后五家户复杂深井钻井提速难点及技术探索

陈业鹏
(中石化东北油气分公司石油工程技术研究院,吉林 长春 130062)

摘要:梨树断陷后五家户气田处于勘探开发初期,目的层埋藏深,后续生产井设计井深有加深趋势。通过分析该区域地质情况,从地层压力系统复杂、可钻性差等钻井技术难点出发,对井身结构的设计、钻头、动力钻具的使用等方面进行提速效果的应用分析与评价,提出适合该地区钻井提速的措施及建议。

关键词:钻井提速技术;井身结构;孕镶金刚石钻头;后五家户气田
中图分类号:P634　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1672－7428(2018)07－0010－04

Difficulties of Drilling Speed Increasing for Deep Well in Complex Geological Conditions/*CHEN Ye-peng* (Oil Engineering Technology Research Institute, Northeast Oil and Gas Branch, SINOPEC, Changchun Jilin 130062, China)

Abstract: Houwujiahu gas field of Lishu fault depression is in the early stage of exploration and development, because of the deeply buried target layer, the design depth of follow-up production well has deepening trend. Based on the analysis on geological conditions in this area and considering the technical difficulties of drilling, this paper makes the application analysis and evaluation of drilling speed increasing in wellbore structure design and the use of drill bit and dynamic drilling tools, and puts forward measures and suggestions for the drilling speed increasing suitable for this area.

Key words: drilling speed increasing; casing program; impregnated diamond bit

1　概况

梨树断陷后五家户气田位于吉林省四平市梨树县,累计提交天然气预测储量 458.36×10^8 m^3,含气面积 91.39 km^2,天然气储量资源丰富。经中石化专家组多轮次论证、评议,在该区域进行井位部署,目前该区已完钻 2 口探井,分别是梨深 1 井——中深井、梨深 2 井——深井。

通过 2 口探井实施,探明该区自上而下地层为第四系、泉头组、登娄库组、营城组、沙河子组等,主要目的层为沙河子组。该地区地质情况复杂,地层岩性复杂多样,下部地层压实程度高、地层含砾且岩石组分中石英含量较高,地层可钻性差、目的层顶界深度主要在 4000～4350 m。

2　钻井提速难点

2.1　地层压力系统复杂,井身结构优化难度大

利用常规测井资料初步建立地层压力剖面,再用实际测试压力、地层破裂压力试验数据、岩石力学参数等相关数据进行校正,建立起该地区地层压力剖面。梨深 2 井地层压力剖面如图 1 所示。

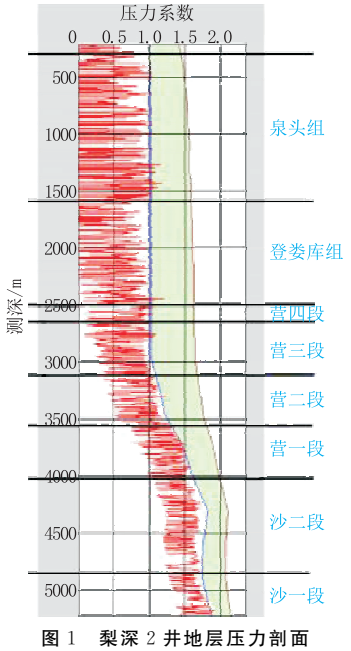

图 1　梨深 2 井地层压力剖面

从压力剖面看出,泉头组－登娄库组孔隙压力系数为0.99～1.03,为常压系统;营城组上部为常压系统,下部为高压系统,整体上压力系数为 1.09～1.45;沙河子组为高压系统,压力系数为 1.50～1.86。纵向上存在多套压力系统,且下部沙河子组为异常速度体,地层压力预测可能存在较大误差;上部泉头组－登娄库组泥岩发育,钻井过程中易发生

收稿日期:2018－01－12;**修回日期**:2018－06－06
作者简介:陈业鹏,男,汉族,1987 年生,助理研究员,石油工程专业,从事钻井工程方面相关研究工作,吉林省长春市绿园区和平大街 660 号,chenyepeng1987@163.com。
万方数据

