

# 四川盆地南川地区娄山关群碳酸盐岩成岩作用研究

蒋小琼<sup>1,2</sup>, 管宏林<sup>2</sup>, 刘光祥<sup>2</sup>, 李建明<sup>3</sup>, 罗开平<sup>2</sup>, 颜佳新<sup>1</sup>, 叶 恺<sup>2</sup>, 韩 或<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉) 地球科学院, 武汉 430074; 2. 中国石化 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126; 3. 长江大学 地球科学学院, 武汉 430100)

**摘要:**四川盆地南川地区中—上寒武统娄山关群储层主要为台地边缘滩沉积, 以白云岩为主。主要成岩作用类型有: 白云岩化、溶蚀、破裂、胶结充填及压实压溶作用, 对储层形成有重要贡献的成岩作用是白云岩化作用、溶蚀作用及破裂作用。根据白云石标型特征、有序度、碳氧同位素的分析, 认为娄山关群白云岩成因有 3 种: 准同生、混合水以及埋藏白云岩化作用, 以准同生白云岩化作用为主。储层发育 3 期溶蚀作用: 大气淡水溶蚀、埋藏溶蚀和表生溶蚀, 以表生溶蚀作用为主。白云岩化作用和表生溶蚀作用是形成优质储层的关键, 而胶结、充填作用破坏了大量的原生和次生孔隙, 不利于储层的发育。

**关键词:**成岩作用; 碳酸盐岩; 储层; 娄山关群; 中—上寒武统; 南川地区; 四川盆地

中图分类号: TE122.2<sup>+</sup>21

文献标志码: A

## Diagenesis of Middle and Upper Cambrian Loushanguan Group reservoirs in Nanchuan area, Sichuan Basin

Jiang Xiaoqiong<sup>1,2</sup>, Guan Honglin<sup>2</sup>, Liu Guangxiang<sup>2</sup>, Li Jianming<sup>3</sup>, Luo Kaiping<sup>2</sup>, Yan Jiaxin<sup>1</sup>, Ye Kai<sup>2</sup>, Han Yu<sup>2</sup>

(1. Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China;

3. College of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China)

**Abstract:** The Middle and Upper Cambrian Loushanguan Group reservoirs in the Nanchuan area of the Sichuan Basin mainly consist of platform margin shoal sediments. The main lithology is dolomite. The main diagenesis effects include dolomitization, solution, structural disruption, consolidated fill, compaction and pressure solution, among which, the first three of these work as the key effects for reservoir formation. According to dolomite types, order degree and C, O isotope analyses, the dolomites in the study area developed from three diagenesis effects, including penecontemporaneous dolomitization, mixing water dolomitization and burial dolomitization, among which the penecontemporaneous dolomitization is dominant. The Loushanguan reservoirs have experienced three periods of dissolution, including the corrosion action of atmospheric fresh water, the deep burial solution and the hypergene dissolution, among which the hypergene dissolution is the main controlling factor. Dolomitization and hypergene dissolution contribute to high-quality reservoir formation in the Middle and Upper Cambrian Loushanguan Group. Cementation and filling effects destroy a large number of primary and secondary pores, which is unfavorable for reservoir formation.

**Key words:** diagenesis; carbonate rock; reservoir; Loushanguan Group; Middle and Upper Cambrian; Nanchuan area; Sichuan Basin

随着我国碳酸盐岩油气勘探的不断深入, 四川盆地震旦系、寒武系碳酸盐岩的天然气勘探也取得了较大的进展, 目前全盆地寒武系已有 12 口井钻遇天然气, 平均产气量  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  左右, 龙王庙组、高台组、洗象池群(娄山关群)均有天然气流发现<sup>[1-3]</sup>, 具有良好的勘探前景。前人对四川盆地寒

武系沉积体系、岩相古地理和勘探潜力做了大量研究, 取得了一系列成果<sup>[1-5]</sup>, 但针对寒武系储层的研究较少<sup>[6]</sup>。本文通过对南川地区三汇场剖面中—上寒武统娄山关群储层成岩作用的详细研究, 探讨其成岩作用特征及储层的主控因素, 为该区碳酸盐岩油气勘探、储层预测提供更充分可靠的依据。

