

东海西湖区块高温高压深探井井身结构优化

张海山¹, 杨进², 宫吉泽¹, 葛俊瑞²

(1. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200030; 2. 中国石油大学(北京)石油工程学院, 北京 102249)

摘要: 为解决东海西湖区块原有井身结构存在的问题及井壁稳定差、井下故障多等问题, 参考海上常规探井自上而下的井身结构设计方法, 根据地质必封点和地层压力分布确定技术套管的尺寸、层次和下入深度; 根据地质目标、井控能力和完井测试要求确定表层套管和完井套管的尺寸和下入深度。优化后的井身结构为: $\phi 508.0$ mm 表层套管下至井深 600.00 m 左右, 封固不稳定地层并建立井口, 提供充足的井控能力; $\phi 339.7$ mm 技术套管加深下至井深 2 400.00 m 左右, 封固不整合面和煤层等不稳定地层; $\phi 244.5$ mm 技术套管加深下至井深 4 000.00 m 左右, 封固压力过渡带, 保证打开储层时具有良好的承压能力; 同时, 在 2 400.00 ~ 4 000.00 m 井段备用 $\phi 298.4$ mm 技术套管封隔特别复杂地层, 避免深部出现小井眼井段和储层测试困难的现象。东海西湖区块的 2 口直井采用了优化后的井身结构, 与采用原井身结构的邻井相比, 优化后的井身结构成功封隔了复杂地层, 有效减少了井下故障, 避免了钻井工程事故的发生, 实现了安全高效钻井。

关键词: 高温 高压 深探井 井身结构 东海 西湖区块

中图分类号: TE22 文献标识码: A 文章编号: 1001-0890(2014)06-0025-05

Optimization of Casing Program for HTHP Deep Exploratory Wells in Block Xihu of East China Sea

Zhang Haishan¹, Yang Jin², Gong Jize¹, Ge Junrui²

(1. Shanghai Branch, CNOOC China Limited, Shanghai, 200030, China; 2. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing, 102249, China)

Abstract: To solve the problems of poor borehole stability and frequent downhole malfunction in original casing program designs in Block Xihu of East China Sea, optimization method took conventional exploration well design principles as reference in which geological setting position and formation pressure distribution were utilized to determine casing size, level and setting depth. Based on geological condition, well control ability and completion operations, the size and depths of surface casing and completion casing were determined. The optimized casing program is as: $\phi 508.0$ mm surface casing around the depth of 600.00 m to cement unstable formations and to set up wellhead with adequate well control ability; $\phi 339.7$ mm intermediate casing at the depth of 2 400.00 m to plug complex formations as unconformity and seam; the $\phi 244.5$ mm intermediate casing around the depth of 4 000.00 m to plug the pressure transitional belt ensuring enough pressure capacity when drilling through the reservoir. At the same time, a $\phi 298.4$ mm intermediate casing from well depth 2 400.00 to 4 000.00 m well section for particularly complex formations to avoid low ROP and well testing difficulty in deep slim hole. The optimized casing program have been used in two vertical wells Block Xihu of East China Sea. Compared with adjacent wells with original casing design, it successfully plugged complex formations, reduced downhole problems, avoided drilling accidents and achieved safe and efficient drilling operations.

Key words: high temperature; high pressure; deep exploratory well; casing program; East China Sea; Block Xihu

东海盆地位于中国东部海域, 属大陆边缘断陷-坳陷盆地, 是重要的油气勘探领域^[1-2]。东海盆地西湖区块地层复杂, 存在多目的层和多套压力系统, 砂泥岩交互, 煤层和水层多, 井壁极易失稳。上部存在易漏层, 钻进中下部地层过程中起下钻遇阻、划眼困难、卡钻、井漏等井下故障和问题频繁发生。深部地

收稿日期: 2013-08-22; 改回日期: 2014-08-08。

作者简介: 张海山(1968—), 男, 浙江金华人, 1991 年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业, 1994 年获石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位, 教授级高级工程师, 主要从事海上油气勘探开发的钻井、完井技术研究。

联系方式: zhanghsh@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目“深水钻井表层导管喷射钻进机理研究”(编号: 51274215) 资助。

层研磨性强,可钻性差,机械钻速低,且存在异常高温高压地层,测得地层最高压力当量密度 1.658 kg/L,最高温度 176 ℃。以上因素造成东海西湖区块深探井钻井难度大、风险高、周期长。

