文章编号: 1000-0550(2011)01-0080-08

物源对鄂尔多斯盆地中部延长组长 6 砂岩孔隙发育的控制作用

贺　静　冯胜斌　黄　静　袁效奇　韩　鹏　李廷艳
(1. 长庆油田分公司勘探开发研究院　西安　710018; 2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室　西安　710018)

摘　要　延长组长 6 油层组是鄂尔多斯盆地主力产油层,平面上储层储集性能差异较大。通过盆地中部大量长 6 砂岩岩矿资料,结合盆地周缘露头剖面资料系统分析,认为鄂尔多斯盆地中部长 6 沉积期存在西部、北东、西北、北部、东南方向及多物源控制的沉积区,且受不同方向物源控制的长 6 砂岩轻、重矿物组合,填隙物类型和组合及成岩矿物等均不相同,其中混源区受多物源的共同影响,但轻、重矿物组合及孔隙发育程度主要受主物源控制; 砂岩成熟度、粒径、碎屑组分、填隙物类型与组合和成岩作用是控制长 6 砂岩储层孔隙发育的主要因素,且不同物源控制区长 6 储集砂岩的孔隙保存条件不同,物性相差较大。研究结果说明确定不同方向物源控制区、混源沉积区长 6 储集砂岩孔隙特征及孔隙发育控制因素是掌握孔隙性砂体分布规律的前提。

关键词　鄂尔多斯盆地　物源　延长组长 6　孔隙

第一作者简介　贺静　女　1959 年出生　工程师　石油地质　E-mail: hj3_cq@ petrochina. com. cn

中图分类号　TE122.2+3　**文献标识码**　A

鄂尔多斯盆地是中国陆上第二大沉积盆地,中生界石油资源十分丰富,其中上三叠统延长组长 6 段湖相砂岩是重要的产油层,石油储量占延长组探明储量的 43%,但储集层砂岩总体成分成熟度低、长石和岩屑含量高、粒径细(平均粒径 0.138 ~ 0.18 mm)、粒度类型以细砂为主(细砂含量 72% 左右)和储层成岩差异大、孔喉半径小和物性差($<3.0\times10^{-3}$ μm^2)的特征成为油气勘探开发的难点。勘探实践表明,受物源区母岩性质的影响,平面上长 6 储集层物性差异较大,特低渗透背景上存在相对高孔、高渗区。因此,探讨延长组长 6 期沉积物源、分析不同方向物源控制区砂岩特征及孔隙发育控制因素对预测孔隙性砂体分布规律具有重要意义。

前人对鄂尔多斯盆地延长组物源研究已经做了许多工作。但前人展开的物源研究工作主要集中在整个延长统(长 10—长 1)湖盆演化期的物源区及物源与沉积体系的空间配置关系方面[1,2],针对长 6 期研究较少,仅探讨了盆地姬塬—胡尖山地区的物源和储层的关系[3]。依据近年大量钻井剖面取得的岩矿资料,结合盆地周缘延长组露头剖面资料,系统分析盆地中部长 6 期沉积物源区特征及物源与储集层砂岩的关系。

1　盆地中部不同方向物源控制区长 6 储集砂岩特征

据大量钻井剖面及盆地周缘露头剖面岩石薄片资料分析,盆地中部晚三叠世长 6 沉积期存在多个方向物源区(图 1),受不同方向物源区控制的长 6 砂岩碎屑组合、填隙物类型及重矿物组合等岩矿特征不同,这导致了成岩作用和孔隙保存条件的复杂性。

1.1　西部物源控制区长 6 砂岩特征

长期以来,普遍认为鄂尔多斯盆地晚三叠世沉积受东北物源和西南物源两大沉积体系控制,其中"崆峒山砾岩"作为边缘相沉积曾成为存在西南部物源的主要证据[4~6],而近年的研究成果揭示分布于崆峒山、策底坡一带的"崆峒山砾岩"向北并未进入鄂尔多斯湖盆,其为盆地边缘局部坳陷沉积,非盆地延长组边缘相沉积[7]。另外,虽在盆地西南缘的崇信汭水河,陇县普陀河、老虎沟及峡口,麟游的澄水河等地均有延长组出露(图 1),但岩矿分析表明,其砂岩岩性总体偏细,碎屑组分中石英、长石和岩屑含量近等,岩屑中火成岩屑和浅变质岩屑相对高、普遍不含白云岩屑。相反,近年在环县、演武、镇原等地区的钻井剖面岩芯揭示,长 6 表现为高含白云岩屑、灰岩屑,贫长

