

红河油田地层可钻性研究与钻头优选

闫吉曾

(中石化华北油气分公司石油工程技术研究院,河南 郑州 450006)

摘要:红河油田水平井钻头适应性差、起下钻频繁,导致机械钻速低和钻井周期长,严重制约了钻井提速提效。通过对红河油田地层岩心进行室内可钻性实验,建立了该地区岩石可钻性与声波测井相关性数学模型,从而确定了岩石可钻性级值剖面。实验及计算结果表明,红河油田地层可钻性级别为 3~6 级,上部属于软地层,下部属于中硬地层。基于地层可钻性优选了 PDC 钻头,经现场试验与应用,平均单只钻头进尺、机械钻速大幅提高,大大缩短了钻井周期,达到了水平井钻井提速提效的目的。

关键词:水平井;岩石可钻性;声波测井;钻头优选;机械钻速;红河油田

中图分类号:TE242;P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)06-0063-04

Research on the Formation Drillability and Bit Selection in Honghe Oilfield/YAN Ji-zeng (Research Institute of Petroleum Engineering Technology of Huabei Branch, SINOPEC, Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: Caused by the poor bit adaptability and frequent tripping, low ROP and long drilling cycle of the horizontal well drilling in Honghe oilfield severely restricted the drilling speed and efficiency. A correlation mathematical model of rock drillability and acoustic logging is established based on laboratory drillability experiments on the cores of Honghe oilfield, and the rock drillability grade profile is determined. The experiments and calculated results show that the drillability grade in the Honghe oilfield formation ranges from grade 3~6, the upper part belongs to soft formation and the lower part medium-hard formations. PDC bit is selected based on formation drillability, the average single bit footage and ROP are largely improved and the drilling cycle is shortened in the field tests and application, horizontal well drilling speed and efficiency improvement have been achieved.

Key words: horizontal well; formation drillability; acoustic logging; bit selection; ROP; Honghe oilfield

0 引言

鄂尔多斯盆地红河油田属于致密低渗油藏,自上而下发育有第四系、白垩系、侏罗系和三叠系,主力含油层系为三叠系延长组长 8、长 9 层段,埋深 2000~2400 m,2012 年前主要采用直井建产方式,单井产量不足 2 t,为了扩大泄油半径,提高单井产量,自 2012 年采用水平井开发模式^[1]。但从完钻的 70 余口水平井分析,平均井深 3189.00 m,水平段长 912.00 m,平均单井钻头用量 13.01 只,平均机械钻速仅 6.57 m/h,平均钻井周期 61.29 d。尤其在水平段起下钻频繁,平均单只钻头进尺仅 102.70 m,机械钻速平均 2.7 m/h,平均施工时间长达 19.90 d,严重制约了钻井提速。为此,开展了地层可钻性研究,从而优选出高效 PDC 钻头,达到了钻井提速的目的。

1 已完钻水平井钻头使用分析

红河油田水平井采用三级井身结构,一开采用 $\varnothing 374.7$ mm 钻头钻进,下 $\varnothing 273.1$ mm 表层套管;二开采用 $\varnothing 241.3$ mm 钻头钻进,下 $\varnothing 177.8$ mm 技术套管;三开采用 $\varnothing 152.4$ mm 钻头钻进,完钻电测后下入 $\varnothing 114.3$ mm 压裂管柱进行压裂改造。通过对完钻的 76 口水平井使用的钻头进行统计分析,平均井深 3124.00 m,平均机械钻速 6.57 m/h,平均单井使用钻头 13.01 只(见图 1),平均钻井周期 61.29 d。

有多口水平井钻头使用量超过 20 只,起下钻超过 25 次。HH74P5 井使用 26 只钻头,HH12P8 井使用 29 只钻头,HH33P1 井使用 21 只钻头。通过分析发现,对地层可钻性认识不足,导致钻头选型不合理,频繁起下钻,最多一口井因钻头问题起下钻 37 次。从统计分析来看,一开井段基本一只钻头

收稿日期:2017-12-17;修回日期:2018-02-24

作者简介:闫吉曾,男,汉族,1975 年生,高级工程师,油气井工程专业,硕士,主要从事钻井液、水泥浆及固井工艺技术研究工作,河南省郑州市陇海西路 199 号,yan1975@126.com。

