

# 鄂尔多斯盆地陇东地区长8段古输导格架恢复

陈占坤, 吴亚生, 罗晓容, 陈瑞银

中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029

**内容提要:** 结合岩心、测井资料, 认为陇东地区沉积砂体主要为水下分流河道、河口坝砂体。结合成岩作用分析及成岩序列划分, 认为在早白垩世末最大排烃期后, 主要有连晶方解石对粒间物质和粒缘的交代、强酸性流体对杂基和粒缘的溶蚀及长石溶蚀三种成岩作用。综合沉积成岩作用分析, 在早白垩末最大排烃期, 油气运聚的优势通道在镇原—西峰—庆阳一带。

**关键词:** 陇东地区; 长8段; 沉积微相; 成岩作用

陇东地区位于鄂尔多斯盆地西南部, 油气勘探的主要目的层为三叠系延长组地层(刘少峰等, 1996; 柳益群等, 1997)。人们通常将延长组划分为五段、10个油层组, 长7油层组是最为重要的烃源层, 而长8油层组则是陇东地区最为重要的储集层(张照录等, 2000)。长8段地层构造简单, 断层、不整合不发育, 相互连通的砂岩为本区最主要的油气运移通道。目前对砂岩输导体系的研究方法主要局限于对现今砂体间的叠置关系等方面(杨俊杰等, 1992), 而对于砂体在油气运聚成藏时刻的输导性能等方面的研究因缺乏有效的方法而基本未曾展开。以此为出发点, 本文在沉积相研究的基础上, 结合成岩作用研究, 对砂岩输导体在油气运聚时刻的输导性能及其空间变化规律进行了分析研究。

## 1 沉积微相划分

研究区油气二次运移主要在沉积砂体内进行的, 而砂体的空间展布主要受沉积环境的控制, 因此, 要了解油气运移成藏规律, 首先应当对沉积微相进行深入的分析研究。

### 1.1 主要沉积微相

结合前人的研究(魏斌等, 2002; 宋凯等, 2003; 武富礼等, 2004), 通过对研究区钻井岩心的观察及其与测井曲线特征的对比分析表明, 陇东地区长8段地层主要为河控三角洲前缘沉积, 其主要储集砂体为三角洲前缘的水下分流河道和河口坝砂体。

### 1.1.1 水下分流河道

水下分流河道是三角洲前缘的主要骨架砂体, 决定了区域的砂体的分布及延伸方向。与平原上分流河道相比, 它受堤岸限制更小, 改道迁移频繁, 造成河流入湖后的分叉作用, 因此, 水下分流河道形成网状分布。

剖面上, 单个砂体具有向上粒级变细、泥质含量增多的正韵律特征。河道底部可见冲刷、充填沉积, 中下部块状层理、板状交错层理和平行层理发育, 中上部多见小型板状交错层理和砂波纹层理, 局部见小型槽状交错层理, 显示水动力由下向上逐渐变弱。单个砂体在自然电位曲线上呈中—高幅钟形或指形, 有多个砂体连续迭置的测井段, 则呈中—高幅圣诞树状或箱形(图1)。

### 1.1.2 河口坝

区内发育的河口砂坝的岩性主要为灰、深灰色粉砂岩、细砂岩及少量中砂岩, 具有典型的粒度向上变粗、泥质含量减少、单层砂体厚度变大的反粒序结构, 反映了砂体堆积过程中水动力条件不断加强。下部发育水平层理、砂纹层理, 局部为泥质块状层理, 向上为低角度的板状交错层理、楔状层理等, 常见砂包泥、泥包砂、滑塌枕状构造、包卷变形层理和重荷模等构造, 表明其沉积初期处于有间歇湖浪作用的弱动荡环境; 中晚期水体变浅, 水动力加强, 沉积速率加快, 堆积坡度随三角洲进积作用加强, 加快而变深, 从而容易形成滑塌作用。测井曲线常表现为反旋

注: 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2003CB2146000)资助的成果。

收稿日期: 2006-01-25; 改回日期: 2006-03-01; 责任编辑: 周健。

作者简介: 陈占坤, 男, 28岁, 博士。2003年于中国地质大学(北京)获油气田开发工程硕士学位。现为中国科学院地质与地球物理研究所在读博士, 主要从事储层地质方面研究。Email: chenzhankun@163.com。

