

文章编号: 1009-3850(2016)01-0104-05

# 川东北元坝-通南巴地区须四段储层物源类型 及主控因素分析

潘磊, 申继山, 郝景宇

(中国石化勘探分公司勘探研究院, 四川 成都 610041)

摘要: 近期勘探在川东北元坝-通南巴地区须家河组四段获得工业气流, 揭示须四段具有良好的勘探前景, 但其天然气富集程度差异较大, 储层特征及主控因素尚待揭示。本文通过对大量钻井和分析测试资料的深入分析, 明确了研究区须四段物源来自龙门山、米仓山和大巴山等多个构造带, 研究区须四段可分为富钙屑砂砾岩、富石英砂砾岩和富长石砂岩3种类型储层。认为储层发育明显受到物源、成岩作用和裂缝等因素共同控制: 物源体系控制储层岩石类型和空间展布, 溶蚀作用改善了储层物性, 而裂缝对致密砂岩渗透率的提高具有明显贡献, 是该层段天然气高产的关键因素。元坝东部富长石砂岩和元坝西部富钙屑砂砾岩叠合裂缝发育区是须四段勘探的最有利地区。

关键词: 储层; 物源类型; 主控因素; 须四段; 川东北

中图分类号: TE122.2<sup>+</sup>1

文献标识码: A

川东北元坝-通南巴地区位于四川盆地川北拗陷, 北邻米仓山断褶带, 东为大巴山断褶带, 西为龙门山断褶带<sup>[1]</sup>, 横跨九龙山背斜构造带和通南巴背斜构造带(图1)。研究区内多口井在须家河组测试均获得高产工业气流, 气藏具有分布范围广、局部高产富集的特点, 展示了良好的勘探前景。研究区主要勘探目的层段为须四段, 储层为致密砂岩储层, 类型多样<sup>[1, 2, 3]</sup>, 储集层矿物组分的多样化证实了物源体系的复杂性, 需要认真分析不同物源对储集类型的影响, 以及成岩作用对储集层物性的影响, 才能认清储层的主控因素, 为寻找优质储层提供依据。本文通过对大量的钻井资料以及铸体薄片、扫描电镜和岩石薄片等分析测试资料的综合研究, 明确了研究区多物源背景下须四段致密砂岩优质储层发育的主控因素, 有效指导了油气勘探开发。

## 1 须四段物源类型及储层特征

### 1.1 物源类型

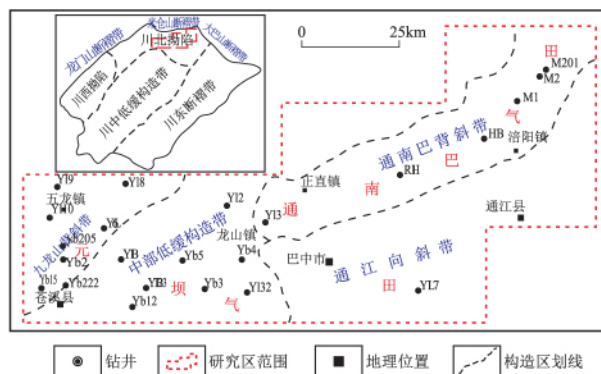


图1 研究区地理位置及构造区划图

Fig. 1 Tectonic setting of the Yuanba-Tongnanba area, northeastern Sichuan

四川盆地晚三叠世存在江南古陆、古龙门山古陆、大巴山古陆、康滇古陆等多个物源体系, 是多物源共同作用的产物<sup>[4]</sup>。须四段沉积期受“安岳运动”影响<sup>[5, 6]</sup>, 龙门山和米仓山-大巴构造带进入强烈逆冲推覆构造活动期, 致使多个造山带的不同类