收稿日期: 2014-08-01; 修订日期: 2015-04-29。

作者简介: 蒋小琼(1975—), 女, 在读博士, 高级工程师, 从事沉积储层研究。E-mail: jiangxq.syky@sinopec.com。

基金项目: 中国石化科技部项目“四川盆地及周缘下组合成藏条件与区带评价”(P11087)资助。

## 1 典型剖面储层基本特征

中晚寒武世,四川盆地演化为局限台地沉积环境,呈现北西高、南东低的沉积格局,娄山关群地层具有东厚西薄的分布特征。南川地区位于四川盆地东南部,娄山关群主要为局限台地和台地边缘滩沉积,储层岩性以粉—细晶白云岩和颗粒白云岩为主。

三汇场剖面位于南川县,娄山关群包括高台组、石冷水组、平井组、后坝组、毛田组,地层厚约507 m,以粉—细晶白云岩为主,夹砂屑白云岩、含泥质白云岩、白云质灰岩等。该套地层发育35层溶孔,单层厚度0.5~7 m不等,孔洞均顺层分布,未充填(图版 a, b);主要沉积相类型为局限台地和开阔台地,储层主要发育于局限台地、潮坪相带内,尤其是台内滩亚相带;主要储集岩性为粉—细晶白云岩和砂屑白云岩(图1)。

根据三汇场剖面5个常规物性样品分析统计,娄山关群储层孔隙度为1.10%~5.00%,平均3.61%,渗透率为 $(0.0044\sim 0.0624)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均 $0.0214\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,为低孔低渗型储层,成岩作用是影响储层储集性能的关键因素。

## 2 储层成岩作用类型及特征

以南川地区三汇场剖面为代表进行阐述。依据对孔隙的影响,可分为2大类型的成岩作用,即:主要包括白云岩化、溶蚀和构造破裂作用的建设性成岩作用和主要包括胶结充填、压实作用的破坏性成岩作用。

### 2.1 白云岩化作用

白云岩化作用对改善孔隙具有重要意义,是南川地区储层最重要的成岩作用之一;南川地区娄山关群有效储层几乎均为白云岩。白云岩化可改善储层质量:一方面,当白云岩完全交代灰岩时,按照分子交代理论,将增加12.5%的孔隙度;另一方面,白云岩化作用还可产生大量晶间孔,从而提高岩石有效孔隙度和渗透率,是优质储层形成的基础<sup>[7-8]</sup>。根据储层岩石学特征及白云岩有序度、碳氧同位素测试资料综合分析,可识别出3种成因类型的白云岩,但以准同生白云岩化作用为主。

#### 2.1.1 白云石有序度及碳、氧同位素分析

南川地区三汇场剖面娄山关群白云岩既有有序度低的泥晶白云岩(0.555~0.692),又有有序度较高的粉晶白云岩(0.787~0.797)及高有序度的细—中晶白云岩(0.803~1.000)。由于准同生期白云石有序度一般低于0.7,埋藏期白云石一般大于

0.95,而混合水成因白云石有序度值介于两者之间<sup>[7-11]</sup>,表明研究区可能存在准同生期、混合水及埋藏白云岩化3种成因的白云岩(表1)。

碳酸盐岩中的稳定碳氧同位素可以定量恢复沉积环境的古盐度<sup>[8-9]</sup>,这对于分析成岩环境及白云岩的成因具有重要的指导意义,碳、氧同位素的值越高,盐度越高<sup>[8-9]</sup>。根据碳、氧同位素值可以推导出成岩流体的古盐度值( $Z$ )<sup>[7-12]</sup>,即: $Z = 2.048(\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} + 50) + 0.498(\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 50)$ 。一般认为 $Z > 120$ 为海相成岩环境,而 $Z < 120$ 为陆相成岩环境,准同生期或埋藏期形成的白云岩具有 $Z > 120$ 的高值,混合水白云岩化形成的白云岩 $Z < 120$ 。

南川地区三汇场剖面娄山关群白云岩 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为 $-9.38\text{‰} \sim -5.53\text{‰}$ , $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-4.03\text{‰} \sim 0.97\text{‰}$ (表2),白云岩成岩流体的古盐度 $Z$ 值既有大于120,也有低于120,介于114.38~126.53之间,表明三汇场剖面娄山关群白云岩既有与海水相关的准同生期或埋藏期白云岩成因,也有与淡水相关的混合水成因的白云岩。

