

石南地区侏罗系西山窑组碎屑岩 储层主控因素分析

李彦举^{1,2}, 郭晖^{1,2}, 牛斌^{1,2}, 张顺存¹, 鲁新川¹

(1. 甘肃省油气资源研究重点实验室, 中国科学院油气资源研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:通过电镜扫描、铸体薄片和 X 射线等技术手段, 结合录井和测井资料, 研究了石南地区西山窑组碎屑岩储层的岩石学特征、孔隙类型、沉积环境和成岩作用等, 并分析了储层物性的主控因素, 指出了优质储层的分布区域, 为后期油田勘探开发提供了理论指导。研究表明西山窑组储层发育于辫状河三角洲前缘, 以三角洲前缘水下分流河道微相为主, 岩性以灰色或灰绿色的细砂岩和中砂岩为主, 孔隙类型以剩余粒间孔、原生粒间孔和粒间溶孔为主, 属于中孔低渗储层; 成岩作用中压实作用和胶结作用对储层物性起破坏作用, 分别造成原生孔隙的损失约在 30%~70% 和 5%~30%, 溶蚀作用形成的次生孔隙占整个孔隙空间的 30% 左右, 起建设性作用; 储层物性主要受控于其沉积环境, 成岩作用的对储层物性的控制作用较小, 优质储层分布在辫状河三角洲前缘水下分流河道微相中。

关键词:石南地区; 储层物性; 沉积特征; 成岩作用; 主控因素

中图分类号: TE122.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2017)02-0028-09

Main Controlling Factors of Clastic Reservoir in Jurassic Xishanyao Formation, Shinan Area

LI Yanju^{1,2}, GUO Hui^{1,2}, NIU Bin^{1,2}, ZHANG Shuncun¹, LU Xinchuan¹

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources, Gansu Province/ Key Laboratory of Petroleum

Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences,

Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100049, China)

Abstract: Combined with geology logging and well logging data, the petrological characters, pore types, sedimentary environment and diagenesis of clastic reservoir in Xishanyao Formation have been studied by SEM, casting thin sections, X-ray diffraction, and then the main controlling factors of this clastic reservoir have been analyzed, the high-quality reservoir distribution has been cleared, providing theoretical guide for further exploration and development. The results show that the Xishanyao Formation reservoir was developed in braided delta front, with underwater distributary channel facies as its main microfacies, being dominated by gray or celadon fine and medium sandstone, while its pore types contain residual intergranular pore, primary intergranular

收稿日期: 2017-01-24; **修回日期:** 2017-03-17

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(编号 41503048)资助

作者简介: 李彦举(1989-), 男, 甘肃会宁人, 博士研究生, 主要从事油气地质学和沉积学研究。E-mail: liyanju@lzb.ac.cn

pore and intergranular solution pore, belonging to medium porosity and low permeability formation. The reservoir characteristics were destroyed by compaction and cementation during the diagenesis, reducing about 40%~70% and 5%~30% of primary pores, irrespectively; The secondary pores formed by the dissolution is constructive and take up 30% of the whole pores. Reservoir characteristics are mainly controlled by sedimentary environment compared to diagenesis; The high-quality reservoir is distributed in the underwater distributary channel microfacies of braided delta front.

Keywords: Shinan area; reservoir characteristic; sedimentary characteristic; diagenesis; main controlling factors

储层物性特征及主控因素一直是储层研究的焦点和核心,所有沉积储层的形成和发育均受控于其物源(蔡来星等,2012)、沉积环境(蒋凌志等,2004)和成岩作用(王卓卓等,2008),并且这三者之间相互影响。但是不同的地区,甚至同一地区的不同层位,这三种因素的影响程度不尽相同。准噶尔盆地石南油田位于盆地腹部古尔班通古特沙漠腹地,隶属于新疆油田公司石西作业区,其构造主体是陆梁隆起上的二级构造单元基东鼻凸,基东鼻凸为一向南西倾没的鼻状凸起,北抵三个泉凸起,南西倾伏端与达巴松凸起相连伸入盆1井西凹陷生烃区,区域构造位置十分有利,勘探潜力巨大(何登发等,2008)。自1996年石南4井获得工业油流以来,基东鼻凸已发现多个岩性油气藏,面积152.8 km²,探明石油储量5 688.65万t,天然气6.48亿m³;控制石油储量867万t,其目标层段主要包括侏罗系八道湾组(J₁b)、三工河组(J₁s)、西山窑组(J₂x)和头屯河组(J₂t)。20年来专家学者对其展开了大量的研究,从内容上看,主要集中在油气成藏运移(任小军等,2009;刘文锋等,2015)和沉积体系上(任朝波等,2014),对砂体发育条件、相带的空间展布规律和沉积微相的划分的研究不够深入。从层位上看,主要集中在白垩系清水河组(高崇龙等,2016;靳军等,2016),缺少对侏罗系头屯河组和西山窑组的成岩作用、沉积特征和主控因素等的研究。笔者通过电镜扫描、铸体薄片和X射线等技术手段,结合录井和测井资料,研究了石南地区西山窑组碎屑岩储层的岩石学特征、孔隙类型、沉积环境和成岩作用等,并分析了储层物性的主控因素,指出了优质储层的分布区域,为后期油田勘探开发提供了理论指导。

