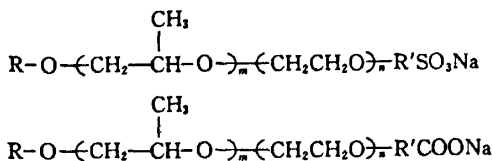


综述

中图分类号:TE 254.4 文献标识码:A

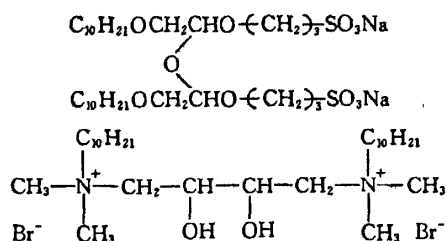
万方数据

油藏仍使用石油磺酸盐^[2,3]和石油羧酸盐。为了适应高温、高盐油藏的表面活性剂驱,开发了两类非离子-阴离子型两性表面活性剂^[4]:



此外,α-烯烃磺酸盐和内烯烃磺酸盐也是重要的耐温、耐盐的表面活性剂^[5,6]。

李连表面活性剂(Gemini)是一类由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



由于李连表面活性剂具有高表面活性和良好的配伍性,所以在表面活性剂驱中有应用潜力^[7]。

生物表面活性剂如鼠李糖脂、海藻糖脂、槐糖脂、表面活性蛋白、卵磷脂、脂多糖、蛋白质系高分子表面活性剂等是目前主要研究的生物表面活性剂^[8]。由于生物表面活性剂能引入化学法不能引入的化学基团,能为生物降解,不会对环境构成污染,在采油用表面活性剂中很有竞争力。

1.3 碱驱用碱

由于碱对地层溶蚀使地层变得更不均质,它使地层和产出系统结垢并使乳化原油脱水困难,所以驱油剂倾向于不用碱或使用弱碱(如 NH_4OH)、潜在碱(如 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$)、有机碱(如二乙醇胺、二异丙醇胺、二甘醇胺)和缓冲碱(如由 Na_2CO_3 与 NaHCO_3 、 NH_3 与 NH_4Cl 组成的碱)。缓冲碱驱是值得注意的一个发展动向。

1.4 气驱用气

天然气、二氧化碳、氮气、烟道气^[9]是主要气驱用气,但空气是很有发展前景的气驱用气^[10]。它通过低温氧化机理提高采收率,特别适用于高温、高压的轻油油藏。

1.5 复合驱

若不考虑碱驱参与复合驱,则聚合物驱、表面活性剂驱和气驱可按图1所示进行组合^[11]。

目前,最引人注意的是聚合物驱和表面活性剂驱组成的二元复合驱(稠化表面活性剂驱和表面活性剂强化聚合物驱)^[12]。在气源充足的油田,可发展气驱与表面活性剂驱组合成的泡沫驱(浓泡沫驱和稀泡沫驱)和由气驱、表面活性剂驱与聚合物驱组成的三元复合驱^[13-14]。

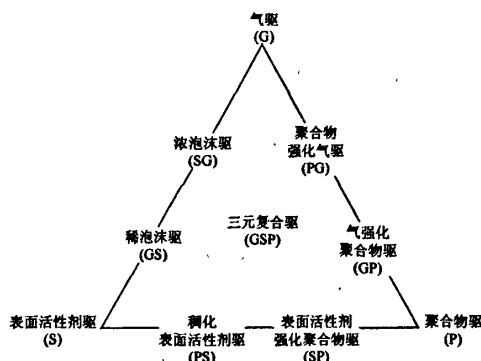


图1 聚合物驱、表面活性剂驱和气驱的组合

2 注水井调剂剂

2.1 单液法调剂剂

指调剂时只用一种工作液的调剂剂。它主要分为以下4类:

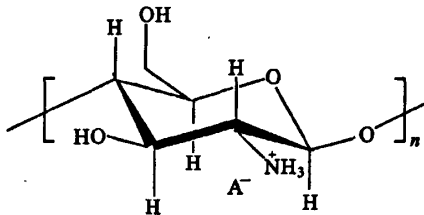
(1)沉淀型单液法调剂剂。铁盐水溶液是典型沉淀型单液法调剂剂,它在地层条件下水解,所产生的沉淀在远井地带起调剂作用,氢离子则在近井地带起增注作用,适合用于低渗透油藏调剂^[15]。

(2)凝胶型单液法调剂剂。硅胶凝胶是将水玻璃用活化剂(如碳酸氢铵)活化一定时间生成。人们一直研究用潜在酸、热敏活化剂(如乳糖、木糖)、硅酸酯化等方法延迟硅胶凝胶的胶凝时间^[16]。氢氧化铝凝胶是将三氯化铝与尿素配成溶液注入地层生成。尿素在地层温度下分解,使溶液由酸性变成碱性引起 Al^{3+} 水解,生成氢氧化铝凝胶^[17-18]。

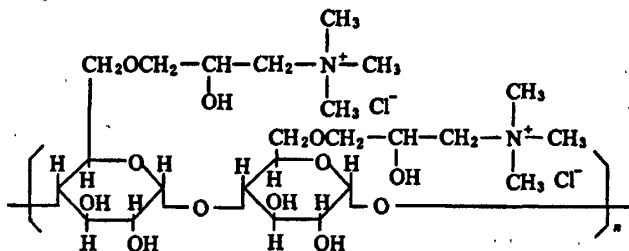
(3)冻胶型单液法调剂剂。冻胶是溶液中的聚合物为交联剂交联而成。聚合物主要用聚丙烯酰胺和部分水解聚丙烯酰胺;交联剂则主要用乙酸铬、乳酸铬、柠檬酸铝、酚醛树脂、脲醛树脂。新开发的3种低毒和环境友好的交联剂^[19-21]为



(聚乙烯亚胺)



