

水基钻井液成膜技术研究进展^{*}

白小东 蒲晓林

(西南石油大学)

白小东等.水基钻井液成膜技术研究进展.天然气工业,2006,26(8):75-77.

摘要 水基钻井液成膜技术是当今研究的热点,其核心技术是利用页岩或钻井液的物理、化学特性,使页岩或钻井液具有半透膜的性能或在井壁上形成一层高质量的隔离膜,阻止钻井液向地层的进一步滤失,从而有效地稳定井壁和保护油气层。文章根据国内外研究的实际情况,对水基钻井液的几种成膜机理进行了探讨,分析了半透膜和隔离膜的实质,总结了成膜水基钻井液、成膜处理剂以及成膜新工艺的应用现状及发展趋势。建议加强对成膜机理以及对所形成膜的性质等方面的研究。同时应在提高膜的功能和环保型成膜剂方面做出不懈努力。

主题词 水基钻井液 半透膜 成膜处理剂 隔离膜 成膜工艺

随着科学技术的进步,人们对环保的要求不断提高,这就要求我们对水基钻井液有更深入的研究,使水基钻井液在一定条件下达到油基钻井液的某些性能,以更好的稳定井壁和保护油气层,成膜钻井液便应运而生。钻井液成膜的最终目的是使钻井液具有半透膜的性能或在井壁上形成一层致密的隔离膜,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。

一、半透膜钻井液研究现状

在不同的学科领域,人们对半透膜的定义是有差别的。化学中的半透膜是指:只允许某种混和物(单一相)中的一些物质透过,而不容许另外一些物质透过的薄膜,与溶液的“活度”相关;物理中的半透膜是指:只允许某种混和物(溶液、混和气体)中的一些物质透过,而不允许另一些物质透过的薄膜;生物上的半透膜是指:只让溶剂分子透过而不让溶质分子透过的薄膜。从上述概念中可看出,半透膜是指只允许某些分子(或离子)透过而不让别的分子(或离子)透过的膜^[1]。根据 Fersheed K. Mody 等人的研究,半透膜水基钻井液的成膜机理可以划分为以下几类^[2]。

(1)钻井液和页岩的化学反应。①通过吸附形成高粘度的层状聚合物薄膜,如水溶性聚合物+交

联剂;能与水和矿物表面形成氢键的凝胶。②通过堵塞/充填、成胶和沉淀。当溶液的 pH、电解质类型及浓度发生变化时,成膜聚合物发生相转移,从而堵塞、充填空隙。

(2)电解质作用。①双电层。利用在页岩井壁上形成扩散双电层,阻止溶剂出入。②改变粘土表面性质。利用阳离子聚合物改变页岩粘土片的带电性能。

(3)功能分子的吸附。利用 H 键、范德华作用力、空隙堵塞作用、井壁覆盖作用或改变溶质—空隙的尺寸比例将功能分子附着在井壁页岩表面上。

(4)粘土改造。通过成膜剂的加入在粘土片之间(端表面和平表面)发生反应,形成“柱状”粘土。

当然,各种成膜钻井液和成膜处理剂的作用机理不可能完全相同,也不一定就是其中单独的一种,应区别对待。

1. 页岩半透膜

泥页岩的渗透率非常低,一般的水基钻井液很难在井壁上形成滤饼,水通过扩散作用进入岩石,引起孔隙压力扩散,造成井壁失稳。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,国外研究证明:泥页岩,特别是古老的泥页岩,具有半透膜作用。只是它不是“理想”的半透膜而是“非理想”的半透膜,也就是说溶质是可渗透

^{*} 本文系中国石油天然气集团公司重点研究项目“工作液及处理剂作用原理研究及新型处理剂开发”部分研究成果(编号:03A20203)及四川省科技攻关项目(编号:2006Z01-001-4)。

作者简介:白小东,1978年生,博士研究生,从事钻井完井液和油田化学材料方面的研究工作。地址:(610500)四川省成都市西南石油大学博2004级。电话:13219010105。E-mail:bai-xiaodong@163.com

的。目前研究的重点是利用物理和化学的方法建立起泥页岩的“半透膜”,并增强其“理想性”,使之接近或等于在油基钻井液中的半透膜作用^[3-4]。

2. 半透膜钻井液

研究表明,以下钻井液体系具有半透膜的性能:

(1)硅酸盐钻井液^[3-4]。近年来,国外对硅酸盐钻井液体系进行了系统的研究,提出:硅酸盐钻井液在维护井眼稳定方面与油基钻井液(OBM)一样有效,并有利于保护油气层。Bailey 等人研究结果表明,硅酸盐可在泥页岩内沉积,形成一层屏障或膜来阻止离子的运动,这种离子膜的膜效率较油基钻井液膜效率小。进一步实验证实,高 pH 值的硅酸盐钻井液会改变粘土的物理化学性质,硅—铝有可能发生重新分布,这对硅酸盐钻井液的抑制性起到了重要作用。在高温高压条件下进行压力扩散试验,结果表明,硅酸盐钻井液体系能减小压力扩散。硬度试验表明,阳离子聚合物和硅酸盐可提高页岩的硬度,而硅酸盐钻井液的摩擦系数与其它水基钻井液的差别较小。

