

川西北九龙山-剑阁地区珍珠冲段 储层特征与主控因素探讨

王 婷¹, 侯明才^{1,2}, 王文楷^{1,2}, 李秀华¹, 张本建³, 马华林³

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059;

3. 中国石油西南油气田分公司 川西北气矿, 四川 江油 621709)

摘要:运用铸体薄片镜下观察、物性分析、扫描电镜及 X-衍射分析等,对川西北九龙山-剑阁地区珍珠冲段的储层特征进行了研究。结果表明,研究区珍珠冲段储层孔隙类型以粒内孔、粒(砾)间孔、晶间(溶)孔、晶洞以及裂缝为主。九龙山地区 211 个样品分析测试结果显示,珍珠冲段孔隙度最大值 5.69%,最小值 0.08%,均值 1.63%,渗透率最大值 $517.98 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,均值 $14.49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;剑阁地区 38 个测井解释数据显示,珍珠冲段孔隙度最大值 7.8%,最小值 0.1%,均值 3.63%。研究区为裂缝-孔隙型储层,控制储层发育的主要因素是沉积作用、成岩作用和构造作用。压实作用是导致储层孔隙损失的主要因素,胶结作用是降低储层渗透率的重要因素,溶蚀作用是对储层发育贡献最大的建设性成岩作用。

关键词:储层特征;沉积作用;成岩作用;构造作用;珍珠冲段;四川盆地

中图分类号:TE122.2;P618.11

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)01-0020-07

Reservoir Characteristics and Main Controlling Factor of Zhenzhuchong Member of Jiulong Mountain and Jiange Area in Northwest of Sichuan Basin

Wang Ting¹, Hou Mingcai^{1,2}, Wang Wenkai^{1,2}, Li Xiuhua¹, Zhang Benjian³, Ma Hualin³

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. Northwest Sichuan Gas Mine, PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Jiangyou, Sichuan 621709, China)

Abstract: The reservoir characteristics of Zhenzhuchong member in the Jiulong mountain and Jiange region in northwest parts of the Sichuan Basin were studied through microscopy observation of cast thin sections and analysis of physical properties and scanning electron microscope and X-diffraction. The results show that pores in the Zhenzhuchong member of the study area are mainly primary intragranular dissolution pores and intergranular pores and intercrystal porosity and geode and fracture. Test analysis on the 211 samples of Jiulong mountain indicates the maximum porosity Zhenzhuchong member is 5.69% and the minimum porosity 0.08% and the average porosity 1.63% and permeability the maximum value of $517.98 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and the average value of $14.49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. The 38 logging interpretation data from the Jiange area show Zhenzhuchong section maximum porosity of 7.8% and minimum 0.1% and mean 3.63%. The main factors controlling the reservoir quality is sedimentation, diagenesis and tectonism. Compaction is the main factor causing the loss of reservoir pore. An important factor to reduce the reservoir permeability is cementation and dissolution is the largest contribution to reservoir development constructive diagenesis.

Key words: reservoir characteristic; sedimentation; diagenesis; tectonization; Zhenzhuchong member; Sichuan Basin

收稿日期:2013-05-28

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金项目(20115122110002);四川省重点学科“构造地质学”建设基金项目(SZD0408)

作者简介:王 婷(1987—),女,山东东营人,硕士研究生,主要从事沉积地质学方面的研究. E-mail: ziyangirl88@aliyun.com

四川盆地下侏罗统自流井组珍珠冲段储集砂体广泛分布,一直以来是四川盆地勘探的重点层位之一。四川西北部地区天然气资源丰富,其下侏罗统自流井组珍珠冲段是重要的含气层^[1-2],但前人对四川盆地下侏罗统自流井组珍珠冲段的研究,多集中于川中和川东地区储层特征及成岩作用对储层的影响^[3-5],缺乏对川西北九龙山-剑阁地区珍珠冲段储层特征与主控因素的研究,制约了该区自流井组珍珠冲段的油气勘探工作。因此,本文运用铸体薄片镜下观察、物性分析、扫描电镜及 X-衍射等,对四川盆地西北部九龙山-剑阁地区珍珠冲段储层特征进行研究,并从岩石类型、沉积微相、成岩作用和构造作用等方面对储层发育的主控因素进行探讨。