要实现安全、高效、优质钻井,满足不同构造、不同层位、不同目的层勘探开发的需要,首先要设计合理的井身结构^[3-5]。井身结构不仅关系到钻井施工的安全顺利,还影响钻井作业的经济效益。合理的井身结构能够有效避免井下故障的发生,降低钻井成本,达到预期的钻探目的。因此,根据东海西湖区块预测的地层压力,综合钻井技术、钻井设备及施工能力,优化了套管层次和各层套管的下深^[6-12],形成了适用于东海西湖区块深部高温高压地层的深探井井身结构。

1 钻井技术难点

东海西湖区块地质条件复杂多变,勘探程度低,存在很多不确定因素,钻井过程中存在以下技术难点:

- 1) 上部地层存在严重漏失层,使用海水钻进也发生漏失,钻井过程中通常采用快速钻穿地层的方式钻进上部地层。
- 2) 中下部地层岩性多变,造成 $\phi 311.1$ mm 井段易出现井径扩大、井壁坍塌和卡钻等井下故障, $\phi 215.9$ mm 井段易出现卡测井仪器、卡钻、井漏和固井质量欠佳等复杂情况,严重影响了钻井效率和工程质量。
- 3) 深部地层硬度大,强度高,可钻性差,钻井速度低。岩石的非均质性造成钻进过程中经常出现钻头卡滑现象,崩齿、断齿及蹩跳钻严重,钻头使用寿命短。
- 4) 由于该区块地质资料少、目的层深度大、地层压力预测精度低,难以提供准确的全井地层三压力剖面、地层层序和复杂地层井段的深度和厚度,钻井过程中存在许多潜在风险。
- 5) 中上部井段为常压地层,深部井段存在异常高压地层,裸眼段中出现不同压力体系,容易引起井漏、井喷等井下故障。由于地层的不可预见性,导致套管层次设计困难、钻井液密度确定不准确等问题。

2 原有井身结构存在的问题

东海西湖区块原有井身结构有常规井身结构和简化井身结构 2 种^[13]。

2.1 常规井身结构

东海西湖区块的常规井身结构如图 1 所示。

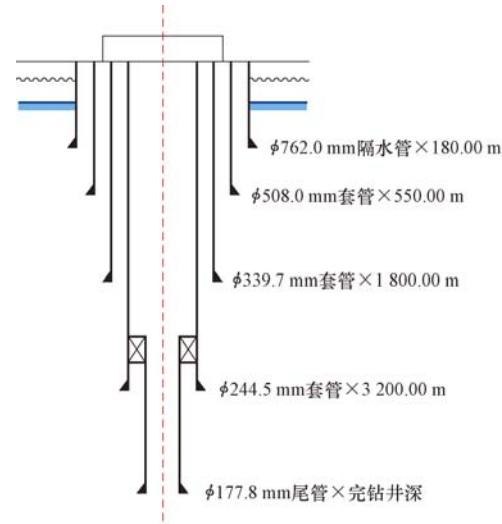


图 1 东海西湖区块常规井身结构

Fig. 1 Original casing program in Block Xihu of East China Sea

该井身结构在前期深探井实践中存在以下问题:

- 1) $\phi 339.7$ mm 技术套管下深浅,给下部 $\phi 311.1$ mm 井段的加深和 $\phi 244.5$ mm 技术套管的下深带来很大困难,无法满足深探井的需求。
- 2) $\phi 215.9$ mm 井段一旦遇到异常高压层,常压层和高压层将出现在同一裸眼井段,若使用高密度钻井液钻进,影响常压储层的保护,且深部高温会使钻井液的性能变差,易发生井下故障,增大了钻井风险。
- 3) 由于套管层次限制,如果下部出现复杂地层,不得不增加一层技术套管,深部地层只能采用小井眼钻进,难以获取完整准确的地层测试资料及地质资料。

2.2 简化井身结构

东海西湖区块简化井身结构如图 2 所示。该简化井身结构省去了 $\phi 508.0$ mm 表层套管,节约了套管,缩短了作业时间,在东海西湖区块探井中得到了广泛应用,总体情况良好,但随着探井井深的不断增加,该井身结构在现场应用中也暴露出以下问题:

- 1) $\phi 444.5$ mm 井眼仅钻至井深 1 500.00 m 左右,给下部井段的钻进带来很大困难。因此,为了满足深探井的要求,需要加深 $\phi 311.1$ mm 井段,以保证 $\phi 215.9$ mm 井眼能够安全钻至目的井深。

