

文章编号: 1000-0550 (2005) 04-0574-10

# 靖安油田上三叠统长 6 储层成岩作用研究

李 斌<sup>1,2</sup> 孟自芳<sup>2</sup> 李相博<sup>2</sup> 卢红选<sup>2</sup> 郑 民<sup>2</sup>

1 (中国科学院广州地球化学研究所边缘海重点实验室 广州 510640)

2 (中国科学院地质和地球物理研究所油气资源研究中心 兰州 730000)

**摘 要** 通过对 5 条剖面 and 11 口探井的综合研究确定了长 6 储层的成岩作用阶段,对影响储层物性重要的自生矿物形成进行了探讨,认为靖安油田上三叠统延长组 6 段储层经历了压实、胶结、溶蚀等一系列复杂的成岩作用,成岩现象十分丰富,特征明显。从储层成岩作用研究表明,早成岩期的压实作用、多种矿物胶结作用是使储层物性变差、孔隙度降低的两个重要的成岩作用;而溶蚀作用,特别是浊沸石胶结的溶蚀是储层物性变好的重要成岩控制因素。

**关键词** 鄂尔多斯盆地 成岩作用 碎屑岩 储层 浊沸石

**第一作者简介** 李斌 男 1977 年出生 博士 石油地质

**中图分类号** P618.130.2 TE122.2 **文献标识码** A

研究区位于陕西省靖边与志丹—吴旗—安塞县境内 (图 1)。以靖安油田为主,东跨杨米涧和安塞油

田杏河区,西跨吴旗油田东半区。从区域构造上看,本区位于陕北斜坡中部,为一平缓的西倾单斜,地层倾角小于 1° 坡降 6~8m/km,其上发育多排轴向近东西或北东—南西向的鼻状构造带。

自 20 世纪 80 年代以来,广大地质工作者开始了砂体成岩作用的研究,认识到浊沸石、长石溶解所形成的次生孔隙有效的改善了砂岩的储集性能<sup>[1]</sup>,人们对储层有了深一步的了解。考虑到鄂尔多斯盆地上三叠统储层的“低孔、低渗、低产”的特点,为了展开盆地勘探和开发的新局面,预测油气富集的区块,提供更有效的地质储量,找出影响储层物性的主要因素已成为现今必须要解决的问题。延长组 6 段储层是靖安油田的主力储层,也是此次研究的目的层,笔者在分析对比贯穿工区的 5 条剖面,观察描述 11 口井岩芯的基础上,通过薄片观察、阴极发光、扫描电镜、X 衍射等分析化验资料的研究,对长 6 段储层的低孔、低渗原因进行了探讨。

## 1 长 6 储层地质特征

靖安油田长 6 储层为一套中—细粒砂岩及少量粉砂岩。从砂岩的粒度组成看,长 6 储层岩石以细粒组为主,其次为粉砂组,其主要粒径介于 0.05~0.25 mm 之间。长 6 储层埋深范围分布于 1 000~2 100 m 之间,厚度为 105~130 m,经历了早侏罗世,

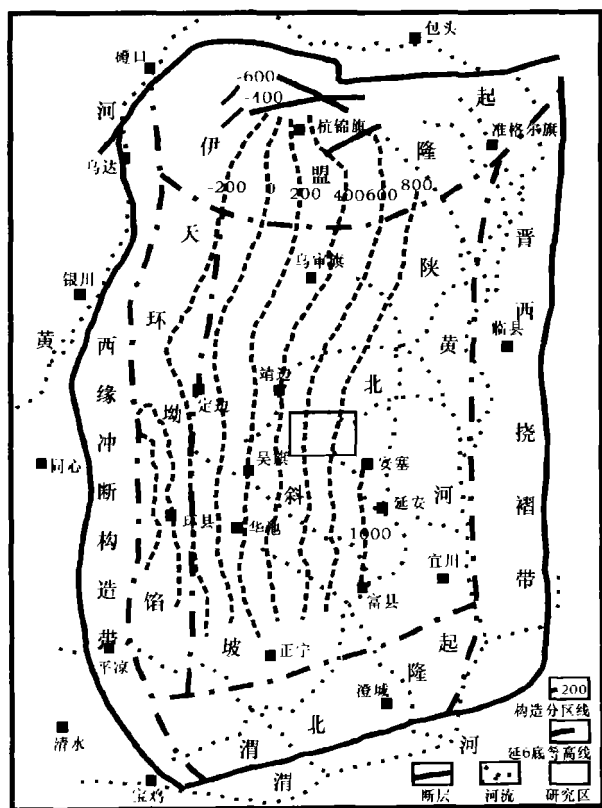


图 1 研究区位置及大地构造状况示意图  
(据长庆油田研究院资料)

Fig 1 Map showing the study area and its tectonic site

晚侏罗世和晚白垩世三次构造抬升(图 2),尤其是晚白垩世时期的燕山运动使山西地区隆起,形成了东高西低的地层分布样式。下伏地层为长 7,厚度约为 80~100 m,以黑色泥页岩为主,是靖安油田主要的生油层;上覆地层长 4+5,厚度约 80~110 m,以泥岩和粉砂岩为主,形成了区域性的盖层<sup>[4]</sup>。

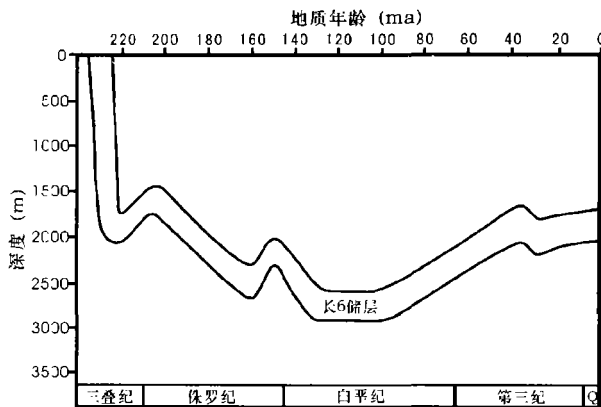


图 2 靖安油田长 6 油层组储层埋藏史<sup>[2-3]</sup>

Fig 2 Burial history of Chang 6 oil-bearing interval in Jing'an Oilfield

镜下薄片(普通、铸体)观察,认为长 6 储层砂岩属于长石砂岩(表 1)。其中石英含量普遍偏低;长石含量较高;岩屑成分相对单一,几乎不含沉积岩屑,主要为古老结晶岩系的岩石碎屑,少数来自火山岩,许多薄片中间有较为丰富的呈层状排列的云母碎屑;长 6 砂岩中最常见的重矿物主要有无色和淡红色石榴子石、锆石、绿帘石、黝帘石,其中石榴子石含量最高,占重矿物含量的 70%~80%。重矿物组合属于稳定—欠稳定组合。综上所述,从陆源碎屑及重矿物组成来看,其母岩与鄂尔多斯盆地北部及东北部内蒙古阴山褶皱带及山西吕梁古陆元古界、上太古界的变质岩系、火山岩有关。

