

临境式地质导向钻井信息模拟研究^{*}

李琪 李旭梅 刘志坤 彭元超

(西安石油大学石油工程学院)

李琪等. 临境式地质导向钻井信息模拟研究. 天然气工业, 2007, 27(3): 52-54.

摘要 钻井过程中由于地质条件复杂多变, 得到的信息多是不精确的、模糊的、不确定和非数值化的。为此, 结合地质导向钻井技术研究, 提出了利用虚拟现实技术建立临境式地质导向钻井信息模拟系统, 目的是为钻井技术人员营造一个可直观地看到地下地层及钻井井眼轨迹等的真实场景。通过对收集的不同来源的大量钻井信息进行综合处理, 建立了井场数据库和模型数据库, 研究了数据之间的对应关系和信息的融合性, 并在此基础上分别建立了地质分层模型和井眼轨迹模型, 最后详细描述了虚拟现实模型的建立以及系统三维可视化的实现。

关键词 地质 导向钻井 信息 模拟 数据库 研究

地质导向钻井技术是20世纪90年代发展起来的一项钻井新技术, 它根据随钻测量的近钻头地质参数与工程参数, 经实时处理、解释后获得对地下地质构造和地层岩性分布的认识, 可实时调整钻进方向, 修正原来设计的井身轨迹, 使导向工具准确钻入油气层^[1]。实际钻井作业发生在地下几千米的深处, 要很好地实施导向钻井, 最希望的是实时获知井下的真实情况, 特别是直观地看到井下所钻的地层和井眼在地层中的位置。然而, 传统的二维曲线图和地层剖面图很难达到这一效果。但随着计算机技术的发展而出现的虚拟现实技术将使其成为可能。为此, 提出了利用虚拟现实技术对地质导向钻井过程中采集的信息进行模拟, 构成一个具有临场感的临境式地质导向钻井信息模拟系统(Virtual Reality Geosteering Drilling Information Modeling System, 简称VRGS), 其目的是在整理分析地震、电测、随钻测量、随钻测井、综合录井、地质录井等提供的钻井信息的基础上, 运用虚拟现实技术对地质分层、储层、井眼轨迹、靶区等进行临境式可视化模拟, 为钻井技术人员营造一种可直观地看到地下地层及钻井井眼轨迹的真实场景, 提供全景式的钻井分析、解释, 它对最终使钻井作业达到信息化、数字化、可视化和最优化具有重要意义。

一、虚拟现实技术应用概述

虚拟现实(virtual reality, 简称VR)是20世纪

末兴起的一门新的综合性信息技术, 是高度逼真地模拟现实世界中视、听、动等行为的人机界面技术, 涉及到人工智能、计算机图形学、人机接口技术、多媒体技术、传感技术等。它通过计算机生成一种由多维信息构成看似真实的模拟环境, 可使人产生“身临其境”的感觉, 且操作者可以通过视觉、听觉和触觉与环境交互, 形成具有交互性的多维化信息环境, 非常适用于石油钻井这种地下工程。该技术在石油工业中的应用开始于20世纪90年代中后期, Arco、Texaco和休斯敦大学等于1997年安装了第一批虚拟现实中心系统^[2]。近年来国外不少大学和科研机构先后研究开发运用于石油工业界的虚拟现实系统, 其应用主要集中在地震资料解释、油藏模拟、地质构造、井眼轨迹设计可视化方面。由于地质条件复杂多变, 所钻井身穿越地层的地质和油藏参数、所钻井身的工程和井眼参数等实时随钻信息是不精确的、模糊的、不确定和非数值化的, 对这些信息进行实时分析、处理与解释, 利用现代可视化技术可以提高轨迹控制的精度和准确钻入储层最佳位置。将虚拟现实技术运用到地质导向钻井, 根据分析处理获得各种信息, 建立井场数据库和模型数据库, 研究各种参数之间的关系后, 分别建立地质分层模型和井眼轨迹模型, 并基于构建的虚拟模型, 采用Java 3D实现三维动态可视化, 使钻井人员“身临其境”地看到地下地层及钻井井身的真实场景。

^{*} 本文系国家自然科学基金项目(编号:50474041)和中国石油天然气集团公司中青年创新基金项目(编号:04E7045)成果。

作者简介: 李琪, 1963年生, 教授, 博士; 2006年西北工业大学博士后出站; 从事石油信息技术、油气井工程的教学与科研工作。地址: (710065) 陕西省西安市电子二路18号。电话: (029) 88382690, 13991126308。E-mail: liqi83@163.com

二、钻井信息的收集及处理

研究 VRGS 系统时,其基础是随钻获取的各种信息,为此首先要考虑在获得大量信息的基础上建立井场数据库。钻井信息来自多方面,而且数据量极大,但在实际需求上,并不需全部录入数据库,而应根据数据的特征及实际运用的需求,通过集成分析与处理,将其有机地组织存储起来,供系统使用。如图 1 所示,系统需要建立两大数据库。

