

文章编号: 1000-0550(2008) 01-0092-08

泸州古隆起地区嘉陵江组 层序特征及其对碳酸盐岩储层的控制¹

乔占峰¹ 李国蓉¹ 李 弢^{1,2} 王 鑫¹ 于海波¹ 邓小江^{1,3}

(1. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都 610059;

2 中国石油西南油气田分公司蜀南气矿 四川泸州 646000;

3 四川石油管理局地球物理勘探公司物探研究中心 成都 610213)

摘 要 在对研究区嘉陵江组沉积背景认识的基础上,通过对嘉陵江组岩性剖面结构的细致分析,将其划分为 2 个三级层序、6 个四级层序和 14 个五级层序,认识到高频层序在海侵体系域和高水位体系域中有不同的岩性组合类型,建立了研究区嘉陵江组三级层序和层序格架。在研究区嘉陵江组储层特征认识的基础上,运用层序地层学原理,通过分析碳酸盐生长与相对海平面变化的关系,以及气候类型对高频层序演化的控制作用,建立了干旱气候背景下高水位体系域和海侵体系域中高频层序与溶蚀孔隙型储层形成的关系模式,并且层序表现出对溶蚀孔隙型储层和膏溶孔洞型储层发育分布具有重要控制作用;认为二级构造层影响着岩溶缝洞型储层和裂缝—溶洞型储层的形成发育。总结出与各级层序相关的暴露期间大气水溶蚀作用(包括同生期和表生期)为研究区嘉陵江组储层形成的主要机制。

关键词 泸州古隆起 嘉陵江组 干旱气候 层序 高频层序 碳酸盐岩储层

第一作者简介 乔占峰 男 1983 年出生 在读硕士 层序地层学与储层 E-mail qiao_zhan_feng@yahoo.com.cn

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

泸州古隆起位于四川盆地南部泸州地区,该地区下三叠系嘉陵江组曾经很长一段时间被认为是我国典型的海相碳酸盐岩,前人运用传统方法对其进行了大量的研究,成果颇丰。随着近来川东北地区普光气田和龙岗气田等大型气田的发现,证实四川盆地海相地层具有相当大的潜力,故有必要运用新手段对四川盆地进行再认识。本文将致力于运用层序地层手段探索泸州古隆起地区三叠系嘉陵江组碳酸盐岩储层形成发育规律,以期对四川盆地海相地层勘探开发有所帮助。

1 沉积背景

自 1957 年安作相识别出泸州古隆起后^[1],郭正吾(1975)进一步指出在嘉陵江组沉积期间,该隆起位于华蓥山隆起南部,以水下隆起的形式存在,其上存在次级隆起和凹陷。王宓君等认为四川盆地早三叠世嘉陵江组继承性发育碳酸盐岩台地相沉积(如图 1)^[2],研究区正位于开阔海台地相与局限海台地相的转换带上。在干旱气候背景下,由于环境、水体

能量、海平面变化频繁以及地壳频繁的振荡,研究区嘉陵江组沉积了一套碳酸盐岩台地—蒸发岩台地相沉积物,沉积相包括开阔潮下、台内滩、潮坪、泻湖等多种类型,纵横向演化频繁。其中台内滩和潮坪相为研究区储层有利发育相带。

2 层序特征

2.1 三级层序

前人研究显示全球范围内早三叠世共包括 3~4 个三级层序,赵玉光等将上扬子台地西缘嘉陵江组划分为 2 个三级层序^[3],梅冥相等将滇黔桂地区嘉陵江组划分为 2 个三级层序^[4],田景春等将川滇黔桂地区的嘉陵江组划分为 2 个三级层序^[5],说明嘉陵江组发育 2 个三级层序在区域上可以进行对比。此外,研究区嘉陵江组岩性剖面结构显示,嘉一段到嘉二段和嘉三段到嘉五段分别构成一个较大规模的海侵—海退旋回,表现出两个退积—进积的地层叠置类型,由此将研究区嘉陵江组划分为 2 个三级层序(如表 1)。时代上,嘉陵江组属于奥伦尼克阶,延续时间约 3 Ma^[6],

¹ 国家自然科学基金委员会与中国石油化工股份有限公司联合基金资助项目(批准号:40739903)。

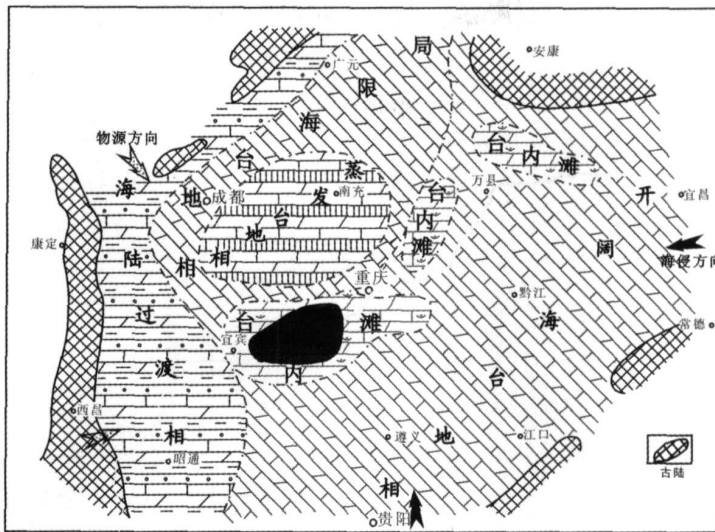


图 1 四川盆地早三叠世嘉陵江期沉积相图
(据王宓君等, 1989)

