

Study of Diagenesis and Diagenetic Facies of 2nd Member of Lower Triassic Jialingjiang Formation in East Sichuan

Bin Hu¹, Dajun Shen², Wei Wei², Yisha Liao²

¹Changqing Underground Technology Operating Company, Chuanqing Drilling Engineering Co. Ltd., Xi'an

²Chongqing Gas District of Southwest Oil and Gas Company of CNPC, Chongqing

Email: xgz1978127@tom.com

Received: Jul. 15th, 2013; revised: Aug. 11th, 2013; accepted: Aug. 30th, 2013

Copyright © 2013 Bin Hu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Based on the observation of core, general thin-section, casting lamella, scanning electron microscope, and combining with an analysis of testing data, diagenesis and diagenetic facies of 2nd member of Lower Triassic Jialingjiang Formation in East Sichuan have been studied in detail. The results show that lithology of 2nd member of Lower Triassic Jialingjiang Formation is mainly composed of dolostone, and the main reservoir space type is secondary pore. During the process of diagenesis, compaction and cementation are destructive diagenesis, while dissolution, dolomitization and tectonic disruption are constructive diagenesis. According to combination types and characteristics of diagenesis, six types of lithogenous phase have been recognized, they are cemented-gypsinated-dolomitized facies, penecontemporaneous-dolomitized facies, compacted-multi-phase gypsinated-corroded-dolomitized facies, cemented-compacted-dolomitized facies, cemented-gypsinated-ruptured-corroded-dolomitized facies, and gypsinated facies of sedimentary facies, of which cemented-gypsinated-ruptured-corroded-dolomitized facies and compacted-multi-phase gypsinated-corroded-dolomitized facies are most favorable for reservoir development.

Keywords: East Sichuan; 2nd Member of Lower Triassic Jialingjiang Formation; Reservoir Characteristics; Diagenesis; Diagenetic Facies

川东地区下三叠统嘉陵江组二段成岩作用和成岩相研究

胡彬¹, 沈大均², 魏伟², 廖义沙²

¹中国石油川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司, 西安

²中国石油西南油气田分公司重庆气矿, 重庆

Email: xgz1978127@tom.com

收稿日期: 2013年7月15日; 修回日期: 2013年8月11日; 录用日期: 2013年8月30日

摘要: 根据岩心、薄片观察、扫描电镜分析等测试资料, 对川东地区下三叠统嘉陵江组二段储层成岩作用以及成岩相进行了详细研究。研究认为, 川东地区嘉二段储层以白云岩为主, 储集空间类型主要为次生溶蚀孔隙, 属于低孔低渗储层。嘉二段经历的成岩作用类型主要有压实作用、胶结作用、白云石化作用、溶蚀作用以及构造破裂作用等。综合成岩作用组合类型及特征, 认为研究区嘉二段已经进入晚成岩阶段, 并识别出了胶结-膏化-云岩相、准同生云化相、压实-多期膏化-溶蚀-云岩相、胶结-压实-云岩相、胶结-膏化-破裂-溶蚀-云化相、沉积期膏化相等6个成岩相带, 其中胶结-膏化-破裂-溶蚀-云化相和压实-多期膏化-溶蚀-云岩相为最有利储层发育成岩相带。

关键词: 川东地区; 嘉二段; 储层特征; 成岩作用; 成岩相

1. 引言

随着川东地区下三叠统油气勘探工作的不断深入,以白云岩为主的嘉陵江组越来越受到地质工作者的重视。截至到目前,人们先后在川东石油沟、东溪、卧龙河、双龙、福成寨、黄草峡、大池干井及张家场等构造发现了大量的嘉陵江组气藏,且近几年在黄草峡、云安厂、寨沟湾、复兴场等区带又获了较大突破。最新资源评价成果显示,川东地区嘉陵江组气藏尚有 $1510.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 剩余资源量有待进一步勘探发现,其中嘉二段为主要的储层发育段和含气层位,表明研究区嘉二段具有良好的勘探潜力。前人研究显示,储集条件是研究区嘉陵江组气藏成藏的关键因素^[1-3],而碳酸盐岩储层的发育和成岩作用有着密切的关系^[4-8]。为此,本文通过岩心观察,结合薄片观察、扫描电镜等分析测试资料,对川东地区下三叠统嘉陵江组二段储层成岩作用以及成岩相进行了详细研究,以期查明研究区嘉二段有利储层分布并为下一步滚动勘探提供地质依据。

2. 区域地质背景

川东地区位于四川盆地东部,构造上隶属于川东高陡褶皱带,其西抵华蓥山,东接七跃山,南达南川-开隆一线,北与大巴山相连,面积约 $5.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。嘉陵江组沉积早期,川东及其周边环境继承了飞仙关时期的古地理格局,北为汉南及大巴山隆起,西北接龙门山岛链,西南连康滇古陆,研究区属于开阔台地沉积环境。嘉陵江组二段沉积时期,由于构造活动使川东地区整体抬升,海水变浅,在干旱、炎热气候条件影响下,研究区开始转为局限台地沉积环境,白云岩和膏岩发育^[9]。根据岩性组合特征,嘉二段自上而下可划分为嘉二³($T_1j_3^2$)、嘉二²($T_1j_2^2$)、嘉二¹($T_1j_1^2$)三个亚段,其中 $T_1j_3^2$ 为灰白色石膏夹深灰色灰岩及白云岩, $T_1j_2^2$ 上部为灰色白云岩夹深灰色泥质白云岩、

