

张集煤矿多分支井强封堵防塌钻井液体系研究及应用

刘恒¹, 杨胜春^{1*}, 纪卫军²

(1. 山东省煤田地质局第一勘探队, 山东青岛 250013; 2. 北京三和润井科技有限公司, 北京 102240)

摘要:张集煤矿多分支井是一口为查明3号异常区地质(陷落柱、薄煤带和地堑等)与水文地质特征开展的1直5支井钻探工程。T3孔主要目的层为3_上和3_下煤层,煤层机械强度低,裂缝和割理发育,均质性差,存在较高剪切应力作用,煤层段井壁极不稳定,在钻井过程中极易发生井壁坍塌、井漏、卡钻甚至埋掉井眼等井下复杂情况。本文通过对施工中钻井液的主要技术难点进行分析,研制了多分支井强封堵防塌聚合物钻井液体系,主要配方:基浆+0.5%KPAM+1%铵盐+1%腐殖酸钾+1%降滤失剂+1%防塌剂+3%NS封堵剂。主要性能:粘度35~50 s,密度1.05~1.2 g/cm³,失水量4~6 mL。完成钻井工程量2506.23 m,岩心取心率92%,满足了施工的要求。

关键词:多分支井;封堵防塌;聚合物钻井液;煤层

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2024)S1-0368-05

Study and application of drilling fluid system for strong plugging and collapse prevention in multi-branch wells of Zhangji Coal Mine

LIU Heng¹, YANG Shengchun^{1*}, JI Weijun²

(1. The First Exploration Team of Shandong Province Coalfield Geology Bureau, Qingdao Shandong 250013, China;
2. Beijing Sanhe Runjing Technology Co., Ltd., Beijing 102240, China)

Abstract: Zhangji coal mine multi-branch well is a drilling project of 1 straight 5 branch wells deployed to find out the geological (collapse column, thin coal belt and graben, etc.) and hydrogeological characteristics of No.3 abnormal area. The main target layers of T3 hole are 3_{up} and 3_{down} coal seams, which have low mechanical strength, developed fractures and cleats, poor homogeneity and high shear stress. The wellbore of coal seam section is extremely unstable, and it is easy to cause wellbore collapse, lost circulation, stuck or even buried wellbore during drilling. By analyzing the main technical difficulties of drilling fluid operation, the polymer drilling fluid system for strong plugging and anti-sloughing of multi-branch wells is developed. The main formula is: base slurry+0.5%KPAM+1% ammonium salt +1%potassium humate+1% filtrate loss agent+1% anti-sloughing agent+3%NS plugging agent, viscosity 35~50s, density 1.05~1.2g/cm³, water loss 4~6mL. One main hole and five branch holes were drilled, drilling quantity was 2506.23m, hole formation rate was 100%, core recovery rate was 92%, which ensured the requirements of construction.

Key words: multi-branch well; plugging and anti-collapse; polymer drilling fluid; coal seam

1 项目概况

张集煤矿位于山东省菏泽市单县县城以东约22 km(见图1),井田东西长9.90 km,南北宽4.07

km,面积32.897 km²,开采标高:-400~-1200 m。

主要为查明3号异常区地质(陷落柱、薄煤带和地堑等)与水文地质特征,开展地面探查工程。根据矿

收稿日期:2024-03-26;修回日期:2024-04-28 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.S1.059

第一作者:刘恒,男,汉族,1981年生,资源勘查中心主任,高级工程师,资源勘查工程专业,主要从事钻探生产施工、地质找矿等技术研究工作,山东省青岛市黄岛区滨海街道凤凰台路169号,zykc169@163.com。

通信作者:杨胜春,男,汉族,1984年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,主要从事钻探生产施工、地质找矿等技术研究工作,山东省青岛市黄岛区滨海街道凤凰台路169号,274602928@qq.com。

引用格式:刘恒,杨胜春,纪卫军.张集煤矿多分支井强封堵防塌钻井液体系研究及应用[J].钻探工程,2024,51(S1):368-372.

LIU Heng, YANG Shengchun, JI Weijun. Study and application of drilling fluid system for strong plugging and collapse prevention in multi-branch wells of Zhangji Coal Mine[J]. Drilling Engineering, 2024,51(S1):368-372.

