

表面活性剂在油田开发中的应用分析

Application Analysis of Surfactants in Oilfield Development

任井保

Jingbao Ren

玉门油田分公司老君庙采油厂酒东作业区 中国·甘肃 酒泉 735000

Yumen Oilfield Branch Laojunmiao Oil Production Plant Jiudong Operation Area, Jiuquan, Gansu, 735000, China

摘要: 表面活性剂是一类具有显著降低表面张力、改变界面性质的化学物质。在油田开发过程中, 表面活性剂的应用对于提高采收率、降低开发成本、解决油田开发中的各种问题具有重要意义。论文深入探讨表面活性剂在油田开发中的应用, 包括调驱剂、清洗剂、乳化剂等方面, 分析其作用机理和实际效果, 以期能为油田开发提供有益的参考。

Abstract: Surfactants are a class of chemicals that have the ability to significantly reduce surface tension and change interfacial properties. In the process of oilfield development, the application of surfactants is of great significance to improve oil recovery, reduce development costs, and solve various problems in oilfield development. This paper delves into the application of surfactants in oilfield development, including profile control agents, cleaning agents, emulsifiers, etc., analyzes their mechanisms of action and actual effects, in order to provide useful references for oilfield development.

关键词: 表面活性剂; 油田; 应用

Keywords: surfactant; oil field; apply

DOI: 10.12346/etr.v6i2.9049

1 引言

表面活性剂是一种用于改变液体和液体、液体和固体之间界面性质的化学物质。在油田开发中, 表面活性剂广泛应用于增强油采收率、酸化处理、破胶除尘、防水处理等方面。通过改变液体的表面张力和界面特性, 表面活性剂能够提高油井的开采效率、降低生产成本, 对于油田的开发具有重要的意义。

2 表面活性剂的基本性质与作用机理

表面活性剂是一种具有特殊分子结构的化学物质, 其基本性质主要包括两亲性、吸附性以及降低表面张力等。这些性质使得表面活性剂在溶液中能够有效地改变表面的性质, 从而实现一系列的物理和化学作用^[1]。表面活性剂的分子结构中, 一端由非极性烃链组成, 具有良好的亲油性; 另一端通常由极性基团组成, 如羧酸、磺酸、氨基或醚等, 具有良好的亲水性, 表面活性剂的分子结构如图 1 所示。

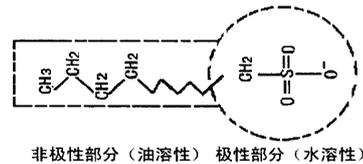


图 1 表面活性剂分子结构

这种特殊的分子结构使得表面活性剂能够将两相之间原本不相溶的界面转变为容易接受的水化层, 从而改变体系的表面性质^[2]。表面活性剂的作用机理主要表现在降低表面张力、形成胶束、润湿与渗透、乳化与分散、起泡与消泡等方面。在降低表面张力方面, 表面活性剂分子能够吸附在液体的表面, 使原本较为粗糙的表面变得更加平滑, 从而显著降低溶液的表面张力。在形成胶束方面, 当表面活性剂在水中的浓度达到一定值时, 分子间的相互作用力会使得表面活性剂分子聚集形成有序的聚集体, 即胶束。胶束的形成能够改变体系的表面性质, 使油水界面变得更加稳定。在润湿与渗透方

【作者简介】任井保 (1990-), 男, 中国黑龙江明水人, 本科, 工程师, 从事油田开发相关技术研究。

面，表面活性剂能够降低固体表面的张力，使液体更好地润湿固体表面，从而增加液体的渗透能力。在乳化与分散方面，表面活性剂能够将原本不相溶的两相液体混合在一起，形成稳定的乳状液或分散体系。此外，高分子量的表面活性剂还具有抑制泡沫形成的能力，即消泡作用^[3]。

3 表面活性剂的种类

3.1 驱油剂

驱油剂是表面活性剂的一种，专门用于提高石油采收率。它们通常包含一些特殊的活性成分，如醇、酯、胺等，这些成分能够在油水界面形成界面膜，降低油水间的界面张力。这样可以使油在岩石表面的吸附力减弱，更容易被采出。

驱油剂主要通过两种作用机理来提高石油采收率：一是通过乳化作用将原油从岩石表面释放出来，形成可流动的乳状液；二是通过改变油藏的润湿性，使岩石表面由亲油性变为亲水性，从而提高原油的流动性^[4]。在实际应用中，驱油剂的选择需要根据油藏的具体条件和需要进行筛选。同时，驱油剂的使用也需要配合其他采油技术和方法，以达到最佳的采收效果。

3.2 堵水剂

堵水剂是一种特殊的表面活性剂，主要用于油田开发中的水堵作业。在水堵作业中，堵水剂被注入油井中，通过改变油水界面的性质，阻止水的侵入，从而提高石油的采收率。堵水剂的种类主要包括聚丙烯酰胺（PAM）、聚丙烯酸钾

