

注水防垢剂的要求及其评价

R.N.Tanner, K.P.Wittingham
BP Petroleum Development

朱思灵 译
张朝琛 校

摘 要

在实施注海水工程时,为了做到有效地防垢,应当对作业中的某几方面予以重视。与注海水有关的结垢损害的特点及潜在危险,从注水井开始直到生产井和地面生产设备(在油井见水以后),均应仔细地加以考虑。结垢所引起的麻烦在程度上是不同的,例如,从增加维护费用起,一直到导致安全设备严重失控或减产。此外,这些垢物还可能具有放射性,即使对操作人员不会造成危险,也要慎重地给予处理。

有足够理由促使采用有效的控制结垢的措施。本文概述联合王国北海大陆架内的 Forties 油田作业中防垢的经验。介绍了在油田开采中鉴别结垢问题范围的各种方法,还介绍了化学防垢剂的使用方法,并且讨论了油田用来监控防垢剂工作状况的技术。

评价所用的原理当然也可以用于许多可能有结垢问题的油田中。

一、前 言

Forties 油田位于联合王国大陆架的 21/10 和 22/6 区块中,是由 BP 石油开发有限公司经营。1975 年 10 月第一口油井喷油,现在有四个平台约 52 口井产油,并稳产在 $84,263 \text{ m}^3/\text{日}$ 。不久,该油田即将投产 10 年。

为了保持地层压力和提高石油采收率,于 1976 年 10 月起向地层中注入海水。

在油田开发初期已经认识到, Forties 的地层水及其与海水的混合物很可能产生结垢损害^[1],这种结垢损害的性质和严重性在以往别的文章中已作了充分的论述^[2]。

本文讨论 Forties 油田在生产过程中所遇到的结垢损害,并且将其严重性与预测的情况进行对比。还详细地介绍所用的防垢措施,以及用来评价这些防垢措施效果的方法。

二、预测和经历的结垢问题以及初期采用的防垢措施

在 Forties 油田曾经预测会碰到的主要结垢问题是碳酸钙垢 (CaCO_3) 和钡天青石 (硫酸锶和硫酸钡的混合物, $\text{SrSO}_4/\text{BaSO}_4$)^[2]。前一种垢主要是由于地层水或地层水和海水的混合物的温度、压力、二氧化碳分压等物理条件发生改变所造成的。后一种垢则与 Forties 地层水和海水两种不配伍水的混合有关。Forties 地层水中钡离子 (Ba^{++}) 含量高达 300 毫克/

升。这一含量远远大于例如在东设得兰盆地目前已知报告中通常的钡离子的含量（约为70毫克/升）。

下边将讨论Forties油田中预计会出现积垢的某些场所。

1. 注水井

碳酸钙具有与温度成反比的溶解度。已经发现，注入的海水（约为10℃）与注水井内的地层（90—100℃）首次接触就有结垢的可能。但由于注入海水对地层的冷却作用，估计在首次接触后不久就会使结垢问题缓和下来。

也认识到，由于海水与地层水的混合，钡天青石沉淀在井底岩层面上和井筒附近的岩层中会成为新注水井的一个潜在问题。然而，在距离井筒较远的地方，由于油层渗流面积急剧增大，以及不会有不同水的混合，估计不会存在结垢问题^[2]。可以认为，注水井的任何结垢问题，都是短暂的。一旦井底附近岩层不再含有地层水，进一步结垢的风险将微乎其微。

为了使新注水井井筒附近的垢害尽量降低到临界值，Forties油田每口新的注水井都规定要在开始时连续15天在注入的海水中添加30ppm（体积/体积）的防垢剂。为此曾采用聚丙烯酸酯及磷酸酯型两类防垢剂。

迄今，在Forties油田注海水井中还未曾发生严重的结垢问题。

2. 生产井

已经认识到碳酸钙沉淀是Forties采油井中的潜在问题。这种垢似乎可能出现在压降相对大的地方，例如井下安全阀、油嘴等管件节流的地方。

然而，这种垢的数量看来不多，而且比较容易用像盐酸之类的矿物酸加以清除，这意味着在初期没有必要采取防止这种垢的措施（包括相对复杂的井下化学防垢剂的应用）。

目前，碳酸钙垢通常沉积在井的上部管件中，特别是在井下安全阀(DHSV)附近。碳酸钙垢之所以在此处沉积是由于在井内这一部位的压力降低，特别是流体通过井下安全阀的扼流孔时引起了压力突然下降。沉析下来的碳酸钙垢的数量通常都相对较少。用缠绕的软油管进行酸处理很容易除去。这种垢给采油所造成的困难很小，仅限于偶尔难以起出井下安全阀而已。

当地层水与海水混合时似乎均会产生钡天青石垢类沉积。已经认识到，在生产井中出现这种混合是有可能的，例如应用海水作为压井液、油井冲砂胶液等；而至今最严重的问题是注入的海水窜入生产井以后的结垢。

为了消除生产井中用海水作压井液所产生的钡天青石沉积，所有此类压井液均要与掺入30ppm（体积/体积）防垢剂处理过的海水相混合。聚丙烯酸酯或磷酸酯两类防垢剂均可用于此目的。

曾经注意到，在某些未见到海水的生产井中，也出现过一些钡天青石沉积的孤立事例。这说明用海水为基质的压井液中的防垢剂有偶尔失效的情况。这种失效也可能与井中局部井段海水-地层水比值非常高有关。实验研究已经指出，根据Forties油田以往应用防垢剂的经验，在这些海水富集的环境下防垢剂的效果是不会好的^[2]。这种相对孤立的垢沉积给生产所造成的困难不大，主要限于要对付被低比活性(LSA)垢类所沾污的装备的麻烦增多了。