表1 四川盆地南川地区三汇场剖面中—上寒武统娄山关群白云岩有序度

Table 1 Order degree of dolomites from Loushanguan Group, Middle-Upper Cambrian, Sanhuichang profile, Nanchuan area, Sichuan Basin

样品号	岩性	$I_{015}$	$I_{110}$	$I_{015}/I_{110}$
2-She-4	泥晶白云岩	22.08	34.03	0.649
2-She-6	泥晶白云岩	20.32	30.96	0.656
2-She-7	泥质白云岩	26.97	48.56	0.555
2-She-11	泥晶白云岩	67.35	105.98	0.635
2-She-12	粉晶白云岩	43.32	52.28	0.829
2-She-14	泥晶白云岩	71.65	103.57	0.692
2-She-15	细—中晶白云岩	86.23	85.49	1.000
2-She-16	砂屑白云岩	72.17	77.10	0.936
2-She-17	灰质白云岩	70.11	84.55	0.829
2-She-18	细—中晶白云岩	82.00	86.05	0.953
2-She-19	细—中晶白云岩	86.33	88.63	0.974
2-She-20	粉晶白云岩	79.98	101.66	0.787
2-She-21	粉—细晶白云岩	89.40	102.77	0.870
2-She-22	粉—细晶白云岩	82.53	94.28	0.875
2-She-23	粉晶白云岩	63.86	80.09	0.797
2-She-24	中晶白云岩	80.87	81.23	0.996
2-She-25	细晶白云岩	69.98	81.44	0.859
2-She-26	粉—细晶白云岩	65.20	81.18	0.803
2-She-27	细晶白云岩	85.28	94.03	0.907
2-She-28	细晶白云岩	90.45	96.38	0.938
2-She-29	细晶白云岩	77.38	85.86	0.901
2-She-30	细晶白云岩	83.94	93.28	0.900
2-She-31	细晶白云岩	73.98	82.35	0.898
2-She-32	粉晶白云岩	63.86	80.09	0.797
2-She-33	细晶白云岩	74.46	93.09	0.800

