文章编号:1673-9469(2011)01-0091-05

子长北部地区盒$_8$段储层成岩作用研究

张文选[1],苗建宇[1],李 辉[2],胡永胜[2]
(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室/地质学系,陕西 西安 710069;
2. 延长油田股份有限公司,陕西 延安 716000)

摘要:应用了普通薄片、铸体薄片、扫描电镜等多种测试手段对研究区盒$_8$段砂岩的成岩作用及其对储层的影响等做了分析说明。认为:研究区储层主要为岩屑石英砂岩,几乎不含或者含极少量的长石;压实作用是造成砂岩储层孔隙丧失的主要原因之一,而胶结作用加剧了原生孔隙的进一步减小,尤其是碳酸盐胶结,其次是石英加大边和高岭石;但绿泥石膜胶结物的存在抑制了压实作用的进一步进行,有利于粒间孔的保存;而成岩后期的溶蚀作用,改善了储层物性。储层处于晚成岩A-B期阶段,溶蚀型次生孔隙成为这一阶段主要的孔隙类型,其发育带往往是有利储层发育区。

关键词:岩石学特征;孔隙类型;成岩作用;石盒子组;鄂尔多斯盆地
中图分类号:P581 文献标识码:A

Reseach on the sandstone diagenesis of the 8th member of Shihezi Formation in north of Zichang area

ZHANG Wen-xuan[1], MIAO Jian-yu[1], LI Hui[2], HU Yong-sheng[2]
(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Shanxi Xi' an 710069, China; 2. Shaanxi YanChang Oilfield Co., Ltd., Shanxi Yan' an 716000, China)

Abstract: Multiple analysis methods including general slice and casting slice scan electron microscope, etc, were adopted to study the diagenesis of the 8th member of Shihezi Formation sandstone of the study area and its effects on physical properties. The result shows that Lithic quartz sandstone is the main sandstone type, with less or low composition feldspar; compaction is one of the main causes for porosity losses, and the primary porosity loses further under cementation which is also the main cause of this compact sandstone, especially, carbonate, secondly, quartz increasing margin and kaolinite, but cementation of chlorite film can restrain compaction and is beneficial to preserve primary porosity. Physical properties of sandstone reservoirs can be improved by dissolution, during the later period of diagenesis. Diagenesis reaches A-B period, porosity developed by dissolution is one of the main porosity-type of this period, where it is developed well is the favorable reservoirs area.

Key words: diagenesis; porosity evolution; Shihezi Formation; Ordos basin

研究区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中东部地区,中二叠世早期,随着兴蒙海槽的逐渐关闭,引起强烈的南北差异升降,加剧了早二叠世中晚期北隆、中洼、南隆的构造格局。由于海水继续南撤,远离本区,古气候向干旱-半干旱转变,已经没有持久稳定的泥炭沼泽发育,晚古生代成煤史已经终结,盆地内形成了一套巨厚的以粗粒为主的碎屑岩建造,尤以盒$_8$段砂层最为发育[1-3]。文章主要研究了子长北部地区盒$_8$段储集岩岩性、沉积特征、孔隙类型,以及成岩作用及其对储层的影响。

1 岩石学特征

储集岩岩性:研究区盒$_8$段地层以岩屑石英砂

收稿日期:2010-11-18
基金项目:陕西省普通高等学校重点学科专项资金(081802)
作者简介:张文选(1985-),男,陕西宝鸡人,硕士,从事储层评价研究。

岩为主，几乎不含长石。30 个分析样品中石英含量为 72%～91%，平均为 81.3%，几乎不含长石，偶见仅为 1%。岩屑含量为 12%～50%，平均为 32%，主要为岩浆岩、喷发岩、变质岩、千枚岩、硅质岩、石英岩和泥岩，少量灰岩、板岩和片岩。

胶结物组分及其特征：胶结物含量为 3%～10%，主要组分有硅质、碳酸盐，以及少量水云母、泥铁质和绿泥石。其中硅质含量占 5%～35%，平均为 16.09%。碳酸盐含量占 4%～35%，平均为 12.10%。水云母含量占 10%～70%，绿泥石薄膜的含量占 5%，泥铁质的含量占 38.41%。

结构特征：石盒子组的胶结类型以孔隙式为主，偶见基底胶结。上部为含砾岩屑石英粗砂岩，下部以中、细粒的岩屑石英砂岩为主，分选好～中等，磨圆以次棱角状为主，少量次圆和次棱～次圆状。