(2)聚合醇钻井液^[5-7]。聚合醇属于非离子聚合物,具有“浊点”效应。它的亲水性受温度的影响,当温度低于一个临界值时,聚合醇溶于水,显水溶性;当温度高于临界值时,聚合醇在水中分散,表现出憎水的特性。在钻井作业中,随着井深的增加,井温不断升高,可利用井温的变化和聚合醇的浊点效应来实现预定的技术思路,根据这种设想研制出聚合醇类防塌水基钻井液。聚合醇分子链束在钻屑表面附着而形成一层憎水膜,抑制钻屑的水化分散,提高地固控效率,维护钻井液流变性的稳定。分子链束在钻具、套管和井壁上附着,形成一层类似于油基钻井液半透膜的憎水性分子链束膜,提高井壁稳定性。当钻井液返回到地面时,因温度降到临界点以下,聚合醇又恢复其水溶性,使分子链束膜从钻屑表面脱附而进入钻井液体系,降低处理剂损耗。

(3)甲基葡萄糖苷(MEG)钻井液^[8-9]。研究表明,MEG 钻井液具有良好的抑制性和油气层保护特性,主要原因是 MEG 独特的分子结构及由此产生的半透膜效应。MEG 分子结构上有 4 个亲水的羟基,它可以吸附在井壁岩石和钻屑上,如果钻井液中 MEG 加量较大,则在井壁岩石和钻屑上形成一层吸附膜,可将岩石和水隔开。这一层吸附膜称作半透膜,可通过调节活度实现活度平衡钻井,控制钻井液与地层内水的运移,有效阻止泥页岩水化膨胀,以保持井壁稳定,另外 MEG 环状分子上含有 4 个氢氧

根,可与水分子形成牢固的氢键结合。因此,MEG 钻井完井液的滤液进入地层后有脱水作用。试验表明,其脱水作用比 KCl 钻井完井液和甘油钻井完井液高,可防止泥页岩水化分散及微粒的产生,因而可以大大减少对油气层的损害。MEG 钻井完井液具有低的表面张力,当滤液进入储层后,返排出来比较容易,防止或减少水分滞留在油气层,减少储层渗透率的下降。

3. 成膜处理剂研究进展

为了让钻井液具有更好的成膜性能,国内外学者正加紧研制性能优良的成膜剂。国外 M-1 钻井液公司的 R. Schlemmer 等人研制成功了取代糖类成膜剂和丙烯酸盐类成膜剂,在北海海域应用成功^[10]。中国石油勘探开发研究院等研究单位已研制出 BTM-1 水基钻井液成膜剂^[11],它具有良好的半透膜效能,抑制泥页岩水化膨胀、分散能力较硅酸盐和聚合物钻井液强。在吉林大情字井地区应用取得了较好效果。石油大学(华东)研制成功了多功能聚醚多元醇防塌剂 SYP-1^[12],通过封堵和吸附作用吸附到粘土矿物表面,形成一层憎水的吸附膜,阻止水分子进入粘土矿物的晶层中,降低粘土膨胀压。在胜利油田车古 208 井和塔里木油田 HD4-23H 井现场应用效果良好。新星石油公司钻井研究所和华东石油大学联合研制的成膜树脂防塌剂 FGA 在新疆窝铺地区柴 3 井试用成功^[13]。中国石化勘探开发研究院研制成功了一种成膜树脂 CMFT-1,主要以吸附交联、粘结成膜作用而稳定岩石。CMFT-1 及其配套钻井液在松南 HD29-20、HD27-18 井现场应用效果显著。

二、隔离膜钻井液研究进展

钻井液形成的隔离膜是指钻井液和井壁岩石发生物理、化学作用,在井壁上形成一层非渗透性的薄膜,阻止任何物质的通过,而且具有一定的强度、韧性和厚度。

据报道美国正在研究试验能达到完全隔离效能的水基钻井液,聚合物通过吸附或化学反应在井壁上形成一层隔离膜,即在井壁的外围形成保护层,阻止水(滤液)及钻井液进入地层,该类产品已在海上油气田应用,效果明显,具有很好的稳定井壁和保护储层性能。中石油勘探开发研究院成功研制了隔离膜降滤失剂 CMJ-1 和 CMJ-2^[14-15],并以之为基础发展了隔离膜钻井液配方,在新疆克拉玛依油田 T85388 井和青海油田马 105 井、涩南 2 井现场应用

