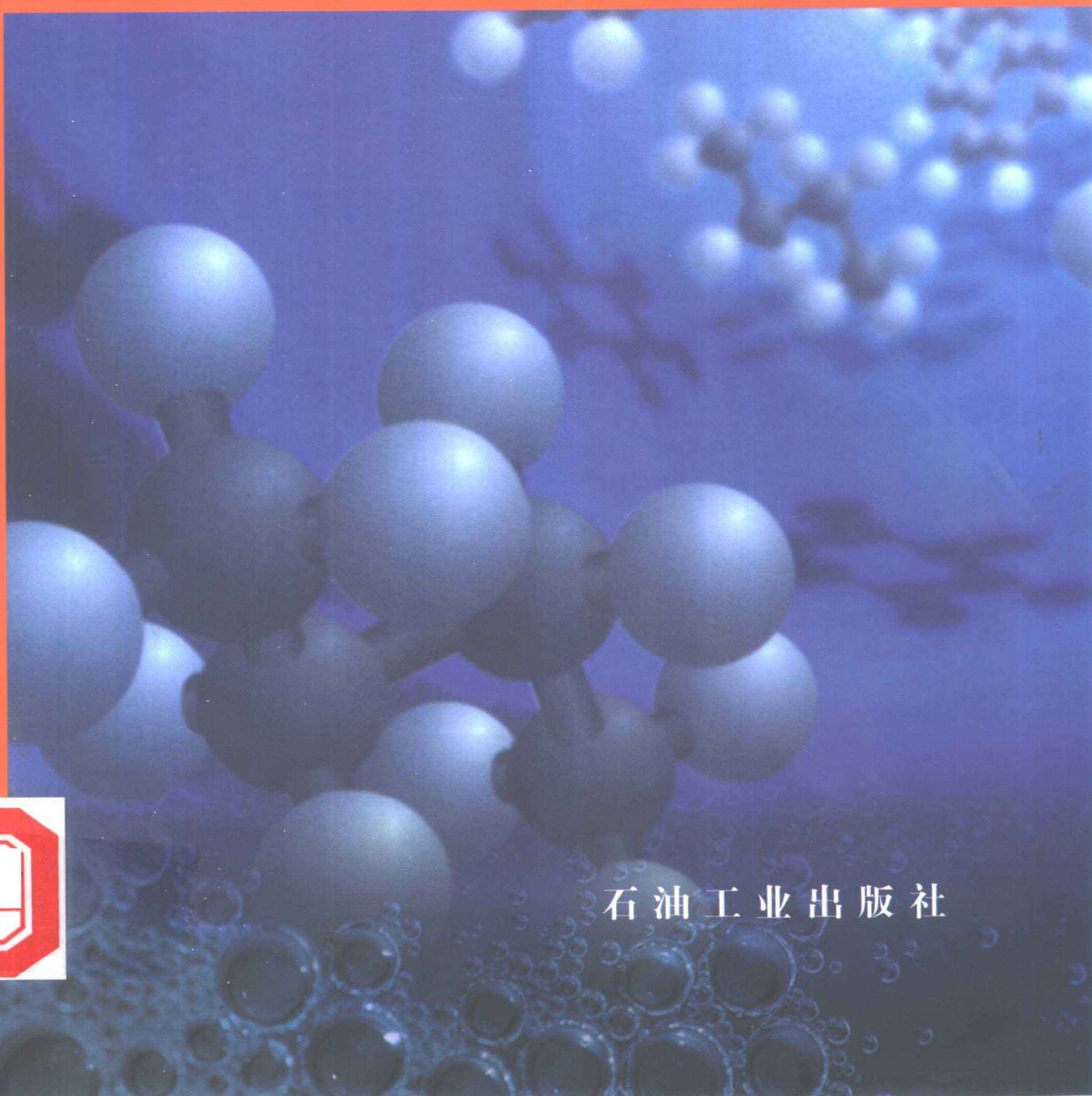


● 范玉平 刘其成 赵庆辉 著

分子膜驱油技术

FENZIMO QUYOU JISHU



石油工业出版社

分子膜驱油技术

范玉平 刘其成 赵庆辉 著

石油工业出版社

内 容 提 要

辽河油田自 1998 年以来开展了三个区块分子膜驱油矿场试验研究工作, 在分子膜驱油方面积累了丰富的经验。本书从辽河油田开展分子膜驱油理论研究及矿场试验入手, 对分子膜驱油机理、渗流特征、油藏注入参数筛选、数值模拟、注入工艺及分子膜驱油矿场应用效果等方面进行了系统的总结, 为今后进一步开展分子膜驱三次采油提供了科学和实践的依据。

本书可供从事油田开发、油藏管理、三次采油工作的技术人员、管理人员及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

分子膜驱油技术/范玉平等著

北京: 石油工业出版社, 2001.7

ISBN 7-5021-3446-8

I. 分…

II. 范…

III. 化学驱油, 分子膜

IV. TE357.46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 044189 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 250 千字 印 1—1000

2001 年 7 月北京第 1 版 2001 年 7 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3446-8/TE·2562

定价: 26.00 元

前 言

本书是在辽河油田兴隆台采油厂三年分子膜驱矿场试验基础上写成的,内容包括分子膜的基本概念、分子膜驱油机理、注入参数优化、影响因素分析、分子膜驱动态预测和经济评价、矿场试验方案、注入工艺以及三个矿场试验的应用实例。全书介绍了一种运用于水驱油田的全新的三次采油技术,系统地讲述了技术原理和矿场的实际应用,并考虑与相关专业知识的衔接关系,立足于从理论和矿场实际方面加深对该项技术的认识。

