

文章编号: 1001-6112(2010)06-0596-04

基于角点网格模型的“迷宫式”油气运聚模拟研究

刘志锋¹, 魏振华¹, 吴冲龙¹, 田宜平¹, 毛小平²

(1. 中国地质大学, 武汉 430074; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:从油气运聚模拟的现状出发, 基于角点网格模型建立了油气盆地三维地质模型。研究了油气在不同地质环境下达到平衡态的运移条件和存储条件, 继承前人总结的油气运聚模拟参数计算方法, 采用达西定律和人工智能算法相结合的方式计算油气运移速度。在此基础上, 提出了“迷宫式”油气运聚模拟思路, 并编码实现, 形成了一个可以独立运行的油气运聚模拟模块。运用该模块对渤海湾盆地东营凹陷勘探成熟区进行了模拟试验, 得到了较为理想的效果。其研究成果, 为降低油气勘探风险提供了很好的分析工具。

关键词: 油气运聚模拟; 三维地质模型; 角点网格模型; 迷宫式; 平衡态; 油气勘探

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

RESEARCH OF “LABYRINTH—STYLE” HYDROCARBON MIGRATION AND ACCUMULATION SIMULATION BASED ON THE CORNER POINT GRID MODEL

Liu Zhifeng¹, Wei Zhenhua¹, Wu Chonglong¹, Tian Yiping¹, Mao Xiaoping²

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Considering the actuality of hydrocarbon migration and accumulation simulation (HMAS), the paper established 3D geological model of the petroleum basin based on the Corner Point Grid Model (CPGM). On the basis of studying the migration and accumulation conditions of the oil and gas to be in equilibrium in different geology environment, using HMAS parameter calculation method of the predecessors and adopting the combination mode of Darcy's law and artificial intelligence algorithms to calculate the hydrocarbon migration velocity, the author proposed the “Labyrinth—Style” HMAS idea and programmed the independently running module. This module has been tested in the actual exploratory area—the Dongying Sag in Bohai Bay Basin, the maturing exploratory area of Shandong Province. The satisfactory results have been obtained. The research achievement provides a good analysis tool for decreasing the risk of the petroleum exploration.

Key words: HMAS; 3D geological model; CPGM; Labyrinth—Style; equilibrium; petroleum exploration

油气运聚模拟是重建油气盆地的烃类运移聚集史, 即油气二次运移史^[1-4]。在油气盆地模拟系统中, 运移聚集是最重要的部分, 也是迄今为止技术上最薄弱的环节。油气运聚是这样一个过程: 油气从低孔低渗细粒的烃源层运移到相对高孔高渗的运载层或储集层, 最终在储集层中可能形成一个集中的烃类聚集。油气初次运移是指油气从低孔低渗烃源层运移到第一个相对高孔高渗地层(一般是砂岩或破裂的碳酸盐岩)的运动, 油气二次运移是指继初次运移之后油气通过相对高孔高渗运载

层的一系列运动, 包括油气在运载层内部的运移, 油气沿断层、裂缝、不整合面等通道的运移。如果在二次运移过程中遇到一个合适的油藏构造, 油气聚集就形成了。本文主要研究油气的二次运移。

1 建立三维地质模型

直角正交网格模型在油藏数值模拟中应用较为广泛, 但是存在一定的缺陷, 主要体现在对于断层的建模, 或者采用之字形表达或者以属性的形式表达, 与实际情况有较大的偏差, 如图 1a 所示, 断

