

文章编号:0253-9985(2011)04-551-09

川西坳陷中段下三叠统碳酸盐岩储层成岩作用与机理

李宏涛¹, 龙胜祥¹, 吴世祥¹, 柳智利², 张军涛¹, 王春连³(1. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 西南石油大学 研究生部, 四川 成都 610500;
3. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要:通过川西坳陷中段野外露头资料、岩心样品微观资料,结合部分样品的物性、微量元素、碳氧同位素分析测试结果,对川西坳陷下三叠统飞仙关组、嘉陵江组碳酸盐岩储层特征、成岩作用及形成机理进行了研究。结果表明,在川西坳陷中段的下三叠统中,局部层段发育颗粒滩型储层,但总体以中、低孔—低渗储层为主,鲕粒白云岩、鲕粒灰岩及残余鲕粒砂屑结构的粉细晶白云岩为主要的储集岩。自东北向西南,飞仙关组颗粒碳酸盐岩成岩作用差异明显,由海底成岩环境胶结作用向埋藏成岩环境的溶蚀、胶结作用变化;嘉陵江组成岩作用以埋藏成岩环境为主。综合研究认为,溶蚀作用和白云岩化作用是控制颗粒滩相储层发育的关键因素。岩石学特征以及地球化学特征显示,川西坳陷中段飞仙关组、嘉陵江组部分鲕粒、砂屑白云岩化特征,主要与埋藏白云岩化有关;埋藏溶蚀应为盆地卤水的混合、冷却作用的结果。

关键词:储层特征;成岩作用;飞仙关组;嘉陵江组;川西坳陷

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Diagenesis and forming mechanism of the Lower Triassic carbonate reservoirs in the middle part of the western Sichuan Depression

Li Hongtao¹, Long Shengxiang¹, Wu Shixiang¹, Liu Zhili², Zhang Juntao¹ and Wang Chunlian³

(1. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

3. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: This paper studies the characteristics, diagenesis and forming mechanism of the carbonate reservoirs in the Lower Triassic Feixianguan and Jialingjiang formations in the middle part of the western Sichuan Depression based on the outcrop observation and microscopic analysis of core samples, and in combination with the test results of physical property, trace element, and carbon and oxygen isotope analysis of some samples. The results show that grain bank reservoirs are developed in some intervals of the Lower Triassic and they are dominated by mid-low-porosity and low-permeability reservoirs. The reservoir lithologies are dominated by oolitic dolomite, oolitic limestone, and micritic dolomite with residual oolitic psammitic texture. Diagenesis of the grainy carbonates in the Feixianguan Formation varies a lot from northeast to southwest, changing from cementation in submarine diagenetic environment to dissolution and cementation in burial diagenetic environment. The Jialingjiang Formation is dominated by diagenesis in burial environment. Comprehensive study shows that dissolution and dolomitization are the key factors that control the development of grain-bank reservoirs. Petrological and geochemical characteristics indicate that some oolitic dolomite and dolorenite of the Feixianguan and Jialingjiang formations are the products of burial dolomitization, and that burial dissolution might be caused by the mixing

收稿日期:2010-05-03。

第一作者简介:李宏涛(1977—),男,博士,储层地质与地球化学。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05-005-002)。

and cooling of basin brine.

Key words: reservoir characteristics, diagenesis, Feixianguan Formation, Jialingjiang Formation, western Sichuan Depression

四川盆地海相碳酸盐岩储层中油气资源丰富,特别是飞仙关组和嘉陵江组,如在川东、川南及川中地区均发现了大量的油气田^[1-7]。尽管在川西坳陷中段,海相碳酸盐岩埋藏深度大,构造条件复杂,钻达海相地层的钻井少,勘探与研究程度均较低,但已有研究表明,本区海相地层与国外大油气区海相地层具有相似性,具备形成大中型油气田的条件^[8-10],显示出海相地层具有良好的勘探前景。

本文主要利用川西坳陷中段野外露头,通过普通薄片、铸体薄片、薄片阴极发光、样品扫描电镜观察,结合部分样品微量元素、物性分析数据,对飞仙关组及嘉陵江组潜在的碳酸盐岩储层特征及成岩作用进行研究,查明储层发育的控制因素,从而进一步指导川西海相地层油气勘探。

1 地质背景

四川盆地西以北川-映秀断裂为界,向东依

次可以划分为川西坳陷、川中平缓构造带及川东中、高陡构造带等一级构造单元。古生代(包括震旦纪)一早中生代,经历多次沉降与隆升变迁,沉积了海相碳酸盐岩及少量碎屑岩;印支期以来,伴随着北部秦岭海槽的关闭,龙门山逆冲推覆构造带的形成,自三叠纪中晚期开始,逐渐抬升降起,褶皱成山,并在山前发育了大型前陆盆地陆相碎屑岩沉积;喜马拉雅期,以隆升、剥蚀为主,形成了现今构造面貌^[11-12]。研究区川西坳陷大致呈东北向展布,是四川盆地重要的油气勘探区,川西坳陷中段北以北川通口,南以大邑大飞水剖面附近为界,属燕山构造带^[13-14]。而在川西坳陷西部边缘的前山推覆带内,下三叠统飞仙关组、嘉陵江组海相碳酸盐岩出露良好(图 1),为该区海相地层研究提供了丰富物质基础。

