

文章编号:1673-5005(2008)05-0126-06

固体颗粒对油田采出水性质的影响

祝 威

(中石化 胜利工程设计咨询有限责任公司, 山东 东营 257026)

摘要:通过试验研究了固体颗粒对油水界面张力、界面剪切粘度、悬浮液体系 zeta 电势等的影响,进而考察了不同条件(如矿化度、pH 值等)对胜利油田坨四采出水悬浮液稳定性的影响。结果表明:含固体颗粒的体系,油水界面张力、zeta 电势增加;固体颗粒浓度增加,水中油含量降低,固含量增加,界面剪切粘度增大,悬浮液稳定性增强。

关键词:胜利油田;采出水;稳定性;油含量;固含量;界面性质

中图分类号: TE 992.2

文献标识码: A

Effect of solid particle on quality of oilfield produced water

ZHU Wei

(Shengli Engineering Design and Consulting Limited Company of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257026, China)

Abstract: The effects of solid particle on the quality of Shengli Oilfield produced water were studied by measuring interfacial tension, interfacial shear viscosity, zeta potential between oil and water. And oil content and solid content were also measured in different conditions, such as mineralization and pH in the produced water. The results show that the interfacial tension and zeta potential increase in the solid system of produced water. With the concentration of solid particle increasing, oil content decreases and solid content increases in the produced water, and the interfacial shear viscosity between oil and water increases. The suspension stability increases in the solid system of produced water.

Key words: Shengli Oilfield; produced water; stability; oil content; solid content; interfacial property

油田采出水是以水为主,集固体杂质、油类等悬浮体、溶解气、盐类和一些有机物为一体的复合体系^[1-4]。油田采出水具有含油量高、悬浮物高、矿化度高等特点。在油田污水处理^[5-9]方面应从污水的基本性质出发,研究污水中各组分在污水中所起的作用,各组分之间的协同效应及它们对污水稳定性的影响。与原油接触的粘土颗粒可以吸附原油中的胶质、沥青质,使粘土表面具有弱亲水性,此条件下使得油-水-固体颗粒体系中存在多种形态,固体颗粒对乳液稳定性起重要作用^[10]。笔者考察不同条件对胜利油田坨四采出水悬浮液稳定性的影响,以期对油田采出水的处理具有一定的指导作用。

1 试 验

1.1 仪器与材料

仪器:紫外可见分光光度计 755B(上海精密科

学仪器有限公司);XFGT-03 压力式悬浮固体测定仪(哈尔滨市金博达机电有限公司);Zetasizer Nano ZS 纳米粒度及 zeta 电势分析仪(英国马尔文仪器有限公司);D/Max 2500 X-射线衍射分析仪(Rigaku 日本理学电器公司);高速搅拌器(CAT-120 型,德国);Dataphysics SCAT 型界面张力仪(德国 Dataphysics 公司);SVT-S 型界面粘弹性仪(日本协和株式会社);AEL-120 型分析天平(0.0001 g,湘仪天平厂);SONY 摄像机和 XS-18 显微镜等。

材料:MgCl₂·6H₂O、氯化钙、碳酸氢钠、氯化钠、氯化钾(分析纯,北京益利精细化学品有限公司生产);石油醚、盐酸(分析纯,北京市红星化工厂生产);硅胶(分析纯,青岛海洋化工厂分厂生产);煤油(用活化后的硅胶反复吸附处理,处理后煤油与二次蒸馏水的界面张力超过 46 mN·m⁻¹);胜利油田坨四原油;胜利油田坨四采出水。

收稿日期:2008-04-28

基金项目:中石化“十条龙”攻关项目(P04079)

作者简介:祝威(1968-),女(汉族),辽宁沈阳人,高级工程师,从事油田水处理研究和油气田地面工程的设计工作。

1.2 试验方法

1.2.1 模拟水的配制

根据采出水水质分析结果配制模拟水,模拟水离子组成如下:Na⁺ + K⁺,Ca²⁺,Mg²⁺,Cl⁻,HCO₃⁻ 的质量浓度分别为 6.026,0.10,0.339,9.891,0.502 g·L⁻¹。

