

非常规天然气

考虑水分含量的煤岩渗透率动态变化特征

马飞英¹,王永清¹,王 林²,蒋 睿¹,王 慧³

(1. 西南石油大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室,四川 成都 610500;

2. 中国石油浙江油田分公司西南采气厂,四川 宜宾 645250;

3. 中国石油东方地球物理勘探有限责任公司,河北 涿州 072751)

摘要:为探索考虑水分含量的煤岩渗透率模型描述渗透率动态变化特征的准确性以及渗透率在排采过程中的恢复程度,采用考虑水分含量的渗透率模型、P-M 模型和 S-D 模型,研究了该 3 种渗透率模型的反弹压力 p_{rb} 值和恢复压力 p_{rc} 值以及渗透率的动态变化过程,研究结果表明:①考虑水分含量的渗透率模型、P-M 模型和 S-D 模型计算的 p_{rb} 值和 p_{rc} 值中,P-M 模型计算的值偏小,S-D 模型与考虑水分含量的渗透率模型计算的值比较接近;②3 种模型中考虑水分含量的渗透率模型预测的渗透率变化率与现场试井测得的渗透率变化率基本一致,说明考虑水分含量的渗透率模型预测值更接近实际值;③当恢复压力 p_{rc} 值小于 0 时,会出现渗透率降低后在开采过程中无法恢复到初始渗透率的现象。

关键词:水分含量;渗透率模型;反弹压力;恢复压力;动态变化

中图分类号:TE122.2

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2014)09-1477-06

引用格式:Ma Feiying, Wang Yongqing, Wang Lin, *et al.* The permeability dynamic variation features of coals with the consideration of moisture content[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25 (9): 1477-1482. [马飞英,王永清,王林,等. 考虑水分含量的煤岩渗透率动态变化特征[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(9): 1477-1482.]

0 引言

随着常规天然气供应的下降,煤层气勘探与生产的比重逐年提高^[1-2]。然而在煤层气开采过程中,渗透率呈现动态变化^[3-5]。通常,学者们认为渗透率的变化主要受有效应力引起裂缝及割理闭合和解吸引起的煤基质收缩 2 种机制的影响,并针对这 2 方面的影响因素提出了很多数学模型^[6-10],其中经典模型有 P-M 模型和 S-D 模型。2004 年,Shi 等^[9]首次提出了反弹压力 p_{rb} 和恢复压力 p_{rc} 的概念并在 S-D 模型的基础上得出两者的表达式以及随着煤层气的开采渗透率可能出现的情况,且将该理论分析成功地应用到美国 San June 盆地的实际生产中。2009 年,Thararoop 等^[11]认为渗透率变化不仅受有

效应力与煤基质收缩 2 种机制的影响,而且受煤基质中水的影响,并建立了一个新的渗透率模型。2010 年,张亚蒲等^[12]通过对煤层气藏干岩心和含水岩心进行渗透率应力敏感性实验研究,发现水的存在使得岩心的渗透率应力敏感性更强。2011 年,马强^[13]在基于煤层气开采过程中,煤储层体积不变的假设条件下,从 Matchstick 应变角度分析了在有效应力和煤基质收缩双重机制作用下渗透率的变化规律。2013 年,马飞英等^[14]将实验和模型以及现场相结合,探索了煤岩中水分含量对渗透率的影响,验证了考虑水分含量煤岩收缩/膨胀的渗透率模型的可靠性。因此,本文将基于考虑水分含量的渗透率模型,从理论上进一步认识煤层气开采过程中渗透率的动态变化规律,为正确分析预测渗透率的变化提

收稿日期:2013-09-17;修回日期:2013-12-15.

基金项目:国家科技重大专项项目“深煤层煤层气增产改造技术研究”(编号:2011ZX05042-002-001)资助.

作者简介:马飞英(1985-),女,湖南隆回人,博士研究生,主要从事非常规天然气开发研究. E-mail: xiaomahehe117@sina.com.