早三叠世飞仙关组沉积时期,工区自南西向

北东方向岩性、岩相变化明显,水体加深、变清,沉积物由陆相向海相深水过渡,在川西中段混积潮坪与局限台地过渡部位发育什邡金河、大飞水等粒屑

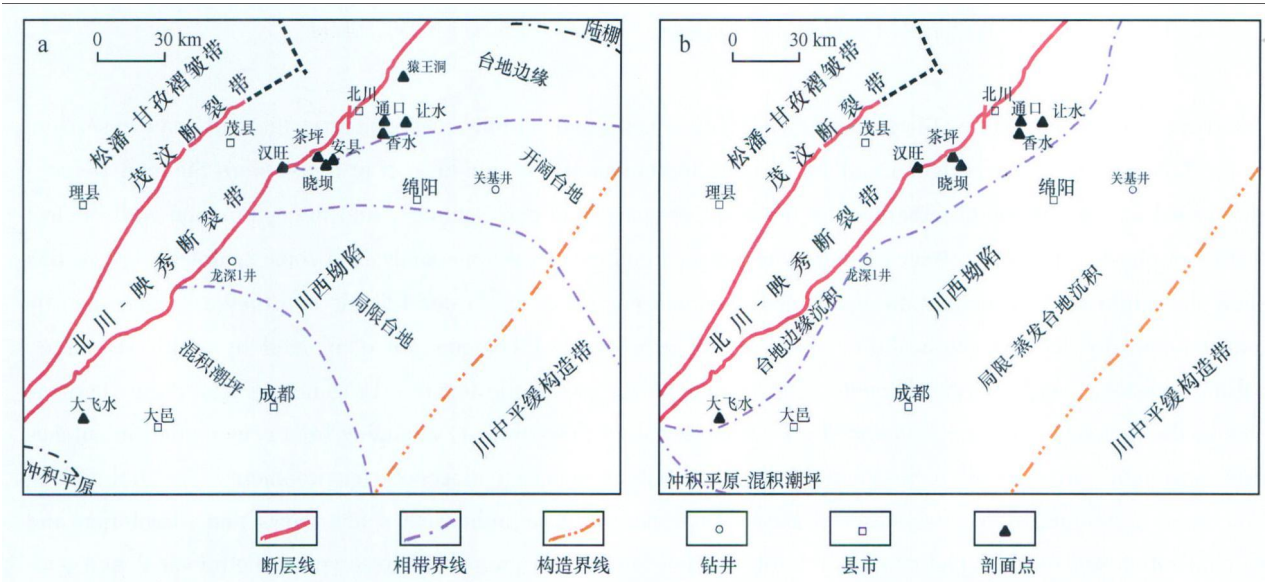


图 1 川西坳陷中段构造划分、沉积相及野外露头、井点分布

Fig. 1 Map showing tectonic division and sedimentary facies in central Western Sichuan Depression, with outcrops and well points overlaid

a. 飞仙关组构造、沉积相简图; b. 嘉陵江组构造、沉积相简图

滩,在台缘礁滩相带发育北川通口—茶坪、等台缘鲕粒滩、砂屑滩(图 1a)。嘉陵江组沉积时期,由于受江南古陆隆起,不断向西北方向推覆的影响,研究区的沉积格局较飞仙关组有较大变化。主要表现在研究区内的部分沉积相带呈北东—南西向展布,海域受限,沉积地势仍然是西高东低,受总体海退和干旱气候影响,水体更加局限、变浅,盆地内蒸发作用明显增强(图 1b)。

2 储集岩特征

川西坳陷中段飞仙关组、嘉陵江组样品的孔隙度、渗透率的分析结果显示,飞仙关组孔隙度、渗透率分别介于 0.25% ~ 16.98% 和 $0.000\ 2 \times 10^{-3} \sim 0.501 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间;嘉陵江组孔隙度介于 0.12% ~ 17.39% 之间,渗透率介于 $0.000\ 4 \times 10^{-3} \sim 2.49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 2) 之间,显示局部地区储层较发育,但总体上中、低孔低渗储层为主。

详细的普通薄片、铸体薄片和扫描电镜观察结果显示,飞仙关组和嘉陵江组的储集岩以鲕粒云岩、灰岩及粉细晶白云岩为主,粒间溶孔为主要的孔隙空间,晶间(溶)孔也较为常见,粒内溶孔较少(图 3)。

结合剖面岩性对比结果,储层岩性特征研究表明,嘉陵江组鲕粒滩沉积主要分布在北部,如通口,中段欠发育(龙深 1);南段在大飞水剖面发育砂屑滩沉积。鲕粒、砂屑滩沉积厚度较小(通常 10 m 左右),局部较大,可达 40 m 左右(通口)。而飞仙关组在川西坳陷西侧边缘普遍发育鲕粒滩沉积,鲕粒滩厚度范围可达 10 ~ 40 m。

3 成岩作用特征

3.1 飞仙关组

根据自生矿物(胶结物)、缝合线、裂缝之间的穿插、切割关系,溶蚀、胶结等成岩作用发育的期次,对川西坳陷中段的成岩作用进行了总结,结果显示,由东北向西南,成岩作用明显的差异,北部以海底成岩、浅埋成岩作用为主,而南部大飞水剖面的以埋藏成岩作用为主,中、深埋藏成岩作用显著。总体上,飞三段成岩作用在平面上由东北向西南,由海底向埋藏成岩变化。北部(通口、让水、香水、茶坪等剖面),经历了明显的海底成岩作用,纤维状等厚环边、粒状方解石胶结普遍发育,这使原始粒间孔隙显著减小(图 3b,图 4a)。在埋藏成岩环境中,压实、压溶和胶结作用使孔隙度进一步降低,而鲕粒内及沿缝合线分布的白云岩化作用,对孔隙度影响较小,使最终孔隙度很低(图 3b,图 4a)。西南方向则由海底逐渐向埋藏成岩环境变化(如汉旺剖面),至南部的大飞水剖面,可以看出鲕粒碳酸盐岩的压实作用、白云岩重结晶现象较强烈,中晚期溶蚀作用是孔隙发育的重要因素(图 3a,图 4b)。

沉积环境可能是造成这种成岩变化的因素,受康滇古陆的影响,飞仙关组由川西坳陷的西南向东北海水不断加深,且四川盆地飞三段总体而言是不断海侵的过程,这导致北段南部的鲕粒滩沉积始终处于海水成岩环境,从而导致胶结作用非常发育,而南段水体较浅,后期的构造升降导致

