

煤层中双重孔隙介质渗流理论的应用

蔡强¹, 牛丛丛¹, 刘曰武², 李海生¹

1. 北京工商大学计算机与信息工程学院, 北京 100048
2. 中国科学院力学研究所环境力学重点实验室, 北京 100190

摘要 考虑煤层气稳定解吸和不稳定解吸特征, 提出了两类窜流方式不同的双重孔隙介质煤层不定常渗流模型——双重孔隙介质煤层拟稳态和不稳态窜流不定常渗流模型。用有限体积法对其求解, 并分析了两类模型在不同地质参数情况下的特征曲线。结果表明, 稳定解吸和不稳定解吸现象的存在都延缓了煤层中压力波的传播; 解吸系数的增大使煤层压降变缓, 且在压力和压力导数曲线上表现为边界距离的增大。对于不同的煤层, 当窜流系数过大或过小, 或煤层储能系数过大时, 计算得到的理论曲线不能表现出双重孔隙介质特征。这与现场测试资料曲线较难出现双重孔隙介质特征一致, 从而找到了现场煤层测试难以出现双重介质特征问题的根源。

关键词 煤层气; 双重孔隙介质; 渗流; 解吸; 有限体积法

中图分类号 TQ050.4*25

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.24.001

Theory of Dual-porosity Media in Coal Bed Methane and Its Application

CAI Qiang¹, NIU Congcong¹, LIU Yuewu², LI Haisheng¹

1. School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China
2. Key Laboratory of Environment Mechanics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract Considering the effects of both steady and unsteady desorption of Coal Bed Methane (CBM), two kinds of dual-porosity unsteady seepage models are developed, including pseudo-steady cross-flow model and dual-porosity unsteady cross-flow model. The two models are solved by finite volume method and their characteristic curves are analyzed by considering different geological parameters. The calculation results show that both steady desorption and unsteady desorption of CBM delay the propagation of pressure wave; the increase of CBM desorption coefficients makes the pressure draw down slowly in the coalbed, it manifests the increase of boundary distance in pressure and pressure derivative curve. For different coalbeds, when either the cross-flow flow coefficient or the fracture storage coefficient is oversize, the dual-porosity media characters in theoretical curves will be covered up. The fact is consistent with the field test data which are difficult to appear the dual-porosity media characters. Therefore the root of the problem is discovered based on the research, while the field test data is hard to show the dual-porosity media characters.

Keywords CBM; dual-porosity; seepage; desorption; finite volume method

0 引言

具有裂缝和孔隙两种类型孔隙的多孔介质称为双重孔隙介质。该类介质中裂缝主要作为流体的流动通道, 孔隙主要作为流体的储集空间, 裂缝和基质的渗透率差异较大。根

据双重孔隙介质的概念, 煤层具有大量微孔以及连接微孔的节理和裂隙, 且孔隙的渗透率一般远小于裂隙的渗透率, 因此, 多数煤层可以看作双重孔隙介质。

煤层气藏与常规的油藏和天然气藏不同, 煤层气大部分

收稿日期: 2012-03-28; 修回日期: 2012-07-23

基金项目: 国家十二五科技重大专项(2011ZX05038-003)

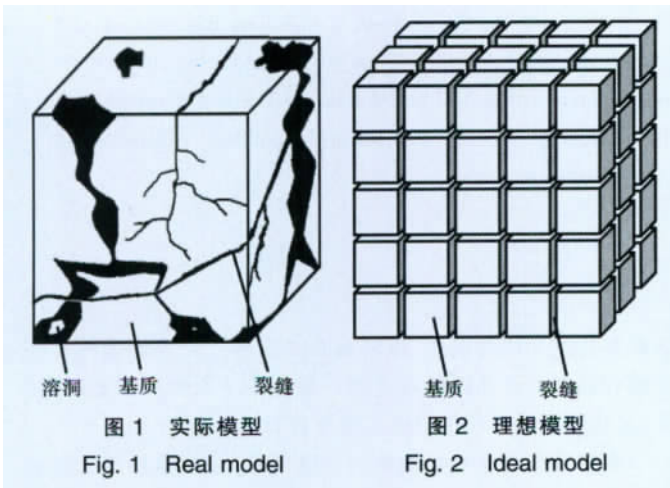
作者简介: 蔡强, 教授, 研究方向为科学计算可视化, 电子信箱: caiq@th.btbu.edu.cn; 刘曰武(通信作者), 研究员, 研究方向为渗流力学、油气藏工程及地质灾害等, 电子信箱: lywu@imech.ac.cn

吸附在煤层基质孔隙内表面上,只有少量以游离状态存在于裂缝中。在煤层气的排采过程中,只有当煤层压力降低到一定程度时,煤层孔隙中的吸附气体才从煤层上解吸出来并扩散到裂缝,由裂缝流入井筒。因此,在进行煤层气测试资料分析时必须考虑解吸作用的影响。

