

# 三次采油用表面活性剂的制备、应用及进展

隋智慧<sup>1,2</sup> 林冠发<sup>3</sup> 朱友益<sup>4</sup> 王国房<sup>5</sup> 卢寿慈<sup>1</sup>

(1 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083; 2 齐齐哈尔大学轻纺系, 齐齐哈尔 161006;

3 西安交通大学材料科学与工程学院, 西安 710049; 4 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

5 中国矿业大学化学与环境工程学院, 北京 100083)

**摘 要** 主要介绍和概述了三次采油(EOR)用表面活性剂的制备、性能、应用特点及其最新进展。阴离子型表面活性剂在三次采油中应用最为普遍, 它们主要包括石油磺酸盐、烷基苯磺酸盐、石油羧酸盐、木质素磺酸盐等, 而其中以磺酸盐型最多。三次采油用表面活性剂的研究趋向主要是耐高含盐量、耐高温、吸附损失低、成本低等方面。

**关键词** 三次采油, 表面活性剂, 复合驱, 采收率, 制备, 应用

中图分类号 TE 357.46

文献标识码 A

文章编号 1000-6613(2003)04-0355-06

石油能源的充分采出和合理利用已引起人们的极大重视。由于常规的一次和二次采油(POR和SOR)总采油率不是很高, 一般质量分数仅能达到20%~40%, 最高达到50%, 还有50%~80%的原油未能采出<sup>[1,2]</sup>。因此在能源日趋紧张的情况下, 提高采油率已成为石油开采研究的重大课题, 三次采油则是一种特别有效的提高采油率的方法。

三次采油的方法很多, 主要有四大类<sup>[3,4]</sup>: 一是热力驱, 包括蒸气驱、火烧油层等; 二是混相驱, 包括CO<sub>2</sub>混相、烃混相及其他惰性气体混相驱; 三是化学驱, 包括聚合物驱、表面活性剂驱、碱水驱和注浓硫酸驱等; 四是微生物采油, 包括生物聚合物、微生物表面活性驱。目前, 三次采油研究尤其以表面活性剂和微生物采油得到人们的普遍重视, 而表面活性剂驱则显示出明显的优越性。

## 1 表面活性剂的制备

由于三次采油用表面活性剂和一些助剂绝大部分是阴离子磺酸盐及羧酸盐, 而且其提高采油率最为显著, 因此这里主要讨论阴离子磺酸盐及羧酸盐的合成与制备。制备磺酸盐的磺化反应所用的磺化剂, 常用的有浓硫酸、发烟硫酸、三氧化硫和氯磺酸。对于大规模工业生产, 综合比较来看, 以三氧化硫磺化工艺为最优。

### 1.1 石油磺酸盐的制备<sup>[2,5]</sup>

石油磺酸盐是由富芳烃原油或馏分磺化得到的产物, 其主要成分是芳烃化合物的单磺酸盐, 其余的则为脂肪烃和脂环烃的磺化物或氧化物。目前主要有以下3种制备方法。

(1) 白油生产副产物法 在提炼白油的生产中利用磺化工艺, 除掉原料油中的芳烃及其他活性组分, 得到的主要产物是白油或黄矿油, 在水相中则主要是石油磺酸盐。这类石油磺酸盐的平均相对分子质量在400~580之间, 为过磺化物, 在用于提高采油率的技术作为驱油液所用表面活性剂需要进行一定的调整。

(2) 原油磺化法 一般用沸点为210~500℃的减二线馏分油为原料, 直接用三氧化硫或发烟硫酸磺化, 再用碱中和得到烷基芳基磺酸盐。采用原料油精制的方法生产石油磺酸盐, 其处理工艺为稠油→蒸馏→加氢→糠醛精制→磺化→中和等程序。这种制备石油磺酸盐的产品随磺化原油性质不同而有很大差别。环烷基原油芳烃含量高, 石油磺酸盐生产中副产品少, 易获得与原油形成超低界面张力的产品; 而石蜡基原油中的芳烃含量少, 石油磺酸盐生产中副产品高达60%以上, 生产成本低, 在经济及处理副产品的方面受到了限制。

