

# 湖南石门中上寒武统白云岩成因

胡明毅

(江汉石油学院, 湖北沙市 434102)

湖南石门中上寒武统白云岩极其发育, 类型多样, 不同类型的白云岩其成因机理和白云石化模式各不相同。泥晶白云岩和藻屑白云岩主要由泥晶白云石组成, 白云石晶形差, 有序度低, 平均为0.71, 富含碳、氧同位素值, 微量元素 $\text{Sr}^{2+}$ 含量高, 为准同生期超咸水白云石化的产物。浅滩相的颗粒白云岩, 其白云石晶体有序度高, 平均为0.87, 碳、氧同位素值低, 盐度低, 为浅滩混合水白云石化的产物。细晶白云岩由细晶白云石组成, 白云石晶体具雾心结构和环带构造, 部分见交代残余结构, 其有序度低, 碳、氧同位素值低, 阴极发光显微镜下白云石晶体中心呈暗红色, 边缘呈亮红色, 为深埋藏白云石化的产物。

**关键词** 白云石化作用 有序度 同位素 阴极发光 中上寒武统 湖南

**作者简介** 胡明毅 男 27岁 讲师 石油地质及沉积学

湖南石门地区位于中扬子台地西南部, 南临湘黔-江南深断裂, 西界接近都匀-吉首-宜昌断裂。寒武系发育和出露齐全, 上下均为整合接触, 中上寒武统厚度为1263.1 m, 其中白云岩占80.7%。早寒武世为一套由深变浅的海退沉积序列, 自下而上分别为盆地边缘相、斜坡相、台地边缘滩相。中晚寒武世, 总体为浅水碳酸盐台地, 在碳酸盐台地中有高能的浅水沙滩, 中能的潮沟和潮汐通道, 以及低能的蒸发潮坪等亚环境。

## 一、白云岩类型及其特征

### (一) 类型

依白云岩结构的不同可分为三大类:

#### 1. 泥晶白云岩和藻屑白云岩

这类白云岩叠层石构造发育, 形态丰富多样, 有波状、半球状、柱状等。在泥晶白云岩中见有石膏晶体, 呈板状或针状, 长5—10 mm, 宽0.1—1 mm。白云岩基本上由泥晶白云石组成, 晶形差, 以它形为主(图版1-1, 2)。主要分布于中上寒武统下部层位。

#### 2. 颗粒白云岩

颗粒多由泥晶白云石组成, 部分为细晶白云石(图版1-3, 4)。被交代的颗粒仍能看出形态和胶结物的结构类型。颗粒白云岩在整个地层剖面中都有分布, 但以中部层位最为发育。

#### 3. 细晶白云岩

主要由细晶白云岩石组成, 有少量的中晶白云石。白云石晶体以半自形为主, 少量自形,

普遍具雾心结构或环带构造(图版 I-5, 6), 少量可见颗粒被白云石交代后留下的交代残余结构(图版 I-7), 这类白云岩在中上寒武统上部层位最为发育。

## (二) 特征

### 1. X 衍射特征

X 衍射分析(图 1)结果表明, 各类白云岩 X 衍射图谱非常相似, 白云石峰值在 2.887—2.895,  $2\theta$  角为 51.00—51.08°, 但不同类型白云岩的  $I_{015}$ 、 $I_{110}$  和  $I_{116}$  是有差别的, 这种差别就反映出不同类型白云岩的结构有序度和  $\text{CaCO}_3$  克分子含量的不同(表 1)。

