

无固相钻井液在水平井中的应用

宫新军¹ 郭保雨 何兴华

(胜利石油管理局钻井工程技术公司, 山东东营)

摘要: 本文介绍了无固相钻井液体系在胜利油田水平井中的应用, 室内试验和现场应用表明无固相钻井液体系由于无固相钻井液固相含量低, 滤液抑制性强, 钻井液性能优良, 能够满足水平井钻井施工及其它相关工作的要求, 油层保护保护效果好, 具有良好的社会和经济效益。

关键词: 无固相、钻井液、储层保护

0 前言

目前为止胜利油区共完成各类水平井近千口, 研究应用和推广了聚合物水包油、MMH、BPS 正电胶、可循环泡沫、聚合醇等多种钻井液体系, 上述体系基本上能较好地满足钻井工程的要求。但从产量来看, 有些水平井包括分支井、大位移井效益并不理想。究其原因, 除了地质因素外, 不少井是由于储层受到损害。研究发现, 由于水平井钻井时间长, 钻井液浸泡时间长; 压差控制 (ΔP) 有一定困难, 特别是长井段水平井压差控制困难更大; 并且大多数水平井完井是以裸眼、封隔器、筛管或衬管方法完井, 损坏面积大, 泥饼堵塞造成损害更大。因此水平井的油层保护问题更加重要。研究和实践表明无固相钻井液由于其固相含量低、滤液抑制性强、钻井液性能优良, 能够满足水平井钻井施工及其它相关工作的要求, 油层保护保护效果好, 具有良好的社会和经济效益。

1 钻井液对水平井油气层的损害机理

钻井液对水平井油气层的损害同直井一样, 损害机理主要有以下几点: (1) 钻井液中固相颗粒堵塞; (2) 滤液和储层流体不配伍; (3) 聚合物堵塞; (4) 润湿反转; (5) 微粒运移和粘土膨胀; (6) 水锁; (7) 地层压力改变。

但也有它的独特性:

(1) 底部损害最大, 且自起始端至水平段末端变化幅度较大。这是因为起始端钻具对泥饼磨损时间长且与泥浆接触时间长, 故对产层损害呈大幅度梯度分布, 而水平段的顶部、侧面则没有该现象。

(2) 大部分水平井采用的钻井液均为水基聚合物钻井液体系, 聚合物势必会随滤液侵入地层。并且含有聚合物的泥饼不够致密以及不易降解, 因而势必会对储层造成一定损害。

(3) 钻水平井所用时间比直井要长。

(4) 非常低的压降不能为清除储层损害提供足够的动力。

针对水平井的油层保护问题, 研究开发了多种钻井液体系。常用的钻井液体系组成见表 1。

表1 常用的水平井钻井液体系组成

作者简介: 宫新军, 男, 1962年生, 山东文登北人。高级工程师, 1983年毕业于大庆石油学院, 现任胜利油田钻井工程技术公司泥浆公司经理。地址: 山东省东营市胜利石油管理局钻井工程技术公司; 邮政编码257064; 电话: (0546) 8722533。

| 序号 | 增粘剂 | 降滤失剂 | 桥堵剂 | 粘土 |
|----|--------|------|-----------------------------|----|
| 1 | PAC | 淀粉 | | 粘土 |
| 2 | PAM | 淀粉 | 油溶树脂 (18kg/m ³) | 粘土 |
| 3 | XC、PAM | 淀粉 | 纤维素 (1kg/m ³) | 粘土 |
| 4 | PNM | PAC | CaCO ₃ | |
| 5 | XC | PAC | / | 粘土 |
| 6 | PAM | 铍盐 | CaCO ₃ | |
| 7 | MMH | 铍盐 | / | 粘土 |
| 8 | XC、PAC | 淀粉 | CaCO ₃ | 粘土 |