回的漏斗状, 反映出砂体不断向前推进的特点。由于三角洲不断推进, 往往形成多个反旋回的岩层叠置。电测曲线表现为中幅—中高幅的漏斗—钟形曲线组合和连续的前积式幅度组合(图2)。

### 1.2 沉积相平面展布

陇东地区沉积微相主要有水下分流河道、河口坝和水下分流间湾三类。平面上自东南向西北依次发育三个三角洲, 分别是宁县—合水三角洲、镇原—西峰—庆阳三角洲、三岔—曲子三角洲, 各三角洲之间被湖湾、分流间洼地相隔(图3)。

从沉积微相展布特征看, 三个三角洲砂体是油气运聚成藏的主要地区, 但现今油田多分布于中间镇原—西峰—庆阳三角洲砂体上, 而在其两侧砂体上则少有油气发现, 这与沉积相的研究结果不相符合, 因此, 有必要从成岩演化的角度对其进行研究。

## 2 成岩作用研究

成岩作用指沉积物沉积后转变为沉积岩直至变质作用以前或因构造运动重新抬升到地表遭受风化以前所发生的一切作用。碎屑岩成岩作用可以不断地改变沉积物内部成分和结构, 往往能够极大地影响到岩石的孔隙度和渗透率(冯增昭, 1993)。

### 2.1 主要成岩作用

通过对全区50口井3000个岩心样品薄片镜下观

察统计, 认为陇东地区长8段的成岩作用主要有连晶方解石对粒间物质和粒缘的交代、原生孔隙壁上自生绿泥石的生长、强酸性流体对杂基和粒缘的溶蚀、石英颗粒的次生加大、长石的溶蚀、次生高岭石化等成岩现象。

#### 2.1.1 连晶方解石对粒间和粒缘物质的交代

连晶方解石胶结在陇东地区长8段普遍发育, 含量一般在0~45%。当其含量高时往往交代颗粒边缘, 使碎屑颗粒呈“漂浮状”(图版 I-1), 表明这种方解石是通过交代粒间物质和碎屑颗粒边缘而形成的。连晶方解石在地层中的分布往往为多层薄层状, 横向延伸规模不大。连晶方解石的存在使储层的孔隙度和渗透率降低。若连晶方解石发育程度高, 可使岩石形成致密储层。薄片可见连晶方解石充填于长有油染自生绿泥石膜的原生孔隙的现象, 故连晶方解石应形成于烃运移之后。

#### 2.1.2 自生绿泥石膜的生长

自生绿泥石通常在原生孔隙壁上呈薄层生长, 形成自生绿泥石膜。自生绿泥石膜的发育需要大量的相关流体流过孔隙, 所以自生绿泥石膜的发育说明储层有或曾经有较多的孔隙, 利于流体的运移。自生绿泥石膜多因原油浸染而呈褐色(图版 I-2)。具有绿泥石膜的剩余原生孔隙可被连晶方解石充填, 所以自生绿泥石膜的形成一般早于烃运移和连晶方解石形成。研究区自生绿泥石膜通常不会堵塞

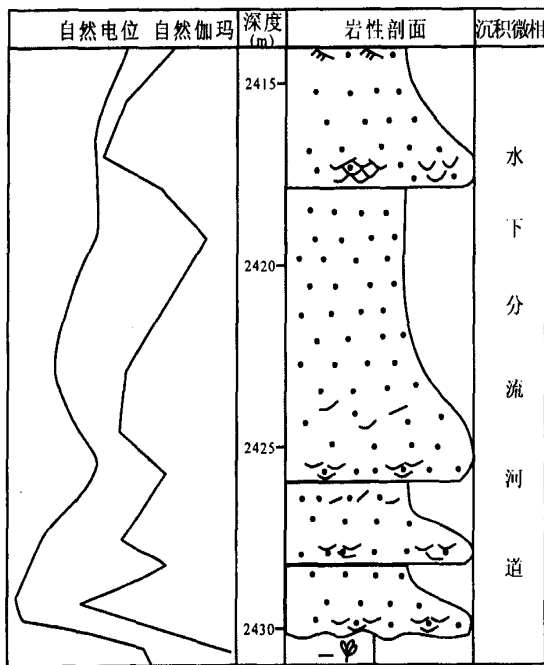


图 1 庆21井长8段水下分流河道沉积剖面结构图  
Fig 1 Profile texture of subaquatic distributary channel microfacies(Chang 8, Qing 21)