井生产接续布局,近3年(2022—2024年)矿井二采区将先后回采3煤层2303工作面和2302工作面,查清3号异常的水文地质特性,并根据探查结果确定2303工作面、2302工作面与3号异常区之间的合理安全煤柱刻不容缓^[1-2]。



图1 张集煤矿地理位置

2 地质概况及主要施工难点

井田内通过钻探工程及巷探工程揭露的地层由老到新有:

奥陶系马家沟群(O_{2-3m}):主要岩性为灰、深灰色泥岩,砂质泥岩,粉砂岩夹细粒砂岩,多层石灰岩及煤层,主要防掉块、坍塌。

石炭系月门沟群本溪组(C_2b):主要岩性上部为灰、深灰色泥岩和细粒砂岩,下部为紫红、灰绿色铁铝质泥岩。

石炭—二叠系月门沟群太原组(C_2P_1t):太原组是重要的含煤地层,含赋存区大部可采、局部可采煤层4层(12_下、16_上、17和18_上煤层),由于井田内揭露下组煤钻孔较少,其可采性和可采范围有待进一步查明,主要防分散、坍塌、缩径^[3-5]。

二叠系月门沟群山西组(P_{1-2s}):为灰、灰白色砂岩,深灰色泥岩,粉砂岩和煤层,含植物茎叶碎片及根化石。该组含3层可采或局部可采煤层,即3_上和3_下、3_{下2}煤层。

二叠系石盒子群(P_{2-3}):上部为杂色泥岩夹粉砂岩,下部为杂色粉砂岩夹泥岩。

古近系(E):上部为棕红色粉砂岩夹砾岩,下部为灰色砾岩夹棕色粉砂岩和泥岩。所含砾岩的砾石成分几乎全为石灰岩,砾径大小不一,磨圆度

较好。

新近系及第四系地层(N+Q):岩性主要为黄、棕黄色粘土和砂质粘土,夹不等粒砂层。成岩性较差,一般较松散,主要防分散、坍塌、吸水膨胀^[6-8]。

3 工程概况

3.1 主要钻探工作量

主孔1个,分支孔5口,钻探工程量设计2140 m,实际钻探工作量见表1,施工现场及钻孔结构见图2~4。

表1 钻探工程量及质量级别

井号	侧钻深度/m	完井深度/m
T3		1006.19
T3-1'	725.69	1062.58
T3-4'	801.43	1067.23
T3-2'	746.71	1067.80
T3-3'	725.00	1046.68
T3-5'	713.70	1001.90

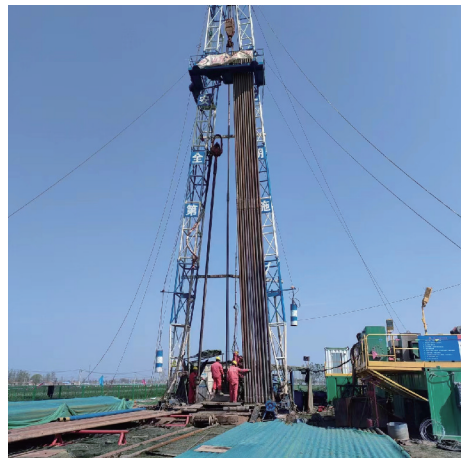


图2 现场施工

3.2 煤层采取情况(以T3孔为例)