双重孔隙介质的不稳定渗流模型由 Barenblatt 等^[1]首次提出,Warren 等^[2]在此基础上有新的发展。模型中基质与裂缝之间的流动为拟稳态窜流,该模型是目前应用最广泛的双重孔隙介质拟稳态窜流模型。Odeh^[3]对无限大地层中立方体基质模型进行了详细推导。Kazemi 等^[4]首次提出了天然裂缝储层的不稳态窜流模型,并求解了圆形储层中各向同性的层状双重孔隙介质模型。de Swaan^[5]给出了天然裂缝储层的双重介质的基质块分别为层状和块状时的不稳态窜流模型,并分析了其压力曲线特征。随后 Serra 等^[6]、Streltsova^[7]、Lai 等^[8]、Thomas 等^[9]、Chen 等^[10]、Pruess 等^[11]、Coats^[12]、Ueda 等^[13]也分别对天然裂缝储层进行了研究,把储层看成双重介质,并分析了其流动规律及双重介质特征。Aguilera^[14]提出,根据地层破裂程序和原生孔隙度值证明天然裂缝油藏的存储容量可能有很大差异。Aifantis^[15]定义了多孔介质,认为介质中的孔隙中存在间断,这种间断拥有多孔介质的性质。

在中国,双重孔隙介质油气藏的数值模拟起步较晚^[16]。20世纪70年代末,中国石油勘探开发研究院和胜利油田分别发表了各自的裂缝性油水两相单井锥进模型;80年代初华北油田的柏松章等完成了油水两相的底水锥进模型^[17]。

本文针对国内双重孔隙介质煤层的特点,考虑煤层气稳定解吸和不稳定解吸特征,提出两类窜流方式不同的双重孔隙介质煤层不定常渗流模型(实际模型和理想模型分别如图1和图2所示)——双重孔隙介质煤层拟稳态窜流模型和双重孔隙介质煤层块状不稳态窜流模型。用有限体积法对其求解,并分析两类模型在不同地质参数情况下的特征曲线。



1 物理模型描述

(1) 煤层为均匀各向同性圆形有限地层,煤层气井定量

生产;

(2) 煤层中的流体为单相弱可压缩、定常黏度的牛顿流体;

(3) 孔隙和裂缝之间产生流动,孔隙之间不会发生流动;

(4) 基质块的形状假设为块状或球状;

(5) 裂缝与基质间的窜流以拟稳态窜流和不稳态窜流为主,并根据基质的形状和窜流方式的不同组合形成4种窜流模型;

(6) 流体在地层中的流动为层流状态,遵从达西定律;

(7) 将煤层中的流动看作是等温流动,在此期间的温度场为等温温度场,不考虑温度变化对流动的影响。

2 数学模型及求解方法

2.1 无量纲数学模型

根据物理模型得到的无量纲数学模型如下。

(1) 双重孔隙介质块状/球状基质拟稳态窜流模型。

控制方程为

$$\frac{\partial^2 p_{mD}}{\partial R_D^2} + \frac{1}{R_D} \frac{\partial p_{mD}}{\partial R_D} + \alpha_{1D} + \alpha_{2D}(p_{mD} - p_{cD}) = \frac{\omega}{C_D e^{2S}} \frac{\partial p_{mD}}{\partial T_D} - \lambda e^{-2S}(p_{mD} - p_{mD}) \quad (1)$$

窜流方程为

$$\frac{1-\omega}{C_D e^{2S}} \frac{\partial p_{mD}}{\partial T_D} + \lambda e^{-2S}(p_{mD} - p_{mD}) = 0 \quad (2)$$

(2) 双重孔隙介质块状/球状基质不稳态窜流模型。

控制方程为

$$\frac{\partial^2 p_{mD}}{\partial R_D^2} + \frac{1}{R_D} \frac{\partial p_{mD}}{\partial R_D} + \alpha_{1D} + \alpha_{2D}(p_{mD} - p_{cD}) - \frac{\lambda e^{-2S}}{5R_{1D}} \frac{\partial p_{mD}}{\partial R_{1D}} = \frac{\omega}{C_D e^{2S}} \frac{\partial p_{mD}}{\partial T_D} - \lambda e^{-2S}(p_{mD} - p_{mD}) \quad (3)$$

其中, R_D 为裂缝空间的无量纲尺度; R_{1D} 为基质空间的无量纲尺度。

窜流方程为

$$\frac{\partial^2 p_{mD}}{\partial R_{1D}^2} + \frac{2}{R_{1D}} \frac{\partial p_{mD}}{\partial R_{1D}} = \frac{15(1-\omega)}{C_D e^{2S}} \frac{\partial p_{mD}}{\partial T_D} \quad (4)$$

其中, $\frac{\partial p_{mD}}{\partial R_{1D}} \Big|_{R_{1D}=1} = 0, p_{mD} \Big|_{R_{1D}=1} = p_{mD}$

初始条件为

$$p_{mD}(T_D=0) = p_{mD}(T_D=0) = 0 \quad (5)$$

内边界条件为

$$\frac{\partial p_{mD}}{\partial R_D} \Big|_{R_D=1} = -1 + \frac{\partial p_{mD}}{\partial T_D} \quad (6)$$

无限大煤层

$$p_{mD} \Big|_{R_D \rightarrow \infty} = p_{mD} \Big|_{R_D \rightarrow \infty} = 0 \quad (7)$$

定压边界煤层

$$p_{mD} \Big|_{R_D=R_{cD}} = p_{mD} \Big|_{R_D=R_{cD}} = 0 \quad (8)$$

封闭边界煤层

$$\frac{\partial p_{mD}}{\partial R_D} \Big|_{R_D=R_{cD}} = \frac{\partial p_{mD}}{\partial R_D} \Big|_{R_D=R_{cD}} = 0 \quad (9)$$