模拟固体颗粒组成是根据采出水中固体颗粒组成(X 射线衍射分析)和粒径分布,计算各组分及其粒径的质量分数,然后用模拟样品配制,结果见表 1。

表 1 模拟固体颗粒组成和质量分数
Table 1 Composition and mass fraction of simulation solid grain %

粒径 d/ μm	石英	长石	方解石	蒙脱石	伊利石	高岭土	绿泥石
90~300	0.413	1.010	0.012	0.032	0.139	0.129	0.023
53~90	0.958	2.341	0.028	0.075	0.323	0.300	0.053
28~53	1.905	4.655	0.056	0.149	0.642	0.597	0.104
15~28	4.728	11.54	0.140	0.370	1.592	1.481	0.259
<15	15.49	37.84	0.461	1.213	5.216	4.852	0.849
合计	23.50	57.40	0.700	1.840	7.912	7.360	1.288

(1) 未加固体颗粒的模拟污水配制。在模拟水中加入质量分数为 2% 的脱水原油,在一定的转速下乳化一定时间,静置 5 min。

(2) 加固体颗粒的模拟污水配制。在模拟水中加入 200 mg·L⁻¹ 的固体颗粒,在 18 kr·min⁻¹ 条件下高速搅拌 10 min,再加入 2% 的脱水原油,在一定的转速下乳化一定时间,静置 5 min。

1.2.2 模拟油的配制

用硅胶吸附过的煤油作溶剂,以原油作溶质配制质量分数为 10% 的原油模拟油。

1.2.3 界面张力的测定

以质量分数为 10% 的原油模拟油作油相,采用 Dataphysics SCAT 型界面张力仪,30℃ 条件下分别测定不同条件下采出水/原油模拟油的界面张力,测定时间为 10 ks。

1.2.4 界面剪切粘度的测定

以质量分数为 10% 的原油模拟油作油相,采用日本协和 SVR 型界面粘弹性仪,在不同剪切速率条件下考察不同水相条件对油水界面剪切粘度的影响,测定温度 30℃。

1.2.5 ζ 电势的测定

用 Zetasizer Nano ZS 纳米粒度及 zeta 电势分析仪测定采出水的 ζ 电势。

1.2.6 油含量的测定

利用紫外分光光度法,采用中华人民共和国石

油天然气行业标准 SY/T5329-94《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》进行测定。

1.2.7 固含量的测定

采用滤膜过滤法测定采出水中的固含量。

2 结果分析

2.1 界面张力

油水界面张力反映了界面活性组分在油水界面的吸附情况。考察了矿化度、pH 值、固体颗粒浓度对界面张力的影响,结果见图 1~3。

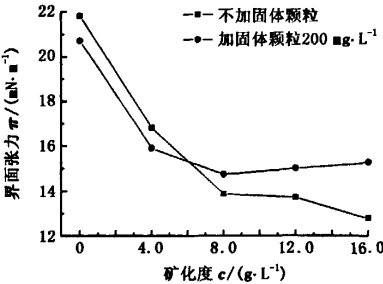


图 1 矿化度对油水界面张力的影响
Fig.1 Influence of salinity on oil-water interfacial tensions

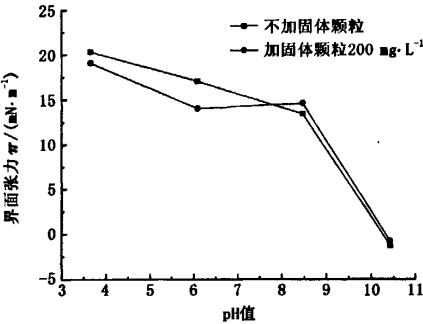


图 2 pH 值对油水界面张力的影响
Fig.2 Influence of pH values on oil-water interfacial tensions

