

# 川西坳陷须家河组致密砂岩储层 裂缝发育特征及其成因

——以孝泉—新场—合兴场地区为例

王春梅<sup>1</sup> 黄思静<sup>1</sup> 孙治雷<sup>2</sup> 胡作维<sup>1</sup> 黄可可<sup>1</sup> 佟宏鹏<sup>3</sup>

1. 成都理工大学沉积地质研究院 2. 青岛海洋地质研究所 3. 中国科学院广州地球化学研究所

王春梅等. 川西坳陷须家河组致密砂岩储层裂缝发育特征及其成因——以孝泉—新场—合兴场地区为例. 天然气工业, 2011, 31(8): 43-47.

**摘要** 川西坳陷孝泉—新场—合兴场地区上三叠统须家河组储层具有埋藏深、致密、低孔隙度、低渗透率的特点, 裂缝的发育程度对储层具有重要的意义。为此, 通过岩心观察和显微镜下薄片鉴定, 研究了裂缝的发育类型、发育密度、发育频率以及充填特征。结果表明: 储层中以低角度裂缝发育为主, 高角度裂缝欠发育; 微裂缝对须二段储集空间的影响显著大于须四段, 在须二段地层中, 对储层渗透率有实质性影响的主要是一些相对宏观的裂缝。综合区域地质背景及前人的研究成果, 认为差异压实导致的非构造作用是该区裂缝尤其是须二段裂缝形成的主要机制, 但后期燕山、喜山构造运动产生的构造应力都可能叠加在原有的非构造成因的裂缝上, 使之具有构造成因色彩。

**关键词** 川西坳陷 晚三叠世 致密砂岩储层 薄片鉴定 裂缝 非构造成因 构造成因 差异压实

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2011.08.010

孝泉—新场—合兴场地区位于龙门山前缘的川西坳陷中段, 晚三叠世以来须家河组沉积期间, 深受龙门山造山带崛起的影响, 沉积环境完成了自海相向陆相的变迁, 并历经印支、燕山和喜山等多期次大的构造运动的改造<sup>[1-3]</sup>。该区上三叠统须家河组为致密砂岩储层, 自下而上分为须二—须五段, 位于上覆的侏罗系白田坝组和下伏上三叠统的小塘子组、马鞍塘组之上, 并与下伏小塘子组、马鞍塘组形成两个成藏组合, 即下部马鞍塘、小塘子组(生)—须二段(储)—须三段(盖), 上部须三段(生)—须四段(储)—须五段(盖)<sup>[4-7]</sup>。

前人研究表明, 孝泉—新场—合兴场地区须家河组砂岩储层主要为须二段和须四段, 属裂缝型或孔隙—裂缝型储层, 除喜山运动对裂缝活化沟通的部分储层能获自然产能外, 仍有大量的天然气封存在微裂隙及孔隙中<sup>[8-12]</sup>。据岩心密度统计, 裂缝密度普遍都超过 5.59 条/m, 局部岩心段上包括微裂缝在内高达 65.71 条/m, 而川孝 565 井的薄片见缝率达到了

78.9%, 裂缝的广泛发育在改善致密储层砂岩物性上具有十分重要的作用<sup>[13-20]</sup>。研究裂缝的发育特征及分布规律, 对该区致密砂岩气藏勘探和开发都具有重要的意义。

## 1 裂缝识别及发育特征

为便于统计将该区岩心裂缝按角度大小分为 I 型、II 型两种, I 型指低角度裂缝( $<45^\circ$ , 含水平裂缝), II 型指高角度裂缝( $\geq 45^\circ$ , 含垂直裂缝)。对该区 8 口重点井的岩心进行了观察, 并选择其中典型段的 52.28 m 作了细致识别与统计, 结果如表 1 所示。

### 1.1 裂缝的形态特征

岩心上出现频率最多的是低角度裂缝, 通常小于等于  $15^\circ$ , 基本上沿板状交错层理或水平层理分布, 缝宽小于等于 0.30 mm, 大多无充填, 处于开启状态, 部分所观察到的低角度裂缝残留有油迹。低角度裂缝在所观察的 8 口井中均有分布, 并在某一层段密集出现, 呈“酥饼状”构造。

