

（一）钻井

一、概述

钻井液（原称泥浆）是指钻井中使用的工作流体。它可以是液体或气体。因此，钻井液应确切地称为钻井流体。钻探过程中，孔内使用的循环冲洗介质。又称钻孔冲洗液。钻井液按组成成分可分为清水、泥浆、无粘土相冲洗液、乳状液、泡沫和压缩空气等。清水是使用最早的钻井液，无需处理，使用方便，适用于完整岩层和水源充足的地区。泥浆是广泛使用的钻井液，主要适用于松散、裂隙发育、易坍塌掉块、遇水膨胀剥落等孔壁不稳定岩层。钻井液是钻探过程中，孔内使用的循环冲洗介质。钻井液是钻井的血液，又称钻孔冲洗液。钻井液按组成成分可分为清水、泥浆、无粘土相冲洗液、乳状液、泡沫和压缩空气等。清水是使用最早的钻井液，无需处理，使用方便，适用于完整岩层和水源充足的地区。泥浆是广泛使用的钻井液，主要适用于松散、裂隙发育、易坍塌掉块、遇水膨胀剥落等孔壁不稳定岩层。

二、钻井液主要功用

旋转钻井初期，钻井液的主要作用是把岩屑从井底携带至地面。目前，钻井液被公认为至少有以下十种作用：

（1）清洁井底，携带岩屑。保持井底清洁，避免钻头重复切削，减少磨损，提高效率。

（2）冷却和润滑钻头及钻柱。降低钻头温度，减少钻具磨损，提高钻具的使用寿命。

（3）平衡井壁岩石侧压力，在井壁形成滤饼，封闭和稳定井壁。防止对油气层的污染和井壁坍塌。

（4）平衡（控制）地层压力。防止井喷，井漏，防止地层流体对钻井液的污染。

（5）悬浮岩屑和加重剂。降低岩屑沉降速度，避免沉沙卡钻。

（6）在地面能沉除砂子和岩屑。

（7）有效传递水力功率。传递井下动力钻具所需动力和钻头水力功率。

（8）承受钻杆和套管的部分重力。钻井液对钻具和套管的浮力，可减小起下钻时起升系统的载荷。

（9）提供所钻地层的大量资料。利用钻井液可进行电法测井，岩屑录井等获取井下资料。

（10）水力破碎岩石。钻井液通过喷嘴所形成的高速射流能够直接破碎或辅助破碎岩石。

（11）悬浮岩屑和密度调整材料：当停止循环时，钻井液处于静止状态，其中的膨润土颗粒可互相联结，形成结构，将岩屑悬浮起来。若钻井液中加入密度调整材料（如重晶石），则在停止循环时，钻井液也可将它悬浮起来。钻井液悬浮岩屑和密度调整材料的能力，可使钻井液停止循环后易于再启动。

负面作用：钻井液在使用过程中，对油气层有一定程度的损害，主要表现在：

（1）固相颗粒及泥饼堵塞油气通道；

（2）滤失液使地层中粘土膨胀而堵塞地层孔隙；

（3）钻井液滤液中离子与地层离子作用产生沉淀堵塞通道；

（4）产生水锁效应，增加油气流动阻力。

三、类型介绍

钻井液由分散介质、分散相和添加剂组成。

钻井液按分散介质（连续相）可分为水基钻井液、油基钻井液、气体型钻井流体等。钻井液主要由液相、固相和化学处理剂组成。液相可以是水（淡水、盐水）、油（原油、柴油）或乳状液（混油乳化液和反相乳化液）。固相包括有用固相（膨润土、加重材料）和无用固相（岩石）。化学处理剂包括无机、有机及高分子化合物。

1、水基钻井液

水基钻井液是一种以水为分散介质，以粘土（膨润土）、加重剂及各种化学处理剂为分散相的溶胶悬浮体混合体系。其主要组成是水、粘土、加重剂和各种化学处理剂等。水基钻井液基本经历了五个阶段，即天然钻井液（1904-1921年）、细分散钻井液（1921-1946年）、粗分散钻井液（1946-1973年）、不分散低固相钻井液（1966年至今）、无固相钻井液（1968年至今）、聚合物钻井液（1978年至今）阶段等。

水基钻井液还可分为：

- （1）淡水钻井液。氯化钠含量低于 10mg/cm^3 ，钙离子含量低于 0.12mg/cm^3 。
- （2）盐水钻井液（包括海水及咸水钻井液）。氯化钠含量高于 10mg/cm^3 。
- （3）钙处理钻井液。钙离子含量低于 0.12mg/cm^3 。
- （4）饱和盐水钻井液。含有一种或多种可溶性盐的饱和溶液。
- （5）混合乳化（水包油）钻井液。含有3%-40%乳化油类的水基钻井液
- （6）不分散低固相聚合物钻井液。固相含量低于4%，含有适量聚合物。
- （7）钾基钻井液。氯化钾含量高于3%。1978年以来开始在我国钻井现场使用。
- （8）聚合物钻井液。它是以聚合物为主体，配以降粘剂，降滤失剂、防塌剂和润滑剂等多种化学处理剂所组成的钻井液。它是20世纪80年代发展起来的一种新型钻井液体系。包括阳离子聚合物钻井液、两性离子聚合物钻井液、全阳离子聚合物钻井液、深井聚合物钻井液和正电胶钻井液等。