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

收稿日期: 2009-04-07; **收修改稿日期**: 2010-01-08

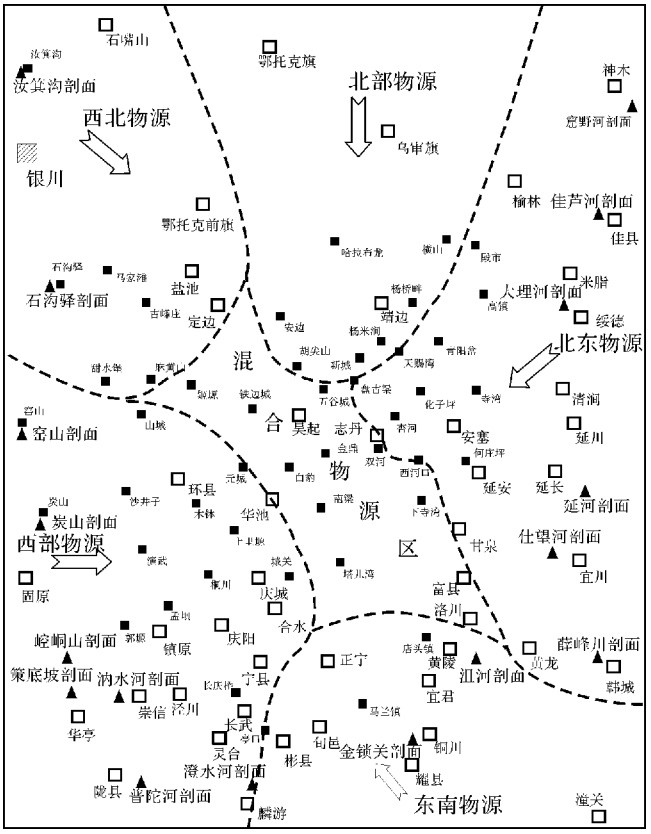


图 1　鄂尔多斯盆地中部长 6 期物源分区图

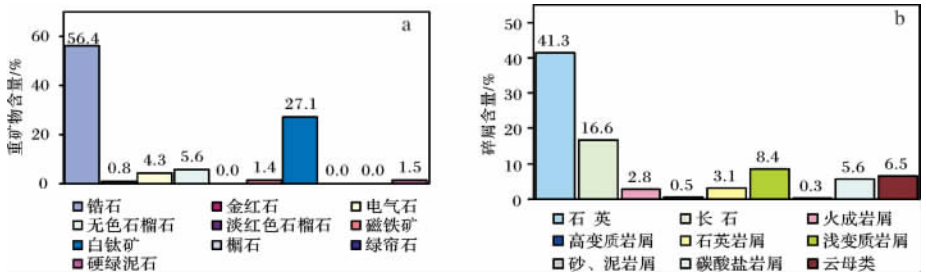
Fig. 1　Provenance directions of Chang 6 period of Yangchang Formation in the center of Ordos Basin

石和高石英的岩矿组合特征，并在演 42、演 43 并发现高含碳酸盐岩岩屑的含砾粗砂岩、砂砾岩。结合区域上在盆地西缘青龙山—三关口一带存在由中上元古界和下古生界碳酸盐岩为主构成的近南北向“古陆梁”蚀源区综合分析，表明盆地西缘确实存在物源区，且西部沉积体系延伸到盆地内部，相对西南沉积体系分布局限、仅分布于盆地西南缘一隅。据此分析，长 6 沉积期盆地西部物源为主要物源区，将西南物源改为西部物源较为合适。

西部物源控制沉积区分布于山城—环县—演武—镇原—合水一带。岩石类型以极细—细粒长石岩屑砂岩为主; 重矿物组合以高锆石、低石榴石，基本不含淡红色石榴石和榍石及白钛矿含量高为特征(图 2a); 碎屑组合具高石英、低长石，普遍含碳酸盐岩屑(白云岩屑为主)和浅变质岩屑偏高特点(图 2b); 填隙物以水云母杂基、铁白云石和硅质为主。其中，山城、环县、演武等地区西部，砂岩富含白云岩屑(>5.7%)、灰岩屑(>0.28%)，岩性偏粗，分选较差和碎屑组分变化较大，反映距离物源区较近。对取心井砂岩薄片镜下统计分析，环县、木钵地区孔隙类型以微孔隙为主，且近半数以上的砂岩面孔率不足 2.0%，粒间孔普遍不发育，只有 1/4 砂岩具相对发育的粒间孔; 孔渗资料表明砂岩物性较差，孔隙度平均 9.36%、渗透率平均 0.23×10^{-3} μm^2。合水地区与环县、山城和演武等地区相比，碳酸盐岩屑降低、浅变岩屑含量略高，岩性偏细，以极细粒—细粒砂岩为主。据合水地区 86 个层段统计，仅有 16 个层段砂岩面孔率达到 2.0% 以上，即砂岩的储集性能普遍较差，粒间孔不发育，孔隙类型以溶孔为主。物性亦为低孔、低渗特征，孔隙度均值为 11.0%、渗透率均值为 0.30×10^{-3} μm^2。

1.2　北东物源控制区长 6 砂岩特征

北东物源控制区为北至天赐湾—盘古梁、东至何庄坪、向南可延伸至宜川—黄龙—韩城一带。岩石类型以细粒岩屑长石砂岩和长石砂岩为主; 重矿物具低锆石、高石榴石、中—低榍石和绿帘石组合，且石榴石以淡红色石榴石为主(图 3a)，指示母岩类型以中高级变质岩为主; 碎屑组合具高长石、低石英，不含碳酸盐岩屑特征(图 3b)，部分井高变质岩屑略高; 填隙物组合以普遍含自生绿泥石薄膜，部分井含自生浊沸石，几乎不含铁白云石和高岭石为特征。据安塞地区砂岩储集性能特征研究，表明砂岩面孔率普遍较高，

