

塔河油田顺南区块高压气井井控技术难点及对策

李翔¹, 王博伟², 杨海涛¹

(1. 中国石化西北油田分公司工程技术管理部, 乌鲁木齐 830011;
2. 中国石化西北油田分公司完井测试管理中心, 乌鲁木齐 830011)

摘要:塔河油田顺南区块地处塔克拉玛干沙漠腹地, 目的层属于高压气层, 前期顺南某井在蓬莱坝组钻遇高压储层后出现井控险情, 地面管汇及表层套管多处刺漏。为确保高压气井的安全钻进, 从井控工艺及地面设备进行优化, 优选关键配件及地面管汇配套组合, 为该区高压气井的安全钻进提供理论及实际依据。

关键词: 高压; 防刺; 井控技术; 顺南区块; 塔河油田

中图分类号: TE24

文献标识码: A

Difficulties and countermeasures of high-pressure gas well controls in Shunnan block, Tahe oil field

Li Xiang¹, Wang Bowei², Yang Haitao¹

(1. Engineering Techniques Department, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;
2. Completion Test Management Center, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The Shunnan block locates in the center of the Taklimakan Desert, which has many high-pressure gas reservoirs. Well control accidents have occurred when drilling in the Penglaiba Formation in a high-pressure reservoir of the Shunnan X well, causing washouts at control system and surface casing. In order to ensure safety while drilling high pressure gas wells, we optimized well control technology and ground equipment, and preferred key fittings and ground pipe manifold matching combinations, which provided theoretical and practical basis for the safety drilling of high pressure gas wells in this area.

Key words: high pressure; puncture proof; well control technology; Shunnan block; Tahe oil field

顺南区块是塔克拉玛干沙漠腹地的三维勘探区块, 以奥陶系蓬莱坝组为主要目的层, 兼探一间房组、鹰山组储层发育特征及含油气性。所钻井均采用五级井身结构: 20"×300 m+13-3/8"×3 700 m+9-5/8"×6 300 m+7"×(6 100~6 950 m)+5-7/8"钻头×7 200 m。

顺南某井五开采用 1.78 g/cm³ 泥浆钻进至奥陶系蓬莱坝组发生溢流, 关井后套压 0 ↑ 28.3 MPa、立压 11.5 MPa, 折算地层压力当量密度 1.94 g/cm³。平推压井后钻具井下卡死, 处理无效后倒扣起钻决定回填侧钻。套管锻铣作业完下光钻杆准备打水泥塞期间再次卡钻, 期间发生溢流, 关井套压 40.4 MPa, 且钻具水眼堵死, 使用压裂车无法憋通, 下连续油管通钻具水眼试图建立内外循环通道, 连续油管下至 5 800 m 节流循环期间, 节流管汇、放喷管线、硬管线弯头、液气分离器、13-3/8"套管等多处刺漏, 通过串并节流管汇、增加放喷管线、更换刺漏井控装备后注水泥封井, 解除井控险情。

1 顺南区块井控险情出现的原因

1.1 多套压力体系并存, 蓬莱坝组高压储层发育

顺南区块奥陶系发育一间房组、鹰山组、蓬莱坝组 3 套气层, 一间房与上覆地层分属 2 套压力系统, 蓬莱坝组发育异常高压气层。顺南某井目的层预测地层压力 1.10~1.15 g/cm³, 油气层实钻钻井液密度由 1.18 g/cm³ 逐步上提至 1.56 g/cm³ 维持正常钻进, 钻穿下部气层后发生溢流, 用 2.05 g/cm³ 钻井液才将井压稳。该区块的奥陶系碳酸盐岩储层溶孔、裂缝较发育, 可能出现放空、井漏、井涌等异常情况。异常压力体系对井身结构设计、钻井液和水泥浆体系选择、井控安全作业提出严峻挑战。

1.2 地层易漏、易涌, 纯气层固井质量差

上奥陶统地层泥岩发育, 高温高密度钻井液流变性与沉降稳定性、失水造壁性的矛盾突出, 地层易剥落垮塌, 造成井眼扩大。储层以碳酸盐岩地层为主, 为裂缝—溶蚀孔洞型储层, 钻井过程中容易

