

海上采油技术

石油化学工业出版社

目 录

海底分离器.....	1
用增塑方法解决海上油井出砂.....	4
轻便型平台修井机.....	6
用马拉开波湖水注水开采石油的试验.....	9
水下油罐.....	15
海上修井作业现况.....	19
美国库克湾海上油田注水工程.....	30
在深水里用海底导管完井.....	38
库克湾的“火星”号三腿柱平台.....	45
近海平台上的深井水力活塞泵.....	48
布开尼海上油田生产概况.....	51
利用油层压力将原油和天然气混输到陆地.....	59
常压深水完井采油装置.....	66
利用井内流体操纵水下采油树.....	73
波斯湾最大的量油站.....	80

海底分离器

水下两相分离器由锚装置和处理装置两部分组成。这两个装置均为长方形，而锚装置尺寸较小，位于处理装置下边。

锚是由大型管件组成的，尺寸为 34×19 呎（ 10.37×5.795 米），底部用带拉筋的钢板封住。有固定的管路连接到这个锚上，以备把油井的油流输进处理装置，和从处理装置把油、气运走。管路和四个导管被精确地装在锚上，与可上下移动的处理装置上相对应的部分配合起来。锚装置连同空筒体的浸没净重为3,000磅（1,362公斤），它和所有筒体充注水后的浸没净重（负浮力）为93,000磅（41,850公斤）。

处理装置（包括一个单级压力分离器及其辅助设备）处理的油量为15,000桶/日（2,384.8吨）。由于这是第一次进行水下油田作业，对两相装置进行了试验，但是所有的控制装置都可以代表更复杂的装置。

处理装置与锚装置相似，由管结构的长方形基础构成。这个装置在其基础上包括有液-气分离器、操作控制装置和液压操纵绞车。导杆、油流管线接头及固定锁销均装在这个装置上，并精确地与锚装置配合而固定起来。处理装置的仪表及控制装置是装在垂直筒体壳上的，下边留有通路。每一个角落上有垂直压载舱，使其浮心保险地位于重心以上。在这些垂直压载舱的顶部有调节标志，在下入海内以前可以对该装置进行调节。把其他所有压载排干后，仅把潜水舱充水时的排量为4.5吨。处理装置是可以从水底收回，但锚装置却

不能收回。

在把锚装置拖到安装地点以前先把它注上混凝土，装满底板。稍稍把它没入水中就能将处理装置放在锚装置的顶部，然后把整个装置拖到安装地点，用液压动力绞车把锚装置下到海底。在海底管线接上以后，把锚的所有压舱充水，以取得最大浸没重量。

在处理装置上的几个压舱加上水以后，由液压绞车把它拉下就位，液动锁销将其牢固地连接到锚装置上。等到座在海底就位以后，就把液压软管和绞车收回到水面。处理装置上的作业舱是干的，整个装置没有漂浮的危险，该装置能完全在海底进行操作而与水面支持装置无任何连接。收回时与安装时的顺序相反。