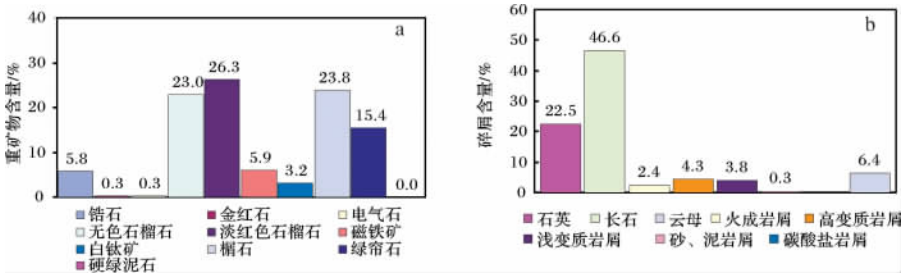


a. 重矿物　　b. 碎屑组分

图 2　西部物源沉积区轻重矿物组合特征图

Fig. 2　Light and heavy mineral combination on sandstone of Chang 6 in the western source depositional area

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



a. 重矿物　　b. 碎屑组分

图 3　北东物源沉积区长 6 砂岩轻重矿物含量图

Fig. 3　Light and heavy mineral combination on sandstones of Chang 6 in the northeastern source depositional area

以粒间孔为主，且部分井具浊沸石溶孔；物性较好，孔隙度平均 12.5%、渗透率分布在 $0.5\times10^{-3}\sim3.0\times10^{-3}$ μm^2。

1.3　西北物源控制区长 6 砂岩特征

西北物源控制区以盆地周缘的汝箕沟、石沟驿露头剖面最为代表，盆地内主要分布于马家滩—古峰庄—定边一带，与西部物源控制区相互过渡，界限难以界定。岩石类型以极细—细粒岩屑长石砂岩为主，长石岩屑砂岩为次。重矿物为高石榴石、中—低锆石和含白钛矿。与西部和北东物源沉积区相比，西北物源沉积区重矿物组合变化大，规律性不明显，局部与西部物源控制的砂岩组分逐渐过渡。砂岩碎屑组合中长石高于石英，岩屑含量低，部分井低变质岩屑略高，并含少量碳酸盐岩屑（图 4）；填隙物中普遍含高岭石，大部分井含绿泥石、方解石、硅质及水云母，偶见铁白云石和网状黏土。对古峰庄—麻黄山等地区典型受西北物源控制区砂岩储集性能分析，表明储集性较好，近 60% 的砂岩面孔率达 2.0% 以上，孔隙度均值为 11.35%、渗透率为 2.1×10^{-3} μm^2。

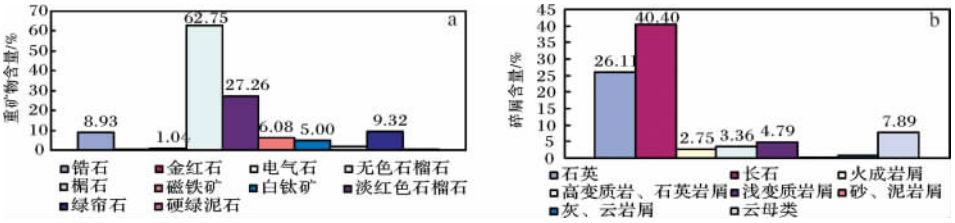
1.4　北部物源控制区长 6 砂岩特征

对盆地北部延长组长 6 沉积特征研究发现，达拉特旗高头窑剖面发育砂砾岩沉积；杭锦旗南部杭参 8 井钻遇灰绿色粗—砾状砂岩夹薄层砾岩及泥质粉砂岩、碳质泥岩和煤线地层；XP4 井见到厚 2.0 m 中—粗粒含浊沸石的麻斑砂岩（在盆地内部长 6 很少见到粗粒砂岩），这表明长 6 沉积期存在北部物源。结合岩矿特征分析，北部物源沉积区分布于胡尖山—新城—杨米涧北部。

北部物源控制区岩石类型以细粒岩屑长石砂岩为主。重矿物组合与北东物源控制区相同的是均具低锆石、高石榴石、并含淡红色石榴石，不同的是基本不含榍石和绿帘石（表 1），与西北物源不同的是，含淡红色石榴石，白钛矿含量低。碎屑组合特征与北东物源控制区相似，长石含量高于石英，岩屑含量低。填隙物中普遍含绿泥石、方解石及硅质，部分井含水云母、浊沸石和网状黏土为特征。据 18 口代表井统计，12 口井面孔率 2.0% 以上，但由于水云母及其它黏土矿物含量高，粒间孔不发育。物性较北东和西北物源沉积区略差，孔隙度平均 10.72%，渗透率平均 1.84×10^{-3} μm^2。

1.5　东南物源控制区长 6 砂岩特征

东南物源沉积在耀县、铜川、旬邑、彬县一带露头剖面大量分布，另近年新钻井资料揭示，正宁、黄陵地区长 6 沉积亦受东南物源控制。



a. 重矿物　　b. 碎屑组分

图 4　西北物源控制区砂岩轻重矿物含量图

Fig. 4　Light and heavy mineral combination on sandstone of Chang 6 in the northwestern source depositional area

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1　北部物源与北东物源长 6 砂岩重矿物组合对比

Table 1　Correlation of heavy mineral combination among north and northeast provenance sandstones

