

鄂尔多斯盆地姬塬地区 长₈储层成岩作用与有利成岩相研究

马海勇^{1,2}, 周立发¹, 张小刚³, 韩天佑², 李继宏², 刘广林²

(1. 西北大学地质学系, 西安 710069; 2. 长庆油田公司勘探开发研究院
低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 西安 710018; 3. 长庆油田公司勘探部, 西安 710018)

摘要:利用铸体薄片、扫描电镜等测试技术和储层综合评价方法对姬塬地区长₈砂岩成岩作用及有利成岩相带进行了系统分析, 结果表明, 长₈砂岩处于晚成岩阶段A期, 压实作用造成砂岩中原生孔隙丧失; 受酸性成岩环境影响, 长石类不稳定矿物发生溶蚀, 产生的溶蚀孔隙有效地改善了孔隙的连通性和渗透性, 成岩早期形成的绿泥石粘土膜保留了大量原生粒间孔, 保持了较好的储层物性。结合成岩作用和沉积特征, 研究区可划分出4种主要成岩相带。长石溶蚀成岩相和绿泥石膜—粒间孔成岩相是最为有利的成岩相带, 分布在刘卯塬—堡子湾一带的三角洲前缘水下分流河道砂体发育区, 以及小涧子一带三角洲分流河道交汇处的砂体发育区。

关键词:成岩作用; 成岩相; 长₈储层; 三叠系; 姬塬地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Diagenesis and favorable diagenetic facies of Chang₈ reservoir in Jiyuan area of Ordos Basin

Ma Haiyong^{1,2}, Zhou Lifa¹, Zhang Xiaogang³, Han Tianyou², Li Jihong², Liu Guanglin²

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Exploration and Development Research Institution/National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China;

3. Exploration Department, Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China

Abstract: The diagenesis and favorable diagenetic facies of Chang₈ reservoir in Jiyuan area of the Ordos Basin were studied by means of cast thin section, SEM and reservoir comprehensive evaluation. The Chang₈ sandstones were during the subphase A of late diagenesis. Compaction effect caused the disappearance of primary pores. Influenced by acidic diagenetic environment, feldspars were corroded, improving pore connectivity and permeability. In the well-developed chlorite film which generated during early stage, a large quantity of primary pores was preserved, showing good reservoir physical property. According to diagenetic and sedimentary features, 4 diagenetic facies belts were classified. The diagenetic facies belts of feldspar corrosion and chlorite film-intergranular pore were most favorable, mainly distributing in sandbody zones in subaqueous distributary channel of delta front in Liumaoyuan and Baoziwan areas, and in distributary channel of delta in Xiaojianzi area.

Key words: diagenesis; diagenetic facies; Chang₈ reservoir; Triassic; Jiyuan area; Ordos Basin

姬塬地区位于鄂尔多斯盆地中西部, 北起盐池, 南抵耿湾, 西自古峰庄, 东至吴起, 区域构造横跨伊陕斜坡和天环坳陷2个构造单元^[1-5](图1)。区内构造简单, 为一倾角仅半度左右的大型西倾单斜, 构造较平缓。三叠系延长组长₈段优质烃源岩进入大量生、排烃阶段之前, 延长组储层经历了强烈的机械压实及胶结作用, 使砂岩储层原生孔隙大量丧失, 形成了低孔、低渗的致密储层^[6-9]。近年来, 姬

塬地区延长组下组合油层组勘探取得了新的突破, 已从中浅层构造油气藏进入到深层岩性油气藏勘探的新阶段, 发现了延长组长₈油层大型岩性油藏^[10]。但研究区延长组长₈储集层成岩作用和成岩相的研究还相对较薄弱。本文以铸体薄片、阴极发光、扫描电镜等实验测试结果为基础, 对该区延长组长₈储层的成岩作用、物性变化特征等进行研究, 揭示了成岩作用与储层物性之间的关系, 并在

