

湖南保靖区块海相页岩气快速钻探技术

董振国, 张跃恒, 张 磊
(神华地质勘查有限责任公司, 北京 102211)

摘要:湖南保靖页岩气勘查区块黑色页岩沉积发育,是页岩气勘探开发的有利区带。由于储层埋藏深、地层高陡、地层倾角变化大、岩石可钻性差,导致钻井周期长、成本高等问题。钻前对已有的地震、测井、岩心实验等资料的处理和分析,通过优化井身结构、钻头选型、钻具组合优选和中长筒取芯等,实现了保靖区块海相页岩气快速钻探。

关键词:海相页岩气;钻探技术;快速钻进;保靖区块

中图分类号:P634;TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)10-0045-08

Fast drilling technology for marine shale gas in Baojing Block, Hunan

DONG Zhenguo, ZHANG Yueheng, ZHANG Lei

(Shenhua Geological Exploration Co., Ltd., Beijing 102211, China)

Abstract: The main part of the Hunan Baojing shale gas exploration block is located in Baojing County of Western Hunan. It is a favorable zone for exploration and development of shale gas, but high risk and challenge are present due to complicated geological conditions, deep buried reservoir, large formation dip change, poor drillability, long drilling period and high drilling cost. Before drilling started, the formation pressure and rock compressive strength was obtained by processing and analyzing the existing data of seismic, logging and core experiments. The well structure and drill bit selection were optimized. In the drilling operation, the drilling tool assembly, mud system and cementing technology were optimized according to the characteristics of the formation. The high efficiency bit was adopted with the MWD tool and long-run core barrel to carry out compound drilling, well deviation prevention, and fast drilling. In order to improve the drilling speed and efficiency in shale gas, and reduce the drilling cost, a new 70 MPa liner hanger and liner cementing technology were adopted to ensure the overall sealing, and cementing quality of the casing string, which provided guarantee for the following fracturing treatment.

Key words: marine shale gas; drilling technology; fast drilling; Baojing Block

1 地质概况

保靖探矿权区位于中扬子准地台西缘的湘鄂西地区,处于八面山—大磨山弧形构造带西缘的湘鄂西隔槽式冲断褶皱带内。该构造带主要受控于南部的雪峰—江南陆内造山带,现今构造形迹在平面上呈现自 SW—NE 逐渐向 NNE—NE—NEE 向、并向 NW 方向突出的大型弧形构造带特点。背斜出露地层通常由下古生界组成,宽阔高陡,褶皱强烈,断裂发育;向斜出露地层通常由二叠系、三叠系组成,宽阔低缓,但较背斜紧闭。在大型向(背)斜区内间隔发育有次级低幅度背(向)斜构造,从而形成复

式向(背)斜褶皱构造。

区内发育地层有:寒武、奥陶、志留、泥盆、二叠及三叠系。上述层位中,下寒武统牛蹄塘组和下志留统龙马溪组为区内主要富有机质页岩发育层位。在牛蹄塘时期,扬子区大规模海侵,中扬子区全部为浅海陆棚区碎屑岩沉积,从西北向东南海水加深,发育浅水陆棚—深水陆棚沉积环境,湘西保靖地区为深水陆棚;早志留世龙马溪组页岩沉积期,保靖区块处于深水陆棚—浅水陆棚的过渡带,页岩具有横向上厚度变化较大、非均质性较强的特征。

收稿日期:2018-12-06 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.10.008

基金项目:“十三五”国家科技重大专项项目“页岩气勘查评价技术试验与应用推广”(2016ZX05034004-004)

作者简介:董振国,男,汉族,1962年生,高级工程师,硕士,主要从事钻井工程技术研究和应用工作,北京市昌平区未来科技城神华地质勘查有限责任公司 202 号楼 9 层 901 室,dzhenguo@aliyun.com。

引用格式:董振国,张跃恒,张磊.湖南保靖区块海相页岩气快速钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):45-52.

DONG Zhenguo, ZHANG Yueheng, ZHANG Lei. Fast drilling technology for marine shale gas in Baojing Block, Hunan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):45-52.

勘查目标层位为下古生界下志留统龙马溪组(S_1l)和下寒武统牛蹄塘组(ϵ_1n),埋深分别在0~3500和1500~6000 m。

目的层龙马溪组(S_1l)下部为一套含笔石生物的黑色炭质页岩和粉砂质页岩,富含有机质。上部为灰绿色、黑色页岩夹石英砂岩、石英粉砂岩,厚度约190 m。牛蹄塘组(ϵ_1n)主要为一套黑色页岩、炭质页岩夹石煤层,厚度为70~250 m。

2 工程概况和施工难点

保页2井位于湖南省保靖县昂洞乡新桥村北200 m,构造位置位于湖南保靖页岩气区马蹄寨—野竹坪向斜东翼,2014年5月27日开钻,设计井深3217 m,完钻井深为3275 m,钻井周期90.8 d。

保页1井位于湖南省保靖县毛沟镇龙溪坪村北800 m,构造位置位于湖南保靖页岩气区马蹄寨—野竹坪向斜区西南抬升部位,2014年7月27日开钻,设计井深2638 m,完钻井深为2833 m,钻井周期83.79 d。