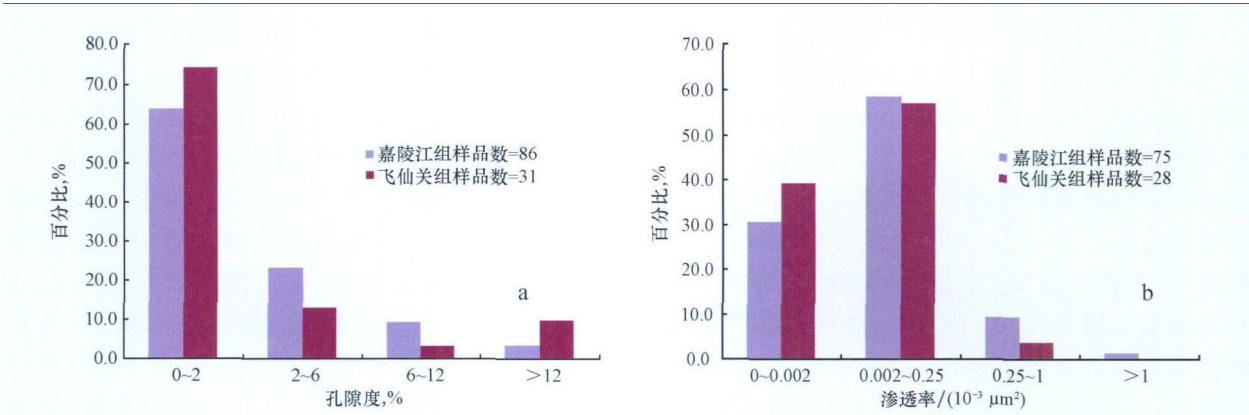


图 2 飞仙关组—嘉陵江组孔隙度 a) 和渗透率 b) 分布特征
Fig. 2 Porosity a) and permeability b) distribution of the Feixianguan and Jialingjiang formations

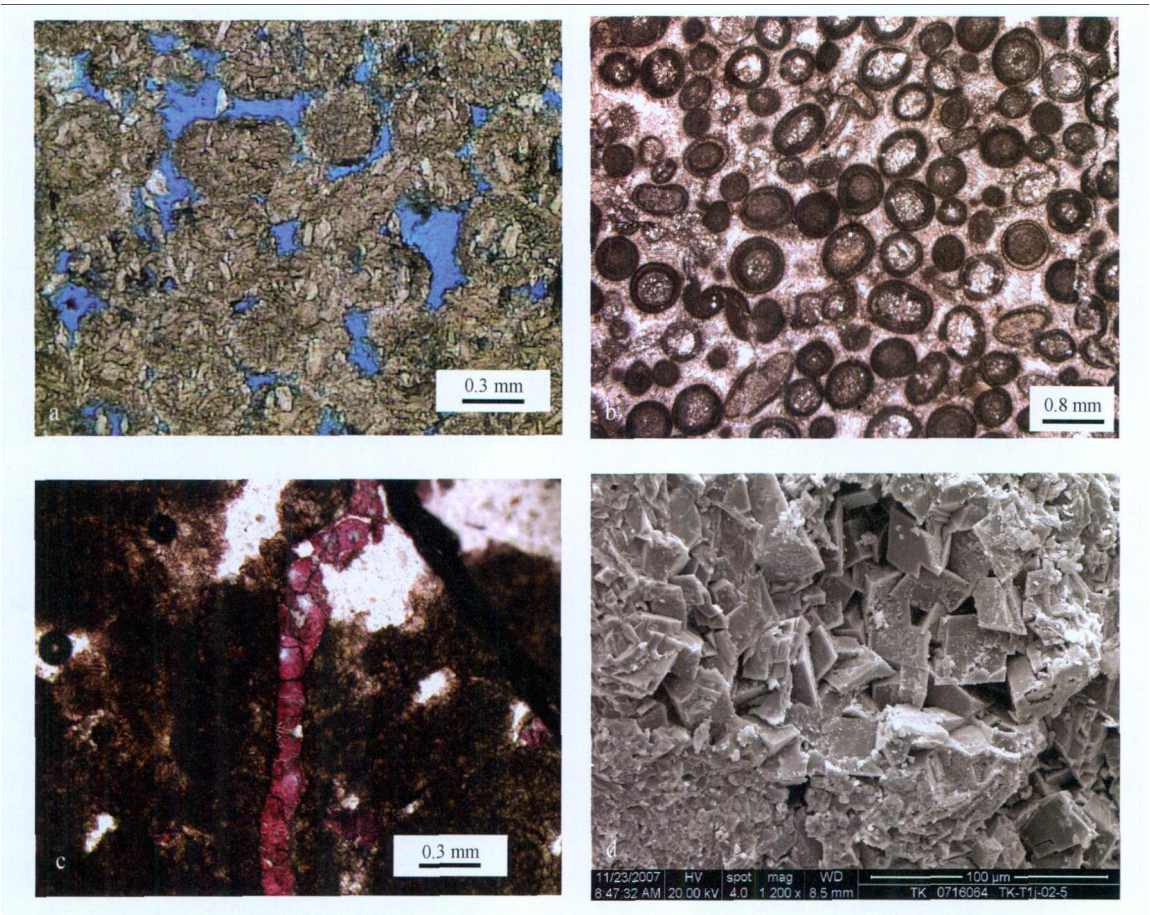


图 3 川西坳陷中段不同剖面下三叠统砂屑鲕粒碳酸盐岩储层岩性照片

Fig. 3 Photos showing lithologies of the oolitic and arenitic carbonate reservoirs on different profiles of the Lower Triassic in central Western Sichuan Depression

- a. 孔隙较发育,分布较均匀,孔隙为溶蚀孔,为后期受溶蚀形成,主要为粒间溶孔,蓝色铸体,单偏光,HW-T₁J³-5;
- b. 弱白云石化亮晶鲕粒灰岩,鲕粒主为同心鲕,0.2~1 mm,少量核心为生屑,陆屑少,为长石,石英等,普通薄片,单偏光,RS-T₁J³-4;
- c. 裂缝中的方解石,部分被溶蚀,染色普片,单偏光,TK-T₁J²-4;
- d. 白云石晶间孔及晶间溶孔,扫描电镜,T₁J²-2