由图 1 看出,含有固体颗粒及不含固体颗粒体系的界面张力均随矿化度的增加而降低,两者差别不大。不加固体颗粒体系的油水界面张力随矿化度升高而降低的原因主要是由于水相中无机盐的存在,削弱了离子型界面活性物质间的电性排斥,使吸附分子排列更加紧密,吸附量增加,界面张力降低。当矿化度在 0~8.0 g·L⁻¹ 时,随着矿化度的增加,界面张力降低幅度较大;在 8.0~16.0 g·L⁻¹ 时,矿化度增加,界面张力变化较小。

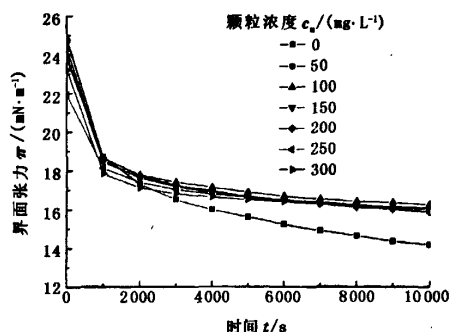
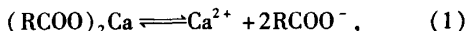


图3 固体颗粒浓度对油水界面张力的影响

Fig. 3 Influence of concentrations of solid grains on oil-water interfacial tensions

另外,由于原油中的钙、镁、铁等金属元素多以环烷酸盐、脂肪酸盐、酚盐的形态存在,它们多为一些油溶性的界面活性物质^[11],并且原油中钙的环烷酸盐是以离子键结合的化合物,吸附到界面上的环烷酸的钙盐可能会存在以下的电离平衡:



当模拟水中的 HCO_3^- 扩散到油水界面上时就会与 Ca^{2+} 结合发生如下反应:



反应(2)的发生促进了反应(1)的平衡向右移动,使原来与钙结合的环烷酸盐游离出来,增加了其界面活性,使界面张力明显降低。在试验范围内,随着矿化度的升高,越来越多的钙盐发生了上述反应,因此界面张力进一步降低,但原油中能够发生反应的钙有限,界面张力不会无限降低。

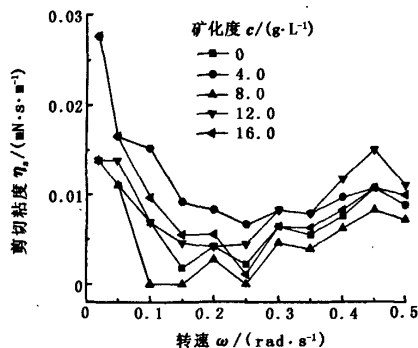
由图1还看出,含有固体颗粒的体系,矿化度小于 $8.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时界面张力降低;矿化度大于 $8.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,界面张力呈增加趋势。主要是由于界面活性组分在油/水界面与固体颗粒颗粒表面存在竞争吸附,当矿化度大于 $8.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,水中的金属离子与固体颗粒发生离子交换等,使固体颗粒吸附界面活性组分的能力增加,因而界面张力升高。

由图2可以看出,不加固体颗粒与加固体颗粒体系油水界面张力均随 pH 值的升高而降低,但两种体系的界面张力差别不大。说明在试验条件下,离子强度对界面张力的影响较大,固体颗粒对界面张力的影响较小。当 $\text{pH} = 10$ 时,界面张力明显降低(降至 $1 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ 以下,超出仪器的测量范围)。其主要原因是碱与原油中的酸性组分反应生成界面活性更强的物质,使油水界面层活性物质增多,界面张力下降。

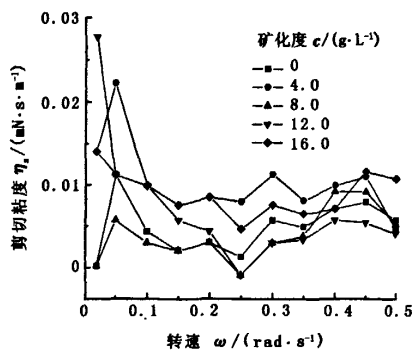
由图3看出,当水相中加入固体颗粒后,油水界面张力增加。在界面张力测定过程中,油相中的界面活性组分首先扩散到油水界面,扩散到油水界面上的界面活性组分会有一部分向水中扩散。当水相中加入固体颗粒后,由于固体颗粒具有较强的吸附性能,能够吸附扩散至水相中的界面活性组分,使滞留在油水界面上的界面活性组分的浓度减小,从而使界面张力增大。但固体颗粒的浓度在 $50 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 内对界面张力的影响不大,表明当固体颗粒浓度在 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时已经能够将扩散至水相中的界面活性组分完全吸附,因而再增加固体颗粒的浓度对界面张力不产生影响。