发生井漏和井涌等复杂情况。顺南某井三开井眼不规则,地层易漏,9-5/8"技术套管固井质量差;四开揭开一间房组及鹰山组均钻遇油气显示并溢流,177.8 mm 尾管固井前节流循环火焰高 6 m,气窜严重影响固井质量。后期卡钻锻铣后气体窜槽,通过环空窜至井口套管头处,压力超出 13-3/8"表层套管抗内压强度,导致破裂。

1.3 地面设备的抗损能力不足

顺南区块某井侧钻在锻铣完套管下光钻杆准备打水泥过程中发生溢流,关井套压 40.4 MPa,在处理溢流进行压井和抢险作业期间,高压、高固含流体刺穿井控节流管汇上 J5、J7、J6b 和 J16 等多个闸阀和四处管线、压井管汇端放喷管线、硬管线弯头、液气分离器进浆口法兰、13-3/8"套管等,钻井四通两翼被刺严重,暴露出目前该区地面井控设备抗冲蚀能力不够,不能满足高压气井出现井控险情下的处置要求。

2 设计优化措施

2.1 提高上部套管钢级

优化设计 244.5 mm 及 177.8 mm 回接套管均采用气密封,将回接套管钢级提至 140 钢级,增大套管的抗内压强度;244.5 mm 套管的抗内压强度由 63 MPa 提高至 82.8 MPa,177.8 mm 套管抗内压强度由 94.5 MPa 提高至 120.2 MPa。优化后套管的抗内压强度与井口 105 MPa 防喷器及套管头压力达到一个级别,提高了最大关井压力及强行平推压井初期的井口工作压力。

2.2 高密度钻井液加重剂优化措施

为降低高密度钻井液铁矿粉加重剂对地面节流管汇的冲蚀,对重晶石、铁矿粉材料等加重材料对比,对顺南某井口井控设备的冲蚀情况进行分析,对加重材料颗粒不同形状的冲蚀机理进行研究,优选加重材料,明确加重材料颗粒形状。

图 1 分别为重晶石和铁矿颗粒的实物图。由



图 1 重晶石与铁矿粉颗粒形状对比

Fig.1 Particle shape comparison between barites and iron powders

图 1 可知,铁矿粉棱角突出,外形锋利;而重晶石外形相对圆润,无明显突出棱角。两者不仅外形差异巨大,密度和硬度也相差较大。普通重晶石的密度约 $4.2 \times 10^3 \text{ g/cm}^3$,而铁矿的密度约 $4.8 \times 10^3 \text{ g/cm}^3$ 。重晶石的莫氏硬度介于 3~3.5 之间,而铁矿粉的莫氏硬度介于 5~6 之间。正是由于上述物理性质上的巨大差异,导致两者对井控管汇形成不同强度的冲蚀磨损。

在其他条件相同的前提下,分别带入 325 目的铁矿粉和重晶石粉进行冲蚀模拟仿真分析,固相颗粒为铁矿粉时的冲蚀磨损区域相对集中且小于重晶石,质量流量相等的时候单位面积越小,冲蚀速率越大,因此工况允许情况下推荐只选用重晶石粉进行加重。

3 地面井控设备优化方案

3.1 地面管汇优化

(1) 鉴于前期顺南区块节流管汇在节流放喷出现的刺漏险情,目的层钻进前将压井管汇更换为 105 MPa 副节流管汇,将内防喷管线及节流管汇主通径由 78 mm 升级至 103 mm。同时在副节流管汇上加装单流阀和与泵车相连接的油任法兰,使副节流管汇同时具有压井管汇的功能。

(2) 目前节流阀主要形式有针阀及楔形节流阀,在高压气井中节流阀的工作条件十分恶劣,流量大工作压力高,且流体介质具有腐蚀性强、黏度低、汽化压力高、含有许多坚硬的固体颗粒等特点,使节流阀面临气蚀、冲蚀、腐蚀作用的破坏,冲蚀磨损是节流阀正常工作下失效的主要形式^[1]。根据室内试验对比研究,针型阀和楔形节流阀在相同的开度下最大振幅均随含气量增加而逐渐增大,而针型阀的振幅远大于楔形节流阀约 8~10 倍(图 2)。室内试验充分说明,在高压气井中楔形节流阀的强度远高于针型阀,所以在顺南井区主节流管汇上均使用楔形节流阀。