其中, $T_D = \frac{t_D}{C_D}$; t_D 为无量纲时间, $t_D = \frac{3.6kt}{\varphi\mu C_r r_w^2}$; C_D 为无量纲井筒存储系数, $C_D = \frac{1.592C}{\varphi h C_r r_w}$; R_{eD} 为无量纲外边界距离, $R_{eD} = \frac{R_e}{r_{we}}$; r_{we} 为有效井径, $r_{we} = r_w e^{-S}$; p_D 为无量纲压力, $p_D = \frac{kh(p_i - p)}{1.1842 \times 10^{-3} q\mu B}$; p_{CD} 表示无量纲临界解吸压力; p_{wD} 表示无量纲的井底压力; α_{1D} 为稳定解吸系数, $\alpha_{1D} = \frac{k_1 h q_1}{1.842 \times 10^{-3} q\mu B}$; α_{2D} 为不稳定解吸系数, $\alpha_{2D} = \frac{k_2 h q_2}{1.842 \times 10^{-3} q\mu B}$; λ 为窜流系数, $\lambda = \frac{\alpha_m k_m}{k_f} r_w^2$, $\alpha_m = \frac{15}{R^2}$; ω 为储能系数, $\omega = \frac{\varphi_m C_m}{(\varphi_m C_m + \varphi_f C_f)}$; B 为体积系数, m^3/m^3 ; C 为井筒存储系数, m^3/MPa ; C_i 为总压缩系数, m^3/MPa ; h 为地层有效厚度, m ; k 为煤层渗透率, μm^2 ; k_f 为煤层裂缝渗透率, μm^2 ; k_m 为煤层基质渗透率, μm^2 ; p 为地层压力, MPa ; p_i 为地层原始压力, MPa ; p_w 为井底压力, MPa ; q 为生产率, m^3/d ; r 为距离, m ; r_w 是油井半径, m ; R 为球形基质的半径, m ; R_e 为外边界距离, m ; S 为表皮系数; t 为时间, h ; 下标 f 表示裂缝, m 表示基质; φ 为煤层孔隙度; μ 为地层中流体的黏度, $mPa \cdot s$ 。

2.2 数学模型的 Laplace 变化形式

经过 Laplace 变换后的数学模型如下。

控制方程为

$$\frac{\partial^2 \bar{p}_D}{\partial R_D^2} + \frac{1}{R_D} \frac{\partial \bar{p}_D}{\partial R_D} + \frac{\alpha_{1D}}{Z} + \alpha_{2D} \left(\bar{p}_D - \frac{p_{CD}}{Z} \right) = \frac{Z}{C_D e^{2S}} f(Z) \bar{p}_D \quad (10)$$

其中, Z 为 Laplace 变量。

(1) 拟稳态流动(球状/块状基质)模型。

$$f(Z) = \frac{\omega(1-\omega)Z/C_D e^{2S} + \lambda e^{-2S}}{(1-\omega)Z/C_D e^{2S} + \lambda e^{-2S}} \quad (11)$$

(2) 不稳定球板窜流形式(球状/立方体基质)。

$$f(Z) = \omega + \frac{1}{5} \frac{\lambda e^{-2S}}{Z/C_D e^{2S}} \cdot \left(\sqrt{\frac{15(1-\omega)Z/C_D e^{2S}}{\lambda e^{-2S}}} \cdot \coth \sqrt{\frac{15(1-\omega)Z/C_D e^{2S}}{\lambda e^{-2S}}} - 1 \right) \quad (12)$$

内边界条件为

$$\left. \frac{\partial \bar{p}_D}{\partial R_D} \right|_{R_D=1} = -\frac{1}{Z} + Z p_{wD} \quad (13)$$

无限大外边界为

$$\bar{p}_D \Big|_{R_D \rightarrow \infty} = 0 \quad (14)$$

2.3 数学模型的求解方法

有限体积格式可分为单元中心型和节点中心型两类。本文采用单元中心型格式求解。首先对双重孔隙煤层模型进行离散,如图3所示。图4为离散网格中的两个单元,对其进行分析。 P, A 分别为两个三角形的中心,向量 e_η 为 ab 方向的切向量,向量 e_ξ 为 PA 方向的切向量, n 为向量 e_η 的法向量, θ 为向量 n 与向量 e_ξ 的夹角。 ξ, η 为计算单元的局域坐标。

根据上述分析,有限体积法的求解过程为

$$\int_{\Delta V} \left(\frac{\partial^2 \bar{p}_D}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{p}_D}{\partial y^2} + \frac{\alpha_{1D}}{Z} + \alpha_{2D} \left(\bar{p}_D - \frac{p_{CD}}{Z} \right) \right) dV = \int_{\Delta V} \frac{Z}{C_D e^{2S}} f(Z) \bar{p}_D dV \quad (15)$$

参考图4中的变量标记, ΔA_i 是以 P 点为中心的三角形面积, $\bar{p}_A, \bar{p}_P, \bar{p}_a, \bar{p}_b$ 分别为点 A, P, a, b 处的无量纲压力。有限体积计算公式为

$$\sum_{\text{all perface}} \left[\frac{\Delta A_i}{ne_\xi \Delta \xi} (\bar{p}_A^{n+1} - \bar{p}_P^{n+1}) - \frac{e_\xi e_\eta \Delta A_i}{ne_\xi \Delta \eta} (\bar{p}_b^{n+1} - \bar{p}_a^{n+1}) \right] + \left[\frac{\alpha_{1D}}{Z} + \alpha_{2D} \left(\bar{p}_P^{n+1} - \frac{p_{CD}}{Z} \right) \right] \Delta V_i = \left(\frac{Z}{C_D e^{2S}} f(Z) p_P^{n+1} \right) \Delta V_i \quad (16)$$