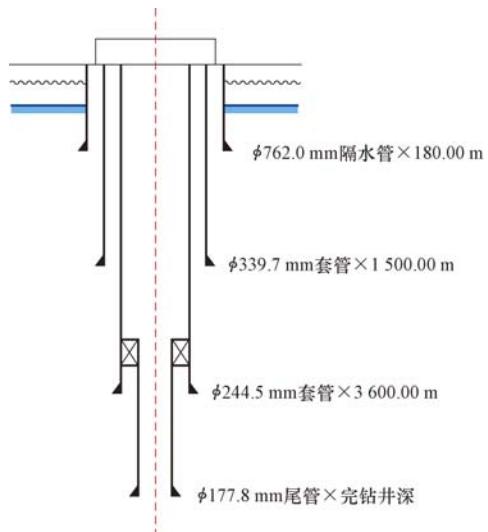


图 2 东海西湖区块简化井身结构

Fig. 2 Original simplified casing program in Block Xihu of East China Sea

2) 钻井过程中 $\varnothing 311.1$ mm 裸眼段和 $\varnothing 215.9$ mm 裸眼段较长, 钻井液浸泡时间长, 钻井和测井过程中易发生卡钻、卡测井仪器、憋泵、蹩钻等井下故障。

3) $\varnothing 311.1$ mm 井眼一般钻至井深 3 600.00 m, 给 $\varnothing 215.9$ mm 井眼的钻进带来很大挑战, 深部裸眼段较长, 高温高压的地质环境使钻井液性能变差, 造成井下故障频繁发生。

4) $\varnothing 215.9$ mm 井段较长, 导致 $\varnothing 177.8$ mm 尾管固井质量不稳定, 无法为后期射孔压裂测试提供良好的环境, 储层资料获取困难。

以上分析表明, 东海西湖区块原有的常规井身结构和简化井身结构, 满足不了高温高压深探井的钻井需要。

3 井身结构优化及应用效果

传统井身结构设计方法通常采用自下而上的方法, 由目的层深度确定完井套管的下入深度, 根据地层特性设计上部套管合理的下入深度, 以获取最大的经济效益^[14]。由于东海西湖区块存在地震资料可靠性差、地层压力预测精度低、深部地层不确定性大等问题, 自下而上的设计方法无法满足深探井的钻井需求。

依据海洋钻井常用的井身结构, 结合西湖区块地层的岩性和地层压力预测结果, 采用自上而下的方法, 在满足压力平衡的条件下, 确定表层套管下深, 从表层套管鞋处开始向下逐层设计套管的下入深度, 尽量使每层套管的下入深度最深, 保证最后一

层套管尺寸满足地层评价的要求, 以有利于实现地质勘探目标^[15-16]。

3.1 套管层次优化

为了保证深探井顺利钻至目的层, 有效获取地质资料, 结合常规套管层次, 考虑目的层段套管尺寸满足地层测试的要求, 设计合理的井身结构。由于深部存在高温高压等复杂地层, 预留一层套管层次, 避免深部井段出现小尺寸井眼完井, 保证取全、取准地质资料。东海西湖区块优化后的高温高压深探井套管层次为: $\varnothing 762.0$ mm 隔水管 + $\varnothing 508.0$ mm 表层套管 + $\varnothing 339.7$ mm 技术套管 + $\varnothing 298.4$ mm 技术套管(备用套管层次) + $\varnothing 244.5$ mm 技术套管 + $\varnothing 177.8$ mm 尾管。

3.2 表层套管下深优化

东海西湖区块探井钻井实践证明, 上部 500.00~700.00 m 井段存在易漏易垮塌地层, 利用 5~6 根隔水管封固软泥层后, 考虑到下部井段的加深可能带来不确定的复杂情况, 为了应对下部井段钻遇不可预见的异常压力地层, 提供充足的井控能力, $\varnothing 508.0$ mm 表层套管下至东海群组地层下 600.00 m 左右, 封固不稳定地层并建立井口, 保证中深部井段安全钻进。

3.3 技术套管下深优化

根据东海西湖区块井壁稳定性分析和地层压力预测结果, 认为三潭组、柳浪组、玉泉组和龙井组地层属于常压地层, 适合长裸眼段钻进, 考虑到已钻井井下故障与井身结构的关系, 采用“PDC 钻头 + 螺杆钻具”复合钻井技术, 兼顾 $\varnothing 311.1$ mm 裸眼段长度和 $\varnothing 244.5$ mm 套管的下深, 将 $\varnothing 339.7$ mm 技术套管下深由 1 800.00 m 左右增至 2 400.00 m 左右, 封住三潭组不整合面和煤层等不稳定地层, 钻穿柳浪组和玉泉组地层。将 $\varnothing 244.5$ mm 套管下至花港组高压层顶部, 下深由原来的 3 600.00 m 左右增至 4 000.00 m 左右, 封固压力过渡带, 保证打开储层时具有良好的承压能力, 同时为 $\varnothing 215.9$ mm 井段的钻井作业和固井作业创造有利条件。与原有井身结构相比, $\varnothing 244.5$ mm 套管下深增加, 相应缩短了 $\varnothing 215.9$ mm 井段的长度, 降低了深部高温高压地层的固井难度, 为后续储层测试提供了良好的井筒环境, 有利于达到取全、取准地层资料的目的。

