的海水，经两级过滤和脱氧后，产生符合注入标准的海水，设在明珠号的注水增压泵将这种水输送至各用户。

沿海水处理流程系统，分段添加不同类型的化学药剂，绥中 36-1 油田经多年实践，进行了流程调整、改造，化学药品筛选和国产化，取得了较好效果，见表 3-2-2。

5. 海水处理过程中应注意事项

绥中 36-1 油田自 1995 年开始注海水，回顾几年来所遇到和解决的问题，值得在今后

表 3-2-2 绥中 36-1 油田注水措施前后水质分析对比表

项目	溶解氧 ppb	悬浮物 mg/L	总铁 mg/L	硫化物 mg/L	滤膜系数	粒度分布 $d \leq 5 \mu\text{m}$	TGB 个/mL	SRB 个/mL
标准	≤ 10	≤ 5	≤ 0.5	≤ 10	> 10	$P \geq 80\%$	$\leq 10^3$	$\leq 10^4$
流程整改前 (加药)	150~200	17	0.50	0	7.5	45	250	62000
流程整改后 (未加药)	150~200	9.1	0.50	0	8.6	52	0	< 10
调整进口药 剂用量	≤ 10	5.5	0.45	0	≥ 15	≥ 85	6	< 10
国产药剂	≤ 10	5.0	0.45	0	≥ 10	≥ 80	25	< 10

注：P 表示颗粒直径 d 小于等于 $5 \mu\text{m}$ 的累积体积占颗粒总体积的百分比；取样点：SZ36-1 油田 FPSU 注水输送泵；P-731 出口。

①海水处理设备的选择十分重要。绥中 36-1 油田原投产使用的进口粗滤器，很快就滤网破损，后经多方调研，重新改造了粗滤器，才使粗滤器运转正常；同样情况，脱氧塔所用真空泵也有类似过程。

②化学药品的添加合理性只有在投产后逐步完善。绥中 36-1 油田投产初期使用的化学药剂均采用了进口产品，经现场人员和技术人员相结合，多次的室内和现场试验，才最终实现了化学药品国产化和加药比例的确定，处理后海水水质逐步达到设计要求。

③海水处理流程应定期进行检修。由于在生产过程中，不可避免地会造成脱氧塔内部鲍尔环被附着物覆盖，造成碎水效果降低；细滤器由于反冲洗作用，无烟煤流失，降低过滤效果，类似这种情况，各设备、容器都有发生。为此，海水处理应定期停产检修，将生产过程中暴露出的问题，采取集中处理方式。

④海水处理流程的闸阀选择应充分考虑环境条件，和加强现场维修管理。由于环境条件属于高湿度、高含盐量，再加上闸阀渗漏，外腐蚀十分严重，所以在建造初期就应从选材上充分予以考虑，选择耐腐蚀性较好的闸阀，同时，也应在日常生产管理中，加强维护和保养。

⑤注意输送海水的海底管线管理，防止结垢。
绥中 36-1 油田，曾因海底管线结垢后造成输水量大幅度下降，后经酸处理后才将输水量恢复到原水平。

今后的输海水海底管线管理还需摸索经验，通球作业不应停止。

二、污水回注

回注污水来源于油田伴生水，经污水处理系统处理后达到国家规定排放标准的工业废水。当这种污水符合油田回注水标准时，不需再增设深度处理的流程和设备，否则，就需增设深度污水处理设施，对经污水处理系统处理后的污水进行再处理，以满足回注水水质要求。

目前我国海上油田有埕北油田实施了污水回注，由于所利用的埕北污水，水质基本达到了污水回注水质标准，所以没有增加新的污水再处理设施。

1. 污水回注水质标准

各油田应根据油田情况，制定相应的污水回注水质标准，渤海油田在埕北油田进行污水回注后制定了相应的注水标准，见表 3-2-3。

表 3-2-3 埕北油田污水回注水质标准

项 目	指 标	项 目	指 标
悬浮固体，mg/L	≤5	滤膜系数	>10
含油，mg/L	≤30	颗粒分布	$D \leq 5 \mu\text{m}, P \geq 80\%$
溶解氧，mg/L	≤0.5	SRB，个/mL	≤10 ⁴
总铁，mg/L	≤0.5	TGB，个/mL	≤10 ³
硫化物，mg/L	≤10		

