油田化学概论

中国石油大学（华东）
赵福麟

二〇〇九年六月

提纲

前言

一、钻井化学

二、采油化学

三、集输化学

结束语

提纲

前言

一、钻井化学

二、采油化学

三、集输化学

结束语

前言

1. 油田化学概念

2. 油田化学研究内容

3. 油田化学常用的化学剂

前言

1. 油田化学概念

2. 油田化学研究内容

3. 油田化学常用的化学剂

油田化学概念

油田化学是研究油田钻井、采油、原油集输过程中化学问题的科学。

油田化学是石油科学中最年轻的科学。

油田化学是由钻井化学、采油化学和集输化学三部分组成。

前言

1. 油田化学概念

2. 油田化学研究内容

3. 油田化学常用的化学剂

油田化学研究内容

1. 研究钻井、采油和原油集输过程中存在问题的化学本质。

2. 研究解决存在问题所使用的化学剂。

3. 研究各种化学剂的作用机理和协同效应。

前言

1. 油田化学概念

2. 油田化学研究内容

3. 油田化学常用的化学剂

油田化学常用的化学剂

- 表面活性剂
- 聚合物

油田化学常用的化学剂

- 表面活性剂
- 聚合物

表面活性剂

- 概念
- 分类
- 重要作用

表面活性剂

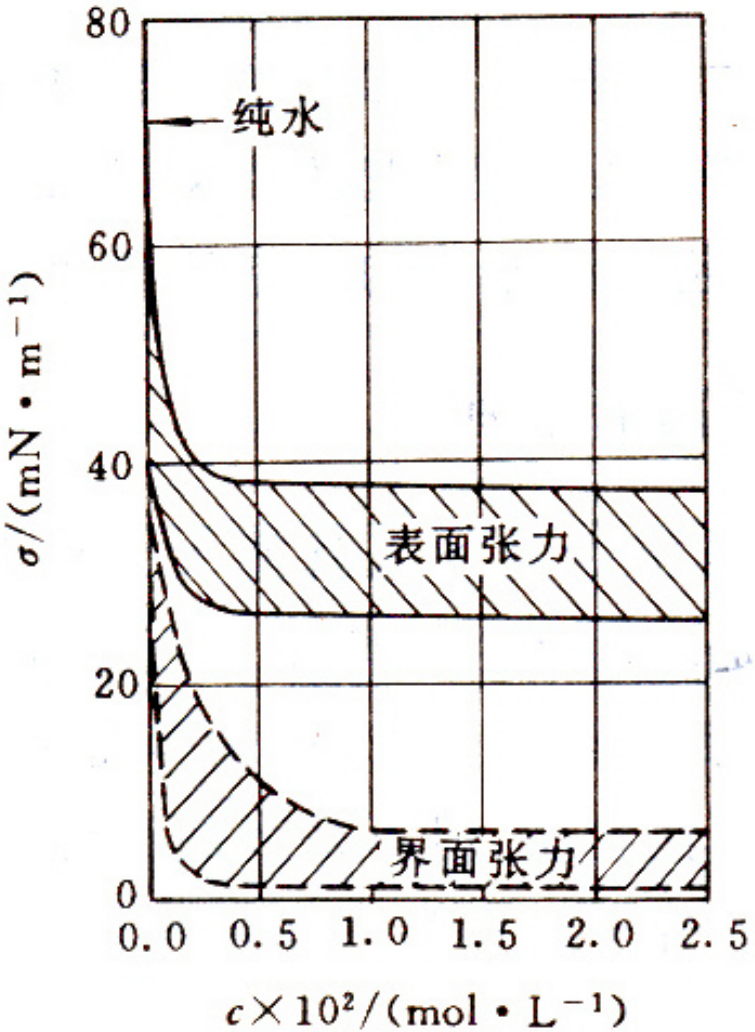
- 概念
- 分类
- 重要作用

表面活性剂概念

表面活性剂是指少量加入就能大大降低表（界）面张力的物质。

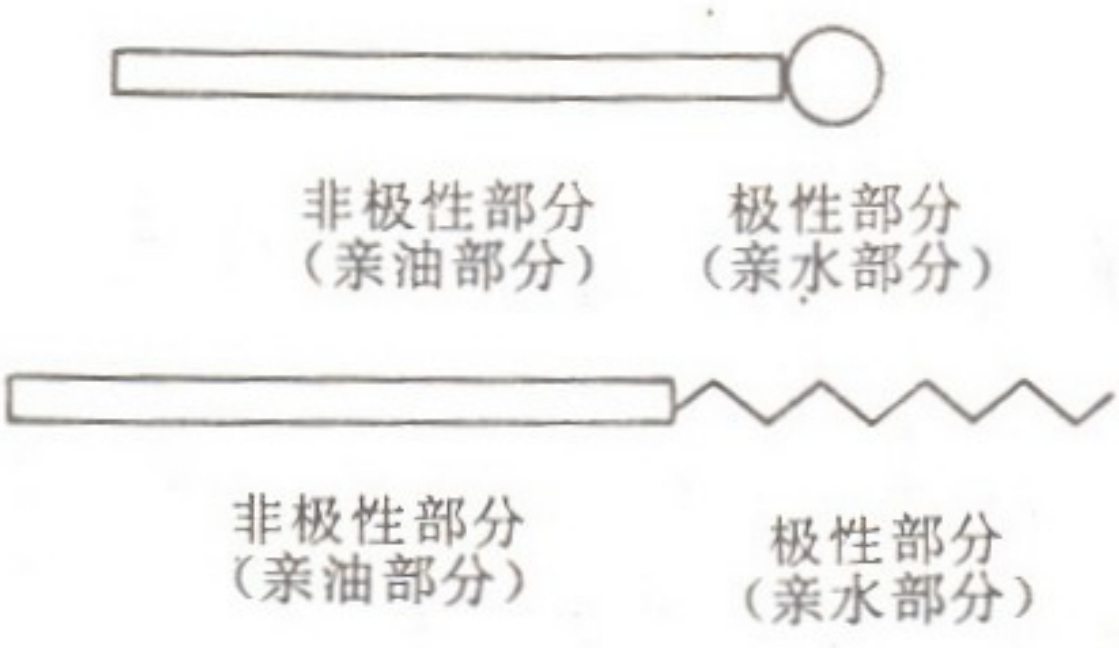
表面活性剂的分子结构是由非极性部分（亲油部分）和极性部分（亲水部分）组成。

表面活性剂的概念



表面活性剂溶液的表（界）面张力随其浓度的变化范围（25℃）

表面活性剂的概念



表面活性剂的分子结构

表面活性剂

- 概念
- 分类
- 重要作用

表面活性剂的分类

1. 阴离子表面活性剂

活性部分为阴离子的表面活性剂

2. 阳离子表面活性剂

活性部分为阳离子的表面活性剂

3. 非离子表面活性剂

活性部分不带电性的表面活性剂

4. 两性表面活性剂

活性部分带两种电学性质的表面活性剂，如阴离子-阳离子、阴离子-非离子、阳离子-非离子等。

表面活性剂

- 概念
- 分类
- 重要作用

表面活性剂的重要作用

类型	重要作用
阴离子型	起泡、乳化、破乳、防蜡、油井增产、水井增注、提高原油采收率
阳离子型	防蜡、缓蚀、杀菌、乳化、破乳、减小油井水油比、抑制粘土膨胀
非离子型	起泡、乳化、破乳、防蜡、油井增产、水井增注、提高原油采收率
两性型	缓蚀、杀菌、乳化、破乳、抑制粘土膨胀、提高原油采收率

油田化学常用的化学剂

- 表面活性剂
- 聚合物

聚合物

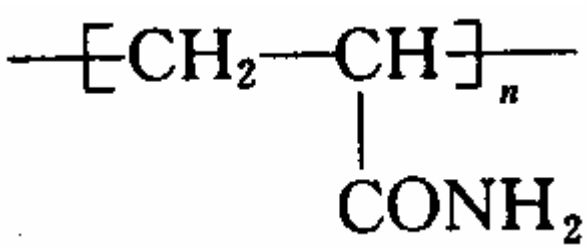
- 概念
- 分类
- 重要作用

聚合物

- 概念
- 分类
- 重要作用

聚合物的概念

聚合物是指由许多重复单质组成，分子量从几千到几千万的化合物。



（聚丙烯酰胺）

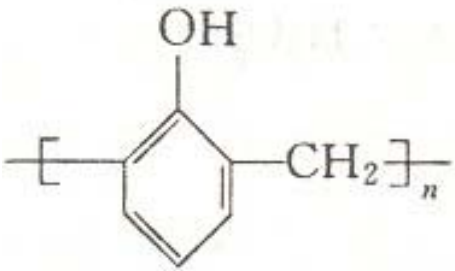
聚合物

- 概念
- 分类
- 重要作用

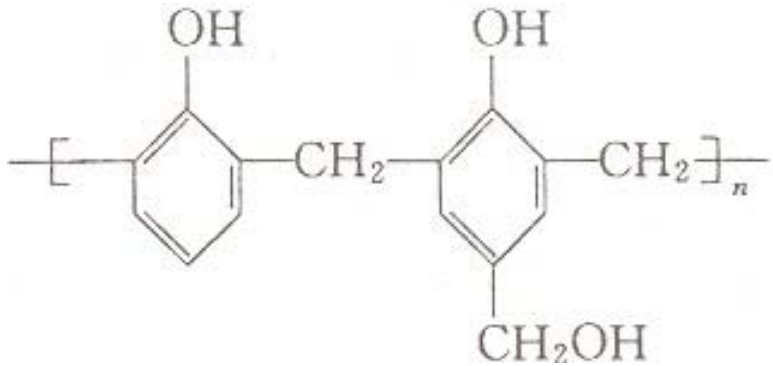
聚合物的分类

分类标准	分类	示例
对热性质	热塑性聚合物 热固性聚合物	热塑性酚醛树脂 热固性酚醛树脂
溶解性	水溶性聚合物 油溶型聚合物	聚丙烯酰胺 聚丙烯酸酯
结构	直链线型聚合物 支链线型聚合物 交联体型聚合物	聚丙烯酰胺 聚丙烯酸酯 固化后酚醛树脂
来源	天然聚合物 合成聚合物	黄胞胶 聚丙烯酰胺

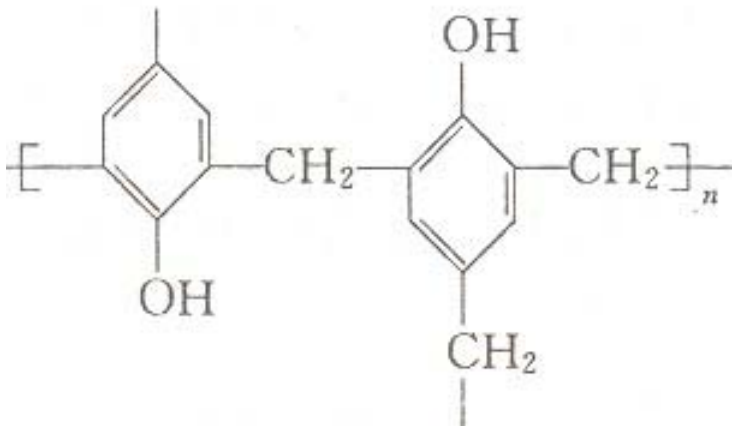
聚合物的分类



(热塑性酚醛树脂)

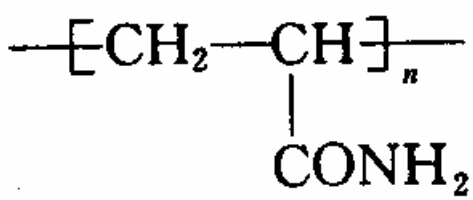


(热固性酚醛树脂)

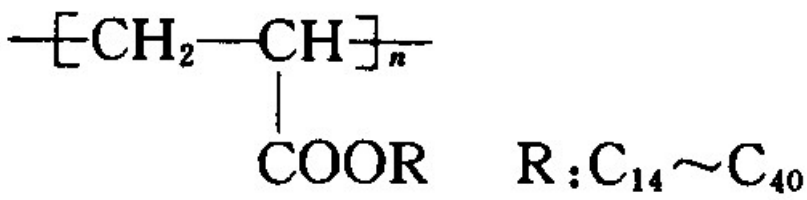


(固化后酚醛树脂)

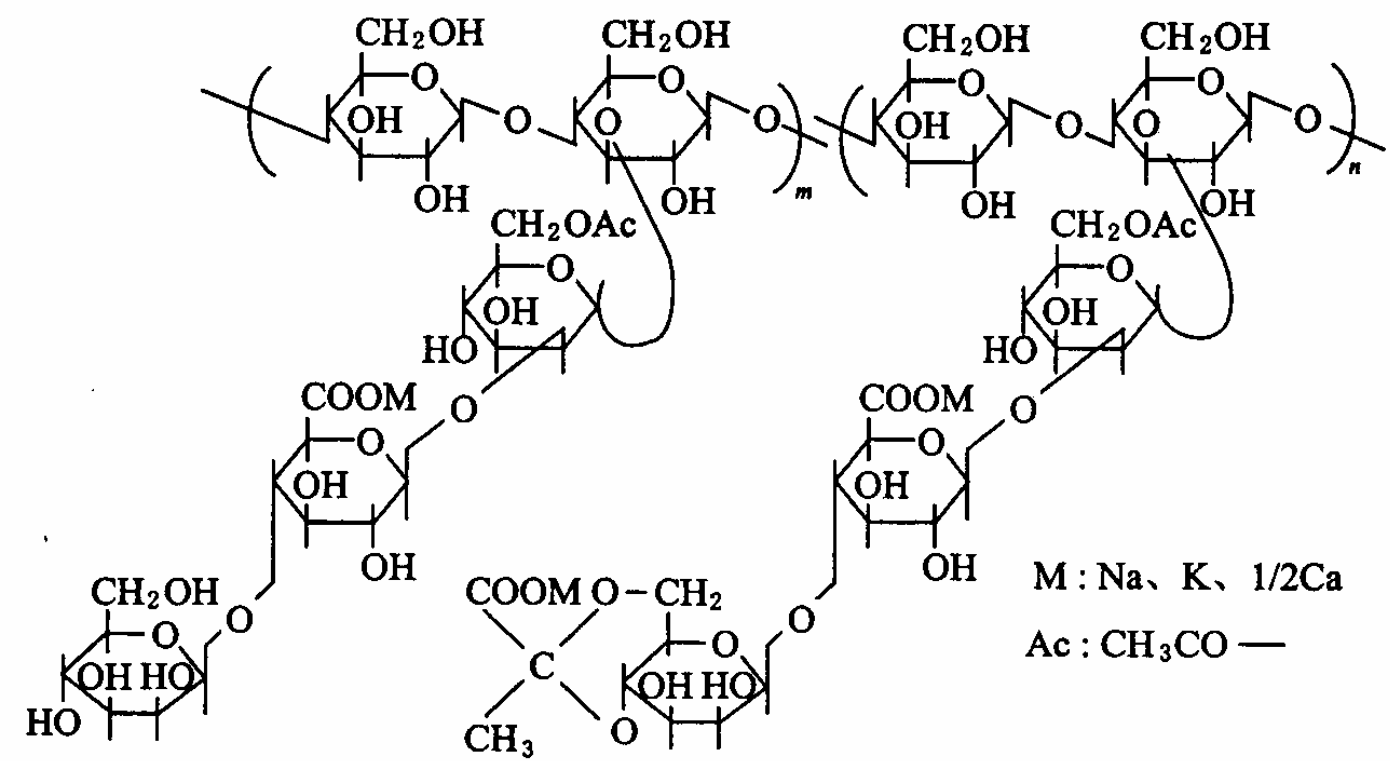
聚合物的分类



（聚丙烯酰胺）



（聚丙烯酸酯）



（黄胞胶）

聚合物的结构



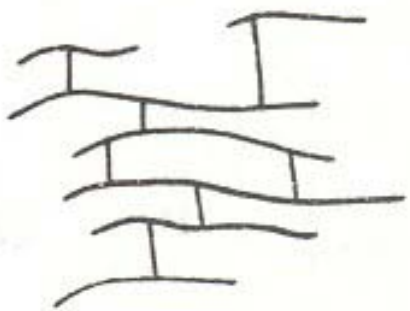
直链线型(伸直)



直链线型(蜷曲)



支链线型



交联体型

聚合物

- 概念
- 分类
- 重要作用

聚合物的重要作用

增粘、减阻、降滤失、絮凝、防蜡、降凝、调剖、堵水、驱油、抑制天然气水合物、防砂、配压裂液。

提纲

前言

一、钻井化学

二、采油化学

三、集输化学

结束语

钻井化学

1. 钻井化学概念

2. 钻井用的工作液

3. 钻井用的化学剂

钻井化学

1. 钻井化学概念

2. 钻井用的工作液

3. 钻井用的化学剂

钻井化学概念

钻井化学是油田化学的一部分。

钻井化学是钻井工程学与化学之间的边缘科学。

钻井化学是研究如何用化学方法解决钻井和固井过程中遇到的问题。

由于钻井过程和固井过程中遇到的问题主要来自钻井液和水泥浆，因此钻井化学可分为钻井液化学和水泥浆化学。

钻井液化学是通过研究钻井液的组成、性能及其控制与调整，达到优质、快速、安全、经济地钻井的目的。

水泥浆化学是通过研究水泥浆的组成、性能及其控制与调整，达到封隔漏失层、复杂地层和保护产层、套管的目的。

钻井化学

1. 钻井化学概念

2. 钻井用的工作液

3. 钻井用的化学剂

钻井用的工作液

- 钻井液
- 水泥浆

钻井用的工作液

- 钻井液
- 水泥浆

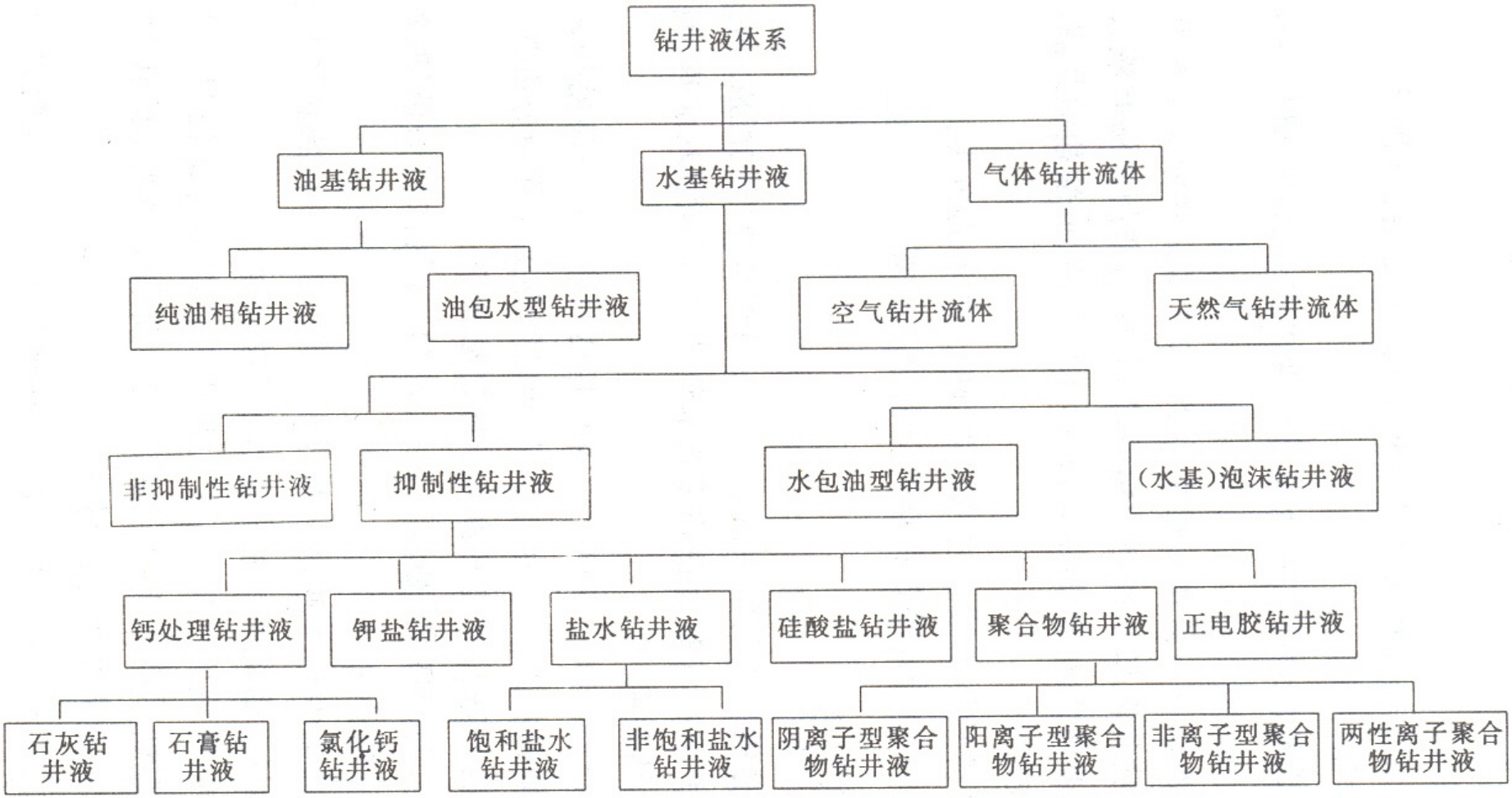
钻井液概念

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。

钻井液功能

- 冲洗井底；
- 携带岩屑；
- 平衡地层压力；
- 冷却与润滑钻头；
- 稳定井壁；
- 悬浮岩屑和密度调整材料；
- 获取地层信息；
- 传递功率。

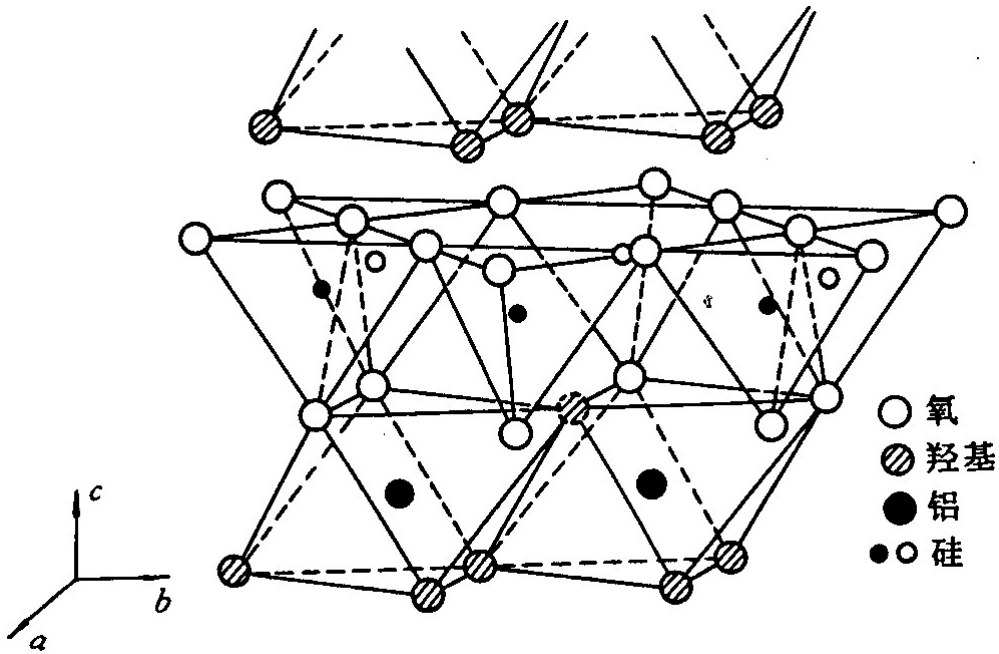
钻井液体系


钻井液体系
油基钻井液
水基钻井液
气体钻井流体
纯油相钻井液
油包水型钻井液
空气钻井流体
天然气钻井流体
非抑制性钻井液
抑制性钻井液
水包油型钻井液
(水基)泡沫钻井液
钙处理钻井液
钾盐钻井液
盐水钻井液
硅酸盐钻井液
聚合物钻井液
正电胶钻井液
石灰钻井液
石膏钻井液
氯化钙钻井液
饱和盐水钻井液
非饱和盐水钻井液
阴离子型聚合物钻井液
阳离子型聚合物钻井液
非离子型聚合物钻井液
两性离子聚合物钻井液

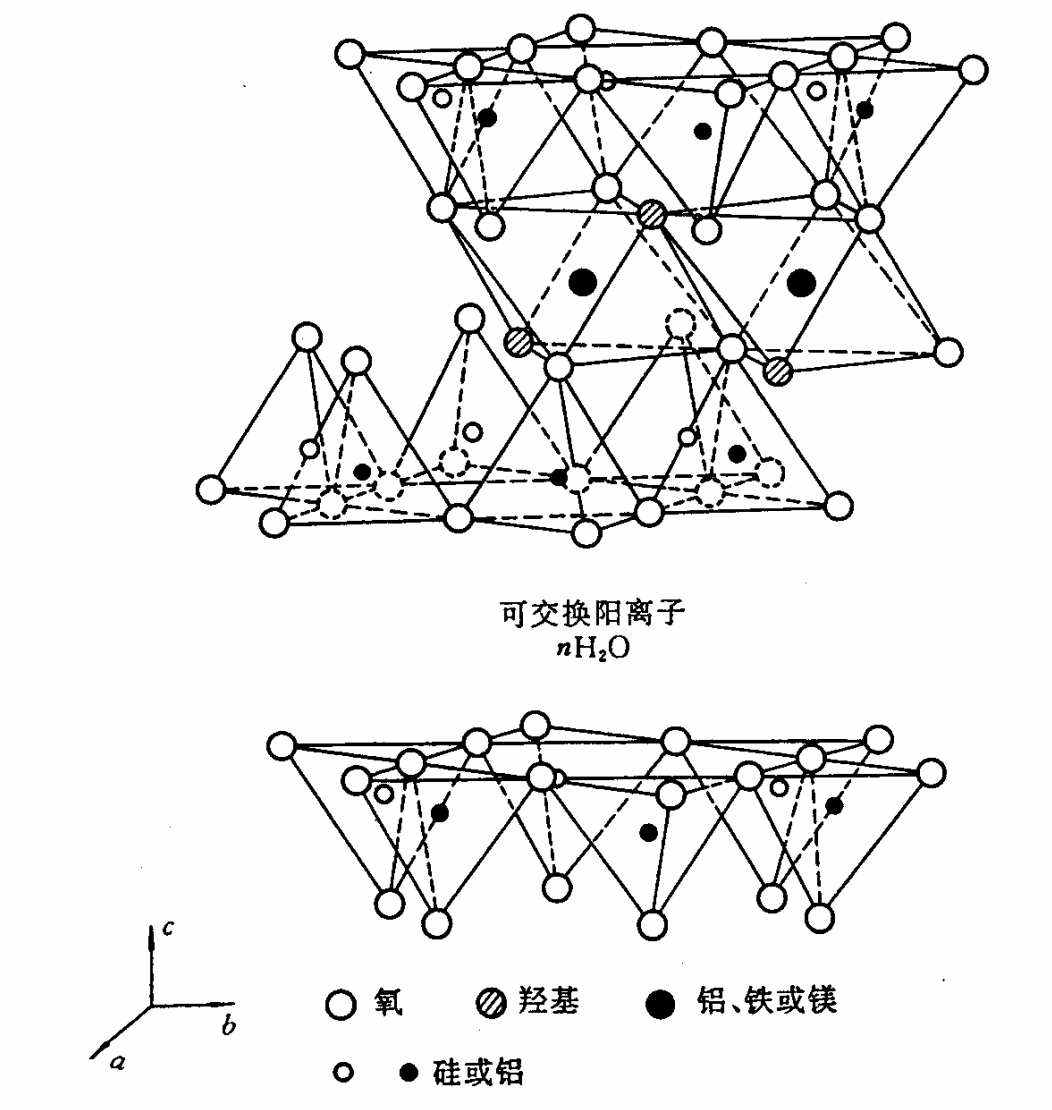
配钻井液重要材料

配钻井液的重要材料是粘土。粘土是粘土矿物的总称。粘土矿物有高岭石、蒙脱石、伊利石、绿泥石、海泡石、坡缕石等。钻井用的一级膨润土是以钠蒙脱石为主要成分的粘土；二级膨润土则是以钙蒙脱石为主要成分的粘土。