辫状河三角洲沉积体系：研究区石盒子组下部主要发育辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲两个亚相，可进一步细分为水下分流河道和分流间湾两个微相（如图 1），两者交互出现组成了辫状河三角洲前缘亚相[4]。前辫状河三角洲亚相的沉积物粒度较细，多为深灰色泥岩、粉砂质泥岩及少量粉砂岩薄层，沉积构造主要发育水平层理、块状层理及少量沙纹交错层理。位于三角洲前缘与浅湖过渡的宽广平缓地带，和浅湖泥呈过渡关系，二者一般很难区分，从沉积物组成来看主要为粉砂质泥岩、泥岩，有时含炭屑，水平层理、纹层发育，在测井曲线上表现为泥岩基线，多平直或呈弱齿状。

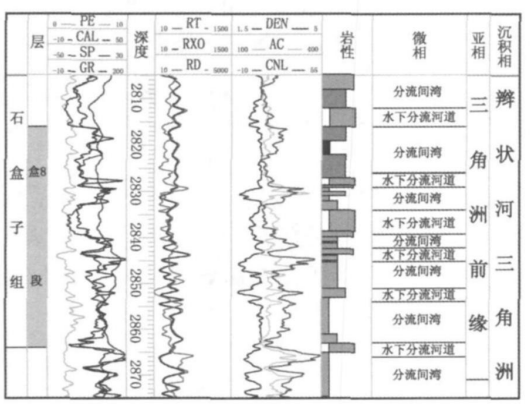
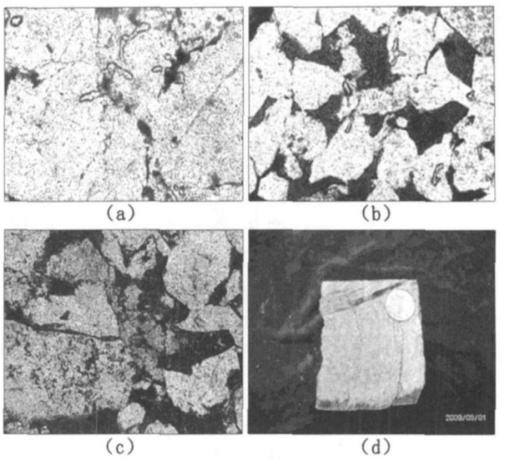


图1 石盒子组盒8段沉积特征

Fig.1 The sedimentary characteristics of the 8th member of Shihezi Formation

2 储层的孔隙类型

原生孔隙：残余原生粒间孔（粒间孔）表现为是石英加大边或自形石英晶边所限的角状孔，具几何形状、三角形、多边形，孔壁平直（如图 2a、b）。



(a)残余粒间孔， 2844.33m，单偏，10×。
(b)粒间孔隙， 2843.61m，单偏，5×。
(c)粒间，粒内溶蚀孔隙，2833.84m，单偏，10×。
(d)裂缝， 2833.67m。

图2 石盒子组盒8段储层的孔隙类型

Fig.2 The pore type of the 8th member of Shihezi Formation sandstone reservoirs

次生孔隙：本区盒$_8$段储层埋藏较深，压实作用及后期成岩作用强烈，原生孔隙基本消失，只有极少数粒间孔，使原生孔隙具有平均面孔率低的特点。因而，次生孔隙是本区砂岩主要的孔隙类型。

