

Preliminary Study on Drilling Fluid of FSL-43 Well in Baiyanghe Mining Area

Liang Xie Chonggang Wang Shikang Cao Bin Zhang Jianhu Gao

Western Drilling Drilling Fluid Branch, Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract

The strata of Baiyanghe mining area in Fukang are characterized by large inclination Angle and thick coal seam. In the drilling process, the well wall of coal seam section of Badowan Formation collapsed, resulting in frequent faults of short lifting card and stuck drilling, long fault processing time, high cost and low efficiency. By analyzing the influencing factors of coal seam collapse drilling, the technical idea of “synergistic inhibition, dense sealing and density support” of brine polymer drilling fluid is put forward, and the treatment agent selection and formulation design are carried out, and tested in FSL-43 well. The selected drilling fluid system reflects the strong ability to restrain, block and stabilize the well wall, and ensures the safe drilling of badaowan Group coal seam, without coal seam collapse and drilling failure. The successful test of this system for the first time has certain reference value for the selection of drilling fluid system in this area.

Keywords

mining area; coalbed methane; blocking and preventing collapse; salt water polymer; drilling fluid

阜康白杨河矿区 FSL-43 井急倾角多煤层盐水聚合物钻井液技术初探

谢亮 王崇刚 曹世康 张斌 高剑虎

西部钻探钻井液分公司, 中国·新疆 克拉玛依 834000

摘要

阜康白杨河矿区地层具有倾角大、煤层多而厚等特点, 在钻进过程中, 八道湾组煤层段的井壁垮塌, 造成短提挂卡、卡钻故障频繁, 钻井卡钻故障处理时间长、成本高、效率低。通过分析煤层坍塌卡钻的影响因素, 提出了盐水聚合物钻井液的“协同抑制、致密封堵、密度支撑”技术思路, 开展了处理剂的选择和配方设计, 并在 FSL-43 井进行试验。选择的钻井液体系体现了较强的抑制、封堵、稳定井壁的能力, 确保了八道湾组煤层的安全钻进, 未发生煤层垮塌卡钻故障。该体系首次试验成功, 对该区域钻井液体系的选择有一定的参考价值。

关键词

矿区; 煤层气; 封堵防塌; 盐水聚合物; 钻井液

1 引言

阜康白杨河矿区地层具有倾角大、煤层多而厚等特点, 在受急倾角煤层的影响下, 煤层段井壁不稳定问题成了该区块安全钻井的重大挑战之一, 钻进过程中, 煤层段的井壁垮塌, 造成卡钻事故频繁, 复杂井数占总井数 20% 以上, 绝大部分采取注灰填井侧钻^[1], 从而导致钻进效率低、周期长、成本高。论文以该区块施工井为例, 分析坍塌卡钻的深层原因, 提出试验盐水钻井液技术思路, 利用体系的强抑制、强封堵的特点, 确保试验井 FSL-43 井的煤层稳定, 钻井施工顺利, 钻井工期 14.92 天、事故时效为零、井漏时效为 1.38%,

与邻井相比, 钻井工期缩短 7.48 天, 事故复杂时效降低近 80%, 为阜康白杨河矿区煤层气井安全钻井和复杂事故预防的钻井液体系选择提供借鉴。

2 井眼概况与钻井液技术难点

2.1 井身结构

FSL-43 井为一口 L 型开发水平井, 目的层为八道湾组 42# 煤层, 设计垂深 876.53m, 设计斜深 1434.85m。该井设计采用二开井身结构: 一开, 采用 $\phi 311.2\text{mm}$ 钻头钻至井深 100.00m, $\phi 244.5\text{mm}$ 表层套管下至井深 100.00m, 封固八道湾上段胶结疏松的砂泥岩, 水泥浆返至地面; 二开, 采用 $\phi 215.9\text{mm}$ 钻头钻至斜深 1434.85m, $\phi 139.7\text{mm}$ 套管下至井深 1432.85m, 钻至 42 号煤层着陆后沿 42 号煤层钻至设计终靶点完钻, 水泥浆返至地面。

