

节流循环点火放喷压井技术在辽河油田储气库井的探索与应用

庞大伟

辽河工程技术分公司修井技术研究所

DOI:10.12238/jpm.v6i4.7938

[摘要] 针对辽河油田储气库井油套压力高、施工风险大，且存在油气外泄、易燃易爆等特点，通过设计液流正反循环模式、节流控制出口压力、配合使用气液分离器与点火设施，以及优化井场地面压井放喷流程及相关设备设施的布局摆放，来探索实践节流循环点火放喷压井方法，并成功完成了储气库高压气井安全、可控压井作业，为高压气井提供了一种安全可靠的压井作业方法。

[关键词] 井下作业；节流循环压井；高压气井压井；点火放喷

Exploration and application of throttling circulation ignition and injection well technology in gas storage well of Liaohe Oilfield

Pang Dawei

Remover Technology Research Institute of Liaohe Engineering Technology Branch

[Abstract] In view of the Liaohe oilfield gas reservoir sleeve high pressure, construction risk, and the characteristics of oil and gas leakage, flammable and explosive, through the design of liquid flow mode, throttle control outlet pressure, the use of gas separator and ignition facilities, and optimize the layout of well site ground injection flow and the layout of related equipment, and successfully completed the gas storage high pressure gas well safety, controllable well operation, provides a safe and reliable well pressure operation method for high pressure gas well.

[Key words] downhole operation; throttling circulation well; high pressure gas well well; ignition and injection

1 压井作用及意义

压井在油水井作业维护中是安全打开井口及安装完善井控设备前的关键工序，是利用泵将一定密度的流体挤入井内或置换出井内原有流体，在井筒内形成新的液柱体系，来平衡地层压力的施工工艺。压井是井下作业中控制平衡压力的重要手段，是顺利开展其他作业工序的前提条件，正确有效的压井施工能够有效保护油气层和防止井喷污染。

2 常规压井方式及适用井况

常规压井方式根据地层压力系数、井别、开发方式、井深、油井生产方式等情况，分为灌注法压井、挤注法压井、循环法压井。

（1）灌注法压井

向井筒内灌注压井液，增加井筒内液柱高度来提高井底压力平衡地层的压井方法，适用于地层压力不高、作业难度不大、工作量较小、修井时间较短的简单施工作业。

（2）挤注法压井

利用泵车把压井液强行挤入井筒内，把井筒内产出液强行

挤回地层,但不把压井液挤入生产井段而只挤到井段上界的压井方法,适用于油套不联通、无法循环的井;井口有压力井筒却无管柱或管柱深度不足循环压井效果差的井;油套联通但油套压力较高的井。

(3) 循环法压井

根据井筒内管柱结构或井底压力等情况,按循环方式,可分为正循环压井与反循环压井两种。正循环压井为压井液从油管泵入,经油管柱流动从套管环空返出的压井方式,一般适用于压力低的井;反循环压井为压井液从套管泵入,经油套环空流动从油管柱返出的压井方式,一般适用于压力高、产量大的井。

以上三种压井均为常规压井方法,整体适用于井斜小、常规套管结构、地层压力系数(1.2以下)不高、漏失量小的井。

3 节流循环点火放喷压井法

储气库井因长期注气采气生产,储层与邻井相互联通及气(汽)窜等因素,使井筒通道损坏套管抗内压强度降低,且井口压力通常较高,存在井口配套卡瓦、法兰等连接部位渗漏甚至闪爆等隐患。对于这类高风险井,常规压井成功率低,且施工风险高。因此,探索研究节流循环点火放喷压井法尤为必要。

3.1 压井原理

在循环法压井基础上,通过节流阀与油嘴调节使出口返出液量始终小于进口泵入液量,将压井液推至射孔井段置换气柱,重建液柱平衡地层压力,同时节流控制循环套压避免超过套管能承受的临界压力,并将循环返排脱出的可燃气体(如天然气等)进行点火放喷,解除敏感区域的安全隐患,从而完成压井作业。

