

文章编号:1673-064X(2007)02-0016-05

# 数字岩心建模及其准确性评价

Construction of digital core and evaluation of its quality

赵秀才,姚军

(中国石油大学(华东)石油工程学院,山东 东营 257061)

**摘要:**介绍了模拟退火算法构建数字岩心的方法,指出了该方法建模时存在的问题,并对算法进行了改进;引入格子 Boltzmann 方法,并用其对所建岩心的传导性进行了评价。研究表明:模拟退火算法所建数字岩心具有良好的各向同性,但因其渗透性过低而与真实岩心差异较大;通过在退火过程中适时清除孤立的岩石颗粒可进一步降低系统能量、优化孔隙空间、加快退火速度,最终建立的岩心具有良好的各向同性、孔隙连通性和渗透性;格子 Boltzmann 方法计算数字岩心的渗透率简便易行,结果准确,可对岩心是否各向同性和渗透性的好坏给出合理评判,因而可作为数字岩心建模准确性评价的重要标准。

**关键词:**数字岩心;模拟退火算法;格子 Boltzmann 方法;岩心传导性

**中图分类号:**TE312;TE319 **文献标识码:**A

合理完善的微观渗流理论是实现微观尺度上大幅度提高原油采收率技术的基础,数字岩心作为微观渗流理论的研究平台发挥着至关重要的作用。迄今,用于构建数字岩心的方法有多种<sup>[1]</sup>,如高斯场法<sup>[2]</sup>、模拟退火法<sup>[3-4]</sup>(Simulated Annealing Algorithm,下文简称 SAA)、过程模拟法<sup>[5-6]</sup>等。显然,数字岩心传导性质的好坏及其与真实岩心是否逼近对于以它为基础开展的后续理论研究有极其重要的影响;然而,以往在评价所建岩心的准确性时并未将岩心的传导性质考虑进来<sup>[7]</sup>,这显然使评价结果令人质疑。本文以模拟退火法为例建立数字岩心,指出了其中的不足并对其加以改进;此后,引入格子 Boltzmann 方法并用它对岩心的传导性质进行了评价,从而大大弥补了常规方法对所建岩心质量评判的不足。

## 1 基于 SAA 的数字岩心建模方法

### 1.1 建模参考函数

本文所要建立的数字岩心为各向同性且具有统计均质性的两相系统(仅考虑孔隙和岩石骨架),建模时各个参考函数均以孔隙空间为分析对象。此时该数字岩心系统可由相函数  $Z(\vec{r})$  描述,以  $Z(\vec{r})$  为基础,岩心孔隙度  $\phi$  可由统计平均值给出,即

$$Z(\vec{r}) = \begin{cases} 1 & \vec{r} \text{ 孔隙} \\ 0 & \vec{r} \notin \text{孔隙} \end{cases} \quad (1)$$

$$\phi = \overline{z(\vec{r})}, \quad (2)$$

式中,  $\vec{r}$  为系统中的任意一点,  $(\overline{\quad})$  表示统计平均(下文与此同)。

孔隙度是描述岩心孔隙空间特征的最基本的

收稿日期:2006-11-20

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:90610015)资助

作者简介:赵秀才(1982-),男,博士研究生,主要从事储层岩石微观结构建模及微观渗流理论的研究与应用。

E-mail:zhaoxiucui1234@126.com.

量,它给出了孔隙在整个岩心系统中所占的分额.除孔隙度外,两点概率函数  $S(r)^{[4]}$ (下文简称函数  $S$ )、线性路径函数  $L(r)^{[4]}$ (下文简称函数  $L$ )也是刻画孔隙空间特征的重要函数,定义如下:

$$S(r) = \frac{Z(\vec{r}) \times Z(\vec{r} + r)}{V}; \quad (3)$$

$$L(r) = P(\vec{r}, \vec{r} + r); \quad (4)$$

$$P(\vec{r}, \vec{r} + r) = \begin{cases} 1 & r_x \text{ 孔隙} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

式中,  $r_x$  是线段  $[\vec{r}, \vec{r} + r]$  上的任意一点,  $r$  为间隔距离.

为计算方便,取  $r$  单位为体素数,体素数与体素棱长的乘积即物理长度,下文所有长度单位与此同,对于二维图像  $r$  的单位是像素数.