1 储层特征研究

1.1 岩石学特征

石南地区侏罗系西山窑组储层分布稳定,与下伏侏罗系三工河组储层整合接触,与上覆侏罗系头屯河组不整合接触。498个样品的统计显示,西山窑组岩性以灰色和灰绿色的细砂岩(43%)、中细砂岩(16%)和中砂岩(16%)为主,还有少量的粗砂岩(8%)、粉细砂岩(6%)和不等粒砂岩(6%)等(图1a)。砂岩分选中等,磨圆中等,以硅质和泥质胶结为主。根据Folk砂岩分类方案,砂岩以长石岩屑砂岩和岩屑砂岩为主,成分成熟度低(图2)。

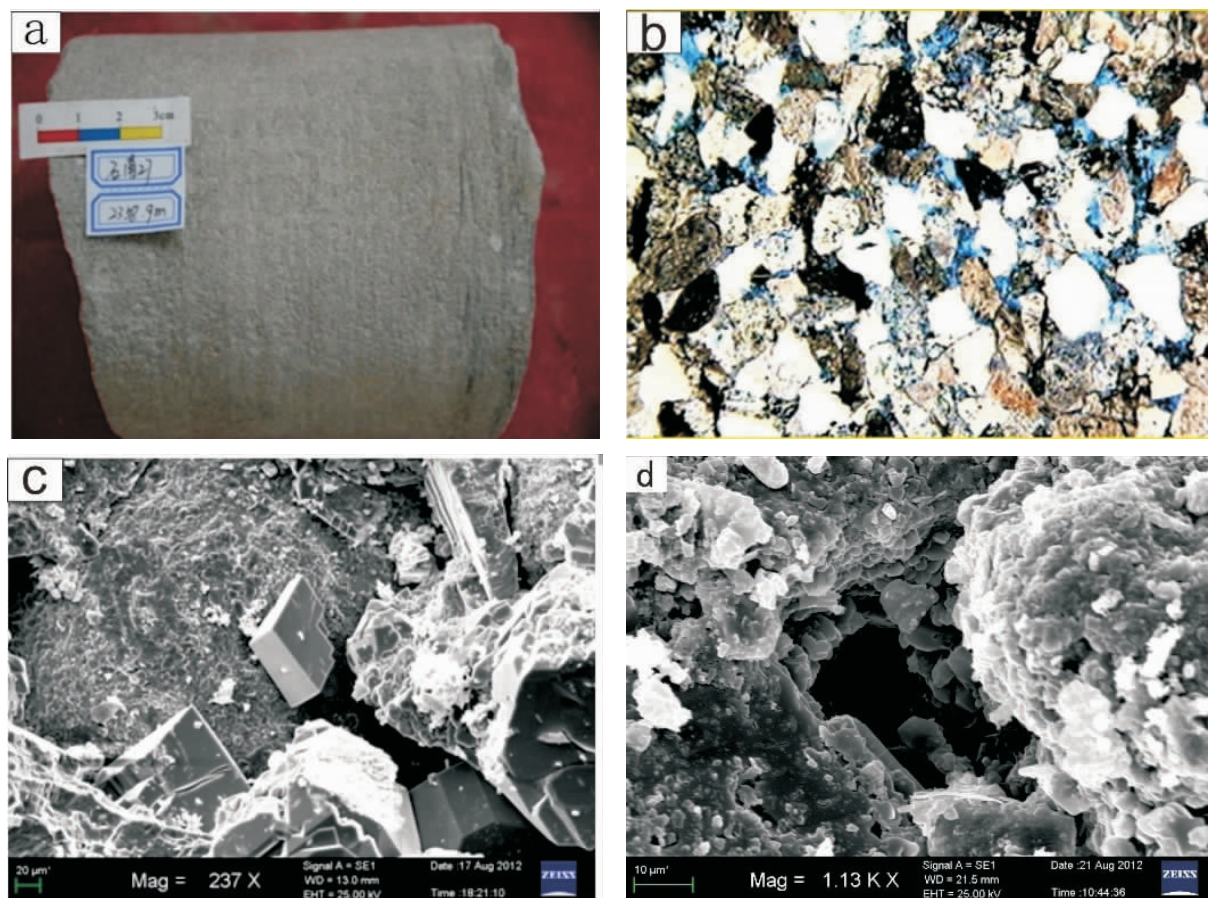
1.2 储层孔隙类型

储层储集空间类型是影响孔隙度和渗透率的最直接的因素。西山窑组储层498块孔隙度样品的统计显示,孔隙度最小值为2.4%,最大值为19.81%,平均值为12.92%,中值为13.06%,大多数孔隙度分布范围为10%~18%;494块渗透率样品的统计显示,该组储层的渗透率最小值为 $0.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大值为 $585 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $2.86 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中值为 $2.58 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,大多数样品的渗透率分布范围为 $0.63 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中孔低渗储层(图3)。铸体薄片鉴定结果显示储层孔隙类型以剩余粒间孔、原生粒间孔和粒间溶孔为主,占整个储集空间的70%以上(图4)。

2 沉积环境特征研究

2.1 单井相特征

单井相特征的精细刻画是区域沉积相研究的基



a. 石南 27 井, 2 358.9m, J_2x , 灰色中砂岩; b. 石南 23 井, 2 325.55m, J_2x , 点一线接触为主, 压实作用中等, $\times 40$, 铸体;
c. 石 204 井, 2 531.26m, J_2x , 粒间充填的含铁方解石, 扫描电镜; d. 石 204 井, 2 673.84m, J_2x , 粒间溶孔, 扫描电镜

图 1 石南地区西山窑组储层岩石学特征和成岩作用特征图

Fig. 1 Petrologic and diagenesis characteristics of Xishanyao Formation of Shinan zone

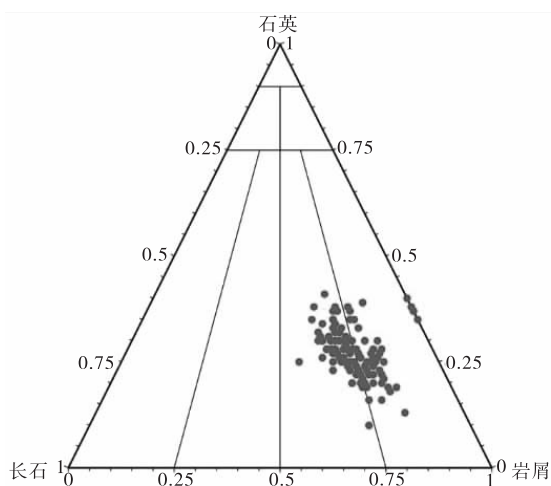


图 2 石南地区侏罗系西山窑组砂岩分类图

Fig. 2 Classification of sandstone of Jurassic Xishanyao Formation

础, 笔者选取研究区重点探井石南 8 井进行单井相特征分析(图 5)。由西山窑组(2 663.2~2 669.5m)岩心观察可知, 2 663.2~2 666.2m 为灰色-灰白色中-粗砂岩, 可见波纹层理和块状层理, 岩石磨圆好, 分选好。2 666.2~2 669.6m 为黄灰色中砂岩, 含大量植物碎屑, 可见波纹层理和平行层理。沉积相为辫状河三角洲前缘水下分流河道微相。

2.2 剖面相特征

笔者选取石 102-石 205-石 204-石 212-石 107-石 115-石南 29 井连井剖面进行描述, 该剖面位于研究区北部, 东西走向。从连井剖面可以看出, 研究区西山窑组储层厚度由西向东先逐渐变薄再变厚, 在石 107 和石 115 井区厚度最小。储层发育于辫状河三角洲前缘亚相, 水下分流河道和分流河道间砂体交替叠置, 厚度大致相当(图 6)。

