

# 元坝 124 井超深井钻井提速配套技术

董明键

(中国石化胜利石油管理局西南石油工程管理中心,四川德阳 618000)

**摘 要:**元坝 124 井是元坝地区的一口重点探井。由于元坝地区陆相地层石英含量高、研磨性强、可钻性差,导致单只钻头进尺少,机械钻速低,钻井成本高。为此,首先评价了元坝地区前期的钻井提速技术:气体钻井技术、“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术、控压钻井技术和“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井技术。并在此基础上,根据元坝 124 井所要钻遇地层的特征,制定了该井的钻井提速配套技术方案:一开采用气体钻井技术,二开采用“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术,三开采用“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井技术。实钻表明,该钻井提速配套技术方案可行,能够大幅提高机械钻速,缩短钻井周期。该井平均机械钻速 2.80 m/h,钻井周期 253.84 d,是目前元坝地区钻井周期最短的一口井。

**关键词:**深井钻井 机械钻速 气体钻井 金刚石钻头 涡轮钻具 螺杆钻具 元坝 124 井

**中图分类号:**TE245 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)06-0023-04

## Technology to Increase Drilling Speed Used in Ultradeep Well Yuanba 124

Dong Mingjian

(Southwest Petroleum Engineering Management Center, Shengli Petroleum Administration, Mianyang, Sichuan, 618000, China)

**Abstract:** Well Yuanba 124 is a key exploration well in Yuanba Area. The bit footage and rate of penetration is low, and drilling cost is high because of high quartz content, high abrasivity and low drillability of continental formation. Therefore, the fast drilling technologies including air drilling, impregnated bit with turbine motor, managed pressure drilling and PDC bit with PDM were applied and evaluated. On the basis of evaluation results, an integrated drilling program was developed considering formation characteristics. Air drilling was used in first spud; impregnated bit and turbine motor was used in second spud; and PDC bit with PDM was used in third spud. The drilling results showed that this program was feasible. The ROP was increased significantly and the drilling cycle was reduced. The average ROP was 2.80 m/h, and the drilling cycle was 253.84 d. Well Yuanba 124 set the record of shortest drilling cycle in Yuanba Area.

**Key words:** deep well drilling; penetration rate; air drilling; diamond bit; turbine tool; screw drill tool; Well Yuanba 124

元坝 124 井所在区块的陆相地层普遍存在石英含量高、研磨性强、可钻性差(可钻性级值 5~8)等特点,造成机械钻速低,钻头进尺少,钻井周期长,钻井成本高<sup>[1-6]</sup>。为了提高机械钻速,缩短钻井周期,降低钻井成本,在评价元坝地区前期提速技术的基础上,根据元坝 124 井所钻遇地层的特性,制定了元坝 124 井钻井提速配套技术方案。实钻表明,该钻井提速技术方案能够显著提高机械钻速,缩短钻井周期,降低钻井成本。

## 1 元坝 124 井概况

元坝 124 井是位于四川盆地川东北巴中低缓构

**收稿日期:**2011-09-15; **改回日期:**2011-11-03。

**作者简介:**董明键(1963—),男,四川自贡人,1981 年毕业于重庆石油学校钻井专业,高级工程师,主要从事钻井技术工作。

**联系方式:**18982882777, dongmj123@126.com。

造带元坝区块的一口重点探井。该井所钻遇地层自上而下依次为白垩系剑门关组,侏罗系蓬莱镇组、遂宁组、上沙溪庙组、下沙溪庙组、千佛崖组、自流井组,三叠系须家河组、雷口坡组、嘉陵江组和飞仙关组,二叠系长兴组和龙潭组。其中须家河组及以上地层为浅湖相、河流相、滨湖相

沉积(即为陆相沉积),地层岩性主要为砂泥岩互层;雷口坡组及以下地层为浅滩、潮间、浅海台地、沼泽、泻湖沉积(即为海相沉积),岩性主要为灰岩、云岩及页岩。

元坝 124 井设计井深 7 120.00 m,实钻井深 7 032.49 m。该井的设计与实钻井身结构见表 1。

表 1 元坝 124 井井身结构

Table 1 Casing program of Well Yuanba124

开次	钻头尺寸/mm	钻深(设计/实钻)/m	套管尺寸(设计/实钻)/mm	下深(设计/实钻)/m	水泥返高
导管	660.4	701.00/691.00	476.3/476.3	700.00/689.96	地面
一开	444.5	3 502.00/3 264.00	339.7/339.7	3 500.00/3 262.00	地面
二开	311.1	5 192.00/5 089.78	273.1/282.6	5 190.00/5 089.78	地面
三开	241.3	7 120.00/7 032.49			