保页3井位于湖南省龙山县苗儿滩镇八吉村,构造位置位于湘鄂西冲断褶皱带保靖马蹄寨—野竹坪向斜西翼北部部位,2015年5月21日开钻,保页3井设计井深1129 m,完钻井深1039 m,钻井周期36.63 d。

钻探目的:为建立本探区地层层序提供资料;获取马蹄寨—野竹坪向斜龙马溪组、牛蹄塘组页岩发育状况、赋存状态、储层特征和含气性等资料参数;获取相关地球物理参数,评价探区页岩气勘探前景,评价页岩气资源量,为下一步勘探提供依据。

保靖区块位于湘西武陵山脉中段,地表群山峻岭起伏,地下地质构造条件十分复杂,页岩气钻井面临诸多困难:

(1)井场近邻农田、河流,易防止发生环境污染事故,交通不便,后勤供应困难。

(2)在浅层及二叠系栖霞组碳酸盐岩等层裂缝、溶洞发育,容易发生井漏,存在浅层水流和浅层气,治理地层涌水、井漏、浅层气等工程难题代价昂贵。

(3)古生代地层成岩性好、岩石致密坚硬、可钻性差,机械钻速低,施工难度大。

(4)高陡构造区地层倾角变化大,如保页1井 9.24° ,保页2井 21° ,保页3井 25.3° ,地层造斜能力

强,易井斜,注意防止井斜超标。

(5)古生界地层孔隙、裂缝发育,存在多个不整合面和夹层,井壁垮塌严重,增加了卡钻的风险。

(6)裸眼井段长,泥浆携砂困难,井眼清洁困难,固井时提高顶替效率难度大,固井胶结强度不易保证,但大型压裂要求固井质量好,对水泥浆性能及水泥胶结强度要求高。

3 页岩气钻井提速技术

从钻井技术管理、地层压力预测、井深结构优化、钻井新工具、新工艺推广应用等方面开展分析和研究,针对保靖页岩气深探井钻井技术难点和挑战,提出相应解决方案和技术措施,形成了配套齐全的页岩气钻井提速技术,为今后页岩气的勘探开发奠定了基础。

3.1 井身结构优化

通过对参数井声波测井资料的研究和处理,经计算获得保靖区块地层压力基本为正常地层压力系统,地层压力系数为1~1.05,破裂压力系数为1.4~2。

本区块的地质必封点主要有:浅层井漏、出水层;井控规范规定在山区的表层套管下深要低于河谷和沟底不少于300 m;目的层可能井漏、井喷地层。

根据地层压力剖面和地质必封点,形成“三级”井身结构方案(图1):开孔采用 $\varnothing 508$ mm导管,用于封隔地表黄土层、地下溶洞和建立井口,采用内插法固井工艺,水泥浆返至地面; $\varnothing 339.7$ mm表层套管,封隔浅水层和井漏层,安装井口、防喷器,为后续钻井服务;采用胶塞固井工艺,水泥浆返至地面; $\varnothing 244.5$ mm技术套管封隔上部漏失、垮塌地层,采用双密度法固井工艺,水泥浆返至地面;在目的层下入 $\varnothing 139.7$ mm尾管,用来封隔页岩气层,水泥浆返至悬挂器。

3.2 钻头优选

实钻揭示,保靖区块为古生代地层,岩性类型有粉砂岩、页岩、泥灰岩、灰岩、白云岩,岩石成岩性好、可钻性差、研磨性强。为了更好地优选钻头,通过对声波测井资料处理,提取了岩石抗压强度,建立了岩石抗压强度和钻头型号关系模板(图2)。