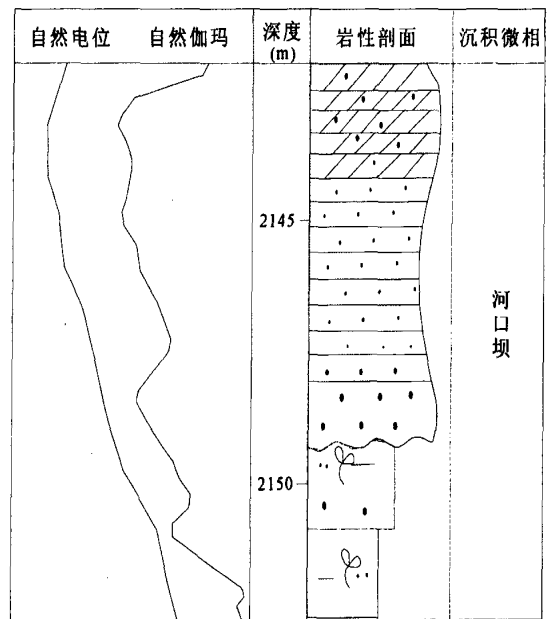


图 2 西17井长8段河口坝沉积剖面结构图  
Fig 2 Profile texture of mouth bar microfacies (Chang 8 formation, Xi17)

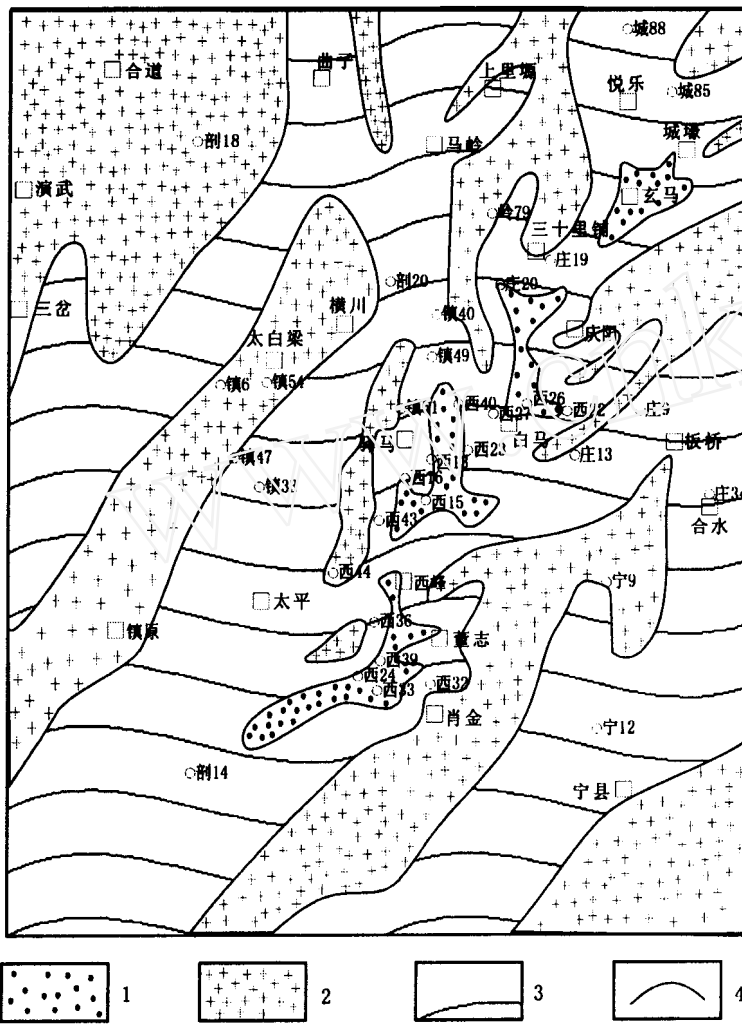


图3 陇东地区长8段沉积微相平面分布图

Fig 3 Distribution of microfacies of Chang 8 formation in longdong area

1—河口坝; 2—水下分流间湾; 3—水下分流河道; 4—油田边界

1—River mouth dam; 2—underwater interdistributary bay;