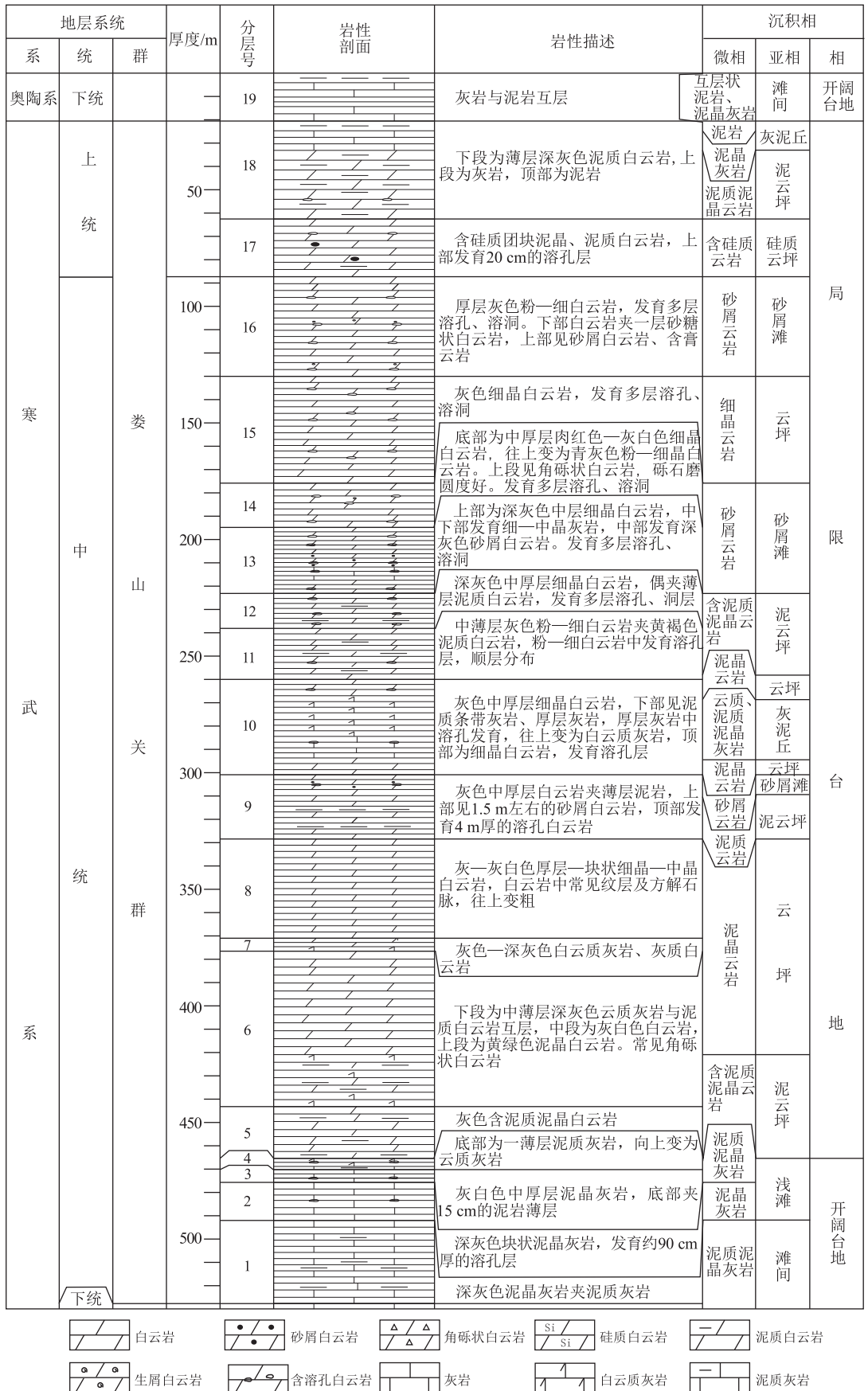


图 1 四川盆地南川地区三汇场剖面中—上寒武统娄山关群地层综合柱状图

Fig.1 Stratigraphic column for Loushanguan Group, Middle–Upper Cambrian, Sanhuichang profile, Nanchuan area, Sichuan Basin

表2 四川盆地南川地区三汇场剖面  
中—上寒武统娄山关群白云岩碳氧同位素值

Table 2 Carbon and oxygen isotopes of dolomites from  
Loushanguan Group, Middle-Upper Cambrian,  
Sanhuichang profile, Nanchuan area, Sichuan Basin

样品号	岩性	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	Z
2-She-4	泥晶白云岩	-1.82	-8.76	119.21
2-She-6	泥晶白云岩	-2.49	-8.91	117.76
2-She-7	泥质白云岩	-2.29	-8.74	118.26
2-She-12	粉晶白云岩	-4.03	-9.38	114.38
2-She-15	细—中晶白云岩	-1.18	-7.96	120.92
2-She-17	粉晶白云岩	-0.24	-7.66	122.99
2-She-22	粉—细晶白云岩	0.75	-7.92	124.89
2-She-26	粉—细晶白云岩	0.97	-5.53	126.53
2-She-28	细晶白云岩	-0.31	-7.97	122.70

注:  $Z = 2.048(\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} + 50) + 0.498(\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 50)$ 。

由于娄山关群重结晶作用强烈,少量晶粒粗大、晶形较好、半自形—自形的细晶—中晶云岩为埋藏期成因白云岩,其余多数为准同生期白云岩。

综合白云岩有序度、碳氧同位素资料分析认为,南川三汇场剖面娄山关群白云岩成因有3种:准同生期、混合水以及埋藏白云岩化,但以准同生期白云岩成因为主。

### 2.1.2 准同生白云岩化作用

包括蒸发泵白云岩化和回流渗透白云岩化作用。蒸发泵白云岩化作用主要形成泥粉晶白云岩,白云石晶体小,泥—粉晶,自形程度差,多为他形,常具纹层、鸟眼构造及干裂等特征,孔隙不发育,不能成为储集层,主要发育于中寒武统平井组。回流渗透白云岩化作用主要形成的岩石类型为粉晶云岩或亮晶粒屑云岩,常具残余粒屑结构,白云石晶体较粗,细粉晶—粗粉晶,他形—半自形,胶结物常具一代纤维状胶结及二代粒状胶结特征;岩石孔隙较发育,主要为晶间孔,可作为储集层,研究区内常见,主要发育于上寒武统后坝组、毛田组。

