

# 涩北气田连续油管冲砂作业分析

胡昌德<sup>1</sup> 赵元才<sup>2</sup> 包慧涛<sup>1</sup> 王善聪<sup>3</sup>

1. 中国石油青海油田公司采油气工艺处 2. 中国石油青海油田公司钻井处 3. 中国石油青海油田公司天然气开发公司

胡昌德等. 涩北气田连续油管冲砂作业分析. 天然气工业, 2009, 29(7): 85-88.

**摘要** 涩北气田生产过程中极易出砂, 要恢复气井正常生产, 就要将砂冲出来, 解放产层。由于地层压力低, 常规冲砂方法容易使地层压漏, 返排困难, 对气层造成严重的污染, 达不到提高产量的目的。在使用连续油管进行了10口井冲砂作业的基础上, 通过对典型井的分析, 认为冲砂作业成功的关键是合理控制冲砂排量、井口油压(回压)、泵液时间、泵液量、冲砂速度等, 使井口油压、液柱压力、砂柱压力、气柱压力、油管与连续油管环空间的循环阻力之和小于井底地层压力, 让产层中的天然气不断地流入井筒, 达到减少地层污染的目的。实验结果对今后涩北气田进行大规模的连续油管冲砂作业具有指导作用。

**关键词** 涩北气田 连续油管 清砂 生产能力 地层压力

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2009.07.026

## 1 涩北气田连续油管冲砂完成情况

2005年在4口直井、2007年选择了4口水平井和2口出水较多、有出砂现象的直井实施了连续油管冲砂作业, 其效果见表1。

2005年冲砂的4口井都没压住地层, 冲砂完后直接进入站生产, 除涩北4-5井底部桥塞上移产量未增加外, 其余井都有所增加。2007年冲砂后, 1口井生产不正常, 1口井复产不成功, 其余4口井产量有所降低, 除地层压力比2005年更低外, 操作上也存在问题。

表1 涩北气田连续油管冲砂效果对比表

时间	井号	生产层段	气嘴 (mm)	油压 (MPa)	套压 (MPa)	冲前产气量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d)	冲后产气量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d)	
2005年	涩4-10井	1 445.8~1 472.5	4	10.59	11.41	1.99	2.10	
	涩4-12井	1 321.2~1 366.0	6	12.07	12.41	7.67	7.72	
	涩4-5井	1 348.2~1 385.3	6	9.45	10.13	4.37	4.01	
	涩3-22井	1 248.0~1 263.2	6	8.97	9.69	3.02	3.48	
2007年	涩H1	4口水平井垂深	7.5	8.4	8.9	7.147 5	7.287 3	
	涩H2	1 050~1 100 m, 斜	7	7.1	7.8	4.535 3	3.015 4	
	涩H3	深1 600 m左右, 水	7	8.8	9	6.338 7	5.679 6	
	涩H4	平段长400 m左右	9	6.5	7.2	5.828 8	6.350 2	
	涩2-16	1 039~1 132	油套同采井, 出砂, 生产不正常				井口压力低, 无法进站生产	
	涩1-2	8 30.8~855.9	5	6.7	7.1	1.376 1	井口压力低, 无法进站生产	

## 2 问题探讨

### 2.1 涩北气田的基础数据

涩北气田生产套管外径为177.8 mm, 内径159.4 mm; 油管外径为73 mm, 内径62 mm; 连续油管外径为31.75 mm, 内径27.29 mm, 连续油管长度4 000 m; 气

层井段1 000~1 500 m, 钻井口袋70 m左右。

### 2.2 理论分析

将砂带出地面的条件为:

$$v_i > 2v_d$$

式中:  $v_i$  为冲砂液的上返速度, m/s;  $v_d$  为砂粒的自由下沉速度, m/s。

作者简介: 胡昌德, 1963年生, 工程师; 主要从事采气工艺技术管理工作。地址: (736202) 甘肃省敦煌市七里镇。电话: 13893711305。E-mail: hucdqf@petrochina.com.cn

只要冲砂液的上返速度大于等于2倍砂粒的自由下沉速度就能将砂冲到地面。涩北气田地层砂颗粒较小(地层砂粒径中值0.04~0.07 mm),从文献[1]查得石英砂在水中自由下沉速度为0.02~0.04 m/s,如果按0.04 m/s计算,可得保证砂粒上返地面的最低液流上返速度为 $v_{\min}=0.08 \text{ m/s}^{[2-3]}$ 。由此可得冲砂时可需要的最低排量为:

$$Q_{\min} = 360 F \cdot v_{\min}$$

式中: $Q_{\min}$ 为冲砂要求的最低排量, $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $F$ 为截面积, $\text{m}^2$ 。