基金项目: 国家科技重大专项子课题“四川盆地碎屑岩有利储集相带与储层成岩作用研究”(编号: 2008ZX05002-004)。

作者简介: 王春梅, 女, 1981 年生, 博士研究生; 从事沉积地质学与储层矿物岩石学方面的研究工作。地址: (610059) 四川省成都市成都理工大学沉积地质研究院。电话: 15982265665。E-mail: may\_time@126.com

表 1 孝泉—新场—合兴场地区须家河组二、四段岩心参数统计表

井号	层位	深度/m		岩心长度/ m	数量/条			密度/条·m <sup>-1</sup>			频率	
		顶面	底面		总数量	I 型	II 型	I 型	II 型	总密度	I 型	II 型
川高 561	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	4 935.34	4 940.19	4.85	71	71	0	14.64	0	14.64	100.00%	0
川合 127	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	4 574.77	4 581.42	6.65	21	6	15	0.90	2.26	3.16	28.57%	71.43%
川合 137	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	4 618.42	4 622.12	3.70	22	20	2	5.41	0.54	5.95	90.91%	9.09%
川合 138	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	4 562.00	4 563.43	1.43	52	50	2	34.97	1.40	36.36	96.15%	3.85%
川合 139	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	4 536.30	4 538.96	2.66	8	8	0	3.01	0	3.01	100.00%	0
川罗 562	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	5 103.09	5 107.74	4.65	26	22	4	4.73	0.86	5.59	84.62%	15.38%
川孝 560	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	4 924.25	4 926.00	1.75	115	113	2	64.57	1.14	65.71	98.26%	1.74%
川孝 560	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	4 804.01	4 805.81	1.80	28	26	2	14.44	1.11	15.56	92.86%	7.14%
川孝 565	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	5 069.21	5 071.34	2.13	59	56	3	26.29	1.41	27.70	94.92%	5.08%
川孝 565	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	5 058.66	5 060.16	1.50	41	26	15	17.33	10.00	27.33	63.41%	36.59%
川高 561	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3 627.66	3 631.36	3.70	2	1	1	0.27	0.27	0.54	50.00%	50.00%
川合 127	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3 387.48	3 388.32	0.84	27	24	3	28.57	3.57	32.14	88.89%	11.11%
川合 137	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3 920.00	3 923.61	3.61	0	0	0	0	0	0	0	0
川合 139	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3 778.99	3 782.99	4.00	7	7	0	1.75	0	1.75	100.00%	0
川罗 562	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3 603.63	3 603.86	0.23	20	20	0	86.96	0	86.96	100.00%	0
川罗 562	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3 603.17	3 607.08	3.91	45	45	0	11.51	0	11.51	100.00%	0
川孝 560	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3 522.67	3 524.15	1.48	2	0	2	0	1.35	1.35	0	100.00%
川孝 565	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3 557.01	3 560.40	3.39	0	0	0	0	0	0	0	0
小计	T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>			31.12	443	398	45	12.79	1.45	14.24	89.84%	10.16%
	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>			21.16	103	97	6	4.58	0.28	4.87	94.17%	5.83%
共计				52.28	546	495	51	9.47	0.98	10.44	90.66%	9.34%

高角度裂缝出现频率相对较低,延伸较长,缝面平直,缝宽较低角度裂缝大,岩心上可见视宽度为 30 mm 的高角度裂缝,一般呈充填或半充填状态,充填多为碳酸盐,也可见硅质胶结物,未充填或半充填的缝壁常常被有机质浸染。低角度裂缝、高角度裂缝及不同倾向的各种裂缝可同时出现,它们可能是同期的或非同期的,并构成网状裂缝系统。

## 1.2 各层段裂缝发育特点

该区须家河组以发育低角度裂缝为主,发育密度

大致是高角度裂缝的 10 倍,出现频率超过 90%。无论是低角度还是高角度裂缝,须二段都较须四段更为发育,其裂缝平均密度显著大于须四段(表 1、图 1)。

## 2 裂缝分析及成因机制探讨

### 2.1 裂缝的薄片观察与分析统计

#### 2.1.1 显微镜下裂缝特征

显微镜下所观察到的裂缝根据形态大致可以分为如下几种(图 2):

