

文章编号: 1009-3850(2016)01-0098-06

川西新场构造须四段储层特征及主控因素

章顺利, 宋修章, 吕正祥, 杨 相, 卿元华

(成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059)

摘要: 利用岩心观察、岩石薄片分析、阴极发光和扫描电镜等方法对川西新场地区须四段储层的岩石学特征、储集空间类型及物性特征进行分析, 讨论沉积环境、成岩作用及构造作用等对储层的影响。研究区储层经历了压实作用、胶结作用、溶蚀作用和交代作用等成岩作用。有利储层主要发育在分选性中等—好、杂基含量低的中细粒砂岩中。主要储集空间以次生孔隙为主, 其次为残余粒间孔。高能环境下的分流河道和河口坝是形成有利储层的先决条件, 而后期长石及岩屑溶蚀产生的次生孔隙、裂缝的发育是形成有利储层的关键。

关键词: 川西; 新场构造; 须家河组; 有利储层; 主控因素

中图分类号: TE122.2⁺³

文献标识码: A

在砂岩的成岩过程中, 随着深度的不断增加, 砂岩孔隙度和渗透率普遍降低, 岩石会变得越来越致密。然而, 在世界各地的很多沉积盆地中都发现了深埋藏(>3500m)砂岩储层具有异常高的孔隙度(>20%)和渗透率($100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)的现象^[1-4]。国内外对深部优质储层的形成进行了大量的研究并提出了多种成因机制, 其中包括伊利石衬垫、表生期大气淡水的淋滤作用和深埋后的溶蚀作用、物源区母岩性质、沉积相和水动力条件, 以及裂缝在深埋藏优质储层形成过程中的作用等^[5-11]。有利储层一般发育于高能的分流河道和河口坝砂体中, 而相对低能、粒度较细、厚度较薄的砂体由于埋深较大, 均已致密化^[12]。

川西拗陷新场气田为多层、多类型气藏叠置的复式气田, 发育上三叠统须家河组、中侏罗统沙溪庙组、上侏罗统蓬莱镇组等多个气藏, 其发现是我国致密碎屑岩含气领域的重大突破^[13]。由于受开发技术和经济效益的影响, 目前在针对低孔隙度、低渗透率砂岩气藏的勘探与开发中, 备受关注的是物性较好并达到工业开发要求的相对优质储层(有

利储层)^[14]。新场地区上三叠统须家河组四段(简称须四段 T_3x^4)储层属于低孔低渗—特低孔特低渗致密储层, 其在整体低孔低渗致密的背景下发育一定的有利储层。经过前人艰苦努力的工作, 该区域须四段油气勘探取得了很大的进展^[15], 探明的400多亿天然气地质储量主要富集在有利储层中。本文通过川西新场地区须四段大量砂岩储层的综合分析, 讨论须四段砂岩储层的主要特征, 进一步分析其中有利储层的主控因素。本研究对须家河组天然气的勘探和开发具有重要意义。

1 地质概况

新场构造带是川西拗陷的一个次级构造单元, 构造位置位于川西拗陷中段, 其南邻成都凹陷, 北靠梓潼凹陷, 西南段与龙门山构造带相交, 东南方向与兴场—龙宝梁构造北倾末端相连。现今构造形态整体表现为一系列NEE向的正向构造(图1)。

川西拗陷上三叠统自下而上依次发育了马鞍塘组(T_3m)、小塘子组(T_3t)和须家河组(T_3x)3套地层。须家河组以陆相碎屑岩沉积为主, 自下而上

收稿日期: 2015-06-07; 改回日期: 2015-06-18

作者简介: 章顺利(1991—), 男, 硕士研究生。研究方向: 储层地质学。E-mail: 1205799554@qq.com

资助项目: 国家重大科技专项(2011ZX05002-004-001)

