

中国石油天然气集团公司钻井工程重点实验室

钻井液技术文集

(2003)

孙金声 刘雨晴 主编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

DRILLING

责任编辑：庞奇伟等 封面设计：赛维钰 责任校对：王 群

ISBN 7-5021-5221-0



9 787502 152215 >

ISBN 7-5021-5221-0/TE · 4029

定价：38.00 元

中国石油天然气集团公司钻井工程重点实验室

钻井液技术文集

(2003)

孙金声 刘雨晴 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

该论文集介绍的主要内容包括超低渗透钻井液技术、隔离膜与半透膜水基钻井液技术、空心玻璃球低密度水基钻井液技术、正电聚醇钻井液技术、可生物降解环保型钻井液技术等反映了近年来国内外钻井液技术研究的热点新技术,对减少各油气田井下复杂情况和事故、保护油气层等有很大的借鉴作用。

本书对从事油气井钻井工程的现场技术人员、相关科研院所的研究人员具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

钻井液技术文集/孙金声,刘雨晴主编.

北京:石油工业出版社,2006.1

ISBN 7-5021-5221-0

I. 钻…

II. 孙…

III. 钻井液-文集

IV. TE254-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 107019 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:10

字数:250 千字 印数:1—1200 册

定价:38.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

为了推动我国油气钻井工程中钻井液技术的发展与进步,中国石油天然气集团公司钻井工程重点实验室于2003年10月在昆明举办了“钻井液新技术研讨会”。参加会议的有来自国内三大石油公司和相关高等院校从事钻井液研究、开发、教学、应用、管理的专家和学者共计70余人。大家欢聚一堂,交流近几年来取得的新成果、新进展和新经验,共谋未来的进一步发展。会议取得了圆满成功,并将本次会议评选出的优秀论文集集出版。

钻井液技术是油气钻井工程技术的重要组成部分。20世纪80年代中期以来,国际钻井技术发展很快,且呈加速态势。美国能源部在展望21世纪钻井技术发展趋势时指出,今后的钻井是要“更深、更快、更便宜、更清洁”。我对此曾作了补充,还要“更安全、更聪明”。所谓“更聪明”,是指能大幅度提高勘探、开发效果的钻井方式和井型的变革。毫无疑问,钻井液技术的发展与进步对保证上述目标的实现有着重要的作用。

近些年来,国外的钻井液服务公司在符合环保要求、防止地层伤害、稳定井壁、适应高温高压恶劣环境、防漏堵漏、钻井液管理等方面进行了大量的研究,并取得突破性进展。例如,最近研制出的无伤害钻井液、微泡钻井液、硬葡聚糖打开油层钻井液、充氮泡沫钻井液等一系列新型钻井液,为防止地层伤害、增产增储提供了新的手段;又如,聚合醇钻井液、甲酸盐钻井液、合成基钻井液和水基深井钻井液等新型钻井液,满足了环保、稳定井壁和应付恶劣钻井环境的要求,推动了钻井技术的发展。

本论文集的内容大多涉及当今钻井液物理化学技术的前沿课题,同时也关联着钻井工程所需要的前沿技术,例如,新型钻井液体系及其处理剂的研制、保护油气层技术、防漏堵漏技术、钻井液强化井壁技术等,在一定程度上反映了我国钻井液技术的最新动态和研究水平。其中,超低渗透钻井液技术、隔离膜与半透膜水基钻井液技术、空心玻璃球低密度水基钻井液技术、正电聚醇钻井液技术、可生物降解环保型钻井液技术等均是近年来国内外钻井液技术研究的热点新技术,从机理研究、室内性能测试、技术优化到现场应用,均取得了可喜的进展,有些技术已在现场应用中获得了良好的技术效果、经济效益与社会效益。

