

青海油砂山油田第 68层 分流河道砂体解剖学^①

张昌民¹ 徐 龙¹ 林克湘¹ 刘怀波¹ 裘亦楠²

¹ (江汉石油学院地质系, 湖北荆沙 434102) ² (石油勘探开发科学研究院, 北京 100083)

提 要 青海油砂山剖面第 68层三角洲分流河道砂体内部可识别出来 Gpr Glt Ge Slt Smt Spr Sla Sbm Sclr Slh 和 Mri等 12种岩石相, 它们构成了 6种岩石相组合, 即: Ge- Gpr- Glt组合, Glt- Slt组合, Slt- Smt组合, Glt- Sbm组合, Sst- Mrl组合, Gpr (Spr) - Mrl- Sst- Mrl- Sclr- Mrl组合。

按照沉积界面之间的切割关系, 建立一个包括 7级界面的界面层次, 第一级为砂体的上下边界, 第七级为纹层边界, 沉积界面将砂体分隔为三个沉积幕, 它们由六个沉积亚幕组成。

砂体建筑结构要素包括侧体 (LA), 纵向砂坝 (LB), 横向砂坝 (TB), 简单砾质充填 (GF), 简单砂质充填 (SF) 和堤岸砂坪 (LF) 等六种类型, 它们具有不同的宽度和厚度比。

通过露头密网格采样和沉积学分析建立了砂体渗透率原型模型, 均质模型, 幕式模型以及建筑结构要素模型, 其中建筑结构模型与原型模型相似性最好, 证明了利用建筑结构分析可以建立符合砂体客观实际的储层地质模型。

关键词 建筑结构要素 沉积界面 地质模型 砂体解剖 分流河道砂体 青海油砂山

第一作者简介 张昌民 男 32岁 博士 副教授 沉积学与储层地质

统计表明, 现有经济技术条件下的石油采收率平均为 35%, 有 30%—45%的石油储量需要用昂贵的化学剂才能开采, 另外, 20%—35%的可动剩余油由于储层非均质性被隔挡在地下, 它们或者受砂体复杂的建筑结构控制分布于砂体的某一部位内部, 或者分布于开发井距难以控制的孤立小砂体中。在目前开发井网已经很密的情况下, 对研究剩余油分布来说, 前一个因素是主要的, 所以, 解剖砂体, 认识砂体内部的建筑结构要素的类型及分布方式是建立砂体规模储层地质模型, 预测剩余油分布的有效途径, 本文通过对青海油砂山第 68层三角洲分流河道砂体的解剖研究证明了这一方法的有效性

1 砂体沉积地质背景

青海柴达木盆地油砂山组底部为一套河流三角洲沉积, 第 68层砂体是发育在湖泊低水位体系域古湖底之上的一个下切谷三角洲分流河道砂体, 青海石油地质研究所 1972年油

① 国家攻关项目 85- 103- 01- 08项目成果之一。

砂山细测报告中该层砂体为第 68 层, 据此, 我们称之为第 68 层砂体

组成砂体的碎屑物质中值粒径 (MD) 0.48 ϕ , 最小 5.59 ϕ , 砾石直径可达 15 cm, 一般为 1—10 cm, 分选系数 0.87—2.53, 由此可见, 砂体既有含砾粗砂岩, 也有粉砂岩, 分选性中等到差。

209 块岩石薄片鉴定结果表明, 杂基含量为 3%—15%, 胶结物以方解石为主, 少量方沸石。平均胶结物含量为 8.9%, 骨架颗粒占碎屑总量 80% 以上, 岩性为岩屑砂岩, 长石岩屑砂岩, 少量岩屑长石砂岩及长石 (岩屑) 石英砂岩。重矿物组合指示物源来自祁漫塔格山与阿尔金山交界处的长轴三角洲体系。

砂体切割下伏第 67 层灰绿色浅湖相泥灰岩, 内部发育大型高角度、低角度槽状交错层理, 中型、小型槽状交错层理, 平行层理, 砂体底界面有河道滞流砾石和大块泥砾, 界面起伏剧烈, 泥质夹层位于河道两侧, 沉积构造显示向上变细、变小的河流相常见序列, 物性向上变差。

