

# 国外超低渗透钻井液技术综述

孙金声<sup>1</sup> 林喜斌<sup>1</sup> 张斌<sup>2</sup> 尹达<sup>2</sup> 杜小勇<sup>2</sup> 刘雨晴<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院,北京;2. 塔里木油田分公司,新疆库尔勒)

**摘要** 概述了国外超低渗透钻井液完井液技术研究和发发展现状。介绍了超低渗透钻井液的组成、超低渗透钻井液技术的关键处理剂——滤失控制与眼稳定剂的组份、超低渗透钻井液完井液技术的作用机理、新的测试滤失量的实验方法及其现场应用效果。与以往钻井液体系相比,该体系具有关键处理剂作用机理独特、防漏防塌、防压差卡钻、有利于提高压力敏感性地层承压能力、保护油气层以及环境友好且地层适应性较广泛的显著特点。

**关键词** 超低渗透钻井液 砂床 滤失 环境保护 地层损害 综述

**中图分类号**: TE254.3

**文献标识码**: A

随着油气勘探开发领域的不断扩展,钻井过程中遇到的地层越来越复杂,在钻遇压力衰竭地层、裂缝发育地层、破碎或弱胶结性地层、低渗储层以及深井长裸眼大段复杂泥页岩和多套压力层系等地层时,压差卡钻、钻井液漏失和井壁垮塌等复杂问题以及地层损害问题非常突出。石油工业油井建设的最终目标是实现无损害钻井。长期实践表明,利用传统的钻井液体系,往往顾此失彼,难以同时解决以上复杂问题。为此,近年来国外学者提出并开发出了超低渗透钻井液体系。超低渗透钻井液主要工作原理为:利用特殊的聚合物处理剂在井壁岩石表面浓集形成胶束,依靠聚合物胶束或胶粒界面吸力及其可变形性,封堵岩石表面较大直径范围的孔喉,并在井壁岩石表面形成致密的超低渗透封堵膜,有效封堵不同渗透性地层和微裂缝泥页岩地层,在井壁的外围形成保护层,使钻井液及其滤液完全隔离,不会渗透到地层中,从而实现近零滤失钻井。

## 1 超低渗透钻井液的性能特点

### 1.1 独特的表面化学原理

超低渗透钻井液利用独特的表面化学原理,在渗入到井壁岩石表面微裂缝或孔喉处时,形成很薄的滤饼,增大地层破裂压力,如升至 27.58 MPa。

### 1.2 很低的动滤失

超低渗透钻井液限制滤液渗入岩石的深度,不

是依赖钻井液形成的固相滤饼,而是通过封堵地层的裂缝和孔隙来控制。超低渗透钻井液不仅具有传统钻井液的优良性能,而且具有传统钻井液所不具备的优异性能:①很低的动滤失性能,可防止钻井液进入页岩;②可封闭页岩裂隙,防止钻井液向地层的渗透;③钻井液的滤失量不是时间的平方根的函数。

### 1.3 有封堵膜

超低渗透钻井液中的小颗粒在渗透性或微裂缝地层形成封闭膜,并在压差的作用下附着于井壁上。

### 1.4 渗透率恢复值高

酸溶测试结果表明,超低渗透钻井液形成的滤饼有 98%~99% 可以被清除掉,在压力反转的情况下可自动脱落;岩心渗透率恢复值大于 95%,有利于提高产能。

### 1.5 利于环境保护

超低渗透钻井液所有产品都通过了美国环保署的 LC<sub>50</sub> 测试,其毒性数据大于 1000000 mg/L;在北海也通过了环保鉴定。在环境保护要求高的地区,该钻井液可以代替油基钻井液使用。

## 2 超低渗透钻井液作用机理

### 2.1 降滤失、减小储层损害机理

当用超低渗透钻井液钻井时,由于钻井液中的聚合物聚集成可变形的胶束,当钻井液开始向页岩

渗透时,这些胶束在页岩上迅速铺展开,并在孔喉处形成低渗透封闭膜,阻止钻井液进一步渗透。当因钻井施工引起页岩产生裂缝时,超低渗透钻井液能填塞这些裂缝,并在裂缝的孔隙中或碎片的表面上产生表面张力(孔隙或碎片越小,张力越大),阻止钻井液继续滤失。超低渗透钻井液通过在井壁表面形成致密的无渗透封堵薄层(膜),有效封堵不同渗透性地层和微裂缝泥页岩地层,在井壁的外围形成保护层,使钻井液及其滤液完全隔离,不会渗透到地层中,从而实现接近零滤失钻井,防止地层内粘土颗粒的运移,减小钻井液对储层的损害,保护油气层。

## 2.2 提高地层的承压能力的机理

在钻井施工过程中,井壁对钻具会产生各种摩擦力,这些摩擦力通过钻杆形成过平衡压力,过平衡压力又通过钻杆施加于井壁上。如果无法减弱和消除对地层的过平衡压力,势必会造成井壁坍塌和钻井液严重漏失的后果。超低渗透钻井液具有完美的封堵性能,它可将过平衡压力消除到零,使压力不被传送到地层,则钻杆就不会由于过平衡压力而冲击井壁,因而不会造成井壁坍塌和钻井液严重漏失。

