

文章编号: 1000-0550(2007) 01-0048-05

# 河流相储层沉积学表征

李 阳

(中国石油化工股份有限公司油田事业部 北京 100029)

**摘 要** 以层次分析思想为指导,应用结构要素分析法,结合露头研究,解剖层内薄夹层并对砂体内部建筑结构进行详细研究,认为这样就可以预测性地描绘出胜利油区河流相单砂体的几何形态、连通性、以及储层非均质性,准确判断出砂体的成因类型,揭示了砂体内部建筑结构特征。进而适应高含水后期油田调整挖潜和三次采油的需要。

**关键词** 河流相储层 建筑结构 成因单元 结构要素分析法

**作者简介** 李阳 男 1958 年出生 教授级高级工程师 博士 油气田勘探开发

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

1985 年以来, Andrew D. Miall 和 Douglas W. Jordan 等人分别提出了用沉积界面和结构要素分析法分层次研究露头和现代沉积中河流相砂体的成因类型、内部建筑结构和非均质等级的思想<sup>[1~3]</sup>。第十三届国际沉积学大会明确指出研究砂体几何学、内部建筑结构、不渗透薄夹层的空间变化是储层非均质的主要内容,并且认为研究沉积界面体系是搞清砂体内部建筑结构的关键。我国已经投入开发的河流相储层是一个复杂的非均质体系,在纵向上具有多级次的旋回性,平面有复杂的微相组合,非均质特征也表现明显的层次性。河流相非均质的研究必须采用分层次解剖的思想,应用露头和现代沉积研究的方法来描述地下河流相储层<sup>[4~6]</sup>。

## 1 建立层段和单砂层对比模型

在胜利油区河流相典型的孤岛油田馆陶组,建立

层段和单砂层对比模型主要依据各小层亚相带划分及砂泥岩空间分布结构特征,在垂向上,以层次分析思想为主线,将地层划分出若干个沉积亚相和砂泥岩空间分布结构不同的岩相段,在岩相段里采用“相控旋回等时对比法”进行区块闭合对比,依据河流旋回特征及夹层发育情况,把相互叠置的厚层河道砂岩细分对比到井间单一河流沉积单元,建立单砂层对比模型。这相当于高分辨率层序地层学的短期和超短期旋回识别<sup>[7]</sup>,这也是河流相储层研究的基础。在建立单砂层对比模型基础上,依据各井点单砂层内测井曲线形态类型详细描述砂体的几何形态。在相和亚相的控制下,以现代沉积为指导,结合砂体的几何形态和相互配置关系,进一步确定砂体的微相类型,同时对微相的分布面貌进行模式化预测性描述。经过单砂层对比模型的建立以及精细对比,孤岛油田馆陶组完全建立起了高分辨率的地层对比格架(见图 1)。

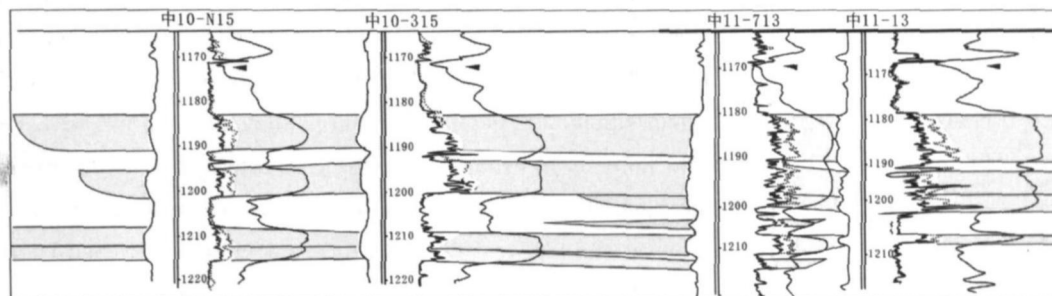


图 1 胜利孤岛油田单一河流沉积单元垂向细分示意图

Fig 1 Vertical subdivision map for single fluvial deposit unit of Mid-1 block in Gudao

## 2 建立单一河道砂体分布模型

复合曲流带内部往往包含两条或多条单一河道, 同一河道内部砂体连通状况较好, 不同河道之间连通变差或不连通<sup>[8]</sup>, 因此, 在复合曲流带内部首先识别出单一河道砂体, 目的是搞清河道的延伸方向及相邻河道砂体间的连通状况, 为准确地判断油水井的注入或来水方向, 提供更准确的地质依据。