2、油连续相钻井液

油连续相钻井液（习惯称为油基钻井液）是一种以油（主要是柴油或原油）为分散介质，以加重剂、各种化学处理剂及水等为分散相的溶胶悬浮混合体系。其主要组成是原油、柴油、加重剂、化学处理剂和水等。它基本经历了原油钻井液（1930年初）、油基钻井液、油包水（反相乳化）钻井液（1960年至今）等三个阶段。

- （1）原油钻井液。主要成分是原油。
- （2）油基钻井液。以柴油（或原油）为连续相，以氧化沥青为分散相，再配以加重剂和各种化学处理剂配制而成。
- （3）油包水（反相乳化）钻井液。一柴油（或原油）为连续相，以水为分散相呈小水滴分散在油中（水可占60%的体积），以有机膨润土（亲油膨润土）和氧化沥青等稳定剂，再配以加重剂和各种化学处理剂等配制而成。1978年以来开始在我国钻井现场使用。

3、气体型钻井流体

气体钻井液是以空气或天然气作为钻井循环流体的钻井液。泡沫钻井液是以泡沫作为钻井循环流体的钻井液。主要组成是液体、气体及泡沫稳定剂等。

20世纪80年代我国标准化委员会钻井液体系分委会把钻井液分为：不分散地固相聚合物钻井液、淡水钻井液、盐水钻井液、饱和盐水钻井液、钙处理钻井液、

钾基钻井液、油基钻井液、气体钻井液等八大体系。

API(美国石油学会)及 LADC(国际钻井承包商协会)认可的钻井液体系如下: 不分散钻井液体系、分散性钻井液体系、钙处理钻井液体系、聚合物钻井液体系、低固相钻井液体系、饱和盐水钻井液体系、修井完井钻井液体系、油基钻井液体系和空气、雾、泡沫和气体体系。

四、选用原则

钻井液是钻井的“血液”，在钻井作业中起着非常重要的作用。因此对钻井液要求很高，主要有四个方面：

1、钻井循环的要求

钻井循环对钻井液的要求是泵压低（粘度低），携砂能力强（动切力高），启动泵压低（静切力低），润滑性能好，摩擦力低，磨损小（固体颗粒少）。

2、要保持井眼的稳定

钻穿的地层要用钻井液的压力柱与地层压力取得平衡，钻井液密度稳定；钻井油气层时要靠钻井液的压力柱来平衡油气的压力要求钻井液密度适当。要求钻井液有克服不稳定地层的性能，例如泥岩吸水膨胀造成井眼收缩；砾岩、火山岩遇水造成跨塌，盐岩遇水而形成溶洞等，即要求有不同性质的钻井液。

3、要求钻井液保护油气层

钻开油气层后，钻井液与油气层接触，为防止钻井液损害油气层，要求钻井液的失水小、泥饼薄（钻井液失水后，固压差固体颗粒在井壁上形成泥饼环）、固相含量低、滤液的水化作用低（滤液进入地层后与地层中的液体发生的化学作用）等。

4、保护环境和生态

钻井液中常含有原油、柴油和各种油类以及含有大量的化学处理剂，为防止钻井液对环境和生态可能造成的影响，要求使用无害、无毒的钻井液。

五、突发情况下钻井液处理方案

1、地层出水

地层出水是指钻井过程中，地层水进入钻井液中并随循环而返出地面的过程。由于地层水的矿化程度高，含有较多的重金属离子和高价阴离子，这些含有多种离子的地层水往往会破坏钻井液原有性能的稳定，严重时会造成井壁的坍塌，发生卡钻等井下事故。如出水量较小，对钻井液性能影响不大时，可以不考虑，出水量较大且严重影响钻井液性能时，则应加大钻井液密度，压住出水，也可采取下套管封隔的办法。

2、其它伤害情况下的钻井液处理

钻井过程中还会遇到许多意想不到的事情，导致钻井液性能变差、变坏的因素，严重时也会导致井下复杂和事故。其主要有：发生钙、石膏、盐、盐水、锶、钡等污染，钻屑等有害固相侵害、碳酸根、重碳酸根等侵害，每一种侵害或污染有其相对应的处理方法，现场处理时首先要分析污染和侵害的原因所在，选择合适的钻井液类型或使用适当的处理剂进行处理，否则会带来井下复杂情况。

1) 钙、石膏污染：选择碳酸钠配合 FCLS 进行处理。

2) 盐、盐水污染：选用盐水和饱和盐水钻井液。

3) 锶、钡等污染：选用碳酸钠进行处理。

4) 有害固相侵害：利用固控设备清除有害固相，或放掉部分钻井液。

5) 碳酸根、重碳酸根等侵害：首先用水泥等将钻井液中碳酸根、重碳酸根处理掉，再用碳酸钠将剩余的钙处理掉，最后选用 FCLS 等处理剂调整好钻井液各项

性能参数，恢复钻井工作。。

钻屑对钻井施工的影响

一般说来，钻屑使钻井液固相含量升高的现象不会很快呈现出来，其危害的产生有一定的过程，在经济方面造成的影响也就不可能很快展示给我们。所以，这些人不相信钻屑对钻井液的危害能够达到它们实际造成损害的程度。钻屑会增加钻井成本，伤害储层，加大处理钻井液的费用。因此，钻屑与以下特殊问题相互关联：1、滤液伤害储层；2、钻速受限；3、井下复杂；4、卡钻；5、井漏；6、钻井液直接成本；7、处理费用增加。

