

低产井井筒温度分布模型的建立及应用

李召兵

大庆钻探工程公司 黑龙江大庆 163000

摘要: 气井生产过程中温度扮演者重要的角色。为了确保低产低效气井的正常生产, 必须对井筒温度进行深入研究。其中, 井筒温度分布是气井建井和气开采工程的重要参数, 不但是气井设计和动态分析必不可少的内容, 同时也是固井工程中套管附加荷载计算的重要依据, 因此研究井筒内的温度分布十分必要。目前 XY 气田约 36% 的气井为低产低效井, 通过分析低产低效井的井筒温度分布, 并结合井筒压力分布模型, 可以帮助专业技术人员预测气井水合物的生成条件, 进而有效预防井筒环境达到水合物生成环境, 防止水合物的生成。同时也为低产低效井解决一大冬季生产难题, 提高生产率和经济效率。

关键词: 低产井; 井筒温度; 模型; 水合物

Establishment and application of wellbore temperature distribution model in low production well

Zhaobing Li

Daqing Drilling Engineering Company Daqing 163000, Heilongjiang Province

Abstract: Temperature plays an important role in gas well production. In order to ensure the normal production of low-production and low-efficiency gas Wells, well temperature must be studied in depth. Among them, the wellbore temperature distribution is an important parameter in gas well construction and gas mining engineering, which is not only indispensable for gas well design and dynamic analysis but also an important basis for the calculation of additional casing load in cementing engineering. Therefore, it is necessary to study the temperature distribution in the wellbore. Currently, about 36% of XY Wells are low-producing and inefficient. By analyzing the wellbore temperature distribution of low-production and low-efficiency Wells and combining it with the wellbore pressure distribution model, it can help professional and technical personnel to predict the formation conditions of gas well hydrate, so as to effectively prevent the wellbore environment from reaching the hydrate generation environment and prevent the formation of hydrate. It also solves a winter production problem for low-producing and inefficient Wells and improves productivity and economic efficiency.

Keywords: Stripper well; Wellbore temperature; Model; hydrate

一、气井井筒温度分布模型的建立

当气体从井底沿井筒向上流动时, 由于气体和井筒周围地层之间存在着温差, 因此必然通过导热、对流和辐射三种传热方式向周围地层传热。假设从井筒到第二接触面(水泥环与地层之间的接触面, 也称为井筒/地层界面)的传热为稳态传热, 从第二接触面到井筒周围地层中的传热为非稳态传热, 则可以将第二接触面温度作为井筒和周围地层联系的纽带, 建立气井井筒温度分布的模型。

任意深度处的地层温度为:

$$T_e = T_{ebh} - g_z \quad (1-1)$$

经过假设, 得出计算整个井筒温度分布的数学模型:

$$\exp[A(z_n - z_{out})](T_{fin} - T_{ein} - g_r \sin \theta / A) \quad (1-2)$$

其中:

$$A = \frac{2\pi}{w_i C_m} \times \frac{r_b U_b k_c}{[k_c + f(t)r_b U_b]} \quad (1-3)$$

每一分段入口处的边界条件是:

$$z = z_n \text{ 时, } T_f = T_{fin}, T_e = T_{ein} \quad (1-4)$$

认为井底处流体温度和地层温度相等, 则其边界条件如下:

$$z = 0 \text{ 时, } T_f = T_{ebh}, T_e = T_{ebh} \quad (1-5)$$

C_{pm} 为井筒流体的定压热容, 其计算公式如下:

$$C_{pm} = 1234 + 3.14T_f + 7.931 \times 10^{-4}T_f^2 - 6.881 \times 10^{-7}T_f^3 \quad (1-6)$$

$f(t)$ 为瞬态传热函数, 采用能够满足工程精度要求的近似公式计算:

$$f(t) = \ln(2\sqrt{at}/r_b) - 0.29 \quad (1-7)$$

式中 g_r ——地温梯度, ° C/m; T_{ebh} ——井底处地层温度, ° C;

z ——地层某一位置距井底的深度, m;
 T_{ein} 、 T_{eout} ——地层每一分段入口、出口温度, °C;
 T_{fin} 、 T_{fout} ——井筒每一分段入口、出口温度, °C;
 z_{in} 、 z_{out} ——地层每一分段入口、出口距井底的深度, m;
 θ ——井筒与水平面的夹角, 度;
 T_f ——井筒流体温度, °C; T_e ——任意深度处的地层温度, °C;
 w_t ——质量流量, kg/s; r_o ——油管外径, m;
 k_e ——地层导热系数, W/(m·K); α ——地层热扩散系数, m²/h;
 t ——生产时间, d; r_h ——井眼半径, m;
 U_{to} ——总传热系数, 需要迭代计算。

二、预测模型在低产低效井中的应用

2.1 井筒温度与水合物形成温度关系

井筒温度分布模型的建立能够更好地应用到低产低效井的治理之中。我们着重分析了 XY 气田低产低效井, 发现地质因素、井筒流态、地面设备等都会造成气井出现冻堵的现象, 只有抓住影响气井正常生产的主要矛盾, 才能找到合适的治理对策, 实现气井的持续平稳生产。

在摸索治理中总结出了“快速携热、优化注醇、平衡排液”的方法。其中“快速携热”是解决低产低效井节流、冻堵和井筒积液问题的前提和基础。而它的精髓也就是调整井筒温度分布, 破坏水合物形成条件。由于气井产气量不同, 则井筒内温度分布不同。随着产气量的增大, 由于散热时间短, 地温携带较高, 形成水合物的风险随之减小。

