

# 鄂尔多斯盆地大牛地气田水平井 A 点前 钻井液工艺技术

张晓文, 梅永刚, 吴荣战

(中石化华北石油局第五普查勘探大队钻井公司, 河南 新乡 453700)

**摘要:**针对鄂尔多斯盆地大牛地气田水平井 A 点前钻井施工过程中易发生井壁失稳、煤层坍塌等复杂情况的现状, 选用“减少储层损害、减少环境污染”的“双保”(易降解, 有利于环境保护; 易酸化解堵, 有利于保护油气层)天然高分子钻井液体系及分段采取合理的维护处理措施, 取得了良好效果。

**关键词:**水平井; 井眼稳定; 防塌; 润滑; 钻井液; 大牛地气田

**中图分类号:** TE254 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)03-0021-05

**Drilling Fluid Technology for Horizontal Well Daniudi Gas Field of Ordos Basin/ZHANG Xiao-wen, MEI Yong-gang, WU Rong-zhan** (Wupu Drilling Company, NCPB, SINOPEC, Xinxiang Henan 453700, China)

**Abstract:** According to the complex geological conditions in drilling construction in Daniudi gas field of Ordos basin, control on formation damage and environment pollution was carried out for borehole instability and coal seam collapse by natural polymer drilling fluid system and sectional reasonable maintain treatment measures.

**Key words:** horizontal well; borehole stability; collapse preventing; lubrication; drilling fluid; Daniudi gas field

与常规定向井相比, 水平井具有明显的优势: 单井产量高, 采收率高, 开采时间长, 综合效益高。所以, 对于低压低渗透气层, 水平井钻井具有极大的意义和价值。近年来, 在大牛地气田水平井钻井数量迅速增加, 为大牛地气藏的高效开发提供了更为有利的技术手段。经过不断的摸索和实践, 对大牛地气田的水平井 A 点前钻井液工艺技术, 取得了一些成果和经验。

## 1 地质简况

大牛地气田水平井钻遇的地层有第四系的风积砂层和志丹群砂砾层, 胶结差, 可钻性好, 易漏、易垮塌。侏罗系的安定组、直罗组和延安组砂岩段, 埋藏浅, 欠压实, 地层易发生渗漏, 从而形成厚泥饼造成压差卡钻, 因此该段所使用的钻井液要尽可能保持低密度, 严格控制好固相含量, 而泥岩段易发生水化膨胀, 造成起下钻遇阻, 这就要求所采用的钻井液体系要有良好的抑制性。三叠系的延长组、二马营组、和尚沟组、刘家沟组, 地层层理裂缝发育, 遇水极易剥落掉块。二叠系及石炭系地层受构造应力的影

响, 泥页岩性脆, 微裂缝发育, 钻井过程中受到外力的作用, 易发生掉块, 并呈周期性垮塌, 轻则影响进尺, 重则可能导致掉块卡钻, 选择合理的钻井液密度及增强钻井液的护壁性是该段的关键。二叠系下山西组和太原组含多套煤层, 煤层属于裂隙发育, 胶结松散, 多含有泥岩物质、性脆。在钻开煤层时地层应力释放和受到外力的影响出现垮塌, 使煤层内泥岩物质失去支撑, 再加上钻井液的浸泡, 煤和泥岩易发生物理水化膨胀裂解, 更加剧煤层的垮塌。

## 2 难点分析

### 2.1 井眼稳定问题

斜井段石千峰组和石盒子组地层胶结性差, 易垮塌掉块, 所以确保井眼稳定是本段作业中钻井液工作的重点。

### 2.2 岩屑床问题

井斜角在  $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$  以上时, 静态下井眼高边到低边环空钻井液中悬浮的岩屑颗粒的直径和浓度均呈由小到大的垂直分布, 沉积在井眼底边的岩屑形成岩屑床, 引起井眼横断面上的钻井液密度有差异,