衷心希望本书的出版会对我国钻井技术的发展起到良好的推动作用。是为序。



中国工程院院士

中国石油天然气集团公司钻井工程重点实验室主任

2005年6月

目 录

水基钻井液成膜(半透膜、隔离膜)理论与实验研究	孙金声 张克勤 汪世国 张毅 袁春 刘进京 高立新 刘雨晴 (1)
水基钻井液成膜技术研究	孙金声 汪世国 张毅 袁春 李竞 刘善华 刘雨晴 (10)
抗高温成膜降滤失剂 CMJ-1 的研制及其性能	袁春 孙金声 王平全 刘雨晴 (18)
抗 220℃ 高温高密度水基钻井液研究	黄进军 蒲晓林 (24)
硅酸盐抑制性及稳定井壁机理探讨	梁大川 蒲晓林 (30)
低(无)荧光防塌降滤失剂 FJ-1 的实验研究	王平全 李晓红 (35)
空心玻璃球低密度水基钻井液研究	蒲晓林 李春霞 侯勤立 徐显广 戎克生 陈兴明 (39)
国外超低渗透钻井液技术综述	孙金声 林喜斌 张斌 尹达 杜小勇 刘雨晴 (46)
超低渗透钻井液性能测试方法	孙金声 唐继平 张斌 尹达 邹盛礼 虞邦杰 (51)
超低渗透钻井液防漏堵漏技术研究与应用	孙金声 张家栋 黄达权 王宝田 (57)
超低渗透钻井液作用机理研究	孙金声 刘雨晴 苏义脑 罗平亚 (62)
超低渗透钻井液完井液技术研究与应用	孙金声 张家栋 黄达权 白相双 王宝田 刘雨晴 (69)
乳化柴油钻井液在天然气井欠平衡钻井中的成功应用	郭才轩 宋明全 (78)
柯深 102 井钻井液技术	李再均 李 宁 (84)
抑制性泡沫桥堵钻井液在吉林油田海 31 井的应用	周保中 王晓波 史海民 张路军 杨德龙 李兰侠 (89)
正电胶阳离子聚合物低界面张力钻井液技术研究与应用	孙金声 刘雨晴 刘进京 杨贤友 周保中 郝宗保 (95)
正电聚醇钻井液研究与应用	周光正 黄达全 徐军献 (104)
海上作业常用钻井液添加剂生物降解性实验研究	

.....	罗兴树 蒲晓林 (116)
河坝 1 井复杂事故处理及钻井液技术	
.....	何兴华 王宝田 许荣海 顾法钊 孙 强 刘传海 (131)
环保型天然聚合物钻井液技术研究与应用	
.....	姚少泉 汪世国 张 毅 谢 军 胡 辉 (137)
甲酸盐钻井液体系室内研究及在柴达木盆地现场应用	
.....	肖登林 刘有成 范作奇 徐珍焱 林建强 逯登智 (145)

水基钻井液成膜（半透膜、隔离膜）理论与实验研究

孙金声¹ 张克勤¹ 汪世国² 张毅² 袁春³ 刘进京¹ 高立新² 刘雨晴¹

(1. 中国石油勘探开发研究院; 2. 新疆石油管理局泥浆技术服务公司;
3. 西南石油学院)

摘 要:介绍了孔隙压力扩散与井壁稳定的关系。泥页岩是非理想的半透膜,可以通过加入特种处理剂来改善泥页岩膜的理想性。通过改善泥页岩膜的理想性与形成隔离膜,均能阻止或减缓水和钻井液进入泥页岩,达到稳定井壁和保护储层的目的。通过泥球浸泡试验、膜效率测定,评价了半透膜抑制剂的膜效能,并指出半透膜效能与抑制性的趋势是一致的,可以通过膜效能来评价钻井液体系的抑制性。介绍了隔离膜降滤失剂的性能及其膜结构特征。

Chenevert 在 1970 年测定了泥页岩在不同的活度的油基钻井液中的线膨胀率,发现钻井液中水相活度越高,膨胀率越大,而当钻井液中水相活度低于泥页岩中水活度时,泥页岩发生负膨胀,即收缩。Hale 等在 1992 年测定了泥页岩用不同的活度的油基钻井液处理后的力学性能,发现当钻井液活度较低时,泥页岩的强度会增加。1993 年 Mondishine 和 Kercheville 在实验中发现乳化的水相可穿过油、水界面而运移,具有反应活性,而且由于泥页岩中水活度和油基钻井液中水相活度的相对高低,泥页岩既可发生水化也可发生去水化。上述的泥页岩能够发生去水化、收缩、强度增加等事实,是活度平衡理论的依据。Chenevert 和 Sharma 提出了“总水位”即总化学位的概念,指出总水位的影响因素包括压力、温度、渗透作用、表面电荷作用等,这是对活度平衡理论的更加深入的探讨。为求证以油包水钻井液为基础建立起来的“活度平衡理论”是否适用于水基钻井液, F. K. Mody 等人用模拟井下条件的 Oedometer 型实验舱以不同水活度的水溶液与 pierre 泥页岩岩心相互作用,得出 pierre 泥页岩在 13.8MPa 或更高的压实应力下有显著的半透膜特性。A. H. Hale 和 F. K. Mody 在井下模拟舱 (DSC) 用不同活度的水基钻井液做实验,得出泥页岩其自身可以起到半透膜作用,但可能在几十分钟或几十小时内就消失。T. J. Ballard 等人采用放射性同位素示踪法,在常温常压下测定水和溶质离子的迁移,结论是水和离子通过泥页岩的迁移情况,取决于泥页岩压实程度,在常压下水和离子主要按流动和扩散的方式迁移, PHPA 和 PAC 在常压下略微减慢了水进入泥页岩的速度。1993 年, F. K. Mody 和 A. H. Hale 等人提出泥页岩本身有一非完善的半透膜,存在一定的膜效率,它是一种非理想的半透膜,其效率不是 100%,可用反映系数来表征膜的理想性,也作膜效率,但可以加入特种处理剂来提高泥页岩的膜效率。J. P. Simpson 等人通过井底模拟装置 (DSC) 对比研究了油基钻井液、水基钻井液及 MEG 钻井液,发现 MEG 在泥页岩表面具有类似油基钻井液的半透膜,具有很好的膜效应,现场应用取得良好效果。硅酸盐钻井液本身能形成半透膜,硅酸盐可与地层多价离子反应,在井壁表面形成分子膜,类似化学“封固壳”可以封堵微裂缝。CSIRO 和 Baroid 联合开发研制出了具有成膜效能的三类新型化合物,它的膜效率在 55%~85%之间,并且研制出了具有高膜效能的水基钻井液。能形成隔离膜的聚合物在井壁上形成分子膜即在井壁的外围形成保护层,阻止水及

