

南中国海深水钻井井控管理技术

王家栋

中海石油(中国)有限公司深圳分公司

DOI: 10.12238/ems.v4i9.5611

[摘要] 中国南海海洋深水石油开采,受平均水深和海洋环境的影响,存在着多种技术难题,同时也给沙姆人钻取安全提出了巨大的挑战。中国海洋油田开采中存在的最主要钻取风险就是安全钻取问题,尤其是井控风险。海洋油田如果发生了井喷,将会给平台人员和海洋环境造成难以挽回的巨大损失。为了向外溢监控提供充分的预警时间,迫切需要研制深水处钻取的早期外溢监控设备。而针对于深水隔水管的钻取,则需要构建地层竖井-地面监控装置间的水压传导关联模式,以研究深水处钻取外溢出现、进展的全过程。在发生大面积溢流的情形下,能够提供更合理且有效的深水处外溢管理方式。

[关键词] 深水钻井;井控;动态压井钻井;管理技术

中图分类号: TE52 **文献标识码:** A

Well control management techniques for deepwater drilling in the South China Sea

Wang Jiadong

Cnooc (China) Co. LTD. Shenzhen BRANCH

[Abstract] Due to the influence of the average water depth and Marine environment, there are many technical difficulties in the deep-water oil exploitation in the South China Middle Ocean, which also poses great challenges to the drilling safety of the Sham people. The most important drilling risk in offshore oilfield development in China is the safety drilling problem, especially the well control risk. If a blowout occurs in an offshore oil field, it will cause irreparable losses to the platform personnel and the Marine environment. In order to provide sufficient warning time for overflow monitoring, it is urgent to develop early overflow monitoring equipment drilled in deep water. For drilling riser in deep water, it is necessary to build a hydraulic pressure conduction correlation model between stratum shaft and surface monitoring device to study the whole process of the emergence and progress of drilling overflow in deep water. In the case of large area overflow, it can provide a more reasonable and effective way of deepwater overflow management.

[Key words] deepwater drilling; Well control. Dynamic kill drilling; Management technology

1. 背景

随着社会经济的迅猛发展,人类对于油气能源的需求日益增加,深水钻井获得的油气能源在世界石油总产量中所占比例逐年增加。现阶段,尽管浅海油气资源所占份额较大,越来越多的深水油气田被发现。深水钻井需要采用特殊的装备和技术手段,钻井投资巨大,受水深和海洋环境的影响,深水钻井具有极大的技术风险:与陆上油田相比,泥线之上是海水而非传统意义上的地层,导致泥线附近地层处于欠压实状态,随着水深的增加,泥线下地层的破裂压力随之降低,甚至接近于海水的压力梯度;浅层流、浅层气等因素的干扰使得深水钻井固井、完井作业更加困难,在特殊情况下会导致井壁失稳,甚至造成油气井报废;泥页岩地层黏土含量高,水敏性强,利用水基钻井液钻欠压实的泥页岩时,时常引发井眼垮塌、下套管作业困

难、井漏、缩径等一系列钻井事故;海底低温条件易生成天然气水合物,一旦出现气侵,有可能在水下防喷器组合和节流管线附近形成水合物,从而导致水下井口附近设备出现阻塞,水合物也可能堵塞钻柱环空,严重时甚至造成卡钻等井下事故。为最大限度地保证深水钻井井控安全。在溢流发生后,应该结合深水存在隔水管及长阻流管线的实际情况,提出合理的井控控制管理方法。

2. 国内外早期深水钻井监测技术现状

国外溢流监测主要有三大类:①通过分析随钻测量参数、录井参数识别岩性性质判断是否钻遇气层;②测量进、出口流量,通过进、出口流量差来判断是否发生溢流现象;③测量环空中自由气的含量。