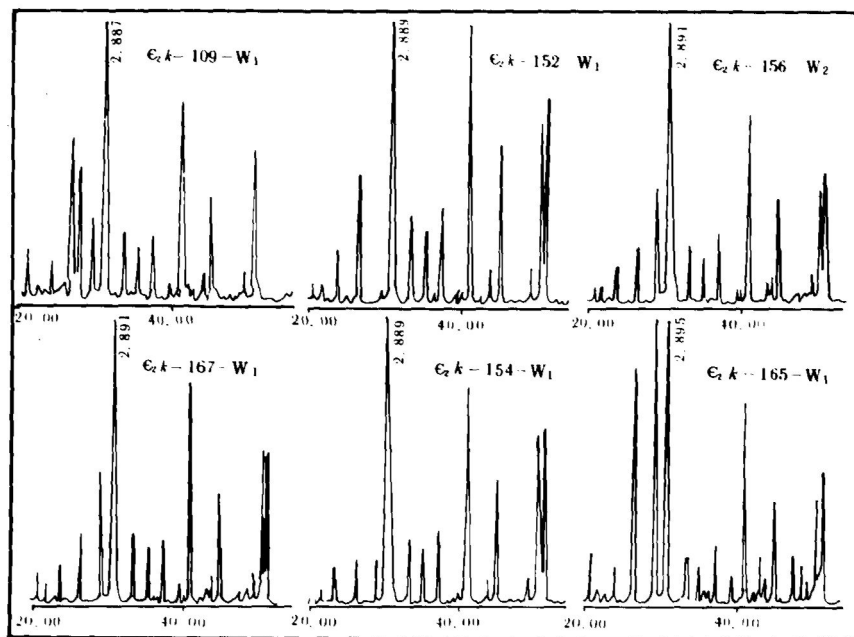


图 1 工作区不同类型白云岩 X 衍射图谱

表 1 工作区不同类型白云岩 X 衍射特征

| 编号 | 样号                                  | 岩性           | $I_{015}$ | $I_{110}$ | $I_{116}$ | $\text{CaCO}_3$ 含量 (%) | 有序度  |
|----|-------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|------|
| 1  | E <sub>2</sub> k-165-W <sub>1</sub> | 泥晶白云岩(含石膏假晶) | 1693      | 2390      | 1.789     | 50.83                  | 0.71 |
| 2  | E <sub>2</sub> k-109-W <sub>1</sub> | 砂屑白云岩        | 21        | 23        | 1.786     | 49.11                  | 0.91 |
| 3  | E <sub>2</sub> k-152-W <sub>1</sub> | 砂屑白云岩        | 5548      | 6702      | 1.787     | 49.68                  | 0.83 |
|    | 平均                                  |              |           |           |           | 49.4                   | 0.87 |
| 4  | E <sub>2</sub> k-154-W <sub>1</sub> | 粗粉晶白云岩       | 5125      | 5977      | 1.788     | 50.26                  | 0.86 |
| 5  | E <sub>2</sub> k-156-W <sub>2</sub> | 细晶白云岩        | 4795      | 5516      | 1.789     | 50.83                  | 0.87 |
| 6  | E <sub>2</sub> k-167-W <sub>1</sub> | 细晶白云岩        | 2796      | 3199      | 1.789     | 50.83                  | 0.87 |
| 7  | E <sub>2</sub> k-171-W <sub>1</sub> | 灰质细晶白云岩      | 1314      | 1342      | 1.788     | 50.26                  | 0.98 |
| 8  | E <sub>2</sub> k-183-W <sub>2</sub> | 细晶白云岩        | 24.5      | 27        | 1.788     | 50.26                  | 0.91 |
| 9  | E <sub>2</sub> k-186-W <sub>2</sub> | 细晶白云岩        | 3854      | 4368      | 1.789     | 50.83                  | 0.88 |
|    | 平均                                  |              |           |           |           | 50.55                  | 0.90 |

从表 1 中可以看出, 工作区内泥晶白云岩所含白云石晶体有序度低为 0.71, 而  $\text{CaCO}_3$  克

分子含量高为 50.83%。细晶白云岩有序度高, 平均为 0.90, 最大值为 0.98, 在晶体结构上近于有序<sup>[1]</sup>, 但它的  $\text{CaCO}_3$  克分子含量较低, 平均为 50.55%。颗粒白云岩有序度也较高, 平均值为 0.87, 最大为 0.91, 与细晶白云岩很相近, 但它的  $\text{CaCO}_3$  克分子含量更低, 平均为 49.4%。上述结果表明工作区内砂屑白云岩和细晶白云岩的形成与淡水的加入有关<sup>[2]</sup>。