井液进入地层，现场应用证明具有很好的稳定井壁和保护储层性能。半透膜与隔离膜技术的作用机理不同，但是其作用效果是一致的，即有效的防止地层水化膨胀、封堵地层层理裂缝、防止地层内粘土颗粒的运移、防止井壁坍塌及保护油气层。

一、水基钻井液“半透膜”理论的探讨

科学研究发现，井壁失稳的原因是由于孔隙压力扩散所致。因此，维持井壁稳定的重点就在于控制孔隙压力扩散的问题上。通过对页岩的研究发现泥页岩在与水作用的情况下会产生“半透膜”的性质。利用“半透膜”的机理对现有的钻井液体系研究得出水基钻井液在一定条件下可达到近油基钻井液体系的性能，使使用水基钻井液替代油基钻井液成为可能。

1. 孔隙压力的扩散与井壁失稳

泥页岩的一个主要特性是它们的低渗透率。据有关文献指出，泥页岩的渗透率用微毫达西表示（从几毫微达西到几十毫微达西），泥页岩的孔隙非常小，仅在 $0.001 \sim 0.01 \mu\text{m}$ 之间。这种低渗透率的结果，使一般的水基钻井液在泥页岩地层上不能形成泥饼，这样水扩散进入岩石（假定钻井液压力 p_m 高于初始孔隙压力 p_0 ）。图 1 解释了原始孔隙压力的扩散过程。在刚开钻后，靠近井壁的孔隙压力是低于原始孔隙压力的。这是由于泥页岩未排水和由于钻井液冷却作用的温度梯度影响，这样井壁周围的孔隙压力会随时间变化而变化，直到形成一种稳定的压力分布。最终孔隙压力的增加将导致井壁有效过平衡液柱压力（ Δp_{eff} ）的减少，结果岩石被破裂，如图 2 所示。由于泥页岩的低渗透性，这种破坏将会延迟。孔隙压力扩散的快慢将取决于泥页岩的渗透性、弹性和钻井液与井壁之间物理化学作用等边界条件。通常情况下，渗透率越低，压力增长愈慢。渗透率不同，在井壁内孔隙压力与井筒压力平衡时，压力扩散到某一地点的时间可能是几小时，也可能是几天。从这一观点来看，对一个泥页岩稳定的钻井液体系，最重要的任务是尽可能的避免流体渗入泥页岩体内以消除或延缓孔隙压力的扩散。

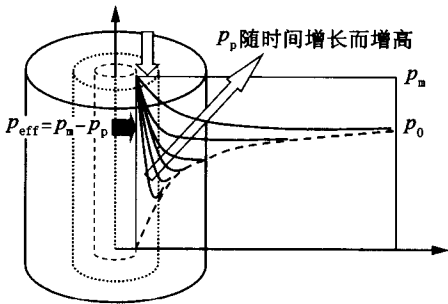


图 1 时间与井壁压力扩散关系简图

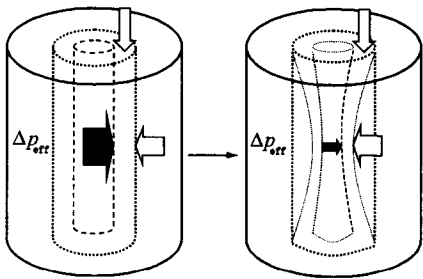


图 2 压力降低失衡井壁坍塌简图

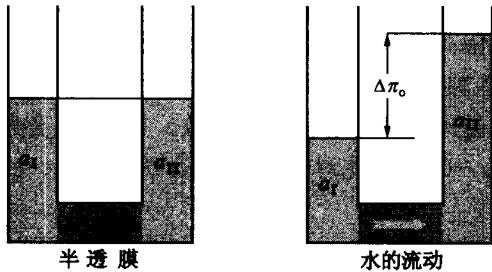
2. 泥页岩是一个非理想渗透膜

当相邻泥页岩薄层重叠时，泥页岩作为半透膜的功能就产生了。由于泥页岩孔隙尺寸与双层间厚度（几十毫微米甚至更小）差不多，出现在泥页岩薄层之间狭窄孔隙中的水膜，被重叠的泥页岩完全控制。当这种情况发生，占优势的离子是被吸附到带负电性的压缩泥页岩薄层的阳离子，阴离子被泥页岩薄层上的负电荷排斥出孔隙。阳离子立即被流体中靠近泥页岩的正电荷所排斥（图 3）。水是中性的，能通过泥页岩孔隙。同性相斥、异性相吸，为了维持外部溶液的中性，阳离子倾向维护它们的聚离子。这样粘土形成一个半透膜，它可以运送溶剂组分，但是阻止溶质组分通过。