表 1 靖安油田长 6 储层砂岩 X 衍射成分统计

Table 1 The composition of sandstone X-ray diffraction of Chang 6 oil-bearing interval in Jing'an oilfield

成分	变化范围 / %	平均值 / %
石英	18.1~32.6	22.2
长石	48.1~68.6	51.2
岩屑	8.1~24.7	15.0
粘土	3~10.1	6
沸石	2~5	3
碳酸盐	1~30	2.6

长 6 砂岩填隙物以粘土矿物为主,同时可见不太发育的硅质和少量的长石质及沸石胶结物;常见的粘土矿物胶结物有高岭石、绿泥石、及伊蒙混层粘土;碳酸盐胶结物以铁方解石为主,含少量的白云石及铁白云石。砂岩碎屑颗粒间常以点、线接触,呈颗粒支撑结构;胶结类型以孔隙式胶结为主,少数砂岩由于胶结物含量高而呈基底式胶结,局部由于化学压溶作用而呈镶嵌式胶结,表明该区压实程度较为强烈。根据以上分析表明,靖安油田长 6 储层岩石成分成熟度低而结构成熟度中等至较高。

## 2 长 6 储层砂岩的主要成岩作用分析

通过对本区十一口取心井的普通薄片和铸体薄片的镜下观察及扫描电镜、阴极发光、X 衍射、煤镜反射率等资料的研究,认为该区砂岩储层成岩作用复杂,成岩现象丰富,常见的成岩作用有:压实、胶结、溶蚀等类型<sup>[5-7]</sup>,其特征如下:

### 2.1 机械压实作用

随着埋藏深度的增加,区内长 6 砂岩遭受压实作用,主要表现为骨架颗粒之间排列方式进行调节,颗粒发生位移,颗粒之间呈现线接触,少量凹凸接触。一些刚性颗粒嵌入云母碎屑中。压实作用使砂岩变得致密,砂岩孔隙体积减少。

压实作用主要发生在同生期及成岩早期,随着胶结物的形成,胶结作用不断增强,压实作用的影响被抑制并逐步减弱,如(表 3)。

### 2.2 胶结作用

长 6 储层的胶结作用有粘土矿物胶结、沸石胶结、碳酸盐胶结、钠长石胶结和石英胶结。

#### (1) 自生粘土矿物的胶结

研究区自生粘土矿物胶结物主要以绿泥石为主,还有少量的伊蒙混层粘土矿物、伊利石、绿泥石、伊利石混层粘土矿物。自生绿泥石的产状有两种:自生绿泥石垂直或平行碎屑颗粒表面向外生长,在颗粒表面形成包壳或环边,呈微细叶片状、针状或纤状集合体,碎屑颗粒表面的绿泥石多数仅为一层,厚度 3~5 $\mu\text{m}$ ,在颗粒表面密集排列呈毯状(图版 -1);自生绿泥石主要充填粒间孔隙。对于靖安地区延长组储层中绿泥石的形成尚存争议,王允诚等认为部分绿泥石薄膜包壳可能是由蒙脱石包壳转化来的。由于大量绿泥石胶结物多出现于三角洲前缘环境,其形成可能与入湖的河流带来的溶解铁有关<sup>[8]</sup>,如风化搬运过程中黑云母等暗色矿物易水化析出铁离子。



脱羧基作用有关。

从基恩和韦伯公式计算的“ $Z$ ”值看氧同位素平衡温度,孔隙中充填的方解石样品其  $Z$  值大多数均低于 120,属非卤水环境,但  $Z$  值均在 110 以上,与微咸水向半咸水过渡的环境相吻合。而裂缝中充填的方解石脉,其  $Z$  值则在 62.66~66.23 之间属于淡水淋滤环境,从氧同位素平衡温度看,孔隙充填方解石胶结物氧同位素平衡温度为:113.8~129 (表 2)。

在最大古地温 136 范围之内,方解石脉胶结物氧同位素平衡温度为 97.0 和 94.2,表明其埋藏深度和古地温均低于方解石胶结物,于长 6 储层从最大埋藏深处抬升至某一深度时形成。在 R. Leader (1985)胶结碳酸盐矿物  $^{13}C$  值的控制因素图解中 (图 4),充填孔隙的方解石胶结物主要落在溶解—沉淀作用与土壤风化区域之间的过渡带上,表明主要来源于无机沉淀及土壤—风化带类似的生物化学作用。方解石脉胶结物则落在不平衡氧化作用区与甲烷发酵作用形成的轻  $CO_2$  区域之间,表明有生物化学作用形成的  $CO_2$  不同程度的参与,但并未达到生化甲烷生气阶段。碳酸盐的形成条件比浊沸石形成条件宽松,形成时间可以从浊沸石形成沉淀之前一直延续到浊沸石溶解之后,因此碳酸盐的形成可以从早成岩 B 期延至晚成岩 A 期。碳酸盐胶结物是造成长 6 储层砂岩孔隙度减少,直接造成渗透率变差的主要原因,

