

# 陕北上三叠统延长组含油砂体的沉积环境\*

梅志超

(西北大学地质系)

彭荣华 杨华 刘国江 曾少华

(长庆油田勘探开发研究院)

陕北上三叠统延长组的含油砂体主要是与湖泊三角洲相关的河道沉积。本区的三角洲是河流注入到克拉通盆地的大型淡水湖泊中建造的。当时的陕北位于副盆北翼的浅水台地。因此,三角洲前缘河口坝沉积不发育,且多为后缘的河水强烈冲刷,以致河道砂体常常与浅湖泥岩直接呈冲刷接触。因此,河道砂体是该区的主要储集层,其中发育在上三角洲平原的曲流河道砂体是最有利的储集相带。

陕北上三叠统延长组的含油岩系是一套由砂岩、粉砂岩和泥岩互层组成的河流-湖泊沉积体系,其中砂层比例大,含油层次多,但因低渗、低产,勘探工作一直徘徊不前。1983年以来,安塞地区高产区块的相继发现,为陕北的油气勘探展示了良好的前景。勘探工作表明,油气的富集严格受沉积相带的控制。由于砂体的成因模式可以提供有关砂体的几何形态、分布和储集层性能演化的信息,所以,我们对东起延长,西到吴旗,北自靖边,南达富县的延长组长7—长1油层组进行了以砂体成因为重点的相分析。

本文的目的是通过对延长组的沉积背景、骨架砂体的几何形态、相序特征以及特征的岩相组合的分析,探索台地型湖泊三角洲的层序模式和各种含油砂体的成因特征。

## 一、地质与古地理背景

陕甘宁盆地的上三叠统延长组是在印支运动之后,在华北地台稳定的基底上形成的内陆褶皱盆地中堆积的陆源碎屑岩系<sup>[1,2]</sup>。当时的陕北位于盆地的北翼(图1)。沉积物来自北侧的内蒙古轴和内蒙褶皱



图1 研究区大地构造位置图

本文1988年1月20日收刊,1988年5月3日改回。

\* 本文系陕西省科委基金资助课题,参加该项研究工作的还有王良芬、史永苏和黄建松等。

带,在古生代,内蒙地轴北侧的阴山深断裂和西拉木伦河深断裂之间,是华北板块的北部活动大陆边缘,古生代晚期,阴山地区因华北板块与西伯利亚板块碰撞,褶皱成山<sup>[12,14]</sup>,并伴随有强烈的中酸性火成岩的侵入与喷发。这些岩浆活动一直持续到三叠纪<sup>[15]</sup>。在晚三叠世,陕甘宁盆地北缘始终以扇积的粗碎屑岩为特征,盆地内部则地形平坦,主要为河流与湖泊相的砂岩与页岩沉积,并普遍夹有中酸性的沉凝灰岩或斑脱岩薄层。这些分布广、电性特征突出的凝灰岩层是良好的时间-岩性标志层。长庆油田研究院曾根据在该区筛选的九个标志层( $K_1-K_9$ ),建立了时间地层单位的对比关系,并将含油段自下而上分为长1—长7七个油层组(表1)。

上三叠统延长组的含油岩系是在长7张家滩页岩( $K_1$ )为标志的最大湖进之后,盆地因河流注入而成的一套水退型河流-湖泊沉积体系。该区的 $K_3-K_1$ 标志层间的等时地层单位,呈楔状体自北而南向盆地方向增厚。这种现象反映盆地充填初期基底地形的变化趋势。当时的基底地形在志丹-甘泉-宜川一线两侧有明显变化(图2)。在这条枢纽线的北东侧,为一地形平坦的浅水台地,南西侧则以明显的斜坡向盆地内部倾没,这种背景对该区沉积体系的发展与演化有重要影响。



