

元坝地区超深井井身结构优化及应用

葛鹏飞, 马庆涛, 张 栋

(中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东东营 257017)

摘 要:元坝地区钻井存在地质条件复杂、钻井难度大、不确定因素多等难点,井漏和溢流的频发层位集中在自流井组 and 上沙溪庙组。针对该地区前期井身结构存在表层套管和技术套管下深浅、裸眼段地层相互制约等问题,进行了超深井井身结构优化设计,优化了套管层次,选择了合理的必封点,增大了一开、二开和三开套管下深,增加了下部地层套管尺寸。优化后的井身结构不但能够有效封隔复杂层位,而且为空气钻井等新技术的应用和后期产层的高效开发创造了有利条件。现场应用表明,井漏由原来的平均每井 4.4 次减至 1.9 次,溢流由平均每井 1.6 次减至 0.4 次,空气钻井平均进尺增加 51.26%,平均钻速提高 64.3%。井身结构优化后,钻速提高,钻井周期缩短,满足了元坝地区超深井安全高效钻井的要求。

关键词:超深井 井下故障 井身结构 元坝地区

中图分类号:TE22 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2013)04-0083-04

Optimization and Application of Ultra-Deep Well Casing Program in Yuanba Area

Ge Pengfei, Ma Qingtao, Zhang Dong

(Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257017, China)

Abstract: Yuanba Area with complex geological conditions faces many drilling difficulties and a number of uncertain factors in which most circulation loss and overflow takes place in Ziliujing formation and upper Shaximiao formation. In view of problems such as shallow casing set depth and interaction in the open hole formation, etc. in previous drilling activities in this area, the casing program of deep wells was optimized with improved casing structure, selection of seal points, deeper casing setpoint and larger casing size for the lower formation. This optimized well structure can not only isolate complex formations effectively, but also create favorable conditions for air drilling and application of other new techniques and efficient development in later time. Field application shows the probability of leakage for each well dropped from 4.4 to 1.9, overflow from 1.6 to 0.4, average air drill footage increased by 51.26%, and average drilling speed increased by 3.64%. The optimized well structure resulted in increased drilling speed and less drilling cycle, which met the requirements for safe and efficient drilling of Yuanba ultra-deep wells.

Key words: ultra-deep well; downhole complexity; casing program; Yuanba Area

元坝地区气藏埋藏深,地质条件复杂,不确定因素较多,给钻井施工带来诸多难题,设计合理的井身结构是元坝地区超深井钻井成功的关键^[1-2]。前期普遍采用的井身结构为:一开套管下深 200 m 左右,二开套管下深 2 000 m 左右,三开套管封隔须家河组上部地层。随着勘探开发的不断深入,对该地区的认识也日趋清晰。分析认为,前期井身结构受

收稿日期:2012-12-14;改回日期:2013-04-16。

作者简介:葛鹏飞(1982—),男,山东冠县人,2003年毕业于海军航空工程学院青岛分院自动化专业,2007年获中国石油大学(华东)油气井工程专业硕士学位,工程师,现主要从事钻井工程设计工作。

联系方式:(0546)8776029,gepengfei8108@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号:2011ZX05022)部分研究内容。

地层制约较大,不能将不同的压力体系完全封隔开。因此,需要对井身结构进行优化,增加表层套管和技术套管的下深,增大下部地层的套管尺寸,以避免漏、喷、塌、卡等井下故障的发生,使钻井作业得以顺利进行,钻井成本降低,钻井周期缩短,提高钻井施工的安全性和经济性^[3]。

1 井下故障分析

为了找到钻井井下故障的发生原因,对各类故障进行了分析研究。前期施工的14口井共发生井下故障129次,其中井漏62次,溢流22次,遇阻13次,卡钻15次,钻具井下故障12次,其他故障5次。井漏发生的频率最高,溢流次之,两者占故障总数的65.1%,说明井漏和溢流是元坝地区钻井面临的最突出的问题^[4-5]。

统计表明,自流井组 and 上沙溪庙组地层是元坝地区井下故障多发层段,自流井组地层发生井下故障31次,占总井下故障的24%;上沙溪庙组地层发生井下故障24次,占总井下故障的18.6%。分析认为,导致井下故障的主要原因为:

1) 从压力分布情况来看,纵向压力分布为常压—高压—常压。千佛崖组及以上地层为常压,自流井—须家河组有异常高压,分析认为属于高压低渗的裂缝性气藏,压力窗口窄^[6]。雷口坡组四段多为高压气层,嘉陵江组部分井钻遇高压盐水层和气流,承压能力高。飞仙关组和长兴组为一个常压系统,以溶孔性气层为主,可钻性好。茅口组与栖霞组可能有高压气层。

2) 从地层特点来看,影响元坝地区钻井施工的地层主要有3套:一是上沙溪庙组上部存在微出水层,其承压能力不高,易漏失;二是上沙溪庙组底部存在易垮塌层,难以实施空气钻井^[7];三是自流井—须家河组存在裂缝性气藏,压力窗口窄,压井时易出现喷、漏同存,且自流井组与须家河组的砂砾岩层可钻性极差,容易发生钻头故障^[8]。

2 优化前的井身结构

优化前所采用的井身结构为:一开 $\phi 508.0$ mm表层套管下深200 m,建立井口;二开 $\phi 339.7$ mm技术套管下深2 000 m左右,封隔侏罗系遂宁组及以上地层;三开 $\phi 273.1$ mm技术套管下深4 500 m

左右,尽量封隔须家河组及以上不稳定地层;四开 $\phi 193.7$ mm套管封隔嘉陵江组及以上地层(不揭开飞仙关组三段储层),先悬挂,后回接,再五开;五开下入 $\phi 146.1$ mm尾管完井。该井身结构主要存在以下几个问题:

1) 一开表层套管下深浅,不能有效封隔疏松表层及地表水。

2) 二开技术套管下深浅,不能有效封固低承压地层。二开套管只封隔遂宁组及以上地层,将承压能力较低的上沙溪庙组与压力较高的须家河组同时打开,给三开带来极大的风险,引起多次井漏等井下故障,需要频繁地进行堵漏,严重影响了施工进度^[9]。

3) 三开技术套管不能将高压层位完全封隔。由于部分井须家河组埋藏较深,前期井身结构中, $\phi 273.1$ mm技术套管一般封隔须家河组顶部及以上地层,须家河组、雷口坡组、嘉陵江组在同一裸眼段内,一旦须家河组出现高压气层,将导致雷口坡组、嘉陵江组必须使用高密度钻井液钻进,增加了安全风险;同时受密度的限制,许多提速措施难以实施,钻井速度大受影响^[10-14]。

4) 受套管层次限制,不能将多套压力系统有效封隔。元坝地区大部分井在自流井组、须家河组钻遇异常高压地层,对正常施工产生较大影响:一是受井身结构层次限制,不能完全封隔影响钻井速度的必封点,制约了空气钻井的应用,影响了陆相地层的钻速^[15-16];二是陆相地层钻遇异常高压后,压井过程中往往出现井漏,钻井液安全密度窗口窄,施工难度较大,降低了纯钻时效;三是压井后钻井液密度高,降低了机械钻速^[17]。

3 井身结构优化设计

基于以上分析,提出了增加一开、二开和三开套管下深,简化套管层次,增大下部套管尺寸的优化思路,将整个地层分为3个压力体系进行封隔,分别是陆相易漏失且承压能力低的层位、陆相高压层位和海相低压层位,确定了超深井井身结构优化方案,有效解决了复杂层位封固不到位、裸眼段地层相互制约等问题^[18-20]。

优化后的井身结构为:一开表层套管下深500~700 m,如果发现井底有水层,还应适当加深,一开套管的下深原则是封隔水层,为下一开次空气钻井创造条件;二开采用 $\phi 444.5$ 或 $\phi 406.4$ mm钻头,采用

空气或泡沫钻穿上沙溪庙组底部后中完,下入 $\phi 39.7\text{ mm}$ 套管,对上沙溪庙组底部的微出水层和低承压层进行封隔,为三开钻开高压层提供保障,使下一开次钻井液密度有较多的调整余量;三开下入 $\phi 273.1\text{ mm}$ 套管,封隔陆相高压层和雷口坡组四段气层及以上层位,为四开用低密度钻井液钻开海相地层创造条件,减少井下故障的发生,提高钻井速度^[19];四开用 $\phi 241.3\text{ mm}$ 钻头钻至设计井深完钻,下 $\phi 177.8$ 或 $\phi 193.7\text{ mm}$ 套管完井,若四开嘉陵江组钻遇高压盐水层或其他复杂地层,可下入 $\phi 193.7\text{ mm}$ 套管将复杂层位封隔,再进行五开,用 $\phi 165.1\text{ mm}$ 钻头钻至设计井深,下入 $\phi 146.1\text{ mm}$ 尾管或裸眼完井。