收稿日期: 2008-09-30

**作者简介:** 张晓文(1974-), 男(汉族), 甘肃白银人, 中石化华北石油局第五普查勘探大队钻井公司钻井队队长、工程师, 勘察工程专业, 从事钻井技术管理工作, 河南省新乡市洪门第五普查勘探大队钻井公司; 梅永刚(1975-), 男(汉族), 山东东营人, 中石化华北石油局第五普查勘探大队钻井公司鄂北指挥所主任工程师、工程师, 石油化工专业, 从事钻井液研究及现场技术管理工作; 吴荣战(1974-), 男(汉族), 河南南阳人, 中石化华北石油局第五普查勘探大队钻井公司钻井技术研发服务中心主任工程师、工程师, 钻井工程专业, 从事定向技术研究及现场技术管理工作, wuz - 1974@163.com。

导致形成压力不平衡,造成局部对流趋势,使岩屑床向下滑移,从而加速岩屑沉淀,严重时会引起卡钻,甚至井眼堵塞。

### 2.3 钻遇煤层问题

山西组煤层在2800~2900 m,钻到该段井斜最少达到60°,在煤层中要穿行较长距离,所以抑制煤层垮塌尤为重要。

### 2.4 润滑性能的控制

在大斜度段至水平段,由于环空返速低,携岩效果差,致使钻具摩阻增大。钻井液好的润滑性能满足正常钻进和井眼轨迹控制的需要。

### 2.5 排量问题

井斜大,井眼尺寸大,要满足携岩要求,排量是一个比较突出问题,泵压限制了排量,增大排量无非有2个手段:一是简化钻具结构,放大水眼;二是尽可能降低固相含量及合适的流变参数。 $\varnothing 311.2$  mm井眼在35°~64°井段,钻井泵排量尽可能 $\leq 45$  L/s。

### 2.6 固相控制

由于地层因素及排量的局限性,岩屑在井内滞留时间相对较长,运移速度慢,加之钻具对岩屑的重复破碎,钻井液有害固相侵入量大,因此加强四级固控设备利用率以尽可能减少钻井液中有害固相的含量。

### 2.7 导眼井段

采用 $\varnothing 215.9$  mm钻头钻进而二开主井眼下入的是 $\varnothing 244.5$  mm套管,此时井斜至少60°,加上此时所用螺杆( $\varnothing 165$  mm)最大排量也仅为30 L/s,所以此段携岩、清除岩屑床问题也是一个难点。

### 2.8 钻遇地层多

石千峰组泥岩蒙脱石含量高、造浆能力强,易缩径、易泥包;延安、延长组地层中泥质粉砂岩胶结性差、渗透性好、井壁易垮塌、易形成厚泥饼;刘家沟组、上石盒子组和山西组泥页岩地层吸水造成不均质剥落坍塌;山西组地层煤层多,易发生漏失和坍塌,针对不同井段需要采用相应的钻井液技术措施。

## 3 分段钻井液维护处理措施

### 3.1 钻井液配方

为满足大牛地气田水平分支井施工对钻井液技术的要求以及保护环境的要求,通过试验优选出改性天然高分子钻井液配方。该体系用天然高分子包被剂IND30控制地层造浆,提高钻井液抑制性;用天然高分子降滤失剂NAT20和无荧光白沥青NFA-25复配提高封堵能力,改善钻井液的滤失造壁

性;用干粉聚合醇PGCS-1提高井壁润滑性。钻井液配方如下:

清水 + 0.3% 纯碱 + (7% ~ 8%) 膨润土 + (0.4% ~ 0.8%) IND30 + (0.8% ~ 1.5%) NAT20 + (1% ~ 2%) NFA-25 + (3% ~ 7%) PGCS-1。

### 3.2 现场钻井液维护处理措施

(1) 坚持现场钻井液处理剂先试验后入井的科学方法,杜绝对井浆产生副作用的钻井液处理剂入井,严禁人为因素造成井内复杂情况。现场必须对每一种入井的钻井液处理剂做好小型试验并记录好试验内容,以便对每一种钻井液处理剂入井后的效果做到心中有数。