注入的海水窜入生产井后，大多数生产井均有受垢损害的危险性。结垢固然损害地层，

但是尤其应该考虑垢对于炮眼和油管附件的损害^[2]。因此作为初期防垢方案的一部分是对所有含水井进行常规离子分析,以便判断是否海水窜入了油井。在Forties油田的生产井中,当水中钡离子浓度明显下降,随后又出现硫酸根(SO_4)离子,即可认为海水已突入到生产井。海水突入生产井已明显临近,但目前还仅是一种局部现象。因而可供用来评价钡天青石垢损害影响的资料有限。目前已可判定有8口海水窜入的井。与Forties油田中类似的无海水突破的井相比,这8口井中任何一口都没有呈现出产量急剧下降的情况。这证明到目前为止井底附近的油藏并没有遭受严重的垢害。

相比之下,在这些发生海水突破的井中有几口却在油管部件中观察到显著的垢损害,尽管这种损害迄今尚未使油产量有任何损失。图1说明某口井在斜口管鞋附近遭受钡天青石垢的损害。应当注意的是所说的严重垢害仅发生在底部斜口管鞋某段长度上,在油管柱的其余部分垢害则很轻微。到目前为止在8口海水已突破的井中,有4口井已经证实可能有钡天青石垢的存在。在这些井中的垢害通常在进行索式作业或修井作业中即可发现。其中某些井的垢害已开始造成一些不便(例如妨碍测井仪器或索式井下工具的通过,因此耽误了某些生产测井作业)。上述结垢问题通过挤替技术或用毛细油管把防垢剂投放井底,即可加以控制。有迹象表明,对于大多数生产井来讲,井下钡天青石垢的沉积通常可能是暂时性的。在讨论是否需要往井下送入防垢剂之前,应当进一步开展对垢害程度和范围的研究工作。

3. 采油和注水系统

在海水注入前,用采出的天然气进行气体逆流法脱去水中所含的氧^[1]。采出气体中含有大量的二氧化碳,可使海水的pH值降到6.5左右。因此,预计不会产生碳酸钙问题,事实上这已为注海水的经验所证实。值得指出的是,若改用真空脱氧装置,反而会发生碳酸钙积垢。

图2和图3分别为Forties油田油气流程和废水控制系统,已证实存在钡天青石和碳酸钙垢沉积的危险。前一种垢与不止一次的把海水引入油井有关,这既可能是由于冲砂、洗井所造成的,而更为重要的是与海水的窜入有关。在平台上所有井的产物都“汇集”在一起,这就使得海水窜入油井后在整个生产系统中都有不相容的水混合。后一种垢往往出现在产生节流的地方,如局部关闭阀、孔板及净化器筛网等处。

到目前为止,产油系统是结垢问题最严重的地方。

Forties油田的生产井有大量出砂的倾向,这些砂子沉积在生产和试井分离器中,需要每天对这些容器进行“冲砂”。这种方式的“冲砂”是往分离器下部注入海水,使聚积的砂子分散成“砂浆”,然后经过专门的管线排除掉。用来进行冲砂的海水中要加入30ppm(体积/体积)的防垢剂,以防由于地层水和海水在分离器中混合而产生钡天青石垢。所用的防垢剂为聚丙烯酸酯或磷酸酯。此外,“撇油”罐(图2, T16)的冲砂次数,根据需要可适当减少。

从大量产水时起,在采油分离器上游的生产系统中补充注入30ppm体积浓度的防垢剂。在这里使用防垢剂有双重目的:

(1) 用来控制碳酸钙的沉淀;

(2) 用来控制由于未经处理的海水进入生产系统而可能出现的钡天青石垢,例如来自敞开的或密闭的排出水收集罐的海水,这些罐中的液体返泵入生产系统,以便能将积聚起来的油都收集起来并泵送上岸。

原来也就设想过，在分离器上游的地方注入防垢剂，应足以有效地控制海水窜入生产井后所造成的垢损害。如果这样做效果不理想，就将注防垢剂的地点改到井口的下游。

在油田开采初期，注入系统中多余的海水与油井产出水用同一条管线排放到海中。这一管线很快地为钡天青石垢所堵塞，而需要进行更换。把多余的海水和采出的水分别沿不同管线排放就轻而易举地克服了这一管线堵塞问题。在油田发现垢沉积的同时，也发现钡天青石垢具有低比率的放射性。征询了了解这种物质的有关顾问和制定规章的机构以后，已经采取了相应的工作规章和处理方法。且不说世界上其它油藏，可以预期，所有北海油藏所形成的钡天青石垢都是具有放射性的。

钡天青石垢中的放射性是由硫酸镭所衍生的。地层水中现存的镭，原先是由天然生成的铀238和钍232衰变系列所衍生出来的。一旦与海水相接触，硫酸镭将随着硫酸钡和硫酸锶一起沉淀下来。由于硫酸镭的溶解能力远远比硫酸钡或硫酸锶两者要低，因此其放射性就会附在此垢上。

Forties 油田的钡天青石垢的天然放射性，使之易于估测生产系统不同部分积垢的数量。一般情况下，管线或容器外边的放射性强度正比于其内部积垢的数量。应用手提式污染性测定仪很容易在生产装置外测出其放射性强度。在 Forties 废水控制系统中所测出的结果示例于图 4。测出结果指出，从分离器排出管线辐射出的放射性强度并不比天然的放射性背景高出多少。这就表明在这些地方钡天青石垢的沉积很少或几乎没有。另一方面，在撇油罐（T16）下游的管线上的放射性强度明显高于背景值，这与其中具有较厚的钡天青石垢沉积是一致的，撇油罐下游显著的垢害与分离器下游轻微的垢害形成鲜明的对照。

这种形成垢的特征上的差异是由于从不同位置取海水冲砂的缘故。冲洗分离器用的海水是来自脱氧塔的下游，并加有防垢剂。与此相反，随便用于撇油罐冲砂的海水是取自脱氧塔上游未经处理的海水。

这就清楚地表明，用加有防垢剂的海水“冲砂”，就足以防止钡天青石垢的沉积。然而，尽管使用加了防垢剂的海水来冲洗分离器中的砂子，仍然发现分离器冲砂供水管线仍部分为钡天青石垢所堵塞。这些垢可能是由于在“冲砂”以后停留于管线中的已掺入防垢剂的污浊海水造成的。这种海水和分离器内通常出现的地层水交会的界面处，其海水/地层水比值过大，可能导致当时所用的聚丙烯酸酯防垢剂失效，从而产生垢的沉积。

