

# 低密度水包油钻井液在中原油田水平井的应用

郑德荣<sup>1</sup>, 孙善刚<sup>2</sup>, 李国保<sup>3</sup>, 黄 宁<sup>2</sup>, 史沛谦<sup>2</sup>

(1. 中原石油勘探局钻井三公司, 河南 濮阳 457001; 2. 中原石油勘探局钻井工程技术研究院, 河南 濮阳 457001; 3. 中原石油勘探局钻井一公司, 河南 濮阳 457001)

**摘 要:**根据低压力储层水平井钻井油气层保护要求,通过室内研究形成了密度在  $0.89 \sim 0.99 \text{ g/cm}^3$  之间可调,具有良好乳化稳定性和流变性,防塌能力强的低密度水包油钻井液配方。在达平 1 井等井的现场应用中,水包油钻井液性能稳定,易于维护调节,钻井施工安全快速,能够满足低压水平井近平衡、欠平衡钻井和地质要求,保护储层作用明显,收到了良好的应用效果。

**关键词:**欠平衡;低密度;钻井液;水平井;水包油;储层保护

**中图分类号:**TE254 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)09-0015-04

**Application of Oil-in-water Low-density Drilling Fluid in Horizontal Wells of Zhongyuan Oilfield/ZHENG De-rong<sup>1</sup>, SUN Shan-gang<sup>2</sup>, LI Guo-bao<sup>3</sup>, HUANG Ning<sup>2</sup>, SHI Pei-qian<sup>2</sup>** (1. The Third Drilling Company of Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang Henan 457001, China; 2. The Drilling Technology Research Institute of Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang Henan 457001, China; 3. The First Drilling Company of Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang Henan 457001, China)

**Abstract:** To satisfy the requirements of protecting hydrocarbon reservoir of low pressure reservoir horizontal well, by means of research in laboratory, oil-in-water drilling fluid formula with variable density in  $0.89 \sim 0.99 \text{ g/cm}^3$  was obtained. This oil-in-water low-density drilling fluid has good capability of emulsion stability, rheological property and anti-sloughing property. The result of application in Daping #1 well showed that the drilling fluid has stable property and can be simply maintained and adjusted for safe and fast drilling operation. It also can satisfy the demands of near-balanced drilling & underbalanced drilling for low pressure horizontal well and geologic requirement. There are obvious effects for hydrocarbon reservoir protection.

**Key words:** underbalanced; low density; drilling fluid; horizontal well; oil-in-water; reservoir protection

中原油田多数区块属于低渗油气藏,易受钻井液污染,此外由于多年开采,许多储层压力系数已低于 1.0,甚至不足 0.9,常规钻井液密度一般都在  $1.10 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$  以上,即使新配制的钻井液,也很难在控制良好钻井液性能条件下,使密度达到  $1.04 \text{ g/cm}^3$  以内。使用常规钻井液钻开油气层,常因较高的液柱压差对产层形成较大的伤害,致使投产后油气产出效果不理想。

通过室内研究形成了密度可达  $0.89 \text{ g/cm}^3$  的水包油钻井液体系,并已在中原油田白音查干探区达平 1 井和东濮凹陷卫平 1 井中进行了应用。现场应用表明,钻井液体系较好地满足了近平衡、欠平衡水平井钻井施工要求,钻井液性能稳定,地层无坍塌掉块,钻井完井施工顺利。采用水包油钻井液,不仅可以减小液柱压差对产层带来的伤害,而且可以大幅提高机械钻速,减少钻井液浸泡储层时间,对于解决

水平井长产层段的储层保护问题具有重要作用。应用井投产效果良好。

## 1 室内研究

### 1.1 水包油钻井液体系特点和技术要求

水包油钻井液现场施工工艺较为简单,对钻井设备无特殊要求,与可循环泡沫钻井液相比,可压缩性很小,密度稳定,不影响定向钻井和完井电测,能够满足水平井钻井工艺要求;与充氮气钻井相比,钻井成本较低,与油基钻井液相比具有对橡胶件的损害小、环境污染小等优点,是一种理想的低密度钻井液体系<sup>[1]</sup>。

实施低密度钻井液钻井井段的地层压力系数预计为  $0.90 \sim 1.0$ ,邻井相应井段地层稳定,但岩性胶结较差,并存在  $\text{Cl}^-$  含量 70000 ppm 的地层水。