（PKA）、聚乙烯醇（PVA）等。例如，聚丙烯酰胺（PAM）是一种非离子型表面活性剂，具有良好的水溶性和热稳定性，广泛应用于油田开发中的水堵作业。在油田开发中，PAM 被注入油井中，通过改变油水界面的性质，阻止水的侵入，从而提高石油的采收率。据相关研究表明，使用 PAM 进行水堵作业的油田，其石油采收率可以提高 10%~20%。

3.3 酸化用添加剂

在油田开发中，酸化处理是一个关键环节，主要用于提高低渗透油层的渗透率，从而增加油井的产量和水井的注入量。为了实现这一目标，通常会使用不同类型的酸化液，包括低压酸化液和高压酸化液。低压酸化液主要通过溶蚀作用清除地层中的堵塞物质，而高压酸化液则通过水力和溶蚀的共同作用来压裂地层，扩大地层缝隙，增加渗透通道。在酸化过程中，为了提高酸化效果，经常会添加一些与表面活性剂有关的添加剂。这些添加剂具有降低界面张力、增强乳化效果、改善流动性能等作用，有助于提高酸化作业的效率 and 效果。通过合理选择和使用这些添加剂，可以进一步提高酸化效果，促进油田的开发和生产。

其中，酸化用添加剂的成分及作用如表 1 所示。

3.4 防蜡剂和清蜡剂

防蜡剂和清蜡剂是表面活性剂在石油工业中的重要应用，主要用于油井的防蜡和清蜡作业。防蜡剂通过降低油水界面张力、改变蜡晶结构等作用机制，有效抑制蜡晶在井壁和管壁上的聚集和沉积，从而防止油井结蜡，表 2 为防蜡剂的类型及作用机理。

表 1 酸化用添加剂的成分及作用

类型	主要成分	作用机理
缓蚀剂	阳离子表面活性剂	缓蚀剂的作用是其吸附在油井钢制管壁上，以达到延缓酸液对管壁腐蚀的效果
缓速剂	脂肪胺盐类表面活性剂	缓速剂通过吸附作用可以减缓酸对地层的酸化作用，从而控制酸与地层中硅酸盐的反应速度
防乳化剂	带有分支结构的表面活性剂	防乳化剂可以在原油和酸液的界面上吸附，从而阻止原油形成乳状液，以确保原油开采的顺利进行
助排剂	含氟的表面活性剂及季铵盐型	为了确保原油能够顺利流出，酸液在进行酸化处理时会进入地层的毛细孔道或裂缝，并与其中的硅酸盐发生反应。酸解产物需要从这些毛细孔道或裂缝中排出。即使处于高酸和高盐环境下，可以通过添加耐酸、耐盐的表面活性剂来有效减少 Jamin 效应（即酸解产物堵塞裂缝和毛细孔道的现象），降低界面张力，使酸解产物更加顺利地排出
润湿反转剂	聚氧乙烯聚氧丙烯磷酸盐和烷基醇聚氧乙烯聚氧丙烯醚的混合物	酸液中的缓蚀剂会在油井近井地带发生吸附作用，导致油层岩砂表面原本的亲水性被改变为亲油性，从而减少了酸化液在岩砂中的渗透效果，对酸化作用产生了不利影响。因此，采用润湿反转剂可以解决岩砂表面发生的亲水性转变问题

表 2 防蜡剂的类型及作用机理

类型	作用机理
稠环芳烃类	表面活性剂通过与晶核的结合，参与晶核的形成，导致晶核发生扭曲而无法继续生长
表面活性剂类	油田中常用的降凝剂是表面活性剂。表面活性剂通过吸附作用，能够改变蜡微晶的表面性质，使其由非极性转化为极性。这个转化过程阻止了蜡分子的进一步沉积，从而有效地抑制了蜡晶的增长。同时，水溶性表面活性剂也发挥了重要作用，它能够改变结蜡物体的表面性质，促使其形成一层水膜。这层水膜起到了隔离作用，阻止蜡分子与结蜡物体表面的直接接触，进一步抑制了蜡的沉积
高分子表面活性剂类	目前，广泛采用表面活性剂作为降凝剂的油田较多。原油在冷却过程中会生成大量微晶蜡，而使用表面活性剂可以有效地阻止这些微晶蜡的进一步生长

清蜡剂则是通过溶解、分散或软化蜡垢，使其易于被采油设备清除，保持油井的通畅。在实际应用中，防蜡剂和清蜡剂的选择需要根据油井的具体条件和需要进行筛选。对于高蜡原油，选择合适的防蜡剂可以有效地抑制蜡晶的形成和沉积，从而降低油井结蜡的风险。而当油井出现结蜡现象时，使用清蜡剂可以迅速清除蜡垢，恢复油井的产能。此外，防蜡剂和清蜡剂还可以通过复配使用，达到更好的防蜡和清蜡效果。例如，将防蜡剂与清蜡剂按一定比例混合使用，可以在抑制蜡晶形成的同时，及时清除已经形成的蜡垢，进一步提高了油井的采收率和生产效率。

