

反循环压井挤扁油管受力分析及计算

四川石油管理局川东钻探公司 吴建国

近年来,川东地区深井越来越多,对有些钻井录井及电测资料分析较差的井,为节约成本,一般只下入2 000 m左右 $\varnothing 177.8$ mm尾管,上部仍为 $\varnothing 244.47$ mm技术套管。对这类井进行试油,无疑会给施工带来很大困难。因 $\varnothing 244.47$ mm技术套管抗内压能力较低,加之钻进时间长,有不同程度磨损,而酸化施工压力较高,一般为50~65 MPa,套管耐压强度不够,需下入封隔器酸化。由于井内有3 000 m左右 $\varnothing 244.47$ mm大套管,井筒容积大,给洗井增加很大难度,不易洗干净或因工具原因造成施工后工具不能收回,在放喷排液或反洗井等作业时,泵压为22~25 MPa,可能将井内 $\varnothing 73$ mm壁厚5.51 mm油管挤扁并拉断掉入井内,造成较大的经济损失。为什么在外挤力为油管抗挤力的30%~40%时会发生井内油管挤扁呢?下面对这个问题进行探讨。

理论分析

(1)油管属中薄壁圆筒($\delta > \frac{D}{20}$),当只受外力(p)时,如图1。

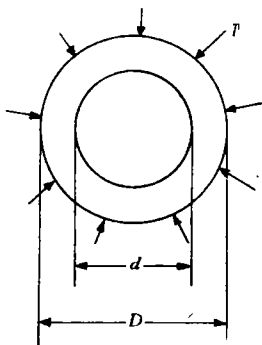


图1

Fig. 1.

沿径向应力:

$$\sigma_r = \frac{p b^2}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right)$$

沿周向应力:

$$\sigma_t = \frac{p b^2}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right)$$

其中: σ_r 为径向应力,MPa;

σ_t 为周向应力,MPa;

p 为外压力,MPa;

b 为外半径,cm;

a 为内半径,cm;

δ 为油管壁厚,cm;

D 为油管外径,cm;

d 为油管内径,cm。

r 取值由 $a \rightarrow b$,由公式可知,当 $r = a$ 时, $\sigma_{t \max} = 2 \times \frac{p b^2}{b^2 - a^2}$,当油管只受外压力时,最大应力发生在油管内壁处,且周向应力比径向应力大许多倍,所以讨论时,只考虑周向应力即可。

(2)井内油管受拉伸载荷时对抗挤强度的影响。因下入井内油管受自重(减去清水浮力)以及蹇压对油管的拉伸力影响,油管受轴向拉应力(σ_z)和周向应力(σ_t)的双轴应力作用,根据第四强度理论,油管的破坏条件为:

$$\sigma_s^2 = \sigma_z^2 - \sigma_z \sigma_t + \sigma_t^2 \leq \sigma_s^2$$

式中: σ_s 为油管合成应力,MPa;

σ_s 为钢材平均屈服极限,MPa。

该公式为坐标轴旋转 -45° 的椭圆方程。

经整理得:

$$p_w = \left(\frac{p_c}{k} \right) (\sqrt{k^2 - 3w^2} - w)$$

式中: p_w 为拉力为 w 时油管抗挤强度,MPa;

p_c 为油管不受拉时抗挤强度,MPa;

k 为油管系数,kN;

w 为油管受拉力,kN。

其中: $k = 2A y_s$

式中: A 为油管横截面积,cm²;

y_s 为钢材平均屈服极限,kN/cm²。

实例计算

近几年,四川石油管理局川东钻探公司有4口井下工具后油管被挤扁。其中两口井油管不通,反蹇压25 MPa,将油管挤扁拉断;一口井开油管放喷时,套压24 MPa,将油管挤扁拉断;另一口井反压井时将油管挤扁。现以反压井挤扁油管这口井为例进行计算。