要求水包油钻井液密度在  $0.89 \sim 0.99 \text{ g/cm}^3$  之

收稿日期:2010-03-21

作者简介:郑德荣(1971-),男(汉族),山东五莲人,中原石油勘探局钻井三公司工程师,钻井工程专业,从事钻井技术工作,河南省濮阳市中原油田钻井三公司, www.zqy0616@sina.com。

间可调,具有一定的防塌能力和抗原油、天然气、盐  
水污染能力,悬浮携带岩屑性能良好,以满足水平井  
欠平衡钻井及地质要求。

## 1.2 水包油钻井液配方优选和性能评价

通过增粘剂、降滤失剂、乳化剂等处理剂的优选  
形成了具有良好乳化稳定性和流变性,滤失量低的  
水包油钻井液配方<sup>[2~4]</sup>:70%~25%白油(或柴油)  
+25%~75%水+4%~5%钠膨润土+3%~7%主  
乳化剂+2%~5%辅助乳化剂+0.3%~1.0%多元  
共聚物降滤失剂 PAMS-601+0.3%~0.7%低粘  
羧甲基纤维素钠盐 LV-CMC+2.0%~4.0%抗温  
抗盐降滤失剂+0.2%~0.5%NaOH。

其主要技术指标为:密度 0.89~0.99 g/cm<sup>3</sup> 之  
间可调;漏斗粘度 60~100 s;API 滤失量≤5 mL;塑  
性粘度 15~45 mPa·s,动切力 3~15 Pa,静切力 1  
~6/3~15 Pa;抗复合盐水污染≥20%;分散相可采  
用白油或柴油,采用白油配制的钻井液荧光级别≤6  
级,对地质录井无影响。各油水比水包油钻井液密  
度和流变性能见表 1。

表 1 各油水比水包油钻井液性能

油水比	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	$PV/(mPa \cdot s^{-1})$	$YP/Pa$	$FL/mL$
7:3	0.89	25~45	7~15	≤5
6:4	0.91	20~35	5~15	≤5
5:5	0.93	15~35	5~10	≤5
4:6	0.95	15~30	3~7	≤5
3:7	0.97	10~30	3~7	≤5

由表 1 数据可见,形成的水包油钻井液密度最  
低可达 0.89 g/cm<sup>3</sup>,流变性良好,滤失量低。根据欠  
平衡钻井密度要求,配制油水比 6:4 的水包油钻井  
液,评价了水包油钻井液抗原油、天然气污染、页岩  
回收率等实验。

### 1.2.1 抗原油污染评价

表 2 是水包油钻井液抗原油污染能力评价结  
果,电导率用于评价体系乳化稳定性。

表 2 水包油钻井液抗原油污染评价

原油量/%	$PV/(mPa \cdot s)$	$YP/Pa$	电导率/(ms·cm <sup>-1</sup> )
0	44	13.5	7.67
5	54	14	7.11
10	53	18	6.57

由表 2 可见,在实验条件内原油的侵入不会影  
响钻井液乳化稳定性,但由于油水比增加,钻井液粘  
度有所上升,需要降低粘度只需补充适量的低浓度  
聚合物和乳化剂即可。

### 1.2.2 抗天然气污染评价

在钻井液中充天然气 30 min,考察天然气溶解  
情况和对钻井液性能的影响,结果见表 3。

表 3 水包油钻井液抗天然气污染性能

温度/℃	充气时间/min	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	$PV/(mPa \cdot s^{-1})$	$YP/Pa$
15	0	0.90	35	5
15	30	0.90	32	3.5
50	0	0.88	23	3
50	30	0.88	22	3

由表 3 可见,天然气侵对水包油钻井液体系密  
度及流变性影响很小,说明研究的水包油钻井液易  
脱气,能够满足欠平衡钻井液气分离要求。

### 1.2.3 抗盐污染评价

水包油钻井液一般不会应用于盐层,对其抗盐  
污染能力没有特别严格的要求,但也应具备一定的  
抗盐水污染能力,以满足遇地层水侵情况下的性能  
稳定需要,表 4 是钻井液盐水污染试验,盐水为  
20% NaCl 溶液,试验温度 120 ℃。

表 4 水包油钻井液抗 NaCl 污染性能

配方	$PV/(mPa \cdot s^{-1})$	$YP/Pa$	$FL/mL$	现象描述
基浆	41	10	4.6	析油 6 mL
基浆+10% 盐水	26	11	6	析油 8 mL
基浆+20% 盐水	21	10.5	6.6	析油 11 mL

