

油基钻井液条件下井壁失稳原因分析及应对措施

李其文（中国石化中原石油工程公司技术公司，河南 濮阳 457001）

摘要：油基钻井液施工面临挑战，复杂情况日益频发。本文结合现场施工案例，着重讨论分析页岩气水平井油基钻井液施工过程中井壁失稳情况产生原因和处理措施。从地层微观岩石结构、物理化学特征和宏观地质构造特点两方面阐述了井壁失稳成因，提出通过增加体系内固相颗粒粒径分布，降低油水比，复配使用氧化沥青、磺化沥青、纳米材料综合提高油基钻井液封堵性能解决井壁失稳难题。

关键词：油基钻井液；井壁失稳；地质；封堵性能；应对措施

页岩气丛式水平井井眼轨道更为复杂，钻井过程中摩阻和扭矩更大、工具面摆放与控制更为困难，钻井难度也更大^[1]。页岩地层裂缝发育、水敏性强，水平段钻进过程中易发生井漏、垮塌、泥页岩水化膨胀缩径等复杂情况，对钻井液性能要求极高。在应对页岩气水平井井壁稳定方面，采用油基钻井液体系是国外目前最有效的措施。国外60%~70%的页岩气水平井采用油基钻井液体系。就国内近期完成的页岩气水平井看，绝大多数采用油基钻井液^[2]。

随着页岩气施工区域扩展，钻井工程需求及施工地质情况变得多样化，油基钻井液施工面临挑战，复杂情况日益频发。本文结合现场施工案例，着重讨论分析页岩气水平井油基钻井液施工过程中所遇见的井壁失稳、特殊井漏和井涌问题。

1 油基钻井液条件下井壁失稳现象

目前四川威远、自贡地区三开水平段使用的高密度油基钻井液密度范围在2.02~2.13g/cm³，该区域目的层龙马溪组预测地层压力系数为1.75~1.85，实际钻井液密度超高于地层压力系数，钻井液在井筒中具有较大的指向于井壁的正压差，这使得井壁支撑力充足，甚至于过剩，但该区域钻进过程中仍然存在井壁失稳，产生的掉块使钻井参数异常，起下钻遇阻、憋泵、憋扭矩，处理不当极易发生卡钻事故。

1.1 掉块与井下复杂情况的关系

在复杂地质条件下，页岩气水平井施工过程中井壁产生掉块很难避免，掉块的形态及物性可以决定它对钻井工程产生的影响程度，见表1。较小、较薄的掉块可以接受，它往往是由于地应力释放，摩擦碰撞或是地层不均质性所造成的；较大、较多掉块则能明显影响钻井参数，给钻井工程带来诸多复杂，长井段正划眼下钻、倒划眼起钻、卡钻头、憋泵、憋扭矩都是该类问题引发的常见复杂。

表1 W2××直改平井一次掉块统计

长 cm	宽 cm	厚度 mm	数量 L	掉块物理特性	可能引发的复杂
---------	---------	----------	---------	--------	---------

4-6	3-4	7-12	4-10	硬、灰色或黑色	摩阻异常、卡钻头及扶正器
2-3	1-2	5-7	40-60	硬、黑色	摩阻异常、卡钻头
2-4	1-3	5-3	30-40	脆、黑色	摩阻异常、扭矩异常

1.2 掉块、钻屑形状分析

由于水平井掉块从井底随钻井液运移至地面距离长，运移过程中钻柱转动对掉块产生了复杂的剪切作用，地面获取的掉块标本很难准确反映出页岩掉落的原始状态，掉块的形态十分多样，形状有长条状、薄片状、块状、棱角状；几何尺寸，厚度从1.5~17mm不等、长度20~70mm不等、宽度10mm~50mm不等；断面却具有规律性，除了长条针型掉块表面均为不整合沟路外，其余掉块几乎可以至少发现一面平整度较高的断面。

根据W2××直改平井3465m处钻屑特写，同一钻井参数、同一地层、同一时间返出的钻屑形态也存在特殊性，最左侧的钻屑形成豆芽状，中间左侧钻屑明显有一个隆起，每颗钻屑的厚度分布不均，可以说明所钻地层的不均质性。掉块正面可以发现明显的层状发育，表面存在未脱落完全的层状结构，反面为平整或接近平整断面，这在某种程度上也说明了层理发育、页岩层间填充物是导致井壁失稳的重要因素。

2 井壁失稳原因分析

页岩气水平井井壁失稳原因可从微观和宏观两方面进行分析，微观是指所钻地层岩石微观结构和物理化学特征等；宏观是指井眼所处的地质构造特点，包括地层倾角、地层层状交接、层厚、交界面性质、断层及裂缝发育、区域地应力分布情况等。由于受到地质资料、数学建模软件、力学分析等限制，许多文献都只从微观角度对页岩发生不稳定现象进行了分析，从地质宏观角度分析的文献相对较少。

2.1 页岩井壁失稳机理（微观）

一方面岩石层理及微裂缝发育，钻井液滤液在水力压差、毛细管作用、化学渗透压等作用下，易沿微裂隙侵入岩石，造成近井壁地带岩石孔隙压力上升，削弱了

钻井液液柱压力对井壁的有效应力支撑,引发井壁失稳;另一方面,钻井液(滤液)的侵入,产生的“楔入”作用促使微裂缝的开裂、扩展、分叉、再扩展,直至相互贯通,最终沿某一力学性质最弱的裂缝或层面发生宏观破坏^[3]。这一经典机理适用于水基钻井液同样也可以解释油基钻井液对页岩产生的微观影响。

