

# 利用 IRIS Explorer 数据可视化软件进行 孔隙级数字岩心可视化研究

陶 军, 姚 军, 赵秀才 (中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 东营 257061)

[摘要] 孔隙级渗流机理研究是在孔隙尺度上研究多相流动规律, 对数据的可视化要求较高, 利用可视化软件 IRIS Explorer 可以很方便地对结果数据进行可视化。对由模拟退火算法重建的数字岩心进行可视化后, 可以形象地观察孔隙空间的分布, 为算法的改进提供依据。此外由岩心提取的孔隙网络模型是一个抽象的数据体, 经可视化后可以观察到孔隙孔喉的连接分布情况, 为进一步的流动机理研究提供了有力的帮助。

[关键词] 岩心; 数字化; 数据可视化; 孔隙级; 渗流机理; 网络模型; 数字岩心

[中图分类号] TE19

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-9752(2006)05-0051-03

孔隙级渗流机理研究是在孔隙尺度上研究流体的各种流动现象以及与宏观性质之间的联系。随着计算机技术的发展, 目前利用孔隙级网络模型来研究渗流机理已经成了一个热门的研究方向<sup>[1]</sup>。实现孔隙级别上的数据可视化, 将有助于对各种流动机理的认识。利用 NAG (Numerical Algorithms Group) 公司推出的 IRIS EXPLORER 数据可视化软件可以形象生动地展现所研究问题的实质, 有助于科研人员对问题的更一步认识。笔者在孔隙级渗流机理研究当中利用该软件成功地实现了各种数据体的可视化。

## 1 数字岩心重建结果的可视化

在孔隙级渗流机理研究中, 最重要的就是如何详细地表征孔隙空间。目前主要有两大类方法: 直接描述法和数字重建法。直接描述法就是用核磁共振成像技术 (NMR) 来描述真实岩心及其孔隙。这种方法具有完全真实的优点, 可以作为验证数字重建法正确性的依据, 但这种方法由于成本高昂而不容易实现。数字重建法就是在计算机的帮助下, 利用各种算法进行数字重建岩心。按所采用算法的不同, 数字重建方法又可以分为两类: 统计法和过程法。数字重建具有成本低速度快的优点, 但它反映岩心孔隙空间的真实程度还有待于进一步研究。

笔者利用 IRIS Explorer 对模拟退火算法<sup>[2]</sup>所重建的数字岩心进行了可视化。在 IRIS Explorer 中, 各个功能都已实现模块化, 而且可以自行用 C 语言编程添加新的功能模块, 具有极大的灵活性。笔者所重建的数字岩心是以模拟退火算法为基础, 以岩心切片图像的统计信息为输入参数, 最终形成数字岩心的二进制数据体。重建的数字岩心的大小为: 200 × 200 × 100 像素点, 实际大小为 1.5mm × 1.5mm × 0.75mm。

图 1 为用 IRIS Explorer 实现数字岩心可视化时的模块图。首先把二进制数字岩心的数据体按照 IRIS Explorer 中的 Lattice 数据格式形成文本文件, 由 ReadLat 模块负责读入。BoundingBox 负责添加三维边框。IsosurfaceLat 显示 Lattice 数据。最后由 Render 输出最终的结果图。图 2 为最终的数字岩心三维图, 图中所显示的为岩心孔隙部分。在 IRIS Explorer 中显示出数字岩心后, 可以很方便地对三维图进行各种控制。如进行图像旋转、缩放等基本操作。此外还可以对三维图像进行任意角度的切片分析。