(3) 由于楔形节流阀节流后流体特殊的流场,

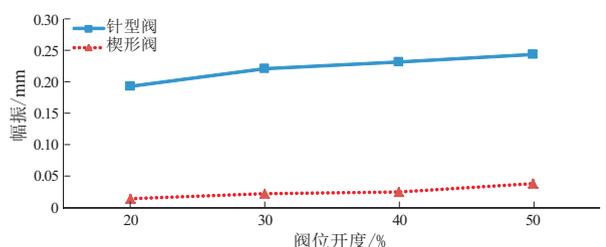


图 2 针形阀芯与楔形阀芯的最大振幅曲线

Fig.2 Maximum amplitude curves of needle valve core and wedge valve core

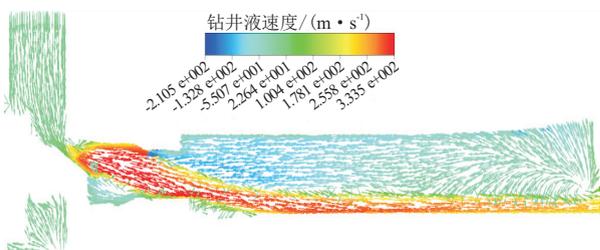


图3 楔形节流阀后流场分布

Fig.3 Distribution of flow field after wedge throttle valve

导致后部管汇频繁出现刺漏的现象。根据相关文献研究,楔形节流阀后部直管法兰连接处出现刺漏可能性很大^[1],这与顺南某井现场出现的险情情况基本吻合(楔形节流阀流场分布见图3)。

鉴于楔形节流阀的结构特点,为确保顺南区块高压气井管汇的安全,在节流阀后部加装防刺短节,达到保护地面管汇的目的。防刺短节发明理念

是将节流管汇的短节末端内径加粗后在内部加装高强度合金头,这样高速流体进入节流管汇后直接作用于合金头,减少高速流体在通过节流管汇时与管汇壁面接触和冲蚀的面积,以达到降低对节流管汇壁面冲蚀,提高管汇使用寿命的目的。同时在管汇入口管段和短节内部加装防冲蚀硬质合金内套^[2](图4)。

(4) 钻井现场使用管汇连接复杂,难以避免使用弯管连接各类管汇,同时管汇弯头也是节流、放喷期间的薄弱点。目前管汇弯头主要使用90°弯头和非90°弯头,经过有限元模型进行模拟试验,通过对比各类弯头抗冲蚀性提高管汇应急处置能力。

优选90°管汇弯头。通过模型模拟的冲蚀结果(图5),水平管线均为发生冲蚀现象。T形弯头受冲蚀面积较L形更大,其中最大冲蚀发生在封闭端的底部,冲蚀速度达到 $1.16 \times 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^1)$,为L

