

注水經驗彙編

石油工業出版社

目 录

老君廟油田L油层試注經驗	1
玉門試驗頂部及內緣注水的工艺程序	19
注水井的試井方法与資料分析	24
注水井土酸处理經驗	46
玉門注水井試注六偏磷酸納水的經驗	54
玉門注水井砂堵的原因及防砂措施	67

老君廟油田L油層試注經驗

李道品

所謂試驗注水井，狹意是指正式注水之前的一般准备工作，廣意而言，則应包括使注水井达到一定吸水能力所进行的全部措施。

試注的目的有二：一是清除井筒內及堵塞水層空隙的礫物；二是試驗增产措施，以提高水層的滲透性和吸水能力，它在整個注水工作中占有極重要的地位。

事實証明，在試注過程中会遇到很多困難，尤其在岩層緻密、滲透率低、或岩層膠結疏松，泥岩夾層較多的井中，問題更多。

蘇聯杜瑪茲油礦在整體砂岩的井中試注成功率達94.1%，有一層泥岩夾層的井成功率為29%，而有两層泥岩夾層的井，絕大部分是失敗了，成功率只有9%。

“L”層試注情況也是這樣。自然電位顯示好，產水能力強的井，試注成功率為77%；相反，自然電位幅度低，產水能力弱的井，試注成功率只有54%（這裡所指試注成功者是指初期穩定注水量在200噸/日以上的井）。

可以看出注水層位的岩層特性、地質結構是決定試注成敗的主要因素，同時也是一個油田是否適合邊緣注水的關鍵之一。

從工程方面來講，鉆井和試注過程的每個環節，與試注好壞都有關係，是絲毫不容忽視的。

下面我們分三個問題來談談玉門老君廟油田L層的試注

一、鉆注水井的地質監督與要求

鉆井單位鉆一口注水井最多只需幾個月的時間，而長期使用注水井的還是注水廠，因而對鉆井質量提出嚴格要求與認真監督是完全有必要的。

過去在這方面還沒有一個完整系統的規定。現僅根據實際工作中的體會及國外一些經驗，提出以下幾點要求作為參考。

（一）對打開水層泥漿質量的要求

為保證水層吸水面的潔淨，禁止使用混油或淀粉泥漿，泥漿對水層的危害，主要有下列幾個方面：

1. 泥漿浸入水層的影響。試驗證明，泥漿全而浸入砂層，不會超過五分鐘，但當水層節理發達，或存在有原始裂縫時，泥漿漏失的危害性大大增加。防止泥漿大量浸入水層的措施是除提高粘度和初切力外，要嚴格控制比重，泥漿柱壓力超出地層壓力不過6—10大氣壓。

2. 泥漿失水滲入水層的影響。泥漿失水滲入地層，促成粘土質或粘土夾層膨脹，地層塌陷，不僅會造成鉆井事故，更會嚴重的降低地層的滲透率。我們曾用N30、N24等井的岩心放在泉水里浸泡，最短只要幾分鐘，最長也不過兩天，就全部分散，變為泥水。M層注水井表現極為明顯，試注時排水量都在60公尺³以上，相當於距井壁13公尺範圍內的地層孔隙容積，並且經過鹽酸處理，而排出的液體仍然和稀泥漿一樣，機械雜質達20000毫克/公升以上，很明顯，急於向如此污穢的地層注水是難以得到理想效果的。

减小泥浆失水对水层的危害的方法是：一方面选用最优質泥浆，失水量不超过 5c.c. 过去打开水层时，失水量一般为 10c.c., 最高有 50c.c. 的；另一方面应尽量縮短泥浆浸泡油层的时间。根据推算和一些井証实，泥浆浸泡水层时间縮短到 120 小时是完全可以的，但过去大部分都在 200 小时以上，最多有到 800 小时的。

3. 泥餅的影响。当水从泥浆中分离出来以后，粘土顆粒就紧贴井壁上，而形成泥餅。泥餅不仅会影响固井質量，还会堵塞水层表面通道，降低排水（或注水）的效率。要求泥餅厚度不超过 $\frac{3}{16}$ "，同时在固井前应该經過划眼和清洗。

