

文章编号: 0253-9985(2006)02-0200-09

榆林-神木地区上古生界盒 8 段及山 2 段 气层的成岩作用和成岩相

刘小洪, 罗静兰, 张 三, 林 潼

(西北大学 地质学系, 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069)

摘要: 榆林-神木地区上古生界盒 8 段和山 2 段储集岩以石英砂岩、岩屑砂岩和岩屑质石英砂岩为主, 成岩作用类型包括压实作用、胶结作用、交代蚀变作用、重结晶作用和溶蚀作用。砂岩经历了早期成岩阶段 A、B 期和晚期成岩阶段 A₁、A₂ 和 B 期的成岩演化过程。压实作用和胶结作用是砂岩孔隙度降低的主要原因, 分别造成 22% 和 15% 的原生孔隙丧失。砂岩中粘土矿物晶间微孔隙占总孔隙的 60% 以上, 是砂岩的主要储集空间; 溶解作用形成的次生孔隙在一定程度上改善了砂岩的储集性能; 构造裂隙孔对砂岩储集性能的改善不明显。研究区发育 6 种不同成因类型的成岩相带, 其中石英加大胶结组合孔隙相和自生粘土衬边胶结溶蚀孔相是最有利的天然气储集相带, 二者的叠加和改造部位是气藏发育的最有利地带; 粘土杂基充填微孔相和自生粘土胶结晶间孔相是较有利的成岩储集相带; 杂基蚀变水云母充填压实紧密相和钙质胶结交代致密相不利于孔隙的发育和天然气的储集。

关键词: 成岩作用; 成岩相; 含气砂岩储层; 上古生界; 榆林-神木地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.2 **文献标识码:** A

Diagenesis and diagenetic facies of gas reservoirs in the Upper Paleozoic 8th member of Shihezi Fm and 2nd member of Shanxi Fm in Yulin-Shenmu area, Ordos basin

Liu Xiaohong, Luo Jinglan, Zhang San, Lin Tong

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069)

Abstract Sandstone reservoirs in the Upper Paleozoic 8th member of Shihezi Fm and 2nd member of Shanxi Fm in Yulin-Shenmu area are dominated by quartz sandstone, lithic sandstone and lithoclastic quartz sandstone, and the diagenetic types includes compaction, cementation, metasomatic alteration, recrystallization and corrosion. The sandstones have experienced diagenetic evolution processes of A and B phases during early diagenesis and A₁, A₂ and B phases during late diagenesis. Decrease of sandstone porosity is mainly caused by compaction and cementation, which contribute 22% and 15% to the loss of primary pores respectively. Intercrystalline micropores of clay minerals in sandstone are the main reservoir space and account for more than 60% of the total porosity. Secondary pores resulted from dissolution improved the porosity of sandstone to some extent. While diagenetic clay cements contribute less in improving the porosity of sandstone. There are 6 diagenetic facies zones with various genetic types in the study area, of which combined quartz overgrowth-cementation pore facies and authigenic clay cement dissolution pore facies are the most favorable for gas accumulation and the superimposition and reformation of the two would be the most favorable for gas reservoir development. The micropore facies filled with

收稿日期: 2005-12-10

第一作者简介: 刘小洪 (1980-), 女, 博士生, 储层沉积学

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2003CB214603); 长江学者和创新团队发展计划资助项目 (RT0559)

clay matrix and intercrystalline pore facies cemented by authigenic clay are relatively favorable diagenetic reservoir facies zones. The compacted tight facies filled with matrix-altered hydromica and the calcareous and metasomatic tight facies are unfavorable for development of pores and gas accumulation.

Key words diagenesis; diagenetic facies; gas-bearing sandstone reservoir; Upper Paleozoic; Yulin-Shenmu area; Ordos basin

榆林-神木地区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部,北接伊盟隆起,西至横山,南抵绥德,东南部延伸进入晋西挠褶带,面积约 25 000 km²。区内上古生界下石盒子组盒 8 段和山西组山 2 段发育三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道和河口砂坝等有利的储集相带^[1-3],自西向东有两条呈南北向条带状展布的主砂带,是天然气的重点勘探层位。储层虽处于有利的沉积相带,但成岩作用类型多样^[4],其对储层物性的影响较复杂。本文在大量岩心观察描述的基础上,运用薄片鉴定、X-射线衍射分析、扫描电镜、阴极发光和包裹体测温等手段,对研究区下石盒子组盒 8 段和山西组山 2 段储层砂岩的岩石学特征、孔隙类型、成岩作用类型、成岩序列、成岩阶段与成岩相带类型等进行了研究,对有利成岩相带进行了预测。

1 储层岩石学特征

根据野外钻井岩心观察描述及室内近 400 个砂岩薄片的定量统计结果,山 2 段储层主要为石英砂岩、岩屑砂岩和岩屑质石英砂岩(图 1),砂岩以粗砂岩、含砾粗砂岩和细砾岩为主(约占砂岩总量的 90%),少量中-细砂岩(约占 10%);盒 8 段储层主要为岩屑砂岩和岩屑质石英砂岩,少量石英砂岩(图 1),砂岩以粗-中砂岩、粗砂岩为主(占砂岩总量的 75%以上),少量中、中-细砂岩(约占 25%)。山 2 段砂岩的成分主要为石英(平均 66.1%)、岩屑(平均 17.1%)及少量长石(平均 0.4%)和黑云母(平均 0.4%)。与山 2 段相比,盒 8 段砂岩中石英的含量降低(平均 55.8%),岩屑含量增高(平均 23.2%),长石(平均 1.5%)与黑云母含量(平均 1.3%)略有增加。