注：表中 P 表示颗粒直径小于等于 5 μm 的颗粒体积占颗粒总体积的百分数。

2. 污水回注流程举例

在不需要对污水进行再处理的前提下，来自污水处理系统的污水只要通过缓冲罐由注水泵加压输送至注水管汇后再分配给单井，其流程简单。具体以注污水较早的埕北油田（图 3-2-5）为例。

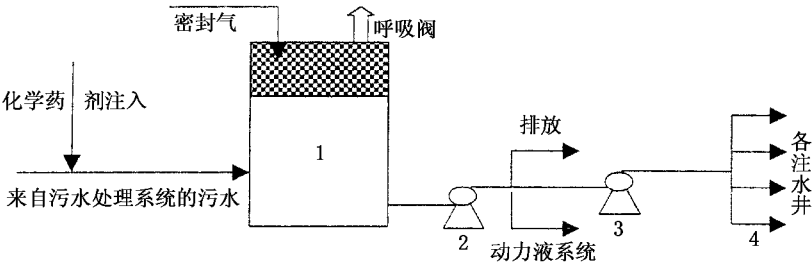


图 3-2-5 埕北油田注水流程示意图

1—净化水缓冲罐；2—增压泵；3—注水泵；4—注水管汇

污水处理流程来水首先进入净化水缓冲罐，缓冲罐上部有天然气注入口，设计注入天然气（100mmH₂O 压力），这是为了防止氧气进入；顶部设有呼吸阀；增压泵将污水提取供给注水、动力液用水系统及排海，来自注水的污水经注水泵增压至 10MPa 通过注水管汇分至各注水井。与之配套的净化水罐液位控制仪表及泵的压力控制系统不再详细叙述。

3. 污水回注的注意事项

①污水回注由于污水流程是密闭运行，其含氧量应是合格的，但是在生产过程中应防止破坏密闭状态，如处理流程的开盖等。

②污水处理的质量取决于原油、污水两大处理系统的稳定，任何一个流程不稳，都会影响到最终的污水处理效果，所以在管理过程中要全面，注意最终结果的同时要注意中间环节。

③污水由于温度高，含有一定量钙及碳酸根离子，易结垢，应加强相应防垢措施。

三、注地下水

1. 地下水的水质来源及水质

海上油田的地下水，采取于所在油田区域内浅层水，这取决于油田所在位置是否存在足够量的可采浅层水。渤海海域内由于馆陶组层系发育普遍，具有较厚地层和储量较大的浅层水，所以一般都有足够的水源。

采于地层的水作为注入水水源，其水质一般都具有矿化度较高，含有一定的铁、锰等离子，以及带有一定量的悬浮固体颗粒等，不同地域，不同层系，其对作为注入水的各种有害物质含量不同。

2. 地下水处理方法。

目前海上油田还未开展过注地层水工作，如渤海渤西油田设置了注地层水的工艺流程，以及 JZ9-3 油田也有提取浅层水工艺，但真正注入工作未实施。

地下水的处理方法，取决于水源中所存在的有害于注水流程及油层等物质的存在，处理目的是除去这些有害物质。

针对地层水中含有一定量的固体悬浮颗粒，设置了除砂、粗滤器、细滤器，进行逐级过滤的方式。由于过滤装置的构造和原理与海水处理系统基本相同，所以这里不再重复叙述。

3. 地下水注水水质标准

真正作为注入地层的任何一种水，都应制定相应的注入水标准，制定地下水注水水质标准的原则是：

- ①不同油田应制定相应的适合本油田的注水水质标准，应由主管生产部门组织制定；
- ②要录取地层水的水质资料，清楚水中各种物质含量；
- ③针对地层水中各种物质含量，确定是否在注入油层后给油层造成伤害，从而提出要求提出的有害物质，及其要求达到的程度。
- ④制定资料录取项目、录取频度及要求等。