飞三段出露地表是可能的,汉旺剖面也有可能是受局部构造抬升作用影响的结果。

3.2 嘉陵江组

通口/大飞水剖面嘉陵江组见有亮晶鲕粒、砂屑白云岩,部分鲕粒、砂屑边缘略有泥晶套,表明经历的海底成岩作用较弱。呈凹凸接触,或定向排列,并具有缝合线构造,表明具有强烈的压实作用。同时存在多期方解石胶结作用,最晚期为粒间方解石胶结,具有环带结构及昏暗的发光特征,后期被溶蚀(包括裂缝充填的方解石),鲕粒也被非选择性溶蚀(图 3c),表明溶蚀作用较晚。部分砂屑具有铸模孔,暗示曾发生过大气水溶蚀作用,溶蚀孔隙被晚期方解石胶结,部分白云石也被方解石化(图 4c)。在方解石化泥晶白云岩中,溶蚀孔隙切割缝合线、方解石充填的

裂缝和连晶方解石,表明溶蚀作用发生的时间相对较晚,可能与白云石方解石化而导致的溶蚀作用有关。

川西坳陷中段北部和南段嘉二段海底成岩作用较弱,早期的胶结作用不强烈,尽管压实作用明显,但后期经历多次的溶蚀、破碎作用,导致孔隙较为发育。所经历的成岩作用主要以埋藏成岩环境下的压实作用、白云岩化、方解石胶结、溶蚀作用及构造裂缝作用为主。其中,北段(通口剖面)嘉二段下部的鲕粒白云岩主要溶蚀作用发生于深埋成岩阶段,上部见有铸模孔发育(多被方解石胶结、充填)(图 4c);南段(大飞水剖面)局部见到硅质胶结(图 4d),表明该时期的酸性成岩流体可能为溶蚀作用的主要来源,晚期方解石胶结作用较发育,溶蚀孔隙也多数被充填。

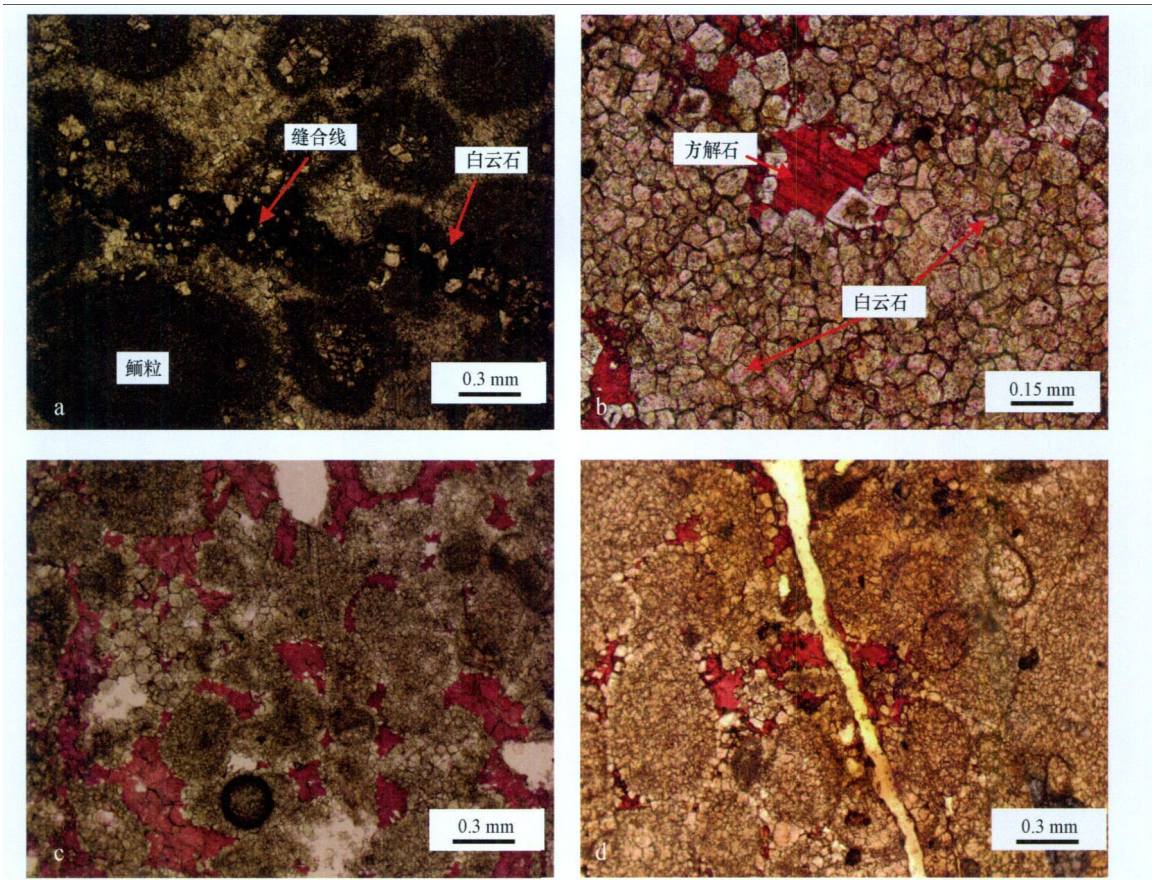


图 4 川西坳陷中段不同剖面中、下三叠统砂屑鲕粒碳酸盐岩储层岩性照片

Fig. 4 Photos showing lithologies of the oolitic and arenitic carbonate reservoirs on different profiles of the Lower Triassic in central Western Sichuan Depression

- a. 鲕粒略呈伸长状定向排列,缝合线切割鲕粒及胶结物,在鲕粒中心或沿缝合线分布的自生白云石,HW-T₁³-1,单偏光;
b. 鲕粒白云岩粒间方解石胶结,DFS-T₁³-13,染色单偏光; c. 砂屑白云岩粒间被方解石胶结,尚残留鲕粒的铸模孔,染色普片,单偏光,TK-T₁³-10; d. 砂屑结构,部分早期的溶蚀孔隙被方解石充填,含少量硅质,染色普片,单偏光,DFS-T₁³-4