半透膜的渗透压按下式计算：

$$\Delta p = \Delta \pi = \frac{RT}{V_w} \ln \left(\frac{a_w^I}{a_w^{II}} \right)$$

式中 $\Delta \pi$ ——渗透压；
 R ——气体常数；
 T ——绝对温度；
 V_w ——水的摩尔体积；
 a_w^I ——溶液 1 的活度；
 a_w^{II} ——溶液 2 的活度。



$$\Delta p = \Delta \pi_0 = \frac{RT}{V_w} \ln \left(\frac{a_1^I}{a_1^{II}} \right)$$

图 4 力压头穿过理想和半透膜进展简图

理想渗透膜的渗透系数为 1，并且所有的溶质将被渗透膜阻止；非理想渗透膜 σ 在 0~1 之间。图 5 显示理想和半透膜的水力压力变化。由于非理想半透膜中盐的漏失， σ 将随时间减小。

半透膜的渗透系数 σ 还可用 Friz - Marine Membrane 公式计算：

$$\sigma = 1 - \frac{K_s (R_w + 1)}{\left[\left(R_w \frac{\bar{C}_a}{\bar{C}_c} + 1 \right) + R_{wm} \left(R_m \frac{\bar{C}_a}{\bar{C}_c} + 1 \right) \right] \phi_w} \quad (3)$$

式中 K_s ——半透膜抗盐量， $K_s = C_a / C_s$ ；
 C_a ——膜孔隙中阴离子浓度；
 C_s ——膜外部溶质平均浓度；
 C_c ——膜孔隙中阳离子浓度。

其中

$$\bar{C}_c = \bar{C}_a + \text{CEC}_{\rho_p} (1 - \phi_w) \quad (4)$$

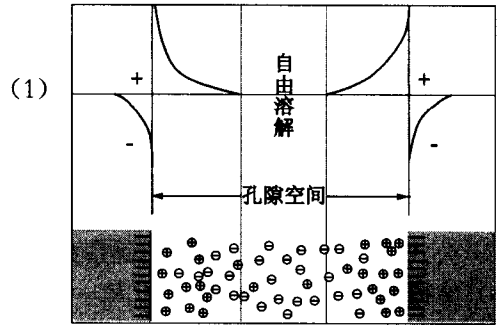


图 3 粘土双电层简图

这个公式用来计算两种溶液间的理论渗透压力。如果半透膜是理想半透膜，理论渗透压将等于所产生的水力压头，如图 4 所示。

天然中的泥页岩常常是非理想的半透膜，其渗透压由于穿过液体的浓度不同所产生的水力压头比理想半透膜低；非理想意味着膜是渗漏的，溶质没有完全被阻止从高浓度相向低浓度一边扩散。非理想渗透膜的渗透系数用 σ 表示，定义为：在水没有运移的情况下，实测的水力压头 Δp 与理论渗透压 $\Delta \pi$ 之比，即

$$\sigma = \left(\frac{\Delta p}{\Delta \pi} \right)_{J_v = 0} \quad (2)$$

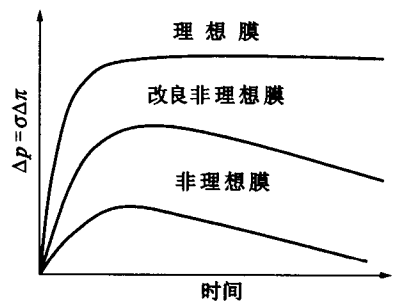


图 5 水力压头穿过理想和半透膜进展简图

$$\bar{C}_a = -\frac{1}{2} \text{CEC} \rho_p (1 - \phi_w) + \frac{1}{2} \sqrt{\text{CEC}^2 \rho_p^2 (1 - \phi_w)^2 + 4 \bar{C}_s^2 \phi_w^2} \quad (5)$$