(3) 两步磺化法 该法首先使原油在催化剂作用下与SO<sub>2</sub>和Cl<sub>2</sub>发生反应, 使原油中的烷烃生成磺酰氯, 再用SO<sub>3</sub>磺化使原油中的芳烃磺化生成芳基磺酸盐, 经NaOH中和后得到烷基磺酸盐和芳基磺酸盐。优点在于可利用原油的全馏分生成磺酸盐, 综合磺化转化率可达70%以上, 减少了副产

收稿日期 2002-06-19; 修改稿日期 2002-11-11。

资助项目 国家重点基础研究发展“973”规划项目(No. G19990225)。

第一作者简介 隋智慧(1971—), 男, 博士研究生, 讲师。电话 010-62348450。

物,降低了成本。

以上3种制备石油磺酸盐的方法,其产品浓缩物的标准活性物含量一般为60%~63%,约含饱和烃35%,约含水2%~5%。也可以制成活性物含量高达80%和低至30%左右的产品直接使用。对于生产石油磺酸盐,中国的厂家有杭州炼油厂、克拉玛依炼油厂、玉门炼油厂、大连石化厂、天津红岩炼油厂,其中克拉玛依炼油厂年产量最大,为2000 t/a。

## 1.2 烷基苯磺酸盐的制备<sup>[2,6~8]</sup>

合成的烷基苯基磺酸盐包括烷基磺酸盐、烷基苯基磺酸盐、重烷基苯基磺酸盐等,其中烷基碳数为C<sub>14</sub>~C<sub>16</sub>的重烷基苯基磺酸盐可与中国大多数油田的原油形成超低界面张力体系,因而成为重要的驱油用表面活性剂。重烷基苯基磺酸盐的生产方法依据原料的不同主要有3种,分述如下。

(1) 十二烷基苯生产法 这种方法的主要原料是十二烷基苯生产过程中的副产物,产量约占烷基苯的10%左右。重烷基苯随十二烷基苯的生产方式不同,组成和结构都有很大的差异。

(2) UOP法 该法是以煤油为原料,通过加氢去除不饱和物质,再脱氢制成 $\alpha$ -烯烃,然后与苯进行烷基化的生产烷基苯工艺是目前较为流行的方法。采用此法生产十二烷基苯时得到的重烷基苯,烷基碳数在C<sub>14</sub>左右,主要成分在C<sub>17</sub>左右,其结构为以直链烷基为主的烷基化合物,还有部分多烷基、烷基苯及苯环与环烷相连的烷基化合物。

(3) 蜡油裂解法 以蜡油裂解作为烷基化剂,与苯在催化剂AlCl<sub>3</sub>催化下经过傅氏反应得到的烷基苯的相对分子质量要比以煤油为原料得到的产物高,烷基碳数在C<sub>15</sub>~C<sub>20</sub>,其中C<sub>17</sub>~C<sub>19</sub>为主要成分。

## 1.3 石油羧酸盐的制备

石油羧酸盐是由石油馏分经高温氧化后,再经皂化、萃取分离制得的产物。石油羧酸盐属饱和烃氧化裂解产物,组成复杂,主要含有烷基羧酸盐及芳基羧酸盐。生产石油羧酸盐的主要原料为常四线及二线馏分,以汽相氧化或液相氧化法生产。汽相氧化工艺以空气中的氧为氧化剂,在325℃下,以油酸镉为催化剂氧化,氧/烃摩尔比为2.20,水/烃摩尔比为25~50,反应产物用NaOH皂化后,除去油相,得到石油羧酸盐产品,有效含量为10%左右。液相氧化工艺是在汽相氧化工艺基础上发展起来的新方法,采用液相氧化剂在180℃下进