为了便于矿场工作人员的学习应用,本书特别详细地介绍了分子膜驱油技术在兴隆台油田的矿场试验情况,从方案编制到效果分析都做了详细的说明,使读者、特别是矿场科技人员能尽快地将该项技术运用于所管理的区块,使该项技术得以迅速地推广。由于分子膜驱是一项全新的三次采油技术,在国内外石油行业上是第一次运用,国内外没有成型的理论和应用实例可供借鉴,因此对它的认识是借助大量的室内试验和三年多的矿场试验逐步取得的,很多用词不一定准确,很多认识和结论也不一定正确。尽管有许多不足,我们还是让这本书尽快与读者见面,把这一全新的采油技术介绍给大家。同时,我们欢迎读者阅读此书时给我们批评指正,以利于我们对该项技术有一个进一步的认识。

全书由范玉平、刘其成、赵庆辉著。由范玉平、郭彦臣主审。第一章由范玉平、张瑛执笔。第二、第三章由刘其成、赵庆辉、周雅萍、马春红、周波执笔。第四、第五章由郭彦臣、刘其成、赵庆辉、周雅萍、马春红执笔。第六章由范玉平、张瑛、冯永明执笔。第七章由郭彦臣、刘其成、赵庆辉、周雅萍、丁世源执笔。第八章由赵庆辉、马春红、范玉平、张瑛、王洁雯执笔。第九章第一、第二节由范玉平、冯永明、丁世源、张瑛、李军、冯金海执笔。第九章第三节第一部分由张新培、陈元春、石忠仁执笔。第九章第三节第二部分由赵淑俊、石忠仁执笔。第九章第三节第三部分由赵庆辉、马春红、郭彦臣执笔。第九章第三节第四、第五、第六部分由范玉平、刘其成、赵庆辉、张瑛、吕福荣执笔。

本书的作者都是在油田矿场从事科技工作的人员。参加该项研究工作的有辽河油田兴隆台采油厂、辽河油田勘探开发研究院、石油大学、中国石油勘探开发科学研究院、中科院廊坊渗流力学研究所和巨能公司等。辽河油田公司副总经理刘俊荣、王正江一直在关注和指导该项试验工作,辽河油田公司副总工程师刘喜林、技术发展处副处长陈韶生等多次提出具体指导意见。同时该项矿场试验工作还得到中国石油勘探开发科学研究院杨普华教授、韩冬博士的指导。在撰写的过程中得到了石油大学高芒来博士和刘慧卿博士的悉心指导,在此一并表示感谢。

书中如有错误不当之处,敬请读者不吝指教。

作 者

2001.5

责任编辑：王宇芬
封面设计：赛维玉
责任校对：王 蕾

ISBN 7-5021-3446-8



9 787502 134464 >

ISBN 7-5021-3446-8/TE · 2562

定价：26.00 元



目 录

绪 论	(1)
第一章 分子膜的基本概念及其组成	(2)
第一节 分子膜的基本概念	(2)
第二节 分子膜剂基本组成	(4)
第二章 分子膜驱油机理	(5)
第一节 分子膜剂在岩石表面的吸附与解吸特征	(5)
一、分子膜剂浓度测定方法	(6)
二、分子膜剂的静态吸附	(7)
三、分子膜剂在未洗油岩心上的动态吸附与解吸作用	(7)
第二节 油藏岩石润湿性的变化	(10)
一、浸泡试验	(11)
二、接触角的测量	(11)
三、环境扫描电镜分析	(12)
四、天然岩心常规润湿性测定	(13)
五、用核磁共振技术研究润湿性的变化	(15)
第三节 分子膜剂的扩散作用	(21)
一、扩散系数测量原理	(21)
二、扩散系数测量方法	(21)
三、分子膜剂在水中的扩散作用	(22)
四、分子膜剂在原油中的扩散作用	(23)
第四节 毛细管自发渗吸作用	(23)
一、核磁共振孔径分布在线测试技术原理	(24)
二、自发渗吸试验	(24)
三、水驱油试验	(27)
第五节 油水界面性质	(33)
一、油—分子膜剂体系界面性质测定方法	(34)
二、油—分子膜剂体系界面性质	(34)
第三章 分子膜驱渗流特征	(35)
第一节 油藏岩石的相渗特征	(35)
一、基本概念	(35)
二、分子膜体系相对渗透率曲线	(36)
第二节 分子膜驱油效率	(37)
一、驱油效率试验方法	(37)
二、分子膜驱油效率	(37)
第三节 微观驱油试验	(38)

一、微观驱油试验方法和过程·····	(38)
二、微观驱油试验现象及结果·····	(38)
第四章 分子膜驱注入参数优化·····	(41)
第一节 注入浓度的选择·····	(41)
一、注入浓度筛选试验方法·····	(41)
二、注入浓度的确定·····	(42)
第二节 注入方式的优选·····	(44)
一、注入方式优选试验方法·····	(45)
二、注入方式的确定·····	(45)
第三节 注入时机的选择·····	(46)
一、常规驱油效率测定结果·····	(46)
二、核磁共振试验结果·····	(47)
第五章 分子膜驱的影响因素·····	(48)
第一节 矿化度对分子膜驱油效果影响·····	(48)
一、分子膜剂与地层水的配伍性·····	(48)
二、不同盐水矿化度分子膜体系的驱油效果·····	(48)
第二节 分子膜剂在油水两相间的分配及消耗量·····	(48)
一、常压下分子膜剂在原油中的分配及消耗量·····	(49)
二、地层压力下分子膜剂在不同原油中分配及消耗量·····	(49)
第三节 分子膜剂自组织破乳作用及其消耗量试验·····	(51)
一、分子膜溶液对试验区块采出液自组织破乳作用·····	(51)
二、自组织破乳作用时的分子膜剂消耗·····	(52)
第六章 分子膜驱现场配注装置及注入工艺·····	(53)
第一节 配注装置·····	(53)
第二节 地面注入工艺·····	(53)
第七章 分子膜驱方案及现场试验管理·····	(55)
第一节 分子膜驱方案基本内容·····	(55)
第二节 分子膜驱方案实施要求·····	(55)
一、分子膜溶液注入浓度要求·····	(55)
二、分子膜溶液注入过程连续性要求·····	(56)
三、分层注入方式要求·····	(56)
四、其它要求·····	(56)
第三节 矿场试验资料录取·····	(56)
一、注剂浓度监测·····	(56)
二、产出液中分子膜剂浓度监测·····	(56)
三、产出井油、气、水性质监测·····	(56)
四、注剂井动态资料录取·····	(56)
五、产出井动态资料录取·····	(56)
六、压力资料·····	(56)
七、油层吸水出油状况监测·····	(56)