也是造成长 6 砂岩组砂岩非均质性增强的主要因素。

(4) 斜长石钠长石化

钠长石是富含火山碎屑物质地区砂岩常见的胶结物。扫描电镜显示斜长石钠长石化在本区长 6 砂岩中极为常见 (图版 -3)。火山碎屑物质水化及蒙脱石向伊利石或绿泥石转化过程中又向地层水提供大量的 K、Na、Fe、Mg、Ca、Si、Al 等金属阳离子,并使孔隙水中  $H^+$  和  $OH^-$  离子增多,有利于矿物水解作用的进行。因此孔隙水中钠离子置换钙离子进入斜长石晶格致使大多数斜长石变成钠长石。而斜长石中钙离子则被释放进入溶液中为浊沸石、方解石形成并沉淀提供了丰富的钙离子。由于形成浊沸石和方解石使孔隙水中 Ca 离子大量消耗,Na 离子浓度相对加大,为钠长石的形成提供了物质基础。由此可知浊沸石和钠长石是同一时期形成的胶结物。钠长石胶结物主要形成时间应是早成岩阶段至晚成岩阶段 A 期。

(5) 石英胶结作用

自生石英胶结物是多期性的产物,围绕石英颗粒同轴生长形成的石英自生加大边形成的时间较早。本区长 6 砂岩  $SiO_2$  主要来源于火山碎屑物质水化和粘土矿物转化。

早期形成的自生石英胶结物从时间上略早于浊沸石和碳酸岩的形成,大量的石英胶结物主要是在浊沸石和碳酸盐形成之后,大量有机酸进入孔隙水造成浊沸石、方解石溶蚀,同时偏酸性水介质的形成也为  $SiO_2$  沉淀创造了良好条件。大部分  $SiO_2$  都以孔隙充填的形式出现,部分  $SiO_2$  可形成自形程度较高的石英颗粒,其形成阶段应在晚成岩阶段 A 期。

综合以上分析认为:靖安油田长 6 砂岩中浊沸石、方解石、斜长石钠长化以及自生长石和自生石英胶结物之间的关系密切,是在不同地化条件下形成的关联产物。

2.3 溶蚀作用

溶蚀作用,特别是浊沸石和长石的溶蚀是改变靖安地区砂岩物性的重要成岩事件。由于溶蚀次生孔隙的形成,改变了砂岩孔隙特性,形成以次生孔隙为主体的储集体。溶蚀作用涉及的范围除浊沸石胶结物外,还包括矿物岩石碎屑、杂基、自生粘土矿物及少量碳酸盐胶结物<sup>[24]</sup>。

长石溶蚀发育的程度不等,轻者沿长石颗粒边缘溶蚀形成港湾状或者沿解理缝轻微溶蚀形成不连续的粒内微细溶孔,重者可导致长石颗粒完全被溶蚀仅残存少量晶骸 (图版 -4)。

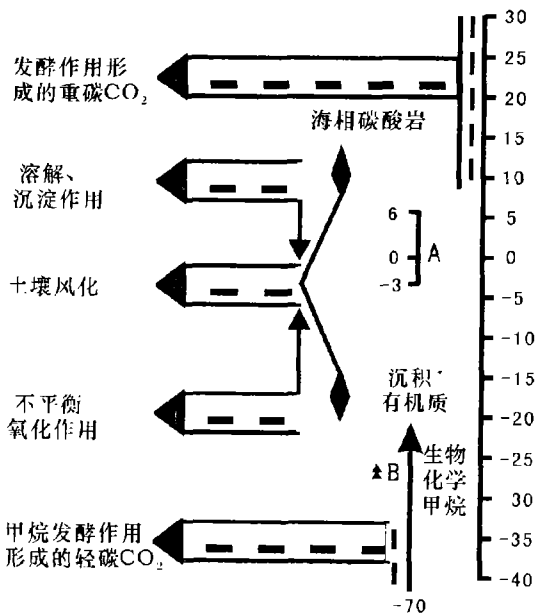


图 4 碳酸岩胶结物和填充物的  $^{13}C$  值分布图  
 (A. 长 6 砂岩碳酸岩胶结物  $^{13}C$  值分布图;  
 B. 方解石脉值  $^{13}C$  分布图 (以  $\bullet$  表示))

Fig 4 Distribution of  $^{13}C$  data of carbonate cement and fillings

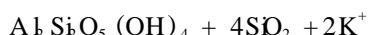
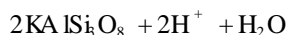
表 2 长 6 砂岩方解石胶结物和方解石脉碳氧同位素分析数据

Table 2 Oxygen and carbon isotopic compositions of calcite cement and calcite vein ( \* ) of Chang 6 sandstone