收稿日期: 2010-04-01; 修订日期: 2010-10-11。

作者简介: 刘志锋(1979—), 男, 在读博士, 主要从事地质信息三维表达方面的研究工作。E-mail: lzhiheng0904@163.com。

基金项目: 国家重大专项《渤海湾盆地东营凹陷勘探成熟区精细评价示范工程》(2008ZX05051)。

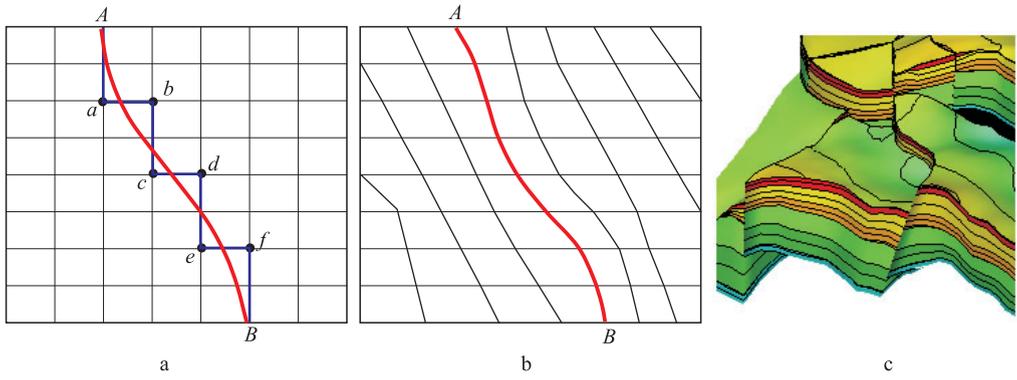


图 1 采用直角正交网格与角点网格建立模型对比

Fig. 1 Model contrast between the right angle grid and corner point grid

层实际走向线为 AB 曲线,而模拟结果为 AabcdefB 折线,从中不难看出直角正交网格对于断层表达的不足。角点网格模型由 Ponting 引入油藏数值模拟研究^[3,5],具有灵巧、不同油层网格步长可变的优点,能够更加精确地描述断层两翼的深度变化、流体分布和流体渗流特征。基于该模型的建模方法克服了正交网格地质建模方法的缺点:首先将断层作为一种重要属性建立断层模型,再根据井资料和地震资料建立地层模型,然后将断层模型和地层模型耦合建立格架模型。角点网格模型在空间上不局限于六面体,在平面上不局限于长方形,而是以四边形为主、辅以三角形和其他多边形的复杂网格结构,根据控制区域的长度和宽度灵活调整各油层的网格步长,在断层附近的网格边线与断层的走向重合,如图 1b 所示。本文基于角点网格模型建立三维地质模型,如图 1c 所示,能够更精确地完成油气运聚模拟,为油藏开发提供更好的分析工具。

2 油气运聚模拟设计

本文采用“迷宫式”油气运聚模拟思路。主要原理为:油气运移由一个非平衡态开始,直到运移到一个平衡态结束。其过程是将每个网格单元作为一个独立的实体,每个实体均具有自己独立的属性,根据单元体间的地质属性关系判断是否可以进行油气运移,在油气可以运移的前提下进行运移速度、运移方向及运移量的动态计算,为油气运移到平衡态提供参数,流程如图 2 所示。其中,是否达到平衡态的判断,需要考虑不同地质年代的间隔时间、单元体可容纳烃量及运移通道残余量等多个信息。具体计算过程下面将做详细论述。

2.1 运移速度的计算

油气运移速度的计算,影响到在一定时间步长内油气运移的距离,直接导致油气聚集的位置变化,

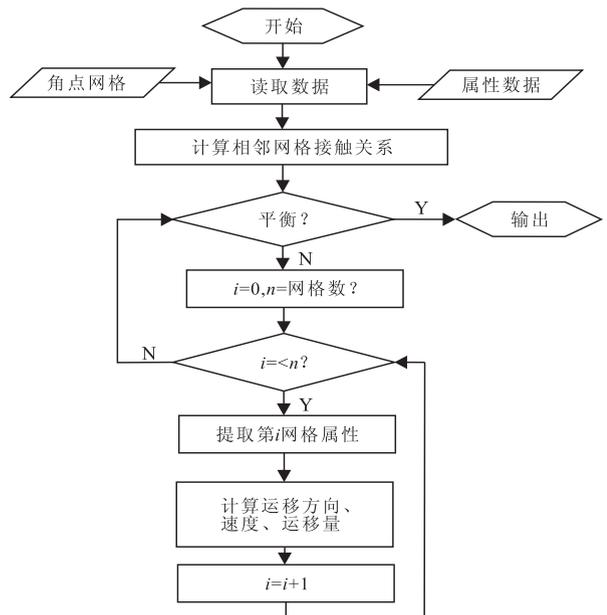


图 2 “迷宫式”运聚模拟流程

Fig. 2 Flow chart of the “Labyrinth-Style” HMAS

最终影响油气勘探的效率。本文油气运聚中速度的计算采用 2 种方式:1)在常规压力情况下,速度采用渗流力学原理进行计算(达西定律);2)在超压情况下,采用人工智能运聚模拟作为补充^[1,6-7]。这样保证了油气运聚模拟的精确性,对于预测油气藏具有较好的指导作用。