3—underwater distributary channel; 4—boundary of oil field

大的孔隙,但持续生长的绿泥石也有可能填满小的原生孔隙,这在西16井的2156 8m、西33井的1997.5m 等处的岩心薄片中都曾观察到。

### 2.1.3 强酸性流体对杂基和粒缘的溶蚀

强酸性流体对杂基和粒缘的溶蚀形成的溶蚀孔一般呈港湾状,并被沥青充填。少数井(西13井2140.69m 处有96% 的溶孔被沥青充填)中发现的溶蚀孔被沥青充填的事实说明这种溶蚀作用的发生与烃的成熟和运移有一定的成因联系。

### 2.1.4 石英碎屑颗粒的次生加大

石英颗粒的次生加大是陇东地区长8段最常见和最重要的成岩作用之一。原生孔隙被石英加大填

满的岩石很难再发生溶蚀作用,因而次生溶孔不发育,常形成致密储层。在石英加大未填满原生粒间孔隙的岩石中,可以再次发生酸性流体对杂基和粒缘的溶蚀、沥青的充填以及长石溶蚀作用等。由于一些石英加大边与被加大的石英颗粒之间没有其他成岩物质,认为这些石英加大是在早成岩期形成的(图版 I-3)。

### 2.1.5 长石溶蚀作用

长石溶孔是酸性流体沿长石解理缝和边缘进行溶蚀形成(图版 I-4),一般不被沥青充填,表明形成于烃运移之后。长石溶孔一般形成于连晶方解石形成之后。

### 2.1.6 次生高岭石化

次生高岭石只在陇东地区少数井的长8段出现。在岩石中成窝出现。部分高岭石因油的浸染而呈褐黄色,说明其形成在烃进入之前(图版 I-5)。根据观察到的关系,高岭石形成于自生绿泥石膜形成之后。

### 2.2 成岩序列的确定

前人的工作表明,长7段烃源岩内烃类大量生成发生在早白垩世晚期(史继安等,2003;黄思静等,2004),因而根据薄片下各成岩矿物被油染与否及其胶结的先后顺序,可以确定各成岩作用发生的先后顺序(表1)。根据成岩序列判断,在大量排烃期之前成岩作用主要有石英次生加大、自生绿泥石膜及高岭石化等三种成岩作用。在早白垩世晚期大量排烃之后的成岩作用主要有方解石胶结、长石溶孔及有机酸对杂基及粒缘的溶蚀。

## 3 古输导格架的确立

研究区延长组地层构造简单,沉积砂体是油气运移的主要路径。因此,对于输导格架的研究,也就是对砂岩体空间展布及其输导性能进行分析研究,进而总结出有利于油气运移的优势路径。

对于沉积砂岩中古输导格架的建立,前人多是对现今砂体的连通性进行研究,并简单认为在油气运聚成藏时刻此砂体也是连通的,这显然是不合适的。以此为出发点,本文以沉积微相分析为基础,结合对不同成岩作用的分析,对烃运移前的古孔隙分布进行研究,并尝试采用现今的孔渗关系,对烃运移