通过预测, 可知该井在日产气量 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 瞬时相当于 $1042 \text{ m}^3/\text{h}$ 的条件下, 井口温度高于水合物形成温度。考虑到安全系数 1.2, 实际生产中按瞬时 $1200 \text{ m}^3/\text{h}$

表 2-2 B 和 B1 系数表

γ_g	0.56	0.60	0.64	0.66	0.68	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
B	24.25	17.67	15.47	14.76	14.34	14.00	13.32	12.74	12.18	11.66	11.17	10.77
B ₁	77.4	64.2	48.6	46.9	45.6	44.4	42.0	39.9	37.90	36.20	34.5	33.1

井 XY6C 天然气相对密度 $\gamma_g = 0.60$, 由表 2-3 得: B=17.67, B₁=77.4。井 XY6D 天然气相对密度 γ_g

组织生产, 我们将该值称为该井的临界防水合物流量。

2.2 井筒温度分布模型与井筒压力分布模型相结合——计算分析气井水合物生成条件

2.2.1 已知数据

两口气井 XY6C 和 XY6D 气井的气藏和生产参数数据见表 2-1。

表 2-1 两口气井的气藏和生产数据

基础数据	算例 1	算例 2	基础数据	算例 1	算例 2
井底地层温度 / °C	142	142	地温梯度 / (°C/m)	0.032	0.031
井底流压 / MPa	37.8	13.5	气体相对密度	0.59	0.59
井深 / m	3660	4120	空气密度 / (kg/m ³)	1.29	1.29
井筒角度	90	90	水泥环导热系数 / W/m/K	0.3461	0.3461
套管内径 / m	0.12136	0.12136	地层导热系数 W/m/K	1.717	1.717
套管外径 / m	0.1397	0.1397	地层热扩散系数 / m ² /h	0.00265	0.00265
井眼直径 / m	0.215	0.215	—		
油管内径 / m	0.062	0.062	管壁粗糙度 / mm	0.0457	0.0457
油管外径 / m	0.073	0.073	油管外表面发射率	0.8	0.8
迭代高度差 / m	20	20	套管内表面发射率	0.7	0.7
井筒分段数	183	206	油管导热系数 W/m/K	40	40
气体体积流量 / (m ³ /d)	30000	20000	套管导热系数 W/m/K	40	40

2.2.2 计算结果及分析

根据经验公式法中的波诺马列夫法计算对应井筒压力下的水合物生成温度, 与应用统计热力学法所计算的水合物生成温度进行比较。

$\gamma_g = 0.56$, 求得 B=24.25, B₁=77.4。由于井筒温度 T=t+273 均大于 273.1K, 计算结果如表 2-3 所示:

表 2-3 井 XY6C 计算所得部分井段结果

井深 / m	井筒温度 / °C	井筒压力 / MPa	水合物生成温度 / °C	
			统计热力学法计算	经验公式法
20	20.33	30.73	32.149	26.760
60	21.50	30.81	32.151	26.781
100	22.67	30.88	32.150	26.802
200	25.56	31.08	32.152	26.851
380	30.67	31.43	32.156	26.941
760	41.02	32.17	32.163	27.128
1140	50.48	32.90	32.171	27.310
1500	58.36	33.60	32.177	27.479
1860	65.06	34.30	32.183	27.645

2100	68.96	34.77	32.188	27.754
2300	72.04	35.16	32.191	27.844
2500	75.33	35.55	32.194	27.921
2900	86.29	36.32	32.200	28.104
3300	113.51	37.10	32.206	28.275
3660	142	37.80	32.209	28.425

表 2-4 计算值与实测值的比较

井 XY6C			井 XY6D		
	实测值	计算值		实测值	计算值
质量流量 wt	0.2643		质量流量 wt	0.1762	
井口温 度	25	20	井口温度	10	12.6
井口压 力	31	30.7	井口压力	10	10.2

三、结论及建议

本文对井筒分布模型做了初步的研究,明确了其基本理论和数学模型的构建。

“快速携热”是解决低产低效井节流、冻堵和井筒积液问题的前提和基础。而它的精髓也就是调整井筒温度分布,破坏水合物形成条件。由于气井产气量不同,则井筒内温度分布不同。随着产气量的增大,由于散热时间短,地温携带较高,形成水合物的风险随之减小。

井筒温度分布模型与井筒压力分布模型相结合,结合实际,为气井水合物形成条件的判断提供有力的依据。

(4) 本文在结合温度、压力分布模型解决水合物预测中,只考虑低含水气井,根据干气计算,没有考虑气井是否是高含水井,如果是高含水井,需在压力分布计算中应用到含水校正系数,同时其中不含水合物抑制剂、电解质等成分,因此不适于添加抑制剂或含电解质等水体系的实例计算。

参考文献:

[1] 郭平,刘士鑫,杜建芬,等.天然气水合物气藏开发[M].北京:石油工业出版社,2006.

[2] 李士伦等.天然气工程[M].北京:石油工业出版社,2006:300-312.

[3] 毛伟,梁政等.计算气井井筒温度分布的新方法[J].西南石油学院学报,1999,21(1):56-58.

[4] 黄炜,杨蔚等.高气水比气井井筒压力的计算方法[J].天然气工业,2002,22(4):64-66.

作者简介:李召兵(1981-12),男,现工作于大庆钻探工程公司致密气项目部,主要从事气田开发工作。