根据露头情况, 布置三维测网控制该砂体的几何形态 (图 1)。共布置垂直于古河道走向的测线 6 条, 平行于古河道走向的测线 1 条, 采样 518 个, 控制河段长度 158 m, 最大河宽 42.5 m, 最大厚度 5.33 m, 控制河道面积 6000 m², 河道砂体体积 30000 m³, 所揭示的河道上游窄深, 下游宽浅, 显示三角洲前缘分流河道砂体的基本特征。

本文以第三横测线为例进行解剖。

2 岩石相类型及其组合

综合沉积构造, 生物扰动和岩石粒度特征, 在砂体中识别出 12 种岩石相, 岩石相符号是在 Miall (1978) 方案的基础上修改命名的。

(1) 平行层理砾岩相 (Gpr) 岩性为砾岩, 平行层理具有粗厚的特点, 纹层界面不平整, 砾石直径最大达 8 cm, 代表水流强度大, 流速快的特点。

(2) 大型槽状交错层理砾岩相 (Glt) 槽状交错层厚度达 0.5 m 左右, 最大砾石直径达 15 cm, 发育在砂体的下部, 代表河床充分发育阶段的沉积充填。

(3) 侵蚀面砾岩相 (Ga) 相当于河床滞流沉积物, 砾石由泥砾和原生砾石组成, 泥砾直径可达 30 cm, 泥砾排列具有一定的方向性, 侵蚀面起伏达半米以上。

(4) 大型槽状交错层理砂岩相 (Slt) 岩性为含砾粗砂岩, 层理规模略小于 Glt, 除此之外, 与 Glt 相似, 它们具有相似的成因。

(5) 中型槽状交错层理砂岩 (Smt) 岩性为中到粗粒砂岩, 层系宽度 20—50 cm, 层系组厚度 20—50 cm, 层系厚度 20 cm 左右, 它们是河道充填阶段流量减小, 流速变缓的产

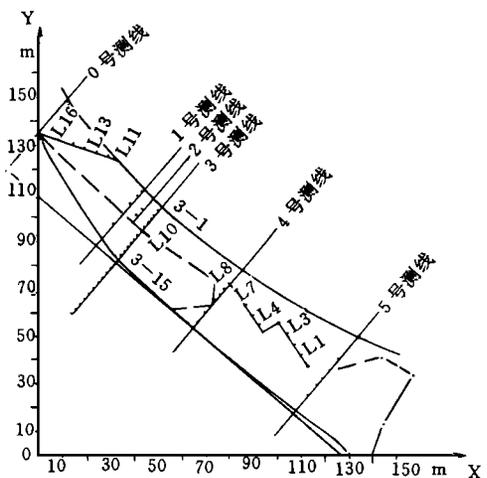


图 1 油砂山剖面第 68 层分流河道砂体采样线布置图。本文以三号测线为例介绍

Fig. 1 Sampling and surveying map for No. 68 sandbody of Youshashan, Qinghai. The No. 3 section has been described in this paper.

物。

(6) 平行层理砂岩相 (Spr) 岩性为中到细砂岩, 纹层界面平行且平整, 一般分布在砂体两侧, 它们的成因与靠近岸边的水流摆动和溢岸水流有关

(7) 低角度交错层理砂岩相 (Sla) 层系厚度 8-10 cm, 宽度 20-40 cm, 层系组厚度一般 30-50 cm, 产于砂体较上部, 呈单层或与大型交错层理在垂向上过渡

(8) 块状生物扰动砂岩相 (Sbm) 岩性为中砂岩, 砂岩分选较好, 其中发育柱状迹, 虫迹直径 1-3 cm, 柱状迹管部含油丰富。主要分布在河道侧部

(9) 小型交错层理砂岩相 (Sst) 岩性为细砂岩, 层系宽度 10-20 cm, 层系厚度 5-10 cm, 分布在砂体顶部

(10) 流水砂纹层理粉砂岩相 (Sicr) 主要发育爬升层理, 有泥岩脉线顺纹层界面分布, 其中可见少量虫孔, 发育在河道边缘和堤岸相。

(11) 水平层理粉砂岩相 (Sih) 产于泥质夹层和堤岸部位

(12) 块状泥岩 (Mri) 泥岩中未见有层理, 此类岩相代表快速垂向加积作用。泥质夹层中此类岩相比较发育。

不同岩石相在砂体不同部位相互组合形成 6 种岩石相组合。

(1) (Ge-Gpr-Glt) 组合 这一组合从河道底部冲刷面开始, 冲刷面之上可见平行层理砾岩, 再过渡到大型交错层理砾岩相。此组合代表河道冲开后底部以高流态为主, 向上变为以涡流为主的河道沉积, 高弯曲的砂波和发育的小型砂坝占据了原始河床, 粒度最粗, 是本河道最早的充填事件。

