

# 大61-21井溢流的压井处理及其处理方法浅析

刘杰<sup>1</sup>, 陈晓华<sup>2</sup>

(1. 中石化华北石油局, 河南 郑州 450006; 2. 中石化华北分公司, 河南 郑州 450006)

**摘要:**通过对大61-21井马五<sub>5</sub>典型小储量气井又漏又涌溢流的处理, 总结出了小储量气井在井漏后, 随着漏入钻井液量的增多, 而表现出地层压力不断升高和循环正常后停泵又会出现井口溢流现象的两大特征。井漏、溢流、提高密度、井漏的恶性循环是处理这类溢流的井控技术难点。当出现又漏又涌的溢流时, 及时诊断是否属于小储量气井对选择处理方法很重要。针对小储量气井出现又漏又涌情况, 只要满足安全条件, 采取平推压井是经济有效的处理方法。大61-21井采用循环加重和平推2种方法结合处理小储量气井溢流的经验与教训, 对同类井具有一定借鉴意义。

**关键词:** 马五<sub>5</sub>溢流; 节流循环压井; 平推压井; 小储量气井

**中图分类号:** TE28 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)08-0019-04

**Well Killing for Overflow of Da 61-21 Well and Discussion on the Treatment Method/LIU Jie<sup>1</sup>, CHEN Xiao-hua<sup>2</sup>**

(1. North China Petroleum Bureau, SINOPEC, Zhengzhou Henan 450006, China; 2. Sinopec Huabei Sub-Company, Zhengzhou Henan 450006, China)

**Abstract:** By the treatment of lost circulation and drilling fluid overflow in 61-21 well in Mawu formation, a typical gas well with small reserves and with the increasing of drilling fluid lost, two characteristics of higher formation pressure and overflow at wellhead while stopping pump were summed up. It is difficult to deal with the vicious circle of lost circulation, overflow, increase density and lost circulation again. Under the conditions of lost circulation and overflow, it is important to judge rapidly if the problem is in a gas well with small reserves; if it is, flat push killing well is an economical and effective method. The experiences and lessons from the combination of circulation & weight and flat push killing well methods in dealing with overflow of gas well with small reserves could be the reference to the similar wells.

**Key words:** Mawu<sub>5</sub> overflow; throttling circulation killing well; flat push killing well; gas well with small reserves

## 1 概述

大61-21井为大牛地气田的一口12¼ in × 9⅝ in + 8½ in × 5½ in 两级井身结构的天然气开发井, 设计井深2965 m。主要钻探上古生界盒<sub>3</sub>、山<sub>2</sub>气层, 兼探下古生界马五<sub>5</sub>黑灰岩的含气性。2010年9月13日钻至2931.55 m下古奥陶系马五黑灰岩时发生溢流, 经多次循环加重及平推等压井后于22日钻至2966.00 m马五<sub>6</sub>完钻。通过大61-21下古马五<sub>5</sub>典型小储量气井又漏又涌溢流的处理, 归纳总结出了小储量气井在井漏后, 随着漏入钻井液量的增多, 而表现出地层压力不断升高; 循环正常后停泵又会出现井口溢流现象的两大特征。归纳出了“井漏、溢流、提高密度、井漏”的恶性循环是处理这类溢流的井控技术难点。当气井出现又漏又涌, 及时诊断是否属于小储量气井对选择处理方法极其重要。小储量气井出现的又漏又涌时, 针对作业现场

情况, 只要满足安全条件, 采取平推压井是经济有效的处理方法。总结分析大61-21井典型小储量气井溢流处理的经验教训, 对同类井的处理具有重要的借鉴意义。

## 2 大61-21井溢流处理概况

大61-21井2010年8月30日一开, 下入9⅝ in表套202.50 m。9月2日二开, 13日钻至2918.00~2920.50 m马五<sub>5</sub>黑灰岩时有放空现象, 钻时小于1 min/m。钻至2931.55 m时, 全烃值由14.127%上升到100%, 立压降低0.2 MPa, 发生溢流关井。关井立、套压0 MPa。关井后经液气分离器放喷点火, 火焰高8~10 m。

### 2.1 节流循环排除气侵

关井后, 开泵小排量节流循环排气过程中出现10 m<sup>3</sup>/h左右的漏失, 为了堵漏压井原浆中加入1%

收稿日期: 2010-11-02; 修回日期: 2011-07-02

作者简介: 刘杰(1963-), 男(汉族), 山西人, 中石化华北石油局教授, 钻井工程专业, 从事石油钻井技术与管理工, 河南省郑州市陇海西路199号, hbjpliujie@163.com; 陈晓华(1984-), 女(汉族), 河北人, 中石化华北分公司助理工程师, 油气井工程专业, 硕士, 从事石油钻井完井工艺研究工作, 河南省郑州市陇海西路199号。