1 区域地质背景

九龙山-剑阁地区位于川西北部苍溪县和旺苍县境内,构造上隶属川北古中拗陷低缓构造带。九龙山构造由龙门山挤压力与米仓山隆起产生的旋转垂直上升力共同作用形成。九龙山背斜呈北东向延伸,背斜的长度超过了 50 km,在构造走向上与龙门山一致,向北与米仓山高角度相交,主要由东西走向的褶皱和断裂以及密集的线形带构成。九龙山后期隆升主要受龙门山冲断隆升控制,米仓山东西向体系对九龙山构造带的发育也有一定影响(图 1)。

九龙山-剑阁地区珍珠冲段沉积时期发育三角洲相、扇三角洲相和湖泊相,沉积亚相包括三角洲平原、三角洲前缘、扇三角洲前缘、前扇三角洲和滨浅湖。研究区内珍珠冲段厚 40~220 m,底部是砾岩,向上粒度变细,为绿灰、黑色泥页岩与灰、绿灰色细粒、粉粒岩屑砂岩、含砾砂岩、砾岩组成的互层,碎屑成分以石英岩为主。珍珠冲段与下伏地层须家河组呈不整合接触,九龙山地区主要为灰白色石英质砾岩与下伏须三段的黑色泥岩呈不整合接触,剑阁地区为灰白色石英质砾岩与须四段黑色泥岩或碳酸盐岩砾岩呈不整合接触。

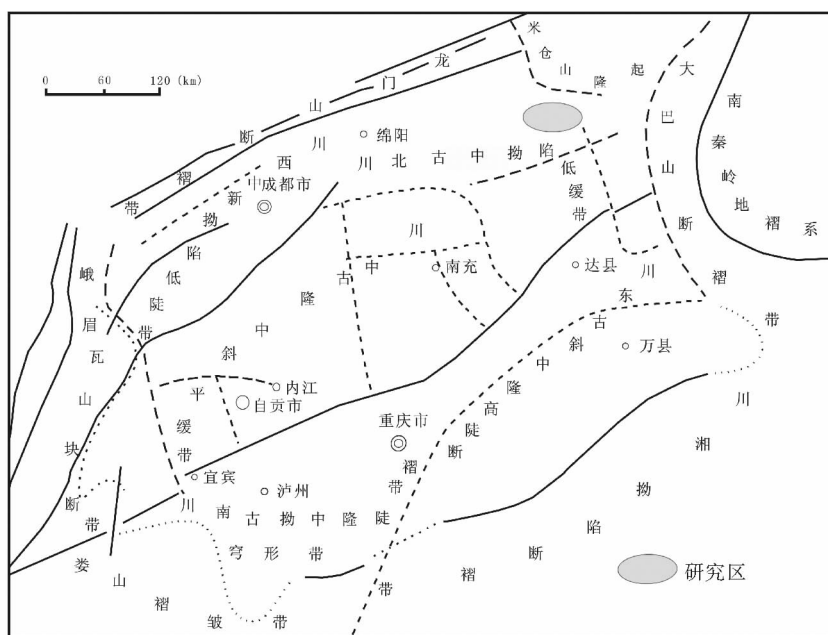


图 1 九龙山-剑阁地区构造地质图

Fig. 1 Tectonic location map of Jiulong mountain-Jiange area

2 岩石学特征

川中地区珍珠冲段储层岩石类型以粉砂岩和泥岩为主^[3],根据九龙山-剑阁地区 352 块常规及铸体薄片观察和统计结果表明,九龙山地区珍珠冲段储层岩石类型包括砾岩、砂砾岩和砂岩;剑阁地区珍珠冲段储层岩石类型为砾岩。九龙山-剑阁地区岩性纵向上从底部到顶部依次为沉积石英质砾岩、岩屑砂岩(富碳酸盐