连续油管冲砂所需最低排量及所耗时间计算如下所示。

$$F_{\text{套管}} = 0.785 (d_{\text{套管}}^2 - D_{\text{连续油管}}^2) = 0.785 \times (0.1594^2 - 0.03175^2) = 0.01915 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{油管}} = 0.785 (d_{\text{油管}}^2 - D_{\text{连续油管}}^2) = 0.785 \times (0.0622^2 - 0.03175^2) = 0.0022 \text{ m}^2$$

$$Q_{\min} = 360 F \cdot v_{\min} = 360 \times 0.01915 \times 0.08 = 0.55 \text{ m}^3/\text{h}$$

设砂粒在套管内的上升速度为 $v_{s1}$ 、油管内的上升速度为 $v_{s2}$ ,得

$$v_{s1} = v_{\min} - v_d = 2v_d - v_d = 0.04 \text{ m/s}$$

$$v_{s2} = Q_{\min} / F_{\text{油管}} = 0.069 \text{ m/s}$$

设套管段长度为50 m,井深为1500 m,砂粒从井底上升到地面的时间为:井深/砂粒上升速度=6.18 h。

常规冲砂所需最低排量及所耗时间为:52.08 h

(最小排量为 $0.45 \text{ m}^3/\text{h}$ )。

计算结果表明,常规冲砂和连续油管冲砂所需的排量都较小,施工的时间都很长,所以实际施工时采用不压漏地层的较大排量进行冲砂。即

$$p_{\text{地}} > p_{\text{液}} + p_{\text{固}} + p_{\text{环空损失}} + p_{\text{油}}$$

式中: $p_{\text{地}}$ 为井底地层压力,MPa; $p_{\text{液}}$ 为液柱形成的压力,MPa; $p_{\text{固}}$ 为固体即砂粒形成的压力,MPa; $p_{\text{环空损失}}$ 为油管 and 连续油管之间的循环压力降,MPa; $p_{\text{油}}$ 为井口油压,MPa。

### 2.3 施工分析(以涩4-5井为例)

#### 2.3.1 涩4-5井基本参数

产层井段1348.2~1385.3 m,共8个小层,有效厚度12.1 m,人工井底1513 m,砂面位置1380 m;砂柱长度133 m(1513~1380 m);施工排量185 L/min=11.1  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

#### 2.3.2 施工过程

施工过程详见连续油管冲砂试验施工记录(表2)。

1)连续油管情况。安装、试压、探砂面后,用185~160 L/min排量向井内泵液,泵入压力40~35 MPa,井口用针形阀控制,泵液5 min,连续油管缓慢从1335 m下至1380 m,开始冲砂,每冲20 m砂,上提连续油管至1100 m,目的是将冲出的砂赶至油管内200 m以上,有利携砂;如此反复,一直到人工井底1513 m,冲完后,将连续油管缓慢起到井深

表2 连续油管冲砂试验施工记录表

时间	连续油管下深(m)	施工泵压(MPa)	施工排量(L/min)	套压(MPa)	油压(MPa)	出口描述	备注
15:25	1335	40	185	10.2	10.2		泵液
15:50	1435	40	185	10.2	2.5	见液	冲砂
15:55	1505	40	185	10.2	0	见砂	防漏停泵
16:30	1200	40	185	10.2	0	见砂	继续泵注
16:40	800	40	160	10.2	0	稠砂	
16:50	200	35	160	10.2	0	稠砂	
17:00	800	35	160	10.2	0	稠砂	
17:10	800			10.2	0	泡沫砂	防漏停泵
17:20	900	35	160	10.2	0	泡沫砂	开泵
17:30	1100	35	160	10.2	0	泡沫砂	
17:40	1330	35	160	10.2	0	泡沫砂	
17:50	1380	35	160	10.2	0	泡沫砂	
18:00	1515	36	160	10.2	0	泡沫砂	
18:10	1390	40	185	10.2	0	泡沫砂	上下活动管柱
18:30	1390	35	165	10.2	0	泡沫砂	
19:00	1390	35	165	10.2	0	液	
19:45	1390	35	165	10.2	0	液	改泵盐水
19:50	1390	35	165	10.2	0	液	上提油管
20:55	0	0	0	10.2	0		施工完毕

200 m,将大部分砂带出地面后,又将连续油管下至井底反复冲,直到井口返出的全是清水后,再循环50 min,上提连续油管,施工完毕。

2)井口情况。开始泵液时,针形阀打开,泵液25 min,井口见液,油压从10.2 MPa降至2.5 MPa时,将针形阀全部开启,压力马上降到0 MPa,5 min后见砂,井口段流,间隔时间较长,分析认为井下已发生漏失,停泵观察,待井口返出排量较大时,开泵继续冲砂,后井口又出现较长时间不返,停泵10 min后,又重新开始冲砂,以后没有出现长时间断流现象。