根据实验可知,龙马溪组页岩单轴抗压强度为100~200 MPa;三轴抗压强度为168.4~245.4 MPa,

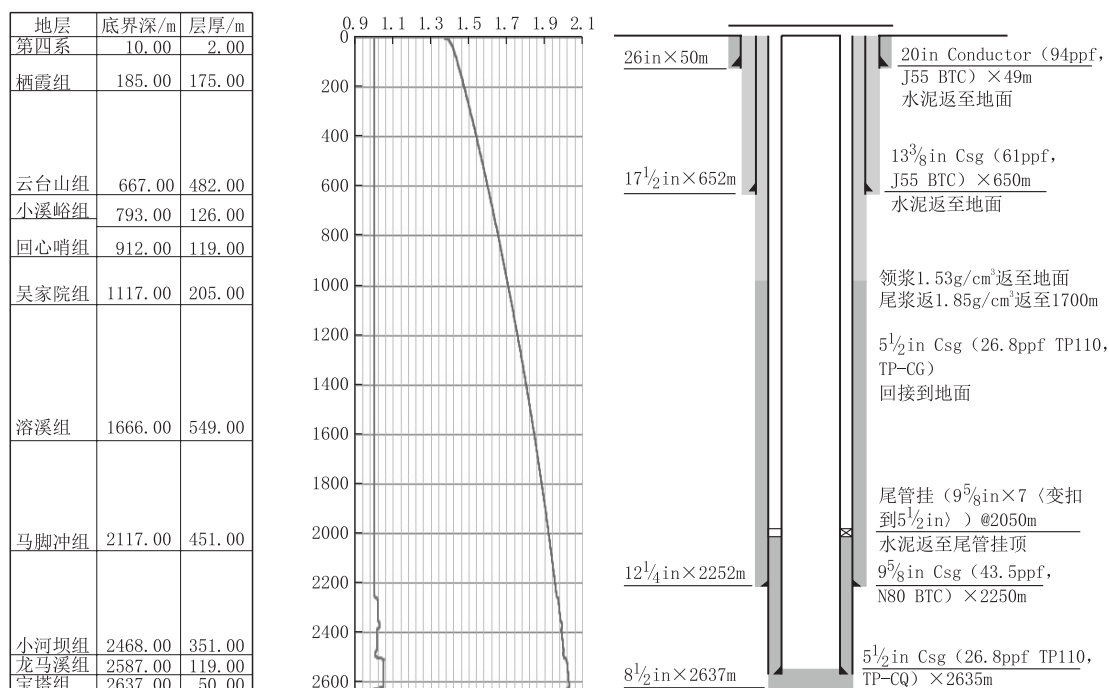


图 1 保页 1 井三级井身结构示意图 (设计)

Fig.1 Schematic diagram of the Baojing shale gas well (BJ-1) three-tier structure (design diagram)

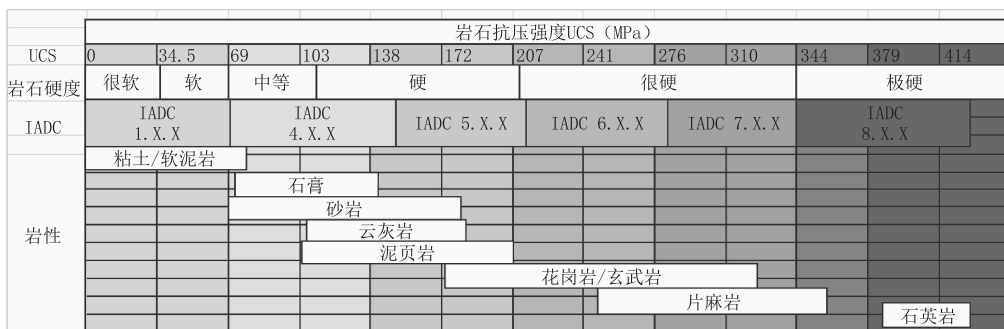


图 2 岩石抗压强度和钻头型号的关系模板

Fig.2 Relationship between rock compressive strength and drill bit model

属于硬地层级别。

以保页 1 井为例,导眼表层多鹅卵石,可钻性差且易跳钻,选用 SKGT515GK 型三牙轮钻头,加入双向减震器,可以有效保护钻头轴承。

一开云台观一回心哨组以厚层细砂岩、粉砂岩夹薄层泥岩为主,地层致密坚硬,均质性差,鉴于 PDC 钻头的抗冲击性弱,宜选用耐高温高压、载重和抗冲击能力强、金属密封、寿命高的三牙轮钻头,如江汉钻头厂 HJT515/535 系列镶齿牙轮钻头。

二开吴家院组一小河坝组以灰色泥岩与粉砂岩为主,岩石强度较硬,地层研磨性强,优选抗研磨性强、保径的 HM516(5 刀翼、16 mm 切削齿)胎体

PDC 钻头,如成都惠灵丰 HM5163SBI。

三开龙马溪组黑色页岩脆性矿物、裂隙、层理发育,岩石硬而脆,适用于 HS516(5 刀翼、16 mm 切削齿)的刚体 PDC 钻头,如成都惠灵丰 HS5163PDC 钻头。

3.3 采用复合钻井,提高机械钻速

复合钻进是利用高效钻头和螺杆钻具再加转盘钻进的一种钻井方式,常用有“PDC 钻头+螺杆”和“三牙轮钻头+螺杆”两种复合钻井方式。

保靖高陡构造区、地层倾角变化大、岩石强度高,适合高转速的螺杆发挥作用,采用复合钻进有利于提高钻井效率,起到防斜打直的效果。

在直井中,使用小角度弯螺杆+MWD的钻具组合,一方面可以利用螺杆的高转速配合高效钻头加快钻井速度,另一方面利用MWD跟踪连续测

斜,一旦发现井斜有增大趋势,可以随时滑动钻进,进行纠斜,从而有效控制井眼轨迹变化,保证井身质量,钻头使用数量减少(表1)。

表1 保页1井、保页2井、保页3井钻井指标对比
Table 1 Comparison of drilling indexes in BJ-1, BJ-2 and BJ-3