钻屑对一口井的经济影响是很微妙的。钻屑含量的增加并不会马上导致钻井灾难。当钻头停止钻进而且扭矩增大时，钻井工作人员马上知道该起钻了；而岩屑量的增加，其负面影响不会马上表现出来，所以降低固相含量类似于为防止发生意外买份保险单。要保证这些事故（如卡钻）不会发生是很难的。

（二）固井

一、固井的作用

封隔油、气、水层，阻止地层间流体相互窜流，保护生产层；封隔严重漏失层或其它坍塌等复杂地层；支撑套管和防止地下流体对套管的腐蚀。

固井作业的主要环节：下套管；注水泥

二、油井水泥外加剂及其作用机理

1、分散剂（减阻剂、紊流引导剂）

作用：降低水泥浆粘度、增加水泥浆流动性能；改变水泥石的微观孔隙结构；影响水泥浆的凝结时间和失水

分散剂的种类：木质素系；树脂；密胺树脂；酮醛树脂；其它分散剂

2、稠化时间调节剂

稠化时间：指水泥浆稠度达到 100BC 的时间，为可泵送的极限时间。为了保证施工安全，施工时间应低于稠化时间。

稠化曲线：在稠化过程中水泥浆稠度随时间变化的曲线

调凝剂：为了准确控制施工时间，既要保证施工安全，又要尽快缩短水泥浆在环空中候凝时间以减少水泥失水、析水或遭水浸、气浸的时间通常要在水泥浆中加入稠化时间调节剂。能缩短水泥浆稠化时间的外加剂称为促凝剂，能延长稠化时间的则称为缓凝剂。

（1）分散剂的调凝

（2）无机盐的调凝

（3）促凝剂

常用无机促凝剂： CaCl_2 、 NH_4Cl 、 MgCl_2 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 AlCl_3 、 Na_2CO_3 和硅酸钠等，其中 CaCl_2 是最常用的促凝剂和早强剂。目前不提倡使用 CaCl_2 作促凝剂。³⁴²³²³²²

²² 有机促凝剂：甲酸钙、甲酸铵、尿素、三乙醇胺、乙二醛都属有机促凝剂。

（4）缓凝剂

木质素磺酸盐及其衍生物（磺烷基木质素；硝基木质素）；磺化丹宁、磺化栲胶、丹宁酸钠；纤维素衍生物；羧基羧酸及其盐类

3、油井水泥降失水剂

失水：指水泥浆在环空上返过程中，由于液柱和地层压差的作用，自由水渗入地层的现象。

危害：对地层造成伤害；改变水泥浆的流动性；高失水是造成气窜的主要原因

类型：

(1) 微粒材料：微小的颗粒进入滤饼并嵌入水泥颗粒之间使滤饼结构致密，降低泥饼的渗透率，从而减少水泥浆的失水。这类的降失水剂有：沥青、 CaCO_3 粉末、微硅、石英粉、火山灰、飞尘、硅藻土、硫酸钡细粉、滑石粉、热塑性树脂等。

(2) 纤维素衍生物：这类型产品品种较多，常用的有 HEC（羟乙基纤维素）、CMC、CMHEC，硫酸纤维素，纤维素黄原酸盐以及纤维素的接枝改性产品。①羧甲基纤维素(CMC)②羟乙基纤维素(HEC)③羧甲基羟乙基纤维素(CMHEC)

(3) 丙烯酰胺类共聚物：丙烯酰胺类共聚物作为油井水泥降失水剂是丙烯酰胺单体（AM）和一批阴离子或非离子单体通过自由基聚合产生的二元或三元共聚物。这些阴离子单体包括丙烯酸（AA）及钠盐、马来酸酐（NA）、丙烯腈（CN）、N-甲基-N-乙基乙酰胺（NMCA）、N,N-二甲基丙烯酰胺（DMAM）、烯丙基磺酸、AMPS 及磺化苯乙烯等

(4) 非离子型合成聚合物：①聚乙烯基吡咯烷酮类②聚乙烯醇（PVA）

(5) 聚磺化苯乙烯降失水剂

(6) 聚胺类降失水剂

4、前置液

在固井施工时，在注入水泥浆之前，先泵入一种液体，将水泥浆与钻井液隔开，这种液体叫前置液。

前置液的必要性：水泥浆与钻井液的相互作用

分类：冲洗液，隔离液

（三）压裂

油层水力压裂，简称为油层压裂或压裂，是 20 世纪 40 年代发展起来的一项改造油层渗流特性的工艺技术，是油气井增产、注水井增注的一项重要工艺措施。它是利用地面高压泵组，将高粘液体以大大超过地层吸收能力的排量注入井中，随即在井底附近形成高压。此压力超过井底附近地层应力及岩石的抗张强度后，在地层中形成裂缝。继续将带有支撑剂的液体注入缝中，使缝向前延伸，并填以支撑剂。这样在停泵后即可形成一条足够长，具有一定高度和宽度的填砂裂缝，从而改善油气层的导流能力，达到油气增产的目的。

