

文章编号: 1000-0550(2009) 06-1043-07

# 川东北下三叠统飞仙关组白云岩的地球化学特征<sup>1</sup>

王 一<sup>1</sup> 王兴志<sup>1</sup> 王 一 刚<sup>2</sup> 文应初<sup>2</sup> 强子同<sup>1</sup> 王保全<sup>1</sup> 邓 静<sup>3</sup>

(1. 西南石油大学资源与环境学院 成都 610500 2. 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院 成都 610051  
3. 中国石油长庆油田分公司第五采油厂 西安 710018)

**摘 要** 四川盆地川东北部下三叠统飞仙关组是我国重要的天然气储集层,白云石化的鲕粒滩为主要的油气储集层,鲕粒滩主要发育在川东北碳酸盐台地的边缘,台地内主要为泥晶碳酸盐岩夹蒸发岩。鲕粒滩在不同程度上发生白云石化并形成鲕粒白云岩,一些研究者把它们看成近地表混合水白云岩,但飞仙关组鲕粒白云岩的微量元素铁和锰、白云石的阴极发光、白云岩的稳定同位素 C 和 O 值、<sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr 比值等特征表明这些白云岩具有埋藏成因的证据。

下三叠统飞仙关组白云岩具有暗红色阴极发光,微量元素 Fe 为  $600 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$ , Mn 为  $14 \times 10^{-6} \sim 78 \times 10^{-6}$ , 稳定同位素氧组分为  $-6.73\% \sim -3.65\%$  (PDB), (平均值为  $-4.89\%$  PDB), 稳定同位素锶 (<sup>87</sup> Sr/<sup>86</sup> Sr) 为 0.707 35 ~ 0.708 00。薄片下可以看到白云石沿着裂缝交代,上述的特征表明白云岩在埋藏条件下形成的。

**关键词** 混合水白云岩 埋藏白云岩 碳酸盐台地

**第一作者简介** 王一 男 1983 年出生 硕士 储层地质学 E-mail: 3835149@ qq. com

**中图分类号** P588.24+5 P593 文献标识码 A

研究范围位于四川盆地东北部,涉及四川境内的万源、宣汉、达县、开江和重庆境内的梁平、开县、城口、云阳和巫溪等县(市),面积约 20 000 km<sup>2</sup> (图 1)。

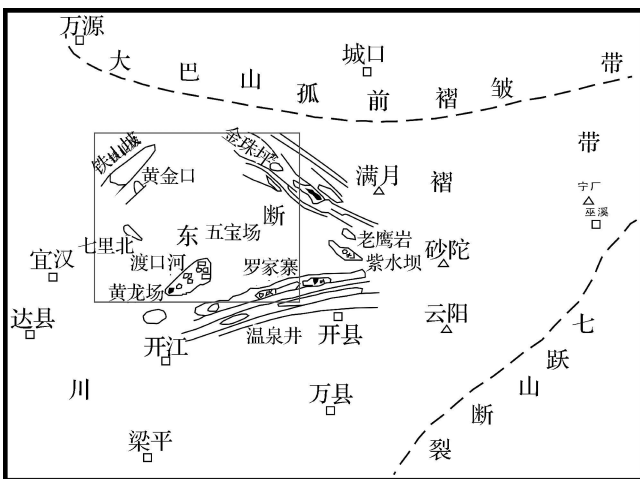


图 1 川东北研究区域位置图

Fig 1 The location of study area in Northeast Sichuan Basin

飞仙关组在四川盆地内的岩性变化主要为东西向的岩性差异上,西部以碎屑岩为主,东部主要为泥岩和碳酸盐岩。从区域上由西至东主要分为三个岩性区,即碎屑岩区、过渡岩区和碳酸盐岩区。本文的涉及区域,即位于川东北地区东部的碳酸盐岩区,该地区飞仙关组从上到下共分四段(图 2),鲕粒滩为主

要的油气储集层。鲕粒滩主要发育在川东北碳酸盐台地的边缘,台地内为蒸发岩和泥晶碳酸盐岩互层。鲕粒滩在不同程度上发生白云石化并形成鲕粒白云岩。多年来的油气勘探工作积累了大量的岩石学及

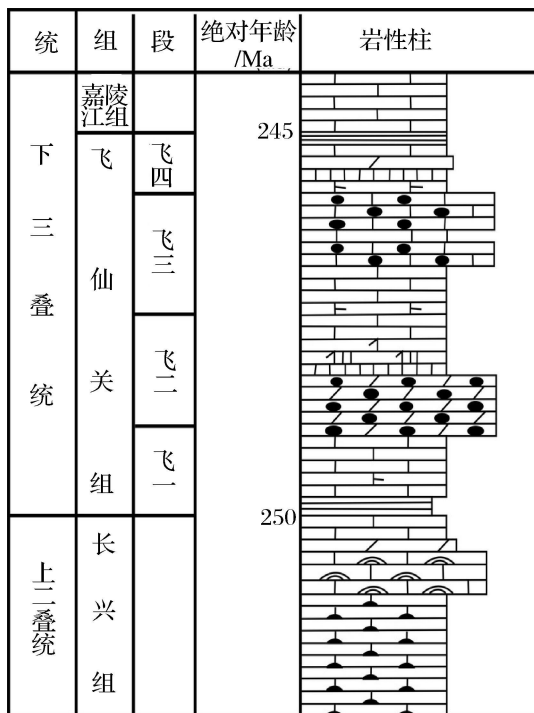


图 2 川东北下三叠统飞仙关组岩相柱状图

Fig 2 The lithologic column of the lower Triassic Feixianguan Fm. in Northeast Sichuan Basin