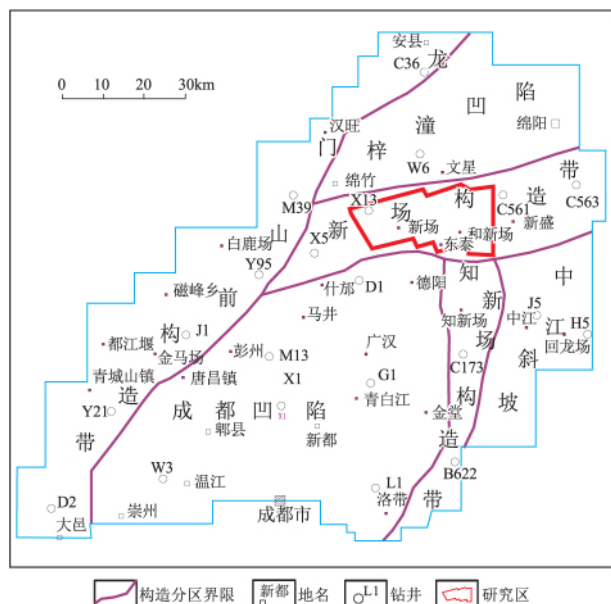


图1 研究区构造位置图

Fig. 1 Tectonic setting of the Xinchang structural zone, western Sichuan

发育须二、须三、须四、须五等4段地层,其中须三、须五段以泥岩、页岩和煤等为主,与小塘子组、马鞍塘组一起构成该区域的烃源岩段;须二和须四段以发育砂岩为主,为须家河组的储层段。须四段以发育扇三角洲沉积体系为主,其中扇三角洲前缘亚相发育的水下分流河道、河口坝为研究区主要的储层砂体类型^[14]。

2 储层特征

2.1 岩石学特征

储层的岩石学特征对成岩作用具有重要的影响,而碎屑颗粒成分主要通过影响成岩作用而影响储层物性^[17]。研究区须四段砂岩的结构成熟度中等,主要为中粒,细粒、中细粒次之,少量中粗粒、粗粒等;颗粒分选以好为主,中等分选次之;颗粒磨圆度中等-较差,以次棱角状为主;胶结类型以孔隙式为主,孔隙-压结式和压结式次之,少量压结-孔隙式胶结。

研究区须四段岩石类型包括石英砂岩、岩屑石英砂岩、岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑砂岩和钙屑砂岩等。按岩石基本名称统计,石英砂岩(石英砂岩、岩屑石英砂岩)样品数占总样品数的36.41%,岩屑砂岩(长石岩屑砂岩)占总样品数的63.5%,而长石砂岩(岩屑长石砂岩)仅占总样品数的0.09%。总的来说极富岩屑而中低长石含量是研究区须四段砂岩储层骨架颗粒构成的主要特征

(图2)。而从岩屑成分来看,岩屑整体以沉积岩-变质岩岩屑组合为特征,岩浆岩岩屑含量极低。

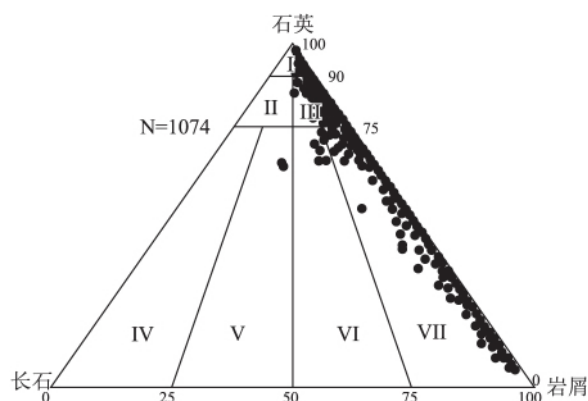


图2 新场地区须四段砂岩储层岩性组分三角图

I. 石英砂岩; II. 长石石英砂岩; III. 岩屑石英砂岩; IV. 长石砂岩; V. 岩屑长石砂岩; VI. 长石岩屑砂岩; VII. 岩屑砂岩

Fig. 2 Triangular diagram for the sandstone reservoirs in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Xinchang structural zone, western Sichuan

2.2 储集空间类型

通过大量岩石铸体薄片鉴定、扫描电镜分析可知,研究区须四段储层储集空间类型有粒间孔、粒内溶孔、铸模孔(图3a)以及粘土矿物晶间孔,而该套储层埋深大,现今埋深普遍在3.5~4km之间,原生粒间孔损失较大,含量较低,大部分不超过1%。储集空间主要以次生的粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔为主。储层中也有较发育的裂缝(图3d),对储层的渗透性起了明显的改善作用。