(2) 勤观察、勤测量,及时掌握钻井液的性能变化情况。

(3) 维护处理工艺坚持“少吃多餐,细水长流”的方式,避免钻井液性能波动过大而造成井下复杂情况,体系中处理剂的补充应配制成混合剂按试验比例加入。

(4) 二开定向造斜前在原钻井液中一次性加足3%聚合醇防塌润滑剂,并视情况补充石墨粉及白油润滑剂,以提高钻井液润滑性。控制泥饼粘滞系数小于0.08。钻进过程中使用聚合物和聚合醇控制地层造浆,调整流型保持动塑比在0.3~0.4 Pa/mPa·s之间,用SMP降低滤失量使之尽可能低,用单向压力封闭剂和无荧光白沥青封堵地层,抑制掉块,快速钻进时可以补充IND30、NAT20和SJ-1复配胶液,严格控制膨润土含量在45~50 g/L。

(5) 在井斜增至40°时,充分利用离心机控制钻井液中的固相含量,同时加大环境保护包被剂IND30的含量,以抑制粘土分散。控制膨润土含量 $< 40$  g/L。随着井斜增大,增加NAT20和NFA-25的含量,使钻井液能形成致密、坚韧的泥饼。加入聚合醇PGCS-1并保持其含量在5%以上,以提高钻井液的润滑性,降低摩阻系数至0.06~0.08。每钻进30~50 m短程起下钻破坏岩屑床。

(6) 为保证井壁光滑,避免岩屑床的形成,采取以下技术措施:

① 钻进时一般每打完一单根技术划眼1~2次,钻进30~50 m短程起下钻一次,井斜 $> 45^\circ$ 时根据返砂情况和钻井负荷加密短程起下钻次数;

② 可根据井下情况采用提高泵排量或泵入稀(或稠、高密度)钻井液段塞的方法清扫井眼,避免或延缓岩屑床的形成。

(7) 每钻进100~200 m,替稀浆(或稀胶液)10

~15 m<sup>3</sup>,若井浆粘切较低,则稀塞后跟稠塞。钻遇大套砂岩泵入稀胶液一次。本稀塞主要用于到划眼起钻比较困难时,并在井浆粘切偏高时使用,前者清洗冲刷相对强一些,后者对井壁的冲刷要相对温和一些,通过这一手段的实施,尽可能破坏岩屑床,确保对井壁及井眼的净化。

(8)在条件允许情况下调整钻杆环空返速为0.85~1.10 m/s,提高钻井液的动切力,在定向钻进井段时定时、定井段的进行短程起下钻,用起钻前充分循环、起下钻分段循环钻井液的方法来破坏岩屑床的形成,达到净化井眼、稳定井壁的目的。

(9)工程起钻或短程起钻在斜井段适当采用倒划眼,既安全又行之有效地破坏岩屑床,使其后的下钻及其他作业顺利。在正常钻进条件下,不论井下是否形成岩屑床,每钻进30~50 m,都必须将钻具起出3~5柱进行循环冲砂,消除岩屑床的影响,降低环空岩屑浓度,促进井眼净化。

(10)调整井浆流变性能,进入大斜度井段后,每钻进2 m监测一次钻井液性能,重点测定 $\Phi_0$ 、 $\Phi_3$ 读值和初始凝胶强度,视其读值大小,按等浓度“细水长流”的原则补充聚合物胶液。其值过低时,可补充4%膨润土浆、IND30和NAT20等聚合物,确保 $\Phi_3 > 7$ 。

(11)测定旋转粘度计3 r/min读数是判断钻井液、完井液在层流流态下携岩能力可参考的办法。 $\varnothing 311.2$  mm井眼35°~64°井段3 r/min读数要大于7。

(12)控制较为合适的钻井液密度,(特别是钻遇大段煤层井段)主要依据邻井资料及钻进、短程起下钻摩阻情况等。

(13)因井壁失稳井内可能会有难以携带的掉块,随着井眼的延伸,掉块的积累会影响到正常作业,施工中可通过短程起下钻,让掉块落入井底,再用小排量、低转速、小钻压破碎,大排量携带,恢复正常。