一、油层压裂原理

利用液体传压的原理，在地面采用高压泵组（压裂车）及辅助设备，以大大高于地层吸收能力的注入速度（排量），向油层注入具有一定粘度的液体（统称压裂液），使井筒内压力逐渐增高。当压力增高到大于油层破裂压力时，油层就会形成对称于井眼的裂缝。油层形成裂缝后，随着液体的不断注入，裂缝也会不断地延伸与扩展，直到液体注入的速度与油层吸入的速度相等时，裂缝才会停止延伸和扩展。此时如果地面高压泵组停止泵入液体，由于外来压力的消失，又会使裂缝重新闭合。为了保持裂缝处于张开位置和获得高的导流能力，在注入压裂液时携带一定粒径的高强度支撑材料，铺垫在裂缝中，从而形成一条或几条高导流能力的通道，增大了排油面积，降低了流体流动阻力，使油井获得增产的效果。

二、影响裂缝形成的因素

当油层进行水力压裂时，裂缝的形成受到多种因素的影响，概括起来有两方面：一是地质因素，二是工艺因素。地质因素，如油层埋藏的深度、油层污染状况、岩石的结构、岩石的原始渗透率、岩石的弹性强度、岩石的原始裂缝发育程度以

如射工艺因素,及岩石的沉积规律等对裂缝的形成与裂缝的类型都有很大影响。孔质量、预处理、压裂液类型、地面泵的能力等对裂缝形成的难易程度和裂缝类型与大小都有很大的影响。

三、性能

压裂液提供了水力压裂施工作业的手段,但在影响压裂成败的诸因素中,压裂液及其性能极为重要。对大型压裂来说,这个因素就更为突出。使用压裂液的目的有两方面:一是提供足够的粘度,使用水力尖劈作用形成裂缝使之延伸,并在裂缝沿程输送及铺设压裂支撑剂;再者压裂完成后,压裂液迅速化学分解破胶到低粘度,保证大部分压裂液返排到地面以净化裂缝。压裂液是一个总称,由于在压裂过程中,注入井内的压裂液在不同的阶段有各自的作用,所以可以分为:

(1) 前置液:其作用是破裂地层并造成一定几何尺寸的裂缝,同时还起到一定的降温作用。为提高其工作效率,特别是对高渗透层,前置液中需加入降滤失剂,加细砂或粉陶(粒径100~320目,砂比10%左右)或5%柴油,堵塞地层中的微小缝隙,减少液体的滤失。

(2) 携砂液:它起到将支撑剂(一般是陶粒或石英砂)带入裂缝中并将砂子放在预定位置上的作用。在压裂液的总量中,这部分占的比例很大。携砂液和其它压裂液一样,都有造缝及冷却地层的作用。

(3) 顶替液:其作用是将井筒中的携砂液全部替入到裂缝中。根据不同的设计工艺要求及压裂的不同阶段,压裂液在一次施工中可使用一种液体,其中含有不同的添加剂。对于占总液量绝大多数的前置液及携砂液,都应具备一定的造缝力并使压裂后的裂缝壁面及填砂裂缝有足够的导流能力。

这样它们必须具备如下性能:

①滤失小。这是造长缝、宽缝的重要性能。压裂液的滤失性,主要取决于它的粘度,地层流体性质与压裂液的造壁性,粘度高则滤失小。在压裂液中添加降滤失剂能改善造壁性大大,减少滤失量。在压裂施工时,要求前置液、携砂液的综合滤失系数 $\leq 1 \times 10^{-3} \text{m/min}^{1/2}$ 。

②悬砂能力强。压裂液的悬砂能力主要取决于其粘度。压裂液只要有较高的粘度,砂子即可悬浮于其中,这对砂子在缝中的分布是非常有利的。但粘度不能太高,如果压裂液的粘度过高,则裂缝的高度大,不利于产生宽而长的裂缝。一般认为压裂液的粘度为50~150mPa·s较合适。

③摩阻低。压裂液在管道中的摩阻越大,则用来造缝的有效水马力就越小。摩阻过高,将会大大提高井口压力,降低施工排量,甚至造成施工失败。

④稳定性好。压裂液稳定性包括热稳定性和剪切稳定性。即压裂液在温度升高、机械剪切下粘度不发生大幅度降低,这对施工成败起关键性作用。

⑤配伍性好,压裂液进入地层后与各种岩石矿物及流体相接触,不应产生不利于油气渗滤的物理、化学反应,即不引起地层水敏及产生颗粒沉淀。这些要求是非常重要的,往往有些井压裂后无效果就是由于配伍性不好造成的。

⑥低残渣。要尽量降低压裂液中的水不溶物含量和返排前的破胶能力,减少其对岩石孔隙及填砂裂缝的堵塞,增大油气导流能力。

⑦易返排。裂缝一旦闭合,压裂液返排越快、越彻底,对油气层损害越小。

⑧货源广,便于配制,价格便宜。目前国内外使用的压裂液有很多种,主要有油基压裂液、水基压裂液、酸基压裂液,乳化压裂液和泡沫压裂液。其中水基压裂液和油基压裂液应用比较广泛。常用各种类型压裂液或压裂液体系见表。