## 2 钻井技术难点

1) 地层较老,陆相地层硬,存在砂泥岩互层,软硬变化大;泥岩易水化剥蚀掉块和坍塌;砂岩多为硅质胶结,岩性致密,硬度大,研磨性强;地层可钻性极差,钻头选型范围很小。

2) 地层倾角大、岩石成岩性差,常规钻井技术难以满足钻井安全和勘探开发需要。钻井中常出现“斜、漏、塌、卡、喷”等复杂情况,钻井速度慢,周期长、投资大、井身质量差,在很大程度上影响了油气勘探开发的进程。

3) 由于元坝探区地质层位较为古老,防漏和堵漏工作贯穿于整个钻井过程。

4) 侏罗系的上、下沙溪庙组地层岩性多为泥岩及泥质粉砂岩互层,如果钻井液长时间浸泡,易出现大段垮塌。

5) 目的层深,地震分辨低,地层岩性变化大,地层压力预测及检测准确性差。同一地层同时存在多套压力系统,钻井液安全密度窗口非常窄。

6) 地层含盐膏层和其他腐蚀性流体,并且压力变化大。

由于该井所钻陆相地层具有埋藏深(须家河组地层底深达 4 940.00 m)、地层压力高(须家河组地层压力系数为 1.83)、研磨性强(内摩擦角平均 45°)等特点,因此,如何提高钻速是该井的最大难点。

## 3 钻井提速方案及应用效果

### 3.1 钻井提速技术分析评价

#### 3.1.1 气体钻井技术

气体钻井具有提高机械钻速、延长钻头使用寿

命、减少井下复杂情况和卡钻故障、降低钻井综合成本等优势<sup>[7-11]</sup>。元坝地区自元坝 1 井应用气体钻井技术以来,其陆相上部地层均采用了气体钻井技术,平均机械钻速达到 8.61 m/h,是常规钻井液钻井的 10 倍左右,提速效果显著<sup>[4-7]</sup>。

但统计发现:气体钻井技术在各井的应用效果存在较大差异,如元坝 3 井机械钻速高达 20.6 m/h,而元坝 9 井仅为 4.59 m/h;元坝 2 井气体钻井钻进井段的长度达到 3 791.50 m,而元坝 12 井仅为 2 543.00 m。因此,应根据区域地质特征,进行气体钻井工艺设计和钻井参数优化。

#### 3.1.2 “孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术

元坝地区自流井组地层(及部分区域千佛崖组地层)单轴抗压强度 28~182 MPa,平均 77 MPa,摩擦角平均 36°,最高可达 52°,属于中等硬度地层;须家河组地层单轴抗压强度 170~182 MPa,平均 126 MPa,摩擦角平均 45°,最高可达 56°,属于硬地层。在目前技术条件下,无法使用 PDC 钻头,而牙轮钻头使用寿命短,单只钻头平均寿命仅 68 h,平均进尺 55.00 m,机械钻速仅 0.81 m/h。

“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术利用涡轮钻具的高转速特性,配合长寿命、高效一体的孕镶金刚石钻头,辅之以转盘(或顶驱)进行复合钻进,可以获得较高的机械钻速和钻井进尺<sup>[4-6,12-13]</sup>。因此,在元坝地区的元坝 123 井、元坝 10 井、元坝 121 井、元陆 8 井和元陆 10 井等井进行了试验。元坝 123 井在  $\phi 311.1$  mm 井段的须家河组须三段地层进行了“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井试验,钻头为 Smith 公司的 K705 型孕镶金刚石钻头,进尺 153.52 m,平均机械钻速 1.69 m/h,与常规钻井(0.86 m/h)相比提高了

95.4%。元坝 224 井在千佛崖组至须家河组须 1 段地层进行了“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井试验,进尺 1 174.4 m,平均机械钻速 1.72 m/h,与常规钻井相比提高了 100.0%。