单封和6 t可酸化加重材料——超细碳酸钙。钻井液的入口密度由 $1.10\text{ g/cm}^3$ 提升到 $1.11\text{ g/cm}^3$ ,出口密度由 $1.02\text{ g/cm}^3$ 上升到 $1.09\text{ g/cm}^3$ ,放喷口断气、火熄后,开井循环再次发生溢流。

## 2.2 第一次节流循环压井

为控制压井液不侵入气层、不压死或伤害气层,根据气井压井推荐密度附加值,取中值附加 $0.1\text{ g/cm}^3$ 。继续用超细碳酸钙节流循环钻井液密度加重至 $1.19\text{ g/cm}^3$ ,加重过程中有轻微漏失。钻井液进出口密度均匀后开井循环,全烃值迅速增高,地层流体仍然侵入,循环出的压井液中布满鱼子泡。继续关井节流循环配合液气分离器和真空除气器除气,进出口钻井液密度可维持在 $1.20\text{ g/cm}^3$ 左右。停泵,开井观察30 min无溢流,试钻2.16 m,钻至2933.71 m再次发生溢流关井。关井立、套0 MPa,溢流 $2.4\text{ m}^3$ 。节流循环放喷点火,火焰高8 m左右。

## 2.3 第二次节流循环压井

为保护和压住气层继续用超细碳酸钙节流循环压井,试图提到一个合理的压井密度。由 $1.20\text{ g/cm}^3$ 的井浆加重至 $1.25\sim 1.27\text{ g/cm}^3$ 的过程中有轻微漏失。当钻井液进出口密度由 $1.25\text{ g/cm}^3$ 提高到 $1.27\text{ g/cm}^3$ 时,压井液中鱼子泡减少,气侵现象大幅度减弱,井内无漏失。开井观察4 h无溢流,开泵循环活动钻具后效溢流明显,关井节流循环可放喷点火,火焰高3~6 m。提高节流循环排量至 $31\sim 32\text{ L/s}$ 时,立压 $11.5\sim 12.5\text{ MPa}$ ,套压 $0.45\sim 0.50\text{ MPa}$ ,气侵减弱(全烃值降至20%左右),循环过程中井内无漏失。

## 2.4 平推压井

由于边循环边加重压井作业时间长、压井效果较难控制,随即采用经济有效的平推法压井。以 $14\sim 22\text{ L/s}$ 排量从环空推入密度为 $1.21\text{ g/cm}^3$ 的压井液 $76\text{ m}^3$ ,最高套压 $7.3\text{ MPa}$ ,平推1 h 20 min后套压突降至 $3.2\text{ MPa}$ 。开井活动钻具,井内回吐压井液 $7\text{ m}^3$ 。开泵试钻0.65 m后再次溢流关井,关井立、套0 MPa,溢流 $2.3\text{ m}^3$ 。节流循环放喷点火,火焰高6~8 m。

## 2.5 第三次节流循环压井

因平推压井不确定因素的影响,在推入压井液的同时也压漏了井内薄弱地层,诱发井漏导致井内情况复杂,没有达到平推压井效果。继续用钛铁矿粉节流循环压井,试图将压井密度提到一个合理压井密度。井浆密度由 $1.27\text{ g/cm}^3$ 加重至 $1.30\text{ g/cm}^3$

过程中井内出现 $7\sim 10\text{ m}^3/\text{h}$ 的漏失。节流循环后漏失逐渐减少,开井活动钻具后效溢流明显,关井5 min后立压0 MPa、套压 $0.64\text{ MPa}$ 。为解决井漏提高薄弱层承压能力,采用定位正注反挤法对第一漏失可疑层刘家沟平推8%的桥堵浆试堵。反挤排量 $6.4\sim 15\text{ L/s}$ ,套压 $2.26\sim 3.2\text{ MPa}$ ,共挤入 $10\text{ m}^3$ 压井液、 $10.3\text{ m}^3$ 8%的桥堵浆。结合平推压井、反挤堵漏注入压力变化曲线及桥堵浆返出迟到时间,综合分析推断平推作业诱发的漏失层为下古生界风化壳,刘家沟定位正注反挤试堵失败。

