

文章编号: 1009-3850(2018)03-0041-10

## 四川盆地南部花果山地区嘉陵江组储层特征与成岩作用

隆 辉, 邓飞涌, 廖小丽, 张 强, 耿 超, 沈秋媛

(西南油气田分公司蜀南气矿, 四川 泸州 646000)

**摘要:** 在对四川盆地南部嘉陵江组沉积背景认识的基础上, 通过大量岩心观察、薄片鉴定、扫描电镜观察, 结合孔隙度、渗透率分析测试结果, 对泸州古隆起花果山地区嘉陵江组主要储集层段的储层特征及成岩作用进行研究。结果表明: (1) 花果山地区嘉陵江组顶底界面清楚, 主要产层为嘉一和嘉二段, 储集层岩性为粉晶含泥质粒屑白云岩及亮晶粒屑灰岩、细粉晶灰岩, 孔隙类型以晶间(溶)孔为主, 总体以低孔低渗的Ⅲ类储层为主, 储集空间类型主要为裂缝-孔隙型; (2) 按成岩作用是否形成孔、缝等储集空间和是否对油气的生、储、运有贡献, 将成岩作用划分为建设性成岩作用、破坏性成岩作用和保持性成岩作用, 并对孔隙成因做出分析, 并找出岩石学证据; (3) 准同生和表生阶段的大气淡水作用是形成储层的基础, 白云石化作用和埋藏溶蚀对孔隙的发育具有重要的建设性作用, 古隆起时期的构造破裂作用能够为溶蚀性流体提供运移通道, 有利于溶蚀作用的进行; (4) 综合考虑不同成岩作用先后次序, 以及次生矿物之间的切割、伴生以及交代关系, 对成岩演化史和孔隙演化史进行了恢复。

**关键词:** 四川盆地南部; 泸州古隆起; 嘉陵江组; 成岩作用

**中图分类号:** TE122

**文献标识码:** A

### 引言

四川盆地是中国重要的含油气盆地, 纵向上具有多个含油气层系, 其中三叠系嘉陵江组是重要的天然气产层。四川盆地南部由于泸州古隆起这一地质构造因素的存在, 使得多套含油气储层在诸多因素上有别于盆地内其它地区, 这在嘉陵江组体现得尤为明显。研究区花果山构造嘉陵江组的主力产层为嘉二—嘉一, 而在嘉三—嘉四层位仅在花16井测试获气, 该构造在历经五十多年的勘探研究, 取得了良好的钻探和开发成效, 显示了较大的资源开发潜力。然而, 随着勘探的深入, 目前多数井处于中后期开采阶段, 开采难度逐渐加大。在前期的研究中, 已对蜀南地区嘉陵江组的沉积、储层和成岩等方面做过充分的研究, 并取得突破性的认识,

如曹剑<sup>[1]</sup>等认为川西南地区嘉一—嘉二段沉积时期以发育碳酸盐岩与陆源碎屑岩频繁不等厚互层的混积潮坪亚相为特征; 谭秀成<sup>[2]</sup>等认为川中磨溪气田须嘉陵江组储集层具有典型的相控性、部分孤立粒间孔隙的埋藏胶结物不具溶蚀现象, 而非前人普遍认为的以埋藏溶蚀为主<sup>[3]</sup>; 李宏涛<sup>[4]</sup>等认为准同生期的大气水溶蚀作用是嘉二段颗粒碳酸盐岩孔隙发育的基础; 唐浩<sup>[5]</sup>等认为川南嘉陵江组独特的“土黄色”粉晶云岩形成于渗透回流白云石化和早期喀斯特岩溶的共同作用, 孔喉配置关系好, 为优良的孔隙型储层, 这与黄文明<sup>[6]</sup>等的研究结果一致。

众多研究表明, 对特定地区沉积相的精细描述以及储层特征的进一步深化研究尤为重要, 特别是在较为独特的地质背景下, 因为独特的地质背景往

收稿日期: 2017-10-08; 改回日期: 2018-06-09

作者简介: 隆辉(1984-), 工程师, 主要从事油气资源勘查研究工作。E-mail: 372586736@qq.com

往意味着独特的成岩环境和成岩演化。花果山地区位于泸州古隆起核部的东北部,由于地层的抬升,该区嘉陵江组普遍遭受不同程度的剥蚀,普遍受表生大气淡水的影响,这一独特的地质背景必然影响成岩演化进而影响储层质量。现今普遍认为碳酸盐岩储层的发育受沉积、成岩和构造三大因素的联合控制,其中决定储层质量的关键因素就是成岩作用,因此,从成岩演化的角度来重新认识储层对研究区而言具有重要意义。基于此认识,本文将致力于从成岩的角度来对储层进行精细的刻画,以探索泸州古隆起地区三叠系嘉陵江组碳酸盐岩储层形成的发育规律,为后期的勘探开发提供依据。

## 1 地质背景

泸州古隆起特殊的地质条件和构造特征对该地区的气藏成藏过程和气藏分布均具有重要的影响。古隆起雏形形成于东吴期,至印支期基本定型,其后继续演化直至燕山期,由于古隆起的形成

时间早于油气充注时间,且一直处于区域高部位,有利于早期的油气聚集<sup>[7]</sup>;同时,早期的隆起优势并未一直保存,在地质历史时期曾经遭受过剥蚀,尤其是核部曾遭遇过强烈的剥蚀,已至嘉陵江组三段。因此,核部早期聚集的油气由于保存条件变差已消失殆尽,在古隆起地区,嘉陵江组的主力气层为嘉一段。从泸州古隆起核部向外围,剥蚀程度逐渐减弱,气层保存条件逐渐变好,气藏从核部向翼部逐渐增多,并且从古隆起向斜坡至外围,嘉陵江组储层保存较多,逐渐出现嘉二段—嘉四段气层,甚至出现嘉五段气藏。

花果山构造位于泸州古隆起东北部,区域构造上位于华蓥山断裂带上盘,属于川东南高陡地带区华蓥山帚状断裂带中的一支(图1)。由二叠系、三叠系及更老的地层组成狭窄型背斜,侏罗系及更新的地层组成平缓向斜。花果山构造褶皱强烈,二叠系、三叠系断层发育,多次构造运动使得地层发生褶皱,形成多期圈闭的叠加。