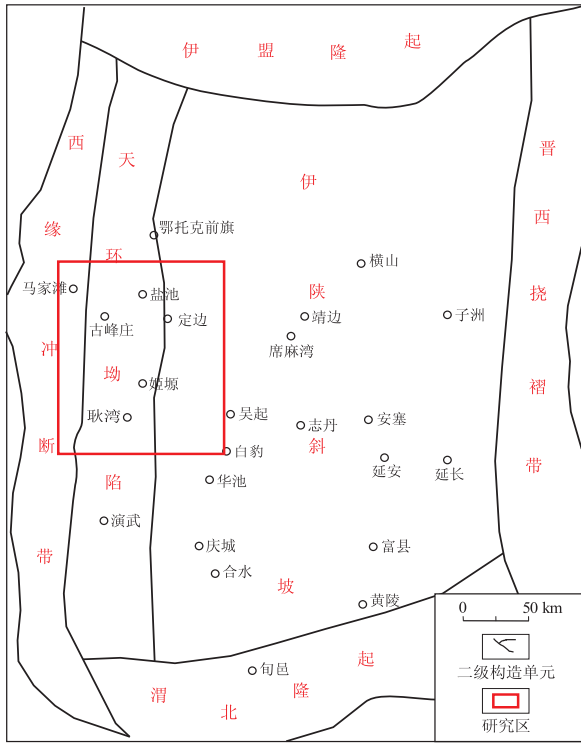


图1 鄂尔多斯盆地姬塬地区位置

Fig.1 Location of Jiyuan area of Ordos Basin

此基础上划分出有利的成岩相带,为评价和筛选有利储层提供合理的地质依据。

1 沉积相特征

姬塬地区长₈油层组沉积总厚度为 75 ~ 85 m,包括长₈¹、长₈²两个油层^[11],按不同级次的基准面旋回特征,长₈油层组处于二级层序的水进体系域,即首次洪泛面和最大洪泛面之间。沉积期构造背景稳定,沉积砂体展布受东北阴山古陆和西北阿拉善古陆的物源控制,各物源方向对区内长₈油层组砂体的发育规模、展布形态影响程度有所差异^[12-14]。该区长₈油层组为典型的浅水三角洲沉积体系^[15-16],主要发育浅水三角洲前缘亚相沉积,沉积微相为三角洲前缘水下分流河道、河口坝,砂体单层厚度较大,一般在 10 ~ 20 m,砂体在垂向上叠加期次不明显,垂向和横向上连续性好,属于近物源、且物源供给充足的高能量沉积环境。分流河道砂体主要为灰绿色厚层块状细砂岩,基底具冲刷面,内部具向上变细的沉积序列,发育槽状交错层理、平行层理、沙纹交错层理。

2 储层岩石学特征

姬塬地区长₈油层组主要为长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩(图2),而长石砂岩和岩屑砂岩含量相对较少。碎屑石英(Q)、长石(F)及岩屑(R)的平均含

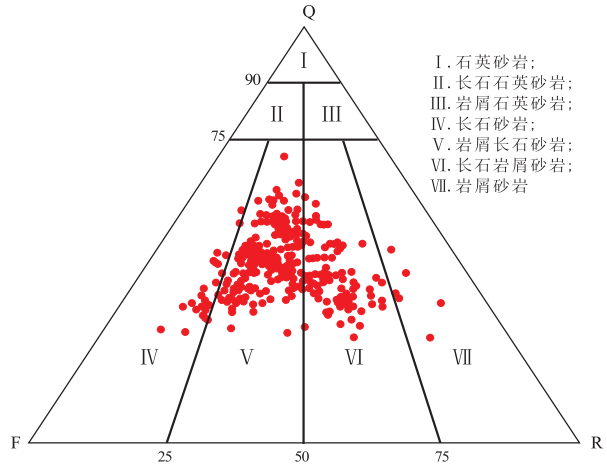


图2 鄂尔多斯盆地姬塬地区长₈砂岩岩石分类

Fig.2 Classification of Chang₈ sandstones in Jiyuan area, Ordos Basin

量分别为 29.56%、27.93%、22.20%。石英以单晶石英为主,有部分多晶石英;长石以斜长石为主,有少量钾长石。岩屑以变质岩岩屑(平均 13.7%)和火成岩岩屑(平均 8.1%)为主,沉积岩岩屑含量较少(平均 0.36%)。