## 1.2 建模过程

以 CT 图像为基本资料应用  $\phi, S$  及  $L$  函数建模.  $\phi, S, L$  均可通过用于建模的岩心图像计算得到. 设  $S_r$  和  $L_r$  分别为 SAA 建立的数字岩心系统中与  $S$  和  $L$  相对应的函数,则 SAA 建模实际上是对系统不断优化直至  $S_r$  和  $L_r$  与  $S$  和  $L$  足够逼近为止.

首先随机生成孔隙度为  $\phi$  的三维 0,1(0 表示岩石骨架,1 代表孔隙)数字岩心系统,启动退火进程. 设某时刻计算出第  $k$  个系统的  $S_r$  和  $L_r$ ,此时系统(称为原系统)的能量

$$E_T = E_S + E_L = \sum_i w_i [S_r(r_i) - S(r_i)]^2 + \sum_i w_i [L_r(r_i) - L(r_i)]^2. \quad (5)$$

式中,  $w_i$  和  $w_i$  为对应不同自变量的函数的权重值. 之后,在孔隙空间和岩石骨架空间中分别随机选取一孔隙点和骨架点,将两者位置互换得到一个新系统(第  $k+1$  个系统). 可见采用该方案生成的新系统可以在整个优化过程中自动保持孔隙度与岩心图像孔隙度的一致性. 计算新系统的  $S_r, L_r$  和系统能量  $E$ ,判断新系统是否满足 Metropolis 准则(式 6),若满足则用其更新原系统;否则新系统被抛弃而原系统被保留,以此使系统不断优化. 最终,当系统温度足够低或在某一温度下系统更新失败的次数足够大时,认为系统已被更新至最优状态.

$$P = \begin{cases} 1 & E \leq 0 \\ \exp\left(-\frac{E}{T}\right) & E > 0 \end{cases} \quad P = \text{RAN}(1,0) \quad (6)$$

式中,  $P$  为新系统的接受概率;  $E = E^{k+1} - E^k$ ;  $T$  为控制参数,称“温度”; $\text{RAN}(1,0)$  为区间  $(0.0, 1.0)$  内的随机数.

## 2 SAA 建模存在的问题及建模方法的改进

### 2.1 存在的问题

基于 SAA 的建模技术建立小规模数字岩心(如  $100^3$  体素)时可大大降低系统能量,输出的数字岩心系统能量通常小于  $10^{-6}$ ;然而随着建模规模的增大,建模时间急剧增长且输出系统的能量逐渐升高,如图 1 所示. 此外,所建立的岩心孔隙空间与真实孔隙空间的差距增大,如图 2 所示,黑色代表岩石骨架,白色代表孔隙空间(下文图 4、图 8、图 9 与此同). 可见孔隙空间中散落着大量的岩石骨架点,即有许多岩石颗粒散落在孔隙空间中,这在实际中显然是不存在的.

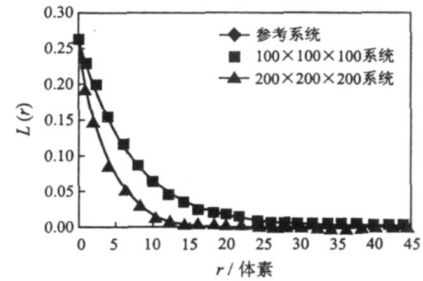


图 1 不同规模系统的线性路径函数差异

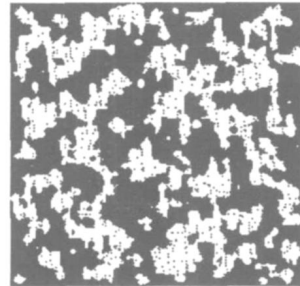


图 2 SAA 建模岩心单层图

### 2.2 SAA 建模的方法改进

本文结合建模过程中所出现的实际问题采用以下思路来减小系统差异,加快系统优化速度. 设初始系统的能量为  $E_S$ ,当系统进化至其能量  $E$  满足:

$E \leq E_S/2$  时开始优化系统,优化顺序为:首先清除由单个体素组成的孤立单元,之后根据系统性能的改善程度决定是否清除 2 个或更多个体素组成的孤立单元,该过程中骨架单元的搜索是全局遍历的,孔隙单元的搜索是随机的. 系统每次被优化完后仍然按照原先的算法流程继续降温,此后检测系统每经过  $Num$  次更新系统能量的改变量,如果该值小于极小

值  $abs$ , 则开始新一次系统优化 ..... 直至程序终止条件得以满足.  $Num$  和  $abs$  的数值均需根据实际情况设置, 下文将改进的 SAA 简称为 ISAA.

