

两相泡沫液在试油中的应用

〔苏〕A. B. 阿米杨 著

(北京)

53

15

石油工业出版社

071445

71300

两相泡沫液 在试油中的应用

〔苏〕A. B. 阿米杨 著



200420776

孙明群 译



00673143

石油工业出版社

内 容 提 要

书中阐述了与试油(诱导油流)工艺过程有关的一些问题。对现行的试油方法给予简要的分析,并对运用两相泡沫液从油层内诱导油流的新方法作了详细的评述。叙述了用泡沫液处理油井时使用的设备和泡沫系统的性能,并对这一方法的工艺原理作了论述。

本书适用于从事职工技术培训的教师和专业人员阅读,也可以作为试油和修井工人的培训教材。

在本书翻译过程中得到赵铁城等同志的帮助,在此表示谢意。

А. В. Амийн

**Применение Двухфазных пен
в нефтедобыче**

Издательство «Высшая школа» 1983

**两 相 泡 沫 液
在试油中的应用**

〔苏〕**А. В. 阿米扬** 著

孙明朗 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 1³/₄印张 32千字 印1—2,240

1987年2月北京第1版 1987年2月北京第1次印刷

书号: 15037 2722 定价: 0.31元

绪 言

油、气井的正常生产在很大程度上取决于从油层内诱导油、气流的方法合理。现场实践证明，从油层内诱导油气流的过程中，经常出现许多复杂的情况，如套管变形、管外水泥环破裂，因储油层胶结差致使井底地带受到破坏，以及上、下层窜槽等。所以，在进入试油（诱导油流）的最后阶段之前，必须了解储油层的组成物质及其胶结程度，上、下水层的埋藏条件，底水的表现特征和钻开及射开目的层的条件等。

如果由于钻开和射开油层的工程质量差而使储油层的渗透率显著降低，就不可能用降压法解除洗井液中的液相及固相物质大量浸入油层井底地带所造成的污染。在这种情况下，当压降过高（现场有时采用）时，只能从较高渗透层诱导出油、气流，即从试油一开始就使整个油层产油部分造成出油不均匀的情况。与此同时，即便条件允许以高压降试油也会产生复杂的情况，而且绝大部分的复杂情况是不可逆转的，其副作用会在以后油井生产过程中充分地显示出来。

油井合理生产制度同从油层内诱导油、气流方法之间的关系可在具有下列特点的油井中明显看出：目的层产油区块位于油藏底水之上；油、气层具有气顶和底水；靠近生产层上、下分布有高压水层；油、气层位于油-水，油-气，气-水接触带附近；油、气储集层由非胶结或胶结差的砂岩组成。

确保均匀降低这类井的井底压力很重要，尽管如此，但却不是唯一的条件，还应该正确估计钻开油层和固井后井底地带的状况。如果钻开油层过程中有大量洗井液滤液侵入油层，使泥岩膨胀而降低渗透率，并在井底地带形成顽固的乳化液，这时即便均匀地降压，通常仍不能防止复杂情况的出现。这是因为在正常情况下，即油层井底地带没有污染的情况下，保持下述条件即可从油层内诱导出液流或气流来： $\Delta P = P_{\text{нн}} - P_{\text{дд}} > 0$ 。式中 ΔP ——开始出现液流或气流的最小压降； $P_{\text{нн}}$ ——油层压力， $P_{\text{дд}}$ ——井底压力。可是对多数情况，由于浸入油层的洗井液滤液大大降低了油层井底地带的天然渗透率，造成附加阻力，是不会出现任何液流或气流的。为了克服这些附加阻力，还必须进一步降低井底压力，这时液流液出的条件就为等式 $\Delta P + \Delta P_1 = P_{\text{нн}} - P_{\text{дд}} > 0$ ，式中： ΔP_1 ——液体和气体从油层流出需要克服附加阻力所造成的压降。

ΔP_1 常常大于 ΔP 。在采油井中 ΔP 是已知数，而 ΔP_1 为未知数，在探井中二者都是未知数。因此，完钻后从油层内诱导油流时，井内情况（特别是探井）实质上是同未被控制的过程相抵触。用平稳降低液面的方法得不到可从油层内开始出现液流或气流的压降值，因为能从油层内流出液流或气流的最小压降值 $\Delta P + \Delta P_1$ 比从未受洗井液滤液所污染的油层中流出液流或气流时的压降值 ΔP 高很多，而这后一种情况下的油井内出油层中可能会出现突然而急骤的显示，这在矿场实际中是常有的事，清洗井底时也有这种现象。此外，近井地带也还会发生一系列复杂的情况（如储集层胶结差的井底地带遭受破坏，上部或下部高压水层窜槽或底水上窜等）。这时尽管平稳地降低液面，但在上述条件下压降也