盒 8 段与山 2 段砂岩的矿物特征相同,石英颗粒表面光洁,可见波状消光现象,阴极射线照射下常见愈合裂纹。长石主要为碱性长石,普遍高岭土化。岩屑主要为浅变质岩,可见少量中-

酸性喷发岩岩屑,偶见沉积岩岩屑。黑云母及塑性岩屑的假杂基化现象较明显,部分砂岩中的塑性碎屑呈定向或半定向排列形成半定向-定向结构。砂岩普遍具有颗粒分选较好、磨圆度较高的特点,颗粒间以线接触为主,部分凹凸-线接触。胶结类型以再生式、再生-孔隙式、孔隙式胶结为主。

砂岩类型的平面分布情况显示,砂岩中岩屑的含量由北向南和由东北向西南方向逐渐减少,即由低成熟度的岩屑砂岩逐渐向成分成熟度和结构成熟度较高的岩屑质石英砂岩和石英砂岩过渡。其中,山 2 段石英砂岩的分布范围较广,盒 8 段岩屑砂岩的分布范围较广。

山 2 段砂岩中胶结物的平均含量为 15.5%,主要为水云母与伊蒙混层(平均 5.3%)、硅质(平均 4.6%)、高岭石(平均 3.1%)和碳酸盐(平均 2.5%),部分砂岩中可见少量黄铁矿、石膏及沸石胶结物。与山 2 段砂岩相比,盒 8 段砂岩中胶结物的含量略有增加(平均 16.9%),水云母及伊蒙混层含量增高(平均 8.0%),硅质(平均 3.6%)和高岭石(平均 1.9%)胶结物的含量降低,碳酸盐含量(平均 2.8%)与山 2 段砂岩基本相同,部分砂岩中可见少量绿泥石胶结物(平均 0.7%)。

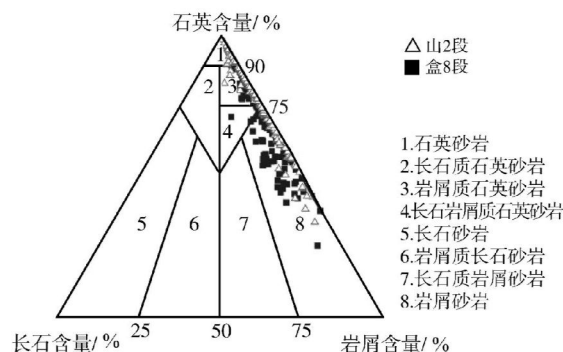


图 1 榆林-神木地区山 2 段和盒 8 段砂岩分类
Fig. 1 Classification of sandstones in the Upper Paleozoic 8th member of Shizezi Fm and 2nd member of Shanxi Fm in Yulin-Shenmu area

2 成岩作用及成岩演化

2.1 成岩作用事件及其表现

榆林-神木地区上古生界盒 8 段和山 2 段砂岩的成岩作用主要有机械压实作用、化学压溶作用、胶结作用、交代蚀变作用、重结晶作用和溶蚀作用。这些作用与孔隙的丧失、形成与演化关系密切。

砂岩中碎屑颗粒以线接触为主,部分凹凸-线接触。刚性石英具波状消光及表面的微细裂纹,火山岩岩屑、黑云母和千枚岩等塑性岩屑的扭曲变形及假杂基化以及它们的定向或半定向排列(图 2a),还有石英普遍加大(图 2b)等现象表明,本区砂岩经历了较强的机械压实和化学压溶作用。

砂岩中石英胶结物的产出方式有两种:一种以石英次生加大边形式产出;另一种以自生粒状微晶石英集合体充填于孔隙中(图 2c)。绿泥石主要见于盒 8 段砂岩中,呈薄膜状或孔隙充填形式产出(图 2d)。高岭石部分呈洁净的假六方书

页状集合体松散堆积在粒间孔隙中,保留着良好的晶间微孔隙(图 2e);另一部分分布于长石次生溶孔中,堆积紧密,晶间有微空隙(图 2f)。伊/蒙混层和水云母(伊利石)在岩屑含量较高的砂岩中广泛发育,镜下呈细而薄的黄褐色鳞片状或网状集合体,扫描电镜下分别呈现皱纹状或蜂窝状薄膜上具一些刺状的突起(图 2g)和不规则片状、纤维状、针状和毛发状(图 2a h)。方解石、铁方解石、铁白云石及菱铁矿等碳酸盐含量大多在 1%~5%,呈细晶-中晶粒状充填于粒间孔隙或次生溶孔中,少量呈泥晶充填,部分钙质砂岩中碳酸盐胶结物的含量最高可达 20%~35%,呈嵌晶状充填孔隙并交代碎屑颗粒及填隙物。

交代蚀变作用包括长石的高岭石化,黑云母、千枚岩与火山岩岩屑的蒙脱石化,蒙脱石向伊利石和绿泥石的转化,高岭石、伊利石和绿泥石之间的相互转化,方解石交代长石、黑云母、岩屑、自生石英、粘土杂基等,以及水云母交代石英加大与自生粒状石英等。