(1) 基于LWD的早期井涌监测技术

LWD主要进行实时测定地层声波、电阻率、伽马、中子密度等数据,并利用声波时差,根据电阻率、伽马噪声、电子密度等及时预报岩层高压,在出现岩层高压异常情况时,可以及时进行对岩层异常高压的预警,并计划地进行必要的处理。LWD的早期井涌检测基本原理是:通过测定土壤岩层的自然伽马、土壤岩层密度、电阻率、自然中子伽马、声波时差等参数,对土壤岩层实测数据进行实时监控和预测,以及时发现土壤岩层检测数据的异常情况。同时,通过对钻井液的电阻率、自然伽马、声波时差和钻井液压力等数据进行实时监控。

(2) 基于AWPD的早期井涌检测技术

随钻环空压力测量(AWPD)系统实时测量钻井及循环过程中井底的环空压力,对比实测的井底环空压力与预测的地层孔隙压力,就可以及早发现井涌,避免小井涌发展成为大的井喷事故。AWPD系统还可以测量环空流体温度,利用环空流体温度的变化早期发现地层流体的侵入。当混有油气的地层流体侵入环空时,AWPD测量传感器处的溢流量升高、压力降低。在停止循环时,将测量出的环空压力转换成钻井液等效静液柱压力梯度。在开泵循环时,又将所测得的环空压力转换成环空等效循环密度。钻井过程中,井内静液柱压力必须始终高于地层孔隙压力,否则将发生井涌。在钻井过程中,可以通过随钻测井(LWD)、随钻测量(MWD)及AWPD技术进行深水钻井的井涌早期监测。将以上几项监测参数相结合,可以对井涌及时、准确地监测。

(3) Weatherford的先进溢流检测系统

Advanced kick detection系统在钻井液返出管线处安装一台出口流量计,测量停泵后泥浆罐中钻井液体积变化。这种方法用于监测接单根过程的溢流是非常有效的。在接单根过程中,总会有部分液体回流到泥浆罐中,传统的溢流监测方法难以确定是否发生溢流。当停泵时,由于等效钻井液密度的降低,增加了溢流的可能性。系统测量每次接单根(或停泵)过程中回流曲线,通过比较测量回流曲线与理论回流量之间的差异来检测溢流是否发生。测量钻井液的回流量考虑了钻井船升沉运动和钻杆运动引起。

3. 风险评价方法建立

深海油气的勘探开发最直接的风险往往来自钻井作业,最严重事故之一是井喷一旦发生井喷失控,油气资源将遭到严重破坏,其破坏程度往往比陆上以及浅水钻井更为巨大。因此,在进行钻井作业前,需要对井控风险进行严格的分析与评估,掌握钻井过程中可能遇到的风险因素,提出预防对策,保证深水作业的安全。

在实际工程中常用来预测风险的方法主要有层次分析法,故障树分析法,模糊综合评价法以及安全检查表法等几种。这几种风险评价方法主要是通过钻前对钻井过程中可能会遇到的风险因素进行评估,最终实现风险从定性到定量的转变。但是这几种方法都依赖于相关人员和专家的丰富经验和知识积累,其评价结果往往只能在钻前提供一定的指导意义,而在钻进过程中或者事故已经发生时不能很好地发挥作用。因此,本节创建一种基于深水钻井两相流规律的井控风险评价方法,更精细化、更切合现场。基本流程如下图:

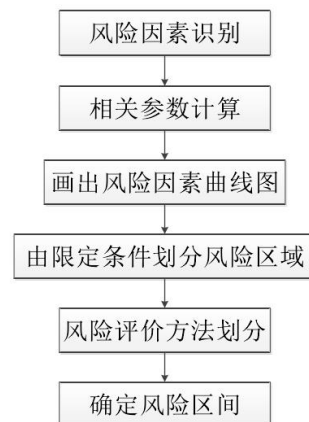


图1 风险计算流程图

3.1 风险因素识别

首先要进行风险识别,钻井过程中存在着很多复杂和不确定的风险因素,对深水钻井井控而言,主要有水深、地质条件、地层压力、井控装备、溢流检测方法、节流管线尺寸、关井和压井方法、工作人员技术熟练程度及应急能力等。具体如下:

(1) 地质条件的影响。深水油气井中,水深越大,井控风险也就越大,对防喷器以及分流器的要求更高,井控难度也就越大。海底泥线以下的浅部地层的破裂压力及强度梯度低,可供采用的井控措施较小,井壁稳定性较差,钻井液体系选择困难,需要精确控制钻井液的粘度和密度。

(2) 深水低温和井控装备影响。的影响。海底泥线附近的低温高压环境容易生成天然气水合物,给防喷器控制造成困难,堵塞压井节流管线。不断开发先进的井控装备,如点火器、固控设备、自动补偿式旋转防喷器及其液压系统、除泥器、除气器等,能够有效处理较大规模的井涌溢流事故,避免发生井喷事故。

(3) 节流管线摩阻损失的影响。水深越大,则节流管线长度越长,损失的压力越大。发生气侵时,节流管线的容积较小,管线底部的“气体交换效应”导致气体迅速充满管线,并迅速降低静水压头。因此需要很大的套压来补偿大幅度降低的环空静水压力,套压可能导致压裂地层的后果。关井、压井方法不合理、人员操作水平及应急的能力较差。因为地层破裂压力较低,采用常规压井方法可能无法满足深水井控的需要;此外,疏忽大意或操作不当也会导致井喷。

在现场实际钻井过程中,一旦发生气侵,则可以直观地看到或者改变的因素有压井排量,溢流量,溢流时间,压井液密度等;通过调节这些因素进行风险判定及评价,从而成功控制井筒溢流。

3.2 风险范围确定

①分别计算出最大允许关井套压等数值;假设其他风险因素不变,求得套压与溢流量、套压与地层压力等因素两两之间的对应关系;分别作出风险因素之间两两对应的关系曲线图;②由最大允许关井套压等限定条件,在关系曲线图上划分为几个不同的区域;③根据对曲线图形的分析,得到某一风险因素

的风险取值范围;结合多个图形分析,综合得到该风险因素的取值范围;④划分风险评价范围,确定风险区间;进行下一风险因素分析,直到分析结束;综合各风险因素分析结果,提出风险应急预案。

4. 井控风险预案及措施

无论钻前风险分析和风险预防工作做得多好,风险总是存在的;风险只能降低,而不能消灭;因此,为确保万一,我们需要在做足风险评估的基础上,进一步准备风险预案,以确保风险确实发生的情况下能够顺利进行风险处理。

4.1 溢流预防工作步骤

溢流的预防井涌溢流的预防工作可分为设计、日常工作、钻开储层前,钻开储层时以及钻开储层后五个部分。首先,在设计阶段要合理的选择井口位置,绕开含有浅层气的地方,万一难以避开,应该严格按照要求进行控制,精确预测地层压力,可通过相邻井位的数据和该井的地质资料。优化井身结构设计根据地层资料合理选择钻井液类型和钻井液密度,选择最合适的深水钻井井控设备,注意海底防喷器组的额定工作压力。然后,要着重做好井控设备的试压工作,并按规定设计地层破裂压力试验方案,在下入钻具的同时应下入止回阀。严格执行QHSE规定,钻前编制好井控应急预案。

在钻井过程中一旦发现溢流特征,工作人员应该立刻进行以下操作:钻井平台应该马上暂停正在进行的工作。及时发出溢流警报信号,同时要根据编制的井控应急方案进行关井。平台经理或总监要立刻安排值班人员到位。暂停一切热工作业,防止燃烧;同时查看应急舱门关闭情况。按照现场实际情况以及检测到的井口压力数据等资料,确定压井方案以及措施。及时向上级汇报,包括时间、地点、事故的严重程度等。准备好事发地的海文和气象等资料,以便救援。通知平台值班船起锚待命,随时准备撤离。

