

文章编号: 0253-2697(2006)05-0108-04

塔里木盆地依奇克里克区块煤层钻井技术研究

吕开河 孙明波 邱正松

(中国石油大学石油工程学院 山东东营 257061)

摘要: 塔里木盆地依奇克里克区块地层复杂, 钻遇的岩性主要有泥岩、砂岩和煤层, 井壁失稳主要发生在侏罗系和三叠系的煤层井段。利用化学分析和力学研究方法, 探讨了侏罗系和三叠系煤层的坍塌机理和防塌钻井技术对策。实验结果表明, 侏罗系和三叠系煤岩含有较多的亲水基团, 煤化程度低, 密度低, 比表面积大, 相对吸水量和比吸水量都很高; 煤岩自身的强度较低, 吸水后强度会进一步下降, 浸泡液类型和围压对煤岩强度有很大的影响。根据煤层坍塌机理, 探讨了煤层钻井的防塌技术, 优选了适合于煤层的多元醇/ KCl 钻井液配方。现场应用表明, 所确定的防塌钻井技术及多元醇/ KCl 钻井液能有效地防止煤岩井壁失稳和其他井下复杂情况的发生, 确保了钻井安全, 提高了钻井时效。

关键词: 塔里木盆地; 依奇克里克区块; 煤层; 坍塌机理; 井壁稳定性; 钻井液; 钻井技术

中图分类号: TE242

文献标识码: A

Drilling techniques for coalbed in Yiqikelike area of Tarim Basin

L ü Kaihe Sun Mingbo Qiu Zhengsong

(College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: The complicated formation in Yiqikelike area of Tarim Basin contains mudstone, sandstone and coalbed. The instability of borehole wall during drilling mainly occurred in coalbed of the Jurassic and Triassic systems. The synthetic sloughing mechanism of coalbed in the Jurassic and Triassic systems was studied by chemical analysis and mechanical methods. The test results show that the coal samples have the properties of more hydrophilic groups, big specific surface areas, low density and powerful moisture-absorbing. The strength of coal samples is very low and decreases greatly after the water-absorbed. The type of immersed liquids and magnitude of confining pressure have a great effect on the strength of coal. According to the sloughing mechanism, the optimum drilling technique and the optimum formulation of polyalcohol-KCl drilling fluid for coalbed were achieved. The field test in coalbed of Tarim Basin demonstrates that the borehole wall was stable, and no other complex trouble occurred during drilling by the optimum techniques and drilling fluid.

Key words: Tarim Basin; Yiqikelike area; coalbed; sloughing mechanism; borehole wall stability; drilling fluid; drilling technique

塔里木盆地依奇克里克区块油气资源丰富, 钻遇的侏罗系和三叠系地层岩性有泥岩、砂岩和煤层。井眼失稳主要发生在煤层, 曾多次发生因煤层垮塌造成接单根困难、起下钻遇阻、遇卡、憋泵等事故和井下复杂情况。在钻井过程中, 煤层坍塌造成井眼直径扩大严重, 井身质量差, 在煤层局部形成“大肚子”和“糖葫芦”井眼。钻井液的上返速度差异大, 严重影响了携岩效率, 水泥浆顶替返速达不到要求, 难以保证固井质量。上述情况的存在严重影响了钻井进度和井身质量, 并给井下安全带来极大威胁。笔者利用化学分析和力学研究相结合的方法, 研究了煤层井壁坍塌机理, 提出了煤层钻井技术对策和防塌钻井液配方。

1 煤层坍塌机理实验

侏罗系和三叠系煤岩样品均取自塔里木油田 YX-1 井和 YS-4 井。为了更好地了解钻井过程中煤层坍塌机理, 对所取煤岩分别进行了化学成分、裂缝特征和理化性能的测试。

1.1 煤岩化学成分及裂缝特征

煤的化学结构和物理化学性质随煤化程度的不同而发生变化。随着煤化程度的加大, 煤中大分子结构的芳香烃增多和缩聚程度增大, 煤中碳含量增加, 而氢和氧含量下降。表 1 结果表明, 塔里木盆地依奇克里克区块侏罗系和三叠系煤中有较多的含氧基团, 煤化