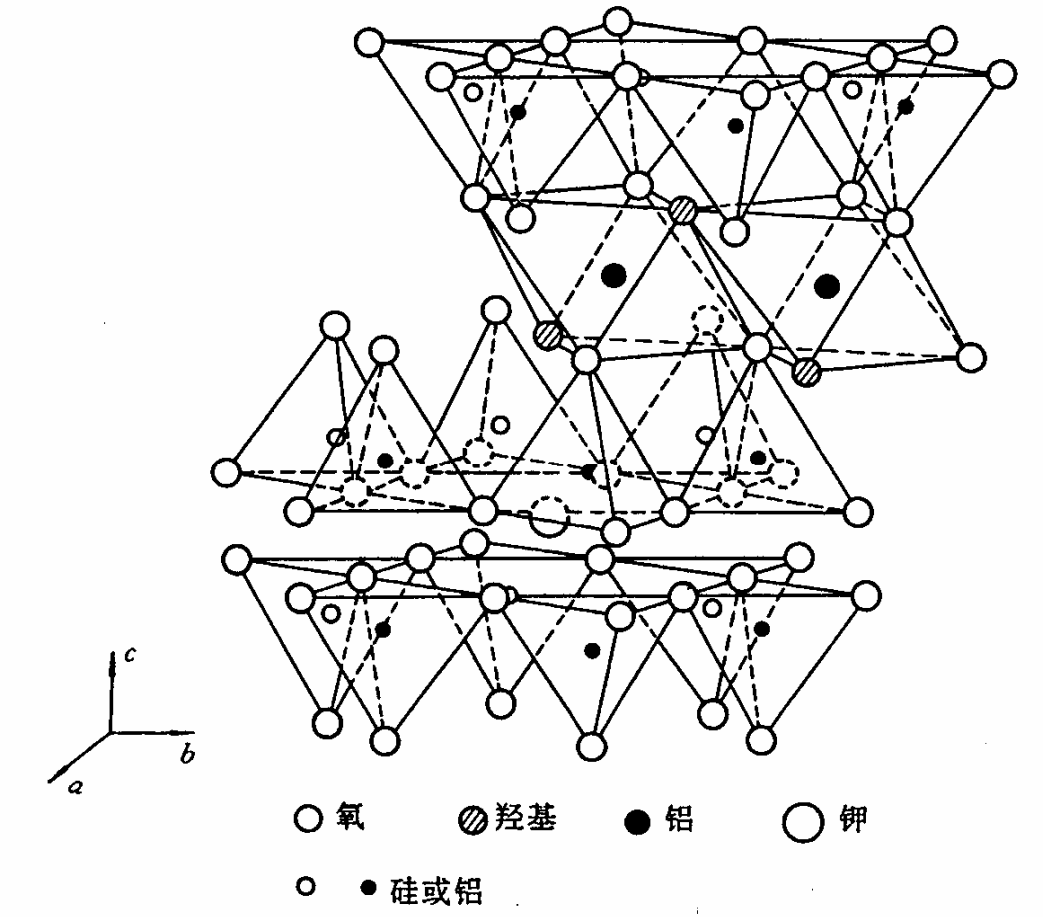
高岭石的晶体结构



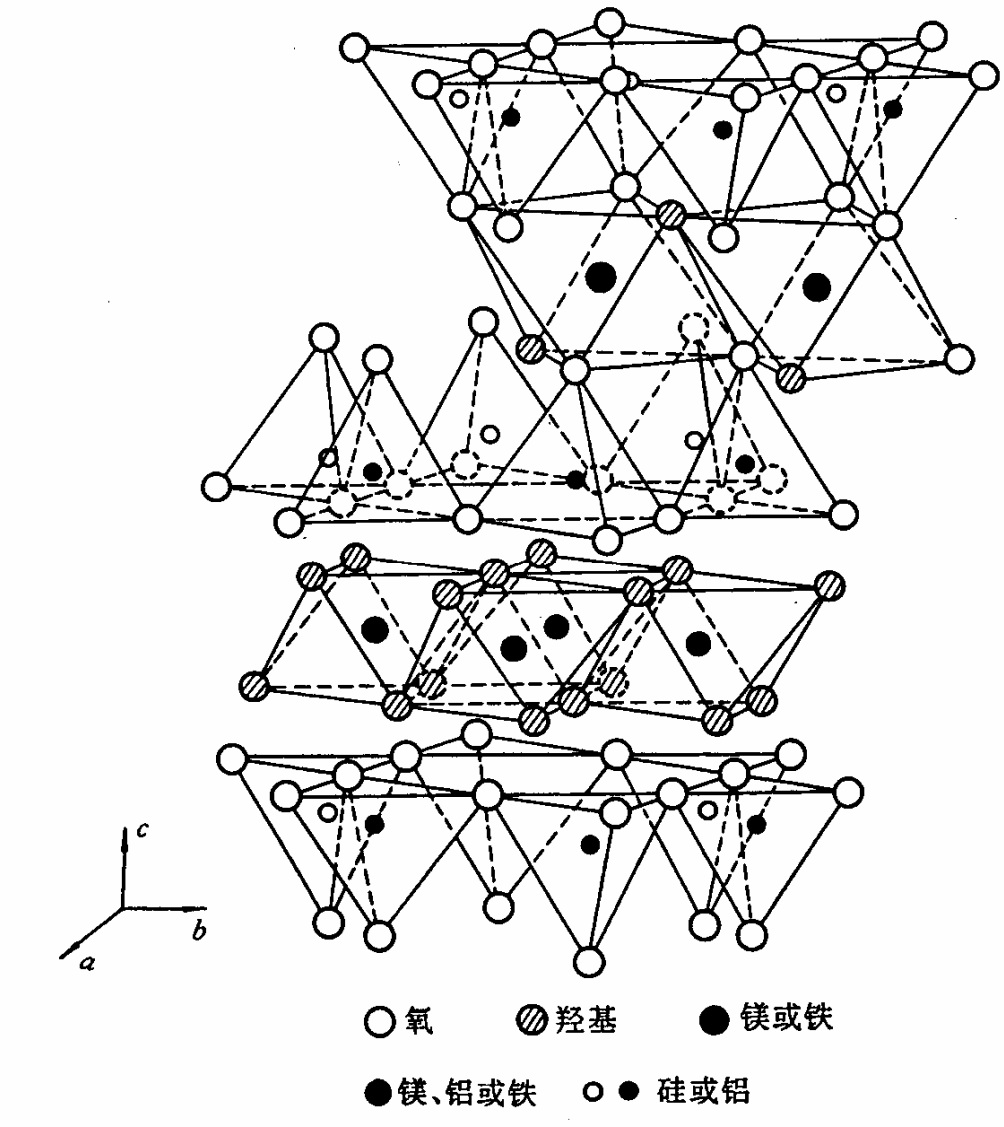
蒙脱石的晶体结构



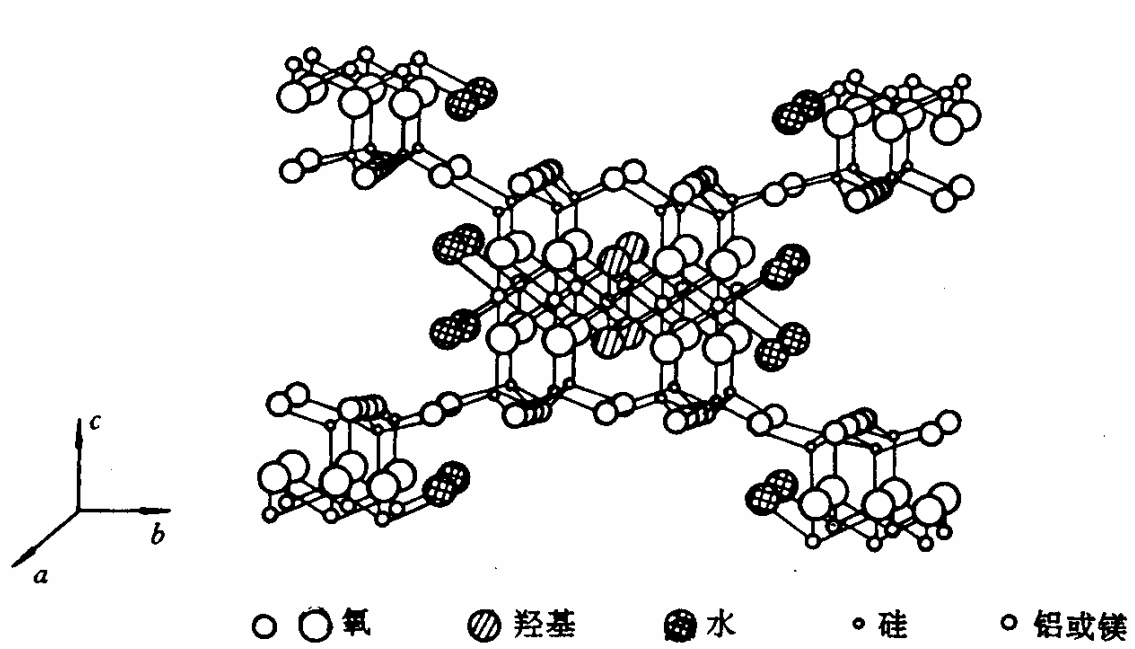
伊利石的晶体结构



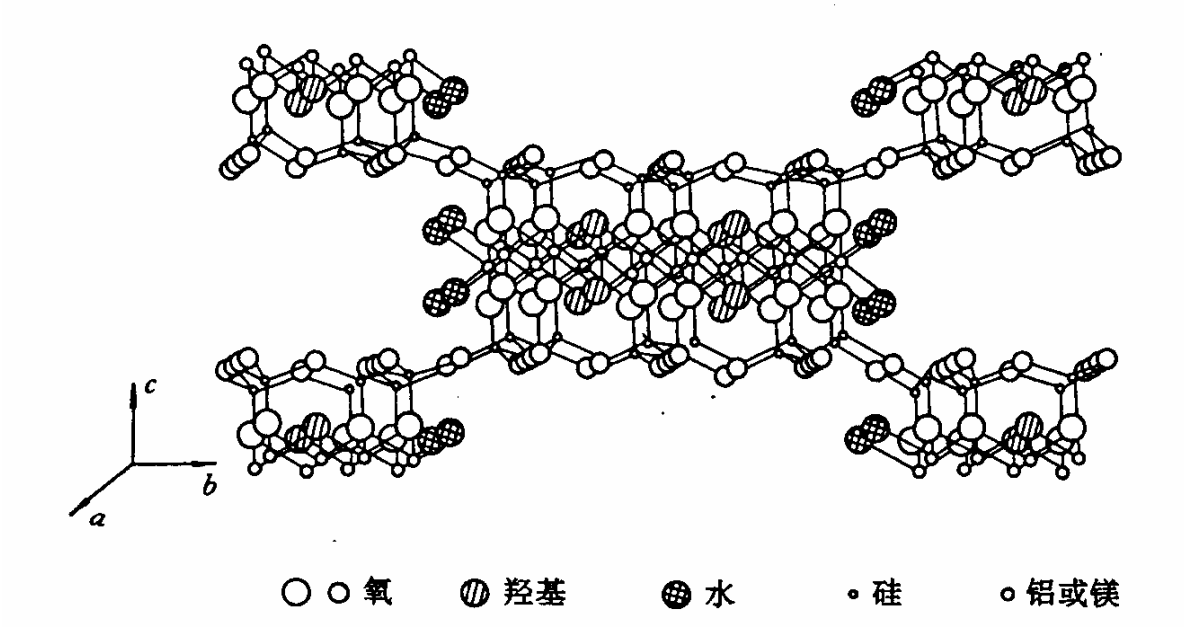
绿泥石的晶体结构



坡缕石的晶体结构



海泡石的晶体结构



钻井用的工作液

- 钻井液
- 水泥浆

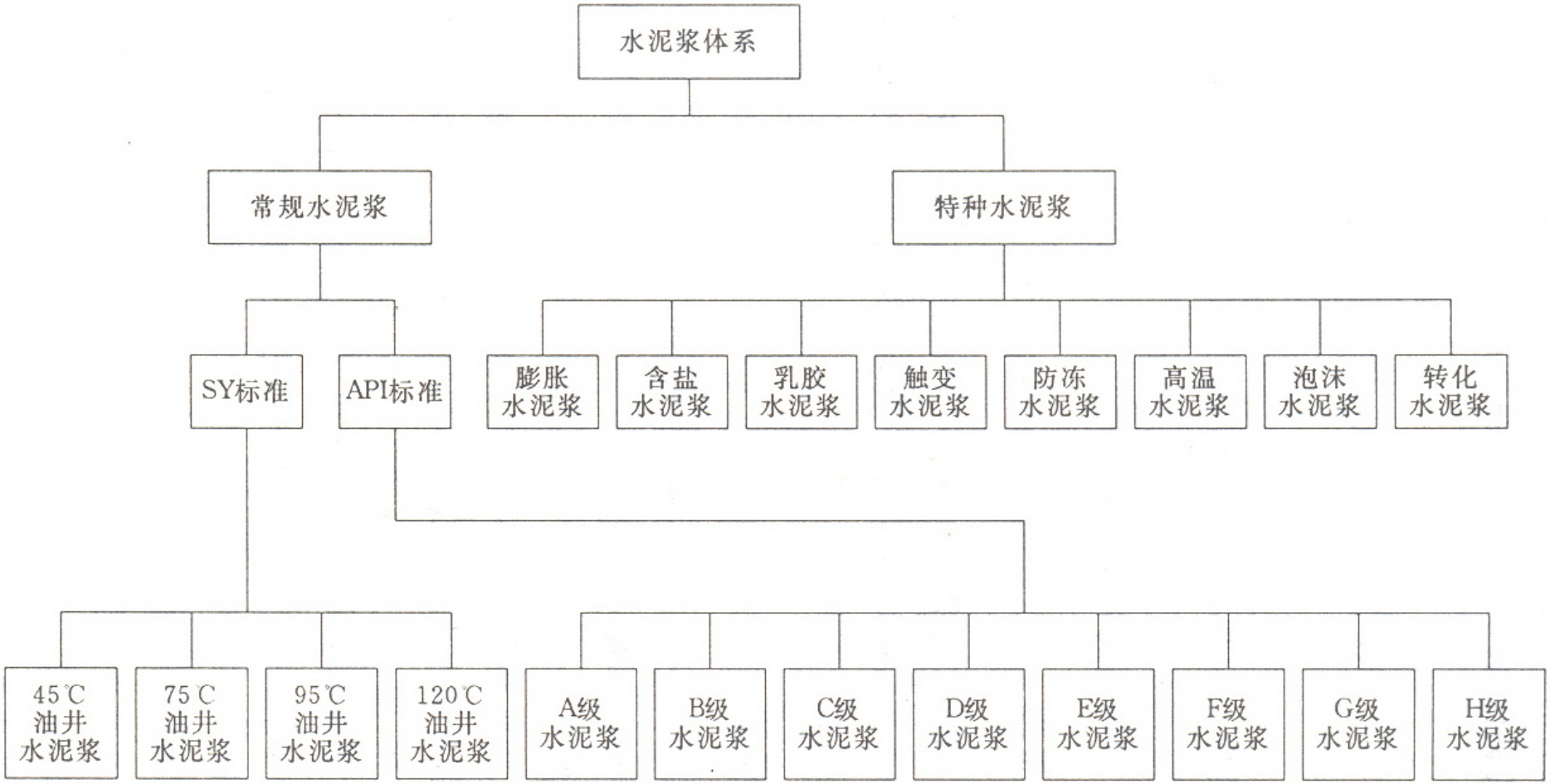
水泥浆概念

水泥浆是固井中使用的工作液。这里提到的固井是一种作业，该作业是由套管向井壁与套管的环空注入水泥浆并让它上返至一定高度，水泥浆随后变成水泥石将井壁与套管固结起来。

水泥浆功能

- 固定和保护套管
- 保护高压油气层
- 封隔严重漏失层和其他复杂层

水泥浆体系


水泥浆体系
常规水泥浆
特种水泥浆
SY标准
API标准
膨胀水泥浆
含盐水泥浆
乳胶水泥浆
触变水泥浆
防冻水泥浆
高温水泥浆
泡沫水泥浆
转化水泥浆
45℃油井水泥浆
75℃油井水泥浆
95℃油井水泥浆
120℃油井水泥浆
A级水泥浆
B级水泥浆
C级水泥浆
D级水泥浆
E级水泥浆
F级水泥浆
G级水泥浆
H级水泥浆

配水泥浆重要材料

配水泥浆重要材料是水泥。水泥是由石灰石、粘土在1450~1650℃下煅烧、冷却、磨细而成，主要含硅酸二钙、硅酸三钙、铝酸三钙、铁铝酸四钙。

配水泥浆重要材料

固井用的水泥浆称为油井水泥。

按我国石油行业（**SY**）分成**45**℃ 、**75**℃ 、**95**℃ 和**120**℃ **4**个级别；

按**API**标准则分成**A**、**B**、**C**、**D**、**E**、**F**、**G**、**H**、**J 9**个级别，分别用在不同的井深。

SY油井水泥适用的井深

级别	适用井深/m	级别	适用井深/m
45℃油井水泥	0～1 500	95℃油井水泥	2 500～3 500
75℃油井水泥	1 500～2 500	120℃油井水泥	3 500～5 000

API油井水泥适用的井深

级别	适用井深/m	级别	适用井深/m
A	0～1 830	F	3 050～4 880
B	0～1 830	G	0～2 440
C	1 830～3 050	H	0～2 440
D	3 050～4 270	J	3 600～4 880
E	3 050～4 270		

钻井化学

1. 钻井化学概念

2. 钻井用的工作液

3. 钻井用的化学剂

钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

密度调整剂

钻井液密度是根据平衡地层压力和地层构造应力的需要而调整的。合理的钻井液密度可以防止井喷或钻井液漏进地层，也可以控制或减轻井喷坍塌。

调整钻井液密度包括降低钻井液密度和提高钻井液密度。

可用加水或充气的方法降低钻井液密度，因水和气体的密度都低于钻井液密度。

可用加入高密度材料的方法提高钻井液密度。

高密度的不溶性矿物或矿石

名称	主要成分	密度/(g·cm^{-3})
石灰石	$CaCO_3$	2.7～2.9
重晶石	$BaSO_4$	4.2～4.6
菱铁矿	$FeCO_3$	3.6～4.0
钛铁矿	$TiO_2 \cdot Fe_3O_4$	4.7～5.0
磁铁矿	Fe_3O_4	4.9～5.2
黄铁矿	FeS_2	4.9～5.2

高密度的水溶性盐

水溶性盐	盐的密度/($g \cdot cm^{-3}$)	饱和水溶液密度/($g \cdot cm^{-3}$)
KCl	1.398	1.16(20℃)
NaCl	2.17	1.20(20℃)
$CaCl_2$	2.15	1.40(60℃)
$CaBr_2$	2.29	1.80(10℃)
$ZnBr_2$	4.22	2.30(40℃)

钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

酸碱性控制剂

钻井液的酸碱性与钻井液中粘土的分散程度，Ca^{2+}、Mg^{2+}和钻井液处理剂的存在状态，钻井液的流变性和钻井液对钻具的腐蚀密切相关。

钻井液的酸碱性可用**pH**值表示。

钻井液的**pH**值一般控制在弱碱性（**8~10**）范围，因为在这个**pH**值范围，钻井液中的粘土有适当的分散性，钻井液处理剂有足够的溶解性，对Ca^{2+}、Mg^{2+}在钻井液中的浓度有一定的抑制性，钻井液对钻具有低的腐蚀性。