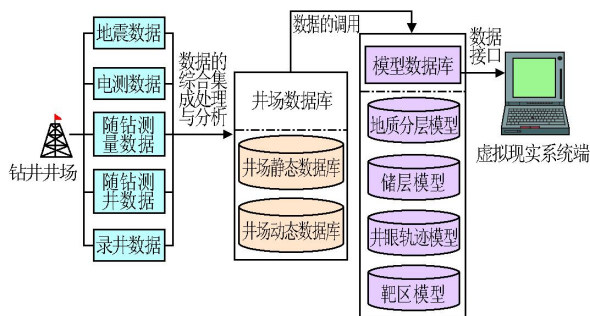


图 1 钻井数据的收集与处理图

(1)井场数据库:井场数据库由静态数据库和实时动态数据库构成。在钻井现场,一方面通过邻近老井测井及其解释数据可掌握众多的地质资料,另一方面随钻测量、随钻测井、综合录井、地质录井等手段可实时采集到井深、井斜角、方位角等各种井身数据和井眼穿过地层的岩石物性、储层物性等各种信息。利用计算机和信息技术对这些大量的数据及信息进行综合处理与分析,在井场形成一个钻井信息数据库,在数据库内可方便地研究这些数据之间的对应关系和信息的融合性以及数据空间三维立体的表现形式,以便更好地表征和描述实际地层和井眼轨迹。

(2)模型数据库:通过对井场数据库中信息的调用建立模型数据库,运用该数据库中的数据实现地质分层模型、储层模型、井眼轨迹模型以及靶区模型的建立,相应的也有其管理系统用来更好地维护数据。建好的模型数据库通过内部数据接口与现有的各种工程应用软件相连,为虚拟现实系统提供数据资源。

三、井下对象建模

有了各种钻井信息,下一步是利用这些信息,建立井下对象模型,便于后期虚拟模型的建立和三维可视化的实现,分别采用随机建模建立地质分层模型和曲率半径法建立井眼轨迹模型。

1.地质分层模型的构建

随机建模是一项综合利用多学科知识再现储层非均质性的技术^[3]。通过建立所要研究的某种储层属性的概率模型,以概率分布函数等数字特征来表征,然后抽取相互独立的、等概率的来自概率模型各个部分的可能属性值,这些属性值的一系列联合实现就是随机建模结果。建模过程如下。

(1)根据已知信息建立概率模型:根据实测井及其解释数据信息,建立所要研究的某种储层属性的概率模型,以概率分布函数这样的数字特征来表征。

若某一属性的观测值大小顺序为 $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m$,根据属性值落入 (x_i, x_{i+1}) 区间内的频率,求得累积频率 (f_i) , $f_i = \sum_{j=1}^m n_j$ ($i=1, 2, \dots, m$),可得随机变量的经验分布函数:

$$AF(x) = \begin{cases} 1, & x_1 \leq x \leq x_2 \\ f_2, & x_2 < x \leq x_3 \\ \dots & \dots \\ f_m, & x_{m-1} < x \leq x_m \\ 0, & x_m < x \end{cases}$$

(2)用混合同余法产生一系列随机数: $x_{i+1} \equiv ax_i + C \pmod{M}$, $r_{i+1} = x_{i+1} / M$ 。式中, x_i, x_{i+1} 分别为第 i 次和 $i+1$ 次产生的伪随机数; a 为乘子系数; C 为非负整数; M 为模; r_i 为 $[0, 1]$ 区间第 i 个伪随机数。

(3)构造出经验分布函数之后,利用随机数技术可以实现对随机变量抽样。随机抽样过程如图 2-a 所示。设 r_i 是随机数序列中的第 i 个随机数,首先在经验分布图上确定点 (x_{\min}, r_i) ,通常称该点为随机入口点,而称作随机入口值,然后过点 (x_{\min}, r_i) 作 x 轴的平行线交 $AF(x)$ 于点 (x_i, r_i) ,交点的横坐标 x_i 即为随机变量的第 i 个观测值,称为随机抽样出口值。

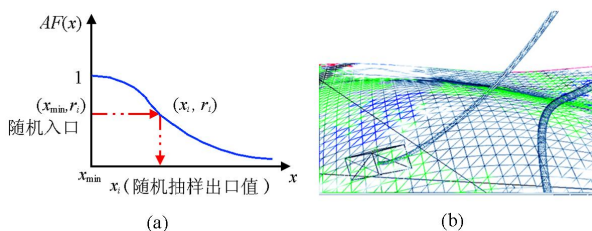


图 2 随机抽样过程及小层模拟图

(4)根据测井资料确定出地层分层,针对某一研究层位的研究区域进行网格化处理,将地层属性值分配到网格结点上之后,针对小层进行随机建模,如图 2-b 所示。根据建模结果可求得网格中任一节点处所对应的小层属性值,进而绘制出三维地层变化图。

