

文章编号: 1000-0550(2007) 06-0896-07

# 川西坳陷中段须家河组四段钙屑砂岩气层的成因<sup>①</sup>

曾小英 张小青 钟玉梅

(中国石化西南分公司勘探开发研究院 成都 610081)

**摘要** 钙屑砂岩在川西坳陷须家河组四段分布特别广,几乎每个构造、每口井都能见到。岩石大部分致密,目前只在局部井段见到孔隙发育能成为有效储集层。在大量岩石薄片鉴定及资料统计的基础上,对丰谷地区钙屑砂岩的岩石学、成岩作用、储集物性和孔隙发育特征进行了详细的研究。结果表明,丰谷地区钙屑砂岩气层单层砂体厚度大,碳酸盐岩岩屑含量高,方解石胶结物含量低,次生孔隙发育,孔隙类型主要为溶蚀粒间孔。天然气主要来自下三叠统马鞍山组、须家河组三段、须家河组四中亚段烃源岩。本区钙屑砂岩气层与所经历成岩作用密切相关,属于成岩圈闭型气层。丰谷地区钙屑砂岩气层的形成过程对于勘探类似岩性气藏具有借鉴与指导意义。

**关键词** 须家河组四段 钙屑砂岩 次生孔隙 成岩圈闭 川西坳陷

**第一作者简介** 曾小英 女 1962年出生 高级工程师 油气储层地质 E-mail zengxiaoying81@sina.com

**中图分类号** P618.130.2 TE122.2<sup>+</sup>2 **文献标识码** A

随着生油、运移和成岩作用理论研究的深入发展,成岩圈闭日益受到重视。成岩作用对致密储层天然气成藏具有关键的控制作用,成岩作用控制了储层的孔隙演化,孔隙的分布<sup>[1]</sup>。成岩圈闭已成为致密储集层重要的圈闭类型<sup>[2-10]</sup>。现已证实至少有 1/3 的砂岩油气储集空间是在成岩过程中形成,成岩圈闭气藏在油气勘探领域分布范围越来越大<sup>[2]</sup>。通过大量岩石薄片详细研究,本人认为川西丰谷地区 563 井钙屑砂岩气层形成与其经历的成岩作用密切相关。

钙屑砂岩是指砂岩中的岩屑成份主要为碳酸盐岩岩屑(此碳酸盐岩屑为盆外陆源沉积物)其含量大于 50% 者,按照中国石化西南分公司碎屑岩薄片鉴定操作规程,定名为钙屑砂岩。此类岩石一般都致密,为非储集岩类,并由于碳酸盐类矿物含量高,所经历的成岩后生变化与铝硅酸盐类砂岩不同,对此类砂岩的岩石学特征、成岩后生变化,孔隙的成因缺乏认识,国内也无类似实例报道,并未纳入岩石薄片鉴定、碎屑岩成岩阶段划分的行业标准。

2005 年 5 月中国石化西南分公司川丰 563 井,在川西坳陷须家河组四段(以下简称须四段 T<sub>3x</sub><sup>4</sup>)致密碎屑岩中首次发现了钙屑砂岩气层,日产天然气 4 × 10<sup>4</sup> ~ 5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,钙屑砂岩气层的发现,拓宽了油气勘探领域,故对钙屑砂岩气层形成机理探讨很有必要。本区钙屑砂岩储集空间主要是次生溶蚀孔隙。溶蚀孔隙成因是近年来地学界关注的重要问题之一。

由于钙屑砂岩成份主要为碳酸盐矿物,大气淡水和深部冷却地下水易对碳酸盐矿物进行溶解<sup>[2,3]</sup>,但三维地震、钻井资料、课题研究都表明:本区地层为连续沉积,没有深大断层,地史过程中没有暴露过地表,因此,大气淡水和深部冷却地下水的溶解作用不会对该区砂体产生作用。本区钙屑砂岩次生孔隙形成可能与深埋地层中有机酸的溶解作用有关,因有机酸在一定条件下易对碳酸盐矿物溶解,产生次生孔隙。有机酸对四川东部石炭系黄龙组碳酸盐储层溶解作用强烈,形成了大量次生孔隙<sup>[4]</sup>。本区钙屑砂岩遭受溶蚀必须满足如下条件:①单层砂体厚度大;②碳酸盐岩岩屑含量大于 90%;③石英、长石等其它类砂屑含量低。