效果良好。另外,目前国外已开发成功一种新型钻井完井液体体系^[16]。该体系具有超低固相质量浓度(低于28.4 g/L),利用表面化学原理,使钻井液在地层表面产生一种可以密封地层的非渗透性薄膜。其主要处理剂包括DWC2000TM(增粘剂)、FLC2000(降滤失剂)和KFA2000(润滑剂)。国内目前相类似的处理剂有BST系列产品及超低渗透的处理剂。其技术的核心是一种聚合物(油溶或水溶),它具有极其广泛的HLB值,能有效封堵储层。当加入水基液中时,该聚合物形成可变形的聚集体或膜,在井眼内液体的压力作用下,这些膜迅速地封闭地层喉道,从而大大限制了流体的侵入;当压力继续增大时,由于这些成层的膜是可以变形的,从而更好地封闭地层孔隙喉道,进一步降低了渗透率。

传统的隔离膜钻井液主要是靠加入一些无机材料,利用它们的尺寸效应封堵地层孔隙,膜效率较低;而如今多集中在聚合物成膜剂的研制上,利用聚合物分子链的交叉和多点吸附成膜,或者和其它材料形成复合膜。

三、成膜工艺的发展

据SPE文献报道^[10-17],国外正在研究一种在线成膜技术,在钻遇不稳定地层如:页岩、泥岩、粉砂岩和粘土岩时稳定井壁。其成膜的方法与传统的加入成膜剂或成膜材料不一样,而是将成膜单体在地面配浆时加入,在地下发生化学聚合成膜。成膜单体为水溶性物质,在高pH(10~12)条件下可溶于水,在地面的聚合可以忽略。其成膜机理为:通过缩聚反应(缩合—解缩平衡)形成膜,页岩地层水pH介于5~7,当成膜单体进入页岩地层和地层水接触,钻井液的pH值降低,成膜单体之间发生缩聚成膜。另外,沉淀和絮凝作用同时发生,使空隙空间被固体充填,进一步增强了膜效率。用Pierre II型页岩样品对缩合产物在页岩上的成膜能力进行了评价,其膜效率在55%~85%之间,以之为基础的水基钻井液能够达到油基泥浆对页岩的稳定能力。

到目前为止,成膜剂仍然是直接被加入到钻井液中,这样一来成膜剂所发挥出来的效果会因为地面条件(溶解性、分散性、第一时间发生反应的对象等)而受到限制,在线成膜技术可克服这一不足,是一个新方向,但仍需深入研究。

四、结束语

随着钻井作业难度的增加,石油界的同仁们对

水基钻井液成膜技术的呼声是越来越高,但是人们对成膜机理仍然认识不足,对所形成的膜的性质、应采用何种方法来评价膜的性能等仍存在误区,应在这方面多作研究。同时应在提高膜的功能和环保型成膜剂方面做出不懈努力。

参考文献

- [1] 杨新而. 半透膜与选择透过性膜[J]. 生物学教学, 1997(1):7.
- [2] FERSHEED K M, UDAY A T. Development of novel membrane efficient water-based drilling fluids through fundamental understanding of osmotic membrane generation in shales[J]. SPE, 77447.
- [3] 张克勤, 方慧, 等. 国外水基钻井液半透膜的研究概述[J]. 钻井液与完井液, 2003, 20(6):1-5.
- [4] 徐同台, 赵忠举. 21世纪初国外钻井液和完井液技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.
- [5] 郝庆喜, 等. 聚合醇防塌钻井液在牛88井的应用[J]. 钻井液与完井液, 1997, 14(6):21-23.
- [6] 卢虎, 吴晓花. 聚合醇保护裂缝性储层应用研究[J]. 油田化学, 2004, 21(3):205-208.
- [7] 刘平德, 牛亚斌. 一种新型聚合醇钻井液体系的研制[J]. 天然气工业, 2005, 25(1):100-102.
- [8] 王彬, 樊世忠. MEG水基钻井液的研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(3):22-25.
- [9] 高锦屏, 郭东荣. 甲基葡萄糖苷钻井液研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(5):7-10.
- [10] SCHLEMMER R, FRIEDHEIM J E. Chemical osmosis, shale, and drilling fluids[J]. SPE, 2003, 318-331.
- [11] 孙金声, 汪世国. 水基钻井液成膜技术研究[J]. 钻井液与完井液, 2003, 20(6):6-10.
- [12] 吕开河. 多功能聚醚多元醇防塌剂SYP-1的性能评价及现场应用[J]. 钻井液与完井液, 2004, 21(5):15-18.
- [13] 丁锐, 于忠厚. 成膜树脂防塌剂FGA的研究. 钻井液与完井液, 1998, 15(3).
- [14] 袁春, 孙金声. 抗高温成膜降滤失剂CMJ-1的研制及其性能[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(2):30-32.
- [15] 王平全, 孙金声. 成膜(隔离膜)水基钻井液体系实验研究[J]. 西南石油大学学报, 2004, 26(6):60-63.
- [16] 崔迎春, 王贵和. 钻井液技术发展趋势浅析[J]. 钻井液与完井液, 2005, 22(1):60-62.
- [17] CHEE P TAN, FERSHEED K M. Novel high membrane efficiency water-based drilling fluids for alleviating problems in troublesome shale formations[J]. IADC/SPE, 77192.

(收稿日期 2006-01-07 编辑 钟水清)