收稿日期: 2015-08-09; 改回日期: 2015-12-04

作者简介: 潘磊(1984-), 男, 工程师, 主要从事油气地质勘探研究

资助项目: 国家科技重大专项“碎屑岩层系大中型油气田富集规律与勘探关键技术”(2011ZX05002-004) 资助

型的物源开始向盆地内大量充填,为川东北地区提供了大量粗碎屑沉积物,广泛发育辫状河三角洲平原辫状河道-前缘水下分流河道砂砾岩沉积<sup>[7]</sup>。

川东北元坝-通南巴地区位于龙门山、米仓山和大巴山3个构造带的结合部位,是受多物源供影响较大的区域。碎屑岩中砾石、岩屑成分及长石均是指示多物源体系的有利证据。根据钻井岩心及分析测试资料,结合野外露头剖面,认为研究区须四段受控于3个物源体系:龙门山、米仓山和大巴山(图2)。元坝西部地区富钙屑砂砾岩主要来源于盆地西部龙门山构造带;通南巴地区石英砂砾岩主要来源于盆地北部米仓山构造带;元坝东部富长石砂岩主要来源于盆地东北部大巴山构造带。

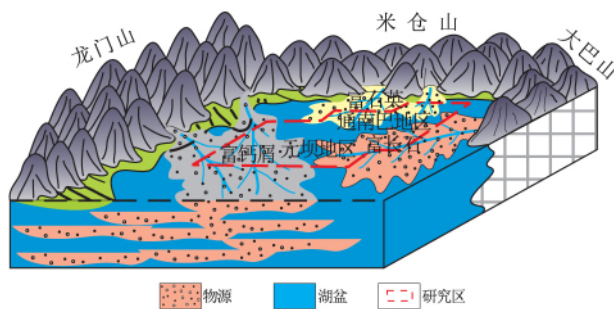


图2 川东北元坝-通南巴地区须四段物源分布模式图

Fig.2 Model showing the provenance distribution in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Yuanba-Tongnanba area, northeastern Sichuan

## 1.2 储层特征

根据钻探资料,川东北元坝-通南巴地区须四段储层可分为富长石砂岩储层、富钙屑砂砾岩储层、富石英砂砾岩储层3种类型(图3),其基本特征差异明显。

### 1.2.1 富长石砂岩储层

该类储层的典型特点是长石含量高,岩石类型为中粒长石砂岩和中粒长石岩屑砂岩,石英含量50%~60%,长石含量为20%~25%,岩屑含量在5%~20%左右,以沉积岩为主。岩石成分成熟度和结构成熟度较低,磨圆为次棱角-次圆状、颗粒支撑、呈点-线接触、孔隙压嵌式胶结,反应储层压实作用较强。孔隙度为7.09%~9.39%,渗透率为 $(0.143 \sim 0.328) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,表现为低孔低渗特征。储集空间为粒间溶孔和粒内溶孔,以长石溶解为主(图4a、b、c)。

### 1.2.2 富钙屑砂砾岩储层

该类储层典型特点是砾石和岩屑成分以碳酸盐岩为主,储层岩石类型为钙屑砂砾岩,砾石成分主

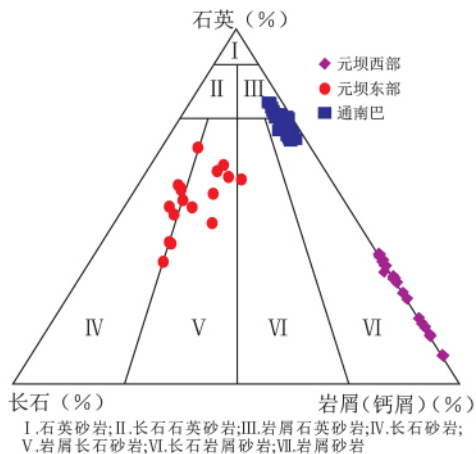


图3 元坝-通南巴地区须四段岩石成分三角图

Fig.3 Triangular diagram of the reservoir rocks from the 4th member of the Xujiahe Formation in the Yuanba-Tongnanba area, northeastern Sichuan