根据现代曲流河和辫状河河流砂体厚度与宽度的关系, 识别单一河道主要有五种标志: 废弃河道沉积、不连续河间砂体、不同河道顶面高程差异、河道砂体厚度差异以及不同河道、水淹程度的差异。其中废弃河道沉积是单一河道砂体边界的重要标志。在曲流带内部, 废弃河道代表一个点坝的结束, 而最后一期废弃河道则代表一次性河流沉积作用的改道。废弃河道又可以分为突弃型和渐弃型两种, 通过对胜利油区孤岛油田馆陶组大量井垂向细分对比和测井曲线组合研究, 总结出泛滥平原和复合曲流带砂中发育的废弃河道的典型电测曲线特征 (见图 2), 突弃型表现为多呈指状、尖峰状, 而渐弃型则为呈塔松状。废弃河道对流体渗流起侧向遮挡作用, 砂体下部连通, 但从电性曲线特征看物性较差。

在单一河道识别的基础上, 并参照现代沉积的分布特征, 采用模式预测描述方法, 预测性描述单一河道砂体的井间分布规模、边界位置、连续性和方向性, 从而判断每条河道砂体的成因类型。同时根据河间砂体相互之间的层位关系、以及与河道砂体的平面配置关系、自身的几何形态等, 进一步识别描述出单一成因砂体, 并判断它们的成因类型、以及与河道砂体的配置关系。

## 3 建立砂体间的连通模型

由于大部分的成因砂体在空间上相互切割、交

错, 形成复杂的接触结构, 且不同类型的成因砂体有着不同的发育规律, 从而导致砂体间的接触关系具有多样性, 砂体间的连通程度具有差异性。总结对比胜利油区孤岛油田馆陶组砂体之间连通模型, 按照接触砂体的类型将砂体的连通性分为两种: 同类型成因砂体的接触和不同成因类型砂体的接触。

同类型成因砂体的接触在河流相储层中主要表现为河道砂体间的接触。由于曲流河有凹岸和凸岸之分, 故其接触的连通性亦有多多样性和不确定性, 主要有下几种情况:

1) 两个河道砂体凹岸相连, 相接部位一般为废弃河道泥质充填沉积物, 河道砂之间常常不连通或仅底部局部连通 (视废弃河道中砂充填的多少而定)。

2) 河道砂体凸岸与另一河道砂体的凹岸相连, 如果河道切穿了另一河道废弃部分, 且切入其底部活动沉积物, 则两条河道砂体是连通的, 否则是不连通的。

3) 活动河道凸岸与另一河道凹岸相切, 其结果与第一种情况相似。

4) 两条河道以凸岸相接, 连接带为河道沉积物, 一般是连通的。

5) 对于曲流河道某些过渡段或相对顺直的分流河道砂体, 河道边部通常无废弃河道泥质沉积, 两条河道砂相接部位一般是连通的。

不同类型成因砂体的接触, 通常表现为河道砂体与河道间砂体、河道砂体与河道边缘砂体以及其它成因砂体之间 (如决口水道与决口水道之间) 的接触, 其连通性视具体情况而定, 且胜利油区孤岛油田馆陶组砂体之间连通情况完全符合 1997 年大庆吕晓光等总结了不同成因砂体的连通关系 (见图 3)。