行反应,石油羧酸盐的收率可提高至20%。

石油羧酸盐是一种重要的辅助表面活性剂,与合成烷基苯磺酸盐一起使用,可以增加表面活性剂体系的稳定性、抗稀释性和与碱的配伍性。

## 1.4 木质素磺酸盐及改性产品

木质素是自然界唯一能提供可再生芳基化合物的非石油资源。木质素主要来源于造纸业和纤维水解业。以碱法造纸得到的是碱性木质素,以亚硫酸法造纸得到的是木质素磺酸盐。木质素的分子结构非常复杂,但构成木质素分子的基本单元是苯丙烷。此外,木质素分子中还含有芳环、酚羟基、羧基、羰基等反应能力较强的官能团,能够与不同的化合物作用生成改性物质,拓宽了应用领域。

木质素磺酸盐有较强的亲水性,缺乏长链亲油基,因而单独使用效果不佳,但因来源丰富,价格低廉,成为人们开展改性研究的焦点。改性研究主要集中在增加木质素的亲油基方面,包括对碱性木质素进行烷基化,再用高磺酸钠及高锰酸钾进行氧化,以及利用醚化或取代反应,在木质素磺酸盐分子中引入烷烃得到改性产品。

## 1.5 聚丙烯酰胺和烷醇酰胺型表面活性剂

聚丙烯酰胺的制备只需将制备好的丙烯酰胺单体在一定条件下进行聚合即可。脂肪酸烷醇酰胺的制备方法有直接法和交酯法,前者是将脂肪酸直接与二乙醇胺缩合,此工艺简单,但产品纯度低,品质甚差;后者将脂肪酸甲酯与二乙醇胺反应,此法工艺较复杂,原料消耗较多,故成本高,但由于它的产品纯度高而得到应用;随后产生了二步法及其改进的方法<sup>[9]</sup>。

## 2 表面活性剂在三次采油中的应用

目前三次采油研究中所用表面活性剂的种类以阴离子型最多,其次是非离子型和两性离子型,应用最少的是阳离子型。

### 2.1 三次采油中用表面活性剂的类型及特点<sup>[2]</sup>

#### 2.1.1 阴离子表面活性剂

三次采油中阴离子表面活性剂,其分子结构中离子性亲水基为阴离子,这类阴离子亲水基组成的盐有磺酸盐、羧酸盐、硫酸(酯)盐、磷酸(酯)盐。在表面活性剂的分子中阴离子基的数量可为一个,也可为两个或两个以上;也可含有非离子性亲水基的嵌段结构,且种类也可不局限一种,其长度或嵌段结构的分子量也可互不相同,这些都取决于表面活性剂的功能、使用环境、驱油工艺参数等因素。

常用的有石油磺酸盐、烷基苯磺酸盐、木质素磺酸盐、 $\alpha$ -烯烴磺酸盐、脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸盐、烷基酚聚氧乙烯醚硫酸盐、脂肪醇聚氧乙烯醚羧酸盐、聚氧乙烯聚氧丙烯烷醚硫酸盐、烷基酚聚氧乙烯聚氧丙烯多硫酸盐等。

阴离子表面活性剂可用于各种表面活性剂驱中, 其中应用磺酸盐型最多, 而在磺酸盐型阴离子表面活性剂中, 以石油磺酸盐型最为普遍。石油磺酸盐成本较低, 界面活性高, 耐温性能好, 但抗盐能力差, 临界胶束浓度(CMC)较高, 在地层中的吸附、滞流和与多价离子的作用, 导致了在驱油过程中的损耗<sup>[10]</sup>。

### 2.1.2 非离子表面活性剂

其亲水基为非离子性基团。由于非离子性基团的亲水性要比离子性基团差得多, 因此非离子性表面活性剂要保持较强的乳化作用, 其分子结构中一般含有多个非离子性亲水基, 形成含许多醚键、酯键、酰胺键或羟基或者它们相互两两组合或多种组合的结构。常用品种有脂肪醇系列聚氧乙烯醚、烷基酚系聚氧乙烯醚、烷基酚系聚氧乙烯醚甲醛缩合物、聚氧乙烯聚氧丙烯嵌段共聚物、烷基酰胺型、聚氧乙烯聚氧丙烯醚亚砷、烷基(聚)配糖物、油酸聚氧乙烯酯等。