2.2 界面剪切粘度

油水界面剪切粘度反映了油水界面膜的强弱。考察了矿化度、pH 值、固体颗粒浓度对界面剪切粘度的影响,结果见图4~6。



(a) 未加固体颗粒



(b) 加固体颗粒200mg·L⁻¹

图4 矿化度对界面剪切粘度的影响

Fig. 4 Influence of salinity on between interfacial viscosity interface

由图4看出,在未加固体颗粒和加固体颗粒的两种体系中,矿化度对界面剪切粘度的影响趋势基本一致,且数值变化不大,表明两种体系在矿化度为

0~16.0 g·L⁻¹ 时对界面剪切粘度的影响不大。

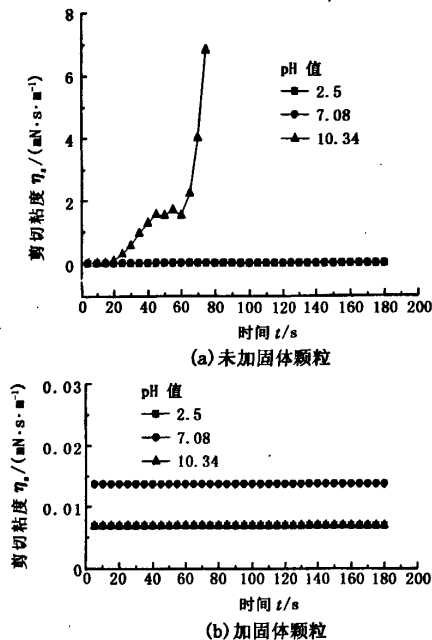


图 5 pH 值对界面剪切粘度的影响
(剪切速率 0.5 rad·s⁻¹)
Fig.5 Influence of pH values on oil-water interfacial viscosity

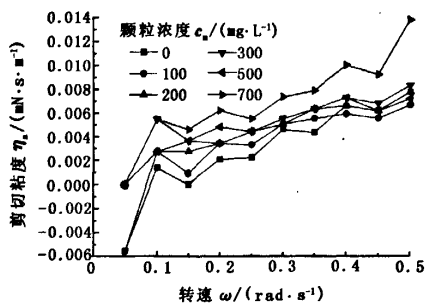


图 6 固体颗粒浓度对界面剪切粘度影响
(油相:10% 原油模拟油;水相:模拟水)
Fig.6 Influence of concentration of solid grains on oil-water interfacial viscosity
(oil:10% simulation oil, water:simulation water)

由图 5(a) 看出,对于未加固体颗粒体系,碱性条件下界面剪切粘度随时间的增加快速升高,而酸性和中性条件的油水界面剪切粘度基本不随时间变化。原因是在碱性条件下,碱与原油中相对分子质量较小的酸性组分发生快速反应,生成界面活性更强的物质(皂类),这些界面活性物质迅速扩散到油水界面,增强油水界面膜的强度,使界面剪切粘度升高。由图 5(b) 看出,对于含有固体颗粒的体系,在

酸性、中性及碱性条件下,界面剪切粘度均不随时间变化。

当 pH = 10 时,未加固体颗粒的油水体系界面剪切粘度明显升高,而加入固体颗粒的体系界面剪切粘度不随 pH 值变化。在界面剪切粘度测定过程中,油相中的界面活性组分首先扩散至油水界面,油水界面上的界面活性组分进一步向水中扩散,而分散在水相中的固体颗粒能够吸附水相中的界面活性组分,使油水界面上的界面活性组分难以滞留在油水界面上,并且这些被颗粒吸附的组分随固体颗粒在重力作用下而难以聚集到油水界面上,因而含有固体颗粒体系的界面剪切粘度在 pH = 10 时不随时间变化。但是,原油中的一些界面活性组分可以吸附到油水界面上,吸附到界面上的活性组分的亲水头基将伸向水相吸附到固体颗粒表面。因此在油水界面上就存在着一个吸附平衡的问题,一方面原油中界面活性组分向油水界面上吸附,另一方面吸附到界面上的活性组分在固体颗粒上吸附,两个吸附过程的结果可能导致了界面活性组分在油水界面吸附量的降低,因此导致了油水界面剪切粘度降低。