曲流河道及辫状河的河间砂体与河床边缘相薄层砂体, 一般同河道砂体能够连通。另外, 当河道底部发育有与侵蚀面伴生的滞留沉积物时, 可形成胶结

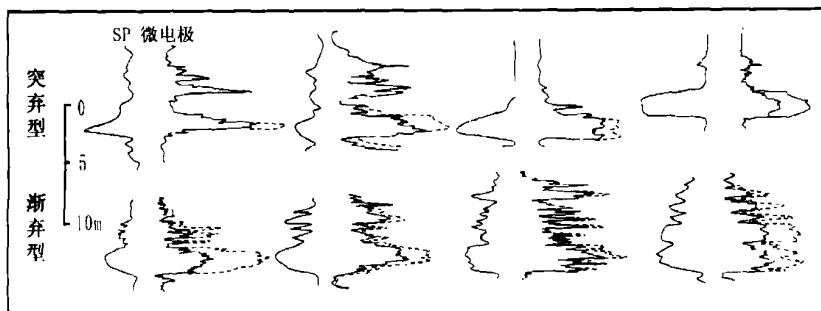


图 2 胜利孤岛油田废弃河道的典型电测曲线特征

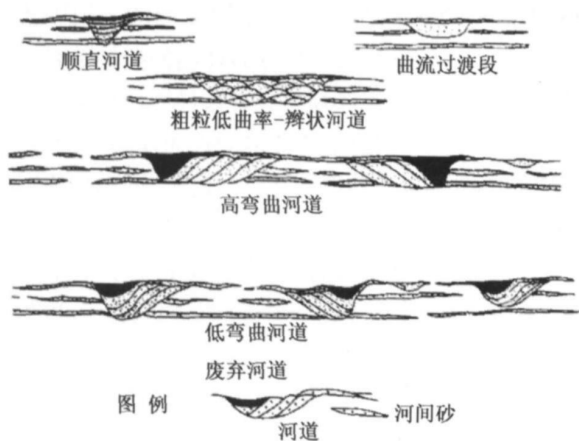


图 3 不同成因砂体的连通关系(据吕晓光等, 1997)

Fig 3 The connected relationship of different genetic sandbodies( after Lu Xiaoguang, et al 1997)

屏障, 对河道砂体垂向渗透率具有潜在遮挡作用。同时, 在河道砂体底部, 由于粒度粗, 在水驱过程中, 容易形成注入水窜流的通道, 即“大孔道”, 从而使砂体连通。

### 4 建立河流相储层平面建筑结构模型

通过对河流相储层成因单元类型的识别、细分与对比以及单一成因单元边界, 由点到线、由线到面, 建立精细的储层平面建筑结构模型, 为剩余油研究奠定

基础。研究过程中, 提出了一种以单一成因砂体为制图单元精细编制微型构造图的新做法(图 4)。传统“层状模型”下的储层微型构造, 忽视砂体本身的空间结构性及渗流屏障的存在, 对砂体自然形态粗化严重, 且容易出现假微型构造。而以单一成因单元为单位, 以成因单元边界(如废弃河道)为作图边界, 运用等值内插法绘制微型构造图。提高了微型构造研究的精度, 更有利于开发后期精细分析油水运动规律。

### 5 建立河流相储层内部建筑结构模型

针对不同成因砂体的沉积规律和沉积模式, 预测性的描述储层沉积模型。在沉积模型的指导下, 精细绘制砂体内不同层段渗透率平面分布图, 建立储层物性非均质模型, 描述砂体宏观非均质特征。经过沉积模型的建立揭示各种河道砂体的内部建筑结构和堆积方式, 结合各井点层内薄夹层与韵律段分布状况、露头与现代沉积知识定量估算各类河流古地貌参数, 进一步展现各种单一砂体及其夹层的分布方式、几何形态、规模等。

通过上述对砂体解剖, 以不同层次的沉积模型和结构模型为骨架, 结合渗透率等物性参数的分布, 应用地质统计学方法和计算机技术, 建立储层三维定量地质模型。研究过程中, 我们以密井网资料为基础, 通过上述对单成因砂体的界定和分析, 结合隔夹层分