利用边界条件可计算得到不同时间地层中各点的压力变化。

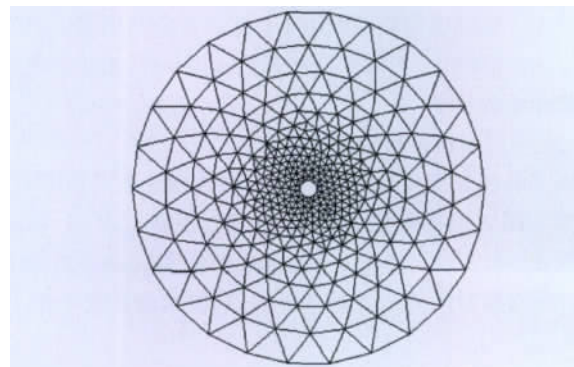


图3 离散网格单元
Fig. 3 Discrete grid

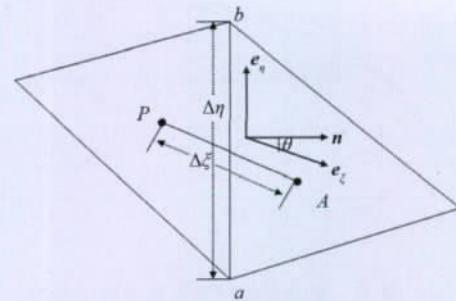


图4 有限体积计算单元
Fig. 4 Computational cell of FVM

3 结果分析

3.1 双重孔隙介质拟稳态窜流特征曲线分析

(1) 不同储能系数特征曲线分析。

为了分析储能系数 ω 对试井理论曲线的影响,分别计算不同 ω 时的理论曲线(压力和压力导数曲线),其中综合系数 $C_D e^{2S} = 1$, 稳定解吸系数 $\alpha_{1D} = 0$, 不稳定解吸系数 $\alpha_{2D} = 0$, 窜流系数 $\lambda = 0.0001$, 如图5所示。在圆形封闭外边界条件下,分别取储能系数 $\omega = 0.8, 0.1$ 和 0.01 。

从图5可以看出,储能系数越小,压力导数曲线下落的

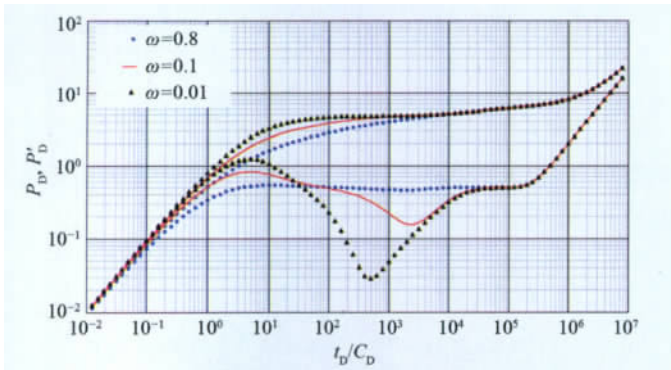


图 5 储能系数对双对数曲线的影响

Fig. 5 Effects of storage coefficient on double logarithmic curves

幅度越大。这说明储能系数越小,达到基质与裂缝之间的窜流稳定的时间越长。当煤层储能系数 $\omega > 0.8$ 时,无法表现出双重孔隙介质的特征。

(2) 不同窜流系数特征曲线分析。

为了分析煤层气窜流系数 λ 对试井理论曲线的影响,分别计算不同 λ 时的理论曲线,其中综合系数 $C_D e^{2S} = 1$,稳定解吸系数 $\alpha_{1D} = 0$,不稳定解吸系数 $\alpha_{2D} = 0$,储能系数 $\omega = 0.05$,如图 6 所示。在圆形封闭外边界条件下,分别取窜流系数 $\lambda = 1, 10^{-5}, 10^{-6}$ 和 10^{-9} 。

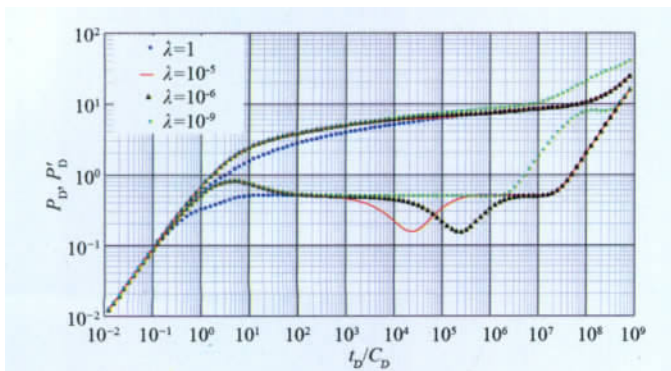


图 6 窜流系数对双对数曲线的影响

Fig. 6 Effects of interporosity flow coefficient on double logarithmic curves

从图 6 可以看出,窜流系数越大,压力导数曲线上“凹陷”出现的时间越早。这说明窜流系数越大,达到基质与裂缝之间窜流稳定所需要的时间越短。窜流系数 $\lambda > 1$ 时很难观测到双重介质特征,因为窜流发生的太快,致使与井储的作用和表皮影响相混合; λ 趋于 0 时,由于受到边界的影响,也很难观测到双重介质特征。

