

文章编号:0253-9985(2012)06-0890-10

储层岩石学特征对成岩作用及孔隙发育的影响 ——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例

钟大康¹,周立建¹,孙海涛¹,姚泾利²,马石玉³,祝海华¹

(1. 中国石油大学,北京 102249; 2. 中国石油 长庆油田分公司 勘探开发研究院,陕西 西安 710018;

3. 中国石油 勘探开发研究院 廊坊分院,河北 廊坊 065000)

摘要:利用岩石普通薄片、铸体薄片、阴极发光薄片及孔渗数据,分析了鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组储层岩石学特征对成岩作用和孔隙发育的影响。结果表明,岩屑类型及含量、云母类矿物含量及碎屑颗粒粒度对成岩作用影响最大。大量泥岩、千枚岩等塑性岩屑的存在降低了岩石的抗压强度,在埋藏过程中易被挤压变形,形成假杂基充填堵塞孔隙;碳酸盐岩、中酸性火山岩等易溶岩屑的存在则可增强岩石的可溶性,利于溶蚀孔隙的形成。云母类矿物在孔隙水的参与下水化析出钾离子造成碱性环境,降低了石英的稳定性,促进了石英的压溶与缝合线的形成;另一方面云母蚀变后析出的硅铝铁成分在石英与长石颗粒周围形成绿泥石膜胶结,在粒间孔隙中形成高岭石与含铁类矿物胶结,降低了孔隙度和渗透率。颗粒粒度主要控制砂岩的抗压性和胶结强度。

关键词:孔隙;储层岩石学特征;成岩作用;延长组;陇东地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Influences of petrologic features on diagenesis and pore development: an example from the Triassic Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin

Zhong Dakang¹, Zhou Lijian¹, Sun Haitao¹, Yao Jinli², Ma Shiyu³ and Zhu Haihua¹

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Institute of Exploration and Development of Changqing Oilfield, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710018, China;

3. Langfang Branch Institute, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Langfang, Hebei 065000, China)

Abstract: Various data including common thin sections, cast thin section, cathode luminescent thin sections and poroperm characteristics were used to analyze the influence of petrologic characteristics on diagenesis and pores development of the Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin. The results show that the types and contents of debris, the contents of minor minerals (such as mica) and the size of the clastic particle are the main factors affecting diagenesis. The existence of large amount of plastic debris from rocks such as mudstone and phyllite reduces the strength of rock. These plastic debris are vulnerable to compression deformation during burial and can form pore-filling pseudo matrix. The existence of soluble debris from rocks such as carbonates and intermediate and acidic volcanic debris can enhance solubility of rocks, being favorable for the formation of dissolution pores. With the pore water participation, the hydration of minor minerals can release potassium ion which causes alkaline environment. This can reduce quartz stability, and promote the pressure solution of quartz and the formation of the sutures. On the other hand, the silicon-aluminum-iron composition being released from mica alteration could form chlorite membrane cement around quartz and feldspar particles, and kaolinite and iron bearing mineral

收稿日期:2012-06-06;修订日期:2012-11-19。

第一作者简介:钟大康(1961—),男,教授,沉积储层。

基金项目:国家自然科学基金项目(41072104);国家重大基础研究发展计划(“973”计划)项目(2011CB201104)。

cement in intergranular pores. These cements can reduce porosity and permeability. Grain size mainly controls the compaction resistance and bond strength of sandstone.

Key words: pore, petrologic feature, diagenesis, Yanchang Formation, Longdong area, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地陇东地区构造上位于伊陕斜坡的西南角、天环坳陷和西缘冲断带的南端,南部为渭北隆起,面积约 50 000 km² (图 1)。该地区自 20 世纪 70 年代以来在三叠系延长组相继发现了华池、南梁油田、西峰、华庆等油田。目前该地区石油探明储量达 5×10^8 t,三级储量达 15×10^8 t。前人对该地区延长组储层成岩作用与物性特征作过许多有益的研究,得出了诸多深刻的认识,多数学者认为延长组属于低孔、低渗储层,成岩作用是造成低孔、低渗的主要原因。如朱国华等人认为石英的压溶和次生加大以及铁方解石和铁白云石胶结是造成该地区延长组储层低孔、低渗的重要原因^[1-2];谢庆邦等人也认为成岩作用是形成低渗砂体和次生孔隙的主要原因^[3-4],但对各种成岩作用是如何引起低孔、低渗讨论较少。对延长组低孔、低渗储层成岩作用的大规模系统研究是在 2000 年以后,在近十年来发表了许多文章^[5-15],如

罗静兰等人 2001 年认为压实作用是造成陇东地区延长组砂岩低孔、低渗的主要因素,大约损失孔隙度 17%,其次是胶结作用,损失 7%^[5]。牟泽辉(2001)通过对该区各种成岩作用研究后提出了持续埋藏型成岩系统和中间开启型成岩系统^[6]。史基安等人(2003)认为粒度细、成分成熟度和结构成熟度低是造成该地区砂岩低孔、低渗的主要因素^[7];黄思静等(2003,2004)认为延长组砂岩次生孔隙与大气淡水溶蚀有关^[8-9];罗静兰等人(2006)提出压实作用和胶结作用是破坏孔隙的主要原因^[10];郑荣才等人(2007)对白豹地区延长组六段(长段)研究后认为压实与压溶及胶结作用是造成孔隙破坏的主要因素,早期绿泥石和白云石环边胶结以及溶蚀和破裂作用是形成优质储层的重要因素^[11],类似的文献还有很多^[12-23],在此不一赘述。

上述众多文献基本上都集中在对成岩作用本身的研究,讨论各种成岩作用的基本特征(如压实作用强弱、胶结作用类型及各种类型的胶结程度、溶蚀类型与溶蚀程度)、各种成岩作用对孔隙演化和储层物性的影响。然而,各种成岩作用受什么因素控制,如压实作用为什么强、为什么弱?不同地区不同层段其胶结与溶蚀作用为何存在差异等?即各种成岩作用控制因素讨论较少,仅见为数不多的几篇文献^[20]。文中主要从延长组储层岩石学特征出发讨论岩石学特征对砂岩成岩作用的影响,重点讨论成分(如岩屑性质与类型、云母类矿物)和粒度对砂岩的压实、胶结、溶蚀和交代等作用的影响,通过这一研究以达到对该地区储层物性控制因素及低孔、低渗成因有更深入、更进一步的了解。