会达到极限值。

压降 ΔP_1 值取决于地层压力、储集层的物性、饱和储集层液体的物理-化学性质、钻开油层的方法和持续时间以及洗井液的质量。在其它条件相同的情况下，钻开油层的时间愈短，试油时附加压降愈小，反之，钻开油层时间愈长，压降值 ΔP_1 就愈大。

当地层压力高，钻开油层未发现漏失，压降 ΔP_1 小。当地层压力低，洗井液有一些漏失，钻开油层时渗滤进很多水，则附加阻力会很大。为了克服这一阻力从油层获得油流或气流，试油时往往需要采用很大压降 ΔP_1 ，就会使试油时间很长。有时由于孔道堵塞，甚至完全诱导不出油、气流。这是因为洗井液和泥浆大量渗滤侵入油层的缘故，尤其是使用重泥浆钻井时，更是如此。

新井试油过程中，当达到的压降比 ΔP_1 略小以后，就应很缓慢地、慎重地、平稳地进一步降低液面，最好是暂时停止，注意观察液面的变化。往注从油层中流出的微弱油、气流是可以部分排除油层井底地带的附加阻力，油井有可能开始自喷。这种缓慢平稳地降低液面的工作制度有助于油、气流从油层内均匀地流出和正常的自喷生产。

由于外来水渗入油层、部分泥浆泥饼的堵塞，以及井底地带的污染在油层井底地带造成了附加阻力，致使要保证油、气流正常地从油层内流向井底非常困难。在这种情况下，要从油层内得到均匀的、缓慢变化的油、气流通常是困难的，往往井内会出现突然剧烈的变化很有可能造成水窜和各类堵塞。所以必须造成这样一种条件，即压降等于 ΔP 时油、气就流出。为此需要消除 ΔP_1 ，即预先消除钻开油层过程中洗井液渗入油层引起的附加阻力。所以，从射开已有洗井滤液

渗入的油层中诱导油、气流时，最好在清洗井底地带以后再开始。清洗井底的方法要根据储油层的性质以及预计的井底地带天然渗透率降低的原因来选择。

苏联切禅印古什苏维埃社会主义自治共和国的卡拉布拉克-阿恰鲁克油田（油藏由裂缝型碳酸盐组成）的试油经验表明，在钻开油层的过程中，确有大量的泥浆，还可能有钻屑的分散微粒侵入油层。这一推测为完钻后通常要对井底地带进行2~3次酸化处理才能正常投入生产所证实。例如，酸化前的油井产量低于10~15吨/日，经过2~3次酸化后，油井能够以100吨/日以上的产量自喷。

由西西伯利亚的矿场实践得知，在某些个别情况下，用表面活性剂（IIAB）处理油层井底地带时，返出大量钻开油层时使用的泥浆。上面列举的是裂缝型储集层的例子。

在碎屑岩型储集层中发生的是另外一些情况，即主要是洗井液滤液的有害影响。在这样的条件下就要采用油层压裂或物理-化学方法去处理油层井底地带。

通常上述方法很难完全恢复井底地带的天然渗透率，即很难完全消除钻开油层时，因泥浆及其滤液侵入油层而造成液体或气体流出的附加阻力。但是所有对油井井底地带的初步处理都仅仅是为油气的流出造成比较有利的条件。正因为这样，所以要防止井底地带过早破坏和上、下水层窜槽及底水上窜。

试油时还应当注意到这样一种因素，即在压降超过了射开油层与未射开水层之间隔层厚度的极限强度压、差时，会造成地层水沿套管外环形空间的窜槽。

例如，据鞑靼石油联合企业各油田油井水泥环强度试验的大量资料表明，非渗透层段水泥环极限压差值平均每米为

2兆帕。而低渗透层段的水泥环在更低压差下就有可能破裂。

无论是试油井还是生产井，考虑这个因素都具有重大的意义，所以必须在不超过油层和水层间水泥环极限压差值的允许压降情况下进行试油和以后的生产。依据地质条件、井身结构、固井材料的质量及其它因素不同，允许压降对不同的油田可以不尽相同。

所有的试油（诱导油气流）方法都基于降低井底压力使其低于油层压力。为达到这一目的，要么是用降低充满井内液体密度的方法，要么是用降低井内液面的方法。下面就其中的一些方法进行阐述。