### 3 数字岩心传导性分析

本文将采用格子 Boltzmann 方法(下文简称 LBM) 分析岩心内的流场分布并给出岩心渗透率值来对岩心的传导性进行可靠的评价. LBM 发展历程及边界处理等问题可参见文献 8. 与其他数值计算方法相比, LBM 所用的边界处理方法较简单, 已有学者通过该方法对流体在多孔介质中的渗流问题作过研究并取得了很好的效果<sup>[9-10]</sup>. 与以往多数学者相同, 本文同样采用 LB GK 模型中最常用的 DnQb 系列模型<sup>[11]</sup>, 只是此处为三维问题, 故选用 D3Q19 模型(图 3) 来计算数字岩心渗透率, 模型各要素如下:

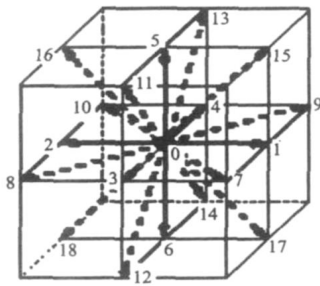


图 3 D3Q19 模型网格结构图

离散速度方向

$$e_i = \begin{cases} (0,0,0) & i = 0 \\ (\pm 1, 0, 0), (0, \pm 1, 0), (0, 0, \pm 1) & i = 1, \dots, 6 \\ (\pm 1, \pm 1, 0), (0, \pm 1, \pm 1), (\pm 1, 0, \pm 1) & i = 7, \dots, 18 \end{cases} \quad (7)$$

演化方程

$$f_i(x + e_i, t + \tau) = f_i(x, t) - \frac{\tau}{c^2} (f_i(x, t) - f_i^{eq}(x, t)). \quad (8)$$

平衡态分布函数

$$f_i^{eq} = \tau \left[ 1 + 3 \frac{e_i \cdot u}{c^2} + 4.5 \frac{(e_i \cdot u)^2}{c^2} - 1.5 \frac{u^2}{c^2} \right]. \quad (9)$$

宏观密度、宏观速度

$$\begin{aligned} \rho &= \sum_i f_i(x, t), \\ u \cdot e_i &= \sum_i f_i(x, t) e_i. \end{aligned} \quad (10)$$

式(7) —(10) 构成 LBM 迭代模型. 其中,  $f_i(x, t)$  为格点  $x$  处  $t$  时刻沿  $i$  方向的粒子分布函数;  $\tau$  为弛豫(松弛)时间;  $c = \Delta x / \Delta t$  为格子速度,  $\Delta x$  和  $\Delta t$

分别为网格步长和时间步长. 权系数  $t = 1/3 (i = 0)$ ;  $t = 1/18 (i = 1, \dots, 6)$ ;  $t = 1/36 (i = 7, \dots, 18)$ .

在实际计算中, 由于数字岩心为一立方体, 故先设定流体渗流的方向, 此后将其余四面用一层骨架点封隔起来. 为保证二阶计算精度, 孔隙与岩石骨架之间采用曲线边界条件<sup>[12]</sup>, 出入口施加一定压力梯度  $\nabla p$ .

### 4 实例计算及结果分析

#### 4.1 建模资料及建模函数的提取

图 4 所示为实际岩心的 CT 扫描图像二值化后的黑白图, 大小为  $376 \times 337$  个像素, 每个像素点对应的实际尺寸为  $5 \mu m \times 5 \mu m$ . 提取建模参考函数如下: 孔隙度  $\phi = 0.259$ . 由公式(3) 和(4) 分别计算函数  $S, L$ , 结果如图 5 所示.



