



# 关于酸化解堵技术

# 主讲内容

- ❖ 第一讲 酸化解堵技术概述
- ❖ 第二讲 砂岩酸化技术
- ❖ 第三讲 碳酸岩酸化技术

# 第一讲

## 酸化解堵技术概述

**酸化**是油气井投产、增产和注水井增注的主要措施之一。酸化是通过酸液在地层孔隙的晶间、孔穴及微裂缝中的流动和反应，来溶解井眼附近地层在钻井、完井、修井及注水、增注等过程中的各种固相微粒和杂质，解除其对地层渗透率的伤害，疏通流体的渗透通道，从而恢复和提高油井的产能。

酸化工艺可分为三大类：酸洗、基质酸化和压裂酸化。

**酸洗：**是一种清除井筒中酸溶性垢或疏通射孔孔眼的工艺。它是将少量的算注入预定井段，在无外力搅拌的情况下与垢或储层起作用。另外，也可通过正反循环使酸不断沿孔眼或储层壁面流动，加速溶解过程。

**基质酸化：**是在低于岩石破裂压力下将酸注入储层孔隙，溶解孔隙内的颗粒及堵塞物，恢复和提高储层渗透率，达到增产的目的。

**压裂酸化：**是在高于岩石破裂压力下将酸挤入储层，在储层中形成裂缝，同时酸液与裂缝壁面岩石发生反应，非均匀刻蚀缝壁岩石，形成沟槽状或凹凸不平的刻蚀裂缝，施工结束后裂缝不完全闭合，形成具有一定几何尺寸和导流能力的人工裂缝，达到增产增注的目的。

**目前在油田应用较多的酸化工艺是基质酸化，下面主要对基质酸化工艺与大家进行共同学习！**

## 第二讲

# 砂岩酸化技术

# 一、砂岩酸化解堵原理

砂岩是由石英、长石和粒间胶结物（粘土和碳酸盐类）等物质组成。砂岩的油气储集空间和渗流通道就是砂粒与砂粒之间未被胶结物完全充填的孔隙。

砂岩油气层酸化处理一般采用**土酸**（氢氟酸和盐酸的混合酸液）或采用能在油气层中生成氢氟酸的液体物质进行酸化处理。其原理是通过酸液溶解沙粒之间的胶结物质和部分沙粒，或者溶解孔隙中的泥质堵塞物或其它结垢物，以恢复、提高井底附近油气层的渗透率。达到了解堵的目的。**土酸中的氢氟酸可解除油气层硅质矿物的堵塞，盐酸可解除油气层中钙质与铁质的堵塞。**

化学反应为:

HF



(钠长石)



(钾长石)



(钙长石)



(高岭石)



(蒙脱石)



HCl



实验表明，当土酸与砂岩油气层反应时，开始时渗透率降低，继续注酸，渗透率增大。渗透率开始降低的原因有两点：一是由于砂岩基质部分解体，一些颗粒及解体生成的微粒随酸液运行移到空喉道而引起堵塞；二是有些难溶产物生成。但是，随着反应的进行，酸溶解了堵塞物，渗透率上升。由此可见，砂岩储集层的酸化较碳酸盐岩难度大，处理不当易产生二次沉淀，堵塞孔隙喉道，降低渗透率，使酸化失败。

影响酸化效果的因素很多，影响砂岩油气层酸化效果的几个主要因素：

① 粘土矿物的水化膨胀和微粒运移造成油气层损害。砂岩油气层中一般含有不同类型和数量的粘土矿物，含有蒙脱石蒙皂石伊—蒙混层等矿物易水化膨胀，含有高岭石易产生微粒运移，堵塞孔喉，降低渗透率，影响酸化效果。

② 酸化后形成二次沉淀造成油气层损害。酸化后形成的二次沉淀主要有以下两种：

a. 氟化物沉淀。砂岩油气层中的水含有大量Ca<sup>2+</sup>，Na<sup>+</sup>，K<sup>+</sup>离子，砂岩中不同程度地含有钙长石，钠长石，钾长石，胶结物中含有钙质矿物，它们遇到氢氟酸易生成CaF<sub>2</sub>，Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>，K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>沉淀。其反应方程式如下：



氢氟酸与砂岩反应生成的氟硅酸遇K<sup>+</sup>，Na<sup>+</sup>离子生成K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>，Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>沉淀：



