

文章编号: 1000-0550(2014)01-0118-08

# 云南会泽石炭系摆佐组白云岩地球化学特征及其成因分析<sup>①</sup>

马宏杰<sup>1</sup> 张世涛<sup>2</sup> 程先锋<sup>3</sup> 眭素刚<sup>2,4</sup>

(1. 浙江省地质调查院 杭州 311203; 2. 昆明理工大学 昆明 650093;

3. 云南国土资源职业学院 昆明 650217; 4. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院 昆明 650224)

**摘要** 为了解云南会泽石炭系摆佐组中、粗晶白云岩的地球化学特征及其成因,对白云岩进行岩石学、岩石地球化学和同位素等分析、研究。研究区位于华南陆块群扬子微陆块滇中(昆明)中生代隆起带,白云岩岩石类型主要为灰—灰白色、肉红色、米黄色中、粗晶白云岩,白云岩在岩石学特征上具有半自形—自形结构,MgO—CaO分析显示白云岩是交代或重结晶成因而非沉积成因的;微量元素分析显示白云岩中Sr含量较低,反映了白云岩可能是后期埋藏成岩作用过程中形成的,且白云化时间较晚,Sr已经大量流失,同时Sr/Ba比值较高,表明白云岩在深埋过程中所形成时水介质盐度较高;稀土元素配分模式显示Ce、Eu呈现负异常,Ce弱负异常由于Ce<sup>3+</sup>将不断被氧化成相对易溶的Ce<sup>4+</sup>离子被迁移而贫化,Eu弱负异常可能为Eu在化学风化过程中被优先带出而造成的;碳、氧同位素分析研究表明该区白云岩具有较高的成岩温度(52.40℃~69.44℃)和盐度指数Z值(121~125),表明其形成环境为超咸浓缩海水环境并具较高的成岩温度,推测该地区白云岩为中深埋藏环境。根据区域地层资料、区域构造演化史推测其白云岩化时间可能发生于二叠纪,属后生白云岩。综合分析认为本区白云岩成因为埋藏成因,并且在后期可能受到了构造作用和地壳抬升作用的影响,使白云岩产生化学风化作用,造成Eu的负异常,这可能与滇东北地区印支—海西阶段所形成的拉张和垂直升运动有关。

**关键词** 石炭系 白云岩 地球化学特征 成因 云南会泽

**第一作者简介** 马宏杰 男 1984年出生 博士研究生 区域地质、沉积地质、环境地质 E-mail: 32084917@qq.com

**通讯作者** 张世涛 E-mail: taogezhang@hotmail.com

**中图分类号** P588.24 **文献标识码** A

白云岩成因一直以来都是沉积学领域经久不衰的话题,也是现代沉积岩石学研究的前缘和热点问题<sup>[1-6]</sup>。从国内外研究成果来看,白云岩根据成岩阶段的特征可将其划分为原生白云岩、同生白云岩、成岩白云岩和后生白云岩四种类型,白云岩化作用可能存在渗透回流、混合水、埋藏以及蒸发作用等多种类型,但目前全球对白云岩成因机制还存在各种不同的认识和观点<sup>[7-11]</sup>。随着各种新方法和新手段的不断增加,白云岩成因分析运用岩石学、同位素分析、微量元素分析等多种地球化学分析方法相结合进行研究已成为必然的趋势。

石炭系摆佐组白云岩作为云南会泽铅锌矿主要容矿层位之一,一直以来是许多学者研究的重点<sup>[12-17]</sup>。截止目前,针对石炭系摆佐组白云岩先后展开了岩相、古地理特征、沉积环境的研究和矿物质来源与白云岩关系的研究,但对白云岩成因的研究相

对薄弱。会泽地区位于我国重要的铅锌矿成矿带,这一地区的铅锌矿的形成与白云岩的时空分布密切相关,因此,开展这一地区白云岩成因研究具有重要的理论和实际意义。为了解会泽石炭系摆佐组中、粗晶白云岩的地球化学特征及其成因,本文对该地区白云岩进行岩石学、岩石地球化学和同位素等分析、研究。

## 1 地质背景

研究区位于华南陆块群扬子微陆块滇中(昆明)中生代隆起带<sup>[18]</sup>(图1)。研究区地层由前震旦系组成基底,其上的上震旦统、古生界组成盖层,构成“两层式结构”。盖层主要发育中、上泥盆统、石炭系、二叠系。下石炭统摆佐组(C<sub>1</sub>b)是研究区最主要的赋矿地层,主要由灰白色、肉红色、米黄色中、粗晶白云岩、灰质白云岩和致密块状浅灰色灰岩、白云质灰岩夹硅质灰岩组成。本文讨论的白云岩位于会泽铅锌

<sup>①</sup>国家自然科学基金“横断山新近纪植物群及其古环境的演变”(批准号:41030212)与会泽铅锌矿与昆明理工大学合作项目联合资助  
收稿日期:2012-11-08;收修改稿日期:2013-01-30

矿区, 实测剖面为二道沟勘查区, 实测剖面显示会泽地区白云岩主要位于摆佐组的中上部, 其下部主要为浅灰色灰岩、白云质灰岩夹硅质灰岩, 白云岩层在空间上呈北东南西向展布, 地层厚约 50 ~ 70 m, 白云岩呈中厚层状一块状。