继续用 $17\text{ L/s}$ 排量节流循环,套压 $0.24\text{ MPa}$ 。开井循环再次溢流关井,关井立压0 MPa、套压 $0.48\text{ MPa}$ 。节流循环钻井液进出口密度均匀后,开井试钻有明显的后效溢流。节流循环加单根后开井循环观察,全烃值最高24%,之后迅速降低。其后每打完一个单根,开井循环观察一周,钻至2966 m终孔。

22日开井循环,进出口密度 $1.29\sim 1.30\text{ g/cm}^3$ 。短起450 m测量油气上窜速度,确定安全起下钻时间,循环后效溢流。节流循环井浆密度加重至 $1.32\text{ g/cm}^3$ 过程中井内有 $2\text{ m}^3/\text{h}$ 漏失。短起下450 m,开井循环后起钻完钻。

## 2.6 完井作业

13~24日压井、电测井期间,进行了3次边循环边加重压井、一次平推压井作业,累计漏失钻井液 $257\text{ m}^3$ 、平推压井液 $76\text{ m}^3$ 、反挤8%桥堵浆 $21\text{ m}^3$ 、消耗加重剂120 t。累计放喷点火30余次。

22~24日,在安全作业时间内分2次完成全部电测井项目。25~26日,下入 $\text{O}139.7\text{ mm}\times 7.72\text{ mm}\times \text{N}80$ 套管269根,套管下深2964.05 m。循环2周后装胶塞两凝水泥浆固井,领浆平均密度 $1.30\text{ g/cm}^3$ ,过渡浆平均密度 $1.75\text{ g/cm}^3$ ,尾浆平均密度 $1.85\text{ g/cm}^3$ 。

## 3 大61-21井溢流处理方法浅析

### 3.1 小储量天然气井储层模型及特征

天然气储层主要有孔隙型、孔隙-裂缝型、裂缝溶洞型。一般砂岩储层以孔隙型和孔隙-裂缝型为主,碳酸盐岩储层以孔隙-裂缝型和裂缝溶洞型为主。大61-21井马五<sub>5</sub>黑灰岩储层为典型的裂缝溶洞型储气藏。

天然气与其它气体一样具有可压缩性,其体积与压力、温度的关系符合气态方程规律,如果忽略温度变化的影响,即遵守:

$$P_0V_0 = P_1V_1 \quad (1)$$

式中: $V_0$ ——储层原始天然气压力下,置换后天然气占据的体积; $P_0$ ——储层原始天然气压力; $V_1$ ——井漏时,钻井液进入裂缝溶洞,天然气被挤压后占据的体积; $P_1$ ——井漏时,钻井液进入裂缝溶洞,天然气被挤压后的压力。

裂缝溶洞中充满着原始压力的天然气,发生揭开气层或井漏后,裂缝溶洞空间进入部分钻井液置换、挤压天然气占据的空间,其压力随之也发生变化,如图 1 所示,即有:

$$V_{\text{泥}} = V_0 - V_1 \text{ 或 } V_1 = V_0 - V_{\text{泥}} \quad (2)$$

式中: $V_{\text{泥}}$ ——漏入裂缝溶洞的钻井液体积。

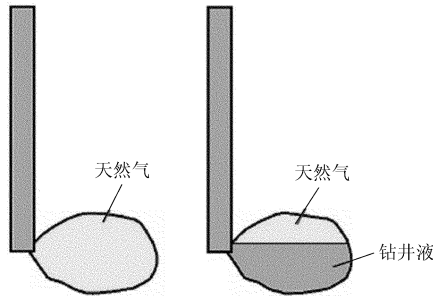


图 1 小储量气井漏失模型

从式(1)、(2)可以得出这样的结论:储层原始空间( $V_0$ )越小,漏入储层的钻井液量( $V_{\text{泥}}$ )对储层内天然气体积( $V_1$ )的挤压变化越敏感,也就是说即使漏入的钻井液较少,也会明显地带来裂缝溶洞中天然气被挤压而压力升高。反之,储层原始空间( $V_0$ )越大,漏入储层的钻井液量( $V_{\text{泥}}$ )对储层内天然气体积( $V_1$ )的挤压变化越小,当储层原始空间趋于无穷大时,井漏带来的天然气被挤压而压力升高非常小,可以忽略不计。

