

气井非稳态生产条件下伤害表皮温度表征

李星君 刘 奎 隋微波

中国石油大学(北京)石油工程学院, 北京 102249

摘 要:井下压力测量是一个相对成熟的技术,井下温度实时测量则是发展中的技术,由井下传感器传输的温度和压力数据具有实时性,在试井中起着重要作用。建立一个气藏压力-温度模型,模拟表现在有地层伤害的情况下气藏中的压力和温度分布。利用无量纲化和拉普拉斯变换,根据地层伤害引起的渗透率变化和渗流条件得出边界条件,可求得气藏流动模型的解析解。地层伤害对气藏压力和温度分布的影响很明显,且气井产量和气藏地层伤害程度也使瞬时温度有不同程度的变化,通过分析瞬时温度的变化可以反推气藏的地层属性。

关键词:地层伤害;流动模型;瞬时温度

DOI: 10.3969/j.issn.1006-5539.2015.02.016

0 前言

地层伤害是地层渗透率在多孔地层中由于发生不同的物理、化学反应过程而降低,最终造成井眼产能(油气生产井)和注入能力(注水井)下降的现象^[1-2]。伤害带对产量的影响可以看成集中在井壁附近的一个厚度可忽略不计的薄层内,它对产量的影响称为趋肤效应^[3],即所谓的表皮效应,并用表皮系数 S 度量^[4]。考虑了地层伤害之后,由于表皮效应的影响,储层内部的压力分布会发生变化,温度分布的计算也会受到影响。由于无法得到确切的样品并在该区域进行详细测量,因此很难将地层伤害进行量化处理^[5-6]。需要建立气井非稳态生产时的气藏流动方程和气藏温度方程,并耦合求解压力-温度模型,研究气井伤害表皮温度表征规律^[7-8]。通过研究温度变化规律,了解地层伤害属性,分析出主要伤害因素。这对消除部分地层伤害,保护油气藏,解放油层生产力有重要指导意义,并能够对地层伤害的程度及深度有个具体的评价,可以优化产量,指导增产措施。

1 模型建立

利用气藏实时压力和温度来描述气藏是一种间接的描述法,需建立一个正演模型来模拟在不同地层特性情况下瞬时温度和压力随实时测量的变化。而气体的可

压缩性将导致气藏温度模型的强非线性。可以利用正演模型模拟得到的数据将气体性质参数进行迭代来解决问题,得出最终属性,再利用正演模型得出准确的瞬时温度和压力变化。现不考虑井筒,模型包括气藏流动模型与气藏温度模型。

1.1 气藏流动模型

气井投入生产后,井底附近形成压降漏斗。在此压降漏斗范围内,岩石和气体不断释放弹性能,天然气不断流向井底;在此范围之外,由于没有压差,气体不流动。由于弹性能不断释放和消耗,若保持产量不变,压降漏斗的范围将不断扩大和加深,井底压力将不断降低。

1.1.1 气体渗流方程

由基本方程推导气体渗流方程的过程中,假设满足以下条件:1)流体是单相气体;2)流动是等温的;3)流动符合达西定律;4)介质是均匀各向同性的,孔隙度 ϕ 是常数;5)重力可以忽略不计。对于圆形有界地层,设外边界半径为 r_e 。

等温条件下:

$$\nabla \cdot \left(\frac{k}{\mu} \frac{p}{Z} \nabla p \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\phi \frac{p}{Z} \right) \quad (1)$$

为使气体渗流得到更严格的处理,在这里引用一个

拟压力函数 $m(p)$, 用拟压力 m 表示的真实气体渗流的偏微分方程, 即

$$\nabla^2 m = \frac{\varphi c_g \mu}{k} \cdot \frac{\partial m}{\partial t} \quad (2)$$

本课题研究的是带表皮的气藏流动模型, 伤害半径为 r_s , 该范围渗透率为 k_s , 见图 1。

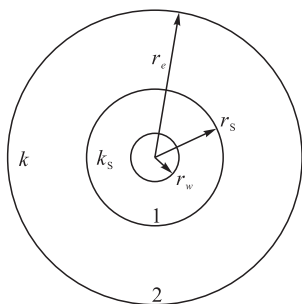


图 1 气藏表皮分布

伤害地层为区域 1, 区域的渗流方程为:

$$\text{地层 1: } \nabla^2 m_1 = \frac{\varphi c_g \mu}{k_s} \cdot \frac{\partial m}{\partial t} \quad (3)$$