岩屑)和沉积石英质砾岩。

九龙山地区的沉积物经历了一定的搬运改造,储层岩石颗粒分选性中等,次棱角-次圆状磨圆,在持续水流的淘洗下,砂质填隙物和粘土含量低,砾石之间多为点-线接触,以钙质胶结为主(图 2(a)),次为硅质胶结物,少量粘土(图 2(b));剑阁地区由于近源快速堆积,沉积物颗粒分选性与磨圆差,砾石大小不一,可见棱角状砾石,因为缺乏持续性水流的改造,填隙物以粘土为主,次为少量铁白云石胶结物(图 2(c))。从砾石成分来看,剑阁地区砾岩中燧石、砾石的含量均 30%~50%,但是九龙山地区砾岩中燧石砾石的含量仅为 10%,两个地区的物源存在差异性。

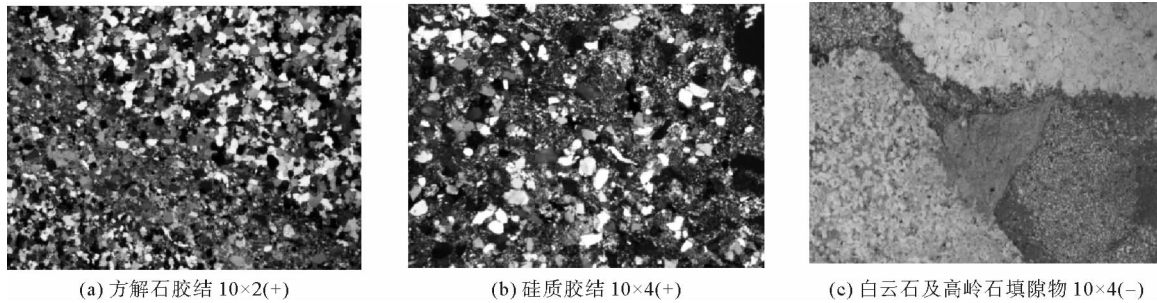


图 2 九龙山-剑阁地区珍珠冲段填隙物类型图

Fig. 2 Filler content type of Zhenzhuchong member in Jiulong mountain-Jiange area

3 储层物性特征

根据九龙山研究区 211 个样品分析测试结果显示,珍珠冲段孔隙度最大值 5.69%,最小值 0.08%,均值 1.63%;渗透率最大值 $517.98 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,均值 $14.49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。孔隙度 > 2% 的样品占 32%,4%~6% 的样品占 4%(图 3)。通过对孔隙度-渗透率相关性研究发现(图 3),研究区珍珠冲段储层孔-渗相关性差,受裂缝影响明显。

