

普光气田高含硫气井带压更换采气树工艺技术

古小红¹ 李顺林¹ 耿波¹ 董鹏昌¹ 唐杰² 鲁俊² 秦冬林¹ 李升龙¹

1.中国石化中原油田普光分公司 2.中国石化中原油田分公司石油工程技术研究院

古小红等.普光气田高含硫气井带压更换采气树工艺技术.天然气工业,2015,35(1):92-96.

摘 要 采气树在使用过程中如出现腐蚀、泄露、机械故障等而又无法在线修复的情况,则需要进行整体更换。但像四川盆地普光气田这样孔、洞、缝较发育的酸性碳酸盐岩气藏,若采用先压井再整体换装采气树的方法会造成储层的二次污染,很难再恢复到修井前的气井产能。为此,考虑作业安全和生产实际,研究形成了“两封堵一隔离”带压更换采气树工艺:①安装地面泄压放喷流程,进行整体更换采气树演练,准确测算所需的时间;②关闭井下安全阀,通过泄压放喷管线排放井下安全阀以上通道内气体,进入放喷池点火燃烧,将井口油管压力泄至 0;③连接液氮泵车按照测算量向井筒顶替液氮;④安装双向背压阀,利用送取工具,将背压阀安装在油管悬挂器内的背压阀座面,封堵油管;⑤整体更换采气树,试压合格后按照操作规程取出双向背压阀。现场成功应用 2 口井,很好地解决了高含硫气井不压井更换采气树的技术和安全控制难题。

关键词 四川盆地 普光气田 高含硫 气井 带压更换采气树 两封堵一隔离 安全控制

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2015.01.012

A technology in replacing Christmas tree under pressure for high sour gas wells in the Puguang Gas Field, Sichuan Basin

Gu Xiaohong¹, Li Shunlin¹, Geng Bo¹, Dong Pengchang¹, Tang Jie²,

Lu Jun², Qin Donglin¹, Li Shenglong¹

(1. Puguang Branch of Zhongyuan Oilfield Company, Sinopec, Dazhou, Sichuan 635002, China; 2. Research Institute of Oil Production Technology, Zhongyuan Oilfield Company, Sinopec, Puyang, Henan 457000, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 35, ISSUE 1, pp.92-96, 1/25/2015. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: A Christmas tree can be hardly repaired on line and is always in need of integral replacement due to corrosion, leakage and mechanical failures in the service period. Generally, the entire Christmas tree has to be replaced after well killing. However, well killing is easy to cause secondary pollution in reservoirs, especially in the carbonate gas reservoirs with well-developed pores, holes and fractures in the Puguang Gas Field, Sichuan Basin, so the productivity of a gas well becomes difficult to restore to the productivity level before well workover. Therefore, in view of the work safety and actual production in this field, a new technology was developed to replace the Christmas tree under pressure through twice plugging and once isolation. The technology was specifically described as follows: (1) to install a ground relief blowout pipe, conduct the exercises of integral replacement of the Christmas tree, and accurately estimate the required time; (2) to turn off the downhole safety valve and discharge the gas in the channel above the safety valve through the relief blowout pipe into a flare pit, then ignite the gas, and reduce the pressure of a wellhead oil pipe to 0; (3) to connect a liquid nitrogen pump truck, and replace liquid nitrogen in well bore according to the calculated results; (4) to install a two-way back pressure valve; use a tripping tool to mount the back pressure valve on a back pressure valve seat in a tubing hanger, and seal the tubing; (5) to replace the whole Christmas tree and remove the two-way back pressure valve according to operating procedures after a pressure test. The technology was successfully applied in two gas wells on site and resolved the technical difficulties in the Christmas tree replacement and safety control without well killing.

Keywords: Sichuan Basin; Puguang Gas Field; High sour gas well; Replacing the Christmas tree under pressure; Twice plugging and once isolation; Safety control

基金项目:国家“十二五”重大科技专项“大型油气田及煤层气开发项目”(编号:2011ZX05017-006-02)。

作者简介:古小红,1964年生,高级工程师;主要从事高含硫碳酸盐岩气藏采气工艺管理与研究工作,先后主持多项部级、局级项目研究。地址:(635002)四川省达州市凤凰大道468号中国石化达州基地。电话:(0818)4776726。E-mail:lslin80@163.com