(14)针对导眼井段的携岩、清除岩屑床问题,可考虑以下措施加以解决:钻井液方面可加入适量携砂剂,并增强钻井液的润滑性;工程上可考虑每钻进完一个单根上提下放钻具(活动范围适当加大),然后再开泵循环。另坚持每钻进30~50 m短程起下钻来破坏岩屑床。

(15)全力使用好固控设备,维持尽可能低的固相含量及含砂量,以确保泥饼质量,避免“砂纸”泥饼的形成,从而可以获得稳定优良的钻井液性能及

尽可能高的排量。

(16)控制泥饼摩擦系数低于0.08,此外还应降低钻井液的润滑系数,特别中途滑动钻进及下套管作业。

(17)特殊手段的引用,如电测、下套管作业时,钻井液中加入塑料小球封闭裸斜眼段。

### 3.3 润滑防卡

在井斜增至40°时,充分利用离心机控制钻井液中的固相含量,同时加大环境保护包被剂IND30的含量,以抑制粘土分散。控制膨润土含量<40 g/L,随着井斜增大,增加NAT20和NFA-25的含量,使钻井液能形成致密、坚韧的泥饼。加入聚合醇PGCS-1并保持其含量在5%以上,以提高钻井液的润滑性,降低摩阻系数至0.06~0.08。每钻进150~200 m短程起下钻破坏岩屑床。水平段采用聚合醇无固相钻井液,将全井起钻上提摩阻控制在100 kN以内,下放摩阻控制在80 kN以内,滑动钻进无粘卡,确保井下施工安全。

### 3.4 钻遇煤层的处理

(1)钻进煤层提前提高粘度(漏斗粘度在70~100 s)、动切力(保持动塑比在0.4 Pa/mPa·s左右)并保证钻井液 $\Phi_3$ 含量在40~60 g/L。最主要的是提高钻井液密度(取设计上限值,若超出设计范围需上报分公司批准),降低滤失量,并降低钻井泵排量以减轻钻井液对井壁的冲刷,大量补充单向压力封闭剂和无荧光白沥青,注意观察岩屑返出情况,若有大量的煤屑返出,起下钻有阻卡现象,应立即再加重,直到井内恢复正常,在此段钻进要严禁避免高钻速钻进和在煤层定点循环。

(2)钻进煤层的技术措施:

①钻遇煤层前3 m(由地质人员确定实际井深)循环泥浆、短程起下钻一次;

②钻遇煤层前向循环浆中一次性加足1.5%~2%单向压力封闭剂和2%~3%无荧光白沥青以最大限度的封堵煤层裂隙;

③煤层钻进,“进一退二”,反复破碎,分散运移,确保井下安全;

④钻进中时刻注意泵压与扭矩变化,发现异常,及时停钻上提钻具;

⑤接单根前反复划眼,确保井下正常后方可进行接单根作业。

(3)钻遇煤层前适当提高钻井液密度,防止煤层产生应力垮塌。提高钻井液的 $\Phi_3$ 含量、粘度、切力、动塑比,保持动塑比在0.6 Pa/mPa·s左右,

减轻钻井液对井壁的冲刷,提高悬浮和携带岩屑颗粒的能力。

(4)在煤层钻进中以复合钻井为主,排量控制在26~28 L/s,防止钻井液对井壁冲蚀。注意每钻进5 m左右要上提钻具观察阻卡及井眼稳定情况,并依次判断是否继续提高钻井液的密度。每钻完一个单根划眼至少2次,然后停泵,将上一个单根一并提出转盘面,在停泵状态下下放钻具不遇阻后再加单根进行钻进。

(5)密切注意观察振动筛上岩屑返出情况,如果发现有坍塌物,则必须停止钻进,反复划眼循环,直到返出岩屑正常为止;

(6)煤层钻进时尽可能将钻压加至钻头,钻时控制在10 min/m左右。

(7)每钻进30~50 m循环泥浆,循环时注意避开煤层;进行短程起下钻,证明井下正常后方可继续钻进。

(8)接单根时要做到“早开泵,晚停泵”。接单根后上提钻具,缓慢开泵,慢慢将钻头送至井底。

(9)上提遇阻严重时,轻提(5~10 kN)倒划眼。

(10)起钻要控制速度,防堵水眼。起下钻操作要平稳,尽量避免在煤层段开泵。下钻遇阻不得强压,若活动范围小,须甩掉一个单根后接方钻杆划眼。煤层井段起钻时要严格控制起钻速度,连续灌浆,随起随灌。