供理论依据。

1 理论分析

1.1 考虑水分含量的渗透率模型

在假设煤层为吸附饱和状态以及初始体积不变的情况下,由于煤层中的水分含量对气体吸附能力的影响,将朗氏等温吸附方程进行了修正,在此基础上,同时考虑有效应力与煤基质收缩 2 种机制对渗透率的影响,于是得到了考虑水分含量的渗透率模型^[11,14],其表达式为:

$$k = k_i \left(\frac{\varphi}{\varphi_i} \right)^3 = k_i \left[e^{c_p(p-p_i)} + \frac{f(m)\beta_B V_L}{\varphi_i} \left(\frac{p_i}{p_L + p_i} - \frac{p}{p_L + p} \right) \right]^3 \quad (1)$$

其中:

$$f(m) = \begin{cases} 1, m = 0 \\ f_c - \frac{(1-f_c)(m-m_c)}{m_c}, 0 < m < m_c \\ f_c, m \geq m_c \end{cases} \quad (2)$$

式(1)~(2)中: k 为地层渗透率, $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; k_i 为地层初始渗透率, $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; φ 为地层孔隙度, %; φ_i 为地层初始孔隙度, %; c_p 为孔隙体积压缩系数, MPa^{-1} ; p 为地层压力, MPa ; p_i 为地层初始压力, MPa ; $f(m)$ 为气体吸附能力因子, 值为 $0 \sim 1$; m 为水分含量, %; m_c 为临界水分含量, %; f_c 为临界吸附能力因子, $0 \sim 1$; β 为基质收缩 / 膨胀系数, 无因次; β_B 为煤的密度, g/cm^3 ; V_L 为朗氏吸附常数(或极限吸附量), m^3/t ; p_L 为朗氏压力常数, 即吸附量达到极限吸附量的一半时的气体压力, MPa 。

从考虑水分含量的渗透率模型的推导过程中可以知道:

$$\frac{\varphi}{\varphi_i} = e^{c_p(p-p_i)} + \frac{f(m)\beta_B V_L}{\varphi_i} \left(\frac{p_i}{p_L + p_i} - \frac{p}{p_L + p} \right) \quad (3)$$

将式(3)中的 $e^{c_p(p-p_i)}$ 按麦克劳林级数展开, 只取其前面 2 项已具有足够的精度, 则可以得到:

$$\frac{\varphi}{\varphi_i} = 1 + c_p(p-p_i) + \frac{f(m)\beta_B V_L}{\varphi_i} \left(\frac{p_i}{p_L + p_i} - \frac{p}{p_L + p} \right) \quad (4)$$

将式(4)两边同时乘以 φ_i 移项整理得到:

$$\varphi - \varphi_i = \varphi_i c_p (p - p_i) + f(m)\beta_B V_L \left(\frac{p_i}{p_L + p_i} - \frac{p}{p_L + p} \right) =$$

$$(p - p_i) \left[\varphi_i c_p - \frac{f(m)\beta_B V_L p_L}{(p_L + p_i)(p_L + p)} \right] \quad (5)$$

令 $f(p) = \varphi - \varphi_i$, 则函数 $f(p)$ 可以表示如下:

$$f(p) = (p - p_i) \left[\varphi_i c_p - \frac{f(m)\beta_B V_L p_L}{(p_L + p_i)(p_L + p)} \right] \quad (6)$$

从式(6)可知 $f(p)$ 是关于地层压力 p 的函数, 则 $f(p)$ 的一阶、二阶导数为:

$$f'(p) = \varphi_i c_p - f(m)\beta_B V_L p_L \frac{1}{(p_L + p)^2} \quad (7)$$

$$f''(p) = 2f(m)\beta_B V_L p_L \frac{1}{(p_L + p)^3} \quad (8)$$

由式(8)知 $f''(p)$ 恒大于 0, 从而说明 $f(p)$ 在 p_{rb} 存在最小值, 其中 p_{rb} 为 $f'(p) = 0$ 的解。压力 p_{rb} 被称为反弹压力, 即当渗透率取得最小值时所对应的压力。

$$p_{rb} = \left[\frac{f(m)\beta_B V_L p_L}{c_p \varphi_i} \right]^{1/2} - p_L \quad (9)$$