编号	井深 /m	<sup>13</sup> C/‰ (PDB)	<sup>18</sup> O/‰ (PDB)	ET ( <sup>18</sup> O ) ( )	Z 值	编号	井深 /m	<sup>13</sup> C/‰ (PDB)	<sup>18</sup> O/‰ (PDB)	ET ( <sup>18</sup> O ) ( )	Z 值
ZJ33 - 1	1755.36	- 1.6	- 19.36	119.5	174.36	ZJ29 - 1	1805.08	- 1.22	- 18.87	116.7	115.04
ZJ33 - 2	1756.36	- 2.13	- 20.90	127.7	112.53	ZJ29 - 2	1810.25	1.01	- 20.09	123.3	119.37
ZJ33 - 3	1757.52	- 2.28	- 20.98	128.1	112.18	ZJ29 - 3	1822.63	0.25	- 20.44	125.2	117.63
ZJ33 - 4	1759.27	- 1.35	- 19.51	120.2	114.82	ZJ29 - 4	1830.12	- 0.65	- 19.69	121.1	116.16
ZJ33 - 5	1759.90	- 1.21	- 20.11	123.4	114.81	ZJ29 - 5	1831.91	- 1.64	- 19.62	120.7	114.75
ZJ33 - 6	1761.02	- 0.22	- 19.88	122.2	113.95	ZJ29 - 6	1837.07	- 1.12	- 19.25	118.8	115.42
ZJ33 - 7	1761.42	- 0.56	- 18.33	113.8	117.02	ZJ29 - 7	1844.31	0.13	- 20.73	126.7	117.25
ZJ33 - 8	1762.00	- 0.56	- 18.86	116.6	116.76	ZJ29 - 8	1847.12	1.48	- 20.12	127.4	120.31
ZJ33 - 9	1762.91	- 1.62	- 19.24	118.7	114.40	ZJ53 - 1	1729.56	- 1.59	- 20.29	124.4	113.96
ZJ33 - 10	1764.14	- 1.41	- 20.99	128.1	113.96	ZJ53 - 2	1732.78	- 1.50	- 20.76	126.9	118.89
ZJ33 - 11	1768.79	- 0.22	- 19.10	117.9	117.34	ZJ53 - 3	1752.99	- 2.39	- 17.10	107.1	113.89
ZJ33 - 12	1769.00	0.35	- 20.98	128.1	117.57	ZJ53 - 4	1756.28	- 1.36	- 20.17	123.7	114.47
ZJ33 - 13	1770.96	0.99	- 21.43	130.5	118.66	ZJ53 - 5	1763.8	- 2.44	- 20.52	125.6	112.08
ZJ33 - 14	1773.30	- 0.27	- 20.08	123.2	116.75	ZJ1 - 1	1612.1	- 2.431	- 18.88	116.2	112.97
ZJ33 - 15	1775.02	- 1.07	- 18.96	117.2	115.66	ZJ2 - 1	1886.1	- 2.858	- 20.41	125.0	111.28
ZJ33 - 16	1779.78	- 0.67	- 21.14	129.0	115.40	ZJ6 - 1	1811.0	- 3.011	- 19.80	121.7	111.28
ZJ33 - 17	1781.04	- 1.24	- 19.31	119.1	115.14	ZJ39 - 1	1934.5	0.149	- 20.91	127.7	117.19
ZJ33 - 18	1781.27	- 0.21	- 20.37	124.8	116.73	ZJ40 - 1	1810.0	0.074	- 20.35	124.7	117.32
ZJ33 - 19	1783.82	- 1.53	- 19.57	120.5	114.42	ZJ40 - 2	1853.7	1.200	- 19.24	126.9	120.18
ZJ33 - 20	1784.68	- 1.84	- 18.56	115.0	114.29	ZJ51 - 1	1725.9	- 1.230	- 19.24	118.7	115.20
ZJ33 - 21	1784.88	- 0.29	- 21.08	128.6	116.21	XP15 - 1	1749.0	- 0.087	- 20.37	124.8	116.98
ZJ33 - 22	1785.13	- 1.49	- 19.35	119.3	114.61	XP16 - 1	1625.4	4.658	- 20.00	122.8	126.88
ZJ33 - 23	1786.83	- 1.35	- 19.37	119.4	114.89	XP16 - 2	1625.3	5.914	- 19.12	118.1	129.89
ZJ33 - 24	1796.54	0.12	- 20.94	127.9	117.27	ZP12 - 1 <sup>*</sup>	1881.4	- 27.86	- 15.22	97.0	62.66
ZJ29 - 1	1805.08	- 1.22	- 18.87	116.7	115.04	ZP12 - 2 <sup>*</sup>	1881.5	- 26.39	- 14.70	94.2	66.23

\*长 6 砂岩方解石脉碳、氧同位素分析数据

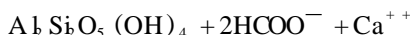
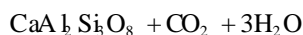
胶结物中浊沸石的溶蚀是形成次生孔隙储集体的关键。浊沸石的溶蚀常沿解理缝进行,形成大小不等的浊沸石粒内溶孔。溶蚀作用分为两期:第一期以长石和岩屑等矿物岩石碎屑溶蚀为主,颗粒多形成溶蚀港湾状<sup>[25]</sup>。这些颗粒及溶蚀孔往往被绿泥石形成的薄膜包壳包裹,证明溶蚀形成于绿泥石薄膜包壳形成之前,属于近地表环境下、由弱酸性的大气淡水淋滤作用形成。其反应式为



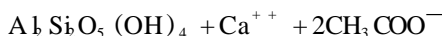
本期溶蚀作用造成的粒内微溶孔因为粘土矿物和自生石英的析出而对孔渗条件的改善没有什么意义<sup>[26]</sup>。

第二期以浊沸石、长石的强烈溶蚀为特点(图版 5)。长石颗粒溶蚀后可形成铸模孔、也可形成保留部分晶骸的溶孔(图版 6)。浊沸石往往在高  $\text{Ca}^{2+}$  活度和高 pH 环境中较为稳定,尤其在海水注入

的微咸水环境中<sup>[27-38]</sup>,而在低 pH 值孔隙水环境中则易被溶蚀,其反应式为:



构造抬升也可以使不稳定矿物遭受淡水淋滤而出现大量次生孔隙<sup>[29-31]</sup>,从靖安油田岩心观察和镜下薄片分析只见到少量成岩裂缝<sup>[32-33]</sup>,因此对于非均性较强的延长组储层而言作用较弱。勘探和开发的实践表明:浊沸石胶结物大量溶蚀多出现在三角洲分流河道和河口砂坝微相砂岩中,总是接近生油岩(长 7)<sup>[34]</sup>,因为有机质进入成熟阶段会产生大量  $\text{CO}_2$  和短链脂肪酸(如醋酸、丙酸、草酸及其它二元酸),其溶蚀能力远远强于  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$ ,有机酸进入砂层后,发生溶蚀:



并使铝硅酸盐中的铝离子迁移出去<sup>[35-36]</sup>,而不

像  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  形成的  $\text{CaCO}_3$  可以沉淀下来,所以大规模的溶蚀应与有机质演化中大量有机酸的排出有关。因此其形成时间应在有机质低成熟至成熟阶段,属晚成岩 A 期。

### 3 成岩阶段的划分

在充分研究本地区埋藏史、地热史、有机物质演化史、泥岩中粘土矿物演化史及砂岩形成作用及成岩共生序列的基础上<sup>[37~49]</sup>,以靖安油田长 6 砂岩主要成岩时间及成岩序列为依据,作以下的成岩阶段划分(表 3)。