实验表明，用粘土和纤维素作桥堵剂时，对岩心渗透率的损害明显大于用 CaCO₃粉末作桥堵剂时的损害。通常使用的增粘剂 PAM、XC、PAC 都会对储层造成损害，并且这种损害的机理是非常复杂的，它可能还受到各种添加剂之间作用的影响。因此减少钻井液对水平井油气层的损害的最有效方法是：

(1) 选择合适的钻井液体系，使固相颗粒和滤液尽可能地不侵入地层，合适的钻井液配方的关键在于减少钻井过程中复杂事故的发生和降低对储层的损害。而优选钻井液配方的原则主要依据其流变性、滤失量、静切力以及储层损害程度、反排解堵的难易程度等。

(2) 选择适合的解除损害的方法并实施增产措施，其中包括泥饼的去除（使用反排压力或化学方法）或化学增产措施。

大量的研究和实践表明无固相钻井液具有低密度和低流动阻力的优点，有利于井下马达的正常工作和钻头功率的充分发挥由于该钻井液粘度小，十分有利于携带岩屑，从而改善了井眼净化条件。是水平井钻井的最佳钻井液体系。

2 无固相钻井液的室内研究

无固相钻井液体系包括各种类型的水溶液(如盐水、海水、淡水及氯化钾水等)和各种高聚物溶液，还包括用酸溶性材料组成的各类钻井液。

2.1 流变性能评价

无固相钻井液体系的流变性能见表 2。

表2 与常规钻井液性能对比

| 钻井液类型 | FI/ml | PH | AV/mPa.s | PV/mPa.s | YP/Pa | 切力/Pa/10’ /10’’ |
|--------|-------|-----|----------|----------|-------|-----------------|
| 无固相钻井液 | 5.6 | 7.5 | 30.5 | 17 | 13.5 | 5.0/8.0 |
| 普通钻井液 | 6.4 | 8.0 | 41 | 22 | 19 | 5.0/9.0 |
| 钠土浆 | 25 | 9.0 | 9.0 | 5.0 | 4.0 | 4.0/7.0 |

从上表可以看出，无固相钻井液与常规钻井液性能对比，流变性好，能够满足携岩要求。

2.2 抗温性能评价

无固相钻井液体系的抗温性能见表 3。

表3 抗温性能评价

| 序号 | 条件 | FI/ml | AV/mPa.s | PV/mPa.s | YP/Pa | 切力/10’ /10’’ |
|----|----------|-------|----------|----------|-------|--------------|
| 1 | 室温 | 5.6 | 30.5 | 17 | 13.5 | 5.0/8.0 |
| 2 | 100℃/16h | 5.7 | 26 | 14 | 12 | 4.5/7.0 |

| | | | | | | |
|---|----------|-----|----|----|---|---------|
| 3 | 120℃/16h | 6.0 | 23 | 14 | 9 | 4.0/6.5 |
|---|----------|-----|----|----|---|---------|

从上表可以看出，无固相钻井液体系在 120℃老化 16h 后，仍能保持良好的流变性和悬浮携带性能。

2.3 抑制性实验研究

(1) 无固相钻井液抗土污染实验

无固相钻井液体系的抗土污染试验见表 4。

表4 抗土污染实验

| 配方 | 实验温度 | FL/ml | PH值 | AV | PV | YP | 初切/ 终切 |
|--------|------|-------|-----|------|----|------|---------|
| 优选配方 | 室温 | 5.2 | 8 | 30 | 17 | 13 | 4.5/7.5 |
| 优选配方 | 室温 | 4.6 | 8.5 | 35 | 20 | 15 | 5.0/8.0 |
| +1%膨润土 | 老化 | 4.8 | 8.5 | 30.5 | 17 | 13.5 | 5.0/7.5 |
| 优选配方 | 室温 | 4.0 | 8.5 | 33 | 18 | 15 | 5.0/8.5 |
| +2%膨润土 | 老化 | 4.5 | 7.5 | 32.5 | 17 | 15.5 | 5.0/8.5 |
| 优选配方 | 室温 | 4.2 | 8.5 | 40 | 23 | 17 | 6.0/9.0 |
| +3%膨润土 | 老化 | 4.6 | 7.5 | 35 | 22 | 13 | 6.0/8.0 |
| 优选配方 | 室温 | 4.0 | 8.5 | 42 | 24 | 18 | 6.5/9.0 |
| +5%膨润土 | 老化 | 4.2 | 7 | 43 | 23 | 20 | 5.5/8.5 |

