

元坝地区钻井提速探索与实践

高航献 瞿 佳 曾鹏晖

(中国石化 勘探南方分公司,四川 成都 610041)

摘 要:元坝地区是中国石化天然气增储上产的重点区域,但该地区钻井存在一些技术难点,导致钻井施工风险很大:地层研磨性强,可钻性差;地下断层、裂缝、溶洞发育,井漏频繁,稳定性差;存在多套压力体系、安全窗口窄。这一直制约着该地区钻井速度的提高。为此,勘探南方分公司开展了钻井提速提效技术攻关与实践,采取了井身结构优化、空气钻井、欠平衡钻井等技术措施,并应用了高速涡轮、扭力冲击发生器、孕镶金刚石钻头等新工具和新工艺,平均机械钻速提高 1 倍以上,钻井周期缩短 15%。为进一步提高元坝地区的钻井速度,提出了完善已有提速技术,研制或优选与之配套的钻井设备和工具的建议。

关键词:机械钻速; 气体钻井; 欠平衡钻井; 井身结构; 涡轮钻具; 全刚钻头; 元坝地区

中图分类号:TE24 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2010)04-0026-04

Research and Practice to Improve Drilling Speed in Yuanba Area

Gao Hangxian Qu Jia Zeng Penghui

(Branch of Southern Exploration Company, Sinopec, Chengdu, Sichuan, 610041, China)

Abstract: Yuanba is an important area to increase natural gas reserves for Sinopec. The formation has strong abrasion and poor drillability. Faults, fractures and cavities are rich resulting in circulation lost and wellbore instability problems during drilling. The formation pressure and fracture pressure are close which makes it hard to choose proper mud density, therefore it causes difficulties and risks in drilling. All above factors restraint the rate of penetration. According to the geological features and drilling difficulties, the casing structure, air drilling, UBD technique, high speed turbine, torsion and percussion generator and inserted diamond bit, etc are analyzed. In order to increase the ROP in Yuanba area, improvement for current drilling technology, research and optimization of drilling tools were provided.

Key words: penetration rate; gas drilling; underbalance drilling; casing program; turbine tool; diamond bit; Yuanba Area

空气钻井及欠平衡钻井技术,普遍认为是提高机械钻速的有效措施^[1-8];高速涡轮与孕镶金刚石钻头组合,因其转速高、寿命长,故能有效提高钻速^[4,9-11];扭力冲击发生器能改善 PDC 钻头在井底的工作环境,从而将钻头效益最大化,因此亦能提高钻井速度;优化井身结构和完井方案,可以减少井下复杂情况或故障,提高进尺及工作时效,加快钻井进度。元坝地区的现场实践表明,综合利用这些技术,平均机械钻速提高 1 倍以上,钻井周期缩短 15% 左右。

1 地质特点及钻井技术难点

1.1 地质特点

元坝地区钻遇地层自上而下为:白垩系的剑门

收稿日期:2010-06-01;改回日期:2010-06-12

作者简介:高航献(1972—),男,河南南阳人,1996 年毕业于中国石油大学(华东)应用化学专业,高级工程师,主要从事石油钻井技术及管理工作。

联系方式:(0817)6224052, gaohangxian@vip.163.com

关组,侏罗系的蓬莱镇组、遂宁组、沙溪庙组、千佛崖组、自流井组,三叠系的须家河组、雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组,二叠系的长兴组、吴家坪组、茅口组、栖霞组。其中二叠系须家河组—白垩系剑门关组地层为陆相沉积,岩性以砂、泥质岩性为主,总厚度约 4 900.00 m;二叠系雷口坡组及以下地层为海相沉积,岩性以碳酸盐岩为主。钻探实践表明,该地区存在多套压力系,且相差悬殊,最高的地层压力系数达到 2.13,最低的地层压力系数低于 1.25;井底温度高,该地区井深一般为 6 800.00~7 200.00 m,井底温度 155~165 ℃。

1.2 钻井技术难点

1.2.1 相差悬殊的多套压力系统共存

从元坝地区实钻情况来看,纵向压力分布为常压—高压—常压。

1) 千佛崖组及其以上地层为常压地层,千佛崖组及部分下沙溪庙组地层有气层。

2) 自流井—须家河组地层中有高压低渗裂缝性气藏,地层压力当量密度窗口窄,漏、涌时有同层,井下复杂问题多。

3) 嘉陵江组地层目前未钻遇较好气层,但部分井钻遇高压盐水层。飞仙关组和长兴组地层同为一个常压压力系统,以溶孔性气层为主,且可钻性好。

4) 雷口坡组、茅口组和栖霞组地层有局部存在高压气层的可能。

1.2.2 复杂地层分布

由实钻资料得知,元坝地区地质剖面上复杂地层较多,剑门关组地层多存在裂缝性漏层,个别井上部有微出水层,海相盐膏层不会对钻井工作造成较大影响,在嘉陵江组地层多井钻遇高压盐水层,对钻井速度造成了一定影响,但影响该地区钻井速度的复杂地层主要有:

1) 上沙溪庙组地层上部的微出水层,其承压不高,钻井液密度超过 1.90 kg/L 时易漏。

2) 上沙溪庙组地层底部存在垮塌层,空气钻井难以实施。

3) 自流井组—须家河组复杂地层有 3 个特点:a. 油气藏多为裂缝性气藏,具有高压低渗的特点,压力窗口窄,压井时易出现喷、漏同存;b. 自流井组与须家河组地层的砂砾岩层可钻性极差,机械钻速低、易发生井下故障;c. 泥岩段不稳定,易出现掉块卡钻。

1.2.3 地层岩性研磨性强,可钻性差

统计表明,元坝地区地层可钻性级别在 5~8 级之间,陆相砂岩地层多为硅质胶结,岩性致密,硬度大,研磨性强,可钻性极差^[12-14]。尽管上部大尺寸井眼应用了气体钻井技术钻进,海相地层应用了复合钻进技术,但元坝 3 井、元坝 5 井全井平均机械钻速均不到 1.40 m/h。虽然最高的元坝 12 井机械钻速达到 2.13 m/h,但平均机械钻速总体上还是偏低。

1.2.4 井下复杂情况及故障频发

元坝地区井下复杂情况与故障频发,在完成井中,平均井下复杂情况和故障时效高达 11.02%。该地区的井下复杂情况和故障主要分为以下几类:

钻具与钻头故障 空气钻井过程中易发生卡钻和断钻具故障,钻进须家河组地层时易发生钻头与卡钻故障。统计显示,该类故障累计损失时间占该地区故障总时间的 57.69%。

溢流、井漏 由于地层压力分布规律性差,溢流、井漏频繁发生,不仅损失了大量的施工时间、还损失了大量钻井液,造成了巨大经济损失。

转换为钻井液钻井时的复杂情况 气体钻井转换钻井液钻井后,钻进自流井组—须家河组地层时,易出现井下复杂情况。

固井复杂情况与故障 该地区的地层承压能力难以准确掌握,井温高,固井施工难度大,在固井时易发生漏失,固井返速度低,固井质量差,固井复杂情况频发。

2 提速技术应用与实践

自 2009 年 7 月提速活动开展以后,为提高钻井速度,进一步完善了原有的井身结构优化、气体钻井、欠平衡钻井、海相地层复合钻井等比较适应于南方海相勘探的钻井技术,并引进应用了“涡轮钻具+孕镶金刚石钻头”、高效螺杆、扭力发生器、超深井定向工艺、超深井钻井液工艺等新工具、新工艺、新技术,取得了较好的提速效果,平均机械钻速由提速前的 1.00 m/h 提高到 2.22 m/h,钻井周期由提速前的 464.11 d 缩短为 400.70 d。

2.1 优化井身结构

元坝地区的井普遍较深,钻探茅口组地层的井井深已接近 7 500 m,区域压力系统也十分复杂。目前,元坝地区主要采用的是已经成熟的特殊井身结构,

五段制井身结构,其套管程序为 $\phi 508.0$ mm 套管+ $\phi 339.7$ mm 套管+ $\phi 273.1$ mm 套管+ $\phi 193.7$ mm 套管+ $\phi 146.1$ mm 套管。该井身结构套管增加到5层,大尺寸井眼段长度缩短,四开井眼尺寸增大,钻井速度有所加快;技术套管封固段加长、安全钻井程度提高;井眼与套管间隙趋于合理,固井质量有了保证;套管设计“留有余地”,处理井下复杂情况能力得到提升;适合压力体系相对复杂的超深井施工。

另外,根据实钻情况,还可采用新型六段制井身结构以满足元坝复杂井的钻探施工,其套管程序为 $\phi 508.0$ mm 套管+ $\phi 406.4$ mm 套管+ $\phi 298.5$ mm 套管+ $\phi 219.1$ mm 套管+ $\phi 168.3$ mm 套管+ $\phi 120.7$ mm 套管。该井身结构比特殊井身结构多了一个套管层次,适合于特别复杂地区,且合理尺寸钻头钻进井段长,有利于提高钻井速度。元坝22井采用了该六段制井身结构。

2.2 应用优快钻井技术

2.2.1 $\phi 660.4$ 和 $\phi 444.5$ mm 井眼完善气体钻井和泡沫钻井技术

元坝地区陆相地层可钻性差, $\phi 660.4$ mm 井眼常规钻井机械钻速不到1.00 m/h,该尺寸井眼采用气体钻井、泡沫钻井后,与常规钻井液钻井相比平均机械钻速有了大幅度提高,常规钻井机械钻速只有0.81 m/h,气体钻井/泡沫钻井机械钻速达到3.69 m/h。