为了预防复杂地层带来的不确定因素, 优化后的

井身结构增加一层备用套管,在2 400.00~4 000.00 m井段钻进过程中频繁发生井下故障或钻遇易垮塌地层时,可扩眼钻φ355.6 mm井段并下入φ298.4 mm技术套管,φ355.6 mm井眼一般约钻至井深3 600.00 m,以避免深部出现小井眼井段和储层测试困难的现象。同时考虑在井身结构限定的范围内,不改变套管层数、上部套管尺寸、套管下深,可利用膨胀管技术作为井身结构优化的补充,封隔高压层或其他复杂井段,然后使用原尺寸钻头钻进,钻过该井段后,用下层套管将其封固。综上所述,优化后的高温高压深探井井身结构如图3所示。

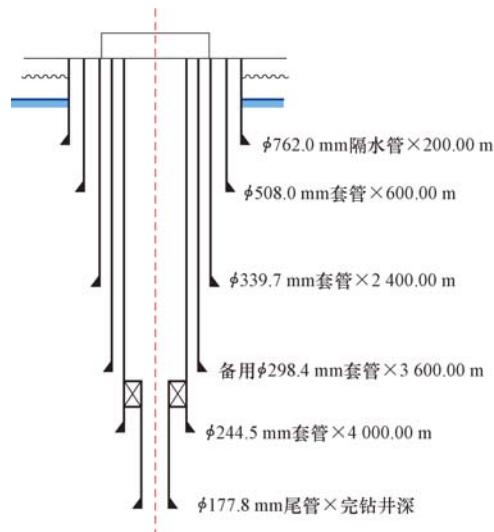


图3 高温高压深探井井身结构

Fig.3 Optimized casing program for HPHT deep exploratory wells

东海西湖区块的直井N2-1-1井和T2-1-2井采用了优化后的井身结构,与采用原有井身结构的直井相比,处理井下故障的时间明显缩短,平均单井处理井下故障时间缩短69.31 h(见表1),单井钻井成本降低约580万元。

表1 井身结构优化前后的钻井时效对比

Table 1 Comparison of drilling efficiency before and after casing program optimization

年份	井号	井型	完钻井深/m	处理井下故障时间/h	平均单井处理故障时间/h
2011	N4-3-1	直井	4 950.00	115.25	112.44
	N4-2-1	直井	4 800.00	137.00	
2012	H2-2S-1	直井	4 607.00	88.25	43.13
	N1-1-2	直井	4 860.00	109.25	
2013	N2-1-1	直井	4 800.00	64.75	21.50
	T2-1-2	直井	4 751.00	21.50	