随着渗透率的反弹, 当渗透率等于初始渗透率时所对应的压力称为恢复压力, 用 p_{rc} 表示, p_{rc} 为 $f(p) = 0$ 的解, 且 $p_{rc} \neq p_i$, 则:

$$p_{rc} = \frac{f(m)\beta_B V_L p_L}{c_p \varphi_i (p_L + p_i)} - p_L \quad (10)$$

2003 年, Pekot 等^[15] 给出了孔隙体积压缩系数 c_p 的表达式:

$$c_p = \frac{1}{2E\varphi_i} \quad (11)$$

将式(11)代入式(9)、式(10), 得到:

$$p_{rb} = [2Ef(m)\beta_B V_L p_L]^{1/2} - p_L \quad (12)$$

$$p_{rc} = \frac{2Ef(m)\beta_B V_L p_L}{(p_L + p_i)} - p_L \quad (13)$$

分析式(12)、式(13)可知, 反弹压力 p_{rb} 与地层初始压力 p_i 无关; 而恢复压力 p_{rc} 与地层初始压力 p_i 有关, 且在其他条件不变的情况下恢复压力 p_{rc} 随地层初始压力 p_i 增大而减小。

基于以上分析, 现在可以定性地描述函数 $f(p)$ 。根据恢复压力 p_{rc} 和初始地层压力 p_i 的大小, 可以分成 3 种情况来讨论:

(1) $p_{rc} < p_i$: 随着压力 p 的减小, 并一直减小到低于恢复压力 p_{rc} , $f(p)$ 经历了从负到正的过程。但是, 值得注意的是恢复压力 p_{rc} 值可能小于 0, 小于 0 时说明渗透率伤害后在开采过程中无法恢复到初始渗透率[图 1(a), 图 1(b)]。所以根据反弹压力 p_{rb} 、恢复压力 p_{rc} 和 0 三者的关系, 又可以分成 3 种情况来分析(图 1): ① $p_{rc} < p_{rb} \leq 0$, $f(p)$ 随着 p 从初始地层压力 p_i 的减小呈现单调递减[图 1(a)]; ② $p_{rc} \leq$

$0 < p_{rb}$, 随着 p 的减小, $f(p)$ 先减小后呈现微弱的反弹, 但 $f(p) < 0$ [图 1(b)]; ③ $0 < p_{rc} < p_{rb} < p_i$, 随着 p 的减小, $f(p)$ 先减小, 当减小到反弹压力 p_{rb} 之后,

$f(p)$ 开始增加; 当减小到恢复压力 p_{rc} 之后, $f(p)$ 的值从负变为正, 并随着 p 的减小呈现稳步增加 [图 1(c)]。

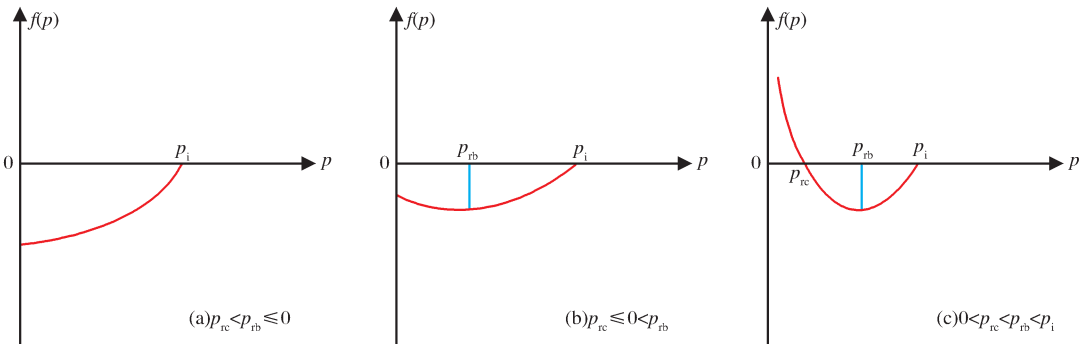


图 1 $p_{rc} < p_i$ 情况下 $f(p)$ 随地层压力 p 变化曲线
Fig. 1 Curves showing how $f(p)$ varies with the formation pressure p under the condition of $p_{rc} < p_i$