井号	井径/ mm	井深/m	进尺/ m	纯钻时/ h	机械钻速/ (m·h ⁻¹)	钻头数量/个		井斜/ (°)	钻井方式	地 层
						三牙轮	PDC			
保页 1井	660.4	0~70.92	70.92	49.00	1.45	1		0.40	转盘钻井	栖霞组
	444.5	70.92~580.89	509.97	333.50	1.31	5	1	1.03	转盘钻井	云台观组-回心哨组
	311.1	580.89~2180.5	1599.61	376.00	4.25	1	4	2.45	复合钻井	吴家院组-小河坝组
	215.9	2180.5~2833	652.50	174.50	3.62	3	1	3.85	转盘钻井	龙马溪组
保页 2井	660.4	0~50	50.00	33.70	1.48	1		1.05	转盘钻井	龙马溪组
	444.5	50~705	655.00	166.67	3.93	2	1	1.67	复合钻井	宝塔-桐梓组
	311.1	705~2525	1820.00	414.00	4.40	5	3	4.65	复合钻井	娄山关-清虚洞组
	215.9	2525~3275	750.00	423.50	1.77	4		4.62	复合钻井	杷榔-牛蹄塘组
保页 3井	660.4	0~56.5	56.50	17.70	3.19	1		1.44	转盘钻井	马脚冲组
	444.5	56.5~511	454.50	118.67	3.83	2		1.98	复合钻井	小河坝组
	311.1	511~1039	528.00	123.50	4.28	1	1	2.97	复合钻井	龙马溪组

(1)导眼段采用塔式钻具组合,主要作用是打直打快。

针对导眼段井径大,地层硬且含有鹅卵石等问题,钻具组合:Ø660.4 mm 三牙轮钻头+Ø330.2 mm 钻铤×3根+Ø228.6 mm 钻铤×3根+Ø127 mm 钻杆×12根+消震器+Ø127 mm 钻杆。

使用Ø228.6 mm大尺寸的钻铤配合牙轮钻头,以增加钻具悬重和钻头的比钻压,起到提高机械钻速、打直打快和防斜要求。

在硬地层,钻头后加三滚轮划眼器,可以保证标准井径,防止井眼出现台阶,引起下导管困难。如保页2井导眼钻具加HYQ660型三滚轮划眼器,修整井壁,保证井眼光滑,减少划眼时间,导管下入顺利。

(2)一开采用钟摆钻具结构,主要作用防斜打直。

一开做好钻井参数优选,调整钻井液性能,防止井塌卡钻。

Ø444.5 mm 牙轮钻头+Ø244 mm(0.5°)螺杆+Ø241.3 mm DC×1根+Ø440 mm 扶正器+Ø229 mm 减震器+Ø241.3 mm DC×2根+托盘+Ø203 mm 无磁钻铤+Ø203 mm 钻铤×5根+Ø165 mm 钻铤×9根+Ø127 mm 钻杆。

在地层、冲洗液性能相似,保页1井采用常规转盘钻井,平均机械钻速1.45 m/h;保页2井采用钻具中接入Ø229 mm 减震器+0.5°弯螺杆钻进,平均机械钻速3.93 m/h,比保页1井提高了67%(表

1)。由于保页1井一开地层以石英粉砂岩为主,岩石强度高,岩性不均匀,PDC钻头容易先期破坏,采用“三牙轮钻头+螺杆”配合减震器复合钻井技术的钻进效果较好,既提高了钻头的使用寿命,又提高了机械钻速。实钻表明:将减震器安装在钻头以上9~18 m(钻头以上1~2根钻铤),不仅消除减震器以上钻柱的有害震动,而且可以将减震器下方钻铤的纵向震动,转化为辅助牙轮破岩的冲击动载从而既保护了钻头及钻具,同时又提高了机械钻速。

(3)二开采用钟摆钻具组合,主要作用是防斜纠斜。

二开地层可钻性较差,优选钻头类型及钻井参数,有利于提高钻进速度。

Ø311.15 mm PDC 钻头+单弯双扶螺杆+Ø228 mm 钻铤×2根+Ø203 mm 无磁钻铤+MWD+Ø203 mm 钻铤×5根+Ø177.8 mm 钻铤×6根+Ø127 mm 钻杆。

或Ø311.1 mm 牙轮钻头+1.25°Ø216 mm 螺杆+Ø303 mm 扶正器+浮阀+MWD 短节+Ø165 mm 无磁钻铤+Ø165 mm 钻铤×18根+配合接头+Ø127 mm 加重钻杆×12根+Ø127 mm 钻杆。

为作好井身轨迹监控工作,下入MWD仪器随钻测斜,根据测斜数据,及时纠斜,开展防斜打直,采用双驱钻井技术,利用螺杆钻具高转速的优势,提高机械钻速。

保页1井在1063~1750 m使用“PDC+单弯双

扶螺杆”复合钻井,下入惠灵丰 HJT637G 型 PDC 钻头,单只钻头进尺 687 m,平均机械钻速 4.43 m/h;保页 2 井根据 PDC 钻头不适用地层的情况,在 1618.54~2111.52 m 使用“三牙轮钻头+单弯双扶螺杆”,下入江汉 HJT637G 型耐研磨性牙轮钻头,单只钻头进尺 492.98 m,平均机械钻速 4.19 m/h。

2 口井分别使用三牙轮钻头和 PDC 钻头钻井,机械钻速基本相当,相比较而言,使用三牙轮钻头比 PDC 钻头可节省钻头成本。

(4)三开目的层采用钟摆钻具组合,取全取准地质资料。

三开根据页岩气储层保护要求,采用近平衡压力钻井,预防井涌、井壁失稳发生。

龙马溪组、牛蹄塘组目的层页岩层理发育、岩性硬而脆、可钻性较好,PDC 钻头切削的岩屑颗粒较小,不利于地质录井捞砂取样和岩屑鉴定。三开改用“三牙轮钻头+钟摆钻具组合+MWD”钻进,起到防斜打直作用,由 MWD 随钻监测井斜变化,决定是否吊打降斜,保证井身质量,同时钻具加入减震器,保护三牙轮钻头,延长钻头使用寿命。