1 岩石学特征

通过对陇东地区延长组崆峒山、策底坡、汭水河等 7 条野外露头剖面及 634 口取心井 800 多块岩石薄片观察,结合前人 7 700 余块岩石薄片鉴定报告数据认为,延长组砂岩主要为中-细粒岩屑砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩及长石砂岩,

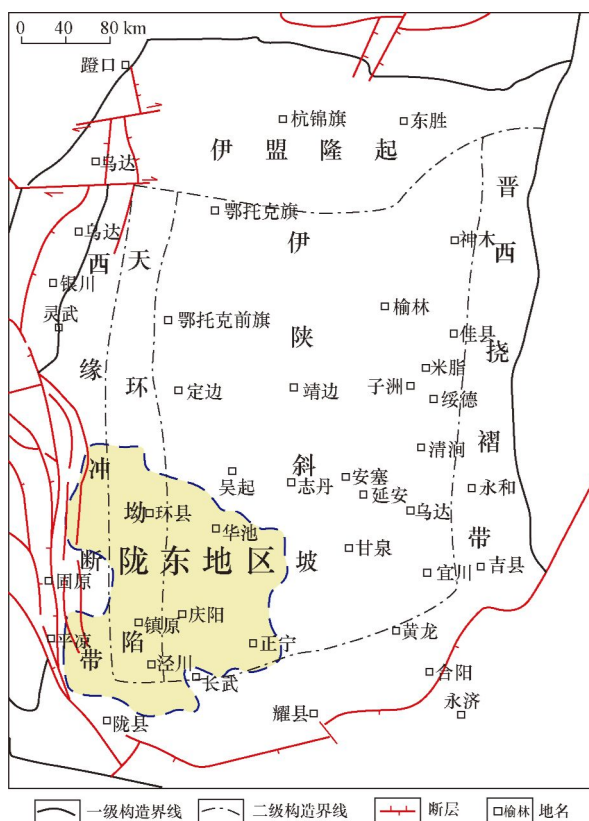


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Sketch map showing location of the study area

表1 陇东地区岩屑分类

Table 1 Rock debris classification in Longdong area

大类	小类	类型
刚性	易溶	灰岩、白云岩、火山岩
	难溶	石英岩、燧石、花岗岩
塑性	易变形	泥岩、板岩、千枚岩
	易蚀变	云母片岩、白云母、黑云母

注:考虑到云母类蚀变的特殊性对压实的影响,也将其与塑性岩屑放在一起讨论。

颗粒分选中等—好,磨圆度为次棱角状,杂基含量为3%~9%。根据对岩石成岩作用及物性特征研究发现,在这些岩石学特征参数中岩石的颗粒成分及粒度对储层孔隙发育程度与物性影响最大,而分选和磨圆影响较小。以下重点介绍该地区的岩屑成分及粒度特征。

薄片鉴定结果统计表明,该地区岩屑含量为10%~50%,平均为24.37%,岩屑成分复杂,既有岩浆岩岩屑如花岗岩、玄武岩和安山岩,也有变质岩岩屑如板岩、千枚岩、片岩及石英岩,还有沉积岩如泥岩、白云岩、灰岩及燧石,但总体上以白云岩及火山岩岩屑为主。其中长₈段—长₁₀段以火山岩岩屑占主导,占总岩屑含量的30%~50%,长₇段—长₁段以白云岩岩屑为主,占总岩屑含量的30%~65%。

根据对成岩作用及孔隙演化的影响不同,将这些岩屑分为刚性和塑性两大类,前者具有很强的抗压性,后者的抗压性较差。前者根据其可溶性又细分为易溶及难溶两类。后者根据其在压实过程中是发生形态上的物理变化还是发生成分上的化学变化,又可细分为易变形及易蚀变两类(表1),这些岩屑对成岩作用有不同的影响。

2 塑性岩屑对压实作用的影响

根据对大量岩石孔隙铸体薄片的观察发现,凡是在存在泥岩、板岩及千枚岩等塑性岩屑的地方孔隙均不发育,这些塑性岩屑由于压实作用均被挤入粒间孔隙中形成假杂基,堵塞孔隙(图2)。如华33井1 493.5 m的长₁段,千枚岩岩屑压实变形后挤入了邻近石英颗粒的粒间孔中形成了假杂基,几乎把所有的粒间孔损失掉了,类似的情况在白102井1 874.2 m的长₃段也常见(图2a—d)。而在缺乏上述塑性岩屑即石英和长石相对集中的地方,原生孔隙保存都较好,如镇74井2 265.13 m,

石英颗粒相对丰富,在石英颗粒之间原生孔隙保存很好,即使是受到上覆地层的负荷压实,粒间孔仍能很好保存,在同一块薄片下甚至同一块薄片的同一个视域都可以看到这种情况(图2e—f)。另外,从这些岩屑与砂岩物性的定量相关分析中也可以看到,随着上述塑性岩屑含量增高,砂岩孔隙度逐渐降低(图3)。

研究区塑性岩屑在不同层段和同一层段的不同地区发育不同。纵向上,以长₈段—长₁₀段塑性岩屑较丰富,其中长₈小层的塑性岩屑含量高达23.8%(表2);平面上,塑性岩屑主要分布于研究区中部的庆城—庆阳、北部耿湾—环县以及南部的宁县—正宁地区,其含量约为16%,西南部镇原地区塑性岩屑含量略低,南部泾川地区资料较少,其统计结果可靠性较低(表3)。