(脱乙酰几丁质乳酸盐)



(阳离子淀粉)

减小聚合物和交联剂的浓度,各种冻胶可依次转变为不同封堵强度的冻胶:强冻胶、中等强度冻胶、弱冻胶^[22]、胶态分散体冻胶(colloidal dispersion gel, CDG),用于对地层进行不同剂量的处理并封堵不同的距离。

(4) 颗粒分散体单液法调剖剂。粘土、石灰、粉煤灰、预交联聚合物(水膨体)^[23]、微冻胶(micro-gel)^[24-25]、延迟膨胀的微冻胶(time delayed micro-gel)^[26]等均可分散在水中,配成颗粒分散体单液法调剖剂注入地层起调剖作用。微冻胶分散体是近年来开发的单液法调剖剂,它的优点是对剪切和油藏条件不敏感,可根据地层孔隙大小分布控制粒度,产生理想的调剖效果。延迟膨胀的微冻胶分散体是在微冻胶分散体的基础上发展起来的,它可使微冻胶设置在地层的不同位置。

除了上述4类调剖剂外,还有一类调剖剂,即天然气水合物调剖剂应属单液法调剖剂范畴。调剖用的天然气水合物是由注入的天然气与预先注入地层的冷水在地层压力条件下生成。所生成的天然气水合物能稳定存在,起调剖作用^[27]。

2.2 双液法调剖剂

指调剖时需用两种工作液的调剖剂。这两种工作液用隔离液隔开,当用水将它们顶替入地层一定距离(决定于隔离液用量)相遇,即可产生封堵物质,封堵高渗透层。双液法调剖剂也分沉淀型、凝胶型、冻胶型和分散体型4类。近年研究了交替向地

层注入部分水解聚丙烯酰胺和聚季铵盐的调剖法,所用的调剖剂即属冻胶型双液法调剖剂^[28]。

3 油井堵水剂

3.1 选择性堵水剂

指对油和水、出油层和出水层有不同封堵能力的堵水剂。下面是一些至今尚在研究和使用的选择性堵水剂:

(1) 聚丙烯酰胺溶液。利用吸附在地层表面的聚丙烯酰胺向水中伸展但不向油中伸展而起选择性堵水作用。

(2) 阳离子聚合物溶液。利用阳离子聚合物如阳离子淀粉、阳离子糊精等在产水高渗透层的负电表面吸附并向水中伸展的特性起选择性封堵作用^[29]。

(3) 体相冻胶^[30]。利用水不可改变冻胶的膨胀度而油可改变冻胶的膨胀度起选择性堵水作用。

(4) 微冻胶^[31]。利用粘附在孔隙表面的微冻胶在水流中不变形,但在油流中被压扁起选择性堵水作用。

(5) 泡沫^[32]。利用泡沫在水层稳定,而在油层不稳定的特性起选择性堵水作用。配泡沫用的起泡剂、除表面活性剂外,还可用表面改性的纳米颗粒^[33]。

(6) 冻胶泡沫(或称泡沫冻胶)^[34]。这种堵水剂同时有冻胶和泡沫的堵水选择性。它用双液法注

人,即交替注入聚合物+交联剂+起泡剂的工作液和气体。

(7)水溶性硅酸盐^[35-36]。利用水溶性硅酸盐具有热敏、盐敏、钙镁敏等特性起选择性堵水作用。

(8)水溶性皂。脂肪酸皂、环烷酸皂均为水溶性皂,利用其盐敏、钙镁敏的性能起选择性堵水作用。

(9)水包稠油。水包稠油为水基堵水剂,能优先进入出水层,并在乳化剂为水层表面吸附后破乳,析出稠油,起堵水作用。

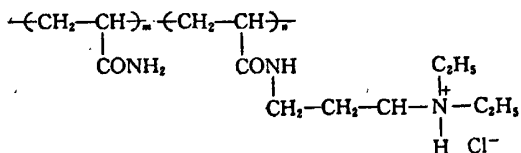
烷基卤代甲硅烷油溶液和四烷基原硅酸酯油溶液^[37-38],虽然是目前尚在研究中的选择性堵水剂,但由于是油基堵水剂,成本高,使用前景受到限制。

3.2 非选择性堵水剂

水泥浆、粘土体系(悬浮体系、絮凝体系、活化体系和固化体系)、各类树脂(酚醛树脂、脲醛树脂、环氧树脂)均为仍在使用的非选择性堵水剂。由于高渗透层多为产水层,流动阻力小,非选择性堵水剂将优先进入高渗透层,因此非选择性堵水剂也有选择性堵水的作用。

4 防砂用剂

主要用防砂桥接剂和防砂胶结剂。防砂桥接剂分无机阳离子聚合物(羟基锆、羟基铁、羟基锆、羟基钛等)和有机阳离子聚合物,如^[39]



这些聚合物可通过其阳离子链节将表面带负电的松散砂粒桥接起来,起防砂作用。防砂胶结剂也分无机防砂胶结剂(硅酸、硅酸钙)和有机防砂胶结剂(铬冻胶、锆冻胶^[40]、酚醛树脂^[41]、脲醛树脂^[42]、环氧树脂、呋喃树脂等)。