$\varnothing 215.9$ mm 牙轮钻头+ $\varnothing 177$ mm 钻铤 $\times 2$ 根+ $\varnothing 214$ mm 扶正器+ $\varnothing 165$ mm 减震器+ $\varnothing 165$ mm 无磁钻铤+MWD+ $\varnothing 158.8$ mm 钻铤 $\times 2$ 根+ $\varnothing 158.8$ mm 螺旋钻铤 $\times 6$ 根+ $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 $\times 18$ 根+ $\varnothing 127$ mm 钻杆。

在保靖复杂高陡构造区,由于开展复合钻井、防斜打直,页岩气钻井平均机械钻速 3.54 m/h,平均钻井周期 82.84 d,最大井斜 4.65°。

3.4 中长筒取心技术

常规取心工具取心前,需要从井口投球,封闭钻井液流向取心内筒的流道,避免钻井液冲蚀岩心,因此,常规取心工具必须保证钻具水眼畅通,不能在钻具安装内防喷器,不利于井控。川 7-5 型取心工具(不投球)是为了井控而研制的不投球式取心工具,带有自动卸压机构自动平衡内筒压力和间隙调节机构避免旋转总成的心轴被钻井液冲蚀,实现了在安装内防喷工具情况下的取心作业,保证高压油气井的取心安全。

3.4.1 取心要求

地质设计目的层龙马溪组、牛蹄塘组黑色炭质页岩段要全取心,要求岩心直径 >100 mm。

3.4.2 取心工具

取心筒采用成熟可靠的川 7-5 取心工具,内外筒采用等长度结构,单筒岩心采取长度为 9.2 m,由于目的层埋藏较深,单回次取心作业较长,为节省时间,采取 2 根取心筒组合以增加取心长度,使单回次取心可达 18.4 m,节省取心作业时间。

3.4.3 取心技术措施

取心前采用全程 MWD 监测井眼轨迹变化,控制井斜,取心时根据地层选取取心钻头,观察取心钻进过程中的各项参数变化,发现堵心,立即割心起钻,提高了取心钻进速度,保证了岩心采取率。

取心钻具组合为: $\varnothing 215.9$ mm 取心钻头+川 7-5 取心筒+ $411 \times 4A10 + \varnothing 165$ mm 无磁钻铤+ $\varnothing 158.8$ mm 钻铤 $\times 2$ 根+ $\varnothing 158.8$ mm 螺旋钻铤 $\times 6$ 根+ $4A11 \times 410 + \varnothing 127$ mm 加重钻杆 $\times 18$ 根+ $\varnothing 127$ mm 钻杆,取心为双筒取心,且为连续取心,该组合下部加入 8 根钻铤,可以为取心钻进提供充足钻压,并加强下部钻具的刚性,起到轻微防斜作用,并保证取心顺利进行。

3.4.4 取心钻头

保页 2 井引入型号为 GC315M 的取心钻头,单只钻头入井 10 次,进尺 123.38 m,平均机械钻速 1.35 m/h;该钻头在之前 8 刀翼 PDC 取心钻头的基础上进行改进,适当增大切削齿后倾角,增强钻头的抗崩能力;地层为中-中硬地层,改进成抛物线冠部和中等密度布齿能在中硬-硬地层(具有中等抗压强度和研磨性夹层)中获得更好的机械钻速。PDC 齿和巴拉斯齿混合布置结构,在 PDC 切削齿后面脊镶式布置巴拉斯,巴拉斯钻头,采用脊镶式高密度布齿,适应硬地层。减小了 PDC 切削齿的比钻压,起到辅助破岩、延长钻头的使用寿命的作用。实践证明,改进后的 PDC 取心钻头,耐磨、晶片崩损少,使用寿命长,多次入井,机械钻速快、取心率高。

3.4.5 取心成果

保页 1 井在 2460~2499.48 和 2697.5~2767.86 m 连续取心(图 3),共计取心 10 回次,取心进尺 109.84 m,单回次平均进尺 10.98 m,单回次最高进尺 18 m,平均机械钻速 2.26 m/h,平均岩心采取率 99.32%。

保页 2 井在井深 2845.76~3177.66 m 井段连续取心,共计取心 29 回次,取心进尺 321.9 m,单回次平均进尺 11.1 m,单回次最高进尺 17.83 m,平均机械钻速 1.77 m/h,平均采取率 98.43%。

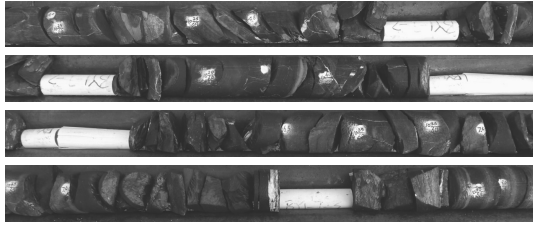


图3 保页1井龙马溪组岩心

Fig.3 Cores from Longmaxi Formation at BJ-1

保页3井在井深883.04~990 m井段取心,共计取心4回次,取心进尺30.40 m,单回次平均进尺7.6 m,单回次最高进尺8.3 m,平均机械钻速3.09 m/h,平均采取率97.43%。