此类表面活性剂的优点是抗盐能力强、耐多价阳离子的性能好, CMC低, 但在地层中稳定性差, 吸附量比阴离子表面活性剂高, 而且不耐高温, 价格高。

### 2.1.3 两性表面活性剂

这类表面活性剂分子中既有阴离子亲水基又有阳离子亲水基而呈现两性, 常用的有甜菜碱型两性表面活性剂等。由于该种表面活性剂对金属离子有螯合作用, 因而大多数都可用于高矿化度、较高温度的油层驱油, 且能大大降低非离子型与阴离子型表面活性剂复配时的色谱分离效应, 但同样有价格高的缺点<sup>[11]</sup>。

## 2.2 助表面活性剂和其他助剂

强化采油用的驱油液以表面活性剂为主要添加剂, 同时还需要少量其他助剂, 如助表面活性剂、牺牲剂等。

### 2.2.1 助表面活性剂

它的作用是弥补表面活性剂在使用性能上的不足, 如增加溶解性, 抑制表面活性剂氧化和水解等。使用离子型表面活性剂制备微乳液时, 通常要加入一定的助表面活性剂。作助表面活性剂的常为同主

表面活性剂不同类型(结构或离子型不同)的表面活性剂(用量同主表面活性剂相比少得多)以及具有极性的中等链长的双亲有机物, 如醇、酸、酚、酮、胺、砷等, 有的甚至还加增塑剂、超塑剂、脂肪酸皂类等<sup>[12]</sup>, 其中以醇最为常用, 研究得最多。

### 2.2.2 牺牲剂

为了避免表面活性剂在强化采油过程中被岩层吸附, 在加入主表面活性剂驱油液之前先加入廉价的牺牲剂表面活性剂, 使之先被岩层吸附, 以减少表面活性剂的损耗。如可加入木质素及其改性产品、石油羧酸盐等<sup>[13]</sup>。

## 3 三次采油用表面活性剂的研究趋向

三次采油技术的发展对表面活性剂的要求越来越高, 不仅要求它具有低的油水界面张力和低吸附值, 而且要求它与油藏流体配伍和廉价。三次采油用表面活性剂的研究趋向主要有以下几个方面。

### 3.1 普通表面活性剂采油性能的强化

对普通表面活性剂采油性能的强化措施有多种表面活性剂的复配、辅助性能较好的助表面活性剂和其他化学助剂的添加、牺牲剂的加入等。

#### 3.1.1 表面活性剂的复配混合

由于合适的表面活性剂复配体系, 不仅能产生很好的协同效应而降低体系的界面张力, 而且还能够降低主表面活性剂的用量, 甚至驱油液表面活性剂的总浓度也有可能降低, 同时表面活性剂的其他性能如耐盐能力、耐温性能或吸附损耗减少等得到强化, 因此通过多种表面活性剂的合适复配混合, 可使各自优点充分发挥, 相互取长补短。复配混合表面活性剂的种类多种多样, 可有阴离子型之间、阴离子型与非离子型、两性离子型、生物表面活性剂和氟表面活性剂之间等的复配混合。只要选配适当, 都可有效降低油水界面张力, 提高采收率。这方面报道很多<sup>[2, 11, 14~17]</sup>。

#### 3.1.2 多种驱油方法的组合

由于各种驱油法, 都有各自的优缺点, 很难完全满足不同环境下油层的驱油。因此近年来, 提出了各种驱油法组合的新型采油技术, 有二元复合驱和三元复合驱。

二元复合驱目前研究较多的是碱/聚合物复合驱、表面活性剂/聚合物复合驱。对于碱/聚合物复合驱, 其中的碱与原油中的环烷酸类可形成皂类而自生出主要是羧酸盐类表面活性剂, 不但可以除去原油中的酸类, 而且能形成表面活性剂/聚合物驱