图 4 岩心真实 CT 图

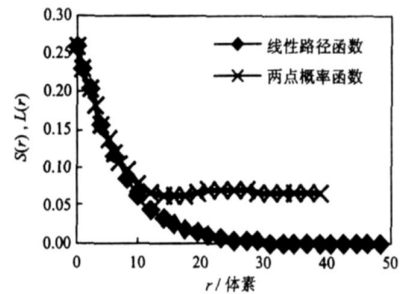


图 5 CT 图函数 S 及函数 L 曲线图

#### 4.2 建模参数设置

分别采用 SAA 及 ISAA 建立数字岩心, 设定建模规模为  $200 \times 200 \times 200$  个体素, 函数  $S, L$  的取值长度分别为 40 和 50 个体素. ISAA 与 SAA 采用同一套建模参数, 对于 ISAA, 令  $E = E_S/2$  开始对系统进行优化, 且整个过程中仅对单个体素组成的孤立单元进行剔除. 此外,  $Num$  和  $abs$  的取值分别为 1 000 和  $10^{-5}$ .

#### 4.3 SAA 与 ISAA 建模结果的对比分析

##### 4.3.1 系统能量及建模速度对比 将退火过程刚

刚启动时随机生成的最初系统称为原始随机系统, SAA 及 ISAA 建立的数字岩心的各项能量及建模过程中的系统更新次数如图 6 所示, 其中,  $E_S$ ,  $E_L$ ,  $E_T$  分别表示各系统相应于公式(5)中的各项能量. 由图 6 可见, SAA 及 ISAA 都可以有效优化原始随机系统, 输出数字岩心的能量较原始随机系统的能量大幅度降低, 但比较而言, ISAA 能够更有效地降低系统能量. 此外, 从原始随机系统到最终的结果系统, ISAA 所需要的系统更新次数明显少于 SAA, 即 ISAA 可以缩短建模时间.

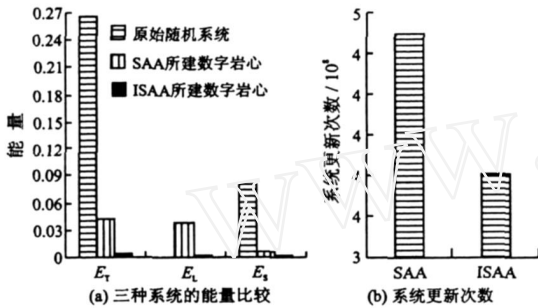


图 6 三种系统的能量及系统更新次数比较

4.3.2 参考函数对比 图 7 为不同系统的参考函数  $S$  和函数  $L$  的比较, 可以看出: 原始随机系统与真实岩心差异很大, 函数  $S$ 、函数  $L$  均如此, 反映了原始随机系统的无序. 如图 8 所示, 孔隙点几乎均匀分布, 无法反映岩心孔隙空间的任何特征. 原始随机系

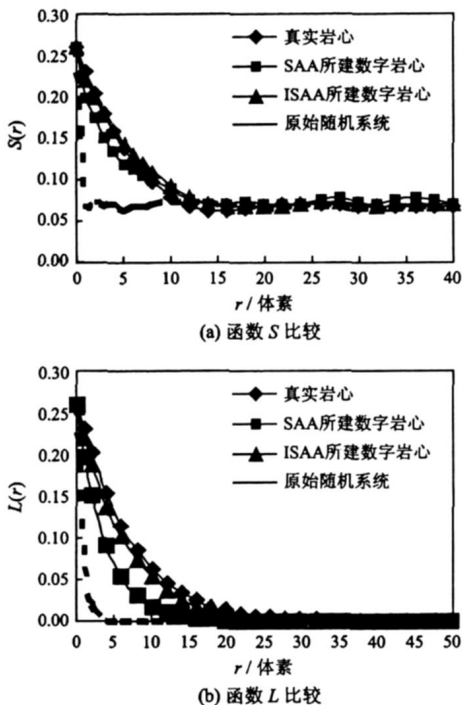


图 7 不同系统计算所得的参考函数比较

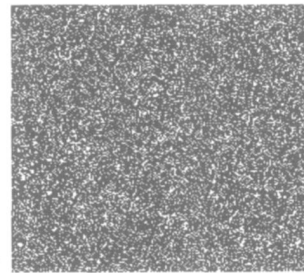


图 8 原始随机系统单层图

统经 SAA 及 ISAA 处理后性能显著改善, 函数  $S$  和  $L$  与参考介质的差异很小; 相比而言, ISAA 所建立的数字岩心同真实岩心的差异较 SAA 的小, 该特征对函数  $L$  尤其明显. 这说明, ISAA 不但能够进一步优化数字岩心中孔隙的空间分布(函数  $S$  的作用), 更能够增加孔隙的局部连通性能(函数  $L$  的作用), 因而使建模结果更加可靠.