<sup>1</sup> 受四川省重点建设学科建设项目 (SZD0414) 资助  
收稿日期: 2008-10-10 收修改稿日期: 2008-11-28

地球化学资料, 这些资料显示出台地边缘的这些白云岩具有埋藏白云岩特征。

## 1 岩石学特征

在川东北飞仙关组碳酸盐岩台地边缘发育有鲕粒滩, 这些鲕粒滩有时发生白云石化(图 3-A, B)。在这些白云岩中可以见到鲕粒幻影, 交代强烈时这种幻影消失, 这些白云岩中常常可以见到埋藏条件下白

云石化的岩石学特征(图 3)。图 3(B)右边有一裂缝及其充填物痕迹。注意图中裂缝及其充填物具有弯曲的特征, 这种弯曲性显示出它不会是白云石化后的白云岩中构造破裂的产物。如果是白云岩形成后产生的裂缝应该是直线状的, 直切白云岩结构, 而不会弯曲, 显然这种裂缝是白云石化作用之前形成的(图 4)。这就是说鲕粒滩白云石化是在岩石固结并发生构造破裂, 胶结物充填之后发生的。

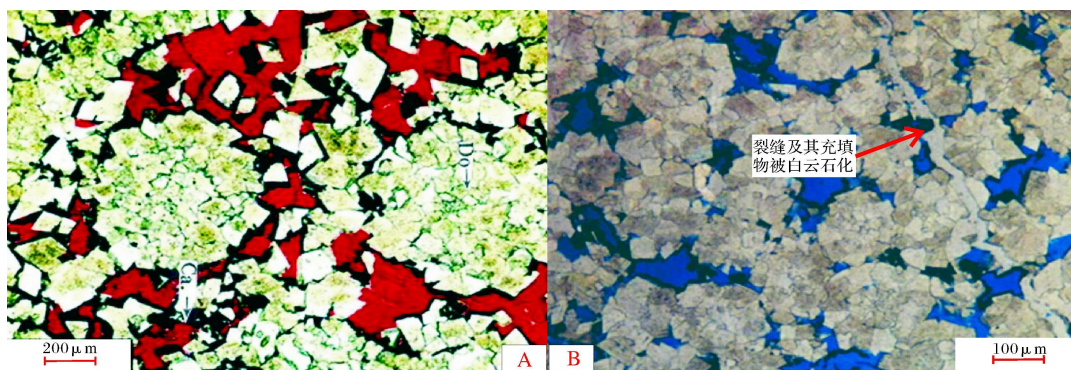


图 3 鲕粒白云岩

Fig 3 Oolitic dolomite

- A. 白云岩具有鲕粒的幻影, 同心圈构造因白云石化作用, 已经消失。鲕粒间为粒间残余孔, 孔隙度高。(铸体薄片, 罗家寨 1 井, 飞 3 段, 单偏光);  
 B. 白云岩具有鲕粒幻影。白云石化作用使鲕粒同心圈构造消失。孔隙较为发育, 为溶解扩大的粒间残余孔。照片右边(红色箭头所指)有一条不规则裂缝及其充填物, 它们是白云石化前的产物, 表明白云石化是在构造裂缝生成后发生的(见下图示意图)。(罗家寨 1 井, 飞二段, 单偏光)