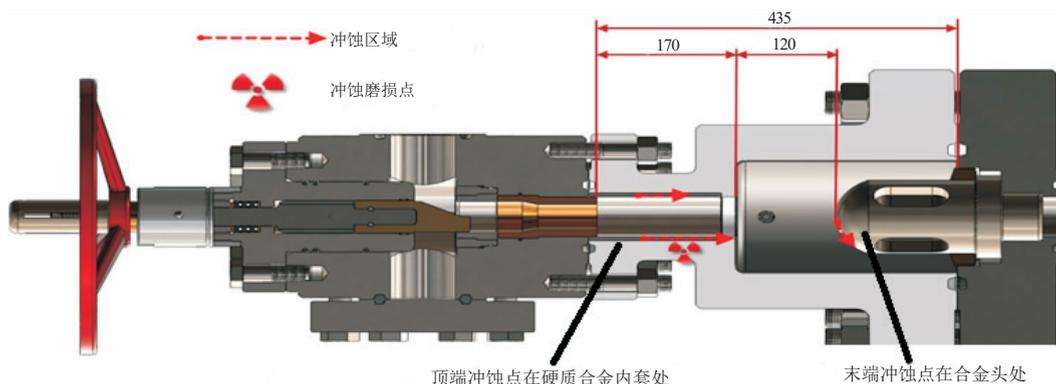


图4 防刺短节结构及防冲蚀原理

Fig.4 Stab joint structure and anti-erosion principle

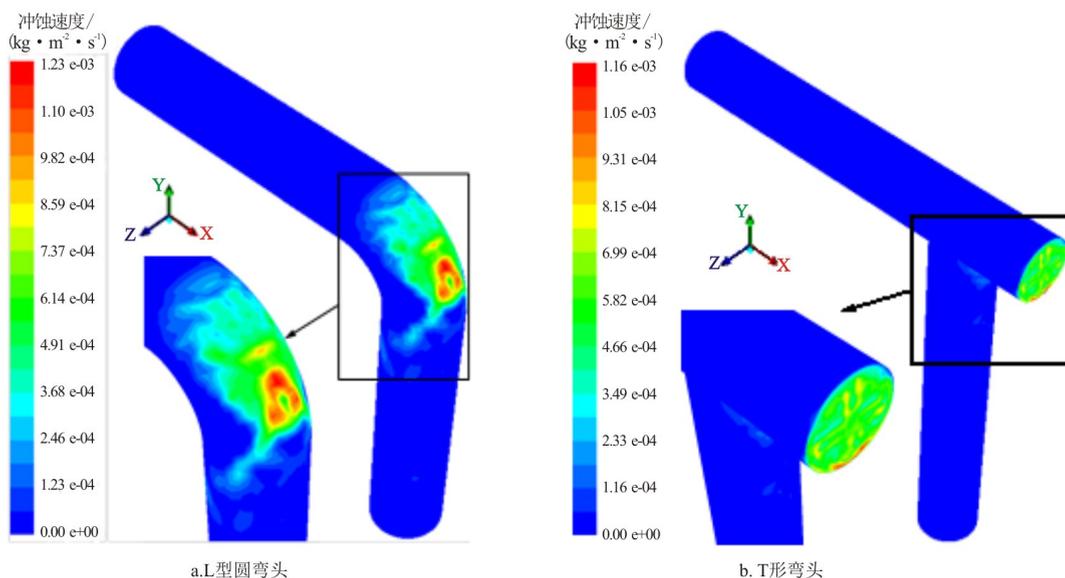


图5 L型圆弯头和T形弯头冲蚀云图

Fig.5 Cloud chart of L type round elbow erosion and T type round elbow erosion

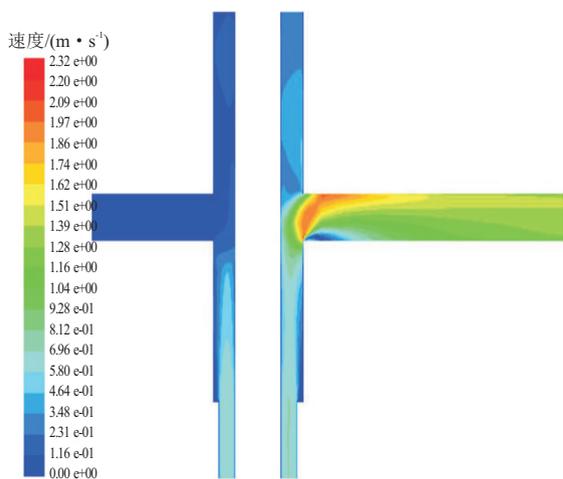


图 6 钻井四通流场速度云图

Fig.6 Cloud chart of drilling spool erosion

型圆弯头的 83%。其主要原因是 T 形弯头对流体的分流作用,流体分别对 T 型弯头的过弯处及封闭段进行冲蚀,单位时间作用在单位面积上的岩屑颗粒质量流量减少^[3],最终导致 T 型弯头冲蚀速度相比 L 型弯头更小,加之 T 型弯头封闭端进行了灌注金属等耐磨处理,所以 T 型弯头抗冲蚀磨损能力更强。

