

## 【研究简报】

## 我国发现元古代变质水下喷发碳酸熔岩

张永北 魏启荣 徐成彦 王 豪

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

关键词 碳酸熔岩 水下喷发 元古代 浅变质岩 昆阳裂谷

## 1 地质产出

已发现的元古代变质水下喷发碳酸熔岩位于滇中武定西矿带观天厂区段(相当于中元古代昆阳裂谷中段武定海盆之西缘), 赋存于昆阳群因民组顶部至落雪组下部, 分布于观天厂环形构造内已发现的火山机构外侧核桃箐、大箐、观天、老鸣哨等地(图1(a)). 在火山斜坡熔岩的厚度只有十余米, 而在洼地其厚度超过150 m, 上、下整合于海相沉积地层, 如叠层石白云岩、白云岩、层火山碎屑岩中, 横向上消失于层凝灰岩中(图1(b)).

## 2 岩石学及矿物学

## 2.1 岩石学特征

岩石呈乳白、肉红、米黄、灰至深灰等色. 他形细粒结构为主, 隐晶、粗晶结构为次, 偶见斑状结构, 常见带状、流纹状、火山碎屑流动构造. 矿物组成以铁白云石、白云石为主, 也有黑云母、金云母、钠长-更长石、钠铁闪石(观天)、微斜长石等火成碳酸岩中常见的硅酸盐矿物; 常见锆石、金红石、氟磷灰石、钙钛矿、直氟碳铈铌矿<sup>[1]</sup>(?)、磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿等副矿物; 同时还混有部分火山碎屑, 包括钠-更长石、熔蚀白云石、熔蚀石英等晶屑, 二长岩屑、碳酸质浆屑(观天)等. 由于海水混入, 岩石受热液蚀变强烈, 常见绿泥石化、绿帘石化、绢云母化等.

## 2.2 矿物学特征

第一世代白云石与上列硅酸盐矿物一致, 含有锆石、金红石、氟磷灰石、白云石、金云母、钠长石等自形微晶包裹体, 碳酸质、粗面质、粗安质熔融包裹

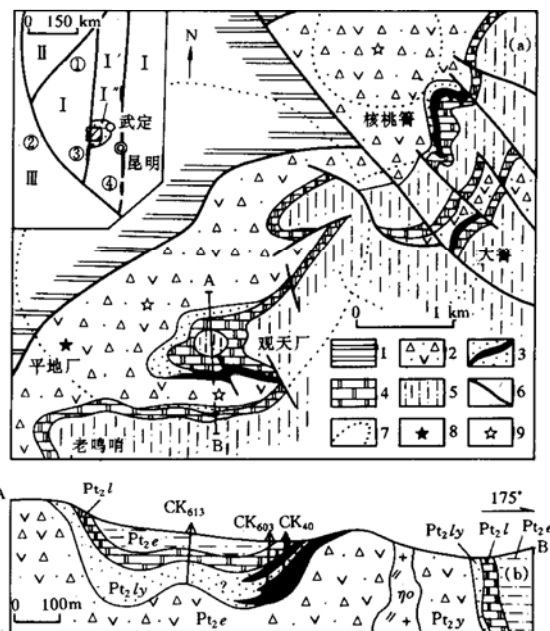


图1 观天厂区段地质简图(a)及观天厂喷出碳酸岩剖面图(b)

I——扬子地台, I'——昆阳裂谷, I''——武定海盆, II——松潘-甘孜褶皱系, III——三江褶皱系. ①——龙门山断裂, ②——金沙江-红河断裂, ③——绿汁江断裂, ④——小江断裂. 左上角附图中阴影部分为工作区. 1——美党组( $Pt_2m$ )板岩, 2——因民组( $Pt_2y$ )火山碎屑沉积, 3——因民组顶部-落雪组下部碳酸熔岩(黑色)及碳酸质火山碎屑岩, 4——落雪组( $Pt_2l$ )沉积白云岩, 5——鹅头厂组( $Pt_2e$ )泥岩、砂岩、炭质泥岩, 6——断层, 7——环形构造, 8——实测火山口, 9——推测火山口.  $\eta$ ——钠长岩体, CK——钻孔.

