



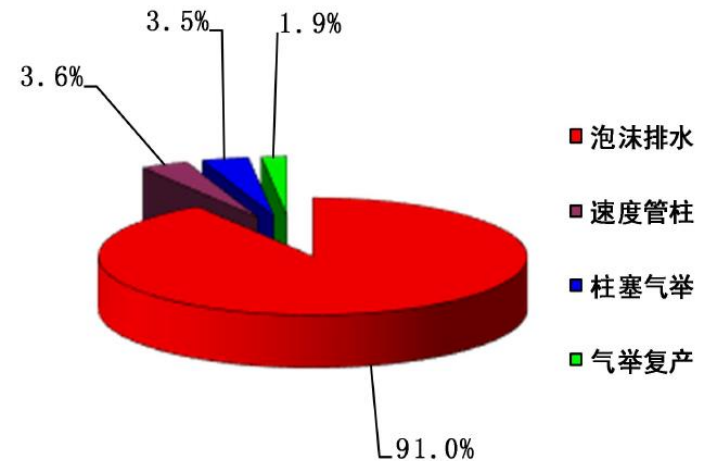
DEoRC Chemical
砥奥克油田化学

Surfactants for Production Enhancement

增产表面活性剂

Comparisons of various AL methods 不同人工举升增产工艺对比

举升方法 对比项目	优选管柱	泡排	常规气举	机抽	电潜泵	水力射流泵	喷射气举
排液量	<100	<120	<1000	<100	<1200	<300	<200
排深	<4300	<5000	<5000	<2800	<3000	<4500	<4500
井底温度	不限	<120	不限	<120	<120	<120	不限
地层水矿化度适应性	好	差	好	中	中	好	好
酸性气田适应性	好	中	差	很差	很差	差	差
高气液比适应性	好	好	中	差	差	中	中
出砂适应性	好	好	好	中	中	好	好
结垢适应性	中	中	好	差	差	中	中
斜井适应性	好	中	好	差	差	好	好
运转效率高适应性	中	好	好	中	中	中	中
维修管理方便性	好	好	好	中	好	好	好
费用适应性	好	好	中	差	差	差	中
无电源适应性	好	中	差	差	差	差	差
恶劣自然环境适应性	好	中	中	差	中	中	中
低地层压力适应性	中	中	差	中	中	好	好
应用成本	低	低	低	高	高	高	高
设计难易	简	简	中	中	难	难	难
效率	低	较好	好	较好	好	低	低



泡沫排水采气因投资小、设备配套简单、施工及管理方便等优点已成为国内外各大中浅层气田解决气田出水问题的重要措施

Source: SINOPEC

泡沫排水工艺简介

泡沫排水采气工艺是将起泡剂注入井筒，与井筒积液混合后，借助天然气流的搅动，产生大量低密度含水泡沫，降低液体密度，减少液体沿油管壁上行的“滑脱”损失，提高气流的垂直举升能力，从而达到排出井筒积液的目的。

泡沫排水方法的最大优点是液体部分在泡沫中，具有更大的表面积，减少了气体滑脱效应（滑脱效应又称克林肯伯格效应，气体在岩石孔隙介质中的低速渗流特性不同于液体，气体在岩石孔道壁处不产生吸附波曾，气体分子的流速在孔道中心和孔壁处五明显差别，这种特性成为滑脱效应。其次，当压力极低时，气体分子的平均自由路程达到孔道尺寸，气体分子扩散可以不受碰撞而自由飞动，由于这一原因导致视渗透率增加。实验证明：岩石渗透率越低，滑脱效应越明显；压力越低，滑脱效应也越明显），并能够形成低密度的气液混合物。在气井生产中，泡沫能够将液体举升到井口，否则积液越严重，会造成较高的多相压力损失。

泡沫排水工艺简介

在水中加入泡排剂，水的表面张力随表面活性剂浓度增加而迅速降低，表面张力下降的速度体现了泡排剂的效率。泡沫排水采气的机理包括泡沫效应、分散效应、减阻效应和洗涤效应等。

泡排剂适用范围：泡沫排水采气工艺适用于弱喷或间歇喷产水气井的排水。具体应用条件为：

- 1) 因地层压力下降、产气量下降、产水量增加等原因造成的井筒积液；
- 2) 气井具有自喷能力，井底油管鞋处的气流速度大于 0.1m/s ，井底温度低于 150°C ；
- 3) 井深不大于 3500m ，井底温度不高于 120°C ，产液量小于 $100\text{m}^3/\text{d}$ ；
- 4) 含凝析油不大于 30% ，产层水矿化度不大于 10g/L ，含 H_2S 不大于 $23\text{g}/\text{m}^3$ ，含 CO_2 不大于 $86\text{g}/\text{m}^3$ 。