Forties 采油流程的“末端”也会遭受某种程度的碳酸钙垢损害。这种垢害的主要场所是在含油污水浮油净化器中。水垢通常沉积在溅散器中，甚至可将孔眼堵住，使装置的效率严重下降。除非 Forties 废水控制系统中总是存在聚丙烯酸酯防垢剂，否则仍然不能控制发生结垢问题。在局部关闭的阀的下游也会出现碳酸钙垢的损害，它与井下安全阀附近结垢的原因一样，即由于节流而产生突然的压降所致。

所有前述的生产系统的各种垢害问题是在海水突破以前即已发生。它们已经使维修费用增加，降低了某些处理容器的效率和局部堵塞处理系统的管线（这就造成需要进行昂贵的维修工作的局面），尽管它们尚未造成任何明显的产量损失。

到目前为止所碰到的主要结垢问题是在海水窜入油井以后出现的。

目前海水已经窜入的许多井，是在低产量和低含水比下生产（最大含水比为45%）。然而有一口井修井后下入电潜泵（ESP）进行人工举升试验，采出液体中含水高达90%，而且采的水主要是海水。这种水使集油干线滤罩上迅速沉积了钡天青石垢。尽管在此电泵井上已从

井口加入了防垢剂,但还未来得及对这种措施进行评价,电泵就发生了故障。当海水的流量较高时,监控滤罩两端压差的升高对于及时监控结垢问题是有用的。

1984年4月在试图对Forties Delta平台上一口井进行隔离生产时,该井的原油产量突然掉下来70,000桶/日。在随后拆换生产管汇上的球阀(位于图2的A点)时,发现钡天青石垢害如图5所示。进一步研究,发现其垢害如图6所示。在Forties Delta平台的生产管汇中估计已沉积垢量总计约达9,000公斤。这些垢的发源可追溯到此平台上唯一的已遭海水窜入的油井。有证据表明,该井一直以低产量和低含水比生产,因此这些水垢可能是在以往两年期间沉积的。如果是这样,那么这9,000公斤水垢大概相当于可能沉析下来的水垢的6%左右。在这两年中,防垢剂只是注到发生垢害的生产管汇的下游(即图2中点B)。

从Forties Delta平台上生产管汇受到唯一的海水突破井的垢害的规模,即可说明海水突破以后的垢害是何等严重。

为了进行除垢曾不得已使平台两次停产。一次是在清垢以前将生产管汇出问题的那一段隔离开来,再一次是受害部分清洗后又重新积垢。前一次停产是与常规关井停产一致,而后一次则是不得不在计划外关井36小时。清垢是用“机械式”水力喷射技术完成的。

三、改进的防垢工艺的应用

认识到了海水突破后所带来的严重垢害,对Forties油田所采用的防垢工艺进行了改进,以提高防垢效果。为了更充分地控制结垢,在尽可能方便的地方都添加了防垢剂。

1. 注水井

Forties油田在注水井方面没有遇到什么重大的结垢问题,因此对于以往所用的防垢工艺未曾改变。

2. 生产井

对于海水未窜入的油井,垢害是个别的,而且损害程度比较小,因此防垢措施未行改变。

关于Forties油田那些海水已突破的油井所遇到的严重结垢问题,其预防工艺目前正在研究之中。

3. 生产系统

正在着手对撇油罐T16的冲砂设施加以改进。这种改进必将得出同样令人满意的防垢效果(如同用加了防垢剂的海水来对分离器冲砂的情况一样)。

分离器冲砂供水管线,在冲砂之后用饮用水冲洗,也许可以克服这条管线局部结垢堵塞的问题。

在海水突破以后所碰到的严重垢害的主要原因,是仅仅把防垢剂注入到那些产生垢害地点的下游。为了获得较好的防垢效果,防垢剂需要改从靠井口的上游注入。因此,对于海水已窜入的油井首先从井口加入了防垢剂。

Forties油田Delta平台管汇结垢问题的另一原因,是发现(根据室内和现场数据)油田以往所使用的聚丙烯酸酯防垢剂的效果在某种情况下是令人怀疑的。尤其是缺乏这种化学防垢剂在海水丰富环境中的工作状况的资料^[2],而这种情况,随着海水突破程度的加剧在Forties油田今后势必是要遇到的。因此,又筛选了一种“新”的防垢剂(膦酸酯型,它在实

实验室试验中已证实在一个比较大的地层水/海水比值范围内是有效的)。

对这种新的防垢剂正在进行评价,看它是否能够改善含油污水撇净器碳酸钙垢的控制。

四、防垢工艺效果的核查

1. 注水井

BP石油公司在Forties油田的注水井中并未碰到结垢问题。这可能是由于采用了有效的防垢剂,也可能它事实上就未曾结垢。但是,防垢剂正在并将继续使用,因为它价格低廉,使用简便,没有必要冒不用它时所带来的风险。

2. 生产井

虽然曾观测到垢害是一些孤立的事例,并建议在海水基压井液等液体中加入防垢剂,但是并没有什么证据说明非加防垢剂不可。由于应用防垢剂所需的费用不大,而且使用简便,也没有必要去冒不用它时所带来的风险。

目前,BP石油公司在海水窜入的生产井中尚未使用井下防垢剂(除压井液外),中心加所以还没有查证它们在井底条件下的工作性能的经验。这一问题已经成为BP石油公司研究强研究的课题。此项研究的结果不在这里介绍,它对常用挤入防垢剂防止在井底条件下结垢的方法能防止结垢持怀疑态度。

3. 生产系统

曾对分别用加入和不加入防垢剂的海水进行“冲砂”时在分离器和撇油罐下游所形成的垢害情况作了比较,说明用加有防垢剂的海水“冲砂”是有成效的和必不可少的,提供了可供使用的各种在工艺上有效的防垢剂。在另外的文章^[2]中已经介绍了筛选适用于油田的各种防垢剂的步骤。