【作者简介】谢亮 (1982-), 工程师, 从事钻井液技术管理研究。

2.2 地层岩性特点

白杨河矿区位于北天山褶皱带、博格多复背斜以北、准噶尔拗陷区以南的黄山—二工河向斜北翼，为一南倾的单斜构造，走向为近东西向，地层倾角 $35^{\circ}\sim 53^{\circ}$ 。出露地层由老至新依次为侏罗系下统八道湾组(J1b)、三工河组(J1s)和少量的第四系(Q4)^[2]。其中八道湾组(J1b)地层是矿区内主要含煤地层，为湖泊~沼泽相沉积，伴有河流相沉积的含煤碎屑沉积岩建造，主要岩性为灰~灰黑色的粉砂岩、细砂岩、砂砾岩和煤层，夹有少量中、粗砂岩。主要岩性特点如下：

第一，第四系为全新统冲洪积层，分布于工区内的河漫滩以及现代沟谷之中，厚度约0~20m，由砾石、砂、沉积岩碎块等混杂堆积而成。

第二，侏罗系八道湾组经历了湖沼相—河流相—湖沼相的沉积过程，湖沼相环境是主要成煤期，形成的八道湾组上段(J1b³)、中段(J1b²)和下段(J1b¹)：

①八道湾组上段(J1b³)：主要岩性以灰—深灰色的粉砂岩、细砂岩为主，粗砂岩次之，少量炭质泥岩，加4~5层薄煤层，风化严重，不稳定，成煤环境差。

②八道湾组中段(J1b²)：以河流相沉积为主，主要岩性为灰白—深灰色的砂砾岩、粗砂岩、粉砂岩及中、细砂岩、泥岩和煤层，含煤4层。煤层夹层多，界面胶结差，极易发生坍塌。

③八道湾组下段(J1b¹)：主要岩性以湖沼相沉积的灰—灰黑色的粉砂岩、细砂岩、泥岩和煤层为主，夹有粗砂岩。含煤3~5层。此段处于水平段，钻井过程中遇阻划眼、坍塌卡钻的多发井段。

2.3 主力煤层特征

综合地震、测井资料，FSL-43井区范围内地层走向基本是东西走向，地层南倾，倾角约 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。八道湾组下段含3套煤层，编号39号、41号、42号，厚度约为10~25m，其中42号煤层为目的层，平均厚度为20m左右。

煤岩类型以半亮煤、亮煤为主，煤体结构以原生—碎裂结构为主，硬度系数小($f=3$)，易碎；局部亮煤条带中垂直层理的面割理较发育，割理面平直光滑，裂隙密度8~15条/5cm。

通过邻井钻完井资料显示，受地层急倾角厚煤层受构造应力影响，以及煤体结构的宏观碎裂、碎粒特征，与微观割理发育、裂隙密集特点的共同作用下，煤层呈脆性，机械强度低，钻井过程中煤层坍塌与井漏的复杂情况频发，周期延长，经济损失大。

2.4 目的层压力分布

据完井试井资料显示，39号-42号煤试井储层压力在6.08~7.43MPa之间，储层压力梯度0.758~0.837MPa/100m左右，属于欠压储层。预测FSL-43井区属于欠压储层，考虑到井控等风险，钻井液密度设计 $1.05\sim 1.25\text{g/cm}^3$ ，但在实钻过程中钻井液密度超 1.30g/cm^3 。

2.5 目的层地温与地层水特点

综合测井、试井资料，FSL-43井区平均地温梯度为 $2.4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，地温不超过 35°C 。地温对沥青类处理剂的选

择至关重要，沥青类的软化点与地温相近，粒子的软化变形，封堵裂隙，并在井壁上形成一层致密的保护膜，起到了降滤失和稳定井壁的作用。

煤层水矿化度 $4120.8\sim 24075.1\text{mg/L}$ 之间，平均为 12664.8mg/L ；水型为 NaHCO_3 型。高矿化度和高浓度 HCO_3^- 会污染钻井液，使性能恶化，流变性变差、失水增大，导致钻井液泥饼虚厚、失水升高，诱发煤岩地层的井壁失稳。

2.6 钻井液技术难点

在分析FSL-43井区地质分布和煤层特征的基础上，结合其井身结构设计，参考邻井井下故障统计结果，该井的钻井液技术难点如下。

①八道湾组煤层强度低、性脆、裂隙发育，导致在煤层钻井施工过程中极易破碎坍塌。邻近FSL-26井在井深972.00m、FSL-4井定向钻进至1318m，上提钻具时发生卡钻，在八道湾下段的定向井段和水平井段由于受到垂直应力的作用较大，煤层井壁失去稳定性，发生垮塌卡钻。

