

# 三维地质模型概率法在碳酸盐岩缝洞型油藏 石油地质储量研究中的应用

——以塔河油田四区为例

胡向阳<sup>1</sup>, 李 阳<sup>2</sup>, 王友启<sup>1</sup>, 权莲顺<sup>1</sup>

(1.中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083;2.中国石油化工股份有限公司,北京 100728)

**摘要:**碳酸盐岩缝洞型油藏孔、洞、缝储集体类型共存,规模相差悬殊,形态不规则,分布不连续,定量表征有效储集空间难度大,准确计算该类油藏石油地质储量一直是开发的技术难点。为此,研究并提出了基于三维地质模型的概率法,即在单井缝洞储集体识别及井间储集体预测的基础上,采用确定性建模与随机建模相结合的方法建立一系列等概率地质模型,在三维地质模型网格数据体上求取有效缝洞储集体体积,依据孔、洞、缝等不同储集体类型分别计算石油地质储量,统计石油地质储量概率分布。塔河油田四区计算的最可能的石油地质储量为 $5\ 665\times 10^4$  t,最悲观的石油地质储量为 $5\ 470\times 10^4$  t,最乐观的石油地质储量为 $5\ 914\times 10^4$  t,计算结果与塔河油田开发生产现状基本一致。结果表明,基于三维地质模型的概率法充分考虑储层的非均质性,计算的石油地质储量更为精确,细化了石油地质储量的构成,明确了石油地质储量的有利富集区。

**关键词:**缝洞型油藏 溶洞 裂缝 石油地质储量 概率法

**中国分类号:** TE15

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2013)04-0046-03

碳酸盐岩油藏是世界上最重要的油气勘探开发领域之一,占世界已探明石油地质储量的52%,全球油气总产量的60%<sup>[1-2]</sup>。近年来中国碳酸盐岩缝洞型油藏储量不断增长,先后发现了塔河、渤海湾盆地的广饶潜山等大型油田,已探明碳酸盐岩中缝洞型油藏储量约占2/3,是原油增储上产的主要领域之一<sup>[3-5]</sup>。塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏是近年来投入开发的大型油藏,储集空间类型主要为大型溶洞、大尺度裂缝、小尺度溶蚀孔洞及小尺度裂缝,储集体形态不规则、规模差异大、空间上呈离散分布,油藏埋深超过5 600 m,原始地层压力约为60 MPa,地层温度在125 ℃以上,属于超深、超高温、高压复杂油藏<sup>[2-3]</sup>。由于塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏储层的特殊性,应用传统的容积法计算其石油地质储量时,有效厚度、含油面积等储量计算参数难于取准<sup>[6-13]</sup>。笔者以塔河油田四区缝洞型油藏为例,研究并提出了应用确定性建模与随机建模相结合的建模方法,建立了碳酸盐岩缝洞型油藏三维地质模型,依据孔、洞、缝等不同储集体类型,在三

维网格数据体上求取有效缝洞储集体体积,计算不同类型储集体的石油地质储量,并在一系列等概率模型的基础上,应用概率法计算石油地质储量概率分布,估算最接近实际的石油地质储量。该方法充分考虑了储层的非均质性,对三维连通网格中每个网格的含油体积进行累加,这与传统的容积法有着本质差别,从而提高了储量计算精度。

## 1 区域地质概况

塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏与孔隙型和裂缝—孔隙型油藏差异较大,是一个与古风化壳有关的岩溶裂缝—溶洞型油藏<sup>[6]</sup>。塔河油田奥陶系油藏溶洞、裂缝皆普遍发育,储集体受多期构造运动的影响,多期次叠置、改造,岩溶缝洞交互发育,形成较为独特的非均质性强的储集特征<sup>[7-11]</sup>。塔河油田四区碳酸盐岩缝洞型油藏主要含油层位为中一下奥陶统,储集体岩性主要为颗粒灰岩、微晶灰岩,亮晶、泥微晶的颗粒灰岩次之,矿物成分