重结晶作用包括早期微晶方解石重结晶为嵌晶式亮晶方解石,非晶质氧化硅向微晶石英的转

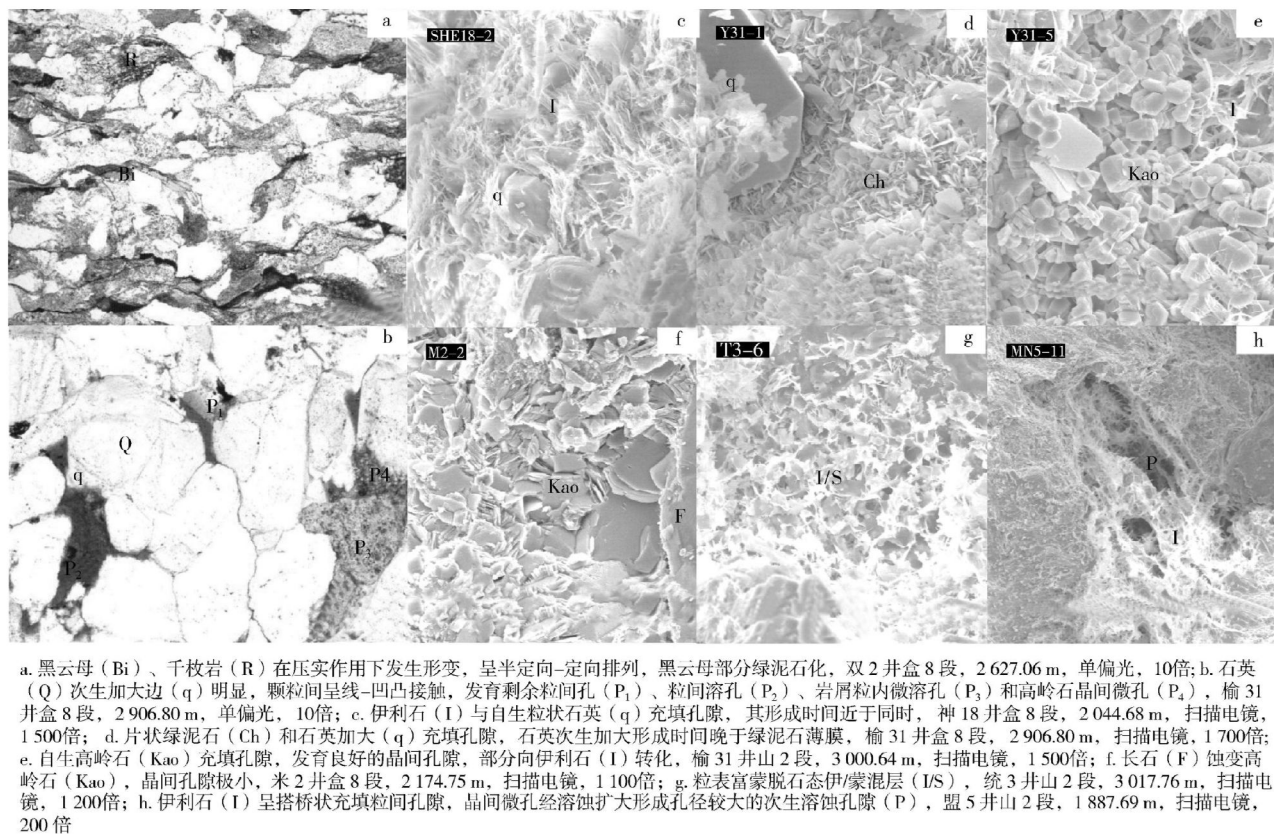


图 2 榆林-神木地区山 2 段和盒 8 段砂岩的显微照片

Fig. 2 Microphotos of sandstones in the Upper Paleozoic 8th member of Shizezi Fm and 2nd member of Shanxi Fm in Yulin-Shenmu area

化, 隐晶质的高岭石转变为鳞片状或蠕虫状的结晶高岭石, 以及鳞片状水云母向晶形较好、粒度较大的绢云母甚至白云母的转化等。

溶蚀作用在研究区表现为砂岩中的石英、长石、岩屑等碎屑颗粒以及粒间绿泥石、伊/蒙混层、水云母、碳酸盐等胶结物的溶蚀现象。长石沿解理溶蚀后形成形态规则的粒内溶孔, 偶见长石全部溶蚀后形成铸模孔; 岩屑局部被溶蚀后呈现蜂窝状; 强烈的溶蚀作用沿剩余粒间孔孔壁进行, 对石英表面、加大边以及粘土膜进行溶蚀, 使颗粒表面凹凸不平, 边缘呈现不规则状和港湾状, 并形成连通性较好的粒间溶蚀孔(缝)。

2.2 成岩阶段与成岩演化

鄂尔多斯盆地盖层自晚三叠世沉积以来, 地层一直处于稳定埋藏阶段, 中侏罗世经历了一次短暂的抬升侵蚀, 于早白垩世达到最大古埋深, 此后一直处于抬升剥蚀阶段^[5~7]。生烃史研究表明, 研究区气源岩在三叠纪末期进入生气主要时期, 中侏罗世至早白垩世末期达到生气高峰期^[7], 至今仍在继续生气(图 3)。