砂岩中填隙物主要由胶结物和杂基组成,填隙物总体平均含量为 13.05%,胶结物主要为粘土矿物和碳酸盐矿物,粘土矿物中绿泥石膜(平均 4.2%)、高岭石(平均 1.35%)含量较高;碳酸盐矿物中铁方解石(平均 2.65%)、水云母(平均 1.6%)含量较高。

统计结果表明,长₈储层以细砂岩(占砂岩总量的 46.5%)、中细砂岩(41.2%)为主,含少量中砂岩(3.8%)。砂岩分选性普遍为好—中等,磨圆度以次棱角状为主。胶结类型以薄膜—孔隙型为主,其次为孔隙、薄膜、加大—孔隙型胶结,压嵌、基底型胶结较少见。颗粒间以线接触为主,其次为点—线接触,少数为点接触和凹凸接触。

根据大量岩心物性的分析资料,姬塬地区长₈砂岩的实测平均孔隙度为 9.5%,平均渗透率为 0.66 mD,属于低渗、特低渗型储集层。根据铸体薄片观察与统计,结合扫描电镜研究,研究区长₈砂岩储层的面孔率平均为 2.38%,主要由剩余原生粒间孔(占面孔率的 42.4%)、长石溶孔(46.6%)、岩屑内溶孔(4.2%)、沸石内溶孔(2.1%)和晶间孔(4.2%)构成,局部地区发育微裂缝。

3 成岩作用特征

3.1 压实作用

压实作用是造成姬塬地区长₈组砂岩原生孔隙丧失的主要原因,长₈砂岩经历了较强的压实作用,由

压实作用造成的平均孔隙度丧失为 26.8%。通过砂岩原始孔隙体积与压实后的粒间体积进行对比,得出研究区岩石的视压实率为 68%,区内长₈砂岩属于中强压实为主(图 3a)。砂岩中抗压作用较强的石英含量较低,而抗压较弱的塑性碎屑如长石、泥岩岩屑、特别是云母类的含量较高,这些塑性碎屑在埋藏压实作用过程中发生塑性变形、水化膨胀和蚀变,并形成假杂基挤入粒间孔隙中,造成邻近孔隙喉道的堵塞,从而使较多原生粒间孔隙丧失^[17-19]。

3.2 胶结作用

胶结作用是孔隙溶液中某种物质达到过饱和而在孔隙中发生沉淀,使沉积物固结起来的作用。研究区长₈砂岩中的主要的胶结物包括碳酸盐、粘土矿物和硅质等,它们对储层砂岩的储集性能的影响各有不同。

3.2.1 碳酸盐胶结

碳酸盐胶结是造成低孔、低渗的主要原因。在研究区长₈砂岩中碳酸盐胶结作用普遍存在,胶结物主要是铁方解石(平均 2.65%)、方解石(平均 0.65%),还有少量的白云石、铁白云石。碳酸盐胶结主要呈粒间胶结物、交代物或溶蚀孔隙内填充物形式出现,常见微晶状、晶粒状或连晶状产出,并有明显的多期次形成特征,可分为早、中、晚三期。

早期碳酸盐主要以孔隙充填的形式出现,以泥晶团块或灰泥基质形式充填在颗粒之间,常温常压条件下孔隙水中 CaCO₃ 在碱性条件下达到过饱和直接沉淀出来。早期碳酸盐胶结主要发生在早成岩阶段主要压实期以前,一般不交代碎屑颗粒,可

提高砂岩抗压实能力,为后期溶蚀作用的发生提供溶蚀物质。

随着埋深加大,温度升高、pH 值增大、CO₂ 分压降低,溶解的碳酸盐发生重结晶作用,形成自形的细晶方解石胶结物。这类中期碳酸盐胶结物多呈斑状、分散晶粒状充填在颗粒之间,呈线接触,成分多为(含铁)方解石,可见交代或包裹早期泥微晶碳酸盐胶结物的现象,形成时间在主压实期之后和油气侵入之前,成岩阶段主要在早成岩阶段 B 期。

