

苏77-5-8H井大斜度穿煤层安全钻井技术

柯学¹, 李继营², 池崇荣³, 刘志良¹

(1. 中国石油西部钻探钻井工程技术研究院, 新疆克拉玛依 834000; 2. 中国石油西部钻探定向井技术服务公司, 新疆克拉玛依 834000; 3. 中国石油西部钻探苏里格气田开发第一项目经理部, 内蒙古乌审旗 017300)

摘要: 苏77-5-8H井为苏里格气田苏77区块第一口利用水平井提高山₂³组开发效益的大斜度穿煤层水平井, 目的层山₂³储集砂岩上部发育厚度25~30 m的碳质泥岩和煤层段, 由于煤系地层的特殊性, 钻进过程中易坍塌, 且煤系地层正好处于入靶前的造斜井段, 钻井施工难度大、风险高。在分析了煤层井壁稳定机理基础上, 针对苏77区块地层特性和水平井钻井施工的难点, 分析了该井主要技术难点, 重点从井眼轨迹轨道设计优化、轨迹控制及施工技术措施和钻井液技术等方面对该井安全技术进行了全面的介绍, 为今后同类井钻井提供可参考的经验。

关键词: 煤层; 坍塌; 井眼轨迹控制; 安全钻井技术; 钻井液; 封堵防塌; 抑制性; 苏里格气田

中图分类号: TE243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)12-0013-05

Safety Drilling Technology of Crossing Coal Seam with High-inclination in SU77-5-8H Well/KE Xue¹, LI Ji-ying², CHI Chong-rong³, LIU Zhi-liang¹ (1. China Petroleum Western Drilling Engineering Institute, Karamay Xinjiang 834000, China; 2. China Petroleum Western Directional Drilling Technology Services Company, Karamay Xinjiang 834000, China; 3. 1st Project Manager Department of China Petroleum Western Drilling Sulige Gas Field Development, Wushen Inner Mongolia 017300, China)

Abstract: SU77-5-8H is the first horizontal well crossing coal seam with high-inclination, by which development benefit was promoted for Shansi group₂³ in Su77 block of Sulige gas field. The upper part of target bed (Shanxi₂³) is structured by carbonaceous mudstone and coal seam in the thickness of 20~30 meters. Because of the specialty of coal-bearing stratum, collapsing occurs easily in drilling process, and this coal-bearing stratum is in deviation building section in front of target point with big construction difficulty and high risk. Analysis was made on the main technical points, and introduction was made on the safety technology about design optimization, trajectory control, construction measures and drilling fluid technique.

Key words: coal seam; collapsing; borehole trajectory control; safety drilling technology; drilling fluid; sealing and anti-collapse; inhibition; Sulige gas field

1 概述

苏77-5-8H井为苏里格气田苏77合作区块利用水平井方式提高山₂³组开发效益的第一口水平井。该井采用三开井身结构(参见图1): 一开 $\phi 374.6$ mm钻头钻至井深505 m, $\phi 273.05$ mm表层套管下至井深504.13 m; 二开直井段 $\phi 222.3$ mm钻头钻至井深2328 m, $\phi 215.9$ mm钻头钻至井深2670 m, 二开斜井段 $\phi 215.9$ mm钻头钻至井深3299 m, $\phi 177.8$ mm技术套管下至井深3297.04 mm; 三开采用 $\phi 152.4$ mm钻头钻至井深3669 m, 裸眼完井。

该井二开斜井段山西组山₁段至山₂³井段共钻遇101 m的4层煤岩及3层碳质泥岩, 分布在井深3032~3273 m(斜深)之间, 该井段井斜角在67°~85°之间, 其中最厚一层煤层斜厚79 m, 井斜角82°左右, 并且各煤层和碳质泥岩间分布着泥岩及砂岩