泡沫排水采气机理

①气井积液机理

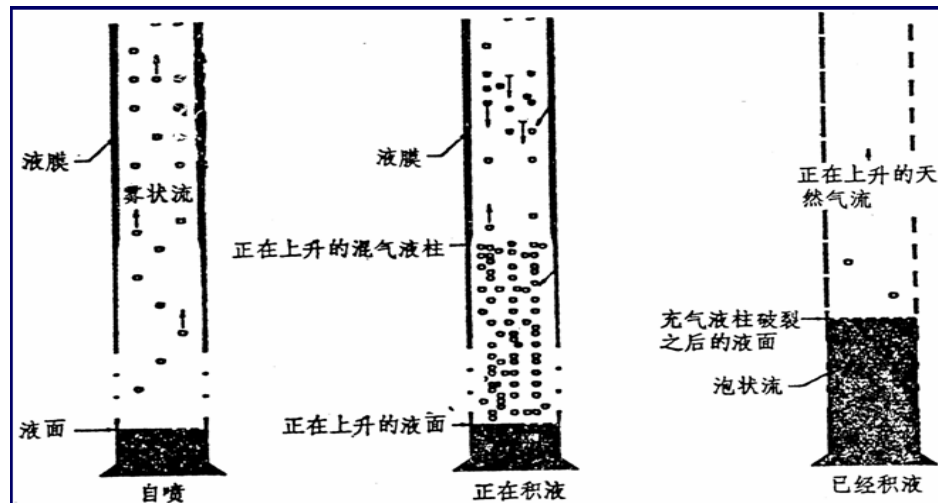
气田开发核心思路就是控水和排水，井中液体来源主要为：

- 1、地层中的游离水或烃类凝析液；
- 2、地层中含有水汽的天然气由于热损失使温度沿井筒逐渐下降而出现的凝析水。

气井积液是一个动态的过程，大体分三个阶段：

1. 自喷产液阶段：此阶段气井能量较足，气流速度足以将井筒液体以雾状形式带出，称为“雾状流”，井筒液面低，生产正常。
2. 积液形成阶段：当气井能量降低，或产水增加，自喷平衡状态被打破，气流速度已不足以使全部井筒液体形成雾状，而是气液混合向上举升，井底液面开始上升，称为“气液混合流”。此时气井生产出现波动，产量下降。
3. 水淹阶段：当气井能量进一步降低，井筒液体逐步增多，气体基本被压在液面下，无法形成连续气流，仅以“煮开水”的方式产出，称为“泡状流”。此阶段气井产量严重下降，套压持续上升，积液情况恶化。

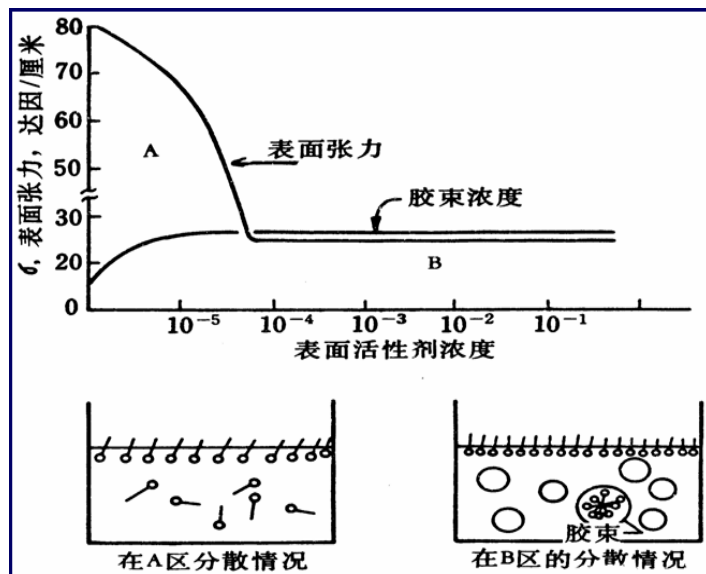
泡沫排水采气应该在第2、3阶段介入，排出井筒积液，协助气井带液生产，而最理想情况应该在第2阶段介入。



泡沫排水采气机理

②泡沫排水采气工艺原理

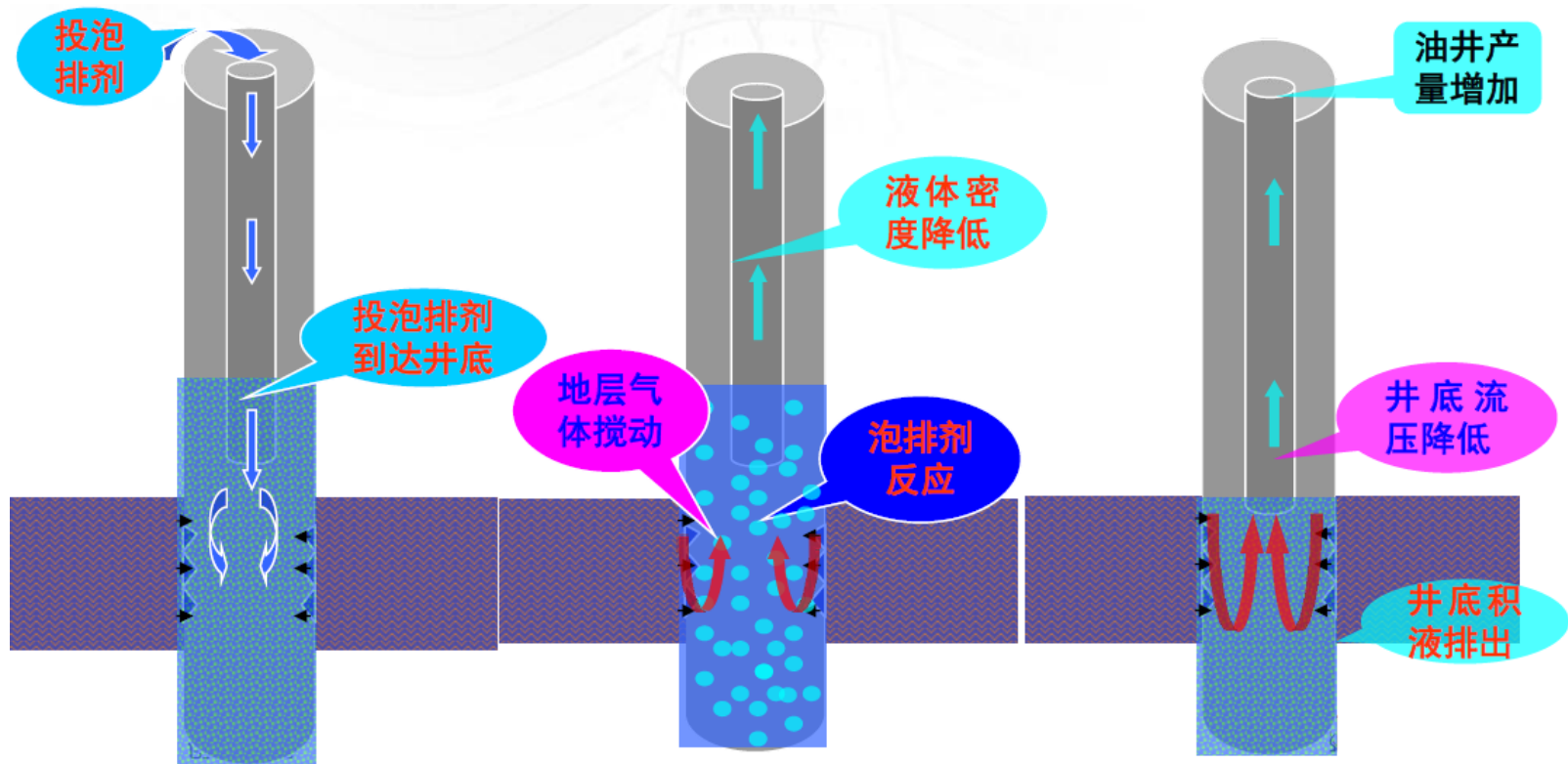
泡沫排水工艺是将表面活性剂（起泡剂）从携液能力不足的生产井井口注入井底，借助于天然气流的搅拌作用，使之与井底积液充气接触，从而减小液体表面张力，产生大量的较稳定的含水泡沫，减少气体滑脱量，使气液混合物密度大大降低，降低井底流压、增大生产压差，以大幅度降低自喷井油管内的摩阻损失和井内重力梯度的一种排水采气工艺措施。