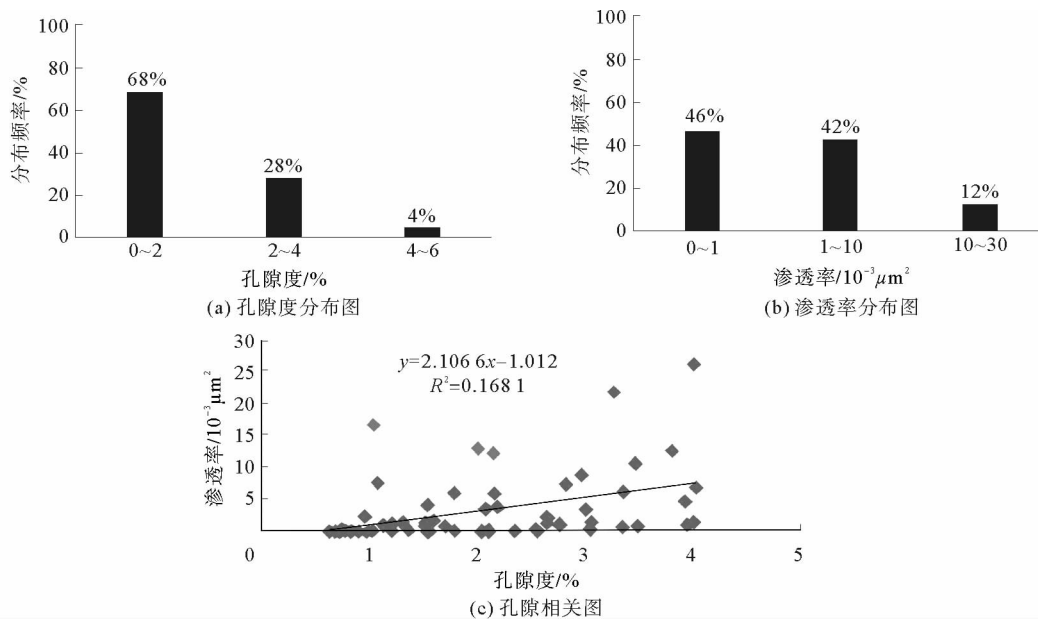


图 3 九龙山地区珍珠冲段物性特征图

Fig. 3 Porosity and permeability distribution histogram and the porosity and permeability correlation diagram from the Zhenzhuchong member of Jiulong mountain

根据剑阁地区 38 个测井解释数据显示,珍珠冲段孔隙度最大值 7.8%,最小值 0.1%,均值 3.63%。其中,孔隙度 > 2% 的样品占 97%,孔隙度为 4%~6% 的样品占 34%(图 4),剑阁地区珍珠冲段储层物性较好。

4 储层储集空间类型

研究区下侏罗统自流井组珍珠冲段储层在埋藏成岩过程中发育的有利空隙多为次生形成,大部分原生孔隙已损失。研究区储集空间类型主要以孔隙产出于石英加大边或自生石英颗粒边缘,溶蚀主体以粘土杂集的次生粒间孔为主(图 5

(a))。其次为:①粒内孔。在贫碳酸盐岩屑的情况下由溶蚀泥板岩岩屑形成(图 5(b))。②晶间孔。如九龙山-剑阁地区储层的高岭石晶间孔,由粘土杂基和泥板岩岩屑在酸性流体作用下蚀变而成,扫描电镜下呈六方板状、书页状和隐晶粒状;九龙山地区储层见地开石晶间孔,具有高岭石成分,均是酸性流体活动产物,充填于砾石裂缝之间,扫描电镜下呈厚板状和宝塔状(图 5(g)~(i))。③晶洞。仅在剑阁地区珍珠冲段底部砾岩中,发育 0.5~1.5 cm 的晶洞,其中以 JM105 井 3 888.34~3 888.53 m 段最为典型。其晶洞洞径较宽,肉眼可识别,在立体显微镜下可见晶体晶型完整,磨圆很好的砂粒胶结于石英晶粒顶端,由于早期富 SiO₂ 流体在孔隙中长时间作用,并在局部富集,因此最终在次生溶孔中形成由溶孔中心向外侧生长,表面洁净,晶粒较