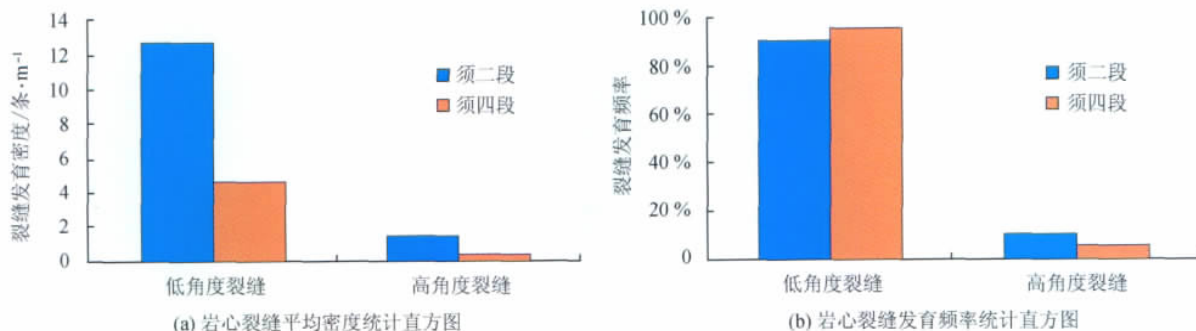


图 1 须二段、须四段岩心裂缝发育特征图

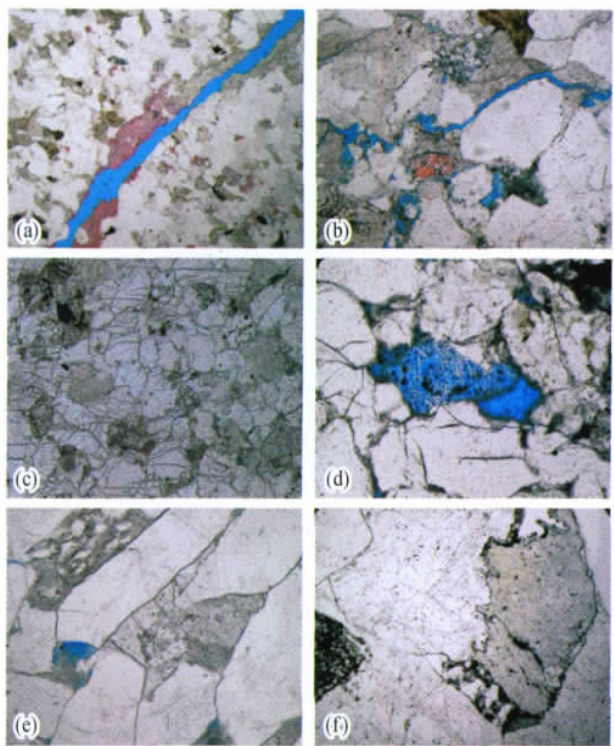


图 2 显微薄片识别裂缝特征照片

a. 早期裂缝生成后充填了碳酸盐胶结物,胶结物部分溶蚀后沿原裂缝又发育新的裂缝。川孝 565 井,5 054.96 m,须二段,铸体薄片,单偏光,对角线长 3.75 mm。b. 溶蚀改造的裂缝,裂缝宽度较大,并与由溶解作用形成的次生孔隙连通。川高 561 井,3 701.93 m,须四段,铸体薄片,单偏光,对角线长 1.5 mm。c. 切穿颗粒与基质的微裂缝,延伸长度较大,有较好定向性。新 851 井,4 843.0 m,须二段,铸体薄片,单偏光,照片短边长 1.0 mm。d. 延伸长度仅限于颗粒内部的裂缝,石英颗粒内部微孔隙发育,川高 561 井,4 992.67 m,须二段,铸体薄片,单偏光,对角线长 0.75 mm。e. 粒缘微裂缝,川高 561 井,3 693.59 m,须四段,铸体薄片,单偏光,对角线长 1.5 mm。f. 缝合线,川高 561 井,4 926.65 m,须二段,铸体薄片,单偏光,对角线长 1.5 mm

- 1)碳酸盐胶结物溶解使缝宽扩大及互相连通,微裂缝的长度通常超过 5 mm(图 2-a)。
- 2)长石溶蚀并改造的裂缝,视宽度较大,达到几十微米,缝壁有溶蚀痕迹,可有暗色不溶矿物沉淀,有时连通两个或以上次生孔隙(图 2-b)。
- 3)切穿颗粒与基质的微裂缝,延伸长度较大,一般超过一个颗粒直径,镜下可达 5 mm 甚至更长,一般缝宽介于 2~5  $\mu\text{m}$ ,但也有较大的可达 20  $\mu\text{m}$ ,常常在局