常用的酸碱性控制剂

- 氢氧化钠
- 氢氧化钾
- 碳酸钠
- 碳酸氢钠

钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

降滤失剂

在一定压差下，钻井液可滤失进地层。若钻井液滤失量太大，则影响正常钻井，可用降滤失剂降低钻井液的滤失量。能降低钻井液滤失量的化学剂叫降滤失剂。

常用的降滤失剂

- 改性褐煤（改性腐殖酸）

  如腐殖酸钠、腐殖酸钾、硝基腐殖酸钠、磺甲基腐殖酸钠等。

- 改性淀粉

  如碱淀粉，羟乙基淀粉等。

- 改性纤维素

  如钠羧甲基纤维素，羟乙基纤维素等。

- 改性树脂

  如磺甲基酚醛树脂。

降滤失剂作用机理

- 增粘机理
- 吸附机理
- 捕集机理
- 物理堵塞机理

钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

流变性控制剂

钻井液流变性是指钻井液流动和变形的性质。这种性质与钻井液对井底的冲洗能力、对钻屑的携带和悬浮能力、对功率的传递能力和井壁稳定等直接相关。

能控制钻井液流变性的化学剂称为流变性控制剂。

常用流变性控制剂

- 降粘剂
- 增粘剂

常用流变性控制剂

- 降粘剂
- 增粘剂

钻井液降粘剂

- 单宁碱液
- 栲胶碱液
- 磺甲基单宁
- 铁铬木质素磺酸盐
- 丙烯酸钠与丙烯磺酸钠共聚物

钻井液降粘剂降粘机理

通过在粘土表面吸附，拆散粘土颗粒联结所产生的结构，起降低钻井液粘度的作用。

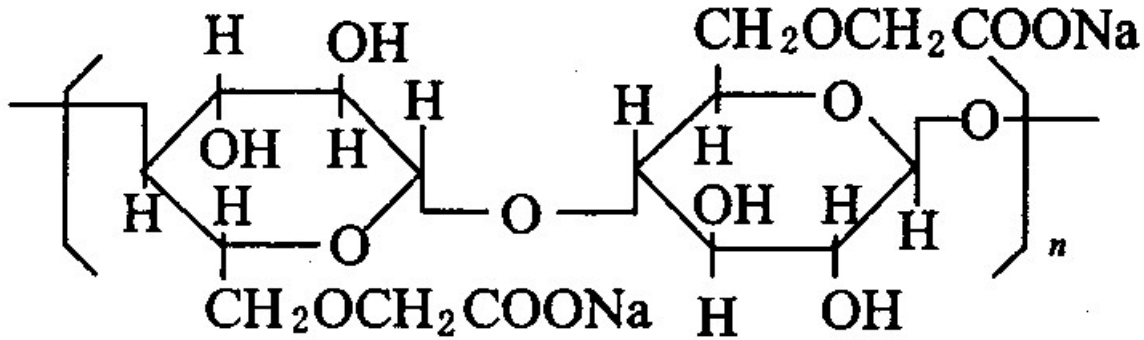
常用流变性控制剂

- 降粘剂
- 增粘剂

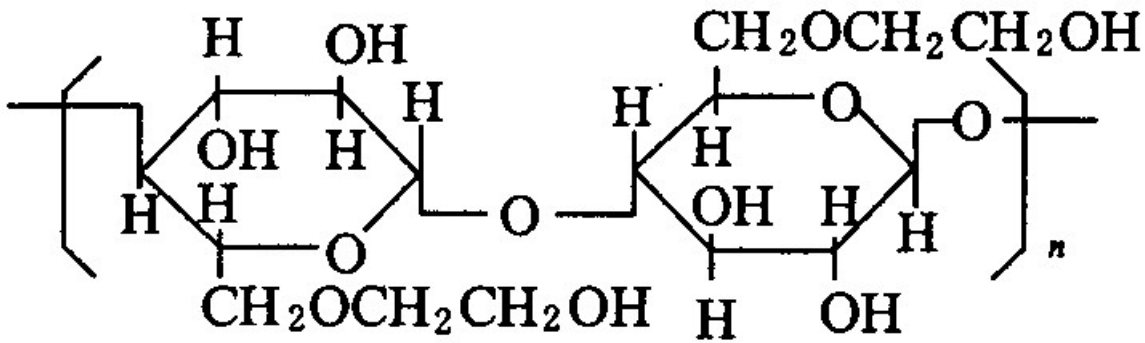
钻井液增粘剂

- 钠羧甲基纤维素
- 羟乙基纤维素

钻井液增粘剂



（钠羧甲基纤维素，Na-CMC）



（羟乙基纤维素，HEC）

钻井液增粘剂增粘机理

- 对水起稠化作用；
- 在粘土颗粒上吸附增加粘土颗粒体积；
- 在粘土颗粒间桥接吸附形成结构，产生结构粘度。

钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

固含量控制剂

钻井液固含量是指单位体积钻井液中固体物质的质量。

钻井液中的固体包括配浆用粘土、岩屑和密度调整材料。

固含量影响钻井液性能：

过高，钻井液粘度太大，流动阻力太大；

过低，滤失量大，滤饼厚，易发生卡钻。

重要的固含量控制剂

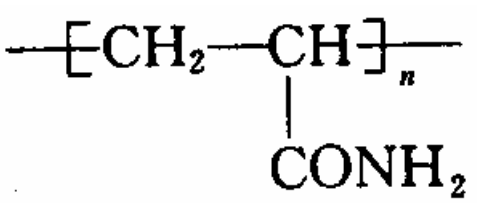
重要的固含量控制剂是钻井液絮凝剂。钻井液絮凝剂主要是水溶性聚合物。如

聚丙烯酰胺

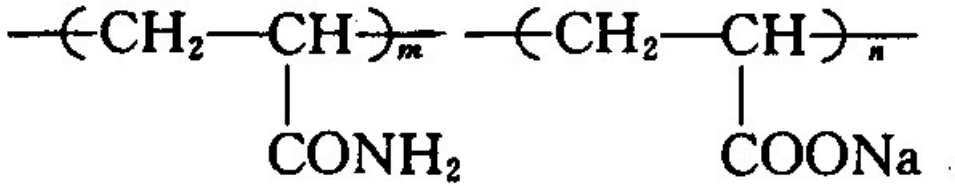
阴离子聚丙烯酰胺

阳离子聚丙烯酰胺

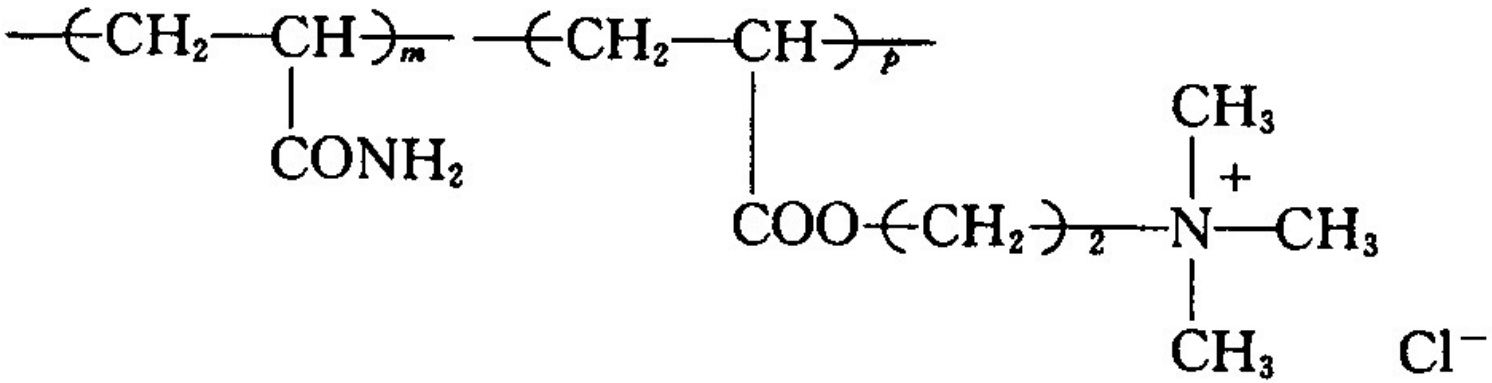
重要的固含量控制剂



（聚丙烯酰胺）



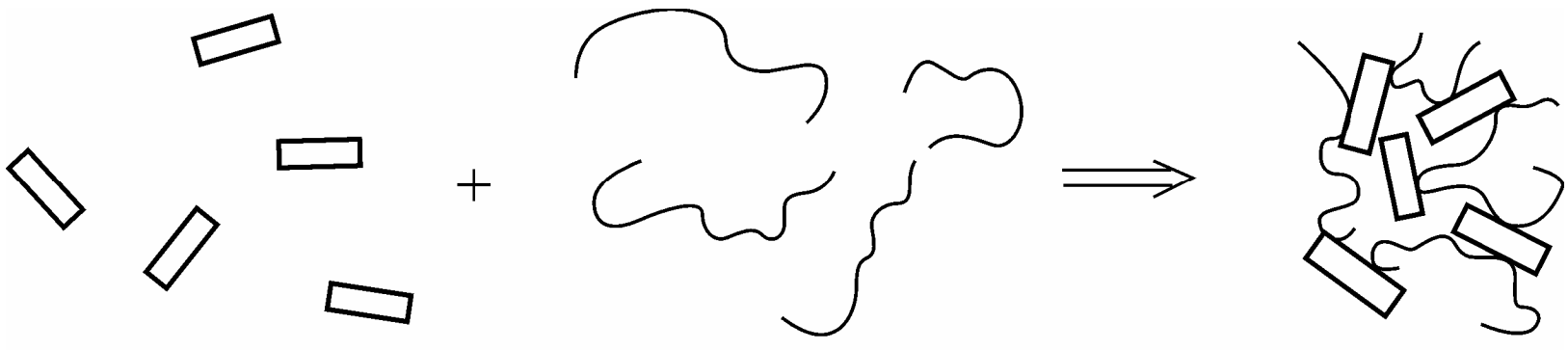
（阴离子聚丙烯酰胺）



（阳离子聚丙烯酰胺）

固含量控制剂作用机理

固含量控制剂是通过它在固体颗粒间桥接吸附，产生絮凝体，将固体颗粒从钻井液中除去。



（粘土）　　（聚丙烯酰胺）　　（粘土絮凝体）

聚合物分子对粘土的絮凝作用

钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

润滑性改进剂

为了减小钻柱与井壁的摩擦，降低钻井过程的动力消耗，需在钻井液中加入润滑性改进剂。

重要的润滑性改进剂

- 液体润滑剂

  如植物油和动物油。

- 固体润滑剂

  如塑料小球、玻璃小球。

润滑性改进剂作用机理

液体润滑剂是通过液层与液层摩擦取代固体与固体摩擦起作用；

固体润滑剂是通过将钻柱与井壁的滑动摩擦变成滚动摩擦起作用。

钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

井壁稳定剂

井壁稳定剂是指那些能抑制井壁的粘土膨胀和分散的化学剂。

重要的井壁稳定剂

- 氯化钾、氯化铵
- 烷基三甲基氯化铵
- 阳离子聚丙烯酰胺
- 氧化沥青和磺化沥青

井壁稳定机理

- 抑制固体表面的负电性
- 中和固体表面的负电性
- 覆盖固体表面的负电性

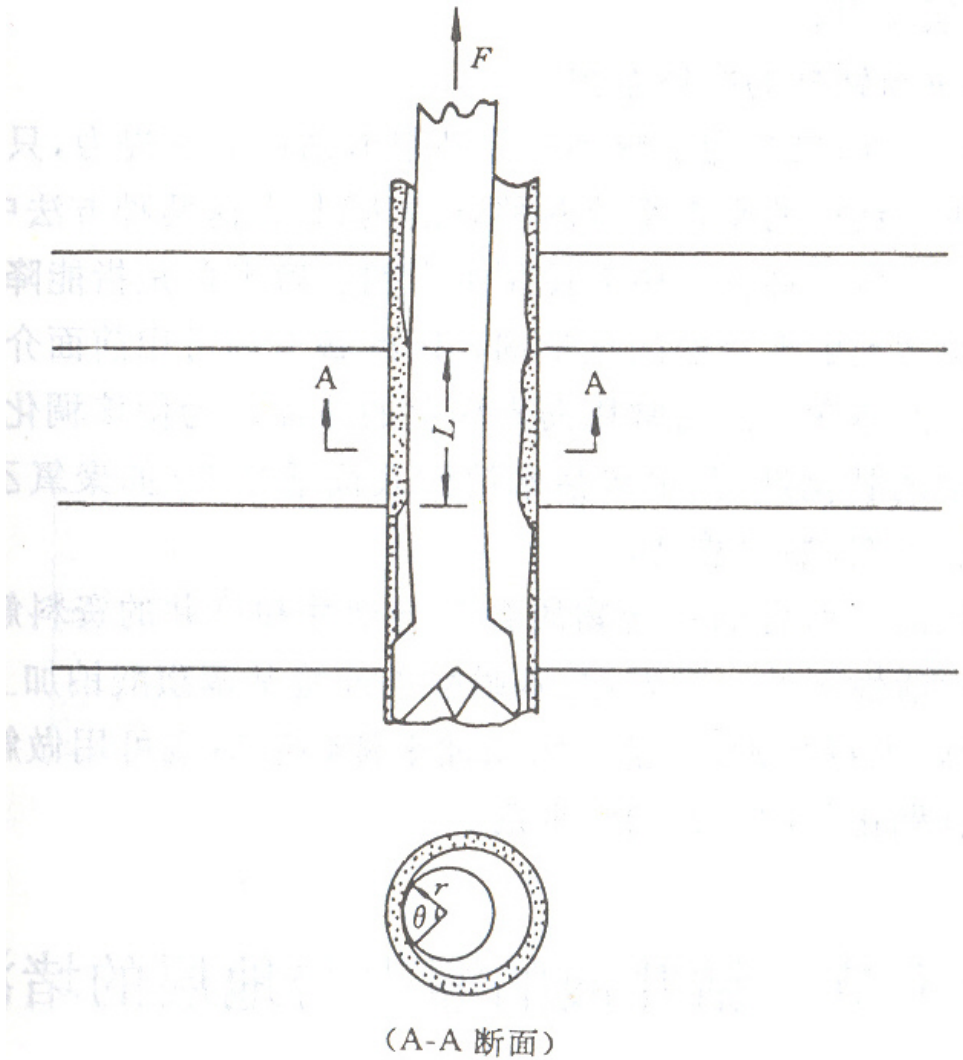
钻井用的化学剂

- 密度调整剂
- 酸碱性控制剂
- 降滤失剂
- 流变性调整剂
- 固含量控制剂
- 润滑性改进剂
- 井壁稳定剂
- 解卡剂

解卡剂

解卡剂是指那些能降低滤饼与钻柱之间摩擦力，从而达到解卡目的的化学剂。

解卡剂



粘附卡钻

重要的解卡剂

- 沥青稠化柴油
- 烷基磺酸钠加低分子醇

解卡剂解卡机理

解卡剂是通过降低滤饼与钻柱之间摩擦力起解卡作用的。

提纲

前言

一、钻井化学

二、采油化学

三、集输化学

结束语

采油化学

1. 采油化学概念
2. 采油中遇到的问题
3. 采油用的化学剂
4. 采油用的工作液

采油化学

1. 采油化学概念
2. 采油中遇到的问题
3. 采油用的化学剂
4. 采油用的工作液

采油化学概念

采油化学是油田化学的一部分。

采油化学是油田开采工程学与化学之间的边缘科学。

采油化学是研究如何用化学方法解决采油工程中遇到的问题。

采油过程中遇到的问题有油层的问题，也有油水井的问题。

采油化学

1. 采油化学概念
2. 采油中遇到的问题
3. 采油用的化学剂
4. 采油用的工作液

采油中遇到的问题

油层的问题集中表现在原油采收率不高。虽然油田不同，驱油方式不同，原油采收率也不同，但目前大多数油田的原油采收率超不过**50%**。这意味着，有相当数量的原油采不出来。

采油中遇到的问题

油水井（包括近井地带）也存在各种问题。油水井问题主要有下面五个，即油水井出砂、油井结蜡、油井出水、稠油井开不起来以及由于各种原因引起油井产量和注水井注入量的降低，这就是通常讲的砂、蜡、水、稠、低五大问题。

采油化学

1. 采油化学概念
2. 采油中遇到的问题
3. 采油用的化学剂
4. 采油用的工作液

采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

驱油剂

驱油剂是指为了提高原油采收率而从油田注入井注入油层将油驱至油井的物质。驱油剂有各自的性质，它们通过不同的机理，使原油的采收率得到提高。

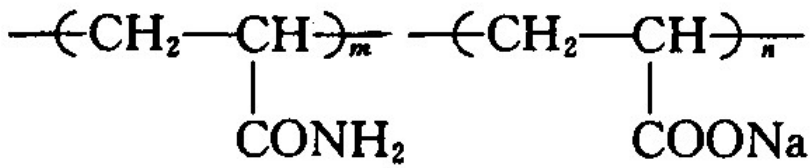
重要的驱油剂

驱动	驱油剂	驱动	驱油剂
聚合物驱	聚合物（溶液）	气驱	氮气、二氧化碳气、空气
碱驱	碱（溶液）	泡沫驱	气体-表面活性剂-水
表面活性剂驱	表面活性剂（溶液）	蒸汽驱	水蒸汽
复合驱	聚合物-表面活性剂 聚合物-碱 碱-表面活性剂 碱-表面活性剂-聚合物	热水驱	热水
		微生物驱	微生物代谢作用产生的气体、表面活性剂、聚合物或溶剂

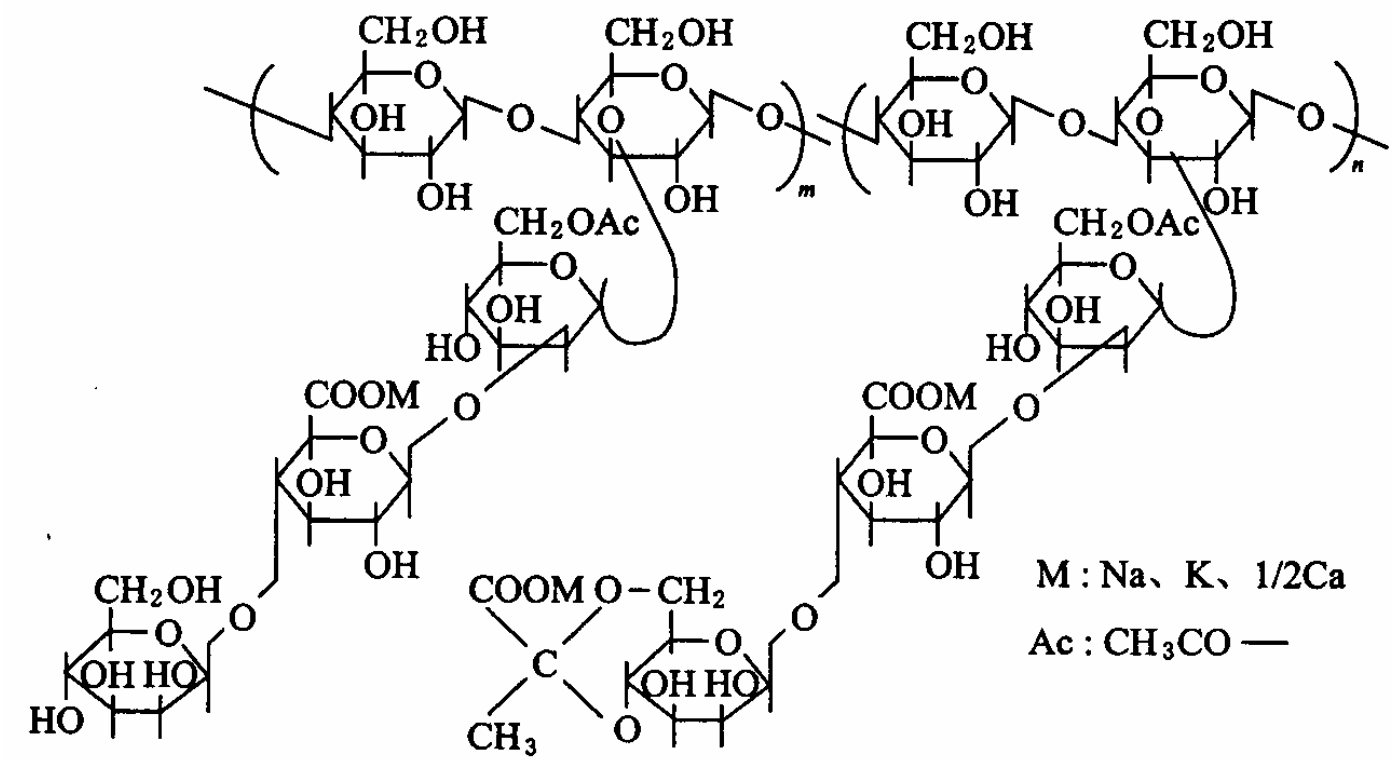
重要的驱油剂

驱动	驱油剂	驱动	驱油剂
聚合物驱	聚合物（溶液）	气驱	氮气、二氧化碳气、空气
碱驱	碱（溶液）	泡沫驱	气体-表面活性剂-水
表面活性剂驱	表面活性剂（溶液）	蒸汽驱	水蒸汽
复合驱	聚合物-表面活性剂 聚合物-碱 碱-表面活性剂 碱-表面活性剂-聚合物	热水驱	热水
		微生物驱	微生物代谢作用产生的气体、表面活性剂、聚合物或溶剂

驱油用聚合物



（部分水解聚丙烯酰胺）

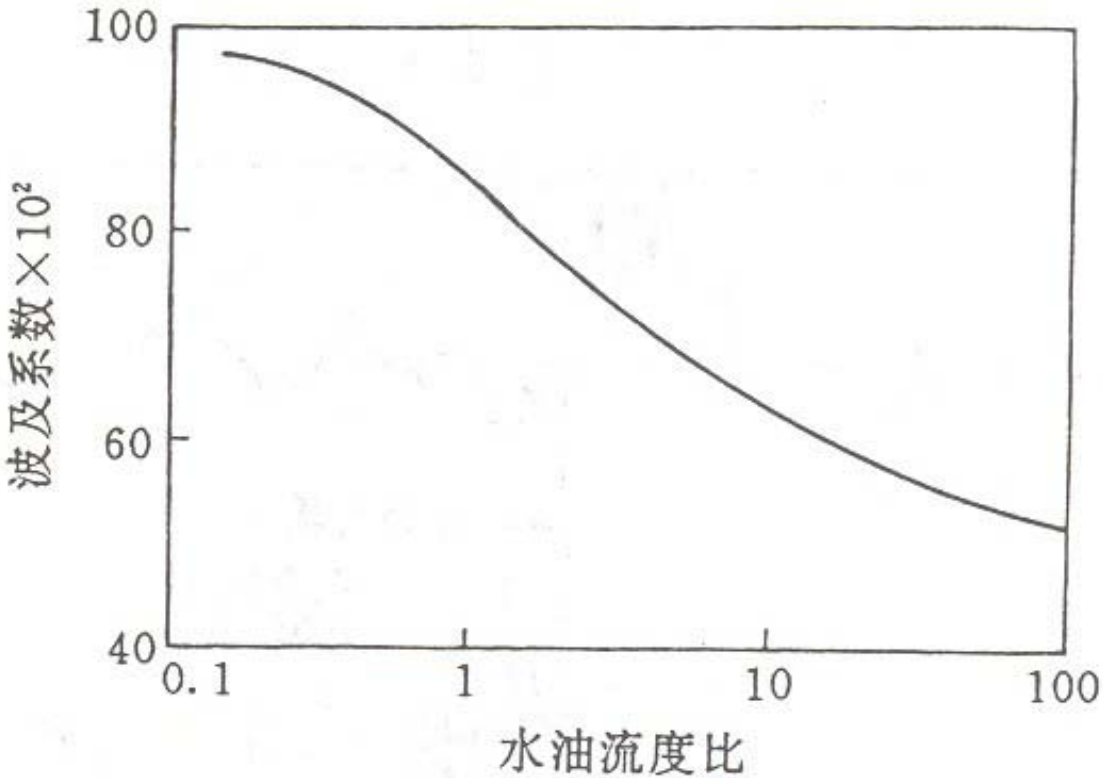


（黄胞胶）

聚合物的驱油机理

- 减小水油流度比
- 粘弹性

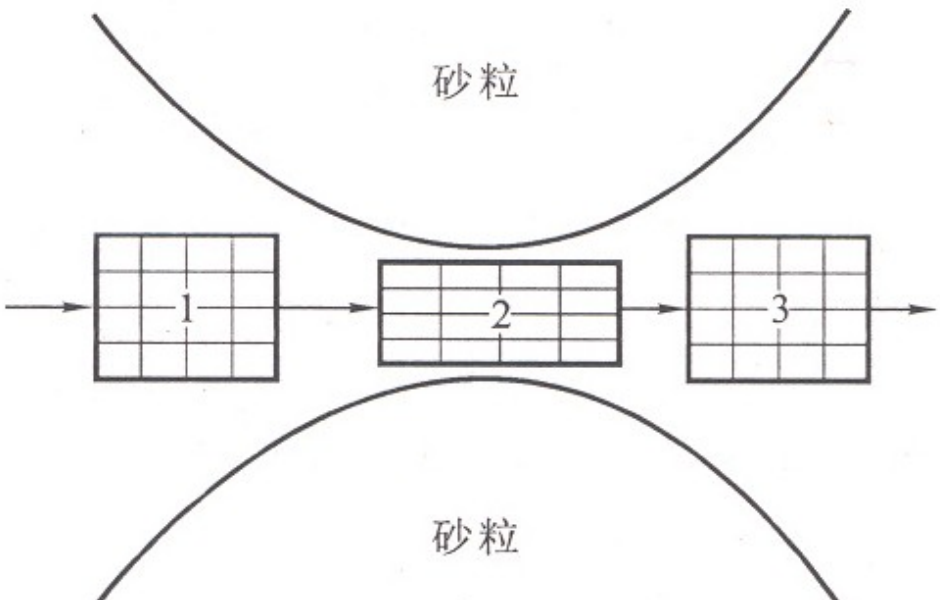
聚合物的驱油机理



水油流度比对波及系数影响

水驱采收率=波及系数×洗油效率

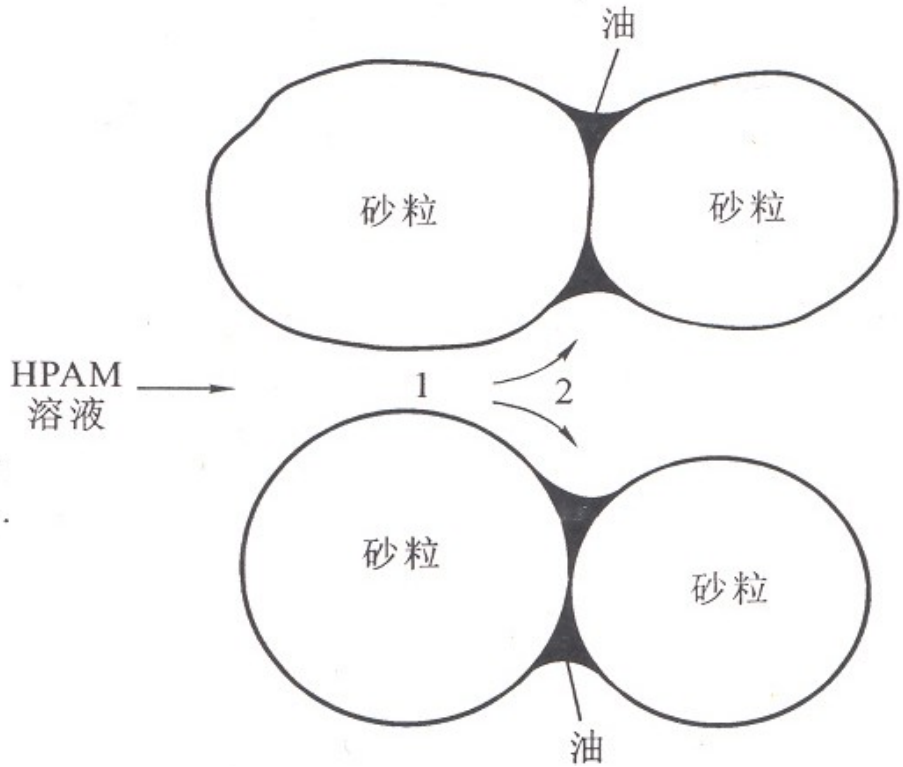
聚合物的驱油机理



聚合物溶液通过孔喉结构时表现出弹性

1—用此网格表示聚合物分子受拉伸前的状态；
2—用此网格表示聚合物分子受拉伸时的状态；
3—用此网格表示聚合物分子受拉伸后的状态。

聚合物的驱油机理



聚合物溶液弹性起驱油作用

1—聚合物溶液受拉伸作用位置；

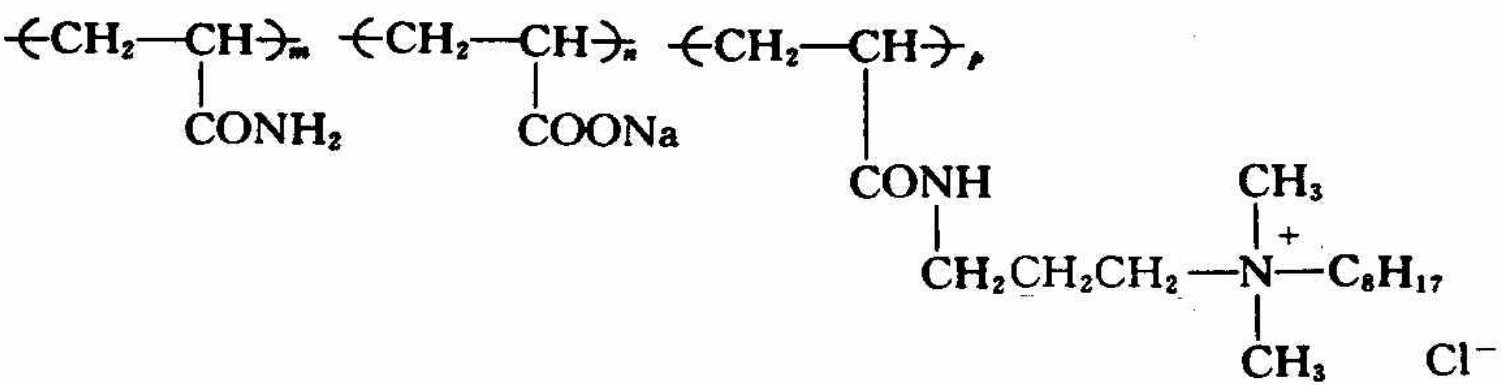
2—聚合物溶液弹性起作用位置，该弹性可将砂粒间的油驱出

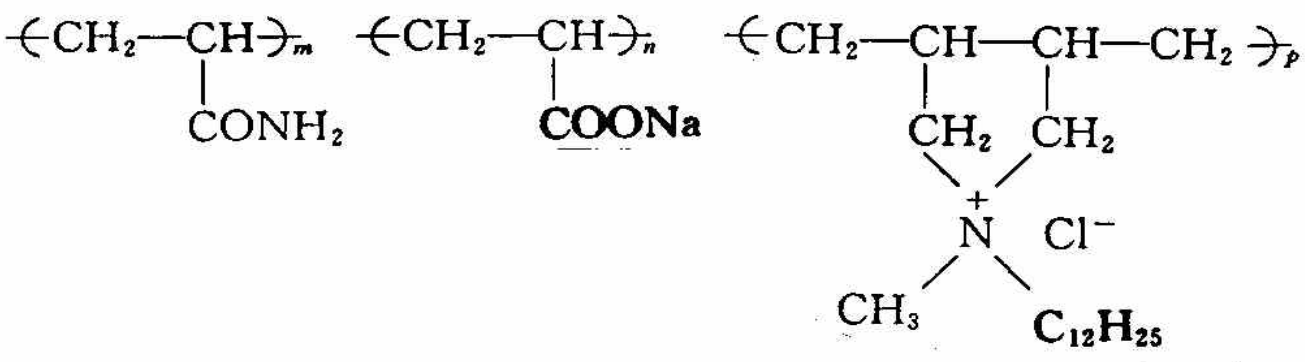
聚合物驱的可视化物理模拟



新型驱油用聚合物

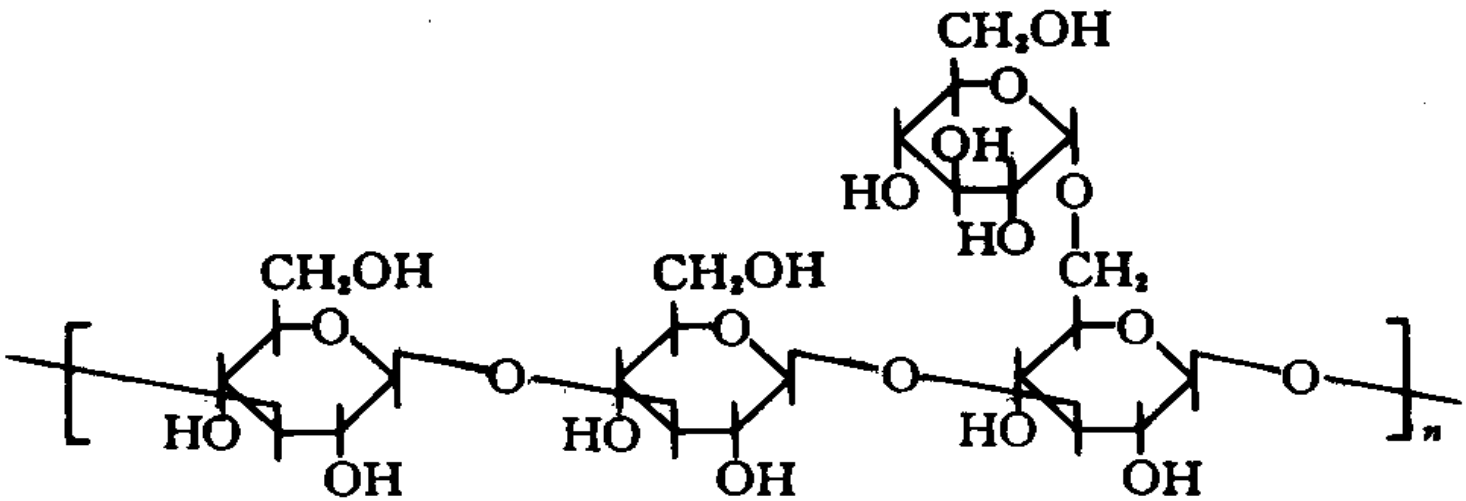
- 疏水缔合水溶性聚合物（耐温、耐





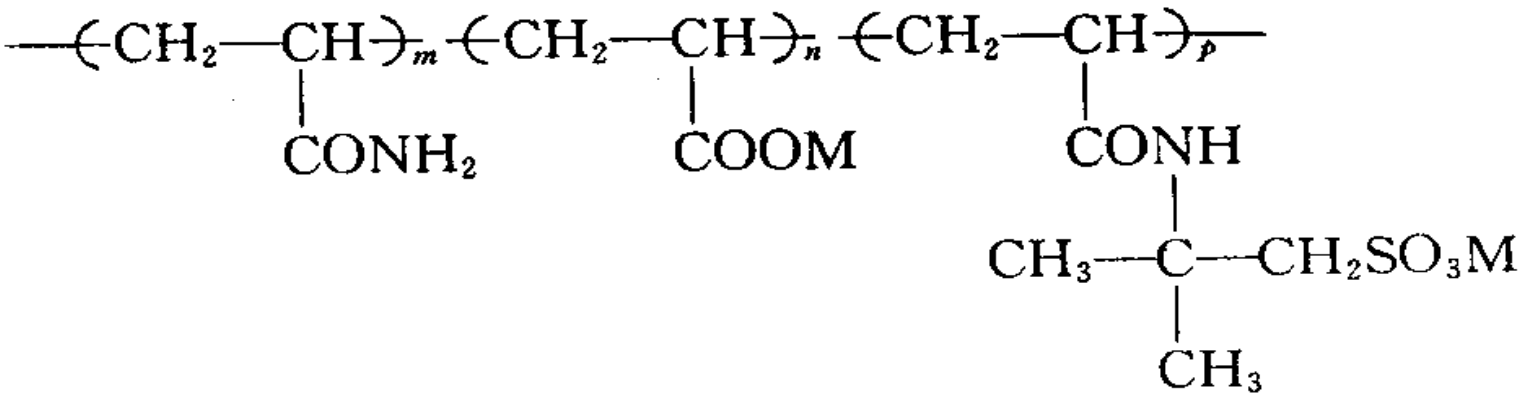
新型驱油用聚合物

- 硬葡聚糖（耐盐、环境友好）



新型驱油用聚合物

- **AM-AA-AMPS**共聚物（耐温、耐盐）



重要的驱油剂

驱动	驱油剂	驱动	驱油剂
聚合物驱	聚合物（溶液）	气驱	氮气、二氧化碳气、空气
碱驱	碱（溶液）	泡沫驱	气体-表面活性剂-水
表面活性剂驱	表面活性剂（溶液）	蒸汽驱	水蒸汽
复合驱	聚合物-表面活性剂 聚合物-碱 碱-表面活性剂 碱-表面活性剂-聚合物	热水驱	热水
		微生物驱	微生物代谢作用产生的气体、表面活性剂、聚合物或溶剂