4 储层形成机理探讨

以上研究表明,本区在某种程度上局部地区具备发育颗粒滩相碳酸盐岩储层的条件,从储层岩性及成岩作用特征可以得出,溶蚀作用以及白云岩化作用是控制本区储层发育的关键。

4.1 飞仙关组、嘉陵江组白云岩化作用

下三叠统鲕粒或砂屑白云岩中的矿物白云石多以细粉晶为主,常见自形-半自形(图 4b),或部分呈它形麦粒状(通常被认为是埋藏成因)^[15](图 3a),以及它形、曲面接触细-中晶白云岩(为典型埋藏成因)。

成岩作用研究结果也表明,白云岩化通常发生在早期胶结以及显著的压实、压溶作用之后,部

分白云岩化鲕粒具有轻微的前白云岩化的塑性变形,因此主要可能为埋藏成因的。这得到了微量元素分析结果的支持,如中段(汉旺剖面)飞三段、北段(通口剖面)嘉二段部分鲕粒白云岩具有高 Mn、低 Sr 的特征,特别是通口剖面飞三段部分白云岩化的鲕粒灰岩,随着白云岩化程度的增强,微量元素 Sr 含量逐渐减小,而 Mn 含量逐渐增加(图 5)。

Sr 含量低通常表明,在早期成岩作用之后,即文石、高镁方解石均转化为稳定的低镁方解石后, Sr 元素大量丢失,再发生白云岩化的结果。在碳酸盐岩中,大气水白云岩化、渗透回流或者与蒸发有关的白云岩化通常具有低的 Mn 含量,因为海水中的 Mn 含量极低,尽管大气淡水中 Mn 含量较高,然而,氧化条件下 Mn⁴⁺ 很难进入到白云石晶格中^[16]。李双应等研究结果也表明,以大气淡水

成岩作用参与的碳酸盐岩具有较低 Mn 含量,即低于海底成岩作用的碳酸盐岩^[17]。而研究区 Mn 含量高表明,大气淡水、海底成岩作用不是主要的,应该是埋藏成岩时期白云岩化作用下,Mn²⁺并入到白

云石晶格之中。阴极发光下,部分样品鲕粒白云岩总体呈现出昏暗阴极发光,这是因为,样品能谱分析显示(扫描电镜下),该鲕粒白云岩是含铁的(图 6),也进一步表明,为埋藏成岩作用下形成的。

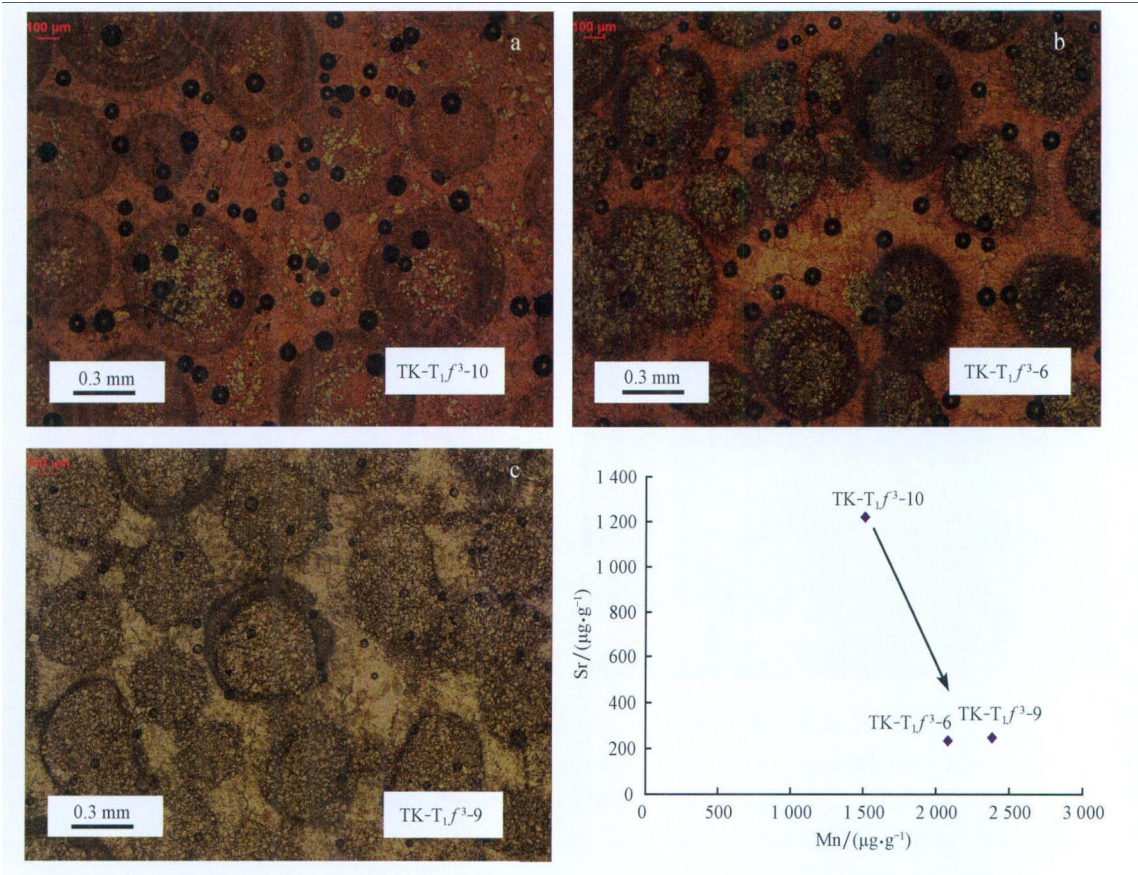


图 5 不同强度白云岩化作用影响下微量元素 Sr 和 Mn 的变化特征

Fig. 5 Variation of Sr and Mn contents caused by dolomitization of different intensity

a, b 为染色薄片,未被染成红色的矿物为自生白云石;c 为普通薄片,与 b 薄片白云岩化程度相似,可见鲕粒基本已被白云岩化,仅鲕粒边部及方解石胶结物未被白云岩化。