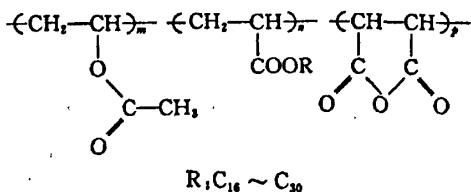
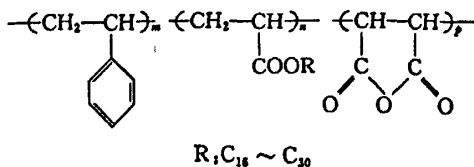
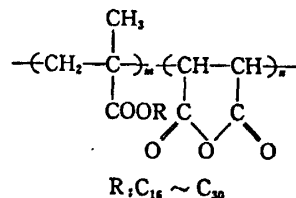
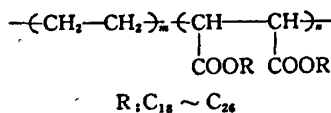
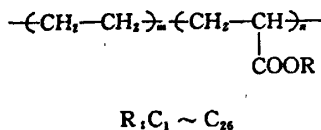
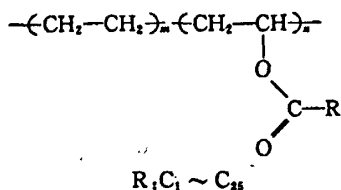
因出砂而形成地层的亏空空间可填充树脂涂敷砂或树脂涂敷砂与纤维的混合物,防止砂的继续产出。可用的纤维有聚酯纤维、聚酰胺纤维、聚丙烯纤维、碳纤维、玻璃纤维等^[43-44]。

5 防蜡剂与清蜡剂

5.1 防蜡剂

在稠环芳香烃型、表面活性剂型和聚合物型防蜡剂中,以聚合物型防蜡剂发展最快。下面是一些

近年研究过的聚合物型防蜡剂^[45-46]:



5.2 清蜡剂

(1)油基清蜡剂。这是一类溶蜡量很大的溶剂,如二甲苯、混合苯、重芳烃等。主要缺点是有毒、易燃,使用起来不安全。

(2)水基清蜡剂。这是一类以水作分散介质,其中溶有表面活性剂、互溶剂和(或)碱性物质的清蜡剂。虽然水基清蜡剂无毒、不燃、安全,但近年来没取得进展。

6 防垢剂与除垢剂

6.1 防垢剂

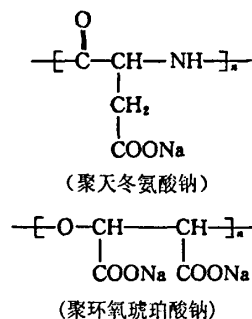
防垢剂可分为缩聚磷酸盐、膦酸盐、氨基多羧酸盐、表面活性剂和聚合物5个类型。防垢剂的发展

趋势是以膦酸盐、聚合物发展为主,各类型防垢剂复配使用。

重要的膦酸盐防垢剂有次氨基三亚甲基膦酸盐(ATMP)、次乙基羟基二膦酸盐(HEDP)、乙二胺四亚甲基膦酸盐(EDTMP)、六亚甲基二胺四亚甲基膦酸盐(HMDTMP)、二乙烯三胺五亚甲基膦酸盐(DETPMP)等。

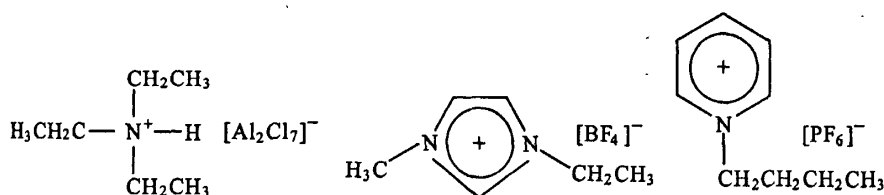
重要的聚合物防垢剂有聚丙烯酸盐(PAA)、聚顺丁烯二酸盐(PMA)、聚胺甲基丙烯酸盐(PIA)、丙烯酰胺与丙烯酸盐共聚物(AM-AA)、顺丁烯二酸酐、丙烯酸与甲代烯丙基磺酸盐共聚物(MA-AA-MAS)^[47]、顺丁烯二酸酐、丙烯酸与丙烯酸甲酯共聚物(MA-AA-MAC)^[48]等。

下面两种分别由天冬氨酸钠和环氧琥珀酸钠聚合得到的防垢剂因无毒并可生物降解而特为人们所重视^[49-50]：



6.2 除垢剂

除不同垢用不同的除垢剂,如除碳酸钙垢用酸、除硫酸钙垢用螯合剂或氯化钠水溶液。最难除的垢是硫酸钡、锶垢和硅酸钙垢。硫酸钡、锶垢可用冠醚(单环多元醚)或离子液体(ionic liquid)除去。离子液体可由下列有机含氮的阳离子和 Lewis 酸的阴离子组成^[51]：



硅酸钙垢则可用氢氟酸作垢转化剂,先将硅酸钙垢转化为氟硅酸钙,然后用螯合剂(二乙烯三胺五乙酸盐,DTPA)将氟硅酸钙除去^[52]。

7 粘土稳定剂

7.1 粘土防膨剂

粘土防膨剂分3类:一类是中和粘土表面负电性的化学剂如聚2-羟基-1,3-亚丙基二甲基氯化铵和聚二烯丙基二甲基氯化铵;另一类是与粘土表面羟基作用的化学剂如二甲基二氯甲硅烷;还有一类是转变矿物类型的化学剂,如温度在20~85℃内,1%~15%的硅酸钾或15%~25%的氢氧化钾可将蒙脱石转变为非膨胀性的钾硅铝酸盐(钾沸石);温度在260~310℃内,0.5~3.0 mol/L的尿素或甲酰胺水溶液,可使膨胀型粘土失去膨胀性。在3类粘土防膨剂中,最后一类是最有发展前景的粘土防膨剂。

7.2 粘土微粒防运移剂

这是一类桥接吸附于粘土微粒和地层表面的化学剂如聚甲基丙烯酸酰胺基-1,3-亚丙基三甲基氯化铵与聚-N-乙烯吡咯烷酮等可分别通过粘土微粒和地层表面的负电性与羟基产生桥接吸附,将粘土微