### 2.1.3 混合水白云岩化作用

混合水白云岩化作用形成的主要岩石类型为粒屑云岩和粉晶云岩,常具残余砂屑结构,白云石晶粒为细粉晶—粗粉晶,半自形—自形,溶孔发育。胶结类型既有形成于海底潜流成岩环境的一世代纤维状等厚环边胶结,也有形成于大气淡水成岩环境的粒状胶结,这2种胶结类型在同一层段中均可见,表明研究区浅滩曾暴露于海平面之上,也曾处于海平面之下。当高能浅滩暴露出海平面时,因混合水白云岩化作用而形成多种类型的颗粒白云岩,并选择性地溶蚀岩石组分及组构,形成粒内溶孔、晶间溶孔,若无后期充填和胶结,则成为较好的储

层,主要发育于毛田组。

### 2.1.4 埋藏白云岩化作用

埋藏环境下白云岩化作用主要发生于深埋环境,形成的主要岩石类型为细—中晶白云岩,白云石晶体粗大,细—中晶,半自形—自形,常具环带或雾心亮边结构,主要发育于上寒武统。但是,由于研究区重结晶作用较发育,大部分细—中晶白云岩主要由重结晶作用形成。

## 2.2 溶蚀作用

溶蚀作用是改善储层储集性能最重要的成岩作用之一<sup>[13-15]</sup>。南川地区娄山关群储层发育大气淡水溶蚀、埋藏溶蚀和表生溶蚀等3期溶蚀作用。

### 2.2.1 准同生期大气淡水溶蚀作用

发生于准同生期大气淡水成岩环境,大气淡水选择性溶蚀部分颗粒和一代纤维状胶结物,从而形成粒内孔、铸模孔等孔隙,但被随后的二代粒状胶结物充填。

### 2.2.2 埋藏溶蚀作用

发生在埋藏成岩环境,酸性流体(有机酸、 $\text{CO}_2$ 等)对早期构造缝、缝合线和晶间孔隙进行改造、扩溶,形成晶间溶孔、溶缝,规模不大,但成为油气运移通道和有效储集空间(图版c,d)。

### 2.2.3 表生溶蚀作用

加里东运动使研究区娄山关群地层整体抬升并遭受风化剥蚀,在侵蚀面附近一定深度内发生溶蚀作用。该期溶蚀不受组构限制,形成不规则的溶洞和溶缝,并对前期埋藏溶孔进行扩溶,孔洞内常见半充填—全充填白云石、石英,为现今主要储集空间(图版c,d)。

## 2.3 构造破裂作用

构造破裂作用是改善储层孔隙结构和物性特征的重要因素,裂缝对储层孔隙度的贡献较小,但对渗透率的改善显著。研究区娄山关群岩层裂缝发育,以张性裂缝为主,根据裂缝充填物及相互切割关系,主要发育3期裂缝:第一期裂缝呈高角度状或网状,被细—粉晶方解石或沥青全充填,并被后期多组裂缝切割,无储集意义,可能为加里东构造运动的产物;第二期裂缝主要形成于印支—燕山期,多被方解石、石英半充填—全充填;第三期裂缝主要形成于喜马拉雅期,切割前2期裂缝和缝合线,常未充填—半充填,是储层的主要储集空间和渗滤通道(图版e)。

## 2.4 胶结充填作用

胶结充填作用在南川地区娄山关群储层中十分发育,是储层孔隙降低的主要因素之一,按成岩

阶段和成岩环境划分, 娄山关群储层胶结作用分为 3 期: 第一期为早期海底胶结, 包括泥晶化、纤状胶结等作用; 第二期为大气淡水—浅埋阶段的粒状胶结, 以粉—细晶白云石胶结物为主, 经过前 2 期的胶结作用, 原生粒间孔几乎全被充填; 第三期为埋藏阶段的充填胶结, 包括溶孔、溶缝等半充填—充填的白云石、石英、方解石(图版 f, g)。