无伤害地层为区域 2, 区域的渗流方程为:

$$\text{地层 2: } \nabla^2 m_2 = \frac{\varphi c_g \mu}{k} \cdot \frac{\partial m}{\partial t} \quad (4)$$

1.1.2 初始条件和边界条件

1) 初始条件:

$$m|_{t=0} = m_1(r > r_w) \quad (5)$$

2) 边界条件: 将半径 r 处的流量 q_r 折算为标准状态下的流量 q_{sc} :

$$q_r = q_{sc} B_g = q_{sc} \frac{p_{sc}}{Z_{sc} T_{sc}} \cdot \frac{ZT}{p} \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{内边界: } r \frac{\partial m_1}{\partial r} \Big|_{r=r_w} = \frac{2p}{\mu Z} \frac{q_{sc} \mu B_g}{2\pi k_s h} = \frac{q_{sc} p_{sc}}{\pi k_s h T_{sc}} T(t > 0) \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{外边界: } \frac{\partial m_2}{\partial r} \Big|_{r=r_e} = 0 \quad (t > 0) \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{交界: } m_1|_{r=r_s} = m_2|_{r=r_s}, \frac{\partial m_1}{\partial r} \Big|_{r=r_s} = \frac{\partial m_2}{\partial r} \Big|_{r=r_s} \quad (t > 0) \end{array} \right. \quad (9)$$

1.2 气藏温度模型

1.2.1 能量平衡方程推导

气藏温度模型可以用来解决动态试井中的气藏温度分布问题。该模型是由 Bird 等人的研究成果初始能量平衡方程^[9]推导得出的, 最终能量平衡方程^[10]为:

$$\rho \hat{C}_p \frac{\partial T}{\partial t} - \phi \beta T \frac{\partial p}{\partial t} = - \frac{k \rho \hat{C}_p}{\mu} \frac{\partial p}{\partial r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{k(\beta T - 1)}{\mu} \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right)^2 + K_T \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right) \right] \quad (10)$$

气井为定量生产, 因此井筒处的导热率相等, 即井筒附近气体间的传热量等于井筒内部到外部间的传热量。

1.2.2 初始条件和边界条件

1) 初始条件:

$$T = T_e(t=0) \quad (11)$$

2) 边界条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = T_e \quad r = r_e, r > 0 \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -K_T \frac{dT}{dr} \Big|_{r=r_w} = U_T^* (T_f - T|_{r=r_w}) \quad (t > 0) \end{array} \right. \quad (13)$$

2 模型求解

2.1 气藏流动模型求解

2.1.1 公式无量纲化

气体渗流方程偏微分方程经无量纲化处理后, 其无量纲形式为:

伤害地层

$$\frac{\partial^2 m_{D1}}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial m_{D1}}{\partial r_D} = \frac{\partial m_{D1}}{\partial t_D} \quad (1 < r_D < r_{SD}, t > 0) \quad (14)$$

无伤害地层

$$\frac{\partial^2 m_{D2}}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial m_{D2}}{\partial r_D} = \frac{\partial m_{D2}}{\partial t_D} \quad (r_{SD} < r_D < r_{eD}, t > 0) \quad (15)$$

边界条件的无量纲化为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{内边界: } r_D \frac{\partial m_D}{\partial r_D} = -1 \quad (r_D = 1, t > 0) \end{array} \right. \quad (16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{外边界: } m_D = 0 \quad (r_D = r_{eD}, t > 0) \end{array} \right. \quad (17)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{交界: } \frac{\partial m_{D1}}{\partial r_D} = \frac{\partial m_{D2}}{\partial r_D}, m_{D1} = m_{D2} \quad (r_D = r_{SD}, t > 0) \end{array} \right. \quad (18)$$

