

# 三维地质建模技术在油田基础地质研究中的应用

吴 键<sup>1</sup>, 曹代勇<sup>1</sup>, 邓爱居<sup>2</sup>, 李东津<sup>2</sup>, 蒋 涛<sup>2</sup>, 翟光华<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学 资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 中国石油 华北油田, 河北 河间 062450)

[摘要] 基于钻井资料的三维地质建模技术, 通过在留楚油田建立精细的三维地质模型, 使油藏研究达到较高的精确性。在建模过程中, 将三维建模软件特有的技术手段与基础地质研究相结合, 在构造精细落实、地层精细对比等基础地质研究方面发挥重要作用, 解决了许多通过常规方法难以解决的问题。精细地质模型在 C20-20 井开发措施调整及 C29-45 井注采关系分析等方面取得了良好的效果。由于三维地质模型是地质体的一种数字化表述, 因此, 它还在数字化油藏方面起到了重要作用。

[关键词] 精细三维地质模型; 基本沉积单元; 三维可视化; 三维交互编辑; 留楚油田

[中图分类号] P628 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)02-0052-04

[作者简介] 吴键(1963-), 男, 北京人, 高级工程师, 博士研究生, 从事石油地质研究。

以钻井资料为主的三维地质建模技术是从 20 世纪 80 年代开始逐渐发展起来的, 目前已经成为油田开发阶段油藏研究的重要手段之一, 并在环境、地质工程、建筑、矿产等多个领域得到广泛应用。目前, 中国很多油田都已进入开发的中后期, 随着油藏开发程度的不断提高, 油藏地质研究工作迫切需要一些新的、实用的技术方法, 使油藏认识更加精确、细致, 而基于钻井资料的三维地质建模技术正好是解决这一问题的主要方向之一。

留楚油田位于渤海湾盆地冀中坳陷, 是一个典型的复杂断块、复杂沉积的碎屑岩油藏<sup>①</sup>。油田已开发 5 年, 井距已达 150~180 m。为了合理地调整开发方案, 以 Petrel 地质建模软件为工具, 通过建立精细三维地质模型开展了综合地质研究。在工作中, 对三维地质建模的主要问题、实际工作流程及该技术在油藏开发实际应用等方面有新的认识。

## 1 陆相复杂断块区三维地质建模的主要问题

建立三维地质模型的最终目的是更细致、准确地研究地下的油藏, 为油藏开发提供可靠依据。在渤海湾盆地, 这种陆相复杂断陷盆地内三维地质建

模工作面临 2 个主要的问题:

(1) 三维地质建模工作最大的难题是基础数据的准确性和可靠性。以往多数三维地质建模工作主要侧重于属性模型的地质统计计算方法, 国内外许多专家进行了大量地研究工作<sup>[1~5]</sup>, 而构造、沉积相等基础数据主要依赖于其他方面的研究成果。但是, 在渤海湾盆地这种构造、沉积都很复杂的地区, 很难得到十分准确地基础地质研究成果。例如, 受地震资料信噪比和分辨率的影响, 地震解释提供的构造研究成果往往存在一定的误差; 再例如, 地层对比是一项最普通也是最基本的基础工作, 由于陆相沉积相带变化很快, 井间地层特征和电测曲线特征可对比性差, 对比结果经常出现误差。这是研究中最普通也是最难解决的问题, 它极大影响了地质模型的准确性和实用性, 从根本上影响了三维地质建模技术在生产上的直接应用。因此, 长期以来三维地质模型被认为“好看, 不实用”。

(2) 地质模型的细致程度不够。油田开发进入中后期后对地质研究有了更高的要求, 准确描述单砂体以及单砂体内部的物性变化是油田开发十分重要的任务。然而, 由于各种原因, 多数地质模型还无法满足这一要求。

要解决上述问题, 首先必须以新的工作方法和

技术手段开展基础地质研究工作, 并使三维地质模型达到更高的精度。

一个可直接应用于生产的精细三维地质模型至少应做到: 第一, 地质模型要有较高的准确性, 要与钻井、物探等多方面的地质资料互相吻合, 例如断层模型要与地层对比出的断点位置完全吻合, 属性模型要与沉积微相特征相吻合等; 第二, 模型的平面和纵向精细程度或分辨率要能反映出单砂体的三维形态和变化规律; 第三, 所应用的基础数据应该是油田现有的常规资料, 所使用的技术应该是油田研究部门具备的成熟技术, 即建模方法要具有普遍性。

