

油田开采经验汇编

# 压裂酸化

石油化学工业出版社

油田开采经验汇编

# 压裂酸化

石油化学工业出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍各油田压裂工作方面的经验和成果，内容包括压裂地质、压裂液、压裂工艺技术和压裂设备等，计十六项。另外还介绍了酸化增注方面的实验和成果，计四项。

本书可供采油和井下作业广大工人和工程技术人员参考。

### 油田开采经验汇编

### 压 裂 酸 化

•

石油化学工业出版社 出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

•

开本 $787 \times 1092^{1/32}$  印张 $4 \frac{3}{16}$

字数 91 千字 印数 1—7,000

1976年5月第1版 1976年5月第1次

书号15063·油71 定价 0.31 元

(内 部 发 行)

## 前 言

在毛主席革命路线指引下，随着我国石油工业高速发展的大好形势，近几年来采油工艺也有了很大的提高。采油工艺已从单项技术发展到工艺配套，从单项措施发展到综合措施，从全井笼统措施提高到分层选择性措施。采油工艺的发展和提高，有力地配合了油田开发方案的实施，为油田综合调整、挖潜，保持稳产高产提供了有效的手段。

为了广泛交流采油工艺方面的经验和成果，我们将分册出版《油田开采经验汇编》，陆续介绍各油田的经验和成果。由于我们编辑水平所限，缺点错误之处在所难免，请读者提出批评指正。

## 目 录

压裂在油田开发中的作用	1
压裂的选井选层	11
压裂工艺对压裂效果的影响	16
压裂井的投产管理	19
井温法测井在压裂选层上的应用	21
海藻胶水基凝胶压裂液	26
田菁水基压裂液	29
决明子水基稠化压裂液	33
香豆粉水凝胶压裂液	39
香豆粉水凝胶压裂液的配制	50
不压井不放喷分层压裂工艺	53
不动管柱分层压裂工艺	54
一井多层、一层多缝压裂工艺	62
压裂砂加工厂	66
机械选砂厂	76
六车四化	79
低浓度氢氟酸快速酸化	100
醋酸缓冲-稀酸活性液增注工艺	104
酸渣液增注	109
胶束溶液增注	118

# 压裂在油田开发中的作用

大庆油田井下作业指挥部

我国的压裂工作是从一九五二年首先在延长油矿开始进行的。二十多年来,在毛主席革命路线指引下,以“两论”为指导,不断实践,反复认识,使我国的压裂工作在压裂理论、压裂装备、压裂液、压裂支撑剂和压裂工艺方面,都得到了较快的发展。

过去只把压裂作为一种油井增产措施来看待,现在是把压裂和注水相结合,实行注水井、采油井分层对应配套压裂、酸化,一个区块一个区块的打总体进攻仗,充分发挥注水作用。

在注水开发的油田中,压裂和注水相配合,注水是补充油层能量,压裂是解放油层能量。只注不压,注水效果得不到充分发挥(特别是中低渗透层);只压不注,压裂增产稳不住。只有注水和压裂有机地配合,才能夺得高产稳产。目前压裂工艺已成为油田注水开发工艺的补充和配套,是向油层进攻的基本措施和搞好油田综合调整的重要手段。

大庆油田是从一九六六年开始进行压裂试验的,通过几年的实践,对压裂在注水开发油田中的作用,归纳起来有以下几点。

**一、可以提高油水井生产能力,对实现油田高产稳产发挥了主动进攻作用**

几年来，大庆油田已累计压裂油水井一千五百余口，三千多个层段。实践说明，通过以注水为基础，大搞油水井配套压裂改造措施，可以大幅度提高油井的生产能力和注水井的吸水能力，做到层间接替，弥补油井的自然递减率，实现油田长期稳产高产。

例如，一九七二年没有开展压裂改造，全年投产的新井所增加的产量全部弥补了老井递减；一九七三年以注水为基础，大搞油井压裂，这一年是老区稳产，新井投产，全油田增产；一九七四年又总结了前两年的经验，大搞油水井配套压裂，分区（块）打总体仗，这一年，老区不但稳产而且增产，加上新井投产，全油田超产。