大 61-21 井马五<sub>5</sub>具典型的小储量天然气储层模型特征。由多次压井关井立、套压为零可知,气层原始当量密度小于  $1.09 \text{ g/cm}^3$ ,但压井作业中频繁开井循环的溢流现象,导致了总想试图探索一个合理的压井密度,从而陷入了“井漏→溢流→加重→井漏→溢流→加重”的恶性循环(见图 2 所示),整个压井作业期间累计漏失钻井液  $257 \text{ m}^3$ ,当量压井液密度也由  $1.09 \text{ g/cm}^3$  分 4 次提升到了  $1.32 \text{ g/cm}^3$ 。揭开气层后加重及其循环过程中的频繁漏失,及其随着钻井液量的增多,导致为平衡地层压力压井液的密度从  $1.09 \text{ g/cm}^3$  不断提升至  $1.32 \text{ g/cm}^3$ ,表现出地层压力似乎在不断升高。节流压井循环正常后停泵又频繁出现井口溢流,这一现象诱导我们总认为钻井液密度还不能平衡地层压力,进而需进一步加重。其实是由于马五<sub>5</sub>气层的储层空

间小,节流循环时,环空的循环压降附加给储层内的天然气,使之压缩,一旦停泵,循环压降立即消失,被压缩的天然气膨胀而推动压井液外溢所致。类似的情况在四川、塔里木等碳酸盐油气藏已有不少先例。

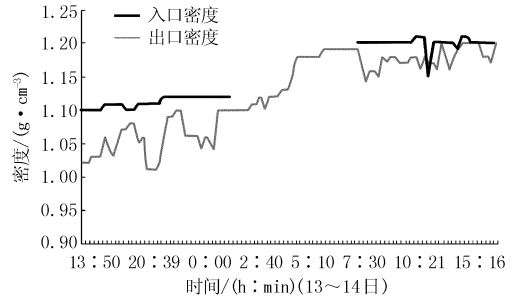


图 2 压井液进出口密度曲线

### 3.2 小储量气井井控技术难点

小储量气井井控技术难点是由其储层特征决定的,随着漏入钻井液量的增多,“而表现出地层压力不断升高以及节流压井循环正常后停泵又会出现井口溢流”的两个基本特征,导致了“井漏→溢流→加重钻井液→井漏”又漏又涌恶性循环风险的存在。

由式(1)可知, $V_1$ 减小到一定程度, $P_1$ 会随  $V_1$ 有一急剧变化区间,亦即压力钝化(见图 3 所示)。而  $P_1$ 的变化受压井液密度影响,合理压井密度理论值近似于后效基值 A 与天然气压缩变化曲线交点 B,对应密度钝化区间的最小值,适当附加一适当的安全密度值即可满足开井循环条件。实际操作中要试图确定一个合理压井密度理论近似值非常难,需要多次尝试,且费时费力、消耗巨大,大 61-21 井最后采用  $1.30 \sim 1.32 \text{ g/cm}^3$  的压井密度就是多次尝试的结果。

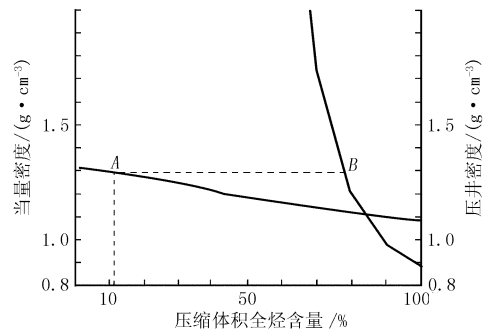


图 3 小储量气井合理压井密度选择

简单有效的处理方法就是置换  $V_0$ 空间的天然气使  $V_1$ 最小,因而平推法压井不失为经济有效的首选。除非用水泥或其它堵漏材料有效地封堵住储层与井筒间的通道,否则,想采用常规井控方法来建立井内压力平衡,不但需要消耗大量的材料和时间,而

且难以成功。

### 3.3 平推压井作业的不确定性与得失

平推法压井的适宜条件是:

- (1) 地层含硫化氢的井涌;
- (2) 井身结构中, 套管下得较深、裸眼短, 只有一个产层且渗透性很好的地层;
- (3) 钻杆堵塞或断裂, 压井液不能到达井底;
- (4) 有严重的井涌预兆, 地面管汇无法承受井涌后的压力;