粒间溶蚀孔隙：部分砂岩中的粒间孔隙在成岩过程中因部分碎屑和填隙物发生溶解而被改造扩大形成次生孔隙。

颗粒内溶孔：在石盒子组盒$_8$段基本未见到长石。所以粒内溶孔主要见于岩屑中（如图 2c）。

晶间孔：常规镜下能观察到的主要是高岭石晶间孔，它也是天然气主要储集空间之一。

裂缝：本区在镜下薄片观察中极少发现裂缝，但在岩心中可以经常到裂缝的发育（如图 2d），这些裂缝虽然不能有效地提高孔隙度，在一定的情况下，可以提高储层的渗透率。

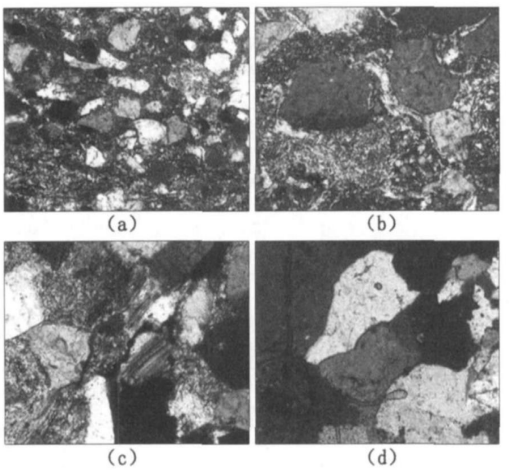
3 主要成岩作用类型及影响

储集层成岩作用类型非常复杂，在埋藏成岩

过程中各种成岩作用对砂岩的原生孔隙或保存或破坏以及次生孔隙的发育都产生一定的影响。压实作用、粘土矿物、碳酸盐、硅质胶结等胶结作用破坏了储集层的物性。而溶蚀作用的发育则保存了原生粒间孔隙并且产生次生溶蚀孔隙，改善了储集层的物性[5-6]。

3.1 压实作用

本区的压实作用主要表现为：(1)刚性碎屑之间的位移和重新排列(图 3a)；(2)塑性颗粒(泥质岩屑、黑云母)的塑性变形、扭曲及其假杂基化(图 3b)；(3)压实定向组构，黑云母等沿长轴方向定向排列(图 3c)；(4)碎屑颗粒间的紧密接触，使得砂岩中碎屑间形成线接触，导致空隙的减少或消失(图 3d)。



(a)矿物颗粒定向排列，2845.19m，10×，正交。
(b)云母发生压弯变形呈S状，2847.71m，20×，正交。
(c)云母定向排列，2847.66m，20×，正交。
(d)颗粒紧密排列，孔隙结构差，2844.38m，10×，正交。

图3 石盒子组盒8段砂岩储层的压实作用

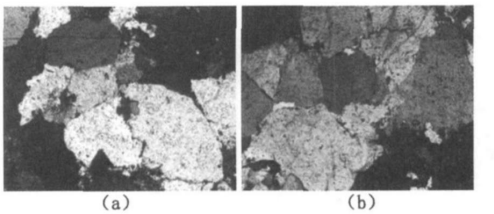
Fig.3 The compaction of the 8th member of Shihezi Formation sandstone reservoirs

3.2 压溶作用

通过对本区取样薄片的镜下观察发现颗粒间的凹凸接触以及进一步作用下的缝合线状接触，石英的自生加大充填粒间空隙，这些都是导致孔隙度降低的重要因素之一(图 4)。

3.3 胶结作用

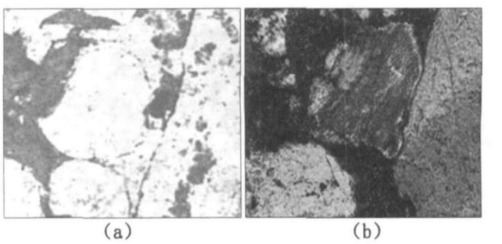
石英的次生加大边现象较常见(图 5a)，其次充填于粒间孔的自生石英多呈它形或微－粉晶晶粒状，并常交代粘土杂基。



(a)颗粒之间的凹凸接触，2844.66m，5×，正交。
(b)颗粒紧密排列，缝合线状接触，2844.66m，5×，正交。

图4 石盒子组盒8段砂岩储层的压溶作用

Fig.4 The pressure solution of the 8th member of Shihezi Formation sandstone reservoirs



(a)石英的自生加大，5×，单偏。
(b)碳酸盐交代，2848.09m，20×，正交。

图5 石盒子组盒8段砂岩储层的胶结作用

Fig.5 The cementation of the 8th member of Shihezi Formation sandstone reservoirs