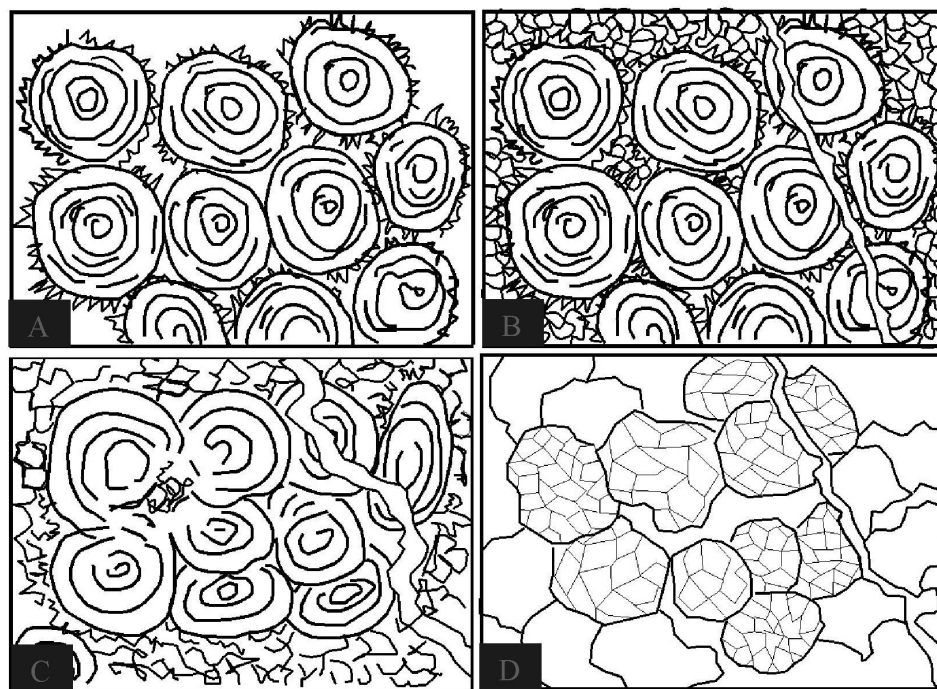


图 4 裂缝形成与白云石化作用的先后关系。

Fig 4 The precedence between the formation of crack and dolomitization

- A. 沉积作用, 早期胶结作用; B. 粒状胶结, 岩石固结成岩发生构造破裂并被胶结物充填;  
 C. 岩石作用发生变形; D. 白云石化作用

## 2 微量元素特征

飞仙关组鲕粒滩白云岩的微量元素资料表示在表 1 中。从表 1 中不难看出, 鲕粒滩白云岩具有相对较高的  $Fe^{2+}$  和一定量  $Mn^{2+}$ 。 $Fe^{2+}$  的变化范围为  $600 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $763 \times 10^{-6}$ ,  $Mn^{2+}$  的变化范围为  $14 \times 10^{-6} \sim 78 \times 10^{-6}$ , 平均值在  $40 \times 10^{-6}$  左右。在阴极射线下这些白云石具有暗淡红色发光的特征,  $Fe^{2+}$  和  $Mn^{2+}$  进入到白云石晶格中表明白云石化处于还原环境, 这就意味着白云石化是在埋藏条件下发生的。因为近地表条件下, 发生白云石化时, 氧化环境  $Fe$ 、 $Mn$  处于高价状态, 高价的  $Fe$  和  $Mn$  是不能进入到白云石的晶格中, 阴极射线此类白云石不具发光特征。

表 1 川东北下三叠统飞仙关组白云岩的微量元素含量  
(单位  $\times 10^{-6}$ )<sup>[1,2]</sup>

Table 1 Trace elements content of the lower Triassic Feixianguan Formation ( $\times 10^{-6}$ )

| 样品号 | 岩性  | Sr   | Mn | Fe    |
|-----|-----|------|----|-------|
| 1   | 白云岩 | 99   | 36 | 700   |
| 2   | 白云岩 | 165  | 36 | 600   |
| 3   | 白云岩 | 230  | 65 | 1000  |
| 4   | 白云岩 | 85   | 21 | 600   |
| 5   | 白云岩 | 99   | 14 | 900   |
| 6   | 白云岩 | 150  | 28 | 600   |
| 7   | 白云岩 | 92   | 78 | 700   |
| 8   | 白云岩 | 61   | 36 | 1000  |
| 9   | 灰岩  | 1750 | 8  | 90.9  |
| 10  | 灰岩  | 2200 | 9  | 111.9 |
| 11  | 灰岩  | 682  | 12 | 104.9 |

$Mn^{2+}$  为“激活剂”(activator),  $Fe^{2+}$  为“猝灭剂”(quencher), 阴极发光的强度与  $Mn/Fe$  的比值有关。由于  $Mn/Fe$  比值低, 所以飞仙关组鲕粒滩白云岩的发光性由于  $Fe$  的猝灭剂的作用, 而具有暗淡发光的特征, 虽然  $Fe$  对发光性具有猝灭剂的作用, 但它绝不会使  $Mn$  的发光性完全猝灭<sup>[3]</sup>。

从表 1 中还可以看出, 白云石中含有一定量的 Sr, Sr 变化范围为  $61 \times 10^{-6} \sim 230 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $123 \times 10^{-6}$ 。早三叠世处于“文石海”时期<sup>[4]</sup>, 所以飞仙关碳酸盐沉积物具有文石质的特征。虽然鲕粒滩发生白云石化时, Sr 要发生流失, 但仍然有一定量的 Sr 的含量。