基金项目: 中国石油天然气集团公司科技攻关项目(2097070315)资助。

作者简介: 吕开河, 男, 1970 年 12 月生, 1998 年获石油大学(华东)硕士学位, 现为石油大学(华东)副教授, 在读博士研究生, 主要从事油田化学方面的研究。E-mail: lvkaihe@vip.sina.com

程度较低,亲水性强,易吸附水。

表1 煤层样品元素

Table 1 Elements of coal samples

煤层样品层位	元素含量/%					羧酸根/	羟基/
	C	H	O	N	S	%	%
侏罗系	73.92	5.36	18.09	1.89	0.74	0.43	4.15
三叠系	74.68	5.51	17.87	1.57	0.31	0.27	4.60

扫描电镜分析结果表明:煤岩裂缝和孔隙发育,含有少量以钙质和泥质为主的充填物,裂缝宽度约为 $1\sim 10\mu\text{m}$,大部分为 $2\sim 6\mu\text{m}$,说明其裂缝和孔隙极其微细,在毛细管力作用下,水极易进入煤层。

1.2 煤岩理化性能

1.2.1 煤岩密度测定

用李氏比重瓶法测定了煤岩的密度。侏罗系煤岩的密度为 $1.03\sim 1.12\text{g}/\text{cm}^3$,平均值为 $1.08\text{g}/\text{cm}^3$;三叠系煤的密度为 $1.15\sim 1.34\text{g}/\text{cm}^3$,平均值为 $1.23\text{g}/\text{cm}^3$ 。两种煤密度都较低,当发生突发性坍塌且钻井液密度高于煤的密度时,大量掉块上浮会造成环空阻流和卡钻。

1.2.2 煤岩膨胀实验

将煤岩岩心浸泡于实验介质中,在NP-01型膨胀仪上测定其8h膨胀率。煤岩与清水和10号柴油接触后都要发生一定程度的膨胀,且在两种介质中煤的膨胀程度大体相同,在清水中的平均膨胀率为2.68%,在柴油中的平均膨胀率为2.76%。煤岩在水中的微量膨胀证明煤岩中含有少量粘土矿物。

1.2.3 煤岩分散实验

按照ZB/TE11001-89标准进行煤岩分散实验。侏罗系煤岩岩心回收率平均为90.5%,三叠系煤岩岩心回收率平均为89.2%。两种煤在水中的滚动回收率都很高,表明粘土矿物含量低,水化分散性很弱。

1.2.4 阳离子交换容量实验

按照ZB/TE13004标准进行阳离子交换容量(CEC)实验。侏罗系煤岩阳离子交换容量平均为 $8\text{mmol}/\text{kg}$,三叠系煤岩平均为 $15\text{mmol}/\text{kg}$ 。煤岩的阳离子交换主要发生在煤层中的粘土矿物中。从实验结果看,两种煤的CEC值都很低,说明煤中的粘土矿物绝对含量低。即使矿物成分中含有高岭石、绿泥石、伊利石及伊-蒙混层,但所占比例相当低。这些粘土矿物主要分布在煤的裂缝中并起胶结作用,粘土矿物的水化膨胀、分散对煤体强度的影响不可忽视。

1.2.5 煤岩相对吸水量、比表面积和比吸水量的测定

三叠系煤岩平均相对吸水量为15.3%,平均比表面积为 $375\text{m}^2/\text{g}$,平均比吸水量为 $0.41\text{mg}/\text{m}^2$;侏罗系煤岩平均相对吸水量为8.2%,平均比表面积为388

m^2/g ,平均比吸水量为 $0.22\text{mg}/\text{m}^2$ 。测试结果表明,煤的比表面积大。巨大的比表面积来源于煤岩较为发育的裂缝、微裂缝和孔洞,是煤岩具有强烈吸水(油)能力的内在原因。煤岩的比吸水量比一般泥页岩的比吸水量大,说明煤中存在亲水表面和强烈的毛细管作用。大量吸水导致了煤的膨胀和胶结物的溶解,这是造成煤体强度降低的重要原因。