Fig 1 The sedimentary facies map of the Jialingjiang Formation in early Triassic in Sichuan Basin (After Wang Mijun et al., 1989)

表 1 泸州古隆起地区嘉陵江组岩性、沉积相以及三级层序特征

Table 1 The characteristics of the lithology, sedimentary facies and third-order sequences of the Jialingjiang Formation in Luzhou Paleohigh

地层	岩性特征	厚度 /m	台地性质	主要沉积相类型	海平面变化 海侵←→海退	三级层序划分	界面特征
顶部与雷口坡组或须家河组以平行或角度不整合面接触							
嘉五段	以云岩为主	42.5~80	局限台地	潮坪		HST	→ 不整合面
嘉四段	以膏岩为主, 夹有云岩	108~159	局限台地—蒸发台地	泻湖—潮坪			
嘉三段	微晶灰岩为主, 可夹云岩和粒屑灰岩, 常含石膏斑点斑块	51~130	开阔台地—半局限台地	开阔台地		mfs TST	→ 岩性岩相转换面
嘉二段	膏岩和云岩为主, 可夹灰岩, 底部普遍发育粒屑灰岩和粒屑云岩	57~134	半局限台地—局限台地	台内滩—潮坪		HST	
嘉一段	灰岩和泥灰岩为主	90~220	开阔台地	开阔台地		mfs TST	→ 岩性岩相转换面
飞四段	泥岩	—	半局限台地—局限台地	滨岸潮坪		HST	

每个三级层序约 1.5 Ma 与前人对三级层序时限^[7-9]的认识一致。同时, 2个三级层序厚度相近, 均为 200~250 m。推算研究区嘉陵江组碳酸盐岩平均沉积速率约 133.3~166.7 μm/a 略低于古代并进型碳酸盐岩平均生长速率值 (170 μm/a)^[10, 11], 这可能与气候干旱有关。

2.2 高频层序

碳酸盐岩高频层序是自 Wagoner 定义了准层序后由 Mitchum 首先提出的, 包括四级、五级和六级层序, 且都表现为向上变浅旋回。本次研究首次对研究区嘉陵江组进行了高频层序研究, 将其划分为 6 个四级层序和 14 个五级层序, 其中古隆起核部地区由于遭受剥蚀而发育不完整。五级层序的发育厚度多为 20~40 m, 按研究区该组平均沉积速率值计算可知区内五级层序延续时间约为 0.12~0.24 Ma, 与 Vail 等认为的 0.05~0.5 Ma (Parasequence) 和 Mitchum 等的 0.1~0.2 Ma (High-frequency sequence) 相当^[7, 8]。由于海平面变化特征不同且沉积环境变化较大, 研究

每个三级层序约 1.5 Ma 与前人对三级层序时限^[7-9]的认识一致。同时, 2个三级层序厚度相近, 均为 200~250 m。推算研究区嘉陵江组碳酸盐岩平均沉积速率约 133.3~166.7 μm/a 略低于古代并进型碳酸盐岩平均生长速率值 (170 μm/a)^[10, 11], 这可能与气候干旱有关。

区五级层序在海侵体系域和高水位体系域中有不同的表现形式,如图 2a b和 g为海侵体系域中五级层序的主要类型,与梅冥相潮下型米级旋回层序相近^[12];Sag J F针对碳酸盐岩—蒸发岩共存的台地类型指出高水位体系域主要发育向上盐度逐渐增加的

2b—h为高水位体系域中五级层序的主要类型,与梅冥相的环潮坪型米级旋回层序相近^[12]。

2.3 层序格架

考虑到低频层序对高频层序的控制作用,以第一个三级层序最大海泛面为基准面,建立了研究区三级层序和高频层序格架图(如图3),由于地处台地内

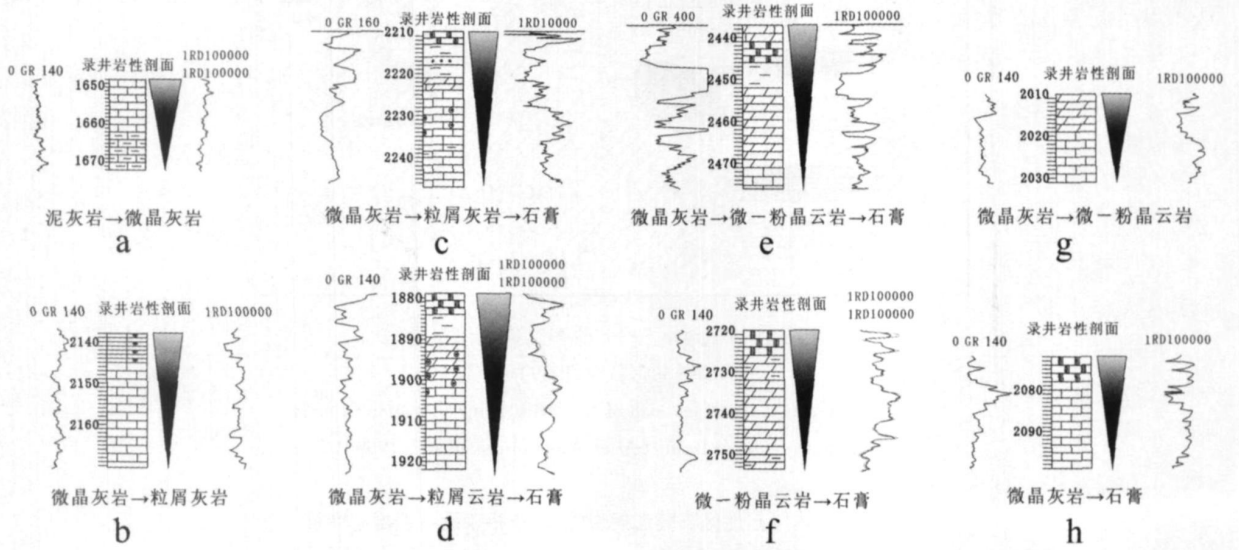


图 2 泸州古隆起地区嘉陵江组五级层序主要表现形式图

Fig 2 The main patterns of the fifth-order sequences of the Jialingjiang Formation in Luzhou paleohigh