注：老化条件为 120℃恒温 16h。

由以上数据可以看出，优选配方在室温和高温下都具有良好的抑制能力，能很好的抑制土相在钻井液中的分散，使体系粘度切力都保持基本不变。

(2) 浸泡实验和回收率实验

无固相钻井液体系的浸泡实验和回收率实验见表 5。

表5 浸泡实验和回收率实验

| 钻井液类型 | 岩屑回收率，% | 钻屑浸泡效果描述（浸泡7天） |
|---------|---------|-------------------|
| 清水 | 24 | 钻屑浸泡后四分五裂，呈糊状。 |
| KCl聚合物 | 82 | 钻屑出现较大裂缝，手捏成泥。 |
| 两性离子聚合物 | 87 | 钻屑出现裂纹，用手掰开，里面潮湿。 |
| 无固相钻井液 | 97 | 钻屑保持原状，外面包裹一层聚合物膜 |
| 油基钻井液 | 99 | 钻屑保持原状。 |

从上表实验结果可以看出，无固相钻井液比常用的钻井液对钻屑的抑制作用强，仅次于油基钻井液体系。

(3) 页岩膨胀实验

选用该钻井液体系对胜利油田岩屑进行页岩膨胀实验，结果表明，无固相钻井液具有较强的抑制水化膨胀的作用，明显优于其它常用钻井液体系，结果见表 6：

表6 页岩膨胀实验研究

| 钻井液体系 | 聚磺 | 两性离子聚合物 | KCl聚合物 | 无固相钻井液 |
|-------|----|---------|--------|--------|
|-------|----|---------|--------|--------|

| | | | | |
|-------------|------|------|------|------|
| 膨胀量 (mm/8h) | 3.21 | 2.87 | 2.34 | 1.82 |
|-------------|------|------|------|------|

2.4 保护油气层的评价及机理研究

采用岩心流动装置，进行静态污染评价实验，结果见表7。

表7 静态污染评价实验

| 岩样号 | 钻井液体系 | Ka/ ($10^{-3} \mu m^2$) | Ko/ ($10^{-3} \mu m^2$) | Kd/ ($10^{-3} \mu m^2$) | 渗透率恢复值 (%) |
|-----|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| 1 | KCl聚合物 | 71.6 | 46.1 | 35.96 | 78 |
| 2 | 两性离子聚合物 | 84 | 58.34 | 52.62 | 90.2 |
| 3 | 无固相钻井液 | 45.9 | 28.16 | 25.15 | 89.3 |
| 4 | 油基钻井液 | 110.8 | 90.7 | 83.44 | 92 |

2.5 钻井液滤饼清除实验研究

无固相钻井液泥饼用0.1%的纤维素酶变成一层泡沫0.1%的纤维素酶浸泡16h后，用水一冲就从滤纸上脱落，而用清水、盐水、柠檬酸缓冲液+水浸泡后泥饼无变化，实验结果见表8。

表8 泥饼清除实验结果

| 钻井液 | | 400ml 6% 基浆+6g Na-CMC | | | | | | | | |
|-----------|--------|-----------------------|------|------|---------|------|----------|------|----------|----|
| 破聚剂 处理 | 1%纤维素酶 | | 清水 | | 2%KCl溶液 | | 柠檬酸缓冲液+水 | | 0.1%纤维素酶 | |
| | 前 | 后 | 前 | 后 | 前 | 后 | 前 | 后 | 前 | 后 |
| 滤失时间/min | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 滤失量/ml | 2.0 | — | 2.30 | 2.33 | 2.3 | 2.33 | 2.35 | 2.38 | 2.25 | — |
| | 0 | | | | 6 | | | | | |