3 碳酸盐岩及火山岩岩屑对溶蚀作用的影响

研究区除了发育上述抗压性较差的泥岩、板岩和千枚岩岩屑之外,还发育较多的刚性碳酸盐岩屑及火山岩岩屑。在碳酸盐岩屑中主要以白云岩岩屑为主。本次研究统计了8 420个薄片资料,有4 800个薄片见白云岩岩屑,其含量为3%~25%,大多为7%左右,最高可达50%;灰岩岩屑含量稍低,含量大多为3%~8%,分布也不如白云岩岩屑普遍,8 420个薄片仅1 510个薄片见灰岩岩屑,从层段上碳酸盐岩屑集中出现在长₁段—长₇段。而火山岩岩屑比碳酸盐岩屑更普遍发育,8 420个样品中有7 620个薄片见火山岩岩屑,几乎每个薄片均在一定程度上可见火山岩岩屑,但其含量比碳酸盐岩屑少很多,大多为3%~5%,平均为3.9%,最高层段仅为20%,主要为安山岩、玄武岩岩屑,火山岩岩屑,集中出现的层段主要是长₈段—长₁₀段。

这些碳酸盐及火山岩岩屑的存在对岩石的溶蚀性有很大影响,增大了岩石的可溶性,薄片下可见到凡是存在碳酸盐岩屑和火山岩岩屑的地方均存在一定程度的溶蚀。碳酸盐岩屑的溶蚀主要是沿岩屑周围发生形成粒缘溶孔(图4a—b),而火山岩岩屑的溶蚀多半是发生在岩屑内部,有火山岩岩屑内的长石晶体溶蚀,形成粒内溶孔,镜下可

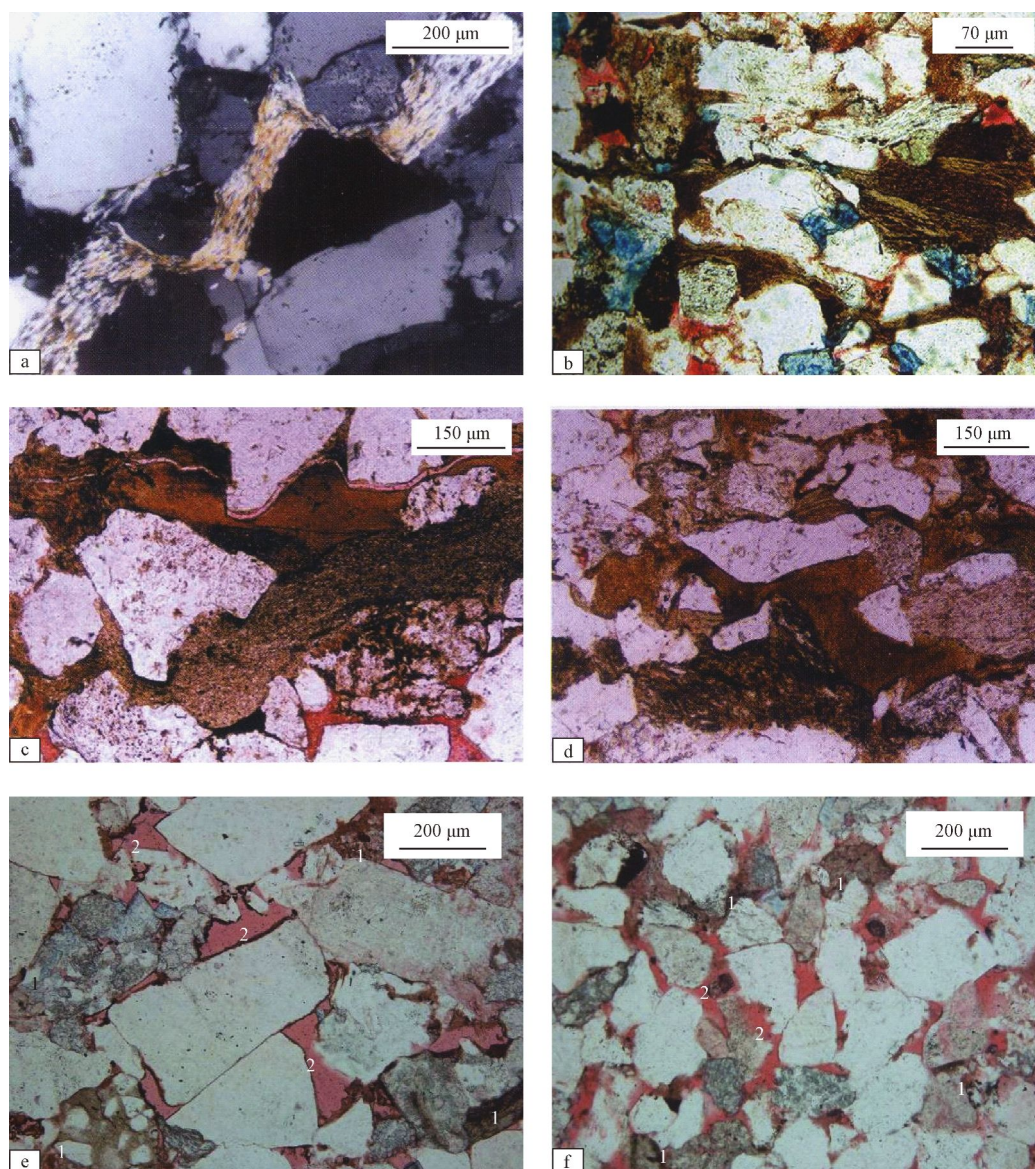


图2 陇东地区延长组塑性岩屑对压实作用及原生孔隙保存的影响

Fig. 2 Influence of plastic debris on compaction and preservation of primary pore in the Yanchang Formation of Longdong area
 a. 千枚岩岩屑压实变形形成假杂基堵塞孔隙, 华33井, 1 493.50 m, 长₁段; b. 泥岩岩屑压实变形形成假杂基堵塞孔隙, 白102井, 1 874.20 m, 长₃段; c. 泥岩岩屑, 西29-19井, 2 145.95 m, 长₈段; d. 泥岩岩屑, 西28-31井, 2 095.27 m, 长₈段; e. 在局部存在泥岩岩屑处孔隙不发育(1), 而在石英颗粒集中处原生孔隙均保存较好(2), 镇74井, 2 265.13 m; f. 在局部存在泥岩岩屑处孔隙不发育(1), 而在石英颗粒集中处原生孔隙均保存较好(2), 镇74井, 2 296.22 m