4.3.3 数字岩心孔隙空间对比 图 9 是取自 SAA 和 ISAA 所建数字岩心的单层图像. 可以看出:

SAA 及 ISAA 所建立岩心均能够明显体现岩心的孔隙空间特征; SAA 所建岩心的孔隙空间中散落着大量的孤立岩石颗粒, 而 ISAA 所建岩心基本不存在该问题; 由于真实孔隙空间中不存在孤立的岩石颗粒, 因此 ISAA 所建岩心更逼近真实岩心. 图 10 为 SAA 及 ISAA 所建岩心的透视图, 其中黑色为孔隙, 骨架透明, 灰色为被取像边界切割开的孔隙. 图 10(a) 中灰色表面上存在的空穴即散落在孔隙中的岩石颗粒, 图 10(b) 则基本没有, 同样反映出 ISAA 更强的建模能力.

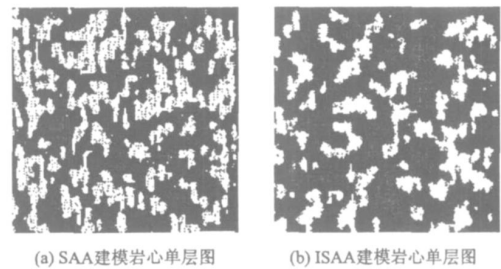


图 9 SAA 建模及 ISAA 建模岩心单层图

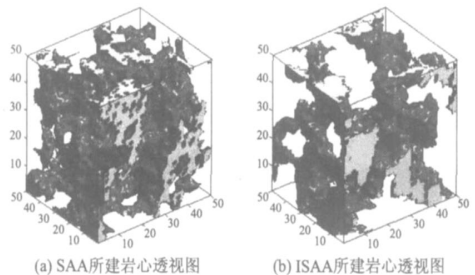


图 10 SAA 及 ISAA 所建岩心透视图

#### 4.4 数字岩心传导性分析

应用LBM方法计算数字岩心的渗透率,选择水作为测试流体,其密度取 $1\ 000\ \text{kg}/\text{m}^3$ ,格子长度取单个像素分辨率 $5\ \mu\text{m}$ ,其余参数取值: $c = 1$ ,  $\tau = 0$ .

表1 岩心实验流速及渗透率数据表

岩心	流速 / ( $10^{-6}\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )			渗透率 / $\mu\text{m}^2$		
	X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
SAA 所建数字岩心	0.669 9	0.690 2	0.685 9	0.462	0.476	0.473
ISAA 所建数字岩心	1.167 3	1.177 4	1.174 5	0.805	0.812	0.810

\* 真实岩心渗透率为 $0.715\ \mu\text{m}^2$

由表1可见: SAA及ISAA所建立岩心沿X, Y, Z方向的渗透率均十分接近,说明两种方法所建岩心均有很好的各向同性; SAA所建岩心的渗透性远低于真实岩心而ISAA所建岩心的渗透性则高于真实岩心,但其偏离程度较前者大大减小,说明ISAA所建岩心更逼近于真实岩心.分析认为:SAA所建岩心渗透性偏低是由于岩心中孤立孔隙的数量太多导致孔隙连通程度降低造成的;ISAA所建岩心渗透性偏高则是由于所建岩心中孔隙空间分散程度不够、孔隙尺寸偏大造成的.尽管如此,ISAA所建岩心的良好的孔隙空间连通性和渗透性使其在研究流体在多孔介质中的分布及渗流等一系列问题时更具优势.

## 5 结 论

(1) 模拟退火算法所建数字岩心具有良好的各向同性,但由于岩心内存在大量孤立岩石颗粒和孤立孔隙,导致其渗透性过低而与真实岩心有较大差异.