泡沫排水采气的机理可归纳为以下4大机理：

- 1) 泡沫效应：降低液柱回压。
- 2) 分散效应：液滴变小。
- 3) 减阻效应：粘度小、光滑。
- 4) 洗涤效应：带出井筒脏物，减小摩阻。

Foam Lifting 泡沫人工举升



泡沫排水采气工艺受气井温度(150°C)、地层水矿化度(250000ppm)、凝析油(50%)及酸性气体(H₂S 2000ppm)影响，有效期短。泡排剂的起泡性能和稳泡性能是泡排工艺成功与否的关键。

起泡剂的介绍与加注方式

起泡剂有非离子型、阴非离子型、阴离子型、（弱）阳离子型和两性离子型，而不同品种又因其离子基团类型、分子结构或组成不同，应用功能（配伍性、起泡性、泡沫稳定性、携液量、抗矿化度、抗温性、抗凝析油甚至抗Cl⁻, O₂, H₂S, CO₂特性及其综合性能）千差万别。因泡沫排水采气生产过程中要产生大量的气田水，对不同的出水气井进行泡排采气，既要考虑气井产气量的大幅度上升，又要考虑其它各配套专用化学技术的协同效应和技术效果问题，只有这样才能提高有水气藏天然气的采收率和开采的综合经济效益。据调研分析，目前国内这方面的化学剂品种繁多，如下表所示：

Foam Lifting 泡沫人工举升

名称与类型		主要化学成分	性能/功能
起泡剂	非离子型	烷基多糖苷、天然茶皂素等	起泡、携液、环保、抗一定凝析油、低矿化度
	阴 - 非离子型	部分磺酸盐、羧酸盐醇醚等	起泡、携液、携砂、低毒性、抗一定凝析油、较高矿化度
	阴离子型	醇（酚）醚羧酸盐、醇（酚）醚或脂肪酰胺琥珀磺酸盐等	起泡、携液、携砂、环保、抗一定凝析油或 H_2S 腐蚀、较高矿化度 抗高温
	(弱) 阳离子型	含氧化叔胺型等	起泡、乳化、携液、携砂、环保 抗一定 H_2S 腐蚀、抗一定凝析油 高矿化度、抗高温
	两性离子型	磺基甜菜碱、羧基甜菜碱	起泡、乳化、携液、携砂、一定缓蚀、环保、抗一定凝析油、较高矿化度
	复合型	上述各可能组分	同上

加注方式

序号	加注方式	加注设备	原理	特点	备注
1	平衡罐滴加	平衡罐	借助自身重量 自流入井	无需动力，但无法计量	小产水量
2	泵注	柱塞计量泵	外加动力	可计量、调节、连续	大产水量
		泡排车		受外界条件制约、周期加注	小产水量
3	投泡排棒	加药筒	依靠自身重力	操作频繁	周期积液