#### 3.1 早成岩阶段

沉积岩从埋藏至固结的成岩阶段,可分为 A、B 两期。

##### (1) 早成岩阶段 A 期

埋深至 900 m 左右。古地温计算值约为 40<sup>[38]</sup>,镜质体反射率  $R_o$  小于 0.35%。有机质成烃演化尚处于未成熟阶段,主要产物为早期生物甲烷气。煤阶则从泥炭转变为褐煤阶。尽管本区湖水属于微咸水向半咸水过渡,但淡水仍十分活跃,从土壤带分解的有机质和沉积物表层细菌对有机质的分解

使含腐殖质的物质大量入湖并成为沉积物的组成部分,沉积物孔隙介质仍具酸性。沉积物粘土矿物中蒙脱石处于蒙脱石带,无序的伊/蒙混层矿物中蒙脱石含量 >70%。

##### (2) 早成岩阶段 B 期

埋深最大至 1 900 m 左右。最高古地温低于 65<sup>[38]</sup>。镜质体反射率为 0.35%~0.5%。有机质处于半成熟阶段,有机质凝聚、聚合形成各种类型干酪根,并生成  $\text{CO}_2$  及甲烷气。泥岩中蒙脱石明显向伊/蒙混层矿物转化,蒙脱石在混层矿物中占 50%~70%,仍属无序混层。

#### 3.2 晚成岩阶段

随着埋深进一步加大,古地温升高,沉积物进入晚成岩阶段。可分为 A、B 两期,其中 A 期又可分别细分为  $A_1$ 、 $A_2$  两个亚期。

##### (1) 晚成岩 $A_1$ 亚期

埋深大约为 1 900~2 500 m,最大埋深可达 3 000 m。镜质体反射率  $R_o$  为 0.5%~0.7%。最大古地温为 99,有机质处于低成熟阶段。当  $R_o$  接近 0.7% 时,有机质开始进入生油门限。含煤有机质进入长焰煤阶,部分进入气煤阶;混层粘土矿物部分有

表 3 长 6 储层成岩作用阶段

Table 3 Diagenetic sequence of Chang 6 oil-bearing reservoir

成岩阶段	早成岩		晚成岩		
	A	B	$A_1$	$A_2$	B
最大埋深/m	900	1900	2500	3000	
温度/°C	40	65	99		136
$R_o$ /%	0.35	0.5	0.7		1.3
有机质演化阶段	未成熟	半成熟	低成熟	成熟	过成熟
绿泥石粘土环边	——	-----	-----	-----	
蒙脱石粘土环边			.....		
机械压实作用	——	——	——	——	——
粘土矿物转化		-----	-----	-----	-----
自生石英胶结	——			——	-----
浊沸石胶结物			——	——	
方解石胶结物	——	-----	——	——	-----
斜长石钠长化		-----	——	——	-----
自生钠长石胶结			-----	-----	-----
浊沸石溶蚀			——	——	-----
方解石溶蚀			-----	-----	-----

序,其中蒙脱石含量为 20% ~ 50%。这一时期有机质转化过程中生物化学作用基本结束,干酪根低温热解一些含氧官能团及其它杂原子化合物分解、脱落,形成短链有机羧酸。

#### (2) 晚成岩 A<sub>2</sub>亚期

埋深最大至 2 500 ~ 3 000 m,最大古地温约 136<sup>[38]</sup>。镜质体反射率  $R_o = 0.7\% \sim 1.3\%$ ,有机质进入生油高峰期。相应煤阶为肥煤和肥煤—丝煤转化阶段。泥岩粘土矿物伊/蒙混层矿物中蒙脱石含量为 20% ~ 35%,进入有序带。

由于陕北地区延长组最大埋深在 2 500 m 左右,所测定的镜质体反射率  $R_o = 0.94\% \sim 0.97\%$ 。用方解石、浊沸石及石英自生加大边中流体包裹体进行均一法测温为 98 ~ 110,碳酸岩氧同位素平衡温度为 113 ~ 128,伊/蒙混层矿物中蒙脱石含量为 20% ~ 38%。上述数据均表明长 6 储层已进入晚成岩阶段 A 期,而且部分指标进入了 B 期。由于构造运动影响,长 6 储层又重新抬升,埋藏深度减小,成岩作用进入后生成岩阶段。

## 4 结论

(1) 靖安油田长 6 储层所经历的成岩作用较复杂,成岩现象丰富,主要的成岩作用有:压实作用、胶结作用和溶蚀作用等。

(2) 长 6 砂岩中碳酸盐胶结物中 <sup>13</sup>C 呈正高值,<sup>18</sup>O 呈负高值,主要由湖泊过饱和的碳酸钙沉淀形成,也可能于海相碳酸钙侵入有关;属晚成岩阶段产物,而裂缝中方解石脉的形成与有机质脱羧基和区域性构造抬升作用有关。

(3) 延长组长 6 储层浊沸石胶结物的形成与火山物质水化有关,其形成温度约为 60 ~ 130,属成岩阶段产物。成岩晚期浊沸石的大量溶蚀主要是由于下伏长 7 地层中有机质脱羧基形成的酸性水造成。

(4) 靖安油田长 6 储层主要经历了 7 种成岩事件,其中压实作用和胶结作用对孔隙的破坏和影响最大,碳酸盐胶结物是形成储层非均质较强的主要原因;而溶蚀作用对储层的贡献较大,尤其是浊沸石强溶蚀形成的次生孔隙已成为影响储层储集性能的重要因素。

#### 参考文献 (References)

1 朱国华. 陕甘宁盆地上三叠统延长组低渗透砂体和次生孔隙砂体的形成. 沉积学报, 1985, 3(2): 1 ~ 17 [Zhu Guohua. Formation of