初始条件的无量纲化为:

$$m_D(r_D, t_D) = 0 \quad (1 \leq r_D \leq R_D, t_D = 0) \quad (19)$$

2.1.2 拉普拉斯变换

利用基于函数概率密度理论的 Stehfest 方法和基于 Fourier 级数理论的 Crump 方法进行计算。求解压力函数的问题可以转化为求 $F(s)$ 的留数问题。

而对于考虑表皮效应的情况, 求解地层 1 和地层 2 的压力分布, 从环形区域 2 经过 $r_D = r_{SD}$ 的圆柱面流向小圆形区块 1 的流量可写为:

$$\frac{dm_{D1}}{dr_D} \Big|_{r_D=r_{SD}} = \frac{dm_{D2}}{dr_D} \Big|_{r_D=r_{SD}} = \frac{dm_{D1}}{dr_D} \Big|_{r_D=1} = -\frac{1}{s} \quad (20)$$

地层 2 可看成是圆形地层中心 1 口井的问题, 且 $r_w = r_s$, 则有

$$m_{D2}(r_D, t_D) = \ln \frac{r_{eD}}{r_D} - \pi \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\beta_n^2 t_D} J_0^2(r_{eD} \beta_n) [N_1(\beta_n) J_0(r_D \beta_n) - J_1(\beta_n) N_0(r_D \beta_n)]}{\beta_n [J_0^2(r_{eD} \beta_n) - J_1^2(\beta_n)]} \quad (21)$$

其中, $r_D = \frac{r}{r_s}$, $r_{eD} = \frac{r_e}{r_s}$, β_n 是方程 $J_0(r_{eD} \beta_n) N_1(\beta_n) - N_0(r_{eD} \beta_n) J_1(\beta_n) = 0$ 的第 n 个根。

此时 $r = r_s$ 处, 即 $r_D = 1$, 注意到 $r_{eD} \gg 1$, 式(21)中的级数

只要取第一项就足够精确了,再利用式(22):

$$N_1(\beta_n)J_0(\beta_n)-J_1(\beta_n)N_0(\beta_n)=-\frac{2}{\pi\beta_n} \quad (22)$$

即得伤害半径处无量纲拟压力为:

$$m_2(r=r_s)=m_i-\left\{\ln\frac{r_e}{r_s}+2\frac{e^{-\beta_1^2}J_0\left(\beta_1\frac{r_e}{r_s}\right)}{\beta_1^2\left[J_0^2\left(\beta_1\frac{r_e}{r_s}\right)-J_1^2(\beta_1)\right]}\right\}\frac{2p_{sc}q_{sc}T}{khT_{sc}} \quad (23)$$

同理可得地层1的拟压力分布为:

$$m_{D1}(r_D, t_D) = \ln \frac{r_{SD}}{r_D} - \pi \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_n^2 t_D} J_0^2(r_{SD} \alpha_n) [N_1(\alpha_n) J_0(r_D \alpha_n) - J_1(\alpha_n) N_0(r_D \alpha_n)]}{\beta_n [J_0^2(r_{SD} \alpha_n) - J_1^2(\alpha_n)]} \quad (24)$$

$$\text{其中, } r_{SD} = \frac{r_s}{r_w}, r_D = \frac{r}{r_w}, m_{D1} = \frac{m_s - m}{m_{sc} q_D}, t_D = \frac{k_s t}{\phi \mu c_i r_w^2}, q_D =$$

$\frac{p_{sc} q_{sc} T}{\pi k_s h m_i T_{sc}} \alpha_n$ 是方程 $J_0(r_{SD} \alpha_n) N_1(\alpha_n) - N_0(r_{SD} \alpha_n) J_1(\alpha_n) = 0$ 的第 n 个根。

令式(24)中 $r_{SD}=1$, 则得井底压力近似为:

$$m_{wD}(t_D) = \ln r_{SD} + 2 \frac{e^{-\alpha_1^2 t_D} J_0^2(r_{SD} \alpha_1)}{\alpha_1^2 [J_0^2(r_{SD} \alpha_1) - J_1^2(\alpha_1)]} \quad (25)$$