## **二、可以充分利用现有井网，大搞以压裂为主的综合措施调整，提高区（块）的采油速度**

利用现有井网夺高产，是符合总路线精神的。在现阶段，只要认真对待，搞好油水井配套压裂调整，区（块）的开发效果是可以改善的。

例如南二、三区面积井东块，该区层间矛盾比较突出，含水上升速度快，中低渗透层吸水能力差，稳产困难。一九七四年针对上述特点，开展了油水井同时进行以压裂为主的综合措施调整。压裂后提高了油井的生产能力，产量大幅度上升。据18口井压裂前后资料对比，在油嘴基本不变的条件下，平均单井日增产17吨，生产压差缩小了7大气压，采油指数提高2.4吨/日·大气压。同时，对于发挥中低渗透层的作用，减缓层间矛盾，也起到很好效果。据8口井的资料统计，中低渗透层的产液量从占全井30.5%增加到54.5%，采油强度从压裂前的1.4吨/日·米上升到6.5吨/日·米。

由于压裂井产量上升，注水井加强改造，使全块的采油

速度提高了,南二面东块由2.14%提高到2.48%;南三面东块由1.78%提高到2.38%,且综合含水稳定。

实践证明,在现有井网条件下,通过以压裂为主的综合措施,不仅可使全区块产量稳定,而且还可以提高区块的采油速度。

### 三、可以挖掘各类油层的生产潜力,改善开发效果

各类油层包括:高、中、低渗透油层,非一类有效厚度油层,过度带稠油段油层,高含水厚油层。在油田开发过程中,各类油层发挥作用不一样,即使是同一类油层,开发效果也不完全相同。例如过去认为发挥作用好的主力油层(高渗透油层),根据一九七四年有分层测试资料的33口井、36个主力层统计,其主力油层的地层系数占全井的52.1%,而产液量只占34.5%,说明其中一部分主力油层没有发挥主力作用;从生产情况来看,50%层见水,50%层不见水,还有3个主力油层不出油。主力油层是如此,其它类型的油层作用发挥得就更差了。

油井要高产,油田要稳产,必须挖掘各类油层的生产潜力,充分发挥各类油层在开发中的作用。通过两年来大规模压裂实践说明,采用压裂措施向各类油层打进攻仗,就能挖掘潜力,改善油田开发效果。根据压裂井有分层测试资料的79口井,108个层段统计分析如下述。

#### 1. 高渗透油层

高渗透油层,一般都是厚度大、渗透率高,是油井的主力油层。这类油层多数在开发中发挥了主力油层的作用,开发效果比较好,但部分井层由于种种原因,油层有堵塞现象,即我们所说的“动静态不符”的油层。对这部分油层压裂以后,解除了油层堵塞,恢复了油层的生产能力。据9口井11



个层段统计,采油强度从2.94吨/日·米增加到5.45吨/日·米。

## 2. 中渗透油层

这类油层与高渗透油层近似,压裂后进一步改善了开发效果,发挥了作用。据14口井20个层段统计,采油强度从1.70吨/日·米增加到4.57吨/日·米。

## 3. 低渗透油层

这类油层开采效果不好,采油强度比较低,压裂后潜力比较大,是各类油层开采强度提高幅度最大的一类油层。据37口井56个层段统计,压裂后采油强度从1.68吨/日·米上升到5.64吨/日·米,增加3.96吨/日·米。也就是说,每压裂一米低渗透率油层每天可以增加原油3.96吨,是今后挖掘潜力的主要对象。

## 4. 非一类有效厚度油层

这类油层最差,其特点是:渗透率低,厚度小,含油性差,不够一类有效厚度标准,它包括二类油层和渗透性含油砂层两部分。在生产过程中,当生产压差较大时,具有一定的出油能力,与油层一体。这类油层压裂后发挥了两个作用:一是挖掘这类油层本身的潜力,二是发挥了这类油层在注水开发中的“镶边”和“搭桥”作用,提高水驱控制储量。根据压裂前后4口井4个层段的对比,采油强度(按射开厚度计算)从0.29吨/日·米增加到1.11吨/日·米。

## 5. 过渡带稠油段油层

油田过渡带稠油段,由于原油物性变差,粘度增大,流动系数随粘度的增加而降低,因此,开发效果差。据一块实验区统计,稠油段油层有效厚度占总有效厚度的58.3%,而平均采油强度仅为0.5%。这类油层占过渡带一半储量,采油强度又很低,所以潜力大。据10口井12个层段压裂前后的