式中 CEC——阳离子交换能力；

ρ_p ——膜材料离子密度；

ϕ_w ——体积水含量或膜孔隙度。

公式(3)中有3个摩擦比例系数。首先 R_m 是固体膜结构(m) 中阳离子(c) 阴离子(a) 摩擦系数(f) 的比值, 即 $R_m = f_{cm}/f_{am}$, 它反映了摩擦阻力减少的倾向; 其次 R_{wm} 是渗透膜骨架中阴离子摩擦系数与在渗透中膜水的摩擦系数的比值 $R_{wm} = f_{am}/f_{aw}$; 最后, R_w 是透膜水中离子摩擦系数比值 $R_w = f_{cw}/f_{aw}$ 。理想膜的孔隙中不含有游离盐, 也就是说溶质不是被束缚在含阳离子多的吸收层。然而非理想膜, 在孔隙中含有溶质。所有的泥页岩是非理想膜, 但在孔隙度具有阳离子交换能力的泥页岩隔离的稀释溶液中抗盐效率是最大, 双层重叠越大, 膜结构抗盐越高。由公式(3)可知当孔隙度趋近于零, $\bar{C}_a$ 也趋近于零; 如果这些孔隙被膜结构外部环境的盐所大量填充, 双层中对抗离子的特性将变得失效。如果 $\bar{C}_s$ 很大, 由公式(5) $\bar{C}_a$ 接近 $\bar{C}_s \phi_w$; 对于非选择多孔介质 $\bar{C}_a = \bar{C}_s$, 因此对于理想膜 $\bar{C}_a$ 为0。

3. 泥页岩的渗透驱动力

对于一个恒温等电位体系, 垂直通过渗透膜的溶剂量(J_v)、溶质量(J_s) 计算公式如下:

$$J_v = L_p (\Delta p_{\text{eff}} - \sigma \Delta \pi) \quad (6)$$

$$J_s = \bar{C}_s (1 - \sigma) J_v + \omega \Delta \pi \quad (7)$$

式中 L_p ——水力渗透系数;

ω ——溶质渗透系数。

$$L_p = \frac{K}{\rho g x \mu} \quad (8)$$

式中 ρ ——流体密度;

g ——重力常数;

x ——渗透膜厚度;

K ——泥页岩渗透率;

μ ——滤液粘度。

$$\omega = \frac{D_0}{RTx\tau} \quad (9)$$

式中 R ——气体常数;

T ——绝对温度;

τ ——渗透膜曲率, $\tau = L_e/L$, L_e 为流体经过膜的实际有效距离, L 为膜的宏观距离, 由此定义得出 $\tau \geq 1$ 。

注意: $\Delta p_{\text{eff}} = p_m - p_p$ 和 p_p 将随时间和位置的变化而变化。根据公式(6), 液体浸入泥页岩是由于水力压力的差异和渗透压造成的, 对常规密度和常规活度的钻井液体系, 液体进入速度取决于泥页岩本身结构和流体与地层之间的相互作用(涉及 K 和 σ)。

4. 改善泥页岩膜的理想性

根据公式 (3) 减小孔隙尺寸或者增加在泥页岩薄层的电荷密度能增加渗透膜的理想性。在特殊情况下, 当 $\sigma\Delta\pi > \Delta p_{\text{eff}}$, 孔隙流体将流出泥页岩层, 导致负的 $\sigma_p(t)$, 此种物质必须小到能够进入页岩空隙, 然后强烈吸附在页岩上。换言之, 这些物质可以在井筒周围泥页岩骨架内形成一种内泥饼, 由于内泥饼的渗透率通常比页岩的更低, 因此沿着它有一个突变的压力降, 增加 $\sigma\Delta\pi$ 将延缓孔隙压力扩散率 (图 6 和图 7)。