第一类贝塞尔函数和第二类贝塞尔函数可以由软件 matlab 求得。给出一组地层参数及生产状况即可求出不同时间、不同半径处对应的压力。

2.1.3 拟压力与压力之间的换算

$m(p)$ 与 p 的换算利用式:

$$m_r = \frac{m}{2p_r^2/\mu_1} = \int_0^{p_r} \frac{p_r dp_r}{Z(\mu/\mu_1)} \quad (26)$$

对于不含硫的天然气,用 $p_m=0$, 有不同对比温度下 $m_r \sim p_r$ 的换算表,通过查表即可找出不同压力 p 下的拟压力值 $m(p)$, 或不同拟压力 $m(p)$ 下的压力值 p 。

2.2 气藏温度模型求解

根据气藏温度模型,在非稳态条件下利用有限差分法求解该模型的数值解。为了提高计算精度和效率,在圆形油藏径向上取不均匀的网格块,首先定义一个 x , 使得网格块变成均匀的。

$$x = \log_{a_{lg}}(r/r_w), x = i\Delta x, \Delta x = 1 \quad (27)$$

$$\text{其中, } a_{lg} = \left(\frac{r_e}{r_w}\right)^{\frac{1}{NR-1}} \quad (28)$$

因此任一半径可用式(29)表示:

$$r_i = r_w a_{lg}^{i\Delta x} = r_w a_{lg}^i \quad (29)$$

相应的温度和压力关于时间和位置的偏导数可变换得:

$$\begin{aligned} & \overline{\rho C_p} r^2 \frac{\partial T}{\partial t} - \phi \beta T r^2 \frac{\partial p}{\partial t} \\ &= \frac{K_T}{(\ln a_{lg})^2} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{k \rho \hat{C}_p}{\mu (\ln a_{lg})^2} \frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{k(\beta T - 1)}{\mu (\ln a_{lg})^2} \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)^2 \end{aligned} \quad (30)$$

一阶导数利用前向差分,二阶导数利用中间差分,离散后的能量平衡方程为:

$$a_w T_{i-1}^{n+1} + a_c T_i^{n+1} + a_e T_{i+1}^{n+1} = a_f \quad (31)$$

当 $r_i < r_s$ 时,方程的系数为

$$a_w = \frac{K_T}{(\ln a_{lg})^2} + \frac{k_s \rho \hat{C}_p}{4\mu (\ln a_{lg})^2} (p_{i+1}^{n+1} - p_{i-1}^{n+1}) \quad (32)$$

$$a_c = -\frac{2K_T}{(\ln a_{lg})^2} + \frac{k_s \beta (p_{i+1}^{n+1} - p_{i-1}^{n+1})^2}{4\mu (\ln a_{lg})^2} - \frac{\overline{\rho \hat{C}_p} r_w^2 a_{lg}^{2i}}{\Delta t} + \frac{\phi \beta r_w^2 a_{lg}^{2i}}{\Delta t} (p_i^{n+1} - p_i^n) \quad (33)$$

$$a_e = \frac{K_T}{(\ln a_{lg})^2} - \frac{k_s \rho \hat{C}_p}{4\mu (\ln a_{lg})^2} (p_{i+1}^{n+1} - p_{i-1}^{n+1}) \quad (34)$$

$$a_f = -\frac{\overline{\rho \hat{C}_p} r_w^2 a_{lg}^{2i}}{\Delta t} T_i^n + \frac{k_s}{4\mu (\ln a_{lg})^2} (p_{i+1}^{n+1} - p_{i-1}^{n+1})^2 \quad (35)$$

当 $r_i \geq r_s$ 时,方程系数为:

$$a_w = \frac{K_T}{(\ln a_{lg})^2} + \frac{k \rho \hat{C}_p}{4\mu (\ln a_{lg})^2} (p_{i+1}^{n+1} - p_{i-1}^{n+1}) \quad (36)$$

$$a_c = -\frac{2K_T}{(\ln a_{lg})^2} + \frac{k \beta (p_{i+1}^{n+1} - p_{i-1}^{n+1})^2}{4\mu (\ln a_{lg})^2} - \frac{\overline{\rho \hat{C}_p} r_w^2 a_{lg}^{2i}}{\Delta t} + \frac{\phi \beta r_w^2 a_{lg}^{2i}}{\Delta t} (p_i^{n+1} - p_i^n) \quad (37)$$