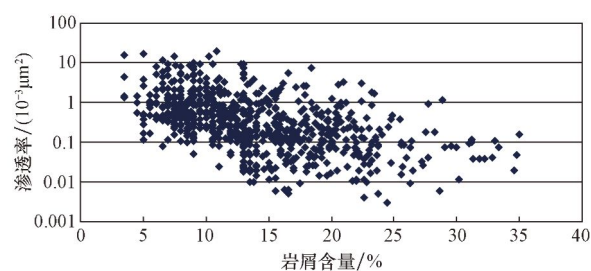


图3 陇东地区长₈¹段塑性岩屑含量与渗透率关系

Fig. 3 Relations of plastic debris content and permeability of Chang-8 member in Longdong area

表2 陇东地区延长组塑性岩屑及云母含量统计

Table 2 Statistics of plastic debris and mica content of Yanchang Formation in Longdong area

地层	长 ₃ ¹	长 ₃ ²	长 ₃ ³	长 ₄₊₅ ¹	长 ₄₊₅ ²	长 ₆ ¹	长 ₆ ²	长 ₆ ³	长 ₇ ¹	长 ₇ ²	长 ₇ ³	长 ₈ ¹	长 ₈ ²	长 ₉ ¹
样品数/个	145	226	301	306	330	777	642	1 044	602	422	209	1 464	570	80
塑性岩屑含量/%	泥岩	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1
	喷发岩	2.5	2.3	2.4	1.7	2.3	2.8	2.7	2.6	2.8	3.2	3.5	7.9	9.0
	片岩	1.4	1.2	0.9	0.6	0.6	0.8	0.8	1.0	1.0	1.1	0.9	1.6	1.6
	千枚岩	3.8	3.6	3.1	2.3	2.4	3.0	3.2	3.5	4.2	4.6	4.0	5.0	5.4
	板岩	1.4	1.8	1.4	0.9	1.0	1.3	1.1	1.4	1.4	1.7	1.8	2.2	2.1
	云母	6.0	5.8	5.6	6.0	6.0	6.9	7.6	8.1	7.2	5.8	6.9	6.3	5.7
总计	15.3	14.7	13.5	11.7	12.4	14.9	15.5	16.7	16.7	16.6	17.3	23.2	23.9	19.0

表3 陇东地区不同地区储层塑性岩屑平均含量统计

Table 3 Statistics of plastic debris content of reservoirs of different regions in Longdong area

地区	塑性岩屑含量/%						塑性岩屑总量/%	样品数/个
	片岩	千枚岩	板岩	喷发岩	泥岩	云母		
耿湾-环县	1.41	4.09	1.91	4.38	0.14	4.33	16.26	969
华池	0.78	2.89	1.06	3.44	0.09	6.31	14.57	1 871
镇原	1.04	3.49	1.59	5.17	0.12	2.76	14.17	219
庆城-庆阳	1.10	4.55	1.34	5.37	0.21	4.06	16.63	1 057
合水-塔儿湾	0.64	3.36	0.94	3.78	0.05	4.28	13.05	1 195
宁县-正宁	1.09	4.17	1.44	3.41	0.09	5.60	15.80	397
泾川	1.18	4.13	1.09	5.91	0.01	5.91	18.23	16

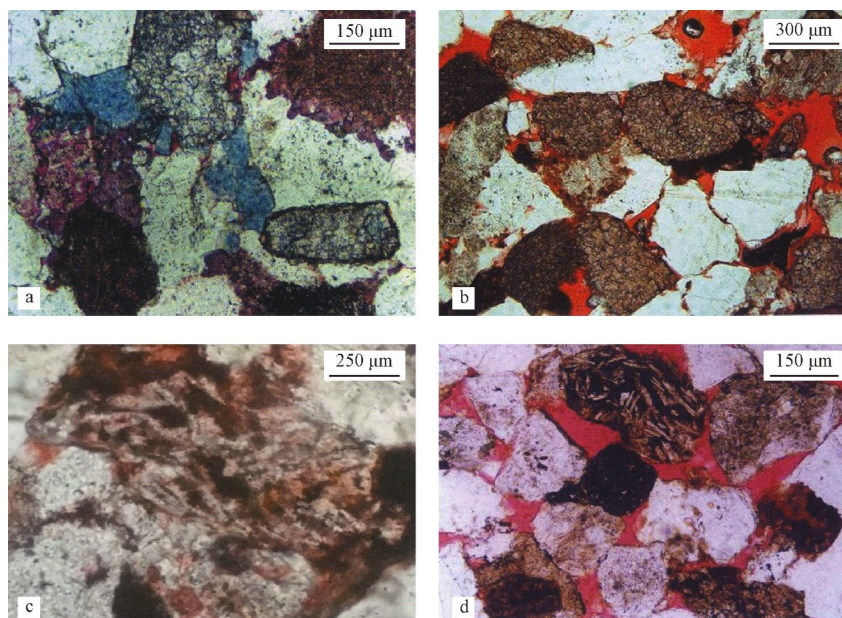


图4 陇东地区延长组碳酸盐及火山岩岩屑的溶蚀交代现象

Fig. 4 Dissolution and replacement of carbonate debris and volcanic debris in the Yanchang Formation of Longdong area

a. 灰岩及白云岩岩屑,环41井,2 286.00 m,长₆段,灰岩岩屑溶蚀及对石英的溶蚀交代;b. 白云岩岩屑,镇43井,1 918.19 m,长₃段,白云岩岩屑周围溶蚀形成粒缘溶孔;c. 火山岩岩屑,白286井,2 225.28 m,长₉段;d. 安山岩岩屑,西15井,2 089.1 m,长₈段

见到安山岩和玄武岩岩屑的粒内溶孔(图4c—d)。另外,碳酸盐岩屑的存在对石英颗粒有明显的溶蚀交代现象,在薄片下可以见到碳酸盐岩屑对石英进行溶蚀交代,出现碳酸盐岩岩屑蚕食石英颗粒(图4a),从而减小了岩石的抗压强度。

