

玉北地区深井快速钻井技术

易 浩¹,白彬珍²,赵志国³,李 平⁴

(1. 中国石化西北油田分公司工程技术研究院,新疆乌鲁木齐 830011;2. 中国石化石油工程技术研究院,北京 100101;3. 中国石化西北油田分公司工程技术处,新疆乌鲁木齐 830011;4. 中国石化西北油田分公司科技与外事处,新疆乌鲁木齐 830011)

摘 要:玉北地区是中国石化西部地区的重点勘探开发区域,玉北 1 井在奥陶系鹰山组地层钻遇良好油气显示,但该地区古近系膏岩层易蠕变缩径、二叠系火成岩地层易垮塌掉块、古生界地层可钻性差,导致钻井过程中复杂情况多、机械钻速低、钻井周期长。为此,通过处理分析测井资料和岩心三轴应力测试数据,建立了玉北地区地层压力剖面 and 地层可钻性剖面。利用地层压力剖面对井身结构进行了优化,利用地层可钻性剖面优选了钻头,利用优选出的 PDC 钻头与螺杆钻具配合进行了复合钻井试验。根据不同地层的特性和失稳机理,优选出了强抑制性聚磺钻井液和强抑制非渗透钻井液 2 种防塌钻井液。钻井实践表明,采用优化后的井身结构,利用优选出的 PDC 钻头与螺杆钻具配合进行复合钻井,使用优选出的防塌钻井液,钻井过程顺利,没有出现缩径、阻卡和垮塌掉块等复杂情况,平均机械钻速提高了 22.6%~28.6%,单井钻井周期缩短了 47.00~90.78 d。

关键词:快速钻井 PDC 钻头 螺杆钻具 防塌钻井液 玉北地区
中图分类号:TE245 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)06-0027-04

Faster Drilling Technology in Yubei Area

Yi Hao¹,Bai Binzhen²,Zhao Zhiguo³,Li Ping⁴

(1. Research Institute of Petroleum Engineering ,Sinopec Northwest Oilfield Branch ,Urumqi ,Xinjiang,830011,China;2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering ,Beijing,100101,China;3. Engineering Technology Department of Sinopec Northwest Branch ,Urumqi ,Xinjiang,830011,China;4. Technology and Foreign Affairs Department of Sinopec Northwest Branch ,Urumqi ,Xinjiang,830011,China)

Abstract: Yubei is an important exploration and development area of Sinopec western regions. Well Yubei 1 has good oil and gas show in Ordovician Yingshan formation. While due to the creep and shrinking in Paleogene gypsum formation, collapse in Permian Igneous rocks and poor rock drillability in Paleozoic formation,a lot of drilling problems occurred,such as low penetration rate and long drilling time. Therefore,research and practice to increase drilling rate were conducted. Formation pressure profile and rock drillability were established. By optimizing casing program,bit and associated technology,the fast drilling technologies suitable for Yubei Area were formed. The application shows that the rate of penetration was increased by 22.6%—28.6%,and drilling cycle time was reduced by 47—90.78 days.

Key words: faster drilling;PDC bit;screw drill tool;anti-sloughing drilling fluid;Yubei Area

玉北地区位于塔里木盆地塔克拉玛干沙漠西南边缘,属于麦盖提斜坡构造带,是中国石化西部地区的重点勘探开发区域。由于该地区古近系膏岩层易蠕变缩径、二叠系火成岩地层易垮塌掉块、奥陶系灰岩地层易漏,导致钻井周期长、机械钻速低、复杂情况多。为了缩短钻井周期,加快勘探开发进程,中国石化西北油田分公司开展了快速钻井技术研究与应用实践,初步形成了玉北地区深井快速钻井配套技术,实现了钻井提速目标,达到了高效勘探开发的目的。

1 钻井技术难点

玉北地区普遍缺失中生代地层,由上至下主要

收稿日期:2011-08-24;改回日期:2011-11-11。

作者简介:易浩(1980—),男,湖南岳阳人,2002年毕业于西南石油学院石油工程专业,2005年获西南石油学院油气井工程专业硕士学位,工程师,主要从事钻井及相关科研工作。