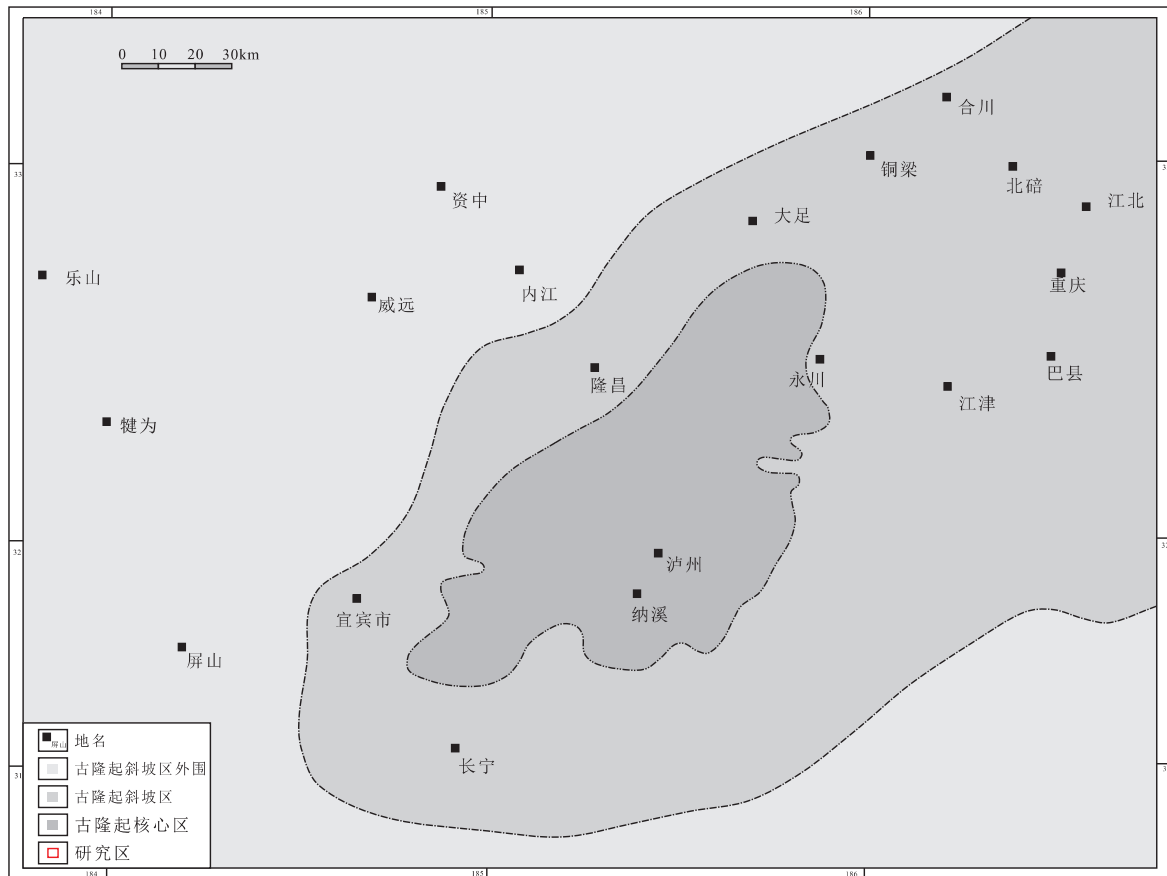


图1 研究区构造位置示意图

Fig. 1 Tectonic setting of the Huaguoshan area in southern Sichuan Basin

## 2 地层特征

花果山地区嘉陵江组地层为一套海相碳酸盐岩沉积,与下伏飞仙关组整合接触,按岩性特征分为五个层段,其中嘉一、三、五段以灰褐色灰岩为主,嘉二、嘉四段以石膏为主夹白云岩,本次研究的主要目的层位为嘉二段和嘉一段。嘉一段顶部界线不清楚,本区通常将其与嘉二<sub>1</sub>段作为一个整体来研究,一般描述为嘉二<sub>1</sub>-嘉一段,该段底部与飞仙关组整合接触,顶部为石膏,层内岩性上部为粒屑云岩及粒屑灰岩,下部一般为厚层块状灰岩,该亚段地层横向分布稳定,厚度普遍在100m以上;嘉二<sub>2</sub>亚段底部区域标志层蓝灰色泥岩与下覆石膏岩接触,岩性上部以灰褐色云岩为主,局部夹泥岩,下部为石膏与云岩、灰岩互层,地层厚度分布稳定,一般40~60m;嘉二<sub>3</sub>亚段底部为厚层石膏与下覆云岩接触,顶部为白云岩,岩性上主要为灰白色石膏与灰褐色白云岩及灰岩互层,地层厚度分布稳定,一般50~60m。

## 3 储集层特征

### 3.1 储层岩性特征

嘉二<sub>1</sub>-嘉一段储层岩性为粉晶白云岩和亮晶灰岩互层组成,以白云岩为主。白云岩多为粉晶含

泥质粒屑白云岩,泥质多充填于晶间隙中;灰岩层段多为亮晶粒屑灰岩,颗粒含量高且结构较粗,填隙物含量较少,总体上泥质含量低,平均泥质含量远低于白云岩储层段。(图2A)方解石胶结明显(图2B)。嘉二<sub>2</sub>亚段储层岩性为粉晶白云岩、生物碎屑粉晶白云岩及泥灰岩组成。其中底部粒屑含量普遍较高,以生物碎屑为主,零星见砂屑,呈亮晶胶结,其中生物碎屑主要为介屑,局部达到50%以上,(图2F),除此部位岩性相对较纯之外,普遍含泥质(图2C)。嘉二<sub>3</sub>亚段储层以粉晶白云岩和粗结构灰岩为主,其中白云岩颗粒含量较低,均在25%以下,颗粒多为介屑和棘屑,偶见砂屑和鲕粒共生,此时则少见生物碎屑,鲕粒则大都白云石化(图2E);颗粒灰岩结构较粗,一般颗粒占一半以上,多为亮晶胶结,局部可见少量粉晶填隙物(图2D)。

### 3.2 储集空间特征

嘉陵江组储集空间主要有孔隙、洞穴、裂缝以及吼道4类。其中孔隙和洞穴是主要的储集空间,尤其是以孔隙为主,洞穴较为发育的层位则会表现出高产的特征;裂缝主要为后期的扩大溶蚀提供基础,以及起到各层段之间的沟通作用;吼道主要起到连通各孔隙的作用,是储层渗透性的控制因素,其主要特征如下:

(1) 本区孔隙包括粒间(溶)孔、粒内溶孔、晶间

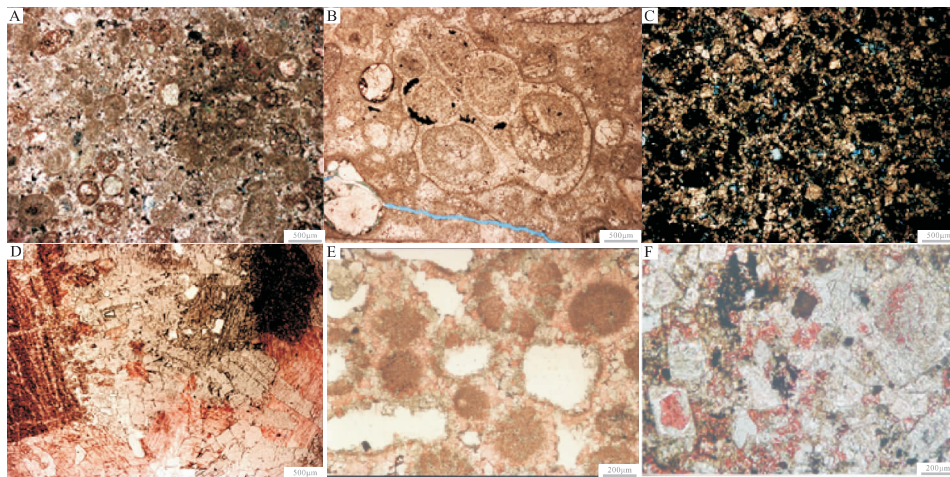


图2 四川盆地南部花果山地区嘉陵江组储层岩性特征

A. 亮晶生屑砂屑灰岩花11,嘉二<sub>1</sub>,931.96m; B. 亮晶生屑灰岩花11,嘉二<sub>1</sub>,926.66m; C. 含砂泥晶云岩花11,嘉二<sub>2</sub>,875.96m; D. 灰质粉晶云岩花11,嘉二<sub>3</sub>,844.15m; E. 云化粉晶鲕粒砂屑灰岩。观2井,1065.38~1065.41m,嘉一; F. 未完全云化的棘屑,为埋藏云化产物。麻2井,2244.42m,嘉二<sub>3</sub>

Fig. 2 Lithological characteristics of the hydrocarbon reservoirs from the Jialingjiang Formation in the Huaguoshan area, southern Sichuan Basin

(溶)孔及溶孔等6种类型,其中粒内孔主要存在于颗粒被溶蚀的情况下,由砂屑、生物碎屑以及鲕粒、虫屑等颗粒溶蚀形成,粒间孔若发生溶蚀扩大(溶蚀部分主要为颗粒表面)则形成粒间溶孔;颗粒内部发生部分溶蚀则形成粒内溶孔,若颗粒全部溶蚀并与粒间孔连为一体,按其大小可以形成粒间孔或洞;晶间孔分布在较粗的白云石和次生方解石晶体之间;晶间孔进一步溶蚀扩大则形成晶间溶孔;若原孔隙经过溶蚀扩大到已破坏原始组构形成的孔隙则称为溶孔。

(2) 洞穴只有裂缝性溶洞及晶洞两种,其中裂缝性溶洞需要前期有裂缝的存在,由于溶蚀作用使得裂缝局部被溶蚀扩大形成洞穴大小,被溶蚀的部分可以是裂缝周围的岩石基质或充填物;若溶蚀部分为方解石晶斑或方解石脉,则称为晶洞,此情况表明裂缝前期被晶体所充填。

(3) 有效裂缝有构造缝、溶蚀缝以及网状微裂缝3种类型。由于本区的构造活动频繁发生于印支期、燕山期及喜山期,此时构造张开缝较为发育,由于后期的地质作用,裂缝多被透明方解石或牙状方解石半充填甚至充填;溶蚀缝是在其它裂缝基础上形成的,根据其原始缝的成因可分为构造溶蚀缝和成岩溶蚀缝两大类,均是由未被完全充填的部分裂缝经溶蚀扩大以及充填等后期改造可而形成的,多具有缝壁不规则的特点。由于经历了溶蚀扩大以及充填等后期运动的改造,缝壁多为不规则,可被方解石或泥质等充填或半充填。细微裂缝多分布于碳酸盐岩中,呈网状分布,由于裂缝细微,充填物多不明显。成岩缝是成岩过程中形成的层间缝,多数被充填,充填物一般为泥质或有机质,部分未充填者后期可在溶蚀作用下形成溶蚀缝。

(4) 吼道为联通孔隙或洞穴的狭小通道,本区多为片状小吼道,受组构控制。

### 3.3 孔渗特征

根据研究区11口井取心资料近1000个岩心样品(石膏岩多未取样)的灰岩、白云岩及过渡岩类的实测结果,结合四川地区碳酸盐岩储层分类评价标准,分析结果表明:花果山构造地区嘉陵江组储层整体上属低孔、低渗的II-III型储层,即低渗-特低渗储层,但局部存在高渗储层段,其中嘉二3孔隙度小于2%占到87.9%,最大孔隙度为10%左右且所占比例极小,嘉二2孔隙度小于2%占到79.6%,

嘉二1岩心孔隙度分析表明该段为最差储层,且“高孔”样品均呈孤立的点状分布,不具备连续性,按2.2%的下限统计有效样品数占6.9%,该层位是典型的裂缝性储层。嘉一段394个岩心孔隙度分析表明该段为最差储层,且“高孔”样品均呈孤立的点状分布,不具备连续性,按2.2%的下限统计有效样品数占6.9%,该层位是典型的裂缝性储层。通过对研究区11口井近1000个样品的孔渗分析表明,储层平均孔隙度为1.34%,平均渗透率为 $<0.0001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,孔渗相关性不明显,具有明显的裂缝性储层的特征,但仍有部分样品呈现出良好的孔渗相关性,具有孔隙型的特征。总体来说,储层非均质性强,且在纵向上孔渗分布具有明显的分带性(图3)。

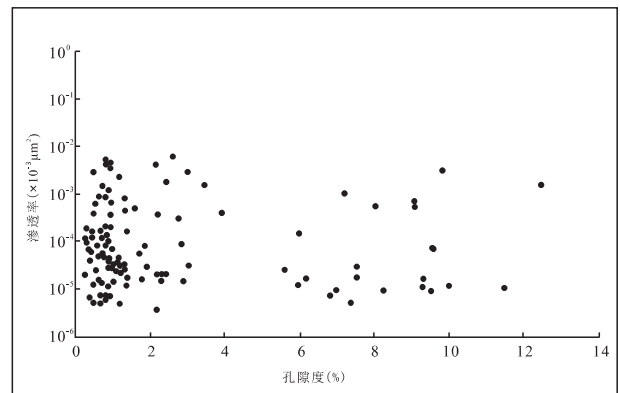


图3 花果山构造嘉陵江组岩心孔渗透关系图

Fig. 3 Porosity vs. permeability diagram indicated by the core samples from the Jialingjiang Formation in the Huaguoshan area, southern Sichuan Basin