物源	地区	井号	层位	样品数	主要陆源重矿物/%						
					锆金电	无色石榴石	淡红色石榴石	磁铁矿	白钛矿	榍石	绿帘石
北部	新城—杨米涧	新 56	长$_{61}$	1	14.5		85.5				
		新 10	长$_{62}$	1	16.0	69.0	10.0		5.0		
		新 32	长$_{61}$	1	5.5	81.5	10.0		3.0		
		新 7	长$_{61}$	3	8.3	13.5	76.5		1.3		
		杨 115	长$_{61}$	1	23.0	16.0	60.0	1.0			
		杨 115	长$_{62}$	1	15.0	10.0	74.0	1.0			
		杨 22	长$_{61}$	1	6.0	20.0	72.0		2.0		
		新 14	长$_{62}$	1	6.3	21.1	57.9			11.6	3.2
		XP4	长$_{61}$	2	5.3	51.5	30.2		2.5	5.0	5.5
		XP4	长$_{62}$	2	10.3	70.3	17.5		2.0		
		XP5	长$_{62}$	1	13.0	57.0	30.0				
		XP5	长$_{63}$	1	5.0	30.0	50.0			15.0	
北东	天赐湾—大路沟	ZJ9	长$_{61}$	2	10.5	7.9	42.9		0.6	26.6	11.8
		ZJ25	长$_{61}$	3	7.8	15.0	27.8		7.5	25.0	17.0
		杨 10	长$_{61}$	1	2.5	10.0	51.5			30.0	6.0
		杨 5	长$_{61}$	1	8.0	10.0	25.0		2.0	31.0	24.0
		杨 6	长$_{61}$	3	5.4	34.4	16.8		2.4	32.0	9.1
		杨 7	长$_{61}$	1	9.5	20.0	21.5		2.0	32.0	15.0
		ZJ24	长$_{62}$	2	14.5	19.5	21.0		2.0	25.5	17.5
		ZJ35	长$_{62}$	1	10.0	10.0	25.0			35.0	20.0
		杨 5	长$_{62}$	2	4.8	17.5	39.5	0.3	2.5	18.0	17.5
		杨 8	长$_{62}$	1	4.0	20.0	47.0		2.0	27.0	
		杨 5	长$_{63}$	2	6.0	30.0	40.5	0.3	0.8	15.5	6.0
		杨 7	长$_{63}$	1	5.0	15.0	32.0		2.0	36.0	10.0

东南物源控制区长 6 砂岩的岩石类型以灰绿色细粒长石岩屑砂岩为主,部分为岩屑砂岩。砂岩的重矿物具锆石、无色石榴石含量近等,含白钛矿、硬绿泥石和锐钛矿的组合特征,不含淡红色石榴石、榍石和绿帘石。砂岩的碎屑组合中石英含量明显高于长石,浅变质岩屑和碳酸盐岩屑含量偏高,普遍含来自古生界腕足类、三叶虫、有孔虫、叠层藻及管孔藻等海相生物灰岩的碎屑,个别岩样中灰岩碎屑可高达 20% ~ 25%(如碾 1 井 763.3 m,正 9 井 1 094.43 m,耀县聂家河剖面长 6 砂岩)。砂岩的填隙物以方解石和水云母杂基为主,少量绿泥石、高岭石、铁白云石和硅质。因富含碳酸盐岩屑、浅变质岩屑及碳酸盐胶结发育,而粒间孔不发育、以微孔隙为主。储集性能为面孔率低(<2%)、物性差,孔隙度均值 8.6%,渗透率平均 0.16×10^{-3} μm^2。

2　盆地中部混源区砂岩特征

长 6 沉积期,除上述主要物源控制沉积区外,盆地中部东至纸坊—志丹—西河口,西至姬塬、白豹、南梁、塔儿湾一带为受多个方向物源控制的混源沉积区。储集性能表明,混源沉积区砂岩碎屑组合、填隙物组合、成岩作用特征及孔隙发育程度受多物源共同作用,但主要受主控物源的影响。

2.1　纸坊—志丹—西河口一带长 6 砂岩

岩矿特征表明,该区重矿物与北东物源控制区存在差异,锆石含量高,不含北东物源区特有的淡红色石榴石、榍石及绿帘石;碎屑组合虽具长石高于石英,高变质岩屑略高的北东物源特征,但又普遍含西部物源区特征的白云岩屑。结合盆地沉积相研究,认为该区是混源沉积,主控物源为北东物源,次要物源可能是西部物源。储集性能指示砂岩具相对发育的粒间孔,但溶蚀孔不发育,面孔率大于 2.5%。物性较北东物源沉积区差,孔隙度均值为 10.7%、渗透率均值达0.64×10^{-3} μm^2。进一步分析储层微观特征,发现绿泥石膜发育的砂岩粒间孔发育,含网状蚀变黏土砂岩晶间孔相对发育,不稳定岩屑含量高和碳酸盐胶结的砂岩相对致密。

