

文章编号: 0253-2697(2006)02-0053-05

扇三角洲前缘地质知识库的建立及应用

陈 程¹ 孙义梅¹ 贾爱林²

(1. 中国地质大学能源学院 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要: 微相砂体的地质知识是储层随机建模的基础。地质知识来源于对现代沉积区、露头区和密井网区的精细解剖,其中密井网区的精细描述是在我国东部老油田建立储层地质知识库时的一条有效途径。利用双河油田密井网数据,建立了扇三角洲前缘原型骨架模型,研究了水下分流河道砂体的几何形态及分叉规律,获得了微相砂体的长度概率分布、宽度概率分布、宽-厚比关系和长-宽比关系等定量地质知识,为双河油田开发后期储层的精细表征提供了扎实的基础。

关键词: 双河油田;扇三角洲前缘;微相砂体;储层表征;原型骨架模型;地质知识库

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

Development and application of geological knowledge database for fan-delta front in the dense spacing area

Chen Cheng¹ Sun Yimei¹ Jia Ailin²

(1. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083, China)

Abstract: Geological knowledge about microfacies sand bodies gives the foundation for stochastic reservoir modeling. The geological knowledge mainly comes from fine description of outcrops, modern sedimentations and dense spacing areas. The fine description of dense spacing areas is an effective and worthwhile way to set up the geological knowledge database of reservoir in old oilfields of East China. A prototype framework model of fan-delta front was established by applying data from dense spacing area of Shuanghe Oilfield. The geometrical features and bifurcation laws of subaqueous distributary river channel were obtained. The quantitative geological knowledge about the probability distribution of length and width of microfacies sand bodies and the ratios of length to width and width to thickness were presented. The results provide a substantial base for fine description of reservoir in Shuanghe Oilfield in the late period of oilfield development.

Key words: Shuanghe Oilfield; fan-delta front; microfacies sand body; reservoir description; prototype framework model; geological knowledge database

为了进行精细储层表征,须建立大量的地质知识库。知识库中的经验知识主要来源于现代沉积区、露头区和密井网区^[1-2],且各区的特点不同。现代沉积区(尤其是河流、冲积相)可以在任意密度内取样,几乎不受空间限制。但有些古代沉积类型已无类似的现代沉积,而且孔隙度、渗透率等参数与地下情形差别甚大。露头区的取样取决于岩石出露程度,其岩石特征较接近地下地层的特征,可以直接观察,取样也较为简易。因此,露头早已被用作地下地层和储层的模拟对象。在最近十几年里,国内外对露头规模上储层的特性和非均质性的定量分析在预测无数据的井间储层特性方面发挥了重要作用。密井网区最能反映油田生产实

际,按一定准则绘制的微相分布图可以弥补二维露头剖面描述的微相砂体几何特征的不完整性。虽然通过密井网资料建立的原型地质模型有一定程度的不确定性,但仍能指导同一地区稀井网开发层系或相似成因储层的精细表征^[3-4]。

在现代沉积区和露头区建立地质知识库的工作开展时间较长,成果也较多。但这些成果大多集中于对河流体系的研究^[5],另外我国东部老油田周缘普遍缺乏露头,因此与油田地下储层相对应的地质知识贫乏。笔者利用密井网解剖了双河油田扇三角洲前缘微相砂体几何特征,并由此建立了地质知识库,以丰富我国储层地质知识库的内容。

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB209100)资助。

作者简介:陈程,男,1964年5月生,2002年获中国地质大学(北京)博士学位,现为中国地质大学(北京)能源学院副教授,主要从事精细油藏描述的教学和科研工作。E-mail: chdog@cugb.edu.cn

1 双河油田的地质概况

双河油田位于南襄盆地泌阳凹陷南缘,含油面积为 31.5 km²,石油地质储量约为 1 × 10⁸ t。双河油田的构造形态为一向南倾伏的鼻状背斜,南部倾伏端发育多条横向正断层,北部则为向南倾的单斜,周缘无与地下储层相类似的露头。

该油田的含油层位为下第三系核桃园组三段。该段发育多套厚油层(85%的油层厚度大于 4 m),纵向上可以划分为 9 个油组 105 个油层。油层之间被厚度为 1 m 以上的稳定湖相泥岩层分隔,每个油层均呈扇形分布,且向上倾方向减薄、尖灭。