灰岩,下部夹灰白色石膏层, $T_1j_1^2$ 为深灰色白云岩,顶部为白色石膏层,地层总体厚度在 120~238 m 之间,平均 172.3 m。

3. 储层特征

3.1. 岩石学特征

通过大量岩心及岩石薄片资料分析,嘉二段岩石类型以白云岩为主,灰岩和膏岩次之,其中白云岩平均所占比例达 75%,而灰岩和膏岩比例仅占 17%和 8%。白云岩根据成因可分为准同生泥晶-微晶白云岩和埋藏期颗粒白云岩,颗粒主要由砂屑、鲕粒和生物碎屑构成。灰岩根据结构分为泥晶灰岩、粉晶灰岩和亮晶颗粒灰岩。在矿物组成方面,研究区嘉二段不同层位的矿物组成特征有所不同,但总体上以白云石和方解石为主,其含量占总矿物含量的 75%~80%(表 1)。

3.2. 储集空间类型及特征

川东地区嘉二段储层储集空间类型较多,但总体上以次生孔隙为主,原生孔隙大多数已被方解石、石膏、白云石等完全胶结充填,保存较少。次生孔隙又可分为粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔、膏溶孔等,其中粒间、粒内溶孔是最主要的储集空间。另外还可见到各种裂缝,包括风化缝、构造缝、缝合线及溶蚀缝。根据不同储集空间的成因和形态特征,分为孔隙型储集空间和裂隙型储集空间两大类(表 2)。

3.3. 储层物性特征

对川东地区 38 口取心井 3870 个样品的物性统计资料分析发现,嘉陵江组二段储层物性变化范围较大。嘉二段孔隙度分布范围为 0.12%~19.63%,平均值为 1.69%,在孔隙度分布直方图上主峰位于 0.0%~2.0%之间(图 1);渗透率分布范围为 $0.0001 \sim 420 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $0.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,渗透率主峰位于 0.0~

Table 1. Mineral composition of 2nd member of Lower Triassic Jialingjiang formation in East Sichuan
表 1. 嘉陵江组嘉二段矿物组成特征

层段	总量(%)	白云石(%)	方解石(%)	菱镁矿(%)	石膏(%)	酸不溶物(%)	其它氧化物(%)
$T_1j_3^2$	97.23	48	31.56	0	12.14	5.14	0.4
$T_1j_2^2$	98.06	47	33.98	0.01	13.49	3.28	0.24
$T_1j_1^2$	96.15	55.61	20.66	0.04	7.65	10.68	1.45

Table 2. Types of reservoir space of 2nd member of Lower Triassic Jialingjiang formation in East Sichuan
表 2. 川东地区嘉陵江组二段储集空间类型

储集空间类型		主要特征
类	亚类	
孔隙	粒间(溶)孔	由颗粒支撑, 粒间孔多为原生, 胶结物再溶蚀而成
	粒内溶孔	颗粒被部分或全部溶解而成, 常与粒间孔伴生
	晶间孔	多在菱形白云石晶体间, 强白云石化作用
	膏溶孔	充填的石膏晶体被部分或全溶蚀, 去膏化作用
	铸模孔	鲕粒、生物骨架被溶蚀形成
	窗格孔	藻叠层内的藻粘结孔沿层分布, 多充填
	体腔孔	有机体腐烂而形成, 多充填
裂缝	构造缝	构造作用形成, 多由不同组系组成网络状
	缝合线	缝合线扩溶形成, 有机质充填

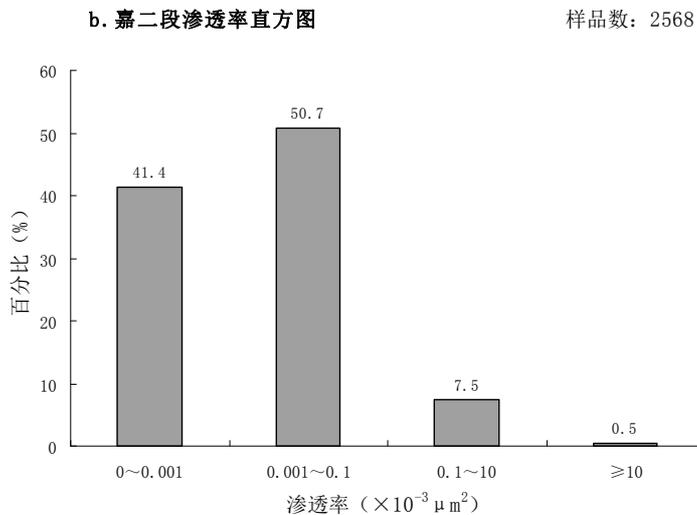
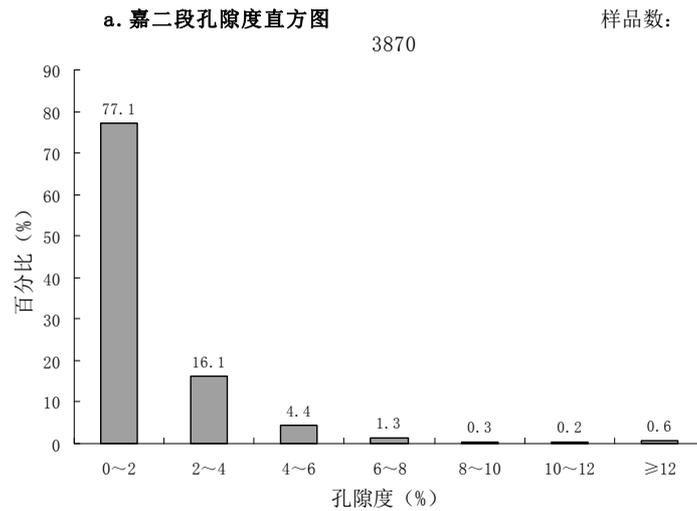