从上边的地球化学研究知道飞仙关白云岩具有高含量的 Fe 微量元素和一定量的 Mn 微量元素(表

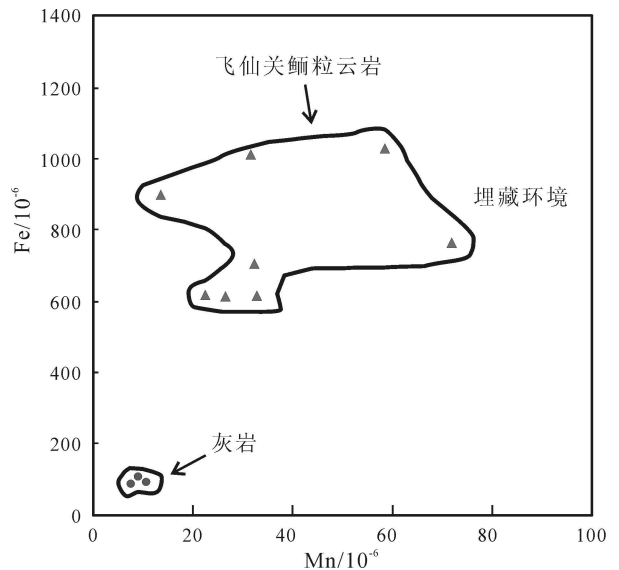


图 5 飞仙关组碳酸盐 Fe—Mn 关系分布图, 灰岩为部分白云石化的灰岩

Fig 5 Plot of trace elements for Fe—Mn of Feixianguan Formation (the limestone is partly dolomitized)

1, 图 5)。这就显示出飞仙关组白云岩不会是在近地表条件下的海水或蒸发海水的回流白云石化<sup>[1,5]</sup>或蒸发作用下准同生白云石化。因为近地表条件下属于氧化状态下, 这时的  $Fe$  和  $Mn$  会以高价态出现, 白云石化时它们不会进入到回流和准同生白云石的晶格中。白云石含  $Fe$  和  $Mn$  只能在还原状态下, 才有可能进入到白云石晶格当中, 埋藏环境才具备这种条件。

## 3 碳、氧同位素特征

飞仙关组鲕粒滩白云岩的稳定同位素碳、氧值的资料表示在图 6 中。鲕粒滩白云岩的氧同位素分布范围为  $-6.73\% \sim -3.65\%$  (PDB), 平均值大约为  $-4.89\%$  (PDB); 碳的同位素大约为  $+0.75\% \sim +2.37\%$  (PDB), 平均值为  $+1.57\%$  (PDB)<sup>[6]</sup>。白云岩的稳定同位素 C、O 值的成因含义是什么呢? 这需要与海水的碳、氧同位素值进行对比。

海水的稳定同位素碳和氧值是解释白云岩成因的基础, 然而地质历史中海水的稳定同位素碳和氧值是有变化的, 这种变化是由于全球性造山运动引起的一级序的海平面变化和一级序全球性的气候变化造成的<sup>[7]</sup>。但是各个地质时期的海水的稳定同位素碳和氧相对是稳定的。地质历史中海水的碳和氧稳定同位素值一般是不能直接测定, 但是可以通过测定变化最小(成岩变化最好)海洋胶结物或无脊椎动物化

石的碳、氧稳定同位素值来估算当时的海水的碳、氧稳定同位素值。海水胶结物是从海水中直接沉淀的,无脊椎动物是从海水中吸取  $\text{CaCO}_3$  的,因此,它们在某种程度上能反映海水的碳和氧值。然而,海水胶结物的沉淀是一种化学作用,无脊椎动物的生长是一种生物化学作用,这种作用会造成碳、氧稳定同位素的分馏。这样我们测定的相应的地质时代海水的稳定同位素碳和氧值只是一个近似值并有一个变化范围,而不是一个具体的数值。据知三叠系海水的稳定同位素碳和氧值为  $\delta^{18}\text{O} = -0.8\text{‰} \sim -0.5\text{‰}$  (PDB);  $\delta^{13}\text{C} = +2.8\text{‰} \sim +3.1\text{‰}$  (PDB)<sup>[8]</sup>。

从图 6 中不难看出,下三叠统飞仙关组鲕粒滩体白云岩的氧同位素值比海水的氧同位素值要偏负 2.85‰ 到 5.93‰。鲕粒滩体中白云岩比海水偏负的第一种原因是温度效应,在埋藏条件下,当地层水温度随着埋藏深度的增加而增加时,由于“热的同位素分馏作用”,相对偏重的  $\delta^{18}\text{O}$  进入到流体中,相对轻的  $\delta^{18}\text{O}$  进入交代的白云石晶格中,这就使得埋藏条件含有相对比海水要偏负的  $\delta^{18}\text{O}$  值,这就是为什么比海水偏负的  $\delta^{18}\text{O}$  值白云岩具有埋藏白云岩的特征。淡水介入,海水和大气水混合,即近地表下混合水白云岩也可以比海水的氧同位素偏负。然而,从同位素分馏原理来看,混合水白云石的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  变化比较大,  $\delta^{13}\text{C}$  值和  $\delta^{18}\text{O}$  值变化呈线性正相关分布<sup>[8]</sup>。从图 6 中可以看出,飞仙关组鲕粒滩体白云岩

$\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  缺乏正相关性。蒸发岩沉积表明干燥气候,缺乏大气水,与基质白云岩共生的鞍状白云石胶结物的均一化温度  $> 50^\circ\text{C}$ ,这些特征表明飞仙关组鲕粒滩体白云岩比海水  $\delta^{18}\text{O}$  值偏负的原因不可能是淡水效应,而应当是由于温度效应,即热的同位素分馏作用造成的,这就表明,飞仙关组鲕粒滩白云岩是埋藏成因的。