这说明采用优化后的井身结构不仅有效提高了钻井作业效率,优质高效地完成钻探目标,而且取得了良好的经济效益。

4 结论与建议

1) 设计高温高压深探井的井身结构时,必须充分考虑钻遇地层的地质特征、出现井下故障的可能性,以成功钻探为目的,合理优化井身结构,满足复杂多变的地质要求。

2) 井身结构优化后不但可以降低深探井的钻井成本,而且还能减少井下故障,缩短钻井周期,实现优质高效的钻井作业。

3) 深探井井身结构中适当增加上部套管的下深,封隔复杂地层,有利于降低下部井段的钻进作业难度,提高钻井效率。

4) 建议进一步加强东海西湖区块地质构造和地层压力预测研究,建立地层压力剖面,为合理的井身结构设计提供较为可靠的依据。

5) 建议加强膨胀管技术、随钻扩眼技术的研究与应用,进一步提高复杂深探井井身结构的适应性。

参 考 文 献

References

- [1] 李敏,陈永进,姜文斌.西湖凹陷平湖组岩性油气藏形成条件[J].油气地质与采收率,2012,19(2):23~25.
Li Min, Chen Yongjin, Jiang Wenbin. Hydrocarbon accumulation conditions for lithologic reservoirs in Pinghu formation, Xihu depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012,19(2):23~25.
- [2] 张娟.西湖凹陷平湖油气田断层评价[J].油气地质与采收率,2012,19(4):18~20.
Zhang Juan. Study on fault-sealing in Pinghu oil and gas field, Xihu depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012,19(4):18~20.
- [3] 唐志军.井身结构优化设计方法[J].西部探矿工程,2005,17(6):78~80.
Tang Zhijun. Preliminary study on optimization of casing program[J]. West-China Exploration Engineering, 2005, 17 (6): 78~80.
- [4] 吴建忠.川东北深井井身结构优化探讨[J].石油地质与工程,2009,23(2):88~90,93.
Wu Jianzhong. Discussion about optimization of deep well bore frame in Northeast Sichuan[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009,23(2):88~90,93.
- [5] 唐志军.川东北河坝区块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.
- [6] 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.
- [7] 管志川, 李春山, 周广陈, 等. 深井和超深井钻井井身结构设计方法[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2001, 25(6): 42-44.
- Guan Zhichuan, Li Chunshan, Zhou Guangchen, et al. A method for designing casing program in deep and superdeep wells [J]. Journal of the University of Petroleum, China; Edition of Natural Science, 2001, 25(6): 42-44.
- [8] 步宏光, 唐世忠, 饶富培, 等. 大港油田井身结构优化研究与应用[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(4): 105-108.
- Bu Hongguang, Tang Shizhong, Rao Fupei, et al. Research and application of Dagang Oilfield casing program optimization[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011, 33(4): 105-108.
- [9] 刘小刚, 崔治军, 陶林, 等. 渤海油田科学探索井井身结构优化设计[J]. 断块油气田, 2011, 18(5): 663-665.
- Liu Xiaogang, Cui Zhijun, Tao Lin, et al. Optimization design of wellbore structure for scientific exploration well in Bohai Oilfield[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(5): 663-665.
- [10] 刘彪, 白彬珍, 潘丽娟, 等. 托甫台区块含盐膏层深井井身结构优化设计[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(4): 48-52.
- Liu Biao, Bai Bin珍, Pan Lijuan, et al. Casing program of deep well with evaporite bed in Tuofutai Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(4): 48-52.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 关德, 罗勇, 张海山. 西湖凹陷低孔低渗深探井井身结构优化研究与应用[J]. 中国海上油气, 2013, 25(2): 61-63.
- Guan De, Luo Yong, Zhang Haishan. The optimal research and application of casing program in low porosity and low permeability deep exploratory wells in Xihu Sag, East China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(2): 61-63.
- [14] 葛鹏飞, 马庆涛, 张栋. 元坝地区超深井井身结构优化及应用[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(4): 83-86.
- Ge Pengfei, Ma Qingtao, Zhang Dong. Optimization and application of ultra-deep well casing program in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(4): 83-86.
- [15] 刘绘新, 张鹏, 熊友明. 合理井身结构设计的新方法研究[J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(1): 19-22.
- Liu Huixin, Zhang Peng, Xiong Youming. A new method of well structure design by salt rock creep pressure profile[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(1): 19-22.
- [16] 管志川, 柯珂, 苏堪华. 深水钻井井身结构设计方法[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(2): 16-21.
- Guan Zhichuan, Ke Ke, Su Kanhua. Casing design and optimization for deepwater drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 16-21.

〔编辑 刘文臣〕

Canrig 公司连续循环系统

欠平衡钻井、控压钻井及泡沫钻井技术的关键之一是起下钻过程中的连续循环问题, 尤其在欠平衡钻井中, 停泵接单根会造成停钻时间较长。当循环恢复时, 需要较长的时间才能再次形成欠压, 同时还可能导致油层损害。为此, Canrig 公司开发出连续循环系统。该系统可在钻井液低速循环过程中确保井底压力稳定, 改善井眼机械完整性和清洁度, 并降低井涌风险。该系统主要由短接头、控制台及节流管汇组成。短接头是整个系统的核心, 包括一体化的球阀和旁通阀, 每个立柱都要接一个短接头。正常钻进时, 球阀打开, 形成循环通道。接单根时, 使用软管连接旁通阀和节流管汇, 通过节流管汇来控制液体循环, 然后关闭球阀, 从而实现接单根过程中的连续循环。

控制台是人机界面控制的远程面板, 用于转换钻井液的流动方向, 例如, 在接单根过程中, 将钻井液导入旁通阀中。通过连续循环, 系统维持了整个井筒中环空压力剖面恒定, 消除了压力波动引起的井壁稳定性问题, 将窄密度窗口钻井中的井底压力波动降到最小, 降低了接单根过程中的井涌风险, 保持了井眼清洁, 同时提高了欠平衡钻井速度。

(供稿 李昌盛)