## 4 成岩作用类型及特征

成岩作用阶段是沉积物固结成岩的过程,实质上是在一定的地质条件下成岩流体与沉积物相互作用直至达到平衡的过程,这个过程决定了储集空间的好坏<sup>[8-10]</sup>。本区成岩作用分为早成岩阶段和晚成岩阶段,是随着埋深的增加,温度和压力共同作用下的成岩作用,包括亮晶方解石的形成、白云石化、自生矿物沉淀、重结晶作用、交代作用以及破裂-收缩作用等。嘉陵江组经历了漫长、复杂的成岩阶段,从同生期、成岩期至后生期,嘉陵江组经历了从浅埋藏到深埋藏再到浅埋藏的埋深变化,各种成岩作用交互进行,其互相影响互相制约,共同控



制了孔隙的形成和储层的质量。岩心薄片鉴定和扫描电镜分析表明,储层经历了白云石化作用、去白云化作用、溶蚀作用、胶结作用、压实、压溶作用、自生黏土矿物充填作用以及破裂作用等成岩作用,其中白云化作用、溶蚀作用和破裂作用是主要的建设性成岩作用,其发育程度直接影响储层质量。而胶结作用、压实压溶作用、过度白云石化以及自生矿物的充填属于破坏性成岩作用。这些成岩作用在整个成岩期的相互影响,共同决定着研究区嘉陵江组的储层质量。

#### 4.1 建设性成岩作用

##### 4.1.1 溶蚀作用

溶蚀作用是储层形成过程中的重要成岩作用,其发育程度对储层质量具有决定性的作用。溶蚀作用贯穿是整个成岩阶段,根据其发生时间所在的成岩阶段,可将其分为同生/准同生阶段溶蚀作用、表生岩溶作用和埋藏岩溶作用。同生/准同生阶段,由于鲕滩的上升暴露,大气淡水参与到成岩作用当中,鲕粒内部的文石等不稳定组分被溶蚀,若溶蚀后的孔隙被保存下来,则可形成物性较好的储层<sup>[9]</sup>,区内嘉二<sub>1</sub>—嘉一常见这种储层的存在,但在这类孔隙往往缺乏一定的连通性,若鲕滩未经白云石化和大气淡水淋滤,则不能形成有效储层。表生岩溶作用和构造作用有关,该时期的溶蚀作用一般不具结构选择性,而是在大范围和较大深度上的普遍影响。受印支和燕山运动影响,嘉陵江组被抬升,泸州古隆起核部甚至被剥蚀到嘉三段,古油藏遭受破坏,从核部向外围嘉陵江组均遭受不同程度的剥蚀,大气淡水进入地层并对其进行溶蚀<sup>[10]</sup>,区内嘉一段仍可见岩溶角砾及溶蚀孔洞(图4A、E、I),可见其作用范围之广、深度之大,然而表生岩溶通常在原本孔隙连通性好的层位发育,因此并不能对储层进行全面改造,若岩溶角砾岩发生垮塌,在后期新沉积的上覆地层压力下会损失大量溶蚀孔洞(图4A)。埋藏溶蚀作用发育于埋藏阶段,是由溶蚀性流体进入地层对组构进行溶蚀而形成的,地层具有流体的运移通道是这类溶蚀作用能够进行的至关重要的条件,因此断层的存在与否具有控制作用,其能够构建开放—半开放成岩系统<sup>[11-12]</sup>,这类溶蚀作用与构造活动有关。由于古隆起强烈而持续的构造地质作用,区内各层位断层发育,裂缝对提高渗透率和连通性起至关重要的作用。

##### 4.1.2 白云化作用

由于白云岩储层通常较灰岩储层具有更高的孔隙度,人们常用“白云石化过程创造孔隙”来解释这一现象,其形成过程和条件也成为学者研究的热点,尽管越来越多的研究认为白云石化本身并不能创造孔隙<sup>[13]</sup>,随后的研究也发现并不是所有的白云石化都能够形成储集空间<sup>[14]</sup>,尤其是过度白云石作用或是白云石的胶结作用能够使孔隙度降低。白云岩之所以在深埋藏条件下比灰岩具有更好孔隙度的原因是因为其较灰岩具有更好的抗压实性,若白云石化过程中能继承原灰岩中的孔隙,将能够形成有效储层<sup>[15]</sup>,因此,适度的白云石化在孔隙保存方面才具有积极的意义<sup>[16-17]</sup>。

白云石化是本区最重要的成岩作用之一,主要包括粒屑白云石化、基质白云石化、顺纹层白云石化和交代白云石化(图4B)。颗粒白云石化指砂屑、鲕粒、生物碎屑等颗粒被选择性白云石化而填隙物未白云石化,这种情况下的颗粒通常保存原外形,当白云石化作用较强时具有晶型好的特点,可成为储层。基质白云石化指基质被选择性白云石化而颗粒仍保持原来特征,这种情况下的原基质通常为灰泥质,白云石化的产物为微—粉晶白云岩,过程中产生一定的晶间孔,后期或可被有机质充填。顺纹层白云石化是在原泥质含量较高的灰岩泥纹层内形成细小的菱形白云石颗粒,由于白云石的形成需要富 $Mg^{2+}$ 流体的参与<sup>[18-19]</sup>, $Mg^{2+}$ 在压实过程中析出,导致埋藏—调整白云石化;交代白云石化的成因为次生交代,交代的强度和规模受富含 $Mg^{2+}$ 流体的来源与多少决定,可发生白云石化和去白云石化,去白云石化多发生在晚成岩期,一般认为白云石化对储层有利。

##### 4.1.3 破裂作用

泸州古隆起地区嘉陵江组经历了从印支期、燕山期直至喜山期强烈而持续的构造作用,地层破裂形成大量的构造张开缝,多数已被透明方解石或马牙状方解石充填或半充填。溶蚀缝是本区另外一种主要的裂缝类型,其是在其它裂缝基础上溶蚀扩大形成的,大部分又被方解石或泥质充填。根据裂缝的类型,可细分为构造溶蚀缝与成岩溶蚀缝两个亚类,其中,构造溶蚀缝为主要有效裂缝。微细裂缝是指发育规模较小且裂缝张开细小的那类裂缝,大都呈网状分布,可能形成于成岩过程中的收缩作