符合上述要求的三维地质模型可以解决许多油田开发中的实际问题, 图 1 为一个较为成功的实例。留楚油田 C29-20 井的  $E_d^3$  II 油组一小层的油层虽然一直未投入生产, 但由于该油层高部位的生产井已经高含水而被认为已经水淹。因此, 该井在其他已开发油层枯竭后计划转为注水井, 经过精细三维地质建模工作, 发现该井实际位于一个未开发独立砂体的高部位, 与断块构造高部位的砂层并不连通。根据这一新的认识, 对该油层进行了补孔试油, 最终获得了工业油流, 并保持长期稳产<sup>①</sup>。

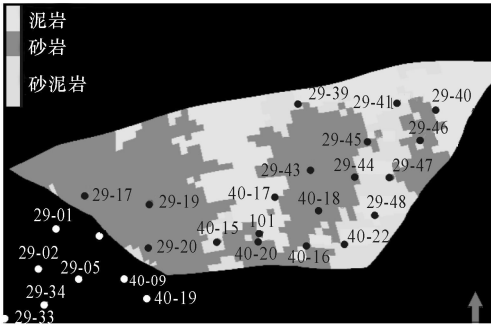


图 1 C39 断块  $E_d^3$  II 油组一小层岩相模型  
Fig.1 Lithofacies model of 1<sup>st</sup> sand layer,  $E_d^3$  II of C39 fault block

## 2 精细地质建模基本思路

地质建模工作主要包括构造建模和属性模型计算方法, 其中计算方法经过多年研究和实践已经比较成熟, 真正的关键因素是构造模型的准确性和细致程度。研究表明, 精细构造模型至少要达到以下要求:

(1) 断层模型要与钻井断点位置完全吻合, 同时钻井断点位置的对比要十分准确。在复杂断块区, 钻井断点位置和三维断层模型的准确性是整个

构造模型的关键之一, 否则, 将导致地质模型在断层附近的油藏关系出现错误。

(2) 为了细致地反映出单砂体的三维形态, 构造模型的基本控制面应该做到可分辨、对比出的最小沉积单元等地质时间沉积界面。在渤海湾地区, 这种基本沉积单元是小层, 只有准确控制住小层的构造形态, 才能准确地完成属性模型计算。

还有一种思路是直接以各井单砂体的顶底面建立构造控制层面, 以此来直接描述单砂体, 经试验后认为不可行。其主要问题在于由于沉积环境的变迁, 砂层的顶底面是穿时的, 而且建立的砂体界面很可能是多个独立砂体的包络面。因此, 无法在三维地质模型中准确描述砂体的空间形态。

## 3 三维可视化技术与基础地质研究

基础地质研究工作的准确性在地质建模工作中起着十分重要的作用。但是, 许多问题依靠传统工作方法无法很好解决。如果将三维地质建模软件特有的三维可视化功能与基础地质研究相结合, 可以较好解决这一问题, 以留楚油田为例, 首先, 根据地震解释成果建立了初步断层模型。由于地震资料的分辨率和精确度比较低, C39 断层模型与多口井的断点位置不相符(图 2a)。通过三维可视化编辑对断层模型进行修改, 使多数断点位置与断层模型相符合, 但有些井的断点位置根本无法收敛到三维断面上, 反映了这些断点位置本身有问题(图 2b)。为此, 对这些井重新进行了地层对比, 改正了断点位置, 最终使断层面与所有断点相吻合。

实例说明, 通过将三维地质建模技术扩展、应

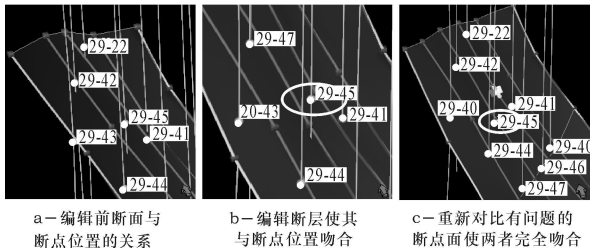


图 2 三维断层模型与断点位置关系及交互编辑校正实例

Fig.2 Example map of interactive editing between 3D fault surface and fault points on borehole

① 吴键. 留楚油田综合调整改善开发效果研究. 华北油田内部报告, 2002

用到基础地质研究工作中,可以解决传统研究方法很难解决的地质问题。渤海湾盆地内的多数油田沉积环境复杂多变,地层对比特征不明显,许多钻井上的断点位置很难准确识别,成为困扰油田开发的一个严重问题。通过三维可视技术,分析断点在三维空间的分布关系,可有效、准确地解决这一问题,减少了油层或单砂体的井间对比失误,进而提高了油藏的采收率。