(2) $p_{rc} > p_i$: 在这种情况下, 随着 p 的减小, $f(p)$ 总是大于 0。它进一步证明了 $f(p)$ 随着 p 的减小呈现单调递增 (图 2)。

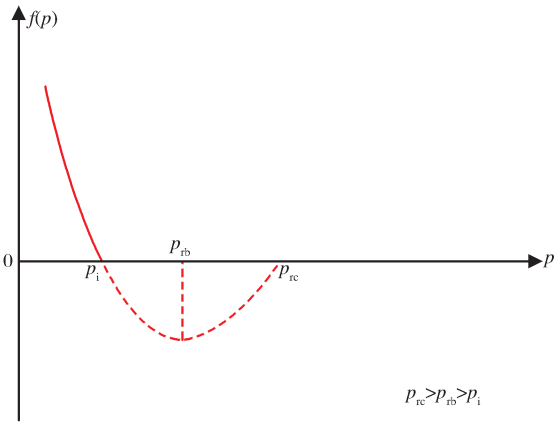


图 2 $p_{rc} > p_i$ 情况下 $f(p)$ 随地层压力 p 变化曲线
Fig. 2 Curve showing how $f(p)$ varies with the formation pressure p under the condition of $p_{rc} > p_i$

(3) $p_{rc} = p_i$: 该种情况可以看成是第二种情况下的特例, 即 $p_{rc} = p_{rb} = p_i$, 随着 p 的减小, $f(p)$ 总是大于 0 (图 3)。

1.2 典型模型

在煤层气开发过程中, 针对渗透率的动态变化, 人们虽然提出了很多数学分析模型。但是, 到目前为止在科研领域受到普遍关注并应用到实际生产中的只有 P-M 模型和 S-D 模型。

1.2.1 P-M 模型分析

P-M 模型是当前应用最为广泛的渗透率分析模型, 由 Palmer 等^[8] 于 1998 年提出的。该模型是在单轴应变条件下, 考虑了有效应力和基质收缩对

渗透率的影响而得出的, 其表达式为:

$$k = k_i \left(\frac{\varphi}{\varphi_i} \right)^3 = k_i \left[1 + \frac{1}{M\varphi_i} (p - p_i) + \frac{\varepsilon_{L_i}}{\varphi_i} \left(\frac{K}{M} - 1 \right) \left(\frac{bp}{1 + bp} - \frac{bp_i}{1 + bp_i} \right) \right]^3 \tag{14}$$

式(14)中: M 为轴向模量, MPa; K 为体积模量, MPa; b 为朗氏等温线系数, MPa^{-1} ; ε_{L_i} 为朗氏理论最大应变变量, 无因次。

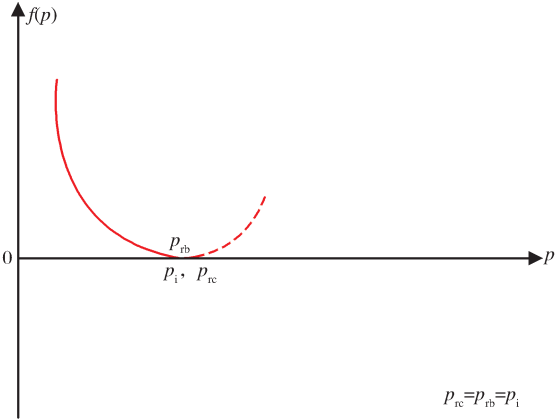


图 3 $p_{rc} = p_i$ 情况下 $f(p)$ 随地层压力 p 变化曲线
Fig. 3 Curve showing how $f(p)$ varies with the formation pressure p under the condition of $p_{rc} = p_i$