## 2. 碳、氧同位素特征

碳、氧同位素值能半定量至定量地反映成岩溶液中的某些特征<sup>[3,4,5,6]</sup>。白云岩中  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$  一般受水-白云石间平衡交换反应的控制, 故温度和白云石形成溶液中  $^{18}\text{O}$ 、 $^{13}\text{C}$  的含量是直接决定白云岩中氧、碳同位素分布的因素, 而同一时期的沉积物在埋藏过程中所受温度影响是一致的(埋藏相似的情况下), 因此  $^{18}\text{O}$ 、 $^{13}\text{C}$  的含量就仅取决于成岩溶液。对现代碳酸盐岩的研究也证实了这一点, 在海水中沉淀的文石矿物其  $^{18}\text{O}$  与海水一致, 即  $^{18}\text{O}$  接近 0‰ (SMOW), 分布范围 -0.45‰—+0.12‰ (SMOW), 淡水的  $\delta^{18}\text{O}$  值则较小为 -4‰。现代海水中碳同位素值为 +1.39‰—+2.24‰ (PDB), 淡水则为 -5‰—-11‰ (PDB)。

通过对工作区中上寒武统不同类型白云岩进行碳、氧同位素值测定, 发现不同类型的白云岩其碳、氧同位素值有明显的差别(表2)。泥晶白云岩碳、氧同位素值明显比砂屑白云岩和细晶白云岩高, 平均值:  $\delta^{13}\text{C}$  为 +0.26‰ (PDB),  $\delta^{18}\text{O}$  为 -6.95‰ (PDB), 富含重碳、氧同位素值, 与海水介质相近。砂屑白云岩和细晶白云岩的碳、氧同位素值很相近, 前者平均值:  $\delta^{13}\text{C}$  为 -0.87‰ (PDB),  $\delta^{18}\text{O}$  为 -9.5‰ (PDB); 后者平均值:  $\delta^{13}\text{C}$  为 -2.81‰ (PDB),  $\delta^{18}\text{O}$  为 -11.15‰ (PDB)。二者碳、氧同位素值都低, 与海水介质相差较大, 与淡水的加入有关。

表2 工作区不同类型白云岩碳、氧同位素特征

| 样 号                   | 岩 性        | $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) | $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) | 盐度 %  | 温度 °C  |
|-----------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|--------|
| $\epsilon_2k-106-W_1$ | 泥晶白云岩      | 0.23                        | -7.58                       | 27.17 | 50.56  |
| $\epsilon_2k-116-W_1$ | 泥晶白云岩(含石膏) | 0.29                        | -6.33                       | 28.42 | 44.19  |
| 平均                    |            | 0.26                        | -6.95                       | 27.80 | 47.38  |
| $\epsilon_2k-109-W_1$ | 砂屑白云岩      | -0.97                       | -6.89                       | 27.86 | 47.03  |
| $\epsilon_2k-113-W_1$ | 砂屑白云岩      | 0.43                        | -9.84                       | 24.91 | 62.40  |
| $\epsilon_2k-152-W_1$ | 砂屑白云岩      | -2.34                       | -7.95                       | 26.80 | 52.47  |
| $\epsilon_2k-165-W_1$ | 砂屑白云岩      | -0.62                       | -13.11                      | 21.64 | 80.24  |
| 平均                    |            | -0.87                       | -9.5                        | 25.3  | 60.54  |
| $\epsilon_2k-154-W_1$ | 粗粉晶白云岩     | -1.37                       | -8.08                       | 26.67 | 53     |
| $\epsilon_2k-156-W_1$ | 细晶白云岩      | -1.00                       | -8.54                       | 26.21 | 55.54  |
| $\epsilon_2k-171-W$   | 灰质细晶白云岩    | -1.82                       | -8.99                       | 25.76 | 57.9   |
| $\epsilon_2k-183-W_2$ | 细晶白云岩      | -7.04                       | -19.00                      | 15.75 | 114.55 |
| 平均                    |            | -2.81                       | -11.15                      | 23.40 | 70.25  |