## 2 样品和实验方法

本研究共涉及下石炭系摆佐组实测剖面中、粗晶白云岩共 9 个样品(图 2), 对所有样品均进行了岩石薄片鉴定, 白云岩岩石学特征见 3.1。

主量元素(XRF 方法)和微量元素及稀土元素(ICP-MS 方法)均在中国地质调查局武汉地质调查中心测定, 分析精度优于 5%。实验过程如下: 将所采的每件样品加工成 200 目, 并置于烘烤箱中, 在 105℃ 的温度下烘干 2 小时, 然后将从烘箱中取出样品称取 50 ± 1 mg 置于高压密闭的 Teflon 溶样器中, 再缓慢加入 1 mL 的高纯氢氟酸, 并将其放在电热板上于 140℃ 将样品蒸至小体积, 然后缓慢加入 1.5 mL 的高纯氢氟酸、1.5 mL 的高纯硝酸, 加盖并旋紧溶样器钢套, 将装有样品的溶样器放入烘箱中, 在 190℃ 保温温度下加热 48 h, 待溶样器凉冷, 开盖, 然后在电热板上保持 140℃ 将溶液蒸至湿盐状, 再缓慢加入 2 ~ 3 mL、40% 的高纯硝酸, 将其再次置于烘箱中 140℃ 恒温过夜, 重复上述过程, 提取盐类。等到溶样器凉冷后, 将提取液用 2% 的硝酸稀释干净的 PET 瓶中, 至 80 g 密闭保存, 等待上机测定。

测试方法<sup>[19]</sup>: 雾化器将溶液样品送入等离子体光源, 在高温下汽化, 解离出离子化气体, 通过铜或镍取样锥收集的离子, 在低真空约 133.322 Pa 压力下形成分子束, 再通过 1 ~ 2 mm 直径的截取板进入四极质谱分析器, 经滤质器质量分离后, 到达离子探测器, 根据探测器的计数与浓度的比例关系, 可测出元素的含量。

C、O 同位素由中国地质调查局武汉地质调查中心同位素室测试, 使用的标准是 GB6379-87, 标准物质为 GBW-04416 和 GBW-04417。测定方法<sup>[20]</sup>是将碳酸盐试样在真空条件下与 100% 磷酸进行恒温反应, 用冷冻法分离生成的水, 并收集纯净的 CO<sub>2</sub> 气体。利用德国产的 MAT-251 型质谱仪进行 C、O 同位素分析, 获得 δ<sup>13</sup>C 和 δ<sup>18</sup>O 数据, 二者均采用 PDB 标准,