1.3 煤岩力学性能

1.3.1 单轴抗拉强度

为了研究煤岩的抗拉强度及考察不同流体介质对煤岩抗拉强度的影响,利用劈裂法测定了煤岩被不同流体浸泡前后的单轴抗拉强度,浸泡时间为24h。为了消除试样不均质性对强度数据的影响,每个应力水平都采用两块岩心,实验数据为两者的平均值,实验结果见表2。

表2 煤岩单轴抗拉强度

Table 2 Uniaxial compressive strength of coal samples

岩心号	浸泡液	抗拉强度/kPa	
		三叠系煤岩	侏罗系煤岩
1	未浸泡	989.5	879.6
2	淡水聚磺钻井液	372.5	352.7
3	3%硅酸盐溶液	530.7	520.3
4	5%聚合醇+7%KCl溶液	515.6	525.6
5	柴油	235.6	238.7

由表2可以看出,煤岩抗拉强度远小于常规砂岩的抗拉强度。用浸泡液浸泡后,煤岩抗拉强度有不同程度的降低,相对而言,3%硅酸盐溶液及(5%聚合醇+7%KCl)溶液对抗拉强度的影响最小,柴油对抗拉强度的影响最大。

1.3.2 三轴抗压强度实验

为了考察围压对抗压强度的影响,每组实验均在5个不同的围压(0MPa,5MPa,10MPa,15MPa,20MPa)下进行。为了消除试样不均质性对强度数据的影响,每个应力水平都采用两块岩心,实验数据为两者的平均值,实验结果见表3和表4。

表3 三叠系煤岩三轴抗压强度

Table 3 Triaxial compressive strength of coal samples in Triassic System

浸泡液	不同围压下的抗压强度/MPa				
	0	5	10	15	20
未浸泡	21.0	33.2	59.2	61.1	69.6
淡水聚磺钻井液	9.3	17.2	30.5	35.9	44.4
3%硅酸盐溶液	10.1	26.1	34.6	40.9	53.8
5%聚合醇+7%KCl溶液	9.3	22.7	32.7	48.0	60.5
柴油	7.8	13.0	18.3	24.7	35.3

从表3和表4可以看出,煤岩弹性模量较低,泊松比较高,抗压强度远小于常规砂岩和泥岩的抗压强度^[1-3]。经液体浸泡后,抗压强度有明显降低。相对而言,3%硅酸盐溶液及(5%聚合醇+7%KCl)溶液对抗压强度的影响较小,柴油和淡水聚磺钻井液对抗压强度的影响较大。围压对煤岩的抗压强度有较大的影响,围压越大,抗压强度越大。

表4 侏罗系煤岩三轴抗压强度
Table 4 Triaxial compressive strength of coal samples in Jurassic System

浸泡液	不同围压下的抗压强度/MPa					弹性模量/ GPa	泊松比
	0	5	10	15	20		
未浸泡	18.2	30.8	56.3	59.6	65.8	1.67	0.24
淡水聚磺 钻井液	9.6	20.3	31.2	33.9	44.6	1.17	0.23
3%硅酸 盐溶液	9.9	25.3	32.7	38.7	48.5	1.21	0.26
5%聚合醇+ 7%KCl 溶液	11.5	24.6	35.3	45.9	55.8	1.35	0.22
柴 油	8.3	12.5	20.3	26.8	37.5	0.98	0.28

煤岩疏松的化学结构和大量裂缝的存在是煤岩具有较小抗压强度的原因。煤岩吸水后削弱了煤中大分子之间的氢键和范德华力,引起粘土矿物的水化膨胀和无机盐的溶解,裂缝间的胶结被破坏,引起煤岩抗压强度和抗拉强度降低;但不同类型的浸泡液对煤岩强度的影响不同,在选择煤层钻井液时应注意选择对煤岩强度影响小的钻井液类型。

另外,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,钻井液对煤岩的侧向支撑力不足,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,不仅会使滤失量增加,滤液侵入范围扩大,甚至形成新的裂缝,使得破碎地层更加不稳定。受高压钻井液射流的冲击,犹如水力采煤,易导致大块煤岩破碎和垮塌;起下钻过猛,会引起井内压力激动,造成井底压力平衡瞬间发生改变而导致垮塌;地层倾角大,构造应力大等均会使煤层不稳定而发生坍塌。