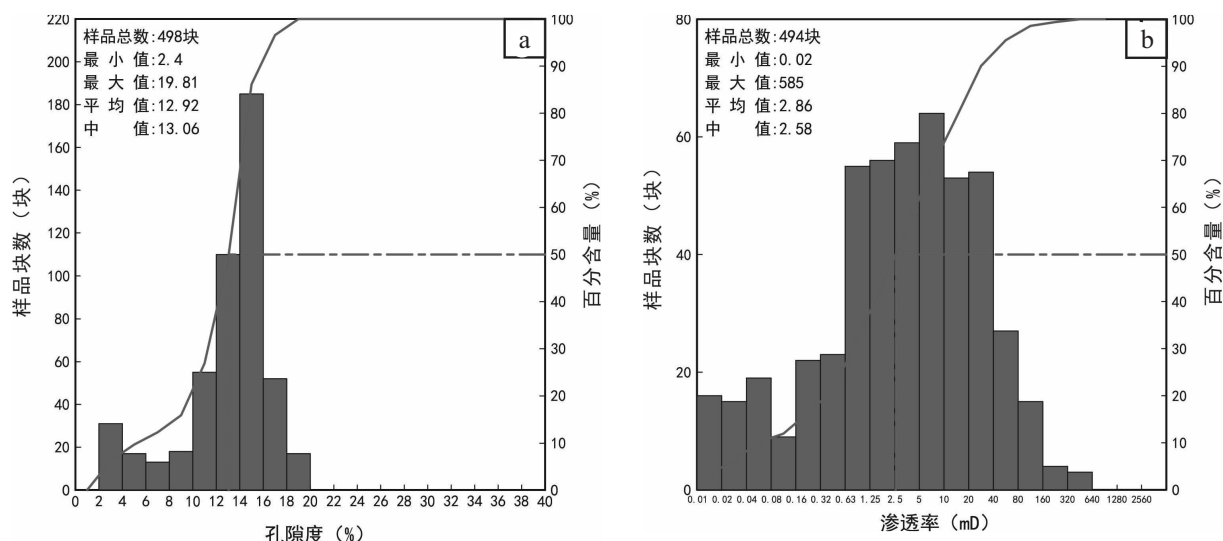


图3 (a)石南地区侏罗系西山窑组储层孔隙度和(b)渗透率分布直方图

Fig. 3 (a)Porosity and (b) permeability of Jurassic Xishanyao Formation reservoir of Shinan area