Figure 1. Reservoir property of 2nd member of Lower Triassic Jialingjiang formation in East Sichuan
图 1. 川东地区嘉二段储层物性特征

$0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间(图 1)。根据统计的大量孔隙度和渗透率数据,参照四川盆地碳酸盐岩储层评价标准,川东地区嘉二段总体上属于低孔、低渗储层。

4. 成岩作用类型及特征

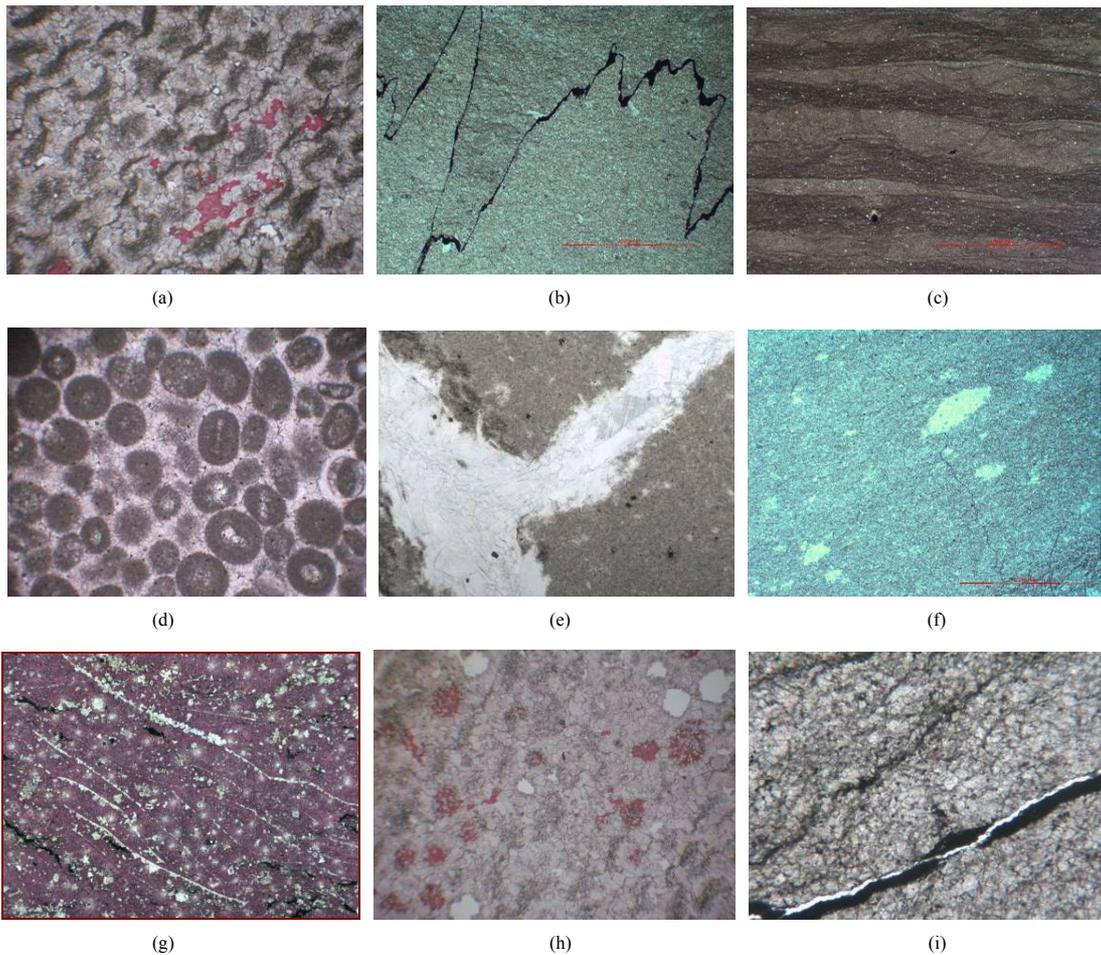
4.1. 压实作用

压实作用是造成碳酸盐岩储层孔隙度及渗透率减小的主要原因。根据川东嘉二段碳酸盐岩对压力响应程度的差异,将压实作用分为机械压实与化学压溶两种类型。研究区碳酸盐岩机械压实差异性较大,强烈压实区镜下可见碳酸盐颗粒(绝大部分已经白云化)普遍呈拉长的透镜状、蝌蚪状、眼球状,呈定向排列

(图 2(a))。化学压溶在研究区非常常见,主要表现为缝合线普遍发育,根据缝合线的形态可划分为两种类型:一种为起伏较大的缝合线,主要发育在颗粒为主的岩石中或较纯的白云岩中(图 2(b));另一种为起伏较小且密集发育的缝合线,该类缝合线则主要发育在泥质含量较高的泥粉晶白云岩或者泥质灰岩中(图 2(c))。

4.2. 胶结作用

胶结作用作为碳酸盐岩中重要的成岩作用类型,通常也是最主要的破坏性成岩作用。研究区嘉二段胶结作用主要有方解石胶结与石膏胶结两种类型(图



(a) 碳酸盐岩颗粒呈定向排列,草 2 井, $T_{1j_2}^2$, 997.99 m; (b) 高幅缝合线,池 58 井, $T_{1j_2}^2$, 2756.69 m; (c) 微幅压溶缝合线,门西 8 井, $T_{1j_1}^2$, 3491.65 m; (d) 方解石胶结,池 26 井, $T_{1j_1}^2$, 2189.00 m; (e) 石膏充填裂缝,永安 16 井, $T_{1j_2}^2$, 3501.99 m; (f) 泥微晶白云石,池 58 井, $T_{1j_2}^2$, 2767.94 m; (g) 粉细晶白云石,成 4 井, $T_{1j_2}^2$, 2511.53 m; (h) 次生孔隙未被填充,草 2 井, $T_{1j_2}^2$, 998.52 m; (i) 未被填充的裂缝,卧 87 井; $T_{1j_2}^2$; 3445.58 m。