的驱油体系。由于它利用的表面活性剂是自生的，因此成本较低，而且与原油的配伍性好，相溶性强。这两种二元复合驱中的聚合物可改变驱油体系的流度比和黏度，改善了波及系数，特别是前者工艺简单、方法成熟、成本较低等，具有大面积推广的条件<sup>[3]</sup>。

三元复合驱就是表面活性剂驱、聚合物驱和碱水驱三种方法复合的新型技术。这是目前较为先进的采油方法，有许多的三元复合驱油体系已在各种油田试验区取得了显著效果，提高采收率在20%~35%<sup>[12, 15, 18, 19]</sup>。

### 3.1.3 选择合适的助表面活性剂和其他助剂<sup>[20~22]</sup>

可根据助表面活性剂和其他助剂所发挥的作用、主表面活性剂的类型、介质环境、油层类型、驱油工艺等综合合理地选择，有助于驱油液各种性能的增强，提高驱油效率。牺牲剂的加入还可降低驱替液中主表面活性剂的使用成本。

### 3.2 新型多功能表面活性剂的开发和选用

现在单组分表面活性剂，在其分子结构中已不再是单一亲水基团或单一的亲油基团，而是包含有多种亲水基或亲油基的复杂分子结构。

#### 3.2.1 提高抗盐能力

可在分子结构中引入非离子聚氧烷基，或在阴离子型分子中引入阳离子型亲水基，或引入同种或异种的另一个或多个的阴离子亲水基。如烷基酚聚氧乙烯醚硫酸盐和烷基酚聚氧乙烯醚二硫酸盐，是两类新型高效的采油用表面活性剂，它们无需助表面活性剂即可形成稳定的微乳液，可用于盐度为4%~30%油层驱油<sup>[23~29]</sup>。

#### 3.2.2 增强耐温性能

在分子结构中可引入非离子性基团(如聚氧乙基或聚氧丙基、氧乙基化的烷基酚基等)的特征结构，辅以其他合适的助剂，都将有效地提高驱油时的耐温性能<sup>[30]</sup>。

#### 3.2.3 降低成本

首先是选用廉价的表面活性剂，然后将其改性。成本较低的表面活性剂主要有三类<sup>[13]</sup>：木质素磺酸盐类、不需加助表面活性剂表面活性剂类和羧酸盐表面活性剂类。

最近报道的非石油磺酸盐类高效、价廉的表面活性剂有妥尔油沥青、鼠李糖脂等<sup>[18]</sup>。

#### 3.2.4 特种表面活性剂的研究

(1) 氟表面活性剂<sup>[31]</sup> 氟表面活性剂在三次

采油中的应用也是一个重要研究方向。

氟表面活性剂的优异特性(即“三高”——高表面活性、高热稳定性、高化学惰性和“二憎”——憎水、憎油)以及复配性能好和用量少(复配时只需很少量就能显著提高采收率)，毒性较低或极低等优点，使得其在石油工业特别是在三次采油中的应用日益受到重视。

(2) 生物表面活性剂<sup>[2, 16]</sup> 生物表面活性剂是一种很有潜力的驱油体系，已得到了很快发展。目前，生物表面活性剂在采油中的应用已扩展到小规模成片油田，对地面法和地下法均进行了尝试，即用已生产好的生物表面活性剂注入地下或在岩层中就地培养微生物产生生物表面活性剂用于强化采油。用 *Coryneformsp* 生产的生物表面活性剂可将油/水界面张力降至  $2 \times 10^{-2}$  mN/m，与戊醇配合则可降至  $6 \times 10^{-5}$  mN/m。由 *Nocardiasp*(诺卡氏菌)生产的海藻糖脂可使石油采收率提高30%。生物表面活性剂在大规模油田三次采油中效果到底怎样，地下法是否会对油田地况条件造成永久性影响等问题目前仍很难给出准确答案，但对采油用表面活性剂结构/性能要求的专一性以及适用条件的粗放性使生物表面活性剂在采油中的应用前景令人乐观。