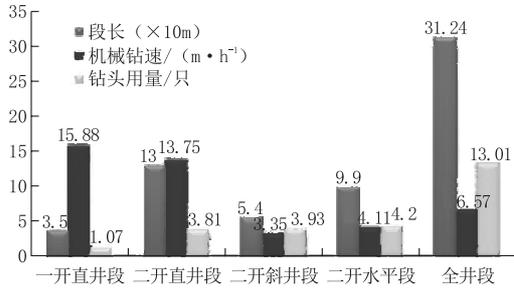


图1 完钻水平井各井段钻头用量、机械钻速分布

一趟完钻,定向斜井段和水平段钻头用量较多,机械钻速较低。因此有必要进行地层可钻性研究,从而优选出高效PDC钻头,进而提高机械钻速,缩短钻井周期^[2],实现钻井提速提效。

2 地层可钻性研究

2.1 室内可钻性实验

收集了红河油田3个井区5口直井的13块岩心及对应的声波测井资料,层位包括延长组的长6、长7、长8和长9,岩心按照标准制成岩样进行可钻性试验(可钻性测试仪见图2,实验流程见图3)。PDC钻头岩石可钻性钻进参数为:钻压 $W=500\text{ N}\pm 10\text{ N}$,其标定量具精度为0.5%;转速 $N=55\text{ r/min}\pm 1\text{ r/min}$;钻深达1 mm时开始计时,再钻深3 mm,记录钻进时间,并停钻。牙轮钻头岩石可钻性钻进参数为:钻压 $W=890\text{ N}\pm 10\text{ N}$,其标定量具精度为0.5%;转速 $N=55\text{ r/min}\pm 1\text{ r/min}$;微型钻头是用刀片轴将8片刀片和9片间隔垫片穿在钻头体上构成,组装后直径为31.75 mm。由于钻头片(砂轮整形片)在试验过程中有磨损,要即时更换钻头片;钻深达0.2 mm时开始计时,再钻深2.4 mm,记录钻进时间,并停钻。测试结果见表1。



图2 岩石可钻性测试仪

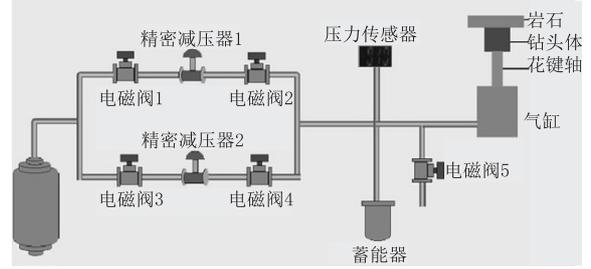


图3 可钻性实验流程图

表1 岩心岩石可钻性实验结果

井号	井深/m	层位	声波时差/ ($\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$)	实测可钻性级值	
				PDC钻头	牙轮钻头
红河24	1692.62	长6	227.44	2.99	4.64
红河24	1778.56	长7	231.65	2.77	4.77
红河52	1867.72	长9	239.77	2.78	4.48
红河52	1770.26	长7	230.42	2.77	4.51
红河52	1860.04	长9	232.25	2.92	4.56
红河54	2092.20	长8	223.36	3.01	5.33
红河56	2107.12	长9	250.20	2.11	3.89
红河56	2107.42	长9	249.27	2.07	3.90
红河56	1815.83	长6	244.56	2.48	4.31
红河56	1822.36	长6	228.75	2.87	4.59
红河65	2279.84	长7	218.27	3.75	5.50
红河65	2321.69	长7	241.29	2.56	4.41
红河65	2252.95	长6	224.02	3.15	5.16

从实验结果可以看出,声波时差与岩石可钻性有较好的相关性,利用声波时差数据求取岩石可钻性级值是可行的。

2.2 地层可钻性计算模型

测井曲线中,纵波时差反映了地层的拉伸、压缩和强度特性,地层岩石的纵波时差与岩石可钻性级值 K_d 之间存在着某种内在的联系^[4-5]。利用测井资料可建立整个地层的可钻性剖面,给钻头选型提供科学的依据。

利用声波时差测井资料和岩心可钻性实验结果,建立了牙轮钻头和PDC钻头岩石可钻性计算模型。根据表1的数据,结合对应深度的声波时差数据,利用回归法得到了鄂尔多斯南部工区岩石可钻性级值的计算模型,见图4和图5。牙轮钻头岩石可钻性计算模型,见式(1),PDC钻头可钻性模型见式(2)。