采气树在生产使用过程中常因气井流体带出的井筒杂质、腐蚀、机械故障等原因造成闸阀盘根泄漏、阀杆升降失灵等故障。这些故障有的可以通过定期保养,加注密封脂、润滑脂、清洗液等措施在线整改,无法在线整改的就得将闸阀整体更换。闸阀更换作业以更换 1 号主阀和采气树整体更换(以下称采气树更换)作业较为复杂、特殊,因为这种情况井口往往处于失控状态。常规采气树更换作业需要进行压井。压井作业不仅时间长、耗资大,而且作业后容易造成地层污染,导致气井减产,甚至停产,影响整个气田产能。为了避免压井造成储层二次污染,节约作业费用,缩短作业周期,四川盆地普光气田的科研人员经过反复研究形成了带压井更换采气树工艺技术。

1 技术背景

带压更换采气树主要分为两种情况:①采气树内不能安装堵塞器的气井,需在油管内下入专用的堵塞工具,但这种情况安全系数较低,适合低压气井。在长庆榆林气田、西南油气田分公司等气田投产较早的气井采用这种工艺^[1-2]。②采气树内可以安装堵塞器的气井,可以实现带压安装、拆卸背压阀(或者堵塞器),实现不压井更换采气树。这种工艺一般耐压级别高,如苏里格气田大量推广使用^[3]。但普光气田气井流体高含硫化氢,井口压力高,由于硫化氢气体剧毒,任何微量的泄露都有可能造成较大的损失,以上两种工艺均不能确保万无一失,因此不能满足普光气田带压更换采气树的安全要求。

1.1 问题的提出

普光气田在投产初期部分闸阀出现故障,其中 1 号主阀 8 口井,占故障闸阀的 21%,故障率较高。尽管通过各种手段,在线解决了大部分闸阀存在的问题,但仍有少部分无法恢复正常,需要更换采气树。

普光气体气井采用永久式封隔器完井^[4-5],井筒没有直接的循环通道,压井困难,只能采用直推法或者置换法压井,压井时间长,压井效果无法保证。

普光气田储层属高含硫碳酸盐岩气藏,地层本身孔缝发育,再加上投产前均进行过大规模酸压改造,溶蚀孔、裂缝交错,发育良好,气井井筒完善程度较高。压井极易导致大量压井液漏失,对储层造成严重污染。尤其是随着气田的开发,地层压力不断下降,压力系数目前已经低于 1.0,不利于压井液的返排。为了解除压井对储层的污染,施工完成后还得重新酸压改造,才能恢复产能,而且带来大量残酸、残液需要处理,环保压力大,造成大量人力、物力、财力的浪费。

带压更换采气树可以节约大量费用,对气层保护及安全环保具有重大意义。

1.2 难点分析

由于地层流体中硫化氢剧毒,腐蚀性强,与常规气田相比,普光气田带压更换采气树风险巨大。

一方面气井中硫化氢气体一旦泄露将有可造成人员伤亡,带来无法挽回的重大损失。另外,硫化氢对金属、橡胶等材料具有非常强烈的腐蚀性,因此施工工具、设备的气密封性能和防硫性能要求极高。

另一方面,普光气田气藏压力高,原始地层压力达 56 MPa,井口关井压力高达 40 MPa。施工工具、设备耐压级别要求较高,带压更换采气树施工风险高、难度大。

2 带压更换采气树工艺技术

高含硫气井带压更换采气树技术与常规气井不同之处在于作业的安全保障,如何确保施工安全是普光气田不压井更换采气树的关键。

普光气田气井完井管柱设计安装有井下安全阀,可实现井下关断。同时采气井口油管悬挂器设计有背压阀座面,可以安装堵塞工具,实现井口封堵。为了确保不压井更换采气树的安全,普光气田结合现场实际,开展专题研究,形成了一套以“过量氮气置换隔离+井下安全阀、背压阀封堵”为核心的高含硫气井不压井更换采气树工艺技术,简称“两封堵一隔离”的关键技术。

“两封堵一隔离”即井下安全阀封堵实现井下深度关井;背压阀封堵地面,达到双重保险;氮气过量顶替隔离井筒内高含硫天然气。

2.1 井下安全阀封堵技术

井下安全阀是实现井下紧急关井的重要工具,主要用于在井口发生火灾、井口失控或由于其他原因不能进行井口关井操作的紧急情况下,通过关闭井下安全阀,截断井内流体通道,控制井内流体外泄,从而达到控制气井的目的。普光气田采用地面控制油管回收式自平衡井下安全阀(SCSSV),采用阀板密封形式,即靠阀板上的锥面与密封座之间的配合^[6]。这种密封方式密封面较窄^[7],存在受井筒内积存硬杂物影响导致密封不严,造成气体泄漏的可能性。另外,按照 Spec 14A / ISO 10432:1999 井下安全阀设备规范的规定,井下安全阀产品在出厂检验过程中允许在低压状态下轻微的渗漏^[8]。因此,完全利用井下安全阀来封堵井筒气流不能保证施工的绝对安全。