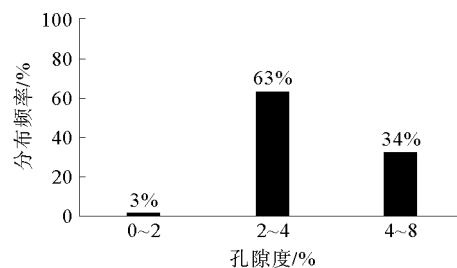


图 4 剑阁地区珍珠冲段孔隙度
Fig. 4 Porosity in Zhenzhuchong member of Jiange area

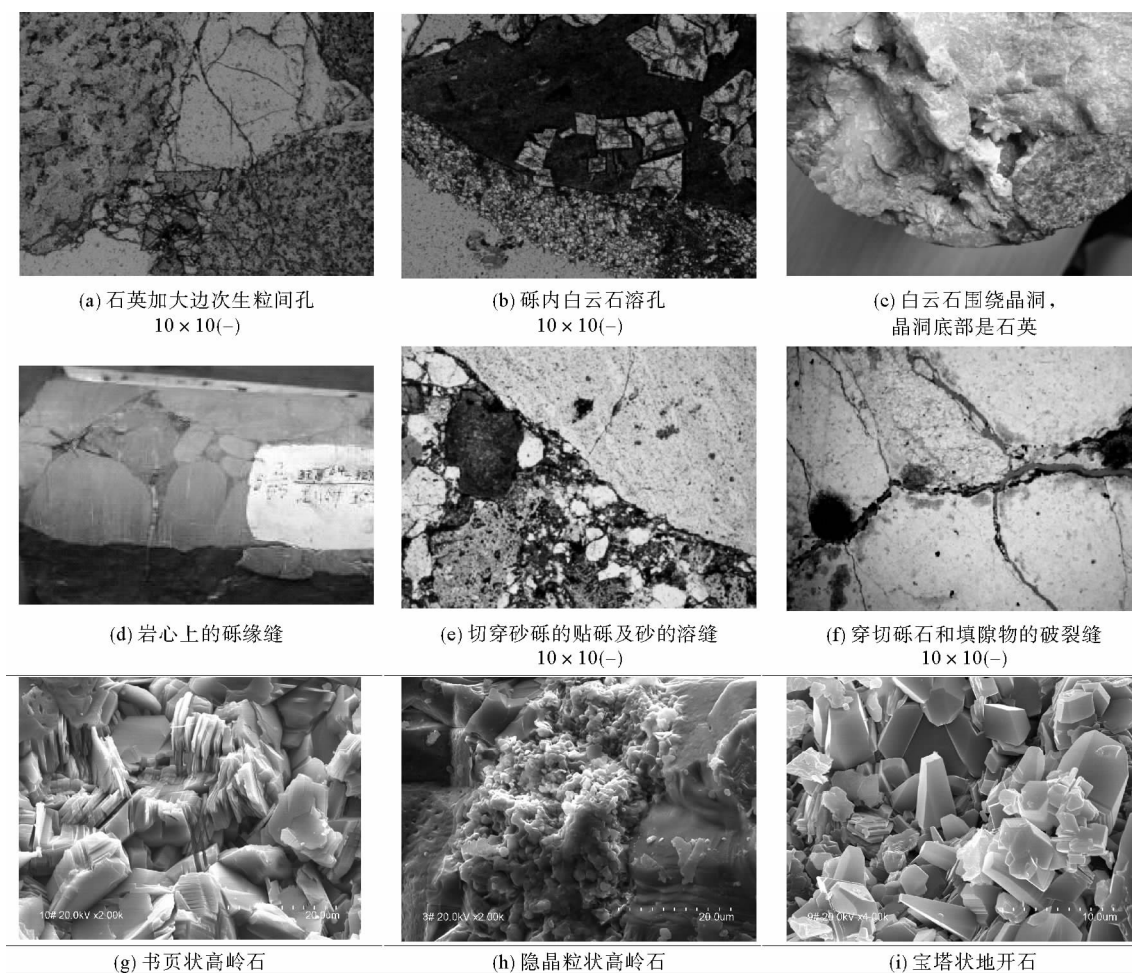


图 5 储层粒间孔微观特征

Fig. 5 Intergranular pore reservoir microscopic characteristics

细,晶形较好,呈自形-半自形状的自生石英,随后 Mg^{2+} 碱性热液流体再次进入晶洞并在石英颗粒的表面形成了白云石,对孔(洞)进行了再次充填(图 5(c))。④裂缝。裂缝对于低渗致密储层的改善起着至关重要的作用,裂缝不仅可以作为流体的储集空间,也可大大改善油气在储层中的渗流能力。

根据野外露头、岩心以及测井资料综合分析,研究区珍珠冲段致密砾岩储层中裂缝可分为成岩裂缝、构造裂缝以及原岩裂缝三种,其中以构造剪切裂缝为主要类型。成岩裂缝是沟通基质粒间孔和砾内溶孔的重要通道,虽然本区成岩裂缝张开度较大,但规模较小,延伸短,对储层贡献较小(图 5(d));构造裂缝指构造成因的高低角度剪切裂缝,规模相对较大,延伸较长,这类裂缝不受砾石限制,往往切穿多个砾石,是该区最为发育的裂缝类型(图 5(e),(f));原岩裂缝指珍珠冲段砾岩沉积以前的母岩中就已形成的裂缝,本区原岩裂缝数量小,规律性差,对储层的贡献也小^[9]。