从图 6 中还可以看出,白云岩的碳稳定同位素值变化范围为  $+0.75\text{‰} \sim +2.37\text{‰}$  (PDB),三叠纪海水的碳稳定同位素值变化为  $+2.8\text{‰} \sim +3.1\text{‰}$  (PDB)。白云岩的  $\delta^{13}\text{C}$  值变化大致在海水变化值内,说明白云石化没有有机碳的介入。这表明白云石化作用发生在油窗前的浅—中等埋藏条件下形成的。

#### 4 锶同位素特征

飞仙关组鲕粒滩白云岩稳定同位素锶的资料表示在表 2 和图 7 中。从表 2 可以看出,白云岩的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值是有变化的。变化的范围是  $0.70735 \sim 0.70800$  目前已经知道早三叠世海水的稳定同位素  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值大约为  $0.7077 \sim 0.7080$  平均值为  $0.7075$ <sup>[10]</sup>。从图 7 中不难看出,这些样品的资料一部分投影在三叠纪海水附近,大部分样品都比三叠纪海水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值要低,并投影在三叠纪海水的下部。怎么来解释这种现象呢? 这些资料的地质含义是什么呢?

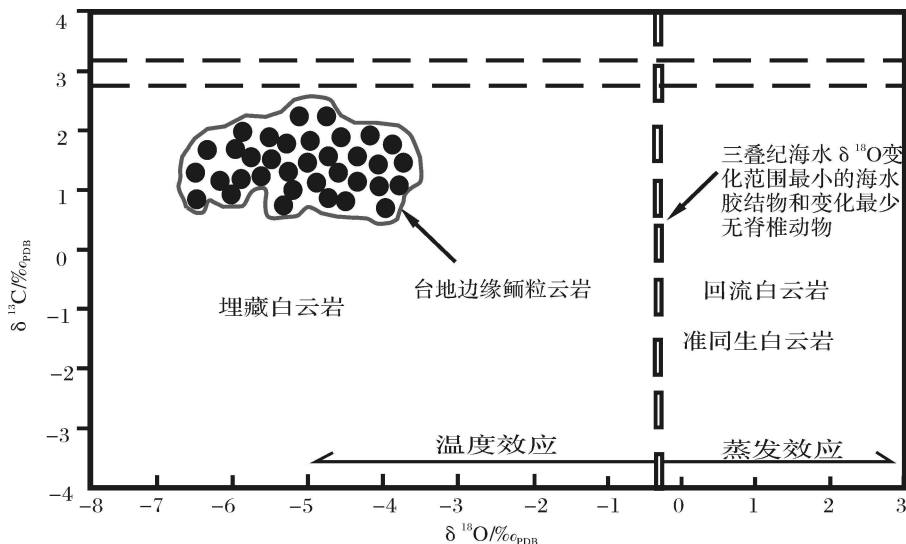


图 6 川东北下三叠统飞仙关组白云石碳、氧同位素分布

(据 Allan 和 Wiggins, 1993 修改)

Fig 6 The distribution of stable isotope of the lower Triassic Feixianguan Formation in Northeast Sichuan Basin (modified from Allan and Wiggins, 1993)

表 2 下三叠统飞仙关组白云岩锶同位素比值  
Table 2 Stable isotopic strontium composition ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )  
of the lower Triassic Feixianguan Formation in  
Northeast Sichuan Basin

| 样品号 | 岩性 | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (飞-白云岩) | 下三叠统海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ |
|-----|----|---|--|
| 1   | 全岩 | 0.70784                                 |  |
| 2   | 全岩 | 0.70753                                 |  |
| 3   | 全岩 | 0.70739                                 |  |
| 4   | 全岩 | 0.70735                                 | 0.7075(平均)                             |
| 5   | 全岩 | 0.70773                                 | (海水胶结物 <sup>[9]</sup> )                |
| 6   | 全岩 | 0.70741                                 | (0.7077~0.7081) <sup>[10]</sup>        |
| 7   | 全岩 | 0.70785                                 |  |
| 8   | 全岩 | 0.70800                                 |  |
| 9   | 全岩 | 0.70754                                 |  |