由图 6 可知,固体颗粒浓度在 0~700 mg·L⁻¹ 时,界面剪切粘度随剪切速率及固体颗粒浓度的增加而增加,体系呈现胀流型流体特性。由于固体颗粒同时含有极性和非极性基团,油水界面接触后,水中粒径较小的固体颗粒逐渐向油水界面扩散,使界面剪切粘度增加。

2.3 ζ 电势

ζ 电势能够反映乳状液的稳定性。考察了矿化度、pH 值、固体颗粒对 ζ 电势的影响,结果见表 2、3。

表 2 矿化度对 ζ 电势的影响
Table 2 Influence of salinity on ζ potentials of particles in suspensions

矿化度 c/(g·L ⁻¹)	ζ 电势 E/mV	
	未加固体颗粒	加固体颗粒
0	-11.42	-19.91
4.0	-15.07	-20.21
8.0	-14.66	-18.90
16.0	-16.33	-18.36

注:固体颗粒浓度为 200 mg·L⁻¹,测定温度为 30℃,剪切速率 18 kr·min⁻¹,剪切时间 120 s。

由表 2 可以看出,未加固体颗粒的体系,矿化度增加,ζ 电势的绝对值增大。原因是由于模拟水中的某些离子与溶液的定位离子同号,使双电层厚度增加,因而 ζ 电势增大。加入固体颗粒的体系,矿化

度增加, ζ 电势绝对值变化不大, 但较未加固体颗粒体系的 ζ 电势增大。主要原因可能是颗粒物具有强烈的吸附作用, 能够使部分油珠被吸附在颗粒表面, 颗粒和油珠常常带负电荷, 使油珠-固体颗粒表面的双电层增厚, 悬浮体的 ζ 电势增加。

表 3 pH 值对 ζ 电势的影响

Table 3 Influence of pH values on ζ potentials of particles in suspensions

pH 值	ζ 电势 E/mV	
	未加固体颗粒	加固体颗粒
2.37	-5.24	-2.30
7.27 (采出水)	-17.33	-21.78
10.74	-15.30	-18.36
12.10	-5.3	—
13.21	3.4	—

由表 3 看出, 在中性条件下, ζ 电势的绝对值最大。在悬浮液体系中, 油珠及颗粒表面均含有大量—OH 官能团, 构成羟基化的表面。固液界面的羟基在溶液中可以加质子或脱质子, 呈现弱酸性或碱性, 表现为两性基团。表面羟基可以在溶液中吸附 H^+ 或— OH^- , 调整固液界面的酸碱平衡, 也可以在溶液中吸附金属离子。在酸性条件下, 由于加入 10% 的 HCl 后, 体系的电解质浓度增加, H^+ 被吸附到油珠或颗粒表面, 能够压缩双电层使体系的 ζ 电势减小。在碱性条件下, pH 值增加, ζ 电势减小。一方面由于 pH 值增加, 体系中离子强度增加, 压缩了双电层厚度, 使 ζ 电势绝对值减小; 另外, 油珠或颗粒表面吸附了异号离子, 使颗粒表面的电荷量减少, ζ 电势降低。

另外, 分别考察了采出水、采出水 + 固体颗粒、采出水 + 原油、采出水 + 固体颗粒 + 原油不同体系模拟污水的 ζ 电势, 其值分别为 -5.865, -9.258, -16.33, -18.36 mV。采出水中加入固体颗粒和原油后, 体系的 ζ 电势的绝对值由小到大的顺序为: 采出水, 采出水 + 颗粒, 采出水 + 原油, 采出水 + 颗粒 + 原油, 说明油珠表面所带的负电荷多于固体颗粒表面所带负电荷。采出水 + 固体颗粒 + 原油体系的 ζ 电势绝对值最大, 这是固体颗粒与油珠固体作用的结果, 表明此体系的悬浮液稳定性增强。