由表 4 可见,钻井液具有一定的抗地层水污染  
能力,可以满足现场施工需要。

### 1.2.4 防塌抑制能力评价

以胡 12-20 井 2224 m、粒径 5~8 目岩心进行  
钻井液页岩回收率实验,结果见表 5。

表 5 水包油钻井液页岩抑制性

钻井液组成	一次页岩回收率/%	相对回收率/%
清水	1.05	0
油水比 4:6 钻井液	50.1	97.9
油水比 6:4 钻井液	64.05	98.4

由表 5 可见,水包油钻井液抑制性良好,防塌能  
力强。

通过以上实验可见,水包油钻井液具有一定的  
抗原油和抗地层水污染能力,防塌抑制性良好,脱气  
能力强,可以满足水平井近平衡和欠平衡钻井需要。

## 2 现场应用

2009 年中原油田在白音查干凹陷达尔其构造  
达平 1 井和东濮凹陷卫城构造卫平 1 井水平井段成  
功应用水包油钻井液体系实施了近平衡和欠平衡钻  
井。

## 2.1 现场配制<sup>[5]</sup>

水包油钻井液配制过程如下。

(1) 下钻, 钻水泥塞至二开完钻井深。用清水将井筒内二开井浆全部替出, 并调整二开井浆密度至  $1.20 \text{ g/cm}^3$ , 储备  $80 \text{ m}^3$ 。

(2) 配制预水化膨润土浆, 水化 24 h。按设计配方加入 PAMS601、LV-CMC、抗温抗盐降滤失剂、NaOH 形成水包油钻井液基浆。

(3) 在基浆中加入主乳化剂和辅助乳化剂, 循环均匀后加入 5 号白油, 地面循环调整钻井液性能至设计要求, 替出井筒清水后开钻。

## 2.2 维护处理

(1) 钻井过程中通过聚合物胶液或预水化膨润土浆控制钻井液粘度切力。

(2) 钻井液补量主要通过加入 PAMS601 等处理剂胶液, 视密度情况补加白油和乳化剂, 并根据 pH 值变化情况补充相应的 NaOH。

(3) 降低钻井液密度时, 加入白油及乳化剂, 提高钻井液密度时加入重晶石或青石粉。

(4) 按要求测量钻井液 pH 值, 维持 pH 值为 8~11, 发现 pH 值有降低现象, 及时加入 NaOH 碱液维护, 以保持水包油钻井液的胶体稳定性。

(5) 加强固控, 振动筛尽量使用 140 目以上高目数筛布, 离心机运转率尽量达到 100%, 最大限度降低无用固相含量, 保持钻井液清洁。

(6) 钻进过程中加强机械清砂, 每钻进 50 m 短起下一次, 防止形成岩屑床。

## 2.3 应用效果

达平 1 井目的层位为下白垩统巴彦花群都红木组都一段, 预计地层压力系数 0.88~0.91, 采用密度  $0.89 \sim 0.91 \text{ g/cm}^3$  的水包油钻井液实施近平衡钻井, 钻井井段 778~956 m。卫平 1 井目的层位为下第三系沙河街组沙一段, 预计地层压力系数 1.05, 三开水平井段 1801~1981.55 m 采用密度  $0.93 \sim 0.95 \text{ g/cm}^3$  的水包油钻井液实施欠平衡钻井施工。通过采用以上钻井液配制和维护技术取得如下应用效果。

(1) 现场能够较好地控制钻井液密度, 满足了低密度近平衡和欠平衡钻井要求, 充分保护了油气层。达平 1 井钻井液密度一直控制为  $0.89 \sim 0.91 \text{ g/cm}^3$ , 卫平 1 井钻井液密度为  $0.93 \sim 0.95 \text{ g/cm}^3$ , 停泵及测井时井口有溢流, 实现了欠平衡钻井。

(2) 钻井液维护简单, 性能稳定, 易于掌握操作。达平 1 井钻井液性能为: 漏斗粘度 95~110 s; 塑性粘度 39~47  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ; 动切力 11~11.5 Pa; 静切