粒固定在地层表面,达到粘土微粒防运移的目的。

8 稠油乳化降粘剂

稠油乳化降粘剂均为水溶性表面活性剂。在低温(低于90℃)和低盐(低于 4×10^4 mg/L)情况下,可用烷基磺酸盐、聚氧乙烯烷基醇醚、聚氧乙烯聚氧丙烯丙二醇醚等做稠油乳化降粘剂。在高温(高于90℃)和高盐(高于 4×10^4 mg/L)情况下,可以用聚氧乙烯烷基醇醚的磺酸盐或羧酸盐等做稠油乳化降粘剂。特高温(高于150℃)、特高盐(高于 16×10^4 mg/L)油藏的稠油乳化降粘剂仍在开发中。

9 酸化用化学剂

9.1 酸化用酸

可用盐酸、氢氟酸、磷酸、硝酸、氨基磺酸、低分子酸(如甲酸、乙酸、丙酸)等酸化地层。可通过化学反应产生上述酸,如由氯化铵+甲醛反应产生盐酸^[53]、由乙酸乙酯水解产生乙酸等。氯化铵+甲醛和乙酸乙酯本身不是酸但可通过反应产生酸的这类化学剂称为潜在酸。

9.2 酸化用添加剂

(1) 缓速剂。有两类缓速剂,一类是表面活性

剂如聚氧乙烯烷基醇醚磺酸盐、聚氧乙烯烷基醇醚羧酸盐等,它们通过吸附起缓速作用;另一类是聚合物如聚-N-乙烯吡咯烷酮、聚二烯丙基二甲基氯化铵等,它们是通过提高酸的粘度,减小氢离子向地层表面的扩散速度而起缓速作用。

(2)缓蚀剂。酸液缓蚀剂可由下列化学剂组成:

①含氧化合物如肉桂醛、丁炔醇等;②含硫化物如乙硫醇、二乙基硫脲等;③含氮化合物如氯化烷基吡啶、氯化甲基咪唑、氯化苄基咪唑等;④增效剂如氯化亚铜、碘化钾、甲酸等;⑤分散剂如聚氧乙烯烷基醇醚羧酸盐等。表1给出酸液缓蚀剂一些典型配方^[54],这些配方可用于不同质量分数的各种酸,如10% CH_3COOH , 15% HCl + 3% HF , 28% HCl 等,使用温度高达135℃,使用的质量分数在0.2%~0.8%。

在酸液缓蚀剂中,下面一类比 Mannich 碱(由醛、酮、胺的胺甲醛化反应产生)缓蚀效果更好的双吡啶盐^[55]值得进一步研究:

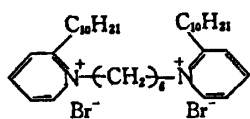


表1 酸液缓蚀剂配方

化学剂	在配方中的质量分数 w/%		
	1*	2*	3*
肉桂醛	15.0	15.0	15.0
乙硫醇	3.5	3.5	3.5
氯化烷基吡啶	6.0	0	6.0
氯化甲基咪唑	0	6.0	15.0
氯化苄基咪唑	20.0	20.0	0
碘化钾	0.5	0.5	0.5
甲酸	35.0	35.0	40.0
聚氧乙烯烷基醇醚羧酸盐	20.0	20.0	20.0

(3)铁离子稳定剂。有两类铁离子稳定剂:一类是螯合剂如次氨基三乙酸、二乙烯三胺五乙酸等;另一类是还原剂如联氨、硫脲、巯基乙酸^[56]、异抗坏血酸等。后两种还原剂除可将不稳定的 Fe^{3+} 还原至稳定的 Fe^{2+} 外,还能螯合铁离子,有更好的铁离子稳定作用,因此是重要的铁离子稳定剂。

(4)防乳化剂。有两类防乳化剂:一类是有分支结构的表面活性剂如聚氧乙烯聚氧丙烯丙二醇醚、聚氧乙烯聚氧丙烯五烯六胺等;另一类是互溶剂如二乙二醇乙醚、乙二醇丁醚等。

(5)粘土稳定剂。主要用阳离子聚合物如聚2-羟基-1,3-亚丙基二甲基氯化铵、聚二烯丙基二甲基氯化铵等。

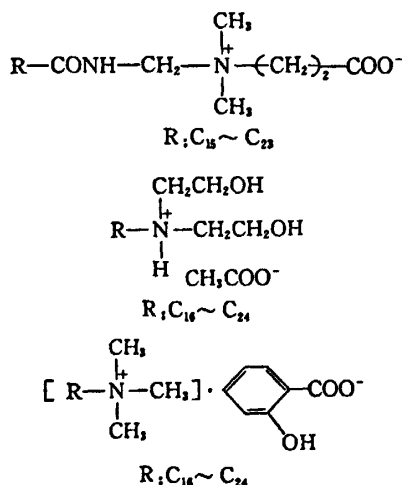
(6)助排剂。可用耐酸耐盐的表面活性剂如胺盐型表面活性剂、季铵盐型表面活性剂、聚氧乙烯烷

基醇醚的磺酸盐、羧酸盐、硫酸酯盐和磷酸酯盐等。

(7)防淤渣剂。主要用铁离子稳定剂,它通过对 Fe^{3+} 的螯合或将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ,减小淤渣生成^[57-58]。

(8)润湿反转剂。主要用水溶性表面活性剂(如烷基磺酸盐、聚氧乙烯烷基醇醚等)或互溶剂(如二乙二醇乙醚等),通过第二吸附层的形成或使缓蚀剂吸附层脱吸下来,恢复地层表面的亲水性。

