

文章编号: 0253-2697(2006)03-0104-04

三维可视化技术在钻井工程中的应用

崔 杰 饶 蕾

(中国石化胜利油田钻井工艺研究院 山东东营 257000)

摘要: 应用三维可视化技术对地下地质环境和钻井状态进行了三维描述,对常见的多边形建模构造、参数化曲面构造及细分曲面构造等方法进行了分析。以改进的细分曲面构造方法为基础,利用 OpenGL 开发语言建立了真实世界中复杂物体的构造和显示方法,形成了描述钻井工程中断层、地层(油、气、水层)、地震体、地震层速度垂直剖面等各类地下模型,同时构建了井轨迹(设计轨道、实钻轨迹、预测轨道)、井靶点、测井及录井曲线的三维显示模型,实现了实时显示、分析和解释 MWD 数据和钻井作业数据的操作。

关键词: 钻井工程;三维可视化技术;地质模型;数据库;三维模型

中图分类号: TE828

文献标识码: A

Application of three-dimensional visualization technology to drilling engineering

Cui Jie¹ Rao Lei¹

(Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Company, Ltd., Dongying 257000, China)

Abstract: The three-dimensional visualization system was applied to the underground environment modeling and software architecture design in drilling engineering. The real-time interpretation, analysis and display of measurement data of drilling parameters could be realized by three-dimensional geological modeling. The polygon modeling structure method, parameterization curved surface structure method and subdivision curved surface structure method were analyzed. On the basis of the improved subdivision curved surface structure method, the complex objects in the real world were constructed and demonstrated using OpenGL. Some underground geological models in drilling engineering could be formed. The three-dimensional model of wellbore trajectory, well target, electrical log curve and drilling log curve could be constructed. The three-dimensional visualization system can offer the advanced visualization assistance for the production of oil field.

Key words: drilling engineering; three-dimensional visualization technology; geological model; database; three-dimensional model

目前三维可视化在各油田企业钻井行业中的应用逐渐增多。三维可视化技术在地质导向项目中的成功应用,不仅为油田生产提供了先进的可视化辅助手段,而且促进了油田数字化建设。该技术将实钻和设计的井眼轨迹实现三维可视化,可以实现在随钻轨迹上动态地显示来自随钻测量和泥浆录井中实时更新的井眼轨迹和测井曲线和录井曲线^[1],可以很方便地在三维可视化系统中查询钻井的信息。

1 钻井工程中三维可视化的内容及编程语言

油场环境虚拟现实模型中包括地面井场环境、地层、油层(孔隙度、渗透率和饱和度)、岩性剖面、靶点、设计、实钻和预测轨迹、测井曲线、防碰扫描、事故复杂情况等信息^[2],其中地层模拟尤为重要。

三维模型显示主要应该考虑显示的质量和速度^[3]。场景中三维对象的显示质量必须要考虑对象的颜色、材质、光照以及与其他模型间的消隐处理。三维模型的显示速度则包括第一次构造时的显示速度和构造完成后每次刷新时的显示速度两方面。显示的质量和速度都与三维模型的构造方式有关。

OpenGL 图形编程接口可以处理其中一些因素的影响。目前在 Windows 操作系统中,OpenGL 绘图采用的是 SGI 公司提供的链接库,库中包含了 OpenGL 绘图的各种 API 函数。从程序员的角度来看,在编写 OpenGL 应用程序之前,需要学习和掌握 OpenGL 系统,还必须清楚地了解和掌握 Windows 与 OpenGL 的接口。除此之外,还必须掌握 OpenGL 坐标系统中三维到二维的投影原理。因为三维环境下的三维点在屏幕上显示时,必须转换成屏幕上的 x, y 二维坐标

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目“复杂油气藏配套钻井技术及关键装备研究”(2003BA613A-11)和中国石化“十条龙”项目“地质导向钻井技术研究”(JP03009)的部分成果。

作者简介: 崔 杰,男,1973 年 7 月生,2000 年获石油大学(华东)硕士学位,工程师,现主要从事油田钻井行业模型研究和可视化软件开发工作。

E-mail: cuijie@slof.com

系^[4]。钻井工程中的三维可视化采用了 OpenGL 的图形编程接口工具。

2 三维复杂物体多边形构造方法

目前常用的三维模型曲面构造方法有多边形建模构造方法、参数化曲面构造方法和细分曲面构造方法。

2.1 多边形建模构造方法

多边形建模技术是最早采用的一种建模技术,是用小平面来模拟曲面,从而制作出各种形状的三维物体。小平面可以是三角形、矩形或其他多边形,但在实际中多采用三角形或矩形。使用多边形建模可以通过直接创建基本的几何体,再根据要求调整物体形状,或通过使用放样、曲面片造型、组合物体来制作虚拟现实作品。多边形建模的主要优点是简单、方便和快速,但它难以生成光滑的曲面,故而多边形建模技术适合于构造具有规则形状的物体,如大部分的人造物体。同时,多边形建模可根据虚拟现实系统的要求,通过调整所建立模型的参数就可以获得不同分辨率的模型,以适应虚拟场景实时显示的需要。