令 $f(p) = \varphi - \varphi_i$, 按照同样的方法求得 P-M 模型的反弹压力 p_{rb} 和恢复压力 p_{rc} , 即:

$$p_{rb} = \left[\frac{2\varepsilon_{L_i} E p_{L_i}}{3(1 + \nu)} \right]^{1/2} - p_{L_i} \tag{15}$$

$$p_{rc} = \frac{2E\varepsilon_{L_i} p_{L_i}}{3(1 + \nu)(p_i + p_{L_i})} - p_{L_i} \tag{16}$$

1.2.2 S-D 模型分析

S-D 模型是由 Shi 等^[9]于 2004 年假设只有在水平方向发生应变的条件下,从有效应力与应变的关系出发,提出的一个渗透率随孔隙内气体压力变化的渗透率分析模型,其表达式为:

$$k = k_i e^{-3c_f(\sigma - \sigma_i)} =$$
$$k_i e^{-3c_f \left[-\frac{v}{1-v}(p - p_i) + \frac{E \epsilon_L}{3(1-v)} - \left(\frac{p}{p_L + p} - \frac{p_i}{p_L + p_i} \right) \right]}$$

(17)

式(17)中: c_f 为裂隙体积压缩系数, MPa^{-1} ; σ 为水平有效应力, MPa ; σ_i 为初始水平有效应力, MPa ; v 为泊松比,无因次; E 为煤岩杨氏模量, MPa 。

令 $f(p) = \sigma_i - \sigma$,按照同样的方法求得 S-D 模型的反弹压力 p_{rb} 和恢复压力 p_{rc} ,即:

$$p_{rb} = \left[\frac{E \epsilon_L p_L}{3v} \right]^{1/2} - p_L$$

(18)

$$p_{rc} = \frac{E}{3v} \frac{\epsilon_L p_L}{(p_i + p_L)} - p_L$$

(19)

2 实例分析

为了验证考虑水分含量的渗透率模型理论分析的可靠性,以我国某煤层气田为实例计算。采用考虑水分含量的渗透率模型以及 P-M、S-D 这 2 种典型模型对该煤层气田的反弹压力 p_{rb} 和恢复压力 p_{rc} 进行了计算,计算中的参数^[16]为:地层初始压力 $p_i = 6\text{MPa}$;初始渗透率 $k_i = 0.251 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;杨氏模量 $E = 4\,600\text{MPa}$;朗氏体积 $V_L = 28.91\text{m}^3/\text{t}$;朗氏压力 $P_L = 4.2\text{MPa}$;泊松比 $v = 0.26$;基质收缩/膨胀系数 $\beta = 0.000\,527$;体积应变变量 $\epsilon_L = 0.016\,5$,煤的密度 $\rho_B = 1.50\text{g}/\text{cm}^3$,水分含量 $m = 2.1\%$,临界水分含量 $m_c = 1.8\%$,临界吸附能力因子 $f_c = 0.415$,计算结果如表 1 所示。

表 1 3 种模型计算的 p_{rb} 值和 p_{rc} 值
Table 1 The calculated values of p_{rb} and p_{rc} by the three models

模型	p_{rb}	p_{rc}
考虑水分含量的模型	14.946	31.738
P-M 模型	8.787	12.336
S-D 模型	16.016	35.868

从表 1 可以看出,采用 P-M 模型计算的 p_{rb} 值和 p_{rc} 值偏小,而采用 S-D 模型和考虑水分含量的渗透率模型这 2 种模型计算的 p_{rb} 值和 p_{rc} 值比较接近。图 4 为渗透率变化率与地层压力的变化曲线示意图,从图 4 中可以看出,利用 S-D 模型预测的渗透率变化率偏大,运用 P-M 模型预测的渗透率变化率

偏小,而采用考虑水分含量的渗透率模型预测的渗透率变化率与现场试井测得的渗透率变化率基本一致,说明考虑水分含量的渗透率模型预测值更加接近实际值。所以可以采用考虑水分含量的渗透率模型理论分析来确定渗透率变化的大体趋势以及分析煤层气开采过程中渗透率的动态变化。