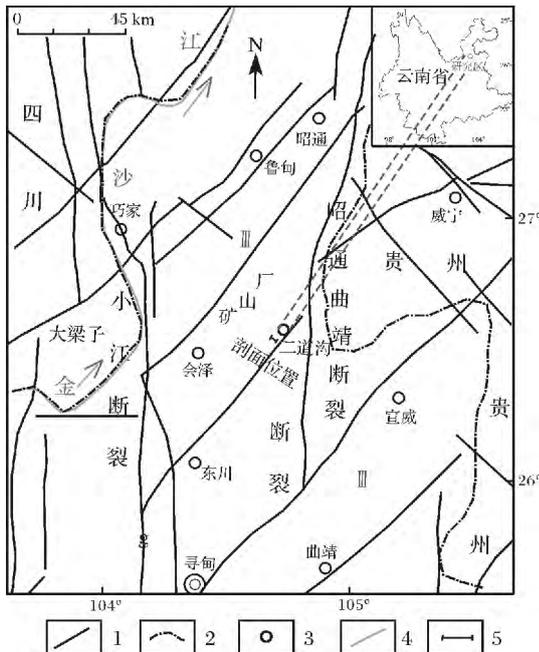


图 1 区域地质构造分布图

- 1. 断裂带 2. 省界 3. 城镇 4. 河流 5. 剖面位置
- III. 华南和亲华南陆块群

Fig. 1 Regional geological-structural sketch map

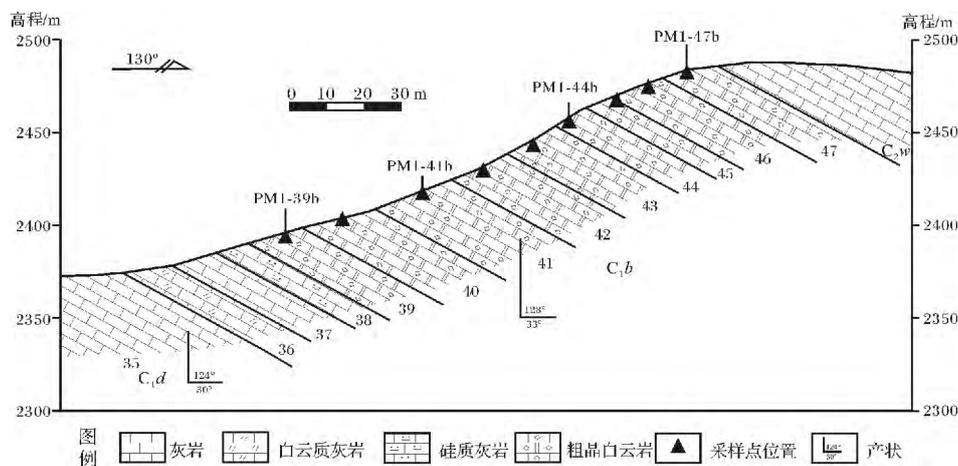


图 2 二道沟实测剖面图

Fig. 2 The measured cross-section in Erdaogou area

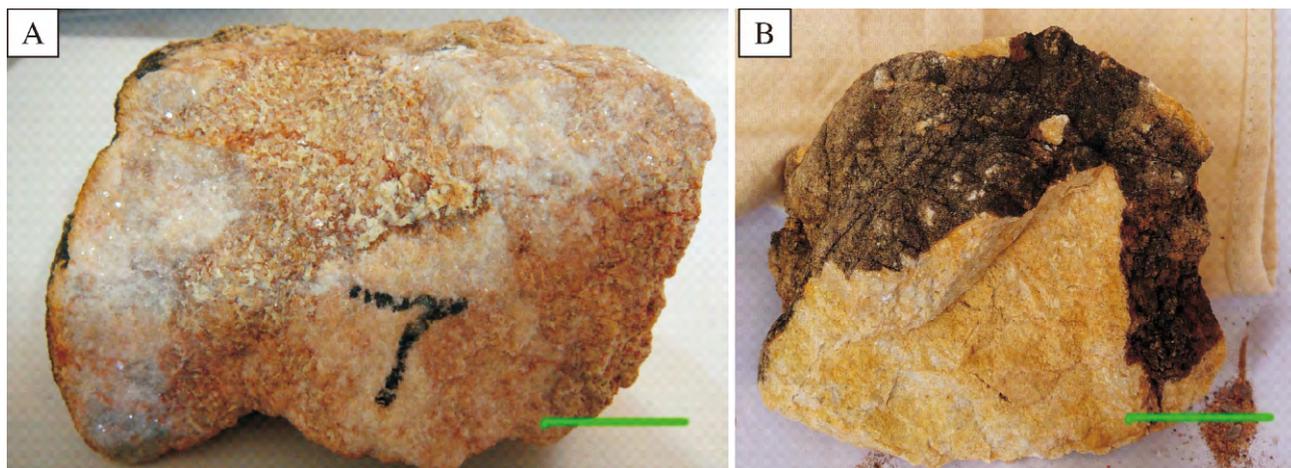


图 3 云南会泽摆佐组粗晶白云岩手标本照片 (A. 肉红色粗晶白云岩; B. 米黄色粗晶白云岩; 比例尺为 2 cm)

Fig. 3 Hand specimens of the coarse grain dolomite in Baizuo Formation of Huize, Yunnan  
(A. flesh red coarse grain dolomite; B. beige coarse grain dolomite; scale bar = 2 cm)

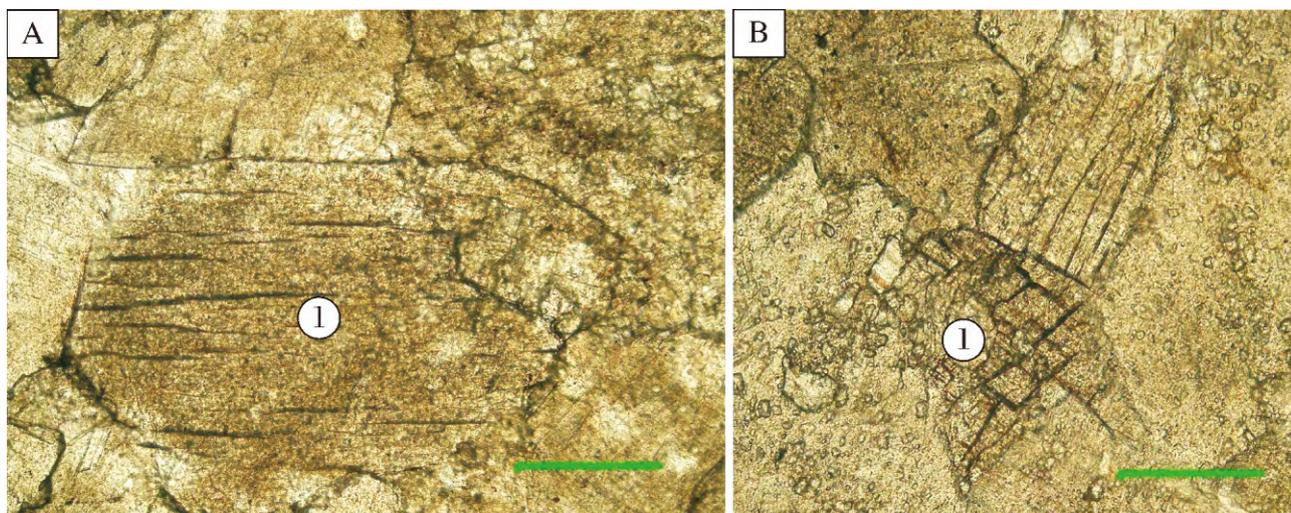


图 4 云南会泽摆佐组白云岩主要结构类型的显微照片 (①: 白云石; 比例尺为 0.5 mm)

Fig. 4 Photomicrographs of the dolomite in Baizuo Formation of Huize, Yunnan (①: dolomite; scale bar = 0.5 mm)

分析误差小于 0.1‰。

### 3 白云岩地球化学特征

#### 3.1 岩石学特征

通过野外和室内对会泽地区白云岩岩石学研究显示,该区白云岩岩石类型主要为中、粗晶白云岩(图 3 A)。白云岩呈灰—灰白色、米黄色、肉红色,块状构造,呈中—粗晶晶粒结构,在野外刀砍状条纹发育明显,节理裂隙较发育,部分裂隙见石英脉充填。白云石粒度约 0.25 ~ 1.00 mm,呈自形—半自形晶,含量一般大于 95%,方解石多呈残余晶体零星分布于自形白云石晶粒间,含量 3.5% ~ 5.5%,此外,还

含有少量方铅矿、闪锌矿、褐铁矿和微粒金属矿物约 0.4% ~ 1.0%。

#### 3.2 地球化学特征

研究区白云岩主量、微量元素分析结果见表 1。

##### 3.2.1 主量元素

MgO 含量位于 29% ~ 32% 之间, CaO 含量位于 17% ~ 22% 之间; 由 MgO—CaO 交会图可以看出, MgO—CaO 呈线性负相关, 反映白云石是交代或重结晶成因而非沉积成因的<sup>[2]</sup>(图 5)。