Forties油田Delta平台管汇中结垢的规模,以及它可能使石油开采中断的可能性,都表明查证新型防垢剂的效果和注入方式是必要的。应当认识到,如果拥有可供改变的防垢剂和注入点,采取各种相互制约的方法用以评价各种防垢剂性能是必要的。

新防垢剂和注入方式有效性的查核包括三种方法:

- (1) 垢离子的物质平衡;
- (2) 放射性测量;
- (3) 设备检查。

4. 垢离子的物质平衡

这种工艺可用图7加以说明。这一方法的原理简单,如果进入系统的全部垢离子又都从系统离开,那就说明该防垢剂是有效的。对于效果为100%的防垢剂:

$$\text{Ba}_{\text{进入}} = \text{Ba}_{\text{流出}}$$

$$\text{Sr}_{\text{进入}} = \text{Sr}_{\text{流出}}$$

物质平衡可以相当简单地完成。生产系统必须在流速或流出量不发生变化的稳定状态下工作,一直到生产系统达到平衡时为止。然后从所有出水井的井口选取进入生产系统的流体样品,以确定其含水量和进行水中离子分析。也要记下井口流量,用来计算Ba进入、Sr进入和SO₄进入。

在经过一段较长时间后,当生产系统已经在稳定状态下持续工作时,由离开系统的流体中取水样,即由污水控制系统(ECS)的排出口和在进入输油干线处取样。井口取样和排出口取样之间的时间间隔要根据估计的停留时间来选择,要使排出口取的样品能反映从井口所取的“进入”样品。从这些样品所得的数据可用以计算Ba流出和Sr流出。

为了保证所取的水样精确地反映生产系统中所存在的水,要在取样后马上先用0.45微米的滤器进行过滤,然后应用乙二胺四乙酸四钠(EDTAT)加以螯合。对于可能成垢的排出口样品,这种螯合尤其重要,但对于个别不结垢的井口取出样品并不需要加以螯合。过滤是为了由水中除掉已结成固态的垢,倘如这些垢重新溶解于乙二胺四乙酸四钠中将会给出错误的结果。令人遗憾的是,样品与乙二胺四乙酸四钠(EDTAT)螯合由于乙二胺四乙酸四钠对分析 SO_4 离子有干扰而妨碍了对 SO_4 的测定,这就是为什么没有给出 SO_4 流出的数值的缘故。

显然,取样并不局限于排出管线,从此系统不同部位所取的样品均能鉴定出所给系统中结垢的位置及数量。在Forties的Delta平台,根据物质平衡对新防垢剂的有效性和注入方式的验证结果列于表1中。这些结果指出,在最坏情况下,防垢剂的效率至少也在83%以上,而多数接近100%。完成这些物质平衡的速度,使我们能够快速证实,新的防垢剂和注入方式能在可望的高效率下工作。

5. 放射性测量

离子的物质平衡尚不足以证实防垢效果已经达到100%,因而可能已有一些水垢正在生产装置内部开始形成。Forties油田的钡天青石垢具有放射性,可能使沉垢装置上的放射性强度增大。因此,在Forties油田Delta平台生产系统的不同位置曾定期地测量了放射性。在以往垢害最严重的地方,即在生产管汇上所作的放射性测量最令人感兴趣。由其中某一位置(点A)所得到的结果如图8所示。此图上两条线乃是用两种不同敏感性探测器测量的结果。

可以清楚地看出,在此一生产管汇处的放射性强度是增大的,因此尽管新防垢剂是高效的,但仍然发生了一些新的沉垢。在生产管汇附近的几个其它部位也得到类似的测量曲线。

这些新积垢的数量当时无法确定。这是由于并不清楚沉积的“新”垢的放射性比率是否与以前的“旧”垢相同。“旧”垢曾用来得出一条管汇外放射性强度与其内部积垢厚度相关的校准曲线。这些校准曲线曾用来估算任何可能产生的新生垢的沉积程度。然而,如果沉积垢的放射性强度比率与用来得出校准曲线的放射性强度比率相差很大,则会产生较大的误差。积垢的其它物理参数的改变也将会影响放射性和厚度(如沉积的几何形状、密度等)相关曲线的精度。这就是为什么这些曲线只能作为对积垢厚度的一个估测方法的缘故。在承认有这些局限性的条件下,1985年7月所估测的积垢厚度为2厘米。

6. 设备的检查

因为已知Forties油田Delta平台管汇中有新生成的钡天青石垢,并且不知道这种垢的数量,因此在常规关井期间检查了垢害情况。这种检查对新防垢剂和注入方式的效果提供了一些绝对有效的数据。

图9说明与图5中同一阀件的垢害,而图10则说明与图6相同的管汇段结垢情况。

由这些照片中可清楚地看出,在经过一年之后,“新”的防垢剂和注入方式已经将垢的厚度抑制住,一般垢厚只有1—2厘米,最厚的为2—3厘米。这些实测的结垢厚度与按前

面的校正曲线由放射性测量所估算的厚度十分接近。

不但垢的厚度变薄，而且结垢的范围也变小，即管汇中为垢所覆盖的内表面积变小。此外，在检查中发现较多的垢是软的和“油灰状”的，与以往发现的类石状物质大为不同。

应当指出，在此次检查中发现垢沉积的水化学条件，几乎与导致图 5 和图 6 所示的积垢情况是一样的。

根据这些照片（以及在检查中所收集到的其它资料）认为，新的防垢剂和注入方式具有很好的防垢效果，比以往所碰到的大规模结垢要好；但每年显然仍有 2 厘米厚的积垢。

应当在一切有结垢危险的处理设备上进行检查。这是在油田获得防垢剂和应用方式效果的绝对可靠数据的唯一手段。

五、今后的研究工作

大部分研究工作主要朝着两个目标：

- （1）研制可以评价井下防垢措施的要求和效果的方法。
- （2）获得能在生产装置的末端防垢的适宜措施。

在 Forties 油田海水大量窜入油井已成为新近的动向，到目前为止有关上述的第一个目标仅收集到有限的的数据，因此这一工作将继续进行下去。

尽管物质平衡方法指出，目前使用的防垢剂和注入方式（在海水窜入井的井口和分离器上游加入）具有较好的防垢效果，但放射性测量指出仍有少量的垢在沉积，而且设备检查也证实了这一点。目前已确信这是由于应用上的问题造成，而不是防垢剂本身失效，所以要对应用工艺进行重新评价。