(2) 在退火过程中通过对孤立岩石骨架颗粒的适当清除可进一步降低系统能量、优化孔隙空间、加快退火进程,最终建立的岩心具有良好的各向同性和孔隙连通性;尽管岩心渗透性偏高于真实岩心,但其差异较最初的模拟退火算法所建系统的小;因此,改进后的模拟退火算法所建数字岩心更适于渗流理论研究.

(3) 格子 Boltzmann 方法能够轻易实现对任意复杂边界的简单处理,以它计算数字岩心的渗透率简便易行、结果准确,可以对岩心是否各向同性和渗透性的好坏给出合理评判,因而可作为数字岩心建模准确性评价的重要标准.

$75, \nabla p = 1.45 \times 10^6\ \text{Pa}/\text{m}$ . 令流体分别沿 X, Y, Z 方向渗流,流动稳定后沿个方向分别统计流量并根据达西公式计算个方向的渗透率,结果如表1所示.

#### 参 考 文 献:

- [1] 姚军,赵秀才,衣艳静,等.数字岩心技术的发展及展望[J].油气地质与采收率,2005,12(6):52-54.
- [2] Quiblier J A. A New Three-Dimensional Modeling Technique for Studying Porous Media[J]. Journal of Colloid and Interface Science,1984,98(1):84-102.
- [3] Hazlett R D. Statistical Characterization and Stochastic Modeling of Pore Networks in Relation to Fluid Flow[J]. Mathematical Geology,1997,29(6):801-822.
- [4] Yeong C L Y, Torquato S, Reconstructing Random Media. II. Three-Dimensional Media from Two-Dimensional Cuts[J]. Phys Rev E,1998,58(1):224-233.
- [5] Bakke S, Oren P E. 3-D Pore-Scale Modeling of Sandstones and Flow Simulations in the Pore Networks[J]. SPE Journal,1997,2(2):136-149.
- [6] Oren P E, Bakke S. Process based reconstruction of sandstones and predictions of transport properties[J]. Transport in Porous Media,2002,46(2-3):311-343.
- [7] Biswal B, Manwart C, Hilfer R, et al. Quantitative analysis of experimental and synthetic microstructures for sedimentary rocks[J]. Physica A,1999,273(3/4):452-475.
- [8] 郭照立. 模拟不可压流体流动的格子 Boltzmann 方法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2000.
- [9] 阎广武,胡守信,施卫平. 用 Lattice Boltzmann 方法确定多孔介质的渗透率[J]. 计算物理,1997,14(1):63-67.
- [10] 钱吉裕,李强,宣益民,等. 确定多孔介质流动参数的格子 Boltzmann 方法[J]. 工程热物理学报,2004,25(4):655-657.
- [11] Qian Y H, Humieres D, Lallemand P. Lattice BGK models for the Navier-Stokes equation [J]. Europhys Letters, 1992,17(1):479-484.
- [12] Mei R, Shyy W, Yu D, et al. Lattice Boltzmann method for 3-D flows with curved boundary[J]. J Compu Phys, 2000,161(2):680-699.

编辑:张新宝

## ABSTRACTS OF THE PRESENT ISSUE ( JXSY UISSN 1673-064 X)

### Basic formulas of fractal seepage and type-curves of fractal reservoirs

**Abstract :** The basic expressions for the flow in the porous media with dual fractal dimensions (surface fractal dimension and tortuosity fractal dimension) are derived ,and they include seepage velocity formula ,permeability formula and porosity formula. It is proved that these formulas are correct in any coordinate system. The partial differential equations for the seepage of slightly compressible fluid in the porous media ,that is ,pressure diffusion equations for the dual fractal porous media are established in various coordinate systems. And the solutions of these equations are obtained for line-source well and under considering wellbore storage and skin factor. The typical curves for infinite formation are drawn in log-log plots. The well-testing interpretation method and steps by type-curve fitting are given. The study indicates that for the dual fractal porous media the well testing analysis by Horner method and Gringarten-Bourdet curve fitting technique will brings greater errors ,particularly for the media with greater tortuous fractal dimension.