注：HPG:羟丙基瓜胶；HEC:羟乙基纤维素；TQ:田菁胶；CMHEC:羧甲基羟乙基纤维素 CMHPG:羧甲基羟丙基瓜胶。

在设计压裂液体系时主要考虑问题包括：（1）地层温度、液体温度剖面以及在裂缝内停留时间；（2）建议作业液量及排量；（3）地层类型（砂岩或灰岩）；（4）可能的滤失控制需要；（5）地层对液体敏感性；（6）压力；（7）深度；（8）泵注支撑剂类型；（9）液体破胶需要。

四、分类

1、水基压裂液

水基压裂液是以水作溶剂或分散介质，向其中加入稠化剂、添加剂配制而成的。主要采用三种水溶性聚合物作为稠化剂，即植物胶（瓜胶、田菁、魔芋等）、纤维素衍生物及合成聚合物。这几种高分子聚合物在水中溶胀成溶胶，交联后形成粘度极高的冻胶。具有粘度高、悬砂能力强、滤失低、摩阻低等优点。目前国内使用的水基压裂液分以下几种类型：天然植物胶压裂液，包含如瓜胶及其衍生物羟丙基瓜胶，羟丙基羧甲基瓜胶，延迟水化羟丙基瓜胶；多糖类有半乳甘露糖胶，如田菁及其衍生物，甘露聚葡萄糖胶；纤维素压裂液，包含如羧甲基纤维素，羟乙基纤维素，羧甲基—羟乙基纤维素等；合成聚合物压裂液，包含如聚丙烯酰胺、部分水解聚丙烯酰胺、甲叉基聚丙烯酰胺及其共聚物。水基压裂液配液过程是：水+添加剂+稠化剂→溶胶液水+添加剂+交联剂→交联液溶胶液+交联液→水基冻胶压裂液[溶胶液:交联液=100:（1~12）]

2、油基压裂液

油基压裂液是以油作为溶剂或分散介质，与各种添加剂配制成的压裂液。

稠化油压裂液：将稠化剂溶于油中配制而成。常用的稠化剂有以下两类：油溶性活性剂常用的油溶性活性剂主要是脂肪酸盐（皂），另一类是铝磷酸酯盐目前普遍采用的是铝磷酸脂与碱的反应产物，这类稠化剂在油中形成“缔合”，将油稠化。

油溶性高分子这类物质当浓度超过一定数值，就可在油中形成网络结构，使油稠化。主要有：聚丁二烯、聚异丁烯、聚异戊二烯、 α -一烯烃聚合物，聚烷基苯乙烯，氢化聚环戊二烯、聚丙烯酸酯

→活化液+NaAlO₂→溶胶液水原油（成品油）+胶凝剂+活化液油基冻胶压裂液：
溶胶液+活化液+破胶剂→油基冻胶压裂液

油基压裂液基本特点：（1）容易引起火灾；（2）易使作业人员、设备及场地受到油污；（3）基油成本高；（4）溶于油中的添加剂选择范围小，成本高，改性效果不如水基液；（5）油的粘度高于水，摩阻比水大；（6）油的滤失量大；（7）油的相对密度小，液柱压力低，有利于低压油层压裂后的液体返排，但需提高泵注压力；（8）油与地层岩石及流体相容性好，基本上不会造成水堵，乳堵和粘土膨胀与迁移而产生的地层渗透率降低。油基压裂液适用于低压、强水敏地层，在压裂作业中所占比重较低。

3、泡沫压裂液

泡沫压裂液是由气相、液相、表面活性剂和其他化学添加剂组成。泡沫压裂工艺是低压、低渗、水敏性地层增产、增注以及完井投产的重要而有效的措施。

泡沫压裂液是一个大量气体分散于少量液体中的均匀分散体系，由两相组成，气体约占70%，为内相，液体占30%，为外相。因此，液相必须含有足够的增粘剂、表面活性剂和泡沫稳定剂等添加剂以形成稳定的泡沫体系。泡沫直径常小于

0.25mm。

气相：泡沫压裂液的气相一般为氮气或二氧化碳气。目前最常用的是氮气。

液相：液相一般采用水或盐水。对高水敏地层可用原油、凝析油或精炼油。对碳酸盐地层可用酸类。

表面活性剂（发泡剂）：表面活性剂的作用是在气、液混合后，使气体成气泡状均匀分散在液体中形成泡沫。因此表面活性剂不仅影响泡沫的形成和性质，而且对压裂的成功与否至关重要。

泡沫压裂液中发泡剂的选择原则是：①起泡性能强，注入气体后能立刻起泡；②与基液各组分相容性好；③当压力释放时，气泡能迅速破裂；④与地层岩石和流体配伍性好；⑤使用浓度低，一般为流体的0.5%~1%；⑥凝固点低，具有生物降解能力，毒性小；⑦成本较低，来源广。