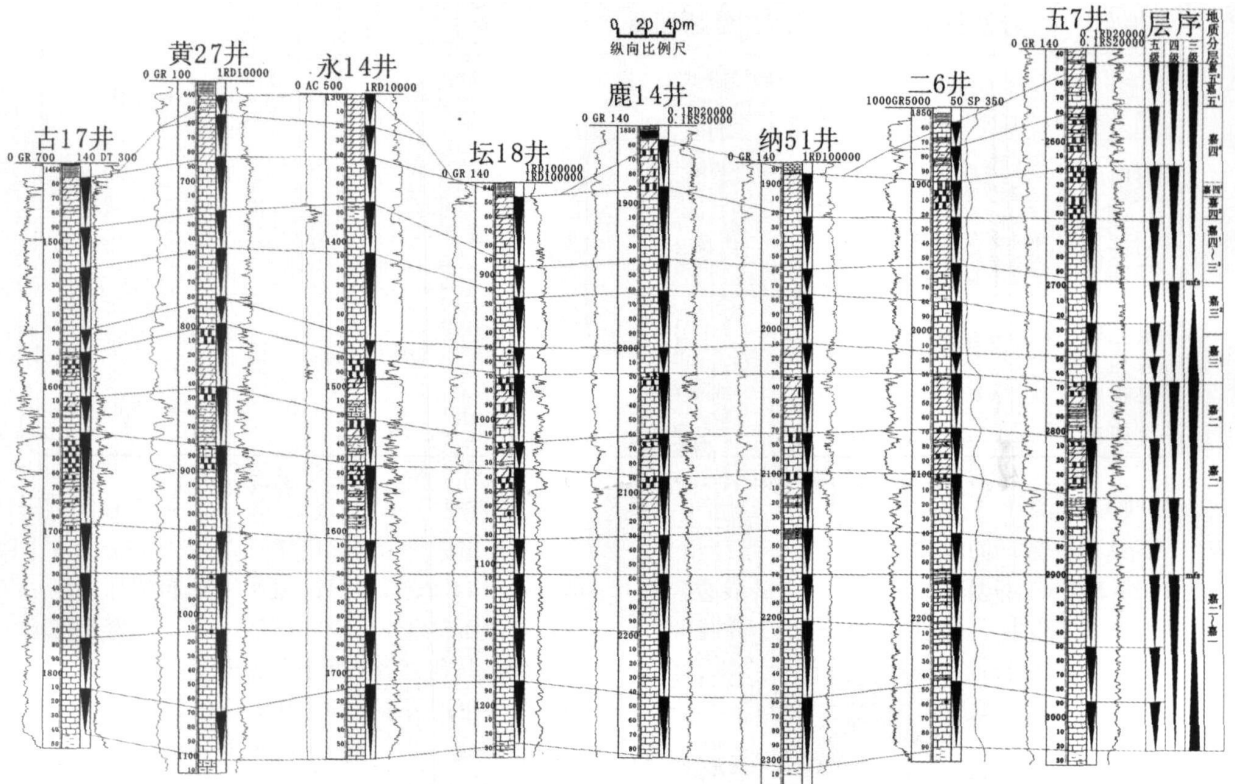


图 3 泸州古隆起地区嘉陵江组三级层序和高频层序格架图

Fig 3 The framework of the third-order and high-frequency sequences of the Jialingjiang Formation in Luzhou paleohigh

部, 地势起伏不大, 水体深度相近, 同时期碳酸盐岩沉积速率总体差异不大, 故层序发育具有较好的同步性和可对比性, 表现为横向上厚度差异不大。

3 层序对碳酸盐岩储层的控制作用

通过大量岩芯和薄片观察结合多种地球化学方法 (包括碳、氧、锶同位素和电子探针微区分析等) 的分析解释, 认识到溶蚀孔隙型储层和膏溶孔洞型储层的形成主要与相对海平面高频波动导致的准同生期滩体暴露过程中大气水溶蚀作用有关, 与高频层序的演化有着密切关系, 而岩溶缝洞型储层和裂缝型储层则与高频层序的关系并不明显。

3.1 高频层序对溶蚀孔隙型储层和膏溶孔洞型储层形成的控制作用

Mitchum 指出高频层序在构造沉降缓慢、沉积速率高的背景下具有较好的可识别性^[8], 泸州古隆起地区嘉陵江组即沉积于被动大陆边缘碳酸盐岩台地

背景^[3], 具有构造沉降缓慢且沉积速率较高的特征, 在干旱气候背景下, 碳酸盐岩沉积对相对海平面高频波动具有较显著的响应, 导致高频层序具有多样的组成和叠置类型, 并具有较好的可识别性。此外, 在海平面变化与碳酸盐生长的共同作用下, 导致高水位体系域和海侵体系域中高频层序对储层的形成以及发育分布特征具有不同的控制作用, 分述如下:

3.1.1 高水位体系域中高频层序对储层形成的控制作用

位于三级层序中海平面达到最大海泛面之后, 由高水位体系域早期向高水位体系域晚期演化的过渡段, 台地性质经历了从开阔海台地或半局限台地向局限台地的转换。完整的五级层序演化可分为四个阶段 (如图 4), 发育微晶灰岩 → 粒屑灰岩 / 粒屑云岩 / 微—粉晶云岩 → 石膏的五级层序 (旋回) 类型, 为进积—加积叠置结构类型。局部差异也可使五级层序的四个阶段发育不完整。

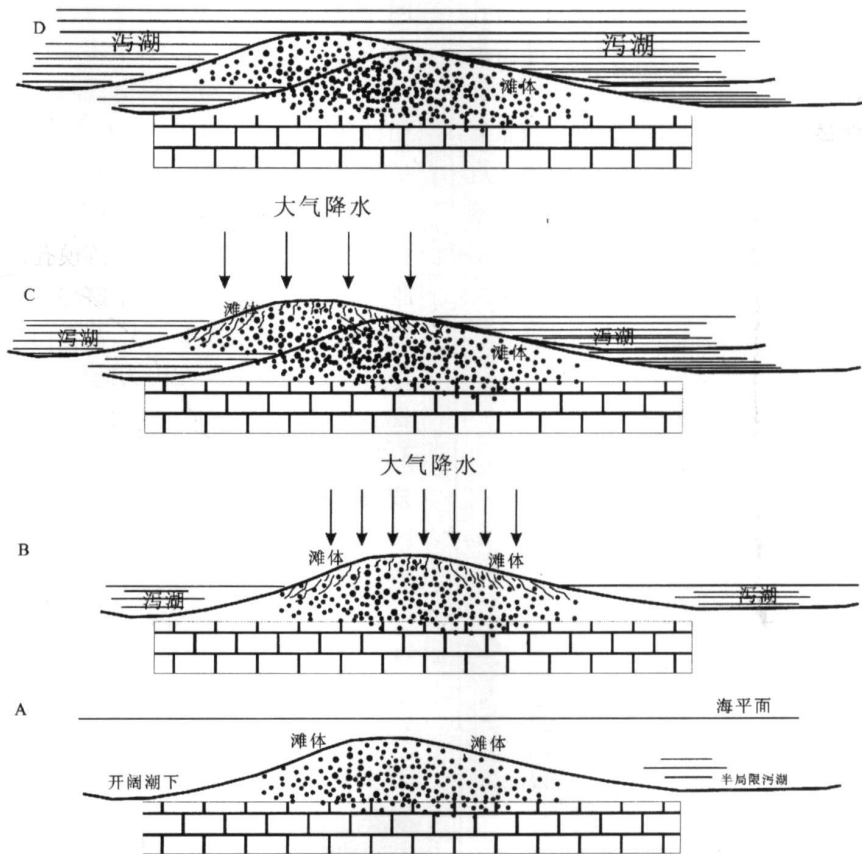


图 4 干旱气候下高水位体系域中高频层序与储层形成关系模式图

Fig 4 The model of the relationship of the high-frequency sequence and the reservoir formation in HST in arid climate

A 段: 五级层序开始于水体的突然加深, 由于相对海平面上升速率超过碳酸盐生产速率, 碳酸盐堆积滞后, 以沉积微晶灰岩为主, 经历一段时间的缓冲后, 碳酸盐生产速率逐渐增加, 达到甚至超过相对海平面上升速率, 碳酸盐开始追补沉积。由于水体变浅, 能量变大, 致使沉积物以颗粒组分为主而形成滩体; 局部地区水体较为受限, 能量相对较低, 沉积物颗粒组分较少而以灰泥为主。它们构成了溶蚀孔隙型储层发育的主要场所。

B 段: 海退背景下相对海平面的高频波动更容易导致滩体或台坪局部发生暴露, 接受大气水的改造; 同时, 由于气候干旱、环境局限且水体盐度较大, 沉积物易于发生白云石化作用。同生期大气水溶蚀作用和白云石化作用导致暴露的粒屑灰岩、粒屑云岩以及微-粉晶云岩中容易形成大量粒内溶孔、铸模孔、粒间溶孔和晶间溶孔以及膏模孔等储集空间, 此为溶蚀孔隙型储层形成的主要机制。这种模式下形成的储层具有良好的储集性, 如图 5 为第 5 个五级层序 (嘉二¹段) 中储层的孔隙度分布特征, 在 993 个样品中, 孔隙度大于 2% 的样品占近 80%, 大于 5% 的样品占近 40%, 反映了较好的储集性, 为区内重要的储层。此外, 由于气候干旱环境局限, 导致潮坪或泻湖相灰云岩沉积物内含有大量膏斑或膏点, 在暴露期间经历大气水的溶蚀作用后, 也可形成一定规模的膏模孔和膏溶孔洞等, 它们既可单独作为膏溶孔洞型储层的储集空间, 也可作为次要储集空间发育于溶蚀孔隙型储层中。

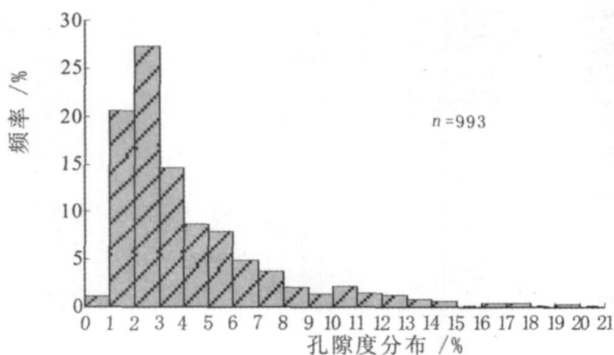


图 5 泸州古隆起地区第 5 个五级层序 (嘉二¹段) 储层孔隙度分布图

Fig 5 Porosity graph of the reservoir in the fifth fifth-order sequence in Luzhou Paleohigh