要为碳酸盐岩,含量为80%~90%,其中灰岩砾占50%~65%,白云岩砾占35%~50%;可见瓣、有孔虫类生物化石及鲕粒。砾石分选较差,最小砾径为0.2cm,最大砾径8~10cm,磨圆度高,接触式胶结,胶结物主要为微-粉晶方解石,少量硅质。孔隙度分布在1.65%~4.65%之间,平均为2.43%。受裂缝的影响,渗透率变化较大,最高可达 $241.46 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均 $0.49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储集空间主要为碳酸盐粒内溶孔、填隙物溶孔、裂缝(图4d、e、f)。

### 1.2.3 富石英砂砾岩储层

该类储层砾石成分以石英砾为主,储层岩石类型主要为砂砾岩,颜色为杂色或灰白色,砾石含量70%~95%,成分主要为石英砂岩、燧石等,含少量岩浆岩、泥岩砾石,砾径在0.5~70mm之间,粒间呈点-线接触,分选较差,圆状-次圆状。孔隙度在0.89%~3.65%之间,平均1.6%,基质孔隙基本不发育,只见少量石英晶间孔(图4g、h、i),其储集空间主要为裂缝。

## 2 储层发育主控因素

川东北元坝-通南巴地区须四段储层岩石类型、孔隙类型、物性等基本特征均有较大的差异,具有分布范围广、非均质性强的特点,研究揭示其主要受物源、成岩作用及裂缝等多重因素的影响。