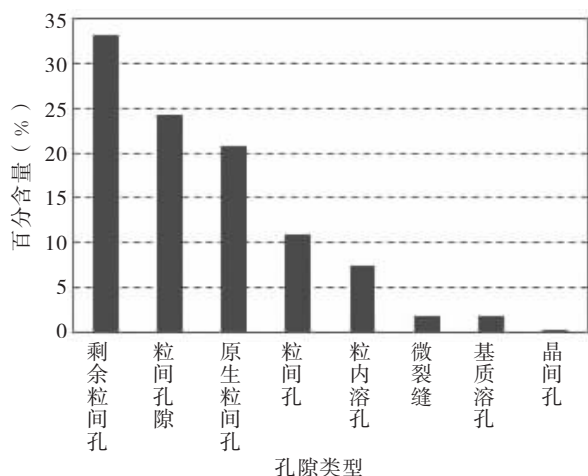


图4 研究区西山窑组储层孔隙空间类型图

Fig. 4 Pore types of Xishanyao Formation of Shinan area

2.3 平面相特征

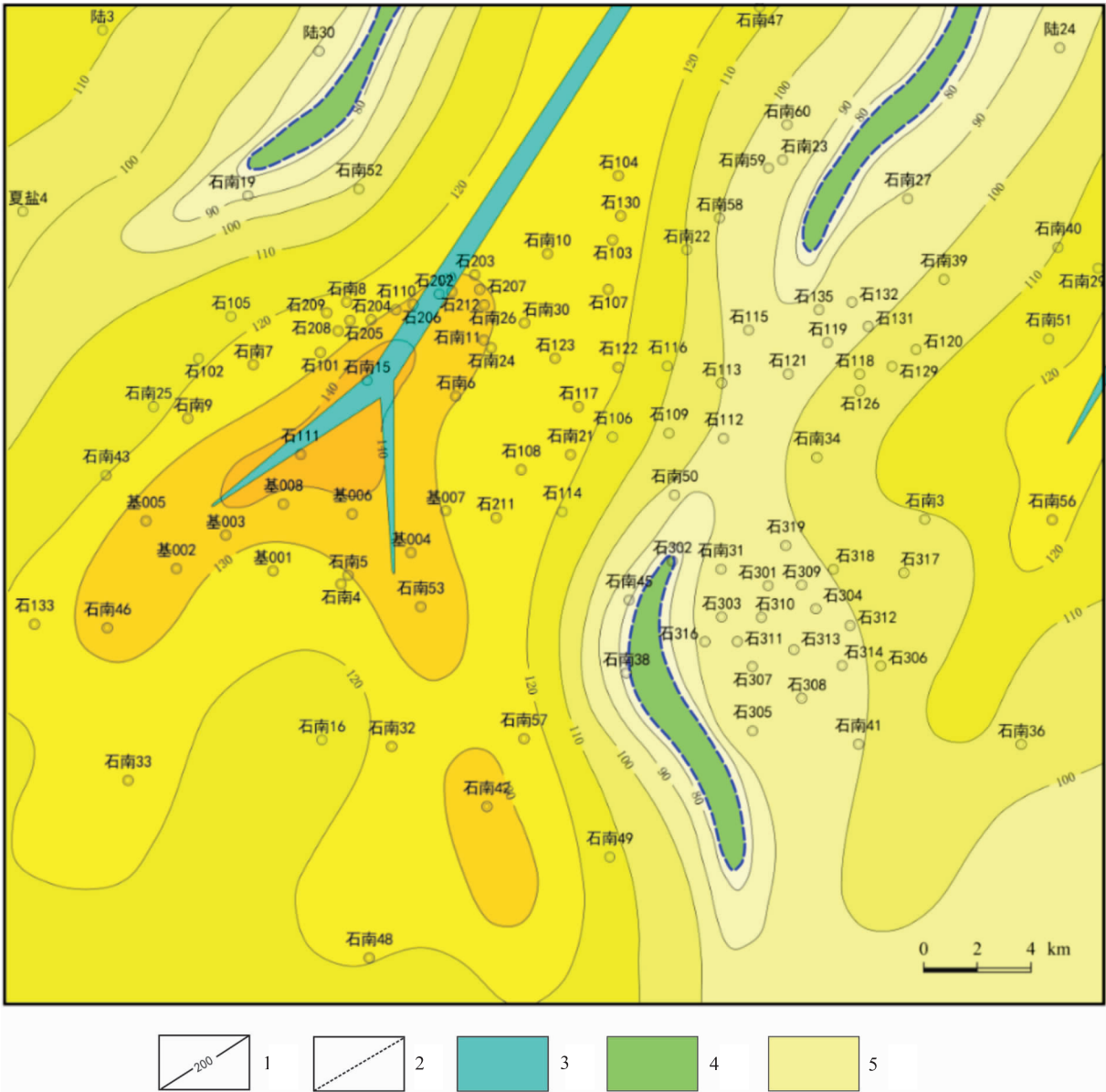
西山窑组储层物源来自东北部,主要发育辫状河三角洲前缘亚相,岩性主要为灰色中细粒砂岩(属前缘水下分流河道微相),夹灰色粉砂岩或粉砂质泥岩(属水下分流河道间微相)。砂体在石南11-石南15-基008井区厚度较大,在石南27-石南112-石南31-石南38井区厚度明显变小;厚度大于80m的砂体主要分布为辫状河三角洲前缘亚相水下分流河道微相,水下分流河道间砂体厚度小于80m的主要分布在研究区的西北部陆30井、石南19井和石南52井之间,东北部石南23井、石南135井和石南25井之间,东南部石南302井、石南38井和石南316井之间(图7)。

3 成岩作用对储层物性的影响

广义的碎屑岩成岩作用是指碎屑沉积物沉积后转变为沉积岩直至变质作用以前或因构造运动重新抬升到地表遭受风化以前所发生的一切作用(朱筱敏等,2008)。通过对准噶尔盆地腹部侏罗系西山窑组砂岩储层成岩作用过程与储层储集空间类型、储层物性关系的研究,结果表明该区储层的孔隙演化主要与压实作用、胶结作用和溶蚀作用有关。