2.2　塔儿湾地区长 6 砂岩

轻、重矿物组合对比分析揭示,该区以西部物源为主、北东物源为次的混源区,且可能受东南物源影

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

响。砂岩碎屑组合是长石略高于石英，且普遍含白云岩屑，重矿物组合为高锆石，低石榴石，但不含北东物源特有的淡红色石榴石和榍石，填隙物中水云母偏高，这表明其与西部物源区关系密切。砂岩孔隙不十分发育，部分具少量粒间孔和长石溶孔，面孔率可达3.0%以上。据对应样品统计，孔隙发育砂岩绿泥石膜发育；孔隙不发育砂岩含高的水云母杂基、碳酸盐及硅质胶结物等，且所含绿泥石呈薄膜状或绒球状。物性资料表明，孔隙度均值为9.5%、渗透率均值为0.11×10^{-3} μm^2，局部地区存在相对高孔、渗区（孔隙度>11.8%、渗透率>0.3×10^{-3} μm^2）。可见，塔儿湾地区受西部和东南物源的综合影响，储集砂岩物性差。

2.3 姬塬地区长6砂岩

重矿物组合以高锆石、低石榴石、低白钛矿为特征，但各井之间差异较大，靠近西部边缘白钛矿含量明显偏高，靠近盆地东北部石榴石含量明显增加，偶见北东物源和北部物源特有的淡红色石榴石、榍石和绿帘石。碎屑组分中长石高于石英，白云岩屑含量变化大，浅变质岩屑含量偏低，总体与西北物源区相似。据此分析，姬塬地区长6沉积主要以西北物源为主，西部物源为次。据28个代表层段统计，1/2以上砂岩面孔率在2.0%以上，平面上砂岩孔隙发育程度差异较大。相对高渗砂岩孔隙类型以粒间孔为主，多数以微孔隙、晶间孔及颗粒溶孔为主。进一步分析揭示微孔隙含量相对较高砂岩具复杂的填隙物组合，粒间孔隙发育的砂岩以具低的杂基含量和绿泥石膜发育为特征，而粒间孔减少的砂岩含大量方解石。对研究区堡子湾、吴仓堡、胡尖山、铁边城等区块的物性资料统计分析表明，孔隙度主要分布范围为8%～13%、渗透率一般介于0.25×10^{-3}～3.0×10^{-3} μm^2。可见，受西部物源的影响，姬塬地区储集砂岩物性相对典型的西北物源和北部物源沉积区差。

2.4 白豹地区长6砂岩

该地区长6砂岩重矿物组合具典型的西部物源区特征，但轻矿物组合中长石含量略高，反映有其他物源的加入。另外，阴极发光资料表明砂岩阴极发光特征与姬塬地区非常接近，均以棕色石英占绝对优势；全岩X衍射资料揭示砂岩中长石种类与西部物源区非常接近，而与北东物源差异较大。虽砂岩中长石含量相对偏高，且填隙物中出现自生绿泥石膜，但重矿物组合中锆石极高，石榴石较低，并不含北东、北部物源特有的淡红色石榴石，仅偶见榍石和绿帘石。综合特征说明白豹地区可能系西部与西北或北部物源混源沉积区。部分出油井段统计表明，白豹地区长6砂岩普遍具一定数量的粒间孔，面孔率在2.5%以上。孔隙度均值达12.0%、渗透率为0.39×10^{-3} μm^2，可见物性较典型的西部物源沉积区好，较典型的西北、北部物源沉积区差。

3 物源对盆地中部长6储集砂岩孔隙发育的影响

3.1 砂岩成熟度对孔隙保存的作用

砂岩成分成熟度和结构成熟度是影响砂岩抗压实能力、孔隙保存条件及孔隙结构的重要因素[8]。对研究区不同物源区砂岩岩屑成熟度（刚性岩屑/塑性岩屑）统计表明，北东物源沉积区岩屑成熟度为0.30，西部、西北、北部和东南物源沉积区岩屑成熟度（0.15～0.21）接近。孔隙特征揭示北东物源沉积区砂岩面孔率普遍较高、均值达5.4%，且以粒间孔为主；而西部物源控制区及以西部物源为主的混源区砂岩面孔率普遍偏低、均值为2.2%，粒间孔不发育、以微孔隙为主。这表明砂岩成熟度高提高了砂岩抗压实能力，使孔隙保存条件相对较好；反之，抗压实能力偏低，孔隙保存条件相对较差，砂岩的物性相对偏低。

3.2 填隙物成分对孔隙发育程度的影响

自生绿泥石膜、斑状分布的自生方解石、浊沸石及部分加大边状自生长石可增强抗压实作用能力，特别是等厚的绿泥石膜的分期生长习性可不断增加岩石的抗压性来平衡不断增加的上覆地层压力，使砂岩的原生粒间孔隙得以保存[9]，但填隙物以水云母杂基为主时砂岩易被压实。

研究区填隙物的分布明显受沉积物源的控制，相应孔隙发育程度与沉积物源关系紧密（表2）。自生绿泥石膜主要分布在北东、北部和西北物源控制的沉积区，其砂岩常具相对发育的粒间孔、物性好；铁白云石主要分布在西部物源控制的沉积区，据镜下分析，其常沿白云岩屑周边生长或充填孔隙、很少溶蚀，致使原生粒间孔隙大量减少；浊沸石主要分布在北东和北部物源控制的沉积区，含浊沸石的砂岩常发育浊沸石溶孔，其孔隙度亦发育；高岭石主要分布在西北物源沉积区，对比表明富含高岭石的砂岩晶间孔发育，常具相对高的孔隙度；水云母杂基主要分布在西部物源沉积区，相应富含水云母杂基的砂岩孔隙保存条件差，粒间孔不发育。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　鄂尔多斯盆地中部长 6 期不同物源区砂岩填隙物组合及物性特征

