

# 不动注汽管柱转抽井 抽油杆柱最小上提距离的确定

齐天喜

(新疆石油管理局)



不动注汽管柱转抽井成败的关键之一是:修井时抽油杆柱上提距离是否合理。本文对不动注汽管柱转抽井,注汽前抽油杆柱最小上提距离进行了讨论分析,并推导了最小上提距离的计算公式,给出了计算实例。为不动注汽管柱转抽井正常工作奠定了基础。

**主题词** 注蒸汽井 抽油井 转化过程 修井作业 最小 杆柱 距离 确定

作者齐天喜,1957年生。1982年毕业于华东石油学院矿机专业,1991年毕业于西南石油学院研究生部石油机械工程专业。现在油田工艺研究所从事采油机械研究工作,工程师。

稠油热力开采,在我国已投入工业生产,现稠油年产量已达600多万吨。目前,稠油热蒸汽开采方式,主要是采用单井吞吐方法。通过“六五”和“七五”攻关,大部分吞吐都是采用停喷后不用修井,直接由采油工转抽的不动注汽管柱转抽工艺技术。

该工艺是:在注蒸汽前修井时,直接将注汽抽油两用泵下入目的层,修井作业基本上同常规管式泵。不同的是,修井结束前,必须将柱塞上提至泵筒以上一定距离。

上提距离的多少,视具体情况而定。同种抽油杆柱将在不同注汽温度、不同长度时,变形量不同;不同直径的抽油杆在同种工况下,变形量也不同。为了保证注汽通道畅通和不发生事故,就必须保证所上提的距离,在整个注汽过程中,柱塞不能进入泵筒内,所以有必要确定抽油杆柱最小上提距离。

## 建立抽油杆柱最小上提距离公式

### 一、最小上提距离的组成

确定抽油杆柱最小上提距离,首先必须讨论何为最小上提距离和组成最小上提距离的因素。

最小上提距离是指:以修井时,柱塞坐入泵筒,抽油杆柱上部光杆不受力时,光杆露出井口长度为基准,在此基础上,再上提的能保证正常注汽通道畅通的最小长度。

最小上提距离由以下几个因素构成:抽油杆柱自重引起的长度变形量;压力差作用于抽油杆柱所引起的变形量;抽油杆柱在上端不受力时,在油管中弯曲所引起的长度变形量;温差所引起的变形量;能保证正常注汽时,柱塞下部与泵筒上部应有的最小距离。

## 二、确定各变形量

1. 抽油杆柱自重引起的长度变形量  $\Delta L_1$  首先作两点假设:

(1) 由于稠油井一般都是中浅油井,所以假设抽油杆柱是一级的。当然也可以考虑多级抽油杆柱情况。

(2) 假设抽油杆柱是一个圆柱体(即忽略接箍影响)。

对于抽油杆柱自重引起的变形量,参照图1,图中一微段的变形量应为<sup>〔1〕</sup>

$$d(\Delta L_1) = \frac{9.8W(L-x)dx}{EF} \quad (1)$$

式中  $d(\Delta L_1)$ ——抽油杆柱微段变形量,m;

$E$ ——弹性模量,钢  $E=2.1 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ ;

$W$ ——抽油杆单位长度在油管中的平均重量(包括接箍),近似按在空气中的平均重量考虑,kg;

$F$ ——抽油杆截面积,  $\text{m}^2$

$$F = 10^{-6} \pi d^2 / 4$$

$d$ ——变形前的抽油杆截面直径,m;

$L$ ——抽油杆柱长度,m。

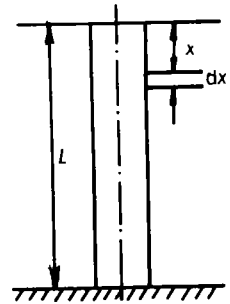


图1 抽油杆柱

积分式(1),得整个抽油杆柱的伸长为

$$\Delta L_1 = \int_L^0 \frac{9.8W(L-x)dx}{EF} = -4.9 \frac{L^2}{EF} \quad (2)$$

抽油杆柱在由上端不受力到下端不受自重的过程中变形量

$$\Delta L_1 = 2\Delta L_1 = 9.8WL^2/EF \quad (3)$$

式中  $\Delta L_1$ ——抽油杆柱自重引起的长度变形量,m。

2. 压力差作用于抽油杆柱所引起的变形量  $\Delta L_2$  由于抽油杆柱一端在空气中,一端在有压力的油管中,液体压力对抽油杆柱变形由两个部分组成:一是径向变形,是使抽油杆柱伸长;二是轴向变形,是使抽油杆柱缩短。