此外对鉆井还有以下一些要求：井斜每 1000 公尺不超过 5° ；在鉆第一批注水井时，水层部分应全部取心，收获率应在 70% 以上，以便于研究水层特性及增产措施；在水层以下应鉆 10—15 公尺的底坑。

(二) 对固井質量的要求

L 层注水井发生严重漏失和串通的有 3 口井。如 753 井注水半年多，吸水能力很理想，結果水从地面冒出来了。M 层 14 口注水井，肯定固井質量有問題的有 10 口，佔 70%。由于串通严重，注入水不知去向，使开发方案拖迟一、二年不能决定。从此可以看出固井質量发生問題，不仅会給一口井带来麻煩，而且对整个油田也有損害。

归納过去的一些經驗教訓，对固井提出以下要求及注意事項：

(1) 下套管前，应用鉆头划眼，消除贴在井壁上的泥餅，所使用的泥浆应该是优質泥浆。

經驗。

(2) 注水井應該選用較大的優質套管，以6"—8"為宜，壁厚應在10公厘以上，事前要經過嚴格檢查，有彎曲、傷疤、裂紋和絲扣變形的都應換掉。套管內徑應保持一致，水压試泵以工作時的最高壓力為準。

(3) 下套管時應用扶正器，扣應上滿，上好應再檢查一下，是否有異常現象。最下面的5—10根套管接箍應加以點焊。

(4) 要求注水泥的水泥漿比重為1.8—1.9，初凝2—3小時，終凝4—5小時，拉力強度24小時不小於6公斤/公分²，48小時後不小於12公斤/公分²。

套管外水泥面最好返至地面，最少應在注水層以上300—600公尺。753等4口井套管斷裂都是在洋灰面以上發生的。注水泥後48小時測量井溫，洋灰面深度預計與實際相差不能超過5%，如相差太大，應分析原因，仔細檢查固井質量是否有問題。

注水井不需要鉗掉套管內的水泥塞，清水試泵壓力以可能的最大注水壓力為標準。本油田規定是加壓150大氣壓，經半小時下降不超過2大氣壓算合格。

(三) 完 成 方 法

從提高吸水量和減小水流阻力着眼，當然最理想的是採用裸眼完成法。但這並不是任何時候都能採用的。如果岩層的組織結構不堅固，或存在着粘土夾層，採用裸眼完成法就會加劇岩層的塌陷。本油田的經驗和國外一些資料一樣，都證明採用射孔完成法是正確的。

L層注水井早期貫眼完成的六口井，目前砂堵的都很嚴

重，有三口井井下套管发生变形或断裂。

只限于针对吸水的砂层放炮，深度絕不能搞錯，同时在砂层的上下各留 0.5 公尺不打开，以保证粘土夾层更好的封闭和隔絕。

子母弹射孔只在M层的309井試驗过，沒有获得效果。M层另一口注水井762，經火焰噴射器补孔后，吸水量提高了 4 倍（9—40 公尺³/日）是值得重視和推广的。

二、試注工艺过程及其指标

（一）打 开 水 层

1. 有自噴能力的井。可用泥浆压井放炮，泥浆柱压力超出地层压力不超过6—10大气压。放炮后下2¹/₂"油管至孔眼底部，正替出泥浆，並替至反出水清为止，再用小咀子控制噴水24小时左右，強度为4吨/时，总排水量不得少于井筒容积的两倍，最好噴至見地层水为止。

2. 不能自噴的井。首先將油管下至距井底 2 公尺左右进行反洗，反出水清后，起出油管，用清水放炮，再將油管下至孔眼底部，即時強烈抽吸24小时，总抽吸水量不少于两倍井筒容积。

即時洗井排水的目的，是为了減輕井筒泥浆及渗入地层中的泥浆水对水层的損害。

應該指出，在放炮之后，下鉗头清除卡在井壁上的子弹，並把它打撈出来是有必要的。这样可以避免以后修井时发生事故，同时可检查出进入水层的子弹数，以考虑是否需要补射（如N26井修井时会冲出子弹23个）。

(二) 关 井 测 压

利用拆钻井井架的机会测水层静止压力。测时要求井口设备严密，压力数据准确，可用井口压力加水柱压力与井下压力计实测压力比较，二者如果相差很大（超过2%），应该检查校对。