第四节 分子膜剂产品质量检测	(56)
一、浓度检测用的化学试剂	(56)
二、检测的仪器设备	(57)
三、试剂的配制	(57)
四、分子膜剂产品浓度检测步骤	(57)
第八章 分子膜驱动态预测与经济评价	(58)
第一节 分子膜驱动态预测	(58)
一、分子膜驱动态预测数学模型	(58)
二、分子膜驱数学模型求解方法	(60)
三、分子膜驱动态预测	(62)
第二节 分子膜驱矿场试验经济评价	(63)
一、基本概念	(63)
二、分子膜驱经济评价结果	(64)
第九章 分子膜驱现场应用实例	(66)
第一节 兴 42 块兴 53 井组分子膜驱试验	(66)
一、兴 53 井组地质及开发状况	(66)
二、兴 53 井组分子膜剂注入简况	(66)
三、兴 53 井组分子膜驱试验效果	(66)
第二节 兴 212 块分子膜驱试验	(69)
一、兴 212 块地质及开发状况	(69)
二、兴 212 块分子膜驱试验方案	(71)
三、兴 212 块分子膜驱矿场试验的实施与监测	(73)
四、兴 212 块分子膜驱矿场试验效果	(73)
第三节 兴 209 块分子膜驱矿场试验	(74)
一、兴 209 块储层及沉积相研究	(74)
二、兴 209 块油藏工程研究	(99)
三、兴 209 块分子膜驱数值模拟	(118)
四、兴 209 块分子膜驱注入方案设计	(133)
五、兴 209 块注入方案实施与监测	(135)
六、兴 209 块分子膜驱现场试验效果	(140)
参考文献	(145)

绪 论

辽河油田稀油注水开发区块,已采出可采储量的 65.95%,综合含水率为 78.35%。其中主力区块已采出可采储量的 85.0%以上,综合含水率达 85.56%。注水比较完善的兴隆台油田已采出可采储量的 84.29%,综合含水 92.1%,已经进入高含水率、高采出程度阶段。纵向上多数油层被水淹,平面上剩余油零星分布,油水分布错综复杂,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待解决的问题。分子沉积膜驱是一种新型的驱油技术。分子膜驱油机理有别于传统的化学驱(聚合物驱、表面活性剂驱、碱驱和复合驱等驱油方法)。它是以水溶液为传递介质,膜剂分子依靠静电相互作用为成膜动力,膜剂有效分子沉积在呈负电性的岩石表面,形成纳米级超薄膜,改变了储层表面的性质和与原油的相互作用状态,使得注入流体在冲刷孔隙过程中,原油易于剥落和流动而被驱替液驱替出来,达到提高原油采收率的目的。

1998 年,辽河油田在“双高期”且非均质性严重的兴隆台油田兴 42 块兴 53 井组进行了分子膜驱现场试验,获得了部分观察井日产油量明显增加,相应含水降低的好效果。截止到 2000 年 12 月,全井组累计增产原油 7092t,投入产出比 1:5.23,并且仍继续有效果。鉴于 1998 年兴 53 井组分子膜驱现场试验取得了一定的效果,经过认真筛选,1999 年又在兴 212 块进行分子膜驱扩大试验。兴 212 块兴隆台油层较为发育,平面上分布连片,较为稳定。截止到 1999 年 3 月底,已采出可采储量的 89.5%,综合含水率为 93.7%,已进入注水开发后期,属于临近枯竭的油藏。1999 年 5 月 6 日开始正式注入分子膜剂,到 1999 年 12 月 25 日完成分子膜剂注入,共注入分子膜剂 72.0 t。截止到 2000 年 12 月,全块增产原油 3235.6 t,累积增气 $32.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。可以说,已初步见到试验效果,年投入与产出比即达到 1:1。室内试验研究及分子膜驱矿场试验结果表明:分子膜驱见效时间较长,随着分子膜剂作用时间的增加,分子膜驱油效果将会越来越明显。

虽然分子膜驱试验从井组扩大到断块并取得了一定的效果,但其仅代表一类断块而不能完全评价膜驱技术。为了进一步验证分子膜驱这种驱油新技术的可行性,弄清分子膜驱油机理,取得广泛推广的经验,我们又从兴隆台油田筛选出兴 209 块,进一步扩大分子膜驱试验,完善分子膜驱配套技术,为进入“双高期”油田改善开发效果、提高原油采收率提供可靠的技术支持和矿场经验,也为今后研究和推广分子膜驱油技术奠定基础。2000 年,在对分子膜驱影响因素、注入参数、潜力预测深入研究的基础上,弄清了分子膜剂改变油藏润湿性、增强自发渗吸、增大水分子扩散系数、略微降低界面张力等驱油机理,并针对兴 209 块油藏特点,编制了矿场试验实施方案。于 2000 年 5 月 8 日开始注入分子膜剂,分子膜驱 1 个月后部分油井开始见效,截止到 2000 年 12 月,该断块 13 口观察井已相继有 9 口油井见到分子膜驱效果,日产油水平由膜驱前 31.3t 上升到 38t,油井含水率下降最高已达 10%,显示出良好的增油势头。