以  $\delta^{18}\text{O}$  为横坐标,  $\delta^{13}\text{C}$  为纵坐标作图(图2), 可以发现: (1) 泥晶白云岩分布在图的上方, 砂屑白云岩和细晶白云岩主要分布在图的下方; (2) 砂屑白云岩和细晶白云岩主要分布区域基本一致, 但砂屑白云岩有一个点在图的上方, 细晶白云岩有一个点远离主要分布区域。

根据盐度和温度计算公式:

$$S(\text{盐度}) = \delta^{18}\text{O}(\text{PDB}) + 21.2/0.61$$

$$t(\text{温度}) = 13.85 - 4.54 \delta^{18}\text{O}(\text{PDB}) + 0.04 (\delta^{18}\text{O})^2 (\text{PDB})$$

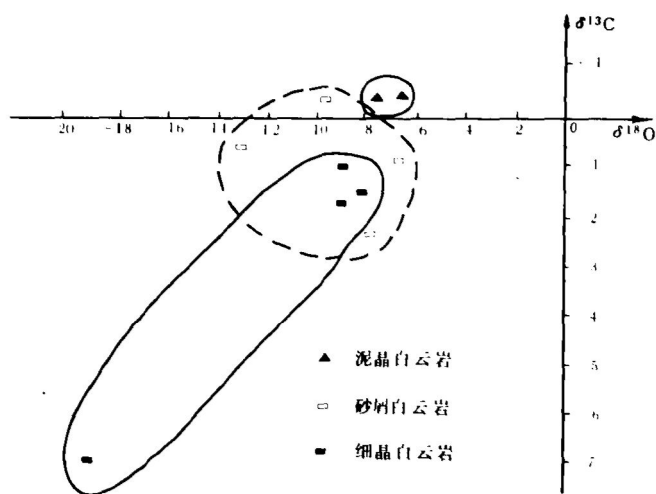


图2 不同类型白云岩  $\delta^{18}\text{O}$  与  $\delta^{13}\text{C}$  值的分布图

可以求出不同类型白云岩形成时的古盐度和古温度。泥晶白云岩形成时的盐度相对最高, 平均为 27.8‰, 温度低平均为 47.38℃。砂屑白云岩形成时盐度较低, 平均值为 25.3‰, 温度较高, 平均为 60.54℃。细晶白云岩形成盐度低, 平均为 23.4‰, 温度最高, 平均值为 70.25℃, 最大值为 114.55℃。

显然以上数据作为白云岩形成时的古盐度和古温度, 当与实际值一定会有偏差, 但根据其相对大小, 并结合其它特征对白云岩的成因作出定性解释是完全可以的。

泥晶白云岩形成时盐度高, 温度低, 富含重碳、氧同位素值, 说明了泥晶白云岩形成于超咸化的海水介质条件。砂屑白云岩和细晶白云岩形成时碳、氧同位素值低, 盐度低, 应为混合水介质条件; 但古温度数据表明二者形成的深度不同, 砂屑白云岩古温度低, 可能为近地表环境, 而细晶白云岩古温度高, 埋深大, 按地温梯度换算的埋藏深度至少在 3 km 以上, 为深埋藏成岩环境。

### 3. 电子探针分析特征

田洪钧<sup>[7]</sup>通过对川西北甘溪上泥盆统白云岩微量元素的分析研究, 发现与淡水混合有关形成的白云岩, 其  $\text{Sr}^{2+}$  含量明显偏低。曾允孚<sup>[3]</sup>也证实了这一观点。电子探针分析表明, 工作区泥晶白云岩中锶含量高, 平均为 0.051%, 而砂屑白云岩和细晶白云岩中锶含量低, 平均值分别为 0.011% 和 0.014%。由此也可以说明, 工作区砂屑白云岩和细晶白云岩在白云石化作用过程中, 有淡水的加入, 为混合水介质条件。