$$a_e = \frac{K_T}{(\ln a_{lg})^2} - \frac{k \rho \hat{C}_p}{4\mu (\ln a_{lg})^2} (p_{i+1}^{n+1} - p_{i-1}^{n+1}) \quad (38)$$

$$a_f = \frac{\overline{\rho \hat{C}_p} r_w^2 a_{lg}^{2i}}{\Delta t} T_i^n + \frac{k}{4\mu (\ln a_{lg})^2} (p_{i+1}^{n+1} - p_{i-1}^{n+1})^2 \quad (39)$$

同理,内边界条件、外边界条件和初始条件可离散为:

$$T_{NR}^{n+1} = T_e \quad i = NR \quad (40)$$

$$\begin{aligned} T_0^{n+1} &= \frac{2K_T - U_T^* r_w a_{lg}^{0.5} \ln a_{lg}}{2K_T + U_T^* r_w a_{lg}^{0.5} \ln a_{lg}} T_1^{n+1} + \\ &\frac{2U_T^* T_f^{n+1} r_w a_{lg}^{0.5} \ln a_{lg}}{2K_T + U_T^* r_w a_{lg}^{0.5} \ln a_{lg}} i = 0 \end{aligned} \quad (41)$$

$$T_i^0 = T_e \quad t=0 \quad (42)$$

以上确定了离散后的差分方程,而要解方程(41)就需要利用软件求得数值解,可求出不同时间、不同节点处对应的气藏温度。

3 算例分析

气藏内流体特性和地层属性为:地层压力 30 MPa,油藏温度 350 K,井筒温度 348 K,井筒半径 0.12 m,油藏半径 200 m,气藏厚度 12 m,孔隙度 0.15 标准状况下天然气黏度 0.011 4 mPa·s,气体比热容 1 675 J/(kg·K),气体导热系数 0.035 W/(m·K),总传导系数 28 W/(m·K),天然气密度 208.24 kg/m³,热膨胀系数 0.005 38 K⁻¹,地层岩石压缩系数 0.002 8 MPa⁻¹。

3.1 渗透率变化对气藏温度分布的影响

在气藏中,由于地层伤害引起渗透率降低,为了研究气藏瞬时温度的变化与伤害表皮渗透率的关系,假设 1 个生产井有 3 个不同产层,其地层属性由表 1 给出,3 个产层除伤害带渗透率不同外,地层渗透率和伤害半径都相同。

表 1 研究伤害带渗透率变化时的地层属性

项目	地层渗透率 $K/10^{-3} \mu\text{m}^2$	伤害带渗透率 $k_s/10^{-3} \mu\text{m}^2$	伤害半径 r_s/m
产层一	3	0.8	0.65
产层二	3	0.5	0.65
产层三	3	0.3	0.65

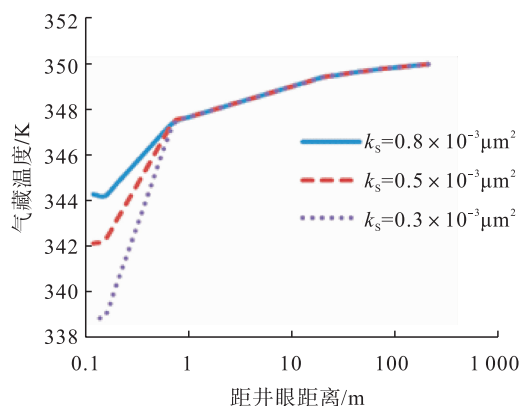


图 2 不同伤害带渗透率下气藏温度分布

图 2 是不同伤害带渗透率下气藏温度分布图。如图 2 所示,改变伤害带渗透率,气藏的瞬时温度分布也有所变化。图 2 中温度分布曲线的典型特征:在伤害带外区域的温度分布曲线是重合的,即该区域的温度分布不受伤害带渗透率的影响。观察伤害地层处的温度分布,由于渗透率不同,气藏温度下降的速度不同。曲线表现为渗透率越小,曲线斜率越大;温度下降越快,流入井筒的流体温度越低。这是因为渗透率变化只发生在伤害地层中,因此非伤害地层产生的压降不变,而且压降变化主要发生在伤害地层,就出现了温度变化只发生在伤害地层中的现象。

