

油藏储集体模式可视化的研究与实现

朱大培¹⁾ 牛文杰²⁾ 杨 钦¹⁾ 陈其明²⁾ 熊 璋¹⁾

¹⁾(北京航空航天大学计算机系, 北京 100083)

²⁾(北京航空航天大学机械与自动化学院, 北京 100083)

摘 要 油藏储集体可视化是油藏描述过程中非常重要的一个环节, 它可以帮助油藏开采、勘查工程师迅速准确地了解和掌握油藏分布, 从而做出准确的决策. 本文研究并解决了油藏储集体可视化过程中的关键问题. 首先, 通过建立三角网格表示的油藏储集体顶底面构造和尖灭线模型来确定油藏储集体的几何位置和形态; 其次, 用克里金插值的方法建立油藏储集体的各种物性参数数据场; 最后, 给出了某油藏储集体物性分布的实例, 其结果达到了将油藏描述的结果用三维图形图象直观展现出来的目的.

关键词 油藏储集体模式 可视化 Delaunay 三角化 不规则三角网 克里金插值 剖切 断层
中图分类号: TP391.41 TE19 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)03-0267-05

Study and Implementation of Oil Reservoir Model Visualization

ZHU Da-pei¹⁾, NIU Wen-jie²⁾, YANG Qing¹⁾, CHEN Qi-ming²⁾, XIONG Zhang¹⁾

¹⁾(Beijing University of Aeronautics and Astronautics Computer Science Department, Beijing 100083)

²⁾(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, School of manufacturing and mechanical automation, Beijing 100083)

Abstract Visualization of oil reservoir model is one of the most important steps of reservoir description. From the two or three-dimensional images of oil distribution provided by the visualization result, oil engineers will make more exact decision. At the beginning of this paper, the procedure of visualizing the reservoir model is introduced. After that the vital problems are analyzed. Oil-water-borderlines, top model and bottom model are all constructed to determine the location and shape of the reservoir; then physical property field is constructed by using Kriging interpolation method. In the end of this paper, by implementing all the techniques refereed, an example is given. The result shows that, by successfully implementing all the techniques refereed, the reservoir model has been displayed vividly in three-dimension space.

Keywords Oil reservoir model, Visualization, Delaunay triangulation, Irregular triangular network, Kriging interpolation, Section, Fault

0 引言

油藏描述的目的是根据石油地质勘探数据分析、刻划出油藏储集体的几何形态位置和油藏参数空间分布规律, 进而完成包括计算储量在内的油藏综合评价, 并生成各种基础地质图件, 用于指导油藏的下一步开发^[1]. 利用计算机实现各种地质二维基础图件的自动绘制, 可以将石油工作者从繁琐的绘图工作中解放出来, 使他们更加专注于石油勘探数据的分析和解

释, 进而在此基础上进行油藏储集体可视化, 将工程师分析资料后在头脑中建立起来的地质构造和油藏分布用三维图形图象直观的展现出来, 实现直接的三维地质建模和立体分析解释, 从而帮助石油工作者更加方便准确地理解地下地质情况.

目前, 国外较成熟的油藏储集体可视化软件有 OpenVision、EarthVision 等. 但这些可视化系统的运行环境大多是工作站, 而运行在微机上的尚不多见; 另外, 由于中国地质构造比国外复杂, 许多情况下用国外软件无法处理, 而且, 当前的储集体可视化

工作还属于数据场计算机图示阶段,绝大部分三维可视化图形图象只给用户提供视觉感受,虽有三维操作,但功能不够精细与深入,尚无法实现三维地质建模及其立体分析解释^[2].基于以上分析,研制微机环境下,适合国内复杂地质条件的三维储集体可视化系统具有非常重要的意义.

1 区域剖分和插值

可视化过程一般包括区域剖分、插值和显示3个步骤.区域剖分的方法主要有矩形网格和三角网格两种.矩形网格剖分算法简单,网格拓扑结构简单,非常适合处理规则数据场,但是在数据无规则或者区域边界复杂的情况下,矩形网格逼近边界时,则要求网格密度很大,而且在后续插值追踪等值线过程中,还存在不确定性问题;三角网格灵活多变,适合于大规模散乱数据场,但剖分方法较复杂,经研究表明,对于二维任意域,不添加辅助点即能实现非Delaunay三角化,在添加辅助点的情况下可以实现Delaunay三角化^[3].这里采用的是逐点加入的Delaunay三角化算法,算法流程简要描述如下:

(1) 生成一个包围数据域的正三角形.

(2) 逐点加入 从边界和域内离散点集中,取出一组点 P ,找到包含 P 的三角形, P 与三角形各顶点相连,将新生成的三角形各边加入优化队列 Q 中,对队列 Q 中的各边进行换边优化.全部边界节点加入后,得到以包围盒为假想边界的初始Delaunay三角化.