### 4. 阴极发光特征

碳酸盐岩阴极发光特征主要取决于  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  的含量, 前者是主要的淬灭剂, 后者是主要的活发剂。Pierson<sup>[8]</sup>通过对北美和西欧不同时代大量白云岩样品阴极发光研究, 发现白云石中  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  含量是正相关的, 但铁的含量变化范围大。100 ppm 甚至更少量的锰就足以激发阴极发光, 阴极发光的强度并不与锰的含量成正比, 而主要取决于铁。当白云石中铁含量达到  $10^{-3}$  时便开始淬灭阴极发光, 超过  $10^{-2}$  时发光迅速减弱, 当铁含量超过  $1.5 \times 10^{-2}$  时, 不论锰含量为多少, 发光完全消失。总体说来, 当白云石中  $\text{Fe}^{2+}$  极少甚至不含, 即氧化条件下, 无阴极发光; 当  $\text{Fe}^{2+}$  含量较少, 即弱还原条件下出现明亮的阴极发光特征; 当  $\text{Fe}^{2+}$  含量很高, 即强还原条件下为暗的阴极发光<sup>[9]</sup>。

工作区泥晶白云岩和藻屑白云岩在阴极发光显微镜下不发光, 细晶白云岩白云石晶体中心呈暗红色, 边缘呈亮红色 (图版 I-8), 构成明暗不同的环带。这说明泥晶白云岩中  $\text{Fe}^{2+}$  含量极少, 为氧化环境, 而细晶白云岩白云石晶体中心  $\text{Fe}^{2+}$  含量高, 边缘  $\text{Fe}^{2+}$  含量低 (可能与表生期淡水的改造有关), 形成于弱还原-强还原环境, 即埋藏成岩环境。

## 二、白云岩成因

根据上面对工作区不同类型白云岩矿物、岩石和地球化学特征的分析,可以看出工作区内不同类型的白云岩其成因是不一样的,主要有三种成因。

### (一) 准同生超咸水白云石化作用

工作区泥晶白云岩和藻屑白云岩主要分布于中上寒武统下部,叠层石构造发育,见有石膏假晶,总体为潮坪沉积环境。

泥晶白云岩和藻屑白云岩主要由泥晶白云石组成,白云石晶形差,有序度低,基本上为无序结构,这说明形成时成核质点多,结晶速度快。同位素和电子探针分析表明,泥晶白云岩富含重碳、氧同位素值,微量元素  $\text{Sr}^{2+}$  含量高,形成于盐度高、温度低、超咸化的海水介质条件。

上述条件与 Fridman 和 Sanders 研究的现代波斯湾萨布哈环境有一定的相似性,但不完全相同,具体过程可能如下(图3)。

中寒武世早期,本区主要为水体极浅,能量极低的广阔潮坪

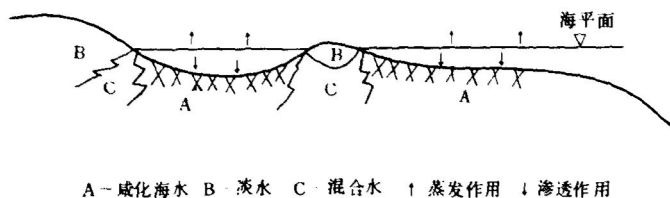


图3 准同生超咸水白云石化模式

(图版 I-3),形成于淡水环境;类型2:一世代胶结物呈纤维状等厚环边,二世代胶结物呈粒状,形成于海水成岩环境(图版 I-4)。这说明工作区颗粒白云岩所代表的浅滩时而处于海平面之下,形成纤维状等厚环边胶结物,时而暴露于海平面之上,形成两世代粒状胶结物。当该区暴露于海平面之上,势必造成一定范围的混合水区域,在此区域发生白云石化作用,使得颗粒灰岩变成颗粒白云岩。由于多次海进、海退,使工作区大部分颗粒灰岩以这种白云石化作用方式转变成颗粒白云岩。

### (三) 深埋藏混合水白云石化作用

细晶白云岩主要分布于上部层位。白云石晶粒粗大,晶形较好,以半自形为主,少量自

形, 晶体多数具雾心结构或环带构造, 少量可见交代残余结构, 这些特征都表明细晶白云岩为后期交代形成。

碳、氧同位素和电子探针分析表明, 细晶白云岩中碳、氧同位素值低, 微量元素  $\text{Sr}^{2+}$  低, 形成于盐度低、温度高的混合水介质条件。细晶白云岩平均古地温为  $70.25^{\circ}\text{C}$ , 最大可达  $114.55^{\circ}\text{C}$ , 其对应的古埋藏深度至少在  $3\text{ km}$  以上。阴极发光表明细晶白云岩形成于弱还原—强还原条件, 即形成于埋藏成岩环境。上述资料, 可充分表明细晶白云岩是在深埋藏条件下经混合水白云石化作用而形成的。

