

滨里海地区活跃浅层气的钻井防控技术

刘任远 王 华 韦代延

(中国石化国际石油勘探开发有限公司,北京 100083)

摘要:浅层气的防控一直是钻井中的难题,钻遇浅层气后若采取措施不当,极易酿成严重事故。滨里海W区块在埋深300~500 m的白垩系地层有活跃的浅层气,WS-3井在钻井过程中就发生了浅层气井喷失控、烧毁井架的事故。中国石化国际石油勘探开发有限公司(SIPC)接管FIOC公司后,在该区块已经钻井30多口,积累了大量的施工经验,并探索出一套适合哈萨克斯坦明泰克油田的浅层气钻井预控技术,尽管其中的W-4井和W-18井发生了井喷事故,但是均压井成功,未造成严重后果。根据FIOC公司所属W区块发生的浅层气井喷实例,分析了发生井喷的原因,并制订了该地区控制并消除井喷危害的技术方案,对其他地区安全钻进浅层气有一定的借鉴作用。

关键词:浅层气;井漏;井喷;井控;滨里海盆地

中图分类号:TE28 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2010)05-0076-05

Caspian Sea Well Control Technique for Active Shallow Gas Drilling

Liu Renyuan Wang Hua Wei Daiyan

(Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing, 100083, China)

Abstract: Blowout in shallow gas well drilling is a difficult problem, for it can easily lead to serious accidents if measures are not taken properly. There exists active shallow gas at depth of 300~500 m in cretaceous formation in Block W, and FIOC left Kazakhstan due to blowout of well WS-3, which resulted in derrick burning. SIPC has successfully drilled more than 30 wells in this block after taking over FIOC in 2004. A set of method of shallow gas well blowout prevention and management in Kazakhstan Ming Taike Oil-field was developed and valuable experiences were accumulated. Well blowout occurred in Well W-4 and Well W-18, a set of technical measures was used successfully so that serious consequences were not occurred. Using the well blowout in Block W of FIOC as an example, the reason for blowout was analyzed, the techniques to control and eliminate well blowout were developed. Valuable experiences for safety drilling were accumulated and references for other area of shallow gas drilling were provided.

Key words: shallow gas; lost circulation; blowout; well control; Caspian Sea Basin

1 上部地层特点及浅层气钻探难点

滨里海W区块位于滨里海盆地南部的阿斯特拉罕-阿克纠宾斯克古隆起带西侧,Me区块的中东部,为典型的盐上构造。W区块地层自下而上为二叠系、三叠系、白垩系以及晚第三系。该区块构造较复杂,断层多、裂缝发育,通常是多个压力系统同存在一个尺寸井眼内,容易造成上漏下喷、气漏同层、气水同层。其中,该区块上部白垩系地层最为复杂,

其上中部(300~500 m井段有较活跃的浅层气)地层疏松,胶结性能差,承压能力弱,井喷后提高钻井液密度易漏,须预防先漏后喷的情况发生,浅层气的钻探工作异常艰难。白垩系地层上部岩性以泥岩为

收稿日期:2010-06-17; **改回日期:**2010-08-19

作者简介:刘任远(1976—),男,黑龙江七台河人,1999年毕业于大庆石油学院石油工程专业,2005年获俄罗斯国立石油天然气大学油气田工程专业硕士学位,主要从事陆地、海洋钻井过程的技术管理工作。

联系方式:(010)82332756, ryliu@sipc.cn

主, 上部含多层粉砂岩, 下部含多层灰岩和厚层砂岩, 粉砂岩胶结较差, 偶有贝壳, 少量黄铁矿, 偶有灰质胶结; 白垩系地层中部岩性以泥岩为主, 夹多层粉砂岩和薄层灰岩, 砂岩胶结较差, 主要成分为石英, 长石次之, 偶见黄铁矿, 大量泥质基质, 孔隙性差; 白垩系地层下部岩性以泥岩为主, 夹薄层粉砂岩。白垩系地层以泥灰岩为主, 地层造浆较严重, 大段的泥岩遇水膨胀, 容易造成缩径^[1-2]。白垩系 K_v 地层与下部侏罗系地层呈角度不整合, 其岩性为浅灰色含粉砂泥岩与浅灰色薄层粉砂岩互层。盖层为白垩系 K_b 以上的地层以及晚第三系地层, 以大段的海相泥岩为主, 夹有薄互层的砂岩或粉砂岩, 地层分布稳定, 厚度 450~630 m, 断层不发育, 是很好的盖层。