2.3 物性特征

根据须四段岩心物性分析资料可知(图4),储层孔隙度平均值为6.21%,中值6.62%,主要分布在6%~9%之间,占总样品数的45.94%;砂岩渗透率平均值为 $0.278 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中值 $0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要分布在 $(0.08 \sim 0.16) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $(0.04 \sim 0.08) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $(0.16 \sim 0.32) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 三个区间中,其出现的频率分别26.35%、22.6%和16.22%。因而从储层物性总体特征来看,研究区须四段储层属于低孔低渗-特低孔特低渗致密储层。

2.4 储层成岩特征

2.4.1 压实压溶作用

研究区须四段软性颗粒较发育的层段表现出较强的压实作用,而在软性颗粒较不发育层段以及长石、碳酸盐岩岩屑(钙屑)、碳酸盐胶结物相对发育层段,压实作用影响则相对较弱,原始孔隙度在这些层段有一定程度的保存。当砂岩中具较多被

伊利石包裹的石英颗粒或(和)具有较低碳酸盐和石英胶结物时,化学压实作用较为普遍。须四段砂岩颗粒伊利石粘土薄膜较为普遍,能进一步促进石英的溶解和溶出物的扩散。而在绿泥石衬边相对

发育层段,压溶作用明显减弱。压溶作用一方面使颗粒进一步紧密接触,另一方面溶出物质沉淀充填粒间孔或为石英加大及硅质胶结提供大量硅质,所以对储层的发育不利。

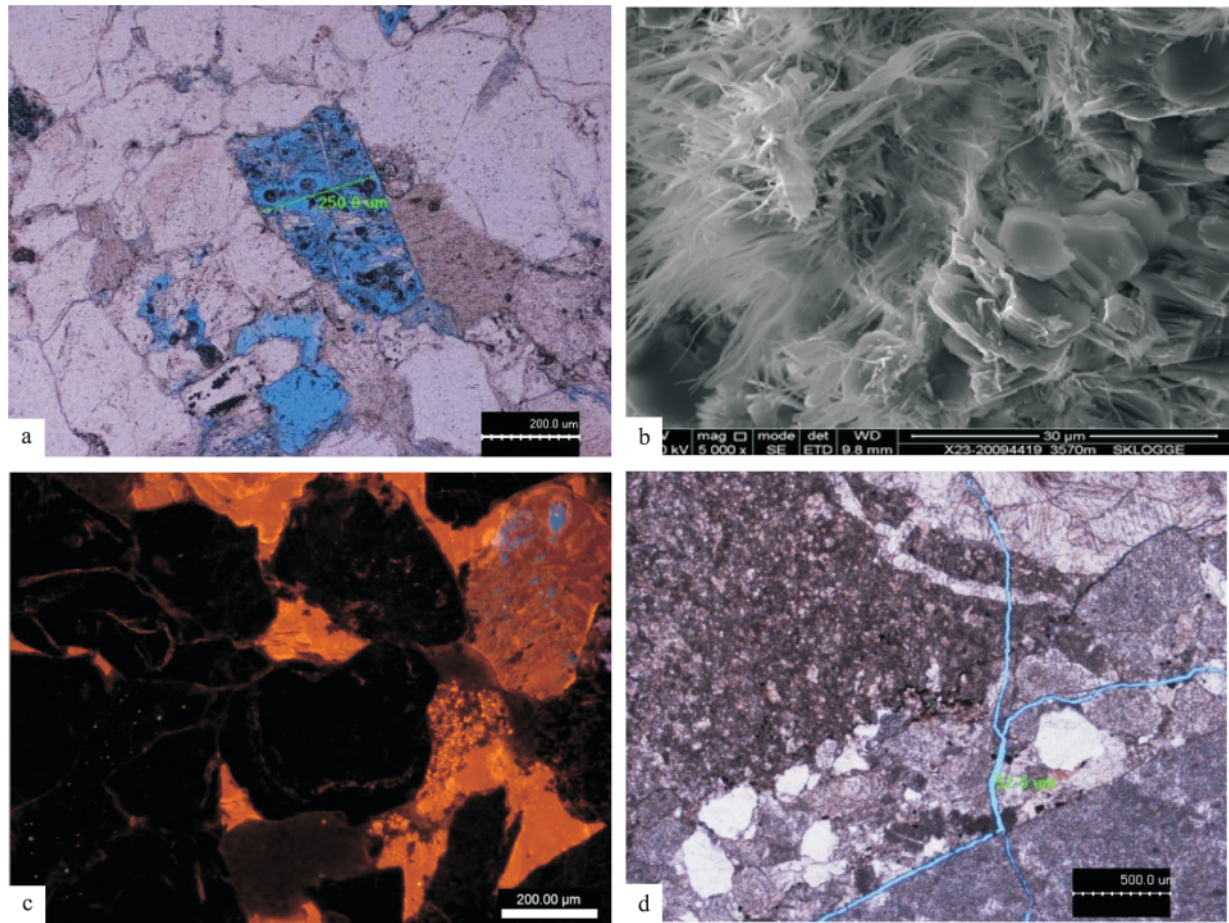


图3 新场地区须四段主要储集空间类型

a. 长石强烈溶蚀形成铸模孔(上),岩屑粒内溶孔。XC22井,3844.1m,单偏光; b. 右边为具有六方板状形态的高岭石集合体,左边从高岭石转化的伊利石。XC23井,3570m,SEM; c. 右上角钾长石颗粒被方解石强烈交代,仅剩余少量残晶,粒间方解石胶结物发橘黄色光。X5井,3606.04m,CL; d. 砾岩中发育的微裂缝系统。XC22井,3772.98m,单偏光