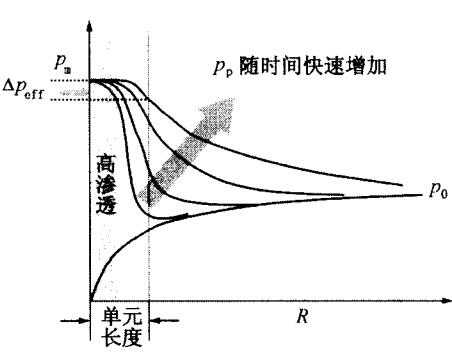


图 6 靠近井眼渗透率增高时
井壁上的孔隙压力扩散

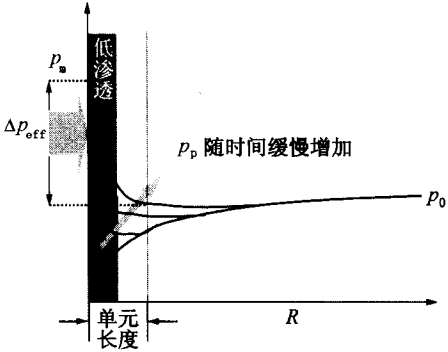


图 7 靠近井眼渗透率降低时
井壁上的孔隙压力扩散

二、水基钻井液半透膜抑制剂性能实验研究

半透膜抑制剂 BTM-1 是有机硅酸盐化合物, 通过泥球浸泡试验及半透膜效率测定评价了其半透膜效能, 过钻屑回收率试验评价了其抑制性。

1. 半透膜抑制剂泥球浸泡试验

称取 60g 钠膨润土加入 30g 蒸馏水, 混拌均匀, 捏成圆形球放入各种抑制剂溶液中, 浸泡试验结果见表 1。

表 1 泥球在各种抑制剂溶液中浸泡试验结果

抑 制 剂	12h 吸水量 (g)	72h 吸水量 (g)	168h 吸水量 (g)
0.5%KPAM 溶液	21.2	38	59
0.5%80A51 溶液	23	38.2	63
0.5%天然产物包被剂	24.8	39.5	69.5
0.5%FA367	24	37	57
0.5%大阳离子	25.5	43.2	73.2
0.3%FS-III	8.5	散, 无法称量	散, 无法称量
0.3%BTM-1	-2.7	4.2	9.7

实验中发现半透膜抑制剂 BTM-1 胶液中浸泡的泥球其表面在很短时间内能形成一层坚固的“封固壳”。起初的 12h 内, 泥球内部的水分向胶液中移动。即泥球重量在起初的

12h 内逐渐变轻。但 12h 后胶液中的水分依然会进入泥球中，但其进入到泥球中的水分比聚合物胶液中的泥球吸水量小得多。72h 之内，聚合物中泥球的吸水量比半透膜抑制剂中泥球吸水量大 3 倍。168h 后，增加到 6~7 倍左右。泥球浸泡实验能非常直观地观察到半透膜反应，半透膜抑制剂 BTM-1 较聚合物抑制泥页岩水化膨胀能力强得多。半透膜稳定粘土的主要机理是尺寸分布较宽的硅酸粒子通过吸附、扩散等途径结合到粘土晶层端部，堵塞粘土层片之间的缝隙，抑制粘土的水化，从而稳定了粘土；在某些条件（如高温、长时接触等）下，半透膜抑制剂与粘土进行化学反应产生无定形的、胶结力很大的物质，使粘土等矿物颗粒凝结成牢固的整体。硅酸盐可与地层多价离子反应，在井壁表面形成分子膜，类似化学“封固壳”可以封堵微裂缝。

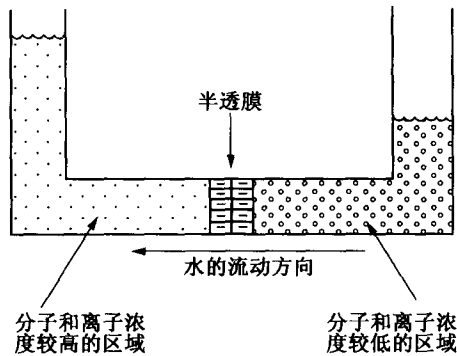


图 8 渗透装置

2. 泥页岩半透膜的效率测定

半透膜的一个主要特性就是只能让一部分物质通过，如图 8 所示，由于浓度差的原因水由分子和离子浓度低的一边穿过膜到浓度高的一边。

先将一定轴压围压下的泥页岩样用 8% 的 NaCl 溶液饱和，然后用一定浓度（活度）的盐溶液或水替代 8%NaCl 溶液，由于溶液浓度（活度）变化，泥页岩产生膨胀压力（膨胀时为正，收缩为负），与理论膨胀压进行比较，即得泥页岩的半透膜效率。几种钻井液的膜效率结果见表 2，试验结果表明：岩心在油基钻井液的收缩最大，在半透膜抑制剂硅酸盐钻井液中的收缩次之。一般认为油基钻井液的膜效率最高为 100%，水基钻井液的膜效率相对较低。半透膜抑制剂钻井液的半透膜效率相对较高为 76%。其可有效的阻止水进入地层，从而维护了井壁的稳定，有效保护储层。

表 2 几种钻井液体体系的膜效率

钻井液类型	膜效率 (%)
35%CaCl ₂	5.0
21%NaCl	3.8
26%KCl	2.2
72%HCOOK	7.9
硅酸盐钻井液	61
半透膜钻井液	76

3. 钻屑回收率试验

表 3 是青 2-19 井弓形山组地层 2300~2400m 钻屑在几种抑制剂中 120℃ 热滚动 16h 后钻屑回收率评价试验结果。结果表明：半透膜抑制剂 BTM-1 的抑制泥页岩水化膨胀、分散的能力较阴离子、两性离子、阳离子及甲酸钾强。

表 3 钴屑回收率 (120℃, 16h 热滚)

溶 液	回 收 率
清水	7.51
清水 + 0.5%KPAM	21.06
清水 + 0.5%FA367	22.19
清水 + 0.5%CHM (大阳离子)	22.9
清水 + 2.8%FS-III	41.22
清水 + 3%FS-III	42.12
清水 + 5%甲酸钾	53.22
清水 + 2.5%BTM-1 (半透膜抑制剂)	57.32