3.2 压井特点

正循环压井时启动泵压会略高于井口油管压力;压井过程中循环套压先升高,随着气柱逐渐被置换,套压降低;节流阀在其出口压力不超过下游分离器额定压力且保证出口排量小于进口泵入排量的条件下,调节返出流量至最大,目的是保证

压井液被推入井底的过程中,最大限度降低循环套压来保障油管柱、套管柱及整个循环系统设备设施的安全;对返出的天然气进行点火处理,以消除敞口放喷可能导致的闪爆风险。

3.3 压井施工设计

3.3.1 压井液性能及用量计算

压井液液性选择:根据井口套管压力、垂直深度、压力系数、气柱压力梯度、临井联通情况、气井附加系数、区域敏感程度等因素,来计算压井液当量密度。气井压井液当量密度计算公式如下:

$$\rho = \frac{P + K \times H}{gH} + \rho_{附}$$

式中:

ρ —压井液密度, g/cm^3 ;

P —套管压力, MPa;

K —气体压力梯度, MPa/Km;

H —油层垂直深度, Km;

g —重力加速度, Kg/m^2 ;

$\rho_{附}$ —安全附加量, g/cm^3 。

对于压井液当量密度小于 1.0g/cm^3 ,可采用清水作为压井液,密度介于 $1.0\text{--}1.2\text{g/cm}^3$,可采用卤水作压井液,大于 1.2g/cm^3 ,可采用泥浆作为压井液。

压井液用量计算如下:

$$V = \frac{k\pi d^2 h}{4}$$

式中:

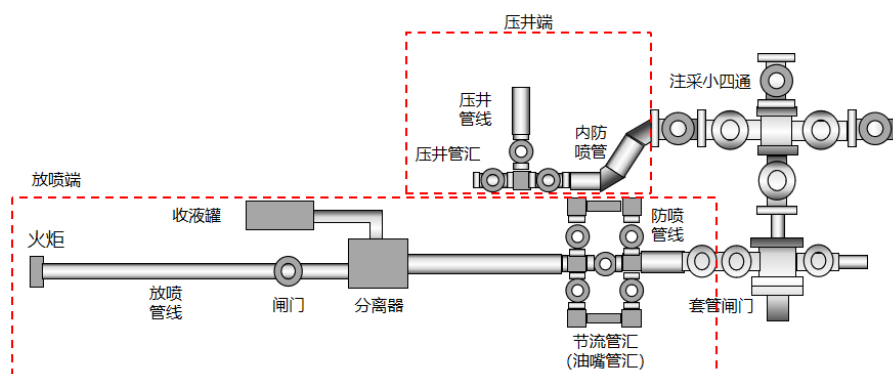
V —压井液体积, m^3 ;

d —套管内径, m;

h —管柱长度, m;

k —附加系数, 1.5–2。

气井压井液用量推荐应为井筒理论容积2倍,并视实际压井情况,增加压井液用量。



循环节流点火放喷压井法地面设备流程布置图

3.3.2 设备设施准备

(1) 压井端安装：从注采小四通一侧依次连接内防喷管线、压井管汇（含单流阀）、压井管线，并连接好油任接头，作为压井液泵入端。该连接方式为正循环压井，可根据井况将压井端连接在套管闸门一侧，作反循环压井。

(2) 放喷端安装：从套管一侧闸门依次连接防喷管线、油嘴管汇、放喷管线、油气分离器，其中分离器一侧闸门依次连接放喷管线、火炬，作为出口返气点火端；分离器另一侧连接放喷管线、收液罐，作为出口液流回收端（如图所示）。该连接方式为正循环压井，可根据井况将放喷端连接在注采小四通闸门一侧，作反循环压井。

设备设施搬上安装前应提前勘查现场，落实注采原有设备，压井放喷等设备设施间距，提前清理好井场以便压井设备安装符合相关标准。

3.3.3 压井操作方法

(1) 压井前准备。确定压井方案并正确连接正（反）压井设备设施、管汇流程、地面各类管线及泵车，并对各部分管汇、管线试压合格；

(2) 节流点火放喷。打开节流阀，调节出口返排气量（采用油嘴管汇放喷），使用远程点火器点火；

(3) 循环压井。使用压井液循环压井，初期排量 100L/min，压井期间观察油、套压力变化，控制套压不超过安全压力（须视套管耐压情况而定），若套压在正常范围之内，可适当提高排量进行洗压井；