3.5 优选冲洗液性能,开展近平衡压力钻井

表2 保页1井冲洗液性能

Table 2 Parameters of BJ-1 drilling fluids

钻井程序	井径/mm	井深/m	密度/(g·cm ⁻³)	塑性粘度/(mPa·s)	API失水量/mL	pH值	冲洗液体系
导管	660.4	0~70.92	1.0~1.04				清水
一开	444.5	70.92~80.89	1.03~1.84(压井加重)	10~46	4~10	8~10	膨润土/聚合物体系
二开	311.1	80.89~2180.5	1.08~1.29	10~35	6	9~10	氯化钾/KPAM体系
三开	215.9	2180.5~2833	1.12~1.15	26~38.5	4	10	高性能聚胺体系

现场对冲洗液进行精心维护处理,保证了井壁稳定,井径扩大率<5%,全井起下钻畅通无阻,全井电测均一次成功,全井冲洗液性能稳定,无大幅度变化,有异常情况均能及时发现和处理,取得了较好的应用效果。

3.6 创新超高压封隔及回接尾管悬挂器

通过与德州大陆架石油工程技术公司合作,研

根据区块地层特点,导管或一开井段出现井漏等复杂情况,为节能环保,采用清水钻进,必要时配稠浆清洗井眼与堵漏环保型的冲洗液来缓解或解决钻井井漏问题;二开采用氯化钾/KPAM体系,该体系为抑制性水基冲洗液体系,主要通过K⁺对泥页岩的抑制作用和KPAM对有害固相的包被作用,达到控制泥页岩分散,有效控制冲洗液有害固相;由于深部龙马溪组页岩层理发育、性脆、水敏性强等特性,在冲洗液选型方面,首先注重其抑制性。针对页岩层性脆易垮特性,选择抑制性强的冲洗液体系。该体系的设计理念是:提供最大的页岩抑制性和井眼稳定性;较低的结块和泥包趋势;提供一个好的、稳定的、易维护的冲洗液性能。其性能指标见表2。

发出具有创新技术的 $\varnothing 244.5 \text{ mm} \times \varnothing 139.7 \text{ mm}$ 尾管悬挂器及回接装置(见图4),其具有封隔和悬挂尾管双重功能;采用实体膨胀机构,能承受70 MPa压差;过流面积大,允许更大的循环排量,降低了封隔器在入井和循环过程中提前坐封的机率;封隔胶筒具有良好的抗酸、碱、油和高温性能等特点。

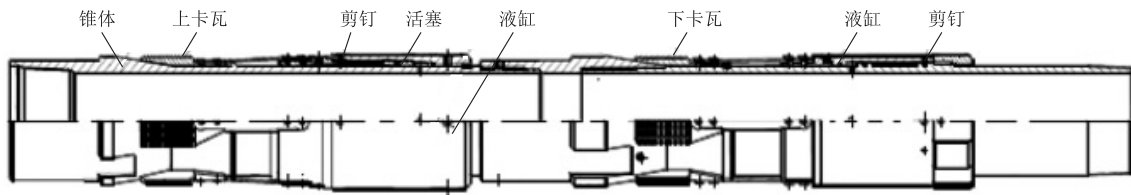


图4 SSX-CFC型液压悬挂器本体总成

Fig.4 Structure of SSX-CFC hydraulic hanger

根据钻井工程设计,保页1井目的层采用钢级TP110/壁厚12.7 mm、TP-CQ气密扣、抗内压力120.66 MPa、 $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 生产套管。尾管固井目的是为裸眼段提供更好的层间封隔,同时为套管重合段提供较好的支撑。

下尾管前进行“三扶”通井,在缩径或者阻卡井段反复划眼、通井,并调整好冲洗液性能,确保井眼畅通无阻后再进行下套管作业。

根据井斜、井径、方位等数据采用Wellplan Cementing软件模拟,合理安放扶正器,裸眼井段每3根套管1只弹性扶正器,使套管尽量居中,要求居中度75%以上。

尾管固井管串组合: $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 加长浮鞋+1根 $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 套管+ $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 浮箍+1根 $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 套管+ $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 浮箍+1根 $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 套管+ $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 球座+ $\varnothing 139.7$

mm 球座套管串+ $\text{O}244.5\text{ mm}\times\text{O}139.7\text{ mm}$ 尾管悬挂器+ $\text{O}127\text{ mm}$ 送入钻具。

将尾管下至预定深度,实施尾管悬挂器投球、坐挂、球座剪切、倒扣及丢手(回接筒下深 2014.28 m、悬挂器下深 2021.74 m、尾管下深 2831 m),封隔器坐封效果良好。

裸眼段固井使用韧性、防气窜的水泥浆体系,水泥浆配方:G 级水泥+0.5%分散剂+3.0%降失水剂+2.0%早强剂+0.5%膨胀剂+1.0%缓凝剂+0.1%消泡剂;水泥浆密度 $\rho=1.92\text{ g/cm}^3$ 。