※样品化验结果取自国土资源部中南矿产资源监督检测中心同位素地球化学研究室

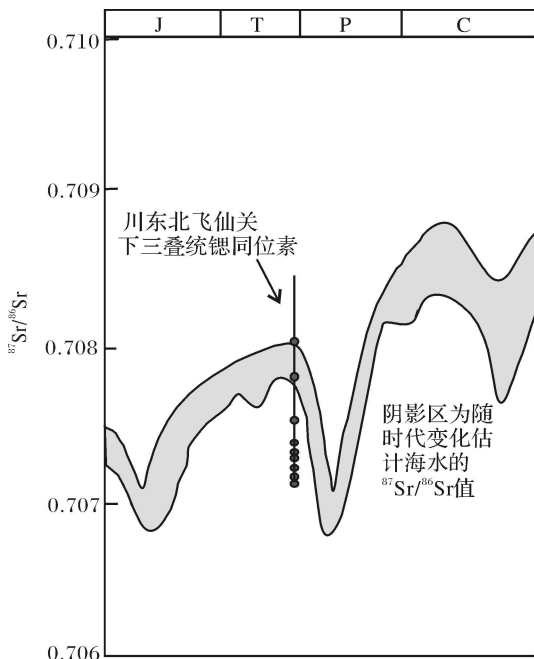


图 7 川东北飞仙关下三叠统白云岩  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值  
Fig 7 The distribution of stable isotopic strontium  
composition of Feixianguan Formation in Northeast  
Sichuan Basin

碳酸盐沉积物是从海水中沉积的, 它们是从海水中获得锶的, 图中白云岩样品分析中一部分资料落在三叠纪海水  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值附近, 这是很正常的。这就是说白云石化作用交代的是灰岩, 交代的流体有三叠纪海水的成分。大部分样品的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值资料比

三叠纪海水  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值要低, 这就意味着, 除了三叠纪的海水外, 交代流体还有来自三叠系上部或下部的地层水。白云石化流体是底地层水这就暗示飞仙关组鲕粒滩白云石化是在埋藏条件下发生的。

区域地质研究的资料表明, 三叠纪以后四川盆地已经从海相碳酸盐沉积演化到陆相硅质碎屑沉积阶段。如果白云石化流体来自上覆侏罗白垩系的硅质碎屑沉积物或岩石中, 那么通过硅质碎屑物质的这些地层水流体必然富含放射性锶 ( $^{87}\text{Sr}$ )。当白云石化作用时这些放射性锶 ( $^{87}\text{Sr}$ ) 就会进入到白云岩中, 白云岩就应当含有比三叠纪海水  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值要高的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值。这与白云石中大部分样品的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值比三叠纪海水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值低的事实不相符合, 因此交代流体中地层水不会来自三叠纪以上的地层水。从图 7 中可以看出比三叠纪海水  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值要低的大部分样品中的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值与晚二叠世海水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值相当。这就意味着有来自飞仙关组下覆的具有晚二叠世残余海水特征的地层水向上进入到飞仙关组的地层中。晚二叠世具残余海水性质的地层水和三叠纪残余海水混合组成的地层水的侧向压实流体是飞仙关组鲕粒流体白云石化流体的主要来源 (图 8)。锶的稳定同位素资料从另一个角度证明飞仙关组鲕粒滩白云岩是埋藏成因, 这一观点还受到白云岩中均一化温度的资料支持。

## 5 流体包裹体特征

川东北地区飞仙关组鲕粒滩白云岩是重要的油气储集层, 多年来的油气勘探积累大约的地球化学资料。其中包括鞍状白云石和胶结物白云石的均一化温度和盐度的资料。从图 9 中可以看出白云石胶结物均一化温度大约分布在 90~130℃ 之间, 呈明显的正态分布。盐度一般数倍于海水。

从世界各地各时代鞍状白云石和白云石胶结物的地球化学研究资料来看, 鞍状白云石胶结物的均一化温度大约在 80~230℃ 之间, 盐度大约为 5w % ~ 30w %<sup>[11]</sup>, 它们是埋藏条件的一种胶结作用和交代作用。区内飞仙关组白云岩中白云石胶结物 (鞍状白云石胶结物) 表明鲕粒滩白云石化是在埋藏条件下发生的, 而与近地表条件下白云石化作用 (混合水、准共生以及回流白云石化) 无关。