体, 原生流体包裹体均一温度可分为  $>450^\circ\text{C}$  及  $400\sim 250^\circ\text{C}$  两组, 与世界碳酸岩一致.  $450\sim$

400℃ 是快速降温域, 相应的流体包裹体数量减少, 与岩浆喷发过程吻合。

第一世代白云石晶体与其熔融包裹体化学成分相近(表 1 中 A, B)。而第二、三世代白云石为变质矿物, 呈次生加大边及脉状, 与相邻沉积变质改造白云石一样, 只有少量碳磷灰石及赤铁矿包体, 流体包裹体简单、小、少, 均一温度与第一世代次生包裹体一致, 为 100~200℃, 化学成分(表 1 中 H)以富 MgO, 贫  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ , 低 MnO 为特征,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  也明显偏低。

表 1 碳酸质熔融包裹体、白云石、白云岩全岩化学成分表(%)

| 岩石矿物<br>氧 化 物           | A <sup>a)</sup> | B <sup>a)</sup> | C     | D     | E     | F     | G     | H <sup>a)</sup> | I     | J     |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| $\text{SiO}_2$          | 0.25            | 0.31            | 0.36  | 5.01  | 6.50  | 4.57  | 0.36  | 0.16            | 2.06  | 11.15 |
| $\text{TiO}_2$          | —               | 0.05            | 0.22  | 2.00  | 0.40  | 0.16  | —     | 0.01            | 0.02  | 0.04  |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | —               | 0.10            | 0.75  | 3.14  | 1.64  | 2.10  | 0.80  | 0.01            | 1.01  | 0.38  |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 5.72            | 7.50            | 1.99  | 2.45  | 1.03  | 2.13  | 7.72  | 1.01            | 0.77  | 0.57  |
| FeO                     |                 |                 | 8.30  | 8.34  | 5.99  | 7.43  |       |                 | 2.20  | 0.58  |
| MnO                     | 1.54            | 1.13            | 1.58  | 1.55  | 0.53  | 2.02  | 0.99  | 0.07            | 0.15  | 0.30  |
| MgO                     | 12.89           | 11.34           | 13.11 | 12.30 | 15.27 | 10.01 | 13.70 | 21.55           | 19.34 | 18.41 |
| CaO                     | 29.10           | 28.44           | 28.97 | 29.31 | 27.51 | 27.12 | 31.43 | 29.74           | 28.93 | 26.57 |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 0.11            | 0.13            | 0.21  | 0.35  | 1.01  | 0.26  | 0.05  | 0.03            | 0.04  | 0.05  |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 0.20            | 0.03            | 0.07  | 0.44  | 0.47  | 0.39  | 0.05  | 0.01            | 0.21  | 0.29  |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 0.12            | 0.19            | 0.16  | 1.03  | 3.01  | 1.75  | 1.01  | 0.03            | 0.04  | 0.09  |
| $\text{CO}_2$           | 50.41           | 41.99           | 43.13 | 35.55 | 35.10 | 36.36 | 41.13 | 46.74           | 44.97 | 40.67 |

a) 电子探针能谱法测试结果,  $\text{CO}_2$  为剩余 O 原子计算结果, 含  $\text{H}_2\text{O}^+$ 。A. 熔融包裹体; B. 火成白云石; C. 纯白云石碳酸岩; D. 含硅酸盐矿物白云石碳酸岩; E. 碳酸岩浆屑; F. 湖北庙垭黑云母白云石碳酸岩; G. 国外铁白云石碳酸岩; H. 变质成因白云石; I, J. 相邻沉积白云岩( $\text{Pt}_2\text{I}$ )

显然, 第一世代白云石是火成矿物, 与后期变质-改造无关。

### 3 地球化学

#### 3.1 岩石地球化学

纯白云石组成的岩石主要化学成分(表 1 中 C)与上述熔融包裹体(表 1 中 A)及第一世代白云石(表 1 中 B)相近, 也与国外铁白云石碳酸岩(A. И. Гинзбург, 1958)(表 1 中 G)相似。含较多硅酸盐矿物者(表 1 中 D)与我国湖北庙垭黑云母白云石碳酸岩<sup>[2]</sup>(表 1 中 F)及火成碳酸岩浆屑(表 1 中 E)相近。与相邻落雪组( $\text{Pt}_2\text{I}$ )沉积碳酸盐岩(表 1 中 I, J)比较, 碳酸熔岩的  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$  明显偏高; CaO 相近; MgO 偏低;  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ;  $\text{SiO}_2$  的变化规律不明显, 含硅质的沉积岩(表 1 中 J)及含较多硅酸盐的碳酸熔岩  $\text{SiO}_2$  都较高。