3)冲砂液。淡水+增黏剂+表面活性剂+防膨剂。

### 2.3.3 施工分析

选取冲砂至1 435 m、液体返到井口时的资料进行分析。

#### 2.3.3.1 漏失分析

砂面位置1 380 m,油管下深1 335 m,排量为1 85 L/min,连续油管深度1 435 m,25 min井口见液,井口油压2.5 MPa。假设冲砂时砂和液体的体积互相抵消,即冲出1 m<sup>3</sup>砂,需要1 m<sup>3</sup>液填充,计算体积时用砂面位置以上计算,井口针形阀开得小,达不到排液临界流量,井内产出的气滑脱后从井口排出,冲砂时不出水和砂。砂面以上井筒容积为:

$$V = (1\ 380 - 1\ 335) F_{\text{套管}} + 1\ 335 F_{\text{油管}} = 55 \times 0.019\ 15 + 1\ 335 \times 0.002\ 2 = 3.99\ \text{m}^3$$

液体返到地面所需要的时间( $t$ )为:

$$t = V/Q = 3.99/0.185 = 21\ \text{min}$$

实际井口见液时间为25 min,在这段时间泵入的液量为:0.185×25=4.62 m<sup>3</sup>。说明井下发生了漏失,漏失量至少为:4.62-3.99=0.63 m<sup>3</sup>。冲砂液中的天然气不可能完全滑脱,所以井筒内还存有部分天然气,故漏失量要大于0.63 m<sup>3</sup>。

#### 2.3.3.2 井底压力分析

1)泵液前:井底静压

井斜小于2°,测量井深( $L$ )等于垂直井深( $H$ ),关井静气柱,压降梯度中摩阻项和动能项均为零。垂深按1 435 m计,井筒平均温度为40 °C,井口关井压力为10.2 MPa,井筒气柱平均偏转系数为0.95。用平均参数法求得井底静压( $p_{ws}$ )。

第一次试算,取

$$p_{ws}^0 = p_{wh}(1+0.000\ 08h) = 11.37\ \text{MPa}$$

$$p_{\text{平}} = (p_{ws}^0 + p_{wh})/2 = 10.785\ \text{MPa}$$

$$T_{\text{平}} = 273 + T = 273 + 40 = 313\ \text{K}$$

求  $p_{ws}$ :

$$s = \frac{0.034\ 18 \gamma_g H}{T_{\text{平}} Z_{\text{平}}} = 0.092\ 4$$

$$p_{ws} = p_{wh} e^s = 11.19\ \text{MPa}$$

$$p_{ws}^0 - p_{ws} = 0.18\ \text{MPa}$$

试算结果表明误差不大,所以  $p_{ws}$  为11.19 MPa,除去井口压力,气柱压力为0.99 MPa。

2)泵液后:井底液柱压力

砂的密度按2.65 g/cm<sup>3</sup>、液体密度按1.0 g/cm<sup>3</sup>计,假设液固均匀分布,则井筒容积为:

$$V = (1\ 435 - 1\ 335) F_{\text{套管}} + 1\ 335 F_{\text{油管}} = 4.85\ \text{m}^3$$

假设砂粒不漏入地层,砂的体积便为:

$$V_{\text{砂}} = (\text{冲砂井深} - \text{砂面}) F_{\text{套管}} = 1.05\ \text{m}^3$$

则液的体积为:

$$V_{\text{液}} = V - V_{\text{砂}} = 4.85 - 1.05 = 3.8\ \text{m}^3$$

井筒内平均密度为:

$$\gamma = (V_{\text{液}} \gamma_{\text{液}} + V_{\text{砂}} \gamma_{\text{砂}})/V = 1.35\ \text{g/cm}^3$$

环空循环压耗取0.5 MPa(根据连续油管在井口和下到井底循环时的压力差得),井口压力为2.5 MPa,则井底压力为:

$$\frac{0.1 \times 1\ 435 \times 1.35}{9.8} + 0.5 + 2.5 = 22.76\ \text{MPa}$$

如果考虑井内天然气影响,液柱压力降低40%,则井底压力仍为:

$$(1-40\%) \times \frac{0.1 \times 1\ 435 \times 1.35}{9.8} + 0.5 + 2.5 = 14.86\ \text{MPa}$$

井口观察,气体在井筒内所占的体积不到40%,所以井底压力14.86 MPa是比较保守的算法,实际要大。从计算结果可以看出,井筒内的气液固对井底所形成的压力大于地层压力,从而导致井漏。