2.2 参数化曲面构造方法

参数化曲面构造方法是以一个统一表达式的形式描述曲面,从而使曲面参数化。其中,常用的是基于非均匀有理 B 样条(NURBS)曲面表达的构造方法^[5]。NURBS 是计算机图形学的一个数学概念。NURBS 建模技术是最近 4 年来三维动画最主要的建模方法之一,特别适合于创建光滑的、复杂的模型,在应用的广泛性和模型的细节逼真性方面具有其他技术无可比拟的优势。但由于 NURBS 建模必须使用曲面片作为其基本的建模单元,它也有很强的局限性:①NURBS 曲面只有有限的几种拓扑结构,很难制作拓扑结构很复杂的物体(例如带空洞的物体);②NURBS 曲面片的基本结构是网格状的,若模型比较复杂,会导致控制点急剧增加而难以控制;③构造复杂模型时要经常裁剪曲面,但大量裁剪容易导致计算错误;④NURBS 技术很难构造“带有分支”的物体。

2.3 细分曲面构造方法

细分曲面技术是最近引入的三维建模方法,它解决了 NURBS 技术在建立曲面时面临的困难,用任意多面体作为控制网格,然后自动根据控制网格来生成平滑的曲面。细分曲面技术的网格可以是任意形状,因而可以很容易地构造出各种拓扑结构,并始终保持整个曲面的光滑性。细分曲面技术的另一个重要特点是只在物体的局部增加细节,而不必增加整个物体的复杂程度,同时还能维持增加了细节的物体的光滑性。

3 三维地层的构造和显示

3.1 三维地层的构造

在三维浏览器模块的开发中,地层数据一般由油田地质人员提供,以规则的采样点阵的形式保存在数据文件中。一块地层的数据信息一般只保存在一个数据文件中。

在这个地层数据文件中,地层采样点阵是从起点平面坐标开始,逐行记录每个采样点的深度值、可见性标识、孔隙度、渗透率、饱和度等信息。所以在地层的建立上,可以将数据文件中的采样点阵组成一个规则的三角形网格,即把地层看成是一个由采样点阵组成的网格状表面,网格中的每个顶点都代表地层的采样点信息,然后将这个网格中每三个相邻的可见顶点组成一个三角形(每点限用一次)而形成三角形网格。这样,这个规则的三角形网格就可以用来表示采样点阵所描述的真实地层表面。由一个采样点阵组成的网格见图 1。

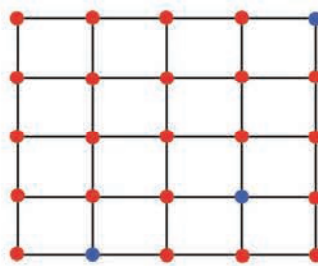


图 1 5×5 规则分布的采样点阵组成的网格

Fig. 1 Lattice composition grid with 5×5 regular distribution sampling

为了在三维场景中显示出一个起伏的表面,须给网格中每个顶点赋予所表示的采样点的深度值,形成空间中的三维坐标。图 2 是一个带起伏表面的三角形网格。



图 2 带起伏表面的三角形网格

Fig. 2 The triangle grid with fluctuation surface

每个顶点信息包括顶点的三维坐标、顶点的法向量、顶点的颜色、顶点的纹理坐标、采样点渗透率和可见性标识。通过一个索引列表,对这些顶点进行索引来建立三角形网格;可以通过索引缓冲来索引顶点进行三角形的绘制。这不仅可以减少绘制三角形使用顶点的数量;而且当用户修改地层的显示形状时,即部分采样点的可见性标识被改变时,系统只须对索引列表

进行修改,就可以重新建立一个不规则的三角形网格形状,这有助于提高系统效率。

为了使三角形网格中三角形之间的接缝处产生平滑过渡的效果,须计算每个顶点的法线,以用于在 Gouraud 着色中计算光照和纹理效果。在三角形网格中,每一个顶点的法线计算如图 3 所示。当计算顶点 P 的法线时,首先需要找到顶点 P 周围的 4 个顶点的三维坐标 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 ,然后用 $P_2 - P_1$ 、 $P_4 - P_3$ 得出两个三维向量 V_1 和 V_2 。如果顶点 P 是网格中的边缘顶点,则用顶点 P 与其周围的一个或两个顶点计算向量 V_1 和 V_2 。对三维向量 V_1 和 V_2 进行叉积并将结果单位化,就可以得到顶点 P 的法线。