Delta 平台上现在的水化学分析指出，缺乏足够的硫酸根离子使所有的钡离子产生沉积。实验室试验指出，在上述条件下应用防垢剂比较易于控制垢的沉积。他们还指出，随着注入海水的逐步窜入油井，Forties 油田在未来将面临海水含量大增的处境，防垢将更加困难。所以，已经计划在上述海水含量大增的情况成为现实之前，在比较严重的结垢条件下对防垢剂和应用方式进行评价。这些试验将及早预见到防垢剂或注入方式会有何种严重失效，以便在主要生产装置面临此种情景之前，赢得时间去评价其他可供采用的新措施。

在整个生产系统的不同部位将继续进行放射性测量，以监控目前使用的防垢剂和注入方式的工作动态。

设备检查在可能情况下也将继续进行，以便获得有关防垢剂和应用方式方面的绝对可靠的动态数据。

根据所收集到的动态资料对防垢剂或（和）应用防垢剂的方法及时进行调整。

六、结 论

Forties 油田迄今的经验指出，只有通过对产出水的化学性质的监控，评价所用的防垢方法，才能对一个正在开采的油田做到恰如其分的防垢。开始所使用的防垢措施应根据预测来加以确定，并应尽快评价它们在油田上的应用效果，以便迅速对防垢不良的情况进行修正。

本文所介绍的用来评价防垢措施工作动态的方法，已成功地用于 Forties 油田。目前，正在根据上述研究成果对防垢措施进行改进。

这些技术可以用于有结垢问题的许多油田上，特别是那些注水开发的油田上。

术 语 说 明

DHSH—井下安全阀；

ECS—污水控制系统；

EDTAT—乙二胺四乙酸四钠盐；

ESP—电潜泵；

FW—地层水；

LSA—低放射性比率；

UKCS—联合王国大陆架。

表 1 Forties Delta 平台防垢剂试验中垢离子的物质平衡一览表

试验 次数	X① ppm 体积/ 体积	Y② ppm 体积/ 体积	Z ppm 体积/ 体积	总 计 (Y+Z) ppm 体积/ 体积	Ba进入 (公斤/ 日)	Sr进入 (公斤/ 日)	SO ₄ 进入③ (公斤/ 日)	Ba流出 (公斤/ 日)	Sr流出 (公斤/ 日)	Ba流出 / Ba进入 (%) ^⑤	Sr流出 / Sr进入 (%) ^⑤
1	0	0	28	28	388	979	0	414	1059	107	108
2	59	3	56	59	255	648	72	268	709	105	109
3	51	3	4④	7	287	707	120	268	657	93	93
4	53	3	40	43	298	735	116	280	686	94	93

① X为根据该井的产水量注入到海水突破井中的防垢剂浓度(图7)；

② Y为根据生产管汇中总的水流量注入到海水突破井中的防垢剂浓度(图7)；

③ 进入体系中的硫酸根离子数量(SO₄进入)指出是否存在结垢情况(SO₄进入 > 0 表示有结垢情况)；

④ 试验初期，往生产管汇注防垢剂的泵发生故障，在此试验期间的浓度是有问题的；

⑤ 由于确定井内含水比和液体流量上的不准确，此比值的预计误差为±10%，即对于100%的防垢效果(Ba流出 / Ba进入 = 100%)，其比值在90—110%之间。

参 考 文 献

(1) Mitchell, E.W.; Crist, D.M.; Boyle, M.J.
"Chemical Treatments Associated with North
Sea Projects" SPEJ, 1980, Vol 32 (May)
pp 964-972.

(2) Hughes, C.T., and Whittingham, K.P.: "The
Selection of Scale Inhibitors for the Forties
Field" paper ERU 313 presented at the 1982
European Petroleum Conference, London,
England, October 25-28.