资料统计，采油强度从压前的 1.01 吨/日·米提高到 2.20 吨/日·米，接近稠油段以上油层的采油速度（2.4 吨/日·米）。

#### 6. 高含水厚油层

这类油层是指含水 50% 以上、厚度在 5 米以上的油层。大厚油层，一般是高渗透主力油层，但由于纵向上的非均质性，局部水淹，层内矛盾突出，影响开发效果，也影响油井的稳产。过去曾进行过堵水等多项措施，虽有一定效果，但有效期短。一九七三年到一九七四年对这类油层进行了压裂，大厚层分段测试资料表明，压裂后大厚层的出油剖面可以得到改变，层内不含水或低含水部位的产油量和比例均有提高，油井产油量增加，含水下降或稳定。据 5 口井 5 个层段压裂前后资料统计，采油强度从 2.91 吨/日·米增加到 3.98 吨/日·米，压裂效果是好的。目前，对压裂后改变厚油层出油剖面的机理有待试验研究。

#### 四、可以送水利、引水效，实现注采平衡，充分发挥压裂在注水开发油田中的作用

油田注采平衡与否，应根据实际注采表现来检验。注采平衡与否的主要表现是油井的地层压力。低压井层说明注得少，采得多，而高压井层则相反，注得多，采得少。也就是说，需要多采的采不出来，需要多注的又注不进去。压裂就可以帮助解决这个问题。在选井选层方面就有这样一个原则：采得出注不进，压水井；采不出注得进，压油井；采不出也注不进，则油水井配套压裂。这样，搞积极的注采平衡，就可以充分利用水利，给油井送水利引水效，充分发挥注水开发的作用。

在压裂实践中，许多正反两方面经验告诉我们，必须把压裂放在如何发挥水利的基点上，否则就不能取得好的压裂

效果。过去由于对这一点认识不深刻，曾单纯从油井上要油，多压油井，因而选了一批低压井，甚至低于饱和压力的油井也进行压裂，其结果是：压裂不注水，等于干张嘴，地层压力大幅度下降，增产的有效期短，个别井停喷。例如西二断块共压裂29口油井，其中22口地层压力下降到饱和压力以下，造成溶解气驱，产量一个劲往下掉。后来总结了经验，又对西二断块的注水井进行压裂，结果是地层压力回升，油井生产能力恢复。据21口油井统计，日产油量上升了119吨，总压差上升了13.7大气压。

关于压裂引效问题，从地层压力的变化情况可以看到压裂引效的效果。油井压裂后地层压力的变化有三种情况，即：下降，稳定，上升。一般说来，“油井压裂后大幅度增产，大量释放地层能量，地层压力是下降的，下降到一定程度后稳定下来。但是为什么一部分压裂井地层压力稳定，甚至上升，例如油田南部地区有16口井压裂后平均地层压力上升了4.4大气压。这种现象表明：被压开的地层过去没有充分发挥注水效果，压力憋得很高，油出不来，压裂后把注水效果引向油井，从而扩大了扫油面积，调整了平面矛盾，发挥了注入水的效果。

油水井压裂效果说明：在注水开发过程中，压裂必须立足于注采平衡，充分发挥水效的作用，在水井上送水利，在油井上引水效，就能取得较好的压裂效果。

### 五、可以培养高产井

大庆油田目前的高产井中有一批是压裂后出现的，占高产井总数的8.5%。如何通过压裂来培养高产井，还有待进一步总结和分析，但从现有高产井资料看出，它们具有以下特点：

1. 油层本身条件比较好。油层本身条件比较好是高产井的内因，是高产的物质基础，一切外因只有通过内因才能起作用。

压裂后出现这批高产井，油层本身有两种情况：一是压裂层的单层厚度较大，渗透率高，地层系数占全井的百分比大；二是井点上油层厚度小，以中低渗透油层为主，地层系数占全井比例小，但油层的水驱控制厚度大。以上两种情况都具有较好的注水条件。

2. 油层条件比较好，但出油状况差，井口压力低，采油指数小，这表明渗透阻力大，即静态资料与动态资料不符，压裂起到解堵和改造油层的双重作用。压裂后采油指数大幅度上升，增加了3.55吨/日·大气压。