深埋藏混合水白云石化作用的关键问题有两点:

#### 1. $\text{Mg}^{2+}$ 的来源

Zenger 指出<sup>[10]</sup>, 在埋藏环境下, 由于温度高, 形成白云石的热力学限制较少, 大部分地下水(可能为各种类型的混合水)的  $\text{Mg}/\text{Ca}$  虽然较低, 但仍为白云石稳定的范围, 因此深埋藏条件下白云石化作用并不需要大量的  $\text{Mg}^{2+}$ 。

中上寒武统含大量藻叠层石, 约占地层剖面  $1/5$ , 根据 K. E. Chave 研究证明, 生物中藻类  $\text{Mg}^{2+}$  含量最高, 可达  $15\%—25\%$ , 因此中上寒武统本身就含有一定数量的  $\text{Mg}^{2+}$ 。同时下伏上震旦统灯影组中也含有大量藻叠层石, 所含  $\text{Mg}^{2+}$  可以直接进入中上寒武统, 导致白云石化作用。此外, 被埋藏的海水和浅埋藏沉积物中的孔隙水(海水性质), 也可在重力作用下向下渗透, 为深埋藏白云石化携带一定数量的  $\text{Mg}^{2+}$ 。

#### 2. 淡水的来源及输送问题

中晚寒武世, 工作区主要为湖坪沉积环境, 局部为浅滩。中奥陶世基本上没有什么大的变化, 直到晚奥陶世由于地壳差异运动, 局部上升隆起, 形成了一些水下高地, 有的出露水面形成岛屿。这些岛屿长期接受大气降水, 因而有丰富的淡水。同时工作区正好处于石门—临湘东西向褶皱带, 断层和裂缝发育, 存在于古岛屿或古陆沉积物中的淡水, 在重力作用下可沿断裂或裂缝向下渗透, 成为深埋藏混合水白云石化的淡水来源, 其白云石化模式

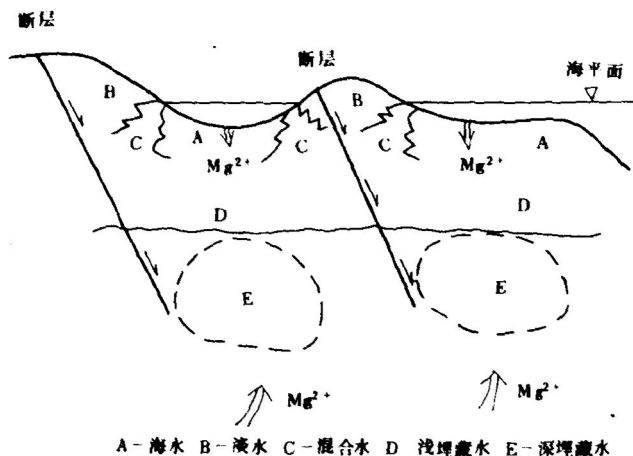


图4 深埋藏混合水白云石化模式

见图4, 细晶白云岩就是以这种方式形成的。

## 结 束 语

从上面的分析可知, 区内中上寒武统白云岩类型多样, 成因也各不相同。一般说来, 形成于准同生期海水介质的白云岩, 其白云石晶体细小, 晶形差, 有序度低, 富含碳、氧同位素值, 微量元素  $\text{Sr}^{2+}$  高。形成于混合水环境中的白云岩, 白云石晶粒粗大, 有序度高, 碳、氧同位素值低, 微量元素  $\text{Sr}^{2+}$  低。形成于深埋藏条件下的白云岩, 具环带构造和交代残余结构。