- low permeability sandstones and secondary pore sandstones in the Upper Triassic Yanchang series of Southwest Shannan basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1985, 3(2): 1 ~ 17]
- 2 柳益群. 陕甘宁盆地东部上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化. 沉积学报, 1996, 14(3): 87 ~ 96 [Liu Yiqun. Diagenetic characteristics and porosity evolution of the oil-bearing arkoses in the Upper Triassic in the eastern Shan-Gan-Ning Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(3): 87 ~ 96]
- 3 罗静兰, 张成立, 阎世可, 等. 盆地埋藏史及其对砂岩储层物性演化的影响. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 123 ~ 129 [Luo Jinglan, Zhang Chengli, Yan Shike, et al. Effect of burial history on physical property of sandstone reservoir: taking Yanchang oil region in north Shaanxi as an example. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(2): 123 ~ 129]
- 4 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志 (卷十二). 北京: 石油工业出版社, 1992. 96 ~ 102 [Compile Group of Petroleum Geology of Changqing Oilfield. *Petroleum Geology of China (Changqing Oilfield)*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. 12: 96 ~ 102]
- 5 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志 (卷十二). 北京: 石油工业出版社, 1992. 133 ~ 148 [Compile Group of Petroleum Geology of Changqing Oilfield. *Petroleum Geology of China (Changqing Oilfield)*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992, 12: 133 ~ 148]
- 6 裘怿楠, 薛叔浩, 严凤祥. 油气储层评价技术. 北京: 石油工业出版社, 1994. 53 ~ 66; 224 ~ 233 [Qiu Yanan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang. *Continental Hydrocarbon Reservoirs of China*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 53 ~ 66; 224 ~ 233]
- 7 Surdian R C, Crossey L J, Hagen E S. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis. *AAPG Bulletin*, 1989, 73(1): 1 ~ 23
- 8 黄思静, 谢连文, 张萌, 等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2004, 31(3): 273 ~ 281 [Huang Sijing, Xie Lianwen, Zhang Meng, et al. Formation mechanism of authigenic chlorite and relation to preservation of porosity in nonmarine Triassic reservoir sandstones, Ordos Basin and Sichuan Basin, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition)*, 2004, 31(3): 273 ~ 281]
- 9 郑荣才, 柳青梅. 鄂尔多斯盆地长 6 油层组古盐度研究. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 20 ~ 26 [Zheng Rongcai, Liu Meiqing. Study on palaeosalinity of Chang 6 oil reservoir set in Ordos Basin. *Oil and Gas Geology*, 1999, 20(1): 20 ~ 26]
- 10 Ehrenberg S N. Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by grain-coating chlorite: examples from the Norwegian continental shelf. *AAPG Bulletin*, 1993, 77: 1260 ~ 1286
- 11 Baker J C, Haword P J, Martin K R, et al. Diagenesis and petrophysics of the Early Permian Moogooko sandstone, southern Camarvon Basin, Western Australia. *AAPG Bulletin*, 2000, 84: 250 ~ 265
- 12 张立飞. 陕北三叠统延长组浊沸石的成因及形成条件的理论计算. 岩石学报, 1992, 8(2): 145 ~ 152 [Zhang Lifei. Burial metamorphism of the Ordos basin in northern Shaanxi. *Acta Petrologica Sinica*, 1992, 8(2): 339 ~ 349]
- 13 Frey M. Very Low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks

- In: Frey M ed Low temperature metamorphism. London: Blackie & Son Limited, 1987. 9 ~ 58
- 14 Winker H G G Petrogenesis of metamorphic rocks, 5th edition New York: Springer Verlag, 1979. 1 ~ 2
  - 15 赵孟为. 划分成岩作用与埋藏变质作用的指标及其界限. 地质论评, 1995, 41 (3): 238 ~ 244 [Zhao Mengwei Vitrinite reflectance in Triassic with relation to geothermal history of Ordos Basin Geological Review, 1996, 41 (3): 15 ~ 23]
  - 16 Noh Jin Hwan, Boles James R. Origin of zeolite cements in the Miocene sandstones, North Tejon oil fields, California Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63 (2): 248 ~ 260
  - 17 Wopfner H, Markwort S, Semkwe P M. Early diagenetic laumontite in the Lower Triassic Manda Beds of the Ruhuhu Basin, Southern Tanzania Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61 (1): 65 ~ 72
  - 18 孙玉善. 克拉玛依油区沸石类矿物特征及其与油气的关系. 岩相古地理, 1993, 13 (2): 37 ~ 48 [Sun Yushan The relationship of characteristics of zeolites and oil in Klamayi Oilfield Lithofacies Palaeography, 1993, 13 (2): 37 ~ 48]
  - 19 黄思静, 刘洁, 沈立成, 武文惠. 碎屑岩成岩过程中浊沸石形成条件的热力学解释. 地质论评, 2001, 47 (3): 301 ~ 308 [Huang Sijing, Liu Jie, Sheng Licheng, and Wu Wenhui The thermodynamics interpretation for condition of formation of laumontite related to clastic diagenesis Geological Review, 2001, 47 (3): 301 ~ 308]
  - 20 Hoffmann J and Hower J. Facies-related diagenetic alteration in lacustrine-deltaic sandstones, SEPM Special Pub, 1979, 26: 55]
  - 21 Barker C E and Pawlewicz M J. Lecture Notes in Earth Sciences, 1986, 5: 79 转引自《沉积物的成岩作用》, (英)帕克, 塞尔伍德著, 贾振远等译, 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 65 ~ 70 [Parker A. and Sellwood B W. Sedimentary Diagenesis Translated by Jia Zhenyuan Wuhan: Geology University of China Press, 1989. 65 ~ 70]
  - 22 赵孟为, Behr H J. 鄂尔多斯盆地三叠系镜质体反射率和地热史. 石油学报, 1996, 17 (2): 15 ~ 23 [Zhao Mengwei, Behr H J. Vitrinite reflectance in Triassic with relation to geothermal history of Ordos Basin: Acta Petrolei Sinica, 1996, 17 (2): 15 ~ 23]
  - 23 谢传礼, 何顺利, 魏俊之, 田海芹. 鄂尔多斯盆地靖安油田上三叠统延长组 6 段古湖泊学特征. 石油大学学报 (自然科学版), 2000, 24 (1): 18 ~ 21 [Xie Chuanli, He Shunli, and Wei Junzhi, et al Paleolimnological characteristics of member 6 of Yanchang formation, Jingan Oilfield of Ordos Basin Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, 24 (1): 18 ~ 21]
  - 24 柳益群. 关于成岩作用与变质作用界限的讨论. 地质论评, 1996, 42 (3): 220 ~ 221 [Liu Yiqun The boundary between diagenesis and metamorphism - a discussion with reference to zeolites facies Geologic Review, 1996, 42 (3): 220 ~ 221]
  - 25 柳益群, 李文厚. 陕甘宁盆地东部上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化. 沉积学报, 1996, 14 (3): 87 ~ 95 [Liu Yiqun, Li Wenhou Diagenetic characteristics and porosity evolution of the Oil-bearing arkoses in the Upper Triassic in the eastern Shan-Gan-Ning Basin Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14 (3): 87 ~ 95]
  - 26 Robie R A, and Waldbaum D R. Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15° K (25.0 °) and one atmosphere (1.013 bars) pressure and at higher temperatures USGS Bulletin, 1968, 1259: 256
  - 27 田景春, 曾允孚, 尹观, 等. 东营凹陷西部沙河街组三段上部泥岩中白云岩夹层成因研究. 矿物岩石, 1997, 17 (4): 61 ~ 67 [Tian Jingchun, Zeng Yunfu, Yin Guan, et al Research on the origin of the dolomite intercalated in the mudstone in the upper part of Dongying depression Journal of Mineral and Petrology, 1997, 17 (4): 61 ~ 67]
  - 28 王璞君, 王东坡, 杜小弟. 松辽盆地白垩系青山口组黑色页岩的形成环境及海水侵入的底流模式. 岩相古地理, 1996, 16 (1): 34 ~ 43 [Wang Pujun, Wang Dongpo, and Du Xiaodi The origin of the black shales and the bottom current model for seawater encroachment in the cretaceous Qingshankou formation, Songliao basin Northeast China Lithofacies Palaeography, 1996, 16: 34 ~ 43]
  - 29 黄思静, 武文惠, 刘洁, 等. 大气水在碎屑岩次生孔隙形成中的作用. 地球科学—中国地质大学学报, 2003, 28 (4): 419 ~ 425 [Huang Sijing, Wu Wenhui, Liu Jie, et al Generation of secondary porosity by meteoric water during time of subaerial exposure: an example from Yanchang Formation sandstone of Triassic of Ordos Basin Earth Science -Journal of China University of Geosciences, 2003, 28 (4): 419 ~ 425]
  - 30 Davies D K, Ahmon W R, Bonis S B, and Hunter B E. Deposition and diagenesis of Tertiary-Holocene volcanoclastics, Guatemala In: Scholle P A and Schluger P R, eds Aspects of diagenesis SEPM Special Publication, 1979, 26: 281 ~ 306
  - 31 Surdam R C, and Boles J R. Diagenesis of volcanogenic sandstones In: Scholle P A and Schluger P R, eds Aspects of diagenesis SEPM Special Publication 1979, 26: 227 ~ 247
  - 32 李怒军, 吴志宇, 张金亮, 张晓玲. 安塞油田王窑区长 6 油层储层地质. 西安石油学院学报, 1998, 13 (4): 34 ~ 41 [Li Shujun, Wu Zhiyu, Zhang Jinliang, and Zhang Xiaoling Reservoir geology of Chang-6 Oil-bearing Formation in Wangyao Tract, Ansai Oilfield Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1998, 13 (4): 34 ~ 41]
  - 33 文玲. 靖安油田延长组低孔低渗储层的扫描电镜研究. 电子显微学报, 2003, 22 (4): 352 ~ 358 [Wen Ling SEM study on the reservoir of low porosity and low permeability of the Yangchang formation in Jingan oilfield Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2003, 22 (4): 352 ~ 358]
  - 34 Yang Hua, Fu Jinhua, Yu Jian, Du Jinliang, and Mu Jingkui Oil/gas accumulation characteristics and exploration methods of the deltaic lithologic reservoirs in northern Shaanxi area Petroleum Science, 2004, 1: 69 ~ 78
  - 35 Surdam R C, Boese S W, Crossey L J. The geochemistry of secondary porosity. In: McDonald D A, Surdam R C, eds Clastic diagenesis AAPG Memoir, 1984, 37: 127 ~ 49
  - 36 Meshri I D. On the reactivity of carbonic and organic acids and generation of secondary porosity. In: Gautier D L, ed Roles of organic matter in sediment diagenesis SEPM special publication 1986, 38: 123 ~ 128
  - 37 裴泽楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层. 北京: 石油工业



- 出版社, 1997. 158 ~ 219 [Qiu Yanan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang Continental hydrocarbon reservoirs of China Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 158 ~ 219]
- 38 柳益群,李文厚,冯乔. 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, 1997, 71(1): 65 ~ 74 [Liu Yiqun, LiWenhou, Feng Qiao Palaeotemperatures and diagenetic stage of the Upper Triassic Ordos basin. Acta Geologica Sinica, 1997, 71(1): 65 ~ 74]
- 39 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十二). 北京:石油工业出版社, 1992. 133 ~ 148 [Compile group of Petroleum Geology of Changqing Oilfield. Petroleum Geology of China (Changqing Oilfield). Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. 12: 133 ~ 148]

## Diagenetic Characteristics of the Chang 6 Oil-bearing Interval of the Upper Triassic in the Jin'an Oilfield, Ordos Basin