## 2 孔隙网络模型的可视化

首先随机产生一个立方网络模型。在该模型中共有 10 × 10 × 10 个孔隙, 孔隙与孔隙之间由孔喉相

[收稿日期] 2006-06-06

[基金项目] 中国石油化工集团公司科技攻关项目 (P05056)。

[作者简介] 陶军 (1974-), 男, 1999 年大学毕业, 博士生, 从事油气田开发研究工作。

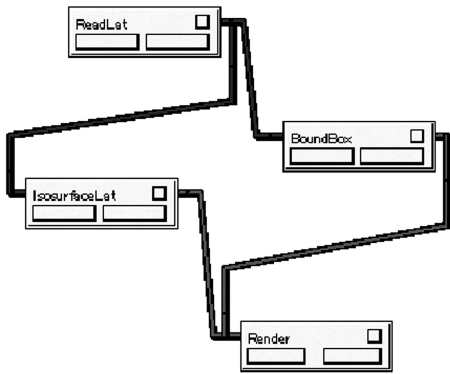


图 1 数字岩心可视模块图

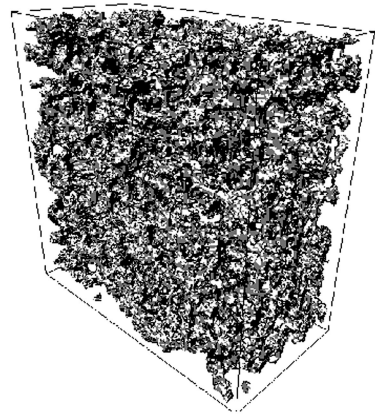


图 2 数字岩心可视化结果图

连。由于是立方网络，所以在模型中孔隙的位置已经确定。而孔隙与孔喉的大小、孔喉的长度等参数则采用下式的韦泊分布随机产生。

$$r = (r_{max} - r_{min}) \{ - \ln [ x(1 - e^{-V}) + e^{-V} ] \}^V + r_{min} \tag{1}$$

式中,  $x$  为随机数;  $r$  为孔隙孔喉半径,  $m$ ;  $r_{max}$ ,  $r_{min}$  分别为最大、最小孔隙孔喉半径,  $m$ ; 和  $V$  为韦泊分布中的系数。

在给定最大值与最小值以及确定的参数后, 就可以利用式(1)产生孔隙、孔喉半径以及孔喉长度等变量的分布。此外还得确定模型的大小以及平均配位数等参数。在模型中, 孔隙孔喉的横截面并不全是圆形, 也可以是矩形和三角形。由于存在有角落的孔喉, 因而在不同的油水两相驱替过程中, 在毛细管力的作用下, 角落就有可能始终含有水。这些有水的角落如果在网络中处于连通, 则它对水的流动将有明显的影响。当孔隙孔喉截面为三角形时, 还涉及到形状因子这一概念。形状因子  $G$  定义为:

$$G = A / P^2 \tag{2}$$

式中,  $A$  为三角形截面面积,  $m^2$ ;  $P$  为三角形截面周长,  $m$ 。在所产生的由孔隙孔喉连接而成的立方网络中, 形状因子  $G$  的分布也按照式(1)随机产生。表 1 给出了生成立方网络时的基本参数。

以表 1 中的数据为输入参数, 可以生成一个立方网络。利用该立方网络模型, 可以在孔隙级别上进行渗流机理研究, 如计算毛细管压力、油水两相的相对渗透率等参数。

利用 IRIS Explorer 可以很方便地对创建的孔隙网络模型进行三维显示。图 3 为孔隙网络模型可视化时的程序结构图。需要说明的是, 图 3 中 LatFunction 模块是用 C 语言自行编制的功能模块。图 4 为立方网络中孔隙的分布图。图 5 为孔隙与孔喉连接以后的图。

此外, 对基于真实岩心所形成的孔隙网络模型也进行了可视化。该数据体来源于 Martin Blunt 领导的孔隙级模拟研究小组<sup>[1]</sup>。按照 IRIS Explorer 所要求的数据格式修改该数据体后, 输入到如图 3 所示的程序中, 可以得到图 6 所示的基于真实岩心的孔隙网络模型。

对比图 5 和图 6, 可以发现, 虽然立方网络可以通过拟合一些实验数据来在孔隙级别上研究渗流机理, 但它与真实的多孔介质之间还存在着巨大的差距。国外学者已经实现了利用真实岩心提取对等孔隙网络模型来研究渗流机理, 而国内在这方面的研究相对较少<sup>[3-6]</sup>。

### 3 结 论

1) IRIS Explorer 不仅是一个灵活的开发平台, 它还可以作为一个灵活的工具用于日常工程分析和应用研究。笔者利用它进行了孔隙级数字岩心的可视化研究。

表 1 立方网络基本参数

参数名	参数取值
X 方向孔隙数	10
Y 方向孔隙数	10
Z 方向孔隙数	10
孔喉半径最小值/ $\mu m$	1.0
孔喉半径最大值/ $\mu m$	10.0
孔喉长度最小值/ $\mu m$	1.0
孔喉长度最大值/ $\mu m$	20.0
三角形形状因子最大值	0.01
三角形形状因子最小值	0.048
孔喉截面矩形所占比例	0.1
孔喉截面圆形所占比例	0.05
平均配位数	4.0