破碎煤岩对钻井时的机械力十分敏感,钻进过程中钻柱的机械震动、摩擦及钻头切削等作用均会加剧煤层的破碎。

2 煤层防塌钻井技术

煤岩是破碎性易坍塌岩体,井壁极易失稳,所用钻井液类型及性能、钻井工艺措施、钻柱的机械碰撞等均会对煤岩稳定性产生影响。根据煤岩井壁坍塌机理,稳定煤层井壁的钻井技术包括良好的钻井液性能和转

速控制。

2.1 钻井液性能

(1) 合理的钻井液密度。钻井液的密度不能过低,密度低的钻井液对煤岩的侧向支撑力不足,会造成应力释放,使煤层沿节理和裂缝崩裂坍塌;但也不能过高,过高会导致滤失量增加甚至煤层压裂。这要根据煤岩力学参数、煤层压力、煤层地应力等参数综合分析计算后确定合理的钻井液密度,同时要考虑泥页岩夹层的稳定问题。

(2) 钻井液应具有强封堵能力及优良的造壁性。煤层的裂缝发育,钻井液滤液进入煤层易使煤岩强度降低,并导致煤中粘土矿物水化膨胀和分散,加剧煤层坍塌。良好的封堵能力是钻井过程中减少钻井液滤液进入煤层的先决条件,也是使用高密度钻井液对煤岩井壁提供有效支撑力的基础,否则提高钻井液密度会导致滤液量增加,有可能增加煤层的不稳定性。

(3) 控制钻井液排量及优化钻井液流变参数。若钻井液排量大、粘度及切力低,在井眼内易形成紊流,对井壁的冲刷作用增强,从而造成煤层坍塌,同时导致钻井液携砂能力减弱;若粘度及切力太高,活动钻具或起下钻时井内压力波动增大,容易引起井壁煤块的松动,同样不利于井壁稳定。合理的流变性既能满足携砂要求又能减少对井壁稳定产生的不利影响。

(4) 钻井液应具有良好的抑制性。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,煤层会因失去支撑而垮塌。同样,煤层的坍塌也会促使上部泥页岩坍塌,形成恶性循环。抑制性差的钻井液滤液进入泥页岩会产生水化膨胀压力,改变井眼周围应力分布,诱发或加剧井壁失稳。

2.2 转速控制

在钻进过程中,适当降低钻机的转速,控制起、下钻速度,减少钻具旋转和压力波动对煤层井壁稳定性的影响。

3 煤层防塌钻井技术的应用

3.1 煤层防塌钻井液体系及配方

由煤岩力学实验结果可知,多元醇与KCl复配使用对煤岩的抗压强度和抗拉强度影响较小。结合目前国内外钻井液技术及其发展趋势,确定使用具有综合性能的多元醇/KCl钻井液体系^[4-9]。通过大量的室内试验,优选出了多元醇/KCl钻井液配方:4%土浆+4%MMH+0.2%FLOZAN+3%SPNH+3%SMP+4%FT-1+3%氧化沥青+5%多元醇EP553+7%KCl+重晶石。

MMH 和 FLOZAN 组分使钻井液具有良好的流变性;磺化沥青、氧化沥青和多元醇 EP553 能有效地改善钻井液的失水造壁性、润滑性和封堵作用;多元醇和 KCl 能有效抑制粘土矿物的水化膨胀性,且能有效

地阻止煤岩强度大幅度下降。该体系的主要特点是:对泥页岩有较好的抑制作用,滤失造壁性能优良,封堵能力强,润滑性较好,能有效地控制煤岩坍塌。该配方性能见表 5。

表 5 多元醇/KCl 钻井液性能参数

Table 5 Parameters of polyalcohol-KCl drilling fluid

密度/ (g cm^{-3})	表观粘度/ (mPa s)	塑性粘度/ (mPa s)	动切力/ Pa	API 滤失 量/ mL	HTHP 滤失 量/ mL	摩擦系数	实验温度/ $^{\circ}\text{C}$
1.5	35	21	14	1.0	9.5	0.076	室温
1.5	33	23	10	1.5	11	0.081	120