该井 $\varnothing 244.47$ mm套管下至3 363.53 m, $\varnothing 177.8$ mm尾管下至3 212.05~4 891.5 m。 $\varnothing 73$ mm外加厚NT-80ss壁厚5.51 mm油管3 037.70 m+ $\varnothing 88.9$ mm外加厚AC-80壁厚6.45 mm油管1 845.96 m,共计4 883.75 m,井下工具下入深度4 749.70~4 752.16 m。经酸化后,气举10 MPa,关井排液12 d,估算液面降至3 000 m左右。压井前油压18 MPa、套压19.8 MPa,开井放压,油压15 min降为0。由于允许掏空深度1 500 m,套压未放压,由19.8 MPa降为19 MPa。采用清水反压井,套压最高为24 MPa、油压0,排量1 200 L/min。结果将 $\varnothing 73$ mm油管本体从2 165.25~2 174.21 m处挤扁为长95 mm、宽15 mm,呈消防水龙带状。并将井下落鱼2 717.20 m全部顿弯曲变形。从打捞起来的水力锚、封隔器进行分析,封隔器的3个胶筒全部掉入井内,因压井过程中一直畅通,不可能是封隔器未解封。而水力锚、锚抓4个方向

全部没有收回,顶住套管,起钻时挂卡严重,捞起后仍未收回。由此分析是由于水力锚锚抓未收回,使通道减小形成节流,加之油压未控制回压,环空气柱由油管鞋进入油管后,油管内为纯气柱,环空为清水柱,加上泵压将油管挤扁并拉断掉入井内。

(1) 反压井时水力锚以上环间水力压力损失计算

$$\text{按公式 } h = \lambda \frac{H}{D-d} \cdot \frac{v_0^2}{2g}$$

式中: h 为反压井时环间水头损失, $\text{m}(\text{H}_2\text{O}$ 柱);

λ 为阻力系数;

H 为段长, m ;

D 为套管内径, m ;

d 为油管外径, m ;

v_0 为环间流速, m/s 。

根据套管内径及油管外径作三段计算,泵入排量 1 200 L/min。

第一段: $H_1 = 1\ 839\ \text{m}$, $D = 0.220\ 5\ \text{m}$, $d = 0.088\ 9\ \text{m}$,

$$v_0 = 0.54\ \text{m/s}, \lambda = 0.02。$$

第二段: $H_2 = 1\ 372\ \text{m}$, $D = 0.222\ 4\ \text{m}$, $d = 0.073\ 02\ \text{m}$,

$$v_0 = 0.5\ \text{m/s}, \lambda = 0.02。$$

第三段: $H_3 = 1\ 532\ \text{m}$, $D = 0.154\ 8\ \text{m}$, $d = 0.073\ 02\ \text{m}$,

$$v_0 = 1.196\ \text{m/s}, \lambda = 0.02。$$

分别计算出: $h_1 = 4.16\ \text{m}(\text{H}_2\text{O}$ 柱)

$$h_2 = 2.34\ \text{m}(\text{H}_2\text{O}$$
 柱)

$$h_3 = 27.35\ \text{m}(\text{H}_2\text{O}$$
 柱)

$$h = h_1 + h_2 + h_3 = 33.85\ \text{m}(\text{H}_2\text{O}$$
 柱) $= 0.33\ \text{MPa}$

(2) 断口以下油管在清水中自重

$$w_1 = \frac{Lq}{1\ 000}$$

式中: w_1 为油管在清水中重量, kN ;

L 为油管长度, m ;

q 为油管在清水中的每米重量, N/m 。

将 $L = 2\ 717\ \text{m}$, $q = 83.39\ \text{N/m}$, 代入得 $w_1 = 227\ \text{kN}$ 。

(3) 泵压在水力锚处对油管形成的拉力

1) 水力锚处形成水力阻力面积计算。

如图 2 阴影面积, $S \approx \frac{\pi}{4}(D_1^2 - d^2) + 4a(D - D_1)$

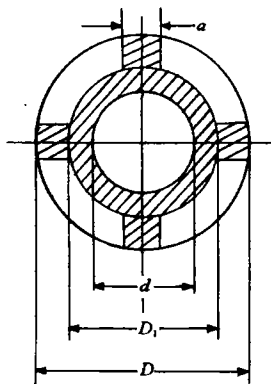


图 2

Fig. 2.