- 部范围内有较好定向性(图 2-c)。
- 4)延伸长度仅限于颗粒内部的裂缝,裂缝较平直,缝宽较小,通常为 1~2  $\mu\text{m}$ ,有时联结成方格网状,在刚性颗粒如石英表面常见(图 2-d)。
- 5)粒缘微裂缝,裂缝一般较弯曲,延伸方向视颗粒边缘轮廓走向而定,但也有少数延伸到基质与其他颗粒内部的现象,与后期的改造作用有关(图 2-e)。
- 6)缝合线,薄片下主要观察到粒间缝合线,可伴有不溶残余矿物沉淀和有机质富集,如沥青充填(图 2-f)。

此外,镜下亦常见有机质充填缝及其中的收缩缝,有机质充填缝宽介于 0.1~0.3 mm,由于有机质的收缩作用,其内部可出现一些细小的微裂缝,宽度约数微米,延伸方向不超过有机质条带边界,呈开启状态,但其连通性较差。

另外,还有一种沿矿物颗粒解理面裂开的裂缝,如沿云母、长石、碳酸盐等解理较发育的矿物颗粒发育的微裂缝,由于缝宽小且延伸不大,彼此独立,沟通性很差,意义不大。

2.1.2 显微镜下裂缝的分析统计

为了说明薄片裂缝的分布特征,尤其是须二段和须四段裂缝发育和分布的差异性,选取裂缝较为发育的川孝 565 井,对薄片裂缝进行了系统鉴定和统计,据 Cmexoba 等于 1962 年提出的薄片微裂缝各项指标的计算公式<sup>[18]</sup>,计算微裂缝的各项特征参数并求取平均值(表 2)。

须二段与须四段相比,前者比后者具有较大的微裂缝面积密度,但差别不大,且没有考虑微裂缝的宽度;须二段微裂缝的平均长度和平均宽度显著大于须四段,分别是须四段的 12 倍和 6 倍;须二段的微裂缝孔隙度平均值显著大于须四段,分别为 0.51% 和 0.16%,须二段的孔隙度是须四段的 3.2 倍;须二段微裂缝的内蕴渗透率显著大于须四段,须二段是须四段的 444 倍。

川孝 565 井 71 个具有代表性的薄片,镜下可识别裂缝的薄片有 56 个,包括 30 个须二段的薄片和 41 个须四段的薄片。其中须二段见缝薄片 22 个,见缝频

表 2 川孝 565 井岩石薄片微裂缝参数平均值统计表

层位	平均长度/ mm	平均宽度/ $\mu\text{m}$	数量/条	面积密度/ $\text{mm} \cdot \text{mm}^{-2}$	孔隙度	内蕴渗透率/ mD	样品数/个
$T_3x^2$	5.01	11.463	6.1	0.126	0.506%	0.004 879	20
$T_3x^4$	0.42	1.912	5.6	0.101	0.156%	0.000 011	34
总计	2.12	5.449	5.8	0.110	0.286%	0.001 810	54

率为 73.3%，须四段见缝薄片 34 个，见缝频率为 82.9%。须四段比须二段具有较高的薄片见缝频率，但与该井的岩心观察结果不一致，在须四段的岩心上可供统计的裂缝很少，因而就对储层更有价值的裂缝

来说，须二段应该比须四段更发育。

据川孝 565 井须二、须四段岩心孔隙度和渗透率的分析结果，可估算裂缝孔隙度和内蕴渗透率对总孔隙度和总渗透率的贡献值(表 3)。

表 3 川孝 565 井储层中裂缝孔隙度和内蕴渗透率对总孔隙度和总渗透率的贡献值

层位	项目	岩心测试值		裂缝计算值		裂缝的贡献值	
		孔隙度	渗透率/mD	孔隙度	渗透率/mD	孔隙度	渗透率
$T_3x^2$	平均值	2.54% (37) <sup>1)</sup>	0.889 9 (20)	0.506% (20)	0.004 879 (20)	19.88% (20)	0.548% (20)
$T_3x^4$	平均值	7.16% (168)	0.053 7 (168)	0.156% (34)	0.000 011 (34)	2.18% (34)	0.020% (34)
总计	平均值	6.33% (205)	0.143 (188)	0.286% (54)	0.001 810 (54)	4.52% (54)	1.272% (54)