Figure 2. Micrographs of diagenesis of 2nd member of Lower Triassic Jialingjiang formation
图 2. 成岩作用特征显微照片

2(d), (e))。根据方解石胶结物的产状与胶结物的结构形态将嘉二段方解石胶结作用划分为三期: 第一期主要为围绕碳酸盐颗粒呈栉壳状产出的纤维状、针状、刀刃状的方解石胶; 第二期为等轴细粒方解石胶结, 普遍呈填充碳酸盐颗粒间空隙的方式产出, 方解石表面相对比较干净; 第三期方解石胶结物同样以粒状为特征, 茜素红染色呈红色, 方解石的铁含量较低, 主要表现为对白云岩早期溶蚀孔和构造裂缝中石膏充填物的交代或对构造裂缝的填充, 为埋藏条件下的产物。石膏胶结作用在嘉二段也较普遍, 并且使得嘉陵江组自下而上三段顶部均发育不同程度的呈层状分布的石膏层, 这些石膏层为嘉二段白云石化作用的普遍发育提供了物质来源, 对白云岩储层的形成较为有利, 但影响作用不明显。

4.3. 白云石化作用

白云岩是川东嘉二段最为重要的储层类型。通过对嘉二段不同类型、不同产状白云岩(石)分析发现, 嘉二段至少存在准同生期和埋藏期两种不同时期的白云石化作用。准同生白云石化又可分为准同生蒸发环境白云化和准同生混合白云化两种模式: 准同生蒸发环境下白云岩的结晶速度较快, 白云石的晶体较小(图 2(f)), 晶体形态以它形或不定形为特征, 白云石的有序度往往较低, 并且由于白云石化流体与蒸发有关, 白云石富含碳氧的重同位素; 准同生混合白云化表现为白云岩中的碳酸盐颗粒发生选择性溶蚀并被后期的方解石充填, 且白云岩中几乎未见与任何蒸发矿物。埋藏白云化根据原岩又可分两种类型, 第一种为灰岩白云石化, 形成的白云石多发育于微裂缝和缝合线部位, 晶粒结构以粉晶和细晶为主(图 2(g)); 第二种类型为早期白云石的重新调整, 也可以理解为白云石的重结晶作用或者调整白云石化, 该条件下形成的白云石在镜下常表现为晶粒结构不均一, 粗晶白云石中残留个别的泥粉晶白云石或者细晶白云石中残留泥粉晶白云石的特征。

4.4. 溶蚀作用

溶蚀作用是川东地区嘉陵江组嘉二段重要的建设性成岩作用, 对有效储层的形成具有重要意义。通过对大量薄片的观察分析发现, 研究区嘉二段碳酸盐岩发育三期主要的溶蚀作用, 分别对应于准同生成岩

期、中成岩期、晚成岩期。准同生成岩期溶蚀作用的发育和大气淡水具有密切关系, 主要表现为碳酸盐颗粒的选择性溶蚀, 由于此次溶蚀作用发生时间较早, 形成的溶蚀孔在后期几乎全部被石膏、方解石充填。中成岩期的溶蚀作用主要表现为缝合线的扩容和基质白云岩的不均匀溶蚀, 且缝合线扩容空间通常都保存完好并被油气冲注。晚成岩期岩溶作用由于发生的时间相对较晚, 孔隙空间保存完好, 多为先期充填各种孔隙空间、裂缝的石膏或者方解石被溶蚀后形成的溶孔(图 2(h))。

4.5. 构造破裂作用

裂缝的存在对于碳酸盐储层的形成具有重要意义, 不仅可以作为油气储集空间, 还可以作为油气运移通道。通过对大量的岩石薄片的分析发现, 川东地区嘉二段构造破裂作用至少存在两期, 由于裂缝形成的时间差异, 充填程度有明显差异。第一期构造破裂作用发生时间较早, 裂缝中普遍发育石膏、方解石充填。第二期破裂作用发育的时间相对较晚, 普遍可见未充填的裂缝穿过有机质充填的扩容缝合线, 这期裂缝的形成可能与川东地区晚成岩期的构造抬升活动有关, 开启程度较高, 未见明显的充填作用(图 2(i)), 对储层发育非常有利。

5. 成岩阶段划分及演化模式

在薄片分析的基础上, 根据成岩作用类型发生的先后顺序, 并结合区域的埋藏演化历史、烃类演化史、有机质的成熟度等资料, 将川东地区嘉二段的成岩阶段分为同生-准同生成岩阶段、早成岩阶段、中成岩阶段、晚成岩阶段, 对应的成岩环境与成岩流体分别为海水-淡水-混合水、浅埋藏环境(残留孔隙水)、中-深埋藏阶段(埋藏流体)、中-浅埋藏阶段(埋藏流体、大气水), 并建立研究区嘉二段碳酸盐岩成岩演化模式(图 3)。从嘉二段成岩阶段演化模式图中可以看出, 嘉二段经历了多阶段的成岩演化过程, 且成岩类型比较复杂、多样, 经历漫长成岩演化之后, 碳酸盐岩的原生孔隙基本消失殆尽, 薄片主要见次生孔隙, 其储集性能好与建设性成岩或破坏性成岩作用之间的相对强度有关, 埋藏条件下的白云石化-白云岩的调整与溶蚀作用、成岩环境变化以及构造破裂作用都是改善储层储集性的重要因素。