## 2.3 消除压差卡钻机理

压差是钻井液液柱压力与地层孔隙压力之差,压差越大,越容易发生卡钻。一旦钻杆与易渗透地层接触,钻井液产生的过平衡压力就会作用到钻杆上,钻杆顶靠井壁引起卡钻。在压差卡钻的情形中,一个重要的影响因素是钻井液滤饼的性能,如果滤饼厚,钻杆上的泥饼会越来越多,泥饼与钻杆的接触面积越来越大,较之薄滤饼更易发生卡钻。而使用超低渗透钻井液,低渗透屏障在岩石表面迅速生成,使得钻井液的滤失量非常低,滤饼也不象大多数传统钻井液那样迅速增厚,压差传递不到地层。因此使用超低渗透钻井液可大大降低卡钻的风险。

## 2.4 堵漏机理

一方面超低渗透钻井液胶束在弱胶结地层的原生裂缝处形成屏障;另一方面,LCP2000中的薄片吸收液体后膨胀,在漏失处束缚住堵漏材料,在压力作用下滤液从颗粒中挤出,由于堵漏材料的去水化,所以在漏失处封堵更好。

钻井液的胀流性使其粘在一起,当胀流性钻井液进入滤失区时,随流速增加,其粘度进一步增大。通过在滤失区的增稠,一小部分钻井液渗漏进地层后,膨胀剂将停留在原地,其结果是形成架桥封堵,

可抗 6.895 MPa 的压差。配制不同胀流性钻井液时,添加剂用量不同,水基钻井液中的浓度为 142.5 g/L,油基和合成基钻井液中的浓度为 199.5 g/L。

## 2.5 形成泡沫桥塞

超低渗透钻井液含有气泡和泡沫,这些气泡和泡沫可使过平衡压力降到最低,并且气泡和泡沫可桥塞各种孔径的喉道,阻止钻井液的渗漏,防止地层理裂隙的扩大和井下复杂情况的发生。

## 3 组成及主要处理剂的特点

### 3.1 超低渗透钻井液组成

超低渗透钻井液有 3 个主要产品:滤失控制井眼稳定剂 FLC2000、井眼稳定剂 LCP2000 和多种组分组成的混合物 DWC2000。在水基、油基钻井液中加入 11.4~11.7 g/L 井眼稳定剂 FLC2000 或井眼稳定剂 LCP2000,即可转化为超低渗透钻井液体系。

### 3.2 主要处理剂的特点

(1)DWC2000 为一袋化产品,可以直接加入水、油中,配合加重材料配制超低渗透水基、油基钻井液。该剂由可溶解的、部分溶解的和不可溶解的聚合物组成,其突出特点是对岩心无污染。

(2)FLC2000 产品由植物衍生物形成的混合物、可完全水溶解和部分水溶解的合成有机聚合物、不溶金属氧化物等组成,具有温度稳定性。加入 11.4~11.7 g/L 的 FLC2000 可将任何钻井液体系(如水基、油基等)转化为超低渗透体系。FLC2000 产品虽不是一种堵漏材料,但加入 5.7 g/L 可控制动滤失,加入 8.55 g/L 可使页岩稳定,加入 11.4 g/L 可防止卡钻,加入 14.25 g/L 可用于钻压力衰竭层及松散砂岩层。FLC2000 产品加量为 8.55~11.4 g/L 即可替代其他许多滤失控制添加剂,如部分水解的聚丙烯酰胺、SPA、沥青质、乙二醇及聚合物絮凝剂。使用 FLC2000 产品可以消除压差卡钻、减少滤失、抗盐类污染;提高衰竭砂岩层的破裂梯度、消除页岩崩落及钻较弱地层时地层的破裂问题;改善定向井的偏移;清除低密度固相且不需要利用超细振动筛来清洗亚微米级钻屑,简化固控设备;减少软泥岩的水化分散,提高渗透率恢复值。

(3)LCP2000 产品是非架桥材料,由数种混合物、经过处理的薄片、纤维和颗粒组成,其中薄片粒径为 0.15~4.00 mm,纤维长度为 0.2~1.3 mm,材料细度低至 0.03 mm。该产品在水基和油基钻井

液中均可使用。LCP2000 可用于松散地层、裂缝/破裂未密封的断层带和孔洞/孔穴地层的渗透漏失、部分漏失和严重漏失的防漏堵漏。在钻进漏失地层前,加入 5.7~11.4 g/L 的 LCP2000,钻井液就具有了动态封堵作用,并可以防止漏失;使用较低的浓度(2.85~5.7 g/L)时可封堵渗漏地层和部分漏失地层;当发生全漏失时,可通过形成膨胀钻井液来封堵地层。在漏失区,钻井液具有剪切增稠性,进入漏失区足够深度后,流变摩擦阻力大于地层压力时,钻井液停止向前继续移动而进行堵漏。这种封堵不是永久性的,故可用于生产层。LCP2000 还可配制水泥隔离液,用于预期漏失区和地层破裂区。