(5) 现场实际发生井控险情后,地面管汇最关键点为钻井四通侧翼栽丝法兰连接处,图 6 可明显看出栽丝部位流速远高于其他部件流速,该法兰若发生刺漏井口将处于无控状态。提高四通的抗冲蚀能力有 2 个思路:①加大四通侧翼出口内径;②内部做堆焊合金的防刺处理。

具体改造方式如下:a.在旁通管体与本体四通连接处增加耐磨套,材料拟定为 YG8,其硬度为 HRA89。b.主体四通左右旁通改造:① 4-1/16"-15 000 psi 栽丝面改造为 5-1/8"-15 000 psi 栽丝面;②旁通通径与主通结合处堆焊 stillite12,堆焊层经加工后有效厚度不低于 3 mm,硬度为 HRC46±2 (图 7)。c.旁通管体及一端垫环槽堆焊 stillite12,堆焊层经加工后有效厚度不低于 3 mm,硬度为 HRC46±2。

3.2 井口套管头结构优化

顺南井区前期采用 13-3/8"×9-5/8"×7"双级 10 000 psi 套管头,井口 9-5/8"技术套管使用卡瓦悬挂,在溢流压井期间出现 9-5/8"偏梯扣套管泄露天然气,导致表套憋破的险情出现。为确保该区后续勘探开发的井口安全,将井口套管头优化为:20"×13-3/8"×9-7/8"×7"三级 15 000 psi 芯轴套管

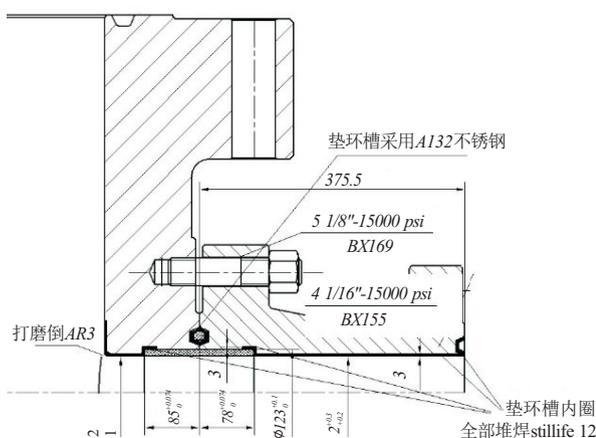


图 7 钻井四通改造示意

Fig.7 Optimization of drilling spool

头。优化后下入 9-7/8" + 9-5/8"气密套管后,井口可承受 65 MPa 以上的关井压力,回接 7"套管后提高最大关井套压至 95 MPa,同时芯轴悬挂器又满足了井口气密要求,加强了该区块高压气井的井控能力。

4 结论

(1) 高压气井的地面节流管汇必须有足够的抗冲蚀能力,采用楔形节流阀加防刺短节的组合,减小了节流管汇中钻井液和天然气的最大冲蚀速度,提高了节流管汇的抗冲蚀能力。

(2) 通过对比加重剂的几何形状、硬度及对节流阀组的冲蚀性,明确了铁矿粉的局限性,“三高”气井建议不使用铁矿粉加重。

(3) 通过对各类弯头流速、流场、冲蚀场的模拟,优选出 T 型弯头为高压气井首选管汇接头。

(4) 优化现场管汇采用双节节流管汇组合,在主节流管汇出现险情后,可以倒换节流管汇流程继续作业。

(5) 顺南区块高压气井优化后的套管选择及套管头结构,可以满足钻井、测试期间出现高压险情后的应急处理要求。

参考文献:

- [1] 程立,林玉龙,刘洋,等.基于 CFD 的节流阀防刺短节的流场分析[J].机械研究与应用,2011(5):23-25.
- [2] 邓莉,李杰,艾志久,等.节流管汇防冲刺短节结构及流场模拟[J].石油矿场机械,2013,42(4):44-48.
- [3] 明鑫.高产气井排砂管汇极限放喷能力研究及其安全性评价[D].成都:西南石油大学,2014.

(编辑 徐文明)