双河油田的储层属于河口坝型扇三角洲沉积^[6],发育于泌阳凹陷南部边界断层的北侧。在平面上,扇三角洲可以划分为完整的扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲相带,其中 90% 以上的石油储量分布在扇三角洲前缘。研究区的扇三角洲前缘距物源区约 8 km,古坡降约 0.4%,宽度约为 5~10 km^[6]。在扇三角洲前缘主要发育水下分流河道、河口坝、前缘席状砂体、浊积砂体和水下溢岸砂体 5 种微相砂体^[7]。

双河油田分为双河和江河 2 个开发区,双河区开采的油层为 — 油组,江河区开采的油层为 — 油组。经过 25 年的开发,双河油田已钻探各类井近 1 000 口,而且各开发层系纵向上的叠置程度高,从而使得双河区的 — 油组和江河区的 — 油组钻遇井的密度高达 30 口/km²,局部井距仅为 20~30 m,各层系的注采井距也仅 250 m 左右。这为精细剖析微相砂体几何特征和获得具有重要意义的储层地质知识提供了条件。

2 密井网下扇三角洲前缘原型骨架模型的建立

双河油田扇三角洲的形成主要受湖泊和河流作用的控制。河流作用强时,主要沉积厚层的扇三角洲粗粒沉积物;湖泊作用强时,主要形成稳定的细粒泥质沉

积物。由于地质历史上河流和湖泊作用的频繁交替,形成了纵向上多层次的细粗交互沉积和叠置的砂泥岩互层结构,这为单砂层的细分创造了条件。单砂层细分的基本步骤如下^[8-9]:

(1) 根据岩性、沉积结构、沉积韵律、粒度分布及测井相划分微相砂体类型,建立微相砂体岩—电关系。

(2) 单砂层的细分对比。单砂层在纵向上表现为单一成因类型的微相单元,其顶、底均被相对稳定的隔夹层所分隔。单砂层的对比是在高分辨率层序格架和砂体的形态、大小等条件的约束下,以微相类型为对比标准(考虑相变和砂体大小)进行的,这种对比方法可极大地提高单砂层对比的准确性。

(3) 平面微相砂体编图: 按单砂层标绘各井砂层厚度和电相特征曲线。采用 1 m 等值间距,编制砂层等厚度。在编图时,须根据电相的相似性和区域沉积模型来判断是否为同一微相或河道伸展方向。根据电相的相似性和厚度变化趋势确定每一微相砂体的大致范围;根据电相曲线的齿化程度和微相砂体最大厚度的分布部位确定微相砂体的中心位置。电相曲线齿化程度高的井点常常指示该井位于微相砂体的边部,而电相曲线齿化程度低的井点指示其位于微相砂体的主体部位。

(4) 生产动态数据验证。动态数据为井间储层细分对比和微相砂体平面分布提供了直接证据。当注水井注水时,油井是否迅速见效直接反映两者之间的砂体是否连通。用动态数据可进行井间单砂层的对比以及检验对比结果的正确性,并据此校正微相砂体的分布范围,修正已建立的骨架模型。

充分利用密井网数据,把距剖面线 100 m 范围内的井垂直投影到剖面上,制作出原型骨架剖面模型(图 1),并以单砂层为单位编制出平面上的原型骨架模型。利用该模型统计微相砂体的大小及其相互的关系,这样就能获得对该区储层随机模拟具有指导意义的地质知识。

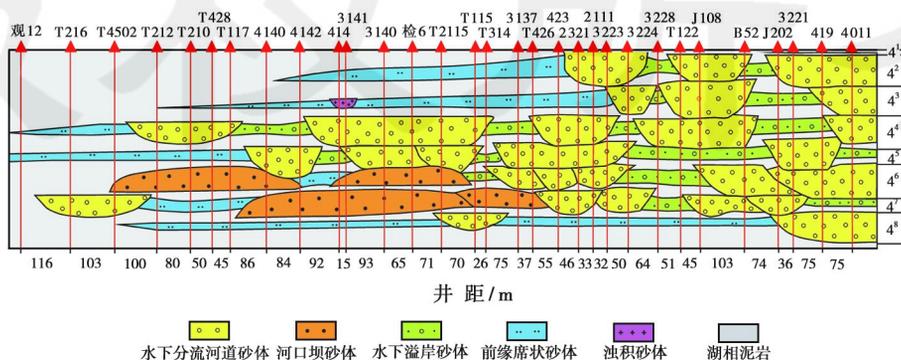


图 1 双河油田 油组 4 小层原型骨架剖面模型

Fig. 1 The prototype framework model of No. 4 layer of section in Shuanghe Oilfield