注：括号内为样品个数。

须二段裂缝孔隙度和内蕴渗透率对总孔隙度和总渗透率的贡献值都显著大于须四段，但如果只考虑薄片中的微裂缝，其对总孔隙度和总渗透率的贡献值都很小，孔隙度贡献值为 19.88%，渗透率的贡献值仅为 0.548%，但无论是孔隙度还是渗透率，都应对岩心尺度的孔隙度和渗透率产生一定的影响，特别是对一些渗透率很低的样品来说，微裂缝对渗透率的增加会有一些作用。

## 2.2 裂缝成因机制探讨

前人认为构造裂缝对该区的油气聚集起着主要作用<sup>[17,21-26]</sup>，而对该区的古构造应力场模拟，构造应力差值小<sup>[24]</sup>，构造裂缝不发育<sup>[8,27]</sup>，且构造裂缝难以解释缝洞系统的分布<sup>[8,11-12]</sup>。而该区致密储层中无论是岩心观测还是薄片下观察裂缝，总体上都可见裂缝缺乏良好的定向性、具有无组系、无规律性、分布具有局限性与偶然性<sup>[8,11-12,27]</sup>。

孝泉—新场—合兴场地区裂缝中充填的自生石英具有较低的沉淀温度(58~68℃)，沉淀时间大致在须四时中期<sup>[13]</sup>，表明这些裂缝是在须四时中期以前就已形成。主要储层须二段和须四段都经历了燕山运动和喜山运动，此外须二段还经历了安县运动<sup>[28-32]</sup>。裂缝主要发育在须二段，说明须二段经历了比须四段不同的与裂缝形成机制有关的地质条件，同时这种地质条件也主要是非构造成因的。

非构造成因机制主要是差异压实作用<sup>[8,11-12,33]</sup>，其次是雷口坡组地层中厚度巨大的蒸发岩可能发生溶解<sup>[34]</sup>及雷口坡组地层中蒸发岩的二次脱水，此外砂岩中碳酸盐胶结物溶解及长石溶蚀使缝宽扩大及互相连

通，在一定程度上能够改善储层。

非构造作用是该区尤其是须二段裂缝形成的主要机制，但其后经历的构造运动所产生的构造应力都可能叠加在原有的非构造成因裂缝上，使其具有构造成因的色彩。研究中曾观察到后期构造成因裂缝对早期非构造成因裂缝的叠加，在相对早期阶段发育的裂缝被自生碳酸盐矿物充填后愈合，又在相对晚期阶段沿原裂缝部分重新发育新的裂缝，并切穿原有裂缝中的碳酸盐胶结物。

## 3 结论

1)无论是岩心尺度的裂缝还是薄片尺度的裂缝，须二段均比须四段更为发育。据岩心观察和统计，低角度裂缝比高角度裂缝更为发育，前者的密度大致是后者的 10 倍。

2)据薄片鉴定和参数计算，微裂缝对须二段储集空间的影响显著大于须四段，分布于须四段中的微裂缝主要是一些宽度很小，延伸长度很短的裂缝。在须二段地层中，对储层渗透率有实质性影响的也主要是一些相对宏观的裂缝，大多数薄片尺度的微裂缝对储层渗透率的影响是相对有限的。

3)非构造作用是该区裂缝尤其是须二段裂缝形成的主要机制，但后期燕山、喜山构造运动产生的构造应力都可能叠加在原有的非构造成因的裂缝上，使之具有构造成因色彩。在构造运动欠发育地区的致密低渗砂岩储层中，只有两种成因的裂缝互为补充，相互沟通，才会使孔隙度和渗透率得到应有的改善，从而变为有效储层。