T3孔主要目的层为3_上和3_下煤层,兼顾柴2煤,对其它煤层不做要求,钻探设计只要求对3_上和3_下煤层进行取心^[9-12](参见表2)。

4 多分支井钻探技术的主要难点及方案

4.1 技术难点

- (1)上部地层较疏松,易发生井壁坍塌。
- (2)煤系地层易坍塌、掉块,吸水膨胀。
- (3)3号煤层厚度大,煤层质地较脆,节理裂隙

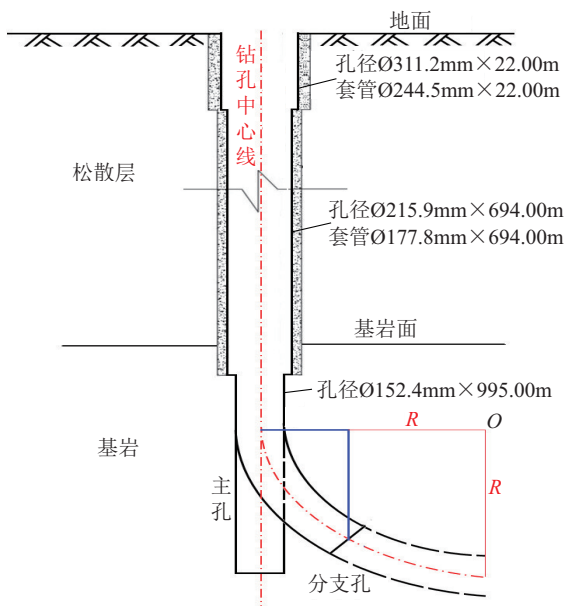


图3 钻孔结构示意图

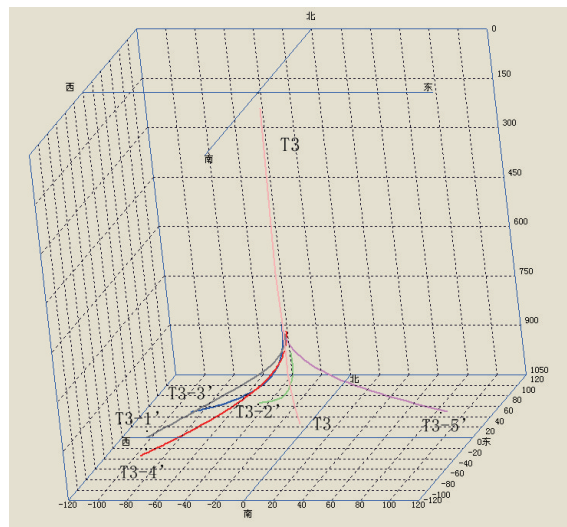


图4 钻孔三维轨迹

发育,易漏失,导致井内液柱压力小,从而导致井壁失稳,产生垮塌、卡钻等复杂情况^[14-16]。

(4)环保要求高,因沥青类材料含有荧光,属禁止使用产品,增加了护壁的难度。常规的膨润土聚合物钻井液对煤层的污染和对煤层的伤害较大^[17-19]。

4.2 解决方案

针对煤层厚度大,强封堵防塌钻井液应具有几个特点:合理的密度;强抑制性;强封堵性;一定的矿化度。一是采用高分子链大分子聚合物,主要利用其高吸附,易包裹粘土颗粒表面,抑制泥岩水化;

二是采用 K^+ 、 NH_4^+ 等离子抑制泥岩膨胀分散;三是增加钻井液的封堵特性,通过添加纳米封堵剂能有效地封堵微裂隙、微裂缝、降低滤失量、抑制泥岩水化和提高泥浆的润滑性能^[20-21]。

5 多分支井强封堵防塌聚合物钻井液体系研究

5.1 室内实验研究

5.1.1 岩屑回收率实验

实验用基浆:蒸馏水:膨润土:纯碱=100:6:0.3(沉化24h)。取基浆350mL,将现场的泥页岩+煤样品50g,进行恒温(90℃)滚动16h,烘干称重,计算岩屑回收率(见表3)。

表2 煤层采取情况

孔号	煤层	钻探成果			测井成果			确定成果			
		底板深度/m	伪厚/m	采长/m	底板深度/m	伪厚/m	深度/m	真厚/m	长度采取率/%	质量采取率/%	
T3	3 _上	893.64	2.40	2.20	893.65	2.38	893.65	2.38	92	83	

表3 岩屑回收率对比

配 方	岩屑回收率(40目)/%
基浆	45.5
1号:基浆+0.5% KPAM+1% 铵盐	78.4
2号:基浆+0.5% KPAM+1% 铵盐+1% 降滤失剂	89.8
3号:基浆+0.5% KPAM+1% 铵盐+1% 腐殖酸钾+1% 降滤失剂	95.2
4号:基浆+0.5% KPAM+1% 铵盐+1% 腐殖酸钾+1% 降滤失剂+1% 防塌剂+3% NS封堵剂	99.2