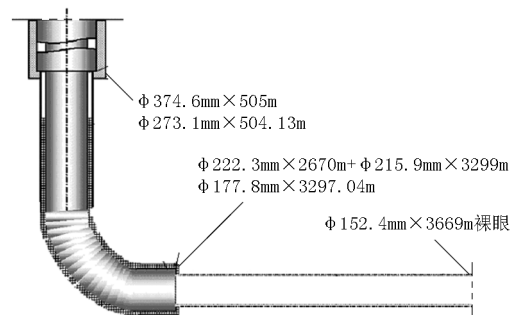


图1 苏77-5-8H井井身结构示意图

等小夹层。

该井2011年7月15日一开, 2011年7月20日二开, 2011年8月10日顺利钻至井深3299 m完钻, 共历时24.31天, 其中629 m斜井段历时12.77天, 整个斜井段施工实现了零复杂, 创造了苏里格气田

收稿日期: 2011-10-10; 修回日期: 2011-11-08

作者简介: 柯学(1982-), 男(汉族), 新疆人, 中国石油西部钻探钻井工程技术研究院, 石油工程专业, 从事钻井设计及研究工作, 新疆克拉玛依市鸿雁路80号, gslsdmg@163.com。

苏77区块水平井钻井的新纪录。

2 煤层井壁稳定机理分析

2.1 煤层坍塌的特殊性

煤系地层钻井井眼不稳定是较为普遍的现象,煤系地层坍塌与泥页岩坍塌在机理上有本质的区别,但也有相似的影响因素。煤岩一般不含或少含粘土矿物,其本身的水化能力很低。其主要的问题是割理、裂隙发育,岩石脆性大、强度低,在地层应力的作用下或者其他因素的作用下不稳定。

2.1.1 煤岩的结构构造特征

煤岩的组成、结构构造特征造成了岩石物质成分的非均质性、物理力学性质的各向异性和结构构造的不连续性,其突出表现在:其组成成分在同一煤层中不同方向(纵向和横向)和不同深度上的差异,以及在其生成过程中所形成的明显的层状构造和孔隙结构所体现出的差异。

通常煤岩中存在有2组近于垂直的割理,主要裂隙组面割理发育较完善,延伸可达数百米,端割理组发育在面割理之间,沟通了面割理。通常面割理方向的渗透率比端割理方向的渗透率高出几倍甚至一个数量级。除割理外,煤层还常发育有节理、次级节理等裂隙。这些裂隙相互交叉切割,形成了复杂的裂隙系统。由于割理和节理裂隙的作用,煤体被切割成为一个个不连续的近似斜方体的小块,破坏了煤层的完整性,使煤层具有破碎易塌的特点。

2.1.2 煤岩力学性能

与常规砂岩、泥岩相比,煤岩的弹性模量较低,泊松比较高,抗压及抗拉强度均较低,脆性大,易破碎,易受压缩。而且由于煤岩结构的不均质性,原生和次生裂隙系统十分发育和复杂,均导致煤岩物理力学性质具有显著的各向异性特征。

2.1.3 煤岩失稳的特殊性

2.1.3.1 煤岩对机械力作用十分敏感

(1)单纯提高钻井液密度,不仅会使滤失量增加导致井漏,使得滤液侵入范围扩大,甚至形成新的裂隙,裂隙延伸,使得破碎地层更加不稳定。

(2)破碎煤岩体对钻井时的机械力十分敏感,压力波动、水力冲击震动、钻柱的机械碰撞等都可能诱发或加剧煤岩的坍塌。

2.1.3.2 泥页岩夹层的膨胀推挤与格挡效应

煤岩多与泥页岩互层,泥页岩层和煤层所夹泥页岩的坍塌对煤岩的坍塌影响非常大。煤层下的泥岩坍塌后,煤层因为失去支撑而垮塌;同样,煤层的

坍塌也会促使上部泥页岩坍塌,形成恶性循环。

煤层多与泥岩互层,泥岩常具有较强的水化分散性和水化膨胀性,水化后强度降低,泥岩夹层的失稳使煤层失去稳定的坚固的格挡而失稳,因此,泥岩层的稳定有利于煤层的稳定,考虑煤岩稳定时应同时考虑稳定泥页岩夹层。