联系方式:(0991)3161178,zjsyihao@126.com。

钻遇的地层有:成岩性差的第四系、新近系,膏泥岩发育的古近系,地层压力和坍塌压力较高的二叠系、石炭系和地层压力较低的奥陶系。钻井过程中存在的主要问题有:

- 1) 古近系地层泥膏岩发育,在钻井过程中石膏溶解侵入钻井液,使钻井液性能变差,而且石膏溶解后附近岩层的支撑遭到破坏,导致井壁失稳、掉块、垮塌。古近系地层的含膏泥岩层段易水化膨胀引起井眼缩径。因此,在钻遇该地层时常常发生扭矩增大、阻卡等复杂情况。
- 2) 钻进古近系地层的泥膏岩及含膏泥岩层段时,需要采用高密度钻井液,而采用高密度钻井液上部低压力地层存在压差卡钻的风险。
- 3) 古近系与二叠系沙井子组地层之间为不整合面,奥陶系灰岩地层裂缝、溶洞发育,易发生井漏。
- 4) 二叠系火成岩地层在钻井过程中易发生井壁坍塌、掉块,造成阻卡,甚至发生卡钻故障。
- 5) 古生界地层井段长,岩性差异大、部分井段岩石抗压强度 100~245 MPa,属中硬—硬地层,研磨性强(内摩擦角>42°)、可钻性差(可钻性级值 6~7),从而导致机械钻速低、钻井周期长。

2 快速钻井技术

2.1 井身结构优化

针对玉北地区井深及地质条件复杂的特点,综合考虑安全、快速、物资装备等因素,通过处理分析完钻井资料、测录井资料,利用钻井工程测井资料分析软件对完钻井的测井资料进行了分析计算,建立

了该地区的地层压力剖面(见表 1),为井身结构优化设计提供了科学依据^[1]。

表 1 玉北地区地层压力当量密度

Table 1 Equivalent density of formation pressure in Yubei Area

地层	地层压力当量 密度/kg·L ⁻¹	破裂压力当量 密度/kg·L ⁻¹
Q	1.10~1.15	1.80~1.87
N-E	1.15~1.25	1.80~2.10
P	1.20~1.30	1.80~2.10
C ₂ x	1.35~1.40	1.84~2.10
C ₁ kl-C ₁ b	1.20~1.30	1.84~2.10
O ₁₋₂ y	1.03~1.06	1.70~1.90

玉北地区奥陶系以上地层无异常压力体系存在,属于正常压力体系,而目的层奥陶系属于异常压力体系,借鉴塔河油田钻井实践经验^[2-5],对井身结构进行优化。优化后的井身结构为:一开,φ444.5 mm 钻头×1 500 m,φ339.7 mm 套管×1 498 m,φ339.7 mm 套管封隔第四系与新近系上部欠压实地层;二开,φ311.1 mm 钻头×4 000 m,φ244.5 mm+φ250.8 mm 技术套管×3 998 m,φ250.8 mm 厚壁套管封隔古近系地层;三开,φ215.9 mm 钻头×6 000 m,φ177.8 mm 尾管×5 998 m,φ177.8 mm 尾管下至石炭系底部;四开,φ149.2 mm 钻头×6 200 m,采用裸眼完井。

2.2 钻头优选

通过分析玉北 1 井测井资料及岩石三轴应力测试数据,利用 GMI 软件分析计算岩石力学特性参数,建立了地层岩石力学特性剖面,并进行了钻头优选^[6-8]。玉北地区岩石力学特性参数及推荐的钻头类型见表 2。