式中: S 为形成水力阻力面积, cm^2 ;

D 为套管内径, cm ;

D_1 为水力锚本体最大外径, cm ;

d 为油管外径, cm ;

a 为水力锚锚抓宽度, cm 。

将 $D_1 = 14.8\ \text{cm}$, $D = 15.48\ \text{cm}$, $d = 7.3\ \text{cm}$, $a = 5\ \text{cm}$, 代入公式计算得 $S \approx 143.8\ \text{cm}^2$ 。

2) 泵压对油管形成的轴向拉力计算。

$$w_2 = 0.1 p S$$

式中: w_2 为水力锚处形成的水力压力对油管的轴向拉力, kN ;

p 为施工压力, MPa ;

S 为形成水力阻力截面积, cm^2 ;

将 $p = 23.67\ \text{MPa}$, $S = 143.8\ \text{cm}^2$, 代入得 $w_2 = 340\ \text{kN}$ 。

(4) 断口处受复合拉力

$$w = w_1 + w_2 = 567\ \text{kN}$$

(5) 油管受轴向拉力时允许抗挤强度

$$p_{ec} = \frac{p_c}{k} (\sqrt{k^2 - 3w^2} - w)$$

Ø63.5 mm 外加厚 AC—80 壁厚 5.51 mm 油管 $p_c = 65\ \text{MPa}$, 查 80 钢级平均屈服极限 y_s 《钻井测试手册》表 3—54), $y_s = 62\ \text{kN}$ 。 $k = 2Ay_s = 1\ 446\ \text{kN}$, $w = 567\ \text{kN}$ 。

将以上数据代入得 $p_{ec} = 22.2\ \text{MPa}$

结 论

(1) 通过以上计算,施工泵压 24 MPa,已超过 轴向应力时的允许抗挤强度,所以将 Ø73 mm 油管从 2 165.25~2 174.41 m, 3 462.23~3 452.19 m 两处(除加厚部分外)挤扁成消防水龙带状。

(2) 油管被挤扁后,环行空间形成水力阻力面积由 143.8 cm^2 增加为 171.4 cm^2 ,使 w_2 增加为 406 kN, $w = 562\ \text{kN}$ 。而 Ø73 mm AC—80 壁厚 5.51 mm 油管抗拉力为 645 kN,油管经酸化后有一定腐蚀,加之环空气体经油管鞋处进入油管后,因未控压,油套管之间形成的压差,在水力锚处形成的复合应力远大于计算值,以致使油管拉断落入井内将落鱼全部顿弯曲。

通过以上计算,建议下工具酸化时应采取以下措施。

(1) 下工具前彻底刮管并反循环洗井,将井壁和井底彻底清洗干净。

(2) 采用川—774 封隔器和 Ø177.8 mm 棒式水力锚,不用 Ø177.8 mm A 型水力锚,减少节流压差,淘汰定压凡尔,采用节流器启动封隔器,施工结束前投球憋掉节流嘴,使油管形成大通径,便于压井等作业时能采用正循环。

(3) 酸化施工结束后,开油管放喷排液时,要密切注视套压变化,油套压差不能太大。

(4) 如井筒为纯气柱时,套压不允许降为零,则最好采用正压井控制套压,如需反压井时,采用注入 500 m 水柱,停泵半小时左右,让气水置换后,开套管放掉一部分气体,再注入一段清水,并严格控制油套压,反复几次,让井筒基本充满清水后,再加大排量压井。

(编辑 钟水清)