三维可视化交互编辑在建立构造模型时同样起了重要作用。留楚油田东营组共划分了 78 个小层,这些小层的界面需要根据地层对比成果来建立。由于钻井数量有限,小层厚度又仅为 10 m 左右,很难在整个工区内完全控制住地层的构造形态,但利用三维可视化交互编辑很好地解决了这一问题,如图 3。当建立  $E_d^3$  VI 油组的小层构造模型时,一口井在 4 小层内穿过 C29 断层。受该井的控制,4 小层顶面出现一个微幅度构造变形,但由于下伏地层在该处没有钻井数据控制,因而未能反映出这一构造形变。通过三维网格交互编辑,对模型进行了修正,使下伏地层在没有钻井数据的控制下也准确地反映出了这一微构造变形。

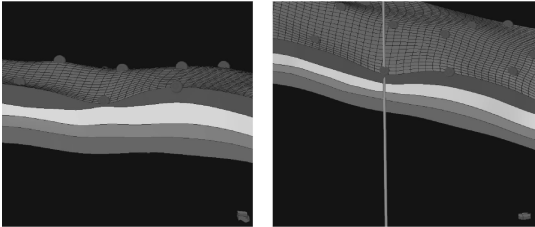


图 3 构造模型校正实例

Fig. 3 Example map of modify the structure model

这步工作虽然并不复杂,但与以往的二维构造编图相比较,由于在三维空间内考虑各构造面之间在地层厚度、构造趋势、构造形态等方面的合理性和相互关系,构造认识更为准确、可靠,而且更有效率。

以上说明,将地质建模技术中特有的一些技术手段与基础地质研究充分结合,不仅可以使地质模型达到精确化水平,还在构造、地层、沉积等基础地质研究中具有广泛地应用范围。

4 精细属性模型的建立

属性模型包括相模型和岩石物理模型。由于有精细构造模型做基础,属性模型可以达到较高地分辨率和精确性。单砂体的三维空间形态在三维

岩相模型中得到清楚的描述(图 4a, 图 4b)。

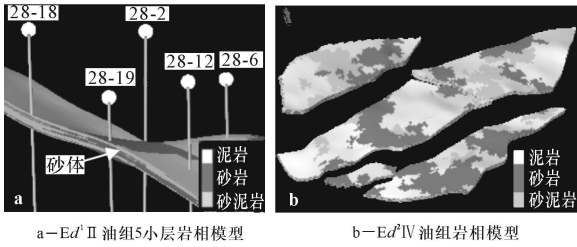


图 4 三维岩相模型

Fig. 4 Model of 3D lithofacies

模型计算中的主要技术要求包括:

(1) 考虑到留楚油田砂泥薄互层的岩性特征,在进一步划分纵向网格单元时厚度均  $< 1$  m,以保障地质模型可以细致地描述出单砂体及砂体内部的空间形态。

(2) 利用随机地质统计法计算了属性模型。计算时应首先建立岩相模型,然后再利用岩相模型对岩石物理模型的计算进行约束,以保障不同模型之间的一致性。

(3) 人工干涉同样是属性建模中的重要步骤。C29 断块的 C29 - 61 井为新钻注水井,该井投注后西侧的 C29 - 65 井却不见效,说明两井砂层不连通,如图 5a。在最初计算出的岩相模型中,C29 - 65 井区的含泥砂岩与 C29 - 61 井区的砂岩相连接,与实际开发动态资料不相符。为此,采用人工交互编辑方法对模型进行了修改,使两井的砂岩分开(图 5b)。

研究表明,属性模型建立不能仅仅依靠地质统计计算,因为许多地质经验和地质判断是不可能用数学算法来表述的,根据地质认识或开发动态资料对模型进行人工修正是必不可少的工作。

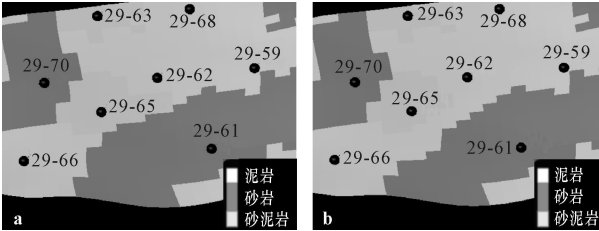


图 5 楚 29 ~ 60 井区  $E_d^3$  IV 油组 3 小层 4 亚层岩相模型人工修正

Fig. 5 Lithofacies model interactive editing of 3<sup>rd</sup> sand layer of  $E_d^3$  IV sand group in C29 ~ 60 block