用,规模较小的网状裂缝大都填充物不明显,而在成岩过程中形成的规模较大的层间缝,则大都被充填,充填物一般为泥质或有机质。此外还有部分在岩石压溶作用下形成的缝合缝,其不具有储集空间和连通性,为无效裂缝。

本次研究从花 11 井嘉二 - 嘉一段共取心 200.51m,发现裂缝 209 条线。构造缝在嘉二 3 和嘉二 1 - 嘉一段中占绝对优势,分别占总裂缝的 79% 和 98%,嘉二 1 段则以溶蚀缝为主,占总裂缝的 97%。裂缝以立缝为主,占 70% 左右,且主要分布在灰岩中。岩心观察可见裂缝呈网状分布,在溶洞发育处,可见网状裂缝将岩石切割成角砾状,这类储层是本区的主要产层,此外,呈组系分布的微裂缝在薄片中也非常发育。总体而言,主力产层的裂缝以构造缝为主,其次为溶蚀缝,少量成岩缝对储层有积极贡献。

## 4.2 破坏性成岩作用

### 4.2.1 胶结作用

碳酸盐岩的胶结作用是指岩石中的颗粒被填充物所固结的作用,是颗粒能够固结成岩的关键作用,同时也是造成孔渗降低的原因。区内储层的胶结作用分为亮晶方解石胶结和白云石胶结两大类。颗粒间形成亮晶方解石胶结物,该类胶结物在镜下可识别为典型的两类,分别在两种典型的成岩环境下所形成:其一为在早期成岩环境下,沉积物处于较浅的埋藏或者出露水面,大气淡水参与其中并对其进行改造,形成粒内溶孔和颗粒状亮晶胶结物;其二为在较深埋藏条件下的两个世代胶结,第一世代胶结亮晶颗粒排列紧密,第二世代亮晶胶结颗粒较为粗大,晶间残存孔隙,后期的有机质充填其间(图 4C)。

另一类白云石胶结作用主要是指颗粒白云石的胶结作用。镜下可见大部分的颗粒白云石的原始结构均遭受不同程度的破坏,这是由于其大都经历了后期的重结晶作用的改造,而未被改造的部分原始结构保存较好,可用于研究其原始成岩环境,这部分颗粒白云石基本保存了其发育的期次性。本区颗粒白云石胶结物可分为明显的两期,它们之间具有明显不同的粒径大小和生长方式:第一期白云石胶结物粒径较小,呈纤维状和叶片状,它们之间紧密排列,绕着粒屑生长;第二期胶结物的粒径较第一期明显更大,亮晶结构,其形态由生长空间

决定,通常将颗粒之间的孔隙充填。两期胶结的发育充填了绝大部分的孔隙,这是研究区白云岩储层储集性能较差的主要原因(图 4F)。

### 4.2.2 压实、压溶作用

由于胶结作用发生的时间较早,多紧随沉积期,较早的固结成岩在一定程度上抑制了压实作用的进行。在薄片鉴定中仅见到部分颗粒受压实作用影响,岩心观察可见纹层在压力作用下的变形,在部分细晶和粗晶白云岩中,可见微弱的压实作用,证明本区压实作用对储层的影响较小,这也从侧面反映胶结作用发生时间较早,固结成岩的时期多发生在上覆岩石压力尚未对地层产生强压力之前。压溶作用在研究区较为常见,嘉陵江组裂缝较为发育,岩心观察见多发育缝合线。

### 4.2.3 过度白云石化

过度白云石化也称为白云石胶结作用,表现为原有的白云石晶体周围出现再生长环带或次生加大边,与白云岩中胶结作用的主要区别就是在于其再生长的成岩环境与原本的白云石颗粒显著不同,其经历了一定的时间间隔或原来的成岩流体性质出现了显著的期次性变化<sup>[20-21]</sup>。本区嘉陵江组白云岩储层多为粉晶云岩,白云石颗粒一般晶型较差,多发育环带结构,其大小和生长空间有关,当有足够的生长空间时,环带边可持续均生长,形成等厚环带;若生长空间不足,则可能出现颗粒间环带边的竞争性生长,造成环带边的厚度不等,白云石颗粒在视觉上呈现出自形程度较差的不规则状。由于环带边是占据原有的孔隙空间生长而成,因此会造成孔隙度的降低,但这种影响对储层而言也可能是双重的,当环带围绕白云石晶体不断生长并与相邻晶体的环带连片胶结时,可以构成坚固的格架,增强抗压强度<sup>[22-23]</sup>,保存更多的晶间孔隙,但当过度发育导致晶体形态发生变化,晶体间呈镶嵌接触,则可能会使孔隙消失殆尽。对嘉陵江组而言,白云石胶结出现的部位以及对不同粒径和形态的白云岩储层具有不同的意义:细晶、自形白云岩中的环带出现在晶间孔发育的部位,则有利于孔隙的保存;而细晶、半自形白云岩和中 - 粗晶、它形白云石中出现环带发育,则一般会导致储集空间的进一步缩小,这两类白云岩的储集性能受过白云石化的影响较大。

### 4.2.4 自生矿物充填作用

由于在特定的温度压力下,流体中的某些元素

相对过饱和便会以自生矿物的形式沉淀。石英、长石、绿泥石、萤石以及黄铁矿等自生矿物总体较少,对储层的破坏性不大,其意义在于指示成岩流体的性质和变化(图4D、H)。本区嘉陵江组自生矿物常沿裂缝分布,多充填裂缝。

#### 4.2.5 重结晶作用

重结晶作用可以贯穿于整个成岩过程的始终,其对象为所有的自生矿物,包括白云石、黏土矿物、黄铁矿、石膏等,在一定的地质条件下矿物发生重结晶而形成各种粒级的晶体,结晶越晚晶体往往越大,在重结晶的过程中通常损失原部分孔隙。

#### 4.3 保持性成岩作用

成岩作用对储层的贡献并非能简单的归纳为完全“建设性”的或者完全是“破坏性”的,很多所谓“建设性”成岩作用并不一定能够增加多少孔隙度,有时甚至会造成孔隙度的减少,比如白云石化可能增加储集空间,而过白云石化则必然降低储集空间,对孔隙的增减取决于白云石化的程度和发育的时期;有些成岩作用虽然不直接对孔隙的增减起作用,但可能对原生孔隙或者先期已经生成的孔隙具有保护其免受破坏的作用,能够把孔隙保存下来,那么也具有积极作用,能形成深部优质储层<sup>[24]</sup>。