在成岩晚期,特别是在晚成岩阶段 A 期,由于地层埋藏深度增大,温度和压力增高,在高温缺氧的还原环境下,孔隙水中由粘土矿物或黑云母转化而产生的 Ca²⁺、Fe²⁺、Mg²⁺ 等离子与烃源岩中有机质成熟时产生的 CO₂ 发生反应,形成了铁方解石和少量的铁白云石,多呈洁净、大晶粒状^[17]。

3.2.2 硅质胶结

硅质胶结也是长 8 油层组砂岩中主要的胶结方式,硅质胶结物平均含量为 1.85%,主要以石英次生加大和充填孔隙胶结为主(图 3b)。硅质胶结中的 SiO₂ 主要来自粘土矿物演化释放硅离子以及长石溶解使孔隙流体中游离硅离子增加并造成硅质胶结物沉淀。通过对铸体薄片的大量观察,发现本区长₈砂岩储层自生硅质胶结物出现在相对深埋地层中,大多数砂岩中自生石英沉淀作用都发生在压实作用使得颗粒间关系基本固定之后,提高了岩石的机械强度和抗压实能力;其沉淀作用造成的岩石机械强度增加对岩石孔隙的保持没有实际意义,其占据的孔隙空间使岩石孔隙度进一步降低,因而被认为是

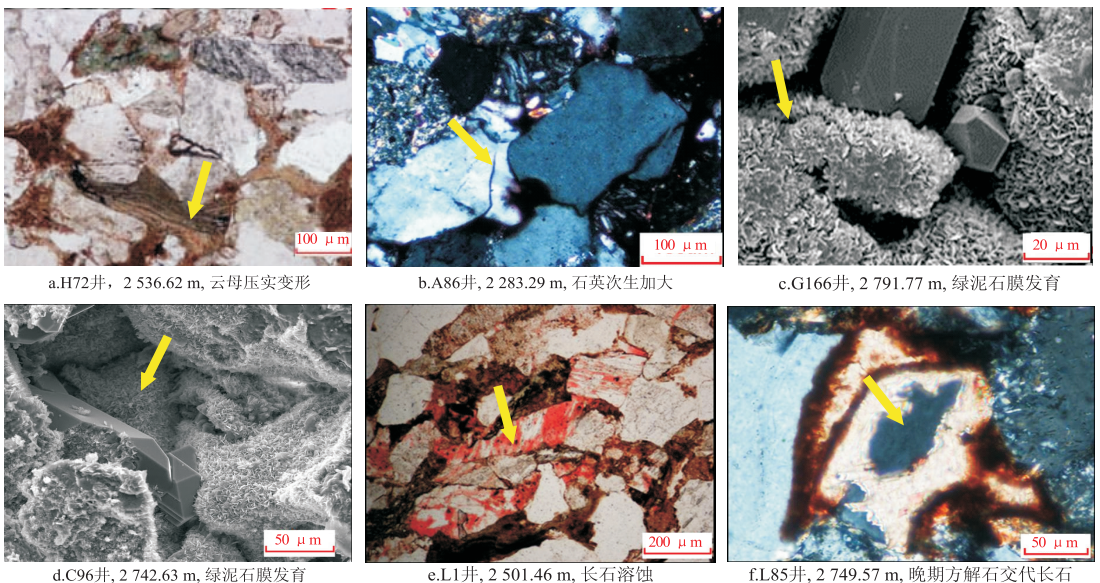


图 3 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长₈砂岩中的典型成岩现象

Fig. 3 Microphotographs showing typical diagenesis of Chang8 sandstones in Jiyuan area, Ordos Basin