Fig.3 Reservoir space types in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Xinchang structural zone, western Sichuan

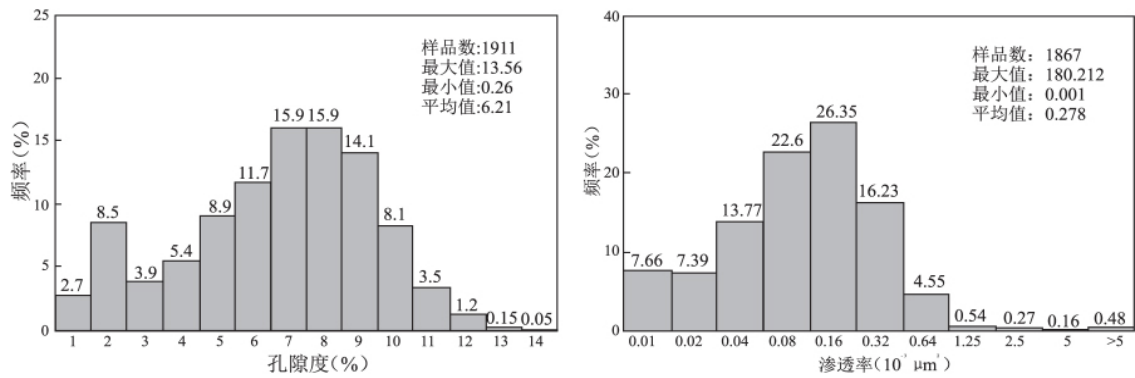


图4 新场地区须四段储层孔隙度、渗透率频率分布直方图

Fig.4 Bar charts of the porosity and permeability of the sandstone reservoirs in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Xinchang structural zone, western Sichuan

2.4.2 胶结作用

研究区须四段的胶结作用主要包括粘土矿物、硅质和碳酸盐胶结作用(图 3b、c)。其中碳酸盐胶结作用是造成储层砂岩储集空间变小、储层物性变差的重要因素之一,对储层质量的影响以破坏性作用为主。碳酸盐胶结物的主要类型为方解石,其次为白云石,平均含量高达 5.14%,占胶结物总量的 86.57%,是含量最高的自生矿物。常见的自生粘土矿物主要包括伊利石、高岭石和绿泥石,另外局部可见蒙脱石。在粘粒中伊利石和绿泥石总量分别为 52.33% 和 33.37%,高岭石含量很低,在岩石中的平均含量为 0.74% (在粘粒中含量为 13.51%)。硅质胶结主要表现为石英次生加大现象,加大边宽以 0.05~0.1mm 最为常见,含量多小于 2%。

2.4.3 溶蚀作用

研究区须四段溶蚀作用常表现为颗粒边缘溶蚀扩大、岩屑或长石不完全溶蚀(图 3a、c),在研究区内各井段均可见到,特别发育于中-细粒岩屑石英砂岩、中-细粒岩屑砂岩中,多数为长石和岩屑颗粒溶蚀形成。其形态主要为斑点状、串珠状和蜂窝状,部分长石沿解理溶蚀形成梳状孔隙。当溶蚀作用强烈时,长石颗粒可被完全溶蚀,形成铸模孔隙,仅保留长石颗粒的假象,在长石含量相对较高的中-细粒岩屑砂岩中可见。