5 储层主控因素探讨

5.1 沉积作用对储层物性的控制

沉积作用是影响储层的最重要因素之一。对储层岩石类型和结构组分特征的影响实质是沉积作用对储层的影响,决定了后期岩石的成岩作用类型和强度。在不同的水介质条件下,所形成的岩石类型、粒径大小、分选、磨圆、杂基含量和岩石组分等均有差异,从而导致成岩作用和储层物性在纵横向具有明显差异,储层具有严重的非均质性。

1) 岩石类型对储层物性的影响

九龙山-剑阁地区珍珠冲段储层岩石类型为沉积石英质砾岩、砂砾岩和砂岩。其中,砾岩孔隙度最大 5.01%,最小 0.08%,均值 1.78%;砂砾岩孔隙度最大 4.04%,最小 0.87%,均值 2%;砂岩孔隙度最大 5.69%,最小 0.87%,均值 3.47%(图 6)。研究区内砂岩的物性优于砾岩和砂砾岩的,砾岩由于富含刚性砾石,抗压实能力强,发育于砾石层之间的砂岩由于砾石层的保护作用,利于后期的改造。

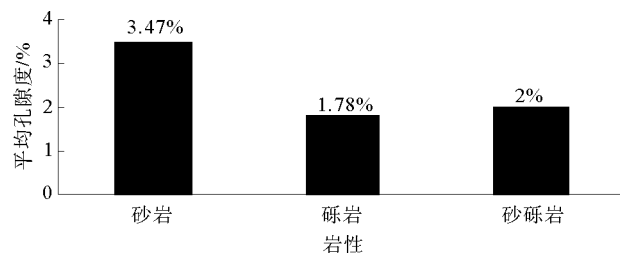


图 6 九龙山-剑阁珍珠冲岩性与孔隙度关系图

Fig. 6 Lithology and porosity diagram of Zhenzhuchong member in Jiulong mountain and Jiange area

2) 沉积微相对储层物性的影响

九龙山-剑阁地区珍珠冲段为扇三角洲前缘-滨浅湖沉积,发育水下分流河道、河口坝、远砂坝、水下天然堤等沉积微相。其中,水下分流河道和河口坝形成于持续较强的水动力条件下,环境对底载负荷沉积物的改造作用较强,沉积物粒度较粗,分选性相对较好,成岩流体容易流通,为有利于储层砂岩发育的沉积微相,砂体最为发育;水下天然堤和远砂坝砂体形成于洪水期堤泛或溢出河口时的悬移-推移混合载

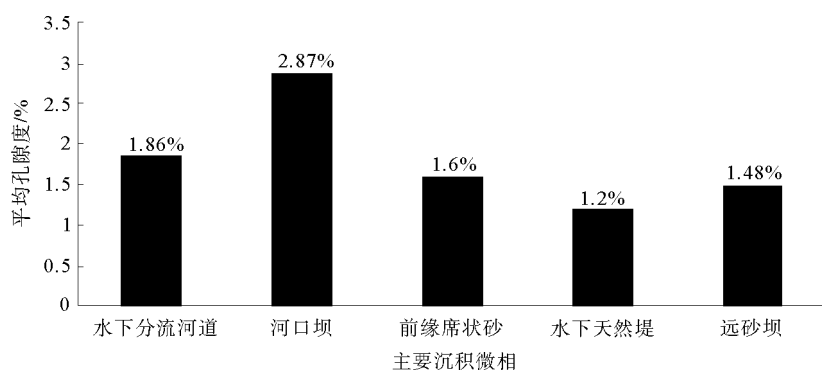


图 7 九龙山-剑阁珍珠冲段沉积微相与孔隙度关系图

Fig. 7 Sedimentary microfacies diagram of porosity Zhenzhuchong member in Jiulong mountain and Jiange area

