

南海西部深水高温高压窄压力窗口钻井精细化作业理论与实践

吴艳辉(中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

李梦博(中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要: 在南海西部乐东、陵水深水油气资源开发过程中, 窄压力窗口钻井问题越来越突出, 钻井过程中井漏、溢流交替发生, 严重制约着深水勘探开发的脚步。本研究从窄窗口地层特点和钻井工艺出发, 结合14口自营深水井作业实践经验, 总结出一套贯穿钻井、固井、弃井全过程的窄压力窗口精细化作业理论与技术, 为深水窄压力窗口钻井提供参考依据及技术借鉴。

关键词: 窄窗口; 南海西部; 深水钻井; 精细化; 措施

随着海上勘探开发的不断深入, 特别是南海西部乐东、陵水深水高温高压井开发, 窄压力窗口钻井问题越来越突出, 钻井过程中井漏、溢流交替发生, 且漏失为地层压裂所致, 漏速较大, 堵漏难度较高。窄密度窗口已成为制约海上油田安全高效钻进的瓶颈。

针对琼东南盆地特殊的深水钻井难点, 本研究通过现场实践, 针对井身结构优化、现场作业工艺、压力波动控制、作业材料优选等方面, 总结出一套行之有效的钻井、固井、弃井全过程井筒压力精细化控制技术理论, 大大降低了作业成本和作业时效, 为中国深水钻井勘探开发进程提供技术支持。

1 南海西部深水钻井窄压力窗口特点及难点

南海西部深水区域位于琼东南盆地, 该区域深水井水深大多在1000m以上, 地层压实较弱, 地层破裂压力低, 钻井作业窗口更窄。由于海水的存在, 其温度剖面呈现反梯度形式, 温度变化剧烈, 也为南海西部深水高温高压窄压力窗口钻井作业带来严峻的挑战^[1-5]。

南海西部作业区块莺歌海组及黄流组地质情况复杂, 存在侧向压力传递、古河道水道砂、压力反转等情况, 压力预测难度大, 窄压力窗口的确定难度更大。

2 精细化作业理论与实践

南海西部深水高温高压窄压力窗口作业涉及钻井、固井、弃井全过程压力精细控制, 任何一个环节出现问题均会导致复杂情况的发生。

2.1 钻井阶段精细化作业

2.1.1 井身结构实时优化技术

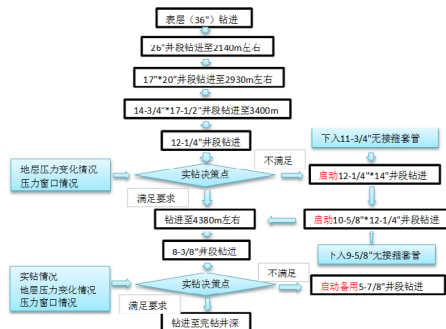


图2 井身结构实时决策系统

Fig.2 Real time decision making system of well casing structure

钻前对区块已作业井进行地层压力复核与横纵向对比分析, 尽量精确全面摸清地层压力, 适当增加套管层次和表层套管或技术套管的下入深度, 减小目的层的井控压

力, 扩大作业井段压力窗口。此外, 在钻进过程中建立详细的井身结构实时决策系统, 对井身结构进行实时优化。图为南海西部典型井身结构现场实时决策系统。

2.1.2 现场降低ECD技术

在井底恒压钻进循环过程中, 需要精确计算ECD以保证井底压力在安全泥浆密度窗口之内。ESD与ECD的计算公式如下:

$$ESD = \frac{\sum[(1-C_a)\rho(P,T)+C_a\rho_c]g \cdot dH}{gH} \quad (1)$$

$$ECD = \frac{\sum[(1-C_a)\rho(P,T)+C_a\rho_c]g \cdot dH + \sum dP_f(P,T) \cdot dH}{gH} \quad (2)$$

以上两式中, C_a 为岩屑浓度, %; ρ 为泥浆密度, g/cm^3 ; ρ_c 为岩屑密度, g/cm^3 ; dP_f 为环空摩擦压耗梯度, MPa/m; P_{bh} 为井口回压, MPa; g 为重力加速度, N/kg; H 为井深, m。

现场实际作业中降低ECD主要措施如下: ①降低机械钻速, 使单位时间产生岩屑减少; ②降低转速; ③降低钻井液塑性粘度及屈服值, 提高钻井液的流变性; ④钻进期间向活动池添加材料时, 控制重晶石等高密度或PF-PLUS高粘度材料的加入速度。

2.1.3 压力波动控制技术

2.1.3.1 起下钻井底压力控制

起下钻期间应对窄压力窗口精细化施工措施主要表现在: ①控制起下钻加速度, 避免过高的激动压力和抽汲压力; ②起下钻期间, 加强计量罐的监测; ③倒滑眼起钻期间, 控制速度, 同时利用深水钻井平台钻井设备, 限制泵压上限; ④若倒滑眼起钻井段过长, 选择中途循环, 减小倒滑眼起钻憋泵风险。

2.1.3.2 开泵井底压力控制

总结作业实践经验, 现场开泵需小泵冲打通, 确定井眼及钻井液返出正常后, 以较低泵冲逐次增加至钻进排量。在钻进期间如遇钻井参数异常, 将钻头提离井底, 循环观察, 排查原因, 待恢复正常后方可继续钻进。