### 2.5 压实压溶作用

压实作用是导致储层孔隙度降低的主要成岩作用之一, 颗粒灰(云)岩中常见颗粒嵌入、变形等压实现象, 明显的压实作用发生于浅埋藏环境。

压溶作用具有建设与破坏孔隙的双重效应, 在晚成岩期最发育。最典型的特征就是缝合线(图版 h), 它既可为油气提供储集空间, 同时也可使地层减缩、析出  $\text{CaCO}_3$ , 为方解石的胶结作用提供物质来源。

## 3 储层成岩序列、环境及模式

南川地区娄山关群储层岩性主要为粉—细晶白云岩和砂屑白云岩。主要成岩序列大致为: 海底环境的泥晶化作用→一代纤状胶结→大气淡水溶蚀→二代粒状胶结→白云岩化作用→埋藏环境充填、压溶作用→构造破裂、重结晶作用→埋藏溶蚀、充填作用→构造破裂、表生溶蚀作用(图 2)。

## 4 结论

(1) 南川地区娄山关群储层岩石学、白云岩有序度和碳氧同位素特征反映了白云岩成因有 3 种: 准同生期、混合水以及埋藏期白云岩化, 但以准同

生期白云岩化为主。主要储层岩性为粉—细晶白云岩和颗粒白云岩。

(2) 南川地区娄山关群储层大致经历了 3 期溶蚀作用: 准同生期大气淡水溶蚀、埋藏溶蚀和表生溶蚀作用, 但以表生溶蚀作用为主。早期大气淡水溶蚀形成的孔隙基本已被粒状胶结物充填, 现今发育的孔隙主要为埋藏溶蚀和表生溶蚀形成的晶间溶孔、溶洞及溶缝。

(3) 白云岩化作用和表生溶蚀作用是形成优质储层的关键因素; 胶结充填作用破坏了大量的原生孔隙和次生孔隙, 不利于储层发育。

### 参考文献:

[1] 张满郎, 谢增业, 李熙喆, 等. 四川盆地寒武纪岩相古地理特征[J]. 沉积学报, 2010, 28(1): 128-139.  
Zhang Manlang, Xie Zengye, Li Xizhe, et al. Characteristics of lithofacies paleogeography of Cambrian in Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(1): 128-139.

[2] 李磊, 谢劲松, 邓鸿斌, 等. 四川盆地寒武系划分对比及特征[J]. 华南地质与矿产, 2012, 28(3): 197-202.  
Li Lei, Xie Jinsong, Deng Hongbin, et al. Study on characteristics and its stratigraphic classification and correlation of Cambrian in Sichuan Basin [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2012, 28(3): 197-202.

[3] 杨威, 谢武仁, 魏国齐, 等. 四川盆地寒武纪—奥陶纪层序岩相古地理、有利储层展布与勘探区带[J]. 石油学报, 2012, 33(S2): 21-34.  
Yang Wei, Xie Wuren, Wei Guoqi, et al. Sequence lithofacies paleogeography, favorable reservoir distribution and exploration zones of the Cambrian and Ordovician in Sichuan Basin, China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S2): 21-34.

[4] 李天生. 四川盆地寒武系沉积成岩特征与油气储集性[J]. 矿物岩石, 1992, 12(3): 66-73.  
Li Tiansheng. The characteristics of sedimentary rock and reservoir of oil and gas of Cambrian system in Sichuan Basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1992, 12(3): 66-73.

[5] 冉隆辉, 谢姚祥, 戴弹申. 四川盆地东南部寒武系含气前景新认识[J]. 天然气工业, 2008, 28(5): 5-9.  
Ran Longhui, Xie Yaoxiang, Dai Tanshen. New knowledge of gas-bearing potential in Cambrian system of southeast Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(5): 5-9.

[6] 杨伟, 胡明毅, 宋海敬, 等. 四川盆地南部中—上寒武统储层成岩作用[J]. 海相油气地质, 2008, 13(4): 29-36.  
Yang Wei, Hu Mingyi, Song Jinghai, et al. Diagenesis of middle and upper Cambrian reservoirs in southern part of Sichuan Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13(4): 29-36.