##### 3.2.2 稀土元素

稀土元素(REE)中能够反映白云岩成因环境的主要是 Eu 异常和 Ce 异常。Eu 的富集与亏损主要取

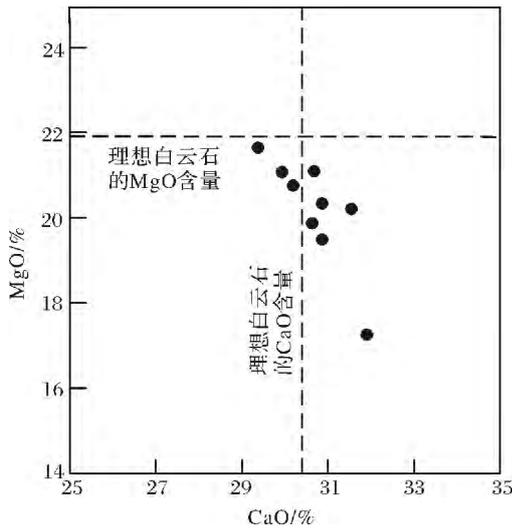


图 5 MgO—CaO 交会图  
Fig. 5 Cross-plot of MgO—CaO

决于含钙造岩矿物的聚集和迁移; Ce 反映了表生作用的氧化条件,在氧化条件下亏损,在缺氧条件下富集<sup>[21-22]</sup>。本区白云岩稀土元素总量介于 6.7 ~ 41.2 μg/g 之间,平均值为 24.35 μg/g,总体上处于正常海相碳酸盐岩 ΣREE 变化范围内(海相碳酸盐岩 ΣREE 值一般低于 100 μg/g)<sup>[23]</sup>,轻稀土元素富集。白云岩稀土元素配分模式显示(图 6),Ce 异常呈现弱负异常, Eu 呈现弱负异常。

3.2.3 微量元素

元素 Sr 的含量往往反映介质的盐度,现代海水的 Sr 含量大约为 1 000 ~ 1 200 μg/g<sup>[21-24]</sup>。本区白云

岩 Sr 含量主体介于 39 ~ 135 μg/g 之间,平均 81.8 μg/g。考虑到摆佐组浅海相沉积背景和后期较强的改造作用,且 Sr 已大量流失,白云岩中较低的 Sr 含量可能说明了白云岩是后期埋藏成岩作用过程中形成的<sup>[21]</sup>,白云化时间较晚。白云岩中 Ba 含量集中在 4 μg/g 左右,略低于一般正常海相碳酸盐的标准; Sr/Ba 比值介于 7.7 ~ 70.2 之间,平均值接近 30 左右,表明白云岩在深埋过程中所形成时水介质盐度较高<sup>[21-22]</sup>。

3.3 碳、氧同位素

碳酸盐岩中的稳定碳、氧同位素组成可以用来定量的恢复沉积环境的古盐度和古水温,确定成岩环境,查明沉积物形成后的大气淡水参与成岩作用的强度以及研究白云岩的形成机理<sup>[6]</sup>。研究区白云岩碳、氧同位素测试结果见表 2。表 2 反映出白云岩 δ<sup>13</sup>C 最低值 -1.12‰,最高值 0.75‰,平均值为 -0.28‰; δ<sup>18</sup>O 最低值 -8.24‰,最高值为 -6.81‰,平均值为 -7.51‰。根据 Keith and Weber(1964)<sup>[25]</sup>利用 δ<sup>18</sup>O、δ<sup>13</sup>C 值导出经验公式  $Z = 2.048 \times (\delta^{13}C + 50) + 0.498 \times (\delta^{18}O + 50)$ ,  $T = 14.8 - 5.41 \times \delta^{18}O$ , 计算了白云岩形成的盐度和温度(表 2)。表 2 显示本区白云岩 Z 值都在在 121 ~ 125 之间,平均为 123,表明会泽地区白云岩可能形成于超咸浓缩海水以及较高的温度条件下,说明研究区的白云岩主要属于埋藏作用成因,其成岩流体可能代表了沉积物埋藏过程中古海水的浓缩。根据成岩温度计算结果,本区白云岩成岩温度在 51.64 °C ~ 59.38 °C 之间,平均为 55.42 °C。

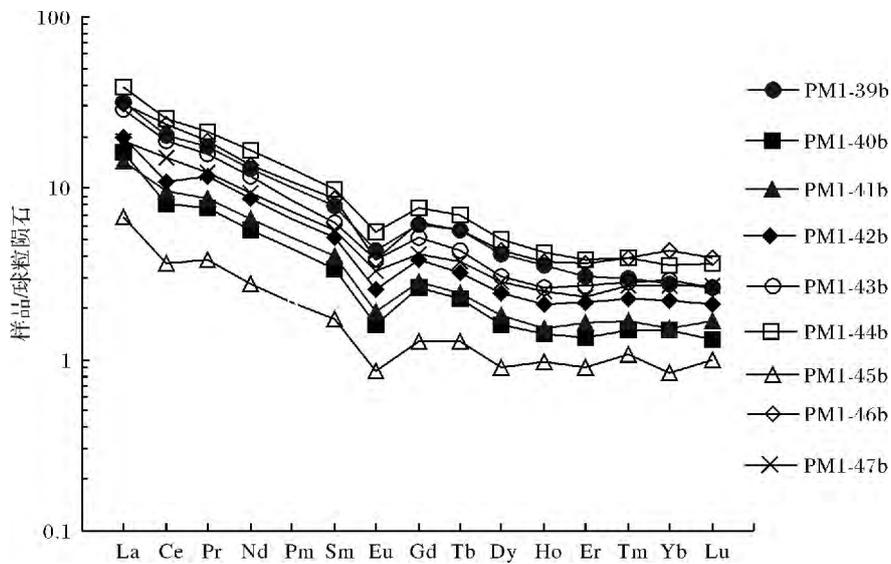


图 6 会泽地区白云岩稀土元素配分模式  
Fig. 6 REE distributions of dolomites in the Baizuo Formation of Huize area