2.2 背压阀封堵技术

正是因为井下安全阀不能确保施工绝对安全,因此还有必要在井口设置另外一道安全屏障。利用带压

送取工具将背压阀拧入油管悬挂器内的背压阀座面，封堵油管。背压阀利用井下压力实现密封，压力越大，密封越好。普光气田采用双向背压阀，即可以双向承受压力，既可以封堵井下压力，也可以满足采气树整体试压的要求，同时具有上下平衡压力的功能，以便施工完安全取出。施工完毕后，反序操作，即可退出背压阀及取送工具。双向背压阀结构如图 1 所示。

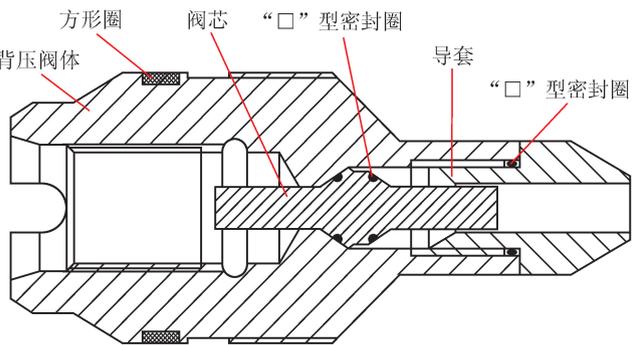


图 1 H 型双向背压阀结构示意图

2.3 过量氮气置换隔离技术

氮气置换，就是向井筒注入大量液氮，将井筒内高含硫天然气顶回地层，从而实现井筒隔离。液氮顶替量设计原则为远远大于在更换采气树作业时间内可能泄漏的气量。这样可以保证带压安装背压阀过程中的安全，即使采气树更换过程中背压阀出现渗漏，也能确保现场人员的安全。

注液氮前先要向油管内注入一定量的无固相隔离液，然后再顶替液氮，隔离井筒内的含硫天然气。

液氮用量设计要考虑两个方面的因素：①在安装背压阀过程中井下安全阀可能发生的泄漏量；②更换采气树施工过程中背压阀可能发生的泄漏量。二者取较大者作为设计依据。

2.3.1 井下安全阀泄漏量计算

井下安全阀泄漏量可以查阅 API Spec 14A-2000 第 10 版《井下安全阀设备规范》，见表 1。

表 1 井下安全阀氮气泄漏试验允许泄漏量表

上游压力		允许泄漏量	
MPa	psi	m ³ /min	ft ³ /min
1.4±0.07	200±10	0.14	5
8.3±0.40	1 200±60	0.40	14

注：1 psi=0.007 MPa；1 ft=0.028 3 m³

则井下安全阀泄漏量可用式(1)计算

$$Q_1 = Q_A t_B \quad (1)$$

式中 Q_1 为井下安全阀泄漏气量，m³； Q_A 为井下安全阀泄漏流量，m³/min，查表 1 得到，取较大值； t_B 为背压阀安装时间，min。

2.3.2 背压阀泄漏量计算

背压阀泄漏量计算较复杂，可参考气体泄漏扩散模型^[9]。

首先判断气体的流动性性质，求取临界压力，即

$$p_c = p_0 \left(\frac{r+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (2)$$

式中 p_c 为临界压力，Pa； p_0 为环境压力，Pa； γ 为天然气比热容。

假设当地风速大于或等于 1 m/s，忽略气体随风向上的湍流扩散，可以用高斯烟羽气体泄漏扩散模型描述，高温高压气井气体泄漏有亚声速流和声速流两种形式。

1) 当 $p \leq p_c$ 时，气体为亚声速流，亚声速流泄漏流量公式为：

$$Q = C_d p A \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{M_g}{RT} \left[\left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}} \quad (3)$$

2) 当 $p \geq p_c$ ，气体为声速流，声速流泄漏流量公式为：

$$Q = C_d p A \sqrt{\frac{\gamma M_g}{RT} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}} \quad (4)$$

式中 Q 为背压阀天然气泄漏质量流量，kg/s； C_d 为排放系数，取值见表 2； p 为泄漏气体压力，Pa； T 为泄漏气体温度，K； A 为泄漏口面积，m²； R 为气体常量，取 8.314 5 J/(mol·K)； $M_g = \sum \varphi_i M_i$ ，天然气分子量，kg/mol； φ_i 为 i 组分的体积分数； M_i 为 i 组分的分子量。

表 2 气体泄漏系数取值表^[10]