形成于混合水和深埋藏条件下的白云岩，其孔隙度和渗透率均较高，是油气勘探中重要的碳酸盐岩储层，这也是我们研究白云岩成因的实际意义。

致谢：研究过程中得到了江汉石油学院地质系郭成贤副教授、朱忠德副教授的帮助，贺自爱教授级高工审阅了全文，在此深表谢意。

### 参 考 文 献

- 1 刘集银等. 白云石的晶体结构特征和 X-射线研究. 矿物岩石, 1988, 8 (1), 30—32
- 2 黄恩静. 北川甘溪观雾山组碳酸盐岩的阴极发光特征和成岩作用. 成都地质学院学报, 1988, 15 (1), 52—54
- 3 曾允孚. 四川龙门山唐王寨地区中上泥盆统白云岩成因. 地质论评, 1991, 37 (1), 1—8
- 4 余志伟. 江西萍乐坳陷西部中石炭统黄龙组白云岩成因探讨. 沉积学报, 1988, 6 (3), 63—65
- 5 Mozley P S. Geochemistry of carbonate cements of the sag river and shublik formation, North Slope, Alaska, implications for the geochemical evolution of formation waters. *Sedimentology*, 1990, 37 (5), 817—822
- 6 Friedman G M. Deep-burial diagenesis, Its implications for vertical movements of the crust, uplift of the lithosphere and isostatic unroofing—a review. *Sedimentary Geology*, 1987, 50, 67—94
- 7 田洪钧等. 川西北甘溪上泥盆统白云石化作用研究. 成都地质学院学报, 1987, 14 (4), 50—60
- 8 Pierson B J. The control of cathodeluminescence in dolomite by iron and manganese. *Sedimentology*, 1981, 28 (5), 601—610
- 9 James R F. Cathodeluminescence and composition of calcite cement in the Taum Sauk Limestone (Upper Cambrian), Southeast Missouri *Jour. Sed. Petrology*, 1982, 52 (2), 631—638
- 10 Zenger D H. Burial dolomitization in lost Burro Formation (Devonian), east-central California, and the significance of diagenetic dolomitization. *Geology*, 1983, 11, 519—522

## ORIGIN OF MIDDLE-UPPER CAMBRIAN DOLOMITES IN SHIMEN, HUNAN

Hu Mingyi

(Jiangnan Institute of Petroleum, Shashi)

### Abstract

Middle-Upper Cambrian dolomites in Shimen, Hunan Province, are mainly composed of anhedral micritic dolomite, euhedral and subhedral granular dolomites, grain dolomite. Different kinds of dolomites formed in different environments may have different models of dolomitization.

The anhedral micritic dolomite shows a lower ordering degree (average 0.71), a higher  $\text{CaCO}_3$  mole content (average 50.83%), higher  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values (average + 0.26‰ and - 6.95‰ PDB), a higher  $\text{Sr}^{2+}$  content and non luminescence. Grain dolomite has a higher ordering degree (average 0.87), a lower  $\text{CaCO}_3$  mole content (average 49.4%), lower  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values (average - 0.87‰ and - 9.5‰ PDB), and a lower  $\text{Sr}^{2+}$  content. The euhedral and subhedral granular dolomites, who's ordering degrees,  $\delta^{18}\text{O}$

and  $\delta^{13}\text{C}$  values,  $\text{Sr}^{2+}$  content are similar to grain dolomite, has a dark red to red in luminescence.

All evidences show that there were three origins of the dolomites in the study area. Anhydral micritic dolomite formed in high-magnesium water in tidal flat; grain dolomite formed in shoal mixing water; euhedral and subhedral granular dolomites were the products of dolomitization in deep burial mixing water.

#### 来函照登

编辑部:

我在《石油与天然气地质》1992年第3期发表的《中国南部海相碳酸盐岩油气保存条件》一文中的盖岩力学性质三轴抗剪试验成果及水文地质条件中涉及江汉的资料,系引用陈劲人、银玉光、彭秀美、贾始编写的未刊资料——“建南地区天然气富集规律及其它区块评价研究”报告,事前未经作者允许,特向以上同志致歉。

潘国恩

1993. 3. 24