鼠李糖脂是生物表面活性剂的一种。鼠李糖脂由生物发酵法制得。经“八五”、“九五”国家重点科技攻关，其工艺路线日趋成熟，是一种性能优良的复合驱用表面活性剂。因其生产工艺简单、成本低、原料来源广而具有竞争力。目前已有工业产品。

(3) 孪生表面活性剂 孪生表面活性剂是一类带有两个疏水链、两个离子基团和一个桥联基团的特殊结构的化合物，类似两个普通表面活性剂通过一个桥梁联结在一起，其桥联基团常见的是柔性基团，有双氧或长链醇类和烃基类，如  $-O-$ 、 $-O(CH_2CH_2O)_n-$  ( $n=1\sim 3$ )、 $-CH_2C_6H_4CH_2-$  和  $-CH_2CH(OH)CH_2-$  及其类似结构。孪生表面活性剂特点不仅具有极高的表面活性，而且具有很低的 Krafft 点和很好的水溶性，这是普通表面活性剂难以比拟的，因而引起了人们的极大关注。

### 3.3 三元复合驱油体系的研究动态

对于三元复合驱油体系，机理研究表明<sup>[2]</sup>：表面活性剂、碱和聚合物联合驱替效果最佳；碱与聚合物可改善表面活性剂的界面张力，而表面活性剂和碱的存在又可增强聚合物的黏度；三种成分在低浓度下大都相互匹配，可同时增强整体效果。

配方试验表明<sup>[2]</sup>：在驱油体系中加入低碳醇、

可降低石油磺酸盐在驱油过程中的损耗, 但地层的色谱分离效应使其丧失驱油能力; 以木质素为牺牲剂, 在驱油体系中加入尿素、六偏磷酸盐可增强抗盐能力和减少吸附损失;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  和  $\text{NaHCO}_3$  可代替  $\text{NaOH}$  等强碱剂, 降低碱耗, 提高采收率; 聚合物以 PAA (部分水解聚丙烯酰胺) 使用最多, 与 PAA 相比生物黄原胶增稠、耐盐、抗热性及抗剪切力较好, 但成本高, 抗生物降解能力差。

#### 4 结 语

综上所述, 三次采油用表面活性剂及其驱油体系的研究已有很多, 但不论在广度上还是深度上都显薄弱, 难以满足实际应用的需要。对合成工艺, 原料及表面活性剂的结构和组成深入、正确的了解及对界面作用性能等(超低界面张力、乳化、吸附、复配等)多方面机理的细致研究必将为合成性能优良的表面活性剂提供重要的指导, 加强这方面的研究必将对复合驱技术的工业化应用产生极大的推动作用。为此, 必须尽快开展如下几项值得注意的研究工作: (1) 深入开展室内合成增溶、抗盐、耐温、驱油性能最佳的各种表面活性剂的研究; 对于氟表面活性剂, 虽然中国在开发、表面化学性质研究、扩大应用范围等方面发展很快, 但与国外尚有较大差距, 当务之急是设法解决降低其应用成本和优化复配技术两大问题; 对生物表面活性剂和孪生表面活性剂的研究也应加快研究步伐; (2) 探索廉价、无污染的原料路线与合成方法的研究; (3) 进行综合的合成条件摸索, 为实现工业化生产提供各种工艺设计参数。中国油田多数已进入高含水后期开发阶段, 水驱采收率不高(平均只有 33%), 因此, 研制出高效、廉价、无环境污染的表面活性剂和驱油体系迫在眉睫, 以适应注水后期老油田进一步提高采收率的形势。这是当今世界的前沿技术, 只有这些技术的突破, 才能冲破几十年三次采油徘徊不前的局面, 使油田开发技术达到更高的水平。