### 2.1 物源决定储层类型的差异

多物源沉积模式为元坝-通南巴地区须四段带来了厚度较大、分布广泛的不同类型砂砾岩体,控制储层分布的规模和范围,为形成多类型储层提供



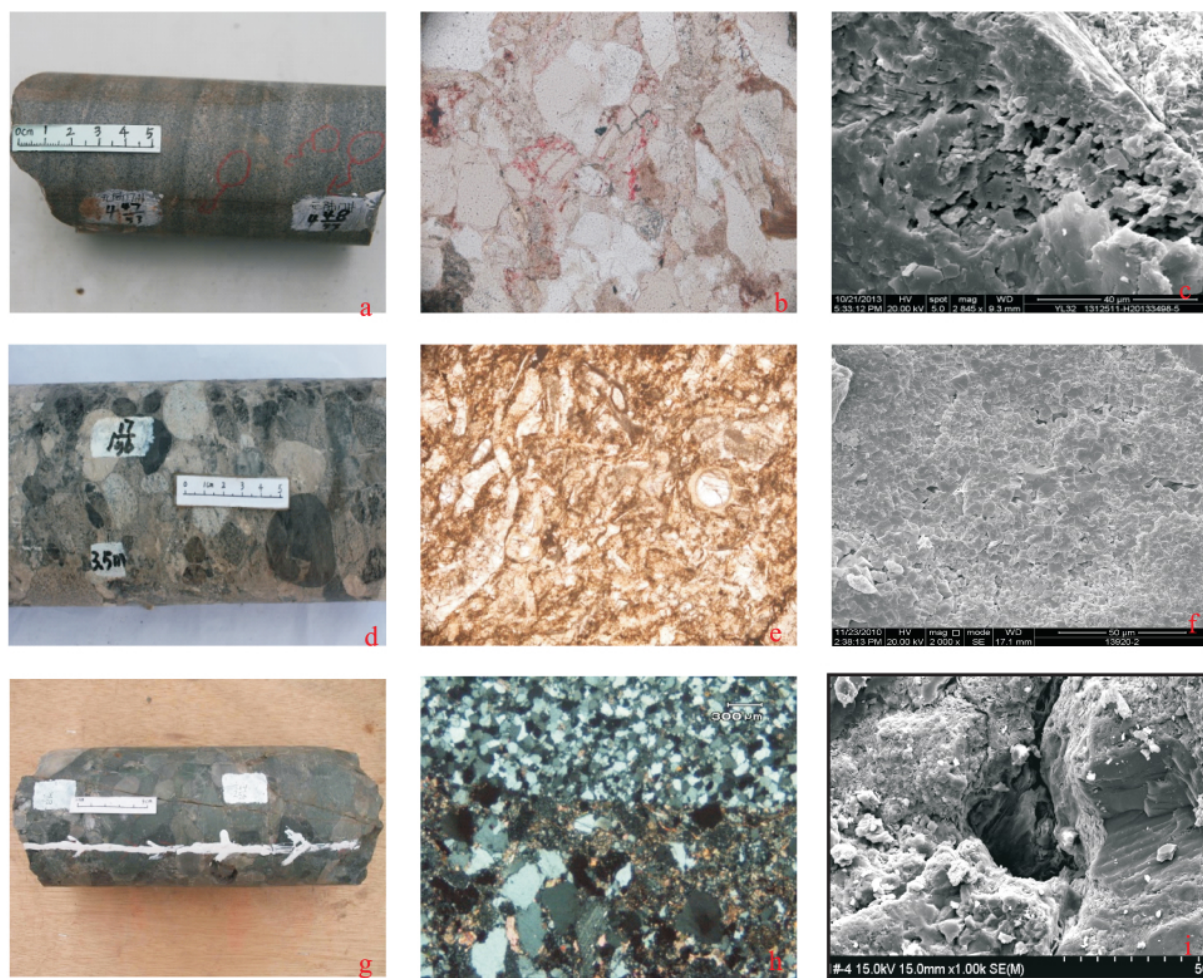


图4 元坝-通南巴须四段岩石类型及储集空间

a. YL17 井, 中粒长石岩屑砂岩, 岩心照片; b. YB123 井, 细-中粒长石岩屑砂岩, 蜂窝状长石内溶孔, 铸体薄片(红色), 单偏光; c. YL32 井, 粗-中粒长石岩屑砂岩, 碱性长石溶蚀形成次生孔, 扫描电镜; d. YL15 井, 钙屑中砾岩, 岩心照片; e. YL15 井, 泥晶生物(有孔虫、节石、介形虫和腕足类等)灰岩砾石; f. YB205 井, 中粒钙屑砂岩, 泥晶白云石见少量粒间、晶间微孔, 扫描电镜; g. M201 井, 石英砾岩, 岩心照片; h. M2 井, 含砾不等粒岩屑砂岩, 正交光; i. M1 井, 须四段, 石英砂砾岩, 石英晶间孔, 扫描电镜

Fig. 4 Rock types and reservoir space types in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Yuanba-Tongnanba area, northeastern Sichuan

了物质基础。

受大巴山物源体系影响,富长石砂岩储层主要分布在元坝地区东部,长石易溶蚀形成孔隙,物性较好,储层类型主要为孔隙型、裂缝-孔隙型。受龙门山物源体系影响,富钙屑砂砾岩储层主要分布在元坝地区西部,钙质易溶蚀形成孔隙、性脆易形成裂缝,储层类型主要为孔隙-裂缝型。受米仓山物源体系的影响,富石英砂砾岩储层主要分布在通南巴地区,石英性脆极易形成裂缝,储层类型主要为裂缝型(表1)。

## 2.2 成岩作用影响储集层的物性

溶蚀作用在区内须四段储层中普遍发育,是形成基质孔隙重要的建设性成岩作用,以长石和碳酸盐岩岩屑等不稳定组分的溶蚀最为普遍。溶蚀作

用主要与有机质成熟过程中产生的有机酸有关<sup>[8]</sup>,须四段下部为须三段厚层暗色泥岩夹煤层的优质烃源岩层系,有机质类型主要为腐植型(Ⅲ型)<sup>[9]</sup>,而在相同情况下,干酪根产生有机酸的浓度按Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类型逐渐增加<sup>[10]</sup>,有机质镜质体反射率 $R_o$ 为1.5%~2.75%,处于成熟-高成熟阶段。在此类有机质成熟过程中,形成大量的有机酸,随泥岩的压实沿孔隙或微裂缝进入须四段的砂岩中,使砂岩中的长石、碳酸盐岩岩屑颗粒产生溶蚀,形成大量的次生孔隙,并对原有粒间孔进行改造和溶蚀扩大,改善了砂岩的孔渗性。以研究区富长石砂岩储层为例,长石含量与物性呈明显的正相关性,长石含量越高,储层的物性越好(图5),说明溶蚀作用是形成深层优质孔隙型储层的重要途径。