[7] 詹姆斯, 肖凯. 古岩溶[M]. 胡文海, 译. 北京: 石油工业出版社, 1992.  
James N P, Choquette P W. Paleokarst [M]. Hu Wenhai, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.

[8] 李振宏, 杨永恒. 白云岩成因研究现状及进展[J]. 油气地质

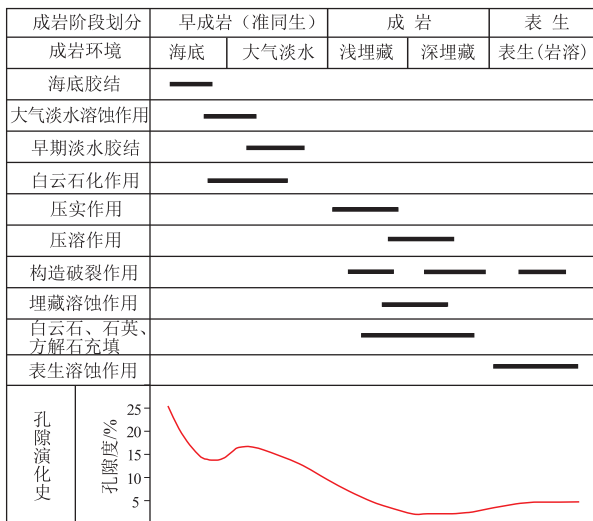


图 2 四川盆地南川地区娄山关群储层成岩作用模式示意

Fig.2 Diagenesis pattern of reservoirs in Loushanguan Group, Nanchuan area, Sichuan Basin

与采收率,2005,12(2):5-8.

Li Zhenhong, Yang Yongheng. Present situation and progress of research on dolomite genesis [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(2): 5-8.

[9] 王恕一,蒋小琼,管宏林,等.川东北普光气田下三叠统飞仙关组储层成岩作用研究[J].石油实验地质,2010,32(4):366-372.

Wang Shuyi, Jiang Xiaoqiong, Guan Honglin, et al. Diagenesis effects of lower Triassic Feixianguan Formation reservoir in Puguang Gas Field, northeast Sichuan [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(4): 366-372.

[10] 蒋小琼,管宏林,郑和荣,等.四川盆地普光气田飞仙关组白云岩储层成因探讨[J].石油实验地质,2014,36(3):332-345.

Jiang Xiaoqiong, Guan Honglin, Zheng Herong, et al. Discussion on origin of dolomite reservoirs in Feixianguan Formation, Puguang Gas Field, Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3): 332-345.

[11] 管宏林,蒋小琼,王恕一,等.普光气田与建南气田长兴组、飞仙关组储层对比研究[J].石油实验地质,2010,32(2):130-135.

Guan Honglin, Jiang Xiaoqiong, Wang Shuyi, et al. A comparative study of reservoirs of the Changxing and Feixianguan Formation between Puguang Gasfield and Jiannan Gasfield in the

Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(2): 130-135.

[12] Land L S. The isotopic and trace element geochemistry of dolomite: the state of the art [M]. [S.l.]: SPEM Special Publication, 1980: 87-110.

[13] 范明,蒋小琼,刘伟新,等.不同温度条件下CO<sub>2</sub>水溶液对碳酸盐岩的溶蚀作用[J].沉积学报,2007,25(6):825-830.

Fan Ming, Jiang Xiaoqiong, Liu Weixin, et al. Dissolution of carbonate rocks in CO<sub>2</sub> solution under the different temperatures [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(6): 825-830.

[14] 蒋小琼,王恕一,范明,等.埋藏成岩环境碳酸盐岩溶蚀作用模拟实验研究[J].石油实验地质,2008,30(6):643-646.

Jiang Xiaoqiong, Wang Shuyi, Fan Ming, et al. Study of simulation experiment for carbonate rocks dissolution in burial diagenetic environment [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(6): 643-646.

[15] 范明,何治亮,李志明,等.碳酸盐岩溶蚀窗的形成及地质意义[J].石油与天然气地质,2011,32(4):499-505.

Fan Ming, He Zhiliang, Li Zhiming, et al. Dissolution window of carbonate rocks and its geological significance [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 499-505.

(编辑 徐文明)

图版