目 录

绪 言

第一章 试油方法的简要特征.....	1
一、用轻质液替置充满井内的液体.....	1
二、用压风机降低井底压力.....	5
三、从油层诱导油气流方法的选择.....	7
第二章 两相泡沫液的性质.....	10
一、表面活性剂类型及浓度的选择.....	10
二、表面活性剂对气泡流体动力学的影响.....	16
三、泡沫密度.....	18
四、两相泡沫液的流变学.....	23
五、对试验井中两相泡沫液性质的试验研究.....	26
第三章 应用两相泡沫液试油的工艺基础.....	33
第四章 应用两相泡沫液试油的工艺.....	38
一、应用两相泡沫液试油的装备.....	38
二、应用两相泡沫液诱导油气流的工艺.....	42
安全技术及环境保护.....	46

第一章 试油方法的简要特征

一、用轻质液替置充满井内的液体

射开油层和下油管后，洗井至井底，以油管鞋完成在油层底部孔眼以上2~3米，装好井口之后，用低密度液体替置井内液体。替置井内液体基本上按反洗方式进行，因为在这种情况下，油层中的油气流将顺利流向油管。这在开始自喷时，液流或气流中含有固体颗粒（岩石、水泥块和加重剂等）时，尤为重要。因为在这样条件下，以正洗方式用低密度液体替置井内液体，会刺坏套管环形空间的关闭装置，从而导致无控制的井喷。

当用水替置泥浆时，应测定喷出液流的参数，特别要测定液流的密度及粘度。这样可以及时发现较微弱的油层显示。

当油层出现油气流显示之后，应停止降低井内液柱密度的作业，并细心观察流出液体的特性。如肯定液流强度不能保证正常试油，而要再继续降低井内液体密度。从油层最初获得油气流的时刻对今后采油过程极为重要，所以必须细心观察所有变化，特别是发现液流显示特征之后的变化。

对地层压力高的井，当用低密度液体替完井内射孔压井液之后，能够较容易地从油层内诱导出油、气流，使油井自喷。在这种情况下，应最大限度地、平稳地降低回压，以保证由油层内获得均匀的油、气流。

如果充满井筒内的泥浆密度大（1.5~1.8克/厘米³或更

大), 静剪切应力高时, 不要一开始就用水去替置井内的泥浆, 而要采取逐步降低泥浆密度的方式进行。即每次向套管环形空间泵入比井内泥浆密度低 $0.2 \sim 0.3$ 克/厘米³的泥浆, 循环一周。并重复进行。直到这类作业进行到从油管内返出的泥浆与水的密度差小于 $0.2 \sim 0.3$ 克/厘米³时为止。这时才可泵入清水。

如果充满井内的泥浆密度大 (大于 1.5 克/厘米³), 若一开始就用水去替置井内泥浆, 就会对油层造成不允许的高压差, 从而引起各种复杂的后果, 尤其可能导致生产套管损坏。

例如在井深 3005 米, 生产套管直径 168 毫米, $2\frac{1}{2}$ "油管下入 3000 米, 充满井内的压井泥浆参数为密度 1.8 克/厘米³, 结构粘度 η 为 20 毫帕秒 (20厘泊)、动剪切应力 $\tau_0 = 25$ 帕〔斯卡〕的井。

用清水反循环替置井内泥浆至油管鞋时, 井口压力达到最大值。若用水替置井内泥浆时的流量若为 6 升/秒时, 则:

$$P_{\text{总}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

式中: $P_1 = \frac{h_1}{10}$ ——平衡泥浆和水的密度差的压力, 兆帕 (1兆帕 = 10 公斤/厘米²); $P_2 = \frac{h_2}{10}$ ——水在套管环形空间流动时的压力损失, 兆帕; $P_3 = \frac{h_3}{10}$ ——泥浆沿 $2\frac{1}{2}$ "油管流动时的压力损失, 兆帕; $P_4 = \frac{h_4}{10}$ ——地面设备的压力损失, 兆帕。

压头损失:

$$h_1 = L(\gamma_{\text{泥浆}} - \gamma_{\text{水}}) = 2400 \text{ 米}$$

由此, $P_1 = 24$ 兆帕。

压头损失:

$$h_2 = \lambda \frac{L}{D_B - d_H} \times \frac{v_H}{2g}$$

式中: λ ——沿全长的水力阻力系数; L ——油管长度, 米;
 D_B ——生产套管内径 (0.15), 米; d_H ——油管 外径
(0.073), 米; v_H ——进入套管环形空间的液流速度
(0.45) 米/秒。