表 1 元坝-通南巴地区须四段不同物源体系下储层特征统计

Table 1 Characteristics of the reservoir rocks from different source areas in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Yuanba-Tongnanba area , northeastern Sichuan

物源体系	储层类别	岩石类型	岩矿特征	孔隙度( % )	储集空间	基质孔隙发育程度	储层类型	分布区域
大巴山构造带	富长石砂岩	长石岩屑砂岩、长石砂岩	长石含量高	7.09 ~ 9.39	粒间溶孔、粒内溶孔、裂缝	发育	孔隙型、裂缝-孔隙型	元坝地区东部
龙门山构造带	富钙屑砂砾岩	钙屑砂砾岩	碳酸盐砾石、岩屑含量高	1.65 ~ 4.65	粒内溶孔、填隙物溶孔、裂缝	较发育	孔隙-裂缝型	元坝地区西部
米仓山构造带	富石英砂砾岩	石英砂砾岩	石英、燧石砾石为主	0.89 ~ 3.65	裂缝	不发育	裂缝型	通南巴地区

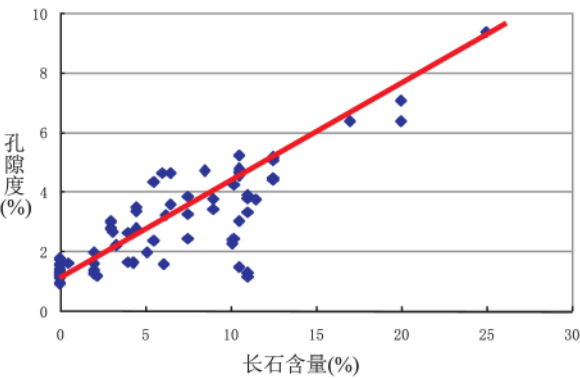


图 5 元坝-通南巴地区须四段长石含量与孔隙度关系  
Fig. 5 Porosity vs. feldspar contents in the feldspar-rich sandstone reservoirs from the 4th member of the Xujiahe Formation in the Yuanba-Tongnanba area , northeastern Sichuan

2.3 裂缝对储层的渗透性起关键性作用

从岩心、FMI 成像资料观察 ,川东北元坝-通南巴地区须四段主要发育规模较大的高角度裂缝和中-低角度网状缝两种类型的裂缝。

高角度构造裂缝在富长石砂岩中较发育 ,平面上主要分布在元坝东部地区。倾角一般大于 80° ,

规模较大 ,裂缝密度小 ,缝长 0.3m 以上 ,缝宽 1 ~ 3mm ,开启度 100% ,未被充填( 图 6a) ,此类裂缝在靠近的断层区域较发育。

中 - 低角度网状缝在富钙屑砂砾岩和富石英砂砾岩储层中较发育 ,以水平缝和横缝为主 ,裂缝密度大 ,最大可达 80 条 /m ,缝宽一般 0.1 ~ 6 mm ,缝长 1.5 ~ 30cm ,大部分未充填( 图 6b) 。平面上主要分布在通南巴背斜构造带和元坝西部地区九龙山背斜构造带。砾石成分为石英、灰岩和白云岩等脆性岩石 ,在持续的构造应力作用下 ,容易产生不规则的破裂 ,形成大量倾向杂乱的网状缝。

裂缝能连通孔隙、促进溶蚀作用发生、提高渗透率 ,是须四段储层高产的关键因素。

目前四川盆地须家河组的勘探实践表明 ,“孔隙控制稳产、裂缝控制高产”。综合研究区物源和储层研究分析认为 ,元坝东部富长石砂岩和元坝西部富钙屑砂砾岩受溶蚀作用的影响 ,储层基质物性较好 ,叠合裂缝发育区是须四段勘探的最有利地区。