驱油用碱

- 氢氧化钠 **NaOH**
- 原硅酸钠 **$2Na_2O \cdot SiO_2$**
- 硅酸钠 **$Na_2O \cdot SiO_2$**
- 氢氧化铵 **NH_4OH**
- 碳酸钠 **Na_2CO_3**

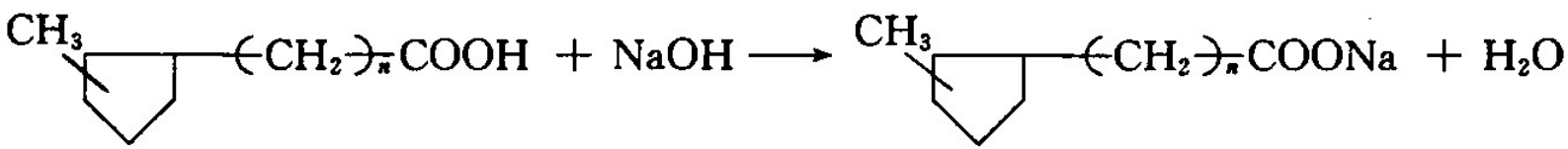
碱驱油机理

碱是通过与原油中酸性物质反应产生的表面活性剂起提高采收率作用。

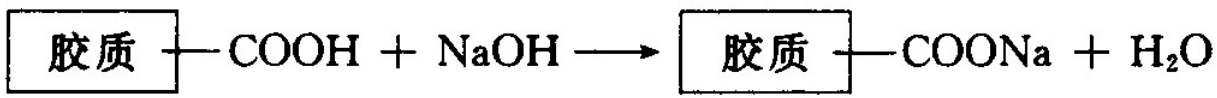
碱驱油机理

$$R-COOH + NaOH \longrightarrow R-COONa + H_2O$$

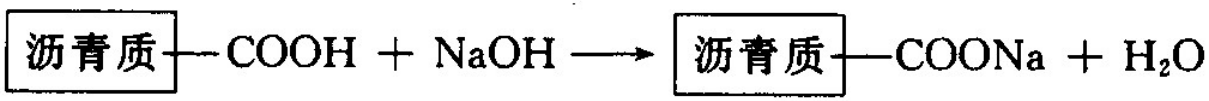
（脂肪酸）



（环烷酸）



（胶质酸）



（沥青质酸）

新型驱油用碱

- 弱碱（如$NaBO_2$）
- 缓冲碱（如$Na_2CO_3 + NaHCO_3$）
- 有机碱（如$NH_2\text{-}NH_2$）

缓冲碱的缓冲作用

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons OH^- + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons OH^- + H_2CO_3$$

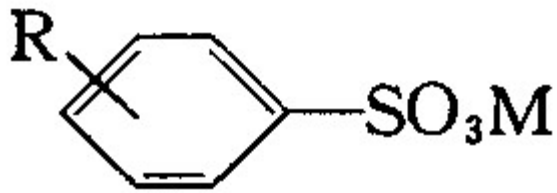
重要的驱油剂

驱动	驱油剂	驱动	驱油剂
聚合物驱	聚合物（溶液）	气驱	氮气、二氧化碳气、空气
碱驱	碱（溶液）	泡沫驱	气体-表面活性剂-水
表面活性剂驱	表面活性剂（溶液）	蒸汽驱	水蒸汽
复合驱	聚合物-表面活性剂 聚合物-碱 碱-表面活性剂 碱-表面活性剂-聚合物	热水驱	热水
		微生物驱	微生物代谢作用产生的气体、表面活性剂、聚合物或溶剂

驱油用表面活性剂

$RAr—SO_3M$

（石油磺酸盐）



（烷基苯磺酸盐）

$R—CH=CHSO_3M$

（α-烯烃磺酸盐）

$RAr—COOM$

（石油羧酸盐）

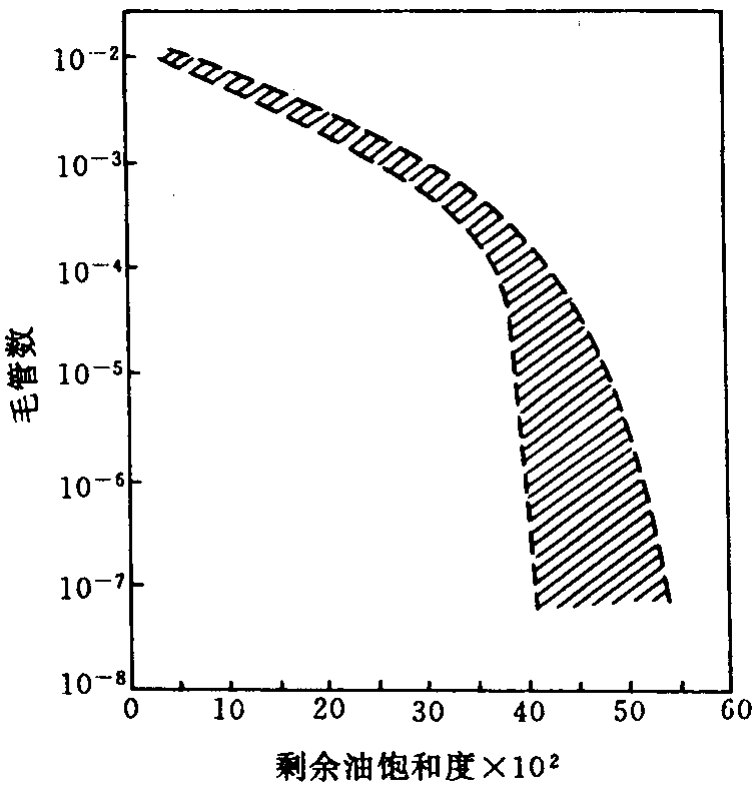
$R—COOM$　R：$C_{20}\sim C_{26}$

（高碳羧酸盐）

表面活性剂驱油机理

表面活性剂是通过提高毛管数提高原油采收率。

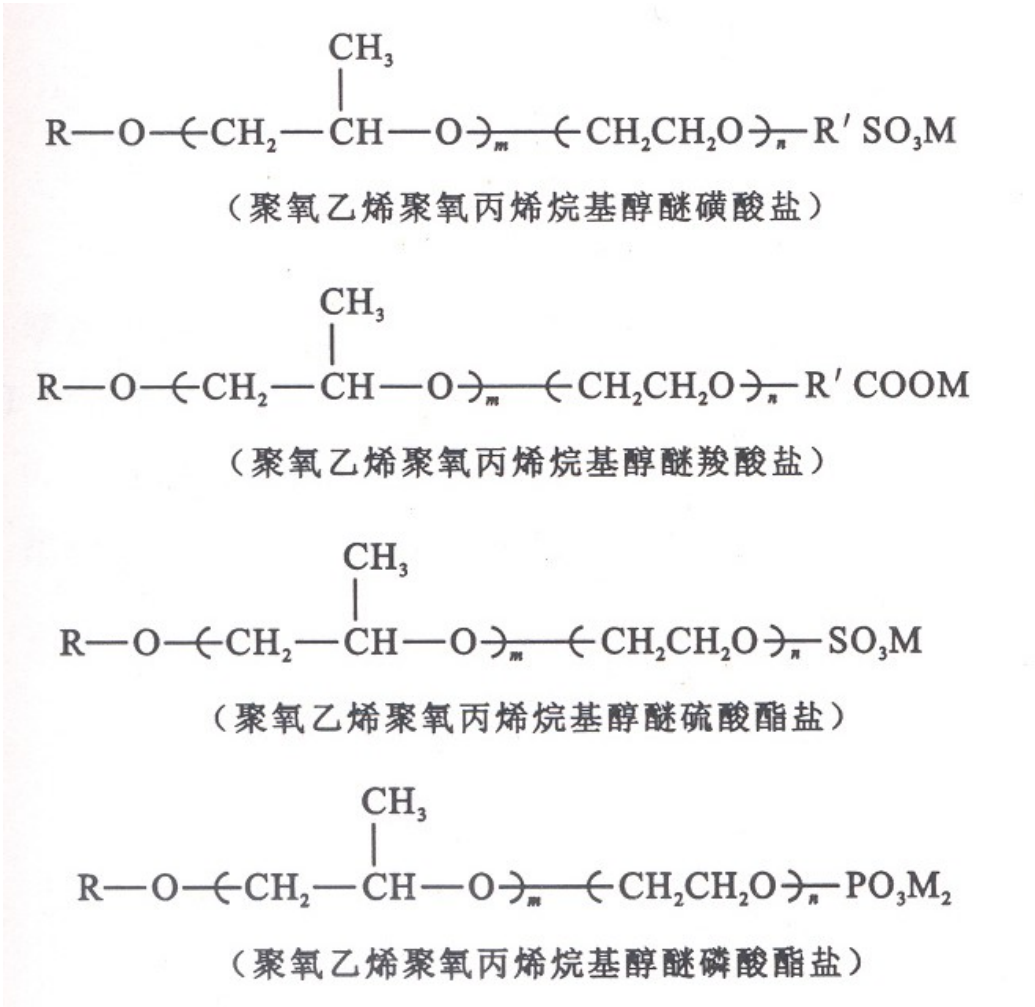
$$\text{毛管数} = \frac{\text{驱动液粘度} \times \text{驱动液驱动速度}}{\text{驱动液与油之间的界面张力}}$$



毛管数与剩余油饱和度关系

新型驱油用表面活性剂

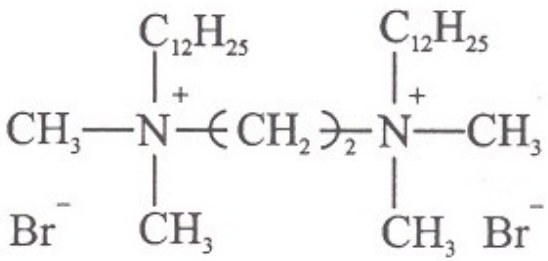
- 两性表面活性剂（耐温、耐盐）



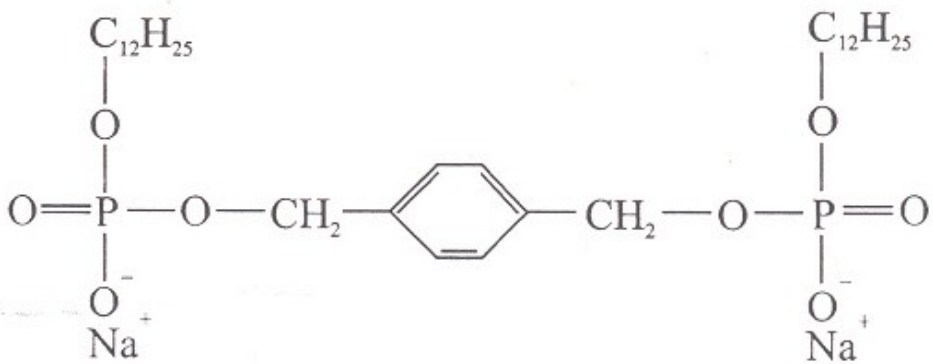
新型驱油用表面活性剂

- 孪连表面活性剂（高活性、高协同效应）

孪连表面活性剂是指两个或两个以上同一表面活性剂分子在亲水基及其附近用联接基团连接起来的表面活性剂，如



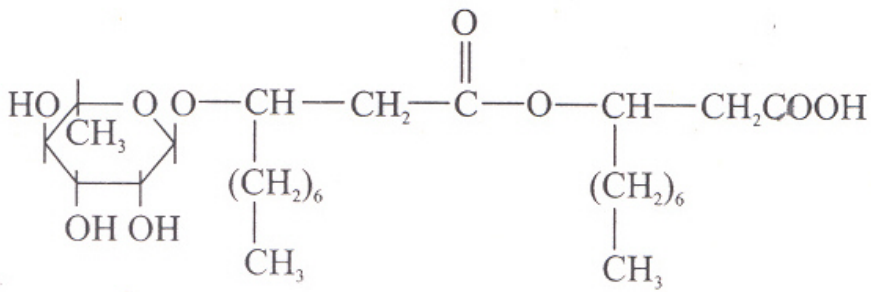
1,2-二(N-十二烷基-N,N-二甲基溴化铵基)乙烷



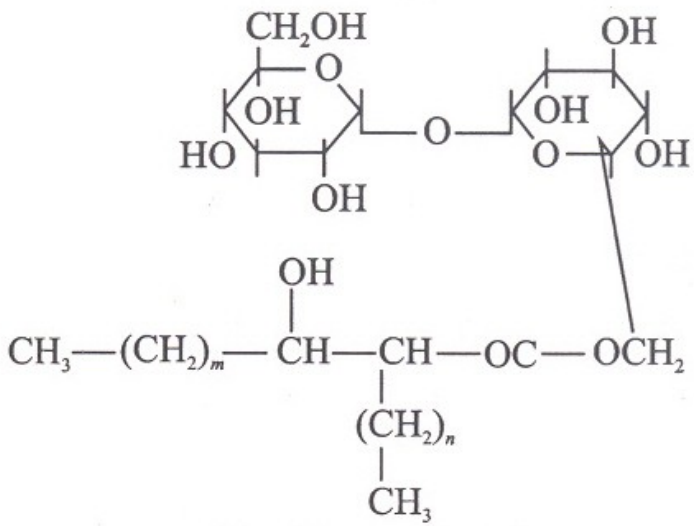
亚二甲苯基双(十二烷基磷酸酯)钠

新型驱油用表面活性剂

- 生物表面活性剂（环境友好）



（鼠李糖脂）



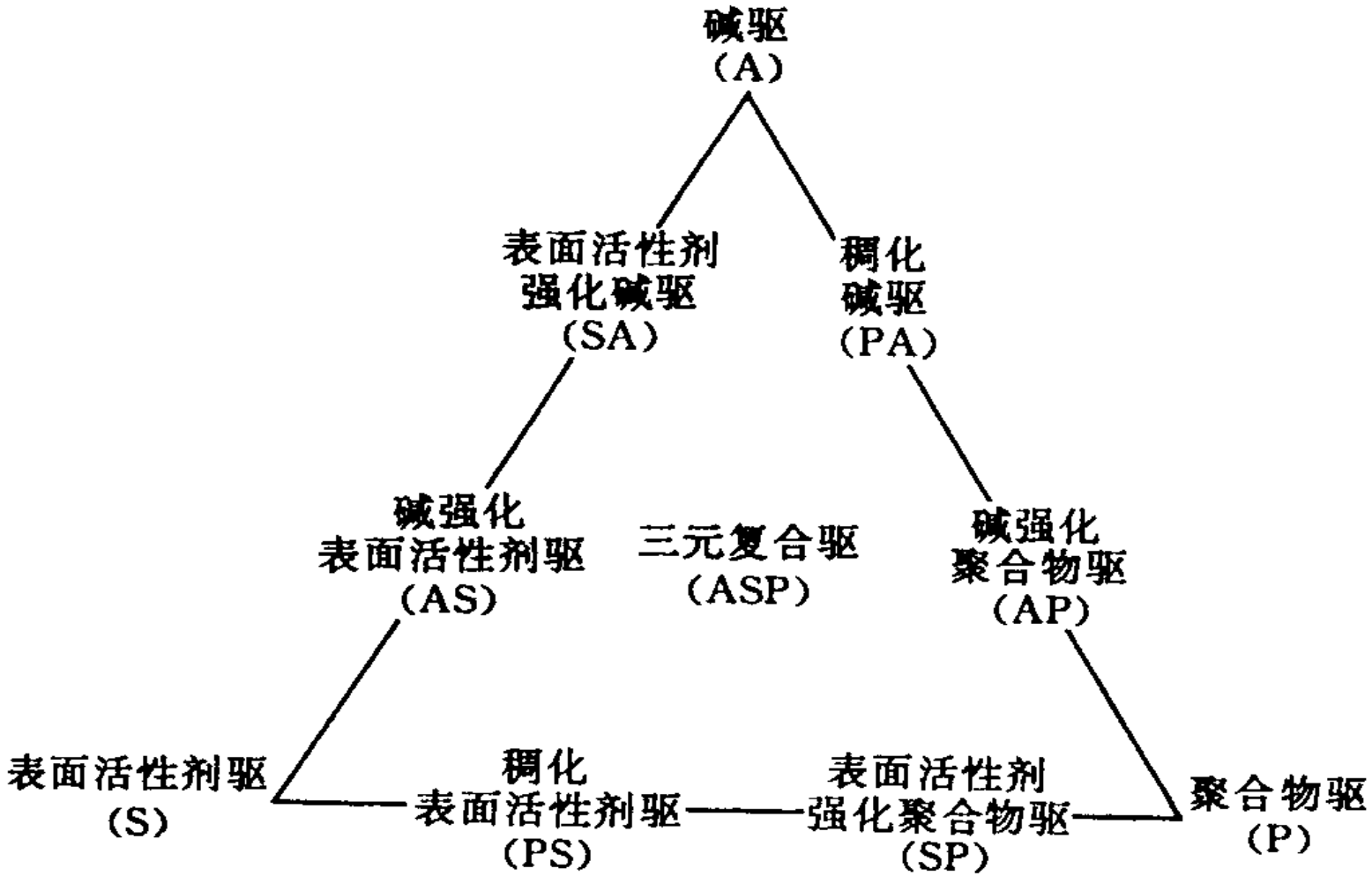
$m = 20 \sim 21$　$n = 9 \sim 11$

（海藻糖脂）

重要的驱油剂

驱动	驱油剂	驱动	驱油剂
聚合物驱	聚合物（溶液）	气驱	氮气、二氧化碳气、空气
碱驱	碱（溶液）	泡沫驱	气体-表面活性剂-水
表面活性剂驱	表面活性剂（溶液）	蒸汽驱	水蒸汽
复合驱	聚合物-表面活性剂 聚合物-碱 碱-表面活性剂 碱-表面活性剂-聚合物	热水驱	热水
		微生物驱	微生物代谢作用产生的气体、表面活性剂、聚合物或溶剂

复合驱

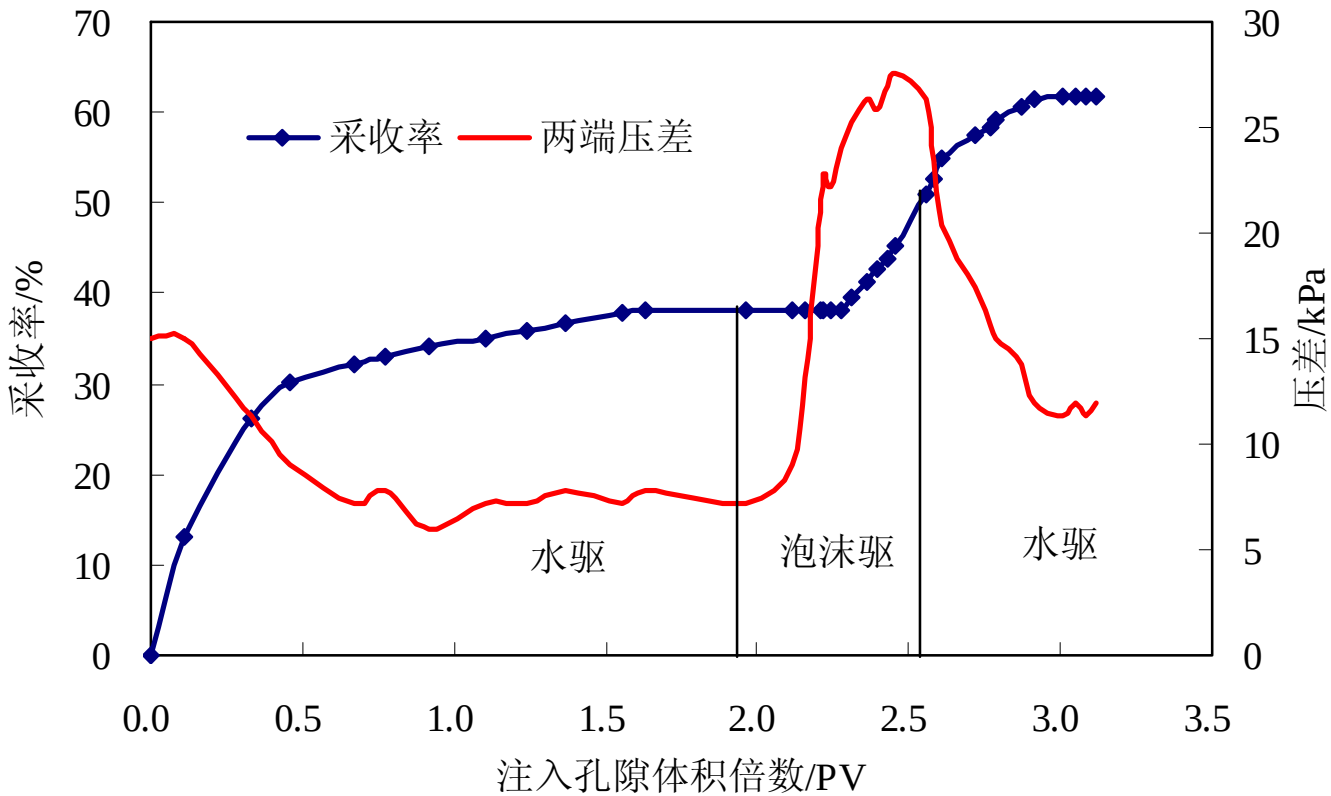


化学驱中各种驱动的组合

重要的驱油剂

驱动	驱油剂	驱动	驱油剂
聚合物驱	聚合物（溶液）	气驱	氮气、二氧化碳气、空气
碱驱	碱（溶液）	泡沫驱	气体-表面活性剂-水
表面活性剂驱	表面活性剂（溶液）	蒸汽驱	水蒸汽
复合驱	聚合物-表面活性剂 聚合物-碱 碱-表面活性剂 碱-表面活性剂-聚合物	热水驱	热水
		微生物驱	微生物代谢作用产生的气体、表面活性剂、聚合物或溶剂

空气泡沫驱



非均质模型的空气泡沫驱

重要的驱油剂

驱动	驱油剂	驱动	驱油剂
聚合物驱	聚合物（溶液）	气驱	氮气、二氧化碳气、空气
碱驱	碱（溶液）	泡沫驱	气体-表面活性剂-水
表面活性剂驱	表面活性剂（溶液）	蒸汽驱	水蒸汽
复合驱	聚合物-表面活性剂 聚合物-碱 碱-表面活性剂 碱-表面活性剂-聚合物	热水驱	热水
		微生物驱	微生物代谢作用产生的气体、表面活性剂、聚合物或溶剂

微生物驱

- 利用自然菌的微生物驱
- 构建工程菌的微生物驱

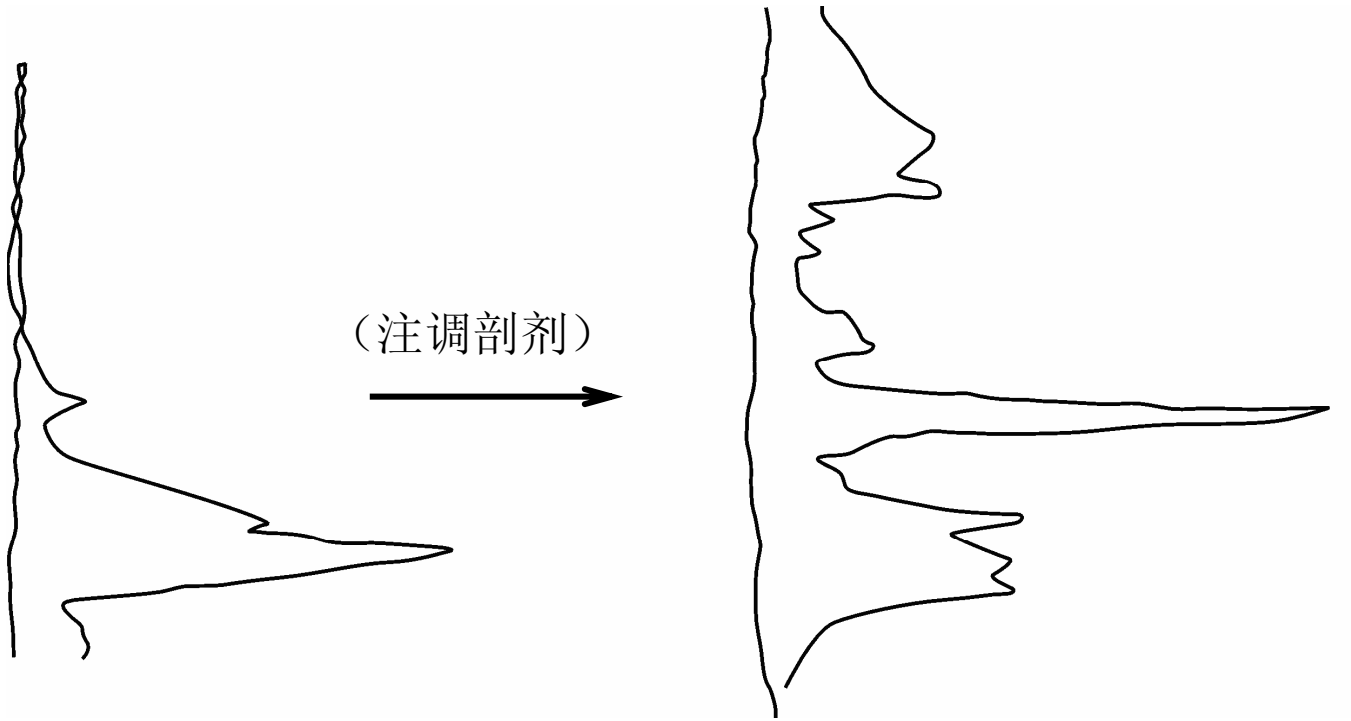
采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

调剖剂

调剖剂是指能调整注水地层吸水剖面的物质。

调剖剂的调剖作用



常用的调剖剂

- 冻胶型调剖剂

冻胶是由聚合物与交联剂配成的失去流动性体系。常用的聚合物是聚丙烯酰胺，常用的交联剂有重铬酸钠+亚硫酸钠、醋酸铬、氧氯化锆、酚醛树脂预聚物。冻胶按交联剂命名，因此有铬冻胶、锆冻胶、酚醛树脂冻胶之称。

一些冻胶型调剖剂配方

- （**0.20%~0.60%**）聚丙烯酰胺 **+**（**0.06%~0.12%**）重铬酸钠 **+**
  （**0.16%~0.24%**）亚硫酸钠 
- （**0.20%~0.60%**）聚丙烯酰胺 **+**（**0.08%~0.24%**）醋酸铬
- （**0.20%~0.60%**）聚丙烯酰胺 **+**（**0.04%~0.10%**）氧氯化锆
- （**0.20%~0.60%**）聚丙烯酰胺 **+**（**0.30%~1.60%**）酚醛树脂预聚物