常用的表面活性剂及其特点如下：①阴离子表面活性剂，常用的阴离子表面活性剂有硫酸酯和磺酸酯，如：正十二烷基磺酸钠。这种活性剂的特点是起泡性好、用量少，产生的泡沫质量高、稳定，而且结构好，特别适用于水基泡沫液。缺点是与阳离子添加剂（如粘土稳定剂、杀菌剂）不相容性，常引起泡沫质量下降和形成不溶沉淀物。②阳离子表面活性剂，阳离子表面活性剂多数是用胺化物，如十六烷基三甲基溴化铵和季铵盐氯化物，它们能与大多数带正电荷的粘土稳定剂、杀菌剂、防腐剂都相容，而且它的表面活性具有双重作用，可降低粘土膨胀和酸的反应速度，适用于泡沫酸处理。③非离子表面活性剂，非离子表面活性剂的适用范围最广，与其他各种添加剂相容性都较好，但形成的泡沫质量和稳定性较差。

泡沫稳定剂：泡沫液为热力学不稳定体系。当温度升高后，泡沫半衰期缩短，泡沫稳定性变差。故必须向体系内加入稳定剂以改善泡沫体系的稳定性。泡沫稳定剂多为高分子化合物。按作用机理可分为两类：第一类是增粘型稳定剂。主要是通过提高基液的粘度来减缓泡沫的排液速率，延长半衰期，从而提高泡沫的稳定性，属于这类的稳定剂有CMC、CMS等。第二类稳定剂主要作用不是增粘而是提高气泡薄膜的质量，增加薄膜的粘弹性，减小泡沫的透气性从而提高泡沫的稳定性，属于此类的稳定剂有HEC。将这两类稳定剂复配使用可获得最佳效果。

清洁压裂液或称为粘弹性表面活性剂压裂液，是一种基于粘弹、清洁压裂液：4.性表面活性剂的溶液。它是为了解决常规压裂液（天然植物胶压裂液、纤维素压裂液、合成聚合物压裂液）在返排过程中由于破胶不彻底对油气藏渗透率造成了很大伤害的问题开发研制的一种新型压裂液体系。据研究表明：常规压裂液返排至地面的量仅占注入量的35%~45%，大部分仍残留于地层中，直接影响压裂效果。目前国内外广泛使用的清洁压裂液主要是将由长链脂肪酸盐衍生物所形成的季铵盐作为表面活性剂加入到氯化钾、氯化镁、氯化铵、氯甲基四铵或水杨酸钠溶液中配置而成。

四、压裂工艺技术

1、选井选层

压裂是依靠在地层中造出高渗流通道，从而解放低渗透区的生产能力。压裂的目的主要是提高油气井的产能。在压裂施工时主要依据以下几点选择压裂井层：（1）有足够的地层压力和含油饱和度，这是压裂取得好效果的基本条件（2）地层系数（Kh）不能过低。地层系数过低即特低渗透层，从地层向裂缝供油气能力太弱，油气层压裂后得不到好效果。地层系数过大即高渗透层，要取得一定的效果，必须有很高的裂缝导流能力，要作到这一点比较困难。所以压裂主要用来针对低渗层。（3）有注水井对应的井层压裂效果好。（4）选井要注意井况，包括套管强

度，距边水、气顶的距离，有无较好的遮挡层等。

2、压裂施工工艺

在做好选井选层的基础上，针对不同特点的油气层，必须采用与之相适应的工艺技术才能保证压裂设计的顺利实施并取得好的增产效果。压裂施工方式主要包括全井混压、分层压裂、深层压裂。我国油气田，多数都是多油气层。在多层情况下，要进行分层压裂，对其中某个或某些目的层进行压裂。常用的分层压裂方法有封隔器的机械分层压裂、暂堵的分层压裂和限流法或填砂法分层压裂。分层压裂是为了改造不出力层，调和层间矛盾。

常用的分层压裂方式有：（1）封堵上层，压裂下层要求油层纵向差异性大，层间距大于 5m，以便于调整工具深度。（2）封堵下层，压裂上层与封上压下要求相同。常采用 45A4 电缆桥塞进行分层。（3）封上下而压中间某一层（4）投球选择性压裂多层段，夹层薄，纵向渗透性差异大的油层，一般采用投球选择性压裂。投球分压工艺主要有：先投球后合压；先合压再投球；或与封隔器配合分压（封隔器封上压下），压毕上提，投球堵下再压上。

（四）酸化

一、概述

酸化是一种使油气井增产或注水井增注的有效方法。它是通过井眼向地层注入一种或几种酸液或酸性混合液，利用酸与地层中部分矿物的化学反应，溶蚀储层中的连通孔隙或天然（水力）裂缝壁面岩石，增加孔隙、裂缝的流动能力，从而使油气井增产或注水井增注的一种工艺措施。

1、按油气层类型分类：碳酸盐岩酸化，砂岩酸化

2、按酸液的组成和性质：

常规酸酸化：HCl、土酸（HCl+HF）等

缓速酸酸化：潜在酸、稠化酸、乳化酸、泡沫酸、化学缓速酸等

3、按酸化处理工艺分类：

（1）酸洗：酸洗就是用酸清洗井筒中酸溶性结垢或疏通孔眼的一种油气井增产措施。

目的：清除井筒中酸溶性结垢或疏通孔眼

特点：酸用量少；溶解法；及时返排酸液防止造成二次伤害。

（2）基质酸化：基质酸化是在低于地层岩石破裂压力（Parting Pressure）条件下，将酸液注入地层孔隙空间，使之沿径向渗入油气层，溶解孔隙中的细小颗粒、胶结物等以扩大孔隙空间、提高地层渗透率的一种增产措施。