研究区目的层目前埋深一般在 2 500~3 000 m, 镜质体反射率值为 1.2%~1.8%^[5], 伊/蒙间层比普遍小于 10%, 自生石英包裹体均一温度在 100~170℃。据裘亦楠等的成岩阶段划分方案及其标准^[8], 山 2 段和盒 8 段储集层处于晚成岩阶段 B 期, 其成岩演化序列如图 3 所示。

1) 早成岩 A 期 (C₂—P₁), 盆地处于稳定下沉阶段, 埋深小于 900 m, 温度小于 45℃, 镜质体反射率小于 0.4%, 有机质演化处于未成熟阶段。机械压实作用使颗粒间趋向紧密排列, 黑云母等塑性岩屑发生水化膨胀和假杂基化充填孔隙。火山灰泥化, 微晶石英和碎屑颗粒渗滤蒙脱石衬边形成。黑云母、火山岩岩屑分解产生 Mg 离子和 Fe 离子, 同时泥晶方解石和菱铁矿团块沿膨胀黑云母的解理面发生沉淀。

2) 早成岩 B 期 (P₂—J₂), 埋深为 900~1 700 m, 古地温约 65℃, 镜质体反射率小于 0.5%, 有机质演化处于半成熟阶段。随埋藏深度的逐渐加大和压实作用的逐渐增强, 原生孔隙含量逐渐减少。泥质岩中的有机质腐烂形成大量的腐植酸, 使孔隙流体呈酸性; 不稳定的硅酸盐矿物组分如长石、

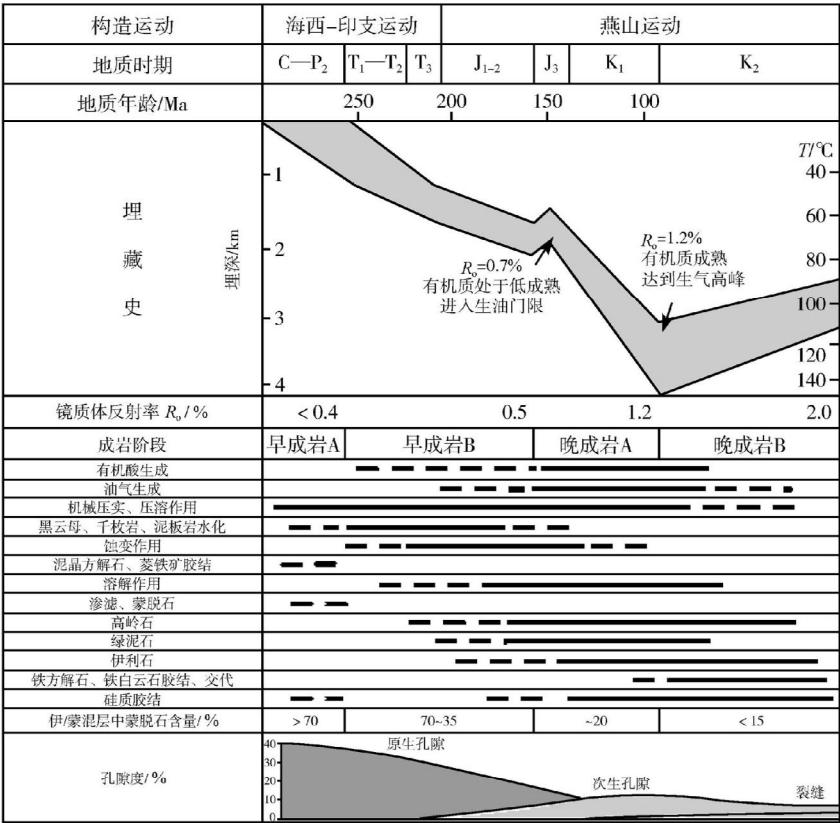


图 3 榆林- 神木地区山 2 段和盒 8 段砂岩的成岩演化序列示意图

Fig. 3 Sketch map showing diagenetic evolutionary series of sandstones in the Upper Paleozoic 8th member of Shizezi Fm and 2nd member of Shanxi Fm in Yulin-Shenmu area

黑云母、岩屑等蚀变析出 SD_2 和高岭石,同时产生大量 HCO_3^- ,孔隙水呈弱酸性。蒙脱石衬边经绿泥石/蒙脱石或伊/蒙混层逐渐向绿泥石和伊利石转化。

3) 晚成岩 A_1 期 (J_3-K_1),埋深在 1 700~2 500 m,古地温约 90℃,镜质体反射率小于 0.6%,有机质进入生油门限。生油岩中的有机质在向烃类转化的过程中释放出 CO_2 ,使孔隙流体呈酸性,造成砂岩中不稳定组分的溶蚀和次生孔隙的形成;自生绿泥石、高岭石、伊利石形成并充填部分孔隙空间;在黑云母发生蚀变及高岭石、水云母的催化作用下^[9-10],作用于石英颗粒的化学压溶作用加强,次生石英加大边开始逐渐形成,原生孔隙大量减少。