(3) 追踪原始数据边界,删除多余三角形.

(4) 网格细化和光滑处理.

生成的结果网格如图1所示.该算法适用于具有任意形状边界的二维复杂域上散乱数据的剖分.

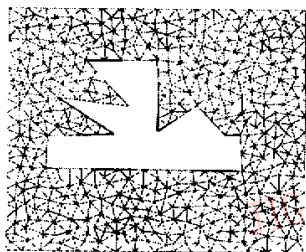


图1 三角剖分结果网格

区域剖分后的三角网格结点的属性值(例如深度值或物性参数)需要利用周围已知井点(或地震点)的属性值进行插值得到,采用滑动领域克里金插值方法求取的原理如下:

设 X_0 为需要插值的三角网格某一节点,其周围已知井点(或地震点)为 $X_i(i=1,2,\dots,n)$,

则 X_0 的属性值 $Z(X_0)$ 为

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (1)$$

其中, $\lambda_i(i=1,2,\dots,n)$ 为权系数,其可由线性无偏及最小方差条件得到的方程组解出

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i C(X_i - X_j) + \mu = C(X_0 - X_j), j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $C(X_i, X_j)$ 是由 X_i 邻域内 $X_j(j=1,2,\dots,n)$ 确定的协方差函数, μ 为拉格朗日乘子.

根据以上三角化和插值算法建立的地质体层面构造模型如图2所示.



图2 地质体层面构造模型

在此基础上,重点研究夹在地层之间的油藏储集体的可视化.

2 油藏储集体可视化的实现

油藏储集体可视化的主要内容是在其所属地层构造模型已经建立好的基础上,根据测井数据建立储集体模型,进而显示出油藏储集体的几何位置形态和油气藏参数空间分布,其包括2个方面:一是通过建立油藏储集体的顶面底面构造模型和尖灭线^[4]模型来确定其几何位置和形态;二是建立油藏储集体内部各种物性参数的三维数据场模型,并显示物性分布.

2.1 油藏储集体模型的生成

储集体顶底面构造模型是地层构造面之间较精细的地层结构.测井可以获得钻井与储集体顶面的交点信息,通过测井数据可以得到该点处储集体顶面的精确位置,但是仅仅根据数量很少的测井数据是无法准确描述油藏储集体的顶底面模型.

为此提出了以下方法来确定油藏储集体的顶底构造模型和尖灭线模型:首先,结合目标储集体测井数据和储集体所在地层层面网格模型来确定目标储集体三角网格顶面模型;其次,采用石油地质中常用的二分法来确定油藏储集体的尖灭,即顶面构造的边界;最后,通过建立油藏储集体的三角网格厚度模型来辅助构造油藏储集体的三角网格底面模型.各过程分述如下:

(1) 首先根据储集体顶面测井数据标定其所属

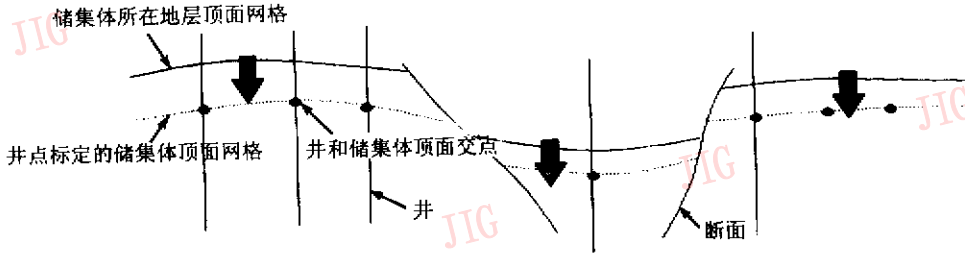


图 3 标定的基本原理

设 P_i 为剖分后的地层层面网格结点集合,一共有 n 个网格结点,记 $P_i(X_i, Y_i, Z_i) (i=1, \dots, n)$ 为第 i 个结点单元;

又设有 m 口井穿过储集体,则这 m 口井必穿过储集体所在地层顶面网格,记 Q 为穿过储集体的井点集合, $Q_j(X_j, Y_j, Z_j) (j=1, \dots, m)$ 为第 j 口井与储集体顶面交点的位置坐标,该交点与井点处地层层面网格的深度值会有一些偏差,记 $\Delta Z_j (j=1, \dots, m)$ 为第 j 口井处 P_j 与 Q_j 深度值的偏差;

采用距离加权插值,设某地层层面网格的第 i 个网格结点 $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ 到第 j 口井 $Q_j(X_j, Y_j, Z_j)$ 的 XY 水平面距离为

$$d_j = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (3)$$

则该网格结点处的偏差值为

$$\Delta Z_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j \Delta Z_j, \text{ 其中 } \lambda_j = \frac{\frac{1}{d_j^2}}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{d_j^2}} \quad (4)$$

记标定后的储集体顶面层面网格为 P' , 则 P' 网格第 i 个结点 $P'_i(X_i, Y_i, Z_i)$ 由下式求得

$$\begin{cases} X'_i = X_i \\ Y'_i = Y_i \\ Z'_i = Z_i + \Delta Z_i \end{cases} \quad (5)$$

网格 P' 具有以下特点:在形状上与地层层面网格相似;在每口井处网格的深度值与测井数据相同.