## 1 烃源岩特征

丰谷构造油气资源丰富,据国家“十五”课题研究,川西坳陷上三叠统是一套厚达几千米的含煤层系地层,不仅发育有以烃源岩为主的马鞍山组、小塘子组、须三段和须五段,而且在以储层砂岩为主的须二段、须四段中也发育部分烃源岩,这些烃源岩有机质丰度高、品质好,在演化过程中生成了丰富的油气,为川西坳陷须家河组天然气藏的形成提供了较好的烃源条件,川西坳陷上三叠统的生气量达 345.08 × 10<sup>12</sup> m<sup>3</sup>(表 1)。主要生排烃高峰期,分别在 T<sub>3x</sub><sup>5</sup>、J<sub>2s</sub>和 J<sub>3p</sub> 时。

<sup>①</sup>“十五”国家重点科研项目(编号 2004BA616A05-01),中国石化西南分公司 05-35xy 项目资助。

收稿日期:2007-04-04 收修修改稿日期:2007-05-14

表 1 上三叠统气源岩各成藏组合生气量 ( $10^{12}\text{m}^3$ ) 对比表Table 1 Comparison of gas-generating amounts of various reservoir formation associations of gas source rock in the upper Triassic ( $10^{12}\text{m}^3$ )

含油气系统	川西坳陷	四川盆地	川西坳陷占盆地的比例 /%
$T_3x^5-J$	113 53	259 34	43. 78
$T_3x^3-T_3x^4$	146 98	197 01	74. 61
$T_3m-T_3x^2$	84 57	102 89	82. 16
合计	345 08	559 23	61. 71

经多年的地质、地球物理研究, 认为丰谷构造是油气富集的有利地带。目前, 在丰谷构造上共完成勘探评价井 5 口: 川丰 563 井、川丰 125 井、川丰 175 井、川 131 井、丰 1 井, 每口井均有气流显示, 再次说明丰谷构造气源丰富。

## 2 储集特征

### 2.1 岩石学特征

钙屑砂岩在川西坳陷须家河组三段、四段、五段都有分布, 但主要集中分布在须四段中亚段, 分布特别广, 几乎每个构造、每口井都能见到, 与泥岩互层厚度 100~200 m, 绝大部分钙屑砂岩致密 (图版 I-1, 2), 孔隙都不发育, 孔隙度 1%~3% (图 1)。目前只在丰谷地区钙屑砂岩中发现了一层孔隙疏松段, 川丰 563 井产气层段 3740.55~3746.28 m (图 2), 与 563 井产层段相当的同层砂体 131-1 井 3769~3777 m、125 井 3721~3732 m, 以及魏城地区魏 1 井产气层段 3829~3832 m 钙屑砂岩砂岩孔隙较发育, 孔隙度 4%~12%, 面孔率 2%~8%。这些孔隙发育层段共同特点是: (a) 碳酸盐岩屑含量大于 90%; (b) 石英、长石碎屑含量小于 10%; (c) 单层砂体厚度大; 测井自然伽马曲线平滑, 不像致密层段锯齿那样明显, 呈箱状。致密钙屑砂岩岩石学特点是: 碳酸盐岩屑含量低一般 50%~60%, 石英、长石碎屑含量大于 30%, 单层砂体厚度小 (表 2) 钙屑砂岩粒径多数在 0.20~0.35 mm, 属于中粒砂岩。碎屑呈次圆一次棱角状, 分选好。碳酸盐岩屑中灰岩岩屑约占 65%, 主要为泥—微晶灰岩及一些鲕粒灰岩或骨屑灰岩; 白云岩岩屑约占 35%, 主要由泥晶、微晶及粉晶白云岩、藻屑、藻云岩等碎屑组成。沉积物源主要来自盆地边缘三叠系飞仙关组、嘉陵江组、雷口坡组碳酸盐岩, 胶结物主要为方解石, 含量 8%~25%, 孔隙发育层段, 见有 2%~3% 高岭石。

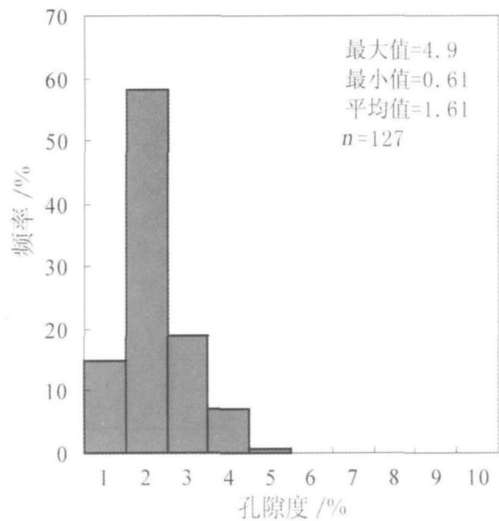


图 1 须四段致密钙屑砂岩孔隙直方图

Fig 1 Histogram of porosity of tight calcarenaceous sandstone in the 4th member of Xujiache Formation