这些沉淀会堵塞孔隙喉道，降低酸化效果。

b. 氢氧化物沉淀。由于管柱的腐蚀，施工液体带入的含铁物质以及砂岩油气层中含铁矿物的溶解，在酸化后油气层都会含有一定量的三价铁离子。当残酸液浓度降到一定程度，PH值大于2.2时，开始生成Fe(OH)<sub>3</sub>凝胶状沉淀，堵塞孔喉，降低渗透率，使酸化效果差，甚至无效。



③ 排液不及时造成油气层损害。酸化后不及时排液，残液在油气层中停留时间过长，当残液浓度降到太低时，就会生成 $\text{CaF}_2$ ， $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ， $\text{Si}(\text{OH})_4$ 等沉淀，堵塞孔喉，降低油气层渗透率，使酸化失败。

④ 砂岩油气层受钻井完井的污染情况对酸化效果的影响很大。实验和生产实践表明：对于未受到钻井，完井，修井，注水等作业污染的砂岩油气层，用土酸处理后其增产效果很差；对于由于油气层自身的粘土矿物水化膨胀和分散运移而引起损害的砂岩油气层，其酸化处理效果随活性酸的穿透距离增加而增加；对于受钻井液损害的砂岩油气层，只要解除浅层的损害，就可得到很好的增产效果。

## 二、酸液体系及酸液添加剂

### 1、常用酸液

砂岩酸化应用的酸类主要分为两大类：无机酸包括盐酸、氢氟酸、氟硼酸、磷酸、硝酸粉末和硫酸；有机酸主要应用甲酸和乙酸。

### 2、酸液添加剂

砂岩酸化应用的主要添加剂有缓蚀剂、表面活性剂、铁离子稳定剂、粘土稳定剂（防硼剂）、互溶剂、暂堵剂等。

## (1) 缓蚀剂

缓蚀剂是最重要的酸化添加剂。缓蚀剂能够减缓酸化过程中酸对其接触的钻杆、油管和其它金属腐蚀的化学物质。缓蚀剂分为有机缓蚀剂、无机缓蚀剂和缓释增效剂。

无机缓蚀剂主要为锌、镍、铜、砷和铋以及其它金属的盐类，最广泛使用的为含砷的化合物。有机缓蚀剂由能吸附在金属表面的极性有机物组成。常用的缓释增效剂为碘化钾、碘化亚铜等，增效剂可大幅度提高缓释剂的效率。

## (2) 铁离子稳定剂

酸化作业过程中，当PH值大于2.2时， $\text{Fe}^{3+}$ 开始生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀。当PH值4.3时 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀完全。 $\text{Fe}^{2+}$ 在PH值=5.5~6.5时会生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 沉淀。由于残酸PH值一般小于5，加入铁离子稳定剂的主要目的是避免 $\text{Fe}^{3+}$ 沉淀。

铁离子稳定剂是通过还原剂将 $\text{Fe}^{3+}$ 还原为 $\text{Fe}^{2+}$ ，或与酸溶液中的铁离子形成稳定的铁络合物，从而减少 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀生成，达到稳定铁离子的目的。

### (3) 表面活性剂

主要用于酸液的破乳、降低表面和界面张力、改变储层的润湿性、作为添加剂的分散剂和防止酸渣生成等。

### (4) 粘土稳定剂

主要用于防止粘土膨胀、稳定粘土微粒。

### (5) 暂堵剂

暂堵剂用于砂岩酸化中非均质性较强的地层，使酸液合理分布的添加剂。

## (6) 互溶剂

互溶剂是可与烃类和水互溶的化合物。主要作用是降低水溶液的表面张力，降低井筒周围地层水饱和度防止水锁；使地层为水润湿，提高油相渗透率；降低缓蚀剂和表面活性剂在地层中的吸附；溶解地层孔隙中的油组份；促进残酸的返排。

### 3、酸化技术

#### (1) 土酸酸化

##### 解堵机理

土酸是盐酸与氢氟酸混合的水溶液。土酸处理应用于碳酸盐含量较低，泥质成分较高 (>5%) 的砂岩及或火成岩油层。混合酸液中的盐酸可以溶解油层中碳酸盐类胶结物的一部分铁质、铝质；氢氟酸可以溶解油层中的硅酸盐矿物。土酸可以解除地层中粘土堵塞和井壁的泥饼，新生成的气体氟化硅 (SiF<sub>4</sub>) 和水均可排出地面，从而恢复或提高近井地带的渗透率。