$\phi 444.5$ mm 井眼应用气体钻井技术钻至井深3200 m左右,通过优选钻头,使用HJT537GK或GP536D钻头,优化钻井参数,平均机械钻速由8.51 m/h提高至8.61 m/h。

2.2.2 优选钻头

根据已钻井的测井资料和室内试验建立了元坝地区的岩石可钻性剖面,为钻头选型提供了理论依据^[15-16],川东北地区钻头选型总结概括为:上部陆相地层中的砂岩及砂砾岩层以选择和使用高效牙轮钻头为主,尽量不使用金刚石钻头,但在大段泥岩段可以使用PDC钻头。须家河组地层常规钻井时主要选用江汉产的537或617系列钻头。雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组及以下海相地层多为较均质的泥岩、灰岩和白云岩,应选择和使用PDC钻头。海相地层的长兴组—栖霞组地层,应以选择和使用牙轮钻头为主。

2.2.3 液体欠平衡钻井技术

2008年,勘探南方分公司首先在元坝12井须家河组地层进行了欠平衡钻井的先导性试验,取得了较好效果,之后元坝22井、元坝11井又在须家河组地层实施了欠平衡钻井。目前,欠平衡钻井技术在元坝地区已成为钻进须家河组地层的一项可行技术。元坝12井须家河组井段应用了液体欠平衡钻井技术,钻进井段4192.00~4611.73 m,进尺419.73 m,机械钻速1.39 m/h,与元坝1井须家河组地层机械钻速(0.75 m/h)相比,提高了84%。

2.2.4 扭力发生器(TorkBuster)钻井

TorkBuster将钻井液的能量转换成扭向的、高频的、均匀稳定的冲击能量直接传递给PDC钻头,消除了井下钻头运动时可能出现的一种或多种振动现象,使其破岩方式以冲击破碎为主,旋转剪切破岩为辅,在保证井身质量的同时提高了机械钻速。

元坝10井在3233.30~3455.00 m井段进行了“扭力发生器+PDC钻头”钻井试验,进尺221.70 m,纯钻时间60.50 h,平均机械钻速3.66 m/h,比常规钻井提高2~3倍。

2.2.5 涡轮+孕镶金刚石钻头

涡轮钻具能量利用率高、性能好、转速高(可达1444 r/min)、工作平稳,从而可减少因为井下振动引起的钻头碎齿、胎体断裂、掉齿等问题,延长钻头寿命;涡轮钻具设计加工精细,没有橡胶件,可在井下工作400~1000 h^[9-11]。孕镶金刚石钻头的优点是金刚石镶进钻头本体内,将金刚石退化度到最小、交叠设计保证钻头与井底全接触,金刚石耐磨性高,适合高转速,比较适用于研磨性强的须家河组地层。因此,在深层、不均质地层应用研磨强的“涡轮+孕镶金刚石钻头组合”具有显著优势。

元坝123井使用Smith孕镶金刚石钻头(型号K705)加高速涡轮(型号T2 MK1 MK1直涡轮钻具)进行复合钻进,使用“涡轮+孕镶金刚石钻头”前单只钻头进尺仅为44.96 m,使后达到153.52 m;使用前单只钻头纯钻时间72.74 h,使用后90.75 h;使用前平均机械钻速0.57 m/h,使用后达到1.69 m/h。

2.3 钻井液技术

1) 良好的携岩与冲洗能力 为了保证携带钻屑所需的最低返速,要求有足够的钻井液排量。水力清除井底岩屑的能力降低时,会因岩屑不能及时

清除而导致重复破碎,甚至出现钻头泥包现象,致使机械钻速下降。

2) 控制钻井液密度 控制钻井液密度是实现平衡压力钻井和保护油气层的关键。在钻井过程中,根据随钻检测到的地层压力,合理选择钻井液密度。

3) 控制钻井液滤失量 通过认真分析井眼情况、起下钻遇阻等情况综合控制钻井液滤失量。一般第四系地层钻速快、周期短,钻井液的滤失量应控制在 10~13 mL。对于上第三系大套高渗透砂岩地层适当控制钻井液的滤失量并减小压差,防止形成滤饼卡钻。对于二叠系水敏性泥岩地层应选择滤失量低的钻井液。在揭开油气层前要调整钻井液性能,降低钻井液的滤失量,以减小滤液对油气层的损害。

4) 控制流变参数 合理控制流变参数是保证井眼清洁、发挥水力破岩和提高钻速的关键因素。在施工中要合理调整钻井液的塑性黏度(PV)和动切力(YP),控制其动塑比为 1, $n=0.3\sim 0.6$, $K=0.5\sim 1.0\text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, 使钻井液具有良好的造壁性,又不冲刷井眼。