2.4.4 交代作用

研究区须四段砂岩中交代作用明显,其中以碎屑颗粒的碳酸盐化作用最为发育(图 3b、c)。包括方解石、铁方解石、铁白云石对碎屑颗粒石英、岩屑、粘土矿物尤其是长石的交代作用。偏光显微镜下观察,交代作用往往沿颗粒边部或长石的解理进行。

3 有利储层发育的主控因素

根据研究区须四段储层的物性特征、含气量及其储层岩石学特征、沉积特征、成岩特征等的对比分析,获得控制须四段气藏中有利储层发育的主要因素包含 4 个方面:(1) 沉积环境;(2) 岩石碎屑及结构组分;(3) 裂缝发育状况;(4) 溶蚀作用。

3.1 沉积环境

新场地区须四段主要为辫状河三角洲沉积,从不同沉积环境中的储层物性特征统计分析可知,水下分流河道砂体储层孔隙度平均值为 6.3% 左右,其次为砂质的辫状河道,储层孔隙度也在 5% 以上,为最有利的沉积微相。较为有利的沉积微相为辫状三角洲前缘河口砂坝,其水动力相对较弱,砂岩

粒度较细,多为细、中砂,分选差,杂基含量高,易受后期成岩作用改造变得致密,储层平均孔隙度为 4.23% 左右。而远砂坝、砾质辫状河道和分流间湾形成于低能环境,砂岩粒度细,多为细砂和粉砂,分选差,杂基含量高,经成岩作用改造变为致密层,储层孔隙度一般在 2% 以下,为不利的沉积微相(图 5)。

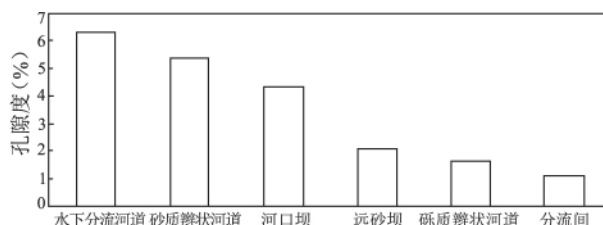


图 5 新场地区须四段不同沉积环境孔隙度值

Fig. 5 Distribution of the porosities in various sedimentary environments in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Xinchang structural zone, western Sichuan

3.2 碎屑组分及结构特征

3.2.1 碎屑组分

通过分析研究区须四段有利储层及较差储层与砂岩碎屑组分含量(石英、长石、岩屑,以及各种类型岩屑等)的关系可知,有利储层石英含量明显较高(平均含量达 77.49%),岩屑含量低(平均含量为 9.13%),较差储层岩屑平均含量几乎是相对优质储层的 5 倍。两者长石含量绝对值相差不大,但有利储层长石平均含量几乎是较差储层的 3 倍,这也表明长石的溶蚀作用使得储层物性变好。在岩屑组成上,有利储层和较差储层在变质岩岩屑和岩浆岩岩屑含量上无明显差异,但沉积岩岩屑的含量相差很大,较差储层沉积岩岩屑平均含量是有利储层的 4 倍(含量分别为 30.9% 和 7.04%) (图 6)。

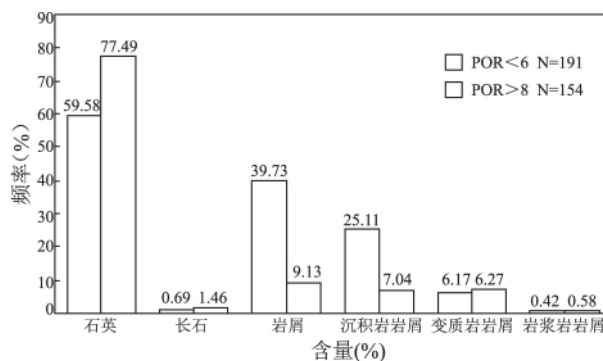


图 6 新场地区须四段岩屑组分分布图

Fig. 6 Distribution of the rock fragments in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Xinchang structural zone, western Sichuan