由于分子膜驱具有使用浓度低,投资少,施工工艺简单,矿场试验可以使用现有的注水井网、注水设施以及不需特别培训人员、现场试验增油明显等特点。因此有望成为具有发展前景的“改进水驱”提高原油采收率新技术。

第一章 分子膜的基本概念及其组成

第一节 分子膜的基本概念

有序分子膜 (organized molecular films) 研究在国内外是一个十分活跃的多学科交叉领域。有序分子膜组装方法目前主要有: Langmuir-Blodgett 膜 (LB 膜)、分子自组装膜和浇铸膜等。LB 方法于气液界面上形成两亲分子的单分子膜, 并转移成多层 LB 膜, 广泛地用于制备 5~500nm 厚度的有机、高分子超薄膜, 但 LB 膜的亚稳性缺陷及制备需昂贵的 LB 膜槽是制约其真正实用的障碍, 分子自组装膜可由含特殊端基的长脂链在适当的衬底上的化学吸附来实现单分子层组装, 但靠化学键构造多层膜不易实现。浇铸膜可能由浸渍方法或旋转涂膜法来制备, 适于大规模工业流程, 但很难实现分子有序度和膜纳米尺寸的调控。

1991 年, Decher 基于阴、阳离子静电吸引而组装有序薄膜。这种技术十分简单, 只需将离子化基片交替浸入带有相反电荷的聚电解质溶液中, 静置, 取出冲洗干净, 循环以上过程, 则得到多层膜体系, 见图 1-1。改变聚合物的浓度、离子强度, 膜厚会在纳米尺度微

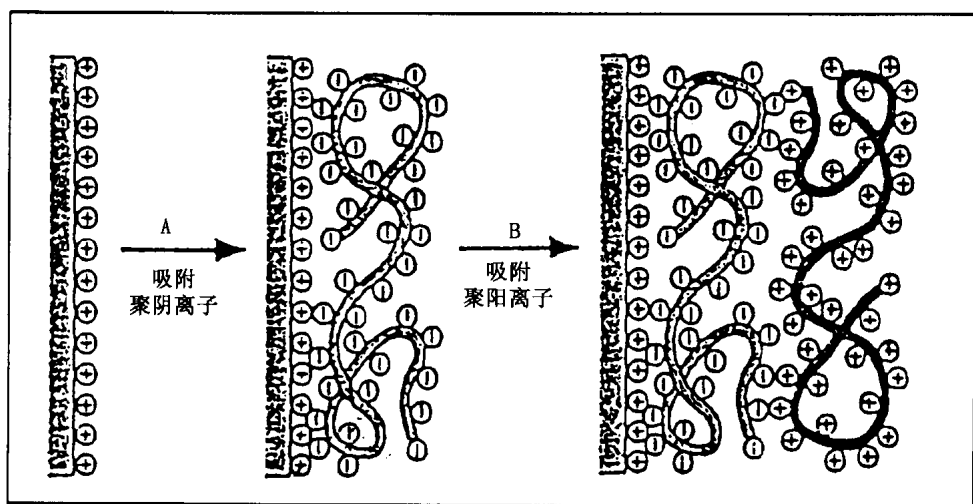


图 1-1 分子沉积技术示意图

调。基于静电组装这一思想, 1993 年始吉林大学沈家骢研究小组, 组装了功能性聚电解质与双阳离子交替膜。在离子化表面引入能诱导产生相反离子的微粒, 如酶、半导体微粒等, 形成复合的有序膜, 由此发展了一种固体化酶的新技术与复合超微粒的薄膜技术。他们还成功地尝试了无脂链卟啉、酞菁与双阳离子的组装, 进而实现了卟啉/酞菁交替膜。并称这种膜为“分子沉积 (Molecular Deposition) 膜”, 简称分子膜、MD 膜或纳米膜, 见图 1-2, 而这种超薄膜的新型制备技术成为分子膜技术。该技术是构造各种有序分子膜的一种新方法, 而不仅仅是带有相反电荷的聚电解质的组装。总之, 分子膜是利用有机 (无机) 阴阳离