4) 晚成岩 A_2 期 (K_1),埋深在 2 500~3 100 m,古地温达 110℃,镜质体反射率小于 1.2%,有机质成熟并达到生烃高峰。有机酸提供的 H^+ 使不稳定组分继续发生溶蚀,产生大量次生孔隙, CO_2 含量的增高使 pH 值持续降低^[11-12];自生绿泥石、高岭石、伊利石、粒状微晶石英大量形成;石英继续向孔隙空间再生长、充填孔隙并交代粒间高岭石等。

5) 晚成岩 B 期 (K_1 末— K_2),埋深在 3 100 m 以上,最深可达 4 100 m,古地温达 140~170℃,镜质体反射率为 1.2%~2.0%,有机质处于高成熟阶段。干酪根成熟并转化为烃类,羧基的脱落减

弱或趋于终结,水介质由弱酸性变为还原碱性,从而有利于碳酸盐胶结物的形成^[11-12]。几乎所有石英具宽的加大边,自生石英晶体相互连接使石英颗粒呈镶嵌状;高岭石的稳定性逐渐变弱,在介水中富 K^+ 和 Al^{3+} 时转化为伊利石,在富 Mg^{2+} 和 Al^{3+} 时,则变为绿泥石。在构造应力作用下,岩石破裂形成微裂隙。

3 成岩作用与成岩相对储层物性的影响

3.1 孔隙类型与物性特征

据砂岩铸体薄片显微镜下的定量统计结果,结合扫描电镜及阴极发光分析,研究区砂岩储层的孔隙类型可划分为剩余原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、填隙物内(溶)孔和裂缝等 5 类(见图 2a—d)。其主要特征及分布情况见表 1。

砂岩铸体薄片的显微镜下定量统计结果显示,山 2 段砂岩的面孔率在 0.1%~10.0%,平均 3.3%。盒 8 段砂岩的面孔率在 0.1%~6.5%,平均 1.8%。山 2 段砂岩的实测孔隙度为 0.1%~12.9%,平均 5.3%;渗透率为 $0.002 \times 10^{-3} \sim 1\,605.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $4.60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。盒 8 段砂岩的实测孔隙度为 0.3%~19.7%,平均 6.0%(表 2);渗透率为 $0.001 \times 10^{-3} \sim 51.59 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.46 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

表 1 榆林—神木地区山 2 段和盒 8 段砂岩孔隙类型及其特征

Table 1 Pore types of sandstones in the 8th member of Shizezi Fm and 2nd member of Shanxi Fm and their characteristics in Yulin-Shenmu area

类 型	孔隙特征
剩余原生粒间孔	含量一般在 1.0%~5.0%,主要发育在粘土含量少、石英加大和高岭石胶结的纯石英砂岩中。孔径一般为 50~100 μm ,加大边含量较高情况下剩余原生粒间孔呈缝状。具有这种孔隙的砂岩其孔隙含量较低,但连通性较好
粒间溶孔	含量一般在 0.5%~3.0%,主要分布在绿泥石及水云母衬边中等发育(衬边较薄,厚度一般不超过 50 μm)的砂岩中。粒间溶孔孔径最大可超过 200 μm ,常与长石、岩屑晶内溶孔伴生,孔隙间连通性较好
粒内溶孔	含量在 0.1%~5.0%,包括长石晶内溶孔、石英晶内溶孔和岩屑内溶孔。长石沿其解理溶蚀后形成形态较规则的长石晶内溶孔,铸膜孔少见;石英被溶蚀后表面呈现凹凸不平状,边缘呈现不规则状和港湾状;喷发岩岩屑中的长石斑晶和基质部分被溶蚀后形成蜂窝状粒内溶孔;黑云母、千枚岩、泥岩等假杂基被溶蚀后形成粒内微溶孔
填隙物内(溶)孔	常见者为自生高岭石、绿泥石、伊利石胶结物的晶间微孔隙,孔径很小($< 5 \sim 10 \mu\text{m}$)。研究区以粒间高岭石胶结物的晶间微孔隙广泛发育,微孔隙间的连通性较好,是本区砂岩的重要储集空间。碳酸盐胶结物内溶孔在研究区少见。填隙物内孔经溶蚀改造后,可形成孔径较大的填隙物内溶孔
微裂隙	含量普遍在 0.5%左右,在岩屑砂岩中较发育,最高可达 1.0%~2.0%,常贯穿长石、岩屑等颗粒,缝内一般较为洁净,少有充填,常因后期溶蚀作用延伸扩大形成溶蚀缝

表 2 榆林- 神木地区理论解释孔隙含量与实测孔隙含量对比

Table 2 Comparison of the theoretically interpreted and measured porosities in Yulin-Shenmu area

层 位	理论解释孔隙含量 /%					实测孔隙度与薄片孔隙类型及其含量 /%									实测孔隙度与统计面孔率的差值 /%
	原始孔隙	由压实作用造成的孔隙丧失	由胶结作用造成的孔隙丧失	剩余原生孔隙	由其他作用造成的孔隙丧失	实测孔隙度	原生粒间孔	粒间溶孔	粒内溶孔	填隙物内溶孔	高岭石晶间孔	裂隙	面孔率		
盒 8段	40.0	22.1	16.6	1.3	1.2	6.0	0.1	0.1	0.7	0.2	0.4	0.3	1.8	4.2	
山 2段	40.0	22.3	15.2	2.5	1.4	5.3	1.1	0.2	0.9	0.1	0.8	0.2	3.3	2.0	