对石英砂



对泥质砂岩



## 土酸浓度的确定

- √当砂岩中碳酸盐含量高，泥质含量较低时，宜采用低浓度HF和高浓度HCl处理；
- √当砂岩中碳酸盐含量低，泥质含量较高时，宜采用高浓度HF和低浓度HCl处理，即逆土酸。

## 土酸用量的确定

$$Q_{\text{盐酸}} = \frac{V \cdot \rho \cdot X}{Z} \qquad Q_{\text{氟}} = \frac{V \cdot \rho \cdot Y}{F}$$

式中：

- $Q_{\text{盐酸}}$  ——土酸中商品盐酸用量，t；
- $\rho$  ——所配制土酸液的混合密度，g/cm<sup>3</sup>；
- X——土酸中盐酸的浓度，重量百分比；
- Y——土酸中氢氟酸的浓度，重量百分比；
- Z——商品盐酸的浓度，重量百分比；
- F——商品氢氟酸的浓度，重量百分比；
- V——酸液量，m<sup>3</sup>。

## (2) 氟硼酸酸化

氟硼酸用于疏松砂岩的酸化，不仅可以起到深度解堵作，而且还可以起到稳定地层微粒作用。氟硼酸是一种强酸，其强度可与盐酸比拟，电离方程式为：



氟硼酸酸化是靠其缓慢水解生成HF，HF再与储层矿物和堵塞物反应，从而解除储层污染，恢复或提高储层原始渗透率。

氟硼酸的水解是一个多级水解反应:



第一级水解反应速度很慢，因此一般用第一级水解反应来代替总水解反应。正因为如此，氟硼酸可以进行深度酸化。

氟硼酸具有稳定粘土和地层微粒的作用，该作用既有化学因素，又有物理因素。主要是氟硼酸水解出的HF破坏了粘土矿物的本性，降低了残土阳离子交换能力。

同时，其水解产物中的硼代替粘土中的铝，与粘土共同形成一层不溶的硼硅酸盐的覆盖物，将微粒与岩石骨架连接在一起。

### (3) 硝酸粉末酸化

硝酸粉末实际上就是将硝酸络合成固体粉末状，这种络合物克服了硝酸的强腐蚀、强刺激性和运输不便等缺点，保持了硝酸的强酸性和强氧化性等优点。

在地层温度作用下，硝酸粉末分解形成硝酸和具有缓蚀功能的络合物；当硝酸遇到盐酸达到1：3比例时形成王水，王水在理论上对所有堵塞物的溶解度均为100%，所以能显著改善酸化效果。

硝酸粉末酸化主要应用在油层渗透率低、细菌比较发育、硫酸亚铁沉淀较多的注水井中。此外，对铁质和各种机械杂质堵塞的油井来说，用硝酸粉末来进行处理也是行之有效的方法。

## (4) 泡沫酸酸化

泡沫酸酸化技术就是在常规酸液体系中加入起泡剂和稳泡剂,通过泡沫发生器与气体(一般多为氮气或二氧化碳气体)混合,形成以酸为连续相、气泡为分散相的泡沫体系,使得配制的酸化体系兼有泡沫流体性质和酸化能力,然后注入地层进行酸化。按照泡沫特征值(即泡沫体系中气相体积所占泡沫总体积的百分数)泡沫酸体系可以分为以下三类。

①增能型。泡沫特征值小于**52%**的泡沫酸称为“增能型”。主要是通过氮气压缩的弹性能量,利于处理液在施工后从地层返排,同时又因泡沫酸含气体成分高,液柱压头低,有助于减少返排的能量需要,因此“增能型”体系主要用来提高酸化后的返排能力。

②泡沫型。泡沫特征值在**52%~90%**的泡沫酸叫做“泡沫型”。这种类型的泡沫酸黏度高、滤失量小、缓速和分流效果好,主要用来增加酸液处理范围和改善高低渗透层之间的吸酸量矛盾,提高酸化效果,尤其适用于酸压增产。

③雾化型。泡沫特征值大于**90%**的泡沫酸称为“雾化酸”。此时气相或气中夹液作为连续相,而酸液则作为分散相。雾化酸像气体一样具有很低的密度、黏度和表面张力,具有较高的流动能力,因而易于进入岩石的孔隙间,使注入压力比常规注酸压力低得多。

通常所用泡沫酸的泡沫特征值为**60%~80%**。与常规酸化相比,泡沫酸酸化具有选择性、缓蚀效果好、容易返排、对产层伤害小等优点。

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/938006015131006053>