

# 纳米液驱油技术研究现状

官军 徐文波 陶洪辉

(中国石油大庆油田责任有限公司)

官军等.纳米液驱油技术研究现状.天然气工业,2006,26(5):105-107.

**摘要** 纳米技术是指至少一维尺寸在0.1~100 nm范围,并且仅仅由于尺寸的变化而产生极其特殊性能的技术,它包括纳米材料的制备、性能表征及应用。纳米液是由纳米剂分散于水中的纳米液滴构成的溶液,纳米液在采油领域的应用主要是作为驱油剂,进一步提高原油的采收率。文章主要介绍了纳米液在采油方面的意义、机理及其现状。

**关键词** 纳米液 采收率 渗透率 低渗透油田

纳米科学技术(Nano-ST)是20世纪80年代末刚刚诞生并正在崛起的一项新技术。纳米科学技术是研究尺寸为0.1~100 nm的物质组成体系的运动规律和相互作用以及可能在实际应用中的技术问题。纳米材料为具有纳米尺寸的固态物质,如纳米碳管,纳米磁材料等。液体作为凝聚态物质的重要组成部分一直受到人们的关注。但长期以来,对液体的研究主要集中在宏观液体(尺寸超过 $1\mu\text{m}$ 或1000 nm)的物理化学特性和液体分子的微观结构及分子间的相互作用方面,对具有纳米尺寸的介观液体(10~1000 nm)还没有给予足够的重视。纳米是一个长度单位,1 nm等于百万分之一毫米。事实上,纳米尺寸的液体在自然界和人类生产生活中广泛存在。比如,油在平静的水面及液体在高度浸润的固体表面所形成的几十纳米厚的液态薄膜,就是二维的纳米液体。由两种互不相溶的液体形成的乳状液,其中有均匀分散的直径为几十纳米的液滴,就是零维的纳米液体。或者称为纳米液滴(Nano-droplet, ND)。它是一个比只含几个或几十个液体分子的团簇大得多(如胶束1~10 nm)、而比普通宏观液滴(如乳状液滴直径超过 $1\mu\text{m}$ )小得多的介观体系,尺寸为10~100 nm。其中所含的分子为104~107个。这些分子及其相互作用所产生的分子团簇在ND内同样可以存在,并且相互作用、相对运动,从而产生了液体分子和分子团簇不具有的性质。

## 一、纳米液驱油机理

### 1. 研究意义

我国大部分注水开发的中高渗透率老油田,已经进入高含水,高采出程度开采期。油田上多数油层已被水淹,剩余油零星分布严重,如何通过改变注入剂提高高含水油田和区块的开发效果及最终采收率已成为亟带解决的问题。另外,很多低渗透油田孔隙度小,渗透率低,低渗透油田水测渗透率在 $50\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 以下,水驱的洗油效率低,波及体积小,注入压力高,开发较困难。需要新的采油技术来解决这些问题。纳米液驱是一种新兴的采油技术,它以水溶液为传递介质,在水中形成几百个到几十个甚至几个纳米的小颗粒,具有很大的比表面积和表面能,大大降低了油水界面张力,使得注入流体在冲刷孔隙的过程中,使原油易于剥落成小油滴,而被驱替液驱替出来。另一方面,纳米液的颗粒对小孔道有暂时堵塞作用,从而扩大了波及体积,使未被波及到的原油驱替出来以达到提高采收率、降压增注的目的。开展纳米液增注增产技术研究和现场试验对油田生产具有直接的生产意义,特别是对一些低渗透油田更具有实际意义。

### 2. 驱油机理

化学采油是3次采油及提高采收率的主要技术手段,由于聚合物驱油仅适合于厚油层,而对于薄差

**作者简介:**官军,1979年生,技术员;2002年毕业于大庆石油学院。地址:(163000)黑龙江省大庆市大庆油田责任有限公司采油四厂采油北2队。电话:(0459)5680603,13089006628。E-mail:gongxutao007@126.com

油层则难于适用,近年来国内外开展表面活性剂研究的深入,活性剂来源渠道增多,针对特定油田区块可以筛选到合适的活性剂。

所谓纳米液是由纳米剂(纳米材料——表面活性剂)分散于水中的纳米液滴构成的溶液。由于纳米液滴的特殊性质,所以纳米液性质也不同于纳米材料本身和水。除具有上述纳米液滴的一些性质外,纳米液还有自身的一些宏观性质。

随纳米剂用量的增加,界面张力很快降低到 10~2 mN/m 数量级。表明纳米液与原油具有很高的界面活性。通过注入纳米水不仅可以实现减压增注作用,而且可以提高低渗透油层的原油采收率。

纳米水能大幅度降低油水界面张力,具有很强的乳化原油和改变油层岩石润湿性的能力,能有效驱替地层孔隙中胶质,沥青质沉淀物及颗粒表面的油膜,使储层孔隙和颗粒表面由亲油变为亲水,改善储层孔隙微观环境。从而使注入水得以顺利流通,地层压力下降,提高微观驱油效率而提高原油采收率。

由于油藏岩石的表面是非常粗糙的,因此岩石表面的油膜并不是完整的。特别是油田实施过注水开发以后,由于水驱作用,油膜的不完整性进一步强化,当向油藏中注入纳米液水溶液之后,可以使油水的界面张力降低,降低了孔道对油滴的粘滞阻力,使原油易于剥落和流动,并且在低界面张力作用下,油滴容易变形,从而降低了将它经孔隙吼道排出所做的功,增加了它在地层孔隙中的移动速度。

纳米液可使选择性润湿接触角变小,即可以使水对岩石的润湿性增强。润湿角的变小和油水界面张力的降低会导致岩石表面对原油的束缚能大大减小(大约为原来的 1/6~1/10)。