3 无固相钻井液在水平井中的应用

胜利油田自1983年首次在桩古16井采用无固相聚合物钻井液钻开灰岩油气层，至今已开发出了NaCl、CaCl₂、卤水、HCOONa、HCOOK等多套无固相钻井液类型，最大限度地减少钻井液固相对油气层所造成的损害。

2000—2003年在车古204区块大面积推广欠平衡压力钻井技术和无固相钻井液完成了多口井的钻井施工，解决了该区块使用普通聚合物钻井液易形成厚泥饼阻卡的问题，提高了钻井速度，保护了油气层。仅车古204-5井，在3552m~4400m的灰岩钻探过程中，发现有荧光和油斑的井段累计达230多m，完井、下油管后将井眼内钻井液替出诱喷，憋压很高，油气显示非常好。

在埕北307、渤深6-3、埕北39等井上应用了无固相钻井液，埕北307井获日产油142t、天然气4217m³的高产；渤深6-3井获日产原油83t的高产；埕北39井获日产油160t、天然气52566m³的高产，由该井新增探明石油地质储量达1020万t。

2006—2007年，先后在胜利油田车古208X1，垦古22-平1、桩129-支平1井进行了应用，同时，还为郑408-试1修井作业提供了密度达2.0g/cm³的无固相压井液。桩129-支平1井是一口鱼骨状多分支水平生产井，实际完钻井深2195.00m，完钻后，成功应用无固相完井液替入辅眼、主井眼裸眼段，保证筛管顺利下到位。

垦古22-平1井完钻井深2902.77m，水平段长200m，三开所钻遇的井段为奥陶系，也是该井的目的层，地层压力系数低，水平段设计长200m，采用无固相钻井液体系，顺利钻达目的层。试油获得92t/d的高产油流，是邻井的6—7倍。

美国 EDC 公司在胜利油田承包区块应用无固相水平井钻井液技术 2006 年施工的 CDX-26H, 开发馆陶上部油藏, 产油量基本为 40t/d。

目前在胜利油田应用无固相钻井完井液仅限于开发地层比较稳定的碳酸盐储层, 基本上没有应用于砂岩和砂泥岩储层。

4 开发无固相水平井钻井完井液体系的前景展望

从使用无固相钻井液开发水平井取得效果和室内研究成果看, 应用无固相钻井液大面积开发水平井条件已经成熟。无固相聚合物钻井液体系作为一种成本低、无毒无污染、可生物降解强抑制性的钻井液完井液体系, 如果在胜利油田开发明化镇、馆陶组、砂一段油藏将会取得良好效果。但必须具备以下几个条件

(1) 钻进时固控设备必须好, 有利于及时清除有害固相。

(2) 技术套管必须下到 A 点, 有利于转化和使用无固相钻井液。

另外, 国外常采用筛管充砂完井, 生物降解及酸化后增产明显。

目前, 公司承担了中石化重点科研项目《生物酶可解堵钻井液体系的研究》项目。研制的生物酶可解堵钻井液体系利用的是生物酶能够对钻进过程中侵入地层和粘附在井壁上的暂堵材料进行生物降解的特殊性能, 使可生物降解的钻井液材料由长链大分子变成了短链小分子, 流体粘度逐渐下降, 先前形成的泥饼自动破除, 产层孔隙中的阻塞物消除, 从而使地下流体通道畅通, 油层的渗透率提高, 油气井的产能增加。该项技术应用于水平井完井后, 可有效消除滤饼存在对油层造成的污染, 大大提高水平井的采收率, 提高油田勘探开发综合效益。