投
棒
式



泡
排
车
加
注



平
衡
罐
滴
加



柱
塞
泵
加
注



DEoRC GEMINI纳米粒子泡排剂分子的合成

Gemini表面活性剂的特性：

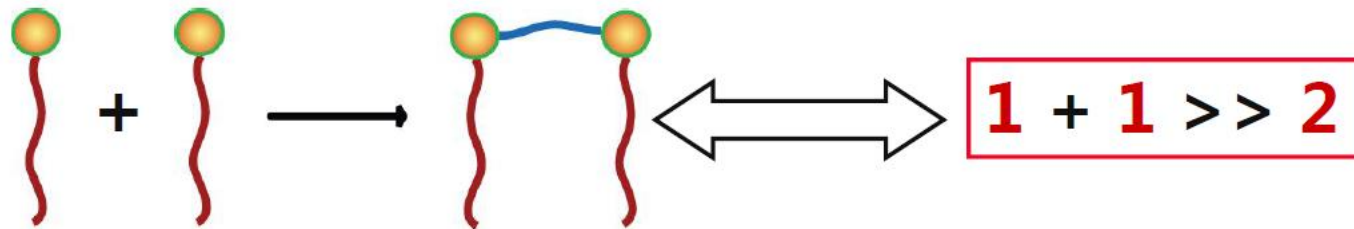
表面张力：与单体表面活性剂相比，其CMC低1~3个数量级

溶解特性：更易在水溶液中形成胶团，具有更好的水溶性

界面行为：更易在水溶液表面吸附，其分子间排列更加紧密

配伍性：特殊的梳状结构产生特殊的协同效应，形成更为致密的排列

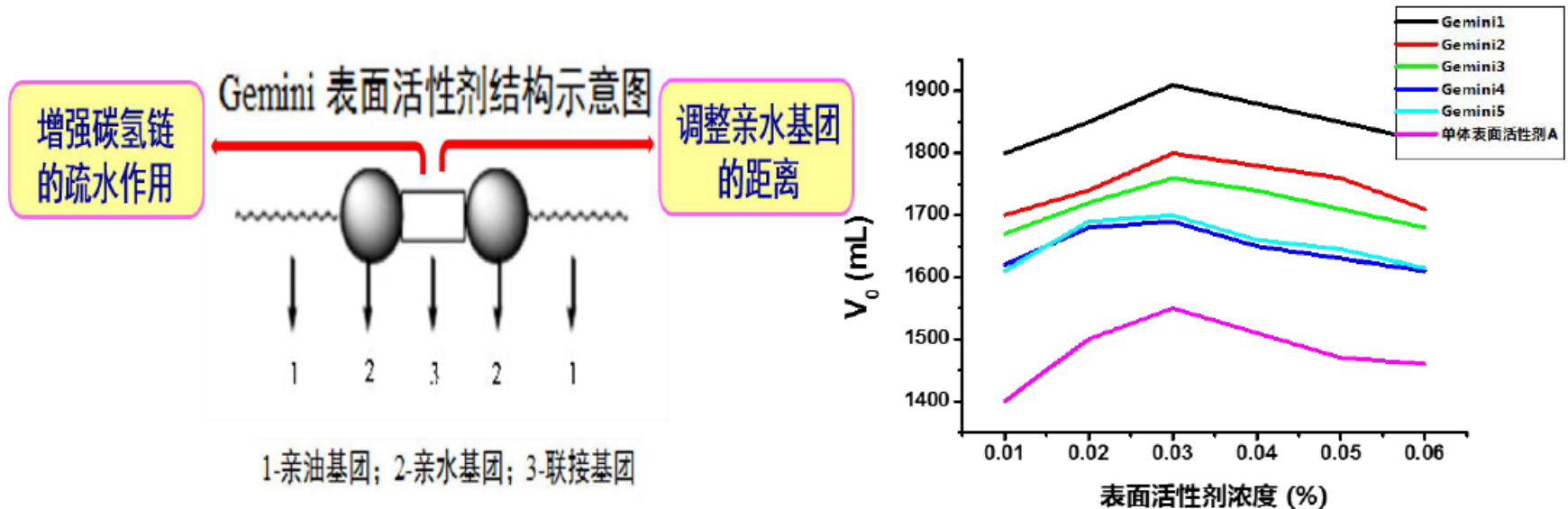
粘度：一般其水溶液在低浓度时具有较高粘度



DEoRC 纳米粒子表面活性剂

DEoRC GEMINI纳米粒子泡排剂分子的合成

合理设计疏水链长度及联接基长度，引入亲水基团较小、水化能力强、能够抗矿化度和耐高温的磺酸根离子。中等链长（C16）、较短的连接基具有更好的界面行为和起泡性能。



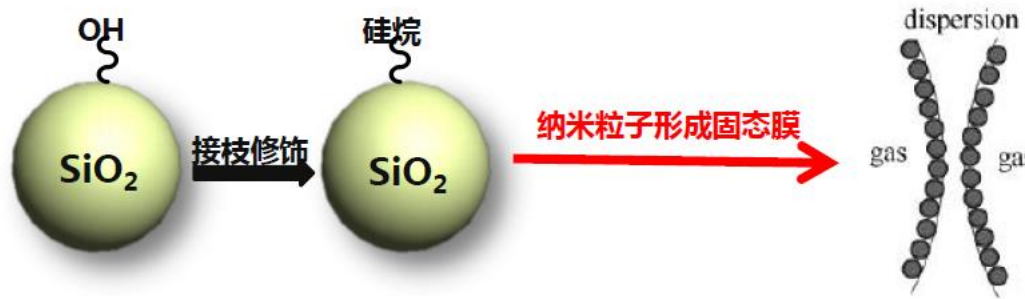
Nano-particle 纳米粒子固态稳泡剂的设计合成

纳米粒子稳泡剂设计需考虑的因素

- ✓ 纳米粒子的形状：棒状/球状/片状/多面体？
- ✓ 纳米粒子的化学组成：耐腐蚀性，经济性
- ✓ 纳米粒子的疏水程度：接触角适中方可稳泡
- ✓ 纳米粒子的尺寸：兼顾脱附能与液膜致密度