4 云母类矿物对石英稳定性及自生粘土胶结的影响

除了岩屑对岩石压实与溶蚀交代影响外,云母类矿物对岩石压实和压溶及溶蚀交代与自生粘土胶结也有重要影响。

从大量薄片观察发现,凡是存在云母的地

方都可以看到石英与云母的生现象及石英颗粒之间的压溶镶嵌现象,这说明由于云母的存在造成了石英颗粒的不稳定。一方面发生了云母对石英的溶蚀交代,另一方面在石英与石英接触的地方,石英的抗压性大大降低。这可能是由于云母属于含钾类铝硅酸盐矿物,白云母化学成分为 $KAl_2[AlSi_3O_{10}](HO)_2$,黑云母为 $K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](HO,F)_2$,在地下水作用下云母水化析出钾离子进入水溶液中,在云母与石英颗粒接触的局部环境出现偏碱性,导致石英的不稳定而发生溶解,加之上覆地层负荷作用使之出现石英的压溶(图5a—d)。

在薄片下面还可以看到另外一种有趣的现象

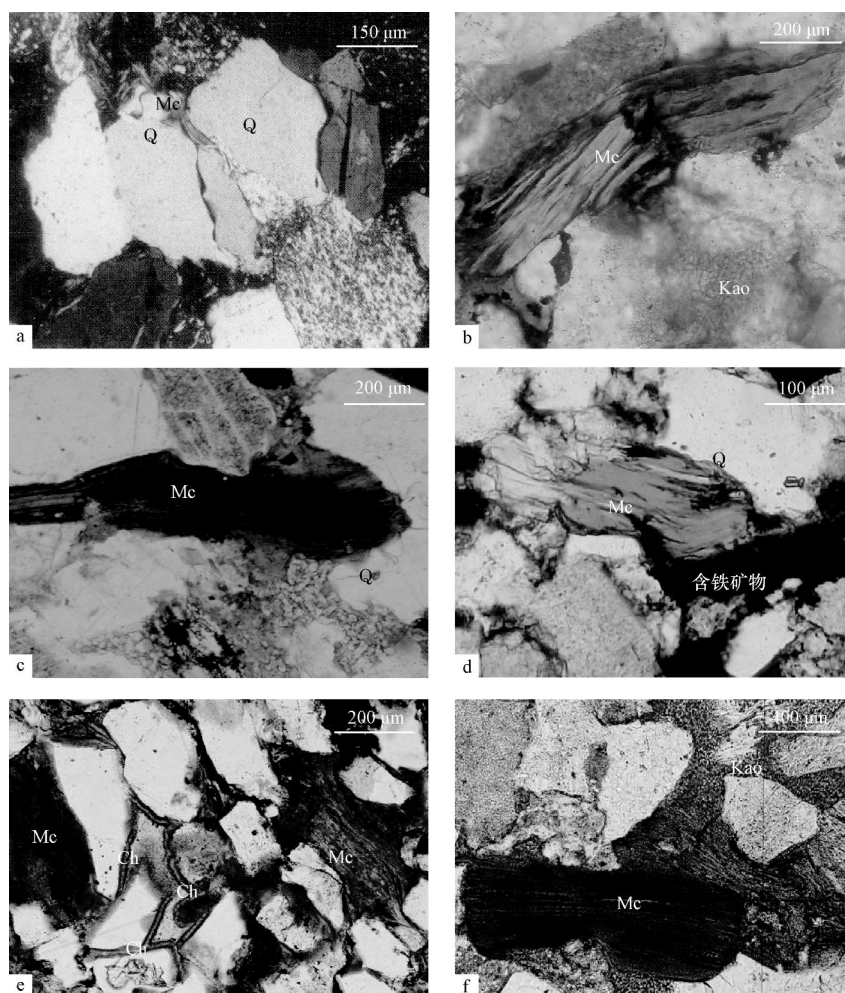


图5 陇东地区延长组云母类矿物蚀变与石英压溶及绿泥石、高岭石与含铁矿物胶结的关系

Fig. 5 Relations of mica alteration to quartz pressure solution and cementation of chlorite, kaolinite and iron-bearing minerals in the Yanchang Formation of Longdong area

a. 云母(Mc)对石英(Q)溶蚀交代,镇14井,1744.10 m,长₃段;b. 云母(Mc)蚀变成高岭石(Kao),镇71井,1833.90 m,长₃段;c. 云母(Mc)对石英(Q)溶蚀交代,木11井,1995.23 m,长₃段;d. 云母(Mc)对石英(Q)溶蚀交代,庄23井,1896.55 m,长₇段;e. 黑云母蚀变(Mc)后在旁边石英颗粒周围形成绿泥石膜胶结(Ch),元191井,2239.05 m,长₈段;f. 黑云母蚀变(Mc)后石英颗粒之间的粒间孔内形成自生高岭石胶结(Kao),演17井,2815.5 m,长₈段

就是在云母发生蚀变和云母对石英进行交代的地方,其附近常常绿泥石膜胶结和高岭石胶结及含铁类矿物也很发育(图5b—f),如元191井2 239.05 m的长₈段,云母蚀变后在旁边石英颗粒周围形成了明显的绿泥石膜胶结,同时阻止了石英的进一步次生加大。在演17井2 815.5 m的长₈段,云母蚀变后在附近石英颗粒之间的粒间孔中形成了许多自生高岭石胶结,这种情况在镇71井的长₃段也存在。在云母发生蚀变的地方含铁类暗色矿物也较发育,如庄23井长₇段的1 896.55 m深度处,元191井长₈段的2 239.05 m的深度处。根据有关矿物学理论,绿泥石和暗色含铁类矿物如褐铁矿与钛铁矿主要来自黑云母的蚀变,因为黑云母含铁和镁,为绿泥石和含铁矿物的形成提供了其所需要的化学成分。而高岭石的形成主要来自白云母蚀变,白云母加水情况下首先析出钾蚀变为水云母,水云母再脱钾蚀变为高岭石。云母类矿物蚀变形成的绿泥石胶结主要降低岩石的渗透率(图6),对孔隙度影响不大,而高岭石和含铁类矿物主要降低岩石的孔隙度。