3.2 伤害半径对气藏温度分布的影响

3.1 节研究了渗透率变化对气藏温度分布的影响,结果非常明显,可想而知伤害半径也是影响因素之一。为了研究这一问题,继续利用类比的方法,取伤害半径为变量,其他地层属性不变。假设的 4 个产层地层属性见表 2。不同伤害半径下的气藏温度分布见图 3。

观察图 3 发现与图 2 的相似之处——非伤害区域处的温度分布相同。而对于伤害带,压力降主要发生在这一区域,因此温度降低也主要集中在该区域。通过比较不同伤害半径的气藏温度分布发现,伤害半径为 0.3 m

表 2 研究伤害半径对瞬时温度变化影响时的地层属性

项目	地层渗透率 $K/10^{-3} \mu\text{m}^2$	伤害带渗透率 $k_s/10^{-3} \mu\text{m}^2$	伤害半径 r_s/m
产层一	3	0.5	0.9
产层二	3	0.5	0.7
产层三	3	0.5	0.5
产层四	3	0.5	0.3

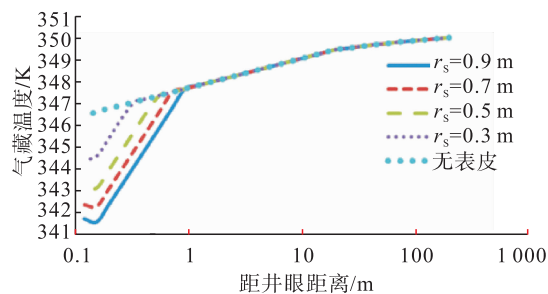


图 3 不同伤害半径下的气藏温度分布

时,温度迅速降低的范围很小;伤害半径为 0.9 m 时,温度迅速降低的范围相应变大。再比较五条曲线左侧的斜率,不难发现虽然拐点不同,但其斜率相同,结合 3.1 节观察的结果可以推断出,因为 4 个产层伤害带渗透率相同,所以温度变化速度也相同。

4 结论

利用已建立的气藏流动模型和气藏温度模型,模拟体现了伤害表皮对气藏压力和温度分布的影响,得出了在其影响下气藏的压力和温度分布曲线。还通过类比的方法,只改变一个可能会影响压力和温度变化的因素,分析了气藏中瞬时温度的变化特征,并得出以下结论:

1) 由于焦耳-汤姆森效应,瞬时温度沿气藏边界到井眼方向下降,且越靠近井筒其下降速度越快。可根据已知的油气藏温度分布曲线分析规律推测储集层内的流体成分。

2) 伤害表皮使得温度降低主要集中于伤害地层。伤害带渗透率越小温度下降越快,伤害半径越大温度迅速下降的范围越广。

3) 该模型建立没有考虑井筒内的温度随生产过程的变化,需要进一步优化。

参考文献:

- [1] 冀登武,蓝强,李公让,等.地层伤害建模研究进展[J].油气地质与采收率,2011,18(3):98-102.
Ji Dengwu, Lan Qiang, Li Gongrang, et al. Advances In Modeling Formation Damage[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(3): 98-102.