C 段: 滩体演化过程中, 碳酸盐岩沉积体系内能量的重新分配可以导致滩体发生横向迁移, 这一过程可与 B 段同时发生, 为滩体规模扩大的主要途径之一, 也使得在此阶段内部分滩体可能被泻湖相的石膏

或泥岩所覆盖。

D 段: 随着相对海平面下降、环境进一步局限, 五级层序晚期以沉积石膏为主, 一个完整的五级层序演化至此结束。

3.1.2 海侵体系域中高频层序对储层形成的控制作用

位于三级层序中海平面开始上升到达到最大海泛面的时间段, 台地性质主要为开阔台地或半局限台地。形成微晶灰岩[→]粒屑灰岩/粒屑云岩 微-粉晶云岩或泥灰岩[→]微晶灰岩等的五级层序 (旋回) 类型, 为退积叠置结构类型。

海侵背景中相对海平面变化以上升为主导地位, 海平面的高频波动对碳酸盐岩沉积影响总体来说较小, 故五级层序多表现为泥灰岩或微晶灰岩的旋回, 第 1 个三级层序的海侵体系域中更是如此。第 2 个三级层序海侵体系域早期, 由于海侵规模较小, 且气候更为干旱, 致使海平面高频波动对碳酸盐沉积影响相对较大, 以下重点分析。其五级层序早期同样以微晶灰岩沉积为主, 在随后海平面高频波动的下降期间, 相对海平面上升速率变缓, 碳酸盐追补沉积, 造成水体相对变浅, 就可能有更多的颗粒组分堆积而形成滩体。在滩体暴露过程中, 即可发生大气水溶蚀作用; 同时受干旱气候的控制, 水体盐度较高, 即使灰岩中也常见有石膏斑点或斑块, 故局部易于发生白云石化作用, 导致沉积的粒屑灰岩、粒屑云岩以及微-粉晶云岩中可以形成粒内溶孔、铸模孔以及晶间溶孔等储集空间, 而构成溶蚀孔隙型储层。但是这种背景下形成的储层 (滩体) 规模不大, 甚至由于沉积物无法经历暴露而导致原始孔隙因为海底胶结作用而不具储集性。五级层序以水体的突然变深结束其发育过程。

3.2 溶蚀孔隙型储层和膏溶孔洞型储层的发育分布规律

层序对溶蚀孔隙型储层和膏溶孔洞型储层的发育分布具有重要控制作用。

纵向上, 溶蚀孔隙型储层主要发育在三级层序高水位体系域中部的五级层序中下部 (如图 6 中, A、B、C-a、d 图 7), 膏溶孔洞型储层多发育于三级层序高水位体系域中上部的五级层序顶部 (如图 6 中 G-h 图 7)。少量溶蚀孔隙型储层发育于第 2 个三级层序海侵体系域, 且主要位于五级层序顶部 (如图 6 中 D 和 E 图 7)。开阔台地到半局限或局限台地过渡期间沉积的嘉二¹段 (第 1 个三级层序高水位体系域中部第 5 个五级层序) 中发育了区内最为典型的滩相储层, 嘉二²-二³亚段和嘉五段也有发育, 但规模不大 (如图 7)。

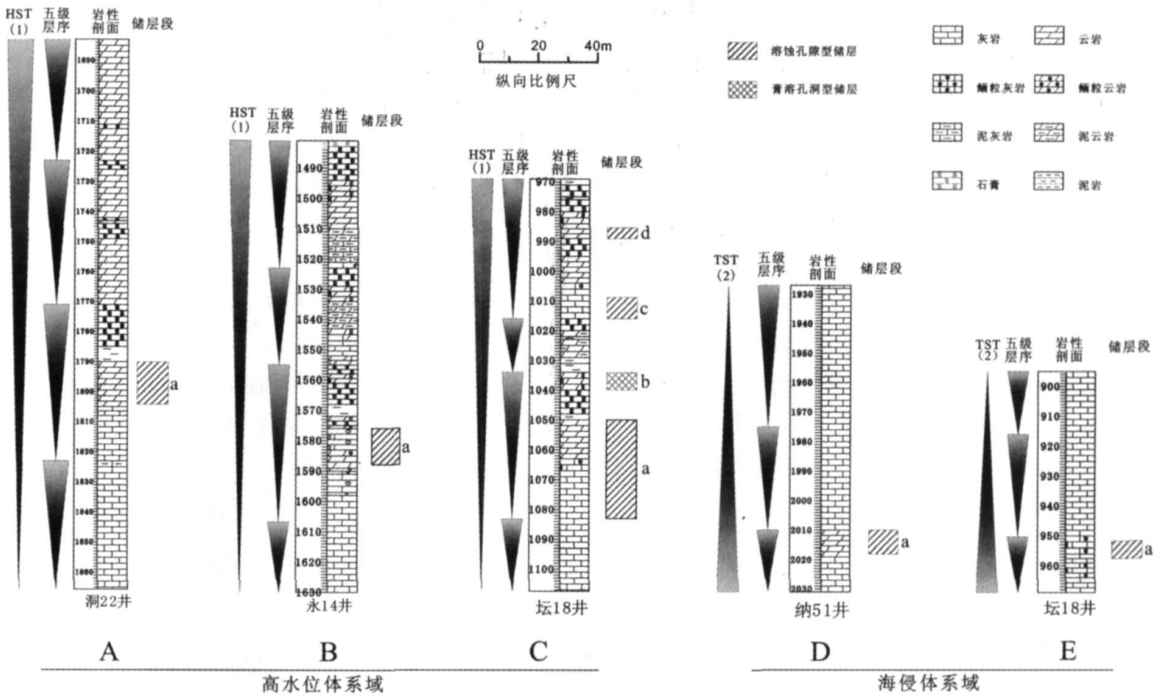


图 6 高水位体系域和海侵体系域中储层发育与高频层序关系图

Fig 6 The relationship of the development of the reservoir and the high-frequency sequence