力 1.5~3/5.5~7 Pa; API 滤失量 1.8~4.5 mL。卫平 1 井控制钻井液性能为: 漏斗粘度 68~100 s; 塑性粘度 37~41  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ; 动切力 7.7~12.9 Pa; 静切力 2~4/5.5~8.5 Pa, API 滤失量 1.6~2.4 mL, pH 值为 10。

(3) 机械钻速快, 减少了钻井周期, 减低了油气层伤害程度。达平 1 井应用井段平均钻时达 2.9 min/m, 邻井达 2-2 井相应井段平均钻时 3.9 min/m。卫平 1 井应用井段平均钻时达 2.13 min/m, 邻井相应井段一般钻时 4~8 min/m, 减少了钻井周期, 减低了油气层伤害程度。

(4) 钻井液润滑性好, 有利于水平井安全钻井。达平 1 井井斜最大  $92.5^\circ$ , 钻具摩阻一般 20~60 kN, 卫平 1 井井斜最大  $86.22^\circ$ , 钻具摩阻 < 60 kN, 两口井钻井完井作业顺利。

(5) 防塌抑制性能良好。达平 1 井三开井段地层胶结松散, 但完井电测平均井径为 236.5 mm, 井径扩大率 10.96%, 井径规则, 邻井达 2-6 井相应井段平均井径扩大率 17.7%, 井壁稳定性较差。达平 1 井、达 2-6 井都一段井径曲线见图 1、图 2。

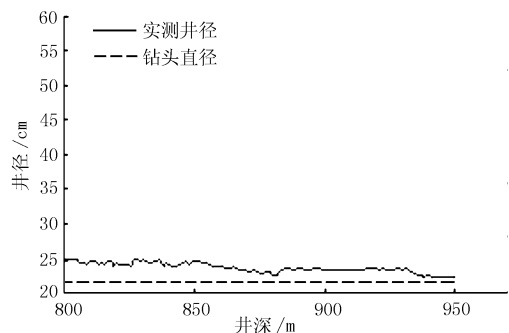


图 1 达平 1 井都一段井径

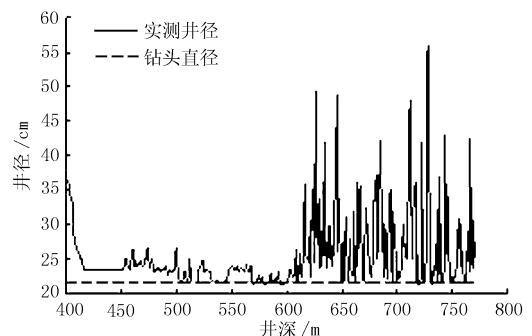


图 2 达 2-6 井都一段井径

卫平 1 井三开井段平均井径扩大率 5.83%, 邻井卫 11-2 井相应井段平均井径扩大率 10.03%, 说明本井使用的水包油钻井液体系具有比较强的防塌抑制能力。卫平 1 井、卫 11-2 井沙一段井径曲线见图 3、图 4。

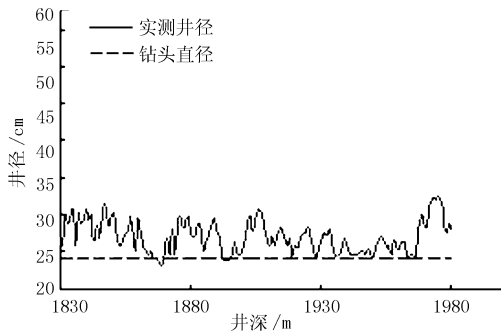


图3 卫平1井沙一段井径

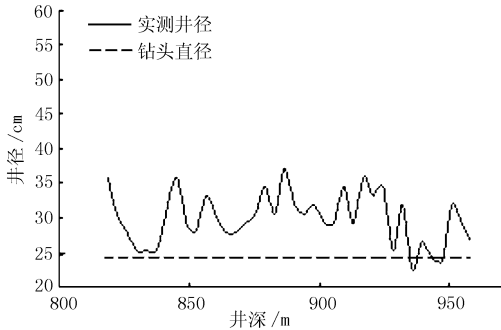


图4 卫11-2井沙一段井径

### 3 结论

(1) 研究形成的水包油钻井液体系流变性能良好,密度在 $0.89 \sim 0.99 \text{ g/cm}^3$ 之间可调,具有较好的抗原油、天然气、盐水污染及防塌能力。