井壁失稳。井身结构优化要保证分隔不同压力系统、有利于钻井提速、减少复杂情况发生,同时要具有一定的抵抗不确定因素的能力,给井身结构层次及技术套管下深的确定造成较大难度。

2.2　地层可钻性差,钻井周期长

已完钻的 2 口井整体上技术指标较低,见表 1。下部地层营城组、沙河子组矿物组分中石英含量高[1],地层抗压强度均达到 320 MPa 以上,地层可钻性差,特别是沙河子组地层可钻性级值超过 10 级(见表 2)。且这两个层位厚度大,占整个完钻井深的 50%以上,周期占全井钻井周期的 70%,是钻井提速的主要难点。

表 1　已完钻井基本情况统计

井号	完钻井深/m	井身结构	机械钻速/(m·h^{-1})	钻井周期/d	完井时间/d	纯钻时效/%
梨深 1	4483	五级	1.71	269.36	19.38	37.18
梨深 2	5250	三级	1.46	292.46	37.12	45

表 2　梨深 1 井、梨深 2 井下部地层工程地质情况

层位	平均可钻性级值	平均抗压强度/MPa	厚度/m	厚度比例/%	石英含量/%
营城组	8.47	327.47	1423.1	27.1	30～45
沙河子组	＞10	350.85	1326.0	25.3	20～35

3　钻井提速技术探索与分析

梨深 1 井全井采用五级井身结构,且主要应用牙轮钻头进行钻进,钻井速度较慢。根据梨深 1 井情况,梨深 2 井对井身结构优化、钻头选型及辅助破岩工具等多种提速技术进行了探索,均取得了一定的效果,指明了提速技术完善方向。

3.1　井身结构优化探索

梨深 2 井最初设计技术套管下至营城组底部,但钻至营城组中上部地层时,钻头单只进尺及机械钻速指标均大幅度下降,为提高钻井速度,对井身结构进行重新优化,将二开 Ø311.2 mm 井眼提前完钻,下入 Ø244.5 mm 技术套管,三开采用 Ø215.9 mm 钻头进行钻进,提高单位井底面积钻头施加压力,同时减小破岩体积[2]。井身结构优化后,钻头单只进尺及机械钻速等指标显著提高,见图 2、图 3。

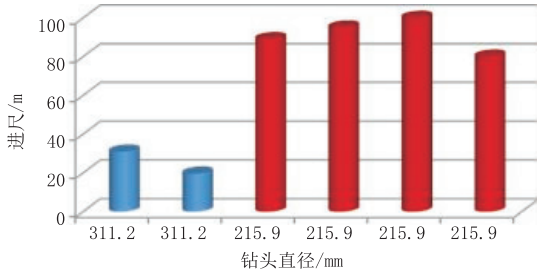

图 2　不同尺寸钻头单只进尺对比图

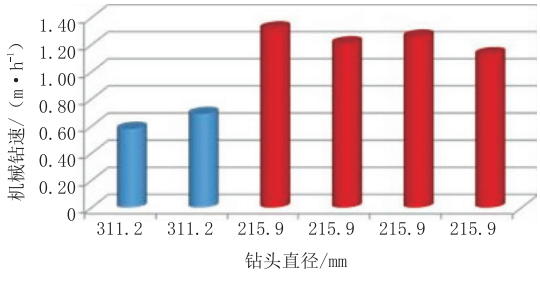

图 3　不同尺寸钻头机械钻速对比图

在进入下部沙河子组地层时,可钻性进一步变差,技术指标再一次降低至井身结构调整前的水平。并且由于井身结构的调整,将营三段底部至营一段地层与下部沙河子组地层置于同一个裸眼井段内,沙河子组钻进过程中先后发生 2 次气侵,见表 3。第二次气侵后压井过程中上部地层发生漏失,采用随钻堵漏的方法进行堵漏,但仍有较轻微漏失发生,漏失速度在 0.5 m^3/h 左右,自此至完钻过程中一直伴有井漏。沙河子组完钻后实测地层压力系数 1.86,与上部营城组为不同压力系统。