破坏性的成岩作用^[20-21]。

3.2.3 粘土矿物胶结

粘土矿物胶结在本区普遍发育,尤其是绿泥石和高岭石,其平均含量分别为4.2%和1.35%,伊利石、伊、蒙混层含量较低。绿泥石的胶结形式主要为绿泥石薄膜和充填于孔隙中的自生绿泥石。绿泥石薄膜在本区很常见(图3c),绿泥石多呈针状和针页状集合体沿碎屑颗粒呈环状分布(图3d),形成薄膜式胶结。环边绿泥石的沉淀开始于压实作用已进行到颗粒目前接触关系的早成岩阶段早期。这种绿泥石环边均匀地包绕在碎屑颗粒外面,阻碍碎屑颗粒与孔隙接触,抑制石英次生加大边的形成,减少了其他胶结物的沉淀^[22-24]。但在埋藏成岩过程中,这些绿泥石仍然继续定向生长,并持续到自生石英沉淀以后,不断增加岩石的机械强度,并平衡埋藏成岩过程中不断增加的上覆载荷,从而使砂岩的原生粒间孔隙和次生溶蚀孔隙得以保存^[25]。另外,还有一些绿泥石呈叶片状充填于粒间孔、残余粒间孔,部分充填溶蚀孔隙,这部分绿泥石形成时间较晚,为晚成岩A期的产物。

3.3 溶蚀作用

溶蚀作用可以将致密砂岩改造成储层,是形成储层最重要的建设性成岩作用之一^[26]。研究区长₈砂岩被溶蚀的物质主要是长石颗粒,还有少量岩屑颗粒以及方解石胶结物。长石溶蚀产生次生孔隙占面孔率的46.6%,可形成粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔。晚期成岩作用阶段,烃源岩由于温度的热催化和Fe³⁺的无机氧化脱羧形成大量有机酸和CO₂^[27],有机质分解产生的有机酸进入砂岩,导致孔隙流体pH值的大幅降低,使成岩早期形成的不稳定自生矿物及长石等铝硅酸盐矿物发生较大规模的溶解,释放出大量的Si⁴⁺、Al³⁺等离子。由于有机酸对Al³⁺有

较强的络合能力,因此这些离子以络合物的形式随孔隙流体迁移,保证了长石的继续溶解,并形成了大量的次生孔隙(图3e)。由于这些络合离子的不稳定性,Al³⁺经过短距离搬运便沉淀下来,形成了自生高岭石^[28]。长₈砂岩中高岭石平均含量1.35%,多呈分散质点式充填粒间孔隙,部分充填于长石粒内溶孔中,从储层演化角度来说,高岭石通常是长石溶解和次生孔隙发育的指示矿物。

3.4 交代作用

研究区长₈储层主要的交代作用是胶结物交代碎屑,后期形成的胶结物交代早期形成的胶结物,主要的交代现象有高岭石粘土充填交代岩屑、方解石交代岩屑和碳酸盐对长石、岩屑等碎屑颗粒的交代及早期方解石胶结物被晚期铁方解石交代(图3f)。纯粹的矿物交代对储层物性影响不大,但对储层的潜在敏感性有重要影响。

3.5 成岩阶段划分

根据裘怿楠等^[29-30]成岩阶段划分方案对研究区长₈砂岩成岩阶段进行了划分。成岩阶段以自生矿物的形成及其生成顺序、粘土矿物组合、岩石结构特征、有机质成熟度指标、结合包裹体测温等依据进行划分,将成岩作用分为2个阶段:早期成岩作用阶段、晚期成岩作用阶段(图4)。

该区长₈段成岩强度较为强烈,早期成岩期主要有微弱的机械压实作用,形成石英次生加大边;之后为绿泥石薄膜包围碎屑颗粒,且塑性云母、岩屑发生变形,刚性颗粒发生断裂,颗粒发生调整;早成岩B期晚期至晚成岩A期,排出大量有机酸,长石溶蚀孔隙非常发育,其形成时间基本一致;充填孔隙的自生绿泥石、伊利石、伊蒙混层等生成;随着埋深的加大,成岩作用的增强,铁离子逐渐剩余,铁方解石、铁白云石等碳酸盐矿物生成。

成岩阶段		温度/℃	R _v /%	有机质演化阶段	机械压实	黄铁矿	石英加大	自生石英	碳酸盐矿物		菱铁矿	粘土矿物				长石溶蚀	褐铁矿	孔隙
期	亚期								微晶方解石	铁方解石		I/S中的S	高岭石	伊利石	绿泥石			
早成岩阶段	A	<65	<0.35	未成熟	■	■			■	■								原生孔隙
	B	65~85	0.35~0.5	半成熟	■	■	■		■	■								原生孔隙
晚成岩阶段	A	85~140	0.5~1.3	低成熟—成熟	■	■	■		■	■								粒间孔 溶蚀孔隙
	B	140~170	1.3~2.0	高成熟	■	■	■		■	■								裂缝
	C	>170	>2.0	过成熟	■	■	■		■	■								缝合线