2) 对数字岩心进行可视化，可以形象直观地反映出重建岩心中存在的问题，方便对重建算法进行改进。孔隙网络模型的可视化，直观地再现了网络模型的结构组成。在计算成本允许的情况下，可以实时地显示出模型中的多相流动过程。

3) 孔隙级渗流机理研究是在孔隙尺度上进行多相流动机理研究，借助于有力的可视化工具，可以更为形象地反映出研究问题的本质。

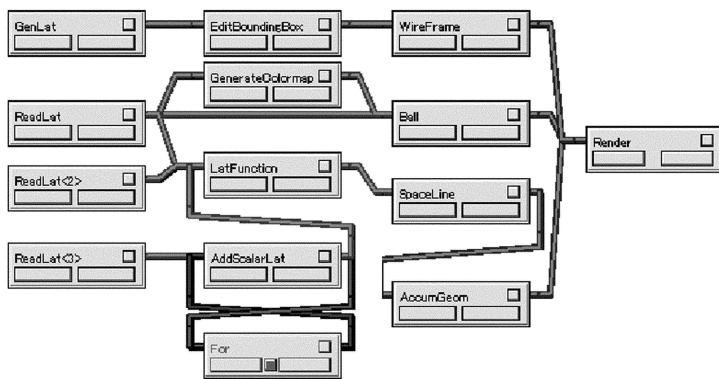


图 3 立方网络模型可视化程序结构

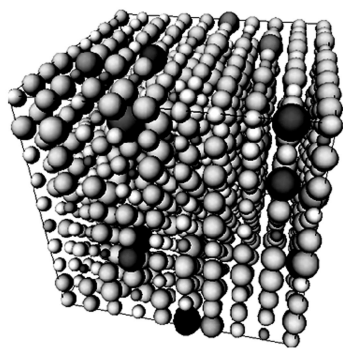


图 4 立方网络中孔隙分布

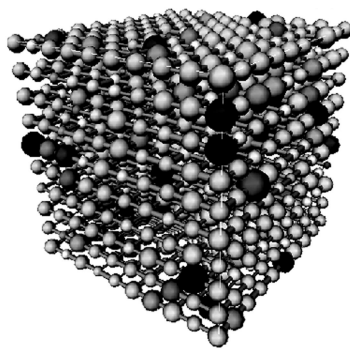
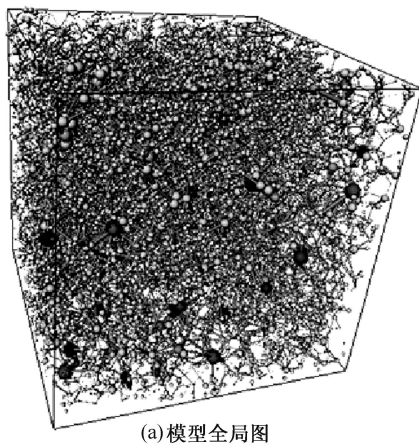


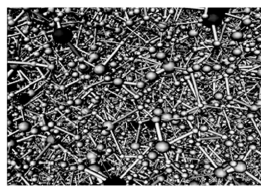
图 5 立方网络中孔隙孔喉分布



(a) 模型全局图



(b) 局部孔喉



(c) 局部孔隙与孔喉

图 6 基于真实岩心所形成的孔隙网络模型

[参考文献]

[1] Blunt M.J. Flow in porous media-pore-network models and multiphase flow [J]. Current Opinion in Colloids and Interface Science, 2001, 6 (3): 197 ~ 207.  
 [2] Yeong C.L.Y., Torguato S. Reconstruction random media [J]. Physical Review E, 1998, 57 (1): 495 ~ 506.  
 [3] 陈书荣, 王达捷, 张雄飞等. 多孔介质孔隙结构的网络模型应用 [J]. 计算机与应用化学, 2001, 18 (6): 531 ~ 534.  
 [4] 朱九成, 郎兆新, 张丽华. 多尺度油藏数值模拟的渗滤方法 [J]. 石油学报, 1998, 19 (2): 49 ~ 53.  
 [5] 胡雪涛, 李允. 随机网络模拟研究微观剩余油分布 [J]. 石油学报, 2000, 21 (4): 46 ~ 51.  
 [6] Valvatne P.H., Blunt M.J. Predictive pore-scale network modeling [J]. SPE 84550, 2003.