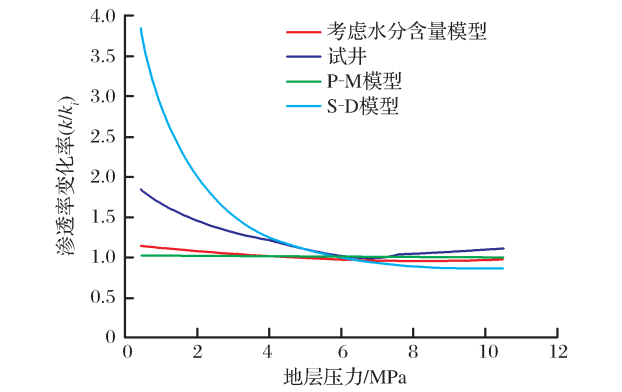


图 4 渗透率变化率与地层压力的变化曲线示意
Fig. 4 Schematic curve showing how the permeability varies with the formation pressure

图 5 为该煤层气田生产中通过试井实测的渗透率变化率与地层压力的关系曲线,图 6 为 3 种模型预测的渗透率变化率与地层压力的关系曲线。从图 5 和图 6 可以看出,地层压力 p 值大于初始地层压力 6MPa 阶段,渗透率变化率 k/k_i 值从 1 先减小,再增大,直至恢复到 1 后继续增大,这一过程中必然会出现反弹压力 p_{rb} 和恢复压力 p_{rc} 2 个压力点;当地层压力 p 值从初始地层压力 6MPa 开始降低,渗透率变化率 k/k_i 值大于 1,说明渗透率从初始地层压力开始完全呈上升趋势,并且渗透率在 2MPa 附近上升趋势增强,因此该煤层气田属于上述理论分析中的 $p_{rc} > p_{rb} > p_i$ 这种情况。

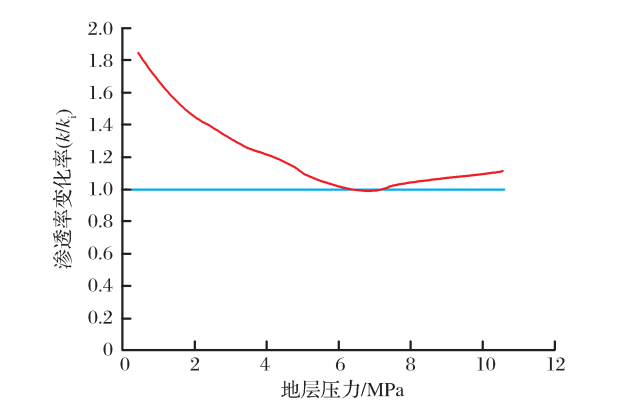


图 5 试井渗透率变化率与地层压力的变化曲线示意
Fig. 5 Schematic curve showing how the well testing permeability varies with the formation pressure