3 水下分流河道砂体的几何形态及分叉规律

水下分流河道是沉积物的搬运载体,河道的生成形式控制着双河油田扇三角洲前缘其他微相砂体的发育程度;同时河道砂体又是原油储量和剩余油分布的主要场所,在双河油田约有 53% 的地质储量和 15% 的剩余油分布在河道砂体中^[8]。因此,研究水下分流河道砂体形态、分叉规律及发育程度对建立扇三角洲前缘精细地质模型和预测剩余油分布都具有重要意义。

3.1 河道形态

从密井网剖面可见,双河扇三角洲前缘(含油面积内)水下河道常出现多次分叉,形态呈树枝状(图 2)。

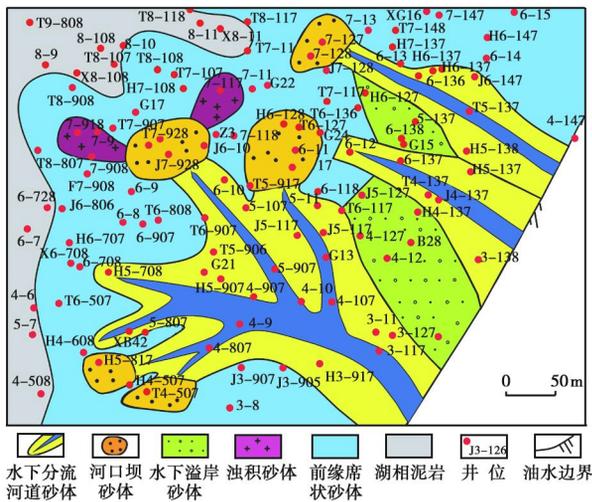


图 2 双河油田 油组 10 小层沉积微相分布

Fig. 2 Distribution of microfacies sand bodies in No. 10 layer of Section in Shuanghe Oilfield

树枝状河道主干部位的宽度一般在 400 m 以上,而分叉河道宽度为 150 m 左右。有的分叉河道末端发育河口坝,故树枝状河道形成了类似“葡萄串”样的形态。但是,由于前端部位分叉河道之间常被前缘席状砂体分隔,侧向连通性较差,因此分叉河道及其河口坝是油田开发后期剩余油富集的重要场所。

3.2 河道分叉规律

河道分叉加剧了储层的非均质性,从而影响了地下流体的运动规律。河道分叉与河道宽度有一定的关系,一般宽度大于 400 m 的河道就可能形成分叉。从理论上说,河道宽度越大,形成分叉小河道的概率也越大。因为河道宽度越小,搬运的碎屑物质也越少,因此也就很少有多余的碎屑物质分配给次级的分叉河道。

河道分叉的现象可以用水力学的 Horton 定理来描述。Horton 把河流地貌景观描述为树状样式。在

层次上,树状样式按照分叉级次排列,最末端的分叉级次 $u=1$,主干部位的级次 $u=k$ 。第 u 级的分叉数 N 的对数与级次 u 存在如下线性关系:

$$\lg N = m(k - u) \quad (1)$$

式中 k 为主干部位的级次; m 为分叉系数。

统计表明,双河油田扇三角洲前缘的河道分叉系数为 0.272,由式(1)可以计算出不同分叉级次上的分叉河道的数量。

4 微相砂体分布概率

4.1 微相砂体长度

水下分流河道砂体的长度指的是油田范围内的长度。统计表明,90% 的河道砂体长度小于 600 m,55% 的河道砂体长度小于 400 m,近 30% 的河道砂体长度小于 300 m。从图 3(a) 可以看出,河道砂体长度大多为 300~500 m,且呈正态分布。但值得注意的是,有近 1/3 的河道砂体长度不足 300 m。也就是说,在目前双河油田的平均注采井距为 300 m 左右的情况下,无法有效地控制这些河道砂体,这成为改善油田开发效果的重要制约因素。