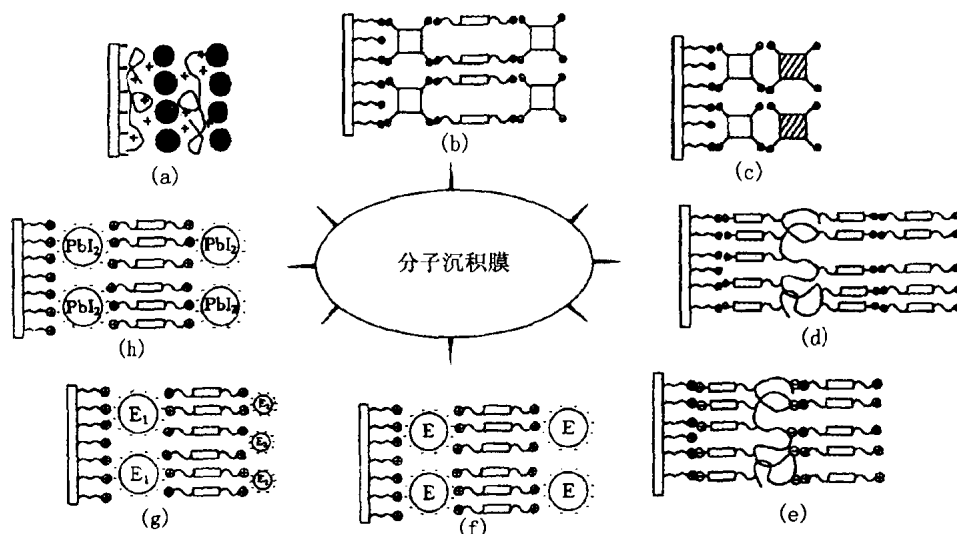


图 1-2 各种分子沉积膜示意图

(a) 聚合物/微粒分子沉积膜, (b) 卟啉(酞菁)/双阳离子分子沉积膜, (c) 刚性卟啉/酞菁分子沉积膜, (d) 准对称聚电解质/双阳离子分子沉积膜, (e) 准不对称聚电解质/双阳离子分子沉积膜, (f) 复合单酶分子沉积膜, (g) 复合双酶分子沉积膜, (h) 双阳离子/微粒分子沉积膜

子的静电吸附反应特性, 通过异性离子体系的单层交替分子沉积, 制备的层状有序的纳米级超薄膜 (见图 1-3)。这种有序膜的沉积是一种平衡态过程, 层间以离子键结合, 且每层沉积后表面又都是活性离子体系, 可以连续沉积形成多层有序的自组装超薄膜。

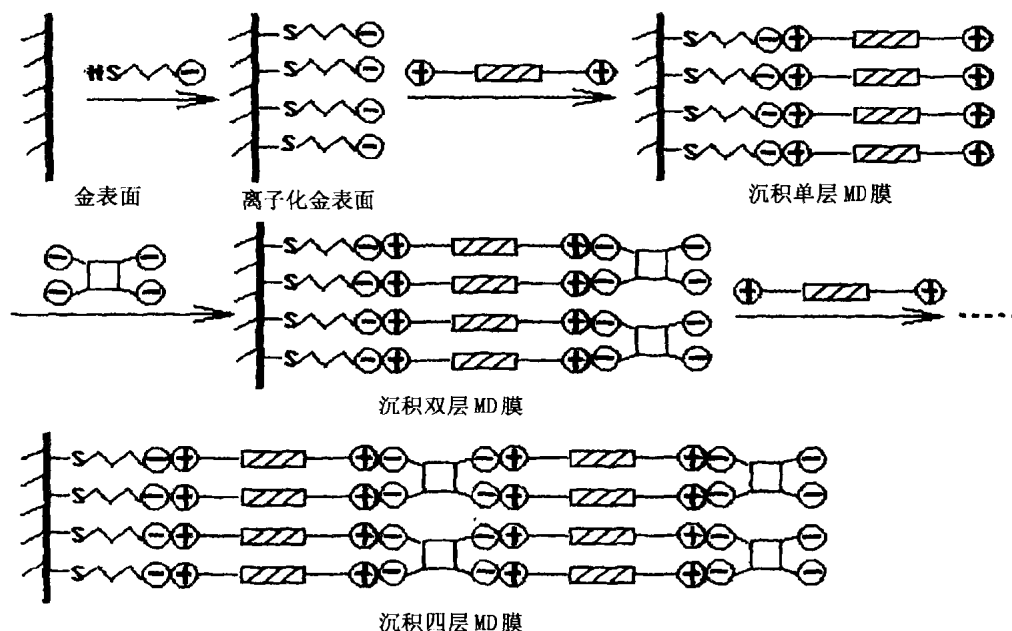


图 1-3 MD 膜的有序沉积示意图

分子膜技术明显的特点是：制备工艺简单；不需要昂贵仪器设备；组装过程为平衡态；组装不受基体形状和面积的限制等特点；与传统的自组装超薄膜和 LB 超薄膜相比，分子膜具有低的表面能和良好的化学惰性，热稳定性，力学稳定性，膜与底材结合牢固和无毒无污染等特性。

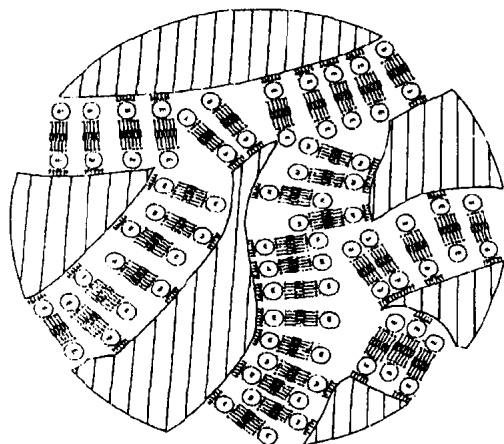


图 1-4 多孔球状载体上沉积的双层酶 MD 膜示意图

可在多孔球状载体上沉积单层及双层 MD 膜（见图 1-4）试验事实，对分子膜驱油技术的诞生和确立提供了直接的实验证据和理论佐证。

分子沉积膜（简称 MD 膜或分子膜）驱油技术，主要是分子膜剂以水溶液为传递介质，依靠强的离子间静电相互作用，沉积在储层表面形成牢固的单分子层超薄膜，降低了原油与表面间的粘附力，不明显降低体系的表面张力和油水界面张力，随浓度增加不存在“胶束”