选用基质酸化的条件：清除原生的或诱发的地层堵塞；压裂前降低地层的破裂压力；均匀疏通所有的射孔孔眼；不破坏隔层；降低施工成本。

特点：解除近井地带因污染而造成的渗透率下降；仅靠化学溶蚀作用；酸大体沿径向流渗入地层。

（3）压裂酸化（酸压）：压裂酸化是在足以压开地层形成裂缝或张开地层原有裂缝的压力条件下，对油气层的一种挤酸工艺。

按酸压工艺分为：

普通酸压：直接用酸液压开地层产生裂缝并溶蚀裂缝壁面。

前置液酸压：采用粘度较高的前置液压开裂缝，然后注酸。

二、酸化增产原理

油井产出工业性油（气）具备的条件：油气层的油气饱和度大；压力高；渗透性

1、基质酸化增产原理

基质酸化增产作用表现在：清除近井地带的伤害

①酸液进入孔隙或天然裂缝，与其中岩石或砂粒之间的胶结物反应溶蚀孔壁或裂缝壁面，增大孔径，提高地层渗透率；

②溶蚀孔道或天然裂缝中的堵塞物，破坏泥浆、水泥、岩石碎屑等堵塞物的结构，使之与残酸一道排出地层，从而解除堵塞物的影响，恢复地层原有渗透率。

2、常规酸化增产原理

增产作用表现在两个方面

溶蚀孔道或裂缝中的堵塞物（溶蚀解堵），起到疏通孔道或裂缝的作用，恢复或提高 K ；酸液进入孔隙或天然裂缝与岩石反应，溶蚀增孔，扩大裂缝。 $P \uparrow$ ，产能 $\uparrow$ 。

酸液在地层中流动的不均一性

酸化时，由于地层渗透性的不均一性，酸液流动优先进入流动阻力最小的高渗透层。在高渗透层，酸液常沿某些较大的溶蚀孔道进入地层，这些孔道类似蚯蚓钻穿的孔洞——蛀孔（蚓洞）。

总之，常规酸化，酸液是极不均一的沿径向向井周围地层推进。为使油气层在纵向上能均匀的吸收酸液，常用以下方法：

①用封隔器分隔，分层分段进行酸化。

②在酸液中加入暂堵剂，暂时封堵高渗透层，使酸液进入低渗透层。

孔隙性与裂缝性地层酸化：

裂缝性地层常规酸化，主要是溶蚀扩大原有的天然裂缝和解除天然裂缝中的堵塞物。孔隙性地层，面容比大，反应快，酸化范围小，1-2 米，因此，孔隙性地层的酸化都是用来解除井壁附近的堵塞——解堵酸化（掏耳塞），对于低渗油气层，常需进行几次常规酸化才有效。为提高常规酸化的效果，应解决问题：酸液的缓速，油气层纵剖面均匀吸酸。

3、压裂酸化增产原理

①撑开并扩大天然裂缝或压开新裂缝，改造和提高油气层内部的渗透能力；

②解除堵塞；

③使井底与高渗透带或新的裂缝系统沟通。

进一步提高酸压效果的途径：

①增加酸液有效作用距离；

②提高酸压裂缝的导流能力；

③分层酸压，特别是对低渗透层进行选择酸压。

三、酸液及添加剂

主要有盐酸、土酸、乙酸、甲酸、多组分酸、粉状有机酸以及近几年来发展起来的各种缓速酸体系等，作为特殊酸化也使用硫酸、碳酸、磷酸等。

1、选择酸液的基本原则

（1）能与油气层岩石反应并生成易溶的产物；（2）配制成酸液的化学性质和物理性质能满足施工要求；（3）施工方便，安全，易于返排；（4）价格便宜，来源广

2、为什么要使用酸液添加剂

酸化作业可能产生许多生产上的问题，EX:使粉粒脱落而堵塞地层;形成乳状液;产生淤泥;腐蚀钢铁。为改善酸液性能，防止酸液在油气层产生有害影响，常加

缓蚀剂 corrosioninhibitor 铁离子稳定剂 ironcontrol 防乳破乳剂 demulsifyingagent, 互溶剂 mutualsolvent, 防膨剂 claystabilizing, 降滤失剂 fluid lossadditives, 暂堵剂 divertingagent, 助排剂 cleanupadditives, 稠化剂, 抗渣剂 anti-sludgeagent, 缓蚀增效剂 inhibitorextender

四、暂堵（分层）酸化技术

在酸化前置液或酸液中加入暂堵液，靠其自然选择，优先进入吸水能力较强的层段，与酸反应生成的细微颗粒进入地层时，会在渗流喉道处形成架桥粒子，起桥堵作用。随着暂堵液的不断注入，在近井带的地层里，主要渗流喉道被暂时封堵，在孔眼周围形成滤饼。其结果是限制酸液向高渗透层注入，避免了由于单层进酸量过大造成的次生伤害，迫使随后注入的酸液进入低渗透层段，溶解这些层段的污染和堵塞物，恢复或提高地层的有效渗透率。