固井结束后,上提钻具使送入工具与悬挂器脱离,起钻候凝 48 h,回接 $\text{O}139.7\text{ mm}$ 生产套管从回接筒至地面作为压裂管柱,经现场测试回接套管试压 66.04 MPa、稳压时间 30 min。

保页 1 井声幅测井解释生产套管固井:水泥胶结优良井段为 22.2%,水泥胶结中等井段为 48.2%,水泥胶结差井段为 29.6%,固井质量合格。

保页 1 井悬挂器和固井质量可靠,经受住后期的压裂试气作业考验,压裂加砂施工时井口最高压力达到 81.9 MPa,试气结束后回接管串能够实现回收,整个压裂试气施工过程顺利。

4 结论

保靖区块页岩气钻井中存在着施工周期长和机械钻速低的问题,在钻前开展优化钻井设计,在钻井中利用高转速的螺杆开展复合钻井和防斜打直,确保井身质量、提高钻井效率、缩短钻井周期。

(1) 钻前通过对参数井测井资料的研究,建立地层压力系统,实现合理井身结构设计。

(2) 通过对邻井声波测井资料和岩石三轴应力实验结果的分析,提取岩石抗压强度参数,优选钻头类型,提高钻头进尺。

(3) 掌握了复杂地质条件下页岩气钻井施工技术,在高陡构造区使用“高效钻头+螺杆+MWD”复合钻井方式,起到防斜打直、打快作用,提高钻井效率,降低页岩气钻井成本。

(4) 为保护储层全井实行近平衡压力钻井,解放了机械钻速。导管和上部井漏段采用清水钻进,深部使用抑制性冲洗液体系,解决了泥页岩地层井壁稳定性问题,满足了测井对井眼的要求。

(5) 3 口探井整体钻井施工质量合格:井身质量优秀、固井质量中等、储层保护符合设计和规范。保

页 1 井实施了国内页岩气井首例 $\text{O}139.7\text{ mm}$ 厚壁尾管的悬挂、固井和回接施工,完井时尾管下入、固井、回接、试压及压裂、试气施工顺利,经受了后期压裂改造、试气作业的考验,试气结束后上部管串成功拔出,实现回接管柱压裂后回收;保页 2 井创造了 $\text{O}215.9\text{ mm}$ 裸眼段连续取心 321.9 m,岩心采取率达 98.43%。

参考文献 (References):

- [1] 高德利.复杂地质条件下深井超深井钻井技术[M].北京:石油工业出版社,2015.
GAO Deli. Deep well and ultra-deep well drilling technology under complex geological conditions [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2015.
- [2] 胡博文,李斌,鲁东升,等.页岩气储层特征及含气性主控因素—以湘西北保靖地区龙马溪组为例[J].岩性油气藏,2017,29(3):83—91.
HU Bowen, LI Bin, LU Dongsheng, et al. Characteristics and main controlling factors of shale gas reservoirs: a case from Longmaxi Formation in Baojing area, NW Hunan Province [J]. Lithologic Reservoirs, 2017, 29(3): 83—91.
- [3] 崔春兰,董振国,吴德山.湖南保靖区块龙马溪组岩石力学特征及可压性评价[J].天然气地球科学,2019,30(5):626—634.
CUI Chunlan, DONG Zhenguo, WU Deshan. Rock mechanics study and fracability evaluation for Longmaxi Formation of Baojing Block in Hunan Province [J]. Natural Gas Geoscience, 2019, 30(5): 626—634.
- [4] 董振国.湖南保靖区块碳酸盐岩地层压力评价技术[J].录井工程,2018,29(2):13—18.
DONG Zhenguo. Evaluation of carbonate formation pressure in Baojing Block, Hunan [J]. Mud Logging Engineering, 2018, 29(2): 13—18.
- [5] 张锦宏.彭水区块页岩气水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):9—15.
ZHANG Jinhong. Key drilling and completion techniques for shale gas horizontal wells in Pengshui Block [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(5): 9—15.
- [6] 赵军,蔡亚西,林元华.声波测井资料在岩石可钻性及钻头选型中的应用[J].测井技术,2001(4):305—307.
ZHAO Jun, CAI Yaxi, LIN Yuanhua. Application of sonic logs to rock drillability and bit selection [J]. Well Logging Technology, 2001(4): 305—307.
- [7] 《钻井工艺》编委会.石油钻井工程标准汇编[M].北京:石油工业出版社,2016.
Editorial Committee of Drilling Technology. Compilation of oil drilling engineering standards [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016.
- [8] 董振国,吴德山,于鹏.湘西页岩气大斜度定向井优快钻井技术研究[J].非常规油气,2017,4(5):88—93.
DONG Zhenguo, WU Deshan, YU Peng. Research on rapid and efficient drilling technology at high deviated wells of shale gas in West Hunan [J]. Unconventional Oil and Gas, 2017, 4