5 三维地质模型与数字化油藏

三维地质模型是地质体的数字化表述,因此,

三维地质建模在数字化油藏中应该占有重要地位。例如, 建立地质模型需要将钻井分层数据、井位坐标、钻井轨迹、测井曲线、测试资料、地震解释成果等多种资料加载到计算机内, 三维地质模型本身也可以产生各种成果图件, 这就相当于建立了一个完整地基础资料和成果数据库。

因此, 一个精细的地质模型应该起到一个地质研究数字平台的作用。从这个模型中可以随时提取各种地质研究和油藏开发所需要的资料。例如, 它应该是一个可靠、落实的钻井资料和地层对比数据库; 可以随时从中提取构造图、地层等厚图、砂岩厚度图、岩石物性等值线图、断面图等基础研究图件以及任意部位和方向的油藏剖面图、储层分布图等油藏研究成果图件。研究人员可以随时根据模型对开发方案进行调整。在留楚油田, Petrel 建模软件建立的工区已经被油藏开发人员做为地质研究的资料库使用。

## 6 结语

若要在三维地质模型中准确描述储集单元及单砂体的空间分布, 并使其成为油藏开发生产中的实用手段, 必须将三维地质建模工作扩展和贯穿到整个基础地质研究工作的各个阶段, 并利用三维地质建模软件中特有的技术手段丰富、加强基础地质研

究的精度和水平。计算方法虽然是三维地质建模工作中一个重要部分, 但人工干预和三维可视化交互编辑是保证其真正成为地质模型的关键。

研究工作虽然使用的都是现有的技术方法和工具, 但通过采用新的技术要求和 workflows, 较好解决了以往工作中很难解决的一些问题, 这对于三维地质建模技术在油藏开发中的进一步推广和应用具有重大意义。

三维地质建模技术是油藏开发阶段地质研究的一个有力工具, 通过建立精细三维地质模型可以解决许多传统地质研究方法中存在的问题, 是油田地质研究进一步发展的一个重要方向。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Matheron G. Conditional simulation of the geometry of fluviodeltaic reservoir[ A ] . In: Proceeding of SPE 62<sup>nd</sup> Annual Conference[ C ] . Dallas, Texas: SPE, 1987. 102 ~ 107.
- [ 2 ] Haldorsen H H, Damsleth E. Challenges in reservoir characterization[ J ] . Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, 1993, 77( 4): 541 ~ 551.
- [ 3 ] 沈章洪, 梁雪梅, 田立新. 随机模拟技术在 Q HD32 6 油田油藏地质模型随钻调整中的应用[ J ] . 中国海上油气( 地质), 2001, 15( 6): 148 ~ 156.
- [ 4 ] 崇仁杰, 宋春华, 程立芝. 应用随机模拟技术建立夹层模型[ J ] . 石油与天然气地质, 2002, 23( 1): 89 ~ 97.
- [ 5 ] 谭成仟, 马娜蕊, 苏超. 储层油气产能的预测模型和方法[ J ] . 地球科学与环境学报, 2004, 26( 2): 42 ~ 46.

## 3D geological modeling in studying oilfield geology

WU Jian<sup>1</sup>, CAO Dai yong<sup>1</sup>, DENG Ai ju<sup>2</sup>, LI Dong jin<sup>2</sup>, JIANG Tao<sup>2</sup>, ZHAI Guang hua<sup>2</sup>

( 1. School of Resource Engineering, China University of Mineral and Technology,

Beijing 100083, China; 2. Huabei Oilfield Company, PetroChina, Hejian Hebei 062450, China)

**Abstract:** Borehole data based on 3D geological modeling are a powerful geological study tool in reservoir development. By generating fine 3D geological model in the Liuchu oilfield, the reservoir study reaches to high accuracy. It also plays a important role in the high accuracy structure study and stratigraphic comparison. Combining the special technique of 3D modeling software with essential geological study in the procedure of geological modeling can solve many geological problems that used to be basically unsolved by traditional. The geological study based on the fine geological model led to a satisfied result, for example, in the production adjustment of well C29 20 and in the inject production relationship analysis of C29 45 area. Because the 3D geological model is a digital presentation of reservoirs, it also occupies an important position in digitizing a reservoir.

**Key words:** fine 3D geological model; basic sedimentary unit; 3D visualization; 3D interactive edit; Chuliu oilfield

[ 英文审定: 周军 ]