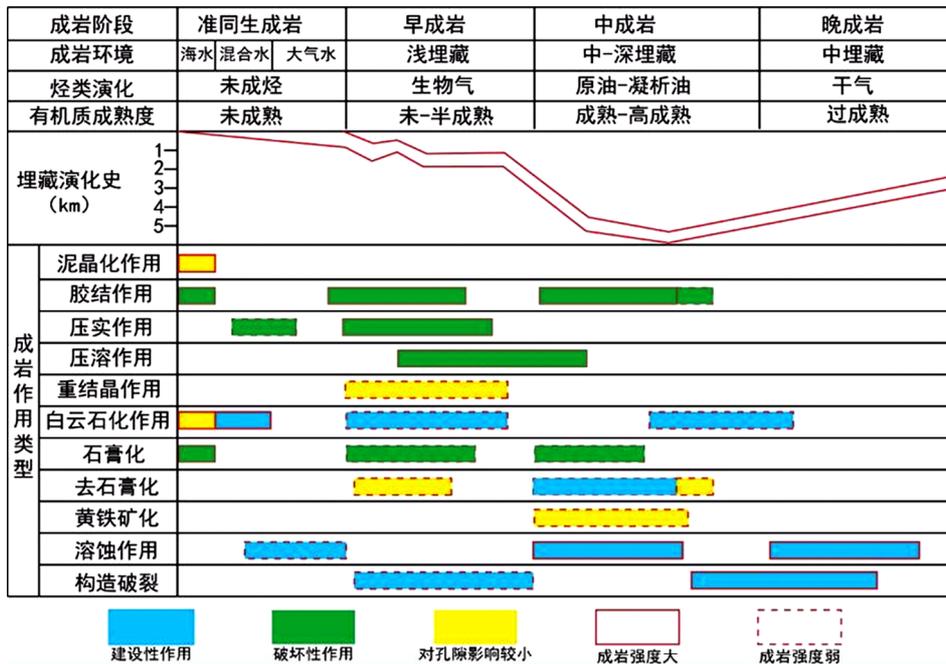


Figure 3. Diagenetic evolution of 2nd member of Lower Triassic Jialingjiang formation in East Sichuan
图 3. 川东地区嘉陵江组二段成岩演化序列

6. 成岩相分析

6.1. 成岩相类型划分

在岩石薄片的分析基础上，根据成岩作用类型的不同，将嘉陵江组嘉二段的成岩相划分为 11 个最基本的单一成岩相类型：生物成岩相、胶结相、压实相、压溶相、重结晶相、白云化相、石膏化相、去石膏化相、黄铁矿化相、溶蚀相和破裂相等。根据成岩环境的不同，将这些成岩作用类型又可以分为：大气水溶蚀相、埋藏溶蚀相、准同生云化相、埋藏云化相、混合水云化相、淡水胶结相、海水胶结相、埋藏胶结相。考虑到单一成岩环境下的单一成岩作用的情况非常少见，因此成岩相命名根据成岩作用的强度运用地质学命名原则，同时考虑到某种成岩作用对碳酸盐岩储层是否有利，在有建设性成岩作用发育的情况下，将建设性成岩作用类型置于最为重要的成岩作用类型前以示强调，如膏化-溶蚀-云岩(化)相，溶蚀作用是该类储层重要的建设性作用，这里在成岩相的命名中加以强调。依据上述的成岩相类型与成岩相的命名原则，将川东地区嘉二段的成岩相划分为沉积期膏化相、准同生期云化相、胶结-膏化-云岩(化)相、膏化-溶蚀-云岩(化)相、压实-膏化-溶蚀-破裂-