从优化前后的井身结构可以看出,新的井身结构增加了 $\phi 508.0\text{ mm}$ ($\phi 476.3\text{ mm}$)、 $\phi 39.7\text{ mm}$ 和 $\phi 273.1\text{ mm}$ 套管的下深,有效封隔了复杂地层,为新工艺的应用创造了条件,满足了安全施工和提速提效的要求。四开用 $\phi 139.7\text{ mm}$ 钻杆替代 $\phi 88.9\text{ mm}$ 钻杆钻进主力产层飞仙关组和长兴组,为海相地层采用大尺寸钻具、强化钻进参数、提高机械钻速创造了条件。同时,产层套管由 $\phi 146.1\text{ mm}$ 改为 $\phi 193.7\text{ mm}$ 或 $\phi 177.8\text{ mm}$,有利于高产气井的高效开发^[21]。

4 应用效果分析

优化后的井身结构在元坝 124 井等 10 口井进行了应用,与前期完钻的元坝 21 井等 14 口井的施工情况相比,新的井身结构应用效果更好。

井身结构优化前后发生井漏、溢流次数对比如下:优化前 14 口井发生井漏 62 次,漏失钻井液量 $10\,018.16\text{ m}^3$,溢流 22 次,处理故障耗费时间 208.61 d ;优化后的 10 口井共发生井漏 19 次,漏失钻井液量 $3\,471.04\text{ m}^3$,溢流 4 次,处理故障耗费时间 25.77 d 。对比发现,井漏、溢流发生次数显著减少,严重程度明显减弱,处理时间减少。

井身结构优化后,二开空气钻井效果良好。由于一开表层套管下深增加,有效封隔了地表水层,为二开空气钻的顺利实施提供了保障;同时,二开套管下深 $3\,200\text{ m}$ 左右,封隔了上部承压能力低的易垮塌地层,使得三开井段的防漏效果、井控能力和故障处理能力均得到加强。优化后的平均机械钻速提高了 64.3% ,空气钻进尺、纯钻时效和生产时效也有明显提高(见表 1)。

表 1 井身结构优化前后钻井效果对比
Table 1 Effect comparison before and after the optimization of casing program

优化前后	机械钻速/ ($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$)	空气钻井 进尺/m	纯钻时效, %	生产时效, %
优化前	1.29	1 893.6	30.54	82.77
优化后	2.12	2 864.2	38.54	92.17

5 结论与建议

1) 同优化前的井身结构相比,优化后增加了 $\phi 508.0\text{ mm}$ ($\phi 476.3\text{ mm}$)、 $\phi 39.7\text{ mm}$ 和 $\phi 273.1\text{ mm}$ 套管的下深,有效封隔了复杂地层,将高压层和常压层完全封隔开,保证了钻井施工的安全顺利进行。优化后的井身结构在元坝地区应用效果良好,施工中井下故障明显减少。

2) 优化后的表层套管有效封隔了浅层水,保证了二开空气钻井的顺利实施,使其进尺大大增加,缩短了施工周期。

3) 元坝地区部分井在嘉陵江组钻遇高压盐水层,给钻井施工带来较多的困难,下部井段钻进被迫使用高密度钻井液或采用补下套管的方法进行处理,影响了后期施工进度,因此有必要对井身结构进行进一步的优化研究。

参 考 文 献
References

[1] 杨玉坤. 川东北地区深井井身结构优化设计[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 33-36.
Yang Yukun. Deep well casing structure optimization in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 33-36.

[2] 闫光庆, 张金成. 中国石化超深井钻井技术现状与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2): 1-6.
Yan Guangqing, Zhang Jincheng. Status and proposal of the Sinopec ultra-deep drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 1-6.

[3] 唐志军. 川东北河坝地区井身结构的优化与实践[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(1): 73-77.
Tang Zhijun. Casing optimization and practice at Heba Block of Northeastern Sichuan Basin [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(1): 73-77.

[4] 张金成, 张东清, 张新军. 元坝地区超深井钻井提速难点与技术对策[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(6): 6-10.
Zhang Jincheng, Zhang Dongqing, Zhang Xinjun. Difficulties of improving rate of penetration and its technical solutions in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 6-10.