(三) 第 一 次 排 水

1. 噴水。这是最理想最简单的方式。开始应用咀子最好是開門控制噴水，強度不超过2公尺³/时，噴水量达井筒容积两倍以上，含砂量稳定在2%以下，則可將噴率提高2公尺³/时至4公尺³/时。按上述原則，強度可逐渐提高，如发现含砂量有突增現象，則应降低至原来水平，此后不再提高。

羅馬尼亞专家曾指出噴水強度提高含砂量突增，說明地层結構遭到破坏，以后的注水量也不应超过这个标准。

本油田噴水的規律是：开始含砂量相当高——5%左右，以后逐渐下降，找不出一个明显的指标。个别井噴水量較高，还不出砂子，但吸水能力並不如噴水那样好。如N310井曾經噴水30公尺³/时而不含砂子，最高注水量却不过20公尺³/时，且稳定时筒很短。

噴水过程中按下列規定，进行試井和記錄：

① 12—24小时探砂面一次，如有砂堵孔眼部分，应即時洗井或冲砂。

② 每4小时取水样一瓶，送化驗室作含块量、含鉄量和机械杂质分析。含块量稳定后，应取样作全面分析。

⑧每一刻鐘量一次水量，量一次含砂量，記一次油管、套管压力；咀子大小及其它一些特殊情况也应詳細記錄。

对噴水中所取得的資料应繪成曲綫（如图1），以便及时地系統地觀測其动态和規律。

注水井和采油井一样，其流动方程式如下：

$$C_{1B} = K(P_{\text{пл}} - P_{\text{заб}})^n$$

只有当井按直綫渗濾定律流动时 n 才等于 1， K 等于常数，並随着压力差 $P_{\text{пл}} - P_{\text{заб}} = \Delta P$ 而正变，指示曲綫才会是直綫，见图 2 綫 1。