河口坝砂体长度分布较集中,有近 85% 的河口坝砂体长度小于 600 m,有约 50% 的河口坝砂体长度为 200~400 m,几乎没有长度小于 200 m 的河口坝[图 3(b)]。

水下溢岸砂体的长度明显地集中在短长度级别,即主要为 200~300 m[图 3(c)]。浊积砂体的长度分布比较集中,大多数长度为 200~300 m[图 3(d)]。

4.2 微相砂体宽度

水下分流河道砂体的宽度也呈正态分布,宽度大的和宽度小的河道砂体出现的概率都较小,而宽度为 300~400 m 的河道砂体出现的概率最大。有 95% 的河道砂体宽度小于 500 m,近 30% 的河道砂体宽度小于 300 m,另有近 10% 的河道砂体宽度小于 200 m[图 4(a)]。

河口坝砂体的宽度分布近似于正态分布,峰值出现在宽度为 200~300 m 的区间。96% 的河口坝宽度小于 600 m,71% 的河口坝宽度小于 400 m,近 10% 河口坝的宽度小于 200 m[图 4(b)]。

水下溢岸砂体的宽度明显变窄,峰值出现在宽度为 100~200 m 的区间。96% 的水下溢岸砂体宽度小于 300 m,22% 的砂体宽度小于 100 m[图 4(c)]。大多数浊积砂体的宽度为 100~200 m[图 4(d)]。

4.3 微相砂体的宽-厚比

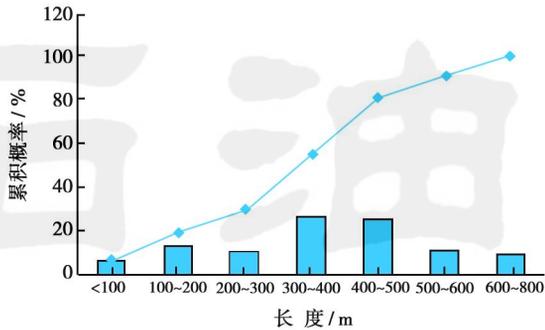
微相砂体的宽-厚比是最早引起储层地质学家注意的砂体几何参数定量关系,但关于宽-厚比的定量知