4 表面活性剂在油田开发中的应用

4.1 酸化液处理

在油田开发中，酸化是一种常用的提高石油采收率的方法。酸化过程主要是通过向油井中注入酸液，通过与岩石表面的反应，改善岩石的渗透性，从而提高石油的采收率。然而，酸液对油井的钢管壁有很强的腐蚀作用，这不仅会缩短油井的使用寿命，还可能引发安全事故。

缓蚀剂是一种特殊的表面活性剂，它可以吸附在油井钢管壁上，形成一层保护膜，阻止酸液与管壁直接接触，从而延缓酸液对管壁的腐蚀作用。这种保护膜不仅可以在酸化过程中保护管壁，还可以在酸化完成后继续发挥作用，延长油井的使用寿命。

4.2 防蜡和清蜡作业

在油田开发中，表面活性剂作为防蜡剂和清蜡剂的应用至关重要。防蜡剂主要通过降低油水界面张力和改变蜡晶结构来实现其防蜡作用。界面张力的降低有助于减小蜡晶在油水界面的聚集趋势，从而抑制蜡晶的沉积。同时，防蜡剂能够改变蜡晶的结构，使其不易形成大尺寸的晶体，进而减少沉积的可能性。这些作用机制有效地防止了油井结蜡，保障了油井的正常生产和采收率的提高。此外，清蜡剂的作用则是溶解、分散或软化已经形成的蜡垢。在油田开发过程中，随着蜡晶的沉积，油井可能会出现堵塞和生产效率下降的问题。清蜡剂通过与蜡垢的相互作用，将其从固体状态逐渐转变为液体或半液体状态，使其易于被采油设备清除。这一过程能够恢复油井的通畅，保证采油的顺利进行。

4.3 改善油水界面张力

通过使用表面活性剂，可以降低油水界面张力，从而显著提高油田开发中的采收率。这种应用对于处理高黏度原油和高含水油田具有重要意义。高黏度原油常常由于原油中的重质组分和胶质物质的存在而具有较高的黏度，导致其在储层中流动受阻，采收率低。而表面活性剂的引入可以改变油水界面的性质，降低油水之间的张力，使黏稠原油更易于流

动。表面活性剂通过聚集在油水界面上的方式，形成一层分子膜，减少了油滴或水滴之间相互碰撞的能量消耗，从而降低了油滴与水相分离的能量门槛，提高了原油的流动性。

此外，表面活性剂还可以改善油滴在储层孔隙中的润湿行为，减少油滴与固体表面之间的摩擦力，进一步促进油滴的流动，提高采收率。而对于高含水油田，水与油之间的界面张力也会导致原油流动受限。表面活性剂的应用可以改善油水界面的性质，降低水与油之间的张力，从而促进原油和水的分离，提高采收率。表面活性剂通过聚集在水油界面上的方式，形成一层分子膜，减少了水滴或油滴之间相互碰撞的能量消耗，增强了油水分离的驱动力。

4.4 提高采收率

在油田开发中，提高采收率是关键。通过使用表面活性剂，可以改善油藏的波及效率，提高洗油效率，从而显著增加原油的采收率。这一应用对于老油田的二次开发和提高采收率具有特别重要的意义。老油田通常意味着油田已经进入开发后期，初次采收率已无法满足经济需求，在这些油田中，由于多年的采油，高渗透层中的油已被大量采出，而低渗透层和死油区的原油则难以被有效动用。表面活性剂的应用为解决这一问题提供了有效途径。表面活性剂能够显著改善油藏的波及效率。通过降低油水界面张力，表面活性剂有助于提高驱替液在油藏中的流动性，使驱替液更好地进入低渗透层和死油区。这样，原本难以采出的原油得以释放，提高了采收率。

5 结语

随着油田开发技术的不断进步，表面活性剂在油田开发中的应用越来越广泛。通过深入了解表面活性剂的作用机理和实际应用效果，可以更好地发挥其在油田开发中的潜力。在实际应用中，需要结合油田的具体条件和需要，选择合适的表面活性剂，并配合其他技术手段，以达到最佳的开发效果。未来，表面活性剂在油田开发中的应用将更加广泛和高效，为推动油田开发的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 孟勇,李侠清,张星,等.脂肪类表面活性剂及其应用研究进展(II)——油田开发及土壤污染生物修复[J].精细石油化工,2023,40(4):68-72.
- [2] 周月慧.石油开采表面活性剂的应用[J].石化技术,2020,27(2):150-151.
- [3] 刘洪军.表面活性剂提高采收率在油田中的应用[J].化学工程与装备,2019(3):152-153.
- [4] 姚同玉.表面活性剂在油藏岩石孔隙表面的湿润热力学研究[J].化工管理,2018(17):19-20.