泥岩水化产生的膨胀必然对相邻煤层产生推挤作用,从而增大井壁煤岩的应力,使本来就破碎的煤岩剥落掉块甚至垮塌。

2.2 钻井液对煤层稳定性的影响

2.2.1 钻井液滤液对煤层稳定性的影响

煤层微裂隙发育,比表面积巨大,并含有较多亲水、亲油表面,吸液能力强,同时,钻井液向煤岩的滤失不可避免,滤液是水时,滤液进入煤岩后对煤岩的影响有以下几个方面:

(1)毛细管效应:煤岩节理、微裂缝和孔洞极其发育,比表面巨大,毛细管效应突出,对亲水表面,水在毛细管力作用下深入裂缝和孔洞,削弱了煤岩大分子之间的氢键和范德华力,并润滑了裂缝,引起煤岩内聚力降低,裂缝张开,使煤岩破坏;

(2)水化膨胀作用:煤岩吸水后产生膨胀,煤的抗拉强度低,弹性模量小,煤中丝质体和镜质体各自独立,非均质性强,水化膨胀导致局部应力集中,引起剥落掉块;

(3)胶结物的溶解:裂缝观察和水溶盐测定表明,煤岩中含有少量的粘土矿物和无机盐,主要以胶结物和填充物的形式存在于裂缝和孔洞中。煤岩吸水后引起粘土矿物的水化膨胀和无机盐的溶解,裂缝间的胶结破坏,使煤的强度下降。

2.2.2 钻井液密度的影响

钻井液密度对井壁稳定性有较大的影响,若钻井液密度过低,因煤岩抗拉强度和弹性模量小,会引起构造应力释放,使煤层沿节理和裂缝崩裂和坍塌;若钻井液密度过高,水在压差作用下楔入煤层,将裂缝撑开使煤层坍塌。

3 苏77-5-8H井主要钻井技术难点

(1)山西组煤岩色均、性脆、具有玻璃光泽、碳化程度较高,由于煤岩节理、裂隙极其发育,胶结疏松,易破碎,当钻开地层时,钻井液的进入,压力波动、水力冲击及震动等,降低了煤岩之间的胶结力,导致坍塌。

(2)本井山西组山₁段至山₂³井段共分布4层煤岩及3层碳质泥岩组成的101 m煤系地层,煤层

及碳质泥岩与泥岩互层,泥岩水化产生的膨胀对相邻煤系地层产生推挤作用,使本来就破碎的煤岩剥落掉块甚至垮塌。

(3)山西组以上的石千峰组上部和石盒子组下部泥岩稳定周期在 15 天左右,稳定周期较短,若山西组煤系地层施工周期较长,钻井液浸泡时间过长不仅增大了煤系地层垮塌的风险,同时使得石千峰组上部和石盒子组下部泥岩在钻井液长时间浸泡下可能垮塌,造成恶性复杂事故。

(4)由于该井煤层井段井斜角在 $67^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 之间,垂直应力超过水平应力,极易造成井壁坍塌。

(5)在钻井过程中,钻具不可能是单一的运动状态,且煤系地层正好处于斜井段,钻具在此井段易产生螺旋屈曲,由于螺杆钻具的旋转碰撞、起下钻操作不平稳等,也会促使煤系地层垮塌。同时螺杆钻具尺寸相对较大,环空激动压力较大,易诱发煤系地层的坍塌。

(6)井径扩大率较大,在煤岩局部形成“大肚子”和“糖葫芦”井眼,影响造斜率,井眼轨迹不易控制;同时由于环空间隙的剧烈变化,钻井液的上返速度差异大,影响携砂效率。

(7)煤系地层处于大斜度井段,钻井液排量受限制,钻井液排量过大易加大对井壁的冲刷,钻井液排量过小不易携岩。

(8)本井钻井液密度不易控制,上部刘家沟地层承压能力较低,密度过高可能发生井漏,同时煤系地层自身受钻井液密度影响较大。

4 井眼轨道设计优化

由于煤系地层井段正好处于目的层山₂³ 顶部位置,距离目的层山₂³ 垂直距离较短,井眼轨道设计中考虑到煤层的稳定性,井径扩大率较高,造斜率较低,同时利于现场轨迹控制调整等方面因素,设计“直-增-稳-增-平”五段制剖面(如表 1、图 2 所示)。