(9)转向剂。有4类转向剂:第一类为粒状堵剂,如氨基磺酸、硼酸、苯甲酸、羧甲基淀粉、羟乙基纤维素、萘、松香、油溶性树脂等粒状堵剂,酸化后,产液中的水和油可将它们除去。最近研究了用二元羧酸如壬二酸、癸二酸、十二双酸等粒状堵剂作转向剂,酸化后,可用互溶剂(如乙二醇丁醚)除去^[59]。若向酸化地层交替注入酸与脂肪酸皂(R-COOM , R : $\text{C}_{11} \sim \text{C}_{17}$, M : $\text{Na}, \text{K}, \text{NH}_4$),则脂肪酸皂可与酸化产物 CaCl_2 和 MgCl_2 反应生成沉淀,阻止酸继续进入酸化过的地层而达到转向的目的,酸化后,所产生的沉淀可为油除去^[60]。第二类为粘弹性表面活性剂^[61],如



可为酸化产生的盐引发稠化起转向作用^[62-64],酸化后,粘弹性表面活性剂的稠化作用可用油、水或互溶剂除去。第三类为冻胶,加有破胶剂的冻胶(硼冻胶、铬冻胶、锆冻胶等)都可做酸液转向剂。第四类为泡沫,向地层交替注入起泡剂(如脂肪胺盐、季铵盐)和气体(如氮气),即可产生泡沫,封堵高渗透层,对酸液起转向作用^[65]。

10 压裂用化学剂

10.1 压裂液

压裂液主要用水基冻胶压裂液。配基液用的聚

合物为瓜尔胶和羟丙基瓜尔胶;交联剂为硼砂、有机硼(乙二醇与硼酸的酯化产物)和乳酸锆。新开发的压裂液有冻胶泡沫压裂液和粘弹性表面活性剂压裂液。前者是在水基冻胶压裂液中加入起泡剂,再与氮气或液体二氧化碳混合配成^[66];后者是由粘弹性表面活性剂加入助表面活性剂(如烷基磺酸盐、聚氧乙烯烷基醇醚磺酸盐)和金属盐(如氯化铵、氯化钾)配成^[67]。它们的使用都可减少压裂液对地层的伤害。

10.2 压裂用添加剂

压裂用到许多添加剂如防乳化剂、粘土稳定剂、助排剂、润湿反转剂、支撑剂、破坏剂、减阻剂、降滤失剂等。前4类添加剂与酸化使用的相同,这里仅介绍后4类添加剂。

(1)支撑剂。支撑剂主要使用高强度的烧结铝矾土(烧结陶粒)、低密度的微孔烧结铝矾土(微孔烧结陶粒)和核桃壳等。为了提高支撑剂的化学稳定性,可在其外表面涂敷酚醛树脂、环氧树脂或有机硅等。

(2)破坏剂。破坏剂的使用可将压裂液对地层的伤害减到最小。水基冻胶压裂液的破坏剂是破胶剂。可用的破胶剂有过氧化物(如过硫酸盐、过碳酸盐、过氧异丁醇、过氧乙酸等)、酶(如淀粉酶、纤维素酶)、潜在酸(如乙酸乙酯、苄氯)、潜在螯合剂(如草酸二甲酯、丙二酰胺等)。冻胶泡沫压裂液除用上述的破胶剂外,不需用其他破坏剂。粘弹性表面活性剂压裂液的破坏剂是地层油或地层水,这些表面活性剂可被地层油溶解或被地层水稀释,导致由线型胶束缠绕产生的结构破坏。此外还研究了其他破坏剂,其中包括压裂后注入的醇(如乙醇、异丙醇)和与压裂液一起注入的酯(如乙酸乙酯、烷基硫酸酯盐、聚丙烯酸酯等),它们通过水解都能产生相应的醇起破坏作用^[68]。

(3)减阻剂。通常用聚合物,如聚乙二醇、丙烯酰胺与丙烯酸钠共聚物、丙烯酰胺与(2-丙烯酰胺基-2-甲基)丙基磺酸钠共聚物、丙烯酰胺与丙烯酸-1,2-亚乙酯基三甲基氯化铵共聚物等^[69]。

(4)降滤失剂。可用的降滤失剂有水溶性降滤失剂(如水溶性聚合物、水溶性皂)、油溶性降滤失剂(如聚苯乙烯、聚异丁烯等)、酸溶性降滤失剂(如石英粉、碳酸钙粉等)。

11 采油用化学剂研究的趋势

近年来,采油用化学剂的研究表现出如下的趋

势:

(1)扩大原料的来源。采油用化学剂的原料主要来源于石油,但近年来非石油的原料来源正在扩大。由微生物发酵得到的生物聚合物和生物表面活性剂以及来自天然产品的交联剂和防垢剂就是一些例子。

(2)开发环保化学剂。采油用化学剂应用范围越来越广,用量越来越大,因此环保对它们提出了严格的要求。近年来,除限制了一些影响环保的化学剂(如铬化合物、聚氧乙烯烷基苯酚醚等)使用外,还开发了许多低毒、可生物降解的化学剂,如黄胞胶、鼠李糖脂、脱乙酰几丁质乳酸盐、聚天冬氨酸钠、聚环氧琥珀酸钠等典型的环境友好的化学剂。

(3)发挥化学剂多种效用。“一剂多用”是采油用化学剂研究的重要课题,人们在这方面做了大量工作,如粘弹性表面活性剂可用于压裂和酸化;阳离子淀粉可用于防砂、粘土稳定和调剖堵水;泡沫可用于驱油、调剖堵水、压裂和酸化等。

(4)利用化学剂的协同效应。在驱油方法中复合驱的提出以及防蜡剂、清蜡剂、防垢剂、除垢剂、缓蚀剂等配方的确定,都是研究化学剂协同效应所取得的成果。

(5)研制苛刻条件下油藏用的化学剂。苛刻条件是指超出正常状况下的条件,如高温、高盐、高含水率、高粘度、高含蜡、高渗透、低渗透等。近年来,针对苛刻条件油藏研究了许多化学剂,如高温高盐条件下使用的聚合物、表面活性剂、调剂剂、堵水剂、起泡剂、缓蚀剂;高渗透、低渗透油藏用的调剂剂、堵水剂等。