识大多局限于河流体系中的砂体。根据用双河油田密井网数据建立的原型骨架模型,测量和统计了扇三角洲前缘微相砂体的宽度 (w) 和厚度 (h),得到了其

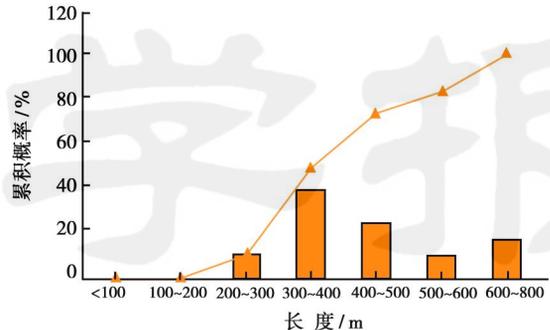
宽-厚比关系式。

水下分流河道砂体为

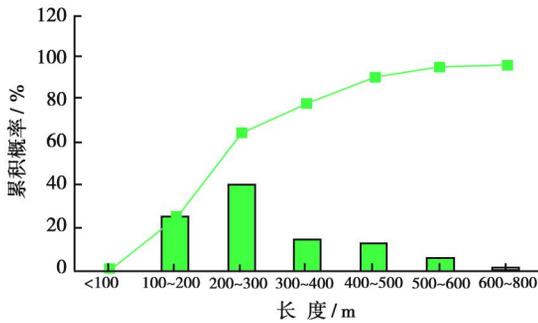
$$w = 76.7h - 6.89$$



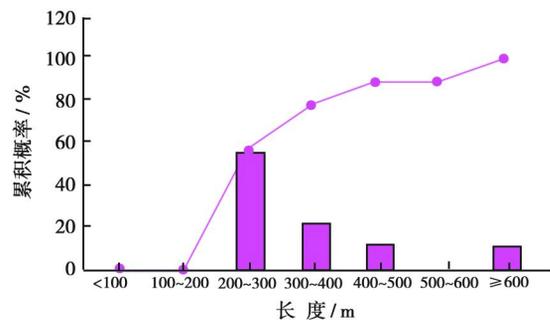
(a) 水下分流河道砂体



(b) 河口坝砂体



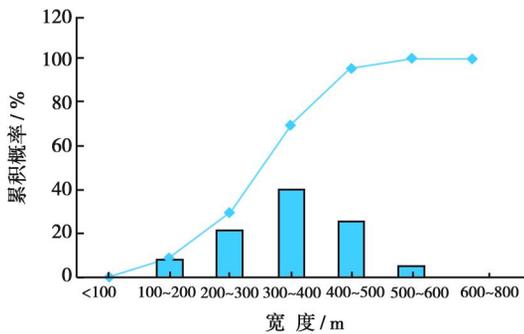
(c) 水下溢岸砂体



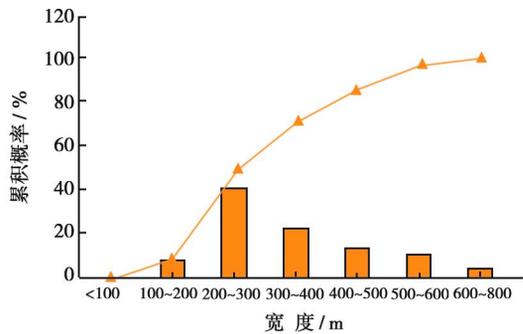
(d) 浊积砂体

图3 双河油田扇三角洲前缘微相砂体的长度概率分布

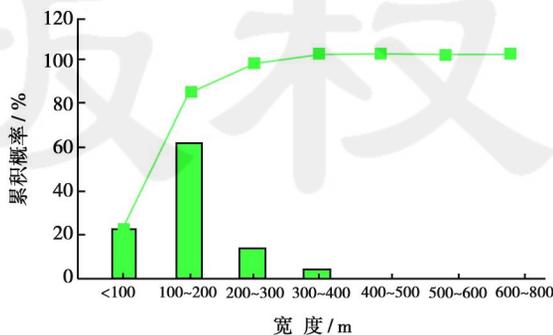
Fig. 3 The probability distribution of length of microfacies sand bodies in fan-delta front of Shuanghe Oilfield



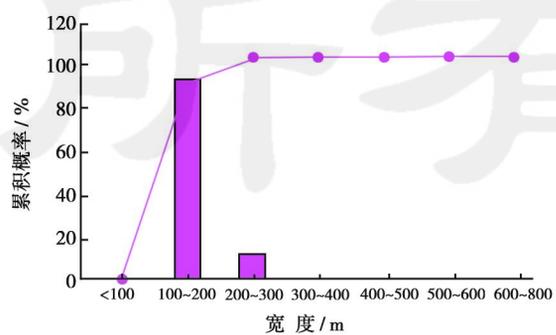
(a) 水下分流河道砂体



(b) 河口坝砂体



(c) 水下溢岸砂体



(d) 浊积砂体

图4 双河油田扇三角洲前缘微相砂体的宽度概率分布

Fig. 4 The probability distribution of width of microfacies sand bodies in fan-delta front of Shuanghe Oilfield

河口坝砂体为

$$w = 119.0h - 5.74$$

水下溢岸砂体为

$$w = 84.9h + 6.08$$

浊积砂体为

$$w = 160.0h + 0.02$$

利用上述微相砂体宽度与厚度的关系式及测井解释的微相砂体厚度,就能估计微相砂体在某一位置的宽度。

4.4 微相砂体的长-宽比

利用双河油田密井网可以揭露砂体三维几何形态的有利条件,建立了扇三角洲前缘微相砂体的长度(l)与宽度(w)的关系式。

水下分流河道砂体为

$$l = 567.81 \ln w - 2363.6$$

河口坝砂体为

$$l = 126.31 \ln w - 334$$

水下溢岸砂体为

$$l = 1.3517w + 151.21$$

浊积砂体为

$$l = 2.5541w + 18.572$$

根据微相砂体宽度与厚度及长度与宽度的关系式,就能利用钻井数据预测微相砂体的三维几何形态和分布,同时为储层随机模拟提供了输入地质知识。

5 模拟方法及应用效果

无论是开发新油田还是对老油田进行开发调整,精确地确定储层建筑结构是油田开发的关键。确定储层建筑结构包括两项任务:建立储层微相砂体的几何形态;确定储层非均质性和储层中潜在的隔挡层。因此,储层中微相砂体的规模和几何形态是评价、开发和开采油田的关键地质因素。