### 3.1.3 控压钻井技术

下部陆相地层不同程度地含气,尤其是自流井组和须家河组地层存在高压气层,如采用常规钻井技术钻进,为防止气侵发生,需要采用较高密度的钻井液,而钻井液密度过高,会使机械钻速降低。为降低钻井液密度,提高机械钻速,在元坝 103H 井下沙溪庙组至须家河组的层段进行了控压钻井试验,试验井段 3 267.00~4 894.00 m,点火井段 3 951.97~4 894.00 m,平均机械钻速 1.08 m/h,与前期下部陆相地层平均机械钻速(0.73 m/h)相比,提高了 47.95%,钻井液密度也由 2.0 kg/L 降至 1.6 kg/L 左右。

由此可以看出,与常规钻井相比,控压钻井技术在下部陆相地层具有明显的提速效果,应加大控压钻井技术在元坝地区的推广应用力度。

### 3.1.4 “PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井技术

元坝地区海相地层以灰岩、白云岩为主,岩性相对均质,该类地层非常适合 PDC 钻头。为了更好地发挥 PDC 钻头高转速、低钻压的优势,元坝地区采用 PDC 钻头和螺杆钻具相配合的复合钻井技术钻进该地区的海相地层。实钻表明,“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井技术与常规钻井技术相比机械钻速提高了 30.8%<sup>[4-6,12-14]</sup>,但存在螺杆寿命短和与 PDC 钻头不匹配的问题。

## 3.2 钻井提速配套技术方案

上述提速技术的应用使元坝地区的钻井速度得到了较大提高,但新技术在应用中仍存在着各井技术指标差异大、应用效果不稳定、经济效益不高等问题。为此,在调研分析前期钻井实践的基础上,根据元坝 124 井的地质特征,制定了元坝 124 井钻井提速技术配套方案:

一开(700.00~3 500.00 m 井段),采用气体钻井技术。钻井参数:钻压 160~220 kN,转速 40~70 r/min,空气排量 2 666~4 000 L/s,空气气压 2~4 MPa。

二开(3 500.00~5 190.00 m 井段),钻遇下沙溪

庙组、千佛崖组、自流井组、须家河组和雷四段地层。下沙溪庙组地层主要是砂、泥岩互层;千佛崖组地层主要是泥岩、页岩与砂岩互层及灰岩;自流井组地层主要是页岩、泥岩与砂岩不等厚互层;须家河组地层岩性主要是砂、泥岩互层;雷四段以灰岩为主,夹硬石膏。为提高钻速,该井段采用“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术,钻具组合为  $\phi 311.1$  mm 孕镶金刚石钻头+ $\phi 241.3$  mm 高速涡轮+浮阀+ $\phi 228.6$  mm 钻铤 $\times 26.52$  m+ $\phi 203.2$  mm 钻铤 $\times 54.31$  m+ $\phi 203.2$  mm 震击器+ $\phi 177.8$  mm 钻铤 $\times 18.20$  m+ $\phi 139.7$  mm 加重钻杆 $\times 82.86$  m+ $\phi 139.7$  mm 钻杆。钻井参数:钻压 80~140 kN,转盘转速 40~60 r/min,排量 37~40 L/s,泵压 29.5~31.0 MPa。

三开(5 190.0~7 120.0 m 井段),采用“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井技术,采用进口抗高温螺杆和美国 Baker Hughes 公司生产的 PDC 钻头。钻具组合为  $\phi 241.3$  mm HCD506ZX 型 PDC 钻头+ $\phi 197.0$  mm 螺杆+翻板阀+ $\phi 177.8$  mm 钻铤 $\times 8.28$  m+ $\phi 238.0$  mm 稳定器+ $\phi 177.8$  mm 钻铤 $\times 90.80$  m+旁通阀+ $\phi 127.0$  mm 加重钻杆 $\times 138.80$  m+ $\phi 127.0$  mm 钻杆 $\times 1 477.45$  m+ $\phi 139.7$  mm 钻杆。钻井参数:钻压 60~110 kN,转盘转速 50 r/min,排量 34~35 L/s,泵压 21 MPa。

## 3.3 应用效果

一开气体钻井钻进井段 691.00~3 252.68 m,进尺 2 561.68 m,纯钻进时间 192.1 h,平均机械钻速 13.33 m/h,与前期气体钻井相比,机械钻速提高了 54.82%。在钻进遂宁组、上沙溪庙组地层时,日进尺 400.50 m,创造了元坝地区当时日进尺最高纪录,采用气体钻井技术用  $\phi 444.5$  mm 钻头钻至井深 3 252.68 m,创造了元坝地区气体钻进最深纪录、 $\phi 444.5$  mm 井眼气体钻井井段最长纪录、气体钻井施工周期最短纪录(11.73 d)。