常用的调剖剂

- 凝胶型调剖剂

凝胶是由溶胶转变而来失去流动性体系。常用的凝胶型调剖剂是硅酸凝胶，它由硅酸溶胶转变而来。

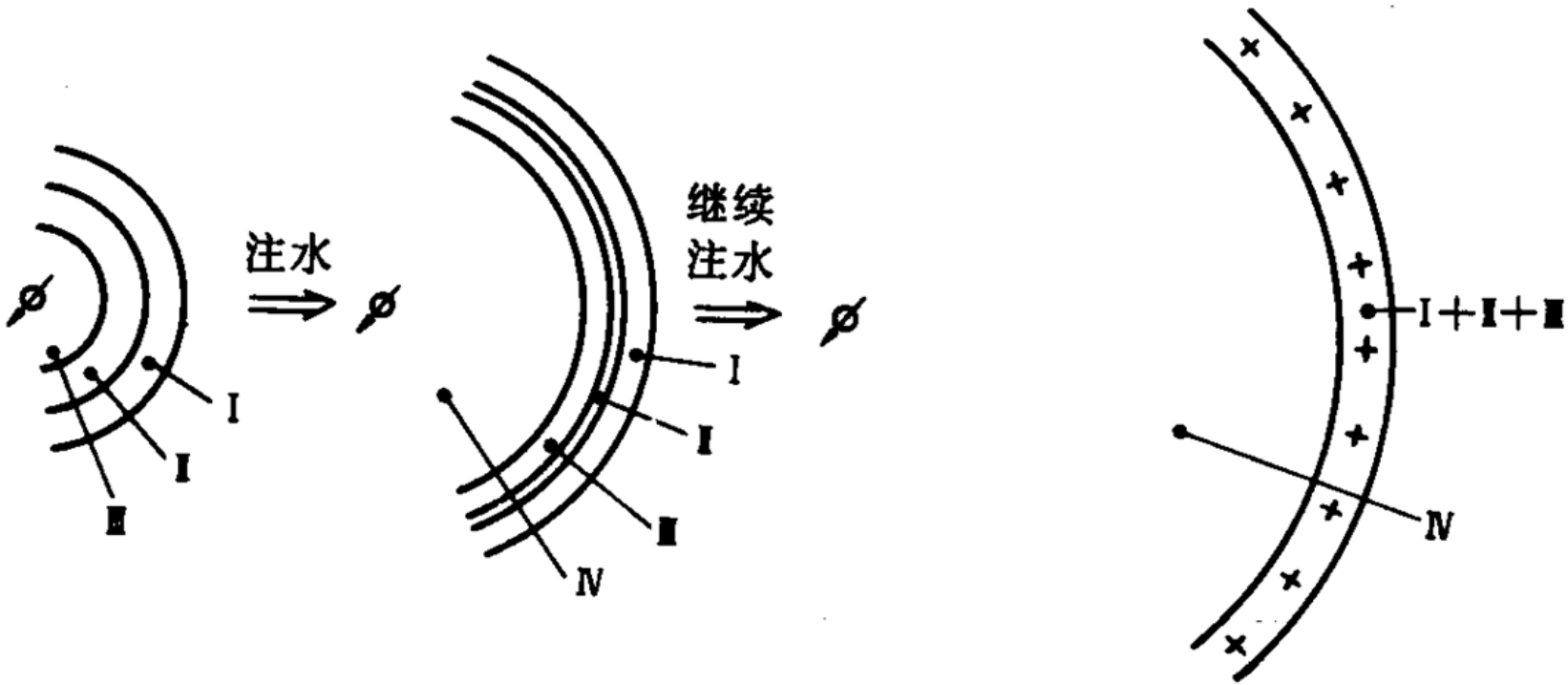
一个在矿场试验中用过的硅酸溶胶是将**20%~25%**的水玻璃加到**8%~12%**盐酸中，直至**pH=2**配成。

常用的调剖剂

- 沉淀型调剖剂

沉淀型调剖剂为双液法调剖剂。调剖时，需向地层注入由隔离液隔开的两种工作液（第一工作液和第二工作液），当用注入水将两种工作液向地层深部推进时，由于隔离液变薄直至失去隔离作用，两种工作液相遇产生沉淀反应，封堵高渗透层。

双液法调剖



双液法调剖

I—第一工作液；II—隔离液；III—第二工作液；IV—注入水；

—注入井；+ —I 与 II 相遇产生的封堵物质

一些沉淀型调剂剂配方

•硅酸钙调剂剂

第一工作液　　(0.04% ~ 0.60%)水玻璃

第二工作液　　(0.01% ~ 0.15%)氯化钙

相遇后的反应为：

$$Na_2O \cdot mSiO_2 + CaCl_2 \rightarrow CaO \cdot mSiO_2 \downarrow + 2NaCl$$

(硅酸钙)

•硅酸镁调剂剂

第一工作液　　(0.04% ~ 0.60%)水玻璃

第二工作液　　(0.01% ~ 0.15%)氯化钙

相遇后的反应为：

$$Na_2O \cdot mSiO_2 + MgCl_2 \rightarrow MgO \cdot mSiO_2 \downarrow + 2NaCl$$

(硅酸镁)

•硅酸亚铁调剂剂

第一工作液　　(0.04% ~ 0.60%)水玻璃

第二工作液　　(0.05% ~ 0.13%)硫酸亚铁

相遇后的反应为：

$$Na_2O \cdot mSiO_2 + FeSO_4 \rightarrow FeO \cdot mSiO_2 \downarrow + Na_2SO_4$$

(硅酸亚铁)

常用的调剖剂

- 分散体型调剖剂

气体分散体——泡沫

液体分散体——乳状液

固体分散体——悬浮体

冻胶分散体——微球

采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

堵水剂

为了保护油层，应选用选择性堵水剂进行油井堵水。

选择性堵水剂是指那些能利用油与水或产油层与产水层的差别进行堵水的物质。

研究过的选择性堵水剂

1. 部分水解聚丙烯酰胺（**HPAM**，水基）
2. 部分水解聚丙烯腈（**HPAM**，水基）
3. 硬葡聚糖（**SG**，水基）
4. 阴阳非三元共聚物（水基）
5. 冻胶（水基）
6. 泡沫（水基）
7. 水玻璃（水基）
8. 稠化水玻璃的醇溶液（水基、醇基）
9. 松香酸皂、脂肪酸皂、环烷酸皂（水基）

研究过的选择性堵水剂

10. 烃基卤代甲硅烷（油基）

11. 油基水泥（油基）

12. 对烷基酚-乙醛树脂（水基）

13. 聚氨酯（油基）

14. 松香二聚物醇溶液（醇基）

15. 山嵛酸钾（水基）

16. 胶束溶液（水基）

17. 阳离子型表面活性剂（水基或油基）

18. 单宁（水基）

研究过的选择性堵水剂

19. β-内酯（油基）

20. 聚三聚氰酸酯盐（水基）

21. 活性稠油（油基）

22. 水包稠油（水基）

23. 偶合稠油（油基）

24. 聚烯烃（油基）

25. 酸渣（水基）

重要的选择性堵水剂

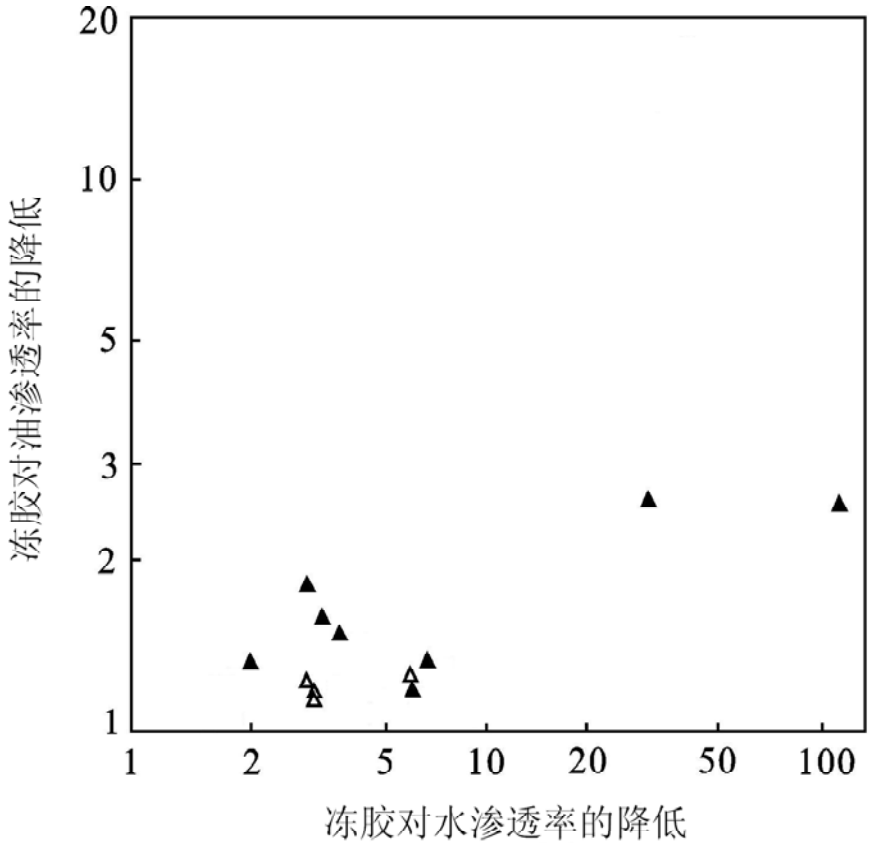
- 冻胶
- 泡沫
- 水玻璃

重要的选择性堵水剂

- 冻胶
- 泡沫
- 水玻璃

冻胶

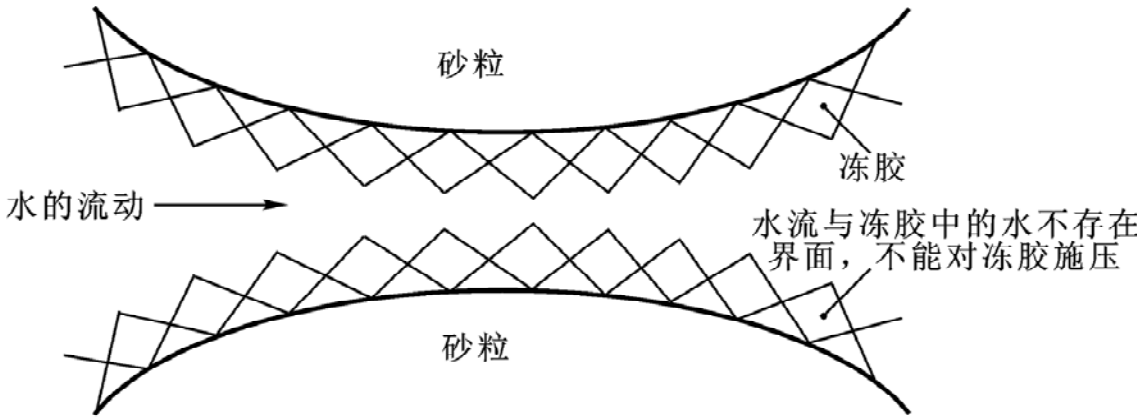
可用铬冻胶、锆冻胶和酚醛树脂冻胶进行油井的选择性堵水。



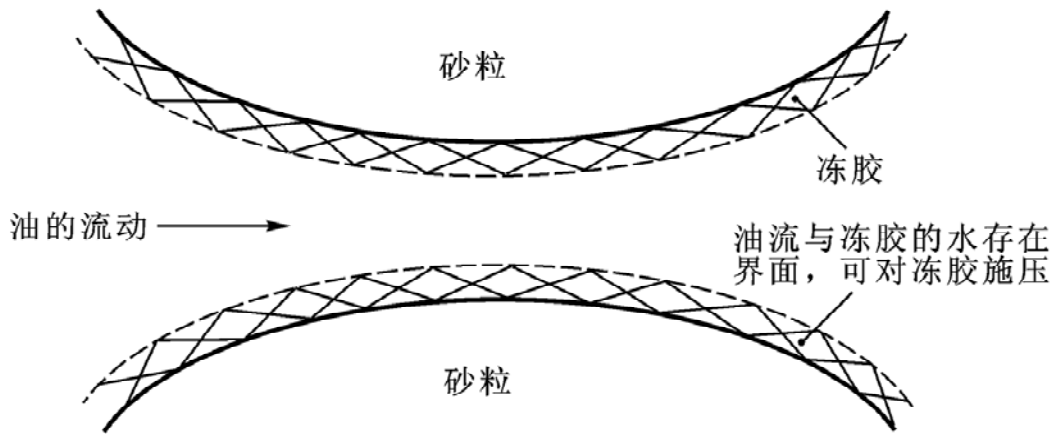
冻胶对油和水的选择性

提供数据的作者：△Needham，▲Zaitoun

冻胶选择性产生机理



(冻胶在水流中保持膨胀状态)



(冻胶在油流压力下脱水收缩)

解释冻胶选择性的膨胀/收缩机理

重要的选择性堵水剂

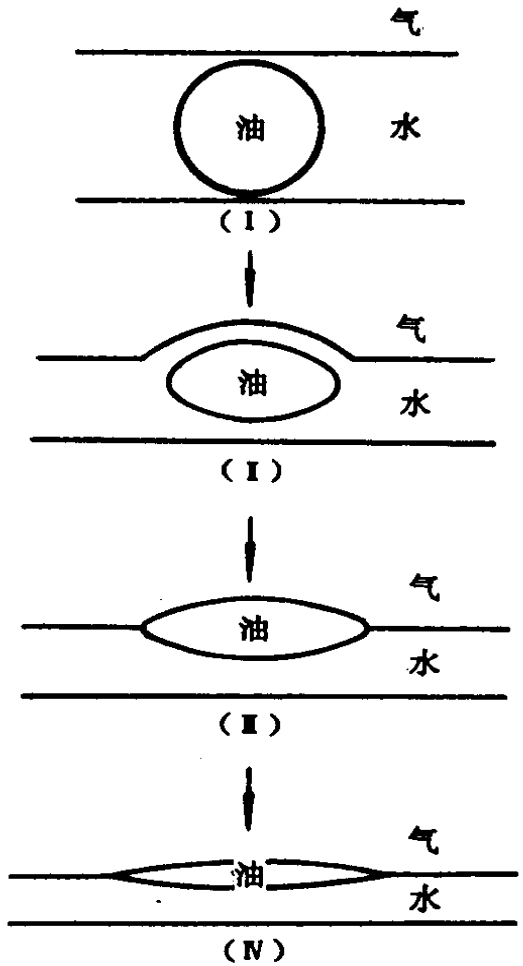
- 冻胶
- 泡沫
- 水玻璃

泡沫

泡沫之所以对油水有选择性，是由于它在含油饱和度不同的水中有不同的稳定性。

泡沫适用于地层温度低于**90**℃，地层水矿化度低于**$8\times10^{4}mg\cdot L^{-1}$**油藏的油井堵水。

泡沫液膜中油珠对液膜的破坏过程



I—泡沫液膜分散介质中的油珠；II—油珠上浮形成凸起膜；

III—凸起膜排液、断裂，使油与气直接接触；

IV—若$\sigma_{气水}>\sigma_{气油}+\sigma_{油水}$，则油珠扩展，引起水膜断裂

重要的选择性堵水剂

- 冻胶
- 泡沫
- 水玻璃

水玻璃

水玻璃是高温高矿化度底水油藏理想的选择性堵剂，它有**6**个特性：

- 水基堵剂
- 高密度
- 盐敏
- 钙镁敏
- 酸敏
- 热敏

调剖、堵水及调剖与堵水结合可提高原油采收率



采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

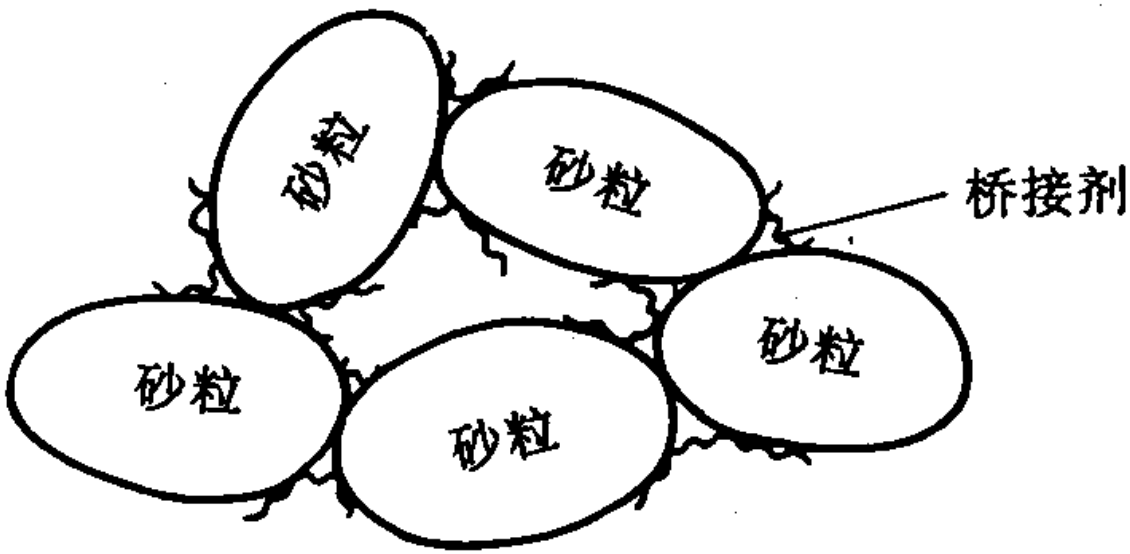
防砂用剂

- 防砂桥接剂
- 防砂胶结剂

防砂用剂

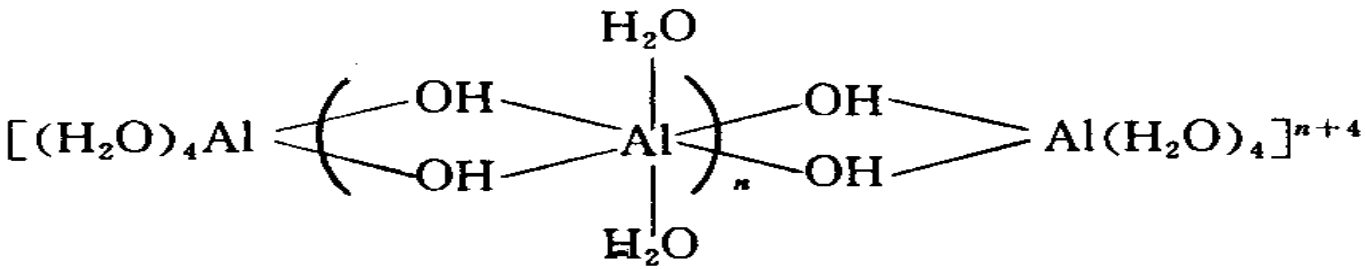
- 防砂桥接剂
- 防砂胶结剂

防砂桥接剂

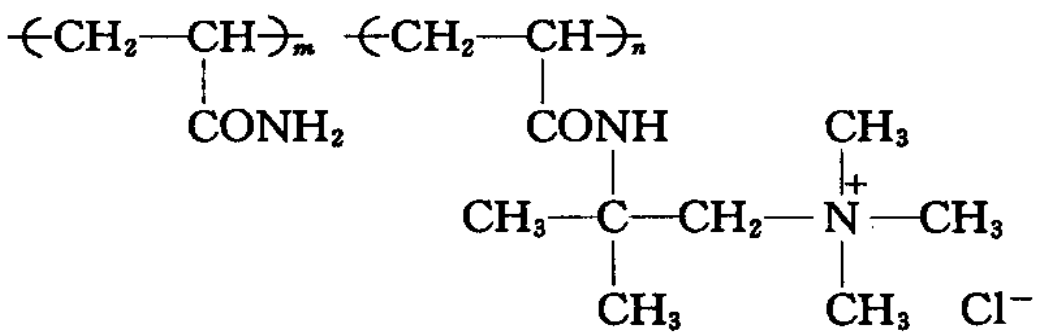


桥接剂对松散砂粒的桥接

重要的防砂桥接剂



（羟基铝）

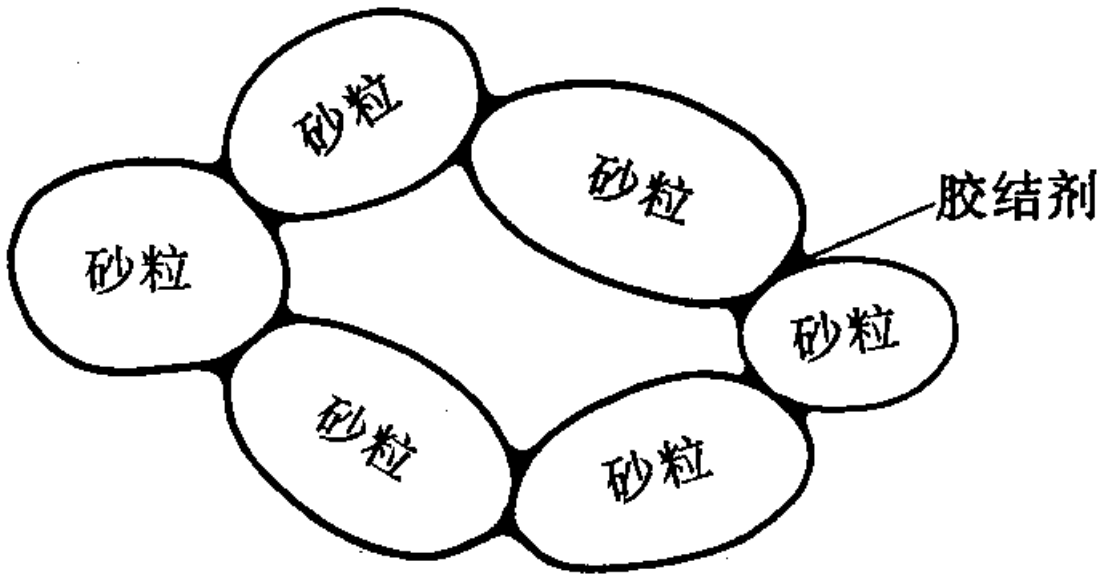


（季铵盐型聚合物）

防砂用剂

- 防砂桥接剂
- 防砂胶结剂

防砂胶结剂



胶结剂对松散砂粒的胶结

重要的防砂胶结剂

- 冻胶型胶结剂(如铬冻胶、锆冻胶）
- 树脂型胶结剂（如酚醛树脂、脲醛树脂、环氧树脂）
- 聚氨酯型胶结剂（如聚氨基甲酸酯）
- 沥青质（由原油得到）

采油用的化学剂

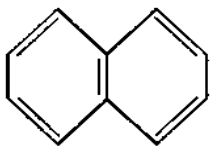
- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

防蜡剂

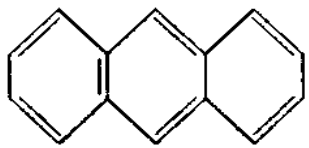
防蜡剂是指能抑制原油中蜡晶析出、长大、聚集和（或）在固体表面上沉积的化学剂。

重要的防蜡剂

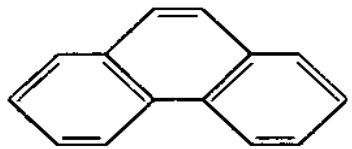
- 稠环芳香烃型防蜡剂



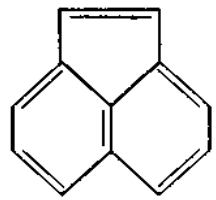
（萘）



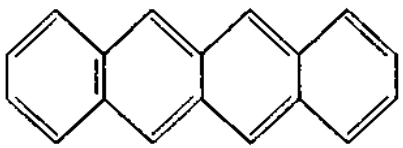
（蒽）



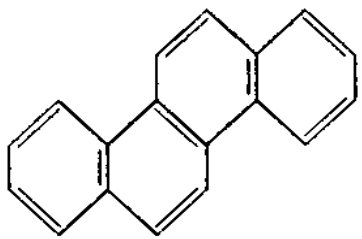
（菲）



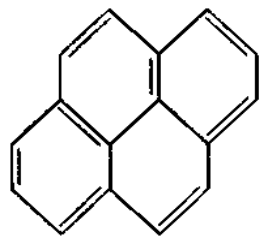
（苊）



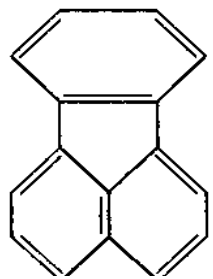
（并四苯）



（䓛）



（芘）

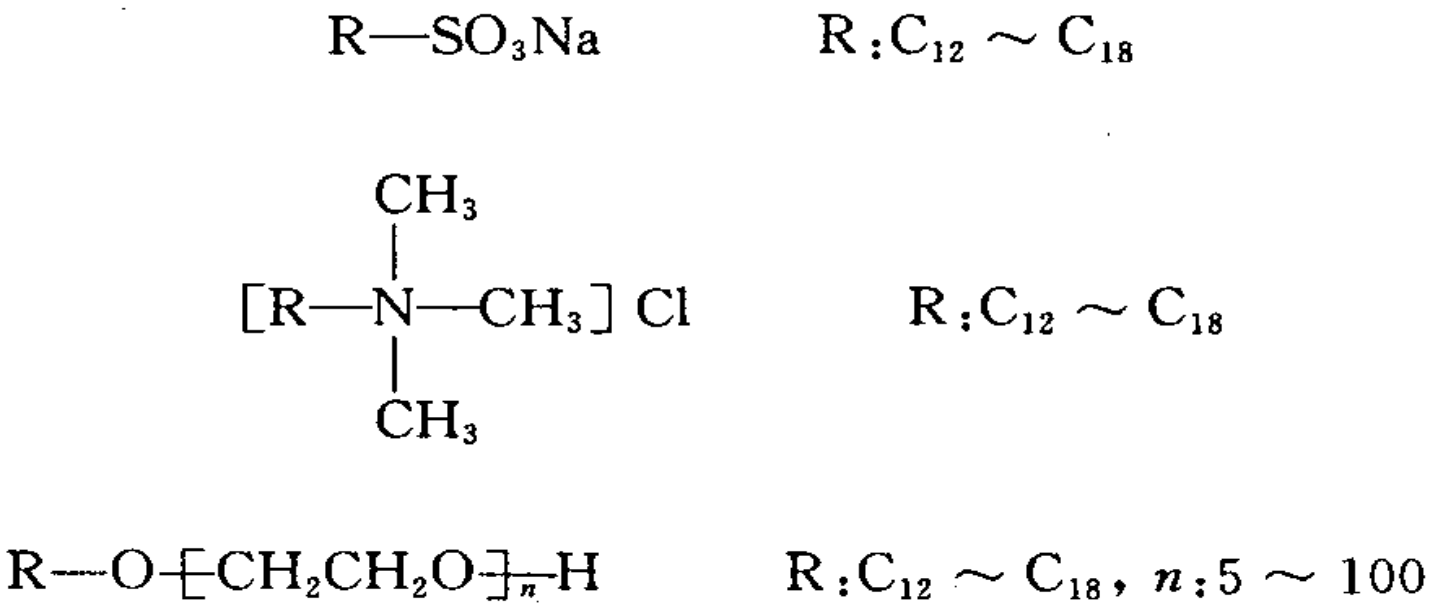


（苯并苊）

稠环芳香烃型防蜡剂主要通过参加组成晶核，使晶核扭曲，不利石蜡结晶长大而起防蜡作用。

重要的防蜡剂

- 表面活性剂型防蜡剂



$R—SO_3Na$　　$R:C_{12}\sim C_{18}$

$$[R—\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{N}}}}—CH_3]\,Cl$$

$R:C_{12}\sim C_{18}$

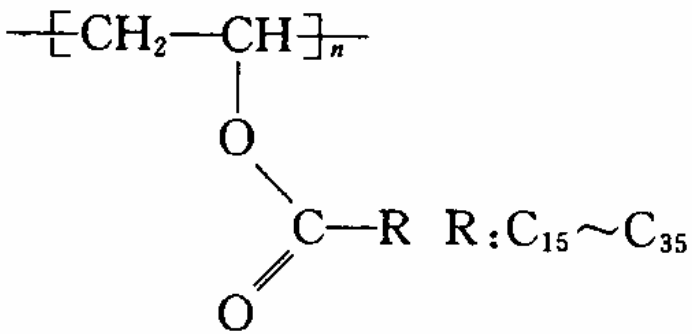
$$R—O\text{-}\left[CH_2CH_2O\right]_n\text{-}H$$