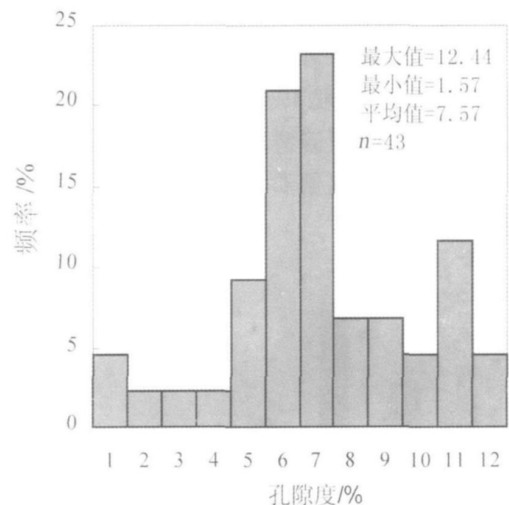


图 2 须四段产层钙屑砂岩孔隙度直方图

Fig 2 Histogram of porosity of calcarenaceous sandstone in the productive formation of the 4th member of Xujiache Formation

### 2.2 储层孔隙类型

以溶蚀粒间孔为主, 碳酸盐岩屑内溶孔为次, 并有部分残余原生粒间孔、高岭石晶间孔 (图版 I-3~7), 面孔率 2%~8%。溶蚀粒间孔直径 0.03~0.2 mm, 形状为长方形或多边形, 孔内洁净, 分布较均匀; 并有 1%~3% 高岭石充填在溶蚀粒间孔中, 高岭石干净透明, 晶间孔发育, 原生粒间孔一般呈弧三角形或呈狭窄粒间隙; 另外, 在川丰 563 井岩芯表面见到较多针孔状溶孔。

表 2 钙屑砂岩岩石学特征

Table 2 Lithological characteristics of calcarenaceous sandstone

井号	井深 /m	单层砂体厚度 /m	岩石名称	石英含量 /%	碳酸盐岩屑含量 /%	面孔率 /%	测试情况 / $10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
93 井	3606~ 3666	5	中粒钙屑砂岩	30~ 40	50~ 60	< 1	无油气显示
560 井	3744~ 3802	5~ 10	中粒钙屑砂岩	30~ 42	50~ 66	< 1	无油气显示
565 井	3781~ 3939	3~ 10	中粒钙屑砂岩	25~ 30	50~ 60	< 1	无油气显示
X855	3583~ 3595	12	中粒钙屑砂岩	30~ 35	50~ 60	1~ 2	1.5
562 井	3776~ 4020	5~ 10	中粒钙屑砂岩	30	60	< 1	无油气显示
563 井	3737~ 3752	15	中粒钙屑砂岩	1~ 2	> 95	2~ 8	4~ 5
131-1	3759~ 3777	18	中粒钙屑砂岩	1~ 5	> 90	2~ 5	0.5
125	3716~ 3737	21	中粒钙屑砂岩	2~ 5	> 90	1~ 5	0.01
魏 1 井	3803~ 3840	10	中粒钙屑砂岩	少量	> 95	2~ 6	90

### 3 主要成岩作用

#### 3.1 方解石的胶结与交代作用

方解石胶结与交代作用是本区钙屑砂岩成岩变化中一个尤为重要的组成部分,对原生孔隙减少和砂体致密化起了决定性作用,是导致低渗的最主要原因。据 283 块钙屑砂岩岩石薄片统计,该类砂体方解石含量普遍较高,一般 8% ~ 15% (图 3), (岩屑砂岩类方解石胶结物含量普遍低,75% 的样品方解石含量小于 5%) (图 4),方解石与孔隙度呈明显的负相关关系 (图 5)。

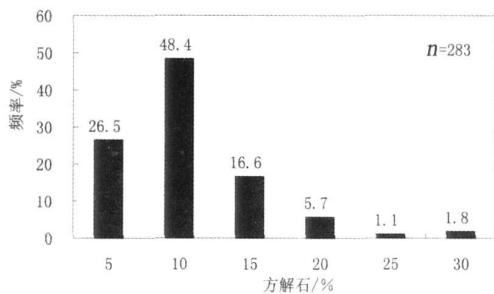


图 3 须四段钙屑砂岩方解石含量频率图

Fig. 3 Frequency histogram of calcite content of calcarenaceous sandstone in the 4th member of Xujiache Formation