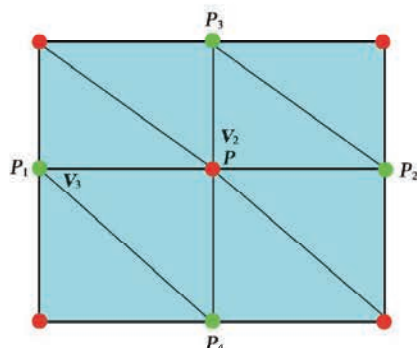


图 3 顶点法线计算示例

Fig. 3 Demonstration of apex normal computation

3.2 三维地层的着色方法

三维模型的颜色显示通常包括直接差值着色和纹理映射两种方法。在某些情况下,地层需要以某种简化形式来显示,因此,可以通过层网格线来表达。孔隙度、渗透率和饱和度是地层的重要属性,可通过颜色变化形象地显示出来。它对图案要求不高,但要求显示速度快,可以使用直接差值着色的方法来实现孔隙度、渗透率和饱和度的模拟显示。对于地震体等特殊对象,可使用纹理映射方法来得到这类地层在虚拟环境中的表面图案。所以,对于地层的颜色显示分成了网格显示,孔隙度、渗透率和饱和度显示,纹理映射显示 3 种不同的情况。

3.2.1 网格显示

在原始地层文件中,地层三维数据是以三维点阵的形式保存的,因而以三维点阵来显示地层。将三维点阵中的点相连就可以得到地层的基本轮廓,形成地层网格。地层网格可以用来表示地层控制顶点的具体位置,并简单、快速地表现地层的基本形态。

3.2.2 孔隙度、渗透率和饱和度的模拟显示

孔隙度、渗透率和饱和度必须在地层上快速直观地表达出来,因此,体现地层的孔隙度、渗透率和饱和

度的最好方法就是通过绘制不同颜色的地层变化来表达。采用直接差值着色的方法来实现地层孔隙度、渗透率和饱和度的模拟显示。

地层数据就是一个三维点阵的集合,以每三个点形成三角形面片,所有的面片就可以组合成地层表面;三角面片的颜色由点阵中的点颜色属性决定,三角形面片角点的颜色就是点的颜色,面片的颜色由三个角点的颜色差值而来,所有的面片颜色就构成地层表面的颜色。此外,赋予点阵中的顶点具有显示和隐藏的属性。当点阵中某些点隐藏时,相应地,该三角面片组成的区域也就隐藏了。再结合点阵中点的 x 、 y 、 z 坐标的改变,就可以编辑和显示不规则地层。

3.2.3 纹理显示

对于地震体、岩性剖面等特殊地层,地层表面图案比较复杂,最好的方法就是首先利用其他图案编辑软件建立需要的地层表面图案,然后将做好的纹理图案映射到正确的地层上,就可以得到所需要的地层了。纹理图案的映射步骤是:①读入映射的纹理文件,并得到其基本参数;②将图像数据转化为需要的一维数组;③将地层的包围盒的角点坐标作为纹理的显示坐标点,就可以实现纹理与地层的相互对应。

4 应用实例

图 4 实现了地质环境和钻井工程模型的三维可视化描述,为地质和钻井工程师提供了统一平台和可见成果。利用改进的细分曲面构造方法显示出地层、地震剖面等曲面信息,并利用曲面着色方法描述了孔隙度、渗透率、饱和度等油藏信息,图 4 中地层上颜色从红、黄、绿到蓝色,代表了渗透率从高到低的过渡。

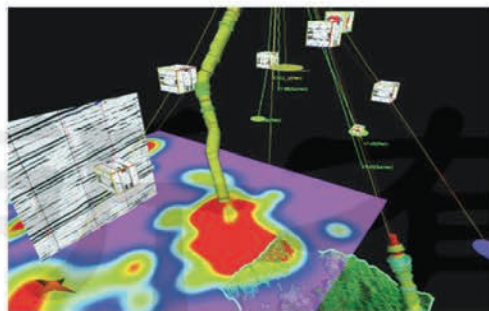


图 4 三维地质场景描述

Fig. 4 Three-dimensional description of geological scene

在钻井过程中,须了解钻井的轨迹情况,要突出显示钻井的各项信息^[6]。井眼实钻轨迹、设计轨迹以及深度、标尺、半透明柱面图、地层剖面^[7]等辅助描述手段可以从各个角度描述井眼轨迹是否符合工程、地质要求,并进行轨迹间的防碰扫描工作,从而实现实钻和