(5) 产层下面有一个漏失层, 当压井循环时大量的钻井液将漏入该地层。

大61-21井表层套管下深较浅、最大允许关井套压小、裸眼段长、且存在刘家沟和下古风化壳可疑漏失层, 平推法压井存在压漏薄弱层导致井内情况复杂的不确定性。

压漏风化壳、没有推入预期压井液量是平推压井失败的主要原因。平推法压井的实施不仅大大降低了气侵的活跃程度, 而且为快速处理又漏又涌溢流情况争取了时间。平推压井过程中, 在平推入压井液的同时也压漏了裸眼段的薄弱地层。从平推压井套压由7.3 MPa突降至3.2 MPa以及反挤桥堵浆套压基本稳定在3.2~2.6 MPa变化曲线、灰岩地层脆性破裂特征(见图4所示), 推断漏失层为2847~2849 m下古风化壳碳酸岩地层。平推的76 m<sup>3</sup>压井液一部分推入气层、一部分推入漏失层。漏失当量密度1.32 g/cm<sup>3</sup>时, 漏速2 m<sup>3</sup>/h。地层的压力窗口1.29~1.32 g/cm<sup>3</sup>, 泥浆密度低于1.29 g/cm<sup>3</sup>诱发气侵、高于1.32 g/cm<sup>3</sup>诱发漏失。

## 4 结论

- (1) 当出现又漏又涌的气井溢流时, 及时诊断

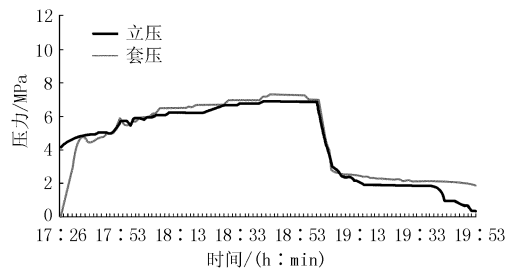


图4 平推压井灰岩地层脆性破裂曲线

是否属于小储量气井对选择处理方法很重要。随着漏入钻井液量的不断增多, 会表现出地层压力不断升高、循环正常(进出口钻井液密度一致)后停泵又出现井口溢流现象的特征, 可诊断为是裂缝溶洞型小储量气井。

(2) 针对小储量气井出现又漏又涌的溢流采用常规压井方法时, 可采用调节节流循环套压、测定全烃测量基值的方法确定合理压井液密度当量密度。

(3) 特别是当小储量气井含有硫化氢, 且套管或钻具的材质抗硫化氢性能较差时, 应首选平推法压井。首先要考虑井口装置、套管抗内压强度和套管鞋附近地层的破裂压力是否满足井控安全要求。只要满足井控安全的条件, 采取平推压井处理较为经济有效。

### 参考文献:

- [1] 陈忠实, 吴仕荣. 典型小储量气井井控技术难点及处理实践[J]. 天然气工业, 2006, 26(4).
- [2] 高云丛, 李相方, 等. 普光气田高含硫气井溢流压井期间井筒超临界相态特征[J]. 开发工程, 2010, 30(3).
- [3] 张智, 施太和, 等. 高酸性气井超临界态二氧化碳硫化氢的相态变化诱发钻采事故探讨[J]. 钻采工艺, 2007, 30(1).
- [4] 张新旭, 等. 河坝1井高压含硫气层井控技术[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(4).

## 联合国批准中国公海海底探矿

国土资源网消息(2011-08-02) 据美国媒体报道, 日前, 联合国下属机构批准了中国政府计划勘探非洲和南极洲之间海底金属矿藏的方案。

中国载人深海潜水器“蛟龙”号在5000 m深海底的作业性能已于近期得到验证。其下潜地点位于夏威夷和北美大陆之间海域, 中国曾在2001年获得了负责公海采矿事务的联合国机构国际海床管理局准予在这片海域勘探矿产的权利。

国际海床管理局日前在牙买加总部召开的会议上, 批准了中国和俄罗斯要求勘探多金属硫化矿的申请, 这是首次有国家提出这样的申请。多金属硫化矿是相对来说发现较晚的一种矿藏, 形成于海底山脊的火山口一带。

有关专家将“蛟龙号”的下潜任务和国际海床管理局的批准视为中国深海勘探计划的两座里程碑。

中国2010年提出申请, 要求勘探西南印度洋脊的多金属硫化矿, 该洋脊大致平分非洲和南极洲之间海域。俄罗斯申请勘探大西洋中脊的多金属硫化矿。多金属硫化矿是由乘坐美国“阿尔文”号潜水器的科学家在1979年发现的, 当时他们发现位于墨西哥西海岸外的海底火山口喷出一种超热流体, 其中既含有铜、铅、锌等基础金属, 也含有金和银等。

上海同济大学海洋地质国家重点实验室负责人汪品先教授说, 他正在领导一个配套资金达1.5亿元的研究项目, 2012年该项目将利用“蛟龙号”深潜器勘探南海的一处火山。