$$K_d = 43.368e^{-0.01\Delta t} \quad (1)$$

$$K_d = 85.503e^{-0.015\Delta t} \quad (2)$$

式中: K_d ——地层可钻性级值,无量纲; Δt ——声波时差, $\mu\text{s}/\text{m}$ 。

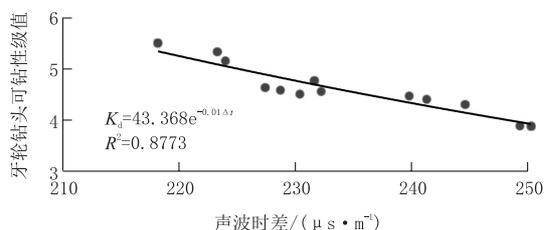


图 4 声波时差与牙轮钻头可钻性关系

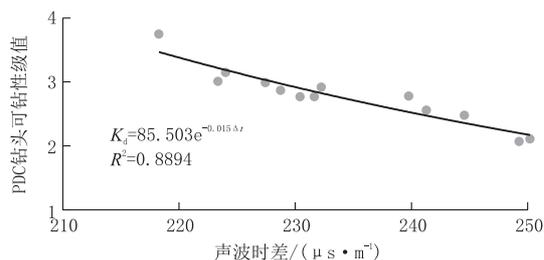


图 5 声波时差与 PDC 钻头可钻性关系

预测的可钻性级值和室内实验得到的可钻性级值的误差在 8% 以内,满足工程需要。利用上述岩石可钻性模型,结合测井资料建立了鄂尔多斯南部工区牙轮钻头和 PDC 钻头的岩石可钻性纵向剖面,见图 6~8。根据地层软硬程度与牙轮钻头可钻性级值的对应关系对各层位的软硬程度进行了划分,为钻头选型提供依据。

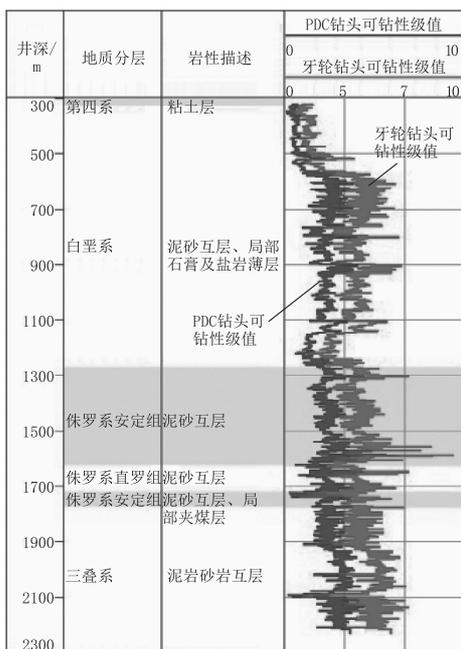


图 6 红河 12 井区可钻性剖面

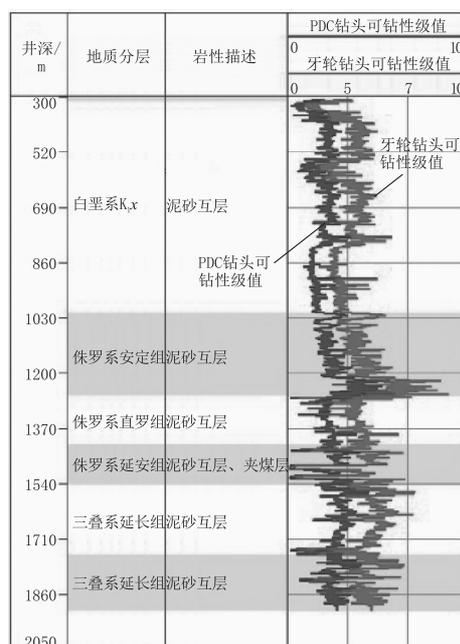


图 7 红河 36 井区可钻性剖面

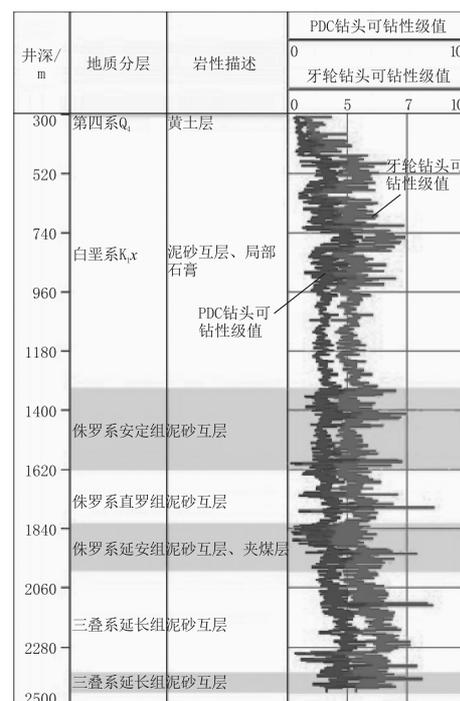


图 8 红河 37 井区可钻性剖面

3 钻头选型及应用效果

从岩石可钻性实验结果及声波实测计算得到的

可钻性剖面可以看出,红河油田上部地层可钻性较好,下部地层属于中到中硬地层。从前期钻井实践来看,因第四系地层含有砾石层,一开选用牙轮钻头,基本是一趟完钻,提速空间有限,钻头优化方向主要放在二开及三开井段,为了达到钻井提速的目的,重点优选 PDC 钻头。通过初步优选,选择了 6 种型号钻头,配合螺杆钻具,形成“螺杆钻具+PDC