荷沉积作用,沉积物堆积速度快并且改造不充分,所以粒度相对较细,分选性较差,不利于成岩流体的流通,为不利于储层砂岩发育的沉积微相。水下分流河道砂体孔隙度最大 5.69%,最小 0.08%,平均孔隙度 1.86%;河口坝砂体孔隙度最大 4.1%,最小 0.87%,均值 2.87%;水下天然堤砂体孔隙度最高 2.66%,最低 0.87%,均值 1.2%;远砂坝砂体

孔隙度最大 1.79%，最小 0.57%，均值 1.48%；前缘席状砂砂体实测孔隙度最大 1.70%，最小 0.52%，均值 1.6%（图 7）。

5.2 成岩作用对储层物性的控制

沉积物沉积之后，孔隙体积的变化主要取决于沉积物所受成岩作用的类型和强度。漫长而复杂的成岩作用和演化过程，直接控制着储层的孔隙类型、组合特征和孔隙结构特征。研究区成岩作用对储层物性的控制作用可分为建设性成岩和破坏性成岩两种。

1) 建设性成岩作用

成岩早期，酸性流体对岩石中的粘土杂基和泥板岩岩屑等铝硅酸盐物质进行溶蚀，由此产生的粒间孔和晶间（溶）孔是现阶段岩石储集空间最主要的构成部分。由于岩石中含长石颗粒、岩屑等不稳定易溶组分，在后期构造作用较强时，产生一系列断层和裂缝，伴随排烃高峰的到来，这些断裂为排烃产生的酸性流体提供了有利的通道和供给，从而产生一定量的次生孔隙，形成部分良好储层。尽管溶蚀作用产生的次生孔隙极其有限，但次生孔隙是致密背景下珍珠冲段的主要储集空间，是寻找有效储层的主要方向。

2) 破坏性成岩作用

尽管研究区珍珠冲段砂体发育，但储层欠发育，整体表现出厚度薄、非均质性强等特征。这是由于研究区物源主要来自于龙门山北段和南秦岭地区，沉积物搬运距离短，分选较差，杂基含量较高，在强烈压实压溶作用下，沉积物较致密，使原生孔隙消失速度加大。

此外，研究区的硅质胶结及方解石胶结作用是阻碍储层发育的另一主要因素。其中，硅质胶结作用减少了储层的孔隙空间，改变了储层的孔隙结构，使颗粒间管状吼道变成片状、缝合状，严重影响了流体的渗流，大大降低了储层的渗透率。方解石胶结物充填于粒间孔隙和粒内溶蚀孔隙，局部呈连生胶结堵塞孔隙，砂岩物性极差，还可能形成一个相对隔水层，阻碍地层水和烃类的流通。

5.3 构造作用对储层物性的控制

构造是控制储层裂缝发育的重要因素，通过控制不同构造部位的局部应力分布来控制裂缝发育的程度。据岩心观察，九龙山-剑阁地区珍珠冲段砾岩宏观裂缝较发育，呈多组系形成网状缝，构成广泛分布的渗滤通道。

在断层附近，由于断层活动造成的应力扰动作用，沿断裂带具有明显的应力集中现象，其裂缝明显发育。断层附近的扰动应力带，通常形成与断层平行的一组张裂缝和与断层斜交的两组剪切裂缝。断层的端部等，通常是应力的集中区和裂缝的发育区。由于该区构造应力场以挤压为主，所以逆断层是控制裂缝形成与分布的重要构造因素之一。通过野外露头及岩心裂缝的对比分析和数值模拟，在逆冲断层附近两倍的断距范围内，存在明显的应力集中，控制了其裂缝密集带的分布。逆断层上盘裂缝较下盘裂缝发育，在逆断层上盘，随与断层面距离的增大，裂缝发育程度具有依次递减的趋势。在由逆（冲）断层组成的断块中，冲起构造中裂缝最发育，次为叠瓦式构造，而三角带构造中裂缝发育相对较弱。

此外，褶皱也是控制裂缝发育的重要构造因素。在褶皱的轴部和转折端等曲率较大的部位裂缝最发育，而褶皱翼部的发育程度相对较差，其中陡翼的裂缝与缓翼相比较发育。

6 结论

1) 川西北珍珠冲段储层岩石类型在不同地区变化明显，九龙山地区珍珠冲段储层岩石类型为砾岩、砂砾岩以及砂岩；剑阁地区珍珠冲段储层岩石类型为砾岩。九龙山-剑阁地区岩性在纵向上从底部到顶部依次为石英质砾岩、岩屑砂岩（富碳酸盐岩屑）和沉积石英质砾岩。