3.2 双重孔隙介质块状不稳态窜流结果分析

(1) 不同储能系数特征曲线分析。

为了分析储能系数 ω 对试井理论曲线的影响,分别计算不同 ω 时的理论曲线,其中综合系数 $C_D e^{2S} = 1$,稳定解吸系数 $\alpha_{1D} = 0$,不稳定解吸系数 $\alpha_{2D} = 0$,窜流系数 $\lambda = 0.00001$,如图 7 所

示。在圆形封闭外边界条件下,分别取储能系数 $\omega = 0.8, 0.1$ 和 0.01 。

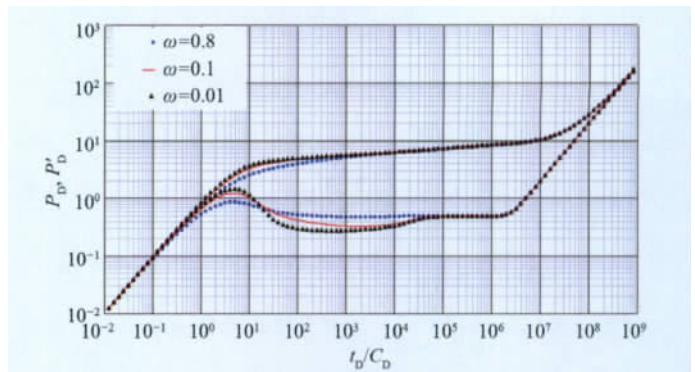


图 7 储能系数对双对数曲线的影响

Fig. 7 Effects of storage coefficient on double logarithmic curves

从图 7 可以看出,储能系数越小,压力导数曲线下落的幅度越大。说明储能系数越小,达到基质与裂缝之间的窜流稳定的时间越长。当煤层储能系数 $\omega > 0.8$ 时,无法表现出双重孔隙介质的特征。

(2) 不同窜流系数特征曲线分析。

为了分析煤层气窜流系数 λ 对试井理论曲线的影响,分别计算不同 λ 时的理论曲线,其中综合系数 $C_D e^{2S} = 1$,稳定解吸系数 $\alpha_{1D} = 0$,不稳定解吸系数 $\alpha_{2D} = 0$,储能系数 $\omega = 0.05$,如图 8 所示。在圆形封闭外边界条件下,分别取窜流系数 $\lambda = 1, 10^{-5}, 10^{-6}$ 和 10^{-9} 。

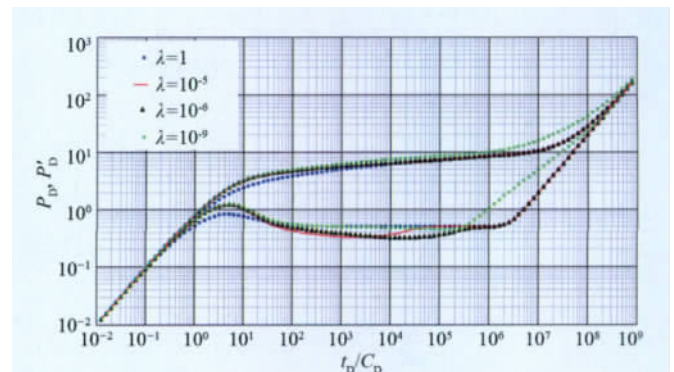


图 8 窜流系数对双对数曲线的影响

Fig. 8 Effects of interporosity flow coefficient on double logarithmic curves

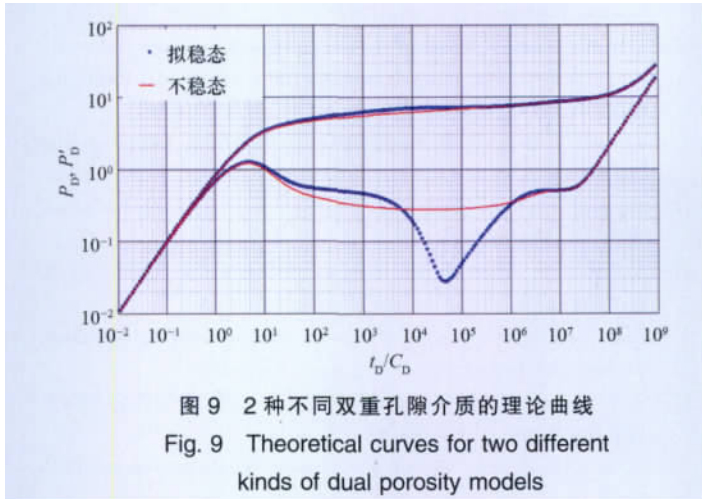
从图 8 可以看出,窜流系数越大,压力导数曲线上的“凹陷”出现得越早。这说明窜流系数越大,达到基质与裂缝之间的窜流稳定所需要的时间越短。窜流系数 $\lambda > 1$ 时很难观测到双重介质特征,因为窜流发生的太快,致使与井储的作用和表皮影响相混合; λ 趋于 0 时,由于受到边界的影响,也很难观测到双重介质特征。