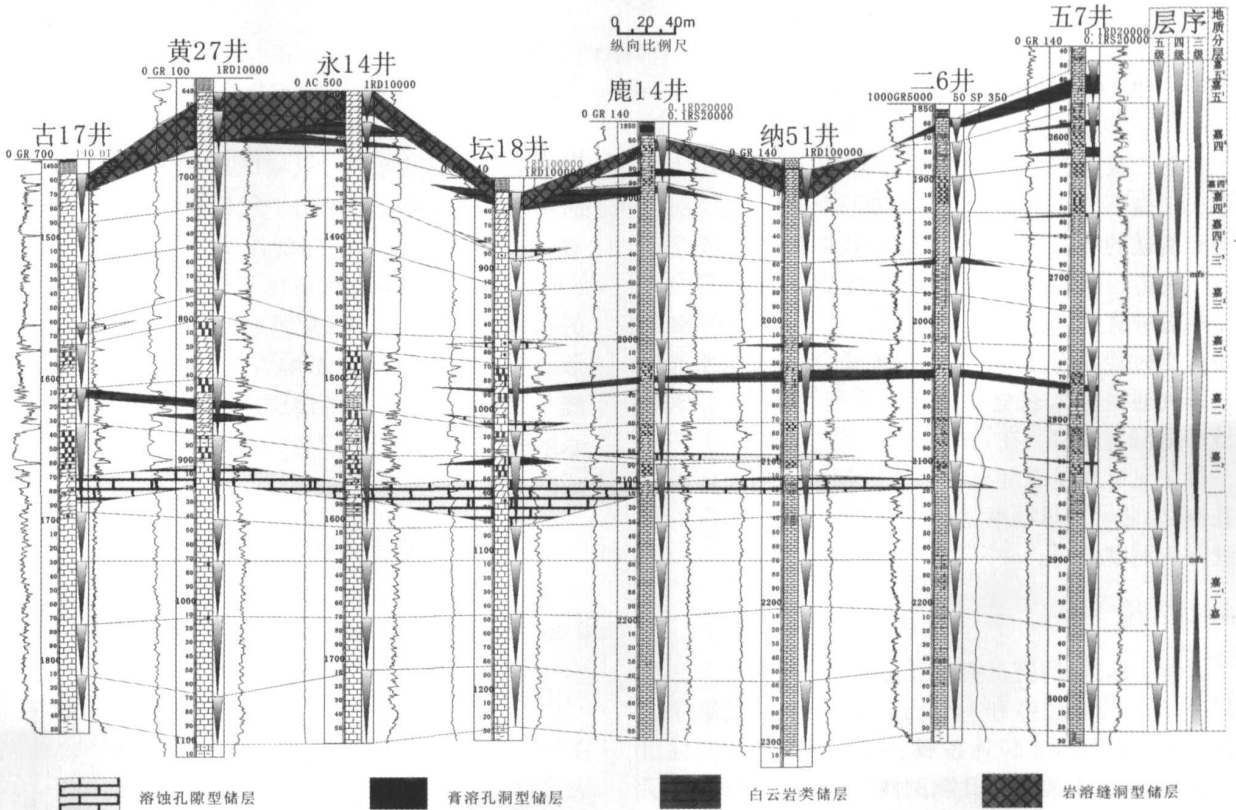


图 7 泸州古隆起地区嘉陵江组高频层序格架内储层发育图

Fig 7 The development of the reservoirs in the high-frequency sequence-stratigraphic framework of the

Jialingjiang Formation in Luzhou paleohigh

横向上, 储层发育规模不大, 多以透镜体状出现, 但在两个三级层序中表现出了明显的差异 (如图 7)。下层序中, 储层主要发育于高水位体系域, 且由下至上规模渐小; 上层序中则于海侵体系域和高水位体系域都有发育, 且横向连续性相对较差, 多为透镜体状。

储层发育分布规律反映了气候对层序演化的控制, 进而控制储层 (滩体) 的发育分布。气候越干旱, 储层 (滩体) 的发育有从高水位体系域向海侵体系域转移或扩展的趋势。同时在气候对碳酸盐生长率的控制之下, 导致储层 (滩体) 发育规模有所差异。相比之下, 上层序比下层序的气候要更为干旱, 且高水位体系域上部也较下部更为干旱, 致使总体由下至上储层 (滩体) 规模变小, 横向连续性变差 (如图 7)。

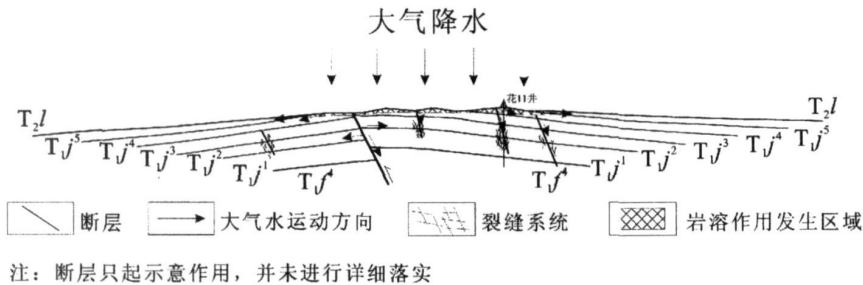


图 8 泸州古隆起地区岩溶缝洞型储层和裂缝型储层形成模式示意图

Fig 8 The sketch map of the formation of the karst reservoir and the fracture-cavity reservoir in Luzhou Paleohigh