纳米粒子的选取

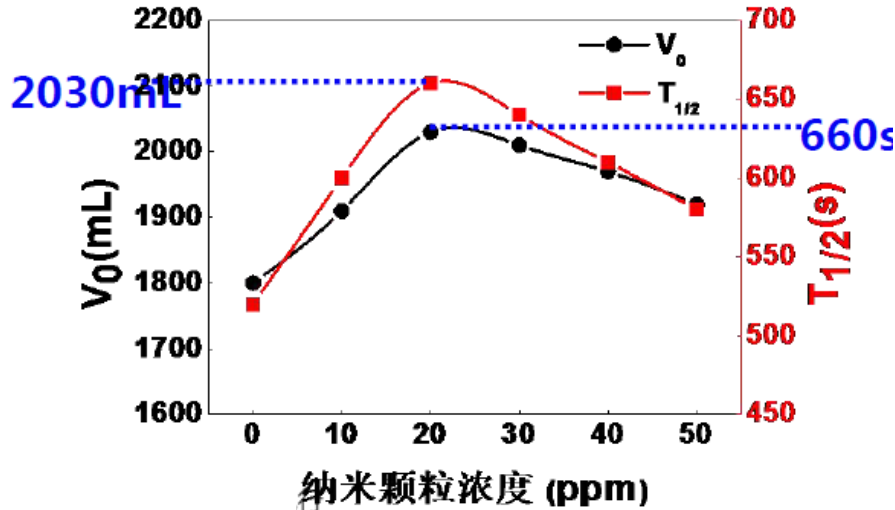
综合分析纳米粒子形状、组成、疏水程度以及尺寸等因素，本设计合成粒径为10nm~40nm、颗粒压片接触角为45°~85°的球状二氧化硅纳米粒子为稳泡剂。



DEoRC GEMINI 纳米粒子稳泡效果

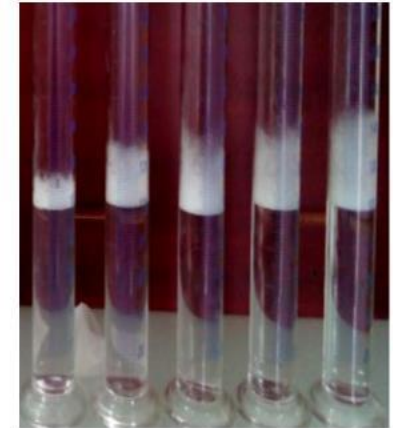
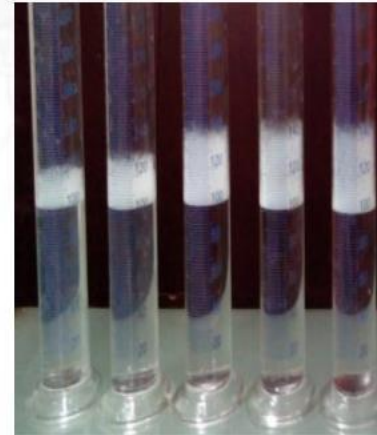
技术指标及适用条件

- 耐温：150°C
- 耐矿化度：25000ppm
- 耐H₂S气体：2000ppm



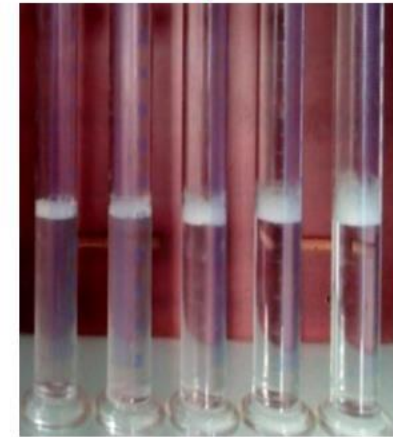
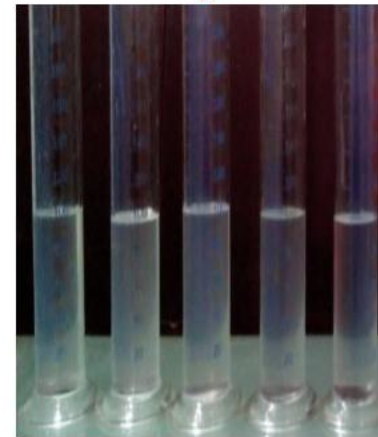
未添加微纳粒子的泡排剂