钻头”复合钻井模式^[6-9],在红河12井区、红河36井区和37井区进行了实验,取得了较好的效果,单只钻头进尺较前期有明显提高,见表2。

表2 实验井钻头使用情况

井号	尺寸/mm	钻头型号	井段/m	进尺/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)	纯钻时间/h
HH36P7	241.3	M1952FC	940.74~1760.02	819.28	10.94	74.92
HH37P51	241.3	GD1905	327.30~995.08	667.78	18.01	37.08
HH31P2	241.3	M519	1906.00~2254.00	348.00	8.09	43.00
HH12P1	241.3	S5665	1684.00~2334.00	650.00	3.04	213.83
HH38P2	152.4	M1652C	2189.20~2946.00	756.80	15.24	49.67
HH12P70	152.4	EDM1616	2331.00~3161.00	830.00	10.71	77.50

根据钻头出井磨损情况,联合钻头厂家进一步优化,钻头的改进主要是短抛物线冠部和低密度布齿,大排屑槽平衡水力设计,进一步降低钻头锥面,优化后倒角设计,控制在10°~20°,增加攻击性。在试验过程中,逐步建立钻头数据库,优选出更适合地层的高效PDC钻头。通过多轮次钻头优化、优选,平均单只钻头进尺和机械钻速均有大幅提高,推广应用情况见表3。

表3 推广应用效果

井段	优化前			优化后			单只 钻头 最大 进尺/ m
	平均 钻头 用量/ 只	平均单 只钻头 进尺/ m	平均机 械钻速/ (m· h ⁻¹)	平均 钻头 用量/ 只	平均单 只钻头 进尺/ m	平均机 械钻速/ (m· h ⁻¹)	
二开直井段	3.81	342.11	13.75	1.27	1023.62	18.99	1916
二开定向段	3.93	138.46	3.35	2.44	221.31	4.53	650
三开水平段	4.20	235.71	4.11	2.10	471.43	7.74	1400
全井段	13.01	242.17	6.57	6.81	458.74	9.25	1778

有20余口水平井二开直井段、二开定向段及三开水平段一趟完钻,达到了钻井提速的目的。随着高效PDC钻头的推广应用,水平井钻井周期也大幅缩短,由原来的平均61.29d缩短到目前的44.74d。

4 结论与建议

(1)通过室内岩石可钻性实验取得的地层可钻性级值,反映了岩石可钻性与声波测井之间具有良

好的相关性,由此建立的指数模型适合于红河油田。

(2)红河油田上部地层可钻性级值3~4级,属于软地层,下部地层可钻性级值在4~6级,属于中硬地层,为了钻头优化设计、优选提供了可靠依据。

(3)基于地层可钻性级值,优选了高效PDC钻头,现场实验表明,平均单井钻头用量减少了47.66%,平均单只钻头进尺提高了89.43%,平均机械钻速提高了40.79%,钻井周期缩短了27.00%,达到了钻井提速的目的,取得了良好的应用效果。

参考文献:

- [1] 闫吉曾,罗懿.镇泾油田HH37P1水平井钻完井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012;37(7):31-34.
- [2] 闫铁,邢云龙,毕雪亮,等.基于层次分析方法的PDC钻头选型[J].科学技术与工程,2010,10(24):5995-5997.
- [3] 陈庭根,管志川.钻井工程理论与技术[M].山东东营:中国石油大学出版社,2000:25-46.
- [4] 吴超,刘建华,王磊,等.鄂尔多斯气井钻井岩石力学特征描述难点及对策[J].科学技术与工程,2016,16(9):46-50.
- [5] 魏山栋,孟英峰,石祥超,等.井底压力条件下岩石可钻性实验及仿真研究[J].科学技术与工程,2016,16(8):271-274.
- [6] 韩志勇.定向井设计与计算[M].山东东营:中国石油大学出版社,2007:118-135.
- [7] 李杉,云海涛.大庆海拉尔油田钻井提速难点与对策[J].石油钻探技术,2012,40(5):59-62.
- [8] 赵国顺,郭宝玉,蒋金宝.巴麦地区钻井难点分析与提速关键技术[J].石油钻探技术,2011,39(6):11-14.
- [9] 万长根,林于栋,彭汉标.塔河油田沙3区块水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2008,36(4):26-29.