3.3 双重孔隙介质两类模型比较

为了分析 2 种不同煤层窜流模型对试井理论曲线的影

响,分别计算在圆形封闭外边界条件下,系数为 $\omega=0.05, \alpha_{1D}=0, \alpha_{2D}=0, \lambda=10^{-6}$ 时2种模型的理论曲线,如图9所示。

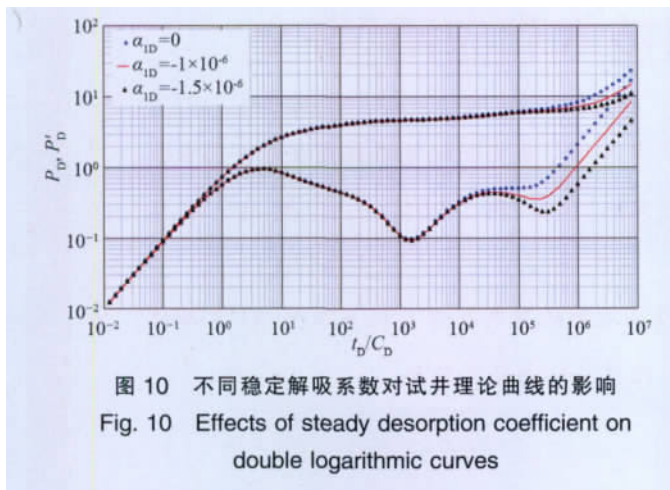
从图9可以看出,拟稳态窜流模型与不稳定窜流模型在中期存在明显差异,拟稳态模型的曲线接近对称的凹谷,不稳定模型呈现平缓的下凹形状。



3.4 双重孔隙模型解吸系数特征分析

(1) 稳定解吸系数。

为了分析煤层气稳定解吸系数 α_{1D} 对试井理论曲线的影响,在封闭条件下,令综合系数 $C_D e^{2S}=10$,解吸系数 $\alpha_{2D}=0$,临界解吸压力 $p_{cD}=0$,启动压力梯度 $\lambda_{FD}=0$,储能系数 $\omega=0.05$,窜流系数 $\lambda=10^{-4}$,考虑 α_{1D} 分别为 $0, -1 \times 10^{-6}, -1.5 \times 10^{-6}$ 时的压力及压力导数曲线,如图10所示。

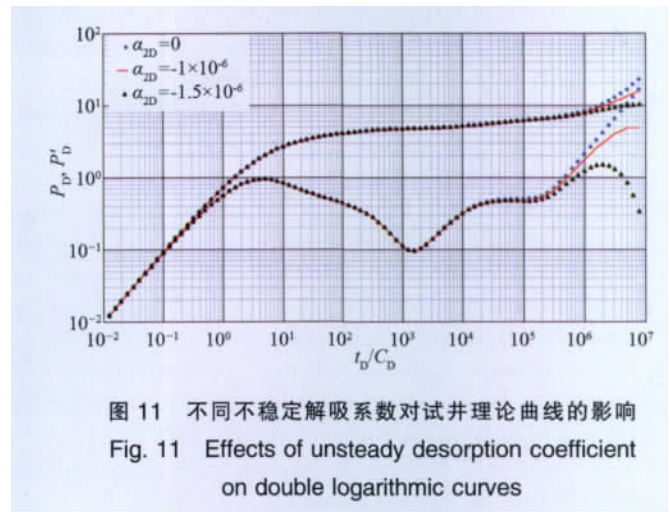


从图10可以看出,稳定解吸系数和外边界条件共同影响特征曲线的后期。当稳定解吸系数为0时,曲线的后期由封闭外边界影响;稳定解吸系数绝对值越大,稳定解吸系数和外边界条件共同影响特征曲线的后期,压力导数曲线下落幅度越大,解吸量越大,从而缓解压力下降的幅度也越大。

(2) 不稳定解吸系数。

为了分析煤层气不稳定解吸系数 α_{2D} 对试井理论曲线的

影响,在封闭条件下,令综合系数 $C_D e^{2S}=10$,解吸系数 $\alpha_{1D}=0$,临界解吸压力 $p_{cD}=0$,启动压力梯度 $\lambda_{FD}=0$,储能系数 $\omega=0.05$,窜流系数 $\lambda=10^{-4}$,考虑 α_{2D} 分别为 $0, -1.5 \times 10^{-7}, -5 \times 10^{-7}$ 时的压力及压力导数曲线,如图11所示。



从图11可以看出,不稳定解吸系数和外边界条件共同影响特征曲线的后期。不稳定解吸系数为0时,曲线的后期由封闭外边界影响;不稳定解吸系数绝对值越大时,不稳定解吸系数和外边界条件共同影响特征曲线的后期,压力导数曲线下落幅度越大,解吸量越大,从而缓解压力下降的幅度也越大。

4 结论

(1) 针对中国双重孔隙介质煤层的特点,考虑煤层气稳定解吸和不稳定解吸特征,提出了两类窜流方式不同的双重孔隙介质煤层不定常渗流模型——双重孔隙介质煤层拟稳态窜流模型和双重孔隙介质煤层块状不稳定窜流模型。