2.4 悬浮液稳定性

分别考察了矿化度、pH 值、固体颗粒浓度对悬浮液稳定性的影响, 结果见图 7~10 和表 4。

由图 7 可知, 固含量随着矿化度的增加而增加, 加入固体颗粒的体系, 固含量明显增加。由于模拟

水中的某些离子胶体定位离子同号, 使双电层厚度增加, ζ 电势增大, 增加了固体颗粒之间的电斥力, 使固体颗粒的聚结稳定性增强, 因而固含量增加。

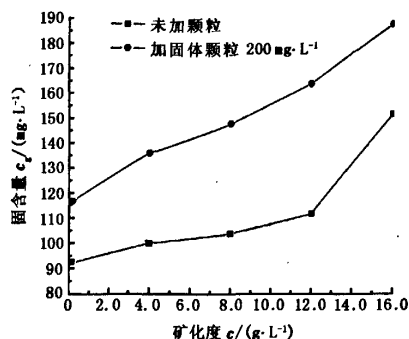


图 7 矿化度对固含量的影响

Fig. 7 Influence of salinity on solid content of system

由图 8 可知, 油含量随着矿化度的增加而降低。当矿化度较高时对悬浮液的稳定性有一定破坏作用。当矿化度在 $0 \sim 8.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 油含量降低幅度较大; 在 $8.0 \sim 16.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 油含量降低的幅度稍小。这是由于在 $8.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 之前 ζ 电势压缩程度较大, $8.0 \sim 16.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时 ζ 电势压缩程度较小。随矿化度的升高, ζ 电势和水化层厚度降低, 使液珠间的静电斥力及水化层对分散相液珠的保护作用大大减小, 增加了油滴间的碰撞聚结机会; 矿化度的升高还使油水界面膜强度明显降低, 液膜强度的降低有利于液珠间的聚并, 使油珠间絮凝聚并的程度增加。当体系中加入固体颗粒后, 由于较大的固体颗粒吸附了一部分油珠聚沉, 因而油含量降低。

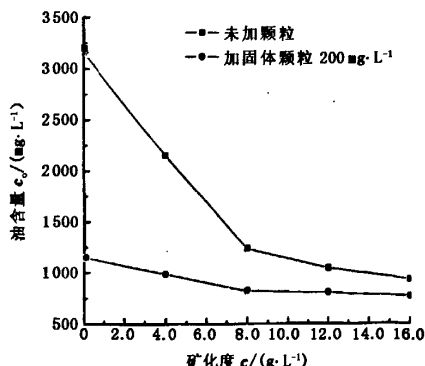


图 8 矿化度对油含量的影响

Fig. 8 Influence of salinity on oil content of system

表 4 pH 值对悬浮液稳定性的影响
Table 4 Influence of pH values on stability
of suspensions

pH 值	油含量 $c_o/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		固含量 $c_s/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	
	未加固 体颗粒	加固 体颗粒	未加固 体颗粒	加固 体颗粒
1.73	327.1	388.8	92	144
7.27(采出水)	932.9	797.6	152	188
11.6	480.0	674.1	96	152

注:剪切时间 120 s,剪切速率 $18 \text{ kr} \cdot \text{min}^{-1}$,固体颗粒浓度 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

由表 4 可知,在强酸性、中性和强碱性条件下,中性条件时水中的油含量和固含量较大,表明强酸性或强碱性条件不利于原油 O/W 型悬浮液的稳定。在酸性和碱性条件下,由于 pH 值的改变,使体系的离子强度发生变化,界面水相一侧的双电层及水化层厚度有所降低,增加了油滴间的碰撞聚结机会,较小的固体颗粒随油珠上浮,较大的颗粒聚集沉降,从而使水相中的油含量和固含量降低。