为确定水在套管环形空间流动时的系数 λ , 先求 雷诺数
的值:

$$Re = \frac{v_H(D_B - d_H)}{\nu}$$

式中: v_H ——进入套管环形空间的液流速度 (45厘米/秒),
 D_B 和 d_H 分别为生产套管内径和油管 外径, 厘 米;
 ν ——水的运动粘度, 厘米²/秒。

$$Re = \frac{45(15 - 7.3)}{0.01} = 34650$$

所以

$$\lambda = \frac{0.3164}{\sqrt{Re}} = \frac{0.3164}{\sqrt{34650}} = 0.0232$$

套管环形空间的压头 h_2 等于:

$$h_2 = 0.0232 \frac{3000}{0.15 - 0.073} \times \frac{0.452}{2 \times 9.81} = 10.1 \text{ 米}$$

所以 $P_2 = 0.1$ 兆帕。

用井泥浆在油管内流动时的压头损失 h_3 由下式求 算:

$$h_3 = \varphi \lambda \frac{L v_B^2}{d_B 2g}$$

式中: φ ——考虑到由于液体中含有加重剂而加大的 水力 损

失系数, 采用1.1; d_s ——油管内径 (0.062 米); v_s ——由油管内返出的液流速度 (1.98米/秒)。

为了确定泥浆在油管内流动的水力阻力系数 λ , 必须知道总的雷诺数, 其数值可依下式确定

$$R^*e = \frac{R}{1 + \left(\frac{\tau_0 d_s}{6\eta v_s} \right)}$$

$$Re = \frac{vd\rho}{\eta} = \frac{198 \times 6.2 \times 1.8}{0.2} = 11048$$

$$R^*e = \frac{11048}{1 + \frac{250 \times 6.2}{6 \times 0.2 \times 198}} = 1473$$

因为 R^*e 小于3000, 故 λ 值按下式求计:

$$\lambda = \frac{64}{R^*e} = \frac{64}{1473} = 0.0435$$

这样, 压头损失 h_s 为:

$$h_s = 1.1 \times 0.0435 \times \frac{3000}{0.062} \times \frac{1.98^2}{2 \times 9.81} = 462 \text{ 米}$$

即

$$p_s = 4.62 \text{ 兆帕}$$

地面设备的压力损失一般不太大时, p_d 取0.2兆帕。

当泵注清水于3000米深度去替置密度为1.8克/厘米³的泥浆时, 其井口最大压力为:

$$P_{max} = 24 + 0.1 + 4.62 + 0.2 = 28.92 \text{ 兆帕}$$

所以, 如果在油层射孔之前充满井内的泥浆密度很大, 静剪力很高, 就不能一次用水替出, 而要逐步地进行, 依次往油套管环形空间泵入比充满井筒内的泥浆密度低0.2~0.3克/厘米³的泥浆, 直进行到泥浆与水的密度差不超过0.2~0.3克/厘米³时为止。此后才可用清水替出留在井内的泥浆。

为造成由地层内均衡诱导液流的条件，先以低密度液体替置井内的高密度液体，并且应该在实际中经常利用这种可能性。

如果用水全部替出泥浆之后，尚没见油、气流从地层内流出，下一步则可以用混气法进一步降低井筒水柱的密度。

二、用压风机降低井底压力

混气法 混气法可以逐步提高压降到任意要求值。混气作用的实质是向井内注入已知量的压缩空气（或天然气），而逐步降低套管及油管内液体密度。当平稳地增大井内压降值时，在一定时机油井可能自喷。混气液流进入井内的流速应大于液体中气泡出现的速度，这一情况在混气过程中具有重大意义。因为在相反的情况下，会在套管环形空间形成气塞，导致压风机压力的急速升高。

随着混气液的注入，套管环形空间的压力升高。由于充满油管内液体的密度与套管环形空间的混气液平均密度之间差别增大，进气管线和泵水管线内的压力也将升高。很明显，当混气液达到油管鞋时压力将达到最大值。液体及压缩气体的注入方式应保证压力平稳地提高。

混气液进入油管之后，气管线和洗井机的压力开始下降。井口出现气泡，表明油管内液体密度开始降低。通常从此开始逐步增加压缩空气的排量，并减少泵注水量。当液注显示出混气充分时，就停止泵注液体，这时往套管环形空间内只注入压缩气体，全部液柱即被举通。

在混气过程中即便压风机压力允许，也并不力求尽快将液柱举通。必须延长混气的持续过程，以达到平稳举通。这时要经常观察从油层内流出油气流的微小迹象。

在深井中，以及在可能发生底水上窜，井底地带遭受破坏和出现其它复杂情况的井中，不一定要求将液体举通。

如众所周知，油井内液柱逐步气化可以获得平均密度为 $0.3 \sim 0.4$ 克/厘米³ 的气-水混合物。在多数情况下，井底压力降到这程度时，从油层中是完全可能获得液流显示的。如果在这一压降下还不能获得液流，那么再进一步降低压力也未必能得出好的结果。在这种情况下，为获得液流就要适当地采取其它清理油层井底地带的措施。