(2) 确定储集体的尖灭线

地层层面构造,建立储集体的顶面层面网格 S

由于油藏储集体是夹在上下两相邻地层之间的含油体,它的顶面构造形态与相邻上覆地层层面形态相似,而测井数据又能准确反映该点处储集体顶面层面的深度,所以综合利用这两个已知条件,就能准确地建立储集体模型.本文提出了用测井数据标定地层层面生成储集体顶面层面的方法.其标定的基本原理如图 3 所示.

一般,穿越储集体顶面网格的钻井可分为钻遇和断缺两类,因此,文献[5]认为储集体尖灭线的位置为钻遇井和断缺井之中点.根据以上假设,建立尖灭线的流程如下:

首先确定判断储集体顶面网格 P' 每个网格顶点的属性.本文采用距离最近原则,即,使得定点的属性值和距离它最近的测井点属性值相同.

设测井与储集体顶面层面 P' 的交集集合为 Q' , 共有 m' 个交点,记

第 j 个井点为 $Q'_j(X_j, Y_j, Z_j, A_j), j=1, 2, \dots, m'$, 其中 $A_j = \begin{cases} 1, & 0, 1 \end{cases}$ 为结点属性值,分别表示不含油和含油.

设用 A'_i 表示网格 P' 上第 i 个网格结点的属性值,用 A'_k 表示井点集合中第 k 个结点的属性值,用 $d_{P'_i-Q'_k}$ 表示网格顶点 P'_i 到井点 Q'_k 的距离,则网格结点属性值为

$$A'_i = A'_k \quad (6)$$

其中, $d_{P'_i-Q'_k} = \min(d_{P'_i-Q'_1}, d_{P'_i-Q'_2}, \dots, d_{P'_i-Q'_m'})$

然后追踪属性值为 0.5 的等值线,结果即为尖灭线,如图 4 所示.

(3) 根据储集体顶面层面网格 P' 和尖灭线建立储集体顶面构造

建立储集体顶面构造的流程如下:

① 以尖灭线为边界,进行平面域 Delaunay 三角剖分,得到三角网格 P'' , 记 $P''_i(X_i, Y_i, Z_i)$ 为 S'' 中

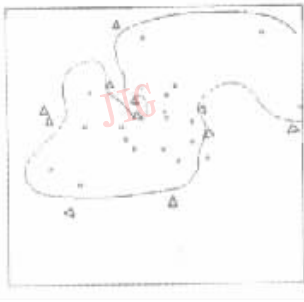


图4 尖灭线

(图中△为未见油层井,○为见油层井)



图6 储集体顶面构造

第 i 个结点坐标,此时, $Z_i = 0$.

② 将点 $P_i''(X_i, Y_i, 0)$ 仰射到网格 P' 上,则该点必然落在 P' 网格的某一个三角形中,如图5所示(限于篇幅,快速搜索网格三角形的算法请参考文献[3]).

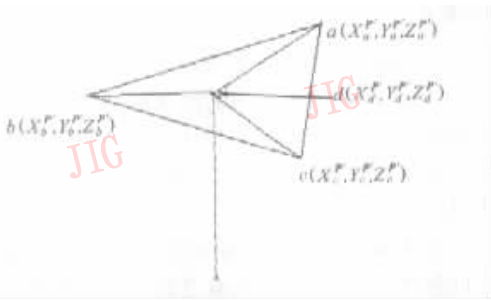


图5 储集体顶面构造的建立

设该三角形3个角点坐标分别为 $a(X_a^p, Y_a^p, Z_a^p)$, $b(X_b^p, Y_b^p, Z_b^p)$, $c(X_c^p, Y_c^p, Z_c^p)$, 仰射交点坐标为 $d(X_d^p, Y_d^p, Z_d^p)$. 根据距离加权法可求取交点 d 的深度坐标值 Z_d

$$Z_d = \frac{Z_a \times S_{\triangle dbc} + Z_b \times S_{\triangle dac} + Z_c \times S_{\triangle dab}}{S_{\triangle abc}} \quad (7)$$

其中, S 表示三角形的面积.