5.1.2 膨胀性实验

将钠土制成岩心,用页岩膨胀量测定仪测试,

实验结果见表4。从实验结果可以看出,4号配方抑制效果最好。

表4 膨胀率对比实验

配方	不同浸泡时间的膨胀量/mm								相对抑制率/%
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	
基浆	3.24	4.20	4.58	5.28	5.62	5.98	6.14	6.44	
1号配方	1.18	1.92	2.24	2.82	3.32	3.88	4.08	4.26	33.85
2号配方	1.06	1.35	1.88	2.14	2.56	2.99	3.54	3.68	42.86
3号配方	1.00	1.34	1.86	2.08	2.44	2.68	2.82	3.08	52.17
4号配方	0.82	1.22	1.64	1.82	2.12	2.42	2.56	2.68	58.39

5.2 室内配方组成

根据以上实验,优选使用聚丙烯酸钾(KPAM)作为增粘剂,铵盐作为抑制剂,腐殖酸钾作为降滤

失剂,选用纳米NS作为封堵剂,实验配方及性能见表5、表6。

表5 分段钻井液配方

开次	井径/ mm	套管/ mm	钻井液体系名称	钻井液配方	备注
一开上	311	244.5	膨润土钻井液	0.1%~0.2%烧碱+4%~8%膨润土+0.2%~0.3% KPAM	
一开下	215.9	139.7	聚合物防塌钻井液	基浆+0.5% KPAM+1% 铵盐+1% 腐殖酸钾+1% 降滤失剂	配备随钻堵漏剂
二开	152		聚合物防塌封堵钻井液	基浆+0.5% KPAM+1% 铵盐+1% 腐殖酸钾+1% 降滤失剂+1% 防塌剂+3% NS封堵剂	配备随钻堵漏剂

表6 分段钻井液性能

开次	密度/ (g·cm ⁻³)	漏斗粘度/ s	动切力/ Pa	塑性粘度/ (mPa·s)	初切力/终切力/ (Pa/Pa)	API失水量/ [mL·(30min) ⁻¹]	泥皮厚/ mm	pH值
一开	1.03~1.20	40~50	4~6	8~13	0~3/1~8	≤10	≤0.5	8~9
二开	1.05~1.20	35~50	4~6	8~13	0~3/1~8	≤6	≤0.3	8~9

注:密度按实际需要调整。

6 现场应用

本次施工采用聚合物防塌封堵钻井液体系,其组成如下:

(1)基浆为清水加入适量的钠基膨润土。

(2)水解聚丙烯腈铵盐(NH₄-NPAN),是一种降滤失剂,且不增粘。由于可提供NH⁴⁺离子,抑制粘土的能力很强,也是一种较好的防塌剂,其使用浓度一般为1%~2%。

(3)聚丙烯酸钾(KPAM)具有较强的抑制泥页岩分散的能力,具有较强的包被作用,吸附的牢固度较好,一般加量0.1%~0.8%。

(4)纳米NS是一种纳米级的封堵材料,可酸化降解,能显著降低泥浆失水量,封堵微裂隙地层,具有良好的防塌性能,一般加量1%~3%。

(5)火碱、纯碱,综合泥浆酸碱平衡,抑制地层钠、钙等离子

现场使用钻井液性能见表7,实际使用效果见图5,整体的钻井液流变性较好,有效地保障了煤层的取心率。

7 结论

(1)研制了多分支井用强封堵防塌聚合物钻井液体系。配方:基浆+0.5% KPAM+1% 铵盐+1% 腐殖酸钾+1% 降滤失剂+1% 防塌剂+3% NS封堵剂。性能:粘度35~50 s,密度1.05~1.2 g/cm³,失水量4~6 mL/30 min。

(2)采用聚合物强封堵防塌钻井液体系,顺利完成了1个主井和5个分支井的施工,钻探工程量2506.23 m,地球物理测井工作量6210.10 m。保证了3_上(T3主孔揭露深度-853.23 m)、3_下(T3主孔揭露深度-867.43 m)的煤层取心率(达92%),井壁未发生垮塌、掉块现象。