大多数情况是噴水量小时，指示曲綫开始是正的，随着噴水量提高，直綫渗濾

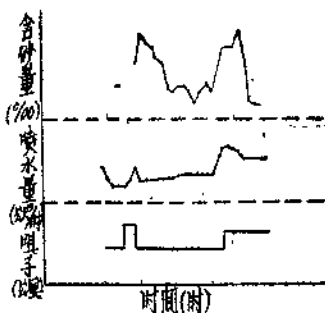


图1 噴水情况曲綫

定律受到破坏，出現所謂紊流現象，指示曲綫变成弯曲的，如图 2 綫 2。此时 n 再不等于 1，而是 $0.5 < n < 1$ ， K 也不再是常数。

2. 抽吸。不能自噴或自噴能力弱（強度小于 5 公尺³/时，总噴水量小于 500 公尺³）的井，得借抽吸的方法来清除井底。

抽吸时应适当控制压差，既能使井底井壁的髒物随水流排出，又能防止地层塌陷。L 层抽吸深度一般在液面下 400 公尺左右，随着液

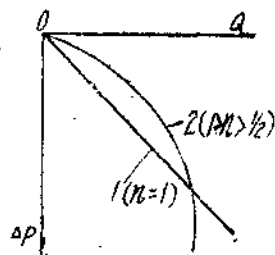


图2 产水指示曲綫

面降低，深度可逐渐增加。含砂量不应超过 4 %。根据老君

廟的情況，下拍克抽汲是不太合适的，如N-26井下拍克抽汲時，機械雜質達50000毫克/公升以上。

抽汲時要求效率在80%以上，每天純時間不少於18小時。應盡量連續工作，避免時抽時停，以免降低抽汲的效用。

抽汲過程中應按下列規定進行試井和記錄：

①每4小時取水樣一瓶，應該在抽汲出水的中間階段取樣，分析結果才有代表性。

②12—24小時探砂面一次，如有砂堵，待沖砂、洗井后再抽。

③每抽一次後量一次水量，每4次作一次含砂、泥量測定。

④每36—48小時測液面恢復曲線一次，以求產水指數，如圖3。

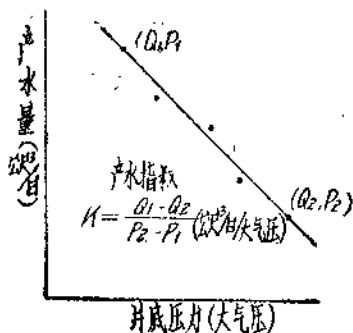


圖3 注水井產水曲線圖

此外對抽子下放、上起時間，抽汲深度、速度效率、見水深度，抽子外徑等，還要加以記錄。

停抽之前，應探砂面一次。如砂面掩蓋孔眼部分，則沖砂後將油管提至孔眼底部或頂部（視砂面穩定情況決定）完成。

一般在停止抽汲前，要一面從套管填入清水，一面從油管繼續抽汲，直到抽見清水為止，以防止污水漏入水層，堵塞孔隙。如果事先經過洗

井，抽出地层水比較干净，可省去这个步骤。

3. 結束第一次排水的标准。第一次排水的目的，在于初步消除井底，为酸处理扫除障碍，因而在现有能力下，达到最高效用后，就可結束。具体指标有以下几点：

①排出水中含盐量逐渐上升，最后稳定不变。实际上可用直接分析出来的 Γ 去比較，不必换算为含块量。L 油层水一般含 Γ 为 36000 毫克/公升左右，排水 5 天左右就可稳定。

②排出水中含鉄量及机械杂质下降並趋于稳定。

机械杂质是水中所有不溶解性物质的总和。排水时首先被带出来的是钻井时遗留和貼附在井底井壁上的岩石碎屑，泥餅以及地层中的部分細砂粒，粘土顆粒等。这些脏物开始含量很高，但下降速度較快，以后漸趋于稳定。

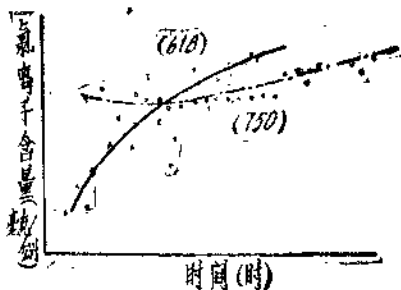


图4 含氯离子上升曲线

含鉄量的主要来源是井下管綫受水和抽子的冲蝕，磨擦而产生的，真正地层水含鉄量是較低而且稳定的。排出水中含鉄量的降低和稳定比机械杂质要快一些。

对水质分析資料应繪成曲线图，以便及时掌握井的变化。

一般自噴井的水质变化曲线比較均匀稳定，如图 5。有时机械杂质已稳定下来还有突然上升的现象，这可能是由于地层局部塌陷的原因。

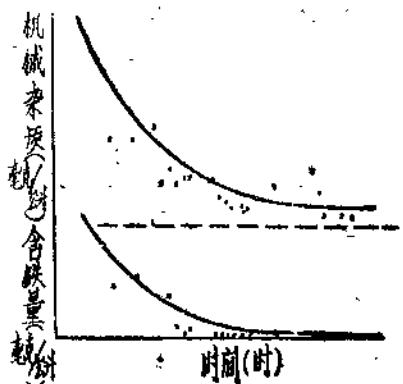


图5 噴水水质分析曲线

塞被解除后，应该有所上升。此后由于水层能力和抽吸强度相比，“供不应求”，或者由于液体及岩层弹性分布不稳定过程的影响，指数往往有下降而趋于稳定的显示，如图7。

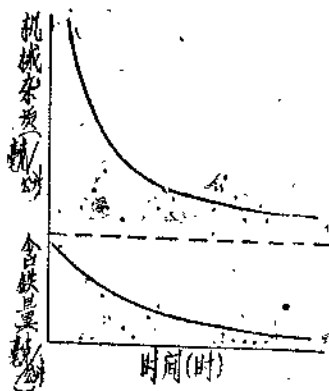


图6 抽吸水质分析曲线

抽吸井的水质变化曲线比较突然和不稳定，如图6。这是由于抽吸强度，效率，取样时间等人为因素的影响，而并非水层本身的问题。

③产水指数趋于稳定。排水出期，地层孔隙尚为磷物堵塞，一般产水指数都比较低。堵

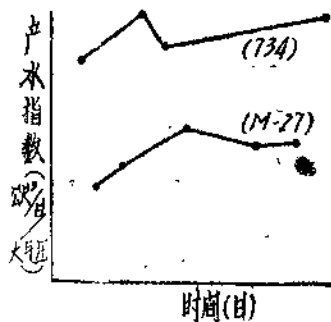


图7 产水指数变化曲线

④排水量的問題。前面曾經談过L层試注較彻底、注水情况也較良好的一些注水井，排水量一般在800—1000公尺³之間，这也算是本矿的一个經驗标准。这个指标是指总排水量而言的。如果还要进行酸处理，那第一次排水量可以低于这个水平500公尺³就行了。