因浅层气具有压力高、易发生井喷、井喷速度快、允许波动压力低、处理困难的特点, 所以浅层气的井控是国际钻井界的一大难题。W 区块浅层气又有自己的特点, 埋藏浅, 能量充足, 单井日产气量通常在数万立方, 正因为井浅、能量足, 且天然气上窜速度极快, 导致压井困难、防喷器难以控制, 进而易导致井喷失控。这一直制约着滨里海 W 区块的勘探开发进程。FIOC 公司在滨里海 W 区块所钻的 5 口井中, 只有 2 口井顺利完钻, 其余的 WS-1 井、WS-2 井和 WS-3 井三口井均因浅层气的问题导致钻井失败, 更为严重的是, 在 SIPC 接管之前, WS-3 井因浅层气打开后井喷失控起火, 烧坏钻机, 在当地造成了恶劣影响, 当地政府将 W 区块列为最高风险级别区块。

2 浅层气井喷处理实例

在 W 区块以及 FIOC 公司拥有 20% 股权的相邻的 B 区块(该区块中方持有股权, 没有钻井操作权)总共发生过 5 次井喷事故。它们分别是 WS-3 井、W-4 井(2 次)、W-18 井以及 B 区块的 7-BO 井。

2.1 WS-3 井井喷事故

WS-3 探井由 FIOC 公司施工, 设计井深 800 m, 设计套管程序为: $\phi 323.9$ mm 套管 \times 150 m + $\phi 244.5$ mm 套管 \times 400 m + $\phi 168.3$ mm 套管 \times 800 m。2004 年 2 月 8 日开钻, 一开 $\phi 323.9$ mm 套管下深 146 m, 二开 $\phi 295.3$ mm 井眼在 316~323 m 井段钻遇浅层气, 处理后, 继续钻进至井深 400 m。由于起钻时的抽汲作用, 钻井液溢出钻台面, 旋即喷

出, 尝试关井未成功, 数秒钟内起火燃烧, 井喷失控。喷出物为气水混合物, 在燃烧了 6 d 之后, 经过移除废钻台、控制火柱垂向燃烧、清理防喷器周围的杂物、连接放喷管线、关闭防喷器, 从而实现控制放喷, 此时套压 1.2 MPa。最后该井被迫弃井。

2.2 W-4 井井喷事故

W-4 井钻至井深 561.48 m 时发生井漏, 漏速 8.7 m³/h, 钻井液相对密度为 1.18, 随即采取堵漏措施, 一边加膨润土, 一边加堵漏材料, 小排量间歇向井内注入堵漏钻井液, 同时严密监测进出口钻井液密度, 观察井口, 但液面一直不稳。后发现套压由下降突然变为上升, 立即报警, 实施软关井处理成功。

W-4 井油层套管固井完成后, 关环形防喷器候凝, 2.5 h 内套压一直为 0, 水泥样品已经发硬, 开环形防喷器, 观察井口无异常, 决定拆防喷器, 0.5 h 后喇叭口有溢流旋即发生强烈井喷。后压井成功, 但该井一直漏气。分析井喷原因, 认为: 水泥浆失重、窜槽引发井喷。在固井候凝期间, 水泥浆随着稠化凝固产生“失重”现象, 使井内液柱压力降低, 当低于地层压力时, 气体通过扩散作用侵入水泥浆内, 进而诱发井喷; 现场根据地面水泥浆的凝固情况拆井口, 打开了防喷器, 造成憋压候凝时间不足, 最终导致井喷发生。好在现场采取了关井控制放喷、置换压井的有效措施, 最终压井成功, 控制住了井喷。