在二级构造层序界面附近, 表生期岩溶作用既可形成规模不等的洞穴型和岩溶缝洞型储层, 还可对与地表沟通的溶蚀孔隙型储层进行叠加改造 (如图 7)。

构造运动形成的大量裂缝系统中, 一些未完全充填的裂缝直接可构成裂缝型储层, 另外一些则可被断裂与当时地表连通或与渗透层连通, 导致大气水通过一系列通道进入裂缝系统而对其进行改造, 形成裂缝-溶洞型储层。在岩芯观察过程中, 于花 11 井嘉一段中见有大量裂缝充填物遭后期溶蚀而形成溶蚀孔洞, 岩芯上所见厚度就达 70 余米, 可构成有效的裂缝-溶洞型储层。

4 结论

综上所述, 研究区嘉陵江组可以划分为 2 个三级层序、6 个四级层序和 14 个五级层序。五级层序在海侵体系域和高水位体系域中有多种不同的岩性组合类型, 且控制着溶蚀孔隙型储层和膏溶孔洞型储层的形成和发育分布。溶蚀孔隙型储层多发育于三级层序高水位体系域中部的五级层序中下部, 也可发育于三级层序海侵体系域中五级层序顶部, 而膏溶孔洞

3.3 二级构造层序影响岩溶缝洞型储层和裂缝-溶洞型储层的形成发育

中三叠世末的印支运动使得华蓥山断裂由正断层转变为逆断层, 断裂东侧大幅度抬升形成泸州古隆起而遭受剥蚀, 核部地区已剥蚀到嘉三段, 由此形成的不整合面构成了晚二叠世-中三叠世二级构造层序的顶界面^[3,4]。

与二级构造层序相关的碳酸盐岩长期暴露以及构造运动形成的大量裂缝系统, 都构成了储层形成的先决条件。结合泸州古隆起演化特征, 建立了二级构造层序对岩溶缝洞型储层和裂缝-溶洞型储层形成的作用模式图 (如图 8)。

型储层则主要发育于三级层序高水位体系域中上部的五级层序顶部。反映出了气候通过控制层序演化对储层 (滩体) 发育的控制作用, 气候越干旱, 储层 (滩体) 的发育有从高水位体系域向海侵体系域转移的趋势, 且储层 (滩体) 规模越小。与印支运动相关形成的二级构造层序影响着岩溶缝洞型储层和裂缝-溶洞型储层。与各级层序相关的暴露期间大气水溶蚀作用 (包括同生期和表生期) 为研究区储层形成的主要机制。

参考文献 (References)

- 安作相. 泸州古隆起与川南油气 [J]. 石油实验地质, 1996, 18(3): 267-273 [An Zuoxiang. The Luzhou Paleohigh and oil & gas accumulation in Southern Sichuan [J]. Petroleum Geology & Experimental 1996, 18(3): 267-273]
- 王宓君, 包茨, 肖明德, 等. 中国石油地质志 (卷十) 四川油气区 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1989 [Wang Mijun, Bao Ci, Xiao Mingde, et al. Petroleum geology of China (Vol 10) Sichuan Oil & Gas Field [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1989]
- 赵玉光, 许效松, 刘宝珺. 上扬子台地西缘峨嵋地区三叠纪高频层序与海平面振荡研究 [J]. 岩相古地理, 1996, 16(1): 1-18 [Zhao