在研究区,压实作用和方解石的胶结作用是使原生孔隙遭受破坏的主要成岩作用类型;方解石和黏土矿物的溶蚀作用是形成次生孔隙的主要成岩作用类型;高岭石的后期充填是使次生孔隙遭受破坏的主要原因,各种成岩作用的时空配置关系控制着孔隙的发育程度。

3.1 压实作用

压实作用是碎屑沉积物沉积后在上覆水体和沉积层的压力下发生孔隙度降低、体积缩小的作用,在沉积物埋藏的早期比较发育。石南地区西山窑组储层压实作用主要表现为碎屑颗粒之间大量的点接触-线接触现象(图1b),从孔隙度与深度关系图上可以看出,2300~3100m范围内,孔隙度和深度的关系不明显,表明压实作用对储层物性的影响有限(图8),这是因为研究区西山窑组砂体主要发育于辫状河三角洲前缘分流河道微相,水流淘洗作用较强,碎



1. 砂体厚度等值线;2. 沉积微相界限;3. 河流;4. 水下分流河道间;5. 水下分流河道

图 7 研究区西山窑组平面相图

Fig. 7 Plane graph of sedimentary facies of Xishanyao Formation

屑岩中泥质杂基的含量较低,碳酸盐类胶结物较发育,削弱了压实作用对储层物性的影响。

3.2 胶结作用

胶结作用是碎屑岩沉积物能够转变成坚硬岩石的最重要的作用,也是影响储层物性的关键因素之一。石南地区西山窑组储层胶结作用现象主要有粒间孔隙中可见含铁的方解石和高岭石等(图 1c),并存在石英次生加大。研究区胶结物类型非常丰富,主要有碳酸盐类胶结物、硫酸盐类胶结物、铁质胶结