3.2 成岩作用对储层物性的影响

假设砂岩的原始粒间孔隙为 40.0%^[9], 经计算, 山 2 段砂岩由压实作用和胶结作用造成的原生孔隙丧失分别为 7.5% ~ 32.0% (平均 22.3%) 和 6.0% ~ 28.5% (平均 15.2%) (图 4 表 2)。盒 8 段砂岩由压实作用和胶结作用造成的原生孔隙损失分别为 13.0% ~ 34.0% (平均 22.1%) 和 5.0% ~ 26.0% (平均 16.6%) (图 4 表 2)。山 2 段和盒 8 段剩余原生孔隙应分别为 2.5% 和 1.3%, 表明早期成岩阶段的压实作用和晚期成岩阶段的胶结作用几乎使研究区上古生界储层砂岩的原生孔隙空间丧失殆尽。

山 2 段和盒 8 段砂岩的薄片定量统计结果显示, 剩余原生孔隙分别只有 1.1% 和 0.1%, 说明除压实作用和胶结作用外, 其他成岩作用 (如交代与蚀变作用等) 分别造成了山 2 段和盒 8 段砂岩

1.4% 和 1.2% 的原生孔隙的丧失。研究区山 2 段和盒 8 段砂岩的实测平均孔隙度分别为 5.3% 和 6.0%, 铸体薄片镜下定量统计面孔率则分别为 3.3% 和 1.8%, 两者之间差异较大 (表 2)。扫描电镜观察发现, 砂岩中除原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、高岭石晶间孔和裂缝外, 在伊利石、伊 / 蒙混层和绿泥石中还发育着大量的晶间微孔隙, 它们占据了相当一部分原生粒间孔隙空间, 在普通显微镜下难以鉴别。

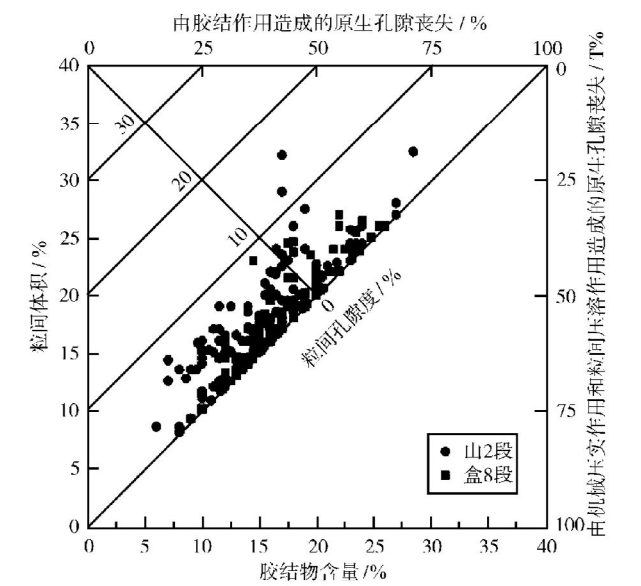
据研究, 砂岩中的粘土矿物含量愈高, 则微孔隙愈多^[10-13]。本研究利用实测孔隙度与定量统计面孔率计算了砂岩中微孔隙的含量, 其计算公式如下:

微孔率 = (实测孔隙度 - 面孔率) / 孔隙度 × 100%

计算结果显示, 山 2 段和盒 8 段砂岩的微孔率分别占孔隙度的 65.5% 和 79.7%, 溶蚀孔隙率分别为 14.1% 和 10.4%。微孔率与其砂岩中水云母及伊 / 蒙混层等粘土矿物的含量 (山 2 段和盒 8 段平均分别为 5.3% 和 8.0%) 呈正比, 说明粘土矿物的晶间微孔隙是研究区天然气的主要储集空间; 溶蚀作用在一定程度上改善了砂岩的储集性能, 但由此形成的次生孔隙仅为次要储集空间; 构造作用造成的微裂隙含量少, 对砂岩储集性能的改善贡献很小。

3.3 成岩相及其对储层物性的影响

由于沉积环境、地下流体性质以及构造条件的不同, 处于不同成岩相带的砂岩其物性和成岩演化过程存在一定差异。根据砂岩薄片的镜下定量统计结果, 采用扫描电镜观察等分析测试手段,



1) 粘土杂基充填微孔相发育于研究区北部和南部的岩屑质石英砂岩和岩屑砂岩中(图 5)。砂岩成分成熟度及结构成熟度较低,火山岩岩屑、火山灰等不稳定组分含量较高。原火山灰杂基已转化为伊/蒙混层、水云母和/或非晶质氧化硅,黑云母、岩屑的假杂基化现象不明显。压实程度中等,溶蚀现象不明显,见少量长石和火山岩岩屑粒内溶孔。孔隙度和渗透率中等,微孔隙发育。

2) 自生粘土充填晶间孔相发育于东北部的岩屑质石英砂岩和岩屑砂岩中(图 5)。砂岩中的长石普遍向高岭石转化,成岩早期生成的自生绿泥石和伊利石由颗粒边缘向孔隙内部生长,石英次生加大不发育,自生粒状微晶石英和高岭石呈分散质点式充填部分孔隙。储集空间以高岭石晶间孔和绿泥石、伊利石晶间微孔为主。此类胶结使孔隙度略有下降,渗透率降低明显。