表1 摆佐组白云岩微量元素含量( $\mu\text{g/g}$ )Table 1 Trace element( $\mu\text{g/g}$ ) of dolomites in the Baizuo Formation of the Huize Basin

| 样品编号    | 岩性    | Cao   | Mgo   | Sr   | Ba   | Sr/Ba | La   | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| PM1-39b | 粗晶白云岩 | 30.68 | 21.12 | 64.5 | 3.34 | 19.3  | 7.53 | 12.5 | 1.64 | 6.11 | 1.19 |
| PM1-40b | 中晶白云岩 | 29.02 | 21.73 | 39.6 | 5.12 | 7.7   | 3.86 | 4.92 | 0.72 | 2.64 | 0.52 |
| PM1-41b | 粗晶白云岩 | 31.96 | 17.28 | 78.8 | 4.51 | 17.5  | 3.43 | 5.83 | 0.83 | 3.05 | 0.62 |
| PM1-42b | 中晶白云岩 | 31.56 | 20.16 | 106  | 5.80 | 18.3  | 4.70 | 6.64 | 1.12 | 4.03 | 0.79 |
| PM1-43b | 粗晶白云岩 | 30.79 | 19.47 | 70.6 | 2.84 | 24.9  | 6.86 | 11.4 | 1.50 | 5.46 | 0.95 |
| PM1-44b | 中晶白云岩 | 30.15 | 20.77 | 118  | 1.94 | 60.8  | 9.24 | 15.5 | 2.02 | 7.80 | 1.52 |
| PM1-45b | 粗晶白云岩 | 30.8  | 20.36 | 67.1 | 2.68 | 25.0  | 1.62 | 2.21 | 0.36 | 1.28 | 0.26 |
| PM1-46b | 中晶白云岩 | 30.68 | 19.88 | 58.0 | 2.08 | 27.9  | 7.26 | 14.4 | 1.78 | 6.35 | 1.33 |
| PM1-47b | 粗晶白云岩 | 29.92 | 21.06 | 134  | 1.91 | 70.2  | 4.43 | 9.09 | 1.16 | 4.32 | 0.86 |

续表1 摆佐组白云岩微量元素含量( $\mu\text{g/g}$ )Table 1 Trace element( $\mu\text{g/g}$ ) of dolomites in the Baizuo Formation of the Huize Basin

| 样品编号    | 岩性    | Eu    | Gd   | Tb    | Dy   | Ho    | Er   | Tm    | Yb   | Lu    | Y    |
|---------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| PM1-39b | 粗晶白云岩 | 0.25  | 1.26 | 0.21  | 1.05 | 0.20  | 0.51 | 0.075 | 0.47 | 0.066 | 6.89 |
| PM1-40b | 中晶白云岩 | 0.093 | 0.54 | 0.084 | 0.40 | 0.080 | 0.22 | 0.038 | 0.25 | 0.033 | 2.99 |
| PM1-41b | 粗晶白云岩 | 0.11  | 0.58 | 0.090 | 0.46 | 0.086 | 0.27 | 0.043 | 0.26 | 0.042 | 3.17 |
| PM1-42b | 中晶白云岩 | 0.15  | 0.78 | 0.12  | 0.62 | 0.12  | 0.36 | 0.057 | 0.37 | 0.053 | 4.22 |
| PM1-43b | 粗晶白云岩 | 0.22  | 1.07 | 0.16  | 0.78 | 0.15  | 0.44 | 0.072 | 0.49 | 0.066 | 5.39 |
| PM1-44b | 中晶白云岩 | 0.32  | 1.56 | 0.26  | 1.27 | 0.24  | 0.63 | 0.10  | 0.60 | 0.091 | 8.04 |
| PM1-45b | 粗晶白云岩 | 0.049 | 0.26 | 0.048 | 0.23 | 0.055 | 0.15 | 0.027 | 0.14 | 0.025 | 2.06 |
| PM1-46b | 中晶白云岩 | 0.22  | 1.30 | 0.21  | 1.09 | 0.21  | 0.60 | 0.10  | 0.73 | 0.10  | 5.92 |
| PM1-47b | 粗晶白云岩 | 0.19  | 0.85 | 0.14  | 0.72 | 0.14  | 0.38 | 0.069 | 0.46 | 0.069 | 4.01 |

续表1 摆佐组白云岩微量元素含量( $\mu\text{g/g}$ )Table 1 Trace element( $\mu\text{g/g}$ ) of dolomites in the Baizuo Formation of the Huize Basin

| 样品编号    | 岩性    | $\Sigma\text{REE}$ | LREE  | HREE | LREE/HREE | $\text{La}_N/\text{Yb}_N$ | $\delta\text{Eu}$ | $\delta\text{Ce}$ |
|---------|-------|--------------------|-------|------|-----------|---------------------------|-------------------|-------------------|
| PM1-39b | 粗晶白云岩 | 33.06              | 29.22 | 3.84 | 7.61      | 11.49                     | 0.62              | 0.83              |
| PM1-40b | 中晶白云岩 | 14.40              | 12.75 | 1.65 | 7.75      | 11.08                     | 0.53              | 0.67              |
| PM1-41b | 粗晶白云岩 | 15.70              | 13.87 | 1.83 | 7.58      | 9.46                      | 0.55              | 0.82              |
| PM1-42b | 中晶白云岩 | 19.91              | 17.43 | 2.48 | 7.03      | 9.11                      | 0.58              | 0.69              |
| PM1-43b | 粗晶白云岩 | 29.62              | 26.39 | 3.23 | 8.18      | 10.04                     | 0.66              | 0.83              |
| PM1-44b | 中晶白云岩 | 41.15              | 36.40 | 4.75 | 7.66      | 11.05                     | 0.63              | 0.84              |
| PM1-45b | 粗晶白云岩 | 6.71               | 5.78  | 0.94 | 6.18      | 8.30                      | 0.57              | 0.68              |
| PM1-46b | 中晶白云岩 | 35.68              | 31.34 | 4.34 | 7.22      | 7.13                      | 0.51              | 0.95              |
| PM1-47b | 粗晶白云岩 | 22.88              | 20.05 | 2.83 | 7.09      | 6.91                      | 0.67              | 0.96              |