达西定律方程的推导来自实验室^[8],其物理实验含义是一种粘度为 1 mPa·s 的流体,通过一个截面积为 1 cm²,长度为 1 cm 的孔隙介质,若该孔隙介质的两端的压差为 0.1 MPa,流出端的流量为 1 cm³/s,则孔隙介质的渗透率定义为 1 D(Darcy)。其数学表达式如下:

$$\left. \begin{aligned} q &= -KA\Delta P / (\mu L) \\ \Delta P &= P + \rho gh \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中： q ，流体的流量； K ，孔隙介质渗透率； A ，孔隙介质截面积； ΔP ，孔隙介质两端的压力差； μ ，流体粘度； L ，孔隙介质长度； P ，液体压力； ρ ，液体密度； h ，相对基准高度的高度差。

进而可以得到速度 v ：

$$v = q/A = -(K/\mu) \cdot (\Delta P/L) \quad (2)$$

在达西定律不适合的单元体中，采用人工智能运聚模拟^[1,9-10]，其原理是，通过一个学习机，对专家知识进行学习、训练，获得运聚过程、方向和运移量的模型。运用神经网络技术来解决单元体之间油气运移方向、运移速率和运移量等的非线性变化问题。人工神经网络系统(ANNS)是由大量的简单元件(神经元)广泛相互连接而成的复杂系统，具有强大的知识学习、联想、自组织和自适应能力^[1,11]。神经元是人工神经网络的基本处理单元，它一般是多输入、单输出的非线性器件，如图 3 所示。

其中 X_1, X_2, \dots, X_n 为输入量； W_{ji} 是 j 节点到 i 节点的权重； Y_i 为输出量； θ 为阈值。即：

$$Y_i = f\left(\sum_{j=1}^n W_{ji} \cdot X_j + \theta_i\right) \quad (3)$$

本文从实际需要出发，采用了 BP 神经网络模型，BP 算法的学习过程如下：

- (1) 选择一组训练样例，每一个样例由输入信息和期望的输出结果两部分组成；
- (2) 从训练样例集中取一样例，把输入信息输入到网络中；
- (3) 分别计算经神经元处理后的各层节点的输出；
- (4) 计算网络的实际输出和期望输出的误差；
- (5) 从输出层反向计算到第一个隐层，并按照某种能使误差向减小方向发展的规则，调整网络中各神经元的连接权重；
- (6) 对训练样例集中每一个样例重复(3)~(5)的步骤，直到对整个训练样例集误差达到要求时为止。

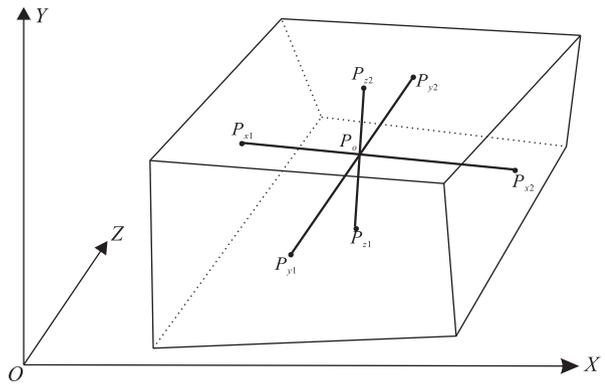


图 4 方向计算示意

Fig. 4 Direction calculation diagram

2.2 运移方向的计算

油气运移方向的计算采用达西定律。根据 2.1 节所述运移速度的计算方法，将角点网格划分为 X, Y, Z 3 个方向，如图 4 所示为任意选定的角点网格，中心点为 P_0 ，其他 6 个面上的中心点 $P_{x1}, P_{x2}, P_{y1}, P_{y2}, P_{z1}, P_{z2}$ ，则可以根据 3 个方向 ($P_{x1} P_{x2}, P_{y1} P_{y2}, P_{z1} P_{z2}$) 的矢量和来近似计算 ($P_{x1} P_{x2}, P_{y1} P_{y2}, P_{z1} P_{z2}$ 3 个矢量不一定相交于 P_0 点)。