(2) 现场应用中水包油钻井液维护简单,性能稳定,携砂能力强,润滑性、防塌抑制性能良好,井下安全,保护储层效果明显。

(3) 水包油钻井液在达平1井和卫平1井的成功应用,表明该类低压油气层适合利用水包油钻井液开展近平衡、欠平衡水平井钻井,对中原油田水平井钻井方案的优化提供了积极的借鉴。

### 参考文献:

- [1] 马勇,崔茂荣,孙少亮.水包油钻井液国内研究应用进展[J].断块油气田,2006,13(1):4-6.
- [2] 史沛谦,王善举,黄桂春,等.抗高温水包油钻井液的研究与应用[A].复杂结构油气井开发技术研讨会论文集[C].北京:石油工业出版社,2009.85-92.
- [3] 魏殿举,王善举,马文英,等.水包油近平衡钻井液在中生界地层的应用[J].精细石油化工进展,2008,9(4):16-19.
- [4] 康万利,董喜贵.表面活性剂在油田中的应用[M].北京:石油工业出版社,2005.80-82.
- [5] 冯树攀,张彦明.水包油钻井液在梨深1井欠平衡段的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10):18-20.

(6) 保护油层效果显著,达平1井投产初期日产油量 $9 \sim 10 \text{ t}$ ,最高日产油量 $16 \text{ t}$ ,是邻井产量的3倍以上,卫平1井试油作业实现自喷。

## 南京地铁四号线工程地质灾害评估通过评审

中国地质调查局网站消息 由江苏省地质调查研究院地质灾害评估中心承担的《南京地铁四号线工程地质灾害评估》项目日前通过了江苏省国土资源厅组织的专家评审。

地铁四号线工程是南京市跨入21世纪社会经济发展新形势下提出的大型交通基础设施建设工程,它的建成将与已建一号线、二号线及规划建设的其它线路一起构成南京市轨道交通网络东西向的重要骨干线,对城市的整体布局、功能和地位的发挥,对城市的未来发展将产生深远的影响。线路西起浦口区珍珠泉,终于城东七乡河西侧的仙林东站,线路全长约43.2 km。

拟建南京地铁四号线工程穿越不同的地质地貌单元,岩土体结构复杂,地质环境条件变化较大,为避免工程建设项目引发或遭受地质灾害,防患于未然,南京地下铁道有限责任公司委托江苏省地质调查研究院,对拟建工程进行地质灾害危险性评估工作。

接到任务后,江苏省地质调查研究院迅速成立项目组,充分收集利用评估区已有的各种地质资料,并进行了野外实地调查,查明了评估区地质环境条件及地质灾害类型、规模、分布、发育特征,分析了其形成条件和影响因素,对各类地质灾害的危险性和危害程度、以及工程建设可能引发和遭受地质灾害的可能性和危害程度分别进行评估,并依据评估结果,圈定了危险性等级分区,对各区段主要地质灾害种类、危

害程度和土地适宜性进行了说明,提出了相应的地质灾害防治措施与建议,为工程建设中的地质灾害防治提供了依据。

评估结果表明地铁四号线经过低山丘陵、平原、岗地和谷地多种地貌单元,地形起伏较大,岩性岩相变化大,长江及秦淮河冲积平原分布有浅埋藏软土、砂土,岗地区广泛发育分布有膨胀土,仙鹤门以东部分地段分布有岩溶较发育的角砾状灰岩,地质环境条件复杂程度属中等—复杂类型,评估区地质灾害类型主要为滑坡崩塌、地面沉降、岩溶地面塌陷、江岸坍塌和特殊类岩土(砂土、软土、膨胀土)灾害。

针对工程沿线地质灾害类型较多,本着“预防为主、因地制宜”原则,针对各地质灾害特点、形成因素、发展趋势,提出了一系列地质灾害防治措施与建议,具体包括进一步加强工程沿线的工程地质勘察,查明仙鹤门以东地段尤其是徐庄软件园一带隐伏岩溶发育情况,以及软土、砂土、膨胀土的分布情况,为工程设计、施工方案提供依据。根据地形地貌和地质条件,合理确定地铁开挖底板深度,按照岩土体条件和结构类型,确定开挖方案。对沿线砂土和软土分布地段,可采取泥浆加压盾构法施工,以减小涌砂、涌水、软土等对工程的危害。对区内软土及液化砂土进行处理,以满足工程建设的需求。软土发育区内进行地面工程建设,应对软土地基进行改良处理等。