用压风机气举降低油井液面 因绝大多数油井是下入单油管柱，下面将对单生产管柱用压风机气举方式降低液面的问题加以阐述。

当压缩气由油套管环形空间注入，排举液一部分由油管返出，另一部分会进入地层。气举启动压力可由下列等式确定：

$$P_n = \frac{h\gamma}{10} \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

式中： h ——油管在静液面以下的沉没深度，米， d_1, d_2 ——分别为套管及油管的内径，

当采用正举时，即压缩气经油管进入，排举液从套管环形空间返出，则启动压力按下式确定：

$$P_n = \frac{h\gamma}{10} \frac{d_1}{d_1^2 - d_2^2}$$

不混入液体气举，即便进气量很少，其液面的下降相当急剧。为了在某种程度上缓和这一状况，必须在井口装有油嘴的情况下向井内注压缩气。这一点应引起特别注意，因为用压风机急剧地降低井内液面会引起一系列复杂情况，并且也破坏了井的正常生产制度。因此，不可用高压压风机直接

降低井内液面。对于当前任何已知深度井的试油，工作压力为 9~10 兆帕的压风机是足够用的。

为了降低启动压力，并尽量增大油管在静液面之下的沉没深度，通常采用启动装置（接箍，凡尔）。用压风机以启动接箍进行间歇试油，把液面降低到一定深度之后，应停止几小时，等井内液流回升。然后重新降低液面。启动接箍的安装深度取决于压风机的压力，第一个启动接箍的深度一般为 700~800 米。

三、从油层诱导油气流方法的选择

平稳地和逐渐地降低液面，对于钻在具有底水或其近处上下有高压水层的油层部位上的井，以及钻在胶结差的储集油层部位上的井来说，是在试油过程中保证液流和气流均匀地从油层流向井底的必要条件。在这种条件下，用混气法减低液体密度来降低井底回压是最可取的试油方法。

这类油井不能用压风机气举试油，因为用这种方法强排液会引起突然的压降，并会使油层内流出的液流和气流非常剧烈。若以不平稳，激动和高压降为特征的压风机气举试油方法会导致油井提前见水，甚至破坏油层井底地带。

对处于油-水和气-水接触带附近的井试油时往往会出现这种现象。试油时压降大而且急剧，这会导致井内提前见水。基于上述原因，建议不采用压风机气举法对具有上述特征的油井试油。

分析各种试油方法的共同缺点的原因在于诱导液流和气流的过程中会有大量水和泥浆浸入油层，这对油层井底地带的渗流性能将起副作用。

用高压压风机气举试油，能在短时间内将井内液面降低

到很深的深度，会给油层带来很大损失。有时可以采用专门的启动凡尔或在油管上打些孔眼，就可能略为减少由于急剧降低井内液面所引起的瞬间压降对油层的副作用。但是这种诱导液流和气流的方法不仅促使大量液体浸入油层，同时还会破坏套管外水泥环的完整。

已经肯定套管内静水柱压力降到原始值以下，会使生产层段的水泥与套管的胶结明显变坏。在油井上进行的研究证明，改变套管内压力对冲刷过的泥岩和砂岩层段的胶结质量有极大影响。若在这些层段中减低套管内压力，就会导致水泥环与套管的胶结相对变差。而在这种情况下水泥环与套管之间就会出现0.05毫米左右的缝隙。

所进行的研究结果表明，从油层中诱导液流和气流应平稳地进行，不要超过油层允许的极限压差。如果在钻开油层和射孔过程中有大量的水（滤液和泥浆）浸入，应在试油前对油层井底地带进行清洗为宜。因为这种措施第一可保证在低压降下从油层内诱导出油气流，第二可使低渗透层和高渗透层同时投入工作。如果顾及不到，而是当油井生产到某一时期后再进行井底地带的清洗，其条件会很不利，而效果也将比在试油前清洗井底地带的效果差得多。一般用于油层井底地带预清洗的费用通常是合算的。

这说明无论是高渗透或低渗透层，在试油前由于油层浸入大量外来水和泥浆一般都遭受到不同程度的堵塞。试油时对油层井底地带若不进行预清洗的话，液流和气流将会只由高渗透层获得，在打开产层时浸入这些高渗透层的水和泥浆经过油井某一时期的生产后，可能会在很大程度上被冲洗干净。而低渗透层这时可能完全不起作用。在这种情况下从低渗透层中诱导液流和气流的尝试不会得出好的结果或者效果