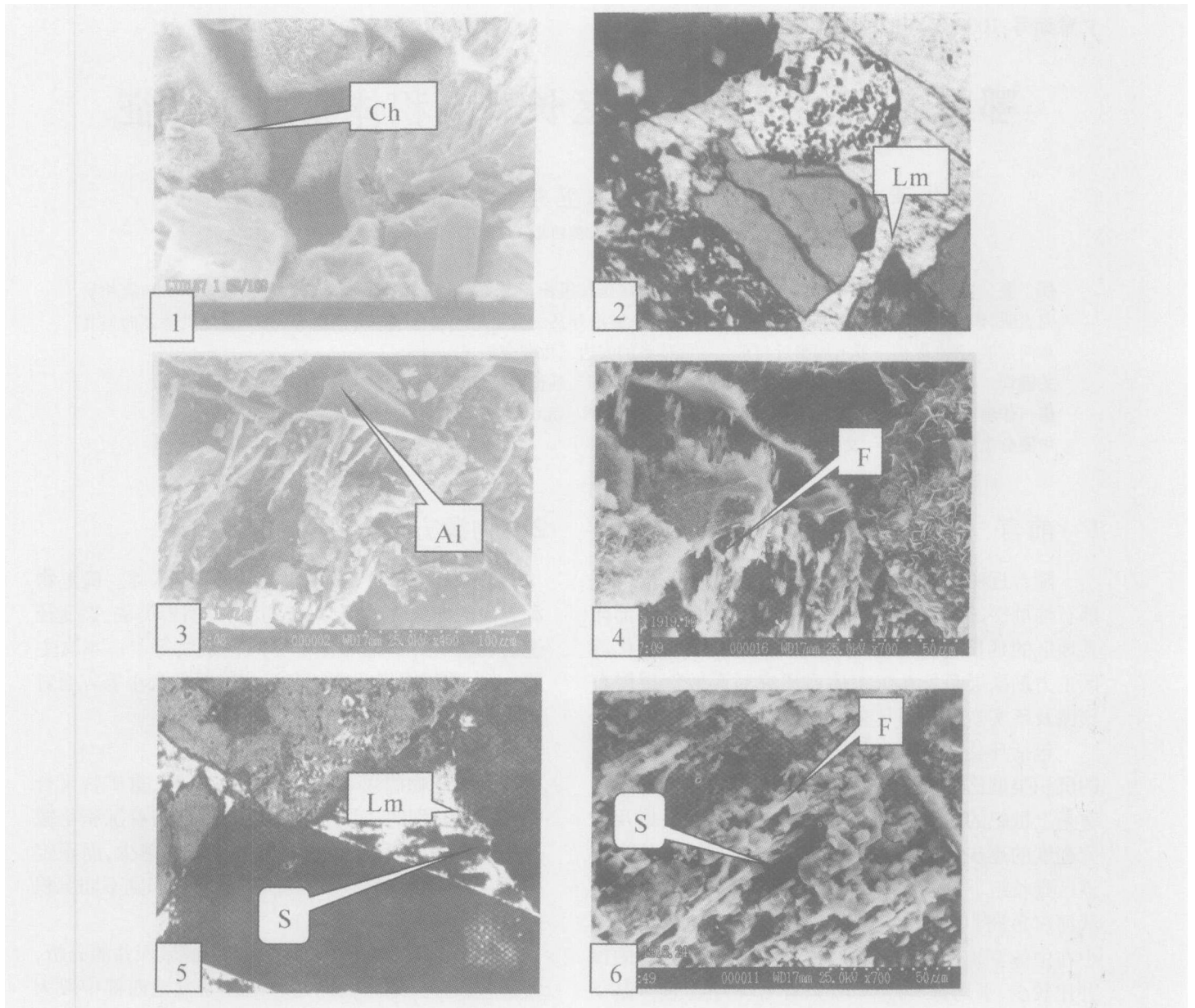
LI Bin<sup>1,2</sup> MENG Zi-fang<sup>2</sup> LI Xiang-bo<sup>2</sup> LU Hong-xuan<sup>2</sup> ZHENG Min<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

<sup>2</sup>(Oil and Gas Center of Geology and Geophysics Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

**Abstract** An intensive study has been done in the Jingan oil-field by observing five cross sections and eleven wells, analyzing 108 samples with thin section, cathodoluminescence, SEM, X-ray diffraction and related test materials. It is believed that Chang 6 oil-bearing beds underwent a series of diagenesis, such as compaction, cementation, dissolution and so on. The diagenetic phenomena are very rich and the diagenetic characters are very obvious and complex. According to the analysis of petrology, it is found that Chang 6 oil-bearing interval is composed of middle size sandstone and fine sub-sand. After analyzing of the whole situation, granularity is much smaller. Little of them are rock fragments feldspar sandstone. Diagenesis of Chang 6 oil-bearing interval can be divided to two stages, early and late stage. Furthermore, they can also be subdivided into two sub-phases, A and B sub-phase. The diagenetic processes that control reservoir properties include the mechanical compaction, cementation and dissolution of grains. At the early diagenesis, mechanical and chemical compaction is very strong, which reduced the primary porosity. Cementation is an important factor to reservoir, including carbonate, clay and laumontite cementation and so on. Laumontite is special mineral in Ordos Basin and is very abundant. Cementation filled the space among grains and blocked the path between grains are another factors resulting in sandstone compaction and very low permeability. But, at the same time, cements also protect grains from further compaction. At the late diagenesis phase, the dissolution of framework grains, especially the dissolution of feldspar and laumontite, is the key to form secondary porosity. They changed the porosity characteristics of sandstone; engendering new benefit storing beds consisted with secondary porosity. Feldspar is dissolved very commonly and severely. They often form dissoluble porosity among grains. Laumontite has deficient dissoluble forms and its dissolution mostly appear along vein, forming irregular size room among grains. This indicates the direction of exploration and development for oilfield. In a word, the diagenetic study of reservoir property show that mechanical compaction and cementation is two important diagenetic controlling factors, which make oil-bearing physical property bad and porosity down in reservoir. Dissolution, particularly dissolution of laumontite and feldspar is one of most important diagenetic factors controlling the physical property of oil-bearing interval and forming better reservoir.

**Key words** Ordos Basin, diagenesis, clastic rocks, reservoir, laumontite



**图版 说明** 1. 颗粒表面绿泥石膜 (Ch) 发育。柳 137 井, 1917. 42 m, 扫描电镜; 2 浊沸石 (Lm) 连晶式胶结。内蒙, 伊 22 井, 2808. 59 ~ 2808. 66 m。P<sub>2s</sub> 单偏光 63 ×; 3. 长石颗粒沿解理方向溶蚀后, 晶粒状自生钠长石充填 (Al)。柳 136 井, 1916. 24 m, 扫描电镜; 4. 长石颗粒 (F) 溶蚀残余形态。柳 135 井, 1957. 0 m, 扫描电镜; 5. 浊沸石 (Lm) 胶结具溶蚀粒内孔隙 (S)。内蒙, 伊 14 井, 2169. 42 ~ 2169. 5 m。P<sub>2s</sub> 正交偏光 160 ×; 6. 长石 (F) 颗粒发生溶蚀, 产生粒内溶孔 (S)。柳 136 井, 1919. 1 m, 扫描点镜。