表 3　沙河子组气侵基本情况

气侵复杂情况	井深/m	工况	气侵前钻井液密度/(g·cm^{-3})	气测显示	气侵后钻井液密度/(g·cm^{-3})	压井液密度/(g·cm^{-3})
第一次	4081.0	钻进	1.41	全烃 0.435↑97.720%	1.03	1.54～1.62
第二次	4472.8	钻进	1.61	全烃 0.458↑85.117%	1.52	1.78～1.83

Ø215.9 mm 井眼相比于 Ø311.2 mm 井眼,一定程度上提高了技术指标,但对可钻性高于 10 级的沙河子组,钻进速度再次变慢,且技术套管提前结束,导致地层压力窗口变窄,加大了钻井液密度选择难度[3],处理井漏气侵等复杂情况反而不利于缩短钻井周期,该井实际采用的井身结构存在进一步优化的空间。

井身结构优化设计方案:井身结构优化为四级,一开不揭开浅层气采用 Ø660.4 mm 钻头钻至 200 m 左右,下入 Ø508 mm 表层套管;二开采用 Ø406.4 mm 钻头钻至登娄库组底部,下入 Ø339.7 mm 技术套管 1 封固泉头组、登娄库组不稳定地层;三开采

万方数据

用 Ø311.2 mm 钻头钻至营城组底部,下入 Ø244.5 mm 技术套管 2 封固营城组,为下部沙河子组异常高压提供新的开次;四开采用 Ø215.9 mm 钻头钻至设计井深,下入 Ø139.7 mm 生产套管完井。

该区进入开发阶段,工程地质条件更为明确后,整体缩小井眼尺寸,保证安全钻井的条件下进一步提高钻井速度。

3.2 PDC+辅助破岩工具复合钻井技术

本区营城组—沙河子组 PDC 钻头应用过程中出现的主要问题是由于地层致密,抗压强度高,切削齿吃入地层困难,剪切破岩方式未能起到关键作用,施加转速后复合片与井底岩石发生滑动摩擦,造成复合片过度损坏(见图 4)。

图 4 M1665RJ PDC 钻头出井照片

下部地层采用多种型号、不同厂家的 PDC 钻头仍未能解决这一问题(见表 4)。进而改变 PDC 钻头工作方式,变剪切为高频次微剪切[4],于营城组尝试使用扭力冲击技术,美国阿特拉的扭力冲击器配套 UD513 钻头,但应用效果仍不理想,机械钻速仅 0.7 m/h,进尺 12 m。

目前,与 PDC 钻头配套的主要提速工具有螺杆钻具及扭力冲击器[5],然而都未能解决 PDC 钻头在营城组—沙河子组地层切削齿吃入地层困难的问题,分析认为 PDC 钻头在这两个层位难以取得突破性进展[6],需要采用其他提速手段。

表 4 PDC+螺杆复合钻井技术在下部地层应用情况

型号	钻头直径/mm	厂家	地层	起出井深/m	下入井深/m	进尺/m	机械钻速/(m·h^{-1})
M1665FG	311.2	河北锐石	营城组	2784.00	2801	17.00	0.28
QD407FX	215.9	贝克休斯	营城组	3454.00	3459	5.00	0.61
FX64D	215.9	哈里伯顿	沙河子组	4406.48	4434	27.52	0.89

3.3 牙轮钻井技术

针对地层可钻性差、抗压强度高的特点,在钻头结构上采取了"金属密封、特别保径、掌背强化、主齿加宽"等一系列的强化措施,整体效果明显好于 PDC 钻头(见表 5),但受到本身材质及破岩方式的限制,技术指标仍然不够理想,并且随着深度的增加,钻头单只进尺和机械钻速等指标明显降低。