云岩(化)相、胶结-压实-(埋藏)云化相等。

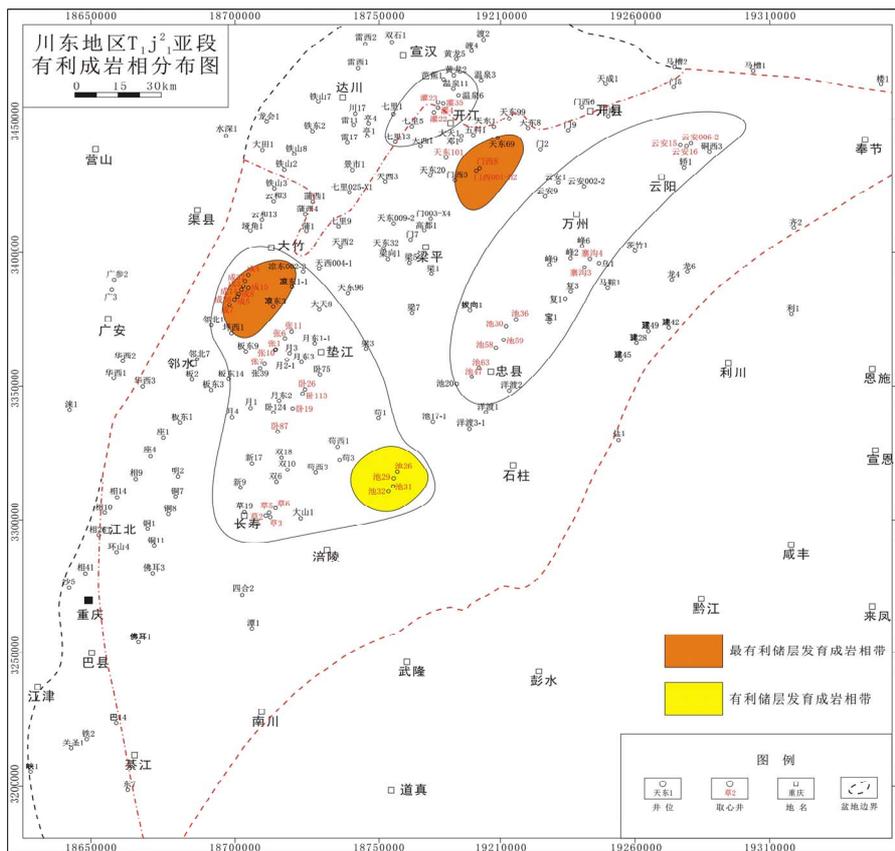
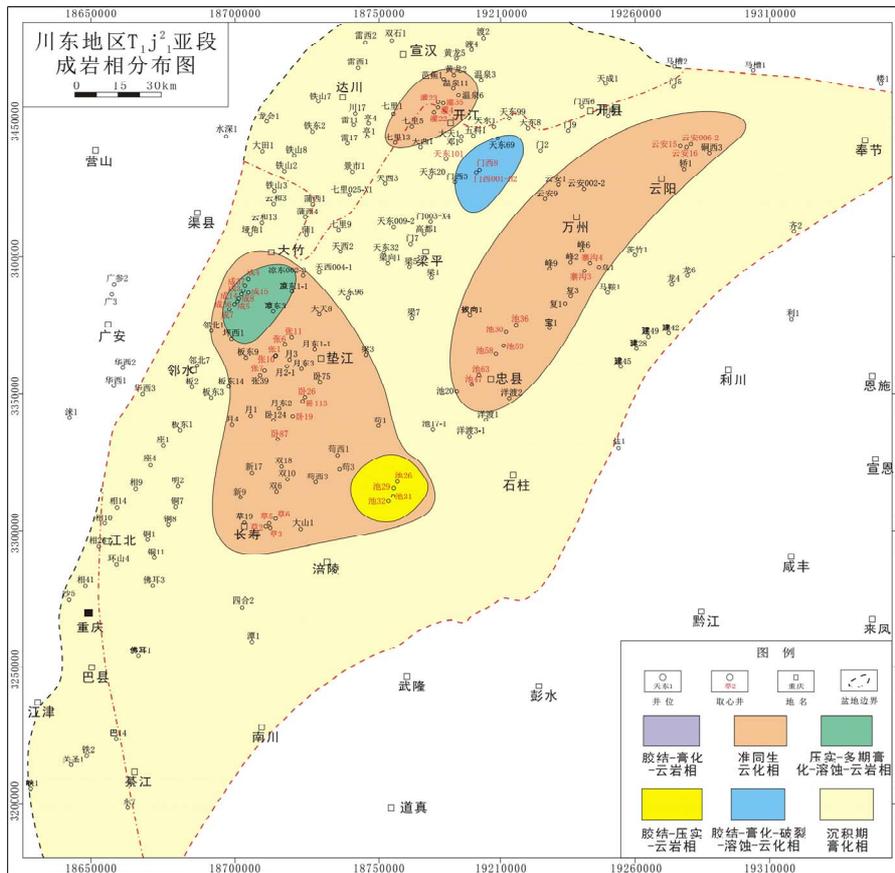
6.2. 成岩相展布特征