#### 参 考 文 献

- 李干佐. 表面活性剂在能源和选矿工业中的应用[M]. 北京: 轻工业出版社, 2002
- 韩冬, 沈平平. 表面活性剂驱油原理及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001
- 刘继德, 牛亚斌. 油田化学品[M]. 北京: 中国物质出版社, 2001
- 刘方, 高正松, 缪鑫才. [J]. 精细化工, 2000, 17(12): 696~ 699
- 李淑华, 孙冬梅, 王则臻. [J]. 齐齐哈尔大学学报, 2001, 17(4): 25~ 26
- 谢湘华, 张谊华, 俞稼镛等. [J]. 华东理工大学学报, 1999, 25(6): 618~ 620
- 陈国庆. [J]. 化学工程师, 1999, 74(5): 50~ 51
- 张国印, 伍晓林, 廖广志等. [J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(2): 26~ 27
- 单希林, 康万利, 孙洪彦等. [J]. 大庆石油学院学报, 1999, 23(1): 32~ 34
- 赵立艳, 樊西惊. [J]. 西安石油学院学报, 2000, 15(2): 55~ 58
- 赵福麟. [J]. 石油大学学报, 1996, 20(4): 52~ 55
- 李政. [J]. 精细化工, 1994, 11(5): 4~ 7
- 李之平, 谢天英, 李庆莹. 表面活性剂驱油体系 [P]. CN 86107891, 1987
- Kalpaki, Bayram, Jeans, et al. Surfactant Combinations and Enhanced Oil Recovery Method Employing Same [P]. US 4811788, 1989
- 张逢玉, 卢艳, 韩建斌. [J]. 石油与天然气化工, 1999, 28(2): 130~ 132
- 杨林, 李茜秋, 杨振宇等. [J]. 日用化学品科学, 2000, 23(1): 136~ 138
- 张路, 罗澜, 赵滩等. [J]. 油田化学, 2000, 17(3): 268~ 271
- 张巧莲. [J]. 胶体与聚合物, 1994, 17(1): 46~ 47
- 王景良. [J]. 国外油田工程, 2000, 16(12): 1~ 5
- Burdyn R F, Chang H L, Cook E L, et al. Oil Recovery by Alkaline-surfactant Waterflooding [P]. DE 3822834, 1990
- Turkmenipinift Oil Ind. Res. Des. Inst. Compounds for Pressing out Oil from Stratum [P]. SU 1668642A, 1991
- As Sibe Oil Chem. Inst. Intensification of Oil Extract from Injection Wells [P]. SU 1440978A1, 1991
- G. Eimund, Soness Clas, H. pererik, et al. Branched Ether Surfactant and Their Use in an Enhanced Oil Recovery Process [P]. WO 9115290A1, 1991
- Maerker J. M. [J]. *Spe. Reservoir Eng.*, 1992, 7(1): 36~ 44
- Danzik, Mitchell, Wall, et al. Miscible Gas Enhanced Oil Recovery Method Using Ethoxylated Alkylphenol Sulfonate [P]. WO 8912158A1, 1989
- Teletzke, Ashcraft, Reed, et al. Oil Recovery Process Using Alkyl Hydroxyaromatic Dianionic Surfactant as Mobility Control Agents [P]. US 4828032, 1989
- Chevron Research Co. Enhanced Oil Recovery from Subterranean Formation [P]. US 4819729, 1989
- G. Eimund, Soness Clas, H. pererik, et al. Branched Ether Surfactant and Their Use in an Enhanced Oil Recovery Process [P]. WO 9115289, 1991
- Huang Hongdu. [J]. *JA OCS*, 1990, 67(6): 406~ 441
- Kazan Chem. Tech. Inst. Compounds for Forcing Oil out of Stratum [P]. RU 1773100C, 1995
- 费逸伟, 杜占和, 于贤福等. [J]. 精细石油化工, 2000, (1): 44~ 47