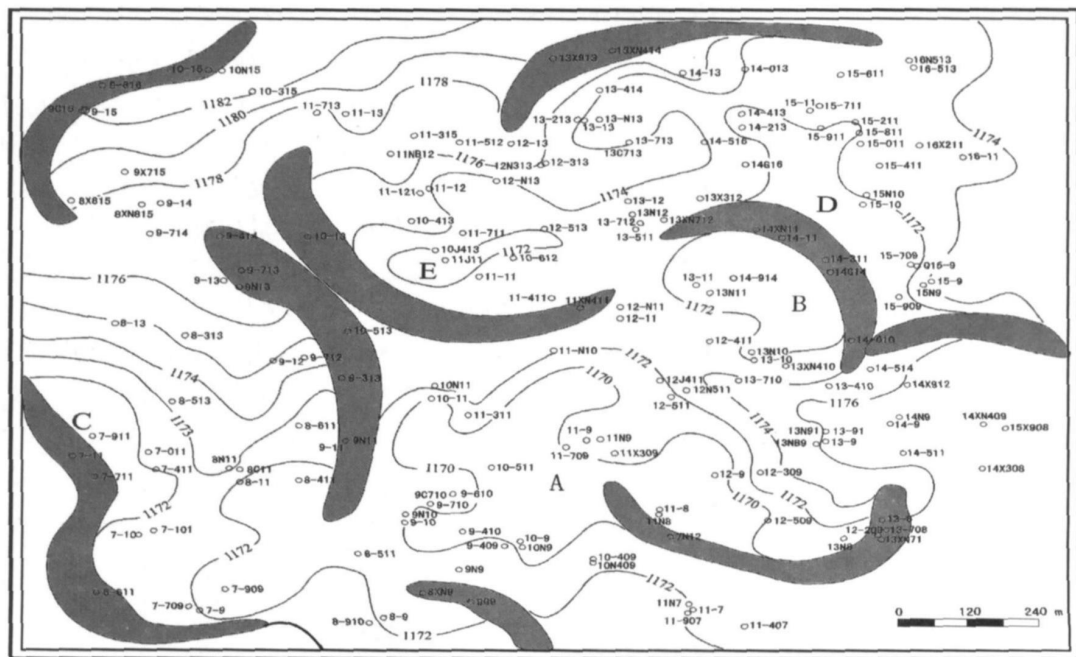


图 4 孤岛油田中一区 Ng<sub>3</sub>(1) 底面微构造图

Fig 4 Bottom surface microtectonic map for Ng<sub>3</sub>(1) of Mi-1 block in Gudao

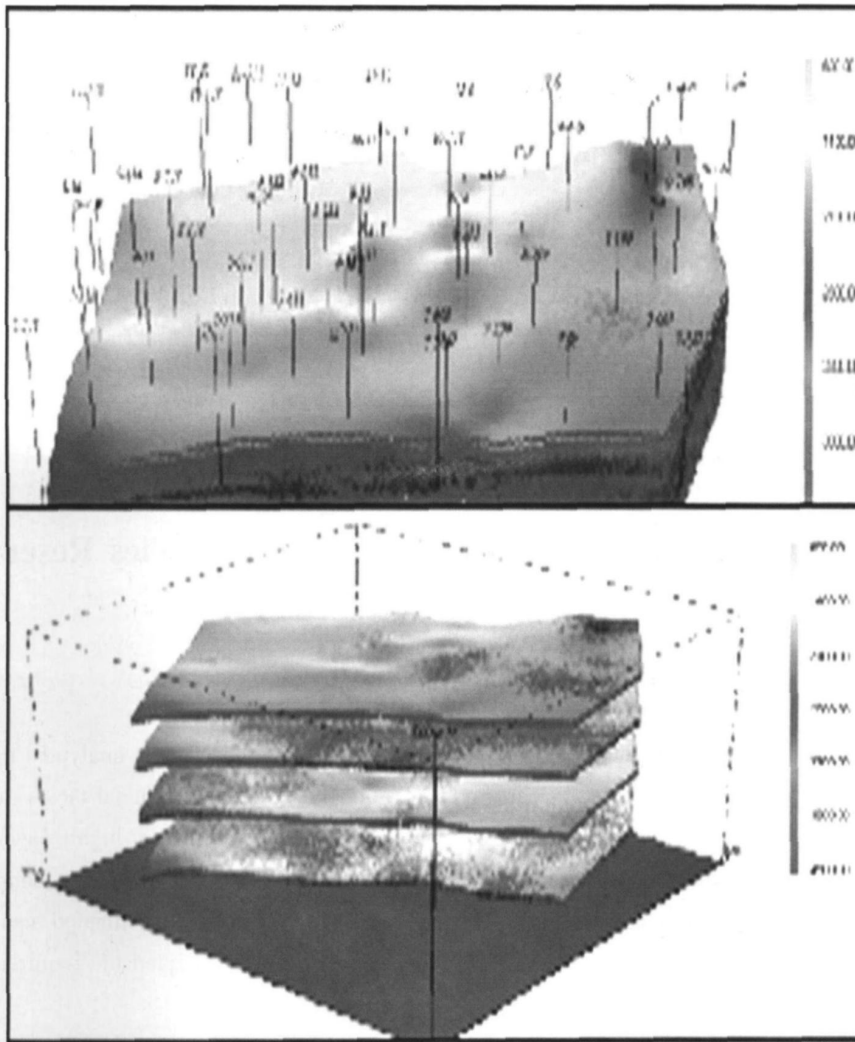


图 5 孤岛中 11-J11 井区  $N_{g3}$  层渗透率三维立体图及顺层切片图

Fig 5 Three-dimensional isometric drawing of permeability and bedding skemap for  $N_{g3}$  of Mi11-J11 in Gudao