(2) Glt-Slt 组合 顶底皆为侵蚀接触, 组合下部发育 Glt, 向上渐变为 Slt, 侵蚀面上无滞流砾石。此组合发育在组合 1 的上部, 代表河道的另一个充填幕。

(3) Slt-Smt 组合 与组合 2 相似, 但水动力强度比组合 2 弱, 组合顶底可见泥质夹层。这一组合是河道不断淤积变浅的产物, 也代表了一个沉积充填幕。

(4) Glt-Sbm (Spr) 组合 生物扰动是这一组合最特征的现象, 由砂岩向上变为砾岩, 与组合 2 相似, 向岸方向 Sbm 变为 Spr, 强烈生物扰动的出现代表了该河道的一个流量间断, 即一个沉积幕式的结束。

(5) Sst-Slt 组合 这一组合发育在砂体的顶部, 通常是由 Sst 向上变为 Slt, 代表河道充填晚期的一次幕式沉积作用, 晚期由于水流弱, 河道浅, 难以携带粗粒沉积物。

(6) Sicr (Gpr, Spr, Sst) -Mri 组合 实质是其中一类砂砾质岩石相与泥岩的互层, 一般发育在堤岸相带中, 是溢流沉积的结果。

3 界面层次与建筑结构

根据第 68 层砂体内部沉积界面的相互包含和被包含关系, 依次划分出一个七级界面层次, 界面层次的序号与 Miall (1985, 1988)^[2,3] 有所不同。第一级界面规模最大, 第七级界面的规模最小。不同级别的界面代表了不同能量的沉积事件过程。

一级界面是砂体的顶底面 (图 2), 对于单个砂体来说它规模最大, 代表沉积过程时间最长的沉积事件, 一级界面所包含的层次实体反映了古河道的整个生命历程^[1]。

二级界面代表河道沉积幕 (图 2), 沉积幕的垂向厚度与一个岩石相组合相当, 实质上

是河道的一次冲刷充填的完整旋回, 即由粗到细的沉积过程。由于这一过程是河道规模的, 我们称之为河道沉积幕。

三级界面被称之为河道沉积亚幕 (图 2), 它们是第三级的沉积旋回, 也是河道规模的, 一个沉积幕一般包括 2 个亚幕, 亚幕层次相对不太完整, 它们代表了河道规模的一次冲刷充填事件。

四级界面被定义为砂坝的边界面 (死亡界面) (图 2), 由此级界面圈定了砂坝的范围。

五级界面是砂坝的加积生长面 (图 2), 代表了砂坝的生长过程, 如侧积体的侧积面。

六级界面是交错层的层系界面, 相当于岩石相的边界。七级界面是交错层纹层边界。建筑结构要素如同一座建筑的各个房间, 它们具有不同的形状 (态), 沉积界面如同分隔这些房间的墙壁, 这六种建筑结构要素 (图 3) 为:

侧积体 (LA) 以岩石相组合 4 为特征, 具有向河道中心倾斜的侧积面, 一般分布在河道边侧, 向河岸方向变薄尖灭, 第三号测线的两个侧积体宽度分别为 8.8 m 和 14.4 m, 宽厚比值为 5.5 和 7.2

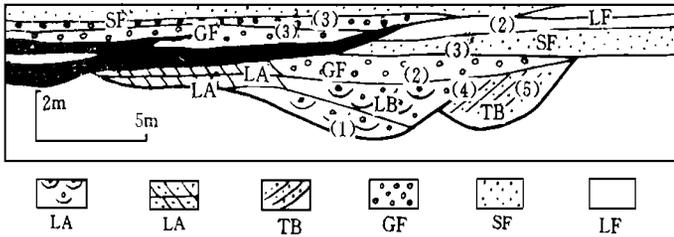


图 3 第 68 层砂体第三测线的建筑结构模式

Fig. 3 Architectural model of the No. 3 section of the No. 68 sandbody,

纵向砂坝 (LB) 以岩石相组合 1 和组合 2 为特征, 位于河道中心, 是河道中长条形心滩沉积的结果, 宽度为 10-12.4 m, 宽厚值为 4.17-5.17, 侧向上与 LA, TB (见下文) 相过渡