因此，通过点的 X 方向、 Y 方向和 Z 方向的流速可以如下计算：

$$\left. \begin{aligned} V_x &= -K/\mu \cdot (P_{x2} - P_{x1})/L_x \\ V_y &= -K/\mu \cdot (P_{y2} - P_{y1})/L_y \\ V_z &= -K/\mu \cdot (P_{z2} - P_{z1})/L_z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

故可以通过矢量计算得到该单元体的运移速度及方向：

$$V_o = V_x + V_y + V_z \quad (5)$$

在三维空间中将归一化，进而可计算得到该单元运移方向。

2.3 油气运移到平衡状态的判断

经过上述 2.1 和 2.2 节的计算得到了油气运移的速度及方向，则运移量为：

$$q = vt \quad (6)$$

式中： v 为式(2)中计算得到的油气运移速度； t 为构造史中划分的时间间隔； q 是理论运移油气量，但是在实际运移中，需要考虑该理论运移量是否可以全部运移，就是“迷宫式”运聚的关键所在。

影响油气是否可以继续运移的因素包括很多，限于计算机模拟的难度，在此只讨论岩性和断层的影响。其中判断油气是否可以运移的规则如下：

- (1) 油气应该由孔隙度低的单元体运移到孔隙

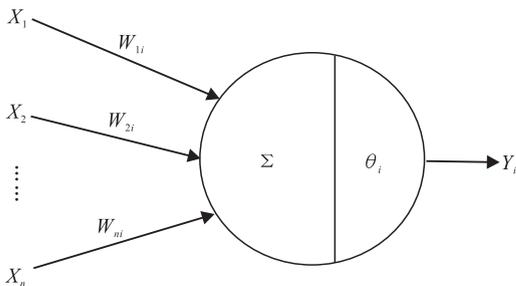


图 3 神经元示意

Fig. 3 Neuron diagram

度高的单元体;

(2)油气应该由流体势(液体压力)高势区流向低势区;

(3)断层封闭性对油气运移和聚集的影响。开启断层是油气运移的主要通道之一,封堵断层是形成油气聚集的重要控制因素;

(4)油气由低渗透性单元体流向高渗透性单元体;

(5)油气运移量不能超过本周期内运移量的最大值;

(6)油气形成聚集的条件就是根据(1)~(5)判断后,经过一个时间周期,油气运移量为 0,即认为油气已经处于平衡态,形成了聚集。

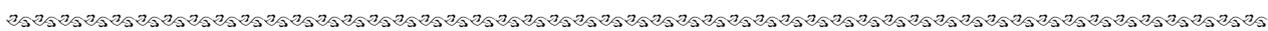
3 结语

本文所述方法在渤海湾盆地东营凹陷成熟勘探区进行了模拟试验,工区范围为 10.4 km×5.8 km,深度范围为 0~3 314.3 m,在该示范区基于角点网格模型建立的单元体数为 174 720 个(140×78×16),其模拟结果基本符合实际勘探成果。

参考文献:

[1] 吴冲龙,刘海滨,毛小平,等. 油气运移和聚集的人工神经网络模拟[J]. 石油实验地质,2001,23(2):203-212.

[2] YUAN YIRANG, ZHAO WEIDONG, CHENG AIJIE, et al.