表2 白云岩 C、O 同位素组成及盐度和温度

Table 2 Salinity and temperature reflected by the oxygen isotope of dolomite

| 样品编号    | 岩石    | 地层     | $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$ | $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$ | 盐度指数 Z | 温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 埋藏深度/m   |
|---------|-------|--------|---|---|--------|------------------------|----------|
| PM1-39b | 粗晶白云岩 | $C_1b$ | 0.75  | -7.42                                       | 125    | 54.94                  | 1 197.69 |
| PM1-40b | 中晶白云岩 | $C_1b$ | -1.08                                       | -8.11                                       | 121    | 58.68                  | 1 347.00 |
| PM1-41b | 粗晶白云岩 | $C_1b$ | -1.12                                       | -7.11                                       | 121    | 53.27                  | 1 130.60 |
| PM1-42b | 中晶白云岩 | $C_1b$ | 0.11  | -7.93                                       | 124    | 57.70                  | 1 308.05 |
| PM1-43b | 粗晶白云岩 | $C_1b$ | 0.53  | -7.56                                       | 125    | 55.70                  | 1 228.00 |
| PM1-44b | 中晶白云岩 | $C_1b$ | 0.31  | -6.81                                       | 125    | 51.64                  | 1 065.68 |
| PM1-45b | 中晶白云岩 | $C_1b$ | 0.56  | -7.33                                       | 125    | 54.46                  | 1 178.21 |
| PM1-46b | 中晶白云岩 | $C_1b$ | -0.18                                       | -7.06                                       | 123    | 52.99                  | 1 119.78 |
| PM1-47b | 粗晶白云岩 | $C_1b$ | -0.33                                       | -8.24                                       | 123    | 59.38                  | 1 375.14 |

(表2)。假定白云岩形成时表面温度为 25℃, 地热梯度 2.5℃/100 m<sup>[21]</sup>, 推测该地区白云岩形成平均深度约为 1 065 ~ 1 376 m, 为中深埋藏环境, 根据区域地层资料区域构造演化史推测, 其白云岩化时间可能发生于二叠纪, 属后生白云岩, 诚然, 这一认识需要进一步工作加以证明。在 Hird<sup>[11,21]</sup> 等的白云岩碳—氧同位素比值判别图上(图6) 会泽地区白云岩 C、O 同位素投点主要出现在埋藏成因(M1, M2) 的区域内及其周围, 反映了白云岩为埋藏成因, 同时样品的碳—氧同位素比值接近线性排列的现象, 表明研究区白云岩样品经历了非常长时间的、充分的成岩作用, 与岩石埋藏作用成因的结论一致。

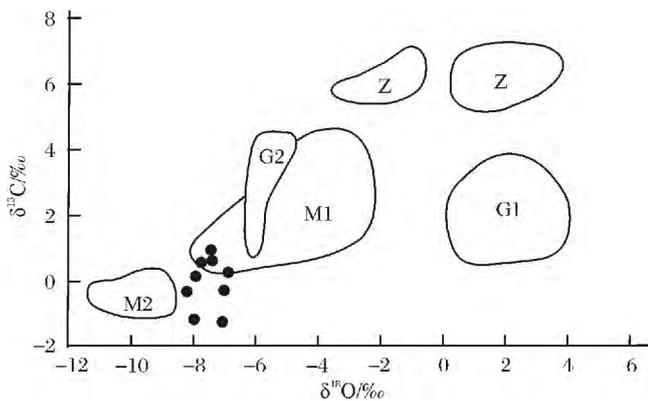


图7 会泽盆地白云岩  $\delta^{13}\text{C}$ — $\delta^{18}\text{O}$  变化关系和成因判别<sup>[6]</sup>  
(据 Hird, 1987)

Z. 渗透回流成因; G1. 混合水成因; G2. 埋藏成因的含铁白云石;  
M1. 埋藏成因(含泥岩脱水作用); M2. 埋藏成因的白云石胶结物

Fig. 7 Discrimination diagram showing the relationship of  $\delta^{13}\text{C}$ — $\delta^{18}\text{O}$  and dolomites genesis of the Huize Basin

Z. seepage reflux dolomites; G1. mixed-water dolomites; G2. burial genetic ferroan dolomites; M1. burial genetic dolomites( including mudstone deaquation); M2. burial genetic dolomite cements

## 4 讨论与结论

(1) 云南会泽石炭系摆佐组白云岩主要由中、粗晶白云岩组成; 白云岩 Sr 含量较低, 可能是后期埋藏成岩作用过程中形成的, 且白云化时间较晚, Sr 已经大量流失。

(2) 云南会泽石炭系摆佐组白云岩轻稀土元素富集, 这可能与埋藏期间流体活动对稀土元素的整体带入有关<sup>[6]</sup>。白云岩稀土元素配分模式显示 Ce 异常呈现弱负异常, 主要是由于  $\text{Ce}^{3+}$  将不断被氧化成相对易溶的  $\text{Ce}^{4+}$  离子被迁移而贫化。同时 Eu 也呈现弱负异常, 根据韩润生等<sup>[13]</sup> 对会泽地区超大型铅锌(银、锗)矿床研究表明石炭系摆佐组地层稀土元

素分布模式与矿石、方解石稀土模式差异甚大, 显示成矿与摆佐组地层无直接的血缘关系。推测摆佐组白云岩的 Eu 负异常可能为源区的白云岩产生化学风化作用, Eu 在化学风化过程中被优先带出而造成的。