收稿日期:2013-05-26。

作者简介:胡向阳,男,高级工程师,博士,从事油气藏描述及三维地质建模研究工作。联系电话:(010)82282410,E-mail:huxy.syky@sinopec.com。

基金项目:国家重点基础研究发展规划“973”项目“碳酸盐岩缝洞型油藏地质模型研究”(2011CB201003),国家科技重大专项“缝洞型碳酸盐岩油藏三维地质建模技术”(2011ZX05014-002)。

99%为方解石。储层基质孔隙度低、渗透性较差。岩心统计储层孔隙度平均为0.92%,其中小于1%的样品占67.6%;平均渗透率为 $2.26 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,其中小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占63%,基质基本不具有储渗能力,油藏储集性能主要受裂缝和溶洞发育的影响,储层具有极强的非均质性<sup>[12-13]</sup>。

## 2 三维地质模型

### 2.1 缝洞储集体

以塔河油田奥陶系纵向岩溶分带模型为基础,根据缝洞尺度和约束条件的不同,应用确定性建模方法建立大型溶洞离散分布模型和大尺度裂缝离散分布模型;在岩溶相控约束下,基于溶洞发育概率体和裂缝发育概率体,应用多属性协同随机模拟技术,建立小尺度溶蚀孔洞随机模型和小尺度裂缝离散模型。

#### 2.1.1 大型溶洞及溶蚀孔洞

利用高精度三维地震资料,通过三维波阻抗体识别大型溶洞,并采用确定性建模方法按表生、垂向、径流及潜流等4个岩溶带建立大型溶洞三维分布模型。以单井溶蚀孔洞模型为基础,以溶洞发育概率体为井间约束数据,在纵向岩溶带约束下,采用协同序贯指示模拟方法,建立溶蚀孔洞三维分布模型(图1)。

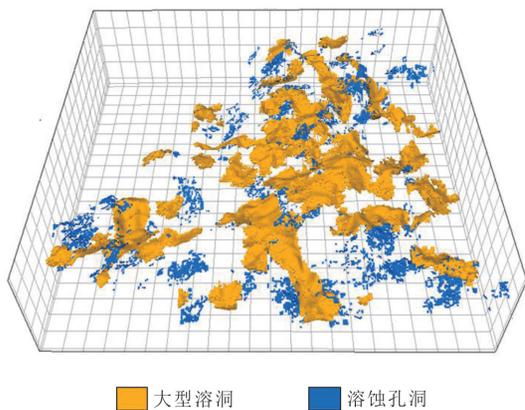


图1 塔河油田四区大型溶洞及溶蚀孔洞三维模型

#### 2.1.2 裂缝

根据三维地震构造解释结果及利用地震相干体、地震蚂蚁体等地震属性拾取断裂信息,采用确定性建模方法,分别按不同方位、组系,建立大尺度裂缝三维分布模型;通过成像测井、岩心及常规测井资料识别小尺度裂缝,在裂缝产状统计数据 and 裂缝密度分布模型的约束下,采用基于目标的示性点过程模拟算法,建立不同方向及组系的小尺度裂缝

分布模型。

### 2.2 缝洞体属性参数

针对不同缝洞储集体类型,分别采用不同的建模方法来表征油藏属性参数的三维分布。对于大型溶洞,依据单井产量等动态特征综合确定孔隙度及含油饱和度等参数;对于溶蚀孔洞,利用测井资料对孔隙度、饱和度等参数描述;对于裂缝,采用几何等效的方法,建立离散裂缝的孔隙度、渗透率及含油饱和度参数模型。