- [5] 王萍,李文飞,张锐,等.川东北钻井复杂情况风险分析方法研究[J].石油钻采工艺,2012,34(2):29-32.
Wang Ping, Li Wenfei, Zhang Rui, et al. Risk analysis method for drilling trouble in Northeast Sichuan[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(2): 29-32.
- [6] 臧艳彬,王瑞和,张锐.川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析[J].石油钻探技术,2011,39(2):60-64.
Zang Yanbin, Wang Ruihe, Zhang Rui. Current situation analysis of circulation lost and measures in Northeast Sichuan Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 60-64.
- [7] 葛祥,何传亮,朱小红,等.川东北地区陆相地层井壁稳定性测井分析[J].测井技术,2012,36(2):164-169.
Ge Xiang, He Chuanliang, Zhu Xiaohong, et al. Borehole stability logging analysis in terrestrial formation in Northeastern Sichuan[J]. Well Logging Technology, 2012, 36(2): 164-169.
- [8] 陈明,窦玉玲,李文飞,等.川东北元坝区块井身结构优化设计[J].天然气技术,2010,4(3):44-47.
Chen Ming, Dou Yuling, Li Wenfei, et al. Casing program optimization in Block Yuanba of Northeast Sichuan[J]. Natural Gas Technology, 2010, 4(3): 44-47.
- [9] 瞿佳,李真祥.元坝地区复杂深井新型井身结构与应用[J].钻采工艺,2012,35(5):40-44.
Qu Jia, Li Zhenxiang. Design and application of the new casing program for complicated deep well in Yuanba Area[J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(5): 40-44.
- [10] 解兰宏,张金成,张东清,等.涡轮钻井技术在元坝等重点区块的应用[J].石油钻探技术,2011,41(6):15-18.
Xie Lanhong, Zhang Jincheng, Zhang Dongqing, et al. The application of turbo drilling technology in Yuanba key area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 41(6): 15-18.
- [11] 王兴武.塔里木超深井深部井斜控制技术[J].断块油气田,2011,18(1):100-102.
Wang Xingwu. Hole deviation control technology for deep interval of ultra-deep wells in Tarim Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(1): 100-102.
- [12] 董明键.元坝124井超深井钻井提速配套技术[J].石油钻探技术,2011,39(6):23-26.
Dong Mingjian. Technology to increase drilling speed used in ultra-deep Well Yuanba 124[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 23-26.
- [13] 闫光庆,刘匡晓,郭瑞昌,等.元坝272H井超深硬地层侧钻技术[J].石油钻探技术,2013,41(1):113-117.
Yan Guangqing, Liu Kuangxiao, Guo Ruichang, et al. Ultra-deep sidetracking in Well Yuanba 272H[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(1): 113-117.
- [14] 赵洪山.元坝124井超深井钻井关键技术[J].石油天然气学报,2012,34(5):91-94,120.
Zhao Hongshan. Key drilling technique used in Yuanba-124 ultra-deep wells[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(5): 91-94, 120.
- [15] 杨昌学.元坝陆相欠平衡集成钻井技术[J].钻采工艺,2012,35(3):31-33.
Yang Changxue. Integrated UBD technology in Yuanba terrestrial formation[J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(3): 31-33.
- [16] 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.
- [17] 陈济峰,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.
- [18] 唐志军,邵长明.钻井工程设计优化与应用[J].石油地质与工程,2007,21(3):75-78.
Tang Zhijun, Shao Changming. Drilling engineering design optimization and application[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2007, 21(3): 75-78.
- [19] 边培明.深层海相气井井身结构优化及应用[J].钻采工艺,2006,29(6):13-15.
Bian Peiming. Optimization and application of casing program in deep marine gas well[J]. Drilling & Production Technology, 2006, 29(6): 13-15.
- [20] 周延军,陈明,于承朋.元坝区块提高钻井速度技术方案探析[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2010,37(5):1-4.
Zhou Yanjun, Chen Ming, Yu Chengpeng. Discussion on drilling technology for increasing ROP in Yuanba Block[J]. Exploration Engineering: Rock & Soil Drilling and Tunneling, 2010, 37(5): 1-4.
- [21] 李真祥,王瑞和,高航献.元坝地区超深井复杂地层固井难点及对策[J].石油钻探技术,2010,38(1):20-25.
Li Zhenxiang, Wang Ruihe, Gao Hangxian. Technical challenges arising from cementing ultra deep wells in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(1): 20-25.

[编辑 滕春鸣]