(11)出现复杂情况时采取划眼及短程起下钻的方法进行处理。

## 4 现场施工(以DF2井为例)

### 4.1 上部直井段

由于地层疏松易坍塌,要求钻井液有一定的粘度、切力和造壁性,同时控制钻井液的环空返速,以减少对井壁的冲刷。

钻井液配方:清水+(0.2%~0.3%) $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +(0.1%~0.2%) $\text{NaOH}$ +(3%~4%)钠土+(0.3%~0.5%)IND30+(0.5%~1%)NAT20+(0.5%~1%)NFA25。

钻井液性能:密度1.01~1.09  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,粘度21~33 s,API失水10~5 mL,泥饼厚度0.1~0.4 mm,初切力1~3 Pa,终切力2~4 Pa,pH值8~9,塑性粘度6~25  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,屈服值3.5~10 Pa。

在钻进过程中用0.4% IND30和0.5% NAT20胶液维护。钻井液密度<1.10  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,粘度为21~33 s,滤失量为5~10 mL。钻至安定组后,钻井液技

术重点是:抑制地层造浆,控制钻屑分散和膨润土含量上升;通过固控设备清除和降低固相浓度,保证钻井液有良好的流动性;采用低密度(1.05~1.09  $\text{g}/\text{cm}^3$ )、低粘度(21~33 s)和低切力(3~10 Pa)钻井液大排量钻进,以利于冲洗井壁,避免虚质泥饼的形成。钻至井深2500 m左右进入上石盒子组地层后提高胶液的浓度[(0.6%~0.8%)IND30+(0.8%~1.0%)NAT20],降低钻井液滤失量;加入NFA-25,以改善泥饼质量,提高钻井液的造壁性。钻至井深2600 m左右定向造斜前,调整钻井液密度为1.10  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。控制膨润土含量<40  $\text{g}/\text{L}$ ,加入固体润滑剂及粉状聚合醇PGCS-1,保证钻井液具有良好的润滑性,以利于滑动钻进。钻井液密度为1.10  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,粘度为35~40 s,塑性粘度为8~14  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,屈服值为4~8 Pa,动塑比为0.4~0.57  $\text{Pa}/\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,API滤失量<5 mL。

### 4.2 定向造斜段

定向造斜前向井浆中加入(1%~2%)PGCS-1,钻进过程中加强固控设备特别是离心机的使用,控制固相含量<8%,膨润土含量<40  $\text{g}/\text{L}$ 。同时增大胶液中IND30的用量,使其含量>1%。随着井深和井斜的增加,增大NFA-25的用量,进一步改善泥饼质量。当井斜>60°时,确保润滑剂PGCS-1含量>5%,将摩阻系数控制在0.05以下,预防粘卡。每钻进150 m进行短程起下钻,破坏岩屑床,并适当提高钻井液环空返速,延缓岩屑床的生成。进入山西组地层时要与地质技术人员密切配合,防止因进入煤层而引起井塌与井漏,如果发生复杂情况要停钻观察并及时采取措施,不得盲目钻进,使问题更加复杂化。

该井段胶液配方如下:清水+(1%~1.2%)IND30+(1%~1.5%)NAT20;NFA-25和PGCS-1以干粉加入。

泥浆性能:密度1.08~1.25  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,粘度27~72 s,API失水量5.4~3.2 mL,泥饼厚度0.3~0.5 mm,初切力2~7 Pa,终切力5~17 Pa,pH值8~11,塑性粘度16~35  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,屈服值5.5~14 Pa。