薄片观察统计表明,陇东地区三叠系延长组砂岩中白云母和黑云母的总含量为3%~12%,最高可达17%,平均为6.3%,不同的层段含量存在一些差异,各层段云母总平均含量分别为4.6%(长₂段)、5.8%(长₃段)、6%(长₄₊₅段)、7.5%(长₆段)、6.6%(长₇段)、6%(长₈段)和5.1%(长₉段),在层段上可以看出长₆段、长₇段、长₈段3个层段云母含量较高。在平面上各层段基本上都是在研究区的东北部的华池白豹地区较多。由于上述的云母对石英稳定性及粘土胶结的影响可知,云母含量越高,物性越差,对于油气充注越不利,因此储层含油性差。平面上,华池东部、合水—塔

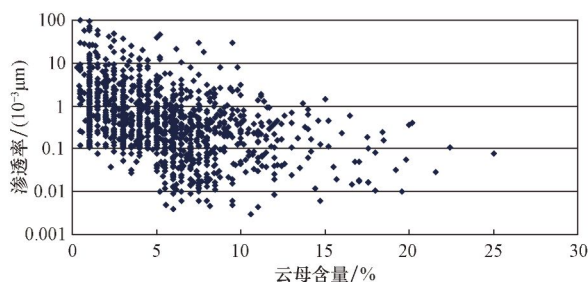


图6 陇东地区延长组储层云母含量与渗透率关系

Fig. 6 Relations of mica content to permeability in the Yanchang Formation of Longdong area

儿湾,以及东南部的宁县—正宁、泾川一带云母含量较高,含油性较差。

5 粒度对砂岩压实作用的影响

除了岩石成分对成岩作用有重要影响外,研究区岩石学特征对成岩作用影响的另一个方面是粒度对压实作用的影响。

从大量铸体薄片的观察可以发现粒度粗的砂岩,在埋藏过程中由于压实作用其粒间孔隙损失相对较少,而粒度细的砂岩如粉砂岩,其在埋藏过程中由于压实作用,颗粒间保存的孔隙较少。研究区长₈段与长₉段的粒度较粗,主要为中细砂岩,部分达粗砂岩,其抗压性较好,压实作用较弱,粒间孔隙较发育。而长₆段与长₇段较细,主要为粉砂岩和泥质粉砂岩,抗压性较差,压实作用较强,粒间孔隙保存较少(图7)。从不同粒径砂岩孔隙度和渗透率数据统计结果也证实了这一结论(图8)。中—细砂岩平均孔隙度可达11%~12%,而粉砂岩和泥质粉砂岩的孔隙度往往都低于10%,渗透率具有类似的特征,前者渗透率大多大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,而后者多小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

6 结论

大量岩石薄片研究初步表明,鄂尔多斯盆地陇东地区延长组砂岩岩石学特征对其成岩作用有重要控制,尤其是岩石颗粒的成分与粒度。具体表现为:

1) 泥岩、板岩与千枚岩等塑性岩屑大大的影响岩石压实作用,这些岩屑的存在降低岩石的抗压强度,其埋藏过程中挤入孔隙形成假杂基降低岩石的孔隙度;白云岩、灰岩及玄武岩安山岩等岩屑增强了岩石的可溶性,形成大量粒缘溶孔和粒内溶孔。

2) 云母在孔隙水的参与下水化析出钾离子造成碱性环境,降低了石英的稳定性,对石英进行溶蚀交代,造成石英的压溶与缝合镶嵌,同时析出的硅铝铁在石英与长石颗粒周围形成绿泥石膜胶结,在粒间孔隙中形成高岭石与含铁类矿物胶结,降低孔隙度和渗透率。