(2) 采用有限体积法对模型进行求解,并分析了两类模型在不同地质参数情况下的特征曲线。

(3) 储能系数越小,压力导数曲线下落的幅度越大,说明储能系数越小,达到基质与裂隙之间窜流稳定的时间越长。

(4) 窜流系数越大,压力导数曲线上的“凹陷”出现的时间越早,说明窜流系数越大,达到基质与裂隙之间的窜流稳定所需要的时间越短。当窜流系数过大或过小,或煤层储能系数过大时,无法表现出双重孔隙介质的特征,从而解释了现场较难得到双重孔隙介质测试曲线的问题。

(5) 稳定、不稳定解吸系数绝对值越大,压力导数曲线下落幅度越大,说明解吸量越大,从而缓解压力下降的幅度也越大。

参考文献 (References)

[1] Barenblatt G I, Zheltov I P, Kochina I N. Basic concepts in the theory of homogeneous liquids in fissured rocks[J]. *Journal of Applied Mathematics*

- and Mechanics, 1960, 24(5): 1286-1303.
- [2] Warren J E, Root P J. The behaviour of naturally fractured reservoirs[J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1963, 3(3): 245-255.
- [3] Odeh A S. Unsteady-state behavior of naturally fractured reservoirs[J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1965, 5(1): 60-66.
- [4] Kazemi H, Seth M S, Thomas G W. The interpretation of interference tests in naturally fractured reservoirs with uniform fracture distribution[J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1969, 9(4): 463-472.
- [5] de Swaan A O. Analytical solution for determining naturally fractured reservoir properties by well testing [J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1976, 16(3): 117-122.
- [6] Serra K, Reynolds A C, Raghavan R. New pressure transient analysis methods for naturally fractured reservoirs [J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1983, 35(12): 2271-2283.
- [7] Streltsova T D. Well pressure behavior of a naturally fractured reservoir [J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1983, 23(5): 769-780.
- [8] Lai C H, Bodvarsson G S, Tsang C F, et al. A new model for well test data analysis for naturally fractured reservoirs, SPE 11688 [C]/SPE California Regional Meeting, Washington DC: SPE, 1983: 23-25.
- [9] Tomas L K, Dixon T N, Pierson R G. Fractured reservoir simulation[J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1983, 23(1): 42-55.
- [10] Chen C C, Serra K, Reynolds A C, et al. Pressure transient analysis methods for bounded naturally fractured reservoirs [J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1985, 15(4): 451-464.
- [11] Pruess K, Narasimhan T N. A practical method for modeling fluid and heat flow in fractured porous media [J]. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 1985, 25(1): 14-26.
- [12] Coats K H. Simulation of gas condensate reservoir performance, SPE. 10512 [C]/The Sixth SPE Symposium on Reservoir Simulation, New Orleans. Washington DC: SPE, 1982.
- [13] Ueda Y, Murata S, Watanabe Y. Investigation of the shape factor used in the dual-porosity reservoir simulator, SPE 19469 [R]. Washington DC: SPE, 1989.
- [14] Aguilera R. Naturally fractured reservoirs [M]. Tulsa, Okla: Petroleum Pub Co, 1980.
- [15] Aifantis E C. On the problem of diffusion in solids [J]. *Acta Mechanica*, 1980, 37(3/4): 265-296.
- [16] 赵良孝, 朴勇. 碳酸盐岩储层测井评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
Zhao Xiaoliang, Pu Yong. Carbonate reservoir welltest and evaluation technique[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994.
- [17] 张烈辉, 李允. 裂缝性油藏水平井数值模拟的进展和展望[J]. 西南石油学院学报, 1997, 19(4): 48-52.
Zhang Lihui, Li Yun. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 1997, 19(4): 48-52.

(责任编辑 安莹, 吴晓丽)

·学术动态·

“2012 年全国博士生学术论坛： 地球结构多尺度探测技术和应用”征文

“全国博士生学术论坛——地球结构多尺度探测和应用”由国务院学位委员会办公室和教育部学位管理与研究生教育司主办,中国地质大学(武汉)承办,将于2012年10月21—22日在武汉市举行。

征稿范围: 1) 近地表探测技术与人类活动 2) 资源与能源探测技术前沿与应用 3) 岩石圈地球物理成像技术 4) 对地探测技术与地学应用 5) 全球变化与环境监测。

全文截稿日期 2012 年 9 月 10 日

联系电话 :027-67883581

电子信箱 :forum2012cug@gmail.com

通信地址 :湖北省武汉市鲁磨路 388 号中国地质大学 (武汉) 地球物理与空间信息学院办公室(430074)

会议网站 <http://dkxy.cug.edu.cn/2012bslt/>

科技新闻媒体关注指数排行榜

(新闻时段:2012-08-10 至 2012-08-20;★为新闻关注度,☆为★/2)