泥球浸泡实验直观观察到半透膜效应, 半透膜效率与钻井液的抑制性是一致的, 膜效率间接反映了钻井液的抑制性。

三、水基钻井液隔离膜理论与实验研究

隔离膜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 方法用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, 广泛的用于制备 5~500nm 厚度的有机、高分子超薄膜。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组装。浇铸膜可由浸渍方法或旋转涂抹法来制备, 但很难实现分子有序度和膜纳米尺寸的调控。钻井液中的隔离膜是通过聚合物在泥页岩上的化学吸附或化学反应形成单层或多层吸附。

1. 隔离膜降滤失剂膜结构特征

以乙烯、乙酸、甲醇和磺化剂为主要原料, 通过高温氧化、酯化、聚合、醇解及磺化合成了一种新型抗高温成膜降滤失剂 CMJ-1。天然纤维经碱化, 在高温条件下裂解后, 在催化作用下和有机胺化合物经缩聚反应, 得到另一种新型有机胺天然纤维聚合物 CMJ-2。

CMJ-1、CMJ-2 在淡水浆中经 HTHP 后的滤饼经过液氮冷冻, 临界点干燥后, 制成扫描电镜 (SEM) 分析样品, 对滤饼的表面形态、内部结构进行的扫描放大分析研究。表面形态是采用二次电子图像进行观察研究的, 配合能谱和波谱研究滤饼的结构组成。图 9 至图12便是HTHP后滤饼的表面结构, 能观察到表面较致密, 大的固相颗粒较少, 并且能清

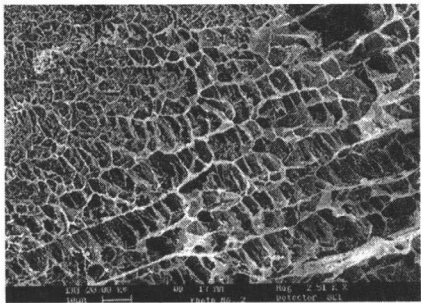


图 9 CMJ-1 膜结构图
扩大倍数为 2510

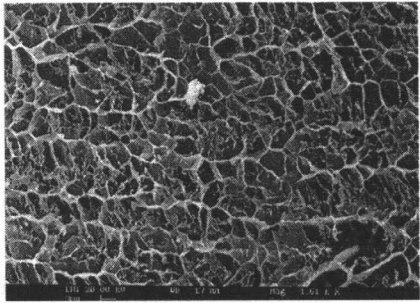


图 10 CMJ-1 膜结构图
扩大倍数为 4610

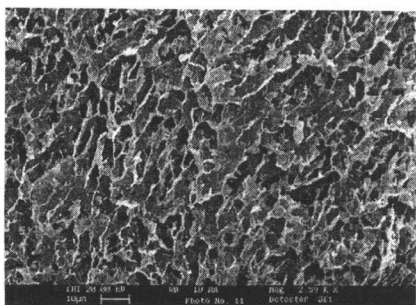


图 11 CMJ-2 膜结构图
扩大倍数为 2590

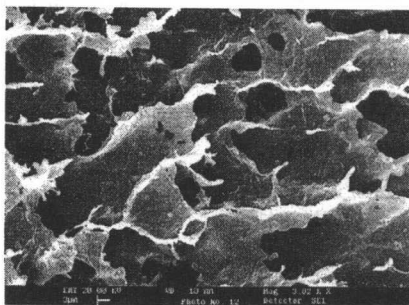


图 12 CMJ-2 膜结构图
扩大倍数为 3820

晰的看到，存在着大块的膜结构，这种结构可阻止水分子向泥页岩内渗透，有利于稳定井眼，而且 CMJ-1、CMJ-2 主链是以碳链为主，侧链上含有众多的磺酸根基团、羟基或胺基，磺酸根基、胺基电荷密度高，水化性强，对外界阳离子的进攻不敏感，同时支链化的结构可以增大空间位阻，使主链的刚性增强，有利于抗温能力的提高。侧链羟基、胺基与粘土矿物既有吸附作用，又能够与粘土颗粒形成氢键，且由于其分子链的非离子特性，容易在滤饼上形成一层保护膜，阻止滤液向地层渗透，从而降低了泥页岩的水化分散作用。

2. 隔离膜降滤失剂抗高温降滤失性能

在淡水基浆中分别加入 1.0%CMJ-1、CMJ-2 高速搅拌 5min，在不同温度下进行老化处理 16h，测定钻井液老化处理前后的性能，实验结果见表 4。由表 4 可以看出，CMJ-1、CMJ-2 均具有很好的抗高温降滤失性能。

表 4 CMJ-1、CMJ-2 在淡水浆中的抗高温降滤失性能

老化温度 (°C)	性能	API 滤失 (mL)	
		CMJ-1	CMJ-2
常温		4	3.2
120		6.8	5.2
150		8.4	6.4
180		10.8	9.8
220		12	40.2
240		14.4	46