3.2.2 岩石结构特征

通过研究区须四段砂岩孔隙度与粒级、颗粒分选的关系可知,中粒砂岩孔隙性最好,孔隙度主要分布在 6.3%~8.4% 的范围内,平均为 7.73%;中细

粒砂岩次之,孔隙度主要为 3.3%~7.8%,平均 6.42%;粗粒砂岩总体孔隙性较好,但样品较少,代表性不强;其它粒级砂岩储集性都较差^[3](图 7)。

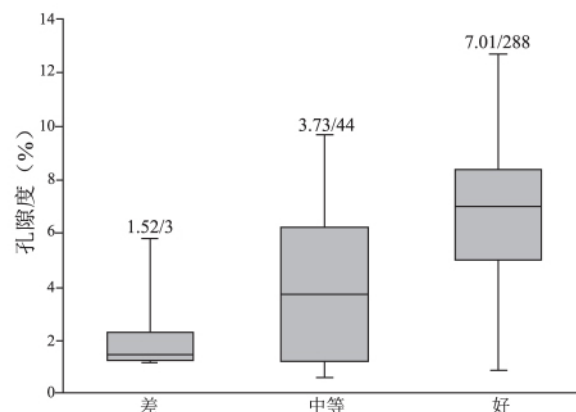
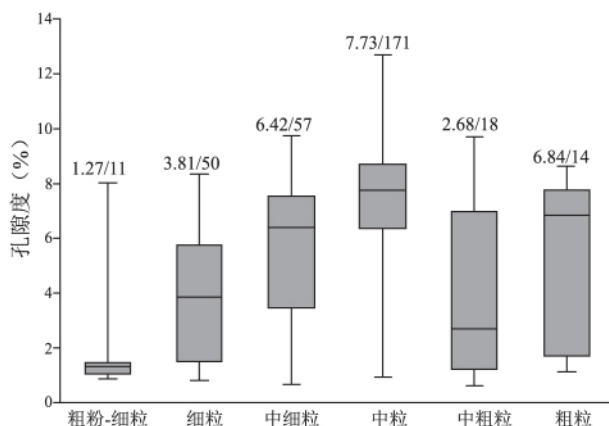


图 7 新场地区须四段砂岩孔隙度与粒级及分选关系图

Fig. 7 Relationship between porosity, grain size and sorting of the sandstones in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Xinchang structural zone, western Sichuan

颗粒分选是影响砂岩孔隙度的另一个因素(图 7)。分选好的砂岩孔隙性度明显较好,孔隙度主要分布在 5.2%~8.6%,平均 7.01%;分选中等砂岩孔隙性变差,孔隙度主要分布在 1.3%~6.2% 之间,平均为 3.73%。总的来说,研究区须四段有利储层主要以分选性中等-好、杂基含量低的中细粒砂岩中。

3.3 裂缝发育

研究区须四段下部砂砾岩储层中裂缝发育,且裂缝类型以穿粒缝为主。穿粒缝通常穿越数粒矿物,显定向性,其开度一般小于 40 μm ,此类裂缝溶蚀现象普遍,溶蚀以后的开度可达 40 μm 以上,其成因与构造运动、断层发育有关,故对改善储层的储集性能的有非常重要的作用。研究区获得较好产能的新 3、新 856、新 851、川孝 560、联 150 等井在须四下部的砂砾岩储层中此类微裂缝较发育(图 3d)。

3.4 溶蚀作用

溶蚀作用对本区须四段砂岩储层的改善起着重要的作用,在须四段砂岩中普遍发育。绝大部分的骨架有被溶蚀的现象,包括碎屑长石、岩屑等,特别是微斜长石、条纹长石和不稳定岩屑普遍被溶蚀,形成粒间溶孔,铸模孔和蜂窝状溶孔等粒内溶孔。这些溶孔的形成有效改善了储层的储集性。

4 结论

(1) 研究区须四段砂岩主要发育富岩屑和中低长石的中粒及中细粒砂岩,颗粒分选好-中等,磨圆

度中等-较差。

(2) 研究区须四段储层孔隙度平均值为 6.21%,渗透率平均值 $0.278 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于低孔低渗-特低孔特低渗致密储层。主要储集空间类型为粒间溶孔和粒内溶孔。

(3) 研究区须四段有利储层的形成,主要受沉积环境、岩石组分与结构特征、溶蚀作用和裂缝等因素的影响。有利的沉积环境下的中等-好、杂基含量低的中细粒砂岩是形成优质储层的前提,而后期长石及岩屑的溶蚀产生的次生孔隙及裂缝的发育是形成有利储层的关键。