## 参 考 文 献

- [1] 刘和甫,梁慧社,蔡立国,等. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化[J]. 地质学报,1994,68(2):110-118.
- [2] 邓康龄,余福林. 川西坳陷的复合构造与油气关系[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):214-219.
- [3] 冷济高,杨克明,叶军,等. 孝泉—丰谷构造带须家河组地层水成因分析[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(1):57-63.
- [4] 吕正祥. 川西孝泉构造上三叠统超致密储层演化特征[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2005,32(1):22-26.
- [5] 马立元,周总瑛. 川西坳陷中段上三叠统须家河组天然气资源潜力分析[J]. 天然气地球科学,2009,20(5):730-737.
- [6] 何鲤,李梅,熊亮,等. 再谈四川盆地上三叠统层序地层划分方案[J]. 天然气工业,2011,31(6):28-33.
- [7] 林小兵,刘莉萍,魏力民. 川西丰谷地区须四段钙屑砂岩含气储层预测[J]. 西南石油大学学报,2007,29(2):82-84.
- [8] 王洪辉,陆正元. 四川盆地中西部上三叠统砂岩非构造裂缝储层[J]. 石油与天然气地质,1998,19(1):35-41.
- [9] 王金琪. 四川盆地油气地质特征——纪念黄汲清先生百岁诞辰[J]. 石油实验地质,2004,26(2):115-120.
- [10] 杨克明,叶军,吕正祥. 川西坳陷上三叠统须家河组天然气分布及成藏特征[J]. 石油与天然气地质,2004,25(5):502-505.
- [11] 陈立官,陆正元,夏先禹,等. 川中香溪群中与差异压实作用有关的非构造裂缝储层[J]. 成都地质学院学报,1991,18(1):120-124.
- [12] 陈立官,王洪辉,朱创业,等. 川中香溪群中裂缝形成机理探讨[J]. 成都地质学院学报,1992,19(1):25-33.
- [13] 吴铭,李华昌. 川西坳陷孝泉—丰谷构造带须家河组气藏成藏机制研究[J]. 成都理工学院学报,2002,29(2):161-167.
- [14] SHANLEY K W, CLUFF R M, ROBINSON J W. Factors controlling prolific gas production from low-permeability sandstone reservoirs: implications for resource assessment, prospect development, and risk analysis[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(8): 1083-1121.
- [15] NELSON R A. 天然裂缝性储集层地质分析[M]. 柳广第,朱筱敏,译. 北京:石油工业出版社,1991.
- [16] 陈辉,田景春,张翔,等. 川东北地区下三叠统飞仙关组鲕滩白云岩成因[J]. 天然气工业,2008,28(1):42-46.
- [17] 张哨楠. 致密砂岩储层成岩作用及地球化学特征[M]. 成都:四川科学技术出版社,1997.
- [18] 王允诚,周文,朱永铭,等. 裂缝性致密油气储集层[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [19] 陈冬霞,黄小惠,李林涛,等. 川西坳陷上三叠统烃源岩排烃特征与排烃史[J]. 天然气工业,2010,30(5):41-45.
- [20] 张筠,朱小红,李阳兵,等. 川西深层致密碎屑岩储层测井评价[J]. 天然气工业,2010,30(1):31-35.
- [21] 王金琪. 龙门山构造演化与山前带油气关系[J]. 地球学报,1994(3/4):167-179.
- [22] 周文,戴建文. 四川盆地西部凹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.
- [23] 邓绍强,胡明,颜其彬,等. 龙门山北段构造模式及油气勘探方向[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(4):184-188.
- [24] 张守仁,万天丰,陈建平. 川西坳陷孝泉—新场地区须家河组二—四段构造应力场模拟及裂缝发育区带预测[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):70-74.
- [25] 匡建超,曾剑毅,储昭奎,等. 川西龙门山前缘主要断层封堵性评价[J]. 天然气工业,2008,28(11):42-45.
- [26] 曹俊兴,刘树根,何晓燕,等. 龙门山地震对川西天然气聚散的影响[J]. 天然气工业,2009,29(2):6-11.
- [27] 郭璇,钟建华,徐小林,等. 非构造裂缝的发育特征及成因机制[J]. 石油大学学报:自然科学版,2004,28(2):6-11.
- [28] 王金琪. 安县构造运动[J]. 石油与天然气地质,1990,11(3):223-234.
- [29] 谢志良,黄耀宗,李德星,等. 川西坳陷中段中、新生代构造运动与须家河组生、储、盖层发育关系研究[J]. 四川地质学报,2009,29(4):406-408.
- [30] 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.
- [31] 林良彪,陈洪德,侯明才. 须家河组砂岩组分特征与龙门山推覆体的形成演化[J]. 天然气工业,2007,27(4):28-30.
- [32] 刘树根,赵锡奎,罗志立,等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造事件研究[J]. 成都理工学院学报,2001,28(3):221-230.
- [33] 冯昌寿. 松南地区十屋断陷非构造圈闭特征[J]. 天然气工业,2004,24(3):40-43.
- [34] 黄思静,曾允孚. 四川成都盆地某深层富钾卤水的地球化学特征及成因[J]. 沉积学报,1997,15(3):67-71.