$R:C_{12}\sim C_{18}$，$n:5\sim 100$

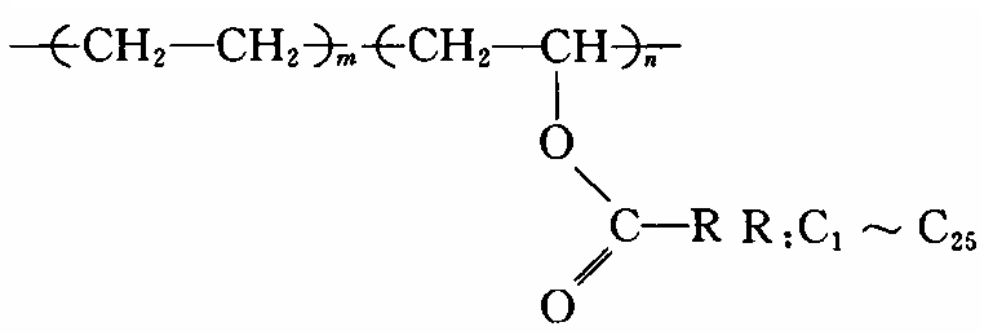
表面活性剂型防蜡剂可在蜡晶表面吸附，防止蜡晶聚结而起防蜡作用。

重要的防蜡剂

- 聚合物型防蜡剂



（聚羧酸乙烯酯）



（乙烯与羧酸乙烯酯共聚物）

聚合物型防蜡剂主要通过蜡晶在其上的烃基**(R)**析出并彼此分离，不能互相聚结长大而起防蜡作用。

采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

清蜡剂

清蜡剂是指能清除蜡沉积物的化学剂。

重要的清蜡剂

- 油基清蜡剂

  如苯、甲苯，通过溶解作用清蜡。

- 水基清蜡剂

  由表面活性剂、互溶剂和碱组成，通过润湿反转使蜡从表面脱落而起清蜡作用。

采油用的化学剂

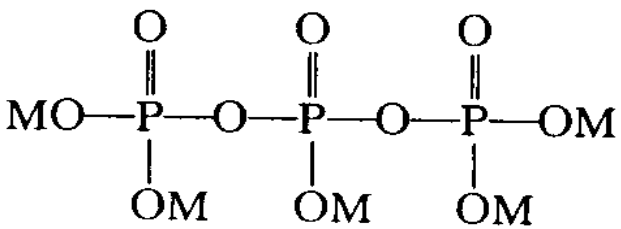
- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

防垢剂

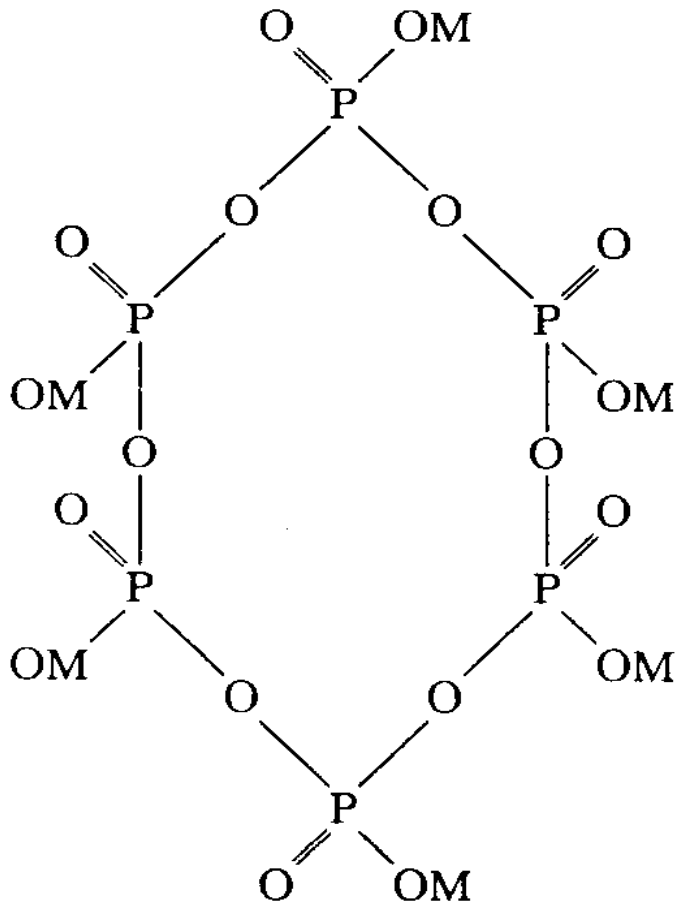
- 防垢剂是指能防止或延缓水中一些离子成垢沉积的化学剂。
- 油田上主要结的垢为碳酸钙垢，硫酸钙垢，硫酸锶垢、硫酸钡垢。

重要的防垢剂

- 缩聚磷酸盐



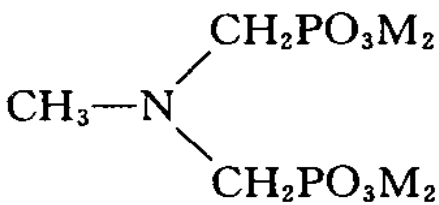
（链状缩聚磷酸盐）



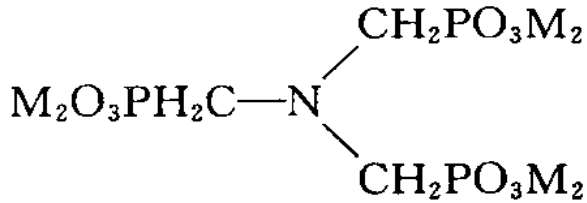
（环状缩聚磷酸盐）

重要的防垢剂

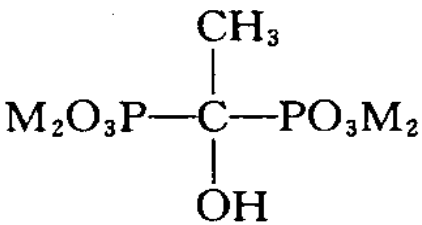
- 膦酸盐



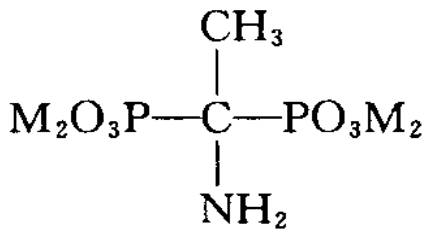
(MADMP)



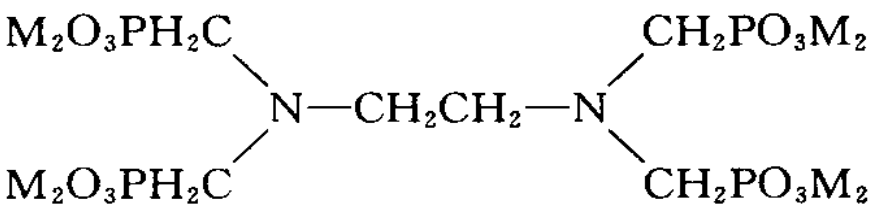
(ATMP)



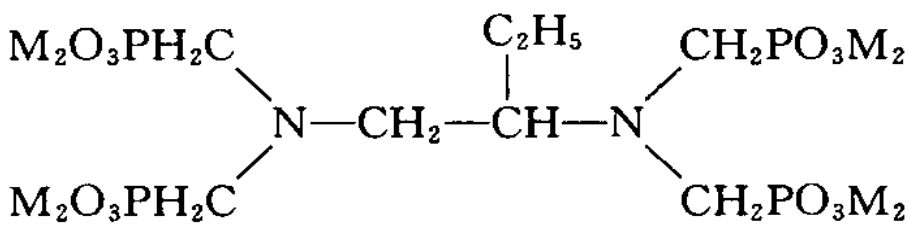
(HEDP)



(AEDP)



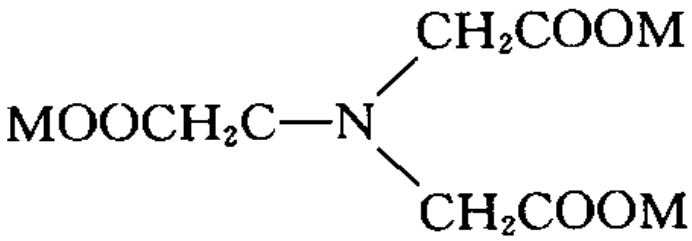
(EDTMP)



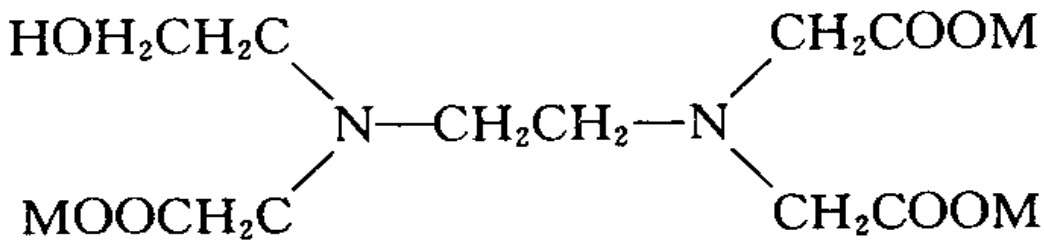
(BDTMP)

重要的防垢剂

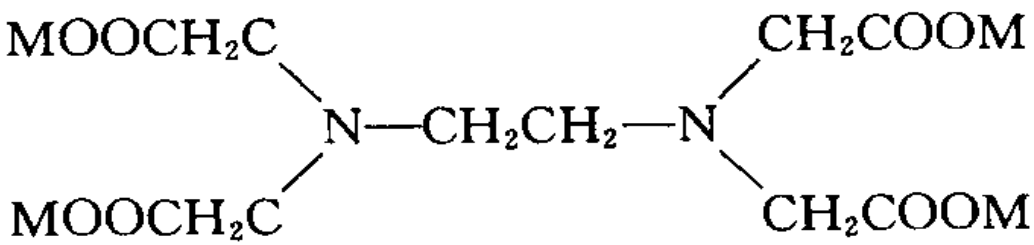
- 氨基多羧酸盐



（NTA）



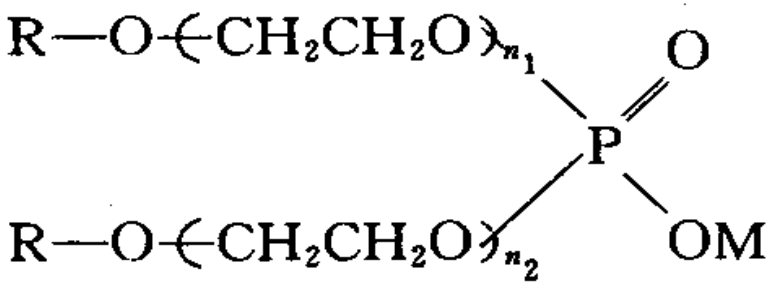
（HEEDTA）

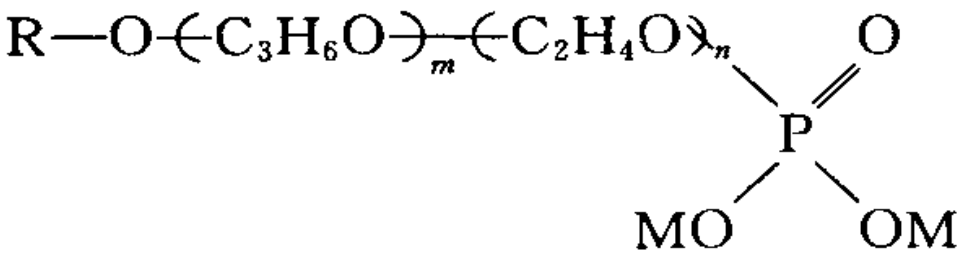


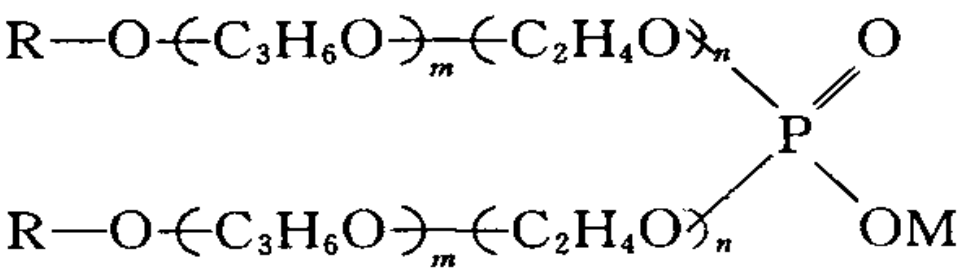
（EDTA）

重要的防垢剂

- 表面活性剂

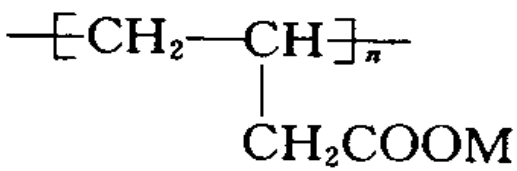




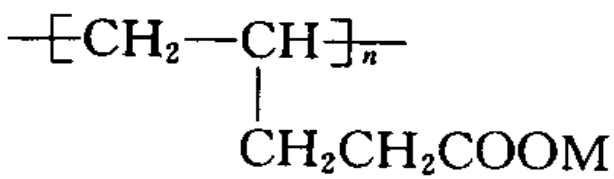


重要的防垢剂

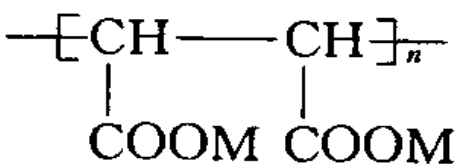
- 聚合物



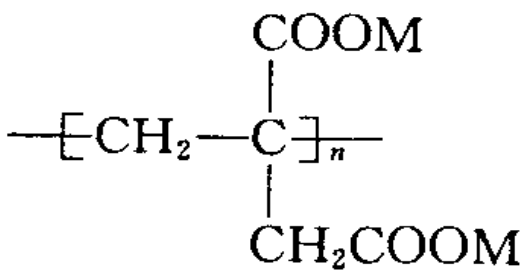
(PVAA)



(PAAA)



(PMA)



(PIA)

防垢剂防垢机理

- 晶格畸变机理

通过防垢剂吸附，使垢晶状态受到干扰（畸变），抑制了垢晶的长大而起防垢作用。

- 静电排斥机理

通过防垢剂在垢晶表面吸附形成扩散双电层，使垢晶表面带负电，抑制了垢晶间的聚并而起防垢作用。

采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

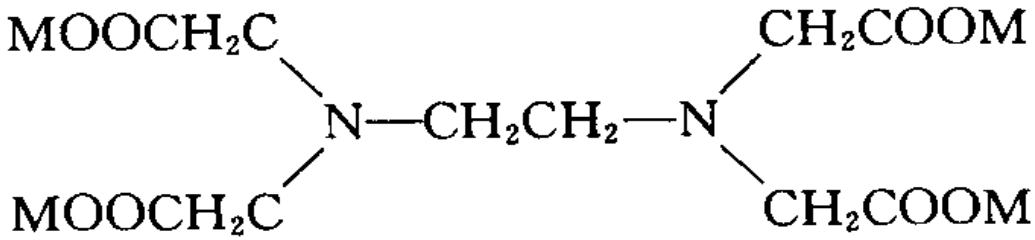
除垢剂

除垢剂是指能将垢从结垢表面除去的化学剂。

清除不同的垢用不同的除垢剂，如清除碳酸钙垢用盐酸；清除硫酸钙垢用氯化钠；清除硫酸锶垢、硫酸钡垢用螯合剂和冠醚。

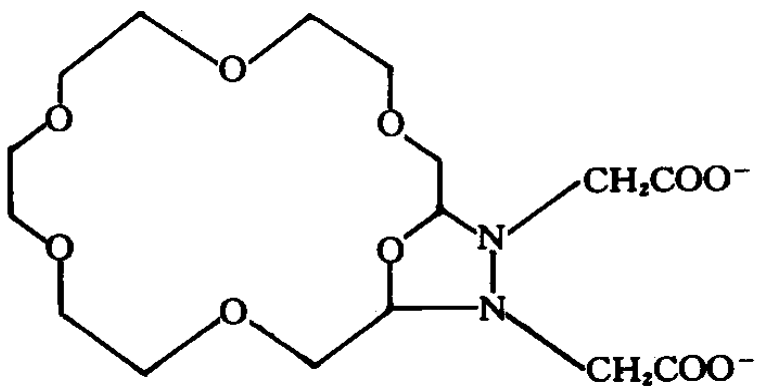
硫酸锶垢、硫酸钡垢的除垢剂

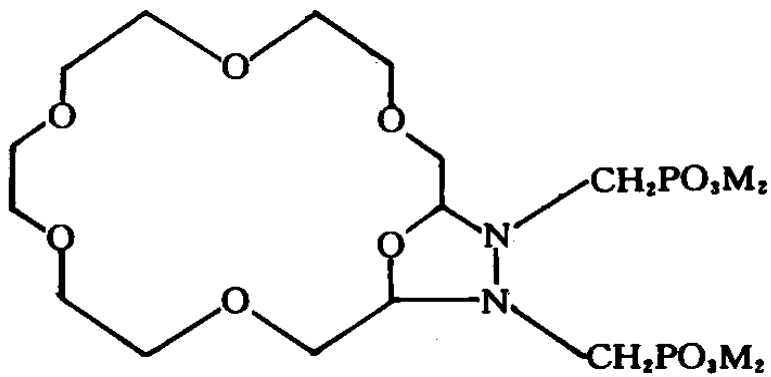
- 螯合剂



(EDTA)

- 冠醚





垢转化剂

垢转化剂在除垢中起重要作用：

$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$CaSO_4 + 2\ NaOH \longrightarrow Ca(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$CaSO_4 + H_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + H_2SO_4$$

$$CaSiO_3 + 6\ HF \longrightarrow CaSiF_6 + 3\ H_2O$$

$$CaSiF_6 \longrightarrow Ca^{2+} + SiF_6^{2-}$$

$$Ca^{2+} + H_2(EDTA) \longrightarrow Ca(EDTA) + 2\ H^+$$

采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

粘土稳定剂

粘土稳定剂是指能抑制粘土膨胀、分散的化学剂。

粘土是粘土片的集合体。粘土的膨胀、分散是由于粘土片表面的可交换阳离子在水中解离，使粘土片表面带负电，互相排斥所引起。

重要的粘土稳定剂

- 氯化钾、氯化铵

因 K^+、NH_4^+取代粘土可交换阳离子后不易在水中解离。

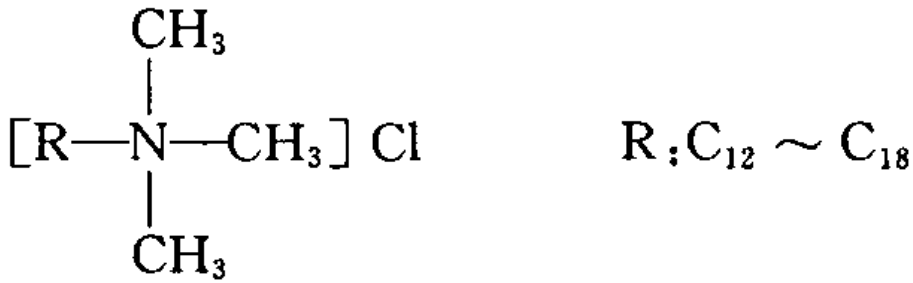
- 季铵盐型表面活性剂

因季铵盐型表面活性剂的活性作用部分带正电，可中和膨胀粘土片表面的负电性抑制粘土膨胀。

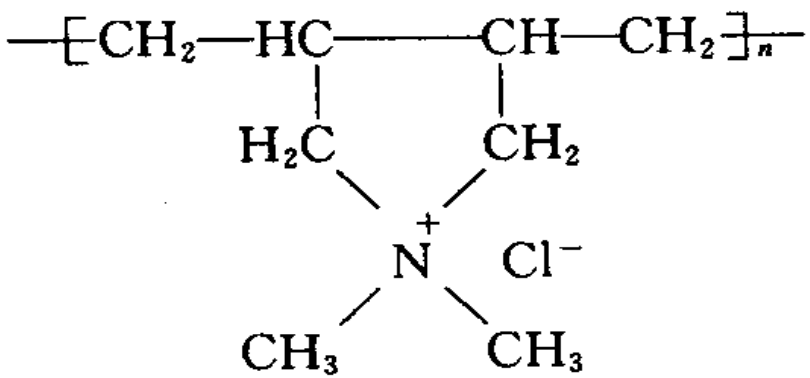
- 季铵盐型聚合物

粘土稳定机理同季铵盐型表面活性剂的机理。

季铵盐型化学剂



（烷基三甲基氯化铵）



（聚二烯丙基二甲基氯化铵）

采油用的化学剂

- 驱油剂
- 调剖剂
- 堵水剂
- 防砂用剂
- 防蜡剂与清蜡剂
- 防垢剂与除垢剂
- 粘土稳定剂
- 示踪剂

示踪剂

示踪剂是指能随流体运动，指示流体的存在、运动方向和运动速度的化学剂。

重要的示踪剂

- 水示踪剂

如氚水、硫氰酸铵、硝酸铵。

- 油示踪剂

如氚化戊烷、五氯苯。

- 气体示踪剂

如氚化氢、氟里昂。

- 油水分配示踪剂

如氚化丁醇、丁醇。

示踪剂在采油中的应用

- 了解油水井的连通情况
- 注入剂在地层中的渗流速度
- 地层的分层情况
- 地层的裂缝和断层
- 地层的剩余油饱和度

采油化学

1. 采油化学概念
2. 采油中遇到的问题
3. 采油用的化学剂
4. 采油用的工作液

采油用工作液

- 酸液
- 压裂液

采油用工作液

- 酸液
- 压裂液

酸液

酸液是酸化用工作液，由酸化用酸与酸化用添加剂组成。

酸液

酸液是酸化用工作液，由酸化用酸与酸化用添加剂组成。

酸化用酸

盐酸、氢氟酸、磷酸、硫酸、碳酸、氨基磺酸、甲酸、乙酸、丙酸、土酸(盐酸与氢氟酸混合酸）。

酸的作用

除去地层的堵塞物，(如氧化铁、硫化亚铁、粘土），达到恢复地层渗透率的目的；

溶解地层的岩石，扩大孔隙结构的喉部，达到提高地层渗透率的目的。

酸液

酸液是酸化用工作液，由酸化用酸与酸化用添加剂组成。

酸化用添加剂

- 缓速剂
- 缓蚀剂
- 铁稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂
- 防淤渣剂
- 转向剂

酸化用添加剂

- 缓速剂
- 缓蚀剂
- 铁稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂
- 防淤渣剂
- 转向剂

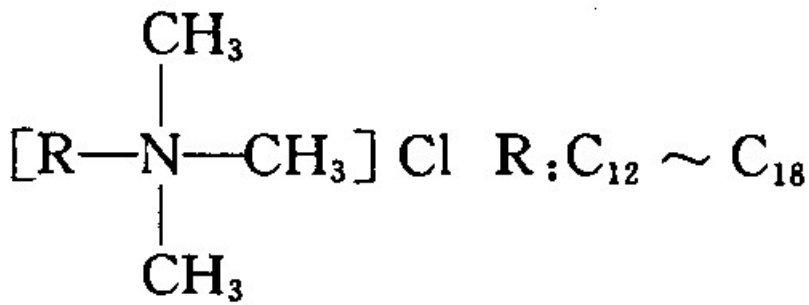
缓速剂

缓速剂是指加在酸中能延缓酸与地层反应速率的化学剂。

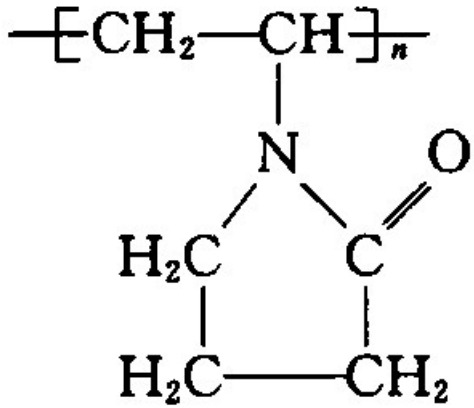
如季铵盐表面活性剂可吸附在岩石表面起缓速作用。

如聚乙烯吡咯烷酮可将酸稠化起缓速作用。

缓速剂



（季铵盐表面活性剂）



（聚乙烯吡咯烷酮）

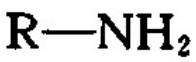
酸化用添加剂

- 缓速剂
- 缓蚀剂
- 铁稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂
- 防淤渣剂
- 转向剂

缓蚀剂

缓蚀剂是指少量加入就能大大减小金属腐蚀的化学剂。

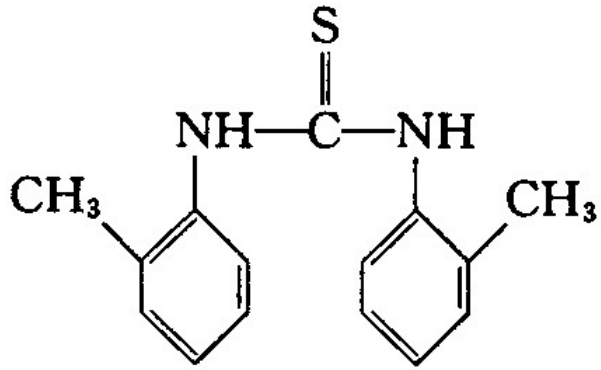
重要的酸缓蚀剂



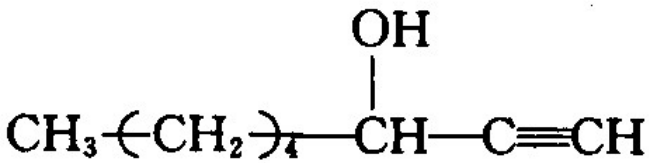
（烷基胺）



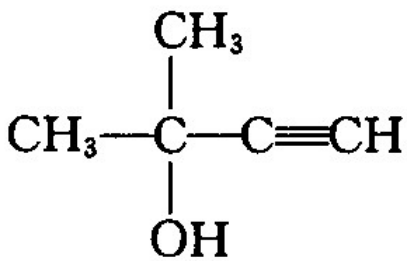
（戊二醛）



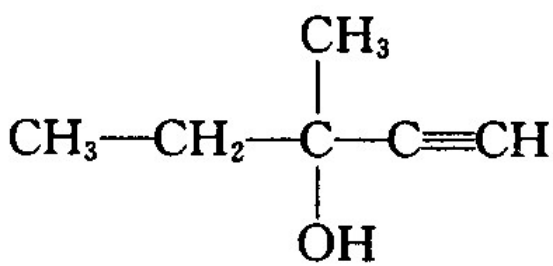
（二邻甲苯基硫脲，若丁）



（辛炔醇）



（甲基丁炔醇）



（甲基戊炔醇）

缓蚀剂缓蚀机理

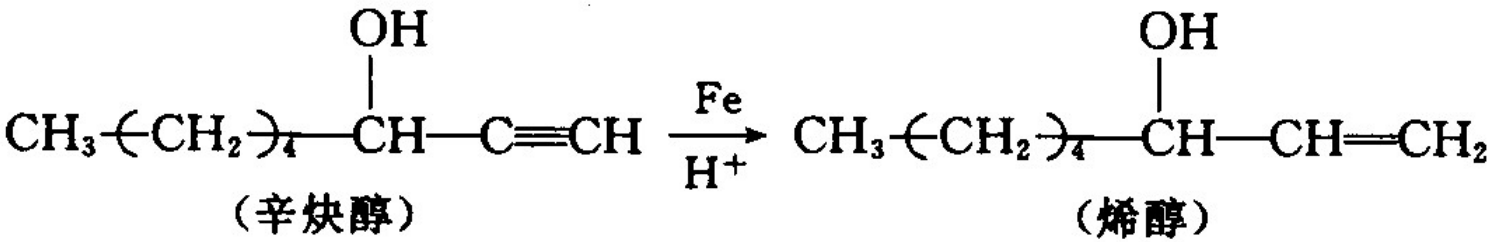
- 吸附机理

烷基胺、戊二醛和若丁是通过在金属表面吸附起缓蚀作用。

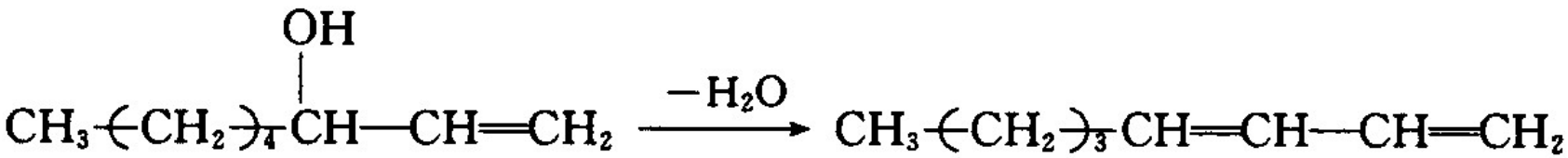
- “中间相”机理

辛炔醇、甲基丁炔醇和甲基戊炔醇是通过在金属表面产生“中间相”起缓蚀作用。

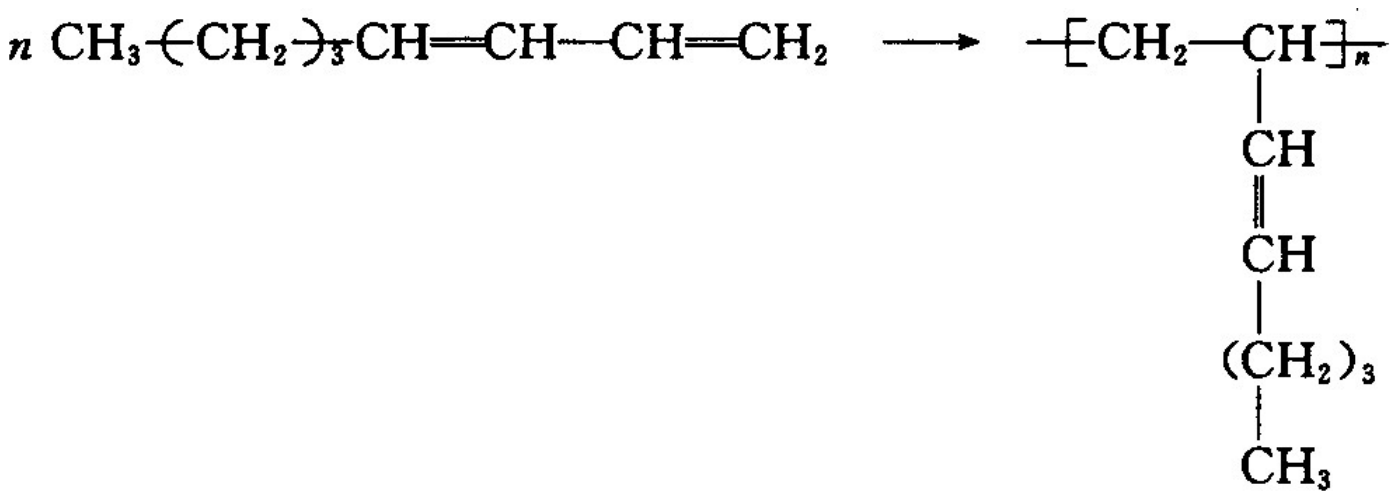
辛炔醇产生“中间相”的过程



（辛炔醇）　　（烯醇）



（共轭烯烃）



（有缓蚀作用的“中间相”）

酸化用添加剂

- 缓速剂
- 缓蚀剂
- 铁稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂
- 防淤渣剂
- 转向剂