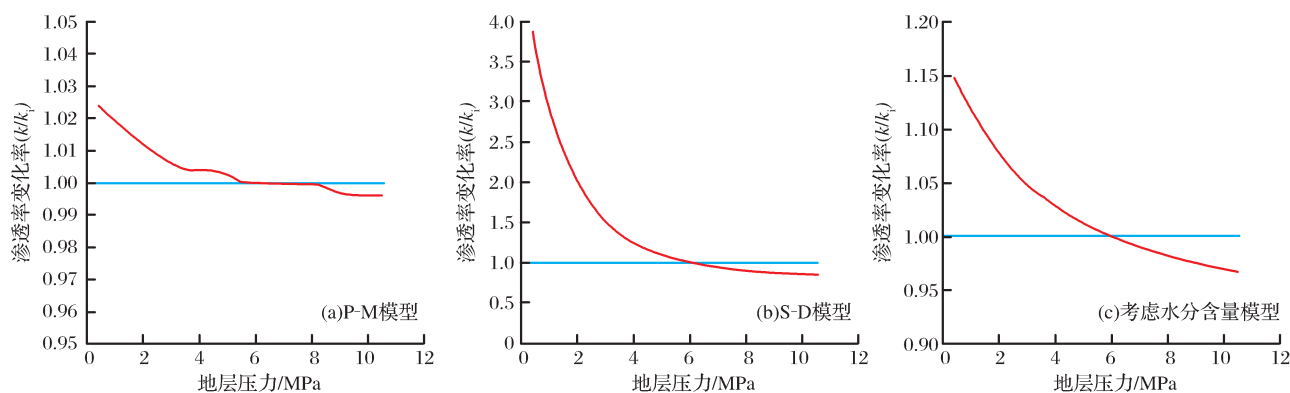


图 6 3 种模型预测的渗透率变化率与地层压力的关系曲线示意

Fig. 6 Schematic curves showing how the predicted permeability by the three models varies with the formation pressure

3 结论

(1)以考虑水分含量的渗透率模型为基础,得到了反弹压力 p_{rb} 和恢复压力 p_{rc} 的解析式,根据 p_{rc} 和 p_i 的关系,从理论上分析了煤层气在开采过程中渗透率变化可能会出现的情况。

(2)将考虑水分含量的渗透率模型计算的 p_{rb} 值和 p_{rc} 值与 2 种典型模型 P-M 模型和 S-D 模型计算的 p_{rb} 值和 p_{rc} 值进行比较,发现 P-M 模型计算的值偏小,S-D 模型与考虑水分含量的渗透率模型计算的比较接近;且采用考虑水分含量的渗透率模型预测的渗透率变化率与现场试井测得的渗透率变化率基本一致,说明考虑水分含量的渗透率模型预测值更加接近实际值。所以用基于考虑水分含量的渗透率模型来分析渗透率的动态变化情况具有一定的可靠性。

(3)3 种模型对我国某煤层气田预测的渗透率变化率与地层压力的关系曲线和试井渗透率变化率与地层压力的变化曲线两者呈现的渗透率变化趋势基本一致,实例煤层气田属于 $p_{rc} > p_{rb} > p_i$ 的情况。

(4)当恢复压力 $p_{rc} < 0$ 时,会出现渗透率降低后在开采过程中无法恢复到初始渗透率的现象。

参考文献(References):

[1] Qian Kai, Shi Zhensheng, Lin Shiguo, *et al.* Industrization progression and development suggestions for coalbed methane of China[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(6): 831-840. [钱凯, 施振生, 林世国, 等. 中国煤层气的产业化进程与发展建议[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(6): 831-840.]

[2] Cui Yuchao, Teng Zijun, Wang Huaihong, *et al.* Distribution, development and utilization of CBM from Longchang coal mine in Qianxi county, Guizhou province[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(2): 367-372. [崔玉朝, 腾子军, 王怀洪, 等.

贵州黔西龙场煤矿煤层气资源及开发利用价值[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(2): 367-372.]

[3] Deng Ze, Kang Yongshang, Liu Honglin, *et al.* Dynamic variation character of coal bed methane reservoir permeability during depletion[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(7): 947-951. [邓泽, 康永尚, 刘洪林, 等. 开发过程中煤储层渗透率动态变化特征[J]. 煤炭学报, 2009, 34(7): 947-951.]

[4] Ai Chi, Li Shuang, Li Jingran, *et al.* Models of dynamic permeability variation of coal seam[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2013, 20(1): 71-73. [艾池, 栗爽, 李净然, 等. 煤岩储层渗透率动态变化模型[J]. 特种油气藏, 2013, 20(1): 71-73.]

[5] Guo Hui, Fang Xinliang, Wang Xueying, *et al.* Study on permeability rate variation features of mine coal bed methane reservoir during gas drainage process of coal bed methane well[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(1): 82-83, 88. [郭徽, 房新亮, 王雪颖, 等. 煤层气井排采时储层渗透率变化特征研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(1): 82-83, 88.]