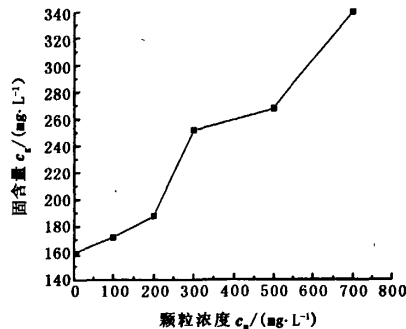


图 9 固体颗粒浓度对悬浮液固含量的影响
Fig.9 Influence of concentrations of solid particles on solid content in suspensions

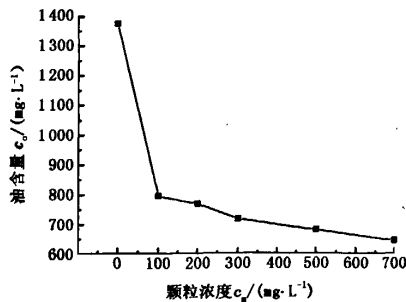


图 10 固体颗粒浓度对悬浮液油含量的影响
Fig.10 Influence of concentrations of solid particles on oil content in suspensions

由图 9 看出,随着固体颗粒浓度的增加,悬浮液的固含量增加。这是因为微细的固体颗粒能粘附在

油珠表面,粘土颗粒表面及油珠均带有负电荷,使形成的颗粒的电负性增强,其相互之间的排斥力增大,阻止其聚并,因而悬浮在体系中的固含量增加。

由图 10 看出,体系中含有固体颗粒时,油含量明显降低。且随着固体颗粒浓度的增加,油含量逐渐降低,说明固体颗粒具有降低油含量的作用。其主要原因是固体颗粒表面能够粘附部分油珠,这些油珠随固体颗粒物一起聚沉,因而油含量降低。

3 结 论

- (1) 固体颗粒浓度增加,水中固含量增加,油含量降低;含固体颗粒的体系,油水界面张力、界面剪切粘度、 ζ 电势的绝对值增加,悬浮液稳定性增强。
- (2) 矿化度在 $0 \sim 16.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,矿化度升高,悬浮液的固含量及 ζ 电势绝对值增大,悬浮液稳定性增强,但油含量及油水界面张力降低。
- (3) 中性条件时水中的油含量和固含量较大,表明强酸性或强碱性条件不利于原油 O/W 型悬浮液的稳定。
- (4) 原油及固体颗粒表面带负电荷,由于阳离子型聚合物兼有混凝剂和助凝剂的作用,因此阳离子型聚合物是理想的絮凝剂。

参考文献:

[1] BUFFE J., VAN LEEUWEN H. P. Environmental particles[M]. Chelsea: Lewis Publishers, 1992:15.
[2] 汤鸿霄,钱易,文湘华. 水体颗粒物和难降解有机物的特性与控制技术原理[M]. 北京:中国环境科学出版社,2000:3-7.
[3] 汤鸿霄. 水体颗粒物. 当代化学前沿[M]. 北京:中国致公出版社,1997:764.
[4] STUMM W. Chemistry of solid-water interface[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1990:8.
[5] 张建,李明远,郭继香,等. 阻垢剂对悬浮液稳定性的影响[J]. 应用化工,2007,36(6):550-553.
ZHANG Jian, LI Ming-yuan, GUO Ji-xiang, et al. The effect of antiscaler on suspension stability[J]. Applied Chemical Industry, 2007,36(6):550-553.
[6] 宗华,郭继香,李明远. 油田注聚合物采出水处理试验研究(I):化学剂对含油污水处理及机理研究[J]. 精细化工,2005,12(增刊):93-96.
ZONG Hua, GUO Ji-xiang, LI Ming-yuan. Investigation of oil with polymer wastewater treatment (I): oil wastewater treatment by chemical agents and mechanism [J]. Fine Chemicals,2005,12(sup):93-96.