漏口形状	圆形	三角形	长方形	渐缩孔	渐扩孔
C_d	1.0	0.9	0.9	0.9~1.0	0.6~0.9

背压阀泄漏流量则为：

$$Q_2 = \frac{Q}{\rho} t_s \quad (5)$$

式中 Q_2 为背压阀泄漏流量，m³； ρ 为天然气密度，kg/m³； t_s 为更换采气树时间，s。

2.3.3 泄漏时间的确定

施工前，通过组织施工单位多次模拟演练，测算带压安装背压阀和整体更换采气树施工分别需要的时间，取演练最长时间。

2.3.4 液氮用量计算

为了提高施工过程的安全系数,确保在更换采气树过程中出现气体泄漏时井筒内有足够的氮气而不至于造成含硫天然气泄漏,计算液氮用量时按照可能泄漏气体总量 2 倍计算,以提高安全系数,计算公式如下:

$$V = \frac{2Q_i}{600} \quad (6)$$

式中 Q_i 为 Q_1 、 Q_2 中取较大值, m^3 ; V 为液氮的体积, m^3 。式中 1 m^3 液氮折算到标准状态下约 600 m^3 氮气。

2.4 工艺步骤

1) 准备施工所用设备、物资,安装地面泄压放喷流程。进行整体更换采气树演练,准确测算所需的时间,计算所需液氮体积。

2) 检测井下安全阀密封性并安装背压阀:通过泄压放喷管线排放井下安全阀以上通道内气体,进放喷池点火燃烧,观察油压,以检验井下安全阀是否泄漏。

3) 顶替液氮:连接液氮泵车按照测算量向井筒顶替液氮。

4) 安装双向背压阀:若井下安全阀密封,则将井口压力泄至 0,再安装背压阀;若不能完全密封,则带压安装背压阀。利用送取工具,将背压阀安装在油管悬挂器内的背压阀座面,封堵油管,从而实现不压井工况下更换采气树。

5) 整体更换采气树,试压合格后按照操作规程取出双向背压阀。

3 安全保障措施

1) 施工前落实井下安全阀关闭后是否完全密封,油管是否持续带压等井筒情况。

2) 组织现场演练,优化施工程序,确定施工最短时间,为设计加注液氮用量提供依据。

3) 严格执行高含硫气井安全操作规程,作业时按要求佩戴劳保用品和硫化氢防护装置。

4) 现场在上风口配置山地强风车,井场外围配置消防车、救护车、空气呼吸器充气车等,应急救援队员全程监护,确保施工人员人身安全。

4 现场应用

已知大湾区块某气井关井压力 40 MPa ,油温为 $40 \text{ }^\circ\text{C}$,油管及采气树内通径为 76 mm ,密度为 324.7 kg/m^3 ,取大气压力为 $1.013 25 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。该井附近地面平坦,地面风速为 5 m/s ,天然气组分见表 3。

表 3 天然气组分及基本参数表

组分	体积分数	分子量	质量分数	绝热指数
甲烷	76.91%	16	58.57%	1.358
乙烷	0.03%	30	0.04%	1.194
二氧化碳	8.84%	44	18.52%	0.386
氮气	0.51%	28	0.67%	1.394
硫化氢	13.71%	34	22.20%	1.320

4.1 液氮用量计算

假设背压阀渗漏,取泄漏面积为背压阀 BPV 丝扣间隙,即 $8.20 \times 10^{-5} \text{ m}^2$,对泄漏扩散进行模拟。为简化计算,取天然气为理想气体进行计算。

经计算,天然气比热容为 1.169 7,临界压力为 $0.177 6 \text{ MPa}$,天然气分子量为 21.01 kg/mol 。根据泄漏特性,排放系数参考表 1 取 0.8。

由于 $p \geq p_c$,按照声速流泄漏扩散模型计算。将以上各参数带入式(3),求得 $Q = 189.29 \text{ kg/s}$,折算为体积流量(Q_v)为 $0.583 0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

现场模拟演练,测算带压安装背压阀需 20 min,整体更换采气树需 40 min。分别计算出井下安全阀泄漏气量(Q_1)为 8.0 m^3 ,背压阀泄漏气量(Q_2)为 $1 399.2 \text{ m}^3$ 。取 Q_2 作为液氮用量计算依据。