川西坳陷须四段属于煤系地层,富含水生和陆生植物,埋藏后易产生腐植酸,因而成岩早期水介质处于酸性—弱酸性成岩环境,早期碳酸盐胶结物不发育<sup>[3,5,6]</sup>。该区钙屑砂岩方解石胶结物形成与成岩早期,砂体顶底部泥岩在成岩压实进程中排出的弱酸性水,对钙屑砂岩中灰岩岩屑进行溶蚀,方解石的析出沉淀有关 (图 6)。这一作用导致薄层砂体比厚层砂体方解石含量高,厚层砂岩顶底部的方解石较中部高,中部砂体方解石含量低,砂体中部部分原生粒间

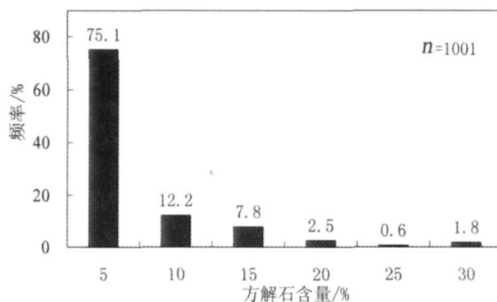


图 4 须四段铝硅酸盐砂岩方解石含量频率图

Fig. 4 Frequency histogram of calcite content of non-calcarenaceous sandstone in the 4th member of Xujiache Formation

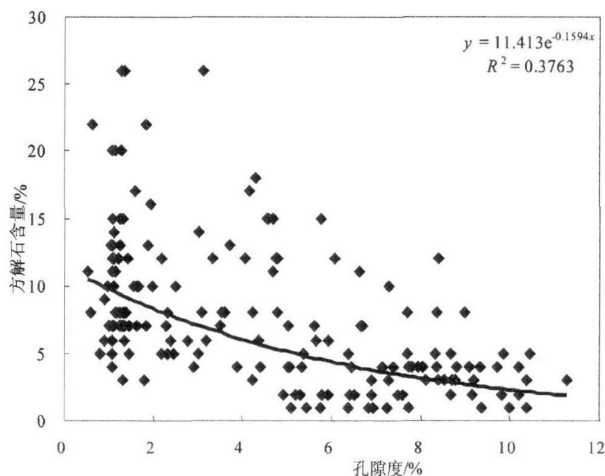


图 5 须家河组四段钙屑砂岩方解石与孔隙度的关系

Fig. 5 Relationship between calcite content and porosities in the 4th member of Xujiache Formation

孔得以保存,且利于晚期次生孔隙形成,从川丰 563 井产层段岩石薄片鉴定也看出 (表 3),砂体顶底部方解石含量远高于中部,与物性呈明显负相关。

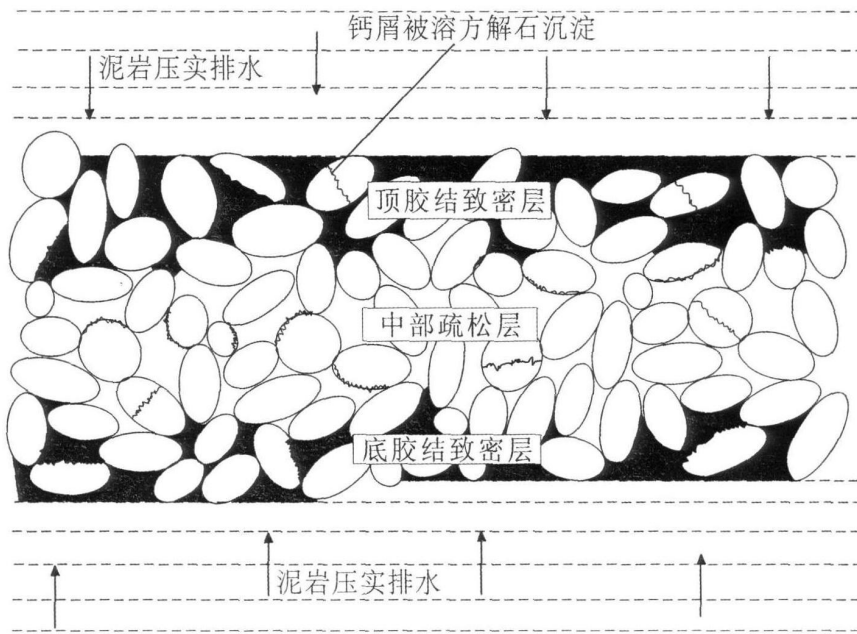


图 6 钙屑砂岩成岩圈闭示意图

Fig 6 Sketch map of diagenetic trap in the calcarenaceous sandstones

表 3 563井钙屑砂岩产层段岩石学特征

Table 3 Lithological characteristics of calcarenaceous sandstone in the productive formation Well 563