2.3 W-18 井井喷事故

W-18 井的井身结构为 $\phi 323.9$ mm 钻头 \times 200 m + $\phi 244.5$ mm 钻头 \times 400 m + $\phi 168.3$ mm 钻头 \times 设计井深。该井在钻至井深 514.5 m 时, 钻遇浅层气发生井喷。钻进时, 发现 1# 泵(F-1300)的喷淋泵坏, 停泵, 上提方钻杆约 2 m(当时方入 10.94 m, 方余仅剩 0.7 m), 突然发生强烈井喷。强大气流将方瓦顶出, 副司钻被气流推倒、刹把失控, 钻具落井, 大钩顿开, 司控台无法靠近。技术人员到远控房实施软关井, 在节流管汇一侧点火放喷成功, 套压 2.5 MPa, 实施环空平推置换压井, 最后压井成功。分析井喷原因, 认为是打开气层过多, 气侵后效严重。三开时在 410~450 m 井段发现有 7 个气层, 当钻至井深 509 m 时, 由于上层段的气体气侵后效严重, 导致钻井液密度降低, 从而诱发了浅层气井喷, 好在关井及时, 处理措施得当, 井喷得以控制。

2.4 7-BO 井井喷事故

7-BO 井井身结构为 $\phi 323.8$ mm 钻头 \times 25 m + $\phi 244.5$ mm 钻头 \times 200 m + $\phi 168.3$ mm 钻头 \times 设计井深；钻井液性能为：密度 1.19 kg/L，漏斗黏度 35~40 s，30 min 滤失 4~6 mL。该井 $\phi 215.9$ mm 井眼钻至井深 1 094 m，起钻划眼至井深 901 m 时发生严重地下井喷， $\phi 244.5$ mm 套管鞋（下深 200 m）以下的地层破裂，猛烈的气伴水在进口附近的配浆罐处喷出，导致了井喷失控，喷出地层水数千方，严重污染了环境。井喷 10 d 之后，通过注入水泥浆而实现成功压井。

事故处理结果：起出了所有井内钻具，经测试，破裂漏失层段为 280~330 m，由于多次堵漏无效，最终该井报废。

井喷原因：打开气层过多，气侵后效严重。自井深 820 m 开始钻遇气层，钻遇数个气层，经过 10 h 钻进，一直钻至井深 1 094 m 后才开始循环，且循环除气不充分就起钻，导致气侵后效严重而诱发井喷，严重的是，发生井喷之后，采取不当措施，井口套压达到 2 MPa 而不采取放喷泄压措施，套管鞋以下的地层被压漏，发生了地下井喷，气水沿着裂开的缝隙上窜至地面，从而导致了严重的井喷失控事故。

另外，静止时间过长，在静止状态下气体通过扩散作用侵入井眼，产生积聚现象，形成气柱，气柱逐渐上升，在上升过程中，随着作用在气柱上压力的降低，体积不断膨胀，最终也会导致井喷^[3]。

上部地层钻速快，井筒内岩屑浓度高，钻进中或下钻到底开泵时，开泵过猛很容易将上部地层憋漏。先漏后喷事故也很常见，井漏后，液柱压力下降，在浅层气已钻开的情况下，容易发生井喷。由于钻井液密度较低起钻速度过快引起抽汲，以及灌钻井液不及时等因素也会诱发浅层气井喷。

3 浅层气井喷的预防与控制

3.1 钻浅层气前的预案

滨里海 W 区块预防浅层气的要点是：主要防止在浅气层段中出现井漏和井喷，尤其要预防先漏后喷现象发生。制定紧急预案，组织纸上演练 (drilling on paper) 和作业风险分析 (JSA)，是确保钻井工程顺利实施的前提，制订堵漏措施也是该区块浅层

气防控的重点。

鉴于该区块白垩系上部地层承压能力弱，井喷后提高钻井液密度易漏，故选择的堵漏措施为：加入一些堵漏剂（如 3%~5% 的 CXD 纤维、2%~3% 的 SD-X 等），增强地层的抗压能力，防漏。惰性材料的粒径 <5 mm，否则会影响钻井泵上水。如钻遇大孔洞、大裂缝及长井段蜂窝状裂缝破碎带时，采用清水加 CMC 强行钻进，并快速下套管封隔。防漏的另一主要措施在于严格控制钻井液密度，要利用所有的净化设备来清除有害固相，以实现低固相、低密度、近平衡压力钻进；开泵与起下钻操作平稳，防止因激动压力大造成井漏、井塌；值班人员必须观察好循环罐液面及钻井液返出情况，发现漏失，及时汇报。