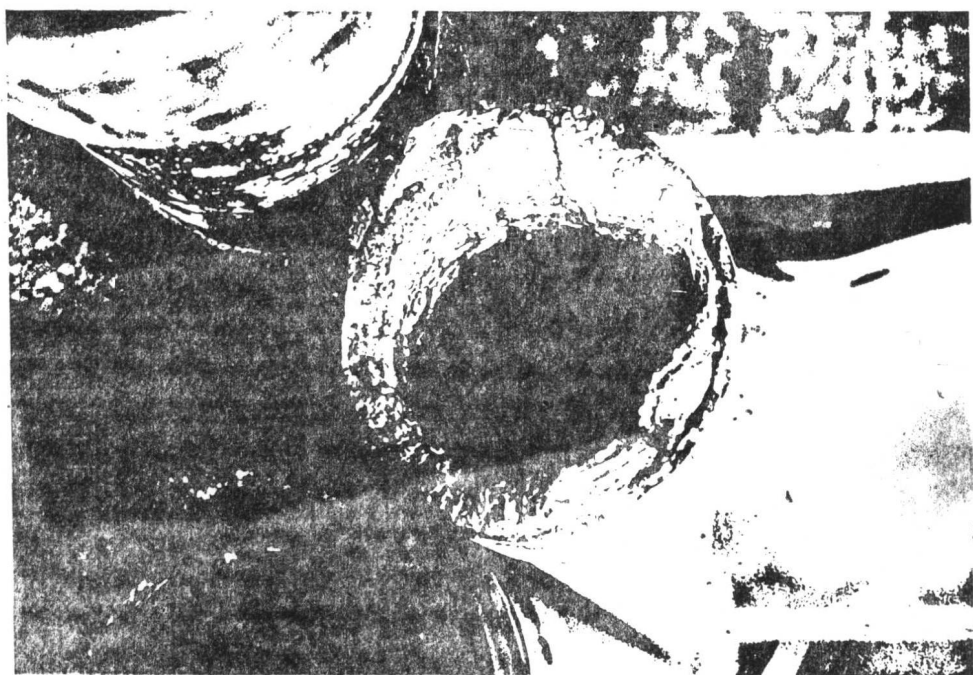


图 1 FC23号生产井的斜口管鞋

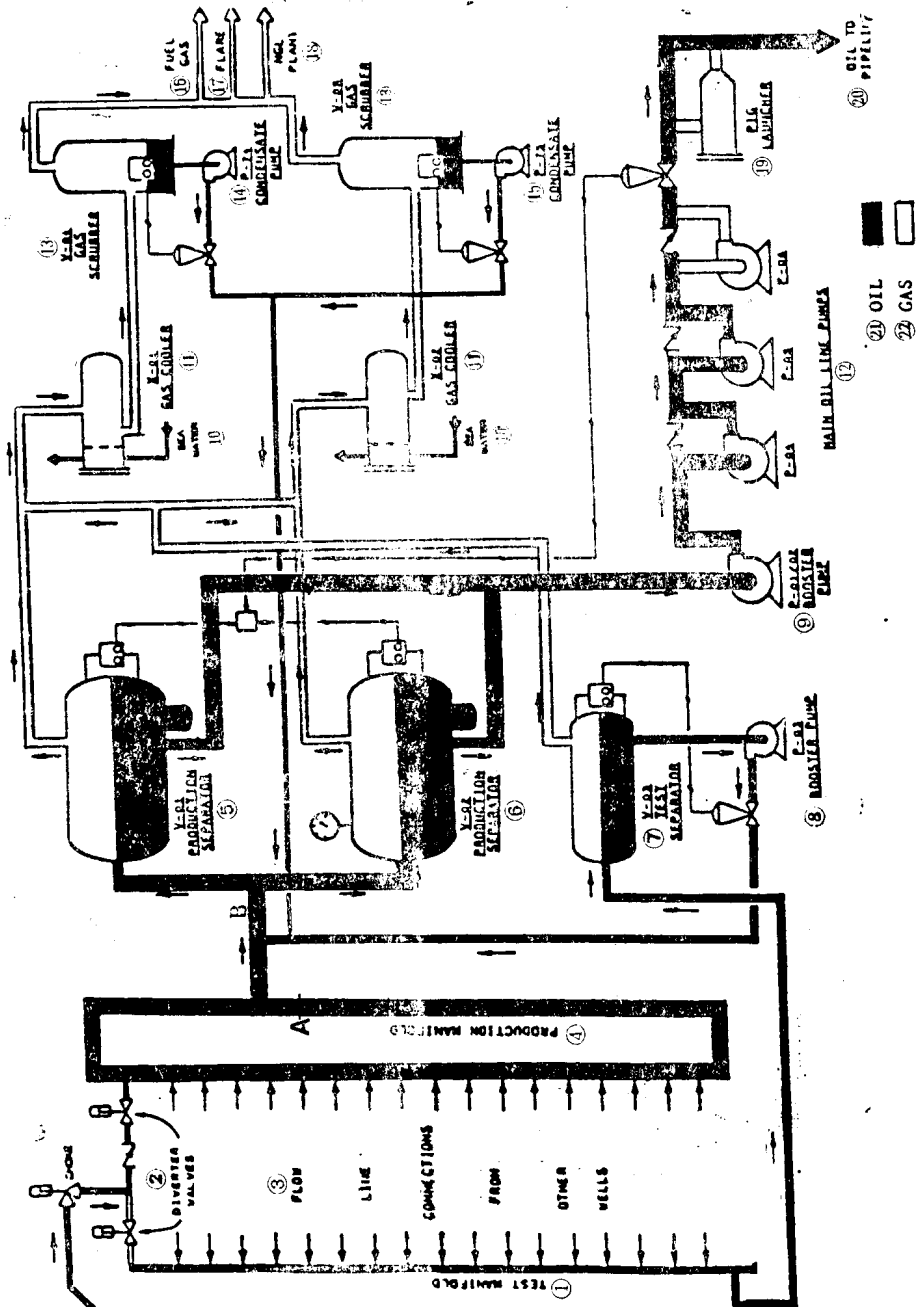


图 2 Forties油田油气集输系统

①试井管汇; ②转向阀; ③连接其它各井的出油管汇; ④生产管汇; ⑤生产分离器; ⑥生产分离器; ⑦试井分离器; ⑧增压泵; ⑨增压泵; ⑩通海
水; ⑪气体冷却器; ⑫干线输油泵; ⑬气体洗涤器; ⑭废析液泵; ⑮废析液泵; ⑯燃料气; ⑰通向火炬; ⑱通向液化气站; ⑲清管器发射器; ⑳通
往输油管线的原油; ㉑原油; ㉒天然气