添加微纳粒子的泡排剂



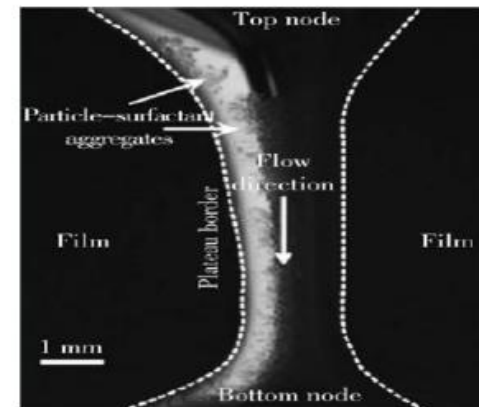
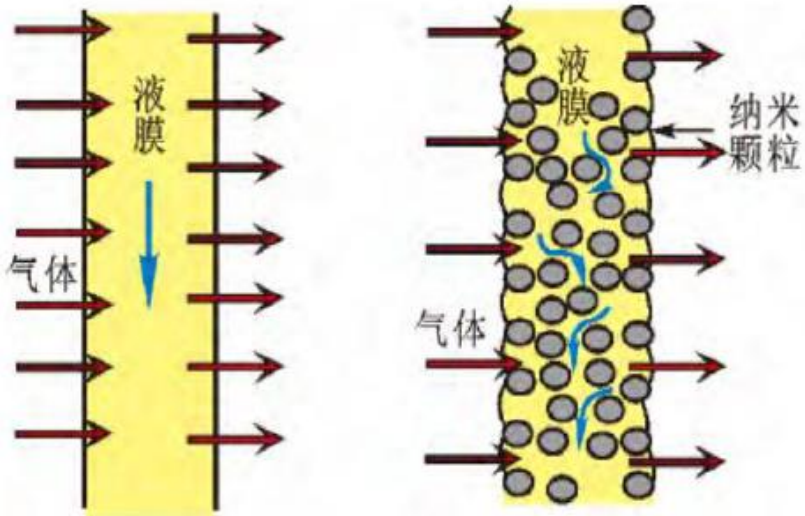
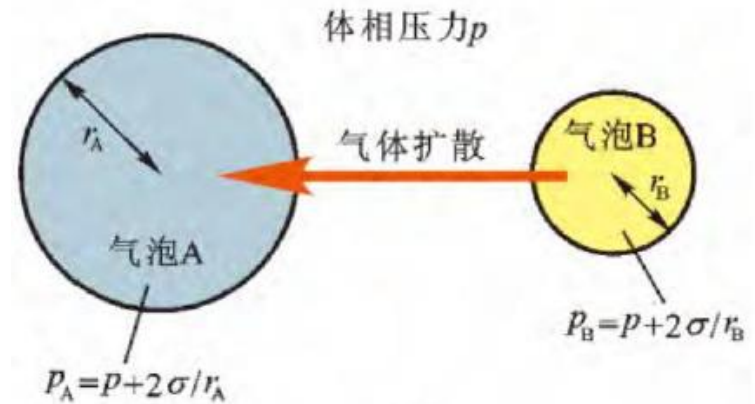
10天后

20天后



DEoRC GEMINI 微纳粒子增强泡沫性能机理

增加液膜粘度，减缓液膜排液速率
形成固体“铠甲”，降低气泡歧化速率



固态膜减缓泡膜排液

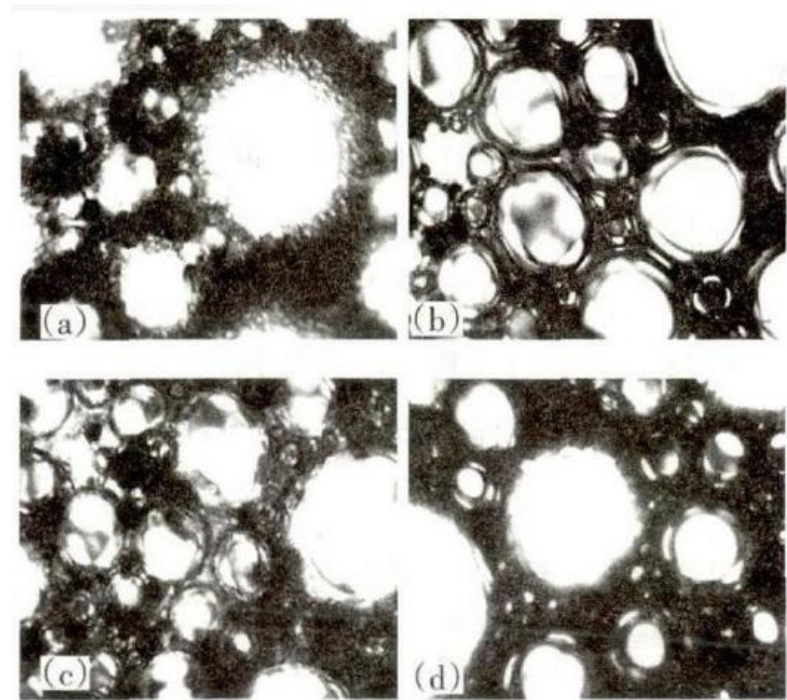
设计合成氟碳表面活性剂抗凝析油

技术难点：普通碳氢结构表活剂不具备耐油性，需设计新型结构表活剂！

泡沫特性：“遇油消泡、遇水稳定”

原油对泡沫的抑制和破坏体现在：

- ① **液膜排液：**表活剂分子离开水气界面进入油相，使有效浓度降低
- ② **气体在气泡之间的扩散：**原油在水气界面膜铺展或乳化成小油珠，破坏泡膜完整性
- ③ **增加体系能量：**增大油水相界面的面积