在井场上储备足够的堵漏材料，包括综合堵漏剂、膨润土粉、纯碱和 HV-CMC 等。另外，井上要准备好足够的堵漏钻井液，以备急需，邻近区块所属井队也要多储备堵漏材料，出现紧急情况可以迅速支援。实例证明，上述措施为该地区安全、快速钻过浅气层提供了保障。

3.2 钻井过程中的浅层气处理

通过邻井资料反映，井深 300~440 m 容易出现钻头泥包、起钻拔活塞的现象，从而导致出现井下故障。在钻进过程中，坚持快速通过浅气层的原则，在能满足钻压的情况下，尽量简化钻具组合。在二开钻进中，下入的钻具组合为 $\phi 295.3$ mm 钻头 + 浮阀 + $\phi 177.8$ mm 钻铤 \times 2 根 + $\phi 158.8$ mm 钻铤 \times 8 根 + $\phi 127.0$ mm 钻杆。钻速控制在 20~30 m/h，保证井眼清洁，防止因钻井液中岩屑过多而造成井漏诱发井喷；安排专人观察井口和检查钻井液槽溢流。

浅气层钻进：上部地层钻一段保一段。浅层气处理集中在二开，钻进过程中，每钻完 1 个单根，用单泵划眼 1 次，保证上部井眼畅通，每隔 150~200 m 短起下钻一次，以减小虚泥饼厚度，确保井眼畅通无阻，在钻进、短起下钻过程中派专人进行观察。为了能有效携带岩屑和防止钻头泥包，施工中开双泵加大钻井液排量。停泵时间不可过长，不能超过允许停泵时间，若停泵时间较长，停泵期间注意及时灌满钻井液。在特殊情况下，要关井憋压，在一定程度上可限制气体的膨胀，减缓气体的侵入。下钻期间，如需中途循环排气，要正确利用综合录井仪，确保及时发现异常显示^[4]。

滨里海W区块钻遇浅层气时的特征:钻速突然变慢,气测值升高,钻井液密度下降,此时需停钻循环加重0.05~0.15 kg/L,并调整钻井液性能。如M3-A井出现以上钻遇浅层气特征后,及时停钻循环,调整钻井液性能,在循环1周之后,将钻井液密度从1.13 kg/L增加到1.18 kg/L,按预案要求调整好钻井液性能。随后短起钻至套管鞋处,疏通上部井段,在保证上部井眼畅通、起钻无拔活塞现象的情况下继续钻进,快速安全穿过了浅气层。

3.3 拔活塞问题的处理

在钻井过程中采取短起下钻等操作疏通井眼,通过倒划眼解决了起钻过程中出现的拔活塞现象,有效控制了浅层气。如M3-A井在钻至井深403 m并循环1周之后,进行短起钻,起至井深345 m时,出现拔活塞现象,经上下活动多次,仍未能解决。为防止因拔活塞而可能导致诱喷,接方钻杆进行倒划眼,起出6根钻杆后开始正常,起至套管鞋处后,循环顶通后下钻,下至起钻拔活塞井段,接上方钻杆,一直划眼到底,循环2周之后起钻,起钻正常。这样,拔活塞问题得以成功处理。

3.4 起下钻过程中的浅层气预防

井喷的过程通常为“油气侵→溢流→井涌→井喷”4个阶段。不同作业期间井下压力的平衡关系处于不同状态,井底压力由大到小依次为:开泵期间井底压力>下钻与钻进期间井底压力>停泵静止期间井底压力>起钻期间井底压力。由以上分析可知,起钻阶段最容易发生气体侵入。为此,加强起下钻过程中浅层气的预防尤为重要,在操作中主要应遵守以下规定:

- 1) 在井下情况正常,无阻卡、无漏失、无溢流、井筒岩屑循环干净的前提下起钻,并在起钻中途及时进行灌浆,在钻井液槽和井口双岗检查溢流;
- 2) 控制起下钻速度,保证井眼中灌满钻井液,防止抽汲现象发生,更要防止下钻速度过快压漏地层而导致井喷;
- 3) 如出现抽汲问题,应及时开泵起钻或倒划眼起钻;
- 4) 防止停泵时间过长,必要时在起下钻中途循环排气,防止井内大量聚集气柱^[5]。

下钻时要计量钻井液返出量,控制下钻速度,防止压漏地层,避免因漏而诱发井喷,并全程进行溢流观察,起下钻需测定钻井液密度无变化,井下正常,

方可进行下步作业。

3.5 钻井液技术

钻井液选择是否合适,直接决定该区块钻探的成败。根据当地地质特征要分层分段设计钻井液,钻井液设计的重点放在二开井段和三开井段,二开钻井液设计主要防止浅层气造成的井喷和井漏,三开钻井液设计主要保护油气层。

钻井液性能调整:浅层气会溶入钻井液影响其性能,尤其是降低钻井液密度容易引起井喷。由于该地区地层上部岩石以泥灰岩为主,地层造浆较严重,大段的泥岩遇水膨胀,容易造成缩径。二开使用钾基聚合物钻井液,通过加入SJ-1来控制滤失量,稳定钻井液性能,加入聚合醇、SD-X、CDX等堵漏剂防漏。钻进过程中用0.5%~1.5%YD2NF(NPAN22)胶液维护,以抑制钻屑水化分散,控制造浆,降低滤失量,保持较低的黏度和切力,同时,改进其润滑性能和携岩能力,避免拔活塞时抽汲无法正常灌浆,使液柱压力降低,浅层气被引流入井发生井喷。三开使用钾基聚合物钻井液,在其中加入表面活性剂(如0.5%SP-80),以有效降低表面张力来避免因水锁作用而造成的油层损害。

根据地质预告,在钻遇浅层气前50 m,需要调整钻井液性能,钻进过程中及时加重钻井液。钻遇浅层气后,立即停钻循环,重新调整钻井液性能,将钻井液密度逐渐提高到1.17 kg/L,同时利用振动筛、除砂器和离心机等固控设备控制钻井液密度不超过1.17 kg/L,防止钻井液密度过大压漏地层。用聚合物聚丙烯酰胺干粉和氯化钾配胶液增强钻井液的抑制性,控制地层造浆,加入铵盐以降低钻井液的滤失量,控制滤失量不大于5 mL,保证钻井液性能稳定。

3.6 固井作业

二开完钻后循环直至井底干净,并调整好钻井液性能,在浅层气井段打入加重稠钻井液塞,起钻电测。在电测过程中需在钻台和振动筛处进行双坐岗,注意钻井液溢流,并迅速检修钻井泵等设备,确保设备安全可靠。电测完成后立即用原钻具组合下钻至井底,小排量开泵顶通并循环1周,然后用大泵循环1周以上后起钻,期间观察后效气测值并调整好钻井液性能。短起下钻并观察,如有拔活塞现象需接方钻杆循环,待一切正常后起钻,下套管并控制

下放速度,随后固井。

针对浅层温度低、地层渗透性好、浅层气活跃、固井漏失的难题,用“快速凝固、防窜、微膨胀和早强”的技术思路来解决该地区浅层气固井质量问题。需要注意的问题有:

1) 下套管前要确保井口安装有与套管尺寸相匹配的防喷器芯子;

2) 固井设计时要计算冲洗液、隔离液进入环空后井内的液柱压力,控制冲洗液、隔离液的泵入量;

3) 采用高黏度塞流隔离液,有效清除残留钻井液和虚泥饼,提高第二界面胶结质量;严格控制水泥浆的稠化和过渡时间,提高水泥浆的防气窜能力,采用分段候凝水泥浆体系,尽量实现钻井液注替施工及候凝全过程的压力平衡;