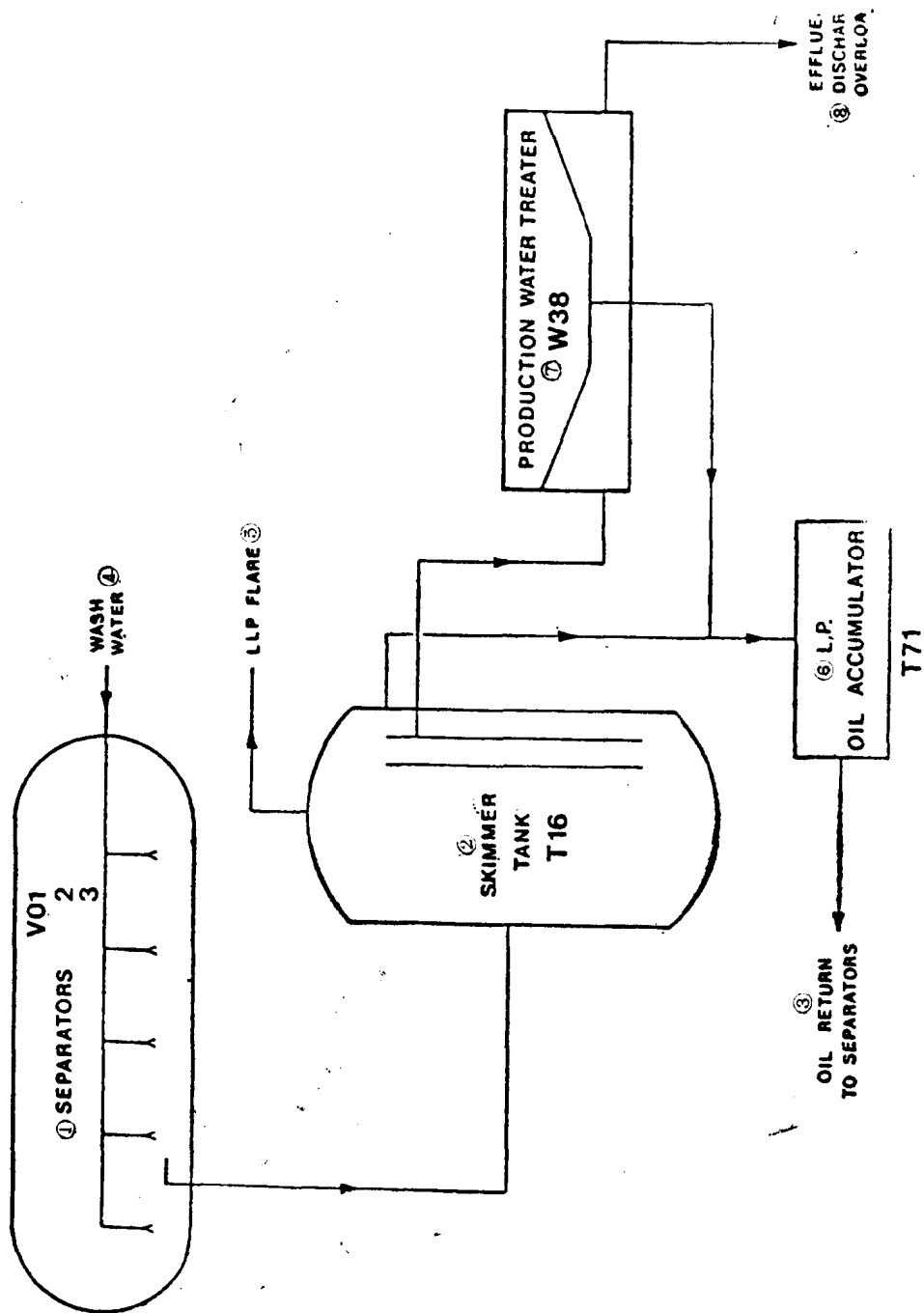


图 3 Forties油田 (污水) 控制系统

①分离器; ②撇油罐; ③返回分离器的原油; ④冲洗用水; ⑤通向低压火炬; ⑥低压集油罐; ⑦采出水处理装置; ⑧排入海中的污水

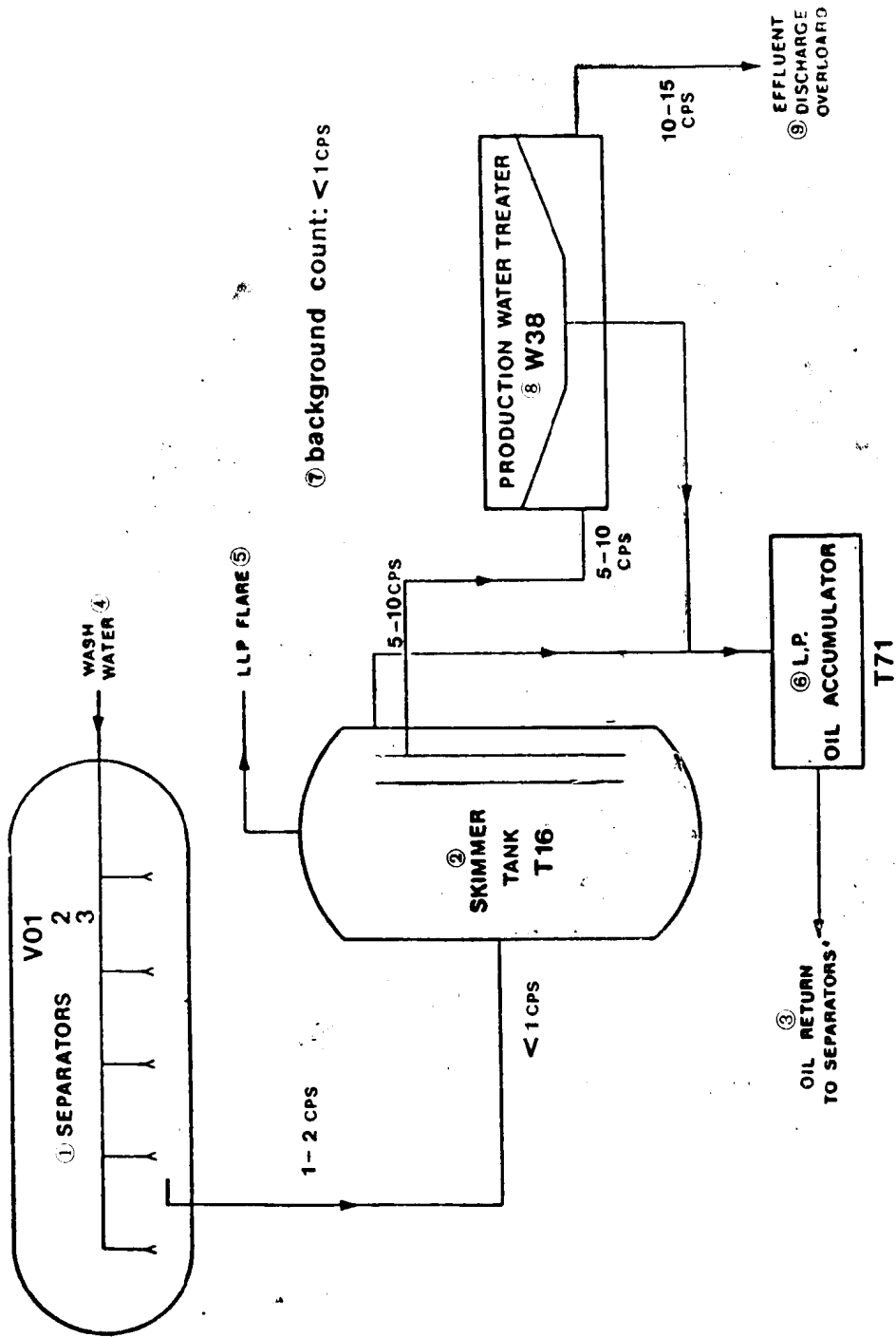


图 4 Forties油田Delta平台上(污水)控制系统放射性测量结果

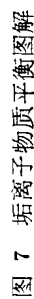
①分离器;②撇油罐;③返回分离器的原油;④冲洗用水;⑤通向低压火炬;⑥低压集油罐;⑦放射性背景计数: <1CPS (即小于1计数/秒);⑧采出水处理装置;⑨排入海中的污水