图4 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长₈储层成岩序列

Fig.4 Diagenetic array of Chang₈ reservoir in Jiyuan area, Ordos Basin

4 成岩相划分及特征

成岩相是一定成岩环境形成的岩石矿物及其组合特征的综合反映,决定了储集层性能和油气富集规律^[31-33]。碎屑岩储层中油气的富集程度主要受沉积相、成岩相控制,沉积环境通过沉积结构、沉积构造、矿物组分等要素对成岩特征有不同程度的控制和影响,而不同的成岩相在沉积微相中的分布也存在一定的规律性^[34]。

本文成岩相分析采用单因素分析、多因素综合的方法^[35],分析影响储层物性的主要成岩作用类型和特征,并结合沉积背景将研究区成岩相划分为压实成岩相、绿泥石膜—粒间孔成岩相、长石溶蚀成岩相、碳酸盐胶结成岩相等4种类型(图5),其中压实成岩相、碳酸盐胶结成岩相为破坏性成岩相,对储层发育不利;长石溶蚀成岩相、绿泥石膜—粒间孔成岩相为建设性成岩相,有利于储集空间的形成^[36]。

4.1 压实成岩相

主要分布于三角洲前缘水下分流河道、河道侧翼的薄砂层和分流间湾沉积区,其主要的岩性为泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩等(图5)。砂岩中含有较多的黑云母、千枚岩、板岩等塑性碎屑和碎屑石英,颗粒以线状和凹凸状接触,地层物性差,不具备储层性能。结合区域特征,压实成岩相地层在测井曲

线上的响应特征表现为高自然伽马(80~120 API)、高中子(大于15%)、高密度(大于2.6 g/cm³)。

4.2 碳酸盐胶结成岩相

研究区长₈段主要发育铁方解石胶结成岩相,在三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道中都有发育,经常出现在三角洲分流河道等较厚砂体的顶部和底部(图5)。铁方解石胶结成岩相砂岩很致密,铁方解石呈基底式、孔隙式致密胶结,使有效孔隙消失,形成致密型孔隙组合关系,不利于孔隙的保存,几乎完全丧失了储集性能。测井响应表现为高自然伽马(小于80 API)、高中子(小于15%)、声波时差(小于220 μs/m)、高密度(大于2.6 g/cm³)。

4.3 绿泥石膜—粒间孔成岩相

绿泥石膜—粒间孔成岩相受沉积微相控制,主要分布于刘卯塬—堡子湾、马坊一带的三角洲前缘水下分流河道主河道的有利沉积微相发育区(图5)。绿泥石膜胶结对储层物性保护起了积极的作用,提高了砂岩的抗压实能力,使原生粒间孔较完整地保存下来^[37],平均孔隙度一般为11.3%,平均渗透率为0.68 mD,测井响应表现为低自然伽马(小于80 API)、低密度(小于2.6 g/cm³),属于超低渗储层相对高渗的有利成岩相带。这类成岩相主要位于多期水下分流河道相互叠置的厚砂层中,是原油富集的最主要地区之一。

4.4 长石溶蚀成岩相

主要分布于冯地坑、小涧子、涝池口一带三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道多条河道交汇处的有利沉积微相发育区(图5)。在后期成岩作用过程中,烃源岩产生的有机酸、CO₂等酸性流体进入砂岩中使长石等矿物发生溶蚀,形成的次生孔隙对喉道有扩大作用,有效地改善了孔隙的连通性和渗透性,该成岩相的平均孔隙度为9.5%,平均渗透率为0.32 mD。长石溶蚀成岩相对有利储集层的形成和油气的聚集具有建设性的作用。