井深 /m	碎屑矿物成分 /%		胶结物 /%		面孔率 /%	孔隙度 /%	渗透率 /( $10^{-3}\mu\text{m}^2$ )
	石英	碳酸盐岩屑	方解石	高岭石			
3736	8	90	11	未见	< 1	没资料	没资料
3741.45	3	97	6	1	1~2	7.51	0.562
3742.46	2	98	6	1	2	7.46	没资料
3743.68	2	98	4	1	5	7.92	1.080
3744.75	3	95	4	2	8	10.20	8.483
3745.04	2	98	8	2~3	8	12.44	27.216
3746.69	3	97	12	未见	< 1	1.90	0.012

### 3.2 高岭石的胶结作用

在次生溶蚀孔隙发育部位, 约有 2% ~ 5% 自生高岭石充填在溶蚀粒间孔中, 高岭石结晶粗大, 呈蠕虫状, 干净透明, 晶间孔发育 (图版 I -3)。

### 3.3 抗压实作用

由于本区钙屑砂岩方解石胶结作用强, 增大了砂体的抗压强度, 因而在一定程度上抑制了压实作用, 降低压实强度, 厚砂体中部的部分原生粒间孔得以保存。

#### 3.3.1 碳酸盐岩屑含量高

由岩石力学知识可知, 若岩石颗粒中易碎颗粒参杂刚性颗粒时, 易碎颗粒更易破碎。当钙屑砂岩中的碳酸盐岩屑含量高, 几乎全由碳酸盐岩屑组成时, 原生孔隙更易保存, 若钙屑砂岩中刚性颗粒石英占到一定比例, 在同样压力作用下碳酸盐岩屑更易

破碎形成假杂基堵塞孔隙, 因此, 钙屑砂岩要成为有效储集层碳酸盐岩屑含量必须高 (表 2)。

#### 3.3.2 单层砂体厚度大

碳酸盐岩屑颗粒是易碎颗粒, 在压实作用下易破碎形成假杂基堵塞孔隙, 厚层砂体中部不仅方解石含量低, 而且比薄层砂体中部抗压实强, 更有利于原生孔隙保存。

### 3.4 溶解作用

在钙屑砂岩产层段及油气显示段 (563井、131-1井、125井、魏 1井), 次生溶蚀孔隙非常的发育, 粒间孔四周的碳酸盐岩屑遭受溶蚀, 残余原生粒间孔被溶蚀扩大, 部分形成长条状溶蚀粒间孔, 相邻粒间孔之间的喉道受到溶蚀, 致使两个, 甚至多个粒间孔连成长条状孔隙 (图版 I -3)。溶解作用是最重要的建设性成岩作用, 有效地改善了储层的储集性

能<sup>[6]</sup>。20世纪70年代以来,砂岩储层及相应成岩作用研究的最重要突破是在砂岩中发现了大量次生孔隙<sup>[11]</sup>。次生溶蚀孔隙至少占砂岩总孔隙的1/3<sup>[1~3]</sup>。在深埋藏地层中,有机酸(羧酸)的溶解作用对次生孔隙的形成至关重要。有机酸和酚是导致岩石组分溶解的重要溶剂<sup>[4,7]</sup>,有机酸和酚的浓度高峰一般在80~100℃<sup>[7,8]</sup>,大致相当于中成岩阶段A期。

## 4 成岩序列和成岩阶段

### 4.1 成岩序列

机械压实 $\rightarrow$ 弱酸性水对碳酸盐岩岩屑的溶蚀作用(浅埋阶段泥岩压实排出) $\rightarrow$ 早期方解石沉淀析出 $\rightarrow$ 有机酸溶蚀作用 $\rightarrow$ 自生高岭石 $\rightarrow$ 天然气聚集 $\rightarrow$ 晚期方解石沉淀析出。

### 4.2 成岩阶段

由于钙屑砂岩普遍致密,为非经济型或亚经济性储集层,勘探中对其重视研究不够,行业标准都没有涉及到此类岩性。该层段成岩演化只好参照上、下亚段铝硅酸盐砂岩类成岩阶段划分。上、下亚段砂岩在国家“十五”及须家河组储层评价课题中曾作过详细研究,按照国家经贸委2003年发布的碎屑岩成岩阶段划分规范(行业标准:SY/T5477-2003),本区须家河组四段成岩阶段大致在中成岩阶段B期。那么位于须四段中部钙屑砂岩成岩阶段也大致在中成岩阶段B期。