但必须指出,近年来对采油用化学剂的作用机理研究是很不够的,今后应该加强,以保证新的采油用化学剂能不断涌现、更新和优化。

参考文献:

- [1] 刘平德, 杨宁, 牛亚斌. 疏水缔合 AM/C₁₀AM/AMPS 三元共聚物的合成与盐水溶液粘度性能[J]. 油田化学, 2003, 20(1): 40-42.
LIU Ping-de, YANG Ning, NIU Ya-bin. Synthesis and aqueous solution viscosity of hydrophobically associating AM/C₁₀AM/AMPS tercopolymer for EOR[J]. Oilfield Chemistry, 2003, 20(1): 40-42.
- [2] 任敏红. 石油磺酸盐 KPS 的优化合成[J]. 油田化学, 2001, 18(4): 330-333.
REN Min-hong. Optimization of synthetic technology for petroleum sulfonate KPS[J]. Oilfield Chemistry, 2001,

- 18(4): 330-333.
- [3] 郭立志, 戴彩丽, 王业飞, 等. 埕东油田东区西北部 Ng_3^2 层调驱试验中驱油剂研究 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(2): 67-69.
- GUO Li-zhi, DAI Cai-li, WANG Ye-fei, et al. Formulation of oil displacement agent for profile control-active water-drive experiment on Ng_3^2 layer in northwest part of east block in Chengdong oilfield [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(2): 67-69.
- [4] 王业飞, 赵福麟. 一种以醚羧酸盐作为驱油体系的采油方法: 中国, 00129383.4 [P]. 2006-09-27.
- [5] 范森, 李宜强, 宋文玲, 等. 以重 α -烯烃研制驱油活性剂 α -烯基磺酸盐 [J]. 大庆石油学院学报, 2005, 29(3): 19-22.
- FAN Sen, LI Yi-qiang, SONG Wen-ling, et al. Preparation of surfactant α -alkene sulfonate by using heavy α -alkene [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2005, 29(3): 19-22.
- [6] LEVITT D B, JACKSON A C, HEINSON C, et al. Identification and evaluation of high-performance EOR surfactants [R]. SPE 100089, 2006.
- [7] 王海峰, 杨勇, 张国印, 等. 生物表面活性剂及其应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 72-217.
- [9] SHOKOYA O S, MEHTA S A, MOORE R G, et al. An environmentally-friendly process for improved recovery from light oil reservoirs [J]. JCPT, 2005, 44(8): 49-54.
- [10] MOORE R G, MEHTA S A, URSENBACH M G, et al. Air injection for oil recovery [J]. JCPT, 2002, 41(8): 16-19.
- [11] 赵福麟, 戴彩丽, 王业飞. 高温高盐油藏化学驱的发展趋势 [C]//李宗田. 高温高盐油藏提高采收率技术. 北京: 石油工业出版社, 2005: 43-54.
- [12] 李孟涛, 刘先贵, 杨孝君. 无碱二元复合体系驱油试验研究 [J]. 石油钻采工艺, 2004, 26(5): 73-76.
- LI Meng-tao, LIU Xian-gui, YANG Xiao-jun. Oil displacement test research on surfactant-polymer system [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2004, 26(5): 73-76.
- [13] 王增林, 王其伟. 强化泡沫驱油体系性能研究 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(3): 49-51, 55.
- WANG Zeng-lin, WANG Qi-wei. Performance of foam in the forced foam flooding system [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(3): 49-51, 55.
- [14] 张贤松, 王其伟, 隗合莲. 聚合物强化泡沫复合驱油体系 [J]. 石油天然气学报, 2006, 28(2): 137-138, 160.
- ZHANG Xian-song, WANG Qi-wei, KUI He-lian. Experimental study on polymer enhanced foam composited flooding system [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2006, 28(2): 137-138, 160.
- [15] KOSZTIN B, PALASTHY G, UDVARI F, et al. Field evaluation of iron hydroxide gel treatments [R]. SPE 78351, 2002.
- [16] 路群祥, 刘志勤, 贾丽云, 等. 延迟硅酸凝胶堵剂研究 [J]. 油田化学, 2004, 21(1): 33-35.
- LU Qun-xiang, LIU Zhi-qin, JIA Li-yun, et al. Preparation of delayed gelating silicic acid sol as water control agent [J]. Oilfield Chemistry, 2004, 21(1): 33-35.
- [17] BUSOLO M A, MOGOLLON J L, ROJAS F, et al. Permeability modifications by in-situ cations hydrolysis [R]. SPE 64990, 2001.
- [18] DAVIES S, HUGHES T, LEKKER H, et al. An aqueous delayed-gelation solution and methods of use in hydrocarbon well: GB, 2392460A [P]. 2002-08-29.
- [19] VASQUEZ J, CIVAN F, SHAW T M, et al. Laboratory evaluation of high-temperature conformance polymer systems [R]. SPE 80904, 2003.
- [20] REDDY B R, EOFF L, DALRYMPLE E D, et al. A natural polymer-based crosslinker system for conformance gel system [R]. SPE 75163, 2002.
- [21] REDDY B R, EOFF L, DALRYMPLE E D, et al. Natural polymer-based compositions designed for use in conformance gel systems [R]. SPE 84510, 2003.
- [22] WANG W, GU Y, LIU Y. Applications of weak gel for in-depth profile modification and oil displacement [J]. JCPT, 2003, 42(6): 54-61.
- [23] BAI B, LI L, LIU Y, et al. Preformed particle gel for conformance control: factors affecting its properties and applications [R]. SPE 89389, 2004.
- [24] FENG Y, TABARY R, RENARD M, et al. Characteristics of microgels designed for water shutoff and profile control [R]. SPE 80203, 2003.
- [25] CHAUVETEAU G, TABARY R, LE BON C, et al. In-depth permeability control by adsorption of soft size-controlled microgels [R]. SPE 82228, 2003.
- [26] FRAMPTON H, MORGAN J C, CHEUNG S K, et al. Development of novel waterflood conformance control system [R]. SPE 89391, 2004.
- [27] VIENOT M E. A method of restricting fluid flow with the formation of solid gas hydrates: GB, 2377718A [P]. 2002-07-16.
- [28] 康少冬, 卢祥国, 孙延昌, 等. 阴阳离子型聚合物溶液的调剖实验 [J]. 大庆石油学院学报, 2002, 26(3): 36-38.