**Key words :** fractal reservoir ;seepage velocity ;permeability ;porosity ;fractal reservoir type-curve

KONG Xiang-Yan , LI Da-lun , LU De-tang (Department of Mechanics and Mechanical Engineering ,University of Science and Technology of China ,Hefei 230027 ,Anhui ,China) JXSYU 2007 V. 22 N. 2 p. 1-5 ,10

### Study on the coupling effect of the unsteady seepage in rock fractures with the rock deformation by using DDA ( discontinuous deformation analysis) method

**Abstract :** This paper aims at analyzing the coupling effect of the unsteady seepage in rock fractures with the rock deformation. Due to the seepage ,the unsteady flow will be formed in rock fractures. The unsteady flow will produce a load on the surface of the fractures and make the rock produce deformation ,and then the deformation will influence the seepage characteristics of the rock. So the seepage field and the deformation field form the coupling effect. The DDA instantaneous equilibrium equation of the fracture network units is established according to minimum energy principle. The finite element programs for computing the water heats of the steady flow and unsteady flow in the rock fractures based on DDA are compiled ,the computed results accord with experimental results ,which verifies the reliability of the mathematical models used in the programs. Groundwater is one of the important factors influencing the deformation and stability of side slope. Through the simulation of the destructive process of some tunnel ,the seepage —deformation coupling DDA method is used for studying the effect of groundwater on the stability of fracture side slope. The simulation result accords with the actually generated result ,which verifies the reliability of the method.

**Key words :** rock fracture ;unsteady seepage ;seepage —deformation coupling ;discontinuous deformation analysis (DDA) method

ZHANG Guo-xin , GE Sha-qing , CHEN Ping (Research Institute of Structural Material ,China Water Conservancy and Hydropower Science Academy) JXSYU 2007 V. 22 N. 2 p. 6-10

### Primary investigation of the coupling of channel flow with seepage

**Abstract :** In accordance with the characteristics of vuggy reservoirs ,a basic idea for studying the flow law in this kind of media is put forward :this kind of vuggy reservoir system is decomposed into vug units and fracture units ,the two kinds of units alternatively connect and consist of the total reservoir system. The flow in vug units is considered as channel flow or piping flow ,and the flow in fracture units as seepage and follows Darcy law. Based on this idea ,the planar linear flow theory of vuggy reservoirs is established ,and the corresponding physical model ,mathematical model and its numerical solving method are presented respectively.

**Key words :** vuggy reservoir ;vug unit ;fracture unit ;coupling of channel flow with seepage flow

LIN Jia-en<sup>1,2</sup> , LI Liang<sup>2</sup> , YANG Hu-zhu<sup>1</sup> (1. Department of Mechanics ,Tsinghua University ,Beijing 100084 ,China ;2. College of Petroleum Engineering ,Xi 'an Shiyou University ,Xi 'an 710065 ,Shaanxi ,China) JXSYU 2007 V. 22 N. 2 p. 11-15

### Construction of digital core and evaluation of its quality

**Abstract :** The method for constructing digital core using simulated annealing algorithm (SAA) is introduced. The disadvantages of the algorithm are pointed out and the improvement of it is presented. The conductivity of the digital core constructed by the improved algorithm is evaluated by lattice Boltzmann method (LBM) . It is shown that ,the constructed digital core has good isotropy ,but there is the greater difference between it and real core due to its very low permeability. Removing the isolated rock particles in appropriate times in annealing process can further decrease system energy ,optimize the size of pores and increase annealing speed ,which makes the finally constructed digital core have good isotropy ,pore connectivity and permeability. Computing the permeability of the digital core by using the lattice Boltzmann method can effectively evaluate the isotropy and permeability of the digital core and can be as an important standard for evaluating the rationality of digital core modeling.

**Key words :** digital core ;simulated annealing algorithm ;lattice Boltzmann method ;conductivity of core

ZHAO Xi-rui , YAO Jun (Faculty of Petroleum Engineering ,China University of Petroleum (East China) ,Dongying 257061 ,Shandong ,China) JXSYU 2007 V. 22 N. 2 p. 16-20

### Study on the seepage characteristics in fractured network porous media

**Abstract :** As the fundamental research of the seepage characteristics of fractured network porous media ,the seepage characteristics of the fractal bifurcate network model are discussed but the effects of the seepage of the parent material of the porous media on the seepage characteristics are not considered. The seepage characteristics include the relationships between some transport parameters ,such as pressure ,flow rate ,flow resistance ,permeability etc. and the fractured network structure and porosity of the porous media ,