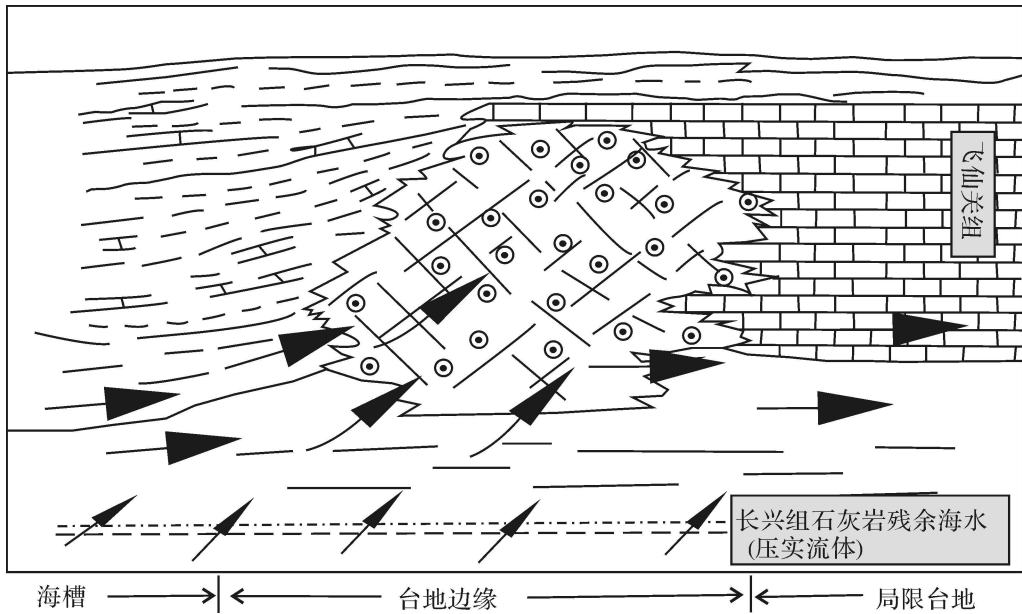


图 8 飞仙关组锶同位素来源的示意图

Fig 8 The source of isotopic strontium of Feixianguan Formation in Northeast Sichuan Basin

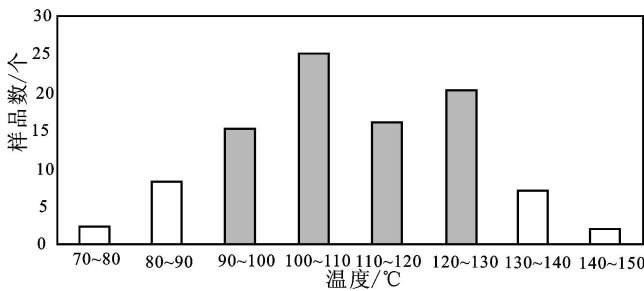


图 9 白云石包裹体均一温度分布直方图 [ 6 ]

Fig 9 The histogram of dolomite inclusion homogenization temperature

## 6 有序度特征

众所周知,白云石化需要一个动力学条件,准同生和回流白云岩以及混合水白云岩属于近地表条件下早期白云石化,在常温常压条件下,由于缺少动力学条件,所以白云石化作用形成的这些早期白云岩中多半是一些欠稳定的富钙白云岩,相对埋藏白云岩来说,这种早期白云岩的有序度比较低。而埋藏条件下有较高的温度,可以克服动力学障碍,能够形成化学计量稳定性高的白云石。但是应当注意的是,准同生白云岩的有序度一般小于 0.7,而埋藏条件下的白云岩有序度一般大于 0.9<sup>[12]</sup>。表 3 中我们可以看出,鲕粒白云岩有序度是相当的高的,看来这种有序度变化反映了它们的埋藏成因。

表 3 川东地区飞仙关组白云岩 X-射线衍射分析数据简表 (据冯青平等, 2003)

Table 3 The data of X-ray diffraction spectrum of Feixianguan Formation in Northeast Sichuan Basin

| 序号 | 样号      | 层位                              | 岩性               | 井深 /m   | 有序度  | 白云石 Ca/Mg 的摩尔比值 |
|----|---------|---------------------------------|------------------|---------|------|-----------------|
| 1  | TS5-20  | T <sub>1</sub> f <sub>1</sub>   | 深灰色<br>残余鲕粒白云岩   | 2854.00 | 1    | 49.0 51.0       |
| 2  | TS5-71  | T <sub>1</sub> f <sub>1</sub>   | 黑灰色细晶白云岩         | 2861.00 | 0.92 | 49.0 51.0       |
| 3  | TS5-93  | T <sub>1</sub> f <sub>1</sub>   | 深灰色鲕粒白云岩         | 2864.30 | 1    | 49.5 50.5       |
| 4  | TS5-104 | T <sub>1</sub> f <sub>1</sub>   | 深灰色残余<br>鲕粒白云岩   | 2865.77 | 0.84 | 49.0 51.0       |
| 5  | TS5-171 | T <sub>1</sub> f <sub>1</sub>   | 浅灰色残余<br>鲕粒白云岩   | 2874.07 | 1    | 49.5 50.5       |
| 6  | TS5-187 | T <sub>1</sub> f <sub>1</sub>   | 不规则黑白相间<br>斑状白云岩 | 2875.85 | 0.94 | 48.4 51.6       |
| 7  | D3-538  | T <sub>1</sub> f <sub>1-3</sub> | 浅灰色含砾<br>鲕粒白云岩   |         | 1    | 49.5 50.5       |
| 8  | D3-589  | T <sub>1</sub> f <sub>1-3</sub> | 浅灰色鲕粒白云岩         |         | 0.95 | 49.5 50.5       |

## 7 结论

含量高的铁和一定量的锰微量元素特征和阴极射线发光性(暗淡发光)表明区内下三叠统飞仙关组白云石化作用时物理化学条件为还原状态(近地表白云石化处于氧化状态),白云岩中胶结物白云石和鞍状白云石的均一化温度(90~130°C)表明白云石化作用是处于埋藏状态下发生的,而不是近地表条