表7 钻井液性能

井号	井段	密度/ (g·cm ⁻³)	漏斗粘度/ s	表观粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	(初切力/终切力)/ (Pa/Pa)	API滤失量/ [mL·(30min) ⁻¹]	pH值
T3	新生界	1.07~1.15	19~23	9~12	8~13	0.5~2/1~4	8~11	8~9
	基岩	1.03~1.11	20~21	10~12	8~13	1~3/2~6	4~7	8~9
T3-1'	新生界	1.07~1.15	19~23	9~12	8~13	0.5~2/1~4	8~11	8~9
	基岩	1.03~1.11	20~21	10~12	8~13	1~3/2~6	3~6	8~9
T3-2'	新生界	1.05~1.15	18~22	9~11	8~13	0.5~2/1~4	10~12	8~9
	基岩	1.07~1.13	17~20	8~10	8~13	1~3/2~6	3~7	8~9
T3-3'	新生界	1.06~1.17	19~22	9~11	8~13	0.5~2/1~4	8~12	8~9
	基岩	1.05~1.14	18~20	9~10	8~13	1~3/2~6	4~6	8~9
T3-4'	新生界	1.08~1.16	19~22	9~11	8~13	0.5~2/1~4	9~13	8~9
	基岩	1.06~1.15	19~20	9~10	8~13	1~3/2~6	4~5	8~9
T3-5'	新生界	1.07~1.17	18~23	9~12	8~13	0.5~2/1~4	8~10	8~9
	基岩	1.05~1.14	18~21	9~11	8~13	1~3/2~6	3~5	8~9



图5 现场深部煤层取心效果

参考文献:

- [1] 罗开艳,李巨龙,王冲.煤层气多分支水平井钻井技术研究[J].科技信息,2011(7):364-365.
- [2] 张凯,李七明,王永全.张集煤矿地面区域治理水平分支孔钻效分析及提速对策[J].钻探工程,2021,48(S1):181-186.
- [3] 黄志强,蒋光忠,郑双进,等.煤层气储层保护钻井关键技术研究[J].石油天然气学报,2010,32(6):116-118.
- [4] 黄维安,邱正松,杨力,等.煤层气钻井井壁失稳机理及防塌钻井液技术[J].煤田地质与勘探,2013(2):37-41.
- [5] 罗冠平.抑制性泥浆在新疆淖毛湖煤田东部勘查区中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):33-36.
- [6] 罗冠平.LG植物胶无固相冲洗液在富煤二矿906号孔的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):19-22.
- [7] 张晓静,乌效鸣,蔡记华,等.LG植物胶泥浆在煤田复杂地层钻探中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(12):42-44,49.
- [8] 黄卫东.无固相泥浆在沉积岩复杂地层钻探中的应用研究.探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):10-12,17.
- [9] 张绍雄,张媛.煤层气开发的多分支水平井钻井技术[J].石油工业技术监督,2010,26(12):56-58,66.
- [10] 胡鹏飞.复杂地质条件下近水平钻孔孔内事故发生原因分析[J].煤炭与化工,2017(10):89-91.
- [11] 申鹏磊.沁水地区煤层气水平对接多分支井钻井工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):65-68.
- [12] 于文涛,张辉,孙振刚,等.五级分支井井眼连接总成设计及有限元分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):33-36.
- [13] 单文军,蒋睿,陶士先,等.页岩气钻探冲洗液体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):176-181.
- [14] 郝海洋,李勇,宋继伟,等.黔西南地区煤系地层井壁稳定技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):8-13,33.
- [15] 刘徐三.水基钻井液防塌封堵材料封堵特性实验研究[J].钻探工程,2021,48(67):44-48.
- [16] 孔勇,杨小华,徐江,等.抗高温强封堵防塌钻井液体系研究与应用[J].钻井液与完井液,2016,33(6):17-22.
- [17] 何恕,王波,陈晓飞,等.页岩长水平段水基钻井液封堵剂优选[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2015,17(5):47-50.
- [18] 王力,盟尚志,陈万钢,等.提高煤层强度的钻井液防塌封堵剂的研制[J].钻井液与完井液,2018,35(5):46-49.
- [19] 李之军,蒲晓林,王贵,等.低荧光钻井液防塌封堵新材料及其作用机理[J].天然气工业,2013,33(9):97-101.
- [20] 黄书红,蒲晓林,陈勇,等.新型无荧光防塌封堵剂HSH的研制及机理研究[J].钻井液与完井液,2013,30(1):9-12.
- [21] 李攀义,单文军,徐兆刚,等.成膜防塌无固相体系在金鹰矿区ZK1146井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):26-30.

(编辑 王文)