[6] Sawyer W K, Paul G W, Schraufnagle R A. Development and Application of a 3D Coalbed Simulator[R]. Annual Technical Meeting, June 10-13, Calgary, Alberta. Petroleum Society of Canada. PETSOC-90-119, 1990.

[7] Seidle J R, Huitt L G. Experimental Measurement of Coal Matrix Shrinkage Due to Gas Desorption and Implications for Cleat Permeability Increases [R]. International Meeting on Petroleum Engineering, 14-17 November, Beijing, China. SPE 30010, 1995.

[8] Palmer I, Mansoori J. How permeability depends on stress and pore pressure in coalbeds: A new model[J]. SPE Reservoir Evaluation and Engineering, 1998, 1(6): 539-544.

[9] Shi J Q, Durucan S. Drawdown induced changes in permeability of coalbeds: A new interpretation of the reservoir response to primary recovery[J]. Transport in Porous Media, 2004, 56(1): 1-16.

[10] Shi J Q, Durucan S. A model for changes in coalbed permeability during primary and enhanced methane recovery[J]. SPE Reservoir Evaluation and Engineering, 2005, 8(4): 291-299.

[11] Thararoop P, Karpyn Z T, Ertekin T. Development of a coal shrinkage-swelling model accounting for water content in the

- micropores[J]. International Journal of Mining and Mineral Engineering, 2009, 1(4): 346-364.
- [12] Zhang Yapu, He Yingfu, Yang Zhengming, *et al.* Experimental research on stress sensitivity of coalbed reservoir[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(3): 518-521. [张亚蒲, 何应付, 杨正明, 等. 煤层气藏应力敏感性实验研究[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3): 518-521.]
- [13] Ma Qiang. The analysis of coal permeability changes based on Matchstick strain[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2011, 31(4): 387-390. [马强. 基于 Matchstick 应变分析煤层渗透率变化[J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(4): 387-390.]
- [14] Ma Feiying, Wang Yongqing, Wang Lin, *et al.* Influence of moisture content in coal rock on permeability[J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25(3): 97-101. [马飞英, 王永清, 王林, 等. 煤岩中水分含量对渗透率的影响[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(3): 97-101.]
- [15] Pekot L J, Reeves S R. Modeling the effects of matrix shrinkage and differential swelling on coalbed methane recovery and carbon sequestration[C]//Proceedings of the International Coalbed Methane Symposium, 2003.
- [16] Wang Zhiming, Wang Zhonghua, Zhang Jian. Applicability assessment of coal reservoir permeability dynamic prediction model[J]. Coal Geology of China, 2010, 22(10): 22-25. [汪志明, 王忠华, 张健. 煤储层渗透率动态预测模型适用性评价[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(10): 22-25.]

The Permeability Dynamic Variation Features of Coals with the Consideration of Moisture Content

MA Fei-ying¹, WANG Yong-qing¹, WANG Lin², JIANG Rui¹, WANG Hui³

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University,
Chengdu 610500, China;

2. Southwest Gas Production Plant, Zhejiang Oil Field Branch Company, CNPC, Yibin 645250, China;

3. BGP INC, China National Petroleum Corporation, Zhuozhou 072751, China)

Abstract: For the accuracy test of the permeability model considering moisture content to describe the permeability dynamic variation features and the recovery degree of permeability in the drainage process, the values of rebound pressure, recovery pressure of the three kinds of permeability models, and the permeability dynamic variation process were investigated by employing the permeability model considering moisture content, P-M model and S-D model. The results show that: (1) the values of rebound pressure and recovery pressure calculated by P-M model are the smallest, while those values calculated by S-D model and the permeability model considering moisture content are close; (2) the permeability rate predicted from these three models by considering moisture content matches well with the one obtained from site well testing, which indicates the predicted values of the permeability model considering moisture content are much closer to the real values; (3) when the recovery pressure is less than 0, the permeability which decreased in the mining process cannot be restored to the initial permeability.

Key words: Moisture content; Permeability model; Rebound pressure; Recovery pressure; Dynamic changes