件。氧的稳定同位素值比三叠纪海水的氧稳定同位素要偏负显示出埋藏条件下热同位素分馏作用(干燥气候有蒸发盐沉积条件下,淡水效应不存在)。锶稳定同位素资料显示白云石化流体(具有残余三叠纪海水和残余二叠纪海水锶混合特征)倾向于压实流体的特征。白云石的高有序度显示出白云石化作用是在温度较高,可以克服动力学障碍(埋藏条件)的条件下发生白云石化作用的。川东北地区飞仙关组碳酸盐台地边缘,白云岩的上述岩石学和地球化学资料显示出埋藏白云石化的特征,近地表白云石化(混合水、准同生、回流)的观点与岩石学和地球化学的资料不相符合。

### 参考文献 (References)

- 魏国齐. 川东北飞仙关组鲕滩储层白云石化成因模式 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 162-165 [Wei Guoqi Dolomitization genetic model of Feixianguan Group oolitic beach reservoir in northeast Sichuan Basin] [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(2): 162-165]
- 黄思静, 胡作维, 邹明亮等. 川东北三叠系飞仙关组白云岩锶含量、锶同位素组成与白云岩化流体 [J]. 岩石学报, 2006, 22(8): 2126 [Huang S J Strontium concentration, isotope composition and dolomitization fluids in the Feixianguan Formation of Triassic, Eastern Sichuan of China] [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(8): 2126]
- James R Frank. Cathodoluminescence and composition of calcite cement in the Taum Sauk limestone (Upper Cambrian), Southeast Missouri [J]. Journal of Sedimentary Research, 1982, 52: 631-638
- Philip A Sandberg. Evaluation of ancient aragonite cements and their temporal distribution [J]. AAPG Bulletin, 1983, 67(3): 544
- 杨威, 魏国齐, 金惠, 等. 川东北飞仙关组鲕滩储层成岩作用和孔隙演化 [J]. 中国地质, 2007, 34(5): 822-828 [Yang Wei, Wei Guoqi, Jin Hui, et al. Diagenesis and pore evolution of oolitic shoal reservoir in the Feixianguan Formation in northeastern Sichuan] [J]. Geology in China, 2007, 34(5): 822-828]
- 孟祥霞. 川东北地区下三叠统飞仙关组成岩作用及储层研究 [D]. 成都: 西南石油大学硕士学位论文, 2003: 38-47 [Meng Xiangxia. The study of diagenesis and reservoir characteristic of Feixianguan Formation in lower Triassic series, northeast Sichuan] [D]. Chengde: Southwest Petroleum University Master Degree Thesis, 2003: 38-47]
- Jan Veizer. Isotope stratigraphy of European Carboniferous proxy signals for ocean chemistry, climate and tectonics [J]. Chemical Geology, 1999, 161(1-3): 127-163
- Allan J R, Wiggins W D. Dolomite Reservoirs Geochemical Techniques for Evaluating Origin and Distribution [M]. AAPG Continuing Education Course Note Series 36, 1993
- Montanex I P. Fluid-rock interaction history during stabilization of early dolomites, upper Knox group (lower Ordovician) [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1992, 62(5): 753-778
- Burke W H, Denison R E, Hetherington E A, et al. Variation of seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  throughout Phanerozoic time [J]. Geology, 1982, 10: 516-519
- Graham R Davies, Langhorne B Smith Jr. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90: 1641-1690
- 刘宝珺, 张锦泉. 沉积成岩作用 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 237-255 [Liu Baojun, Zhang Jinquan. Sedimentation and Diagenesis [M]. Beijing: Science Press, 1994: 237-255]

## Geochemical Characteristics of Dolomites in Lower Triassic Feixianguan Formation, Northeast Sichuan, China

WANG Yi<sup>1</sup> WANG Xing-zhi<sup>1</sup> WANG Yigang<sup>2</sup> WEN Ying-chu<sup>2</sup>  
QIANG Zitong<sup>1</sup> WANG Bao-quan<sup>1</sup> DENG Jing<sup>3</sup>

(1. Resources and Environment College, Southwest Petroleum University, Chengdu 620500)

2. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu 610051

3. The Fifth Oil Recovery Factory, PetroChina, Xi'an 710018)

**Abstract** The lower Triassic Feixianguan Formation is a shallow marine carbonate sequence with shale and evaporates. The edge of carbonate platform commonly developed some oolitic banks, which are dolomitized. The oolitic bank dolomites are the most important gas reservoir in Sichuan. Some researchers considered them as the origin of marine-fresh water mixing model. However, petrography and chemistry of dolomite are not in consistence with origin of marine-fresh water mixing dolomitization. Feixianguan oolitic dolomites included dull-red cathodoluminescence, trace elements of  $14 \times 10^{-6} \sim 78 \times 10^{-6}$  for Mn and  $600 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$  for Fe, stable isotopic oxygen composition of  $-6.73\% \sim -3.65\%$  (PDB), the average is  $-4.89\%$  (PDB), for matrix and vug-filling saddle dolomite and bright dolomite cement, stable isotopic strontium composition of  $0.70735 \sim 0.70800$  for  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Dolomite replaced host rock along the fractures in section. These data about oolitic bank dolomite suggest that the dolomitization was formed in the buried condition.

**Key words** mixing water dolomite, buried dolomite, carbonate platform