4.3 溢流应急处理

关井是溢流处理非常关键的步骤之一,能不能及时有效关井关系到后期井控操作的成败,关井时间越早,速度越快,则侵入的地层流体也就越少,井控难度越低。根据不同情况,关井可分为三种:硬关井、软关井以及半软关井。硬关井指在关闭节流阀后再关闭海底防喷器的关井方式,优点是关井速度最快,侵入最少;缺点是井筒内会产生水击效应,严重时可能损坏井口装置和压裂井底裸露地层。软关井指先打开节流阀,再关闭海底防喷器的关井方式,优点是水击效应较小,对井口装置和裸露地层破坏较小;缺点是地层流体侵入量较大,造成井控难度增大。在关井的时候,应注意查看套管压力和立管压力的变化情况,并记录下来。在压力不断上升的情况下,一旦其大于最大允许套压,则需要放喷点火泄压。井喷失控措施主要包括:一旦发生井喷失控,应该马上切断平台电源,并关闭所有发电机、柴油机等,同时还要禁止一切火源;马上向公司上级应急小组、相关政府部门和救助部门汇报;在保证抢

险人员的安全基础上,及时移开易燃易爆物品并远离危险区,移开平台以及应急通道的物品,同时尽量减少其他财产损失;测量平台上各种有毒有害物质的浓度和分布,并划出安全范围。同时根据现场情况控制危险区间,安排非救援人员离开;通知救援船马上去现场开展救援措施,同时大量向油气喷流和平台井口周围喷水,防止着火;如果无法控制井喷并发生失控着火,应该立即安排平台上的工作人员离开;跟公司上级应急小组确定相关救援抢险方案,安排展开抢险工作。

4.2 钻井设备维修及检测

除了以上主要措施外,在日常的维护及培训过程中还要定期对井控设备和钻井的仪器仪表进行维修和检测,保证其工作性能。严格检测井筒内有无溢流现象。定期展开试压试验,保证井控设备安全,并开展防喷演习训练。强化工作人员的安全教育,提高他们的安全意识和应急处理能力。打开储层前在打开储层前,由钻井总监现场举行安全工作会议,安排人员开展安全检查,并核实安全检查结果。此外,还要确保以下工作顺利:井口装备试压通过后调整井口位置,并固定。检查是否通过固井质量和套管柱试压检测,万一不通过,则要马上进行补救,查看地层破裂压力试验结果能不能满足规定等重要举措。当工作人员打开储层时一定要调整钻井液密度,使其符合钻井设计。当钻进储层2到3米时,保持钻井液循环,停止钻进,检查钻井液密度是否合理。严密监测DC指数变化,加强地层孔隙压力监测。每个班组都应该开展一次低泵速试验,同时做好实验记录;根据实验结果不断调整钻井液性能。做好钻井日记记录,并查看阻流管汇的闸门开关情况,保证阀门的工作性能。检查并记录储能器油箱的油位,保证各压力仪器运行正常,拨动防喷器的阀芯以及手动、液动阻流阀。打开储层后继续做好打开储层时的各项工作,并进行起下钻作业,测量气体上窜速度;其中,起下钻和测气体上窜速度都有一定要求。

5. 结论

本文探讨了深水钻井过程中井控风险评价及管理技术等问题,并提出了适用于现场的风险评价方法和预防应急处理措施。这能够有效的降低南海深水钻井过程中的施工风险,对深水钻井技术有一定参考意义。

【参考文献】

- [1]徐鹏.深水钻井中的动力压井方法研究[D].中国石油大学,2008.
- [2]刘保波,陈彬,李彬.南海深水钻井窄压力窗口井控管理技术及应用[J].中国石化标准与质量,2021,41(12):163-164.
- [3]李允智,王福学,马军鹏,等.深水钻井面临的井控技术难点及应对措施研究[J].中国石化标准与质量,2019,39(20):191-192.