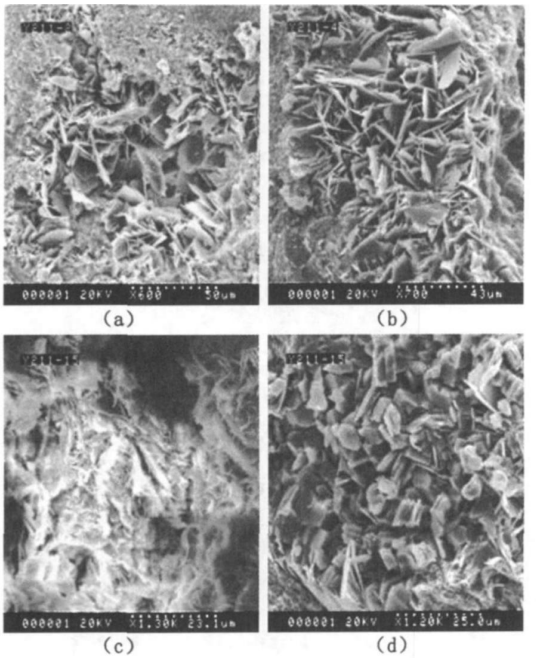
薄片发现方解石胶结物少量的分散于骨架颗粒之间，更多的是大量的方解石胶结物呈致密钙质层，充填粒间孔隙；常见方解石交代岩屑，充填岩屑表面溶蚀孔(图 5b)。

在研究区上古生界的砂岩中以绿泥石，伊利石为主，偶见高岭石和伊蒙混层。绿泥石粘土膜的形成也大大缩小了砂岩的孔隙喉道(图 6a)。绿泥石除以环边形式产出外，还呈叶片状充填于粒间孔中(图 6b)。伊利石在扫描电镜下呈卷曲片状、毛发状或围绕颗粒呈薄膜状、桥状(图 6c)。伊蒙混层主要呈膜状附着在颗粒表面上。伊利石可由钾长石蚀变而成，也可由粘土杂基的重结晶或由孔隙水沉淀而成。高岭石在本区中相对较少，但也是非常重要的胶结粘土矿物(图 6d)。

3.4 溶蚀作用

溶蚀作用是鄂尔多斯盆地重要的成岩作用，形成了大量的次生孔隙，对储层质量的改善起到了至关重要的作用。被溶蚀的组分包括碎屑长石、岩屑、碳酸盐及少量杂基，在本区的砂岩中主要是碎屑颗粒的边缘、岩屑。岩屑颗粒的溶蚀以形成粒内溶孔和粒间溶孔为主，粘土杂基溶蚀形

成粒间溶孔(图 7a)。



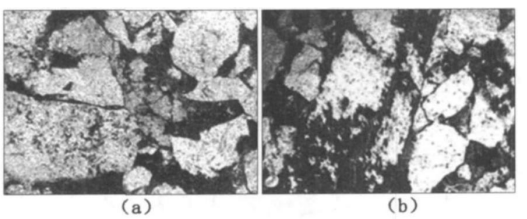
(a)2833.78m，绿泥石充填原生空隙。
(b)2833.94m，绿泥石胶结粒间空隙。
(c)2843.69m，发丝状伊利石胶结粒间空隙。
(d)2843.69m，高岭石胶结粒间空隙。

图6 石盒子组盒8段砂岩储层粘土矿物胶结

Fig.6 The clay cementation of the 8th member of Shihezi Formation sandstone reservoirs

3.5 破裂作用

在研究区上古生界砂岩的薄片鉴定中发现有不少由于应力作用而使颗粒发生破裂形成的微裂缝，还有一些填隙物内的微裂缝。这些微裂缝的联通大大改善了储层的储渗能力(图 7b)。



(a)粒间，粒内溶蚀孔隙，2833.84m，10×，单偏。
(b)裂缝，粒间溶孔，粒内溶孔，2833.67m，10×，单偏。

图7 石盒子组盒8段砂岩储层的溶蚀作用

Fig.7 The dissolution of the 8th member of Shihezi Formation sandstone reservoirs

4 成岩阶段划分

成岩阶段的划分主要依据自生矿物组合、分布及形成顺序、岩石结构、构造特征及孔隙类型、有机质成熟度等指标进行综合分析。

在这里我们应用石油系统《碎屑岩成岩阶段划分规范》(SY/T5477－2000)，对本区碎屑岩的成岩阶段作一初步划分。根据采集的资料和分析化验数据，主要依据埋深，古地温，镜质体反射率(Ro%)，I/S 中 S(%)，自生粘土矿物，颗粒解除类型，固结程度以及空隙类型等资料对比(见表 1)。

研究区的埋藏深度比较大，在 2 290.5m ~ 3 060m 间，从表中可以看出属于晚成岩阶段的 A 期稍进入 B 期。古地温测定的数据为 83℃ ~ 135℃，测试的深度在2 833.78m ~2 844.25m，说明该段进入成岩阶段的 A 期。镜质组分反射率(RO)测定分析最大 3.24，最小值 2.29。说明该段成岩作用已普遍进入晚成岩 C 期阶段。