根据薄片分析资料，结合各类成岩相特征，对研究区嘉二段单井、连井及平面成岩相分布研究。

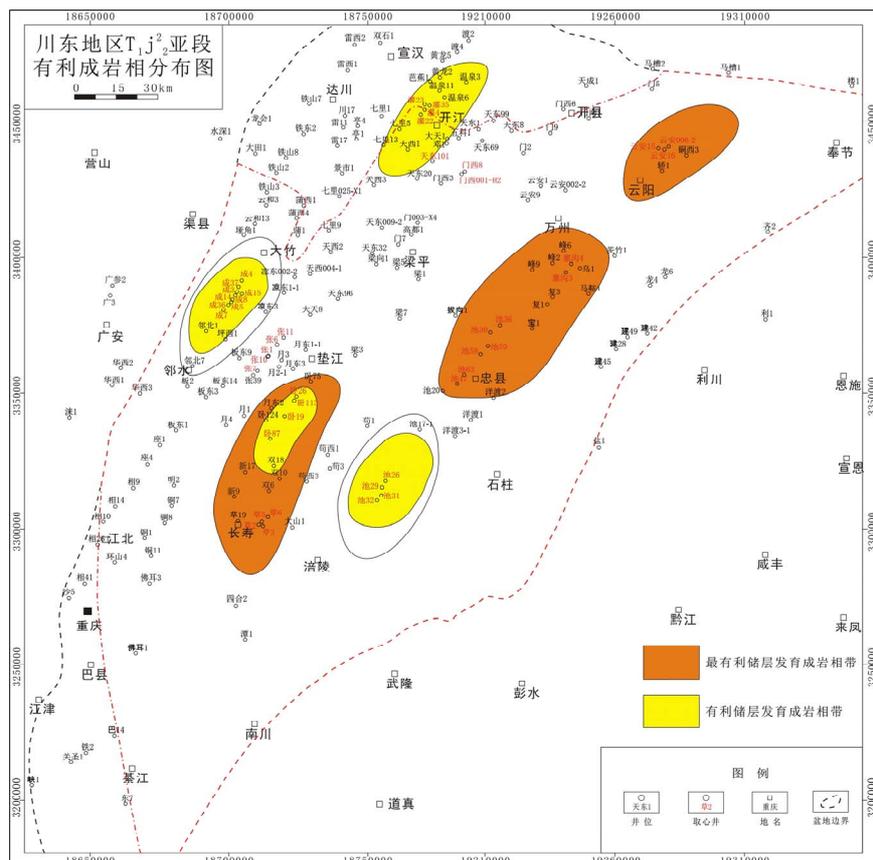
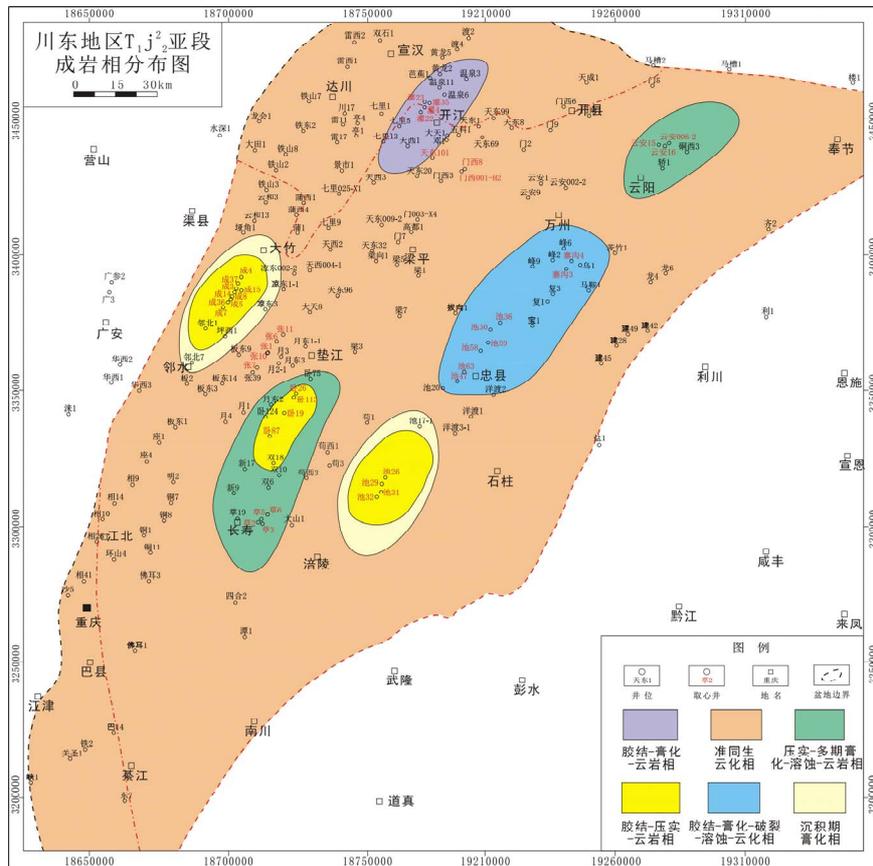
研究表明：沉积期膏化相、准同生期云化相是川东嘉二段最为发育的成岩相类型(图 4)，其中，沉积期的膏化相主要发育在嘉二段的 $T_1j_1^2$ 、 $T_1j_3^2$ 两个层段中，在 $T_1j_2^2$ 层段中的沉积期膏化相则有限发育；而准同生云化相同样在 $T_1j_1^2$ 、 $T_1j_3^2$ 两个层段中最为发育， $T_1j_2^2$ 层段中准同生云化相地层与该段地层厚度相比而言，准同生云化相强度相对有限，准同生期云化相的发育与沉积期膏化相发育的耦合性也说明两者的发育均与沉积环境有密切关系。另外，较强的胶结-压实-云化相的分布规模也相对较大，主要分布在川东地区的东南部，在 $T_1j_1^2$ 层段，该成岩相仅在池 26 井发育； $T_1j_2^2$ 层段的发育规模则有所扩大，成 5 井、池 26 井均有发育。

川东地区嘉二段划分出胶结-膏化-云岩相、准同生云化相、压实-多期膏化-溶蚀-云岩相、胶结-压实-云岩相、胶结-膏化-破裂-溶蚀-云化相、沉积期膏化相等 6 个成岩相带，根据每种成岩相