(1) 径向变形引起的轴向变形量  $\Delta L_{21}$ 。由于修井时,抽油杆柱是在液体压力系统中,自上而下压力由  $P_1$  到  $P_2$  均匀变大,所以按  $L/2$  处压力考虑即可;当注汽时,抽油杆柱是在蒸汽压力系统中,自上而下的压力基本上没有多少变化,所以按注汽时的井口压力考虑。

径向二向应变相等

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = (d_1 - d) / d \quad (4)$$

式中  $d_1$ ——变形的抽油杆截面直径,m。

于是由广义胡克定律<sup>〔1〕</sup>知

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} - \mu \frac{\sigma_3}{E} - \mu \frac{\sigma_1}{E} \quad (5)$$

式中  $\sigma_1, \sigma_2$ ——抽油杆柱径向应力,  $\sigma_1 = \sigma_2 = P, \text{Pa}$ ;

$P$ ——当修井完井时为抽油杆柱中部压力,  $P = (L/2/100) \times 10^6 = 0.5L \times 10^4 (\text{Pa})$ ;当

注汽时为注汽压力, Pa;

$\sigma_3$  ——抽油杆柱端应力, 由于径向受力情况, 所以  $\sigma_3 = 0$  Pa;

$\mu$  ——材料的泊松比。

将式(4)和式(5)联立解得

$$d_1 = -\frac{pd}{E}(1-\mu) + d \quad (\text{注汽时}) \quad (6-1)$$

$$d_1 = d - [10^4 L d (1-\mu) / 2E] \quad (\text{修井时}) \quad (6-2)$$

由于抽油杆截面直径变化引起的长度变化  $\Delta L_{21}$

$$\frac{\pi d^2}{4} L = \frac{\pi d_1^2}{4} (L - \Delta L_{21}) \quad (7)$$

由(7)式解得

$$\Delta L_{21} = L [(d^2/d_1^2) - 1] \quad (8)$$

将式(6)代入式(8)得

$$\Delta L'_{21} = \frac{L}{[1 - p(1-\mu)/E]^2} - L \quad (\text{注汽时}) \quad (9-1)$$

$$\Delta L'_{22} = \frac{L}{[1 - L(1-\mu) \times 10^4 / 2E]^2} - L \quad (\text{修井时}) \quad (9-2)$$

式中  $\Delta L'_{21}$  ——注汽时抽油杆截面直径变化引起的长度变化量, m;

$\Delta L'_{22}$  ——修井时抽油杆截面直径变化引起的长度变化量, m。

(2) 轴向压力引起的变形量  $\Delta L_{22}$ 。轴向压力引起的变形量, 修井时, 由于柱塞坐入泵底, 压差近似为 0; 注汽时, 压差为注汽压力  $p$

$$\Delta L_{22} = -pL/EF \quad (10)$$

(3) 压力作用于抽油杆柱所引起的变形量  $\Delta L_2$

$$\begin{aligned} \Delta L_2 &= \Delta L'_{21} + \Delta L'_{22} + \Delta L_{21} \\ &= \frac{L}{[1 - p(1-\mu)/E]^2} + \frac{L}{[1 - 10^4 L(1-\mu)/2E]^2} - 2L - \frac{pL}{E} \end{aligned} \quad (11)$$

3. 抽油杆柱在上端不受力时, 在油管中弯曲所引起的长度变形量  $\Delta L_3$  当抽油杆柱上端不受力坐入泵底时, 弯曲所引起的长度变形量, 由文献[2]知

$$\Delta L_3 = r^2 WL^2 / 8EI \quad (12)$$

式中  $r$  ——油管内径和抽油杆之间的径向间隙,  $r = (D-d)/2$ , m;

$I$  ——油管内径, m<sup>4</sup>;

$D$  ——抽油杆横截面对其直径的惯性矩,  $I = \pi d^4 / 64$ , m<sup>4</sup>。

4. 温差引起的变形量  $\Delta L_4$  由于注汽开始时, 抽油杆柱受热比油管受热快, 伸长快。考虑极限情况, 按抽油杆柱伸长而油管柱不伸长计算。于是有

$$\Delta L_4 = \beta L (\bar{T}_2 - \bar{T}_1) \quad (13)$$

式中  $\beta$  ——材料的热膨胀系数

$$\beta = 11.2 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

$\bar{T}_2$  ——井筒内平均温度 (地面温度  $T_1$  和井底温度  $T_2$  的平均值, 近似为注汽温度  $T_2$ ),  $^\circ\text{C}$ ;

$\bar{T}_1$  ——地面平均温度,  $\bar{T}_1 = T_1, ^\circ\text{C}$ ;

$\Delta L_4$  ——温差引起的变形量, m。

5. 能保证正常注汽时, 柱塞下部与泵筒上部应有的最小距离  $\Delta L_5$ 。为了保证正常注汽, 柱塞下部与泵筒上部的最小距离 ( $h$ ) 应大于一定值, 其值可根据流道面积确定。即: 当柱塞下部与泵筒上部接近时, 其流道面积必须大于或等于泵筒流道面积。于是有

$$\pi d_b h \geq \pi d_B^2 / 4 \quad (14)$$

即  $h \geq d_B / 4 \quad (15)$

式中  $d_B$  ——泵筒内径, 亦即柱塞外径, m;