因刘家沟组地层承压能力较低,造斜点需避开上部刘家沟组,设计造斜点 2670 m, $5.48^{\circ}/30$ m 造斜率钻至井斜角 83.5° 探煤层,以井斜角 83.5° 稳斜穿煤层、探气顶, $2.11^{\circ}/30$ m 低造斜率旋转钻进的方式微增斜入靶。

表 1 苏 77-5-8H 井井眼轨道设计表

井段	井深 /m	段长 /m	井斜角 / $(^{\circ})$	方位角 / $(^{\circ})$	垂深 /m	N(+)/S(-) 坐标/m	E(+)/W(-) 坐标/m	水平位移 /m	造斜率/[$(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$]
直井段	2670.00	2670.00	0.00	0.00	2670.00	0.00	0.00	0.00	0.00
增斜段	3127.20	457.20	83.50	170.40	2981.70	-274.31	46.41	278.21	5.48
稳斜段	3207.20	80.00	83.50	170.40	2990.76	-352.69	59.67	357.70	0.00
增斜段(A点)	3299.70	92.49	90.00	170.40	2996.00	-443.69	75.07	450.00	2.11
水平段(井底)	4299.70	1000.00	90.00	170.40	2996.00	-1429.68	241.90	1450.00	0.00

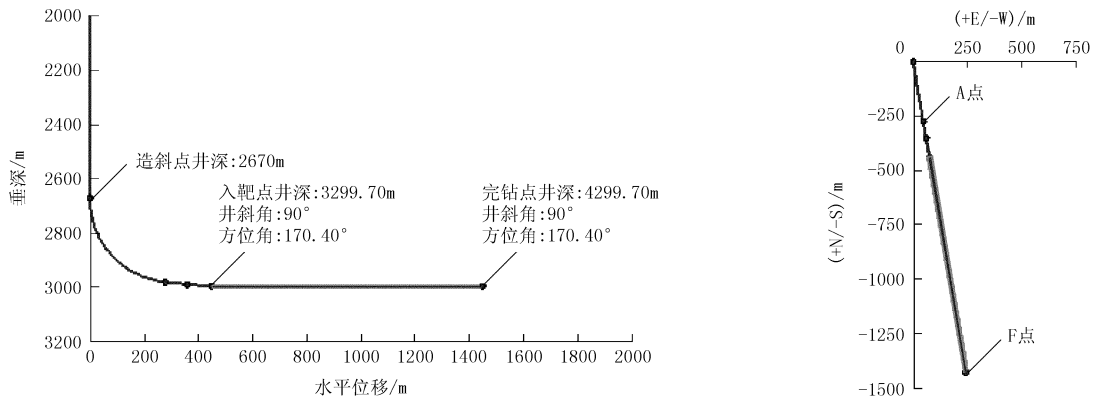


图 2 苏 77-5-8H 设计井眼轨道投影图

5 井眼轨迹控制及施工技术措施

煤系地层前上部增斜段采用常规螺杆钻具 ($\varnothing 215.9$ mm 钻头 + $\varnothing 172$ mm 单弯螺杆 $\langle 1.5^{\circ} \rangle$ + 钻

具止回阀 + MWD 短节 + $\varnothing 159$ mm 无磁钻铤 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 $\langle 30$ 根 \rangle + $\varnothing 158.8$ mm 随钻震击器 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 $\langle 6$ 根 \rangle + $\varnothing 127$ mm 钻杆 + 133.4 mm 方钻杆), 钻至井深 2788 m、井斜角 25° 时因钻