表 2 玉北地区岩石力学特性参数及推荐的钻头类型

Table 2 Mechanical parameters of rock and recommended bit type in Yubei Area

地层		抗压强度/MPa	硬度/MPa	内摩擦角/(°)	可钻性级值	钻头直径/mm	推荐钻头类型
新近系	N ₂ a	25~35	400~700	28~30	3~4	444.5	牙轮
	N ₁ p	25~56	400~700	28~30	3~4	311.1	
	N ₁ a	35~80	400~800	28~30	3~5	311.1	PDC
	N ₁ k	50~132	800~1 300	30~35	3~5	311.1	
古近系	E	50~175	800~2 500	35~48	4~7	311.1	PDC
二叠系	P ₃ s	35~105	400~1 300	34~41	3~5	215.9	PDC
	P ₂ kp	50~245	800~2 400	38~47	5~7	215.9	牙轮
	P ₁ kk	25~70	400~1 200	34~40	3~5	215.9	
	P ₁ n	30~245	700~1 800	38~42	5~6	215.9	PDC
石炭系	C ₂ x	50~210	700~1 800	38~42	5~6	215.9	
	C ₁ kl	50~210	700~1 600	35~41	5~7	215.9	PDC
	C ₁ b	80~245	1 600~2 200	41~45	6~7	215.9	
奥陶系	O ₁₋₂ y	210~245	2 200~2 500	44~45	6~7	149.2	PDC

2.3 “PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井试验

“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井与常规转盘钻井相比,具有钻速快、钻头寿命长、井眼轨迹容易控制、下部钻具组合相对简单、井下故障少等优点^[9-11]。玉北地区除古近系膏岩层、二叠系火成岩等不稳定地层选择转盘钻进方式外,其他地层只要循环条件满足,应尽可能采用“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻进方式,以发挥其特有的优势。该技术在玉北 1-1 井、玉北 1-2 井和玉北 3 井等进行了试验应用,均取得了明显的提速效果。

玉北 1-2 井新近系安居安组及以上地层采用 GS605F 型 PDC 钻头配合螺杆钻具进行复合钻进,平均机械钻速 25.46 m/h,较玉北 1 井相同地层提高 79.0%。玉北 3 井和玉北 1-2 井二叠系沙井子组地层采用 PDC 钻头配合螺杆钻具进行复合钻进,平均机械钻速分别为 3.16 和 2.56 m/h,相比玉北 1 井相同地层提高 16.0%~30.7%。玉北 3 井和玉北 1-2 井二叠系南闸组、石炭系小海子组和卡拉沙依组地层采用 PDC 钻头配合螺杆钻具进行复合钻进,平均机械钻速分别为 2.36 和 1.93 m/h,相比玉北 1 井相同地层提高 98.9%~138.0%。

3 钻井液防塌技术

玉北地区古近系地层以泥膏岩和石膏为主,由于石膏蠕动、泥岩水化膨胀缩径造成钻井过程中阻卡严重。二叠系开派兹雷克组地层以玄武岩为主,微裂缝发育,钻井过程中易垮塌掉块,造成卡钻故障。针对不同地层特点,从力学和化学两方面考虑,优选出了适合于古近系地层的强抑制性聚磺钻井液和适合于二叠系玄武岩地层的强抑制性非渗透钻井液^[12-13]。

3.1 强抑制性聚磺钻井液体系

基本配方为 3.0%~4.0% 膨润土+0.1%~0.2% 烧碱+0.1%~0.2% 纯碱+0.2%~0.4% 聚丙烯酸钾+5.0%~8.0% KCl+2.0%~3.0% 聚合醇防塌剂+2.0%~3.0% 沥青防塌剂+1.0%~1.5% 低黏羧甲基纤维素+3.0%~5.0% 磺化酚醛树脂+1.0%~2.0% 褐煤树脂+1.0%~2.0% 乳化石蜡+1.0%~2.0% 有机硅醇抑制剂。密度控制在 1.71~1.74 kg/L,以抑制膏岩蠕动。同时增大抗盐降滤失剂加量,维护钻井液性能,降低石膏和盐水对钻井液性能的影响程度,控制 API 滤失量小于 6 mL,高温高压滤失量小于 15 mL。加入 KCl 和聚合物包

被剂,防止钻屑水化分散,增强钻井液的抑制性,防止泥岩水化引起的掉块和缩径。玉北 1-1 井和玉北 1-2 井在钻进古近系地层时使用了强抑制聚磺钻井液,钻进比较顺畅,钻井时间相比玉北 1 井缩短一半。