态，也不增加溶液体系的粘度改变油水流度比，但成膜作用由近及远逐渐推进，在水的冲刷作用下，原油不断剥离表面被带出地层，从而达到提高水洗油效率和原油采收率的目的。

第二节 分子膜剂基本组成

分子膜剂为表面非活性物质，其水溶液不存在“胶束”状态；其基本组分可以是水溶性的聚合物、有机物、大环平面分子、生物酶、蛋白质、无机半导体超微粒或相互间的组合等。

第二章 分子膜驱油机理

由于油藏岩石表面是极其粗糙的，因此岩石表面的油膜并不是完整的。特别是油田实施注水开发以后，由于水驱作用，油膜的不完整性进一步强化，岩石表面出现大量的油膜脱落区，当膜剂溶液注入油层以后，膜剂分子将在油膜局部脱落的岩石表面上吸附形成超薄膜，降低了原油和岩石表面间的粘附力，使得原油易于剥落和流动，剥离下来的原油随注入水流向生产井，从而提高了原油采收率，分子膜剂吸附洗油过程如图 2-1 所示。大量的室内试验研究证明分子膜剂在油层中微观作用机理主要表现在以下几个方面：吸附作用、润湿性改变、扩散作用、毛细管自发渗吸作用以及界面性质改变等。

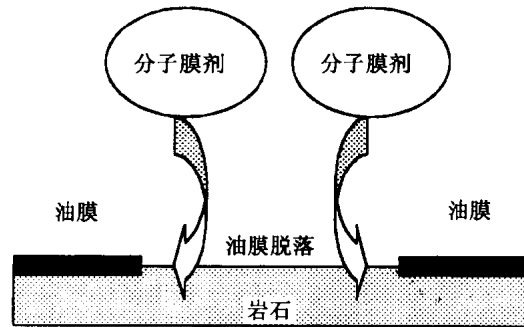


图 2-1 分子膜吸附洗油作用示意图

第一节 分子膜剂在岩石表面的吸附与解吸特征

当气相或液相中的分子碰撞到固体表面时，由于它们之间的相互作用力，使一些分子停留在固体表面上；当体系达到热力学平衡时，固体表面的气相分子或液体分子的浓度大于在气相或液相中的浓度，这种现象称为吸附作用。通常固体称为吸附剂，被吸附的物质称为吸附质。

吸附按吸附剂与吸附质间作用力的不同，可以把吸附分为物理吸附和化学吸附。物理吸附是指吸附剂与吸附质之间的作用力为范德华力，其特点是吸附力弱，易脱附，吸附速度快；化学吸附是指吸附剂与吸附质之间的作用力为化学键力，其特点是吸附质在吸附剂表面发生了化学反应，生成了络合物，吸附力强，不易脱附，吸附速度较慢。同时，物理吸附与化学吸附在一定条件下可以相互转化。吸附过程是可逆的，当吸附达到平衡时，即吸附速度等于脱附速度时，每克吸附剂吸附的气体在标准状态下的体积或吸附的吸附质的毫摩尔数（或毫克数），称为吸附量。

根据分子动力学的理论，1915 年 Langmuir 提出了单分子层吸附理论，并导出了等温吸附方程式。随着经验的积累和研究的深入，从测定的很多吸附等温线中，1938 年布鲁诺尔、爱默特和泰勒三人在 Langmuir 吸附等温理论的基础上提出了多分子层 Langmuir 吸附等温理论。

固体自溶液中的吸附是经常遇到的现象之一。与气体在固体表面上吸附相比，固体溶液中的吸附规律比较复杂。因为即使是简单的溶液，也是由溶剂和溶质组成。溶剂和溶质都可以被吸附，而且溶剂和溶质之间还有相互影响。因此，固体自溶液中吸附的理论不像气体吸附理论那样完善，至今还处在研究初始阶段。固体自溶液中的吸附至少要考虑三种力：即界

面上固体与溶质之间的作用力和固体与溶剂之间的作用力，以及溶液中溶剂与溶质之间的作用力。在固体放入溶液以后形成的固—液界面上，总是被溶剂和溶质分子所占据，即溶液中的吸附是溶剂分子与溶质分子在液固界面上竞争吸附的结果，若固液界面上的吸附质比溶液内部大，就是正吸附；若固液界面上的吸附质比溶液内部小，就是负吸附。显然，当溶质是正吸附时，溶剂就是负吸附。

从吸附速度来看，溶液中的吸附速度比一般气体在固体表面上的吸附速度慢得多。这是由于吸附质在溶液中的扩散速度要比气体的扩散速度慢。虽然固体自溶液中的吸附比气体吸附复杂，但测定吸附量的试验非常简单。将一定量的固体放入一定量的已知浓度的溶液中，在一定温度下振荡，以缩短扩散时间，测定溶液浓度，从浓度变化就可以计算出每克固体吸附了多少溶质。通常把未考虑溶剂只考虑溶质的吸附量叫做表观吸附量。

在常规的化学剂驱油过程中，化学剂的吸附作用是一种负效应，在驱油过程中应尽量减少化学剂的吸附。而分子膜驱油机理与常规化学驱不同，它主要是通过分子间力的作用使膜剂有效分子粘附在岩石表面，从而使原油剥离下来，因此有必要对分子膜剂在岩石表面上的吸附作用进行系统地研究，充分认识膜剂在岩石表面的吸附规律和吸附量大小。

一、分子膜剂浓度测定方法

1. 仪器设备

- (1) 分光光度计；
- (2) 磨口锥形瓶：250mL、150mL；
- (3) 容量瓶：250mL、100mL；
- (4) 移液管：50mL、25mL、20mL、10mL、5mL；
- (5) 秒表；
- (6) 250mL 分液漏斗；
- (7) 漏斗架；
- (8) 分析天平；
- (9) 震荡器。