目前,常采用随机模拟方法来预测微相砂体的大小和分布,其中示性点过程方法是微相砂体分布建模的优选方法。示性点过程方法是一种面向对象的随机模拟方法,它的基本模拟过程是把随机生成的大小、方位和形状的对象(如微相砂体)根据点过程的概率定律随机地放置在模拟空间的过程,其实质是模拟对象的位置及其性质在三维空间的联合分布。但是,随机抽样过程中必须要有已知的微相砂体宽度和长度等参数的统计概率及它们相互的关系。因此,微相砂体的地质知识是仿真微相砂体分布的基础。

“九五”和“十五”期间,利用笔者建立的微相砂体地质知识系统地双河油田主力开发层系进行了随机

建模(图5),找准了一批能增储上产的剩余油富集区,共部署调整井105口,投产初期平均单井产油量为14 t/d,含水率低于60%,增加可采储量为 126×10^4 t,取得了较好的开发效果。

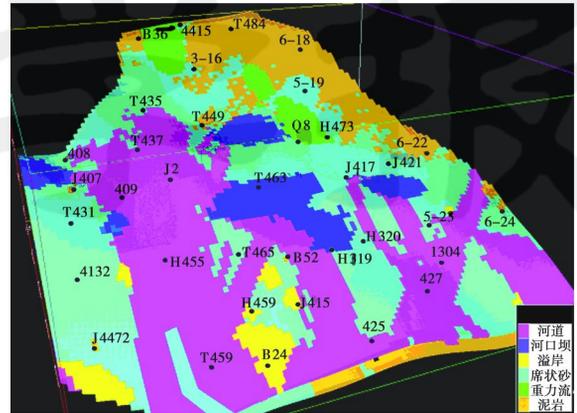


图5 双河油田 油组1小层三维微相模型

Fig.5 3D microfacies model of No.1 layer of Section in Shuanghe Oilfield

6 结束语

丰富的储层地质知识库是储层建模的基础。利用双河油田密井网数据建立的扇三角洲前缘原型骨架模型系统解剖了微相砂体的几何特征,获得了水下分流河道砂体的几何形态及分叉规律、微相砂体大小统计及关系等定性和定量地质知识,丰富了我国陆相储层地质知识库内容。

参考文献

- [1] 裴烽楠. 裴烽楠石油开发地质文集[G]. 北京:石油工业出版社, 1997:102-110.
- [2] 裴烽楠. 储层地质模型[J]. 石油学报, 1991, 12(4):55-62.
- [3] 裴烽楠, 贾爱林. 储层地质模型10年[J]. 石油学报, 2000, 21(4):101-104.
- [4] 裴烽楠. 中国陆相碎屑岩储层沉积学的进展[J]. 沉积学报, 1992, 10(1):16-24.
- [5] Rudkiewicz J L, Eschard R. Geological knowledge in the geostatistical modeling of reservoir properties[M]. Lake L W, Carroll H B, Wesson T C. Reservoir Characterization. New York: Academic Press, 1991:686-688.
- [6] 王寿庆. 扇三角洲模式[M]. 北京:石油工业出版社, 1993:3-10.
- [7] 陈程, 孙义梅. 油田开发后期扇三角洲前缘微相分析及应用[J]. 现代地质, 2001, 15(1):88-92.
- [8] 陈程, 贾爱林, 孙义梅. 厚油层相结构模式及其剩余油分布特征[J]. 石油学报, 2000, 21(5):99-102.
- [9] 陈程. 扇三角洲前缘储层精细地质模型及优化开发调整[D]. 北京:中国地质大学, 2002.