#### 2.2.1 大型溶洞及溶蚀孔洞

对于大型溶洞,依据井点放空漏失、单井产量等信息,确定井点的孔隙度及含油饱和度等参数。对于小尺度溶蚀孔洞,通过测井资料取得孔隙度及含油饱和度,在溶洞模型约束下采用序贯高斯模拟方法模拟大型溶洞及溶蚀孔洞属性参数三维分布,建立大型溶洞及溶蚀孔洞孔隙度和含油饱和度三维模型(图2)。

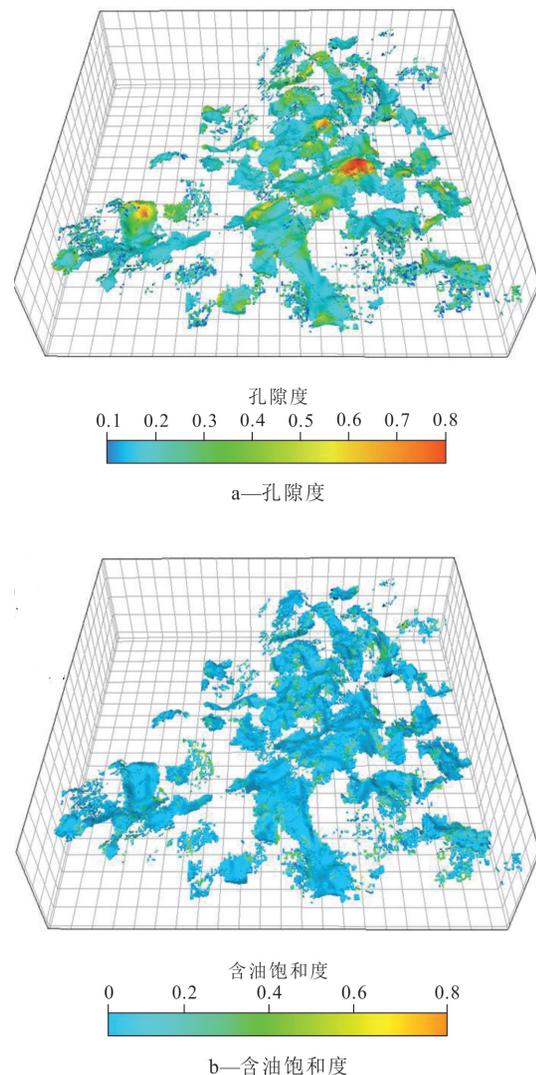


图2 塔河油田四区大型溶洞及溶蚀孔洞孔隙度和含油饱和度三维模型

### 2.2.2 裂缝

融合大尺度裂缝及小尺度裂缝模型,建立三维离散裂缝网络模型(DFN)。采用几何等效的方法,在裂缝组系、长度、倾角、开度和传导率数据基础上求取裂缝等效孔隙度,建立离散裂缝孔隙度三维分布模型(图3);裂缝含油饱和度按国际标准取经验参数90%。

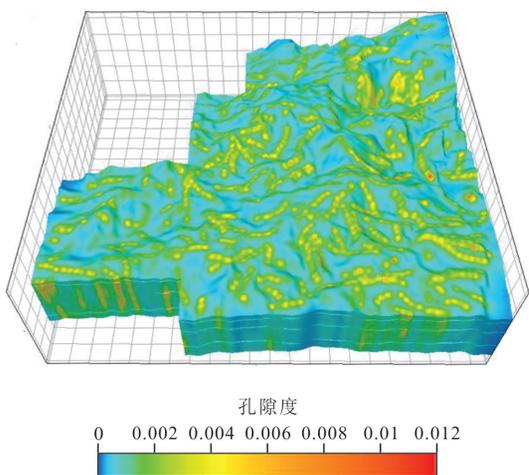


图3 塔河油田四区裂缝孔隙度三维模型

## 3 基于模型的概率法

### 3.1 计算方法

利用随机模拟技术建立一系列等概率三维地质模型,按不同储集体类型分别求取每个模型有效储集体体积,应用概率统计方法进行模型统计,计算不同储集体类型的石油地质储量概率分布,得到最乐观的石油地质储量、最悲观的石油地质储量及最可能的石油地质储量。