川东地区下三叠统嘉陵江组二段成岩作用和成岩相研究



川东地区下三叠统嘉陵江组二段成岩作用和成岩相研究



川东地区下三叠统嘉陵江组二段成岩作用和成岩相研究

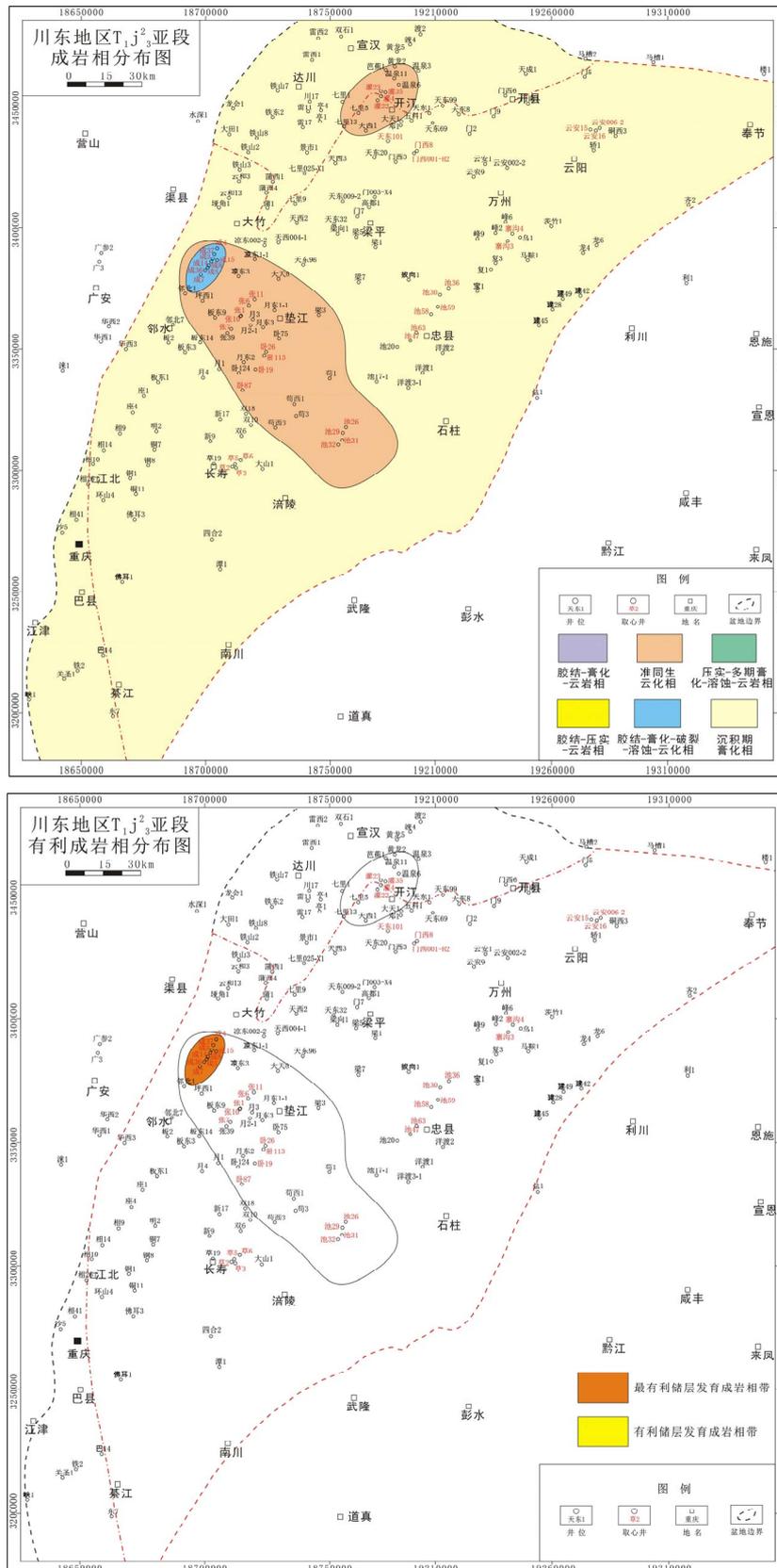


Figure 4. Distribution of diagenetic facies and favorable reservoirs of 2nd member of Lower Triassic Jialingjiang formation in East Sichuan
 图 4. 川东地区嘉二段各层段成岩相平面分布及有利储层发育区带

带所对应成岩作用对储层的贡献率不同,将胶结-膏化-破裂-溶蚀-云化相和压实-多期膏化-溶蚀-云岩相划分为最有利储层发育成岩相带,胶结-膏化-云岩相和胶结-压实-云岩相划为有利储层发育成岩相带,而准同生云化相(泥-微晶白云岩为主)和沉积期膏化相(膏岩沉积为主)不利储层发育(图4)。

7. 结论

1) 研究区嘉二段岩石类型主要有白云岩、灰岩和膏岩等,其中以白云岩为主。储集空间类型主要为粒间溶孔和粒内溶孔,原生孔隙绝大部分已经遭受破坏,储层孔隙率低,总体上属于低孔、低渗储层。

2) 川东地区嘉二段经历的成岩作用类型丰富,识别出的成岩作用类型主要有压实作用、胶结作用、溶蚀作用、白云石化作用、构造破裂作用等,其中压实作用、胶结作用属于破坏性成岩作用,溶蚀作用、白云石化作用、构造破裂作用则为建设性成岩作用,目前成岩演化阶段已经进入晚成岩期。

3) 川东地区嘉二段的成岩相划分为沉积期膏化相、准同生期云化相、胶结-膏化-云化相、膏化-溶蚀-云化相、压实-膏化-溶蚀-破裂-云化相、胶结-压实-云化相等6种成岩相,其中胶结-膏化

-破裂-溶蚀-云化相和膏化-溶蚀-云岩相,胶结-膏化-云化相和胶结-压实-云岩相属于有利储层发育成岩相带,而准同生云化相和沉积期膏化相则不利于储层发育。

参考文献 (References)

- [1] 黄继祥,曾伟,张高信等. 四川盆地川东地区三叠系嘉陵江组二段滩微相的发育分布及对气藏形成的控制[J]. 沉积学报, 1995, 13(增刊): 109-115.
- [2] 曾伟,强平,徐建斌等. 川东嘉二段气藏形成的沉积、成岩控制作用[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(3): 22-25.
- [3] 李爱国,易海永,杨晓敏等. 温泉井构造带嘉陵江组气藏成藏条件研究[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(1): 5-8.
- [4] 曾伟,强平,黄继祥. 川东地区嘉陵江组嘉二段储层成因模式[J]. 石油实验地质, 1997, 19(增1): 82-86.
- [5] 李爱国,易海永,刘超等. 川东北地区嘉陵江组嘉二段储层特征研究[J]. 天然气勘探与开发, 2008, 31(3): 1-5.
- [6] 林雄,侯中健,田景春. 四川盆地三叠统嘉陵江组储层成岩作用研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(2): 8-12.
- [7] 杨威,魏国齐,金惠等. 碳酸盐岩成岩相研究方法及其应用——以扬子地块北缘飞仙关组鲕滩储层为例[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 749-756.
- [8] 李旻南,傅恒. 川东北河坝地区嘉二段成岩作用特征及其与储层发育的关系[J]. 岩石矿物, 2013, 33(1): 107-115.
- [9] 胡明毅,魏国齐,李思田等. 四川盆地嘉陵江组层序-岩相古地理特征和储层预测[J]. 沉积学报, 2010, 28(6): 1145-1151.