图2 陕北延长组 $K_1-K_9$ 标志层间地层等厚图

表1 陕北三叠统延长组分属简表

| 层        | 油层组  | 标志层            |
|----------|------|----------------|
| $T_3Y_3$ | 长1   | $K_9$          |
| $T_3Y_4$ | 长2   | $2^1$<br>$K_8$ |
|          |      | $2^2$          |
|          |      | $2^3$          |
| $T_3Y_5$ | 长3   | $K_7$          |
|          | 长4+5 | $K_6$          |
|          |      | $K_5$          |
|          | 长6   | $6^1$<br>$K_4$ |
|          |      | $6^2$<br>$K_3$ |
|          |      | $6^3$<br>$K_2$ |
| $T_3Y_6$ | 长7   | $K_1$          |
| $T_3Y_7$ | 长8   |                |
|          | 长9   |                |
| $T_3Y_8$ | 长10  |                |

## 二、砂体类型

陕北台地区延长组的砂体类型按成因可以分为河道砂体、三角洲前缘河口坝砂体和浅滩砂体三类。

### (一)河道砂体

河道砂体是该区分布最广的骨架相。按其几何形态、沉积类型和内部构造, 可进一步分为富砂(推移载荷)的低弯度河、富泥(悬移载荷)的低弯度河和混合载荷的曲流河三种河道砂体<sup>[4]</sup>。富砂的低弯度河主要发育在长2油层组, 曲流河以长6<sup>1</sup>油层组较为典型, 富泥的低弯度河在各油层组均有发育。

### 1. 富砂的低弯度河道砂体

主要为细-中粗砂岩, 基底冲刷面较平坦, 具河道坝序列(图3-A), 在基底槽状交错层之上常发育有大型板状交错层(图版I-1), 层系厚4—5 m, 倾角5—10°, 两种交错层反映的古流向夹角可达60—70°, 这种河道砂体在剖面上常因不同旋回的砂体彼此切割, 叠置成厚而稳定的板状体, 厚度通常大于30 m, 最厚可达80—100 m, 粒序不明显, 自然电位曲线形态呈块状(图4-A), 砂体平面形态呈宽阔的带状或席状, 河道砂

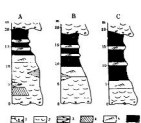


图3 延长组河流沉积剖面序列

A. 富砂的低弯度河, B. 混合载荷的曲流河, C. 富泥的低弯度河; 1—基床冲刷面和垂向沉积, 2—大型槽状交错层砂岩, 3—平行层理砂岩, 4—大型板状交错层砂岩, 5—沙纹交错层细砂岩与粉砂岩, 6—泥岩夹特砂岩, 具植物根迹和直立虫孔

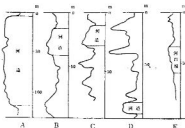


图4 延长组砂体的自然电位曲线形态

A. 富砂的低弯度河道砂岩, B. C. 混合载荷的曲流河道砂岩, D. 富泥的低弯度河道砂岩, E. 河口淤积

与河道间沉积之比大于2—3, 类似于辫状河道沉积<sup>[7]</sup>。

### 2. 曲流河道砂体

主要为中-细粒砂岩, 具典型的边滩砂坝序列(图3-B), 基底冲刷面起伏明显(图版I-2), 最大可达4 m, 砂体横剖面为上平下凸的透镜体(图5), 内部具完整的单旋回, 或为不完整旋回的反复叠置。单旋回的自然电位曲线呈倒钟状, 复合旋回呈齿状起伏的块状(图4B-C), 厚度一般在10—30 m, 在砂岩等厚图上, 砂体呈复杂的串珠状条带(图6), 宽数百米至数公里, 河道间沉积为薄层的细砂岩、粉砂

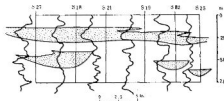


图5 长6<sup>1</sup>曲流河道砂体剖面图

岩和粉砂质泥岩的互层。常具植物根迹。细砂岩和粉砂岩以发育的沙纹交错层、包裹纹层和密集的直立虫孔为特征。底部截然，具正粒序。泥质岩富含植物化石，有时夹煤线。正常的河道间沉积常被砂。泥岩薄互层的冲刷充填构造切割，冲刷槽宽 40—60 m，深 1—2 m。河道砂与河道间沉积之比近于 1:1，和典型的曲流河沉积一致<sup>[7]</sup>。