钻遇煤层时必须严格控制失水,提高钻井液的防塌抑制性,减少煤层毛细管效应。提高钻井液动塑比减少对井壁的冲刷,防止煤层垮塌。性能:密度1.18~1.25  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,粘度52~72 s,API失水4.8~3.2 mL,泥饼厚度0.3~0.4 mm,初切力3~7 Pa,终切力5.5~17 Pa,pH值8~11,塑性粘度22~35  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,屈服值8~17.5 Pa。

### 4.3 下套管作业

Ø311.2 mm 口径下入 Ø244.5 mm 套管对钻井液提出了更高的要求,必须具备良好的润滑性、悬浮携带性能和井壁的稳定性的。为确保套管的顺利下入,采取以下处理措施。

(1) 钻至 A 点前,提高钻井液的润滑性加入 3.5% 的液体润滑剂降低粘滞系数至 0.05;用 1% 的无荧光白沥青改善泥饼质量;加入 0.3% 的 NAT20 控制失水,减少滤液的渗透半径,防止井壁失稳。

(2) 提前用原浆配 6% 塑料小球 50 m<sup>3</sup>,用 IND30 提高钻井液的悬浮携带能力,搅拌 24 h 以上备用。在通井时封下部井段 600 m,停泵,高速搅拌 3~5 min 将塑料小球泵入井筒起钻(起钻时注意观察摩阻情况)。在施工操作过程中注意以下事项:

①在钻井液维护上坚持以“细水长流”的方式按循环周期均匀维护,避免钻井液有大幅度的变化造成井壁失稳;

②配好的塑料小球浆要充分搅拌均匀,使用时确保塑料小球在井壁的均匀分布,有利于润滑性的提高;

③在用塑料小球浆封下部 600 m 井段时,严格计算替浆量,确保塑料小球浆准确到位。

### 5 几点认识

(1) 大牛地气田上部地层泥质含量高,PDC 钻头牙齿小、研磨性强,钻井过程中在加强固相控制的同时采用低粘、低固相钻井液有利于提高钻速,预防泥包。包被剂 IND30 含量达到 1% 时,抑制能力明显增强

(2) 固体润滑剂 PGCS-1 润滑效果较好,在含量达到 5%~7% 时能满足大牛地气田 3000 m 以内水平井 A 点前的润滑防卡要求。

### 参考文献:

[1] 徐同台,赵志举.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.  
 [2] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东东营:石油大学出版社,2001.  
 [3] 徐同台,洪培云,潘世奎.水平井钻井液与完井液[M].北京:石油工业出版社,1999.

(上接第 11 页)

### 4.3 试验成果

表 3 列出了 ZK69-22-3 孔实钻测斜数据和电测连斜数据。对比设计、实钻及终孔电测孔身曲线数据可以看出,整个造斜施工达到了预期效果及要求。该孔于孔深 211 m 便进入了煤系地层,顺利达到了实施定向钻进的地质目的,后钻至设计终孔孔深。该孔实现了定向钻进技术与金刚石绳索取心的有机结合,并安全钻达目的层。

### 5 结语

本次试验证明,尽管在金刚石绳索取心工艺中实施定向斜孔钻进有很大的难度,只要设计合理,现场操作技巧及安全防范措施得当,还是能取得较好的效果。但施工中的确存在一定难度,特别是造斜段施工中稍有不慎就很难达到预期的理想造斜效果,甚至还会给后期施工埋下事故隐患。因此,还需要在实践中进一步摸索和探讨,使该技术在煤田勘探中的应用更加完善和可靠。

表 3 ZK69-22-3 钻孔测斜数据表

	孔段	孔深/m	孔斜/(°)	方位/(°)
实 钻	直孔段	47.00	0.8	0
		79.50	0.7	95
	造斜段	90.50	2.0	165
		96.56	3.5	160
	控制段	156.00	3.0	162
		233.16	3.4	163
328.56		4.2	165	
		430.35	6.4	未测到
电 测 连 斜	直孔段	50	0.6	/
		80	0.8	35
	造斜段	90	1.8	170
		100	3.6	166
	控制段	150	3.2	164
		200	3.4	162
		250	3.7	164
		300	4.2	165
		350	4.5	167
			400	5.2
		450	5.8	170