3) 杂基蚀变水云母充填压实紧密相广泛发育于研究区东部的岩屑砂岩中(图 5)。由于砂岩中含有大量黑云母、千枚岩岩屑、泥岩和板岩岩

屑、火山岩岩屑及火山灰等塑性和不稳定组分,孔隙中的酸性流体首先与这些组份发生作用,使塑性岩屑普遍水化膨胀并在压实作用下扭曲变形呈假杂基充填孔隙,从而丧失一部分粒间孔隙;火山灰转化形成伊/蒙混层和水云母呈纤维状搭桥式充填粒间孔隙,致使孔隙喉道进一步缩小。随着埋藏深度的增加和温度的升高,水云母可进一步向绢云母转化,局部发生塑性流动而具定向性,使砂岩储层几乎完全丧失储集性能。大部分砂岩在镜下几乎不见任何孔隙。

4) 石英加大胶结组合孔隙相发育于研究区西南部的粗粒石英砂岩中(图 5)。胶结物主要为石英次生加大和高岭石,少量碳酸盐和水云母。砂岩的孔隙度较高,孔隙类型多样,主要以剩余原生粒间孔隙、粒间溶孔、粒内溶孔、高岭石晶间孔隙的组合形式出现。石英的胶结作用一方面使部分粒间孔隙空间被占据,使储层孔隙度减小;另一方面,较早时期形成的石英加大边对压实作用有抑制作用,从而对原生粒间孔隙起到一定的保护

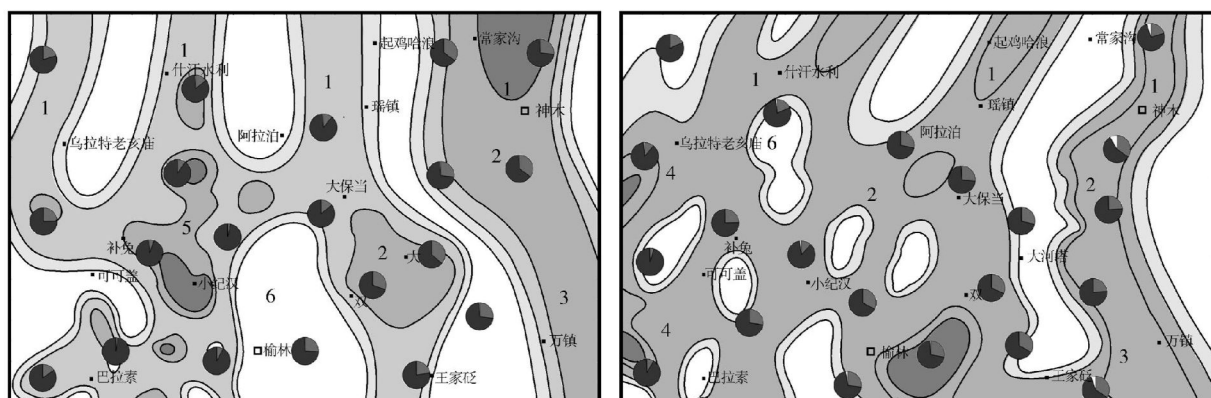


Fig. 5 Diagram showing distribution of diagenetic facies of reservoirs in the 2nd member of Shanxi Fm (a) and 8th member of Shizhezi Fm (b) in Yulin-Shenmu area

1. 粘土杂基充填微孔相; 2. 自生粘土充填晶间孔相; 3. 杂基蚀变水云母充填压实相;
4. 石英加大胶结相; 5. 自生粘土衬边胶结溶蚀相; 6. 钙质胶结交代致密相

作用。高岭石晶间孔隙以及溶解作用造成的次生孔隙也使砂岩孔隙含量增加,并在一定程度上改善了储集性能。

5) 自生粘土衬边胶结溶蚀孔相发育于研究区中部及南部地区的粗粒石英砂岩和岩屑质石英砂岩中(图 5)。砂岩中绿泥石、伊利石衬边中等发育,自生石英和碳酸盐胶结物含量少。早期绿泥石、伊利石衬边使一部分原生孔隙得以保存,形成少量剩余原生粒间孔隙;同时由于粘土衬边较薄,不会堵塞喉道,酸性溶液易进入砂岩对长石碎屑、火山岩岩屑等易溶组分进行溶蚀,形成粒内溶孔;在溶蚀作用强烈地段或部位,不仅长石颗粒和岩屑完全被溶蚀,而且绿泥石、伊利石粘土衬边也受到部分溶蚀,形成发育的次生溶蚀孔。储集空间主要以粒间溶孔、粒内溶孔、晶间微孔隙和微裂隙的组合形式出现,各类孔隙间的连通性良好,大大提高了砂岩的渗透率。

6) 钙质胶结交代致密相发育于中部及南部河道边缘相的岩屑质石英砂岩中(图 5)。砂岩粒度较细,石英含量较高,胶结物以碳酸盐和水云母为主,胶结致密,致使砂岩的孔隙度及渗透率都较低,镜下几乎不见孔隙。由于鄂尔多斯盆地构造平缓,地层中流体势能梯度小,水介质的交换速度较慢,砂岩长期处于埋藏深度较大的封闭成岩环境中,介质中的 Fe^{3+} 离子在高温缺氧条件下被还原成 Fe^{2+} ;当介质中的 CO_3^{2-} 离子与 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子反应生成方解石(CaCO_3)和白云石 [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]时, Fe^{2+} 离子进入其矿物晶格中,形成含铁碳酸盐矿物如