设计轨迹的对比分析。同时可以实现对圆靶、方靶、半圆靶及多靶点形成的不同靶体形状的描述^[8](见图5)。

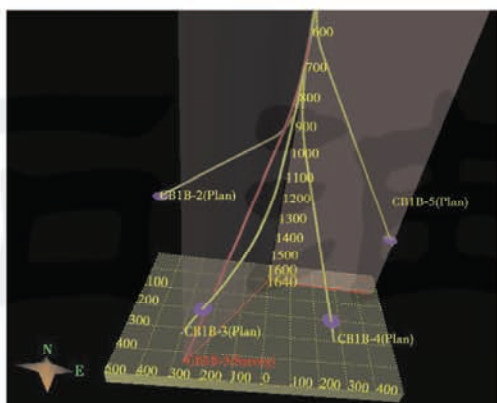


图5 轨迹、靶点的精细描述

Fig.5 The fine description of wellbore trajectory and well target

另外还构造了测井、录井三维曲线及事故复杂信息的三维描述对象,可对上述各种对象进行位置调整、数据查询等操作。

5 结束语

钻井三维可视化技术与地球模型相结合,可以将

油井设计结果与实际井眼状况进行直接对比,对油井的数据进行综合分析和处理,快速准确地确定钻井方案。为石油行业的地质、钻井等各专业专家提供一个油藏地质的模拟环境,便于各专家形象地看到地下情况,加快了国内油气资源的勘探和开发步伐。

参考文献

- [1] 刘修善,彭国生,赵小祥.旋转导向钻井轨道设计及监测方法[J].石油学报,2003,24(4):81-85.
- [2] Gabolde G, Nguyen J P. Drilling data handbook[M]. 60th ed. Paris: Institut France DU Petrole, 1995:205-216.
- [3] Wright R S, Sweet M Jr. Inside opengl[M]. New York: Addison Wesley Longman, 2001:300-450.
- [4] Woo M, Neider J. OpenGL programming guide[M]. New York: Addison Wesley Longman, 2001:185-259.
- [5] 徐士良.常用算法程序集[M].北京:清华大学出版社,1994:101-104.
- [6] 谢国民,张良万,杜远洋,等.定向井实用三维设计—方法比较法[J].石油学报,2000,21(3):77-82.
- [7] 陈寿康,王建民,马维炎,等.钻井地质标准设计[M].北京:石油工业出版社,1996:5-9.
- [8] 江胜宗,夏尊铨,曹里民.侧钻水平井轨道三维优化设计模型及应用[J].石油学报,2001,22(3):86-90.

(收稿日期 2005-10-09 改回日期 2005-12-07 编辑 黄小娟)

中国科学院提出加快我国具有自主知识产权的LNG技术研发的建议

目前,国际上液化天然气技术已经实现了较高程度的商业化运作,从液化天然气工艺设计到施工,以至调试运行、人员培训等完全商业化运营。国际大公司基本拥有各自的天然气液化流程、冷箱设计专利及核心技术,另外拥有比较成熟的项目运营管理经验,这是国内研究设计单位所严重缺乏的。虽然国际上关于天然气的运作已经商业化,但是各公司仍然大力投入天然气液化技术的研发,以进一步提高天然气液化流程效率,减小系统复杂性,提高可靠性,以及减少设备初投资及运营成本等。

目前国内天然气技术发展虽然相对落后,但是也具有一定的技术积累。根据目前国内外能源发展需求,建议应当从中小型天然气项目和调峰项目入手,利用国内现有研究基础,开展相关的基础技术及工艺技术的攻关,加大基础技术研究力量和经费的投入,力争使我国在天然气技术领域有所突破,为改善我国能源利用结构,减缓能源紧张贡献力量。同时提出如下建议:

1. 开展天然气液化技术的相关基础研究和攻关。建议以现有深冷混合工质节流制冷技术为基础,开展高效液化流程相关基础研究工作,积累和掌握相关天然气液化冷箱设计的基础参数、设计原则及方法;深入开展深冷混合工质节流制冷流程的优化设计,提高液化效率及优化流程结构和简化流程组织,减少设备初投资。最终为我国天然气液化提供具有自主知识产权的液化技术。

2. 建立具有中小规模的天然气液化装置。根据国内天然气液化需求(中西部地区中小气田或城市液化调峰系统),建议开展相关中小型液化装置(10万 m^3/d 及以下的量级规模)的方案论证、设计及制造建设工作。

3. 组建类似国家级工程中心形式的液化天然气技术研发平台。建议依靠国内现有研究单位,组建液化天然气技术研发的工程中心,形成一个稳定的研发平台,培养和组织一支精干的研发人才队伍。国家在中心启动的一定时期内给予启动经费支持。工程中心的液化天然气技术可以与国内大型天然气、石化(石油)公司合作,建立具有自主知识产权的天然气液化工业及相应配套产业链。在天然气液化、煤层气液化分离、车用液化天然气燃料等新兴能源领域发挥重大作用。

摘自《石油综合信息》