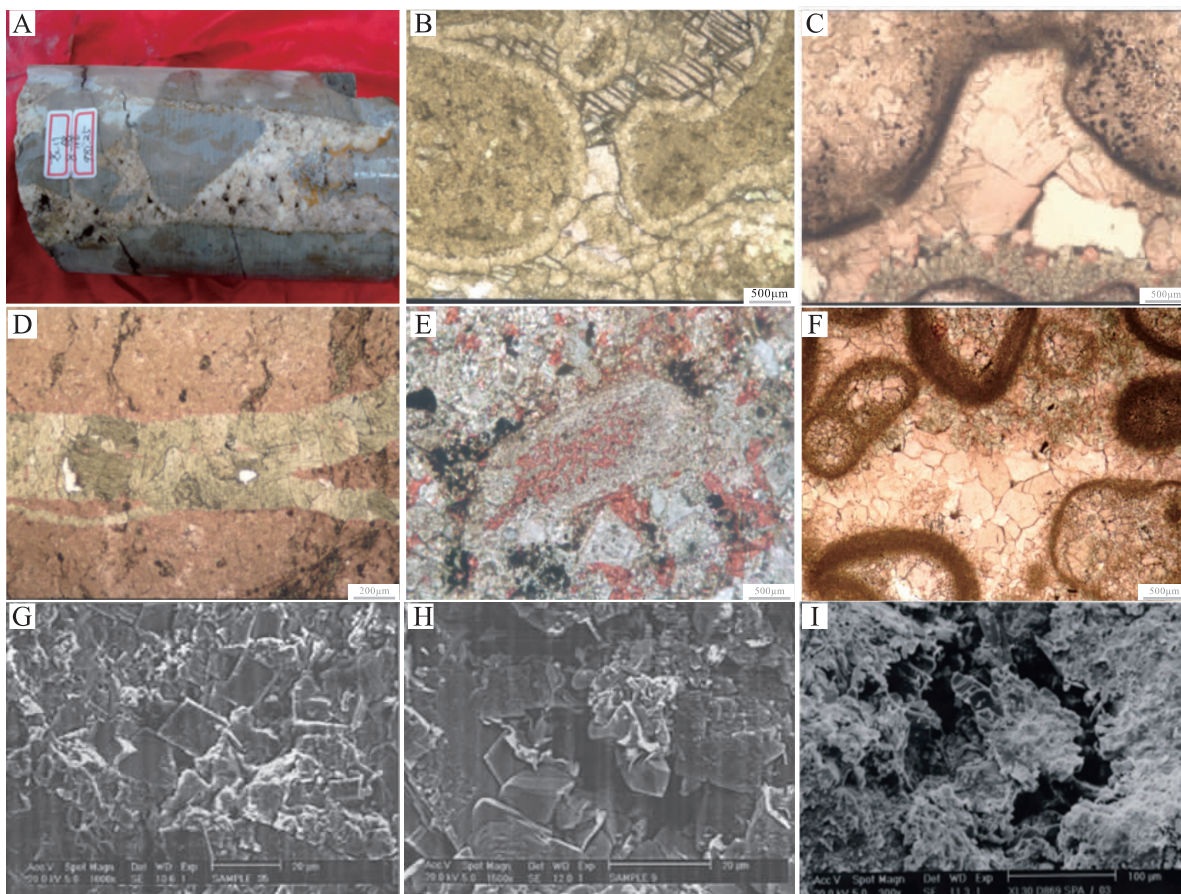


图4 四川盆地南部花果山地区嘉陵江成岩作用特征

A. 岩溶角砾及溶蚀孔洞,角砾发生垮塌,后期的上覆岩石压力损失大部分岩溶孔洞,胶结物发育,充填大部分岩溶孔洞,裂缝发育花11,981.25m,嘉一; B. 海底环境的纤维状方解石,后期白云石化,包11井,2128.85~2128.88m,嘉二3; C. 大气淡水潜流带刃状方解石,观2井,1064.38~1064.41m,嘉一; D. 泥晶灰岩,见构造裂缝发育,后被中晶异形白云石充填,包11井,2137.90~2138.03m,嘉三2; E. 粉晶灰岩夹云质,粉晶白云石具环边结构,可见灰岩未完全白云石化的残余斑点,孔隙较为发育,麻2井,2244.42m,嘉二3; F. 亮晶砂屑鲕粒灰岩,白云石交代颗粒内方解石,粒间见两期白云石胶结,具有明显的世代特征,孔隙不发育观2井,1061.53m,嘉一; G. 晶间及晶间溶孔发育,自生白云石颗粒具标准棱形结构,花11井,嘉二1~嘉一段; H. 晶间孔发育,孔隙内见自生石英颗粒和白云石颗粒,具有良好晶型,花11井,嘉二2; I. 溶蚀作用,丹6井,嘉二1,2128.76m

Fig. 4 Diagenetic characteristics of the Jialingjiang Formation in the Huaguoshan area, southern Sichuan Basin

胶结作用是将松散的颗粒固结成岩的过程,这个过程中必然伴随着大量原始孔隙的减少,尤其是连片胶结,若胶结作用能够先于压实作用进行分散胶结,则能够有效抑制压实和压溶作用的进行,具有保存原生孔隙和早期次生孔隙的作用。但更多时候胶结作用对孔隙而言是主要的负面作用,这取决于胶结作用的发育的时间、规模及其与颗粒的组合关系。本区嘉一、嘉二段鲕粒灰岩中可见早期大气淡水等厚环边胶结物,以及早期的白云石胶结物和海底胶结物,这种胶结作用能够固结成岩以抵抗上覆岩石压力,且抑制压溶作用的进行,对储层起到“保持性”的作用,对储层而言可能具有双重性,至于是“建设性”还是“破坏性”,则取决于其胶结的程度,在研究成岩作用对储层的影响时,需结合其胶结世代、组合关系、发育程度来进行综合评定。交代作用和重结晶作用的储层孔隙的贡献程度也如此。

## 5 成岩演化过程

成岩演化序列和孔隙演化规律的分析对于确定储层发育的控制因素及各因素之间的相互关系具有重要意义,笔者在参考前人对嘉陵江组研究的基础之上,通过钻井岩心、岩石薄片、铸体薄片观察,结合物性测试数据进行成岩演化分析。研究区储层类型主要为白云岩,灰岩储集性能较差。本区储层粒内溶孔较为发育,表明经历了早期的溶蚀作用;部分砂屑白云岩的原始砂屑结构保存完好,表明其形成时间较早,可能形成于回流渗透作用;潮坪相的泥-粉晶白云岩可能形成于海水蒸发浓缩作用;部分白云岩颗粒具标准棱形结构,呈漂浮状,表明该类白云石的生成晚于其周围的胶结作用;白云岩交代了变形的砂屑和生物碎屑,表明该类白云石胶结发生在压实变形之后,而被交代的方解石胶结既有形成于压实变形之前也有形成于压实变形之后;白云石胶结物见港湾状溶蚀边缘,自生白云石颗粒见部分溶蚀现象,表面存在晚期溶蚀且持续到白云石交代作用之后。