图 6 长 6<sup>1</sup>顶部砂体的等厚线图

### 3. 富泥的低弯曲度河道砂体

富泥的低弯曲度河道砂体以下三角洲平原的分流河道沉积最为典型。根据地表剖面观察，分流河道砂体是一个上平下凸的细砂岩透镜体，砂体形态对称，基底冲刷而起伏强烈（图 7 及图版 I-3）。具侧向加积和堆积序列，正粒序清楚，自然电位曲线呈箱状或倒钟状（图 4-C），砂体厚度一般 5—12 m，宽度通常小于 300 m，宽/厚比小于 20。河道间沉积为灰—灰绿色粉砂质泥岩、粉砂岩与细砂岩互层。常具植物根迹和冲刷充填构造。泥质岩富含植物化石，偶尔含有介形虫，常夹煤线。粉砂岩与细砂岩层面含碳屑，直立虫孔密集，流水沙纹交错层发育。河道砂与河道间沉积之比通常为 1:2 或 2:3（图 3-C）。

## (二) 三角洲前缘砂体

主要发育在长 7 上部及长 6 下部。除了个别例外，序列中很少见到河口坝沉积。分流河道多已切入浅湖泥质沉积（图 7）。保存较好的河口坝沉积仅见于少数废弃部分。砂体呈透镜状，厚 1—3 m，横向延伸数十至三百余米，并与下伏浅湖泥岩组成进积序列（图 8 及图版 I-4）。底部为粉砂岩，细砂岩与粉砂质泥岩的互层，砂质岩具沙纹交错层和包裹纹层（图版 I-5），上部为具前积型交错层或中型槽状交错层的细砂岩。砂岩粒度区间在 3.2—2.9φ，比河道砂略细。砂岩透镜体在侧向上常常变细，层理以交错纹层为主。这种砂体虽然伏于含湖相动物化石的薄层湖相泥岩之下，却未见明显的波浪改造痕迹，因此基本上反映了河口坝的原始沉积特征。

## (三) 浅湖砂体

主要为细砂岩与粉砂岩，砂体呈上凸下平的透镜体夹在长 7 及长 6<sup>3</sup> 的粉砂质泥岩中（图版 I-6）。砂层厚 30—50 cm，最厚一米左



图 7 长 7 分流河道砂体剖面图

1—浅湖泥岩，2—河道砂岩，3—河道间沉积，4—鱼、介形虫和瓣鳃类化石

图 8 延河剖面上三叠统延长组南缘三角洲的进积序列(长 7)



右, 通常在100—200m范围内即可尖灭。砂岩具丰富的波痕构造, 其中包括浪成波痕, 流水波痕及干涉波痕系列, 层理主要为沙纹交错层, 局部具中垂槽状交错层。

### 三、砂体的成因

砂体的成因研究一直是石油地质工作者关注的问题之一。因为成因不同的砂体不仅具有形态各异的几何特征, 而且流体在其中运动的规律也有差别。所以, 正确地认识砂体的成因, 对于油气的勘探与开发工作将大有裨益。

上三叠统延长组的长 $6^1$ 砂体是陕北地区的主力油层, 但是在成因上却存在有热烈的争论。以前似乎有一种倾向性的看法, 认为长 $6^1$ 砂体属于三角洲前缘河口坝沉积<sup>[8,9]</sup>, 其主要证据是砂岩等厚线图的形态和自然电位曲线反映的反旋回特征。但是我们通过对陕北台地区地表露头及地下资料的研究, 发现有大量证据指示长 $6^1$ 砂体为河流沉积。就是长 $6^2$ 及长7油层组典型的三角洲沉积, 也是以分流河道砂为骨架的台地型三角洲, 河口坝沉积并不发育。下面我们准备通过对区域的沉积背景、骨架砂体的几何形态、相序关系, 以及特征的岩相组合的分析, 对其成因作一简要讨论。