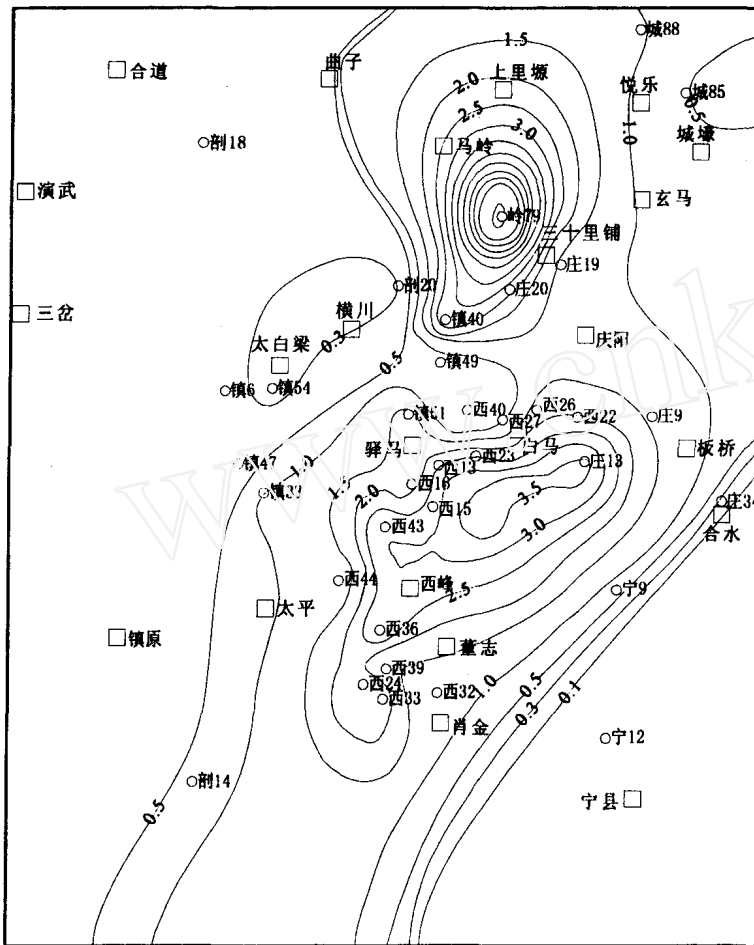


图5 最大排烃期古渗透率平面分布图

Fig. 5 Distribution of permeability when the oil was expelled mostly

区同一沉积相而言,其沉积物的矿物成分差别不大,故成岩作用对孔隙度渗透率的影响基本是一致的,即孔渗相互关系在地质历史上是相似的。因此,我们尝试采用将今论古的方法,以现今沉积砂岩的孔渗关系,来反演油气运聚时刻的古渗透率,并总结出油气运聚的有利通道。

收集全区50口井长8段近8000个岩心测试数据,依照沉积砂体的展布规律,对三个不同的沉积砂体的现今孔渗关系进行分别的拟合,经统计分析,发现实测孔隙度与渗透率间相关性很强。孔隙度( $\phi$ )与渗透率( $K$ )间的回归关系为:

$$\begin{aligned} \text{三岔地区} \quad \ln(K) &= 0.3974436102 \times \phi - 4.794741349 \\ R\text{-squared} &= 0.718619 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{西峰地区} \quad \ln(K) &= 0.500653187 \times \phi - 5.374680962 \\ R\text{-squared} &= 0.696224 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{合水地区} \quad \ln(K) &= 0.3521061642 \times \phi - 4.929606271 \\ R\text{-squared} &= 0.611063 \end{aligned} \quad (3)$$

据上面拟合关系,结合前面恢复的古孔隙度数据,即可回归出最大排烃期长8段地层的古渗透率平面展布状况(图5)。从平面展布看,陇东地区在最大排烃期其高渗带主要沿北东—南西走向,集中在镇原—西峰—庆阳三角洲一带。而三岔—曲子三角洲砂体,其渗透率均低于0.5毫达西,东部正宁—合水三角洲砂体渗透率更低,均小于0.1毫达西。由此可知,镇原—西峰—庆阳一带为油气运聚的有利通道。

## 4 认识和结论

(1) 结合岩心、测井资料,认为陇东地区沉积砂体主要为水下分流河道砂体。

(2) 结合成岩作用分析及成岩序列划分,认为在早白垩世末最大排烃期后,主要有连晶方解石对粒间物质和粒缘的交代、强酸性流体对杂基和粒缘的溶蚀及长石溶蚀三种成岩作用。

(3) 综合沉积成岩作用分析,在早白垩世末最大排烃期,油气运聚的优势通道在镇原—西峰—庆阳一带。

## 参考文献

- 冯增昭 1993 沉积岩石学 北京:石油工业出版社, 198~217.
- 黄思静,张萌 2004 砂岩孔隙成因对孔隙度/渗透率关系的控制作用 成都理工大学学报, 31(6): 648~653
- 刘少峰,李思田,庄新国,焦养泉,卢宗盛 1996 鄂尔多斯西南缘前陆盆地沉降和沉积过程模拟 地质学报, 70(1): 12~22
- 柳益群,李文厚,冯乔 1997 鄂尔多斯盆地东部上三叠统含油砂岩的古地温及成岩阶段 地质学报, 71(1): 65~74
- 史基安,王金鹏,毛明陆,等 2003 鄂尔多斯盆地西峰油田三叠系延长组长6—8段储层砂岩成岩作用 沉积学报, 21(3): 373~380
- 宋凯,吕剑文,杜金良,王宏科 2002 鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向分析与三角洲沉积体系 古地理学报, 4(3): 59~66
- 魏斌,魏红红,陈全红,赵虹 2003 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组物源分析 西北大学学报(自然科学版), 33(4): 447~450
- 武富礼,李文厚,李玉宏,席胜利 2004 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化 古地理学报, 6(3): 307~315
- 杨俊杰,李克勤,宋国初,等 1992 中国石油地质志,北京:石油工业出版社, 62~67.
- 张照录,王华,杨红 2000 含油气盆地的输导体系研究 石油与天然气地质, 21(2): 133~135
- Feng Zhengzhao 1993 Sedimentary petrology. Beijing, Petroleum