则 P'' 网格的第 i 个结点的深度值 $Z_i = Z_d$. 对 P'' 网格的每一个结点 $P_i''(X_i, Y_i, Z_i)$ 求取相应的深度值,生成的网格即为储集体顶面构造,如图6所示.

(4) 建立储集体底面构造

建立储集体底面构造的流程如下:

① 拷贝储集体顶面构造网格 P'' 生成网格模型 P''' , 记 P''' 网格的每一个结点为 $P_i'''(X_i, Y_i, Z_i)$, 令尖灭线上结点的 $Z_i = 0$;

② 设测井与储集体顶面构造网格 P'' 的交集为 Q'' , 共有 m'' 个交点; 取交点处的 (X, Y) 坐标和储集体厚度组成已知点集 Q_j'' , 其中 $j=1, \dots, m''$, Z_j 等于该井点处的储集体顶底深度差, 即储集体在该位置处的厚度.

③ 根据已知网格 P''' 和点集 Q'' 插值求得网格 P''' 每一个非尖灭线上的内部结点 $P_i'''(X_i, Y_i, Z_i)$ 的 Z_i , 生成储集体厚度模型.

④ P'' 和 P''' 网格拓扑一致, Z 坐标分别表示储集体顶面深度和储集体厚度. 因此, 叠加两网格对应结点的 Z 值, 生成的网格模型即为储集体底面构造.

2.2 储集体数据场的显示

储集体数据场为三维数据场, 显示的手段主要有体绘制和剖面图方法, 采用剖面图来显示的流程如下:

① 根据剖切位置, 求出储集体剖切线.

② 将求得的储集体剖面线旋转到 X, Y 平面, 进行平面域三角剖分, 生成一个平面三角网格, 对其进行逆旋转变换到剖面所在位置, 就得到了一个空间的网格 N .

③ 根据储集体数据场, 采用滑动领域克里金插值求出网格 N 上每一结点的物性值, 然后采用渐变色图或区域填充图将网格显示出来, 就得到了储集体某物性参数分布剖面图. 图7所示为储集体厚度的剖面图.

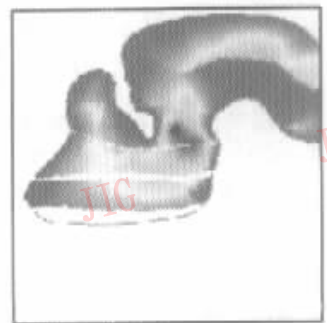


图7 储集体厚度剖面图

3 结 论

本文讨论了油藏储集体可视化流程,主要包括油藏储集体几何位置和形态的确定,各种物性参数数据场的建立,物性分布的显示等关键步骤。重点研究了确定油藏储集体几何位置和形态的问题,即采用已知测井数据和储集体所在地层层面结构信息相结合的方法来建立油藏储集体顶面模型;采用二分法确定油藏储集体尖灭线,采用建立辅助厚度模型的方法构造底面模型。在此基础上,使用克里金插值建立油藏储集体的各种物性参数数据场,并用剖面的方法显示物性分布,从而将油藏描述的结果用三维图形图象直观地展现出来,以帮助专家迅速准确地了解和掌握油藏分布。以上成果还适用于海洋油藏、矿产资源等勘探开发结果的可视化。

参 考 资 料

- 1 王志章,石占中等著. 现代油藏描述技术[M]. 北京:石油工业出版社,1999,12:1~3.
- 2 Hibbard W, Santek D. Visualizing large data sets in the earth sciences[J]. Computer, 1989,22(8):53~57.
- 3 杨钦,徐永安,陈其明等. 任意平面上离散点集的三角化方法[J]. 软件学报,1998,9(4):243~245.
- 4 潘仁芳,徐怀大,陈梅等. 油藏描述中的信息处理技术[M]. 北京:石油工业出版社,1996,12:1~2.
- 5 王家华,高海余,周叶编著. 克里金地质绘图技术——计算机的模型和算法[M]. 北京:石油工业出版社,1999,5.

朱大培 1973年生,北京航空航天大学计算机系博士研究生. 主要研究领域为计算机图形学、可视化。

牛文杰 1967年生,讲师,石油大学(华东)机电工程系任教,现在北京航空航天大学机械与自动化学院攻读博士学位. 主要研究领域为计算机图形学、地质统计学。

杨 钦 1968年生,北京航空航天大学计算机副教授. 主要研究领域为计算机图形学、可视化。

陈其明 教授,现任中国工程图学会副理事长. 研究方向为计算机图形学、三维数据场可视化。

熊 璋 教授,博士生导师,曾获国家科技进步一等奖、航空部科技进步一等奖各一项. 目前主要研究方向为多媒体技术和分布式信息处理. 近年发表了学术论文40余篇。