暂堵剂是用水溶性、酸溶性或油溶性的固体制成。基质酸化用的暂堵剂有：惰性有机树脂、固体有机酸、遇酸膨胀的聚合物、惰性固体（如硅粉、碳酸钙粉、岩盐、油溶性树脂、不同熔点的石蜡小球）等。

（五）堵水

一、油井产水的原因

按水的来源，可分为注入水、边水、底水及上层水、下层水和夹层水。注入水、边水及底水，在油藏中与油在同一层位，统称为“同层水”。上层水，下层水及夹层水是从油层上部或下部的含水层及夹于油层之间的含水层中窜入油气井的水，来源于油层以外，故统称为“外来水”。

注入水及边水：由于油层的非均质性及开采方式不当，使注入水及边水沿高渗透层及高渗透区不均匀推进，在纵向上形成单层突进，在横向上形成舌进，使油井过早水淹。

底水：当油田有底水时，由于油气井在生产时在地层中造成的压力差，破坏了由于重力作用建立起来的油水平衡关系，使原来的油水界面在靠近井底时，呈锥。其结果使油气井在井底附近造成水淹，含水上升”底水锥进“形升高，这种现象叫升，产油量下降。

外来水：外来水是由于固井质量不合格，或套管因地层水腐蚀或盐岩流动挤压被破坏而使水窜入油井，或者是由于射孔时误射水层使油井出水。

二、堵水方法和堵水剂分类

堵水技术：机械堵水和化学堵水

1、机械堵水

采用封隔器将出水层在井筒内卡开，以阻止水流入井内，卡堵油井中出水层段的技术。

堵水方式：分为封上堵下，封下堵上，封中间采两头，封两头采中间。

技术要求：选择性堵水的井是多层位合采的油井，要求封隔器座封严密、准确，这是机械堵水成功的保证。

优点：机械堵水方法简单易行，成本低，收效大，便于推广。

2、化学堵水

利用化学方法和化学堵剂通过化学作用对水层或油层造成堵塞，阻止或减少水流入井内的方法。

堵水技术：在化学堵水中将化学剂注入到油井高渗透出水层段，降低近井地带的

井化学堵水技术，所用化学剂叫堵水剂。

分类：根据堵水剂对油层和水层的堵塞作用，分为选择性堵水法和非选择性堵水法。

选择性堵水剂：堵水剂只与水起作用而不与油起作用，故只在水层造成堵塞而对油层影响甚微，或者可改变油、水、岩石之间的界面特性，降低水相渗透率，从而降低油井出水量。

缺点：选择性堵水存在着堵剂用量大、成本高的缺点。

3、化学调剖技术与化学调剖剂

将化学剂注入注水井的高渗透层段，用以降低高吸水层段的吸水量，提高注入压力，达到提高中、低渗透层吸水量，改善注水井吸水剖面，提高注入水的体积波及系数，改善水驱状况的方法称为注水井化学调剖技术，所用化学剂叫调剖剂。

(1) 单液法注入原理及单液法堵剂

向地层中注入一种或由各种化学剂混合配制的液体，在指定位置，经过物理或化学作用，使液体变为凝胶、冻胶、沉淀或高粘流体的方法称为单液法注入工艺。能够用于这种施工工艺的堵剂叫单液法堵剂。

(2) 双液法注入工艺原理

向地层先后注入由隔离液隔开的两种可反应（或作用）的液体，随着液体向外推移，隔离液越来越薄，当外堆至一定程度，隔离液将失去隔离作用，两种液体相遇并发生反应，产生封堵地层的物质。隔离液前的液体叫第一反应液，后面的液体叫第二反应液。

(3) 工艺特点

单液法:优点：能充分利用药剂。缺点：因它产生堵塞的时间短，所以只能封堵近井地带，且受处理地层温度的限制。

双液法:优点：可封堵近井地带和远井地带。缺点：因为只有部分药剂相遇反应，产生封堵物质，所以药剂利用不充分。

四、油井非选择性化学堵水剂

一要控制油井出水，油气井出水是油田开发过程中不可避免的主要问题之一。

方面是对注水井进行调剖，另一方面是封堵油井出水层，即有效地选择堵水剂来封堵油井出水层。非选择性堵剂用于封堵油气井中单一含水层和高含水层。

非选择性堵剂分类：

1、树脂型堵剂

树脂型堵剂是指由低分子物质通过缩聚反应生成的具有体型结构，不溶不熔的高分子物质。

分类:树脂接受热后物质的变化又分为热固型树脂和热塑型树脂两种。

特点:热固型树脂指成型后加热不软化，不能反复使用的体型结构的物质；热塑型树脂则指受热时软化或变形，冷却时凝固，能反复使用的具有线型或支链型结构的大分子。

堵水机理:树脂经稀释后进入地层，在固化剂的作用下，固化成为具有一定强度的固态树脂而堵塞孔隙，达到封堵水层的目的。适用于封窜堵漏和高温地层。

树脂型堵剂的类别:热固型树脂：酚醛树脂、环氧树脂、脲醛树脂、三聚氰胺-甲醛树脂等。热塑型树脂：乙烯-醋酸乙稀共聚物。

2、沉淀型堵剂

向地层注入由隔离液隔开的两种无机化学剂溶液，在注入过程中，使其在地层孔

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/797115065161006163>