(3) 碳、氧同位素表明白云岩经历了较长时间的、充分的成岩作用, 成岩期间具有较高的盐度指数 Z 值和成岩温度, 推测该地区白云岩为中深埋藏环境, 根据区域地层资料、区域构造演化史推测其白云岩化时间可能发生于二叠纪, 属后生白云岩, 诚然, 这一认识需要进一步工作加以证明。

(4) 总体来看, 本区白云岩在岩石学特征上具有半自形—自形结构, 主量元素 MgO—CaO 呈线性负相关, 表明了研究区白云岩是交代或重结晶成因而非沉积成因的, 同时碳、氧同位素结果显示其盐度指数和成岩温度较高, 综合分析认为本区白云岩成因为埋藏成因, 并且在后期可能受到了构造作用和地壳抬升作用的影响, 使白云岩产生化学风化作用, 造成 Eu 的负异常, 这可能与滇东北地区印支—海西阶段所形成的拉张和垂直升降运动有关。

## 参考文献 (References)

- Warren J. Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations [J]. *Earth Science Reviews*, 2000, 52: 1-81
- 赵文智, 沈安江, 胡素云, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系白云岩储层类型与分布特征 [J]. *岩石学报*, 2012, 28(3): 758-768 [Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Hu Suyun, et al. Types and distributional features of Cambrian-Ordovician dolostone reservoirs in Tarim Basin, northwestern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(3): 758-768]
- 黄思静, 吕杰, 兰叶芳, 等. 四川盆地西部中二叠统白云岩/石的主要结构类型——兼论其与川东北上二叠统—三叠系白云岩/石的差异 [J]. *岩石学报*, 2011, 27(8): 2253-2262 [Huang Sijing, Lü Jie, Lan Yefang, et al. The main texture of dolomite of Middle Permian, western Sichuan Basin: Concurrently on the differences with Upper Permian-Triassic Northeast Sichuan Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(8): 2253-2262]
- 苏中堂, 陈洪德, 徐粉燕, 等. 鄂尔多斯盆地马家沟组白云岩地球化学特征及白云岩化机制分析 [J]. *岩石学报*, 2011, 27(8): 2230-2238 [Su Zhongtang, Chen Hongde, Xu Fenyang, et al. Geochemistry and dolomitization mechanism of Majiagou dolomites in Ordovician, Ordos, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(8): 2230-2238]
- Feng Z Z, Jin Z K. Types and origin of dolostones in the Lower Palaeozoic of the North China Platform [J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 93(3-4): 279-290
- 李振宏, 杨永恒. 白云岩成因研究现状及其进展 [J]. *油气地质与采收率*, 2005, 12(2): 5-9 [Li Zhenhong, Yang Yongheng. Present situa-

- tion and progress of research on dolomite genesis [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency* 2005, 12(2): 5-9]
- 7 张学丰, 胡文璋, 张军涛. 白云岩成因相关问题及主要形成模式 [J]. *地质科技情报* 2006, 25(5): 32-40 [Zhang Xuefeng, Hu Wenxuan, Zhang Juntao. Critical problems for dolomite formation and dolomitization models [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25(5): 32-40]
  - 8 Gill I P, Moore C H, Aharon P. Evaporitic mixed-water dolomitization on St. Croix, U. S. V. I. J [J]. *Sedimentary Geology*, 1995, 65: 591-604
  - 9 Daniel W M, Judith A M, Paul A M. Dhabi Habkha Persian Gulf revisited: Application of strontium isotope to test an early dolomitization model [J]. *Geology*, 1990, 18: 618-621
  - 10 Humphrey J D, Quinn T M. Coastal mixing zone dolomite forward modeling, and Massive dolomitization of platform margin carbonates [J]. *Sedimentary Petrology*, 1989, 59: 438-454
  - 11 Hird P L. The composition of carbonate an oxygen isotope in the ancient dolomite [J]. *AAPG Bulletin*, 1987, 34(4): 156-232
  - 12 柳贺昌, 林文达. 滇东北铅锌银矿床规律研究 [M]. 昆明: 云南大学出版社, 1999: 32-75 [Liu Hechang, Lin Wenda. Study of the Lead-zinc-silver Deposit Law in Northeastern Yunnan Province [M]. Kunming: Yunnan University Press, 1999: 32-75]
  - 13 韩润生, 陈进, 黄智龙, 等. 构造成矿动力学及隐伏矿定位预测: 以云南会泽超大型铅锌(银、锗)矿床为例 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-79 [Han Runsheng, Chen Jin, Huang Zhilong, et al. Dynamics of Tectonic Ore-forming Processes and Localization-prognosis of Concealed Orebodies—As exemplified by the Huize Super-large Zn-Pb(Ag-Ge) District, Yunnan [M]. Beijing: Science Press, 2006: 1-79]
  - 14 Zhou C X, Wei C S, Guo J Y, et al. The source of metals in the Qilingchang Pb-Zn deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints [J]. *Economic Geology*, 2001, 96: 583-598
  - 15 李文博. 云南会泽超大型铅锌矿床成矿时代及地球化学 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2004: 12-35 [Li Wenbo. Mineralization age and geochemistry of the Huize giant lead-zinc deposits [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2004: 12-35]
  - 16 李文博, 黄智龙, 张冠. 云南会泽铅锌矿田成矿物质来源: Pb、S、C、H、O、Sr 同位素制约 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(10): 2567-2580 [Li Wenbo, Huang Zhilong, Zhang Guan. Sources of the ore metals the Huize ore field in Yunnan province: constraints from Pb, S, C, H, O and Sr isotope geochemistry [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(10): 2567-2580]
  - 17 张振亮. 云南会泽铅锌矿床成矿流体性质和来源——来自流体包裹体和水-岩反应实验的研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006: 23-46 [Zhang Zhenliang. Ore-forming fluid nature and sources—from fluid inclusions and water-rock reaction experiments in Huize lead-zinc deposits [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2006: 23-46]
  - 18 成都地质矿产研究所. 东南亚地区地质矿产对比研究项目成果报告 [R]. 成都: 成都地质矿产研究所, 2006: 58-135 [Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources. Project report of the comparative study of the geology and mineral resources of Southeast Asia [R]. Chengdu: Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, 2006: 58-135]
  - 19 张亚辉, 张世涛. 云南文山官房钨矿床花岗岩地球化学特征及其地质意义 [J]. *地质与勘探*, 2011, 47(6): 1002-1008 [Zhang Yahui, Zhang Shitao. Geochemical characteristics of granite in the Guanfang tungsten deposit of Wenshan, Yunnan province and its geological implications [J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47(6): 1002-1008]
  - 20 魏喜, 祝永军, 许红, 等. 西沙群岛新近纪白云岩形成条件的探讨: C、O 同位素和流体包裹体证据 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(9): 2394-2404 [Wei Xi, Zhu Yongjun, Xu Hong, et al. Discussion on Neogene dolostone forming condition in Xisha Islands: Evidence from isotope C and O and fluid inclusions [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(9): 2394-2404]
  - 21 李亚林, 黄永建, 王成善, 等. 西藏措勤盆地白垩系白云岩地球化学特征及其成因分析 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(3): 609-615 [Li Yalin, Huan Yongjian, Wang Chengshan, et al. Geochemical characteristics and genetic analysis of the Cretaceous in the Cuoqin Basin, Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(3): 609-615]
  - 22 黄思静, Hairuo Qing, 胡作维, 等. 四川盆地东北部三叠系飞仙关组碳酸盐岩作用和白云岩成因的研究现状和存在问题 [J]. *地球科学进展* 2007, 22(5): 495-503 [Huang Sijing, Hairuo Qing, Hu Zhuwei, et al. The diagenesis and dolomitization of the Feixianguan Carbonates of Triassic in NE Sichuan Basin: An overview [J]. *Advance in Earth Science*, 2007, 22(5): 495-503]
  - 23 Qing Hairuo, Mountjoy E W. Rare earth element geochemistry of dolomites in Middle Devonian Presquile Barrier, western Canada sedimentary Basin: implication for fluid rations during dolomitization [J]. *Sedimentology*, 1994, 41: 787-804
  - 24 黄成刚, 黄思静, 吴素娟, 等. 100 Ma 来海水的锶同位素组成演化及主要控制因素 [J]. *地球科学与环境学报*, 2006, 28(2): 19-24 [Huang Chenggang, Huang Sijing, Wu Sujuan, et al. Sr-isotope composition and evolution in sea water over past 100 Ma and control factors [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2006, 28(2): 19-24]
  - 25 Keith M L, Weber J N. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestone and fossils [J]. *Acta Geochimica et Cosmochimica*, 1964, 28: 1787-1816