头磨损提钻换钻头,采用倒装钻具组合($\text{Ø}215.9\text{ mm}$ 钻头 + $\text{Ø}172\text{ mm}$ 单弯螺杆 $\langle 1.5^\circ \rangle$ + 钻具止回阀 + MWD 短节 + $\text{Ø}159\text{ mm}$ 无磁钻铤 + $\text{Ø}127\text{ mm}$ 钻杆 $\langle 30\text{ 根} \rangle$ + $\text{Ø}127\text{ mm}$ 加重钻杆 $\langle 30\text{ 根} \rangle$ + $\text{Ø}158.8\text{ mm}$ 随钻震击器 + $\text{Ø}127\text{ mm}$ 加重钻杆 $\langle 6\text{ 根} \rangle$ + $\text{Ø}127\text{ mm}$ 钻杆 + 133.4 mm 方钻杆)。钻压控制在 $80 \sim 100$

kN,排量 35 L/s ,最大造斜率达到 $7.8^\circ/30\text{ m}$,满足轨迹控制要求。采用 MWD + 自然伽马进行随钻测量,根据随钻综合录井结合实钻自然伽马,钻至 2962 m 时随钻自然伽马值突增(见图 3),与返出的泥岩相吻合,准确地确定石盒子组与山西组的相对位置。

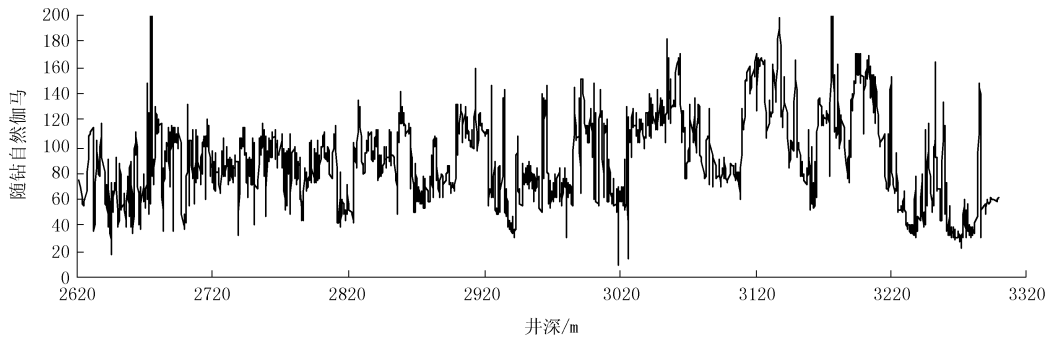


图3 苏77-5-8H井随钻自然伽马曲线(局部)

进入增斜段薄煤层时降低钻压和转速,采用“控段”钻进,每钻遇碳质泥岩 0.5 m ,上提钻具划眼,直到停泵后上提下放正常方可继续钻进,坚持“进一退二、进二退四”的技术措施,缓慢充分释放煤层应力,及时修整井壁。送钻均匀,开泵缓慢,防止激动压力造成井眼垮塌,避免长时间定点循环冲刷井壁。

钻至井深 3032 m 、井斜角 67° 钻遇灰黑色碳质泥岩(1 m 碳质泥岩),钻速突然加快(由 22 m/h 变为 50 m/h),及时减小钻压至 $40 \sim 60\text{ kN}$,降低钻泵排量为 28 L/s 。因该井段处于增斜段,钻进过程中及时采用滑动钻进的方式,全力增斜,确保了下部钻遇大段煤层时井斜角满足轨迹控制的要求。

钻至井深 3040 m 、井斜角 70° 钻遇第二套灰黑色碳质泥岩(1 m 碳质泥岩)。采用“进一退二、进二退四”的技术措施成功钻穿 2 套小层碳质泥岩后,提钻简化钻具结构,尽可能减少钻铤数量和配合接头,采用倒装钻具组合,将 $\text{Ø}172\text{ mm}$ 螺杆(1.5°) 更换为 $\text{Ø}165\text{ mm}$ 螺杆(1° ,不带扶正器),增大环空间隙,减小激动压力,防止因激动压力造成煤层垮塌。增斜段采用“控段”钻进的方式成功钻穿 3 层小煤层段(各小层平均斜厚 4 m)。