由于三维建模产生的是三维网格数据体,每个网格既有长、宽、高等形状特征,又有孔隙度、渗透率、含油饱和度等属性特征,因此,三维地质模型计算的石油地质储量是在确定孔隙度和含油饱和度下限值后对连通网格有效孔隙含油体积的累加,最后再换算成地面的石油地质储量。

三维网格法石油地质储量计算公式为

$$N = \frac{\rho_o \sum_{i=1}^n L_i W_i H_i \phi_i S_{oi}}{B_{oi}} \quad (1)$$

式中:  $N$  为石油地质储量,  $10^4$  t;  $\rho_o$  为平均地面原油密度,  $t/m^3$ ;  $i$  为连通网格的数目, 其值为 1, 2,  $\dots$ ,  $n$ ;  $L_i$ ,  $W_i$  和  $H_i$  分别为第  $i$  个连通网格的长度、宽度和高度, m;  $\phi_i$  为第  $i$  个连通网格的孔隙度, %;  $S_{oi}$  为第  $i$  个连通网格的含油饱和度, %;  $B_{oi}$

为平均原始原油体积系数。

### 3.2 计算结果

利用大型溶洞、溶蚀孔洞及裂缝等储集体类型的三维地质模型,计算出石油地质储量及概率分布,最悲观的石油地质储量(累积概率为0.1)为  $5\,470 \times 10^4$  t,最可能的石油地质储量(累积概率为0.5)为  $5\,665 \times 10^4$  t,最乐观的石油地质储量(累积概率为0.9)为  $5\,914 \times 10^4$  t(图4)。当石油地质储量为  $5\,665 \times 10^4$  t时,所计算出的大型溶洞、溶蚀孔洞和裂缝的石油地质储量分别为  $2\,465 \times 10^4$ ,  $3\,119 \times 10^4$  和  $81 \times 10^4$  t,分别占总石油地质储量的44%,55%和1%。与传统的容积法相比,该方法提高了石油地质储量的计算精度,细化了石油地质储量的构成。

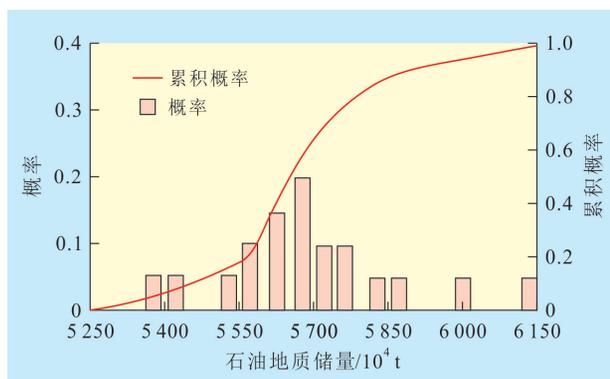


图4 塔河油田四区石油地质储量概率分布

## 4 结束语

碳酸盐岩缝洞型油藏因其复杂的储集空间类型及储层具有极强的非均质性导致该类油藏的石油地质储量计算成为油田开发的技术难题。笔者提出的基于模型的概率法计算碳酸盐岩缝洞型油藏石油地质储量,是在三维空间上利用随机模拟技术建立一系列等概率随机模型,依据不同缝洞储集体类型分别求取有效缝洞储集体体积,计算有效含烃体积的概率分布,计算出最可能的石油地质储量。该方法计算石油地质储量充分考虑了储层的非均质性,细化了石油地质储量的构成,提高了石油地质储量的计算精度。该方法在塔河油田得到了广泛应用,为油田高效开发奠定了坚实的地质基础。

### 参考文献:

- [1] 江怀友,宋新民,王元基,等.世界海相碳酸盐岩油气勘探发现状与展望[J].海洋石油,2008,28(4):6-13.

(下转第61页)