## 5 成岩圈闭形成机理

据国家“十五”攻关课题《川西上三叠统致密碎屑岩气藏圈闭识别与评价技术研究》生排烃史最新研究成果:“须三段—须四段油气成藏系统中烃源岩的生排烃高峰期主要有3期:  $T_{3x}^5$ 、 $J_2s$ 和  $J_3p$ , 对应这些时期若有良好的储层、圈闭、封盖等条件,则可以形成有效圈闭”。烃源岩有机质在温度80~120℃大量成烃之前要释放出大量的有机酸和二氧化碳,有助于碳酸盐溶解,对其原生粒间孔保存好的部位进行溶蚀扩大,形成有效储集层。次生孔隙形成于生气高峰之前,因而为天然气储集提供了良好的储集空间,并且这种碳酸盐溶蚀一般在就近孔隙发育差的部位沉淀,形成气层邻近的封闭层。而须四储层上部须五段泥页岩、侏罗系泥岩,为须四段气藏区域性盖层。油气侵入能抑制成岩作用进行,烃类聚集能抑制地层水的流动,因此阻碍了胶结物的来源,不利于胶结物沉淀,从而有利于孔隙保存;另一方面,烃类在孔隙中可

造成超压,从而抑制了压实作用的进行<sup>[6]</sup>

川丰563井钙屑砂岩气层特征是:砂体顶、底部方解石含量高,砂体致密形成不渗透的致密岩石带;而砂体中部方解石含量低,残余原生、次生粒间孔发育,形成有效孔渗储体,为天然气聚集提供了聚集空间;砂体侧向变薄,碳酸盐岩岩屑含量降低,岩石变为致密,形成侧向成岩圈闭。因此,川丰563井钙屑砂岩层为典型成岩岩性圈闭气层。

## 6 结论

(1) 丰谷地区钙屑砂岩气层形成与所经历成岩作用密切相关,由于成岩作用的改造,砂岩的储集性能得以改善形成相应的疏松层,天然气及时充注和封结形成气层。本区钙屑砂岩产层特征是:a单层砂体厚度大;b碳酸盐岩岩屑含量较高,一般大于90%;c石英、长石其他类岩屑含量低;d次生溶蚀孔隙发育。

(2) 由于本区钙屑砂岩岩石组分分布规律目前还尚不十分清楚,目前最好只对川丰131-1井、川丰125井与563井产层段同层的砂体进行老井挖潜,若要对钙屑砂岩进行钻井部署,在钻井过程中必须加强岩石薄片跟踪研究。

(3) 由于钙屑砂岩孔隙形成的特殊性,只要砂体孔隙发育,储集性能好,储集天然气可能性非常大,储集水可能性小。

(4) 本区钙屑砂岩气层的形成过程对于勘探类似岩性气藏具有借鉴与指导意义。

### 参考文献 (References)

- 1 郑浚茂,庞明.碎屑储集岩的成岩作用研究.北京:中国地质大学出版社,1989 1-130 [Zheng Junmao, Pang Ming. Study on Diagenesis in Clastic Reservoirs. Beijing: China University of Geoscience Press, 1989 1-130]
- 2 黄思静,武文慧,刘洁,等.大气水在碎屑岩次生孔隙形成中的作用.地球科学—中国地质大学学报,2003,28(4):419-424 [Huang Sijing, Wu Wenhui, Liu Jie, et al. Generation of secondary porosity by meteoric water during time of subaerial exposure. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2003, 28(4): 419-424]
- 3 范嘉松.世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素.地学前缘,2005,12(3):24-30 [Fan Jiasong. Characteristics of carbonate reservoirs for oil and gas fields in the world and essential controlling factors for their formation. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 023-030]
- 4 钱峰,黄先雄,等.碳酸盐岩成岩作用及储层.北京:石油工业出版社,2000 39-55 [Qian Zhong, Huang Xianxiong, et al. Carbonate of Diagenesis and Reservoirs. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000 66-74]