- (5):88-93.
- [9] 吴德山,董振国,崔春兰.大斜度定向井钻井设计优化及应用实践[J].煤炭科学技术,2018,46(4):58-64.
WU Deshan, DONG Zhenguo, CUI Chunlan. Optimum drilling design of high deviated directional wells and its application [J]. Coal Science and Technology, 2018,46(4):58-64.
- [10] 曹华庆,高长斌.非常规龙马溪组和牛蹄塘组页岩取心技术[J].油气藏评价与开发,2018,8(2):80-84.
CAO Huaqing, GAO Changbin. Shale coring technology in Longmaxi Formation and Niutitang Formation of unconventional shale gas field[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2018,8(2):80-84.
- [11] 滕学清,陈勉,杨沛,等.库车前陆盆地超深井全井筒提速技术[J].中国石油勘探,2016,21(1):76-88.
TENG Xueqing, CHEN Mian, YANG Pei, et al. Whole well ROP enhancement technology for super-deep wells in Kuqa foreland basin [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21 (1):76-88.
- [12] 崔春兰,董振国,吴德山.新街台格庙矿区煤层气参数井钻井关键技术[J].煤田地质与勘探,2019,47(S1):128-134.
CUI Chunlan, DONG Zhenguo, WU Deshan. Key technology for drilling CBM parameter wells in Xinjietaigemiao coal mining area[J]. Coal Geology & Exploration, 2019,47(S1):128-134.
- [13] 谢国毅,刘虎,毛志新.贵州岩溶地区煤层气钻井关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):46-49.
XIE Guoyi, LIU Hu, MAO Zhixin. Key coalbed methane drilling technology in Guizhou Karst Area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45 (5):46-49.
- [14] 聂臻,张振友,罗慧洪,等.高压膏盐层定向井钻井关键技术[J].天然气工业,2018,38(5):103-110.
NIE Zhen, ZHANG Zhenyou, LUO Huihong, et al. Key technologies for directional well drilling in high-pressure anhydrite salt layers [J]. Natural Gas Industry, 2018,38 (5): 103-110
- [15] 赵常青,胡小强,张永强,等.页岩气长水平井段防气窜固井技术[J].天然气工业,2017,37(10):59-65.
ZHAO Changqing, HU Xiaoqiang, ZHANG Yongqiang, et al. Anti-channeling cementing technology for long horizontal sections of shale gas wells [J]. Natural Gas Industry, 2017,37 (10):59-65.
- [16] 阮臣良,李富平,李风雷,等.尾管悬挂器超高压封隔及回接技术应用研究[J].长江大学学报(自科版),2016,13(19):42-45,4
RUAN Chenliang, LI Fuping, LI Fenglei, et al. Application of ultra-high pressure ZXP packer and tie-back technology [J]. Journal of Yangtze University (Nature Science Edition), 2016,13(19):42-45,4.
- [17] 李奋强.湘西北区域页岩气固井工艺技术参数研究[J].中国煤炭地质,2016,28(8):72-75,82.
LI Fenqiang. Study on shale gas well consolidation technological parameters in Northwestern Hunan Area [J]. Coal Geology of China, 2016,28(8):72-75,82.
- [18] 陈立,刘彬,李伟成,等.川7-5型(不投球)取心工具[J].石油科技论坛,2011,30(2):66-67,72.
CHEN Li, LIU Bin, LI Weicheng, et al. Chuan 7-5 (Non-drop Ball) coring tool [J]. Oil Forum, 2011,30(2):66-67,72.

(编辑 韩丽丽)

(上接第44页)

- [9] 卢尚春.北京大安山煤矿井下深孔钻探实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):31-35.
LU Shangchun. Underground deep hole drilling in Beijing Daanshan Coal Mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(6):31-35.
- [10] 马智跃,李生海,段志强,等.相山地区如意亭深钻 CUSD4 孔钻探技术研究[J].地质与勘探,2019,55(2):614-621.
MA Zhiyue, LI Shenghai, DUAN Zhiqiang, et al. Drilling technology of the Ruyiting deep drilling hole CUSD4 in the Xiangshan area, Jiangxi Province [J]. Geology and Exploration, 2019,55(2):614-621.
- [11] 刘立鹏.黑龙江省嫩北农场金铜矿普查钻探施工技术应用[J].吉林地质,2018,37(3):67-71.
LIU Lipeng. Application of gold and copper survey drilling technology in Nenbei Farm, Heilongjiang Province [J]. Jilin Geology, 2018,37(3):67-71.
- [12] 秦毅.桂北地区罗地1井钻探施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):56-59,88.
QIN Yi. Practice of Well Luodi-1 drilling construction in north of Guangxi [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(1):56-59,88.
- [13] 雷健祥.探析采矿绳索取芯技术在深孔钻探施工中的应用[J].世界有色金属,2018(18):56-57.
LEI Jianxiang. Application of mining cordage coring technology in deep hole drilling construction [J]. World Nonferrous Metals, 2018(18):56-57.
- [14] 王沛.浅谈提高钻井速度的关键技术[J].化工设计通讯,2017,43(10):236.
WANG Pei. Talking about the key technology of improving drilling speed [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017,43(10):236.
- [15] 李奇龙.螺杆钻具在地热井钻探中的应用初探[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(3):56-58.
LI Qilong. Application of screw drill in geothermal well drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(3):56-58.
- [16] 赵宝军,马秀春.东北某盆地天然气水合物钻探施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):22-25.
ZHAO Baojun, MA Xiuchun. Practice of drilling construction for gas hydrate in a basin in northeast [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(8): 22-25.

(编辑 周红军)