- Industry Press, 198~ 217 (in Chinese with English abstract).
- Huang Shijing, Zhang Meng 2004 Control of origin of pores over relationship of porosity to permeability in sandstone reservoir: A case study from Yanchang sandstone of Triassic of eastern Gansu, Ordos Basin. *Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition)*, 31(6): 648~ 653 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shaofeng, Li Sitian, Zhuang Xinguo, Jiao Yangquan, Lu Zongsheng 1996 Simulation of the subsidence and deposition of the foreland basin on the southwestern margin of Ordos. *Acta Geologica Sinica*, 70(1): 12~ 22 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yiqun, Li Wenhong, Feng Qiao 1997 Palaeotemperatures and diagenetic stage of the upper Triassic oil sandstones in the eastern ordos basin. *Acta Geologica Sinica*, 71(1): 65~ 74 (in Chinese with English abstract).
- Shi Jian, Wang Jimpeng, Mao Minglu 2003 Reservoir sandstone diagenesis of member 6 to 8 in Yanchang Formation (Triassic), Xifeng Oilfield, Ordos Basin. *Sedimentologica Sinica*, 21(3): 373~ 380 (in Chinese with English abstract).
- Song Kai, Lu Jianwen, Du Jinliang, Wang Hongke 2002 Source direction analysis and delta depositional systems of Yanchang Formation of the Upper Triassic in the central ordos basin. *Journal of Palaeogeography*, 4(3): 59~ 66 (in Chinese with English abstract).
- Wei Bin, Wei Honghong, Chen Quanhong, Zhao Hong 2003 Sediment provenance analysis of Yanchang Formation in Ordos Basin. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 33(4): 447~ 450 (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuli, Li Wenhong, Li Yuhong, Xi Shengli 2004 Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin. *Journal of Palaeogeography*, 6(3): 307~ 315 (in Chinese with English abstract).
- Yang Junjie, Li Keqin, Song Guochu, et al 1992 *Petroleum Geology of China*. Beijing: Petroleum Industry Press, 62~ 67 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhaolu, Wang Hua, Yang Hong 2000 Study on passage system of petroliferous basins. *Oil and Gas Geology*, 21(2): 133~ 135 (in Chinese with English abstract).

### 图 版 说 明

1. 连晶方解石充填于有绿泥石胶结的孔隙中, 未被油染, 镇6井长8段, 10×10(-)。
2. 绿泥石胶结, 油染成褐色, 镇6井长8段, 10×10(-)。
3. 石英颗粒次生加大, 庄19井长8段, 10×10(-)。
4. 长石溶蚀, 未被沥青充填, 镇6井长8段, 10×10(-)。
5. 次生高岭石充填于有绿泥石胶结的孔隙中, 油染成褐黄色, 镇6井长8段, 10×10(-)。

## Reconstruction of Paleo-Passage System of Chang 8 Formation in Longdong Area, Ordos Basin

CHEN Zhankun, WU Yasheng, LUO Xiaorong CHEN Ruiyin

*Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

### Abstract

Through comprehensive study on the cores and well logs, the author believes that the sandstone mainly comes from subaquatic distributary channel and mouth-bar. Since a great deal of oil and gas was expelled from source rock, three diagenesis happened, calcite cementation, dissolution of feldspar, the matrix corrosion by acid. Considering the sedimentation and diageneses, during the period a great deal of was expelled, the migration path mainly lies in the area of xifeng, qingyang and zhenyuan.

**Key word:** longdong area; chang8 formation; sedimentary microfacies; diagenesis