- 1 **“好奇”号传回新照片** [关注指数:★★★★★]
17日,美国航天局发布了“好奇”号火星车传回的最新火星照片,照片展示了夏普山的景象和作为“好奇”号的首个研究目标的一块岩石。该岩石位于“好奇”号右方3米多远处。
- 2 **“好奇”号完成“脑移植手术”** [关注指数:★★★★★]
14日,美国航天局喷气推进实验室科学家表示,“好奇”号火星车的主计算机和备用计算机已完成为期4天的软件升级,也就是说它的大脑已从着陆模式更换为探索模式,为接下来的火星探索任务做好准备。
- 3 **完成北冰洋大西洋扇区多学科环境考察** [关注指数:★★★★☆]
11日,中国第五次北极科学考察队在北冰洋大西洋扇区开展的综合调查结束。此次考察将作业区拓展到北冰洋大西洋扇区的挪威海和格陵兰海,共完成2个断面16个站点的多学科综合科考任务,在中国极地科考史上具有里程碑意义。
- 4 **“大洋一号”科考船抵达尼日利亚** [关注指数:★★★★☆]
17日,中国“大洋一号”科学考察船抵达尼日利亚拉各斯海域,这是中国第一次与非洲国家进行联合海洋科学调查研究,标志着中尼互利合作已经提升到高科技领域。
- 5 **印度批准首个火星探索任务计划** [关注指数:★★★★]
15日,在启动月球任务4年之后,印度已计划向火星发射小型无人卫星,加入美国和欧洲的火星探索队伍,到2013年向火星轨道发射价值1亿美元的航天器。
- 6 **两头转基因“克隆牛”在京出生** [关注指数:★★★★]
13日北京农学院消息,经过3年试验,两头转基因“克隆

- 牛”诞生。技术成功后,还可以在羊、鸡等家禽家畜上试验。该项目是国际上第一批成功转入脂肪性脂肪酸结合蛋白基因的克隆牛,其产犊率达到71.4%。
 - 7 **绘制出电子“华尔兹”轨迹** [关注指数:★★★★☆]
13日,一个来自IBM研究团队和瑞士联邦理工学院的联合小组,首次直接绘制出电子怎样形成一个持续自旋螺旋的过程图,揭示了电子在半导体中跳“华尔兹”舞的情景。这一新进展有助于更有效控制设备内部磁性运动,带来更加节能高效的电子设备。
 - 8 **“万能”流感疫苗研究获进展** [关注指数:★★★★☆]
13日,由斯克里普斯研究所和荷兰Crucell疫苗研究所组成的一个研究小组发现了3种可保护小鼠抵御2种主要的乙型流感病毒株的人类抗体。过去该研究小组曾报告发现了对抗甲型流感病毒株的广谱中和抗体。
 - 9 **揭示糖尿病遗传图谱** [关注指数:★★★★]
14日,一个国际研究小组利用一种新型DNA芯片深入检测了我们的DNA中与型糖尿病有可能存在一些关联的遗传变异,由此发现了超过10个与型糖尿病有关的DNA区域。
 - 10 **发现一种神经疾病致病基因** [关注指数:★★★★]
14日,东京大学和德岛大学的联合研究小组发现了遗传性运动和感觉神经变性病的一个致病基因。这将有助于研发运动神经元疾病的治疗药物。研究发现,名为“TFG”基因可能是该病的致病基因之一。
- (责任编辑 高靖云(实习生),李娜)

·封面图片说明·

煤层中双重孔隙介质渗流理论的应用



具有裂缝和孔隙两种类型孔隙的多孔介质称为双重孔隙介质。该类介质中裂缝主要作为流体的流动通道,孔隙主要作为流体的储集空间,裂缝和基质的渗透率差异较大。根据双重孔隙介质的概念,煤层具有大量微孔以及连接微孔的节理和裂隙,且孔隙的渗透率一般远小于裂隙的渗透率,因此,多数煤层可以看作双重孔隙介质。

中国煤层气资源量丰富居世界第3位,煤层气开发却存在众多问题,主要原因在于对煤层的基本理论研究较少。煤层气是指赋存在煤层中及其围岩之中,以甲烷为主要成分的非常规天然气,是煤的伴

生矿产资源,以吸附在煤基质颗粒表面为主、部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中。煤层气是一种清洁、高效、安全的新能源,所以进行煤层气渗流规律研究对对中国煤层气开发具有重要意义。

1960年Barenblatt Zheltov提出了天然裂缝油藏中的双重孔隙介质概念。1963年Warren和Root又对这一理论加以完善,并求出了双重介质模型的渐近解。1965年,Odeh在双重介质模型中考虑了表皮的影响,分析了压力降落和压力恢复曲线。后来Kazemi(1969),de Swaan(1976),Najurieta(1980),Cinco-Ley等(1982),Serra和Reynolds等(1983)也分别对天然裂缝储层进行研究,把储层看成双重介质,并分析了其流动规律及双重介质特征。

中国对于双重孔隙介质油气藏的数值模拟起步较晚。20世纪70年代末,中国石油勘探开发研究院和胜利油田分别发表了各自的裂缝性油水两相单井锥进模

型。80年代初华北油田的柏松章等完成了油水两相的底水锥进模型。

《科技导报》2012年第24期17—22页刊登的蔡强等的文章针对中国双重孔隙介质煤层的特点,考虑煤层气稳定解吸和不稳定解吸特征,提出两类窜流方式不同的双重孔隙介质煤层不定常渗流模型——双重孔隙介质煤层拟稳态窜流模型和双重孔隙介质煤层块状不稳态窜流模型。采用有限体积法对其求解,并分析两类模型在不同地质参数情况下的特征曲线。

封面图片的最下面两张图自左向右分别是煤层圆形和梯形几何计算模型的网格压力云图,中间两张图分别是煤层圆形和梯形计算模型的压力场图,最上面一张图是煤层矩形几何计算模型的网格压力云图,说明本文的研究成果适合于各种边界类型的双重介质煤层的渗流问题的研究。封面图片由牛丛丛提供,金功博设计。

(责任编辑 吴晓丽)