本区储层的孔隙内可见少量的自生硅质和自生黏土矿物,镜下见黏土矿物晶体规律生长,可能形成于准同生期大气淡水溶蚀时期;自生石英具完好的六面体结构,表明其生长空间充分,应发育在溶蚀作用和白云石化之后、晚期方解石连晶胶结之

前,其物质来源可能为成岩中期的构造破裂作用之后,其它层位的流体沿裂缝进入层内;在有机酸存在的酸性环境中,自生白云石和石英均见溶蚀现象,晚期的方解石胶结未见溶蚀现象而晚期硅质胶结见部分溶蚀,由此可推测最后一期的溶蚀作用早于方解石胶结且晚于硅质胶结,或与硅质胶结同时发生。

根据以上成岩现象的先后次序,以及次生矿物之间的切割、伴生以及交代关系,总结了研究区嘉陵江组储层的成岩演化序列和孔隙演化规律(图5)。可以看出,导致孔隙减少的主要因素是持续的压实作用和胶结作用以及后期的过白云石化作用;大气淡水溶蚀对孔隙发育有较为明显的控制作用。由于本区特殊的隆起现象,除准同生期的大气淡水淋滤之外,表生阶段大气淡水也对储层有溶蚀作用;白云石化作用对孔隙发育的建设性作用主要体现在提高岩石的抗压实性能和稳定性,古隆起时期的构造破裂作用则能够为溶蚀性流体提供运移通道,有利于溶蚀作用的进行。因此,本区嘉陵江组储层发育的主要因素是沉积期古地貌控制的准同生大气淡水溶蚀、地层抬升剥蚀的表生大气淡水溶蚀,以及构造破裂作用提供溶蚀流体运移通道所发生的埋藏溶蚀作用控制,而造成孔隙度降低的主要因素是由持续存在的压实作用及胶结作用。

## 6 结论

(1) 花果山地区嘉陵江组顶底界面清楚,主要产层为嘉一段和嘉二段,储层岩性以粉晶含泥质粒屑白云岩及亮晶粒屑灰岩、细粉晶灰岩。白云岩储层含泥质较重,孔隙类型以晶间孔和晶间溶孔以及粒内溶孔为主,总体上以低孔低渗的Ⅲ类储层为主,储集空间类型为孔隙型和裂缝-孔隙型。

(2) 嘉陵江组储层所经历的成岩作用包括泥晶化作用、压实、压溶作用、溶蚀作用、胶结作用、白云石化作用以及破裂作用,按其是否形成孔、缝等储集空间和是否对油气的生、储、运有贡献,将成岩作用划分为建设性成岩作用、破坏性成岩作用和保持性成岩作用。

(3) 嘉陵江组经历了准同生阶段、浅埋藏阶段、中-深埋藏阶段和表生阶段的成岩演化过程,准同生和表生阶段的大气淡水作用是形成储层发育的基础,白云石化作用和埋藏溶蚀对孔隙的发育也具



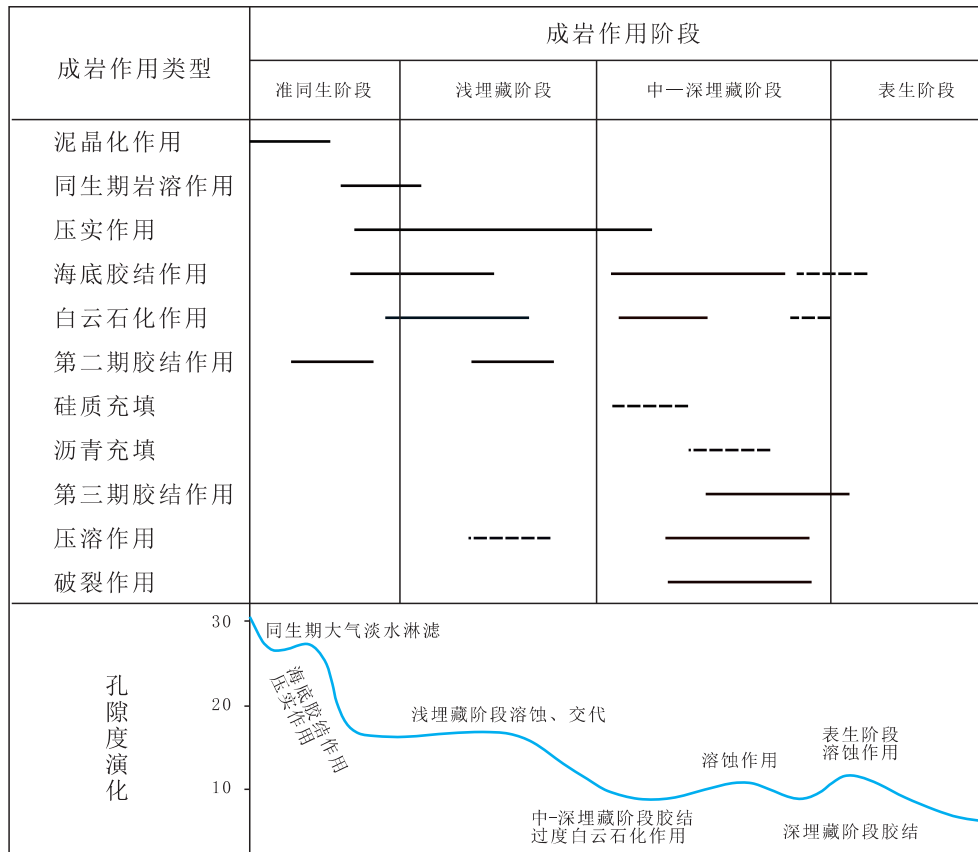


图5 四川盆地南部花果山地区嘉陵江组成岩演化序列与孔隙演化

Fig.5 Diagenetic sequences and porosity evolution in the Jialingjiang Formation, Huaguoshan area, southern Sichuan Basin

有重要的建设性作用,古隆起时期的构造破裂作用能够为溶蚀性流体提供运移通道,有利于溶蚀作用的进行。

参考文献:

[1] 曹剑,谭秀成,陈景山. 川西南犍为地区下三叠统嘉陵江组沉积相及其演化特征 [J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 429-438.