在波斯湾海底还将做更多的水下装置试验，包括水下焊接，自给式动力装置，控制装置等。

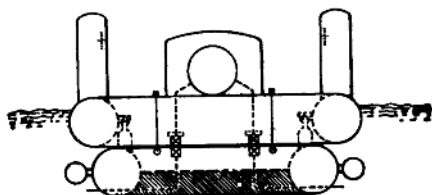


图 1 在下放锚装置前的处理装置（在水位线处）和锚装置之间的关系

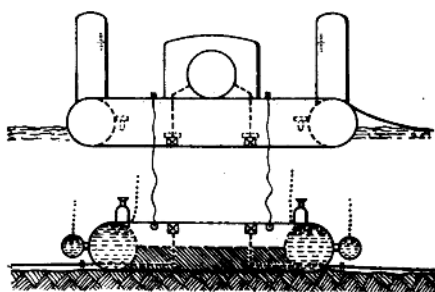


图 2 锚装置已坐落在海底，压载舱充满了水，具有93,000磅(41,850公斤)的负浮力

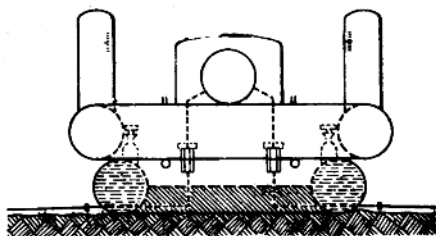


图 3 整个装置及管线已坐落在海底准备进行操作。控制系统放在开底式的工作舱中，作为潜水员检查之用

用增塑方法解决海上油井出砂

在得克萨斯和路易斯安那海上采油的各公司，所采用的完井方法各不相同，但从基本技术来看，对砂的控制问题同一些差不多是标准的方法没有多少出入。

在开采单层的井中采用砾石填充法，虽然不是普遍的趋势，但似乎是可行的，因为可以节省开支并很少造成将来的困难。在海上油井内很少下入筛管，因为那需要把较多的设备放在井底，而这些设备以后修井时是要移掉的。目前有另外几种控制出砂的方法，最常用的是砾石填充或“增塑”。

在多层完井中，多数采用普通的方法。如需采取另外的措施控制出砂时，则“增塑”是最能满足要求的，其中包括砂的控制，一个适度的渗透率水平，和较少的修井问题。

在个别多层完井中，有的操作人员在较下或最下砂层中采用砾石填充法，在较上的一层或几层中采用“增塑”。上层采用砾石填充法，需要在井内加很多永久性的设备。修井时将产生许多问题。

有些操作人员，虽然喜欢砾石填充法，因为它生产效率高，操作事故少，但还是全部采用“增塑”法，包括下层在内，因为一旦现场设备和材料都准备好了，这种方法比较节约而适用。

就修井来说，多层完井是困难的，特别是在海上，油田开发井是按计划井网在固定建筑上钻的。许多井斜度大，双油管柱在井内有互相缠绕的趋势，在斜井中更是如此，在起

油管时，其摩擦力和阻力都要大大增加。成组起出，还比较容易，但困难因素就要增加。倘若从井内同时起出两组油管柱时井有喷出趋势，确实是很危险的。操作人员有时只能采取折衷办法，牺牲了简易的操作而以安全为主。

虽然“增塑”方法对海上油井出砂控制是最好的方法，但操作人员指出，应该承认“增塑”方法的固有特点。它可以形成一个稳定地层和防止出砂的表面，但同时也有限制生产能力的趋势。实际上，它是一层薄的胶结面，帮助控制砂层的完整，对于不同结构的砂层更是如此。但是它的缺点也应予承认。渗透性多少要减低，当井眼内外形成很大的压差时，压力梯度达到压裂程度，任何有效的“增塑”工作都会失败。当考虑一口井的最高效率产量时，不但要注意到油藏条件如饱和度、压力等因素，还要注意到对井壁有影响的压差问题。

轻便型平台修井机

介绍一台组装式的，适用于任何平台的修井装置。该装置，包括循环系统在内，能够很容易地被拆成至少18组件，其中最重的是主泥浆泵和柴油机，重量为39,620磅（19,500公斤）。若在海上使用，该装置可行驶到码头上，拆成部件，用136呎（40米）长的供应船运到工作地点。该装置也能在陆上使用，可以开到井场，其循环系统可分装在四个单独的滑动底座上移动。

这是一台有许多特征的钻机。它可以在公路行驶到陆地工作地点或者到码头，很迅速地在码头上拆开运到任何海上平台。它是一种600马力的符合常规的钻机，井架的承载力为API大钩荷载250,000磅（125吨），钻井深度8,000呎（2,400米），使用4½吋（114毫米）钻杆，也可用2⅝吋（60毫米）油管进行修井。它也是一部轻便灵活的钻机，能用在陆地上进行深井修理和辅助作业。用于海上钻井时，加上一个通用底座，就可以用于任何平台上。钻机带有整套的泥浆系统。

该钻机是一台自走的钻机，带有一个635马力的GM16 V71N柴油机，通过带有一个TC68G型变矩器的6061型传动组进行驱动。从传动组出来以继续到直角齿轮箱，由该齿轮箱驱动MTA型双滚筒绞车。在齿轮箱前端，由推进轴往前带动20½吋（520毫米）的转盘。在直角齿轮箱前端还有一个链系驱动箱，用以带动车身的后轮。