参考文献:

- [1] APPERT O. Editorial: Special issue on production of reservoir fluids in frontier conditions [J]. Revue de L'Institut Francais du Pe'trole, 1998, 53(3): 249-252.
- [2] KUGLER R L, MCHUGH A. Regional diagenetic variation in Norphlet Sandstone: Implications for reservoir quality and the origin of porosity [J]. transaction of the Gulf Coast Association of Geological Societies, 1990, 40: 411-423.
- [3] EHRENBURG S N. Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by graincoating chlorite: Examples from the Norwegian Continental Shelf [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(7): 1260-1286.
- [4] 李军, 张林, 曹中, 等. 大港探区深层异常孔隙成因机理 [J]. 中国石油勘探, 1999, 4(4): 20-23.
- [5] 李会军, 吴泰然, 吴波, 等. 中国优质碎屑岩深层储层控制因素

- 综述 [J]. 地质科技情报, 2004, 23(4): 6-82.
- [6] 杨香华, 叶加仁, 孙永传, 等. 歧南断阶带深层沙二段砂岩成岩演化特征与孔隙保存 [J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(4): 242-249.
- [7] 孟万斌, 吕正祥, 冯明石, 等. 致密砂岩自生伊利石的成因及其对相对优质储层发育的影响 - 以川西地区须四段储层为例 [J]. 石油学报, 2011, 32(5): 783-789.
- [8] WILKINSON M, DARBY D, HASZELDINE R S. Secondary porosity generation during deep burial associated with overpressure leak-off: Furmar formation. United Kingdom central graben [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(5): 803-813.
- [9] 胡海燕, 王国建. 准噶尔盆地深层相对优质储层发育机理: 淋滤与溶蚀作用 [J]. 中国岩溶, 2009, 28(1): 35-41.
- [10] 罗啸泉, 唐贵宾. 龙门山中段前缘须家河组裂缝特征与油气关系 [J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(3): 96-100.
- [11] 吕正祥, 刘四兵. 川西须家河组超致密砂岩成岩作用与相对优质储层形成机制 [J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 273-283.
- [12] 赵艳, 吴胜和, 徐樟有, 等. 川西新场气田上三叠统须家河组二段致密砂岩优质储层控制因素 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(4): 2-6.
- [13] 叶军, 陈昭国. 川西新场大型气田地质特征与预测关键技术 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 384-391.
- [14] 卞从胜, 汪泽成, 王红军, 等. 四川盆地潼南地区须二段有利储层控制因素及含气性 [J]. 天然气地质学, 2012, 23(4): 681-689.
- [15] 刘四兵, 沈忠民, 吕正祥, 等. 四川新场地区须四段相对优质储层特征及孔隙演化 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(4): 428-435.
- [16] 高红灿, 郑荣才, 叶泰然, 等. 德阳须家河组四段沉积相特征和砂体分布规律高 [J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(2): 67-73.
- [17] 卞从胜, 王红军, 汪泽成, 等. 松辽盆地龙西地区泉四段砂岩岩石学特征及其对储层物性的影响 [J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(1): 61-66.

Reservoir characteristics and controlling factors in the 4th member of the Xujiache Formation in the Xinchang structural zone, western Sichuan

ZHANG Shun-li, SONG Xiu-zhang, LU Zheng-xiang, YANG Xiang, Qing Yuan-hua
(College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: With the aid of core observation, thin section examination, CL and SEM, the present paper deals with petrology, reservoir space types and physical properties, and the effects of sedimentary environments, diagenesis, tectonism on reservoir potential of the reservoir rocks in the Xujiache Formation in the Xinchang structural zone, western Sichuan. The diagenetic processes of the reservoir rocks in the study area include compaction, cementation, dissolution and replacement. The favourable reservoir rocks occur in the medium- to fine-grained sandstones with moderate to good sorting and low matrix contents. The reservoir space types contain intergranular and intragranular solution openings. The distributary channels and channel mouth bars are believed to be favourable sites, and secondary porosity and fissures may improve the reservoir quality of the reservoir rocks in the study area.

Key words: western Sichuan; Xinchang structural zone; Xujiache Formation; favourable reservoir; controlling factor