图 5 Forties油田Delta平台上18英寸管汇的球阀



图 6 Forties油田Delta平台上18英寸生产管汇内部的积垢



①产地层水的井;②海水窜入的井;③在海水窜入井上加的防垢剂浓度X, ppm;④在生产管汇上加的防垢剂浓度Y①, ppm;⑤生产管汇;⑥分离罐;⑦撇油罐;⑧分离器;⑨净化器;⑩通向海中;⑪通向输油干线;IN—流入;OUT—流出

①此处对X和Y的说明与表1中的说明更不符合。这里的说明更符合正文。——编者

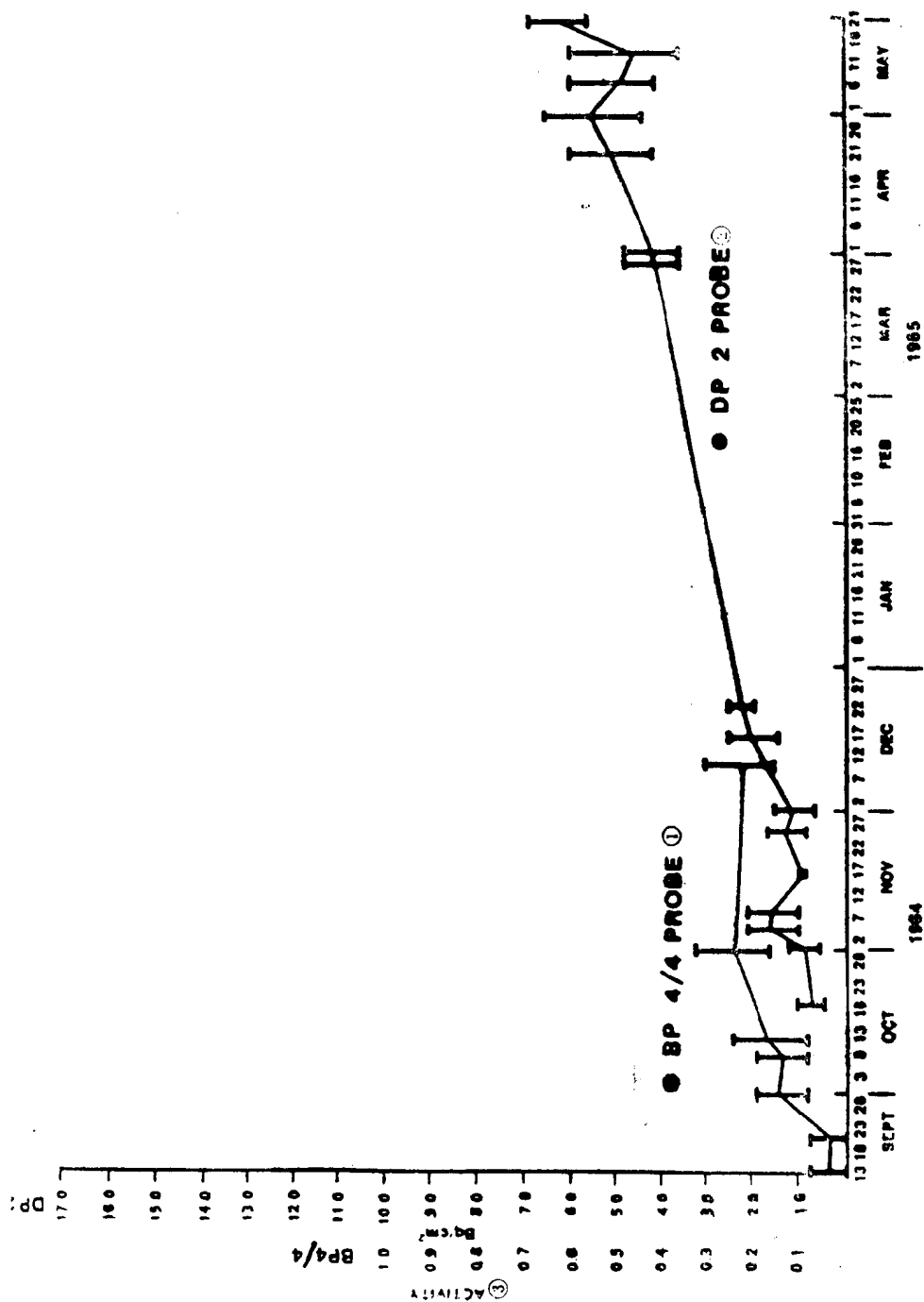


图 8 Delta 平台上生产管汇的放射性强度

① BP 石油公司的 4/4 探测器; ② DP 2 型探测器; ③ 放射性强度; 横坐标为时间