2.2 固井阶段精细化作业

固井包括下套管和注水泥两个阶段, 对于窄压力窗口的深水井, 固井期间尤其到顶替收尾阶段, 井漏的可能性很大, 需要精细化施工。

2.2.1 下套管压力波动控制技术

下套管期间的应对措施与起下钻类似, 但仍具有其特

殊性,下套管期间的窄压力窗口应对措施有:①套管串进裸眼前,开泵打通循环钻井液,避免钻井液长时间静止;②使用自动灌浆浮箍,在下入过程中钻井液大多向套管内流动,减小激动压力。

2.2.2 注水泥压力精细控制技术

注水泥期间窄压力窗口应对措施主要体现在前期施工设计、软件计算、精细施工上:①软件模拟注水泥期间或结束后薄弱层、套管鞋、上层套管鞋静态 ECD 和动态 ECD 大小,避免固井期间发生井漏;②首浆水泥使用低密度的漂珠水泥,降低水泥浆密度;③合理确定循环及顶替排量;④做好固井期间漏失后应急预案。

2.3 弃井阶段精细化作业

弃井阶段井底压力精细化控制措施主要包括:①合理设计水泥塞长度,满足水泥塞凝固失重期间仍能压稳地层;②注完水泥塞,控制当量不大于薄弱层破裂压力当量;③对于关键水泥塞的试压作业,控制试压值,避免水泥塞质量不好,压力下窜压漏薄弱层。

3 结论与建议

本文基于 14 口南海西部深水井的现场作业经验和理论分析,建立了一套全过程的南海西部窄压力窗口精细化作业理论与技术,得到以下结论:①钻井阶段的窄压力窗口应对措施主要体现在预防激动压力、抽汲压力、憋泵的产生,优化钻井液性能、作业程序是有效的预防措施;②固

井阶段的窄压力窗口应对措施主要体现在预防井漏上,摸清地层压力、动静态 ECD 模拟及计算是有效的预防措施;③弃井阶段的窄压力窗口应对措施主要为预防薄弱层压力当量大于漏失当量,循环及试压过程对薄弱层承受的压力当量判断是有效的预防措施。

参考文献:

- [1] 江怀友,潘继平,鲁庆江等.世界海洋石油工业勘探现状与方法[J].石油知识,2008(5):7-9.
- [2] 董星亮.深水钻井重大事故防控技术研究进展与展望[J].中国海上油气,2018,30(2):112-119.
- [3] 李梦博,许亮斌,罗洪斌,等.深水高温钻井井筒循环温度分布与控制方法研究[J].中国海上油气,2018,30(4):158-126.
- [4] 李中,刘书杰,李炎军,等.南海高温高压钻完井关键技术及工程实践[J].中国海上油气,2017,29(6):100-107.
- [5] 李文拓,李中,罗鸣,等.莺歌海盆地超高温高压探井作业模式探索[J].重庆科技学院学报(自然科学版)2020,22(3):21-23.

作者简介:

吴艳辉(1988-),男,毕业于西南石油大学,深水钻完井总监,现主要从事海洋深水现场总监工作及项目管理工作。

(上接第 156 页)井水位已经达到极限水位。

水仓水位指标是对水泵是否启动的重要因素,为了实现节能以及安全两方面的因素,首先要确保子系统具有“避峰填谷”的功能,然后采用灰色理论来对水位进行预测。

3.2 排水管路和水泵的轮转子系统设计

在每个水泵上安装 2 个数据寄存器,用来记录水泵的运行次数以及运行时间,从而辅助进行排水管路和水泵的轮换。当水泵启动时,系统对水泵进行运行次数的判断,然后启动该水泵。

当水泵发生故障时,将其推出轮换之中,同时根据算法来启动其他水泵,当排水系统运行时,排水管路和水泵使用均为 3 台,其不同的管路选择主要依据闸阀开断情况进行运行,优先选择运行次数较少的管路,当水泵各管路的运行次数相同时,则将时间作为启动的标准。

4 水泵控制方式的选择

在本次设计中,水泵系统的控制方式包括全自动、半自动以及手动三种。

全自动控制。在该种控制方式下,系统的启动和停止是按照预先设计的程序开展的,其与操作按钮均不会产生该效果,而水泵的运行则由水位高度、水泵启停的实践以及压力值等因素来决定。

半自动控制。在该种控制方式下,操作者和用户分别在地面调度室的控制终端来对水泵的启动以及停止进行操作,操作者对其进行检测,用户进行水泵启停的控制,系统设定的命令传输至 PLC 控制柜则是通过互联网来完成

的。

手动控制。顾名思义,在该种方式下,用户对系统的维护更加方便,能够根据指示灯等数据来实现系统控制操作的一对一。

在进行水泵的启停操作时,需要严格遵循相关操作流程和标准,这是因为每台水泵启停都是独立进行的,其操作方式和控制手段各不相同,倘若没有按照相关流程进行操作,很容易造成水泵的损坏以及水锤效应的产生。

5 结语

本文对矿井主排水泵自动化系统存在的缺点作了分析,并结合使用要求来对系统进行改造,在对主排水泵进行自动化控制的过程中,还对控制项目做了完善和补充。另外,通过大量的实践分析可知,设计之后的控制系统能够显著提升主排水泵的使用效率,进而保障矿井开采工作的安全和工作环境的稳定。

参考文献:

- [1] 袁儒杰.矿井主排水泵自动化控制系统改造设计[J].机电工程技术,2020,49(03):25-27.
- [2] 王海兴.煤矿主排水泵自动化控制系统改造设计及应用[J].机械管理开发,2019,34(05):216-217.
- [3] 任永忠,刘哲,史好好.矿井主排水泵自动化控制系统的应用[J].山东煤炭科技,2012(03):155-156.

作者简介:

康宏(1989-),男,汉族,山西太原人,职务:副队长,职称:机电助理工程师,本科,研究方向:机电。