2.2 地质宏观因素对井壁稳定性的影响

在委内瑞拉东部 Pedernales 油田,井壁失稳主要与大井斜度、断层斜交有关,“层状-平行剪切”是失稳的主要机理。作用于层面间的强度特性(摩擦和内聚力)降低可能导致井壁产生强烈的不稳定性。在假定岩石性质一致的情况下,所产生的井眼破坏模式可能比预测的要广泛得多。由此产生的不稳定性会使得井筒形成一个“方形井眼”。尽管 Pedernales 油田存在一个走滑构造的应力影响,但该分析方法也适用于任何接近于地层平行线的大井斜角(即井斜超过 90°)井眼轨迹。

此外,在盐底辟构造周围的上升地层钻井时,盐岩已经渗透到覆盖层和储层中,即使在小井斜角的条件下,也会发生层间平行剪切。在这种失稳机制发生的地方,产生的掉块通常具有两个平行的层面,而不是通常与剪切失稳相关的弯曲几何形状。因此,未能认识到这些因素引发的井壁失稳是导致钻井经常出现卡钻和复杂的主要因素^[4]。

3 井壁失稳应对措施

提高油基钻井液封堵性能是解决目前页岩气水平井井壁失稳的主要途径和方法。钻井液侵彻裂隙页岩和软弱层面是导致页岩失稳的主要原因,预防措施包括使用分级 CaCO_3 粉末对裂缝进行有效封堵,提高粘度降低对井壁的冲刷破坏和维持较低的循环当量密度 ECD^[5]。

目前施工现场缺少简单易行的封堵评价手段,仅从高温高压失水判断封堵性能过于片面,而且高密度油基钻井液重晶石沉降也会干扰高温高压失水量。封堵材料的选择不仅要从粒径上面考虑,材质上也应该有所选择,可变形性、亲油亲水性、在钻井液体系中的分散能力等都应当着重考虑。

3.1 增加体系内固相颗粒粒径分布

加重剂重晶石其中值粒径在 50 μm 左右,配制钻井液时可以考虑搭配粒径较小的刚性封堵剂(粒径 2~10 μm),形成较宽区域的粒径分布,增强钻井液的封堵性能。一些纤维物质,但其粒径范围应当属于微米级别且尺寸较大,在封堵微裂缝等情况下效果较好,如果能增加亚微米尺寸或是 5 μm 以下的纤维材料含量将会更有利于提高钻井液封堵效率。

3.2 控制合理的油水比

盐水液滴在油基钻井液体系中具有一定的变形堵孔能力,作为油包水钻井液体系的固有组成,盐水含量一

般大于 5%,而且其含量十分容易控制。以油包水钻井液体系为例,盐水液滴作为分散相,均匀分布于钻井液中,粒径分布较广,有相当的变形堵孔能力,其改变页岩孔隙的润湿性也极具特点,甚至可以理解为一种体系自带的微米级封堵材料。所以控制合理的油水比将有助于钻井液体系的封堵能力提升。盐水液滴在油包水体系中的作用不仅仅局限于本身作为一种变形封堵材料,而且它可以激化钻井液材料或是钻井液施用环境的一些界面性质,提高体系的封堵性能。

3.3 纳米材料封堵

现场提高钻井液封堵性能需要一种可以显著降低泥饼渗透率的材料,降低钻井液滤液对井壁岩石的侵彻速率,纳米级封堵剂是一种亟待被引入到油基钻井液体系的特殊材料,但是通过试验分析发现目前现场使用的纳米封堵材料难以达到预想效果,其改善的井浆 3h 高温高压滤液曲线斜率没有降低,对比国外知名钻井液技术公司纳米封堵材料,其亲油亲水性能存在截然不同,现场在用的 AT 纳米封堵材料基本属于亲油性材料,而国外纳米封堵材料 Nanosheld 亲油性较弱,其在油基钻井液中的特殊分散机理值得研究和学习。

3.4 氧化沥青和磺化沥青形互配使用

氧化沥青就是一种典型的沥青类封堵材料,被引入到油基钻井液体系中作为降失水剂使用,充分说明沥青类材料的封堵优势。磺化沥青大部分是水溶性的,正是由于其部分溶于水相,使其可以生成特殊的封堵材料,其粒径和性质都得到相当改善,作为沥青类封堵材料的辅助材料,起到与氧化沥青、盐水液滴、固相颗粒互补作用,从而提升钻井液封堵能力。

参考文献:

- [1] 牛新明,涪陵页岩气田钻井技术难点及对策[J].石油钻探技术,2014,42(4):1-6.
- [2] 王中华,页岩气水平井钻井液技术的难点及选用原则[J].中外能源,2012,17(4):43-47.
- [3] 唐文泉,龙马溪页岩井壁失稳机理及高性能水基钻井液技术[J].钻井液与完井液,2017,34(3):21-26.
- [4] S.M. WILLSON, N.C. LAST, M.D. ZOBACK & D. MOOS. Drilling in South America: A Wellbore Stability Approach for Complex Geologic Conditions[C]. SPE 53940, 1999.
- [5] MANOHAR LAL. Shale Stability: Drilling Fluid Interaction and Shale Strength[C]. SPE 54356, 1999.

作者简介:

李其文 2010 年毕业于西南石油大学,应用化学专业,中国石化中原石油工程公司技术公司,研究方向:钻井液工程师。