3) 粒度对成岩作用的控制作用主要表现为中—细粒砂岩具有较强的抗压性,保存了较多的原

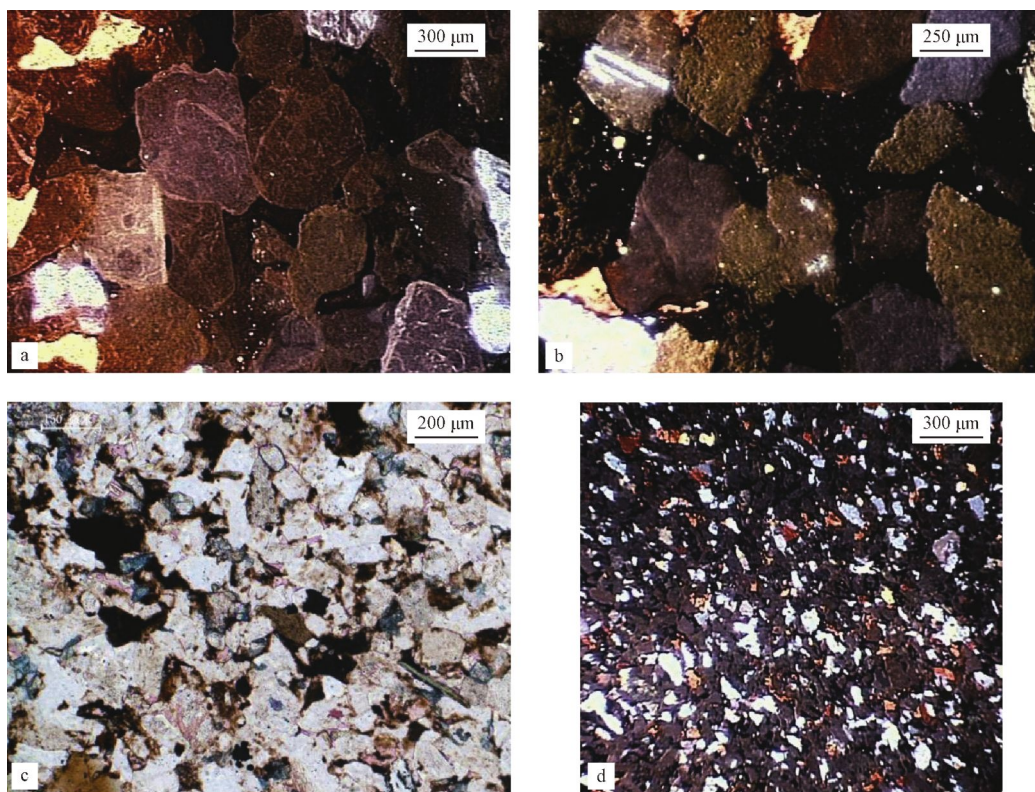


图7 陇东地区延长组粒度对压实作用及原生孔隙保存的影响

Fig. 7 Influence of granularity on compaction and primary pore preservation in the Yanchang Formation of Longdong area
a. 环80井, 2408.27 m, 长₈层, 前缘水下分流河道细砂岩, 渗透率 Φ 为 11.2%, 孔隙度 K 为 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; b. 西247井, 1912.70 m, 长₈层, 前缘水下分流河道细砂岩, Φ 为 16.4%, K 为 $3.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; c. 午62井, 1827.06 m, 长₇段, 浊积扇中水道粉砂岩, Φ 为 6.5% ~ 9.9%, 平均 8.6%, K 为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $0.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; d. 塔2井, 长₆层, 1622.65 m, 浊积扇粉砂岩

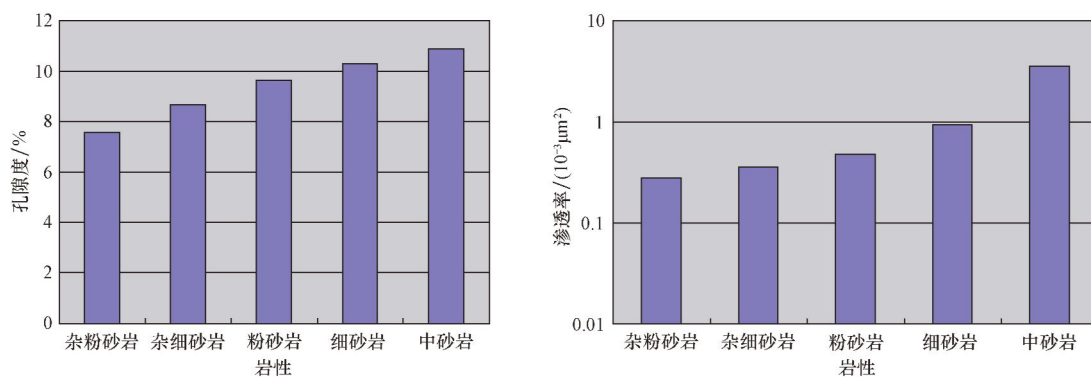


图8 陇东地区延长组不同粒度砂岩物性对比

Fig. 8 Physical property comparison of sandstones with different grain sizes in the Yanchang Formation of Longdong area

生孔隙,其物性较好;而粉砂岩由于早期快速压实原生孔隙很快损失,成岩流体流通不畅,也影响了次生孔隙的产生,因此原生与次生孔隙均不发育,物性普遍较差。

参 考 文 献

[1] 朱国华. 陕甘宁盆地西南部上三叠系延长统低渗透砂体和

次生孔隙砂体的形成[J]. 沉积学报, 1985, 3(2): 1-17.

Zhu Guohua. Formation of low permeability sandbodies and secondary pore sandbodies in the Upper Triassic Yanchang series of south-western Shan-Gan-Ning Basin[J], Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(2): 1-17.

[2] 朱国华. 粘土矿物对陕甘宁盆地中生界砂岩储层性质的影响及其意义[J]. 石油勘探与开发, 1988, 12(4): 20-29.

Zhu Guohua. Effects of clay minerals on the Triassic sandstone

- reservoir in Shan-Gan-Ning Basin and their significance [J]. Petroleum Exploration and Development, 1988, 12(4): 20–29.
- [3] 谢庆邦, 贺静. 陕甘宁盆地南部延长组低渗砂岩储层评价[J]. 天然气工业, 1994, 14(3): 16–19.
- Xie Qingbang, He Jing. Reservoir evaluation on low permeability sandstone of Yanchang formation in south part of Shan-Gan-Ning Basin [J]. Natural Gas Industry, 1994, 14(3): 16–19.
- [4] 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[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 87–96.
- Liu Yiqun, Li Wenhui. Diagenetic characteristics and porosity evolution of the oil-bearing arkoses in the Upper Triassic in the Eastern Shan-Gan-Ning Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 87–96.
- [5] 罗静兰. 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. 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.
- [6] 牟泽辉. 鄂尔多斯盆地庆阳以南三叠系延长组长5、长6、长7储层成岩作用[J]. 天然气工业, 2001, 21(2): 13–17.
- Mu Zehui. Diageneses of the reservoirs chang 5, chang 6 and chang 7 of Yanchang Formation of triassic to the south of Qingyang in Erdos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(2): 13–17.
- [7] 史基安, 王金鹏, 毛明陆, 等. 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研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 373–380.
- Shi Ji'an, Wang Jinpeng, Mao Minglu, et al. Reservoir sandstone diagenesis of member 6 to 8 in Yanchang Formation (Triassic), Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 373–380.
- [8] 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——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2003, 28(4): 419–424.
- 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 [J]. Earth Science, 2003, 28(4): 419–424.
- [9] 黄思静, 张萌, 宋世全, 等. 砂岩孔隙成因对孔隙度/渗透率关系的控制作用——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(6): 648–653.
- Huang Sijing, Zhang Meng, Zhu Shiquan, et al. 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 [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology), 2004, 31(6): 648–653.
- [10] 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): 665–673.
- Luo Jinglan, Liu Xiaohong, Lin Tong, et al. Impact of diagenesis and hydrocarbon emplacement on sandstone reservoir quality of the Yanchang Formation (Upper Triassic) in the Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 665–673.
- [11] 郑荣才. 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): 1–9.
- Zheng Rongcai. Diagenesis and diagenetic facies of Chang 6 sandstone of Yanchang Formation in Baibao area, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 1–9.
- [12] 谢渊, 王剑, 刘家铎, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组湖盆致密砂岩储层序地层与油气勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- Xie Yuan, Wang Jian, Liu Jiaduo. Reservoir sequence stratigraphy and oil exploration of lake-basin tight sand of Yanchang series in southeast of Ordos Basin [M]. Beijing: Geology Publishing House, 2004.
- [13] 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[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 88–89.
- Liu Yiqun, Li Wenhui. Diagenetic characteristics and porosity evolution of the oil-bearing arkoses in the upper Triassic in the Eastern Shaan-Gan-Ning Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 88–89.
- [14] 付金华, 郭正权, 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地质量, 2005, 7(1): 34–43.
- Fu Jinhua, Guo Zhengquan, Deng Xiuqin. Sedimentary facies of the Yanchang Formation of Upper Triassic and petroleum geological implication in southwestern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1): 34–43.
- [15] 杨华, 窦伟坦, 喻建, 等. 鄂尔多斯盆地低渗透油藏勘探新技术[J]. 中国石油勘探, 2003, 8(1): 32–33.
- Yang Hua, Dou Weitan, Yujian, et al. New Technology for exploration of low-permeability oil reservoirs in Ordos Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2003, 8(1): 32–33.
- [16] 文华国, 郑荣才, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地白豹-华池地区长6砂岩储层特征[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 46–51.
- Wen Huaguo, Zheng Rongcai, Chen Hongde, et al. Characteristics of Chang 6 sandstone reservoir in Baibao-Huachi region of Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 46–51.
- [17] 王琪, 崔喜准, 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): 21–27.
- Wang Qi, Zhuo Xizhun, Chen Guojun. Diagenetic evolution and high-quality reservoir in Chang 6 sandstone in the western Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(5): 21–27.
- [18] 尹伟, 郑和荣, 胡宗全, 等. 鄂南镇泾地区延长组油气富集主控因素及勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 159–165.
- Yin Wei, Zheng Herong, Hu Zongquan, et al. Main factors controlling hydrocarbon accumulation and favorable exploration tar-