布的研究、低级序断层的识别, 建立起了储层建筑结构三维模型。再在沉积纹层组的控制下, 采用较为可靠的确定性建模方法建立了精细的储层三维非均质模型, 采用神经网络加随机干扰的方法进行储层间渗透率预测, 以  $15m \times 15m \times 0.125m$  为网格尺寸建立 6 个主力层区域的精细三维数据体。如图 5 分别为孤岛中一区  $N_{g3}$  小层渗透率可视化三维立体图、顺层切片图, 从图上可以看出,  $N_{g3}$  小层两个单一成因砂体的渗透率由下至上总体呈减小趋势, 呈现出正韵律或复合正韵律的特征, 直观准确地反映出储层物性变化规律。

## 6 结论

通过上述对河流相储层的描述, 实现对胜利油田

河流相储层的精细描述, 把整套储层在纵向上划分到单砂层, 在平面上描述到微相和单砂体, 预测性地描绘出单砂体的几何形态、连通性、以及储层非均质性, 准确判断出砂体的成因类型, 揭示了砂体内部建筑结构特征。

通过开发实践证明了对河流相储层描述的精细性和准确性、流动单元划分以及大孔道三维空间分布, 油田剩余油精细挖潜和深度开发可以奠定坚实的基础, 这适应了高含水后期油田调整挖潜和三次采油的需要。

## 参考文献 (References)

- 1 Milla D. Architectural element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. Earth Sciences Review, 1985, 2

- 261~308
- 2 Miall A D. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstone: Lessons from outcrop studies. *AAPG*, 1988, 72(6): 682~697
  - 3 Douglas W Jordan, Wayne A Pryor. Hierarchical levels of heterogeneity in a Mississippi river meander belt and application to reservoir systems. *AAPG*, 1992, 76(10): 1601~1624
  - 4 李阳. 河道砂储层非均质模型. 北京: 科学出版社, 2001. 158 [Liyang. Channel Sand Reservoir Bed Anisotropic Model. Beijing: Science Press, 2001. 158]
  - 5 张昌民, 张尚锋, 李少华, 等. 中国河流沉积学研究. 沉积学报, 2004, 22(2): 183~192 [Zhang Changmin, Zhang Sangfeng, Li Shaohua *et al*. Fluvial sedimentology research in China. *Acta Sedimentology Sinica*, 2004, 22(2): 183~192]
  - 6 裴泽楠, 陈子琪. 油藏描述. 北京: 石油工业出版社, 1996 [Qiu Yinan, Chen Ziqi. Oil Reservoir Description. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996]
  - 7 邓宏文, 王红亮, 祝永军, Cross T A. 高分辨率层序地层学—原理及应用. 北京: 地质出版社, 2002. 53 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, Cross T A. Theory and Application of High Resolution Sequence Stratigraphy. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 253]
  - 8 赵翰卿, 付志国, 吕晓光. 大型河流—三角洲沉积储层精细描述方法. 石油学报, 2000, 21(4): 109~113 [Zhao Hanqing, Fu Zhiguo, Lu Xiaoguang. Fine description technique for large-scale river-delta deposit reservoir bed. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(4): 109~113]

## Characterization of Sedimentology in Fluvial Facies Reservoir

LI Yang

(Department of Exploration and Development, SINOPEC, Beijing 100029)

**Abstract** According to the idea of analytical hierarchy process, using structure element analytical method combining outcrop studies for anatomizing in-layer short lap, to study in detail Shengli oil field fluvial facies sand body internal building structure, the complete set reservoir bed can be divided into single sand bed at highly asymmetrical longitudinal direction and described to microfacies and single sand body at flat. As a result, geometry, connectivity and reservoir heterogeneity of single sand body can be described predictably, genetic type be estimated accurately and character of sand body internal building structure be revealed, as well as the study adapted the requirement of adjusting exploitation and tertiary oil recovery of later-high water-cut period oil field.

**Key words** fluvial facies reservoir, building structure, genetic unit, structure element analytical method