#### 4 超低渗透钻井液应用典型实例

1. 在 2001 年前,美国在远东地区的两个井区内使用传统钻井液钻井,2 年钻井液的漏失量分别达到 345.21 和 155.54 L/m。2001 年底以后,使用超低渗透钻井液完井液,钻井液的损失仅为 22.76 和 79.66 L/m,由此节省的非生产时间也是可观的。

2. 2002 年底,在远东地区的一口油井中,钻井液钻进储层页岩的裂缝中,泵入含 191.15 kg/m<sup>3</sup> LCP2000 的钻井液 6.36 m<sup>3</sup>,浸泡 1 h 后,漏失停止;3 h 后,井压达到 6.895 MPa,没有发生漏失。

3. 对于天然的碳酸盐裂隙储层和弱胶结砂岩储层,在美国本土使用超低渗透钻井液处理漏失事故已有 5 年。若在使用油基钻井液钻天然碳酸盐裂隙储层时发生井漏,加入 6.3~9.6 m<sup>3</sup> 浓度为 142.6~214.0 kg/m<sup>3</sup> 的 LCP2000 即可。在处理严重漏失事故时,LCP2000 可使漏失量降低 80%~90%。

4. 在南美沿安第斯山脉,阿根廷北部以北一直到哥伦比亚地区的地质构造强度(tectonic stresses)非常大,页岩很硬,页岩层间包裹砂石,使用油基钻井液钻井,常常发生渗漏。有时使用 15 种防漏失剂控制漏失,但效果甚微,卡钻事故经常发生。使用超低渗透钻井液完井液,确保了井壁的稳定性的。

5. 在钻墨西哥湾强粘土页岩层时,对超低渗透钻井液与传统钻井液进行比较,发现在超低渗透钻井液中添加 3%KCl,可防止钻井液渗漏。

6. 在美国的俄克拉荷马州南部的 Atoka 盆地,用传统钻井液打一口井通常需要 18 个月的时间,用超低渗透钻井液打一口井通常只需要 4 个月。

7. 在巴西的一个海洋油井区,10 年前,人们认为须靠化学反应来处理页岩油藏,以解决井壁不稳

定的问题。在用保存下来的井下岩样进行实验后发现,超低渗透钻井液可消除井壁不稳定的问题。

8. 在孟买深海,碳酸盐段有断层,在 7 口井的钻井过程中发生的大量钻井液漏失,用 DOBC 平均 27 h 堵住漏失,而用超低渗透钻井液只用了 6 h,油井比预期的产能高出 580%。

#### 5 结论

超低渗透钻井液由于具有独特的封堵功能,该钻井液能较好地解决以下技术难题。

1. 超低渗透钻井液使用同一配方就能有效封堵不同渗透性地层,即具有广谱防漏和保护储层效果。而传统钻井液中固体颗粒的桥堵作用效果却主要取决于颗粒尺寸分布与地层孔喉大小匹配吻合度,适应地层范围较窄。

2. 超低渗透钻井液封堵层形成速度快且薄,位于井壁岩石表面上,没有渗入岩石深处,所以只要消除过平衡压力,封堵膜的作用就会消弱,一旦有反向压力,封堵膜就会被清除。因此,在完井和生产过程中,封堵层易于清除,不会因产生永久堵塞而损害储层。

3. 超低渗透钻井液封堵隔层(膜)承压能力强,能提高漏失压力和破裂压力梯度,相当于扩大了安全密度窗口,能较好地解决以往钻长裸眼多套压力层系或压力衰竭地层时易发生的漏失、卡钻、坍塌和油层损害技术难题。

4. 不同于常规钻井液的泥饼,超低渗透钻井液在井壁表面形成的封堵层很薄,且阻隔压力传递能力强,因此,能有效避免压差卡钻。

5. 所有产品都通过了美国环保署的 LC<sub>50</sub> 测试,其毒性数据大于 1000000 mg/L。在北海也通过了环保鉴定。该体系在环境保护要求严格的地区可以代替油基钻井液。

#### 参考文献

- SPE 69493, SPE 53791, SPE/IADC 85326, IADC/SPE 59127, SPE 30127, SPE 52731, SPE 54773, SPE 38039, SPE 52744, SPE 52746, SPE 71435, SPE 68933, SPE 74166, SPE 73712, IADC/SPE 59117, IADC/SPE 59192, IADC/SPE 62729, IADC/SPE 52813, IADC/SPE 47786, SPE 73711, SPE 52737, SPE 39508, SPE 52742, SPE 61203, EDTI NEWSLETTER (October, 1996), SPE 38644, SPE 69643, SPE 77189