物和硅质胶结物。研究区储层中碳酸盐胶结物最为常见,且含量较高,方解石占 9%,是研究区最主要的碳酸盐类胶结物,呈孔隙式连晶胶结,结晶程度高,多分布在点接触的颗粒间,是早成岩阶段的产物,铁方解石约占 5%,铁白云石占 3%,还有少量的菱铁矿呈核状分布。硫酸盐类胶结物主要是重晶石(3%)和硬石膏(1%),它们的存在表明在成岩晚期流体介质中出现硫酸盐饱和和沉淀的阶段。铁质胶结物和硅质胶结物的含量都较少,不超过 1%。

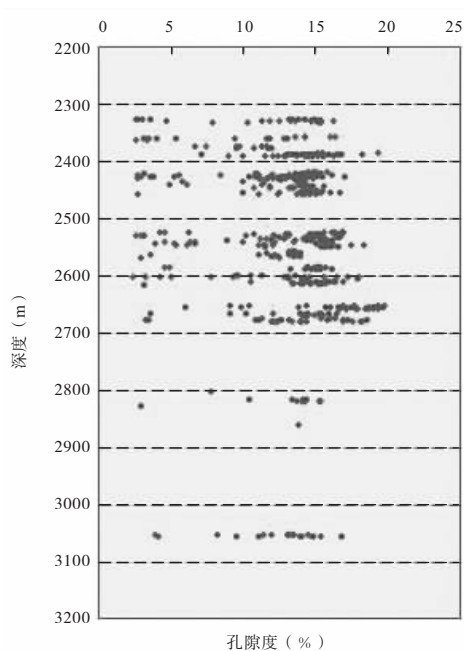


图 8 石南地区西山窑组储层孔隙度和深度关系图

Fig. 8 Relationship between porosity and depth

从压实作用和胶结作用对储层物性影响评价图上可以看出,压实作用造成的原始孔隙的损失约在 30%~70%,胶结作用造成的原始孔隙损失约在 5%~30%,并且不同样品之间的差距较大(图 9)。

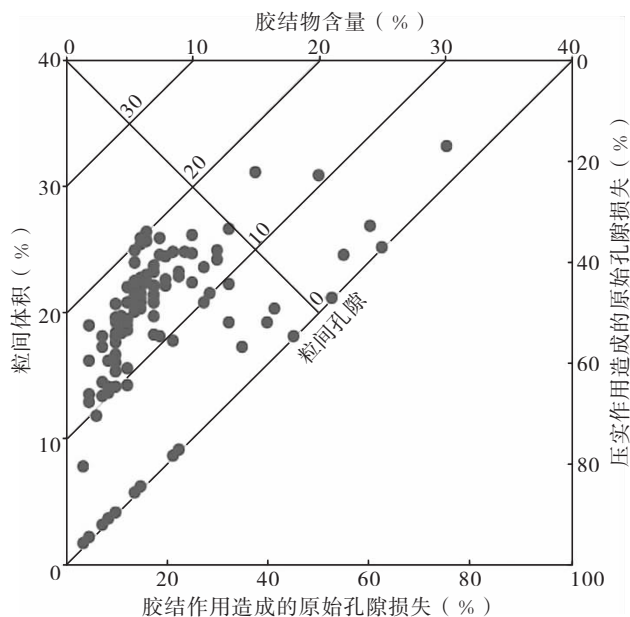


图 9 压实作用和胶结作用对储层物性影响评价图

Fig. 9 Overall assessment of effect of compaction and cementation on pore evolution

3.3 溶蚀作用

在常见的成岩作用中,压实作用和胶结作用对储层物性起破坏性作用,溶蚀作用起建设性作用。在成岩阶段的不同时期,一定的成岩环境下,碎屑岩储层中的碎屑颗粒、杂基和胶结物,包括最稳定的石英都可以不同程度的发生溶解作用。溶解作用按结果可以分为差异溶解和无差异溶解,无差异溶解的结果是固相新鲜面的成分没有发生变化,差异溶解即溶蚀作用的过程有选择性,矿物中残留的未溶组分成分发生变化。研究区溶蚀作用表现为骨架颗粒和胶结物溶蚀,可见颗粒边缘被溶成港湾状的粒间扩大孔、颗粒内溶孔,有些颗粒被完全溶蚀成铸模孔状(图 1d)。