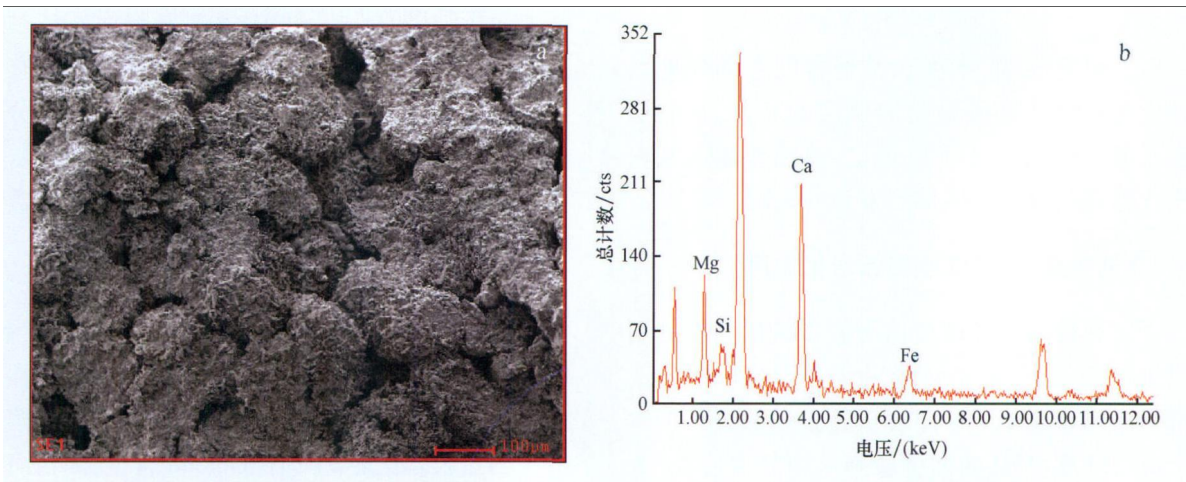


图 6 嘉陵江组嘉二段鲕粒白云岩样品扫描电镜 a) 及能谱 b) 特征

Fig. 6 Scanning electron microscope a) and energy spectrum b) characteristics of the oolitic dolomite samples from the second member of the Jialingjiang Formation

4.2 溶蚀作用机理初探

镜下观察结果显示,中、下三叠统的溶蚀作用主要为成岩中晚期的埋藏溶蚀作用(图 7)。可以明显看出鲕粒白云岩呈昏暗的阴极发光,而粒间的方解石胶结物呈环带结构阴极发光特征,而且,最后一期明亮的发光环带被溶蚀。

通口剖面嘉陵江组样品的碳氧同位素分析结果显示,随着晚期溶蚀作用的增强,显示出 $\delta^{13}\text{C}$ 减小, $\delta^{18}\text{O}$ 增加的特征(图 8a)。随着埋深增加,流体温度增高及在没有有机质参与下水岩相互作用的增加,而反映出来 $\delta^{13}\text{C}$ 增加、 $\delta^{18}\text{O}$ 减小的变化趋势是相反的,显然,这可能与盆地卤水的混合、冷却($\delta^{18}\text{O}$ 增加),以及有机来源 CO_2 参与有关

($\delta^{13}\text{C}$ 减小)。这种外来的流体,可能与印支期、燕山期频繁的构造运动导致富含有机 CO_2 超压流体的释放有关? 业已证实,该作用是深埋成岩环境中,次生孔隙发育的一种重要机理^[18]。

川西坳陷中段汉旺剖面飞仙关组的鲕粒边缘见有泥晶套,压实作用明显,见压溶缝合线构造,被晚期溶蚀的孔洞所切割,溶蚀的孔洞边缘,偶见残余的方解石胶结物,表明溶蚀作用发生在压溶作用之后,即溶蚀作用较晚,应为埋藏溶蚀作用的产物(图 3a)。溶蚀孔隙中残留的自生石英及粘土矿物,暗示溶蚀孔隙的发育可能与酸性流体的溶蚀有关,即可能为油气初次运移之前的有机酸溶蚀,或者是在后期构造抬升作用下,出露地表,在酸性大气水的溶蚀下形成的。飞仙关组储层段

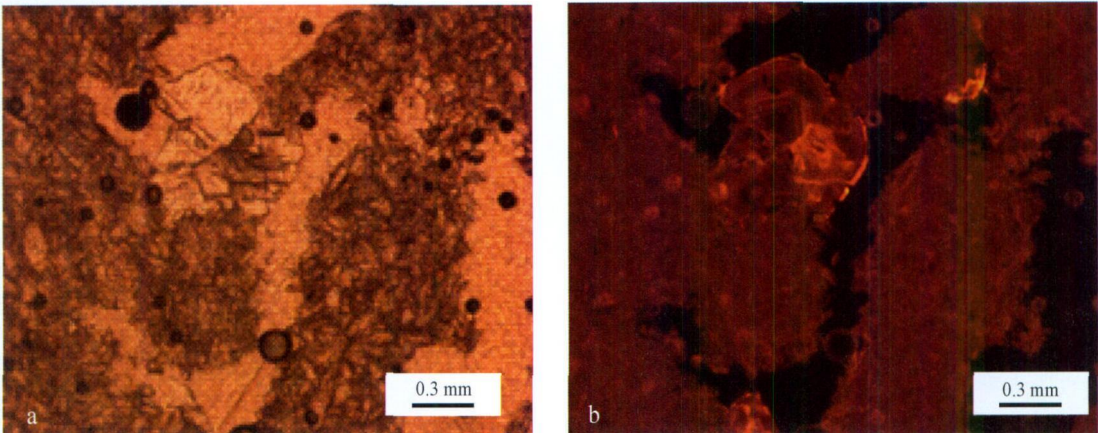


图 7 通口剖面嘉陵江组嘉二段鲕粒白云岩的晚期溶蚀作用特征

Fig. 7 Late dissolution of the oolitic dolomite in the second member of Jialingjiang Formation on Tongkou outcrop (样品号:TK-T₁J²-4)