3. 压裂施工措施上一是加砂量比较高，二是高含水井压裂后进行分层配产，堵死或控制高含水层。

4. 压裂井的管理适应措施后的变化情况。油井压裂后生产条件改变了，采油压差明显缩小，为保持合理工作制度开采，需及时放大油嘴放产。据26口井统计，平均放大油嘴3.2毫米后生产压差仍比压裂前低13.3大气压。

从以上四个方面的特点来看，通过压裂培养高产稳产井，必须是：供水条件好，油层水驱控制厚度大，生产状况差，加砂量大，措施得当，油水井管理水平高。

压裂在注水开发油田中的作用，现在仍然是不断深化的过程，但要发挥在注水开发油田中的进攻性作用，必须做好以下四方面的工作。

#### 1. 选好井层是提高压裂效果的前提

(1) 选井选层必须立足于以注水为基础这条油田开发的基本经验，有利于改善注水开发效果，有利于发挥水利的作

用。

(2) 压裂层段要与注水井连通, 油水井改造要配套。无论是对一个区(块), 还是对一个油层, 要力求作到注采平衡, 注采不平衡者, 就是改造的对象。采得出、注不进, 改造注水井; 采不出, 注得进, 改造油井; 既注不进又采不出者, 油水井对应压裂。要作到这一点, 必须是对地下情况有清楚的了解, 才能取得较好的增产效果, 才可以保持较长的有效期。

(3) 压裂层段内应具有较大的单层厚度, 这是增产的物质基础。一个压裂层段, 通常是由几个小层组成, 这些小层的单层厚度越大, 增产效果越好。

(4) 每口压裂井应保持一定数量的层段数。一口井需要改造的层很多, 在目前工艺和施工水平条件下, 一口井压裂几个层段比较合适, 根据几年分层压裂的情况来看, 一口井选压2~3个层段就可以达到预期的效果。

通过两年的压裂选井选层, 在油田开发的现阶段, 在目前工艺条件下, 用较小的工作量, 取得较好的压裂效果, 具体的选井选层方法是, 根据区(块)的综合调整的总体方案要求, 选择那些采不出、注不进、注水开发效果差、具有较大的单层厚度、能进一步发挥水利作用的油层。

## 2. 没有头等的施工质量就没有好的压裂效果

(1) 在现有工艺条件下, 逐步提高加砂量。压裂后增产效果的好坏, 在条件相同的情况下, 一般是加砂量越高, 增产幅度越大。几年来随着加砂量的不断提高, 平均单井日增产水平也逐年提高。

另外从几口大砂量油井压裂的效果来看, 也可以说明这个问题, 如北50井, 压裂一个层段加砂30.5方, 产量大幅度

提高，日产量从35吨上升到75吨，目前稳定在70吨，已稳产一年半时间。

(2) 有条件的井尽可能采用不压井作业，必须进行压井作业者，压井液的性能一定要符合设计要求，替喷时要彻底，必要时应采用酸浸以解除堵塞，方能达到预期的效果。

(3) 施工中严禁无控制放喷。无控制放喷会造成大量释放地层能量和吐砂，直接影响压裂效果。

(4) 因井制宜地开展以压裂为主的综合措施。部分油井已进入中高含水阶段，压裂后如不进行配产措施，效果得不到发挥。压裂后配产，效果十分明显，如北22井，压裂前日产油19吨，含水53%，压裂后未配产，日产油上升为23吨，含水54%，产量和含水变化都不大。经过配产后，日产油上升为51吨，含水下降为23%。

### 3. 压裂井的管理要适应措施后的变化

(1) 及时开井。现用压裂液绝大部分是脱气原油，如果压裂后不及时开井生产排出，进入地层的死油对油井生产有一定的影响。及时开井能充分发挥油井的作用，提高油井的利用率。

(2) 选择合理的工作制度。油井经过压裂后油层出油状况有了新的变化，流动压力上升，生产压差缩小，采油指数增加，如果不是根据新的生产状况，选择合理的工作制度，而仍用压裂前的油嘴生产就不合理了。有25口压裂井放大1个毫米油嘴生产，平均生产压差由8.5放大到10.4大气压，仍比压裂前平均14.5大气压低4.1大气压；产油量明显上升，由放大前平均每口井日增产1吨上升到12吨。这就进一步发挥了油层本身的潜力和压裂的作用。