3. 成膜水基钻井液渗透率恢复值试验

用吉林油田大情字地区油田储层的天然岩心，在模拟现场条件下（温度 70~80℃，伤害压差 3.5MPa，伤害速梯为 200s⁻¹）按照动态评价模拟现场钻井液伤害时的实验步骤，评价了成膜钻井液，钻井液伤害后岩心渗透率恢复值试验结果见表 5。试验表明隔离膜钻井液对储层伤害小，有利于保护储层。

表 5 成膜钻井液对油层伤害实验

样 品	岩心编号	空气渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	油相渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	伤害后渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	渗透率恢复值 (%)	实验条件
CMJ-1	9-1	200.2	164.3	130.2	84.9	温度 80℃ 压差 3.5MPa
	切去 1.6cm			156.4	93.58	温度 80℃ 压差 3.5MPa
CMJ-2	16-2	203.59	165.1	136.9	82.9	温度 70℃ 压差 3.5MPa
	切去 1.8cm			157.18	95.2	温度 70℃ 压差 3.5MPa

四、结束语

井壁失稳的原因是由于孔隙压力扩散所致，因此维持井壁稳定的重点在于控制孔隙压力扩散。要控制孔隙压力扩散最重要的是尽可能避免流体渗入泥页岩体内以消除或延缓孔隙压力的扩散。泥页岩是非理想的半透膜，可以通过加入特种处理剂提高泥页岩的理想性，同时可以通过在泥页岩表面形成具有完全隔离效能的膜来阻止或延缓流体进入泥页岩，达到稳定井壁和保护储层的目的。

通过泥球浸泡试验可以直观的观察半透膜抑制剂的膜效应，膜效率测试表明 BTM-1 具有较高的膜效率，其膜效率的大小与抑制性是一致的，膜效率能间接的反映钻井液的抑制性，隔离膜降滤失剂的膜结构特征是通过化学吸附和氢键作用，能够在页岩表面形成紧密吸附的分子膜。这种隔离膜有利于阻止流体进入页岩，稳定井壁和保护储层。

参 考 文 献

孙金声等. 2003. 水基钻井液成膜技术研究. 钻井液与完井液, (6)

水基钻井液成膜技术研究

孙金声¹ 汪世国² 张毅² 袁春³ 李竞² 刘善华² 刘雨晴¹

(1. 中国石油勘探开发研究院; 2. 新疆石油管理局泥浆技术服务公司;
3. 西南石油学院)

摘 要:介绍了一种新型的有机硅酸盐半透膜抑制剂 BTM-1。通过钻屑回收率试验、泥页岩水化趋势作用试验、泥球浸泡试验和膜效率测定,评价了 BTM-1 抑制剂对泥页岩水化膨胀及分散性能的抑制作用及半透膜效能。研制了与其相配伍的具有良好抗盐抗温性能的降滤失剂 CFJ-1;介绍了具隔离膜性能的成膜降滤失剂钻井液性能,用扫描电镜试验,测定了隔离膜的结构特征,对隔离膜降滤失机理进行了初步探讨。给出了具有半透膜、隔离膜的成膜钻井液配方,评价了成膜钻井液的抑制性、抗盐性能和抗温性能,通过动滤失试验、渗透率恢复值验证评价了成膜钻井液保护储层效果。荧光及毒性试验表明,成膜钻井液体系无荧光、无毒性,满足国际环保要求。

成膜水基钻井液技术就是使钻井液具有半透膜性能,或在井壁上形成一层分子膜(隔离膜),在井壁的外围形成保护层,阻止水及钻井液进入地层,从而有效地防止地层水化膨胀,封堵地层裂隙,防止井壁坍塌,保护油气层。成膜钻井液技术是防止井壁坍塌与保护储层完全协调一致的新技术。

一、成膜水基钻井液技术研究

1. 半透膜抑制剂的性能

半透膜抑制剂 BTM-1 是有机硅酸盐化合物。通过钻屑回收率试验评价了 BTM-1 的抑制性,通过泥球浸泡试验及半透膜效率测定评价了 BTM-1 的半透膜效能。

1) 屑回收率试验

将青 2-19 井 2300~2400m 井段钻屑加入到不同的抑制剂溶液中,在 120℃ 下热滚 16h 后测定回收率,结果见表 1。由表 1 可以看出, BTM-1 的抑制泥页岩水化膨胀、分散的能力较硅酸钠和甲酸钾强。

表 1 几种抑制剂钻屑回收率试验结果

溶 液	回收率 (%)
清水	7.51
清水 + 0.5% KPAM	21.06
清水 + 0.5% FA367	22.19
清水 + 0.5% CHM (大阳离子)	22.90
清水 + 2.8% FS-III (硅酸钠)	41.22
清水 + 3% FS-III (硅酸钠)	42.12
清水 + 5% 甲酸钾	53.22
清水 + 2.5% BTM-1 (半透膜抑制剂)	57.32