#### (一) 沉积背景

延长组的含油砂体主要形成于长7最大湖进之后, 当时最大湖进的范围北部可达横山和乌审旗一带。台地区的湖水虽有自北而南逐渐变深的趋势, 但从总的沉积特征和湖相充填物的厚度来看, 水深仍然很浅。例如, 在靖边—子长—延长一线, 底部的湖相沉积只有数米至十余米, 岩性主要为深灰色—灰黑色粉砂质泥岩夹薄层粉砂岩和细砂岩。泥质岩含底栖动物化石, 砂岩呈上凸下平的透镜体, 层面具浪成波痕, 指示水深在浪基面以上。至甘泉—志丹基线地形枢纽线北侧, 湖相沉积增厚至30m左右, 底部开始出现深湖相的高阻黑色页岩( $K_1$ )。在这种背景下, 随着河流的注入, 台地区将很快被淤平为三角洲平原。例如, 在长7晚期, 三角洲已推进到枢纽线以北约10余公里的惠69井, 之后, 除了在长7末期有一次小规模湖进曾引起岸线退却外, 湖盆一直以进积作用方式充填。到长 $6^1$ 末, 三角洲重新推进到枢纽线附近, 并在惠72井及泉140井沿线建造了以分流河道砂体为骨架的浅湖三角洲。其后, 广大台地区变为水上平原, 并一直为河流体系控制。因此, 在陕北台地区, 除了长7及长 $6^1$ 可能具有水下三角洲的沉积背景外, 其它层段主要是河流沉积体系的产物。

#### (二) 台地区三角洲的骨架砂体是河道沉积

本区的三角洲沉积和目前流行的湖泊三角洲模式<sup>[10,11]</sup>不同, 其砂岩等厚图以分布广泛的带状砂体为特征, 剖面上很难见到完整的进积序列。在多数情况下, 分流河道砂直接与浅湖泥岩呈冲刷接触(图4-D), 砂体基底滞留沉积中含暗色的湖相泥岩角砾, 局部地方河道砂之下尚保存有薄的河口坝沉积的残余(图9)。但是, 发育比较完整的进积序列却比较罕见, 它们仅见于局部的



图9 宜川上三叠统延长组的湖泊三角洲沉积序列 (河口坝沉积因河流强烈冲刷仅留有少数残余)

湖进层位之下,并以废弃相保存。这种现象显然与三角洲沉积的背景有关。

陕北的台地三角洲是富含悬浮载荷的河流,在基底稳定、水深很浅的淡水湖<sup>[12]</sup>中建造的。由于淡水湖的湖水密度通常小于挟沙河水,所以在洪水期河流往往呈密度底流注入,并把许多砂质沉积物搬运到远离河口的湖区,难以形成河口坝。鄠阳湖三角洲是其现代沉积的良好例证<sup>[13]</sup>。本区浅湖沉积中常见的透镜状细砂岩及具有底板沟模的薄层砂岩,最初可能是洪泛河水以密度底流方式搬运来的。富含悬浮载荷的河流,通常具有强大的下切能力,其河道深度往往大于河口水深<sup>[14]</sup>,因此,即使有薄的河口坝的形成,在基底稳定的浅水背景下,随着河流的向前推进,也会被强烈的冲刷。这种情况在美国德克萨斯海岸的全新世 Guadalup 三角洲中表现的十分清楚<sup>[15]</sup>,在古代克拉通盆地的浅水型海洋三角洲中也比较常见<sup>[6]</sup>。

### (三) 曲流河道砂体是最有利的储集相带

陕北晚三叠世的油气藏主要分布在志丹—甘泉以北地区。其主力油层是长 6<sup>1</sup> 油层组的带状砂体。这些砂体无论是自然电位曲线形态,还是岩心资料,绝大多数都显示为向上变细的边滩砂坝序列;砂体形态在剖面上为上平下凸的透镜体(图 5),平面上呈串珠状的变宽条带(图 8);基底与夹煤线和根土岩的河漫滩和沼泽沉积呈冲刷接触。这些都是河道沉积的典型特征。在长 6<sup>1</sup> 油层组中,也有少数自然电位曲线显示反旋回的趋势,个别井砂层的自然电位曲线呈馒头状形态(图 4-5)。这些形态似乎与三角洲沉积序列的曲线类似。然而,岩心资料却表明,厚砂体下伏的细粒组分,全部是夹煤线与根土岩的河漫滩沉积,没有潮相沉积的可靠证据。馒头状的曲线形态则是决口扇沉积与河道砂叠合的结果。这样就从根本上否定了三角洲前缘相立论的基础。