5) 控制固相 配备网眼直径小的振动筛网,提高固相控制的效率。通过科学地选择合适的筛网网眼直径、合理使用固控设备、分析固相含量,把钻井液有害固相含量降到 6%,大大降低了摩阻和钻井成本,确保钻井液性能稳定。

2.4 固井技术方案

1) 优化井身结构,确保合理的套管与井眼间隙,为井身质量控制和固井作业创造尽量好的条件。

2) 在生产层推广应用防窜胶乳水泥浆体系;在承压薄弱井段使用低密度/超低密度水泥浆体系。

3) 重视井眼准备工作,固井前调整钻井液性能,做好通井与承压工作,为固井创造好的施工条件。

4) 细化、优化施工工艺,通过采取加大隔离液量、增加接触时间、优化施工排量、提高顶替效率、平衡压力固井等技术措施来提高固井质量。

3 结论与建议

1) 优化后的井身结构延长了气体钻进井段,有利于提高钻速,同时增强了应对异常情况的能力。但为保障固井质量,还有必要进一步优化井身结构。

2) 元坝地区井深 3 200 m 以浅井段采用空气钻井或泡沫钻井,自流井组地层以上采用低密度钻井液欠平衡钻井方式是可行的,可以达到提速的效

果。由于自流井组地层局部不稳定,控压钻井受坍塌掉块的局限,使用受到限制。

3) “孕镶金刚石钻头+高速涡轮”钻井方式能够大幅提高钻井速度,有望成为二开自流井组、须家河组地层钻井提速的重要手段。但使用涡轮钻具时泵压太高,不但增加了设备负担而且增大了钻井风险。

4) 扭力发生器与 PDC 钻头配合使用,能改善钻头的工作环境、延长钻头使用寿命、提高机械钻速,建议在陆相地层泥岩段优选或研制合适的 PDC 钻头与之配合,以进一步提高钻速;并建议将该技术应用到海相地层,给海相提速带来新的突破。

5) 中完、完井作业时间长,严重制约了提速效果,建议深入研究完井方式和固井技术。

6) 为进一步缩短建井周期,建议采用随钻测井技术,来降低复杂时效、缩短钻后测井时间,加快钻井施工进度。

参 考 文 献

- [1] 陈济峰,燕修良,高航献.川东北地区气体钻井技术实践与认识[J].石油钻探技术,2009,37(4):39-42.
- [2] 孙起昱,张雨生,王爱芳.空气锤在普光气田气体钻井中的应用[J].石油钻探技术,2009,37(4):68-72.
- [3] 黄松伟.普光气田空气钻井取心技术[J].石油钻探技术,2009,37(3):110-113.
- [4] 李伟廷.元坝 1 井超深井钻井技术[J].石油钻探技术,2009,37(2):94-99.
- [5] 邹海洋,狄勤丰,姚建林,等.气体钻井钻柱失效机理分析[J].石油钻探技术,2008,36(3):55-58.
- [6] 李玉飞,孟英峰,聂政远,等.空气钻井提高钻速机理研究[J].石油钻探技术,2006,34(4):9-11.
- [7] 杨明合,夏宏南,蒋宏伟,等.火山岩地层优快钻井技术[J].石油钻探技术,2009,37(6):44-47.
- [8] 赵向阳,孟英峰,朱娟娟,等.欠平衡钻井技术新分类与油藏筛选方法研究[J].石油钻探技术,2009,37(4):19-22.
- [9] 冯定.涡轮钻具防斜打快钻井理论与技术研究[J].石油钻探技术,2007,35(3):9-11.
- [10] 陈洪兵,周龙昌,张雷,等.俄罗斯减速器涡轮钻具驱动 PDC 钻头在西伯利亚油田的成功应用[J].石油钻探技术,2005,33(2):48-50.
- [11] 谭春飞,蔡镜仑.利用涡轮钻具提高深井钻速的试验研究[J].石油钻探技术,2003,31(5):30-32.
- [12] 何龙.川东北地区优快钻井配套技术[J].钻采工艺,2008,31(4):23-26.
- [13] 吴华.川(渝)东北构造带钻探难点及技术对策[J].天然气工业,2003,23(2):55-56.
- [14] 羽保林,王荣,庞建新,等.提高深井硬地层钻井速度技术难点及对策[J].钻采工艺,2006,29(1):24-26.
- [15] 李晓明,燕静,袁玉宝,等.胜利 1 井钻头选型与应用效果分析[J].石油钻探技术,2007,35(6):22-26.
- [16] 卢春阳,陈济峰,杨海滨,等.海南福山凹陷地层可钻性及钻头选型[J].石油钻探技术,2002,30(1):10-12.