表 5 HJT537GK 牙轮钻头在下部地层应用情况

钻头直径/mm	地层	下入井深/m	起出井深/m	进尺/m	机械钻速/(m·h^{-1})	钻压/kN	转速/(r·min^{-1})
311.2	登娄库组	2454	2477.00	93.00	0.82	260～280	50～80
	营城组	2578	2648.00				
311.2	营城组	2753	2784.00	31.00	0.58	260～280	50～80
311.2	营城组	2801	2820.66	19.66	0.69	260～280	50～80

为探索牙轮钻头在下部地层提速潜力,在下部地层交替试验了 5 只 VMD68DVHX1 进口牙轮钻头,在营城组取得的技术指标明显低于国产牙轮(见表 6),在沙河子组取得的技术指标略高于国产牙轮(见表 7),技术指标仍没有取得实质性突破。

表 6 营城组进口与国产牙轮钻头对比

钻头型号	厂家	钻进井段/m	进尺/m	机械钻速/(m·h^{-1})	钻进参数		
					钻压/kN	转速/(r·min^{-1})	排量/(L·s^{-1})
进口平均	贝克休斯	3407～3454.28	47.28	0.82	160～200	60～80	28
国产平均	江汉	3323～3661.8	95.29	1.22	140～160	50～80	30

表 7 沙河子组进口与国产牙轮钻头对比

钻头型号	厂家	钻进井段/m	进尺/m	机械钻速/(m·h^{-1})	钻进参数		
					钻压/kN	转速/(r·min^{-1})	排量/(L·s^{-1})
国产平均	江汉	4225.4～4406.48	37.26	0.55	140～180	60～80	23～28
进口平均	贝克休斯	4244.66～4600.96	54.19	0.50	160～180	60～80	20～24

3.4 孕镶+辅助破岩工具复合钻井技术

3.4.1 国产孕镶+螺杆复合钻井技术

从破岩机理角度分析,牙轮钻头的压碾,PDC 钻头的剪切在高研磨性地层均未取得理想效果,因此改变攻关方向,采用"磨削、微剪切"的破岩方式:即在高研磨性地层试验孕镶金刚石钻头[7]。分别于营城组、

万方数据

沙河子组使用了国产 NR826M 孕镶钻头,均配套螺杆具进行复合钻进(见表 8、表 9),取得较好效果。营城组机械钻速与常规钻头基本相当,沙河子组提高 29.73%,整体上单只进尺达到常规钻头 4～8 倍。

表 8　营城组孕镶钻头＋螺杆钻具应用情况

钻头直径/mm	型　号	钻进井段/m	进尺/m	纯钻时/h	机械钻速/(m·h^{-1})
215.9	HJT537GK	3661.81～3705.70	43.89	41.92	1.05
215.9	HJT537GK	3705.70～3761.08	55.38	61.42	0.90
215.9	NR826M	3761.08～3955.68	194.60	201.00	0.97

表 9　沙河子组孕镶钻头＋螺杆钻具应用情况

钻头直径/mm	型　号	钻进井段/m	进尺/m	纯钻时/h	机械钻速/(m·h^{-1})
215.9	MD637	3955.68～3993.17	37.49	47.42	0.79
215.9	NR826M	3993.17～4224.46	231.29	241.83	0.96
215.9	HJT537GK	4225.40～4244.66	19.26	29.50	0.63

目前,与孕镶钻头配套的辅助破岩工具有螺杆钻具和涡轮钻具,该孕镶钻头在辽西 6 井配套 1000 r/min 以上高速涡轮使用,在太古界井深 1889～1941 m 钻进仅 51 m,机械钻速 1.45 m/h,起出后涡轮运转正常而钻头磨损严重,该钻头在过高的转速下极大程度缩短使用寿命,与配套动力钻具不吻合[8];因此,本井使用螺杆作为辅助破岩工具,但是普通螺杆使用寿命仅 120～130 h,并且随着井深的增加,井底温度不断升高,螺杆马达定子持续工作的稳定性变差,有效工作寿命大幅度降低,一只钻头需要配 2～3 根螺杆,影响工具整体的破岩效率。