#### 2.3.3.3 原因分析

1)井底静压力低,压力系数只有0.8。

2)在施工过程中,怕井口被刺坏,故控制井口油压的针形阀开得太小,井口出气量低,达不到排液的临界流量,砂和液不能及时排出,再加上井口憋压,造成井底压力过大而井漏。

从井内把液体带至地面所需的最小气流速度,应足以把井内可能存在的最大液滴带到地面,该气流速度称为临界流速,根据气流携带液滴所需的临界流速计算公式为:

$$q_g = 2\ 378.28 \frac{d^2 p^{0.5} \alpha_w^{0.25} \left( \rho - 3\ 484.5 \frac{\rho \gamma_g}{TZ} \right)^{0.25}}{(TZ \gamma_g)^{0.5}}$$

式中: $q_g$ 为气流携带液滴所需的最小流量,10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d; $d$ 为油管直径,m; $p$ 为气体流动压力,MPa; $T$ 为

气体流动温度, K;  $Z$  为天然气偏差系数, 无因次;  $\gamma_g$  为气体相对密度;  $\rho$  为液体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\alpha$  为气液表面张力,  $\text{mN}/\text{m}$ 。

根据气流携带液滴所需的临界流速公式计算, 涩北气田井口流动温度为  $20\text{ }^\circ\text{C}$  时, 不同内径油管在不同井口压力下气井的平均排液临界流量见表 3。

表 3 不同井口压力下气井的平均排液临界流量

井口流压 (MPa)	2	3	5	8	10	12
排液临界流量 ( $10^4\text{ m}^3/\text{d}$ )	1.01	1.24	1.63	2.11	2.44	2.69

该井在施工时, 井口流量没有达到排液临界流量, 造成井底明显积液。

3) 在施工过程中, 排量偏大。根据前面的理论分析, 排量在  $0.55\text{ m}^3/\text{h}$  ( $9.17\text{ L}/\text{min}$ ) 就能达到携砂的要求, 而在施工中却用了  $185\sim 160\text{ L}/\text{min}$ , 增大了携液难度。

4) 冲砂下放速度过快。由于现场拉液较远, 冲砂液不能回收, 如果井场液量不够, 就会导致后面的冲砂不彻底。为了节省冲砂液, 刚开始冲砂的速度较快, 导致砂粒对井底形成的压力加大, 憋漏地层。

## 3 认识及建议

### 3.1 认识

1) 为防止井口刺坏, 探到砂面后, 将连续油管上提至距砂面  $50\text{ m}$  以上开泵, 保证井底砂不被冲起来 (防止冲砂初期排出的高流速液体中含砂而刺坏井口)。

2) 泵排量控制在  $100\text{ L}/\text{min}$  以下, 井口控制好回压, 出气量在排液临界流量以上。

3) 泵液  $0.5\text{ m}^3$  后, 再下连续油管缓慢冲砂, 控制好冲砂下放速度在  $1\text{ m}/\text{min}$  以内, 每冲  $10\text{ m}$  上提一次连续油管至油管内  $200\text{ m}$  以上, 再下去冲下一段。

4) 让井口处在常喷状态, 如果停喷马上停止冲砂, 同时停泵观察, 待喷势较大后再继续往下冲。

5) 对出水较多的停产井, 用制氮车与泡排技术结合进行冲砂。

6) 冬天施工时, 为防止连续油管里的残留液体结冰, 要泵入盐水将淡水替换出来。

### 3.2 建议

连续油管冲砂, 如果井不漏, 非常简单。但通过涩北气田 10 口井的冲砂发现, 基本上每口井都有井漏发生, 冲砂后效果不是很理想, 要提高涩北气田冲砂效果, 充分利用好油田购进的连续油管车和制氮车, 提以下建议:

1) 对冲砂液进行研究, 达到保护气层、低排量冲砂、携砂目的, 同时提高被天然气携带的能力, 为低产量条件下冲砂, 打下基础。

2) 对施工参数进行优化, 对排量、井口控制压力、冲砂速度、每段冲砂长度、各段施工时间、用量等参数进行优化研究。

3) 对井口及地面放喷设备冲蚀情况进行实验分析研究, 得出不同含砂量、不同速度时冲蚀情况, 找出合理的解决办法。

4) 适当改进研制井口简易冲砂分离装置及流程, 将液体分离出来后重复利用, 天然气分离后能进站回收, 达到安全节能环保的目的。

5) 制订安全操作规程, 对上岗人员进行培训, 提高事故预防、处理及应急能力。

6) 加强对更低压力、产量条件下的冲砂研究。

### 参 考 文 献

- [1] 郭铁. 石油开采十大技术标准规范[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [2] 李士伦. 天然气工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- [3] 张琪. 采油工程原理与设计[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2000.

(修改回稿日期 2009-05-21 编辑 韩晓渝)