铁稳定剂

铁稳定剂是指能将Fe^{3+}稳定在乏酸中的化学剂。

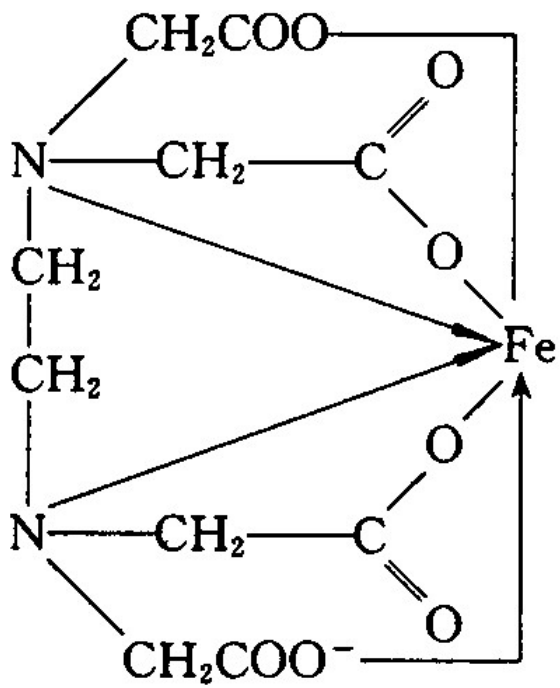
如乙二胺四乙酸二钠盐能通过螯合将Fe^{3+}稳定在乏酸中。

如异抗坏血酸可将Fe^{3+}还原为Fe^{2+}，将铁稳定在乏酸中。

铁稳定剂作用机理

- 螯合机理

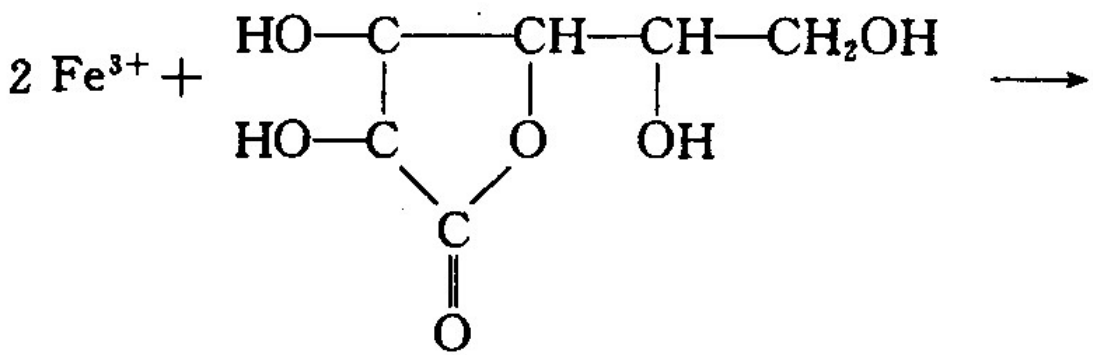
如乙二胺四乙酸二钠盐对Fe^{3+}的螯合：



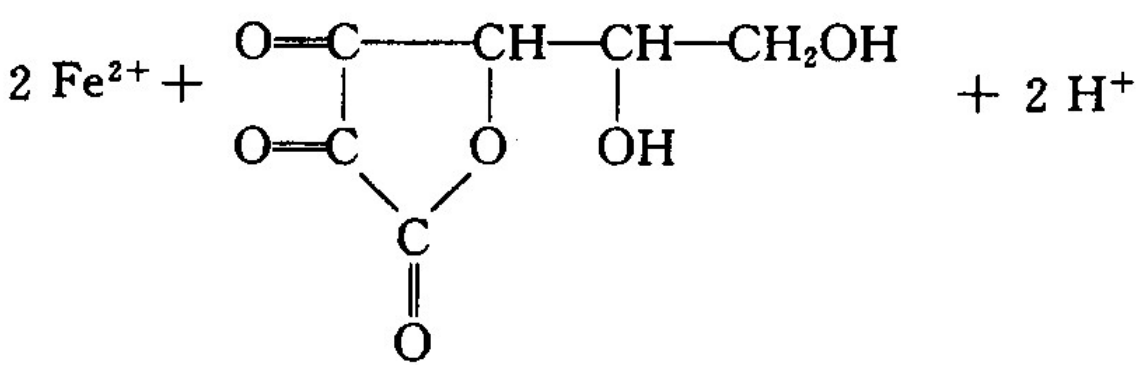
铁稳定剂作用机理

- 还原机理

如异抗坏血酸对Fe^{3+}的还原：



（异抗坏血酸）



酸化用添加剂

- 缓速剂
- 缓蚀剂
- 铁稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂
- 防淤渣剂
- 转向剂

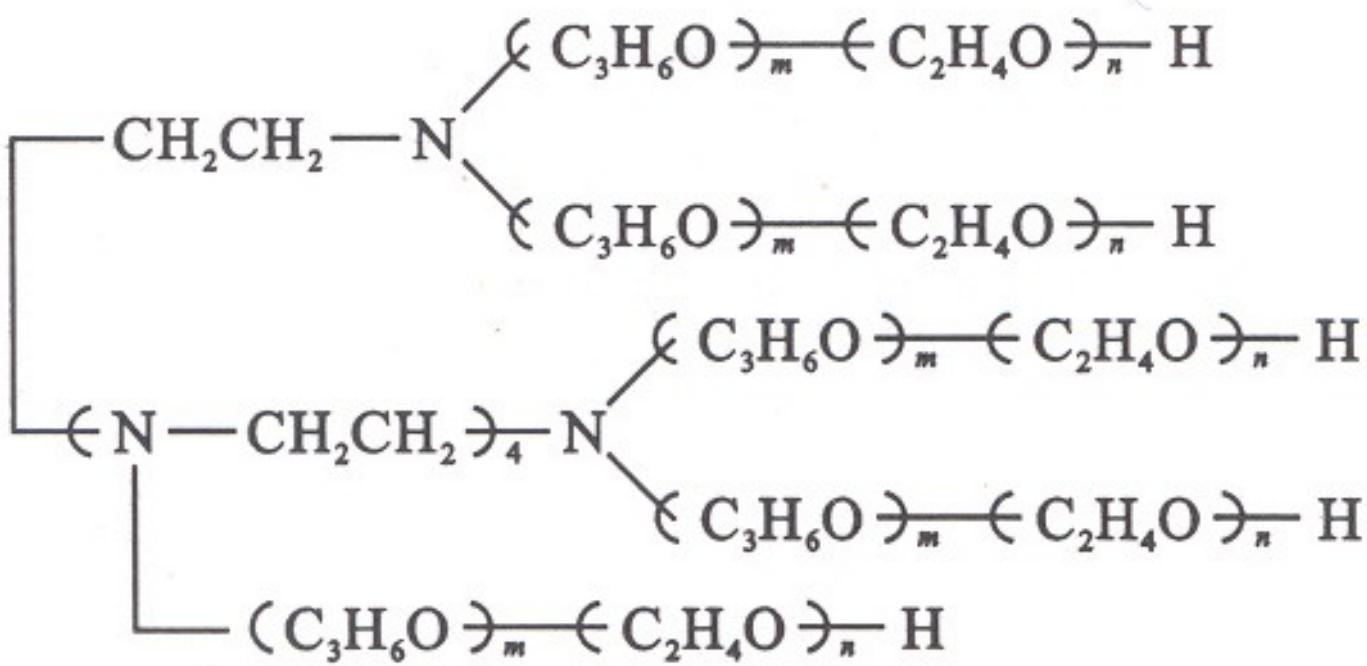
防乳化剂

防乳化剂是指能防止原油与酸形成乳状液的化学剂。

如有分支结构的表面活性剂可通过竞争吸附作用起防乳化作用。

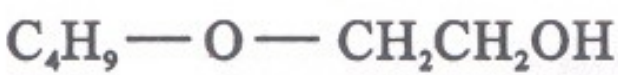
如互溶剂是通过减少表面活性剂在原油与酸界面上吸附起防乳化作用。

有分支结构的表面活性剂



（聚氧乙烯聚氧丙烯五乙烯六胺）

互溶剂



（乙二醇丁醚）



（二乙二醇乙醚）



（二乙二醇丁醚）



（三乙二醇丁醚）

酸化用添加剂

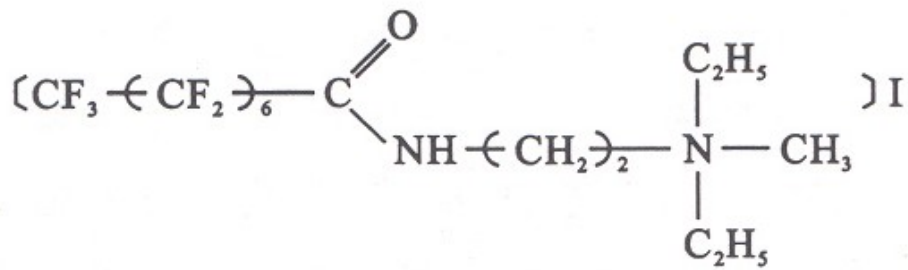
- 缓速剂
- 缓蚀剂
- 铁稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂
- 防淤渣剂
- 转向剂

助排剂

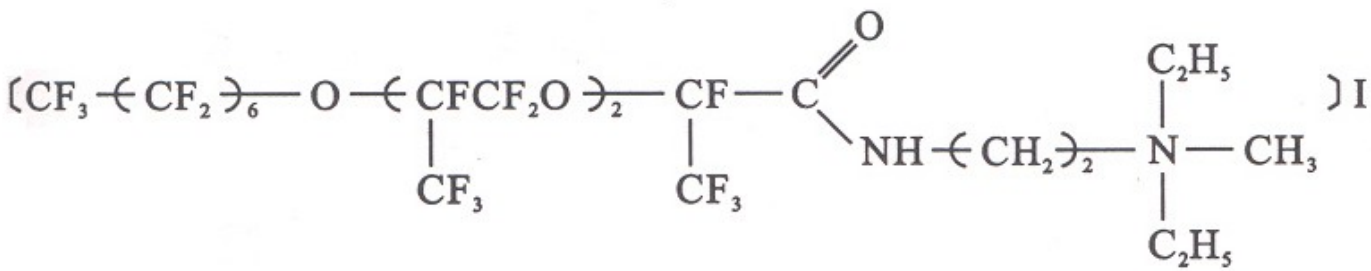
助排剂是指能减少二次沉淀对地层伤害，使乏酸易从地层排出的化学剂。

如含氟表面活性剂可通过降低界面张力使酸易从地层排出。

含氟表面活性剂



（全氟辛酰胺基-1，2-亚乙基甲基二乙基碘化铵）



（全氟聚氧丙烯庚醇醚全氟丙酰胺基-1，2-亚乙基甲基二乙基碘化铵）

酸化用添加剂

- 缓速剂
- 缓蚀剂
- 铁稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂
- 防淤渣剂
- 转向剂

防淤渣剂

防淤渣剂是指能防止酸与原油接触时产生淤渣的化学剂。

由于淤渣是由酸中的Fe^{3+}产生，因此可用铁稳定剂防止淤渣的生成。

酸化用添加剂

- 缓速剂
- 缓蚀剂
- 铁稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂
- 防淤渣剂
- 转向剂

转向剂

转向剂是指能暂时封堵高渗透层,使酸转向低渗透层,提高酸化效果的化学剂。

如加有破胶剂的冻胶是理想的转向剂,该转向剂首先封堵高渗透层,使注入的酸转向低渗透层,酸化后破胶剂将冻胶破坏，恢复高渗透层的渗透性。

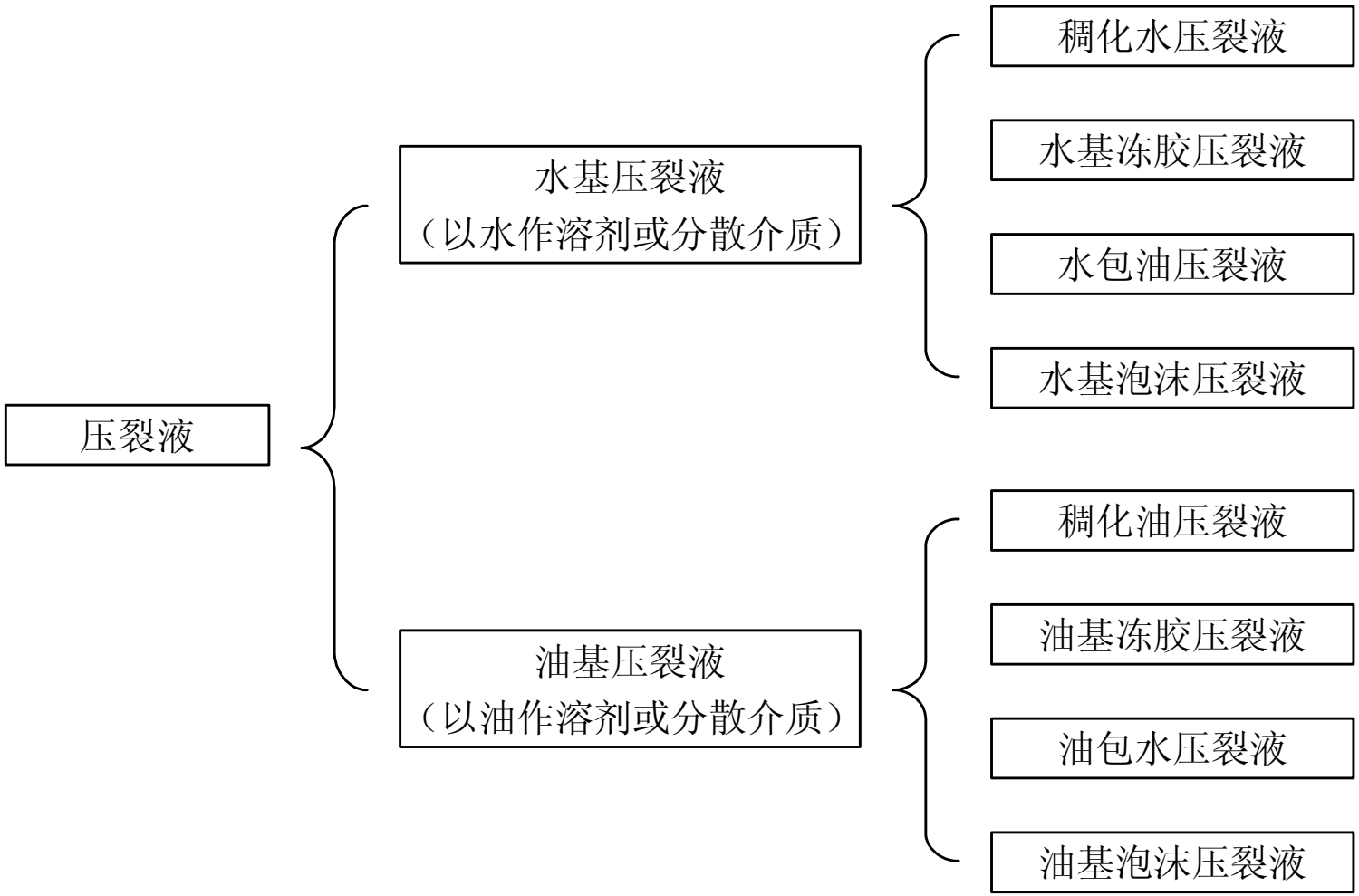
采油用工作液

- 酸液
- 压裂液

压裂液

压裂液是压裂过程所用的液体。一种好的压裂液应满足粘度高，摩阻低、滤失量少，对地层无伤害，配制简便、材料来源广、成本低等条件。

压裂液类型


压裂液
水基压裂液
（以水作溶剂或分散介质）
稠化水压裂液
水基冻胶压裂液
水包油压裂液
水基泡沫压裂液
油基压裂液
（以油作溶剂或分散介质）
稠化油压裂液
油基冻胶压裂液
油包水压裂液
油基泡沫压裂液

压裂用添加剂

- 支撑剂
- 破坏剂
- 减阻剂
- 降滤失剂
- 粘土稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂

压裂用添加剂

- 支撑剂
- 破坏剂
- 减阻剂
- 降滤失剂
- 粘土稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂

支撑剂

支撑剂是指用压裂液带入裂缝，在压力释放后用以支撑裂缝的物质。

一种好的支撑剂应密度低、强度高、化学稳定性好、便宜易得。

重要的支撑剂

天然支撑剂有石英砂、铝矾土、氧化铝、锆石和核桃壳等。

高强度的支撑剂有烧结铝矾土（烧结陶粒）、铝合金球和塑料球等。

低密度的支撑剂有微孔烧结铝矾土（微孔烧结陶粒）及核桃壳等。

化学稳定性好的支撑剂有由酚醛树脂覆盖的砂粒或有机硅覆盖的砂粒。

若将覆盖砂粒的醛酚树脂全部或部分改为可在温度超过**54**℃的地层中固化的树脂，则支撑剂不仅有好的化学稳定性，而且可稳定地固定在裂缝中起支撑作用。

压裂用添加剂

- 支撑剂
- 破坏剂
- 减阻剂
- 降滤失剂
- 粘土稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂

破坏剂

压裂液破坏剂是指在指定时间内能将压裂液的粘度减到足够低的化学剂。由于破坏后的压裂液易从地层排出，因此可减轻压裂液对地层的污染。

压裂液中使用的破坏剂主要是破胶剂。破胶剂是用于破坏冻胶结构的。

破坏剂

压裂液破坏剂是指在指定时间内能将压裂液的粘度减到足够低的化学剂。由于破坏后的压裂液易从地层排出，因此可减轻压裂液对地层的污染。

压裂液中使用的破坏剂主要是破胶剂。破胶剂是用于破坏冻胶结构的。

破胶剂

- 过氧化物（如过硫酸铵）
- 酶（如淀粉酶、纤维酶）
- 潜在酸（如乙酸乙酯）
- 潜在螯合剂（如丙二酸胺）
- 竞争络合剂（如乙酸钠、苯乙酸钠等，用于破坏油基冻胶压裂液）

压裂用添加剂

- 支撑剂
- 破坏剂
- 减阻剂
- 降滤失剂
- 粘土稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂

减阻剂

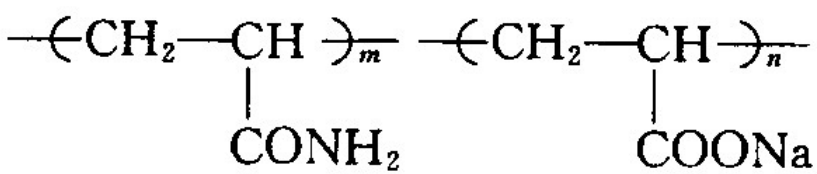
减阻剂是指在紊流状态下能减小压裂液流动阻力的化学剂。它是通过储藏紊流能量的机理减小压裂液的流动阻力。

重要的减阻剂

- 水基压裂液减阻剂

如聚乙二醇，丙烯酰胺与丙烯酸钠共聚物等。

（聚乙二醇）

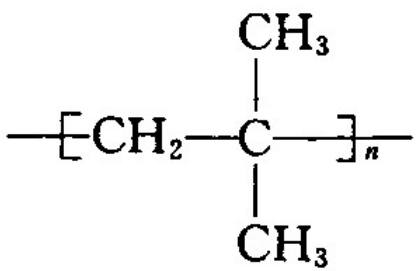


（丙烯酰胺与丙烯酸钠共聚物）

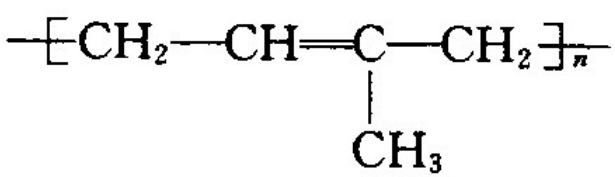
重要的减阻剂

- 油基压裂液减阻剂

如聚异丁烯、聚异戊二烯等。



（聚异丁烯）



（聚异戊二烯）

压裂用添加剂

- 支撑剂
- 破坏剂
- 减阻剂
- 降滤失剂
- 粘土稳定剂
- 防乳化剂
- 助排剂

降滤失剂

压裂液降滤失剂是指能减少压裂液从裂缝中向地层漏失的化学剂。它可减少压裂液对地层的污染，并可在压裂时使压力迅速提高。

降滤失剂在压裂后能被溶掉，不会污染地层。

重要的降滤失剂

- 水溶性降滤失剂

  如水溶性聚合物，水溶性皂、水溶性盐等。

- 油溶性降滤失剂

  如蜡、萘、蒽、松香、松香二聚物等。

- 酸溶性降滤失剂

  如石英粉、碳酸钙粉等。

提纲

前言

一、钻井化学

二、采油化学

三、集输化学

结束语

集输化学

1. 集输化学概念
2. 集输中遇到的化学问题
3. 集输用的化学剂

集输化学

1. 集输化学概念
2. 集输中遇到的化学问题
3. 集输用的化学剂

集输化学概念

集输化学是油田化学一部分。

集输化学是集输工程学与化学之间的边缘科学。

集输化学是研究如何用化学方法解决原油集输过程中遇到的问题。

集输化学

1. 集输化学概念
2. 集输中遇到的化学问题
3. 集输用的化学剂

集输中遇到的化学问题

- 管道的腐蚀与防腐
- 乳化原油的破乳
- 起泡沫原油的消泡
- 天然气脱水和脱酸性气体
- 油田污水的除油、除氧、除固体悬浮物、防垢、缓蚀和杀菌
- 原油的降凝输送与减阻输送

集输化学

1. 集输化学概念
2. 集输中遇到的化学问题
3. 集输用的化学剂

集输用的化学剂

- 管道防腐剂
- 原油破乳剂
- 原油消泡剂
- 原油降凝剂
- 原油减阻剂
- 天然气处理剂
- 污水处理剂

集输用的化学剂

- 管道防腐剂
- 原油破乳剂
- 原油消泡剂
- 原油降凝剂
- 原油减阻剂
- 天然气处理剂
- 污水处理剂

管道防腐剂

管道的防腐剂主要用涂料。

涂料是指能在表面结成坚韧保护膜的物料（俗称漆）。

重要的防腐涂料

- 石油沥青涂料
- 煤焦油沥青涂料
- 聚乙烯涂料
- 环氧树脂涂料
- 聚氨酯涂料

配合防腐涂料使用的其他材料

- 底漆
- 中层漆
- 面漆
- 内缠带
- 外缠带

集输用的化学剂

- 管道防腐剂
- 原油破乳剂
- 原油消泡剂
- 原油降凝剂
- 原油减阻剂
- 天然气处理剂
- 污水处理剂

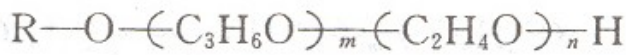
原油破乳剂

- 油包水乳化原油破乳剂
- 水包油乳化原油破乳剂

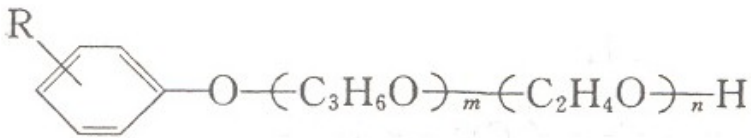
原油破乳剂

- 油包水乳化原油破乳剂
- 水包油乳化原油破乳剂

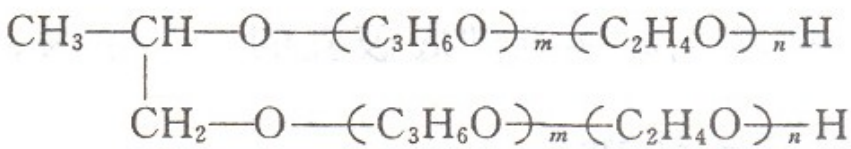
油包水乳化原油破乳剂



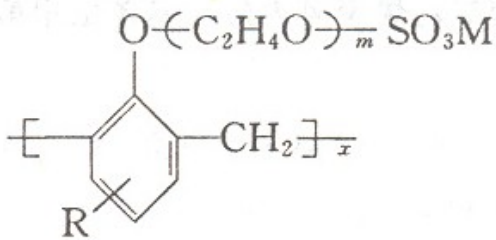
（聚氧乙烯聚氧丙烯烷基醇醚）



（聚氧乙烯聚氧丙烯烷基苯酚醚）



（聚氧乙烯聚氧丙烯丙二醇醚，BE 型破乳剂）



（聚氧乙烯烷基苯酚甲醛树脂硫酸酯盐）

油包水乳化原油破乳剂的破乳机理

- 不牢固吸附膜的形成

因高分子破乳剂在界面上取代原来的乳化剂后所形成的吸附层不紧密（特别是支链线型的高分子破乳剂），保护作用差。

- 对水珠的桥接

由高分子破乳剂可同时吸附在两个或两个以上水珠的界面上引起，这些为破乳剂分子联系起来的水珠有更多的机会碰撞、聚并。

- 对乳化剂的增溶

高分子破乳剂在很低的浓度下即可形成胶束，这种高分子胶束可增溶乳化剂分子，引起乳化原油的破裂。

原油破乳剂

- 油包水乳化原油破乳剂
- 水包油乳化原油破乳剂

水包油乳化原油破乳剂

- 电解质

  如盐酸、氯化钠、氯化镁、氯化钙、硝酸铝、氧氯化锆等。

- 低分子醇

  如甲醇、乙醇、丙醇、已醇、庚醇等。

- 表面活性剂

  如阳离子型表面活性剂和阴离子型表面活性剂。

- 聚合物

  如阴离子聚合物、非离子聚合物和非离子-阳离子聚合物。

水包油乳化原油破乳剂的破乳机理

电解质主要通过减小油珠表面的负电性和改变乳化剂的亲水亲油平衡的机理起作用。

低分子醇是通过改变油水相的极性（使油相极性增加，水相极性减小），使乳化剂移向油相或水相的机理起破乳作用。

水包油乳化原油破乳剂的破乳原理

表面活性剂是通过与乳化剂反应（阳离子型表面活性剂）、形成不牢固吸附膜（有分支结构的阴离子表面活性剂）和抵消作用（油溶性表面活性剂）等机理引起破乳。

聚合物主要通过桥接机理起破乳作用。

集输用的化学剂

- 管道防腐剂
- 原油破乳剂
- 原油消泡剂
- 原油降凝剂
- 原油减阻剂
- 天然气处理剂
- 污水处理剂

原油消泡剂

原油主要在油气分离和原油稳定过程中遇到起泡沫问题。这些过程都是通过降低压力和（或）升高温度，使天然气（包括C_1~C_7的烃，主要是烷烃）从原油中释出，产生泡沫。