- Yuguang Xu Xiaosong Liu Baojun. High-frequency sequences and sea-level oscillations in the Em ei area on the western margin of the Upper Yangtze Platform [J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1996, 16(1): 1-18]
- 4 梅冥相, 李仲远. 滇黔桂地区晚古生代至三叠纪层序地层序列及沉积盆地演化 [J]. *现代地质*, 2004, 18(4): 555-563 [Mei Mingxiang Li Zhongyuan. Sequence-stratigraphic succession and sedimentary basin evolution from Late Paleozoic to Triassic in the Yunnan-Guizhou-Guangxi Region [J]. *Geoscience*, 2004, 18(4): 555-563]
 - 5 田景春, 陈洪德, 彭军, 等. 川滇黔桂地区下、中三叠统层序划分、对比及层序地层格架 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(2): 198-204 [Tian Jingchun Chen Hongde Peng Jun *et al*. Sequence division correlation and framework of Lower and Middle Triassic in Sichuan-Guizhou-Yunnan-Guangxi Region [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(2): 198-204]
 - 6 董金南, 殷鸿福. 国际三叠纪年代地层研究进展 [J]. *地层学杂志*, 2005, 29(2): 130-137 [Tong Jinan, Yin Hongfu. Recent advance in the Triassic chronostratigraphic study [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2005, 29(2): 130-137]
 - 7 Vail PR, Audenard F, Bowman S A, *et al*. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology: an overview [C] // E in se l e G, R i c k e n W, S e i l a c h e r A, eds. *Cycles and Event in Stratigraphy*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1991: 617-659
 - 8 Mitchum R M, Jr M, Van Wagoner J C. High-frequency sequence and their stacking pattern: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles [J]. *Sedimentary Geology*, 1991, 70: 131-147
 - 9 Brett C E, Goodman W M, LeDuc S T. Sequences, cycles, and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian Foreland Basin [J]. *Sedimentary Geology*, 1990, 69: 191-224
 - 10 Wilgus C K, Posamentier H W, Sarg J F. 层序地层学原理 (海平面变化综合分析) [M]. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东, 译. 北京: 石油工业出版社, 1995 [Wilgus C K, Posamentier H W, Sarg J F, eds. *Sequence stratigraphy theory (analysis of change of sea level)* [M]. Xu Huaida Wei Kuisheng and Hong Weidong translated. Beijing Petroleum Industry Press, 1995]
 - 11 邓小江, 李国蓉, 徐国盛, 等. 塔河油田南部奥陶系一间房组层序地层、储层预测及质量评价研究 [J]. *沉积学报*, 2007, 25(3): 392-400 [Deng Xiaojiang Li Guorong Xu Guosheng *et al*. Sequence-stratigraphic study, prediction and quality evaluation of reservoir for the Ordovician Yijianfang Formation of the southern Part of the Tahe Oilfield [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(3): 392-400]
 - 12 梅冥相, 徐德斌, 周洪瑞. 米级旋回层序的成因类型及其相序结构特征 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(1): 43-49 [Mei Mingxiang Xu Debin, Zhou Hongrui. Genetic types of meter-scale cyclic sequences and their fabric features of facies-succession [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(1): 43-49]
 - 13 Sarg J F. The sequence stratigraphy, sedimentology, and economic importance of evaporate-carbonate transition: a review [J]. *Sedimentary Geology*, 2001, 140: 9-42
 - 14 吴兴宁, 赵宗举. 塔中地区奥陶系米级旋回层序分析 [J]. *沉积学报*, 2005, 23(2): 310-315 [Wu Xingning Zhao Zongju. Analyses of Ordovician meter-scale cyclic-sequence in Tazhong Area [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 310-315]
 - 15 肖加飞, 魏家庸, 胡瑞忠. 扬子地台西南缘早三叠世层序地层格架 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(2): 310-318 [Xiao Jiafei Wei Jiayong Hu Ruizhong. The Early Triassic sequence stratigraphic framework in southwest margin of Yangtze Platform [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 310-318]
 - 16 Thomas C, Wynn Fred Read J. Sequence-stratigraphic analysis using well cuttings: Mississippian Greenbrier Group, West Virginia [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(12): 1869-1882
 - 17 Christian Strohmenger Ellen Voigt and Johannes Zindars. Sequence stratigraphy and cyclic development of Basal Zechstein carbonate-evaporite deposits with emphasis on Zechstein 2 off-platform carbonates (Upper Permian, Northeast Germany) [J]. *Sedimentary Geology*, 1996, 102: 33-54
 - 18 马永生, 梅冥相, 陈小兵, 等. 碳酸盐岩储层沉积学 [M]. 北京: 地质出版社, 1999 [Ma Yongsheng Mei Mingxiang Chen Xiaobing *et al*. *Sedimentology of carbonate reservoir* [M]. Beijing Geological Publishing House, 1999]

Sequence-Stratigraphic Features and Their Controls on Carbonate Reservoirs for the Triassic Jialingjiang Formation of the Luzhou Paleohigh in Sichuan Basin

QIAO Zhan-feng¹ LI Guo-rong¹ LI Tao^{1, 2} WANG Xin¹
YU Hai-bo¹ DENG Xiaojiang^{1, 3}

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

2 Shunan Gas Mine of Southwest Oil and Gas Field Branch PCL, Luzhou Sichuan 646000;

3 Chengdu Research Center of Geophysical Prospecting Company, SPA, Chengdu 610213)

Abstract Based on the knowledge of the sedimentary setting of the Jialingjiang Formation in Luzhou Paleohigh with

(Continued on page 110)

Peperite in the Jiufotang Formation of the Luanping Basin and Its Geological Implications

ZHANG Ying-li¹ MENG Qing-ren² QU Hong-jie³

(1. School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065;

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;

3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081)

Abstract Based on observation in the field, this paper documents the sedimentary features and variations of Jiufotang Formation in the Luanping basin. A special kind of rock, namely, peperite, was identified and described in detail. Taking the geological setting of the basin into account, the author believes that the Luanping basin is a volcanic sedimentary basin. The intensive synsedimentary tectonic activity has resulted in the peperite in the Jiufotang Formation.

Key words Peperite, Luanping Basin, Early Cretaceous, Jiufotang Formation

(Continued from page 99)

The careful analysis of the configuration of the lithological profile, there are 2 third-order, 6 fourth-order and 14 fifth-order sequences distinguished in the Jialingjiang Formation, it indicates that there are the distinct patterns of lithological profile for the high-frequency sequence in the TST and HST. Furthermore, the third-order and high-frequency sequence frameworks of the Jialingjiang Formation are established for the study area. Based on the knowledge of the reservoir features in the Jialingjiang Formation in the study area, using the theory of the sequence stratigraphy, by the analysis of the relationship between the growth of carbonate and the relative sea level change and the controls of the climate pattern on the evolution of the high-frequency sequence, we establish the models of the relationship between the high-frequency sequence and the formation of dissolution-porosity reservoir in arid climate, in HST and in TST, respectively, and it shows that the sequence controls on the development and distribution of the dissolution-porosity reservoir and the dissolution-cavity reservoir, and we believe the second-order tectonic sequence exerts an influence on the formation and development of the karst reservoir and the fracture-cavity reservoir. It is summarized that the dissolution of the atmospheric water during the exposure (including penecontemporaneous and hypergene) related to the different order sequences is the main mechanism of the reservoir formation for the Jialingjiang Formation in the study area.

Key words Luzhou paleohigh, Jialingjiang Formation, arid climate, sequence, high-frequency sequence, carbonate reservoir