- gets for the Yanchang Formation in Zhenjing area, south Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 159–165.
- [19] 窦伟坦, 田景春, 徐小蓉, 等. 陇东地区延长组6–8油层组成岩相研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, 32(2): 129–132.
- Dou Weitan, Tian Jingchun, Xu Xiaorong, et al. Diagenetic facies study on Chang 6–8 oil formations of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, China[J]. 2005, 32(2): 129–132.
- [20] 王琪, 嵇喜准, 史基安, 等. 鄂尔多斯盆地盐池–姬源地区三叠系长₄₊₅砂岩成岩演化特征与优质储层分布[J]. 沉积学报, 2005, 23(3): 397–405.
- Wang Qi, Zhuo Xizhun, Shi Ji'an, et al. Characteristics of diagenetic evolution of Chang₄₊₅ sandstones (upper Triassic) in Yanchi-Jiyuan Area, Ordos Basin and distribution of high-quality reservoir[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(3): 397–405.
- [21] 张海涛, 时卓, 石玉江, 等. 低渗透致密砂岩储层成岩相类型及测井识别方法——以鄂尔多斯盆地苏里格气田下石盒子组8段为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 256–264.
- Zhang Haitao, Shi Zhuo, Shi Yujiang, et al. Diagenetic facies types and logging identification methods for low-permeability tight sandstone reservoirs: a case study on the 8th member of Xiashihezi Formation in Sulige gasfield, Ordos Basin [J]. Oil&Gas Geology, 2012, 33(2): 256–264.
- [22] 杨华, 杨奕华, 石小虎, 等. 鄂尔多斯盆地周缘晚古生代火山活动对盆内砂岩储层的影响[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 526–534.
- Yang Hua, Yang Yihua, Shi Xiaohu, et al. Influence of the late Paleozoic volcanic activity on the sandstone reservoir in the interior of Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 526–534.
- [23] 李红, 柳益群, 刘林玉. 鄂尔多斯盆地西峰油田延长组长81低渗透储层成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 209–217.
- Li Hong, Liu Yiqun, Liu Linyu. Diagenesis of Chang 81 reservoir with low permeability in Xifeng oilfield. Ordos basin[J]. Oil&Gas Geology, 2006, 27(2): 209–217.

(编辑 张亚雄)

(上接第889页)

- [15] 王芙蓉, 何生, 何治亮, 等. 准噶尔盆地腹部地区深层砂岩储层孔隙特征研究[J]. 石油实验地质, 2010, 32(6): 547–552.
- Wang Furong, He Sheng, He Zhiliang, et al. The reservoir characteristic of deeply buried sandstone in the center of Junggar Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(6): 547–552.
- [16] 严继新, 赵习森, 何云峰, 等. 塔里木盆地巴什托油气田石炭系碳酸盐岩沉积相特征[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 353–358.
- Yan Jixin, Zhao Xisen, He Yunfeng, et al. Sedimentary facies of Carboniferous carbonate rock in Bashitop Oil Field, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 353–358.
- [17] 田亚铭, 施泽进, 宋江海, 等. 鄂尔多斯盆地宜川–旬邑地区长8储集层碳酸盐胶结物特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(4): 378–384.
- Tian Ya ming, Shi Zejin, Song Jiang-hai, et al. Characteristics of carbonate cements of Member 8 of Yanchang Formation in the Yichuan-Xunyi area, Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University Of Technology (Science Technology Edition), 2011, 38(4): 378–384.
- [18] 焦伟伟, 吕修祥, 周园园, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 199–206.
- Jiao Weiwei, Lü Xiuxiang, Zhou Yuanyuan, et al. Main controlling factors of the Ordovician carbonate reservoirs in Tazhong area, the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 199–206.
- [19] 何治亮, 魏修成, 钱一雄, 等. 海相碳酸盐岩优质储层形成机理与分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 489–498.
- He Zhiliang, Wei Xiucheng, Qian Yixiong, et al. Forming mechanism and distribution prediction of quality marine carbonate reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 489–498.

(编辑 张亚雄)