# Preparation, Application and Prospect of Surfactant Used in EOR

Sui Zhihui<sup>1,2</sup>, Lin Guanfa<sup>3</sup>, Zhu Youyi<sup>4</sup>, Wang Guofang<sup>5</sup>, Lu Shouci<sup>1</sup>

(1 School of Civil & Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083;

2 Department of Light Industry and Textile, Qiqihaer University, Qiqihaer 161006;

3 School of Materials Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049;

4 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petro China, Beijing 100083;

5 College of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** The preparation, performance, application and characteristics and prospect of surfactants used in EOR are introduced in the paper. Anionic surfactants which include petroleum sulfonates, alkylbenzene sulfonates, petroleum carboxylates and lignin sulfonates, in which sulfonate surfactant is the most well known type are widely used in EOR. Studies on these surfactants concentrate on the problems of resisting high salt concentration, resisting high temperature, low surfactants loss and low cost.

**Keywords** EOR, surfactant, combinational flooding, oil recovery rate, preparation, application

(编辑 张永圻)

## • 书 讯 •

### 《全国拟在建项目汇编》2003- 2004

为满足广大企业对建设项目信息的需求, 扩大投资机构、项目业主、工程咨询(设计)单位、施工企业、各类设备企业、建筑材料厂商等企业间交流与合作的机会, 全面深入地介绍 2003- 2004 年度的国内投资项目建设情况, 反映我国投资领域的最新发展, 国家发展计划委员会投资研究所与中国工程咨询协会水利专业委员会、电力专业委员会、化工专业委员会、环保专业委员会、中国交通运输协会交通科学研究分会决定, 在《全国基础设施项目汇编》2002- 2003 基础上, 按行业编撰《全国拟在建项目汇编》2003- 2004。

《全国拟在建项目汇编》2003- 2004 按行业设定为 6 卷, 分别为《水利卷》、《电力卷》、《化工卷》、《环保卷》、《交通卷》、《冶金矿山卷》, 每卷定价 220 元, 于 2003 年 2 月份出版发行。

每卷的内容包括以下部分: ①本行业 2003- 2004 年度拟在建项目精选; ②本行业投资规划与政策; ③推荐各行业优秀的设备供应商与服务单位; ④招商引资项目专题。

### 《BHI 投资建设资讯》系列电子杂志

《BHI 投资建设资讯》系列电子杂志是在中国拟在建项目网基础上, 改版后于 2002 年 9 月陆续推出的最新服务, 包括《电力版》、《化工版》、《交通版》、《冶金矿山版》、《水利版》、《环保版》、《建材版》、《机电版》等专刊。《BHI 投资建设资讯》以准确、及时提供实用的业内投资建设资讯为宗旨, 是您不可多得的一份行业资讯。共开设拟在建项目、项目快递、项目快讯、招商项目、工程建设、投资政策、经济要闻、行业动态、行业视点、新产品新技术、展会信息等多个栏目。每周一期, 每期共有信息条数 80~ 100 条, 6 万~ 8 万字, 对行业的热点和最新动态展望提供了一个全新的视角, 使用户在最短的时间内把握行业的整体脉络。

为答谢广大读者, 将由本刊的合作伙伴——中国拟在建项目网(www.bhi.com.cn)提供行业资讯免费三个月服务, 需要者请将联系方式发至 E-mail: service@bhi.com.cn。咨询电话 010- 68570776, 传真 010- 68570772。

#### 《BHI 投资建设资讯》索取单 (J)

单位名称		联系人	
E-mail		电话	
获取方式	<input type="checkbox"/> 免费三个月 <input type="checkbox"/> 订购 (每行业收费标准 380 元/年)		
需求类别	<input type="checkbox"/> 电力 <input type="checkbox"/> 建材 <input type="checkbox"/> 矿产冶金	<input type="checkbox"/> 化工 <input type="checkbox"/> 环保 <input type="checkbox"/> 机电	<input type="checkbox"/> 交通 <input type="checkbox"/> 水利 <input type="checkbox"/> 全部