(a)XDLY油;(b)TK729油;(c)CQ油;(d)G15-2油

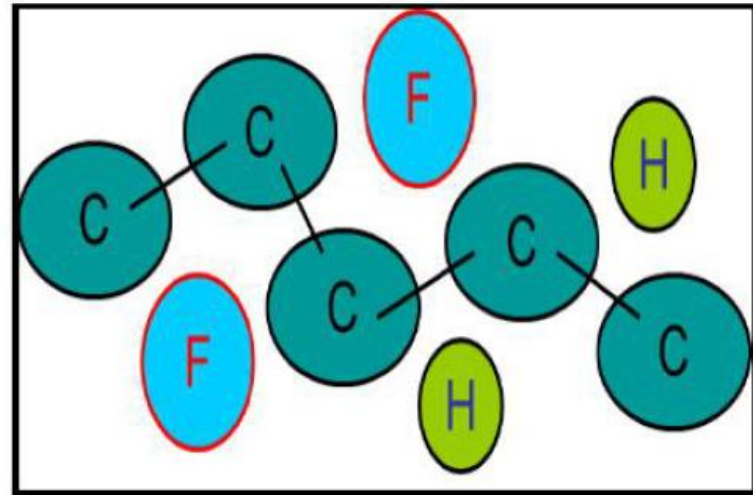
泡沫与不同原油作用微观结构图

设计合成氟碳表面活性剂抗凝析油

氟碳表面活性剂：将表面活性剂的碳氢链中的氢原子全部或部分被氟原子取代，用氟碳链代替碳氢链，其非极性基不仅具有疏水性质且具有疏油性能。

氟碳表面活性剂特点：

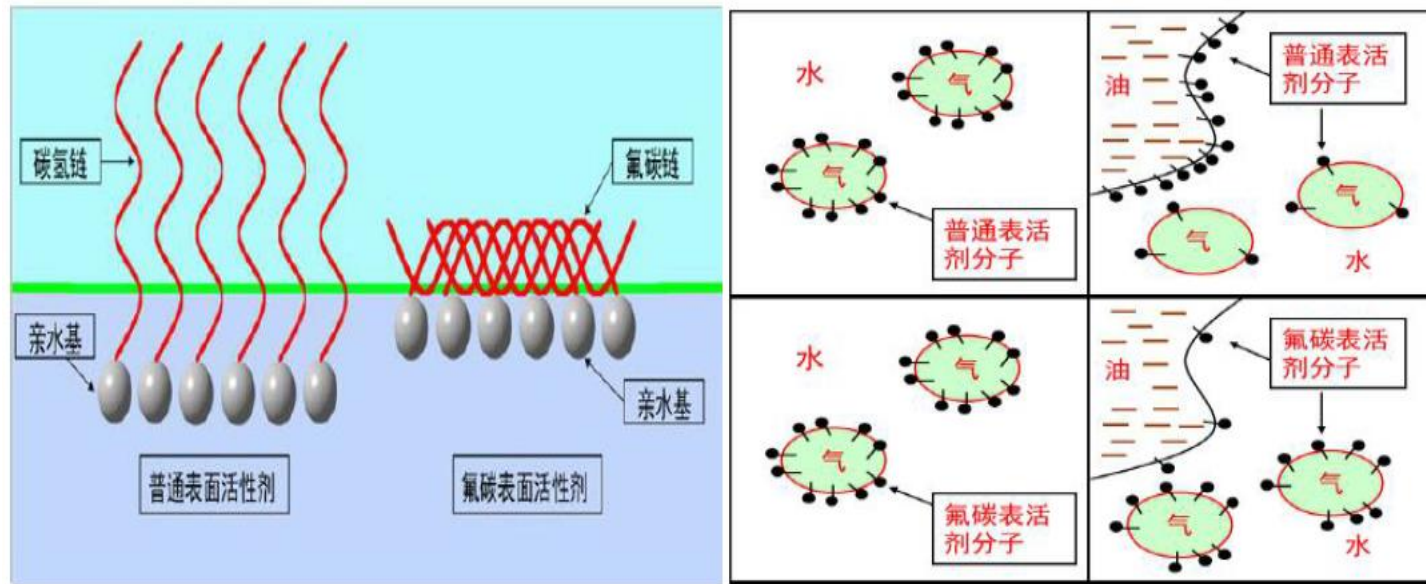
- ① 氟碳链结构远比碳氢链结构稳定
- ② 氟碳链的疏水作用远比碳氢链强
- ③ 氟碳表面活性剂CMC极低可增加耐油性



C-H键与C-F键示意图

设计合成氟碳表面活性剂抗凝析油

- 传统表面活性剂分子既亲水又亲油，可以较舒展地分布在油水界面；而氟碳表面活性剂分子既不亲水也不亲油，在油水界面处于高压压缩和高张力分布状态
- 在油、水、气三相共存下，传统表面活性剂分子更易向油水界面迁移，而氟碳表面活性剂更倾向于分布在气水界面



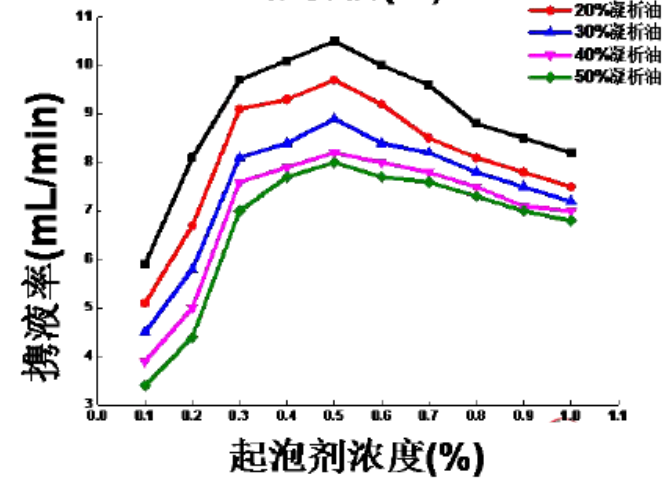
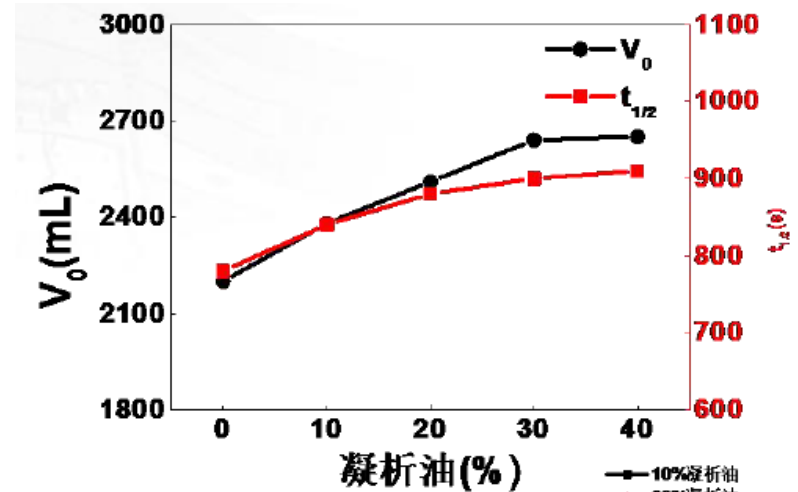
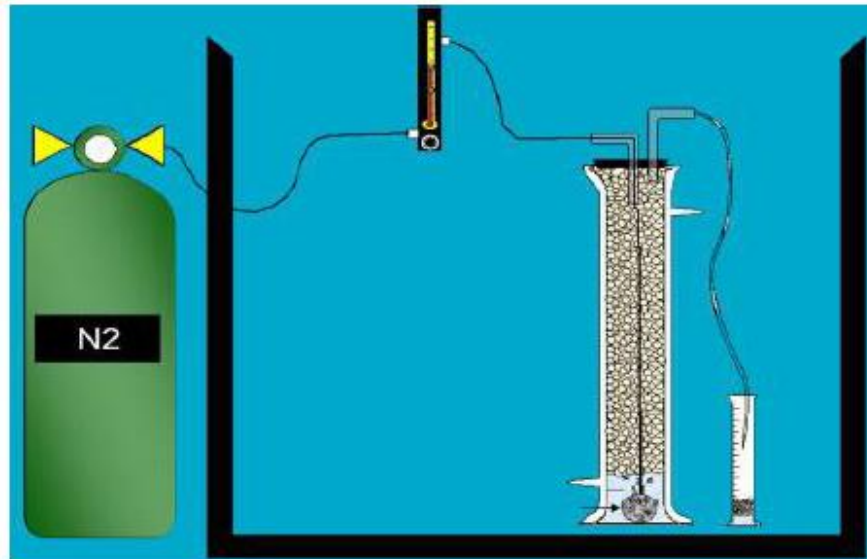
普通表面活性剂与氟碳表面活性剂界面分布示意图