2. 井眼轨迹模型的建立

井眼轨迹包含设计轨迹和实钻轨迹。实钻过程中所能获得的轨迹数据是测斜数据,对于地质导向钻井,更多的则是随钻测量数据,即井斜角(α)、方位角(ϕ)和测量井深(L)。轨迹模型的构建是依据测斜数据,建立井眼轨迹的三维空间坐标计算模型,有了坐标值,就很容易画出井眼轨迹图。采用曲率半径法,利用测得的数据井斜角(α)、方位角(ϕ)和测量井深(L)建立轨迹计算模型如下:

$$\Delta H = R(\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) \quad \Delta S = R(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

$$\Delta N = r(\sin \phi_2 - \sin \phi_1) \quad \Delta E = r(\cos \phi_1 - \cos \phi_2)$$

$$\text{其中: } R = \frac{\Delta L}{\Delta \alpha}; r = \frac{\Delta L(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)}{\Delta \alpha \Delta \phi}; \Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1; \Delta \phi = \phi_2 - \phi_1; \Delta L = L_2 - L_1.$$

式中: H 为垂深; S 为水平位移; N 为方位平面的深度变化; E 为方位平面的位移变化; L_1 、 L_2 分别为测点1、2的测量井深,m; α_1 、 α_2 分别为测点1、2的井斜角,rad; ϕ_1 、 ϕ_2 分别为测点1、2的方位角,rad(已作磁偏角校正);注: $\phi_i = \phi_{i-1} + MG$ (磁偏角); $\phi_i = \phi_{i-1} + MG$; ϕ_i 为第*i*测点实测结果。

实际计算时还对一些特殊情况进行了处理,并有相应的计算公式。

四、三维可视化的实现

1. 虚拟模型的建立

地质导向钻井信息可视化是利用数据库中提供的信息,基于虚拟现实技术对钻井过程中的各场景和物体(统称对象)在虚拟环境中进行三维可视化,为此需建立井下对象的虚拟模型,即构建对象的几何模型、运动模型、物理模型、音频模型和交互模型。这些模型中最为复杂、关键的是几何模型的构建。三维图形是由点、线、面组合生成各种基本形体,再由各基本形体组成复杂形体。实现中先将曲面分解并生成许多连续的三角形面,然后采用三角形面的构造方法来形成整个曲面体。生成三维图形对象所需的点、直线以及三角面后,即可方便地构建物体的几何形体。另外,利用Java 3D中的Branchgroup节点的动态添加和删除功能,可以根据实际情况添加和删除某一个地层。其他模型的构建可基于图形、图像的渲染技术直接利用虚拟现实开发工具Java 3D或OpenGL提供的功能函数和事件来实现。

2. 三维可视化的实现

基于构建的几何模型,采用Java 3D可实现井下对象的三维可视化。Java 3D的虚拟世界根据场景图创建,场景图由Java 3D类的实例来创建。将一个物体添加到场景中的定位操作可通过移动该物体到某个指定的位置来实现。移动物体利用Transform Group和Transform 3D对象实现,物体定位的实现是先把物体和Transform 3D对象加入到Transform Group中,再把Transform Group放入场景中。另外,通过变换组可以把物体聚集在一起作为一个整体一起移动。物体的几何变换需使用Transform Group和Transform 3D类,缩放操作通过调用其成员方法set scale来实现。在上述基础上,添加鼠标响应和键盘响应操作,可实现通过鼠标对所形成的物体进行动态拖动和翻转,或者通过键盘对运动角度进行控制。光照效果使物体更有真实感;创建Material对象并设置其属性可实现材质设置;纹理是将纹理定义在纹理空间,然后将图像通过线性插值映射到纹理空间,再采用纹理函数将这一单位正方形映射到物体的几何表面上。通过上述步骤,可实现复杂的井下地层和井眼轨迹的可视化。

五、结 论

(1)利用虚拟现实技术建立的临境式地质导向钻井信息模拟系统便于钻井人员真实地看到井下的真实场景,对钻井作业达到信息化、数字化、可视化和最优化具有重要意义。

(2)在获得大量井场数据的基础上完成了对井场数据库和模型数据库的建立。利用随机模拟方法和曲率半径法分别建立了地质分层模型和井眼轨迹模型。

(3)建立虚拟模型后用Java 3D实现了井下对象的三维可视化,增强了作业的直观感、真实感,提高了对地层构造、储层特性的判断和钻头在储层内轨迹的控制能力。

参 考 文 献

- [1] 徐英卓,李琪.地质导向钻井信息可视化与协同决策虚拟系统[J].系统仿真学报,2005,10(17).
- [2] 赵改善.勘探开发中虚拟现实技术的应用与展望[J].勘探地球物理进展,2002,25(4).
- [3] 尹艳树,吴胜和.储层随机建模研究进展[J].天然气地球科学,2006,17(2).