- KANG Shao-dong, LU Xiang-guo, SUN Yan-chang, et al. Indept plugging with alternative injection of cation and anion polymer and its pilot test [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2002, 26(3): 36-38.
- [29] LESLIE T. XIAO H, DONG M. Tailor-modified starch/cyclodextrin-based polymers for use in tertiary oil recovery [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2005, 46(4): 225-232.
- [30] MORGAN J. GUNN A, FITCH G, et al. Development and deployment of a "bullheadable" chemical system for selective water shut off leaving oil/gas production unharmed [R]. SPE 78540, 2002.
- [31] CHAUVETEAU G, TABARY R, BLIN N, et al. Disproportionate permeability reduction by soft preformed gel [R]. SPE 89390, 2004.
- [32] HIRASAKI G J, MILLER C A. Reducing water permeability in subterranean formation; EP, 1312753A1 [P]. 2003-05-21.
- [33] BARAN J R Jr, CABRELA O J. Use of surface-modified nanoparticles for oil recovery: World, 03/100214A1 [P]. 2003-04-12.
- [34] ROMELO L, KANTZAS A. The effect of wettability and pore geometry on foamed gel blockage performance in gas and water producing zone [R]. SPE 89388, 2004.
- [35] TAYLOR K C, NASR-EL-DIN H A. Thermally responsive aqueous silicate mixture; WO, 2004/013460 [P]. 2004-02-12.
- [36] NASR-EL-DIN H A, TAYLOR K C. Evaluation of sodium silicate/urea gels used for water shut-off treatments [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2005, 48(3-4): 141-160.
- [37] KARMAKAR G P, GRATTONI C A, ZIMMERMAN R W. Relative permeability modification using an oil-soluble gelant to control water production [R]. SPE 77414, 2002: 1-8.
- [38] GRATTONI C A, JING X D, ZIMMERMAN R W. Disproportionate permeability reduction when a silicate gel is formed in-situ to control water production [R]. SPE 69534, 2001.
- [39] 张利平, 邓士奇, 黄敏. 阳离子聚合物 AEE 用作防膨抑砂剂的研究 [J]. 油田化学, 2002, 19(3): 208-209, 226.
- ZHANG Li-ping, DENG Shi-qi, HUANG Min. Cationized polyacrylamides AEE for use as clay stabilizer/sand controller [J]. Oilfield Chemistry, 2002, 19(3): 208-209, 226.
- [40] 戴彩丽, 李忠, 赵福麟. 表面稠化酸的固砂作用研究 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(5): 63-65.
- DAI Cai-li, LI Zhong, ZHAO Fu-lin. Mechanism of sand control with surface viscous acid [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(5): 63-65.
- [41] 宋显民, 孙成林, 张立民, 等. 酚醛树脂防砂与改性树脂固砂 [J]. 石油钻采工艺, 2002, 24(6): 57-60.
- SONG Xian-min, SUN Cheng-lin, ZHANG Li-min, et al. Sand control uses phenolic resin and sand consolidation uses modified resin [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2002, 24(6): 57-60.
- [42] 徐艳伟. 脲醛树脂固砂工艺技术文留油田的应用 [J]. 油田化学, 2001, 18(3): 196-198.
- XU Yan-wei. Urea-formaldehyde aqueous gelling fluid for sand consolidation and its uses at Wenliu oilfield [J]. Oilfield Chemistry, 2001, 18(3): 196-198.
- [43] DACCORD G, BEDEL J P, ERMEL M. A well treatment fluid containing fibres and a method of use; GB, 2392682 A [P]. 2004-10-03.
- [44] 赵修太, 李鹏, 邱广敏, 等. 注水井涂敷砂防砂用纤维的研制与应用 [J]. 钻采工艺, 2005, 28(6): 93-95.
- ZHAO Xiu-tai, LI Peng, QIU Guang-min, et al. A research and evaluation of fibred as sand control in Gudong oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2005, 28(6): 93-95.
- [45] 李克华, 赵修太, 郑延成, 等. 甲基丙烯酸十八烷基酯-马来酸酐共聚物的合成及其降凝性能 [J]. 精细石油化工进展, 2001, 2(2): 22-23.
- LI Ke-hua, ZHAO Xiu-tai, ZHENG Yan-cheng, et al. Synthesis of octadecyl methacrylate-maleic anhydride copolymer and its pour point depressing performance [J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2001, 2(2): 22-23.
- [46] 朱莹, 李俊台, 马敬环. 用于高含蜡原油的双聚合物降凝剂的研制 [J]. 油田化学, 2002, 19(4): 319-321.
- ZHU Ying, LI Jun-tai, MA Jing-huan. Preparation of bipolymeric pour point depressants for waxy crude oils [J]. Oilfield Chemistry, 2002, 19(4): 319-321.
- [47] 余敏, 刘明华, 黄建辉. MA-AA-MAS 共聚物的阻垢性能研究 [J]. 西南石油学院学报, 2005, 27(6): 65-67.
- YU Min, LIU Ming-hua, HUANG Jian-hui. Research on the scale inhibition performance of MA-AA-MAS copolymer [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2003, 27(6): 65-67.
- [48] 罗跃, 张兴华, 张煜, 等. 硫酸钡阻垢剂 MA-AA-MAC 共聚物的合成 [J]. 石油天然气学报, 2005, 27