(四) 酸 化

过去並沒有把酸化作为試注的必經步驟，只是对个别排水特別不好的井間或使用。1956年羅馬尼亞专家建議，酸化是試注工作必不可少的一个重要环节，执行这个建議后取得了实际效果。如734井开始排水1500多公尺³，不含一点油，可是酸化后出油达25%之多。这可能是因为泥餅坚固，堵塞严重，一般排水不足以全部解除，只有經過酸处理，才能比較彻底破坏那些“頑固”的堵塞物，使全部水(油)层暢通。看来試注过程中进行酸处理是必要和正确的。而对个别地层胶結特別坏、明显表示出地层有严重塌陷的井，是可以省掉这个步驟的。

关于酸处理的具体問題，在这里就不多談了。

(五) 第 二 次 排 水

为清除酸处理后的反应产物，應該进行更彻底的排水工作，其要求与第一次基本相同。特別提出一点，在排出一个井筒容积並見有酸味液体出来后，应連續取样，作含酸量分析，直到含酸量下降稳定为止。对这些資料加以綜合研究，便可以进一步改进酸处理工艺技术設計。

結束抽汲时，一定要探砂面一次。如果砂面距孔眼底部

較远，在排水过程中也較稳定，則不必再行冲砂。反之，停止抽吸后，要加深油管冲砂。

(六) 洗 井

洗井是整个試注工作中很重要的一个环节，如果草率从事，洗的不彻底，很可能使前功尽棄，試注失敗。其步骤和注意事项如下：

1. 正循环洗井。大家知道 $6\frac{1}{8}$ " 的套管环形面积要比 $2\frac{1}{2}$ " 油管横截面积大 5 倍，1000 公尺深的套管环形容积有 15 公尺³，而油管容积只有 3 公尺³。因此可以明显看出，正洗井漏失的可能性和漏失量比反洗井要小得多。开始洗井时，排量不超过 10 公尺³/时，等替入 2—3 倍油管容积后，再提高排量至 1000—1200 公尺³/日洗井。返出水变清后，取进、出口水样各一个，改反洗井。

2. 反循环洗井。其优点是水在油管中上返速度大，能更好的冲刷井壁和管綫，並把髒物带出地面。所以它是洗井工作的主要阶段。改反洗井后，开始每隔 4 小时取样一个，做含鉄量及机械杂质分析。到返出水很清，接近要求时，应隔 2 小时取样分析一次。当含鉄量小于 1 毫克/公升，机械杂质低于 10 毫克/公升时，就算是达到地質要求，可以改为正洗井。

3. 最后还要改正洗井的目的，是为了便于正注水。正注水的优点是可以减少水与管綫接触面积，增大流速，从而降低水对管綫的腐蝕作用，以保証注入水的高度清洁。当然正注水的磨擦損失比反注水要大些。但根据計算，一般吸水量为 240 公尺³/日时，磨擦損失不过 2—3 大气压，沒有多大实

实际意义。

正洗井返出水清后（一般需要时间并不长），取进、出口水样各一个，就可改为正式注水。

整个洗井过程中，要求每刻鐘量一次水量，記一次井口压力，作一次含砂量分析。应该严格控制保持进、出口水量相平衡，相差不得超过 2%。

根据試注成功的 20 口井的統計，平均洗井时间为 38 小时，用水量为 1280 公尺³，排水应在 1000 公尺³/日以上。

（七）注 水

注水之前应做好一切准备工作，如压力表，流量表等。最好单独用一个泵来試注新井。

注水量开始控制为 2 吨/时，等压力上升稳定后（一般需 6—12 小时），再提高 2 吨/时至 4 吨/时，依上原則逐渐提高至 6 吨/时、8 吨/时等等。

开始控制注水的目的，一方面在于取得試井資料——压力和水量的关系；另一方面是防止一开始就大量注水，会使水层产生裂縫，地层結構破坏。苏联尼基金专家曾談，他作过試驗，对同样一块岩心，慢慢加压到 15 公斤/公分²还不破裂，可是突然加压到 5 公斤/公分²，便产生裂縫。C8 井开始試注时就有裂縫产生，见图 8。当然在水力压裂时是需要采用突然加压办法的。