演化关系密切。压实作用是造成砂岩原生孔隙空间减少的主要原因,其次为胶结作用。

2) 粘土矿物微孔隙是天然气的主要储集空间,溶解作用造成的次生孔隙在一定程度上改善了砂岩的储集性能,构造裂隙孔对砂岩储集性能的改善不明显。

3) 研究区发育 6 种不同成因类型的成岩相带。其中石英加大胶结组合孔隙相和自生粘土衬边胶结溶蚀孔相是最有利的天然气储集相带,二者的叠加和改造部位是气藏发育的最有利地带。粘土杂基充填微孔相和自生粘土胶结晶间孔相是较有利的成岩储集相带。杂基蚀变水云母充填压实紧密相和钙质胶结交代致密相不利于孔隙的发育和天然气的储集。

参 考 文 献

- 1 付锁堂,田景春,陈洪德,等. 鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(3): 236~240
Fu Suotang, Tian Jingchun, Chen Hongde et al. The delta depositional system distribution of Late Paleozoic era in Ordos basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(3): 236~240
- 2 李良,袁志祥,惠宽洋,等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 268~271
Li Liang, Yuan Zhixiang, Hui Kuanyang et al. Accumulation regularity of Upper Paleozoic gas in north Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 268~271
- 3 马新华. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆气特点与成藏机理探讨 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 231~236
Ma Xinhua. Discussion on characteristics and reservoiring mecha-

1) 榆林-神木地区上古生界山 2 段和盒 8 段储层经历了早期成岩阶段 A、B 期和晚期成岩阶段 A₁、A₂ 和 B 期的成岩演化过程。成岩演化与孔隙

性演化的影响——以陕北延长油区砂岩储层为例 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 123~127

Luo Jinglan, Zhang Chengli, Yan Shike et al. Effect of burial history on physical property of sandstone reservoirs take Yanchang

- oil region in North Shaanxi as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(2): 123-127
- 7 侯洪斌, 牟泽辉, 朱宏权. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏条件与勘探方向 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004 126~128
Hou Hongbin, Mou Zehui, Zhu Hongquan. Gas-pool forming conditions and exploration directions of the Upper Paleozoic gas reservoirs in the northern Ordos basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004 126-128
 - 8 裘亦楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994 59~64
Qiu Yinan, Xue Shuhao. Evaluation technology for oil and gas reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994 59-64
 - 9 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——以延长油区上三叠统延长组长 2 砂岩为例 [J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 541~547
Luo Jinglan, Zhang Xiaoli, Zhang Yunxiang, et al. The diagenetic impact on reservoir-quality evolution of fluvial-deltaic sandstones taking an example from the Upper Triassic sandstones of Chang 2 Formation in the Yanchang oil field [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 541-547
 - 10 Worden R H, Morad S. clay minerals in sandstones control on formation, distribution and evolution [J]. Int Assoc Sedimentol Spec Publ, 2003, 34: 3-41
 - 11 王琪, 史基安, 薛莲花, 等. 碎屑储集岩成岩演化过程中流体-岩石相互作用特征——以塔里木盆地西南坳陷地区为例 [J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 584~590
Wang Qi, Shi Jifan, Xue Lianhua, et al. Characteristics of fluid-rock interaction in elastic reservoir controlled by evolution of diagenetic environment taking the southwest depression of Tarim basin as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 584-590
 - 12 袁静, 赵澄林. 水介质的化学性质和流动方式对深部碎屑岩储层成岩作用的影响 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2000, 24(1): 60~63
Yuan Jing, Zhao Chenglin. Influence of chemistry of fluid and circulated convection current on diagenesis of petroclastic rock in deep formation [J]. Journal of University of Petroleum, 2000, 24(1): 60-63
 - 13 Hurst A, Nadeau P H. Clay microporosity in reservoir sandstones: an application of quantitative electron microscopy in petrophysical evaluation [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(4): 563-573

(编辑 李 军)

第二届中国石油地质年会第一号通知

《中国石油地质年会》是中国石油学会石油地质专业委员会和中国地质学会石油地质专业委员会为中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司、中国中化集团公司实现油气资源战略联合举办的专业性学术会议。其主题包括油气勘探战略选区研究、油气勘探重大发现与成果介绍、油气地质理论与技术进展、油藏地质研究与描述、勘探案例分析与经验介绍以及上游发展战略等内容。目的是为中国石油地质界的管理者、勘探家和科技人员提供一个互相交流工作经验和学习的平台, 以推动中国石油工业的发展。

会议主题: 中国油气地质及油气勘探新进展; 中国海相油气勘探前景与方向; 中国海域油气勘探潜力与领域; 海外油气勘探潜力与进展; 老油区油气勘探潜力与可持续发展; 非常规油气资源勘探。

会议预定时间和地点: 2006年 9月 地点待定

会议秘书组联系方式: 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院 邮编 100083

联系人: 孙冬胜 电话: 010-82312330 13671310807 E-mail: sunds@pepris.com

尚建国 电话: 010-82312970 13611000811 E-mail: shangjg@pepris.com

传 真: 010-82327109

(高岩 供稿)