a. 单偏光照片;b. 对应的阴极发光照片

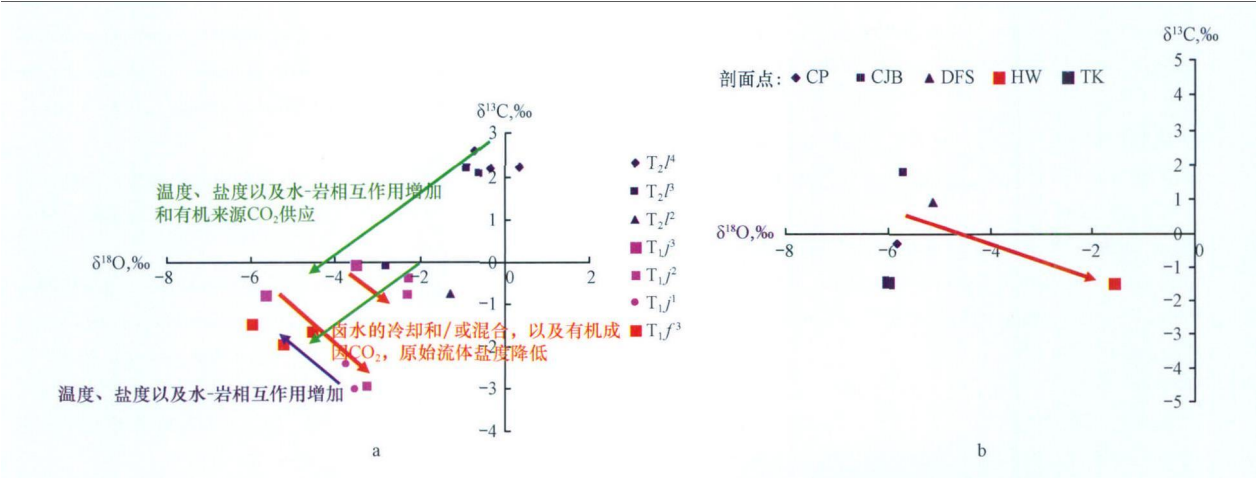


图 8 通口剖面三叠系(a)及不同剖面飞三段(b)样品 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 关系^[18](修改)

Fig. 8 $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ of the Triassic on Tongkou outcrop (a) and the third member of Feixianguan Formation (b) on different outcrops^[18] (modified)

样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素则显示,与其它剖面相比,汉旺剖面的样品 $\delta^{13}\text{C}$ 较低为 -1.5% , $\delta^{18}\text{O}$ 相对较高,为 -1.59% (图 8b),可能为盆地卤水水岩作用增强,及与不同性质的盆地卤水相混合的结果,溶蚀机理与通口剖面嘉二段鲕粒白云岩相似。

5 结论

1) 根据露头观察及样品物性分析结果,川西坳陷中段局部地区的下三叠统,具有颗粒滩型沉积储层发育的条件,但总体以中、低孔低渗储层为主,鲕粒云岩、鲕粒灰岩及残余鲕粒砂屑结构的粉细晶白云岩为主要的储集岩,粒间溶孔为主要的孔隙空间。

2) 川西坳陷中段,飞仙关组颗粒碳酸盐岩成岩作用,自东北向西南,由海底成岩环境胶结作用向埋藏成岩环境的溶蚀、胶结作用变化,嘉陵江组成岩作用以埋藏成岩环境为主,溶蚀作用和白云岩化作用是控制滩相储层发育的关键因素。

3) 川西坳陷中段飞仙关组、嘉陵江组部分的鲕粒、砂屑白云岩化,主要与埋藏白云岩化有关,埋藏溶蚀应为盆地卤水的混合、冷却作用的结果。

参 考 文 献

- [1] 马永生,蔡勋育. 四川盆地川东北区二叠系—三叠系天然气勘探成果与前景展望[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 741—750.
Ma Yongsheng, Cai Xunyu. Exploration achievements and prospects of the Permian-Triassic natural gas in northeastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 741—750.
- [3] 冉隆辉,谢姚祥,王兰生. 从四川盆地解读中国南方海相碳酸盐岩油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 289—294.
Ran Longhui, Xie Yaoliang, Wang Lansheng. Understanding exploration of marine carbonate reservoirs in South China through Sichuan basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 289—294.
- [4] 龙胜祥,郭彤楼,刘彬,等. 通江—南江—巴中构造河坝飞仙关组三段、嘉陵江组二段气藏形成特征研究[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 338—345.
Long Shengxiang, Guo Tonglou, Liu Bin, et al. Gas-pool characteristics of the second section of the Jialingjiang Formation and the Third Section of the Feixianguan Formation in the Heba area of Tongjiang—Nanjiang—Bazhong Structure Belt, North Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(3): 338—345.
- [5] 郭彤楼. 川东北地区飞仙关组鲕滩储层成岩作用——以宣汉—达县及元坝区块为例[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 620—631.
Guo Tonglou. Diagenesis of the Feixianguan oolitic shoal reservoirs in the northeastern Sichuan Basin—examples from Xuanhan-Daxian and Yuanba areas [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 620—631.
- [6] 陈洪德,钟怡江,侯明才,等. 川东北地区长兴组—飞仙关组碳酸盐岩台地层序充填结构及成藏效应[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 539—547.
Chen Hongde, Zhong Yijiang, Hou Mingcai, et al. Sequence styles and hydrocarbon accumulation effects of carbonate rock platform in the Changxing-Feixianguan formations in the northeastern Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 539—547.
- [7] 高林. 碳酸盐岩成岩史及其对储层的控制作用——以普光气田为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 733—739.
Gao Lin. Diagenesis of carbonate rocks and their control over reservoirs—an example from the Puguang gas field [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6): 733—739.
- [8] 张永刚,马宗晋,杨克明,等. 川西坳陷中段海相层系油气勘探潜力分析[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1041—1047.
Zhang Yonggang, Ma Zongjin, Yang Keming, et al. The forecast of natural oil & gas potential in marine strata, Western Sichuan Basin, Southwest China [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(8): 1041—1047.
- [9] 钱凯,李本亮,许惠中. 从全球海相古生界油气田地质共性看四川盆地海相地层天然气勘探方向[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(3): 167—171.
Qian Kai, Li Benliang, Xu Huizhong. Discussing the marine prospects in Sichuan Basin according to the common geological characteristics of giant petroleum province on Paleozoic marine in the world [J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(3): 167—171.
- [10] 郭旭升. 川西地区中、晚三叠世岩相古地理演化及勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 610—619, 631.
Guo Xusheng. Litho-paleogeographic evolution in the Middle-Late Triassic in western Sichuan Province and its significance for petroleum exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 610—619, 631.
- [11] 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地的形成与演化[M]. 北京地质出版社, 1996: 89—112.
Guo Zhengwu, Deng Kangling, Han Yonghui, et al. Generation and evolution of Sichuan Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 89—112.
- [12] 四川盆地油田石油地质志编写组. 四川油田 中国石油地