②八道湾组煤层裂隙发育，且对压力敏感，钻井液密度过高或井塌造成环空不畅易形成诱导裂隙，导致发生漏失，且漏速变化大，从微漏到钻井液失返。邻井FSL-20井钻进至井深390m、560m、976m发生井漏；FSL-13井钻进至井深360m、627m、647m、890m、1057m、1205m、1355m发生井漏。

文献叙述，煤层气钻井过程中井壁稳定性主要取决于煤岩体结构和钻井液密度及性能。一是合理的钻井液密度是煤层气井安全钻进的关键因素之一。如果井内钻井液密度过低，急倾角煤层在地应力作用下产生剪切破坏发生坍塌，塌块和钻屑造成遇阻卡钻；如果井内钻井液密度过高，大量滤液渗入煤岩层理和微裂隙，引起煤岩内部结构破坏，将陷入井塌—提密度—井塌的恶循环；若密度持续增大，产生的液柱压力高于地层破裂压力时，将引起井漏复杂^[2,3]。二是钻井液封堵防塌性差，难于形成致密的泥饼，滤液极易进入煤岩层理间；若钻井液的抑制性不好，层间填充的对水极其敏感的炭质泥岩或泥质含量很高的劣质煤屑吸水膨胀或溶胀现象明显，从而改变了煤岩内部原有的应力平衡，井壁失去了稳定性。

3 钻井液关键技术

针对八道湾组煤层井壁易失稳垮塌、井漏等技术难点，选用了盐水聚合物钻井液，提出了钻井液“协同抑制、致密封堵、密度支撑”等技术思路，以确保八道湾组煤系地层的井壁稳定。通过强化钻井液的协同抑制性能，提高了钻井液滤液的矿化度，增强了对灰色泥岩、炭质泥岩抑制作用，预防泥岩的水化坍塌；选择了软化点与井温相近的沥青、粒度分布广泛的轻钙与重钙，以及对煤层纳微米微裂隙填充的微纳米封堵材料^[4]，以形成更致密的滤饼，降低了滤失量和确保了煤层稳定；维持适当的钻井液密度，以平衡煤层的坍塌压力，预防煤层垮塌，同时补充随钻堵漏材料，以提高微裂隙煤层的封堵承压能力，避免出现诱导裂隙沟通更多微裂

缝,造成井漏。

盐水聚合物钻井液的基本配方为 3.0%~5.0% 膨润土 + 0.2%~0.3% 烧碱 + 0.5%~1% 大分子包被剂 + 2.0%~3.0% 抗盐降滤失剂 + 2.0%~4.0% 液态沥青 + 3.0%~5.0% 超细钙 + 1.0%~2.0% 微纳米封堵剂 + 10%~15% NaCl + 2.0%~3.0% 液体润滑剂 + 加重剂。主要性能参数: 密度 1.18~1.30g/cm³, 漏斗粘度 55~75s, API 滤失量 ≤ 5mL, 滤饼厚度 ≤ 0.5mm, 动切力 ≥ 6Pa, 静切力 2~6/5~10Pa, pH 值 ≥ 8.0, CL⁻ 浓度 ≥ 50000 mg/L, 垢含 ≥ 30g/L。

应用盐水聚合物钻井液钻进八道湾组煤层时, 为确保井眼稳定, 制定了相应的钻井液维护处理措施:

①二开前将井浆转换成盐水聚合物钻井液。加入 0.5%~1.0% 大分子包被剂, 3.0%~4.0% 抗盐降滤失剂, 维持 CL⁻ 质量浓度不低于 50000mg/L, 控制 API 滤失量低于 5mL, 协同增强钻井液的包被抑制能力。②调整井浆的垢含 30~40g/L, 加入 2%~3% 软化点在 40℃左右的液态沥青, 采用重钙、轻钙加重密度至 1.15-1.20g/cm³, 利用沥青的粒子软化变形、重钙与轻钙的刚性粒子填充, 在井壁周围形成致密泥饼, 减少滤液向煤系地层渗入, 进一步稳定井壁。③钻至煤层(井深 900m 左右), 微调密度至 1.25g/cm³ 以上, 补充 3.0% 液态沥青与 5.0% 细颗粒轻钙, 提高防塌效果。④钻至大曲率定向段与水平段(井斜超过 60°) 急倾角厚