- 5 黄思静, 侯中健. 地下孔隙率和渗透率在空间和时间上的变化及影响因素. 沉积学报, 2001, 19 (2): 224-232 [Huang Sijing, Hou Zhongjian. Spatio-temporal variation of subsurface porosity and permeability and its influential factors. Acta Sedimentologica Sinica 2001, 19 (2): 224-232]
- 6 应凤祥, 罗平, 等. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数据模拟. 北京: 石油工业出版社, 2004, 95-97 [Ying Fengxiang, Luo Ping, et al. Diagenesis and Diagenetic Data Simulation of Clastic Reservoir in Petroliferous Basin in China. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004, 95-97]
- 7 吴胜和, 熊琦华, 等. 油气储层地质学. 北京: 石油工业出版社, 2002, 66-74, 80-82 [Wu Shenghe, Xiong Qihua, et al. Petroleum Reservoir Geology. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002, 66-74]
- 8 梅博文, 杨文宽. 储层地球化学. 西安: 西北大学出版社, 1992, 1-17 [Mei Bowen, Yang Wenkuan. Reservoir Geochemistry. Xi'an: Northwest University Press, 1992, 1-17]
- 9 张金亮, 林辉, 司学强, 等. 鄂尔多斯盆地王窑地区上三叠统长 6 油层成岩作用研究. 中国海洋大学学报, 2004, 34 (4): 625-635 [Zhang Jinliang, Lin Hui, Si Xueqiang, et al. Diagenesis of Chang-6 reservoir in Wangyao Area of Ansai oilfield. Journal of Ocean University of China, 2004, 34(4): 625-635]
- 10 袁恽楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层. 北京: 石油工业出版社, 1997, 158-219 [Yuan Yunan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang. Continental Hydrocarbon Reservoirs of China. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997, 158-219]
- 11 赫斯 R, 施密特 V. 沉积成岩作用讲学, 1985, 126-134 [Hesse R, Schmidt V. Lectures of Sedimentary Diagenesis, 1985, 126-134]

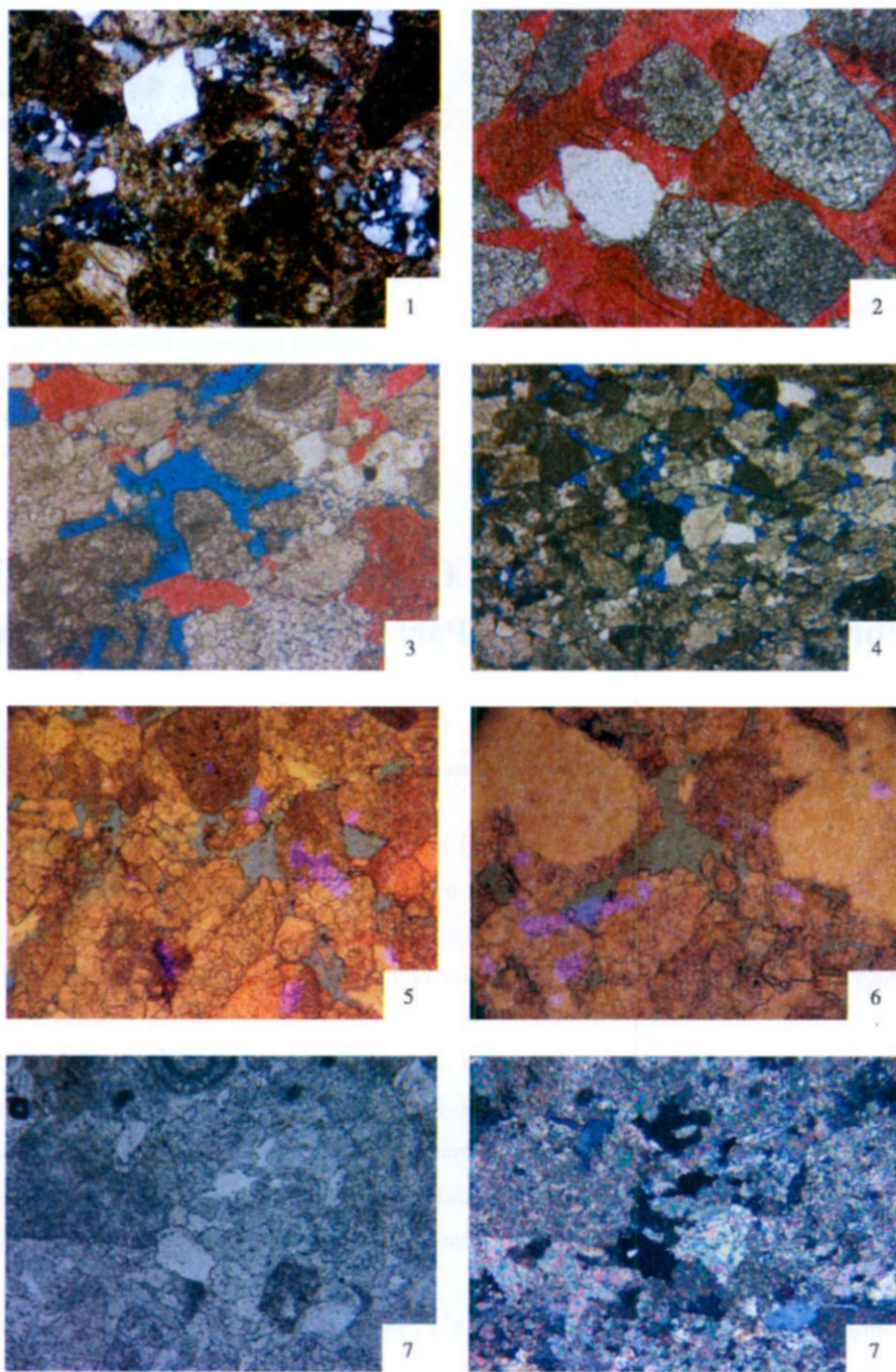
## Origin of Calcareneous Sandstone Gas Formation of the 4th Member of Xujiache Formation in the Middle Part of Western Sichuan Depression