二开从井深 3 684.11 m 开始采用“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术钻进,共钻进 3 684.11~3 910.79,3 931.24~4 338.90,4 344.53~4 698.90,4 731.20~4 840.00 和 4 840.00~4 887.20 m 5 段,平均机械钻速达到 1.02 m/h。4 344.53~4 698.90 m 井段用时 21.98 d 就钻完,而采用常规钻井技术需要 54.31 d,钻井时间缩短了 59.53%。该井仅用一只孕镶金刚石钻头就钻穿了自流井组地层底部的砾石层(4 344.53~4 385.00 m)。

三开在 5 124.30~7 032.49 m 井段采用“PDC

钻头+螺杆钻具”复合钻井技术钻进,使用了3只PDC钻头,累计进尺1 908.19 m,平均机械钻速3.42 m/h,与前期该技术的平均机械钻速(2.21 m/h)相比,提高了54.75%。

## 4 结论及建议

1) 通过分析评价元坝地区前期钻井提速技术发现:气体钻井技术在元坝地区的应用效果存在较大差异,应根据区域地质特征,加强气体钻井工艺设计和钻井参数优化的研究;“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术是该地区陆相下部高研磨坚硬地层的主要提速技术手段;“PDC钻头+螺杆钻具”复合钻井技术是该地区下部海相地层成熟的钻井提速技术。

2) 在对前期钻井提速技术应用效果评价的基础上,根据元坝124井所钻遇地层的特征制定了该井的钻井提速配套技术方案。

3) 元坝124井上部陆相地层采用气体钻井技术,平均机械钻速达到13.33 m/h;下部陆相高研磨坚硬地层采用“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术,平均机械钻速1.02 m/h;海相地层采用采用“PDC钻头+螺杆钻具”复合钻井技术,平均机械钻速达到3.42 m/h,提速效果明显。

4) 元坝地区在制定钻井提速配套技术方案时,应对该地区前期的钻井提速技术进行分析评价,并在此基础上,根据所钻地层的特征和具体情况,制定详细的钻井提速配套技术方案。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 张克勤. 元坝地区钻井难题分析与技术对策探讨[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(3): 27-31.  
Zhang Keqin. Problems arising from drilling operations in Yuanba Area and its solutions[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(3): 27-31.
- [2] 陈济锋, 李根生, 万立夫. 川东北地区钻井难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(6): 48-52.  
Chen Jifeng, Li Gensheng, Wan Lifu. Challenges and measurements of drilling in Northeast Sichuan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 48-52.
- [3] 张金成. 普光气田钻井技术发展展望[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 5-9.  
Zhang Jincheng. Drilling technology overview of Puguang Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 5-9.
- [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.  
Li Weiting. Ultra-deep drilling technologies used on Well Yuanba-1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(2): 94-99.
- [5] 王光磊, 侯健, 于承朋, 等. 元坝1井钻井设计与施工[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 41-45.  
Wang Guanglei, Hou Jian, Yu Chengpeng, et al. Drilling design and operation of Well Yuanba-1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 41-45.
- [6] 高航献, 瞿佳, 曾鹏琿. 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.
- [7] 侯树刚, 刘新义, 杨玉坤. 气体钻井技术在川东北地区的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 24-28.  
Hou Shugang, Liu Xinyi, Yang Yukun. Application of gas drilling technology in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 24-28.
- [8] 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.  
Li Yufei, Meng Yingfeng, Nie Zhengyuan, et al. The mechanisms of increasing ROP during air drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(4): 9-11.
- [9] 许爱. 气体钻井技术及现场应用[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(4): 16-19.  
Xu Ai. Technology and applications of air drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(4): 16-19.
- [10] 侯树刚, 舒尚文, 李铁成, 等. 空气钻井安全钻进特性分析[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(6): 50-53.  
Hou Shugang, Shu Shangwen, Li Tiecheng, et al. Characteristic analysis of safety drilling in air drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(6): 50-53.
- [11] 肖新磊. 空气钻井技术在元坝地区的应用[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(4): 35-37.  
Xiao Xinlei. Application of air drilling technique in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 35-37.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 刘新义, 张东清. 川东北地区探井快速钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 37-40.  
Liu Xinyi, Zhang Dongqing. Rapid drilling technology used in exploratory wells in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 37-40.