(修改回稿日期 2011-07-04 编辑 罗冬梅)

### Characteristics and origin of fractures in tight sandstone reservoirs of the Xujiahe Formation in the Western Sichuan Depression: A case study in the Xiaoquan - Xinchang - Hexingchang area

Wang Chunmei<sup>1</sup>, Huang Sijing<sup>1</sup>, Sun Zhilei<sup>2</sup>, Hu Zuowei<sup>1</sup>, Huang Keke<sup>1</sup>, Dong Hongpeng<sup>3</sup>

(1. School of Sedimentary Geology Research, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong 266071, China; 3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 31, ISSUE 8, pp. 43-47, 8/25/2011. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** The reservoirs of the Xujiahe Formation in the Xiaoquan - Xinchang - Hexingchang area of the Western Sichuan Depression are characterized by great burial depth, tightness, low porosity and low permeability, thus the development degree of fractures is critical to reservoir quality. This paper studies the type, density, frequency and filling of fractures in the reservoirs through core observation and microscopic thin section analysis. Low angle fractures are predominant, while high angle fractures are rare. Influences of microfractures on reservoir space in the 2nd member are greater than that in the 4th member of the Xujiahe Formation. Only the relatively large fractures have substantial impacts on reservoir permeability of the 2nd member. In combination with regional geologic background and previous study results, the non-tectonic action from differential compaction is believed to be the major mechanism of fracture formation, especially in the 2nd member. However, tectonic stress generated during Yanshan and Himalayan movements might have some footprints on these non-tectonic fractures, making them appear like tectonic fractures.

**Key words:** Western Sichuan Depression, Late Triassic, tight sandstone reservoir, thin section analysis, fracture, non-tectonic origin, tectonic origin, differential compaction

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.08.010

**Wang Chunmei**, born in 1981, is studying for a Ph. D degree and is engaged in research of geology and reservoir mineralogy and petrology.

**Add:** Dongsan Rd., Erxianqiao, Chenghua District, Chengdu, Sichuan 610059, P. R. China

**Mobile:** +86-15982265665 **E-mail:** may\_time@126.com

### Quantitative analysis of carbonates and its application to logging in the Sichuan Basin

Han Yonggang<sup>1</sup>, Zhao Rongrong<sup>2</sup>, Li Ping<sup>1</sup>, Chen Shuliang<sup>1</sup>, Pu Rui<sup>1</sup>, Li Yongbao<sup>1</sup>

(1. Geological Exploration and Development Research Institute, Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., CNPC, Chengdu, Sichuan 610051, China; 2. Exploration Department, Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan 610051, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 31, ISSUE 8, pp. 48-51, 8/25/2011. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** Carbonate reservoirs are the major targets of exploration in the Sichuan Basin. Previous logging identification of carbonate rock debris is mainly based on experiences of logging service personnel, chemical analysis and carbonates analyzer. In recent years, innovative PDC drill bits and gas drilling technologies have been widely applied in exploration, thereby to greatly increase the drilling rate. However, the sharp increase of drilling rate also put much pressure on rock debris identification, influencing the quality of sample log and the discovery of dolostone reservoirs. When traditional carbonates identification methods can not meet the requirements of logging during drilling operation with modern techniques, we develop a new carbonates analysis technology which can relatively accurately measure the contents of main rock compositions such as dolomite, calcite and acid non-soluble substances on well sites. The measured results can be used for lithology identification and stratigraphic correlation so as to find dolostone reservoirs. In comparison with the previous pressure method of carbonate analyzer, the new technology mainly based on mass analysis has the advantages of high accuracy and efficiency. It has been successfully applied in the Sichuan Basin. This paper introduces its principles, conditions of application, quantitative interpretation methods and application effects, and evaluates its prospect of popularization.

**Key words:** Sichuan Basin, carbonates, quantitative analysis technology, debris identification, interpretation method, mass-chemical analysis method, application

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.08.011