2) 川西北九龙山地区的珍珠冲段储集空间以次生粒间孔为主，次为晶间孔、粒内孔和裂缝，储层物性差，结合孔渗相关性特征，认为该区储层为裂缝-孔隙型储层；剑阁地区珍珠冲段储集空间以粒间孔为主，次为晶间孔、粒内孔、晶洞和裂缝，储层物性差，为裂缝-孔隙型储层。

3) 沉积作用是影响储层物性的重要因素之一。沉积物经压实作用后，保留下来的原生粒间孔隙度为 4.4%~7.7%，是该区珍珠冲组孔隙损失的直接原因，胶结作用把颗粒间的吼道改选成片状、缝合状，严重影

响流体的渗流,大大降低了储层渗透率;溶蚀作用所形成的粒间溶孔和高岭石晶间(溶)孔,为储层提供了储集空间,是形成良好储层的重要因素;构造破裂作用则是形成良好储层的关键因素。

参考文献:

- [1]王亮国,余福林,邓康龄,等.川西拗陷侏罗系沉积环境[J].油气地质与采收率,2001,8(6):13-16.
Wang Lianguo, Yu Fulin, Deng Kangling, et al. Sedimentary environment of the Jurassic in western Sichuan depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(6): 13-16.
- [2]王世谦,罗启后,邓鸿斌,等.四川盆地西部侏罗系天然气成藏特征[J].天然气工业,2001,21(2):1-8.
Wang Shiqian, Luo Qihou, Deng Hongbin, et al. Characteristics of forming Jurassic gas reservoirs in the west part of Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(2): 1-8.
- [3]周游,古茜,王帆.四川盆地川中地区珍珠冲段储层特征研究[J].内江科技,2010(5):112-113.
Zhou You, Gu Qian, Wang Fan. Research on reservoir characteristics of Zhenzhuchong section in the central part of Sichuan Basin[J]. Neijiang Science and Technology, 2010(5): 112-113.
- [4]马廷虎,许希辉,刘定锦,等.渡口河构造珍珠冲段浅层天然气成藏条件分析[J].天然气工业,2005,25(9):14-16.
Ma Tinghu, Xu Xihui, Liu Dingjin, et al. Reservoir condition analysis of shallow gas in Zhenzhuchong member in Dukouhe structure[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(9): 14-16.
- [5]王威,盘昌林,岳全玲.川东北元坝地区自流井组珍珠冲段致密储层特征与主控因素[J].石油地质与工程,2011,25(5):10-12.
Wang Wei, Pan Changlin, Yue Quanling. Dense reservoir characteristics and main controlling factors from the Zhenzhuchong section of the Ziliujing Formation in Yuan dam area of northeast area in Sichuan province[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(5): 10-12.
- [6]邵彦蕊,胡明毅.川西北部上三叠统须家河组储层成岩作用研究[J].石油地质与工程,2006,20(5):13-18.
Shao Yanrui, Hu Mingyi. Diagenesis of Xujiahe Formation reservoir of upper Triassic in the northwest of Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2006, 20(5): 13-18.
- [7]周文,戴建文.四川盆地西部拗陷须家河组储层裂缝特征及分布评价[J].石油实验地质,2008,30(1):20-25.
Zhou Wen, Dai Jianwen. The characteristics and evaluation of fractures distribution in Xujiahe Formation in the western depression of the Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(1): 20-25.
- [8]李跃纲,巩磊,曾联波,等.四川盆地九龙山构造致密砾岩储层裂缝特征及其贡献[J].天然气工业,2012,32(1):22-26.
Li Yuegang, Gong Lei, Zeng Lianbo, et al. Characteristics of fractures and their contribution to the deliverability of tight conglomerate reservoirs in the Jiulongshan structure, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(1): 22-26.

(责任编辑:高丽华)