- (4):506-507.
- LUO Yue, ZHANG Xing-hua, ZHANG Yu, et al. Synthesis of MA-AA-MAC co-polymer for BaSO₄ scale inhibitor [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(4):506-507.
- [49] 韶辉, 冷一欣. 聚天冬氨酸阻垢性能研究 [J]. 油田化学, 2001, 18(2):181-183.
- SHAO Hui, LENG Yi-xin. A study on scale inhibition properties of polyaspartate [J]. Oilfield Chemistry, 2001, 18(2):181-183.
- [50] 熊蓉春, 魏刚, 周娣, 等. 绿色阻垢剂环氧琥珀酸的合成 [J]. 工业水处理, 1999, 19(3):11-13.
- XIONG Rong-chun, WEI Gang, ZHOU Di, et al. Synthesis of polyepoxysuccinate as green scale-inhibitor [J]. Industrial Water Treatment, 1999, 19(3):11-13.
- [51] PALMER B J, FU D, CARD R, et al. Scale removal: US, 6924253 [P]. 2005-08-02.
- [52] 李金玲, 李天德, 李睿, 等. 三元复合驱硅垢除垢剂在螺杆泵举升井中的应用 [J]. 大庆石油学院学报, 2005, 29(1):28-29.
- LI Jin-ling, LI Tian-de, LI Rui, et al. Application of silicon containing scale remover to screw pump lift in ASP flooding [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2005, 29(1):28-29.
- [53] RODDY C W, KOCH R R, TODD B L. Composition and methods for the delivery of chemical components in subterranean well bores: US, 2005/0167104A1 [P]. 2005-08-04.
- [54] VORDERBRUGGEN M A, WILLIAMS D A. Acid corrosion inhibitor: GB, 2351077A [P]. 2000-12-20.
- [55] 李红林, 蒋晓慧, 钟飞, 等. 两种双吡啶盐在盐酸中对 A3 钢的缓蚀性能 [J]. 油田化学, 2005, 22(1):42-43, 84.
- LI Hong-lin, JIANG Xiao-hui, ZHONG Fei, et al. Corrosion inhibition capacity of two dipyrindinium salts for carbon steel A3 in hydrochloric acid [J]. Oilfield Chemistry, 2005, 22(1):42-43, 84.
- [56] BREZINSKI M M. Well acidizing compositions: EP, 1318271A1 [P]. 2002-03-12.
- [57] 葛际江, 赵福麟. 酸化淤渣的生成、防止和清除 [J]. 油田化学, 2000, 17(4):378-382.
- GE Ji-jiang, ZHAO Fu-lin. The occurrence prevention and removal of acid sludge [J]. Oilfield Chemistry, 2000, 17(4):378-382.
- [58] 郑延成, 余跃惠, 程红晓. 提高酸化效果的防渣剂 [J]. 石油天然气学报, 2005, 27(5):658-660.
- ZHENG Yan-cheng, SHE Yue-hui, CHENG Hong-xiao. Sludge preventive used for improving acidizing effect [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(5):658-660.
- [59] HUANG T, MCELFFRESH P M. Composition and method for diversion agents for acid stimulation of subterranean formation: WO, 2005/001242A2 [P]. 2005-01-06.
- [60] HENDERSON E, METCALF A S, ALDERDISE E. Successful diversion of acid stimulation in water producing oil well: case histories, Nisku formation, central Alberta [R]. SPE 77368, 2002.
- [61] CHANG F F, MILLER M J. A novel fluid system having controllable reversible viscosity: WO, 01/29369A1 [P]. 2001-04-26.
- [62] SAFWAT M, NASR-EL-DIN H A, DOSSARY K, et al. Enhancement of stimulation treatment of water injection wells using a new polymer-free diversion system [R]. SPE 78588, 2002.
- [63] AL-MUTAWA M, AL-ANZI E, RAVULA C, et al. Field cases of a zero damaging stimulation and diversion fluid from the carbonate formations in North Kuwait [R]. SPE 80225, 2003.
- [64] AL-ANZI E, AL-MUTAWA M, AL-HABIB N, et al. Positive reactions in carbonate reservoir stimulation [J]. Oilfield Review, Winter 2003-2004, 15(4):28-45.
- [65] LOGAN E D, BJOMEN K H, SARVER D R. Foamed diversion in the chase series of Hugoton field in the mid-continent [R]. SPE 37432, 1997.
- [66] 周继东, 朱伟民, 卢拥军, 等. 二氧化碳泡沫压裂液研究与应用 [J]. 油田化学, 2004, 21(4):316-319.
- ZHOU Ji-dong, ZHU Wei-min, LU Yong-jun, et al. Studies and uses of carbon dioxide foamed hydrofracturing fluid [J]. Oilfield Chemistry, 2004, 21(4):316-319.
- [67] 刘新全, 易明新, 赵金钰, 等. 粘弹性表面活性剂压裂液 [J]. 油田化学, 2001, 18(3):273-277.
- LIU Xin-quan, YI Ming-xin, ZHAO Jin-yu, et al. Viscoelastic surfactant based fracturing fluids [J]. Oilfield Chemistry, 2001, 18(3):273-277.
- [68] LEE J, NELSON E. Viscosity reduction of viscoelastic surfactant based fluids: WO, 2004/007904A1 [P]. 2004-01-22.
- [69] BLAIR C C, CHANG K T, TREYBIG D S, et al. Use of dispersion polymers as friction reducers in aqueous fracturing fluids: WO, 03/085232A1 [P]. 2003-10-16.

(编辑 刘为清)