5 结论

1) 姬塬地区长₈砂岩目前处于晚成岩阶段A期,主要经历的成岩作用有:压实作用、胶结作用、交代作用和溶蚀作用。机械压实作用是造成砂岩原生孔隙消亡的主要原因;受酸性成岩环境影响,长石类不稳定矿物发生溶蚀,产生的溶蚀孔隙扩大了储集空间,使孔隙间的连通性得以改善。长₈砂岩成岩强度比较大,但成岩早期形成的绿泥石粘土膜非常发育,保留大量原生粒间孔,从而保持了较好的储层物性。

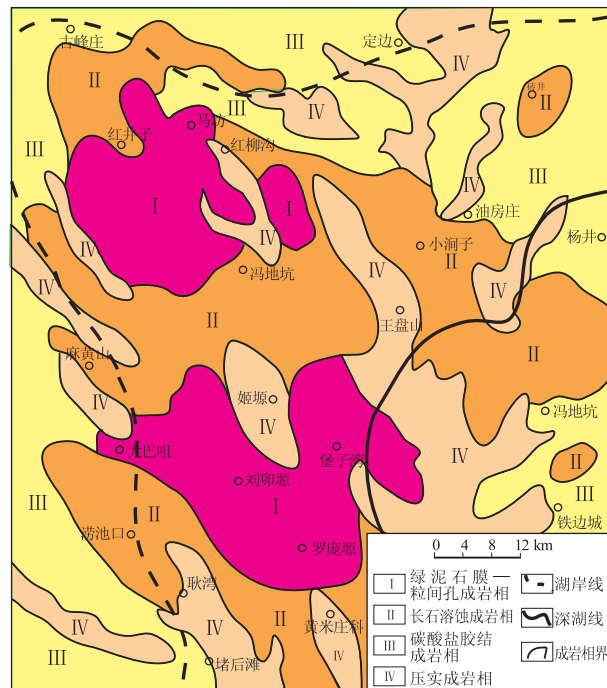


图5 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长₈储层成岩相分布

Fig. 5 Distribution of diagenetic facies of Chang₈ reservoir in Jiyuan area, Ordos Basin

2) 根据成岩作用和沉积背景特征, 姬塬地区长₈储层可划分出4种主要成岩相类型, 压实成岩相、碳酸盐胶结成岩相为破坏性成岩相, 对储层发育不利; 长石溶蚀成岩相和绿泥石膜—粒间孔成岩相为建设性成岩相, 有利于储集空间的形成。优质储层主要受控于长石溶蚀成岩相和绿泥石膜—粒间孔成岩相, 分布于刘卯塬—堡子湾、马坊一带的三角洲前缘水下分流河道沉积微相发育区, 以及冯地坑、小涧子、涝池口一带三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道多条河道交汇处砂体发育区。

参考文献:

- [1] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [2] 陈朝兵, 朱玉双, 谢辉, 等. 姬塬油田红井子地区延长组长9油层组石油富集规律[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 758-765.
- [3] 胡作维, 黄思静, 马永坤, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长2油层组储层孔隙结构特征[J]. 断块油气田, 2012, 19(5): 588-591.
- [4] 郑荣才, 牛小兵, 梁晓伟, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬油田延长组原油性质与来源分析[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(2): 142-145.
- [5] 唐俊, 王琪, 马晓峰, 等. Q型聚类分析和判别分析法在储层评价中的应用: 以鄂尔多斯盆地姬塬地区长81储层为例[J]. 特种油气藏, 2012, 19(6): 28-31.
- [6] 张文正, 杨华, 李剑锋, 等. 论鄂尔多斯盆地长7段优质烃源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用, 强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293.
- [7] 肖晖, 吴小斌, 何丹, 等. 鄂尔多斯盆地镇川地区长3低渗储层特征及其控制因素[J]. 断块油气田, 2011, 18(6): 701-704.
- [8] 侯瑞云, 刘忠群. 鄂尔多斯盆地大牛地气田致密低渗储层评价与开发对策[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 118-128.
- [9] 白玉彬, 张乾. 鄂尔多斯盆地定边油田长2低渗砂岩储层特征及评价[J]. 特种油气藏, 2011, 18(5): 56-59.
- [10] 李荣西, 段立志, 张少妮, 等. 鄂尔多斯盆地低渗透油气藏形成研究现状与展望[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4): 364-372.
- [11] 罗顺社, 银晓. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长8沉积相的研究[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(4): 5-9.
- [12] 聂永生, 田景春, 夏青松. 鄂尔多斯盆地白豹—姬塬地区上三叠统延长组物源分析[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(5): 4-7.
- [13] 王纹婷, 郑荣才, 王成玉, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长8油层组物源分析[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(4): 41-46.
- [14] 韩永林, 王成玉, 王海红, 等. 姬塬地区长8油层组浅水三角洲沉积特征[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1057-1064.
- [15] 李元昊, 刘池洋, 独育国, 等. 鄂尔多斯盆地西北部上三叠统延长组长8油层组浅水三角洲沉积特征及湖岸线控砂[J]. 古地理学报, 2009, 11(3): 265-274.
- [16] 银晓, 罗顺社, 李鑫, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长8时期物源分析[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(3): 59-63.
- [17] 罗静兰, 刘小洪, 林潼, 等. 成岩作用与油气侵位对鄂尔多斯盆地延长组砂岩储层物性的影响[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 664-673.
- [18] 杨希濮, 孙卫. 鄂尔多斯盆地低渗透油藏孔隙结构特征及影响因素分析[J]. 特种油气藏, 2011, 18(6): 44-47.
- [19] 薛永超, 程林松. 靖安油田长4+5油藏储集空间及成岩作用演化[J]. 特种油气藏, 2011, 18(5): 25-28.
- [20] 黄思静, 黄培培, 王庆东, 等. 胶结作用在深埋藏砂岩孔隙保存中的意义[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 7-13.
- [21] 思玉琥, 郝世彦, 张林森, 等. 延安地区上三叠统长6期储层成岩作用及孔隙演化[J]. 特种油气藏, 2011, 18(6): 36-39.
- [22] 柳益群, 李文厚. 陕甘宁盆地上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 87-96.
- [23] 罗静兰, 张晓莉, 张云翔, 等. 成岩作用对河流—三角洲相砂岩储层物性演化的影响: 以延长组上三叠统延长组长2砂岩为例[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 541-547.
- [24] 刘小洪, 罗静兰, 郭彦如, 等. 鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组长6油层组的成岩相与储层分布[J]. 地质通报, 2008, 27(5): 626-632.
- [25] 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[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(3): 273-281.
- [26] 郑荣才, 耿威, 周刚, 等. 鄂尔多斯盆地白豹地区长6砂岩成岩作用与成岩相研究[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 1-8.
- [27] Surdam R C, Jiao Z S, MacGowen D B. Redox rreaction involving hydrocarbons and mineral oxidants: A mechanism for significant porosity enhancement in sandstones[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(9): 1509-1518.
- [28] 张磊, 龚福华, 任瑞清, 等. 鄂尔多斯盆地胡尖山—王洼子地区长4+5储层成岩作用及成岩相研究[J]. 特种油气藏, 2009, 16(5): 40-47.
- [29] 刘宝瑞, 张锦泉. 沉积成岩作用[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 65-92.
- [30] 裘怿楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 59-64, 290.
- [31] 邹才能, 陶士振, 薛叔浩. “相控论”的内涵及其勘探意义[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 7-12.
- [32] 邹才能, 陶士振, 周慧, 等. 成岩相的形成、分类与定量评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 526-540.
- [33] 成志刚, 宋子齐, 景成, 等. 苏里格东区致密气储层成岩储集相分类及特征[J]. 断块油气田, 2012, 19(5): 577-582.
- [34] 张伟, 刘建朝, 高志亮, 等. 鄂尔多斯盆地吴堡地区长6段浊积特征及其石油地质意义[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(2): 64-71.
- [35] 杜业波, 季汉成, 吴因业, 等. 前陆层序致密储层的单因素成岩相分析[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 48-52.
- [36] Hillier S. Pore-lining chlorites in siliciclastic reservoir sandstones: Electron microprobe, SEM and XRD data, and implications for their rigin[J]. Clay Minerals, 1994, 29(4): 665-679.
- [37] 王琪, 嵯喜准, 陈国俊, 等. 鄂尔多斯西部长6砂岩成岩演化与优质储层[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 17-23.