横向砂坝 (TB) 以岩石相组合 1 为代表, 厚度达 2.4 m, 宽 6.4 m, 宽厚值 2.67, 分布在河道边侧靠凹岸一侧, 类似于 Campbell 和 Hendry (1987)^[4] 的弯道角坝砂体

简单砾质充填 (GF) 和简单砂质充填 (SF) 以横向上分布较稳定的砾岩和砂岩层为主, 岩石相组合为 2, 3, 5

堤岸砂坪 (LF) 是平坦的沙滩和凸起不高的天然堤, 分布在河道两侧。

建筑结构要素及其形态	宽/厚(W/H)	形态
侧积体 LA	14.4/2=7.2 8.8/1.6=5.5	带状-席状
纵向砂坝 LB	12.4/2.4=5.17 10/2.4=4.17	条带状
横向砂坝 TB	6.4/2.4=2.67	透镜状
简单砾质 充填 GF	32/0.8=40	席状
简单砂质 充填 SF	12/0.8=15 24/0.8=30	席状
堤岸砂坪 LF	H=1.76	席状

图 2 第 68 层砂体的建筑结构要素
几何形态和大小特征

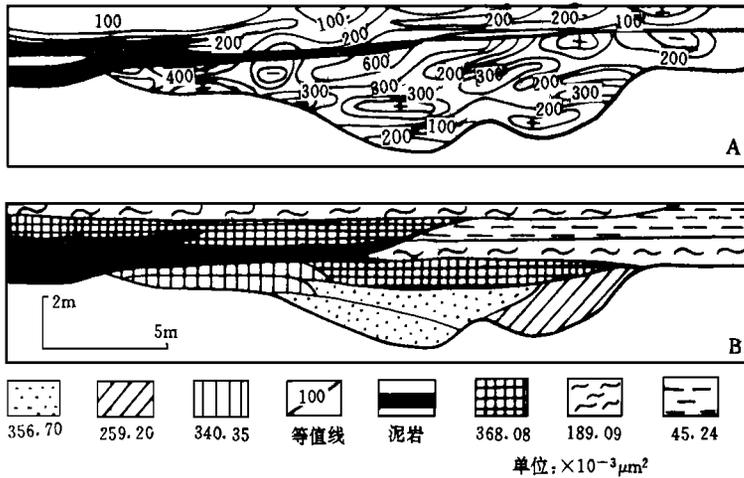
Fig. 2 Geometry and scales of architectural
elements of the No. 68 sandbody.

这六种建筑结构要素中, LA, LB, TB发育在砂体的下部, LF发育在砂体的边缘, GF, SF发育在砂体的上部。

图 2为第三测线的建筑结构模式, 由此可见本砂体被二级界面划分为三个沉积幕, 被三级界面划分为六个沉积亚幕, 由四级界面划分为十个建筑结构要素

4 储层地质模型比较

图 4. A为密网格采样所做的第 68层砂体储层地质模型, 该模型共利用渗透率测试数据 201个, 横向采样密度为 2 m, 垂向采样密度为 0.25- 0.5m不等, 该模型反映了砂体内



A 原型模型

B 建筑结构要素模型

图 4 原型模型与建筑结构要素模型比较

Fig. 4 Comparison of proto-type reservoir model and architectural reservoir model. A. proto-type model B. architectural model

部渗透率的真实分布特征。图 4. B为建筑结构要素储层地质模型, 通过给每一个建筑结构要素一个平均渗透率值而得出。比较图 4. A和图 4. B可以看出, 原型模型上半部与建筑结构要素模型第三幕相对应, 渗透率大于 $200 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的高值区与该幕中的 GF相对应, 在砂体第一沉积幕中, 原型模型底部大于 $300 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的高渗区与 LB相对应, 左侧 $400 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的高值区与 LA相对应, 右侧大于 $300 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的高值区与 TB相对应, 中部大于 $600 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 高值区与第二幕中的 GF相对应, 河道边缘的 LF分别对应于渗透率为 $100 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 左右的区域。