图 6 元坝-通南巴地区须四段裂缝岩心照片  
Fig. 6 Pictures showing the fissure development in the cores from the 4th member of the Xujiahe Formation in the Yuanba-Tongnanba area , northeastern Sichuan

### 3 结论

(1) 川东北元坝-通南巴地区须四段储层受到大巴山、龙门山和米仓山构造带等多物源控制,可分为富长石砂岩储层、富钙屑砂岩储层和富石英砂岩储层3类。储层特征具有明显的分异性,富长石砂岩基质物性明显好于富钙屑砂岩和富石英砂岩,而富钙屑砂岩和富石英砂岩裂缝较富长石砂岩发育。

(2) 须四段储层的发育明显受到物源、成岩作用和裂缝发育程度与规模等因素共同控制。物源体系控制储层岩石类型,也控制了储集体的空间展布。溶蚀作用改善了储层物性,而裂缝对致密砂岩储层渗透率的提高具有明显贡献,也是该层段天然气高产的关键因素。

(3) 元坝东部富长石砂岩和元坝西部富钙屑砂岩叠合裂缝发育区是须四段勘探的最有利地区。

#### 参考文献:

[1] 盘昌林,刘树根,马永生,等. 川东北须家河组储层特征及主

控因素[J]. 西南石油大学学报(自然科学版) 2011, 33(3): 27-34.

[2] 陈遼,徐双辉. 川东北元坝地区须家河组四段油气储层特征及主控因素[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014, 6: 213-214.

[3] 程陈,刘成川,罗顺社,等. 川东北MLB地区须家河组须四段储层特征研究[J]. 长江大学学报(自然科学版) 2011, 8(8): 24-27.

[4] 谢继容,李国辉,唐大海. 四川盆地上三叠统须家河组物源供给体系分析[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 29(4): 1-3.

[5] 王金琪. 安县构造运动[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 223-234.

[6] 罗启后. 安县运动对四川盆地中西部上三叠统地层划分对比与油气勘探的意义[J]. 天然气工业, 2011, 31(6): 21-27.

[7] 毛琼,郑荣才,邹光富,等. 川东北前陆盆地上三叠统沉积相及沉积演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(1): 1-10.

[8] 李士祥,胡明毅. 川西前陆盆地上三叠统须家河组砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(4): 535-538.

[9] 郭彤楼. 四川盆地北部陆相大气田形成与高产主控因素[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(2): 139-149.

[10] 朱抱荃,程中第. 地层干酪根有机酸与储层次生孔隙的关系[J]. 石油实验地质, 2007, 14(1): 206-215.

## Provenance types and controlling factors of the 4th member of the Xujiahe Formation in the Yuanba-Tongnanba area, northeastern Sichuan

PAN Lei, SHEN Ji-shan, HAO Jing-yu

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petroleum Exploration and Development Branch, SINOPEC, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** The industrial gas flows have been explored recently in the 4th member of the Xujiahe Formation in the Yuanba-Tongnanba area, northeastern Sichuan. Judged from drill cores and thin section examination, the sediments in the 4th member of the Xujiahe Formation may emanate from several structural belts in the Longmen, Micang and Daba Mountain areas. The reservoir rocks contain three types: calcium-rich sandstones and conglomerates, quartz-rich sandstones and conglomerates and feldspar-rich sandstones. The controlling factors include provenance types, diagenesis and fissure development. The types and spatial distribution of the reservoir rocks are constrained by the provenance systems. The dissolution facilitates the improvement of the porosity and permeability of the reservoir rocks. The fissures may contribute to the improvement of the permeability of the dense sandstones. The fissure development in feldspar-rich sandstones in eastern Yuanba and calcium-rich sandstones and conglomerates in western Yuanba is believed to be most favourable exploration conditions in the 4th member of the Xujiahe Formation.

**Key words:** reservoir rock; provenance type; controlling factor; 4th member of the Xujiahe Formation; northeastern Sichuan