3.4.2　进口孕镶＋涡轮复合钻井技术

在高研磨性地层适合采用“磨削、微剪切”的方式进行破岩的基础上,下部沙河子组进一步应用进口孕镶钻头进行提速,并配套稳定性高、寿命长的高速涡轮钻具[9],最终取得突破(见表 10),机械钻速达到常规钻井 4 倍,单只进尺达到常规钻井 6 倍,以实际应用的 650 m 井段为例,采用常规钻井技术,预计钻井周期114 d左右,而采用孕镶＋高速涡轮钻井技术只需要 21 d,节约钻井周期 90 d 以上。

表 10　进口孕镶＋高速涡轮钻井技术应用情况

型　号	钻头类型	钻进井段/m	进尺/m	机械钻速/(m·h^{-1})	钻压/kN	转速/(r·min^{-1})
VMD68DVHX1	牙轮	4488.43～4543.14	54.71	0.46	160～180	60～80
VMD68DVHX1	牙轮	4543.14～4600.96	57.82	0.47	160～180	60～80
E1168M	孕镶	4600.96～4907.5	306.54	1.85	60	50＋涡轮
E1167M	孕镶	4907.50～5250	342.50	1.98	60	50＋涡轮

钻头类型对比:本区进入营城组以后,地层抗强度高、可钻性差,PDC 钻头的剪切破岩方式难以充分发挥,使用效果最差;破岩原理复杂、适应性广泛的牙轮钻头,应用效果虽然好于 PDC 钻头,但基于自身破岩原理的限制,难以取得突破性进展;利用磨削破岩的孕镶金刚石钻头适应性最好。建议后续钻井对地层研磨性做出评价,细化孕镶金刚石钻头选型,并优化施工参数,进一步挖掘孕镶金刚石钻头在该区的提速潜力。

4　结论和建议

(1)营城组－沙河子组抗压强度 320 MPa 以上的地层,适合采用磨削、微剪切的方式进行破岩,孕镶金刚石钻头适应性最好,牙轮钻头次之,PDC 钻头最差。

(2)国产孕镶钻头应用技术指标较好,但存在动力钻具不配套的问题,建议配套等壁厚抗高温螺杆钻具,提高钻头的整体效率,或尝试其它型号钻头配套高速涡轮钻具进行进一步探索。

(3)梨深 2 井井身结构适应性差,建议勘探开发初期,设计四级井身结构,分隔沙河子组与上部地层,以 Ø215.9 mm 井眼为最后开次。进入开发阶段地质情况明确后考虑缩小井眼尺寸以缩短钻井周期。

万方数据

参考文献:

[1] 程天辉,何选蓬,李瑞亮,等.塔里木昆仑山前昆玉 1 井钻井提速实践[J].钻采工艺,2017,40(5):115－116.

[2] 李瑞营,王峰,陈绍云,等.大庆深层钻井提速技术[J].石油钻探技术,2015,43(1):38－43.

[3] 张东清.龙凤山气田北 209 井钻井提速技术[J].石油钻探技术,2016,44(4):22－26.

[4] 张敏,刘明国,兰凯,等.焦石坝页岩气水平井钻井提速工具应用[J].钻采工艺,2016,39(1):6－9.

[5] 沙贞银,杜俊伯,向进,等.涪陵页岩气田钻井提速方案及实施效果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):31－36.

[6] 王家骏,邹德永,杨光,等.PDC 切削齿与岩石相互作用模型[J].中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(4):104－109.

[7] 贾志刚.高研磨性地层复合式钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):9－11.

[8] 兰凯,张金成,母亚军,等.高研磨性硬地层钻井提速技术[J].石油钻采工艺,2015,37(6):18－22.

[9] 王树超,王维韬,雨松,等.塔里木山前井涡轮配合孕镶金刚石钻头钻井提速技术[J].石油钻采工艺,2016,38(2):156－159.