Table 2　Characteristics of sandstone interstitial matrix and property of Chang 6 in the center of Ordos Basin

物源区	主要填隙物/%							孔隙特征/%			物性特征	
	高岭石	水云母	绿泥石	方解石	铁白 云石	硅质	浊沸石	网状 黏土	粒间孔	面孔率	孔隙度/%	渗透率/10^{-3} μm^2
西部	部分井含	5.8	少量	2.3	4.2	2.3		0.7	1.3	2.2	9.4	0.23
北东	0.0	0.7	6.2	1.9	0.1	1.6	3.1	0.9	0.9	5.4	12.5	0.50～3.00
东南	部分井含	2.5	部分井含	3.6	0.7	1.5		0.4	1.2	2.0	8.6	0.16
北部	1.4	2.5	3.4	3.3	0.0	1.7	3.7	1.8	1.8	2.8	10.7	1.84
西北	4.7	1.2	3.4	4.6	0.5	2.2		1.2	1.7	3.1	11.3	2.10

表 3　黄 26 井长 6 砂岩组分纵向变化特征

Table 3　Characteristics of vertical sandstone component of Chang 6 , Well Huang26

深度/m	主要陆源碎屑/%									主要粒径
	石英	长石	火成岩屑	高变质岩屑	石英岩	浅变质岩屑	泥岩	白云岩	云母	/mm
2459.03	37.00	17.40	4.00	1.00	5.00	12.40	0.60	3.80	5.20	0.10～0.25
2459.15	28.80	18.60	5.20	1.40	4.40	12.80	0.20	3.40	4.00	0.10～0.25
2461.60	34.80	16.60	2.20	1.20	5.00	15.80	0.40	3.60	3.00	0.08～0.20
2461.90	35.60	18.00	4.00	2.60	4.80	15.00	0.00	3.40	3.60	0.08～0.25
2463.50	28.60	21.60	5.80	3.00	5.00	17.20	0.40	2.00	7.00	0.10～0.25
2468.50	23.00	34.00	1.60	0.60	0.80	4.40	0.40	0.80	14.00	0.04～0.15
2472.33	23.40	40.20	1.60	2.20	1.60	4.80	0.40	0.00	7.00	0.08～0.20
2475.30	24.60	38.20	2.40	2.00	1.40	5.20	0.60	1.60	8.20	0.05～0.15
2476.70	27.40	32.60	1.00	1.40	1.60	5.40	0.20	0.80	10.20	0.05～0.18

3.3　碎屑组分和填隙物组合对孔隙发育的控制作用

研究表明,以西部物源为主时,砂岩普遍含水云母杂基和铁白云石组合,但当有北东或西北物源加入时,砂岩中长石含量明显增加,填隙物中亦出现绿泥石或高岭石,因此在混源区,同一口井、同一小层的不同井段,因主控物源的差别,砂岩的碎屑、填隙物组合不同致使孔隙发育程度及孔隙类型存在明显差异。从表 3 可见,盆地中西部的长 6 储集体在 2 463.5m 之上,砂岩中石英高于长石,火成岩屑、石英岩屑、浅变质岩屑及白云岩屑含量均明显偏高,故其可能主要受西部物源控制; 而 2 463.5 m 之下,长石高于石英、不稳定岩屑含量明显偏低、粒度偏细,因此,碎屑沉积物可能主要来自西北物源。对孔隙特征研究表明,以西部物源为主的 2 463.5 m 之上,砂岩因富含白云岩等不稳定岩屑及铁白云石和硅质含量增高,孔隙类型除粒间孔和长石溶孔外,另发育岩屑溶孔,但总体砂岩孔隙度发育差; 当以西北物源为主的 2 465.5 m 之下因碳酸盐岩屑含量偏低,碳酸盐胶结物亦偏低,且普遍含高岭石,另长石含量高于石英,致使长石溶孔、晶间孔较为发育,致使储集性能相对变好。

3.4　砂岩粒径对孔隙发育程度的控制

寿建峰等对砂岩孔隙发育控制因素的研究发现,砂岩粒径与孔隙度和渗透率之间有良好的正相关性,在其它条件相似的情况下,砂岩粒径的变细会使成岩作用增强,原生粒间孔隙的发育程度变差[10]。已有研究对延长组不同粒度砂岩渗透率分布频率的统计发现,细砂岩的孔隙度和渗透率普遍好于粉砂岩[5],且渗透率 $>0.2\times10^{-3}$ μm^{2}的砂岩以细砂岩为主。长 6 期不同方向物源控制的沉积物粒度特征表明,北东物源控制区长 6 砂岩平均粒径相对偏高,相应储集砂岩物性较好,砂岩面孔率较高(>2.5%) 、粒间孔较发育; 而以西部物源为主的沉积区长 6 砂岩粒度相对偏细,其砂岩储集性能普遍较差,粒间孔不发育、面孔率多小于 2.0%。另外,对北东物源控制的安塞地区延长组渗透率 $>5\times10^{-3}$ μm^{2}的储集砂岩分析结果表明,随着粒径增大,高渗砂岩的分布频率越高。