[编辑] 萧雨

#### 44 Studying the Continuity of Heavy Oil Reservoirs by Using Ultraviolet Spectral Technique

—By Taken Heavy Oil Reservoirs in the West Region of QHD 32-6 Oilfield for Example

XU Yao-hui, CHEN Dan, XIANG Ting-shen, WEN Zhi-gang (Yangtze University, Jingzhou 434023)

LIN Qing (Petroleum Exploration and Development Center, CNOOC, Beijing 100027)

**Abstract :** The application of ultraviolet spectral technique is used to study the continuity of reservoirs by taking biodegradable heavy oil reservoirs for example. The similarity of crude oil can be estimated according to the extinction coefficient ( $E$ ) because aromatic hydrocarbon and non-hydrocarbon have conjugated bond and obvious absorption in the ultraviolet area, different matters have various characteristics and additives. The relational graph is made by using extinction coefficient ( $E$ ) of the samples formulated artificially in the single-zone as the  $Y$ -axis and using wavelength as the  $X$ -axis. The continuity of various reservoirs is estimated according to the curve position and the characteristic fingerprint of the sample. The continuity of part of the reservoirs in the west of QHD32-6 Oilfield is studied by applying this method. The result shows that the continuity of the sample curves of the Wells F7, F8 in the Nm2 Oil Reservoir is conformed, the continuities of Wells F17, F20 in the Nm1 Oil Reservoir are good, the continuities of Well F19 and Wells F17, F20 are lower.

**Key words :** heavy oil reservoir; continuity of reservoir; biodegradation; heavy oil; ultraviolet

#### 51 Data Visualization of Digital Core at Pore Level by Using IRIS Explorer

TAO Jun, YAO Jun, ZHAO Xur-cai (China University of Petroleum, SINOPEC, Dongying 257061)

**Abstract :** The research of pore-level filtrational mechanism is to study the law of multi-phase flow on pore scale, which has high requirements on data. Visualization of resulted data can be easily implemented by using IRIS Explorer visualization software. The visualization is implemented on digital cores reconstructed by simulated annealing algorithm, by which the distribution of pore space can be clearly observed for providing the basis of algorithm improvement. Furthermore the pore network model extracted from cores is an abstracted data volume. The distribution of pore throat communication can be observed by visualization, by which a powerful tool is provided for further study of flow mechanism.

**Key words :** core; digitalization; data visualization; pore level; filtration mechanism; network model; digital core

#### 54 Predicting Effective Sandbody Distribution in Well Sulige 6 Area

GUO Jian-lin (China University of Geosciences, Beijing 100083; Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083)

CHEN Cheng (China University of Geosciences, Beijing 100083)

JIA Ai-lin (Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083)

SUN Yi-mei (China University of Geosciences, Beijing 100083)

TANG Jur-wei, HE Dong-bo (Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083)

**Abstract :** A key problem for effective development of Sulige Gasfield is to predict the distribution of net sandstone precisely. Well Su6 in Sulige Gasfield is taken for an example. Through applying marked point process technique, 3D models of braided-channel and net sandstone are constructed by combining data of logs, outcrops, testing, etc. these models display distributions of braided-channel and net sandstone. The results can be used to present the complexity of the distribution of net sandstone in Well Su6 with a certain reliability and predictability, which lays a solid foundation for further arranging production wells and numerical simulation.

**Key words :** stochastic simulation; net sandstone; braided channel; 3D model; Sulige Gasfield

#### 63 Application of Ordinary Kriging Method for Visualized Reserves Computation in Xicha Gold Mine

CHUAI Yuan-yuan, FAN Ji-zhang (Jilin University, Changchun 130026)

XIAO Ke-yan (China University of Geosciences, Beijing 100037)

ZHANG Xin-yu (Jilin University, Changchun 130026)

**Abstract :** The procedures and flow process of visualized reserves computation by using Kriging method for the minerals in Xicha Gold Mine are described. Different colors are used to present different grades of crystallites in the minerals. The distribution of their internal grades is visually represented, by which 3D visualized reserves computation is implemented in Xicha Gold Mine by using Kriging method. The result shows that the error of predicted reserves is within the allowable range, the predicted result is more ideal.

. .