2. 化学试剂

分子膜浓度测定所需的化学试剂名称如下：

- (1) 柠檬酸，分析纯；
- (2) 磷酸氢二钠 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)，分析纯；
- (3) 溴百里香酚兰，分析纯；
- (4) 碳酸钠，分析纯；
- (5) 硼酸，分析纯；
- (6) 无水乙醇 99.5%，分析纯；
- (7) 二氯甲烷，分析纯。

3. 测定方法

用标准分子膜剂溶液配制 0mg/L、10mg/L、20mg/L、30mg/L、40mg/L、60mg/L、80mg/L、100mg/L 的分子膜剂系列溶液。测得的系列吸光度值与对应膜剂浓度用计算机作图，回归成工作曲线，最终得出计算膜剂浓度的公式。

4. 浓度测定步骤

在 250mL 磨口锥形瓶中加入 5mL 含膜剂的溶液（取配制膜剂溶液的水 5mL 为空白

样), 50mL 二氯甲烷, 4mL 溴百里香酚兰, 20mL、pH=7 缓冲溶液。放入震荡器中强烈摇晃 5min, 转移到 250mL 分液漏斗中静置 10min。放出二氯甲烷层于锥形瓶中, 用 25mL 移液管移取萃取液。加入 10mL 硼酸醇溶液, 摇晃后, 立即比色。用分光光度计于 420nm 波长测定吸光度。用 2cm 比色皿并以水作为空白液进行比色。

二、分子膜剂的静态吸附

1. 分子膜剂静态吸附试验

1) 试验仪器设备

- (1) 100mL 塑料瓶;
- (2) 恒温水浴;
- (3) 高速离心机;
- (4) 分光光度计;
- (5) 分析天平等。

2) 试验方法

将未洗油的天然油砂和不同浓度的分子膜剂溶液以 1:9 的固液比混合, 分装在 100mL 塑料瓶中, 充分振荡后置于地层温度 65℃ 下的水浴中, 每 12h 充分振荡一次, 以一定的时间间隔取出样品, 用高速离心机以离心速度为 4000~6000r/min 将溶液离心, 取上层清液, 测定原溶液和试验后溶液中的分子膜剂浓度。

3) 静态吸附量的计算

根据吸附前后分子膜剂初始浓度和平衡浓度的差值, 按下式计算出分子膜剂在油砂上的静态吸附量:

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C) \times V_0 \times 10^{-3}}{m}$$

式中 Γ ——单位质量的吸附剂吸附分子膜剂的量, mg/g;

C_0 ——吸附前溶液中分子膜剂的浓度, mg/L;

C ——吸附达到平衡后溶液中分子膜剂的浓度, mg/L;

V_0 ——用于吸附的分子膜剂溶液的体积, mL;

m ——吸附剂的质量, g。

2. 静态吸附试验结果

未洗油岩心和洗油岩心静态吸附量随浓度变化试验结果见图 2-2 和图 2-3。在这两种条件下, 膜剂的静态吸附量随浓度变化趋势不同。对于未洗油岩心静态吸附量随着膜剂浓度的增加而增大, 浓度越大其吸附量也越大; 对于洗油岩心, 当膜剂浓度小于 500mg/L (实测浓度 424mg/L) 时, 静态吸附量随着膜剂浓度增加而增大, 当膜剂浓度增加为 500mg/L (实测浓度 424mg/L) 时吸附量最大, 之后随着浓度的增加吸附量减少。

分子膜剂的静态吸附量与接触时间的关系见图 2-4 和图 2-5。从图中曲线的变化趋势可以看出, 两种条件下静态吸附量随时间变化规律是一致的, 都是开始时吸附速率大, 吸附量大, 随着放置时间的增加, 吸附速率变慢, 渐渐趋于平衡。分子膜剂在未洗油岩石上的静态吸附量为 0.8197mg/g (砂), 在洗油岩石上的静态吸附量为 1.0454mg/g (砂)。