如果结合西山窑组储层上覆的头屯河组储层和清水河组储层分析,可以发现,随着埋藏深度的增加,溶蚀作用逐渐增强,清水河组储层粒间溶孔和粒内溶孔占总孔隙体积的 8%,头屯河组粒间溶孔和粒内溶孔占总孔隙体积的 24%,西山窑组储层粒间溶孔和粒内溶孔占总孔隙体积的 30%。究其原因,在研究区储层的沉积过程中,从清水河组到西山窑组,沉积微相逐渐由滨浅湖相向辫状河三角洲水下分流河道间微相再向辫状河三角洲水下分流河道微相过渡,成分成熟度逐渐提高,泥质杂基含量逐渐降低,压实作用对储层物性的影响减弱,方解石等胶结物大量发育,为后期的溶蚀作用提供了物质基础。但是总体来说,研究区西山窑组储层溶蚀作用不甚发育,次生孔隙占整个孔隙空间的 30%左右,渗透率和孔隙度呈很好的线性关系也说明了这一点(图 10)。

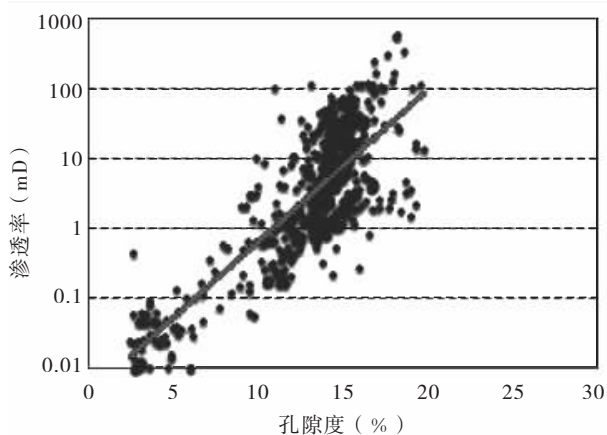


图 10 石南地区储层孔隙度和渗透率关系图

Fig. 10 Relationship between porosity and permeability of Xishanyao Formation

4 储层主控因素分析

4.1 沉积环境对储层的控制作用分析

对沉积相研究表明,石南地区侏罗系西山窑组主要发育辫状河三角洲前缘亚相,岩性主要为发育于三角洲前缘分流河道的灰色中细粒砂岩,夹有发育于分流河道间的灰色粉砂岩或粉砂质泥岩,物源主要来自东北部。对于发育于三角洲前缘的砂岩来说,储层物性受到其沉积时的水动力所控制的泥质杂基含量的影响非常明显,其中水下分流河道(特别是主河道)由于水动力较强,碎屑岩受较强烈的水体淘洗,泥质杂基含量较低,粒间孔较发育(研究区砂岩的储集空间以剩余粒间孔和原生粒间孔为主也说明了该现象),在成岩作用过程中压实作用对储层物性的控制有限,因而储层物性最好;水下分流河道间由于水动力较弱,泥质杂基含量较高,在泥质杂基润滑作用下,成岩作用过程中,压实作用对储层物性的破坏较大,后期溶蚀作用不发育(研究区砂岩的储集空间中溶蚀孔隙较少),储层物性较差。

4.2 成岩作用对储层的控制作用分析

石南地区对储层物性影响储层物性的成岩作用主要包括压实作用、胶结作用和溶蚀作用。前已述及,压实作用造成的原始孔隙的损失约在30%~70%,胶结作用造成的原始孔隙损失约在5%~30%,并且不同样品之间的差距较大(图9)。但是从孔隙度和深度关系图上可以看出,孔隙度和深度的关系不明显,因此压实作用对储层物性的影响是无差异的,不起控制作用的;胶结作用对储层物性的影响是通过析出自生矿物填充和堵塞粒间孔隙实现的,从而破坏储层孔隙孔喉的匹配性,从孔隙度和渗透率关系图上可以看出,孔隙度和渗透率具有良好的线性关系,储层孔隙以粒间孔为主,孔喉匹配性较好,因此胶结作用对储层物性也不起控制作用。溶蚀作用形成的粒间溶孔和粒内溶孔仅占整个孔隙空间的30%左右,对储层物性的影响较小。

4.3 储层物性主控因素分析

通过研究区西山窑组储层的物性特征、孔喉特征和成岩作用特征的综合分析,结合沉积相(微相)

和成岩作用对储层物性的控制作用的研究,总结了研究区储层主控因素:石南地区侏罗系西山窑组储层主要是发育于辫状河三角洲前缘水下分流河道及河道间的细砂岩、中砂岩和中细砂岩等细粒碎屑沉积物,经历了压实作用、胶结作用和溶蚀作用等成岩作用的改造,属于中孔中低渗储层。储层物性主要受到沉积环境的控制,成岩作用对储层物性的控制作用较小。其中发育于辫状河三角洲前缘水下分流河道的砂体由于沉积时的水动力条件较强,泥质杂基含量较少,早期碳酸盐胶结物较发育,压实作用对储层的影响有限,储层储集空间以原生粒间孔和剩余粒间孔等原生孔隙为主,因而储层物性往往较好,是优质储层最主要的发育区。