煤层时, 密度提至 1.28~1.30g/cm³; 补充优质膨润土浆, 使垢含在 35~45g/L 之间; 维持井浆中液态沥青、轻钙与重钙浓度在 3.0% 以上; 添加含微米/纳米级颗粒封堵材料, 提高微纳米封堵防塌效果。⑤适当提高钻井液粘度和切力, 保持漏斗粘度 65~80s, 动切力 ≥ 6Pa, 增强携砂能力; 加入 1.0%~2.0% 液体润滑剂与 1.0%~2.0% 固态润滑剂, 采用固-液协同, 减低大曲率井段与水平段的摩擦阻。⑥煤层钻进出现上提下放遇阻现象, 使用高密度(≥ 1.30g/cm³)、滴流(≥ 150s)的重稠浆携砂, 以保持井眼清洁。⑦加强固控设备使用, 振动筛使用 120~160 目筛布, 配合离心机清除劣质固相。

4 现场应用效果

① FSL-43 井首次试验盐水聚合物钻井液, 具有较强的抑制、封堵、稳定井壁能力, 实现了八道湾组煤层安全钻进, 未发生煤层垮塌卡钻等井下故障。钻井工期 14.92 天, 同比与邻井平均水平缩短 7.48 天, 事故复杂时效降低近 80% (见表 1)。

② FSL-43 井钻至八道湾组下段煤层(849m)前, 将密度提高至 1.27g/cm³, 发生了渗漏, 在井浆中加入 1.0% 随钻堵漏材料的同时降低密度至 1.24g/cm³, 井漏消除。复杂时效 1.38%, 同比减少 1 个百分点^[5]。

表 1 试验井分段钻井液性能

井深 m	地层	密度 g/cm ³	粘度 s	塑粘 mPa·s	动切力 Pa	初/终切 Pa	API 失水 mL	垢含 g/L	CL-mg/L
117	J1b ³	1.19	56	20	10	2/5	3.2	30	50000
294	J1b ³	1.19	55	21	10	2/5	3.0	35	56000
488	J1b ²	1.20	55	26	6.5	1.5/4.5	3.0	35	60000
560	J1b ²	1.21	53	25	9	2/6	2.8	35	60000
732	J1b ²	1.21	58	28	11	3/8	2.6	38	65000
849	J1b1	1.27	64	32	14.5	3/10.5	2.6	38	65000
947	J1b1	1.24	73	41	13	2.5/5.5	2.4	30	50000
1071	J1b1	1.25	73	33	11.5	2.5/5.5	2.4	32	60000
1171	J1b1	1.28	75	39	18	4/8	2.4	32	62000
1275	J1b1	1.29	77	36	15.5	4/9	2.4	35	65000
1380	J1b1	1.30	76	34	18.5	5/10	2.4	35	65000
1465	J1b1	1.30	76	36	17	5.5/10	2.4	38	65000

5 结论与建议

①钻井液是保证煤层安全钻井主要因素。综合井区煤层地质特征, 初探了煤层坍塌主因, 设计了封堵防塌技术思路, 优选了盐水聚合物钻井液配方, 制定了现场试验措施。

② FSL-43 井首次试验的盐水聚合物钻井液, 具有较强的抑制、封堵及稳定井壁能力, 有效遏制了煤层的坍塌, 保证了急倾角多煤层的安全钻进, 对阜康白杨河矿区其他平台施工井的钻井液体系的优选具有好的参考价值。

③邻井钻进中出现的流体侵(煤层水或 CO₂), 对聚合物钻井液性能污染严重。对盐水聚合物钻井液的性能影响情况, 有待于室内开展进一步验证。

参考文献

- [1] 郭辉.阜康白杨河矿区煤层气定向井卡钻事故分析和处理[J].煤矿机械,2019,12(12):157-160.
- [2] 尹淮新,浅析阜康煤矿区煤层气勘探开发[J].陕西煤矿,2009(3):24-26.
- [3] 郭玉红,苏现波.煤层段钻井液密度窗口的确定与意义[J].煤炭工程,2009(7):69-72.
- [4] 孙翀,周定照.YH7井钻井液煤层井壁稳定技术研究及应用[J].石油化工应用,2023,5(5):20-22.
- [5] 胡光强.大曲率煤层坍塌机理及防塌钻井液技术研究[J].成都:西南石油大学,2021.