4. 地下水处理工艺流程举例

以渤西油田歧口 18-1 平台为例（见图 3-2-6）。

渤西油田歧口 18-1 平台设置了一套完整的注地层水工艺流程，见图 3-2-6。但是，截止到 2000 年，注水未启动。其主要设备有地下水泵、除砂器、粗滤器、细滤器、缓冲罐、注水泵及相匹配的化学注入系统、仪表控制系统、注水管汇及计量系统等。

提升泵（P-501）将地层水由采水井中提出，经砂滤器、粗滤器、粗细滤器三级过滤，逐级由大到小滤除水中含的固体颗粒。由于 2000 年海上油田注浅层水工作并未有实施，所以缺少实际进行操作的经验，这就需要在今后实际工作中注意发现矛盾和解决问题，通过实践加以总结和提高。

四、混注

1. 混注类型

海上注水水源有三种，海水、浅层水和污水，采取混注方式可以有以下四种组合：

- ①海水、浅层水和污水三种水源混注；
- ②海水与浅层水混注；
- ③海水与污水混注；
- ④浅层水与污水混注。

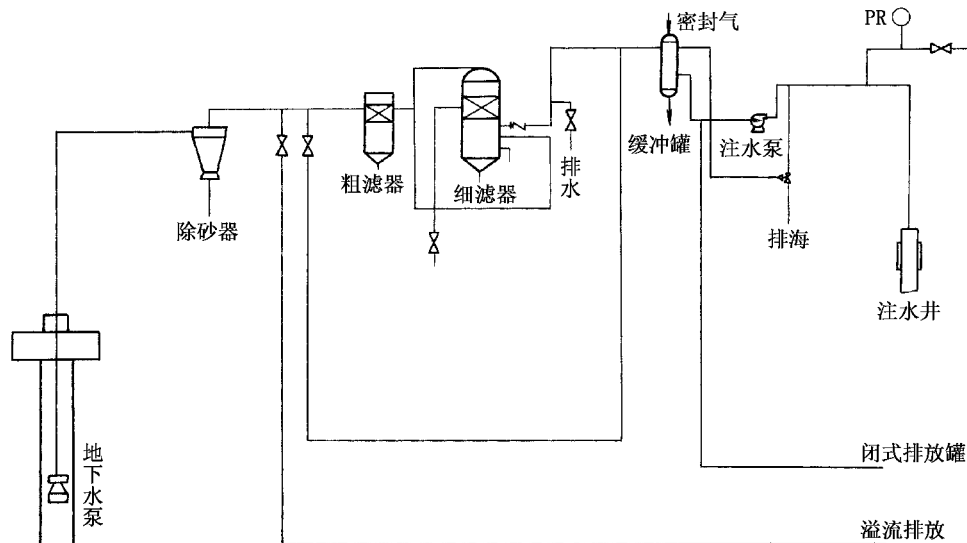


图 3-2-6 渤西油田歧口 18—1 平台注地层水工艺流程

2. 混注原则

(1) 相容性

包括混注水之间的相容性和混注水与地层水之间的相容性。

1) 混注水之间的相容性

采用化学试验分析、结垢的判断方法或通过计算机结垢预测软件确定混注水之间是否会发生沉淀及结垢。

2) 混注水与地层水之间的相容性

①通过化学试验分析、结垢的判断方法或通过计算机结垢预测软件确定混注水与地层水是否会发生沉淀及结垢。

②通过地面岩心试验，确定混注水与地层岩石是否会发生盐敏、酸敏、碱敏、速敏、水敏效应以及确定是否有粘土膨胀和颗粒运移等问题。

(2) 混注对设备的要求

采用混注方式，是基于海上油田各自设置了海水、浅层水和污水处理系统的基础上。很显然，如采用三种水源同时混注，同时设置三套水处理流程，占地面极大，是十分不经济的，而且三种水源混注增加了配伍性难度，所以不宜采取三种水源同时混注。

在采用两种水源混注条件下，由于受水源水质性质、温度、操作压力等影响，结垢是较大矛盾。通过室内试验表明，在操作压力、温度不变，水质相对稳定状况下，其两种相混的水源受比例限制。实验可以找出相对合理的配比，但是，现场保证相对困难，所以要求设备和流程具有一定的防垢能力，同时应在流程注入阻垢剂和防腐剂等。

目前海上油田缺少混注的实践，当今后开展混注后，再进一步摸索和总结经验。