注水率究竟提到什么程度为限？还没有个公認的科学根据。羅馬尼亚专家曾建議說：一般胶結不太好的地层，注水量应该低于不含砂时的最大排量，这样可以保注水量平稳遞減慢，免修期延长，相反注水量一开始最高，遞減一定很

快，結果是得不偿失，如图 9 所示。問題在于这个不含砂的最大排水量无法求得，故实际上未能得到应用。

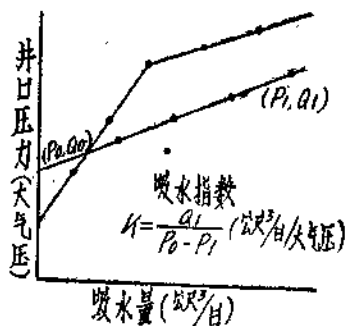


图8 注水井指示曲线图

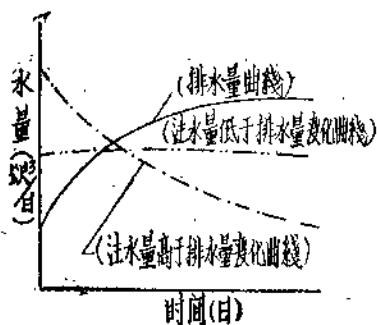


图9 抽水量与注水量关系曲线
该井的吸水能力。

在提高注水量的过程中，每刻鐘記一次井口压力，整理后，繪制注水量与井口压力（正注时用套管压力）关系曲线，如图 8，以求吸水指数。

据采油厂地质室关于注水效果分析認為，一般井注水量保持在 200—300 公尺³/日，里面油井效果显著而平稳。同时对一些控制注水井的观察发现，当注水量为 200 公尺³/日左右、井口压力約为 100 大气压时，注水井很正常、平稳。所以目前应把这个数字作为我们的标准，把注水率提高到 10 公尺³/时为宜，最好不超过 12 吨/时。达不到这个指标的，就说明吸水能力太低，满足不了采油的需要，应采取其他有效措施，来提高

(八) 注水后的管理和注意事項

这里只簡單介紹一下工作內容。

1. 每1—2天取进口水样一次，作含鉄及机械杂质分析，对水质不合格的井，应研究原因，加以处理，如清除注水站的大罐，冲洗管线等。

2. 应该严格贯彻执行平稳操作规程，如倒泵、停泵、关井、开井等，以防止砂堵，延长水井的免修期和使用年限。

3. 每隔2—4天采砂面一次，如砂面接近油管，应即时洗井以免堵死油管。最好依各井砂面稳定规律，适当提高油管位置。

4. 严格防止乱喷、乱洗现象。盲目无控制的喷水、洗井会破坏地层的结构，加剧地层塌陷和砂堵，最初几次可能还有一点效果，两三次之后，效果没有了，井也搞坏了。洗井、喷水要得到地质人员同意才能进行。

5. 每月测吸水指数一次，每三月测水层静止压力一次。

应该把吸水指数和水层压力，作为我们研究注水井的基础。

如果不考虑幂数 n 的影响（ n 是由注水量及其它一些因素决定的，并不是先有 n ，才决定其他因素），注水量 Q 是由压力差（ $P_{\text{静}} - P_{\text{注}} = \Delta P$ ）及吸水指数决定的。因而注水量下降时，应该从两方面去分析研究。

将目前吸水指数和原始吸水指数比较，70%以上的井都有程度不等的下降。如655井1956年6月原始最高吸水指数为18.9公尺³/日/大气压，1957年9月降为2.6公尺³/日/大气压，下降了86%（见图10）。这足以说明我们管理水平还