(3) 加强注水井管理，及时调整注水量。油井压裂后

在产量大幅度提高的情况下，相应注水井要进行及时的调整和改造，防止压裂区地层压力大幅度下降，甚至低于饱和压力，使油井呈溶解气驱开采，产量下降，不能稳产，不能起到压裂改善开发效果的目的。

4. 油水井改造要在综合调整的基础上，集中力量，打总体仗，就能取得好效果。

大庆油田有几个区块是综合调整方案油水井同时配套改造。如杏六联地区，位于过渡带，共有油水井48口，其中油井30口，注水井18口，已有28口油井见水，含水20%的18口井，含水60%的3口井。因位于油田边部，油层变差，油井自然产量低，有14口井采用机械采油，注水井吸水能力差。今年八、九月份，集中一部分施工力量，在该区开展油水井全面压裂试验。经过两个月的会战，压裂油井27口，注水井压裂11口。

根据压裂前后25口油井统计，日增产油213吨，平均单井日增产8.5吨。

根据压裂前后11口注水井统计，平均单井日增注24方。

总之，大庆油田的压裂工作，几年来为油田开发做出了一定的贡献，但今后仍需进一步开展压裂机理的研究，以适应油田开发挖潜夺高产的新形势。

## 压裂的选井选层

玉门老君庙油矿

压裂效果与压裂工艺、施工参数有一定的关系，但对增产幅度来说，地质因素则起决定作用。因此，压裂的关键是选好井层。压裂井层的选择，要综合利用静态和动态资料，在注水开发的油田上，选井选层时要特别注意：注、压配套，油水井并举。

### 一、选井

1. 对一个井组和区块，要注水和压裂配套，油井和水井并举。对于油井采得出、水井注不进，以选压水井为主；水井注得进，油井采不出，以选压油井为主；若水井注不进，油井采不出，则油水井同时选压。例如327井组，水井327注得进，注水量稳定，其对应的油井G18产量也一直平稳，平均日产8吨左右，于一九七二年压裂一个层后产量上升到12~13吨/日有效期8个月以上。

对于水井注不进、油井采得出的要重点选压水井，但目前水井仅搞压裂，还不能达到增注的目的，特别对于低产区，酸化和压裂结合，效果较好。如981井组，水井981长期注不进，周围油井大部分见不到它的注水效果。一九七四年搞了稀酸增注，效果较好。措施前981井井口压力100大气压，注不进；措施后井口压力90~98大气压，日注量10吨。因此，对于一个井组和区块，选井时要油、水井配套，不能孤立地



进行选井。

其次，在选井时，要选择高产区里的低产井，和在低产区里培植高产井。目前，在高产区里选压低产井也收到了良好效果，较为突出的如403井地区，周围井如176、186等井产量都较高，产液在12方/日左右，但403井产量一直较低，平均液量在3方/日左右，含水3%。一九七四年选择403井大型压裂，加砂50方，排量3方/分，压后解除了堵塞，产液量提高到8~9方/日，含水40%。

2. 充分利用注水效果进行选井。在一个井组或区块内，要选压注水好和注水、采油层段对应的油井，特别是对已有受效显示的油井进行压裂，效果明显，起到压裂引效作用。如东区4226井组，水井4226于一九七二年6月投注，水井注入正常，周围油井6708和490两井分别在一九七二年十月和十一月进行压裂引效，压后两口井都见效，产量分别由2.5吨/日上升到4.0吨/日和1.0吨/日上升到2.5吨/日。

3. 对于含水井，在选井时要考虑压裂效果与含水的关系，选择含水适当的井，以便充分发挥压裂效果。据一九六九年至一九七四年资料分析，对含水不同的油井压裂后，增产效果不同，其一般关系如下表所列。

由表中可以看出，在选井时，应重点选取含水50%以下的中低含水井进行压裂，才能充分发挥压裂的效果。但对高含水井的压裂也不是统统无效，只是相对中低含水井效果不明显。

## 二、选层

在选好井的前提下，对层位的选择要重点考虑以下几个问题：

1. 和注水井连通好的中低渗透层，要重点压，以调整