(上接第 531 页)

3)华北东西部差异的圈闭发育条件是影响古生界油气成藏与保存的重要因素。鄂尔多斯盆地古生界以发育地层、岩性圈闭为主,圈闭形成早,有利于油气的聚集与保存;东部断陷区古生界以发育断鼻、断块圈闭为主,圈闭形成晚,油气保存不仅需要古生界自身盖层的配合,而且需要中生界盖层的垂侧向封堵配合,断陷深凹—内斜坡区是油气保存的主要有利单元。

参考文献:

[1] 张渝昌. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京:南京大学出版社,1997.

[2] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社,2003.

[3] 何自新,杨华,韩申庭. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气富集规律研究[R]. 长庆:长庆油田分公司,2000.

[4] 胡宗全,宋建辉. 渤海湾盆地中南部中—新生代盆地叠合特征及上古生界生烃规律[J]. 石油实验地质,2008,30(5):439-444.

[5] 冯增昭,鲍志东. 鄂尔多斯奥陶纪马家沟期岩相古地理[J]. 沉积学报,1999,17(1):1-7.

[6] 蒋有录. 渤海湾盆地盖层对天然气富集的影响初探[J]. 地

Numerical simulation analysis for migration—accumulation of oil and water[J]. Applied Mathematics and Mechanics (English Edition), 1999,20(4):405-412.

[3] 叶继根,吴向红,朱怡翔,等. 大规模角点网格计算机辅助油藏模拟历史拟合方法研究[J]. 石油学报,2007,28(2):83-86.

[4] YUAN YIRANG, ZHAO WEIDONG, CHENG AIJIE, et al. Simulation and application of three-dimensional migration—accumulation of oil resources[J]. Applied Mathematics and Mechanics (English Edition), 1999,20(9):999-1009.

[5] PONTING D K. Corner point geometry in reservoir simulation[C]//Proceedings of First European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Oxford: Clarendon Press, 1992:45-65.

[6] 吴冲龙,王燮培,毛小平,等. 油气系统动力学的概念模型与方法原理:盆地模拟和油气成藏动力学模拟的新思路、新方法[J]. 石油实验地质,1998,20(4):320-327.

[7] 吴冲龙,王燮培,何光玉,等. 论油气系统与油气系统动力学[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2000,25(6):604-611.

[8] 石广仁. 油气盆地数值模拟方法[M]. 北京:石油工业出版社,2004:127-228.

[9] 吴冲龙,王燮培,周江羽,等. 含油气系统概念与研究方法[J]. 地质科技情报,1997,16(2):43-50.

[10] 吴冲龙,毛小平,王燮培,等. 三维油气成藏动力学建模与软件开发[J]. 石油实验地质,2001,23(3):301-311.

[11] 焦李成. 进化计算与进化神经网络:计算智能的新方向[J]. 电子科技,1995(1):9-19.

(编辑 黄娟)

质论评,1999,45(1):27-31.

[7] 夏日元,唐健生,关碧珠,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征[J]. 石油与天然气地质,1999,20(2):133-136.

[8] 郑和荣,胡宗全. 渤海湾盆地及鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏条件分析[J]. 石油学报,2006,27(3):1-5.

[9] 张英利,赵长毅. 渤海湾盆地与鄂尔多斯盆地成藏条件对比[J]. 石油勘探与开发,2005,32(5):25-29.

[10] 全裕科,柳广弟,丁文龙. 南华北盆地倪丘集凹陷油气显示特征及找油意义[J]. 石油实验地质,2006,28(4):371-379.

[11] 邢厚松,肖红平,孙粉锦,等. 鄂尔多斯盆地中东部下二叠统山西组二段沉积相[J]. 石油实验地质,2008,30(4):345-351.

[12] 刘志武,周立发,何明喜,等. 周口坳陷石炭—二叠系油气成藏条件与富集控制因素[J]. 油气地质与采收率,2008,15(5):13-17.

[13] 李红梅. 孤北斜坡带煤成气成藏条件分析[J]. 天然气工业,2006,26(2):23-25.

[14] 许化政,周新科. 渤海湾盆地东濮凹陷文留构造发育特征与气藏形成[J]. 石油实验地质,2003,25(6):712-719.

[15] 杨克绳. 再谈临清拗陷古生界油气勘探前景[J]. 石油地球物理勘探,2006,41(4):476-483.

(编辑 黄娟)