三、分子膜剂在未洗油岩心上的动态吸附与解吸作用

1. 分子膜剂的动态吸附试验方法

1) 试验仪器设备

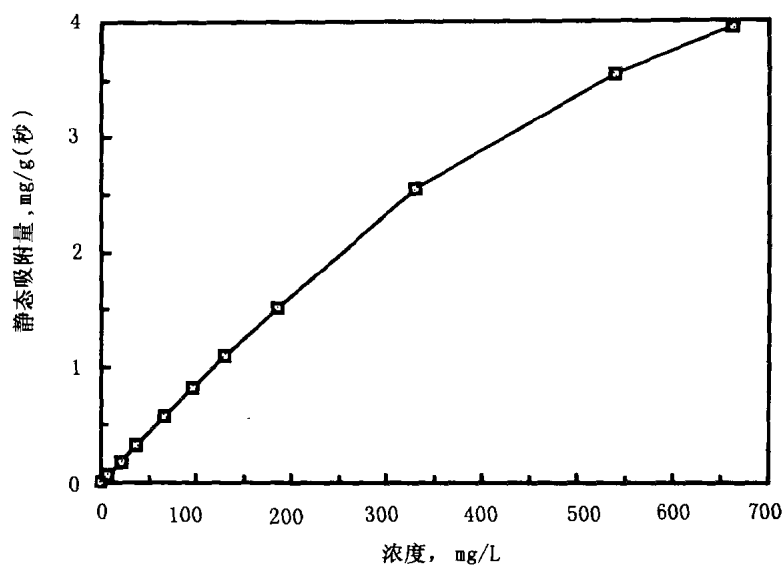


图 2-2 未洗油岩心静态吸附量与浓度关系曲线

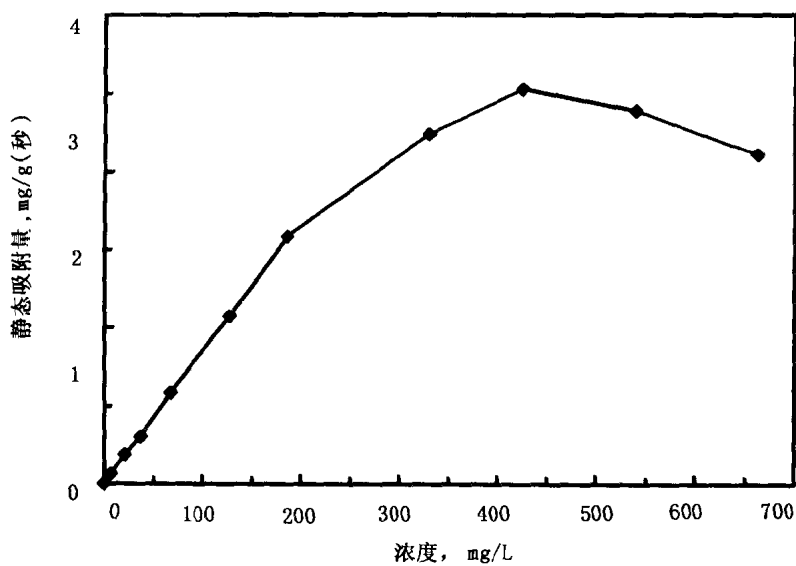


图 2-3 洗油岩心静态吸附量与浓度关系曲线

- (1) 驱替流程;
- (2) 微机平流泵;
- (3) 分析天平;
- (4) 空气渗透率测定装置;
- (5) 分光光度计等。

2) 试验方法

用天然油砂充填岩心模型, 首先测定空气渗透率, 再抽空 3h 后饱和地层水, 测水相渗

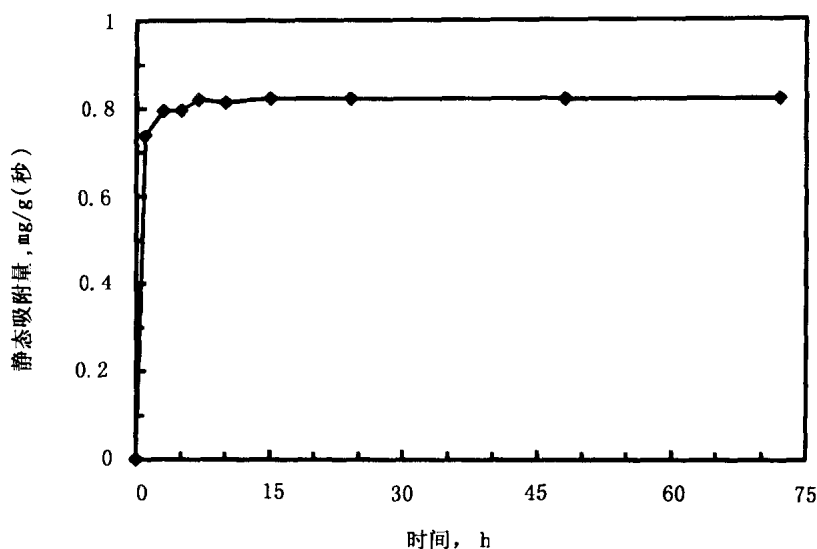


图 2-4 未洗油岩心静态吸附量随时间变化规律

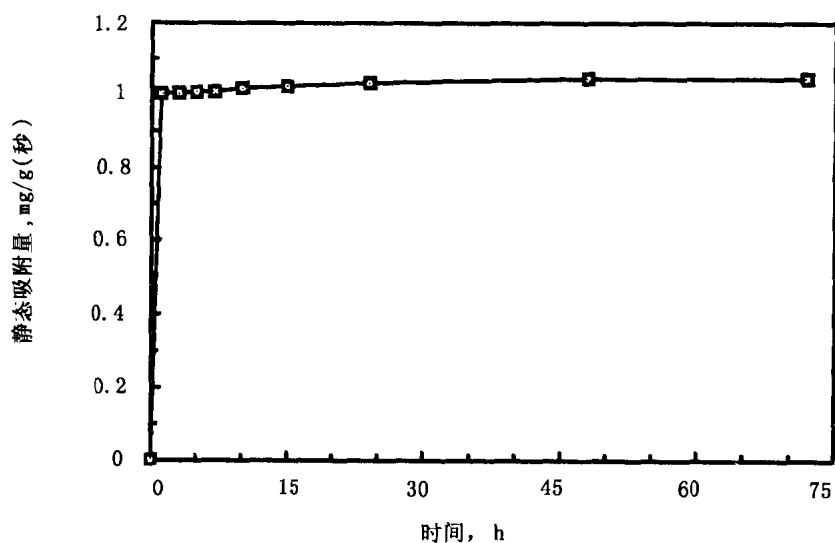


图 2-5 洗油岩心静态吸附量随时间变化规律

透率。然后在一定的注入速度下用一定浓度的分子膜剂溶液进行驱替试验，驱替出的液体用 25mL 的量筒收集，每 25mL 作为一个样，测定采出液中膜剂浓度，直至采出液中膜剂浓度与原溶液中膜剂浓度相同为止，即动态吸附达到平衡。

3) 动态吸附量计算公式

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(C_0 - C_i) \cdot V_i \times 10^{-3}}{m} \right]$$

式中 Γ ——单位质量的吸附剂吸附分子膜剂的动态吸附量，mg/g；

C_0 ——吸附前溶液中分子膜剂的浓度，mg/L；