4) 如井口装置允许,须采用关防喷器环空憋压候凝措施,并根据固井和水泥浆情况,憋压候凝时间尽量长,以确保封隔住浅层气;为了解决固井后环空憋压导致井漏的难题,选择水泥浆尾浆初凝时间为环空憋压开始时间,憋压值控制在薄弱地层压力破裂值的5%的安全范围内;

5) 水泥浆返高到气层顶35 m以上,并确保水泥环有足够的强度来封堵气层^[6];

6) 该地区为盐上探井,井深小于800 m,井底温度小于35°,故使用防气窜低温浅井用水泥浆体系,其具有低温早强、低失水对气体阻力大、水泥环界面粘接性能强的特点;针对浅地层低温需要稠化时间短的特点,优选对稠化时间无影响的降失水剂、早强剂等材料^[7]。

通过实施以上技术管理措施,自2005年以来,FOIC公司在滨里海W区块已经成功完井近30口井,尽管出现过一些井控异常情况,但均得以成功控制,从没有造成一起井喷事故,为加快该区块的勘探开发提供了保障。

4 结论与认识

1) 浅层气处理重在预防,需提前建立应急预案,尽可能考虑到钻遇浅层气后可能出现的情况,并通过组织纸上演练和进行作业风险分析等方法,建立迅速反应、处置体系。

2) 对于活跃浅层气的防控,必须从钻井设计、配套井控设备、人员井控资质和防喷技术措施4个方面同时开展工作,才有可能实现对浅层气的井喷预防和控制。

3) 滨里海W区块浅层气存在于井深260~500 m的粉砂岩中,钻遇到浅层气后,钻时降低,钻井液气测值增加,钻井液密度降低,需要停钻循环,调整钻井液性能,确保上部井眼正常。

4) 钻进中坚持快速穿过浅层气的原则,保持上部井眼畅通,预防和及时处理因起钻拔活塞而可能引起的井喷。

参 考 文 献

- [1] 张克坚,王元敏,李银海,等.哈萨克斯坦滨里海盆地巨厚盐膏层固井技术[J].石油钻探技术,2008,36(6):82-85.
Zhang Kejian, Wang Yuanmin, Li Yinhai, et al. Cementing technology used in huge salt bed in Pre-Caspian Sea Basin, Kazakhstan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36 (6): 82-85.
- [2] 张奎林,张华卫.滨里海盆地巨厚盐膏层钻井液密度设计新方法[J].石油钻探技术,2008,36(6):63-65.
Zhang Kuilin, Zhang Huawei. New drilling fluid density design for drilling huge gypsum formation in Pre-Caspian Sea Basin [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(6):63-65
- [3] 郭金荣.葡萄花油田浅气层分布规律及预防浅气层井喷技术研究[J].内蒙古石油化工,2009,35(14):83-86.
Guo Jinrong. The distribution rule of shallow gas and analysis to shallow gas blowout and its preventing technology in Pytaohua Oilfield[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 35(14):83-86.
- [4] 谭振华,陈红,沙东,等.大港滩海(浅海)区浅层气井喷原因分析及预防技术探讨[J].天然气地球科学,2005,16(3):369-373.
Tan Zhenhua, Chen Hong, Sha Dong, et al. The analysis of the reasons for gas blowout and discussion on blowout prevention technologies of Dagang shallow water(offshore) area[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3):369-373.
- [5] 杨鸿波,齐恒之.渤海油田浅层气井喷预防及控制技术[J].中国海上油气:工程,2004,16(1):43-46.
Yang Hongbo, Qi Hengzhi. Well blowout precaution and control technology for shallow gas in Bohai Oilfield[J]. China Offshore Oil and Gas, 2004, 16(1):43-46.
- [6] 范兆祥,袁新平.胜利油田浅层气井喷原因分析及预防技术[J].石油钻采工艺,2002,24(2):22-25.
Fan Zhaoxiang, Yuan Xinp. Analysis to shallow gas blowout in Shengli Oilfield and its preventing technology[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2002, 24(2):22-25.
- [7] 杨廷隽,刘绘新.浅井防气窜水泥浆体系研究与应用[J].天然气工业,2001,21(6):60-62.
Yang Tingjun, Liu Huixin. Research and application of shallow-well gas channeling prevention slurry system[J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(6):60-62.