本区长 6<sup>1</sup> 曲流河道砂体分布的地理位置,大致相当于上三角洲平原。由于这类砂体规模较大,距油源较近,边部往往为河道间泥质沉积遮挡,原生的与次生的粒间孔隙比较发育,所以在串珠状的高砂值带,几乎都发现有产量较高的油田。

下三角洲平原的分流河道砂体,主要为富泥的低弯度河道沉积。这种砂体虽有良好的遮挡条件,终因规模较小,不能造成较大的油气藏。发育在曲流河上倾方向的富砂的低弯度河道沉积,是叠合厚度巨大的席状砂体。这种砂体具有巨大的储集空间,但往往缺乏良好的遮挡条件。只有当砂体上倾方向出现局部泥质岩或胶结致密带时,才能造成一定规模的产区。

综上所述我们得出结论:陕北上三叠统延长组的含油砂体主要为河道沉积,其中发育在三角洲平原上的曲流河道砂体是最有利的储集相带。

## 参 考 文 献

- [1] 叶连俊等, 1983, 华北台地沉积建造, 科学出版社。
- [2] 朱 夏, 1983, 中国中生代盆地构造和演化, 科学出版社。
- [3] 李春昱等, 1984, 中国地质科学院院报, 第 10 号。
- [4] 黄国璋等, 1985, 中国大地构造及其演化, 科学出版社。
- [5] 内蒙古自治区地质队编, 1979, 内蒙古自治区地质, 地质出版社。

- [6] Galloway, W.E. and Hobday, D.K., 1983, *Terrigenous Clastic Depositional Systems*, Springer-Verlag, New York.
- [7] Walker, R.G., 1976, *Geosci. Canada*, 2.
- [8] 李克勤, 1986, 沉积学报, 第4卷, 第1期.
- [9] 朱国华, 王文娟, 1987, 石油与天然气地质, 第8卷, 第4期.
- [10] 吴保强, 1983, 沉积学报, 第1卷, 第1期.
- [11] 袁存德等, 1982, 石油勘探与开发, 第1期.
- [12] 穆永辉等, 1985, 地质学报, 第12卷, 第3期.
- [13] 朱国华等, 1981, 石油与天然气地质, 第2卷, 第2期.
- [14] Friedman, G.M. and Sanders, J.E., 1978, *Principles of Sedimentology*, John Wiley and Sons, New York.
- [15] Donaldson, A.C., Martin, R.H. and Kanes, W.H., 1970, in: J.P. Morgan and R.H. Shaver (eds.), *Deltaic Sedimentation Modern and Ancient*, Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ. No. 15.

## SEDIMENTARY ENVIRONMENT OF THE OIL-BEARING SAND BODIES IN THE UPPER TRIASSIC YANCHANG FORMATION OF NORTHERN SHAANXI

Mei Zhichao

(Geological Department of Northwest University)

Peng Ronghua Yang Hua

Liu Guojiang Zeng Shaohua

(Research Institute of Chongqing Oilfield)

### Abstract

Oil-bearing sandbodies in the upper Triassic Yanchang Formation of north Shaanxi are mainly channel deposits related to lacustrine delta. The delta was built by the river which discharged into a large freshlake. At that time, north Shaanxi was located on a vast shallow platform of the north flank of the lake basin, the water depth of which ranges from several metres to more than ten metres. In this setting, the river waters often flowed in by a density underflow, so that it was very difficult to form river-mouth bar. Even though thin progradational facies could be formed, it would have been scoured intensely by advancing river waters. As a consequence, channel sandbodies are commonly in contact with lacustrine mudstone by scouring.

The platform deltas are characterized by widespread banded sandbodies, the distribution map of which mainly reflects fluvial and distributary channel deposits. These channel sandbodies are subdivided into three types according to their sedimentary characters; sand-rich low-sinuosity channel, mud-rich low-sinuosity channel and mixed load meandering channel deposits, in which the mixed load meandering channel deposits occurred in upper delta plain are the most important reservoirs.