ZENG Xiao-ying ZHANG Xiao-qing ZHONG Yu-mei

(Exploration and Development Institute of Southwest Petroleum Branch Company, SINOPEC, Chengdu 610081)

**Abstract** Calcareneous sandstone is widely distributed in the fourth member of Xujiache formation ( $T_3x^4$ ) in West Sichuan Depression, and it can be seen in every structure and well. Most of the rocks are tight. Presently, well-developed pore that can be effective reservoir can be seen in local place. On the basis of thin sections identification and data statistics, the lithology, diagenesis, petrophysical properties and pore development properties for calcareneous sandstone in Fenggu area are analyzed in detail. It is indicated from the research that calcareneous sandstone layers in Fenggu are characterized by large thickness of single sand body, high content of carbonate debris, low content of calcite and well-developed secondary pores. Major pore type is dissolved intergranular pores, and natural gas is mainly produced from source rock of lower Triassic Miantang formation, the third member of Xujiache formation ( $T_3x^3$ ) and the fourth member of  $T_3x^4$ . Gas layers of calcareneous sandstone are closely related to its diagenesis, which belong to diagenetic trap. The form process of calcareneous sandstone gas layers in Fenggu area offers guidance for exploration of similar lithologic gas reservoirs.

**Key words** the fourth member of Xujiache formation ( $T_3x^4$ ), calcareneous sandstone, secondary pores, diagenetic trap, western Sichuan Depression



图版1 说明: 1 灰色中粒钙屑砂岩: 岩性致密, 未见孔隙, 川罗 562 井, 562-X36, 3735 m,  $T_3x^4$ , 对角线 4 mm,  $10\times$ ; 2 灰色中粒钙屑砂岩方解石含量高 13%, 岩石致密川丰 563 井  $T_3x^4$  3779.05 m  $\phi 0.86\%$ ,  $k 0.004\times 10^{-3}\mu m^2$ ,  $10\times 10$  3 溶孔中粒钙屑砂岩, 碳酸盐岩岩屑约 95%, 溶蚀粒间孔发育, 大小 0.05~0.30mm, 高岭石晶间孔也发育, 川丰 563 井,  $T_3x^4$ , 3744.91m,  $\phi 11.05\%$   $k 13.844\times 10^{-3}\mu m^2$ ,  $10\times 10$  4 溶孔中粒钙屑砂岩: 碳酸盐岩岩屑约 95%, 溶蚀粒间孔特别发育。川丰 563 井  $T_3x^4$  3745.61m,  $\phi 11.57\%$ ,  $k 28.56\times 10^{-3}\mu m^2$ ,  $10\times 10$  5 溶孔中粒钙屑砂岩: 碳酸盐岩岩屑 > 90% 溶蚀粒间、粒内孔发育, 面孔率 4%~5%, 川丰 131-1 井, 3777 m,  $10\times 10$  6 溶孔中粒钙屑砂岩: 碳酸盐岩岩屑 > 90% 溶蚀粒间、粒内孔发育, 面孔率 4%, 川丰 131-1 井, 3775 m,  $10\times 10$  7 溶孔中粒钙屑砂岩: 碳酸盐岩岩屑 > 90% 溶蚀粒间、粒内孔发育, 面孔率 3%~4%, 川丰 125 井 3727 m (左为单偏光, 右为正交),  $4\times 10$