3.2 强抑制性非渗透钻井液体系

基本配方为 2.5%~3.5% 膨润土+0.1%~0.2% 烧碱+0.1%~0.2% 纯碱+5.0%~8.0% KCl+2.0%~3.0% 聚合醇防塌剂+2.0%~3.0% 沥青防塌剂+1.0%~1.5% 低黏羧甲基纤维素+2.0%~3.0% 磺化酚醛树脂+1.0%~2.0% 褐煤树脂+1.0%~2.0% 有机硅醇抑制剂+1.0%~1.5% 有机硅腐植酸钾+0.5%~1.0% 润滑剂。密度控制在 1.40~1.45 kg/L,使用软化点与地层温度相匹配的沥青封堵微裂缝,并加入磺化材料提高钻井液的抗温性,保障钻井液性能稳定。加入超细碳酸钙及无侵入非渗透材料改善泥饼质量,控制 API 滤失量小于 4 mL,高温高压滤失量小于 12 mL,使钻井液具有良好的防塌性、抑制性和润滑性。从三开平均井径扩大率看,玉北 1-1 井、玉北 1-2 井和玉北 3 井的井径扩大率分别为 11.3%、8.9% 和 12.4%,相比玉北 1 井(21.9%)明显减小。玉北 1-2 井和玉北 3 井三开安全钻进无事故。

4 存在的问题

玉北地区通过开展井身结构优化、钻头优选、“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井技术和钻井液防塌技术等快速钻井配套技术攻关及实践,取得了较好的提速效果,玉北 3 井、玉北 1-1 井和玉北 1-2 井等全井机械钻速与玉北 1 相比,提高 22.6%~28.6%,钻井周期缩短 47.00~90.78 d。但从实钻情况来看,钻井新问题也逐渐出现,主要表现在以下方面:

1) 古近系膏岩层蠕变应力不同区域差异大。东部的玉北 1 井、玉北 3 井和玉北 1-1 井、玉北 1-2 井钻井液密度要提高至 1.72 kg/L 才能抑制膏岩层蠕动;西部的玉北 4 井采用密度 1.68 kg/L 的钻井液才能安全钻穿古近系地层;皮山北 2 井以密度 1.55 kg/L 的钻井液安全钻穿古近系地层,后因膏岩层蠕变缩径将钻井液密度提高至 1.62 kg/L。

2) 二叠系库普库兹满组出现辉绿岩地层。玉北 4 井在二叠系库普库兹满组 4 858.00~4 892.00 m 井段遇辉绿岩。该井采用涡轮钻具钻进该地层过程中掉块明显增多,且扭矩不稳,有憋泵现象,换用牙轮钻头钻穿该地层的,后继续使用涡轮钻具钻进,

但因硬脆性辉绿岩剥落垮塌造成卡钻。

3) 古近系与二叠系交界面地层漏失问题突出。从实钻情况看,玉北地区目前已有6口井完成二开,其中5口井在二开钻进或中完作业过程中发生漏失。玉北3井和玉北1-2井二开采用单级固井,替浆时发生井漏;玉北1-1井二开采用双级固井, $\phi 244.5$ mm套管下到位循环时发生井漏;玉北4井采用密度1.68 kg/L的钻井液钻至井深3 765.69(古近系地层底)及3 817.53 m(沙井子组)时发生井漏,逐步将钻井液密度降至1.50 kg/L,堵漏后完成固井作业;皮山北2井二开套管下至井深3 150.00 m时发生井漏,将钻井液密度降至1.50 kg/L,堵漏后完成固井作业。

4) 奥陶系地层易发生井斜。部分区域奥陶系地层存在断层或地层倾角偏大情况,在钻井过程中井斜角增加较快,影响到井身质量,玉北1-2井四开最大井斜角达18.48°(井深5 429.00 m)。

5 结论与建议

1) 通过采用井身结构优化、钻头优选和应用“PDC钻头+螺杆钻具”复合钻井技术等深井配套快速钻井技术,玉北地区深井钻井速度得到提高,钻井周期得以缩短。但还应进一步加强钻头与井下动力钻具配套的研究,以提高深部地层的机械钻速。

2) 井壁稳定是玉北地区应用“PDC钻头+螺杆钻具”复合钻井的前提,良好的钻井液性能是在该地区推广应用“PDC钻头+螺杆钻具”复合钻井技术的关键。实践证明,优选出的强抑制性聚磺钻井液和强抑制性非渗透钻井液可以满足井壁稳定的需要。

3) 目前玉北地区勘探开发程度较低,对地层特性认识不足,对地层分布规律掌握不准确,探井钻井过程中极易发生突发情况,钻井风险大。需针对古近系膏岩层蠕变、古近系与二叠系地层交界面漏失及奥陶系地层易井斜等问题进行技术攻关。

参考文献

References

[1] 王永清,陈志学,于文华,等.青西油田地层压力预测技术的研究与应用[J].石油钻探技术,2005,33(4):29-31.
Wang Yongqing, Chen Zhixue, Yu Wenhua, et al. Research and application of formation pressure technology in the Qingxi Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005, 33(4): 29-31.