3.5　成岩作用对孔隙发育度的影响

碎屑岩储集层储集性能除受沉积因素控制外,而成岩作用是影响储集性能好坏的最主要因素,且成岩作用对储层孔隙发育的控制是受沉积因素的继承性影响所致,即原始沉积组分是控制砂岩成岩作用的内在因素[8]。对盆地长 6 储集砂岩孔隙演化史分析表明,初始孔隙度除近物源沉积区外,盆地内差异不大、平均为 34.4%,其压实(压溶) 作用对砂岩孔隙度减少起主导作用(压损孔均值达 17.5%) 、其次为胶结

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

作用(胶损孔均值达7.4%)。上已述及长6沉积期,湖盆中部储集砂岩受多方向物源的控制使原始沉积组分不同,因而不同物源沉积区成岩作用差异明显,致使砂岩孔隙发育度不同。如受西部物源控制的长6砂岩,不稳定岩屑相对较高、水云母杂基高、长石含量低,机械压实及压溶作用强(压损孔达19.0%),相应粒间孔普遍不发育、均值仅为1.3%;而北东物源沉积区,长6砂岩不稳定岩屑和杂基含量低、长石含量高,因而砂岩抗压实能力高,压损孔最小(均值为16.7%)、相应粒间孔较为发育、均值达3.9%。此外,不同方向物源控制区沉积物由于原始组分的差异,造成绿泥石、高岭石、浊沸石、硅质及铁白云石等成岩矿物组分及组合亦不同,特别是形成于早成岩阶段的绿泥石含量受物源的控制作用最为明显。已有研究表明,绿泥石膜不仅可以降低压实对孔隙的缩小和减少,而且可以阻止碎屑颗粒与孔隙水之间发生离子交换而产生新矿物充填孔隙[11],由表2可见,北东物源沉积区绿泥石膜最为发育、西北和北部物源沉积区次之,相应北东物源沉积区物性最好,这说明其有效地保存了原生粒间孔隙;浊沸石的分布规律较为明显,主要分布于北部和北东物源沉积区,统计表明,靖边—安塞地区长6砂岩浊沸石溶蚀率达80%以上、溶蚀孔>0.5%,可见次生孔隙的发育有效地改善了储集性能[12];而高岭石、水云母和铁白云石等成岩矿物亦受物源的控制作用明显,其为破坏性成岩作用、常充填粒间孔隙,堵塞吼道[13],其与物性成负相关性。

综上所述,物源对盆地延长组长6储集层孔隙发育的控制作用明显。受沉积、成岩作用的共同作用,不同物源区成岩强度、成岩矿物组分及含量差异较大,北东物源区由于相对粗的沉积粒度、砂岩高成熟度及高含量的绿泥石膜胶结和浊沸石普遍溶蚀作用形成了粒间孔、溶蚀次生孔隙发育的相对高孔、渗储集层;西北部和北部亦因绿泥石膜的环边胶结作用,相应有效地改善了储层的物性、物性较好;西部物源区由于高含量的铁白云石、水云母胶结作用与低岩屑成熟度的共同影响,使储集层粒间孔普遍不发育、物性差;东南物源区由于高含量的碳酸盐岩岩屑、水云母、方解石的影响,压实、胶结作用较强,粒间孔不发育、以微孔隙为主、物性最差。

4 结论

(1)鄂尔多斯盆地中部延长组长6沉积期,存在北东、西部、西北、北部及东南等多个方向物源区。不同物源控制区长6砂岩粒径、碎屑组分、重矿物组合和填隙物组分不同。

(2)盆地中部存在受多物源控制的混源沉积区。混源区砂岩碎屑组分、填隙物组合及孔隙类型变化均相对复杂,但砂岩储集性能主要受主控物源的影响。

(3)长6储集砂岩孔隙发育程度受到砂岩成熟度、粒径、碎屑组分、填隙物类型和组合、成岩作用等因素的控制。其中砂岩粒径、成熟度、碎屑组分及填隙物类型和组合以及成岩作用均受物源的控制,不同方向物源控制区砂岩孔隙发育程度和类型差异较大。

致谢 承蒙审稿专家提出了重要的修改意见及编辑给予指点使笔者受益非浅,岩矿鉴定、分析测试由长庆油田公司勘探开发研究院分析试验中心完成,谨此致谢。

参考文献(References)

1 王世虎,焦养泉,吴立群,等.鄂尔多斯盆地西北部延长组中下部古物源与沉积体空间配置[J].地球科学-中国地质大学学报,2007,(32)2:201-207[Wang Shihu, Jiao Yangquan, Wu Liqun, *et al*. Spatial combination of paleoprovenance and depositional lobe of Mid-Lower Yanchang Formation in the Northwest of Ordos Basin[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences,2007,(32)2:201-207]

2 郭艳琴,李文厚,胡友洲,等.陇东地区上三叠统延长组早中期物源分析与沉积体系[J].煤田地质与勘探,2006,34(1):1-4[Guo Yanqin,Li Wenhou,Hu Youzhou, *et al*. Source analysis and depositional systems of Upper Triassic early and mid-term Yanchang Formation in Longdong area[J]. Coal Geology & Exploration,2006,34(1):1-4]