- [2] Willhite G P. Over-all Transfer Coefficients in Steam And Hot Water Injection Wells [C]. //Paper 1449 Presented at the SPE Mountain Regional Meeting, 23-24 May 1966, Denver, Colorado, USA. New York: SPE, 1967.
- [3] 冯跃平, 潘迎德, 王玉海. 浅谈表皮系数[J]. 钻采工艺, 1990, 13(3): 45-49.
Feng Yueping, Pan Yingde, Wang Yuhai. Talking About the Skin Factor [J]. Drilling & Production Technology, 1990, 13(3): 45-49.
- [4] 刘洪, 任路, 胡治华. 裂缝性油藏抽汲井试井曲线特征[J]. 天然气与石油, 2011, 29(5): 41-43.
Liu Hong, Ren Lu, Hu Zhihua. Well Testing Curve Characteristics of Swabbing Well in Fractured Reservoir [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29(5): 41-43.
- [5] 刘健, 练章华, 林铁军. 水平井不同完井方式下产能预测方法研究[J]. 特种油气藏, 2006, 13(1): 61-63.
Liu Jian, Lian Zhanghua, Lin Tiejun. Production Forecasting Formulas of Horizontal Wells under Multiform Completions [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2006, 13(1): 61-63.
- [6] Bennion B. Formation Damage-The Impairment of the Invisible, by the Inevitable and Uncontrollable, Resulting In an Indeterminate Reduction of the Unquantifiable [J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 1999, 11(2): 38-41.
- [7] 汪金如, 王新海, 姜永. 双渗介质油藏抽汲井测试资料数值试井分析[J]. 天然气与石油, 2011, 29(1): 42-43.
Wang Jinru, Wang Xinhai, Jiang Yong. Numerical Well Test Analysis on Testing Information of Double Permeability Medium Reservoir Swabbing Well [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29(1): 42-43.
- [8] 隋微波, 张士诚. 井下实时温度监测现场应用及理论模型研究新进展[J]. 测井技术, 2011, 35(6): 502-507.
Sui Weibo, Zhang Shicheng. Advances in Field Applications and Theory Model of Down Hole Real-time Temperature Monitoring Technique [J]. Well Logging Technology, 2011, 35(6): 502-507.
- [9] 刘建军, 闫建钊, 程林松. 表皮系数分解与油气层伤害定量评价[J]. 油气井测试, 2005, 14(2): 17-19.
Liu Jianjun, Yan Jianzhao, Cheng Linsong. Skin Factor Decomposition and Quantitative Evaluation of Reservoir Damage [J]. Oil and Gas Well Testing, 2005, 14(2): 17-19.
- [10] Sui W B, Zhu D, Hill A D. Determining Multilayer Formation Properties from Transient Temperature and Pressure Measurements in Commingled Gas Wells [C]. //Paper 131150 Presented at the CPS/SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition, 8-10 June 2010, Beijing, China. New York: SPE, 2010.

煤层气勘探开发行动计划发布

国家能源局近日发布《煤层气勘探开发行动计划》，其中提出，到2020年，我国将新增煤层气探明地质储量 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ；煤层气（煤矿瓦斯）抽采量力争达到 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。相对于2014年的 $170 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，未来5年，我国煤层气抽采量将增长1倍多。

《计划》提出， $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的抽采目标中，地面开发 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，基本全部利用；煤矿瓦斯抽采 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，利用率60%以上。到2020年，我国将建成3~4个煤层气产业化基地，重点煤矿区基本形成煤层气与煤矿瓦斯共采格局。

《计划》明确了今后一段时期我国煤层气（煤矿瓦斯）开发利用的重点任务。分区域分层次开展勘探，加快沁水盆地和鄂尔多斯盆地东缘勘探，推进新疆、云贵等地区勘探，加强煤矿区资源综合勘察，形成规模探明储量；加快煤层气地面开发，建成沁水盆地和鄂尔多斯盆地东缘产业化基地，在准噶尔、鄂尔多斯等地区建设一批示范工程，突破低煤阶、深部煤层等复杂地质条件煤层气开发，大幅提高煤层气产量；加强煤矿瓦斯规模化抽采，建设一批抽采利用规模化矿区和瓦斯治理示范矿井，全面推进瓦斯先抽后采、抽采达标；完善利用基础设施，根据资源分布和市场需求，统筹建设区域性输气管道，因地制宜建设一批压缩、液化站，推广低浓度瓦斯发电；强化科技创新，开展煤层气富集规律等基础理论研究，加快煤层气勘探开发关键技术装备研发，发布一批行业重要标准规范。

《计划》提出，将出台完善扶持政策，严格落实煤层气市场定价机制，研究提高煤层气开发财政补贴标准，制定低浓度瓦斯利用鼓励政策，督促天然气基础设施公平开放，鼓励社会资本参与勘探开发和基础设施建设。

（曾妍 摘自中国石油新闻中心）