3.2 煤层防塌钻井技术应用效果

依南-4 井位于新疆库车县依奇克里克西北 1 km 处,主要目的层是中、下侏罗统阳霞组和阿合组,兼探中侏罗统克孜勒努尔组及自垩系,设计井深为 4150 m。依南-4 井地层倾角为 $45^{\circ}\sim 65^{\circ}$,岩性复杂,煤层段多而长。在井深 3196 m 至 3822 m 处钻遇 14 层煤层,最大单层厚度为 10 m,最小单层厚度为 1 m,累积厚度为 255 m。在钻遇煤层段以前,为了防斜打直,钻井过程中反复划眼,反复改变钻具结构,加剧了井径的扩大。根据电测资料分析,该井在井深 2800 m 以上地层坍塌严重,井径扩大率高达 22.6%,主要是由于地层倾角大,钻井液密度低(小于 1.45 g/cm^3),不能平衡地层坍塌应力,钻井液仅使用了磺化沥青,封堵能力不够造成的。

为了保证煤层段的安全钻进,煤层段采用了多元醇/KCl 钻井液体系。在钻进过程中,保持体系中 KCl 加量为 7%以上,FT-1 和氧化沥青加量为 5%以上,EP-553 加量为 5%左右。体系强化封堵和抑制效果明显,化学抑制和物理封堵兼顾。由于采取了强化封堵措施,所以滤失量降低到 3 mL 以下,有效地阻止了钻井液中的水进入地层,同时也增强了地层的承压能力,保证了在钻井液密度提高至 1.60 g/cm^3 的情况下煤层段无漏失发生。钻井液的其他性能如抑制性、滤失性、润滑性和流变性等也维护较好,同时注意控制钻井过程中的钻井液排量及起下钻速度等工程因素。

以上措施满足了钻井作业、井下安全及井壁稳定性的要求。在地层倾角高、断层多和井身质量差(途中经过两次定向纠斜)的情况下,本井段平均井径扩大率为 13.8%,其中煤层段仅为 8.3%。电测、下套管和固井作业均一次成功。

4 结 论

(1) 塔里木盆地煤岩煤化程度较低,裂缝和孔隙

发育,比表面积大,相对吸水量和比吸水量高,膨胀和分散作用弱;与常规砂岩、泥岩相比,煤岩抗压及抗拉强度较低,吸水后强度会进一步下降,但浸泡液类型和围压对煤岩强度的影响程度很大。

(2) 煤层钻井技术包括:合理的钻井液密度;钻井液具有强封堵能力和优良的造壁性;合理的钻井液排量和流变参数;良好的钻井液抑制性;适当的钻具转速、起下钻速度和钻井工艺参数等。

(3) 多元醇/KCl 防塌钻井液能有效地防止煤层坍塌和其他井下复杂情况的发生,确保了钻井安全。

参 考 文 献

- [1] 鄢捷年,罗健生. 钻井液防塌效果的综合评价方法[J]. 石油大学学报:自然科学版,1999,23(1):31-36.
- [2] 李先炜. 岩块力学性质[M]. 北京:煤炭工业出版社,1983:123-146.
- [3] 安欧. 构造应力场[M]. 北京:地震出版社,1996:6-60.
- [4] Downs J D, Van O E, Redman D I, et al. TAME: A new concept in water-based drilling fluids for shales[R]. SPE 26699, 1994: 239-253.
- [5] Bland R G, Smith G L. Low salinity polyglycol water-based drilling fluids as alternatives to oil-based muds[R]. SPE/IADC 29378, 1995:405-418.
- [6] Enright D P, Dye W M, Smith F M. A new environmentally safe water-based alternative to oil muds[J]. SPE Drilling Engineering, 1992, 7(1): 15-19.
- [7] Bland R G. Quality criteria in selecting as alternatives to oil-based drilling fluid system[R]. SPE 27141, 1994:399-411.
- [8] 高锦屏,郭东荣,孙明波,等. 环保型水基钻井液添加剂——复合多元醇 SYP-2[J]. 油田化学,2001,17(2):97-99.
- [9] 吕开河,邱正松,徐加放. 聚醚多元醇钻井液研制与应用[J]. 石油学报,2006,27(1):101-105.

(收稿日期 2006-01-06 改回日期 2006-02-23 编辑 黄小娟)