纳米颗粒尺寸越小,表面越能够高于表面,其表面原子数就占相当大的比例。其数据见表 1<sup>[1-2]</sup>所示。

表 1 纳米颗粒尺寸与表面原子数关系

纳米颗粒尺寸 (nm)	包含原子数	表面原子所占比例 (%)
10	30000	20
4	4000	40
2	250	80
1	30	90

由表 1 可以看出,随着纳米微粒直径的变小,表面原子数迅速增多。这是由于微粒直径小,表面积急剧变大所致。表面原子数增多,原子配位不足及高的表面能,是这些原子具有大的比表面积,高的表面活化能。当大量的纳米液溶液注入油层以后,高的表面活化能大大降低了油水界面张力,同时它还可以乳化剥落原油形成小液滴被驱替液驱替出来,随注入液流向生产井,从而提高了原油的采收率。

## 二、纳米液驱油效率

### 1. 纳米液驱油效率

在孔隙结构复杂的多孔介质中开展水驱油,将会形成无数条微观的通道,各个通道内的油水界面以不同的速度向前推动。只有部分孔隙可形成水的连续通道,这些孔道中的油成为可动油,同时,仍有一些孔隙中存在着小油区。因此,宏观水所波及到的区域内仍然存在着水未能洗动的油。一般用微观驱油效率  $E_D$  来描述注入液的微观洗油能力,它定义为在驱油剂波及范围内,所驱替出的原油体积与总体含油体积的比值。其计算方法<sup>[3-4]</sup>为:

$$E_D = \frac{\sum q_{oi} / \rho}{S_{oi} V_p} \times 100\%$$

式中: $E_D$  为驱油效率; $q_{oi}$  为岩心中驱替出的油量, g;  $\rho$  为原油密度, g/cm<sup>3</sup>;  $S_{oi}$  为岩心含油饱和度, %;  $V_p$  为岩心孔隙体积, cm<sup>3</sup>。

纳米液驱油效率实验需要模拟地层岩石的润湿状态,当水驱油实验出口含水达到 98% 以后,转为纳米液驱。

### 2. 研究现状

目前,3 次采油复合驱技术正在进行矿场试验。但所用的表面活性剂为石油磺酸盐类,需和碱复配才能达到超低界面张力,但低渗透油层因碱作用会造成油层伤害。因此,需开发研制新型表面活性剂,在不加碱情况下,可以达到低界面张力(低于 10 mN/m)的目的。已有研究表明,界面张力越低,降压效果和驱油效果越好。针对大庆油田低渗透油层已开发出一系列界面活性高的活性剂,在活性剂浓度为 0.1% 以上时,均可达到低界面张力的效果。室内岩心实验表明(见图 1),降压幅度在 37% 左右。应用人造均质岩心,采收率在水驱基础上可提高 10% 以上(见图 2)。

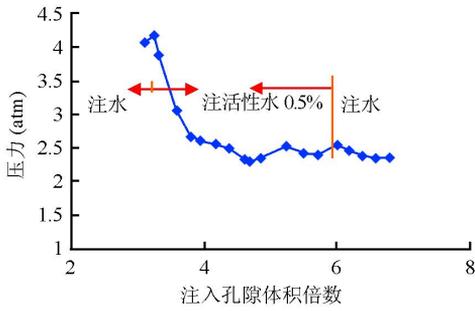


图1 活性水降低岩心压力曲线图  
(水测渗透率为  $53 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )

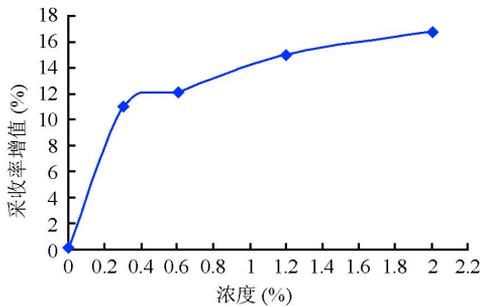


图2 活性水浓度对驱油效果影响图  
(水测渗透率为  $20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )

综上所述,通过对纳米液驱油机理的研究以及室内试验,说明了纳米液驱油技术相对其他3次采油复合驱油有自己独特的特点,认为纳米液驱油技术有着广阔的前景。

参 考 文 献

- [1] 张立德,牟季美.纳米材料和纳米结构[M].北京:科学出版社,2001:3-49.
- [2] 洪祥珍.活性纳米材料增注技术的研究与应用[J].断块油气田,2004,11(3):49-52.
- [3] 张继芬.提高采收率基础[M].北京:石油工业出版社.1997:58-89.
- [4] 康万利,董喜贵.三次采油化学原理[M].北京:化学工业出版社,1997:64-169.
- [5] 沈家骥,张希,孙铁鹏.分子沉积膜.自然科学进展[M].北京:科技出版社,1997:1-7.
- [6] 崔迎春,李家芬,苏长明.纳米技术在石油工业上游领域应用初探[J].钻井液与完井液,2003,20(6):11-14.
- [7] 巴巴良,列维杜马相,哈利莫夫.表面活性剂在油田开发中的应用[M].刘青年,姜言里,译.北京:石油工业出版社,1987:10-41.
- [8] 范玉平,刘其成,赵庆辉.分子膜驱油技术[M].北京:石油工业出版社,2001:5-47.
- [9] 顾惕人,李外郎,朱步瑶,等.表面化学[M].北京:科学出版社,1994.
- [10] 沈钟,王国庭.胶体与表面化学[M].北京:化学出版社,1992.
- [11] 赵国醞.生物活性剂物理化学[M].[出版者不详],1991.
- [12] 赵福麟.采油化学[M].东营:石油大学出版社,1990.

(修改回稿日期 2005-12-21 编辑 黄君权)