$h$  ——柱塞下部与泵筒上部的最小距离, m。

故  $\Delta L_5 = h + l_B \geq (d_B / 4) + l_B \quad (16)$

式中  $l_B$  ——泵长, m;

$\Delta L_5$  ——柱塞下部与泵筒上部应有的最小距离, m。

### 三、确定最小上提距离 $\Delta L$

综上所述可知

$$\Delta L \geq \sum_{i=1}^5 \Delta L_i = 9.8 \frac{WL^2}{EF} + \frac{L}{[1 - p(1 - \mu)/E]^2} + \frac{L}{[1 - L(1 - \mu) \times 10^4 / 2E]^2} - 2L - \frac{pL}{E} + \frac{r^2 WL^2}{8EI} + \beta L (\bar{T}_2 - \bar{T}_1) + \frac{d_B}{4} + l_B \quad (17)$$

式中  $\Delta L$  ——抽油杆最小上提距离, m。

## 建立最小上提距离计算程序

程序清单如下:

```

10 PRINT "不动注汽管柱转抽井抽油杆柱最小上提距离计算程序"
20 INPUT "抽油杆柱长 L= (m)"; L; INPUT "抽油杆直径 d= (mm)"; D
30 INPUT "抽油杆单位长度重量 W= (kg)"; W; INPUT "油管直径 D= (mm)"; D1
40 INPUT "泵长 LB= (m)"; LB
50 INPUT "泵径 db= (mm)"; DB; INPUT "注汽压力 P= (MPa)"; P
60 INPUT "地面温度 T1= (C)"; T1; INPUT "注汽温度 T2= (C)"; T2
70 D=D*.001; D1=D1*.001; DB=DB*.001; P=P*1000000!
80 E=2.1*1E+11; U=.3; B=11.2*.000001; PI=3.141592654
90 F=PI*D*D/4; L1=4.9*W*L*L/E/F
100 A=1-P*(1-U)/E; C=1-L*(1-U)/200/E*1000000!
110 L2=L*(1/A/A+1/C/C-2)-L/E*P
120 R=(D1-D)/2; I=PI*D^4/64
130 L3=R*R*W*L*L/8/E/I; L4=B*L*(T2-T1)
140 L5=DB/4+LB

```

(下转第 64 页)

(上接第58页)

```

150 DL=2*L1+L2+L3+L4+L5:DL=-INT(-DL*10)/10
160 PRINT "抽油杆最小上提距离D1=";DL
170 INPUT "还计算吗?(Y/N)";R$
180 IF R$="Y" OR R$="y" THEN 20
190 END

```

该程序基本数据量纲考虑到习惯性,仍按惯用量纲输入,由计算机自动转换成公式中量纲计算。如油管内径62mm,仍按 $D=62$ 输入,由程序转换成 $D=0.062\text{m}$ 。

该程序只要输入单井吞吐井的抽油杆柱长度、抽油杆直径、抽油杆单位长度重量、油管直径、泵长、泵径、地面温度、注汽温度和注汽压力等数据,即可用计算机准确而方便地计算出该井抽油杆柱最小上提距离。

## 应用实例

我们用上述公式确定9106井的上提抽油杆柱长度。

### 一、基本数据

油管内径62mm,下泵深度168.78m,抽油杆直径19mm,泵径44mm,泵长2.67m,预计注汽压力6MPa,注汽温度270℃,地面温度20℃。

由基本数据可以查知:抽油杆单位长度重量 $W=2.35\text{kg}$ ,抽油杆柱长168.78m。

### 二、计算结果

将以上数据输入上述计算程序,即可得到抽油杆柱最小上提距离 $L=3.2\text{m}$ 。考虑安全因素,取实际上提距离为3.4m。

我们在克拉玛依稠油区单井吞吐井上,下注汽抽油两用泵,所有的井在修井时,都采用上述公式确定抽油杆柱最小上提距离。按照上述公式配置抽油杆柱的注汽井,都未发生因为柱塞没有提到位而堵死注汽通道的现象。实践证明:用上述计算公式确定单井吞吐井的抽油杆柱上提距离是可行的,完全可以保证注汽和抽油的正常进行。

(本文收到日期:1992年6月27日)

〔本文责任编辑 万冰蓉〕

## 参 考 文 献

- [1] 江汉石油管理局采油工艺研究所等,《封隔器理论基础与应用》,石油工业出版社,1983年11月
- [2] 刘鸿文,《材料力学》,北京,人民教育出版社,1979年7月