折叠式井架用液压提升和下放。API净高是100呎(30米)，用六道1½吋(28毫米)钢丝绳进行工作时大钩荷载能力是250,000磅(125吨)。

四个部件组成的泥浆系统有两台泥浆泵和两个罐。主泵是PY-7, 6×7三缸泵，由一个GM双6-110柴油机通过一个TC954变矩器和一个TC602变速箱来带动。活塞的尺寸为6~4½吋(152~114毫米)，最大允许压力为5,000磅/吋²(350公斤/厘米²)。辅助泥浆泵为一台PA-8, 4½"×8"三缸泵，由一个GM双6-61柴油机通过一个TC954变矩器和一个TC602变速箱驱动。使用4吋(101毫米)柱塞时最大压力是10,000磅/吋²(700公斤/厘米²)。主泥浆罐配备有振动筛、除砂器、混合和汇集系统，两个用一台GM6-71柴油机通过V形皮带组合带动的6×6离心泵。这样就可以分别驱动每台泵，或同时驱动两台泵。辅助泥浆罐可连接到主泥浆罐或附加容器。这套装置还装有泥浆混合枪、漏斗和集合管汇。

通用井架底座装置包括提升和间隔梁，带有人行道和扶手的安装架，3件底座，2件爬犁，井架起动腿和附属的人行道、梯子等等。装成的底座有8½呎(2.5米)高，12呎(3.7米)宽，85呎(26米)长；爬犁是1¼呎(0.35米)高，12呎(3.7米)宽，59½呎(18米)长。

包括底座在内的全部钻机部件，可由一艘136呎(40米)长的供应船运输。带泵的泥浆系统同钻杆等可作为第二航次的荷载。这种钻机还可以迅速拆成不到20,000磅(10吨)的组件，虽然很少需要整个拆卸的。在码头上，底座和钻机按照卸船的程序装运，以免重复起吊。拆钻机时，可按下列三个步骤起吊：

拉掉几个销子，卸开液压和电力线路，将井架拆下，保

持井架内钢绳穿好，绷绳不要拆下。

拉掉四个连接销子，把空气和液压管线的快速接头拆开，把后轮和柔性接合器分开。把柴油机部分吊走。

把转盘驱动联接拆开，把所有的空气、液压、电力联接切断，拉掉刹车带销子，把控制台和绞车存放在一起，拔掉联接绞车和前底盘的四个销子，吊走绞车。

这样就剩下带着轮子、轴和海上操作不需要的设备的后驱动组的前底盘。所有的荷载物都分别用吊绳平衡地缚好，便于迅速起吊。在安装以后，钻机可以利用钢丝绳拖拉系统，沿着它的底座滑动。该拖拉系统是用一个电力-液压起重机带动的，因此，可以把钻机放在任何一口井上，不必拆下和放倒井架。

用马拉开波湖水注水开采石油的试验

委内瑞拉某石油公司于1965年3月开始使用一个试验注水厂，以便确定用马拉开波湖水向拉马油田西翼始新统C-6U油层进行注水时所需设备的大小和类型；并在制定整个保持油层压力注水方案之前，取得所需的其它数据。

先在岸上建造了一个组装式注水厂，然后把它装到注水井平台上，以探索始新统C-6U油层井的吸水性能。该油层是拉马油田的较大油层之一，从最初采油以后，它的井底压力下降了 $1,377\text{磅/时}^2$ (97公斤/厘米^2)。由于井底压力下降，许多油井的油都不能流到集油站去。根据早期的注水试验结果及其他经验数据，确定该注水厂的设计标准为：

注水率每天 $1,500\text{桶}$ (240米^3)，压力为 $1,200\text{磅/时}^2$ (84公斤/厘米^2)；去除藻类 0.5微米 以上者， 120ppm ；去除氧 10ppm 。

淡水从湖面以下 30呎 (10米)处泵汲，排量为每分钟 500加仑 (315升/秒)；排出压力 80磅/时^2 (5.6公斤/厘米^2)，使用一个装在静水井内的小离心泵。静水井内装有中间法兰，可以缩短泵口深度，以便使用高处水位的水。水通过能除去 0.02吋 (0.50毫米)以上杂质的筛网过滤器泵出后，到硅藻土过滤系统，把 5微米 以上的藻类和其他杂质除去。

过滤系统的过滤面积为 $1,000\text{呎}^2$ (92.9米^2)，在 31.5升/秒 的设计流量下，过滤速度是每平方呎为 1.89升/分 (0.5加仑/分)。该系统有两个卧式容器、立式叶片形过滤器、硅藻土