钻至井深 3124 m 、井斜角 81° 时,钻遇大段煤层(共计 79 m),该井段处于稳斜井段段,轨迹控制采用旋转钻进的方式,尽可能减少在煤层段的测斜、摆工具面等操作,减小了对井壁的冲刷,降低了煤层垮塌的风险;同时减小了“大肚子”和“糖葫芦”井眼的形成,利于井眼轨迹控制和携岩。

钻遇大段煤层采用“控时”钻进的方式钻进,钻

时控制在 5 m/h 。每钻完一个单根,重复划眼 $2 \sim 3$ 遍。

接单根坚持“早开泵,晚停泵”,接完单根后上提钻具,缓慢开泵,慢慢将钻头送到井底。

煤层段钻进过程中不执行短程提下钻,在提下钻时,控制上提下放速度,防止因抽吸、压力激动造成井眼垮塌,起钻及时灌浆,保证井内液柱高度,同时减小钻具扰动对井壁的破坏。

6 钻井液技术

6.1 钻井液体系及配方

针对该井钻井技术难点,选用低固相聚磺 MEG 防塌钻井液体系。

配方为: $4\% \sim 6\%$ 壤土 + $0.2\% \text{ Na}_2\text{CO}_3$ + $0.2\% \sim 0.3\% \text{ NaOH}$ + $0.3\% \sim 0.5\% \text{ NH}_4\text{HPAN}$ + $0.3\% \sim 0.5\% \text{ CMC-HV}$ + $0.3\% \sim 0.5\% \text{ KPAM}$ + $0.1\% \sim 0.3\% \text{ FA367}$ + $0.1\% \sim 0.3\% \text{ PAC}$ + $0.1\% \sim 0.2\% \text{ XC}$ + $1.5\% \sim 2\% \text{ SMP-II}$ + $1\% \sim 2\% \text{ DFT-1}$ + $1\% \sim 2\% \text{ SPNH}$ + $5\% \sim 7\% \text{ MEG}$ + $2\% \text{ JXFQ-6}$ + $1\% \text{ RH-2}$ + $1\% \text{ QS-1}$ + $1\% \text{ QS-2}$ + $1\% \text{ QS-4}$ 。

6.2 钻井液技术措施

(1) 直井段钻至 2328 m 后对上部刘家沟组地层进行先期承压试验,加入 5% 随钻堵漏剂 DF-1 及 3% 复合堵漏剂,使易漏层刘家沟组地层承压能力达到 1.29 g/cm^3 。采用 $1.17 \sim 1.22\text{ g/cm}^3$ 钻井液密度成功钻穿上部石千峰组及石盒子组地层泥岩段,钻进过程中无掉块现象。

(2) 进入山西组前 50 m 将性能调整好,混入预

水化壤土浆,增加钻井液中壤土含量至4%~6%,提高钻井液的粘切力,使其漏斗粘度保持在75~80 s,动塑比保持在0.6~0.9之间,有效地提高钻井液的携岩性,避免煤系地层因井径扩大率较大造成携岩效率的降低。

(3)使用石灰石粉提高钻井液密度至1.25 g/cm³,增强物理防塌。同时加入粒度不同的超细碳酸钙(1% QS-1+1% QS-2+1% QS-4),封堵煤层孔隙、裂缝以减少滤液渗入量,降低滤液进入煤岩后对煤岩的影响。

(4)加大防塌沥青的含量,封堵煤层微裂缝。煤层中大部分裂缝宽度为2~6 μm,沥青使钻井液中10 μm以上大颗粒含量明显增加,在高温下沥青大颗粒软化变形,在压差下进入裂缝起到较好的胶结封堵作用。

(5)使用SMP-2、SPNH、NH₄HPAN、PAC等提高造壁、降失水能力,控制好钻井液滤失量,使泥饼薄而致密,API失水量<4 mL/30 min,HTHP<14 mL/30 min。进一步减少滤液渗入量,降低滤液进入煤岩后对煤岩的影响。