## Geochemical Characteristics and Genetic Analysis of Carboniferous Dolomite in Huize Basin ,Yunnan

MA Hong-Jie<sup>1</sup> ZHANG Shi-tao<sup>2</sup> CHEN Xian-feng<sup>3</sup> SUI Su-gang<sup>2 4</sup>

(1. Zhejiang Institute of Geological Survey ,Hangzhou 311203;

2. Kunming University of Science and Technology ,Kunming 650093;

3. Yunnan State Land Resources Vocational College ,Kunming 650217;

4. Kunming Prospecting Design Institute of China Nonferrous Metal Industry ,Kunming 650224)

**Abstract:** The dolomite of Carboniferous in Baizuo Formation in Huize ,Yunnan was studied by several methods such as petrological analysis ,geochemistry analysis and isotope ,in order to understand its geochemical characteristics and genesis. The study area is located in central Yunnan ( Kunming) Mesozoic uplift zone ,which belongs to the Yangtze micro-continent of the South China block group. The dolomite rock is mainly characterized by colors in gray-white gray ,flesh red ,beige ,and coarse-grained dolomite ,and it has the subhedral-euhedral structure. The analysis based on MgO—CaO indicates that the formation of the dolomite is due to the accountable or recrystallization ,and is not due to the sedimentation. The trace elements analysis shows that the content of Sr in the dolomite rock is low. It indicates that the dolomite may be formed in post-burial genesis and the time of dolomitization is late ,Therefore ,Sr had been an abundant loss ,consequently ,the Sr/Ba ratio is relatively high. The result indicates that the medium of water is high in salinity when the dolomite is under diagenesis in deep burial. The distribution pattern of rare earth elements shows a negative anomaly of Ce and Eu.  $Ce^{3+}$  ions is negative anomaly because  $Ce^{3+}$  was oxidized to the soluble  $Ce^{4+}$  ions. Eu is negative anomaly because it was brought out in priority in the chemical weathering process. According to the carbon and oxygen isotope ,a relatively higher salinity index( 121 ~ 125) and diagenetic temperature ( 52. 40°C ~ 69. 44°C) were observed. It indicates that the illuminced dolostones were formed under the high concentrated salinity and high temperature. We inferred that the dolomite in the region was in deep burial environment. According to the report of the regional stratigraphy investigation and regional tectonic evolution ,We speculated that the time of the dolomitization may occur in the Permian ,and it should belong to the epigenetic dolomite. We concluded that the dolomite in Huizhe was formed under deep burial conditions. Due to the structure function and the influence of the earth's crust uplift ,the Baizuo Formation was raised to the earth surface and the dolomite in this formation experienced the chemical weathering ,then created the negative anomalies of Eu. This may be related to the tensile and vertical lifting movements of Indo-China-Hercynian stage in the Northeast Yunnan.

**Key words:** Carboniferous; dolomite; geochemical characteristics; genesis; Yunnan Huize