储存箱、配浆罐、补充罐、计量泵和预敷循环泵、升液管、套筒滤器和一套自动连续操作的控制系统（但往储存箱内加干的硅藻土除外）。通到每个滤器的水是由流量阀控制的。计量泵连续地注射助滤剂，使注入量同除去的固体颗粒保持1:1的重量比。助滤剂还堆积在叶片上增加泥饼的深度，使泥饼保持孔隙，以免过早地堵塞水流。

为了控制腐蚀，该系统装上一个脱氧塔，高19½呎（6米），直径3½呎（1米），有10个塔盘，每个塔盘装有塔盘阀，距离为18吋（458毫米）。每个塔盘有两个观察口。脱氧塔的设计是利用含有70%的甲烷天然气去除掉1%的氧气。最大的水通过量是500加仑/分（315升/秒），气通过量是0.2~0.6呎³（5.66~16.99升/秒）。塔顶压力约为0.5呎/吋²（0.1公斤/厘米²）。

水和天然气进口阀由处理过的水罐内的液面自动开启。天然气由流量阀控制，天然气流量根据流到塔内的水作比例控制。气和水的比例是可变的，由人工调节。

盛处理水的储罐高为16呎（4.8米），直径12呎（3.65米），容量为300桶（48米³）。该罐的主要作用是在清洗和预敷周期中有一个滤器不流时，给注水泵供水。

注水泵装置包括一台720匹马力的燃气内燃机、一个增速器、一台带有自动操作控制的多级卧式离心泵。

从附近的计量站，通过一条4吋（101毫米）管线，得到压力为200磅/吋²（14公斤/厘米²），60°C的天然气，其用途是：

发动机燃料和起动气体；

脱氧塔的脱氧剂；

净水储罐的覆盖气体；

操作仪表系统用的空气压缩机。

压力为200磅/时² (14公斤/厘米²)的天然氣通过两个除液器将其中的液体除掉。第一个除液器是离心式的,利用固定叶片使气流发生旋转动作,将液体自主流中分离出来。该液体就被凝液收集器除去。第二个除液器是立式筒状结构。装在10吋(254毫米)管子上,管子有一个管帽底盖和一个盲板法兰顶盖。用液面控制器操作底部管线上的控制阀,使液体沉下来并从底部流出。

注水泵的出口管线,装有测量和记录仪表,以测量和记录注入井内的水的流量、压力和温度。

从除气塔的进口和出口管线以及注水泵的出口管线测量腐蚀率。这是用一个电瓶操纵的活动腐蚀计和分析腐蚀样片测出的。

此外,在上述管线中每节能拆下的管线内,均放有腐蚀试验管。

试验结果指出:

该试验注水厂对始新统 C-6U油层动态没有产生显著影响,原因是注水量和油层的采出量相比是很低的。

但是通过试验却得到了有关水处理和防腐蚀的实践经验,对以后的建厂和操作都可节省投资。

下面简要介绍一下操作特征及该试验厂的试验结果。

1.不加助滤剂就不能够经济地过滤湖水。试验证明:每天每平方米过滤22米³时按重量加入50~60ppm的助滤剂最合适,可得到96小时的周期。用中型颗粒的硅藻土助滤剂,可得更长的过滤周期。经验表明1/8吋(3毫米)预敷层是好的,每平方米过滤面积内加900克助滤剂即可得到这样的预敷层。

2.当主滤器发生故障时,用后滤器可以避免硅藻土或其它固体的注入。有几种滤器可用于后滤器内,但只有那些由砂子制成的滤器对马拉开波湖水才有好的结果。例如,玻璃丝滤器的粘合材料就容易被湖水溶解。

3.在始新统 C-6U 油层内可以注入不过滤的马拉开波湖水,用1,500磅/时²(105公斤/厘米²)的地面压力每天能注入12,000桶(1,900米³)不过滤的水。这是该试验最有意义的发现,也是降低该厂操作费用的主要原因。到1969年1月27日为止,已经注入了过滤水3,921,240桶(625,000米³)和未过滤水6,805,709桶(1,080,000米³),没有发生地层堵塞现象。除了水的脱氧外,最好是定期往水里注入杀菌剂。由于使用不过滤的水,所以注入湖水的成本从0.022美分/桶(每米³0.14美分)(过滤水)降到0.014美分/桶(每米³0.09美分)(不过滤的水)。成本的差额,不只是购买硅藻助滤剂的费用,而且还有过滤设备的大量管理费。