石英的Ⅱ级加大比较普遍，碳酸盐岩胶结物主要为含铁的方解石，以及少量泥晶、细晶方解石；粘土矿物绿泥石，高岭石，伊利石和伊/蒙混层(I/S)中绿泥石的相对含量比较高，其次是伊/蒙混层(I/S)，伊利石的含量比较少，最少的是高岭石，对比标准可以看出绿泥石，伊利石通常都是在晚成岩阶段的 B、C 期才会大量出现。

综合以上分析研究的结果，可以判断出研究区上古生界的碎屑岩地层已经进入了晚成岩阶段的 A－B 期。

5 结束语

研究区盒$_8$ 段地层以岩屑石英砂岩为主，几乎不含长石，胶结类型以孔隙式为主，偶见基底胶结。上部为含砾岩屑石英粗砂岩，下部以中、细粒的岩屑石英砂岩为主，分选好 ~ 中等，磨圆以次棱角状为主，少量次圆和次棱 ~ 次圆，下部主要发育辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲两个亚相，可进一步细分为水下分流河道和分流间湾两个微相，两者交互出现组成了辫状河三角洲前缘亚相；储层埋藏较深，压实作用及后期成岩作用强烈，原生孔隙基本消失，只有极少数粒间孔，具有平均面孔率低的特点，因而，次生孔隙是本区砂岩主要的孔隙类型。储集层成岩作用类型非常复杂，在埋藏成岩过程中各种成岩作用对砂岩的原生孔隙或保存或破坏以及次生孔隙的发育都产生一定的影响。压实作用是造成砂岩储层孔隙丧失的主要原因之一，而胶结作用加剧了原生孔隙的进一步减小，尤其是碳酸盐胶结，其次是石英加大边和高岭石，但绿泥石膜胶结物的存在抑制了压实作用的

表1 上古生界砂岩成岩阶段划分

Tab.1 The division of diagenetic stages in Upperer Paleozoic sandstone

项目			成岩早期		成岩晚期		
			A	B	A	B	C
埋深m	标准		～900	～1900	～3000		
	研究区						
古温度（℃）	标准		～65	>65～85	>85～140	>140～170	>170～200
	研究区						
Rn（%）	标准		<0.35	0.35～0.5	0.5～1.30	>1.3～2.0	>2.0～4.0
	研究区						
I/S中S层%	标准		>70	70～50	<50～>15	≤15	混层消失
	研究区						
砂岩固结程度	标准		弱～半固结	半固结～固结	固结	固结	固结
	研究区						
接触类型	标准		点	状	点～线	线～线	缝合状
	研究区						
砂岩中自生矿物	I/S C/S混层	标准					
		研究区					
	高岭石	标准					
		研究区					
	伊利石	标准					
		研究区					
	绿泥石	标准					
		研究区					
	石英加大级别	标准		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
		研究区					
	方解石	标准	泥晶	亮晶		含　铁	
		研究区					
孔隙类型	标准		原生孔发育	原生孔及少量次生孔	次生孔发育	次生孔减少并裂缝	裂缝发育
	研究区						

进一步进行，有利于粒间孔的保存，而成岩后期的溶蚀作用则保存了原生粒间孔隙并且产生次生溶蚀孔隙，改善了储集层的物性，上古生界的碎屑岩地层已经进入了晚成岩阶段的 A－B 期。

参考文献：

[1] 刘新社，席胜利，付金华，等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气生成[J]. 天然气工业，2000，20(6)：19－23.

[2] 杨 华，席胜利. 长庆天然气勘探取得的突破[J]. 天然气工业，2002，22(6)：10－12.

[3] 武富礼，赵靖舟，闫世可. 鄂尔多斯盆地延长区上古生界储集层地质特征及天然气勘探前景[J]. 石油勘探与开发，2007，34(4)：401－405.

[4] 赵 虹. 鄂尔多斯盆地中东部上古生界三角洲沉积特征[J]. 天然气工业，2006，26(1)：26－29.

[5] 杨克文，庞军刚，李文厚. 志丹地区延长组储层成岩作用及孔隙演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2009，39(4)：663－667.

[6] 苗建宇，屈红军，高胜利，等. 鄂尔多斯盆地上古生界砂岩孔隙结构研究[J]. 西北大学学报(自然科学版)，2009，39(5)：814－820.

(责任编辑　刘存英)