(4) 节流控制出口排量。调节节流阀并根据出口压力情况，适时更换油嘴，在控制分离器工作压力不超过额定压力前提下，降低套管循环压力；

(5) 压力记录。充分洗井至进出口液性一致，关井 24 小时，每小时记录油、套压力恢复情况，记录油套无压窗口时间（应大于拆装井口完善防喷装置的作业时间）；

(6) 压力观察。关井结束后，若压力再次恢复或油套无压窗口小于拆装完善井口防喷装置所需时间，则重复步骤（c）至（f）再次循环压井；

(7) 如果压井成功，井口油套压力为零，则执行下步作业工序。

4 现场实践应用

马 19-10-16 为辽河油田储气库公司马 19 块 VI 井组的一口排水井，受邻井马 19-01 注气井注气影响，两井储层联通，导致气窜至井口，造成该井大四通上法兰刺漏（可燃气体检测浓度大于 2000ppm），大四通闸门一侧卡瓦刺漏（可燃气体检测浓度 10000ppm），套管压力 17.5MPa，油管压力 13.0MPa，

虽法兰、卡瓦均已打卡夹具加固密封，但隐患风险存在，急需更换完善井口，以消除风险隐患。节流循环点火放喷压井施工经过如下：

(1) 连接压井管线。从小四通一侧接内防喷管线+压井管汇+压井管线 9 米，对管线、管汇试压至 25MPa 合格。

(2) 连接放喷管线。从套管一侧连接放喷管线 9 米+油嘴管汇，对井口到油嘴管汇试压至 15MPa 合格，连接放喷管线 27 米+分离器，分离器一侧闸门连接放喷管线 9 米+火炬+防火槽；分离器另一侧连接放喷管线 9 米+收液罐。

(3) 建立油套联通。连接好泵车及地面管线并试压合格。投入泄油棒未能打开泄油器，后改用连续油管加压成功打开泄油器。

(4) 节流循环点火放喷压井作业。打开节流阀，使用清水正循环压井，采用 3mm 油嘴控制放喷，出口点火。打入压井液（热污水）4.4 方，进口排量 90-150L/min，初始泵压 3.5MPa 增至 7MPa，套压 19.5MPa 缓慢升至 20.6MPa。更换 7mm 油嘴控制放喷，打入压井液 4.95 方（累计 9.35 方），套压 19.0MPa 缓慢升至 20MPa；继续打入压井液 12.78 方（累计 22.13 方），泵压 13MPa 增至 18MPa，套压 20MPa 降至 13MPa；继续打入压井液 6.35 方（累计 28.48 方），泵压 18MPa 降至 16MPa 并稳定，出口返液，脱气完毕，熄灭火炬，套压 13MPa 降至 9MPa，拆油嘴，大排量正循环洗井，泵压稳定 7MPa，进出口液性一致，压井成功，关井后，油压套压均为 0MPa，顺利完成井口拆换作业。

5 经验与总结

节流循环点火放喷压井法是一种安全有效压井方法，可有效解决气井井口带压隐患，在实践应用中获得以下经验，总结如下。

(1) 根据辽河油田储气库地层压力系数，清水或污水即可平衡地层压力。

(2) 该井采用 3mm、7mm 油嘴与节流阀配合控制出口压力，但循环套压仍在 20MPa 左右，在不超过分离器进口额定压力条件下，可采用更大规格油嘴配合节流阀，降低循环套压。

(3) 压井过程中因井口压力及泵入压井液造成井口振动，使螺丝承受交替变化拉力及井口震动，易导致井口刺漏，施工前应当加固井口各部位的连接。

(4) 压井结束后，建议关井观察恢复情况，确保油套压力为零后进行下步施工。

[参考文献]

[1] 聂海光，王新河. 油气田井下作业修井工程. 背景：石油工业出版社，2022.2：119-132.