5 结论

(1)石南地区西山窑组储层发育于辫状河三角洲相,以三角洲前缘水下分流河道微相为主,岩性以灰色或灰绿色的细砂岩和中砂岩为主,孔隙类型以剩余粒间孔、原生粒间孔和粒间溶孔为主,属于中孔低渗储层。

(2)石南地区西山窑组储层成岩作用包括压实作用、胶结作用和溶蚀作用,压实作用和胶结作用对储层物性起破坏作用,分别造成原生孔隙的损失约30%~70%和5%~30%,不同的样品之间差异较大;溶蚀作用形成的次生孔隙占整个孔隙空间的30%左右,起建设性作用。

(3)石南地区西山窑组储层物性主要受控于其沉积环境,成岩作用对储层物性的控制左右不明显,优质储层发育于水动力条件强,泥质杂基含量较低的辫状河三角洲前缘水下分流河道微相中。

参考文献(References):

- 蔡来星,操应长,周磊,等. 梨树断陷营城组二段物源体系特征及其对储层物性的影响[J]. 大庆石油学院学报, 2012,36(03):34-40.
- CAI Laixing, CAO Yingchang, ZHOU Lei, et al. Source system character and its effect on the reservoirs physical

- property of member of Yingchang formation in Lishu fault depression[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2012, 36(03): 34-40.
- 蒋凌志, 顾家裕, 郭彬程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理[J]. 沉积学报, 2004, 22(01): 13-18.
- JIANG Lingzhi, GU Jiayu, GUO Bincheng. Characteristics and Mechanism of Low Permeability Clastic Reservoir in Chines Petroliferous Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinca, 2004, 22(01): 13-18.
- 王卓卓, 梁江平, 李国会, 等. 成岩作用对储层物性的影响及与沉积环境的关系——以鄂尔多斯盆地劳山地区为例[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(02): 171-177.
- WANG Zhuozhuo, LIANG Jiangping, LI Guohui, et al. Affection of Diagenesis on Reservoir Properties and its Relationship with Depositional Setting: A Case from Upper Triassic Yanchang Formation Sandstones, Laoshan[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(02): 171-177.
- 何登发, 陈新发, 况军, 等. 准噶尔盆地车排子-莫索湾古隆起的形成演化与成因机制[J]. 地学前缘, 2008, 15(04): 42-55.
- HE Dengfa, CHEN Xinfu, KUANG Jun, et al. Development and genetic mechanism of Chepaizi-Mosuowan uplift in Junggar basin [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 042-055.
- 任小军, 于兴河, 李胜利, 等. 准噶尔盆地石南地区 $J_1 s^{21}$ 砂组沉积相带展布及岩性圈闭识别[J]. 新疆石油天然气, 2009, 5(01): 8-103.
- REN Xiaojun, YU Xinghe, LI Shengli, et al. Sedimentary Facies Distribution and Lithologic Traps Recognition of $J_1 s^{21}$ Formation in the Area of Shinan, Junggar Basin [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2009, 5(01): 8-103.
- 刘文锋, 孙德强, 杨朝栋, 等. 准噶尔盆地腹部石南地区头屯河组岩性地层油气藏成藏特征及成藏模式[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(12): 2267-2274.
- LIU Wenfeng, SUN Deqiang, YANG Chaodong, et al. Stratigraphic Reservoir Formation Patterns and the Favorable Zones of Stratigraphic/Lithological Reservoir in Central Junggar Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(12): 2267-2274.
- 任朝波, 岳云雷. 准噶尔盆地石南地区坳陷湖盆缓坡层序的三种沉积充填模式[J]. 西部探矿工程, 2014, 05: 151-154.
- REN Chaobo, YUE Yunlei. Three types of filling models of sequence stratigraphy of depression basin gradual slope from Shinan Area, Junggar Basin [J]. West-China Exploration Engineering, 2014, 05: 151-154.
- 高崇龙, 纪友亮, 任影, 等. 准噶尔盆地石南地区清水河组沉积层序演化分析[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(05): 1-14.
- GAO Chonglong, JI Youliang, REN Ying, et al. Sedimentary sequence evolution analysis of Qingshuihe formation in Shinan area of Junggar basin [J]. Journal of China University of Mining Technology, 2016, 45(05): 1-14.
- 靳军, 向宝力, 王剑, 等. 准噶尔盆地石南地区清水河组一段成岩特征及其油气意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(02): 61-68.
- JIN Jun, XIANG Baoli, WANG Jian, et al. Diagenetic characteristics of the First Member of Qingshuihe Formation in Shinan area, Junggar Basin, and its petroleum significance [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(02): 61-68.
- 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 137.
- ZHU Xiaomin. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 137.