[2] 卫怀忠.西部地区深井井身结构设计技术探讨[J].石油钻探技术,2006,34(2):29-31.
Wei Huaizhong. Discussions on casing program design technology in Western China[J]. Petroleum Drilling Techniques,

2006, 34(2): 29-31.

[3] 高养林,陈天成,姜春堂,等.西部地区深井优快钻井技术初探[J].石油钻探技术,2006,30(4):29-31.
Gao Yanglin, Chen Tiancheng, Jiang Chuntang, et al. Discussions on high-quality, faster drilling techniques for deep wells in West China Districts[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 30(4): 29-31.

[4] 李梦刚,楚广川,张涛,等.塔河油田优快钻井技术实践与认识[J].石油钻探技术,2008,36(4):18-21.
Li Menggang, Chu Guangchuan, Zhang Tao, et al. Application of optimum drilling techniques in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4): 18-21.

[5] 王成岭,李作宾,蒋金宝,等.塔河油田12区超深井快速钻井技术[J].石油钻探技术,2010,38(3):17-21.
Wang Chengling, Li Zuobin, Jiang Jinbao, et al. Fast drilling technology on ultra-deep wells in Block-12, Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(3): 17-21.

[6] 梁启明,邹德永,张华卫,等.利用测井资料综合预测岩石可钻性的试验研究[J].石油钻探技术,2006,31(1):17-19.
Liang Qiming, Zou Deyong, Zhang Huawei, et al. Predicting rock drillability by well logging: an experimental research[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 31(1): 17-19.

[7] 张召平,苏新亮,葛洪魁.利用岩石三轴抗压强度优选PDC钻头[J].石油大学学报:自然科学版,2005,29(6):38-40.
Zhang Zhaoping, Su Xinliang, Ge Hongkui. Selection of polycrystalline diamond compact bits based on triaxial compressive strength of rock[J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 2005, 29(6): 38-40.

[8] 周后俊,周思柱,华剑.基于岩性识别的PDC钻头选型研究[J].石油天然气学报,2009,31(3):336-338.
Zhou Houjun, Zhou Sizhu, Hua Jian. Study of PDC bit selection based on lithologic identification[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(3): 336-338.

[9] 高航献,瞿佳,曾鹏辉.元坝地区钻井提速探索与实践[J].石油钻探技术,2010,38(4):26-29.
Gao Hangxian, Qu Jia, Zeng Penghui. Research and practice to improve drilling speed in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 26-29.

[10] 蒋祖军,肖国益,李群生.川西深井提高钻井速度配套技术[J].石油钻探技术,2010,38(4):30-34.
Jiang Zujun, Xiao Guoyi, Li Qunsheng. Technology to increase deep well drilling speed in Western Sichuan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 30-34.

[11] 董明键,肖新磊,边培明.复合钻井技术在元坝地区陆相地层中的应用[J].石油钻探技术,2010,38(4):38-40.
Dong Mingjian, Xiao Xinlei, Bian Peiming. Application of compound drilling technology in terrestrial formation in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 38-40.

[12] 王建.适用于深井钻井的KCl/聚磺水基钻井液体系研究[J].重庆科技学院学报:自然科学版,2010,12(5):88-91.
Wang Jian. Research on KCl/Polysulfonate water-based drilling fluid system in deep well drilling[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2010, 12(5): 88-91.

[13] 邱正松,韩祝国,徐加放,等.KCl/聚合醇协同防塌作用机理研究[J].钻井液与完井液,2006,23(2):1-3.
Qiu Zhengsong, Han Zhuguo, Xu Jiafang, et al. The inhibition mechanism of the cooperative KCl/polyglycol[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2006, 23(2): 1-3.