(6)维持钻井液0.3%~0.5%的KPAM及NH₄HPAN的含量,使钻井液具有较强的抑制性,加强煤系地层中泥岩夹层的防塌,减少泥岩垮塌对煤层的影响,巩固各煤系地层间坚固的隔挡。

(7)进入煤层前加大润滑剂含量(5%~7%MEG+2%JXFQ-6+1%RH-2),保证钻井液良好的润滑性。充分利用好固控设备,清除钻井液中的有害固相,保证钻井液清洁。

7 认识

(1)通过对井眼轨道优化配套工艺技术措施及

(上接第12页)

渗漏的作用。其对岩石界面吸附是链的吸附,因此吸附较牢固,形成结构网致密,使成膜质量好,强度大,可提高护壁防塌能力;水玻璃钻井液中的水玻璃对砂岩岩层具有良好的胶结作用,可形成网状结构而包裹溶液中的自由水,使体系失去流动性,从而实现护壁堵漏的目的。这几种钻井液体系是盆地科学钻探、砂岩铀矿钻探和煤田钻探施工中应对复杂地层时的首选钻井液。

实践证明,低固相或无固相钻井液在沉积岩复杂地层钻探施工中具有钻进效率高,润滑性能好,护壁、护心能力强,配制方便,易于推广使用等优点。

钻井液技术的全面优化与现场施工中合理有效的措施,苏77-5-8H井成功实现了零复杂穿101 m大斜度煤层段,证明了该项配套技术的安全、可靠性,为苏里格气田苏77区块后续开发山³水平井钻井提供了指导意义。

(2)通过优化井眼轨道设计,采用“直-增-稳-增-平”,设计稳斜段穿大段煤层,利于现场灵活操作。实钻过程中稳斜段采用旋转钻进既达到了设计造斜率的需求,又能满足安全穿越煤层的要求,同时减少了因摆工具面造成的长时间定点循环对煤层的冲刷。

(3)碳质泥岩及煤层段钻进选择控时或控段钻进,坚持“进一退二、进二退四”的技术措施,适合安全、优快钻煤层的要求。

(4)合理的钻井液密度、粘度,较强的封堵防塌能力,较低的失水,较好的润滑性等钻井液技术措施,实现了钻井液对煤层的封堵、防塌效果。

参考文献:

- [1] 张晓文,梅永刚,吴荣战.鄂尔多斯盆地大牛地气田水平井A点前钻井液工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3):21-25.
- [2] 王宏伟,李玉良.和煤1井煤层气井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(1):25-26,30.
- [3] 梁大川,蒲晓林.煤岩坍塌的特殊性及钻井液对策[J].西南石油学院学报,2002,24(6).
- [4] 石向前,安朝明,罗扬淑.吐哈油田煤层安全钻进技术[J].石油钻探技术,2002,30(2):22-23.
- [5] 雍富华,余丽彬,熊开俊,等.钻井液在吐哈油田小井眼侧钻井中的应用[J].钻井液与完井液,2006,23(5):50-52.
- [6] 夏宏南,刘小利,王小建,等.煤层钻井技术研究综述[J].内蒙古石油化工,2006,(6).
- [7] 胥志雄,等.依南地区煤系地层钻井技术[J].钻采工艺,2002,(5):9-11.

但是,在实际钻探施工中所遇到的复杂情况千变万化,因此,必须综合研究,因地制宜,灵活使用,才有可能达到保证钻孔施工顺利、安全、高效的目的。

参考文献:

- [1] 徐同台,赵忠举.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] 王文臣.钻孔冲洗与注浆[M].北京:冶金工业出版社,1996.
- [3] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [4] 周金葵.钻井液工艺技术[M].北京:石油工业出版社,2009.
- [5] 吴隆杰,杨凤霞.钻井液处理剂胶体化学原理[M].四川成都:成都科技大学出版社,1992.