[2] 谭秀成,罗冰,李卓沛,等. 川中地区磨溪气田嘉二段砂屑云岩储集层成因 [J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(3): 268-274.

[3] 马永生,郭彤楼,赵雪凤. 普光气田深部优质白云岩储层形成机制 [J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(S2): 43-52.

[4] 李宏涛,吴文波,游瑜春,等. 四川盆地河坝地区下三叠统嘉陵江组气藏储集层沉积特征与成岩作用 [J]. 古地理学报, 2014, 16(1): 103-114.

[5] 唐浩,谭秀成,刘宏,等. 川中磨溪气田嘉陵江组“土黄色”粉晶云岩成因及其储集层形成机制 [J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(4): 504-512.

[6] 黄文明,刘树根,张长俊,等. 川中磨溪构造下三叠统嘉二段储集物性及其控制因素 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版,

2007, 34(2): 135-142.

[7] 雷和金,李国蓉,周吉玲,等. 四川盆地南部寒武系碳酸盐岩成岩作用特征及对储层的影响 [J]. 东北石油大学学报, 2015, 39(2): 59-68.

[8] 刘树根,马永生,王国芝,等. 四川盆地震旦系一下古生界优质储层形成与保存机理 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(1): 1-5.

[9] 马永生,蔡勋育,赵培荣,等. 深层超深层碳酸盐岩优质储层发育机理和“三元控储”模式——以四川普光气田为例 [J]. 地质学报, 2010, 84(8): 1087-1094.

[10] 张建勇,周进高,潘立银,等. 川东北地区孤立台地飞仙关组优质储层形成主控因素——大气淡水淋滤及渗透回流白云石化 [J]. 天然气地球科学, 2013, 24(1): 9-18.

[11] 黄思静, Qing Hairuo, 胡作维, 等. 封闭系统中的白云石化作用及其石油地质学和矿床学意义——以四川盆地东北部三叠系飞仙关组碳酸盐岩为例 [J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2955-2962.

[12] 朱东亚,金之钧,胡文瑄. 塔北地区下奥陶统白云岩热液重结晶作用及其油气储集意义 [J]. 中国科学: D 辑, 2010, 40(2): 156-170.

[13] 乔占峰,沈安江,郑剑锋,等. 塔里木盆地下奥陶统白云岩类型及其成因 [J]. 古地理学报, 2012, 14(1): 21-32.

- [14] Warren J. Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations [J]. *Earth-Science Reviews*, 2000, 52( 1/3) : 1 – 81.
- [15] Lucia F J. Origin and petrophysics of dolostone pore space [C]. Braithwaite C J R, Rizzi G, Darke G, eds. *The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon reservoirs* [A]. Geological Society Special Publication, 2004, 235: 141 – 155.
- [16] 赵文智, 沈安江, 郑剑锋, 等. 塔里木、四川及鄂尔多斯盆地白云岩储层孔隙成因探讨及对储层预测的指导意义 [J]. *中国科学: D 辑*, 2014, 44( 9) : 1925 – 1939.
- [17] 李蓉, 徐国明, 宋晓波, 等. 川西坳陷雷四 3 亚段储层控制因素及孔隙演化特征 [J]. *东北石油大学学报*, 2016, 40( 5) : 63 – 74.
- [18] 孙剑, 房楠, 李世珍, 等. 白云鄂博矿床成因的 Mg 同位素制约 [J]. *岩石学报*, 2012, 28( 9) : 2890 – 2902.
- [19] Lavoie D, Jackson S, Girard I. Magnesium isotopes in high temperature saddle dolomite cements in the lower Paleozoic of Canada [J]. *Sedimentary Geology*, 2014, 305: 58 – 68.
- [20] 黄文明, 刘树根, 马文辛, 等. 深层海相碳酸盐岩优质储层的形成、保存和破坏机制——以四川盆地震旦系—志留系为例 [J]. *地质科学*, 2011, 46( 3) : 875 – 895.
- [21] 黄思静, 李小宁, 兰叶芳, 等. 海水胶结作用对碳酸盐岩石结构的影响: 以四川盆地东北部三叠系飞仙关组为例 [J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2013, 44( 12) : 5007 – 018.
- [22] 王丹, 陈代钊, 杨长春, 等. 埋藏环境白云石结构类型 [J]. *沉积学报*, 2010, 28( 1) : 17 – 25.
- [23] 潘立银, 刘占国, 李昌, 等. 四川盆地东部下三叠统飞仙关组白云岩化作用及其与储集层发育的关系 [J]. *古地理学报*, 2012, 14( 2) : 176 – 186.
- [24] 黄思静, 黄培培, 王庆东, 等. 胶结作用在深埋藏砂岩孔隙保存中的意义 [J]. *岩性油气藏*, 2007, 19( 3) : 9 – 13.

## Reservoir characteristics and diagenesis of the Jialingjiang Formation in the Huaguoshan region, southern Sichuan Basin

LONG Hui, DENG Fei-yong, LIAO Xiao-li, ZHANG Qiang, GENG Chao, SHEN QIU-yuan  
(*Shunan Gas Field, Southwest Oil and Gas Field Co., Ltd., Petrochina, Luzhou 646000, Sichuan, China*)

**Abstract:** With the aid of analytical results of core samples, thin sections, scanning electron microscopy analysis, porosity and permeability, the present paper gives a detailed description of the reservoir characteristics and diagenesis of the Jialingjiang Formation in the Huaguoshan region, southern Sichuan Basin. The boundaries between the top and bottom of the Jialingjiang Formation are well defined, and the first and second members of the Jialingjiang Formation occur as the main reservoir rocks. Lithologically, the reservoir rock types principally consist of muddy dolosiltite, sparry calcrudite and calcisiltite. The pore types comprise intercrystal pores (solution openings) and intragranular solution openings. The reservoir spaces types contain the porosity type and fissure-porosity type. The hydrocarbon reservoirs are dominated by the III-type reservoirs with low porosity and low permeability. The diagenesis may be separated into constructive diagenesis, destructive diagenesis and retentive diagenesis. The meteoric water serves as the basis of the formation and development of the hydrocarbon reservoirs in the penecontemporaneous and supergene stages. The dolomitization and burial dissolution play an important constructive part in the formation and development of pores and fissures. The structural fractures may provide the channels for the migration of dissolved fluids. The restoration of diagenetic evolution and porosity evolution is based on the diagenetic sequences, and the dissection, accompanying, accompaniment (association) and replacement of the secondary minerals.

**Key words:** southern Sichuan Basin; Luzhou palaeouplift; Jialingjiang Formation; diagenesis