3 王峰,田景春,张锦泉,等.鄂尔多斯盆地姬塬—胡尖山地区长6油层组的物源和优质储层分析[J].天然气地球科学,2006,17(6):16-17[Wang Feng, Tian Jingchun, Zhang Jinquan, *et al*. Source analysis and favorable reservoir distribution of Chang 6 Formation in Jiyuan-hujianshan area[J]. Natural Gas Geoscience,2006,17(6):16-17]

4 李克勤.陕甘宁盆地晚三叠世的三角洲[J].沉积学报,1986,4(1):86-95[Li Keqin. Later Triassic deltas in Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin[J]. Acta Sedimentoligica Sinica,1986,4(1):86-95]

5 武富礼,李文厚,李玉宏,等.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J].古地理学报,2004,6(3):308-315[Wu Fuli, LI Wenhou, LI Yuhong, *et al*. Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography,2004,6(3):308-315]

6 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].古地理学报,2005,7(1):34-44[Fu Jinhua, Guo Zhengquan, Deng Xiuqin. Sedimentary facies of the Yangchang Formationg of Upper Triassic and petroleum geological implication in southwestern Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography,

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2005,7(1): 34-44]

7 张涛,贺静,蔺昉晓,等. 崆峒山砾岩的分布特征及其石油地质意义[J]. 西北大学学报: 自然科学版,2006,36(增刊): 151-155 [Zhang Tao, He Jing, Lin Fangxiao, *et al*. The distribution characteristics of Kongtong Mountain conglomerate and geological meaning of petroleum [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition,2006,36 (suppl.): 151-155]

8 寿建峰,张惠良,斯春松,等. 砂岩动力成岩作用[M]. 北京: 石油工业出版社,2005: 26-68 [Shou Jianfeng, Zhang Huiliang, Si Chunsong, *et al*. Dynamic Diagenesis of Sandstone [M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2005: 26-68]

9 黄思静, 谢连文, 张萌. 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 [Huang Sijing, Xie Lianwen, Zhang Meng. Formation mechanism of chlorite in Triassic continental sandstone in China and its effect and protection on reservoir rocks [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2004, 31(3): 273-281]

10 寿建峰, 张惠良, 沈扬. 库车前陆地区吐格尔背斜下侏罗统砂岩成岩作用及孔隙发育的控制因素分析[J]. 沉积学报,2007,25 (6): 869-874 [Shou Jianfeng, Zhang Huiliang, Shen Yang. The analysis of controlling factors on sandstone diagenesis and porosity preservation of Lower Jurassic in Tugerning antincline, Kuqa foreland basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica,2007,25(6): 869-874]

11 朱平, 黄思静, 李德敏, 等. 黏土矿物绿泥石对碎屑储集岩孔隙的保护[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版,2004,31(2): 153-156 [Zhu Ping, Huang Sijin, Li Demin, *et al*. Effect and protection of chlorite on clastic reservoir rocks [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2004,31(2): 153-156]

12 杨晓萍,裘怿楠. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组浊沸石的形成机理、分布规律与油气关系[J]. 沉积学报,2002,20(4): 628-632 [Yang Xiaoping Qiu Yinan. Formation process and distribution of laumontite in Yanchang Formation (Upper Triassic) of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002,20(4): 628-632]

13 常兴浩,张枝焕,李艳霞,等. 黄骅坳陷三马地区中深层孔隙发育及主控因素分析[J]. 地球学报,2005,26(1): 76-80 [Chang Xinghao,Zhang Zhihuan,Li Yanxia, *et al*. Distribution characteristics of pores in medium-deep clastic reservoir rocks of Sanma Area, Huanghua depression and its controlling factors [J]. Acta Geoscientica Sinica,2005,26(1): 76-80]

Effects of Provenance on Porosity Development of Chang 6 Sandstone of the Yanchang Formation in the Center of Ordos Basin

HE Jing　FENG Sheng-bin　HUANG Jing　YUAN Xiao-qi　HAN Peng　LI Ting-yan

(1. Research Institute of Exploration and Development of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an　710018;
2. National Engineering Laboratory of Exploration and Development of Low-Permeability Oil-Gas Fields, Xi'an　710018)

Abstract　Chang-6 reservoir is the leading pay formation of the Yanchang Formation in the center of Ordos basin, but reservoir quality of genetic sandbodies shows a big difference in horizontal. By studying the light and heavy mineral combination characteristics of chang-6 reservoir sandstone and typical outcrops, it is believed that there exist five main source directions of the west, northeast, northwest, north and southeast in the depositional period of chang-6 oil-bed of Yangchang Formation in the center of Ordos basin. The characteristics of the light and heavy mineral combination, interstitial matrix and diagenetic mineral of chang-6 reservoir sandstone controlled by different source directions were different. In addition, there exist some mixed sources areas which were converged by the west, northeast, northwest, north and southeast sources. The characteristics of light and heavy mineral combination, interstitial matrix, diagenetic mineral and porosity of its reservoir were affected by the main source. The controlling factors of the sandstone reservoir porosity development of Chang 6 include the sandstone maturity, grain size, detritus composition, interstitial matrix and diagenesis. The reservoir porosity is closely related to the various provenances. As a result, porosity distribution is predictable.

Key words　Ordos basin; provenances; Chang-6 oil-bed of Yangchang Formation; porosity

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net