油水气共存情况下不同表面活性剂的分布示意图

设计合成氟碳表面活性剂抗凝析油

氟碳表面活性剂的耐凝析油效果

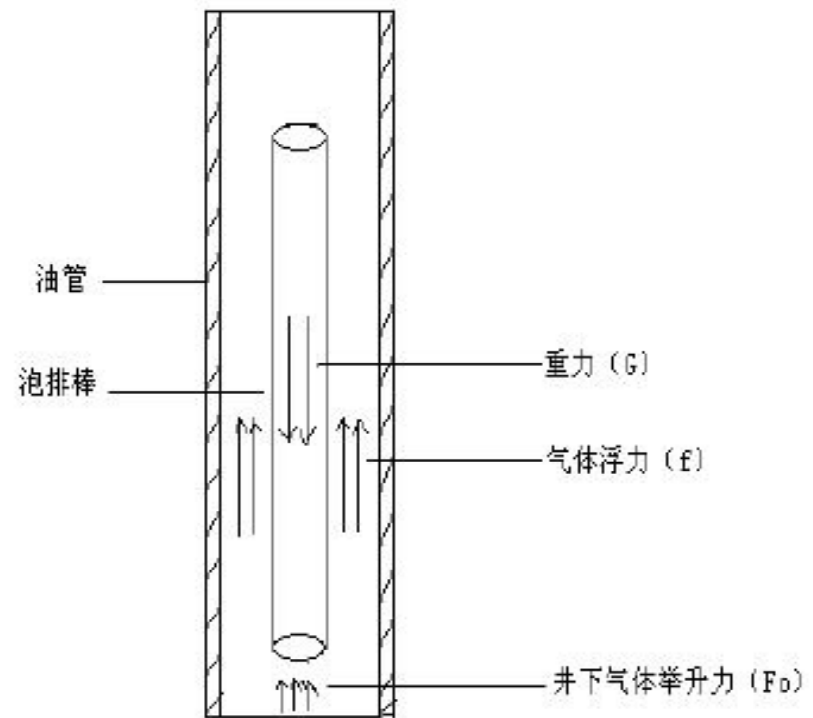
- 耐凝析油：50%
- 随凝析油含量增加起泡性和稳定性增加
- 随着凝析油含量增加携液率微弱降低



设计合成温度响应型水溶性固化剂分子以研制泡排棒

- 固化后较好地继承液体泡排剂各项性能
- 固化后应具有较高韧性，下落和溶解保持完整
- 固化后应具高密度性，以便克服气流冲击

项目	泡排棒	液相泡排剂
外观	圆柱状、白色微黄	清亮黄棕色
密度/ (g/cm ³)	1.078	1.02
质量	750g	/
体积	40cmX4.3cm	/
溶解时间 (90℃) /min	70~90	/
初始起泡高度/cm	115	117
5min后起泡高度/cm	109	110



DEoRC GEMINI 纳米粒子泡排剂的研制

形成耐“四高”系列纳米粒子泡排剂产品：耐温150℃、耐矿化度250000ppm、耐凝析油50%、耐H₂S 2000ppm，研制出泡排棒的固化配方和工艺。

泡排剂PQ-Y

- 耐温：≤150℃
- 耐矿化度：≤250000ppm
- 耐H₂S气体：≤10000ppm
- 耐CO₂气体：≤20000ppm
- 耐凝析油：≤50%

泡排剂PQ-P

- 耐温：≤150℃
- 耐矿化度：≤250000ppm

泡排剂PQ-G

- 耐温：≤150℃
- 耐矿化度：≤250000ppm
- 耐H₂S气体：≤10000ppm
- 耐CO₂气体：≤20000ppm

泡排棒PQ-S

- 泡排棒SKY-PS
- 泡排棒SKY-GS
- 泡排棒SKY-YS



Thank You