- 质志(卷10)[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- Petroleum geology compiling group of Sichuan Oilfield. Sichuan oil and gas field, Petroleum Geology of China (vol. 10) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.
- [13] 何鲤,刘莉萍,罗潇,等. 川西龙门山推覆构造特征及有利油气勘探区块预测[J]. 石油实验地质,2007,29(3): 247-252.
- He Li, Liu Liping, Luo Xiao, et al. Nappe structure characteristics and exploration potential forecast in Longmenshan, the west of Sichuan province[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(3): 247-252.
- [14] 罗啸泉,郭东晓. 川西断裂分布特征与油气的关系[J]. 西南石油学院学报,2004,26(6): 17-20.
- Luo Xiaoquan, Guo Dongxiao. Relationship between distribution characteristic of faults fractures and oil-gas reservoirs in West Sichuan[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(6): 17-20.
- [15] 张永生. 鄂尔多斯地区奥陶系马家沟群中部块状白云岩的深埋藏白云化机制[J]. 沉积学报,2000,18(3): 424-430.
- Zhang Yongsheng. Mechanism of deep burial dolomitization of massive dolostones in the Middle Majiagou Group of the Ordovician, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 424-430.
- [16] 王英华,张绍平,潘荣胜. 阴极发光技术在地质学中的应用[M]. 北京:地质出版社,1990: 20.
- Wang Yinghua, Zhang Shaoping, Pan Rongsheng. The applications of the technology of cathode luminescence in geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 20.
- [17] 李双应,金福全,王道轩. 碳酸盐岩成岩作用的微量元素地球化学特征[J]. 石油实验地质,1995,17(1): 55-62.
- Li Shuangying, Jin Fuquan, Wang Daoxuan. Geochemical characteristics of carbonate rock diagenesis[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1995, 17(1): 55-62.
- [18] Esteban M, Taberner C. Secondary porosity development during late burial in carbonate reservoirs as a result of mixing and/or cooling of brines [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78-79: 355-359.

(编辑 董立)

(上接第550页)

- [6] 高林. 碳酸盐岩成岩史及其对储层的控制作用——以普光气田为例[J]. 石油与天然气地质,2008,29(6): 733-739.
- Gao Lin. Diagenesis of carbonate rocks and their control over reservoirs—an example from the Puguang gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6): 733-739.
- [7] 郭彤楼. 川东北地区飞仙关组鲕滩储层成岩作用——以宣汉-达县及元坝区块为例[J]. 石油与天然气地质,2010,31(5): 620-631.
- Guo Tonglou. Diagenesis of the Feixianguan oolitic shoal reservoirs in the northeastern Sichuan Basin—examples from Xuanhan-Daxian and Yuanba areas[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 620-631.
- [8] 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地的形成与演化[M]. 北京:地质出版社,1996: 89-112.
- Guo Zhengwu, Deng Kangling, Han Yonghui, et al. Generation and evolution of Sichuan Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 89-112.
- [9] 四川盆地油田石油地质志编写组. 四川油田 中国石油地质志(卷10)[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- Petroleum Geology Compiling Group of Sichuan Oilfield. Sichuan oil and gas field, petroleum geology of China, (10) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.
- [10] 何鲤,刘莉萍,罗潇,等. 川西龙门山推覆构造特征及有利油气勘探区块预测[J]. 石油实验地质,2007,29(3): 247-252.
- He Li, Liu Liping, Luo Xiao, et al. Nappe structure characteristics and exploration potential forecast in Longmenshan, the west of Sichuan province[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(3): 247-252.
- [11] 罗啸泉,郭东晓. 川西断裂分布特征与油气的关系[J]. 西南石油学院学报,2004,26(6): 17-20.
- Luo Xiaoquan, Guo Dongxiao. Relationship between distribution characteristic of faults fractures and oil-gas reservoirs in West Sichuan[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(6): 17-20.
- [12] 强子同. 碳酸盐岩储层地质学[M]. 山东 东营:石油大学出版社,1998: 1-470.
- Qiang Zitong. Geology of carbonate reservoirs[M]. Shandong Dongying: Petroleum University Press, 1998: 1-470.
- [13] Moore C H. Carbonate reservoirs: porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework[M]. Amsterdam: Elsevier, 2001: 1-444.
- [14] Usdowski E. Synthesis of dolomite and geochemical implications[C]//Purser B. Dolomites a volume in honour of Dolomieu. Oxford UK: Blackwell Science. Publishing House, 1994: 345-360.
- [15] Alex MacNeil, Brian Jones. Dolomitization of the pedro castle formation (Pliocene), cayman brac, british West Indies[J]. Sedimentary Geology, 2003, 162: 219-23.

(编辑 高岩)