原油消泡剂是指能消除原油泡沫的化学剂。

原油消泡剂类型

- 溶剂型，如

$C_5H_{11}OH$
（戊醇）

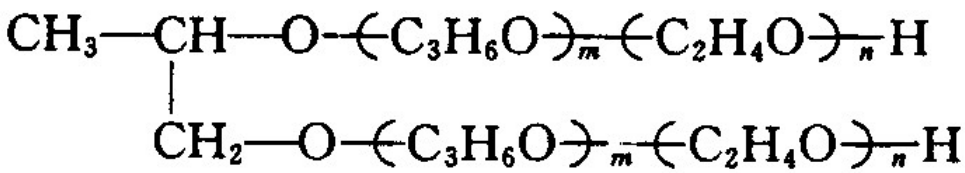
$C_8H_{17}OH$
（辛醇）

$C_3H_7-O-C_3H_7$
（丙醚）

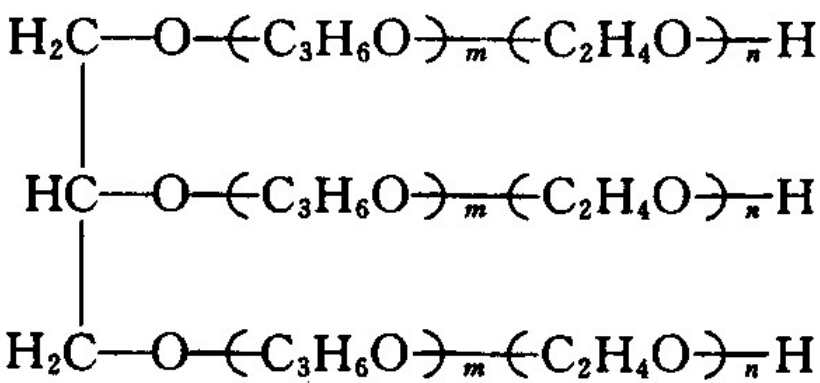
$C_4H_9-O-C_4H_9$
（丁醚）

原油消泡剂类型

- 表面活性剂型，如



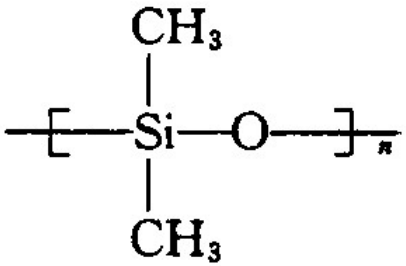
（聚氧乙烯聚氧丙烯丙二醇醚）



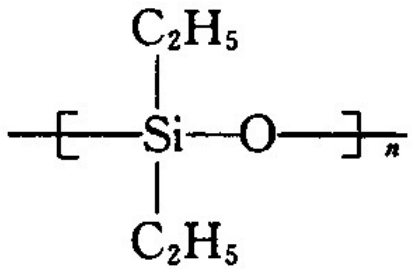
（聚氧乙烯聚氧丙烯甘油醚）

原油消泡剂类型

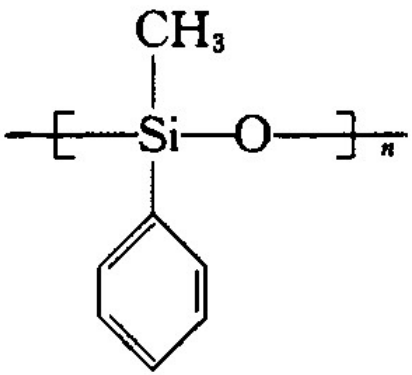
- 聚合物型，如



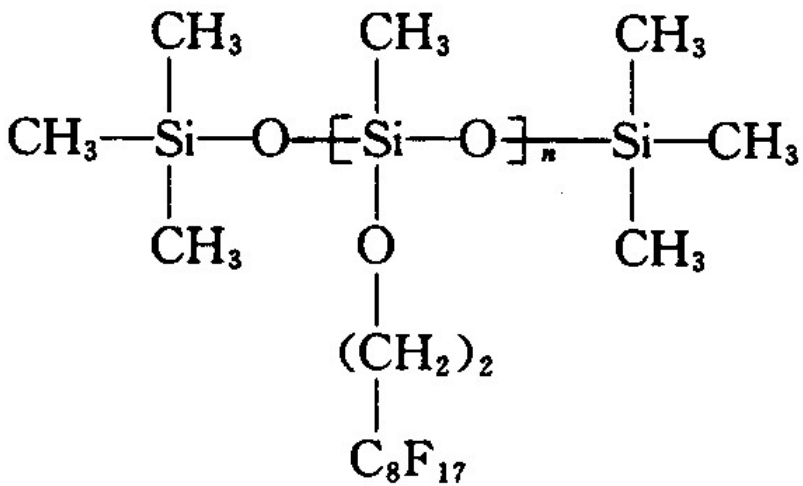
（聚二甲基硅氧烷）



（聚二乙基硅氧烷）



（聚甲基苯基硅氧烷）



（聚甲基氟代癸氧基硅氧烷）

原油消泡剂消泡机理

- 溶剂型和聚合物型的原油消泡剂是通过它们与气的表面张力小于它们与油的界面张力，导致液膜局部变薄而起消泡作用。
- 表面活性剂型的原油消泡剂是通过它对起泡剂的取代而起消泡作用。

集输用的化学剂

- 管道防腐剂
- 原油破乳剂
- 原油消泡剂
- 原油降凝剂
- 原油减阻剂
- 天然气处理剂
- 污水处理剂

原油降凝剂

为了改善长距离管道输送多蜡原油的流动状况，原油凝点的降低（降凝）是一个重要问题。在解决这个问题时，化学方法是得力的方法。

原油降凝剂

化学降凝法是指在原油加降凝剂的方法。

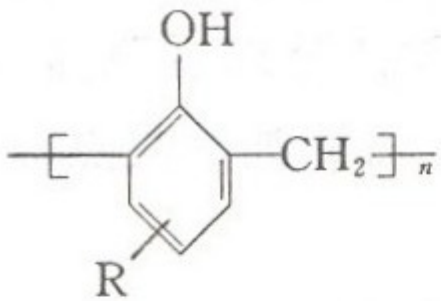
原油降凝剂是指能降低原油凝点的化学剂。

原油降凝剂

降凝剂对一些多蜡原油凝点的影响

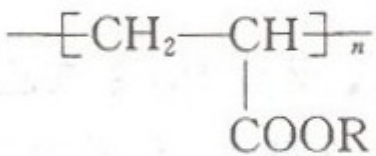
原　油 产　地	加降凝剂前 凝点/℃	降 凝 剂	降凝剂质量 浓度/(mg·L^{-1})	加降凝剂后 凝点/℃
中原油田	33	乙烯与乙酸乙烯酯共聚物	50	13
江汉油田	25	乙烯与乙酸乙烯酯共聚物	100	15
马岭油田	16	聚丙烯酸酯	50	2
青海油田	32	乙烯、丙烯酸酯与丙烯磺酸盐共聚物	150	12

重要的原油降凝剂



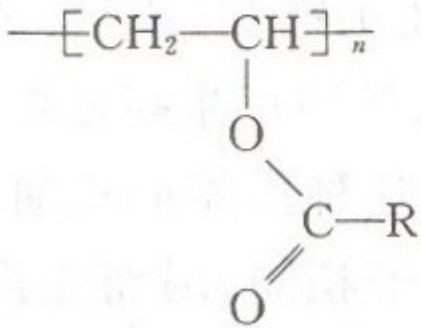
$R:C_{12}\sim C_{36}$

（烷基苯酚甲醛树脂）



$R:C_{14}\sim C_{40}$

（聚丙烯酸酯）



$R:C_{15}\sim C_{35}$

（聚羧酸乙烯酯）

原油降凝剂降凝机理

由于原油中蜡的主要成分为烷烃，它的结构与降凝剂中烷基结构相同，因此蜡从原油析出时，它是在降凝剂烷基部分析出（共结晶），而不结在管线或设备表面，使原油输送正常进行。

集输用的化学剂

- 管道防腐剂
- 原油破乳剂
- 原油消泡剂
- 原油降凝剂
- 原油减阻剂
- 天然气处理剂
- 污水处理剂

原油减阻剂

为了减小长距离管道输送原油的管输阻力（减阻），从而达到提高管输量的目的，可在原油中加原油减阻剂。

原油减阻剂

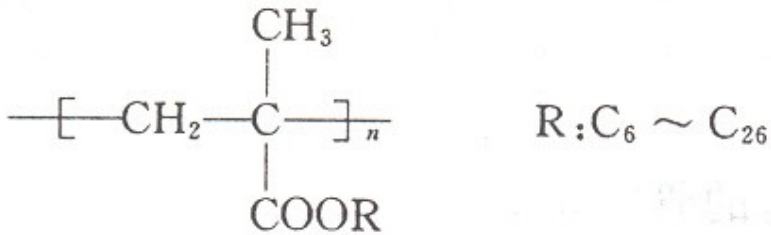
原油减阻剂是指能降低原油管输阻力的化学剂。

原油减阻剂都是油溶性聚合物，它在油中主要以蜷曲状态存在。以这种状态存在的聚合物分子是具有弹性的。

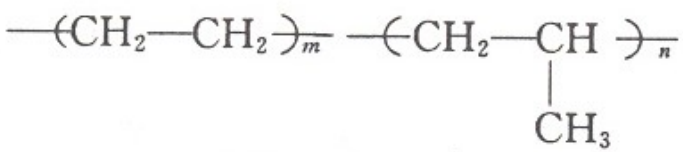
重要的原油减阻剂



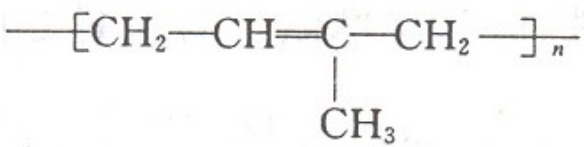
（聚 α-烯烃）



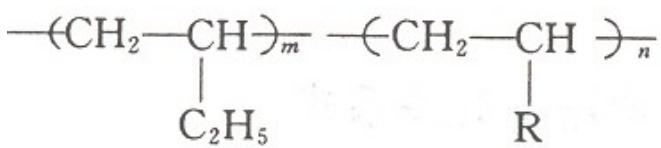
（聚甲基丙烯酸酯）



（乙烯与丙烯共聚物）



（聚异戊二烯）



（1-丁烯与 α-烯烃共聚物）

R:C6～C26

原油减阻剂减阻机理

由于原油减阻剂蜷曲分子的弹性，可在原油输送时伸长，储存能量，使这些能量不变成热能而被消耗掉，减少了管输所需的能量，达到减阻的目的。

集输用的化学剂

- 管道防腐剂
- 原油破乳剂
- 原油消泡剂
- 原油降凝剂
- 原油减阻剂
- 天然气处理剂
- 污水处理剂

天然气处理剂

- 天然气脱水剂
- 天然气酸性气体脱除剂
- 天然气水合物生成抑制剂

天然气处理剂

- 天然气脱水剂
- 天然气酸性气体脱除剂
- 天然气水合物生成抑制剂

天然气脱水剂

为了减小管道腐蚀和天然气水合物生成，同时也为了防止低温分离轻烃时引起冰堵塞管道，必须将天然气中的水脱出。

天然气脱水剂类型

- 吸附剂

如活性氧化铝、硅胶、分子筛。

- 吸收剂

如二甘醇，三甘醇、四甘醇。

天然气脱水用的吸附剂

吸附剂		分子式	比表面/($m^2 \cdot g^{-1}$)	孔隙度 $\times 10^2$
活性氧化铝		Al_2O_3	210～350	50～65
硅胶		SiO_2	550～830	50～65
分子筛	4A	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot mSiO_2$[1)]	700～900	55～60
	5A	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot mSiO_2$[1)]	700～900	55～60

天然气脱水用的吸收剂

吸收剂	分子式	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	冰点/ ℃	沸点/ ℃
二甘醇	$HO\text{-}(CH_2CH_2O)_2\text{-}H$	1.118	−8.3	245.0
三甘醇	$HO\text{-}(CH_2CH_2O)_3\text{-}H$	1.125	−7.2	287.4
四甘醇	$HO\text{-}(CH_2CH_2O)_4\text{-}H$	1.128	−5.6	327.3

天然气处理剂

- 天然气脱水剂
- 天然气酸性气体脱除剂
- 天然气水合物生成抑制剂

天然气酸性气体脱除剂

- 吸附剂

如海绵铁、氧化锌、氧化钙。

- 吸收剂

如一乙醇胺、氢氧化钠。

海绵铁对硫化氢的脱除

$$2\,Fe_2O_3 + 6\,H_2S \longrightarrow 2\,Fe_2S_3 + 6\,H_2O$$

（海绵铁）

海绵铁可再生使用

$$2\,Fe_2S_3 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,Fe_2O_3 + 6\,S$$

（海绵铁）

一乙醇胺对酸性气体的脱除

$$2\,HOCH_2CH_2NH_2 + H_2S \underset{\text{高温}}{\overset{\text{低温}}{\rightleftharpoons}} (HOCH_2CH_2NH_3)_2S$$

（一乙醇胺，MEA）

$$2\,HOCH_2CH_2NH_2 + CO_2 + H_2O \underset{\text{高温}}{\overset{\text{低温}}{\rightleftharpoons}} (HOCH_2CH_2NH_3)_2CO_3$$

可用升温和气提的方法将吸收了酸性气体的一乙醇胺再生。

天然气处理剂

- 天然气脱水剂
- 天然气酸性气体脱除剂
- 天然气水合物生成抑制剂

天然气水合物生成抑制剂

- 醇

  如甲醇、乙醇、乙二醇。

- 表面活性剂

  如烷基苯磺酸盐、烷基苄基二甲基氯化铵。

- 聚合物

  如羟乙基纤维素、聚乙烯吡咯烷酮。

天然气水合物生成抑制剂作用机理

- 醇是通过其与水结合减小了天然气与水结合起抑制作用。
- 表面活性剂是通过其在天然气水合物结晶表面吸附起抑制作用。
- 聚合物是通过其将天然气水合物结晶分离而不能彼此聚并起抑制作用。

集输用的化学剂

- 管道防腐剂
- 原油破乳剂
- 原油消泡剂
- 原油降凝剂
- 原油减阻剂
- 天然气处理剂
- 污水处理剂

污水处理剂

- 除油剂
- 除氧剂
- 絮凝剂
- 杀菌剂
- 缓蚀剂
- 防垢剂

污水处理剂

- 除油剂
- 除氧剂
- 絮凝剂
- 杀菌剂
- 缓蚀剂
- 防垢剂

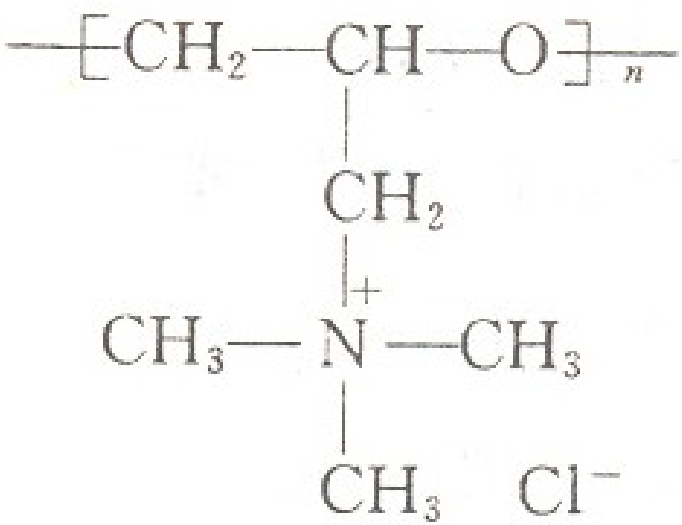
除油剂

污水中的油是以油珠的形式存在于水中，可通过除油剂的作用使污水中的这些油珠易于聚并上浮，在除油罐中除去。

能减少污水中油含量的物质称为除油剂。

除油剂类型

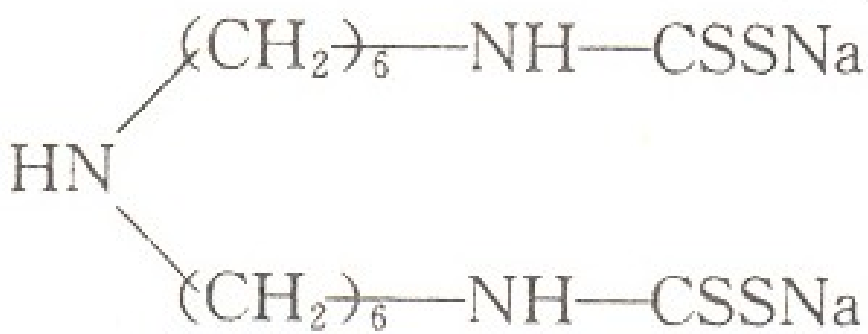
- 阳离子型聚合物，如



（聚氧丙烯基三甲基氯化铵）

除油剂类型

- 有分支结构表面活性剂，如



[二(六亚甲基)胺二(氨基二硫代甲酸钠)]

除油剂除油机理

- 阳离子型聚合物是通过中和油珠表面负电性和桥接油珠的作用除油。
- 有分支结构表面活性剂是通过取代原有吸附膜的作用除油。

污水处理剂

- 除油剂
- 除氧剂
- 絮凝剂
- 杀菌剂
- 缓蚀剂
- 防垢剂

除氧剂

污水中的溶解氧会增加金属的腐蚀，因此应该将它脱除。

能除去水中溶解氧的化学剂称为除氧剂。

重要的除氧剂

- 亚硫酸盐
- 甲醛
- 联氨
- 硫脲
- 异抗坏血酸

除氧剂的除氧机理

$$2\ Na_2SO_3 + O_2 \longrightarrow 2\ Na_2SO_4$$

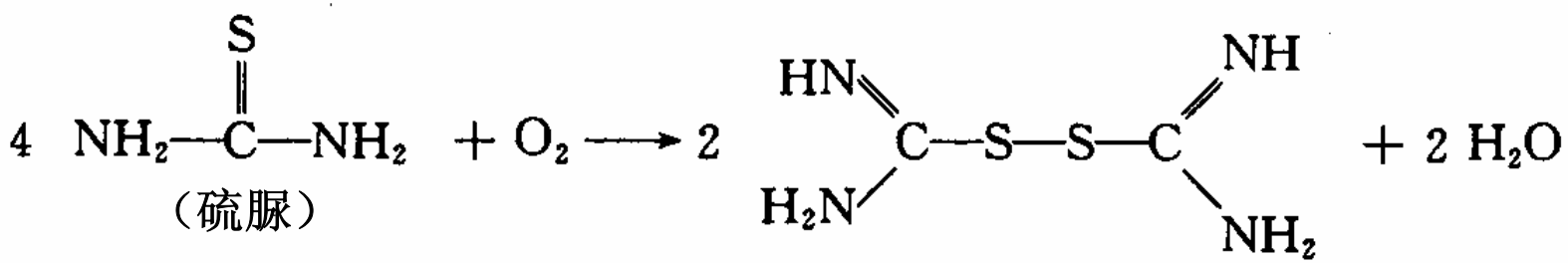
（亚硫酸钠）

$$2\ CH_2O + O_2 \longrightarrow 2\ HCOOH$$

（甲醛）

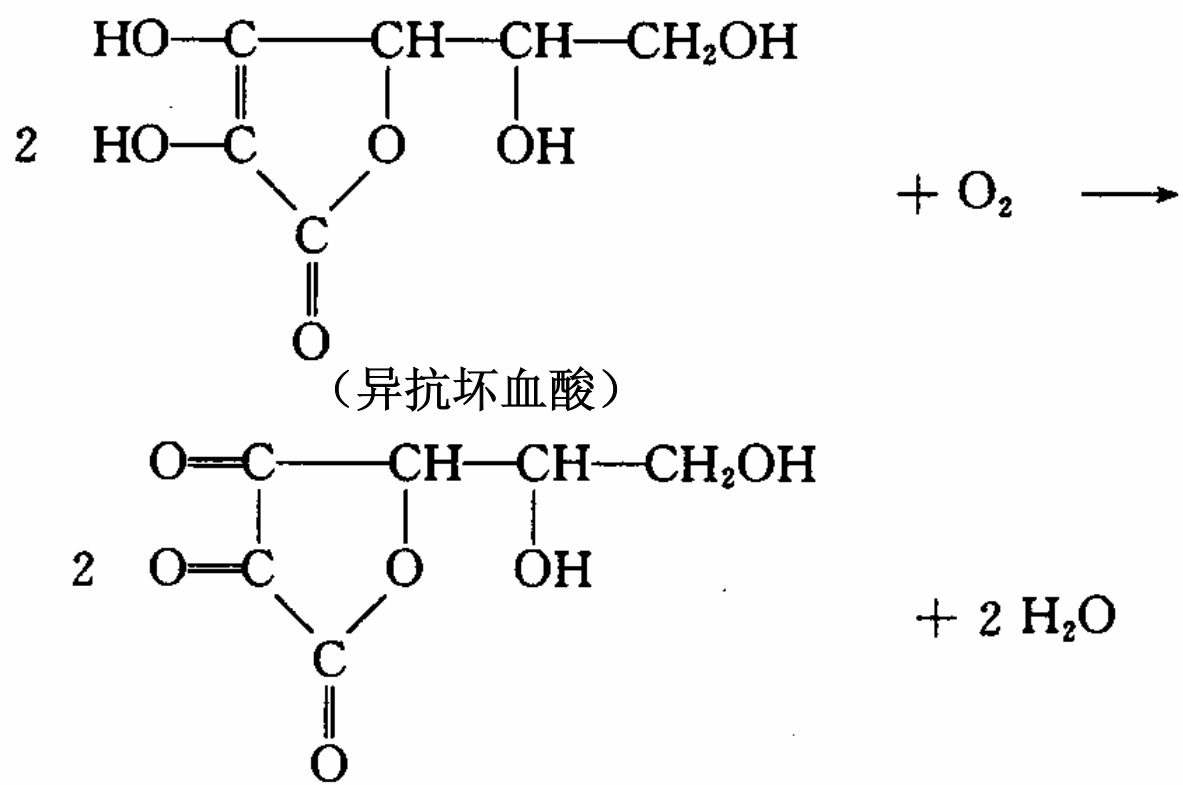
$$NH_2{-}NH_2 + O_2 \longrightarrow N_2\uparrow + 2\ H_2O$$

（联氨）



（硫脲）

除氧剂的除氧机理


2
HO—C——CH—CH—CH₂OH
HO—C O OH
C
O
+ O₂
（异抗坏血酸）
O═C——CH—CH—CH₂OH
2 O═C O OH
C
O
+ 2 H₂O

污水处理剂

- 除油剂
- 除氧剂
- 絮凝剂
- 杀菌剂
- 缓蚀剂
- 防垢剂

絮凝剂

污水中的固体悬浮物主要是粘土颗粒。由于粘土颗粒表面带负电，它们互相排斥，不易聚并、下沉，因此不易除去。

可用絮凝的方法除去污水中的固体悬浮物，能使污水中固体悬浮物形成絮凝物而下沉的物质叫絮凝剂。

絮凝剂的组成

- 混凝剂

混凝剂是指能中和固体悬浮物表面负电性的化学剂，如羟基铝、羟基铁、羟基锆等。它们通过中和固体悬浮物表面的负电性起混凝作用。

- 助凝剂

助凝剂是指能桥接在固体悬浮物表面上，使它们迅速下沉的化学剂。水溶性聚合物，如聚丙烯酰胺、部分水解聚丙烯酰胺、聚乙二醇、聚乙烯醇，羧甲基淀粉、羟乙基淀粉等，均可用做助凝剂。

由于阳离子型聚合物兼有混凝剂和助凝剂的作用，因此是理想的絮凝剂。

污水处理剂

- 除油剂
- 除氧剂
- 絮凝剂
- 杀菌剂
- 缓蚀剂
- 防垢剂

杀菌剂

在污水中，主要遇到的细菌是硫酸盐还原菌，铁细菌和腐生菌。它们可引起金属腐蚀、地层堵塞和化学剂变质，因此需要杀菌。

少量加入就能杀死细菌的物质称为杀菌剂。

杀菌剂类型

类型		示例
氧化型杀菌剂		氯、臭氧、二氧化氯、次氯酸钠
非氧化型杀菌剂	吸附型	烷基三甲基氯化铵 烷基氯化吡啶
	渗透型	甲醛、戊二醛

杀菌剂的使用

杀菌剂多复配使用，复配杀菌剂的效果超过单一杀菌的效果。

杀菌剂必须交替使用，因为长期使用一种杀菌剂会使细菌产生抗药性而显著降低杀菌剂的效果。

杀菌剂开始使用时浓度要高，在细菌数量处在控制之下时，则可改为较低浓度，即能有效地控制细菌的繁殖。

杀菌剂可连续投放或间歇加入。连续投放时使用的质量浓度一般在**10~50mg·L^{-1}**范围，间歇加入时使用的质量浓度一般在**100~200mg·L^{-1}**范围。

污水处理剂

- 除油剂
- 除氧剂
- 絮凝剂
- 杀菌剂
- 缓蚀剂
- 防垢剂

污水缓蚀剂

污水的**pH**值在**6~8**范围内，属中性介质，可用中性介质缓蚀剂缓蚀。

污水缓蚀剂类型

类型	示例
氧化膜型	重铬酸钠、钼酸钠、亚硝酸钠、钨酸钠
沉淀膜型	硅酸钠、磷酸三钠、葡萄糖酸钠、 乙二胺四亚甲基膦酸钠
吸附膜型	烷基三甲基氯化铵、聚氧乙烯烷基铵

污水处理剂

- 除油剂
- 除氧剂
- 絮凝剂
- 杀菌剂
- 缓蚀剂
- 防垢剂

污水防垢剂

参考采油用剂中防垢剂部分。

提纲

前言

一、钻井化学

二、采油化学

三、集输化学

结束语

结束语

1. 油田化学是油田工程学与化学之间的边缘科学。

2. 油田化学虽然分成钻井化学、采油化学和集输化学**3**部分，但它们是相互衔接和相互关联的。

3. 油田化学在认识油田存在问题和解决油田存在问题起着重要作用。

结束语

4. 油田化学剂目前正向着扩大原料来源、发挥化学剂的多种效用、利用化学剂间的协同效应、开发苛刻条件下使用的化学剂、强化化学剂作用机理研究和建立绿色化学剂体系等方向发展。

5. 在解决油田存在问题时，油田化学是离不开油藏工程和采油工程；同样油藏工程和采油工程也离不开油田化学，让我们相互沟通，加强理解，紧密合作，将油田开发的事办好。