(下转第 136 页)

- 物驱适应性评价[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(3): 63-67.
- XU Jia-feng, CHENG Lin-song, LI Chun-tao, et al. Evaluation on adaptability of superhigh molecular polymer flooding of ordinary heavy oil[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(3): 63-67.
- [5] 景贵成, 高树生, 熊伟, 等. STP 强凝胶调剖剂的深度调剖性能[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 133-135.
- JING Gui-cheng, GAO Shu-sheng, XIONG Wei, et al. The performance of STP hard-gel in deep profile controlling[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3): 133-135.
- [6] 李明远, 郑晓宇, 林梅钦, 等. 交联聚合物溶液深部调驱先导试验[J]. 石油学报, 2002, 23(6): 72-77.
- LI Ming-yuan, ZHENG Xiao-yu, LIN Mei-qin, et al. Petroleum engineering experiment in situ taking linked polymer solution (LPS) as in-depth profile control agent[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(6): 72-77.
- [7] 李明远, 林梅钦, 郑晓宇, 等. 交联聚合物溶液深部调剖矿场试验[J]. 油田化学, 2000, 17(2): 144-147.
- LI Ming-yuan, LIN Mei-qin, ZHENG Xiao-yu, et al. Linked polymer solution as in-depth permeability control agent laboratory study and field test[J]. Oilfield Chemistry, 2000, 17(2): 144-147.
- [8] 王健, 袁迎中, 李晓平, 等. 低渗透裂缝性油藏复合深部调驱技术研究与应用[J]. 精细石油化工进展, 2006, 7(6): 39-42.
- WANG Jian, YUAN Ying-zhong, LI Xiao-ping, et al. Structure of polymeric paraffin inhibitor and factors influencing paraffin inhibiting efficiency[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2006, 7(6): 39-42.
- [9] 雷占祥, 陈月明, 陈耀武, 等. 聚丙烯酰胺反相乳液深部调驱先导试验初步结果[J]. 油田化学, 2006, 23(1): 81-84.
- LEI Zhan-xiang, CHEN Yue-ming, CHEN Yao-wu, et al. Preliminary results of pilot test on in-depth permeability profile control/emulsion flood by using PAM inverse emulsion[J]. Oilfield Chemistry, 2006, 23(1): 81-84.
- [10] 雷占祥, 陈月明, 冯其红, 等. 聚丙烯酰胺反相乳液深部调驱数学模型[J]. 石油学报, 2006, 27(5): 103-107.
- LEI Zhan-xiang, CHEN Yue-ming, FENG Qi-hong, et al. Mathematical model for combination of in-depth profile control and flooding of polyacrylamide inverse emulsion[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(5): 103-107.

(编辑: 刘为清)

(上接第 131 页)

- [7] 郭继香, 李明远, 刘娜, 等. 生物破乳剂对油田采出水处理的试验研究[J]. 精细化工, 2005, 12(增刊): 97-99, 127.
- GUO Ji-xiang, LI Ming-yuan, LIU Na, et al. Investigation of produced water of oilfield treatment by using biode-musifier[J]. Fine Chemicals, 2005, 12(sup): 97-99, 127.
- [8] 郭继香, 袁存光, 郑参军, 等. 用蛭石吸附法脱除污水中的重金属[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1998, 22(2): 60-63.
- GUO Ji-xiang, YUAN Cun-guang, ZHENG Can-jun, et al. Removal of heavy metals from waste water by using vermiculite adsorption[J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natural Science), 1998, 22(2): 60-63.
- [9] 郭继香, 袁存光. 吸附法处理石油污水中 COD 的试验研究——吸附剂及吸附条件的选择[J]. 精细化工, 2000, 17(9): 522-525.
- GUO Ji-xiang, YUAN Cun-guang. Experimental study of the disposal of COD in oilfield wastewater adsorption—selection of adsorbents and experimental conditions[J]. Fine Chemicals, 2000, 17(9): 522-525.
- [10] 王慧云. 油田采出水稳定性机理研究[D]. 北京: 中国石油大学 化学科学与工程学院, 2005: 118.
- [11] 郭继香. 原油界面活性组分性质及乳化性能研究[D]. 北京: 中国石油大学 化学科学与工程学院, 2004: 76.

(编辑: 刘为清)