利用式(6)可以计算出所需液氮量 4.7 m^3 ,准备液氮量为 5.0 m^3 。

4.2 泵注液氮隔离井筒

1) 注液氮前先利用水泥泵车加注无固相隔离液 2.0 m^3 ,以避免氮气与井内高含硫气体混合交换。紧接着利用液氮泵车向井筒内泵注液氮 5.0 m^3 。

2) 关闭井下安全阀、对安全阀以上进行放空,出口点长明火,用管汇台节流阀控制进行放喷,静止观察 15 min,确认井口是否有压力。

4.3 安装堵塞工具并更换采气树

利用背压阀送取工具向油管悬挂器下入背压阀封堵油管,泄掉井口油压,使之降为 0,然后拆除原采气树,进行更换作业。

5 结论

普光气田通过井筒过量顶替液氮,利用取送工具带压安装背压阀等工艺集成,同时现场安全保障措施有力,解决了普光气田高含硫气井带压更换采气树的安全要求,并在现场成功实施 2 口井。

1) 根据高含硫气井作业安全要求和现场实际情况,创造性地总结出了“两封堵一隔离”高含硫气井

带压更换采气树工艺技术,填补了国内高含硫气田开发技术领域的空白。

2)该技术的成功实施,解决了普光高含硫气井不压井更换采气树的安全技术难题,在国内高含硫气田开发史上尚属首创。同时为高含硫气田后期开发维护,以及储层保护方面探索出了一天新路子,可在高含硫气田推广使用。

3)该技术避免了施工过程的含硫气体溢出,降低了施工风险,保护了储层,具有显著的经济效益和积极的社会效益。

参 考 文 献

- [1] 李莲明,谭中国,龙运辉,李晓芸.带压更换天然气井口采气树主控制阀新技术[J].钻采工艺,2007,30(3):93-95.
Li Lianming, Tan Zhongguo, Long Yunhui, Li Xiaoyun. A new technology of replacing the master valves of gas wells Christmas tree with pressure [J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(3): 93-95.
- [2] 文成槐,尹强,文蜀江.带压安全更换井口闸阀技术的研究与应用[J].钻采工艺,2002,25(2):49-52.
Wen Chenghuai, Yin Qiang, Wen Shujiang. Research and application of technology of replacement wellhead control valve with pressure [J]. Drilling & Production Technology, 2002, 25(2): 49-52.
- [3] 李志龙.不压井换阀采气井口的开发与应用[J].石油机械,2008,36(12):51-53.
Li Zhilong. Development and application of non-well-killing valve-replacing gas production wellhead [J]. China Petroleum Machinery, 2008, 36(12): 51-53.
- [4] 张庆生,耿波,史晓贞.普光气田主体开发方案(采气工程)[R].达州:中国石化中原油田普光分公司,2006.
Zhang Qingsheng, Geng Bo, Shi Xiaozhen. Puguang gas field development project (the main gas production engineering) [R]. Dazhou: Puguang Branch of Sinopec Zhongyuan Oilfield Company, 2006.
- [5] 李顺林,姚慧智,赵果,李海凤,王洪松.酸性气田井筒管材及完井方案优选[J].天然气工业,2011,31(9):79-81.
Li Shunlin, Yao Huizhi, Zhao Guo, Li Haifeng, Wang Hongsong. Optimal selection of downhole tubular goods and well completion programs for the Puguang Sour Gas Field [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(9): 79-81.
- [6] Hill Jr TG. Equalizing valve seat for a subsurface safety valve: US Patent: 5,884,705 [P]. 1999-03-23 [2014-07-03].
- [7] 张俊.锥面密封的应力分析及其应用[J].阀门,1990(4):79-81.
Zhang Jun. Stress analysis and application of sealing cone [J]. Valve, 1990(4): 79-81.
- [8] 石油工业标准化研究所翻译. Spec 14A / ISO 10432:1999 井下安全阀设备规范[S].北京:石油工业标准化研究所,2005.
PSRI. Spec 14A / ISO 10432:1999 Specification for subsurface safety valve equipment/petroleum and natural gas industries—Downhole equipment—Subsurface safety valve equipment [S]. PSRI trans. Beijing: Petroleum Standardization Research Institute, 2005.
- [9] 张静,樊建春,张来斌,王培玺.高温高压气井测试泄漏扩散三维模拟分析[J].油气井测试,2010,19(1):17-20.
Zhang Jing, Fan Jianchun, Zhang Laibin, Wang Peixi. 3-D simulation analysis of leakage diffusion in testing wells with high temperature and high pressure [J]. Well Testing, 2010, 19(1): 17-20.
- [10] 杜学平,刘燕,刘蓉,张应辉.天然气管道火灾危险区域预测方法与预防措施[J].煤气与热力,2010,30(10):78-82.
Du Xueping, Liu Yan, Liu Rong, Zhang Yinghui. Predicted method and preventive measures for fire danger area of natural gas pipeline [J]. Gas & Heat, 2010, 30(10): 78-82.

(修改回稿日期 2014-10-21 编辑 凌 忠)