4.从50呎(15米)深处泵出的湖水特征如下:

含氧	7.0ppm
二氧化碳含量	4.0ppm
硫化氢含量	0.22ppm
pH值	8.1
稳定度指数(Ryznar法)	9.40
腐蚀度(152毫米或6吋直径管子)	0.9毫米/年

湖水的氧气,可用天然气和脱氧塔减少97%,从脱氧塔进口管的7 ppm,减少到出口管的0.2ppm。若有120磅/时²(8.4公斤/厘米²)压力的天然气,用天然气把湖水压入缓冲罐较为经济。这样,水厂既可不要用水泵,也可不要脱氧塔。

5.马拉开波湖是世界上最具有腐蚀性的水体之一,没有保护层的管线使用三年以后就能发生漏洞。试验证明,马拉开

波湖水对钢铁的腐蚀率是海水的五倍。从这种水里提出氧气，可大大减少腐蚀。由于这种原因，必须特别注意使气体一定要流进脱氧塔。虽然该厂装有自动控制的控制设备，但是当没有气体流进脱氧塔时，还不能使注水泵停止工作，而这种控制是需要的。

6. 用连续流量录井和井温测量能很好地确定注水剖面。1967年4月3日以前取得的两个注水剖面表明，四个分层中下面的两个分层进了水。为了改变这种剖面，采用等渗透量法处理油井。表1表示用液流录井法测出的油井处理前、后各分层配水量的百分数。温度测量是注水井分析的重要“工具”，因为它能判断在套管外面水流串通的可能性。

表 1 注 水 剖 面

射 孔 的 分 层	水 的 分 配 (%)	
	处 理 前	处 理 后
A 层	0	12.5
B 层	0	23.5
C 层	21	0
D 层	79	64

7. 在注水井内进行油管内径测量以决定腐蚀是必须的。开始注水以后，应立即进行测量，以便取得基数，配合以后测量，确定腐蚀率。脱氧塔最近排出水处的腐蚀率范围为每年0.173毫米到0.34毫米，这是根据腐蚀测量器的读数而得。水厂未脱氧的湖水平均腐蚀率是每年0.9毫米。其他公司所得的腐蚀率是每年1.54~2.28毫米。

8. 在脱氧塔的排出水内，没有发现结垢现象。但在除气塔进口的管壁上发现有些海洋生物。

9. 始新统 C-6U 油层的压力降落试验至少应经历 72 小时。曾注意到, 在 48 小时压力降落试验以后, 仍有很小压力降, 所以为取得压降曲线中的最后压力, 必须用较长时间。如没有充裕时间, 用外推法确定压降曲线会产生错误的结果。

水下油罐

在阿拉伯湾的法特油田开发中将采用无底水下油罐，该罐容量为50万桶（ 7.94 万米^3 ），准备于1969年底锚固在155呎（47米）深水中。

这个倒置漏斗形的大型油罐的底部直径为270呎（82米）、高205呎（62.5米）、重2,800万磅（12,664吨）。将采用普通建罐方法和设备建造后，再拖运到沉放位置的。

1966年6月在130呎（40米）深水域中的7,600呎（2,318米）地层深处发现了法特油田。接着于8月打了两口估价井。经测定，原油比重为 $0.865 \sim 0.87$ （ $31^\circ \sim 32^\circ \text{API}$ ），含硫2%。

铺设一条60哩（96公里）长的管线通到岸上是行不通的，因为没有深水港来容纳大型油轮运送原油。经调查研究了水下油罐和浮式储油两种方法，发现都是经济的而且是可行的，因此目前计划这两种系统都采用，至少在油田开发初期是这样。

无底储油罐的外形就好像倒置的漏斗（见图1）。结构特点之一是它的底部有两个由 $1\frac{1}{2}$ 吋（38毫米）厚的钢壳（里面充填混凝土）构成的边缘，它们的作用是使油罐坐落在海底，并使它接近油罐重心，便于拖运和沉放作业。

主顶是由 $1\frac{3}{4} \sim 1\frac{1}{4}$ 吋（44.4~31.7毫米）的钢板制成的。在主顶里面是一个直径为80呎（24.4米）、叫做“瓶罐”的单独容器。有许多辐条和网状入口，当原油进出储罐时，海水就从这些网状口流过，这些辐条的作用就是把瓶罐与底部