模型比较说明, 建筑结构要素储层地质模型与原型模型具有较好的相似性, 它可以反映砂体内部渗透率的分带特征, 在井网密度不足的情况下, 可以运用建筑结构分析法建立砂体规模的储层精细地质模型, 进而通过油藏数值模拟预测剩余油的分布, 为提高采收率提供依据

参 考 文 献

- [1] 张昌民. 储层研究中的层次分析法. 石油与天然气地质, 1992, 13 (3): 344- 350.
- [2] Miall A D. Architectural- element analysis a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. Earth Science Review, 1985, 22 (2): 261- 308.
- [3] Miall A D. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits of Kayenta formation (lower Jurassic), Southwest Colorado. Sedimentary Geology, 1988, (55): 233- 262.
- [4] Compbell J E and H E Hendry. Anatomy of a gravelly meander lobe in the Saskatchewan river near Nipawin, Canada. in Ethridge, Flores & Harvey (eds): Recent Development in Fluvial Sedimentology, SEPM special publication, 1987, 39 179- 190.

Anatomy of Distributary Channel Sand, the No. 68 Sandbody of Youshashan, Western Qinghai

Zhang Changmin¹ Xu Long¹ Lin Kexiang¹ Liu Huaibo¹ and Qiu Yinan²

¹ (Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha, Hubei 434102)

² (Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CN PC, Beijing 100083)

Abstract

The bottom of the lower Youshashan Formation (Neogene) was deposited by a braided deltaic system. The No. 68 sandbody was a distributary channel cut into the exposed lake bed during the lower stand stage. Sediments of the sandbody were transported by the longitudinal braided deltaic system located between the Qimantage and Argin mountains. The No. 68 sandbody has the similar upward thinning structure and grain size sequence as most of fluvial sandbodies have.

3D sampling net work controls 158 meters long of the sandbody. The sandbody is 42.5 meters wide and 5.33 meters thick, it widens and thins toward the downstream, which is also one of the common characters of all deltaic front distributary channels.

We recognized 12 lithofacies within the sandbody, they are Gpr, Glt, Ge, Slt, Smt, Spr, Sla, Sbm, Sst, Slcr, Slh, Mr1. 6 lithofacies assemblages are composed of the 12 lithofacies, they are Ge- Gpr- Glt; Glt- Slt; Slt- Smt; Glt- Sbm (Spr); Sst- Slt, Slcr (Gpr, Spr, Sst) - Mr1.

There are 6 kinds of architectural elements in the sandbody, they are lateral accretion (LA), longitudinal bar (LB), transverse bar (TB), simple gravel filling (GF), simple sand filling (SF), levee and sandflat (LF). LA is 8- 14.4 m wide and has the ratio of width/thickness(W/T) 5.5- 7.2, LB is 10- 12.4 m wide and its W/T is 4.17- 5.17, TB is 6.4 m wide and its W/T is 2.67, GF is 30 m wide and its W/T is 40, SF is 12- 24 m wide and W/T is 15- 30, LF is 1.76 m thick.

LA, LB and TB are situated at the lower part of the sandbody, GF and SF develop at the upper part of the sandbody, LF occurs at the two channel banks.

A 7 order surface hierarchy in the sandbody has been found in accordance with the sedimentary events. First order is the top and bottom surface of the sandbody, second order is sedimentary phase surface, third order is the surface of sub- phase, fourth order shows the surface of died channel bars, fifth order surface is the accretion surface within bars, sixth order represents the cross bedding set surface and the seventh order is the surface of laminar. By the surface hierarchy, the depositional process of the sandbody was reconstructed by 3 sedimentary phases and 6 sub- phases.

Compared the architectural element reservoir model with the thin grid proto- type reservoir model, it could be concluded that the two models are very similar in permeability distribution. This tells us that we can build the predictable reservoir model using the method of architectural element analysis, with the predictable model we can predict remaining oil distribution and provide more useful information for EOR.

Key word architectural element sedimentary surface geological model sandbody anatomy distributary channel Qinghai Youshashan