碳酸熔岩的轻稀土元素富集(表 2),  $\text{LREE}/\text{HREE} = 10 \sim 19$ , 稀土元素总量( $27.03 \sim 141.10$ )  $\times 10^{-6}$ , 仅为世界典型碳酸岩的  $1/25 \sim 1/1\,000$ , 但与四川米仓山及陕西华阳川草滩(铁)白云石碳酸岩<sup>[3]</sup>及附近次火山碳酸岩相近, 与相邻沉积白云岩相比明显偏高(2~60 倍)。个别样品出现 Eu 负异常, 可能与海水热液作用有关。稀土元素总量偏低并非其真实面目。已测得碳酸质熔融包裹体及高温白云石  $\Sigma\text{REE}$  为  $(890 \sim 2\,800) \times 10^{-6}$  以上。全岩  $\Sigma\text{REE}$  偏低可能是熔浆中部分稀土元素被海水溶解所致。

表 2 本区碳酸熔岩与相邻沉积白云岩及秦巴低稀土碳酸岩稀土元素丰度( $\times 10^{-6}$ )

| 编号 | 岩石    | La    | Ce    | Pr   | Nd    | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm    | Yb   | Lu    | Y     | $\Sigma$ REE |
|----|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|--------------|
| 1  | 火成碳酸岩 | 13.30 | 26.63 | 3.11 | 10.90 | 3.05 | 0.51 | 1.82 | 0.58 | 1.86 | 0.38 | 1.13 | 0.17  | 1.14 | 0.82  | 11.27 | 74.79        |
| 2  |       | 23.29 | 42.44 | 5.03 | 18.44 | 3.09 | 0.35 | 2.61 | 0.39 | 2.29 | 0.06 | 1.24 | 0.18  | 1.13 | 0.17  | 18.89 | 113.80       |
| 3  |       | 7.22  | 11.24 | 1.17 | 3.52  | 0.47 | 0.08 | 0.39 | 0.05 | 0.33 | 0.07 | 0.17 | 0.03  | 0.14 | 0.02  | 2.12  | 27.03        |
| 4  |       | 6.51  | 9.91  | 1.19 | 3.85  | 0.68 | 0.21 | 0.68 | 0.24 | 0.54 | 0.15 | 0.36 | 0.11  | 0.28 | 0.05  | 2.95  | 27.71        |
| 5  |       | 36.44 | 69.81 | 8.52 | 27.57 | 4.40 | 1.33 | 3.39 | 0.61 | 2.58 | 0.56 | 1.55 | 0.25  | 1.42 | 0.21  | 14.12 | 172.77       |
| 6  | 白云岩   | 1.91  | 4.70  | 0.77 | 2.32  | 0.60 | 0.19 | 0.54 | 0.08 | 0.52 | 0.09 | 0.21 | 0.03  | 0.13 | 0.02  | 2.32  | 14.44        |
| 7  |       | 0.45  | 0.88  | 0.33 | 0.39  | 0.12 | 0.02 | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.004 | 0.01 | 0.004 | 0.30  | 2.62         |

1, 2——观天厂碳酸熔岩; 3——核桃箐碳酸熔岩; 4——陕西华阳川草滩白云石碳酸岩; 5——四川米仓山白云石碳酸岩; 6——平地厂落雪组( $Pt_2l$ ); 7——老鸣哨落雪组( $Pt_2l$ )白云岩

表 3 表明, 观天厂碳酸熔岩的 Nb, Ta, Zr, Hf, U, Th, Sr, Ba, Rb 等不相容元素大多较相邻沉积白云岩的偏高 1~2 个数量级. 与秦巴地区低稀土碳酸岩比较, Rb, Ba, Zr, U 明显偏高; 与富稀土的石英碳酸岩<sup>[3]</sup>比较, 其 Rb, Zr 偏高, Sr, Nb, U, Th 明显偏低, Ba, Ta 相近.

表 3 本区碳酸熔岩、沉积白云岩、秦巴低稀土碳酸岩微量元素丰度( $\times 10^{-6}$ )

| 元素           | Htq-7 | Dq-2  | Dq-4  | Gtc-5 | MCS    | TPG   | LN        | HY       | Ptc-2 | Lws-11 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-----------|----------|-------|--------|
| Rb           | 26.9  | 143.4 | 66.1  | 203.9 | 1.7    | 2.51  | 38.4      | 2.97     | 4.2   | 5.4    |
| Sr           | 249   | 97    | 179   | 71    | 817    | —     | 82869     | 7272     | 103   | 131    |
| Ba           | 3752  | 839   | 609   | 891   | 77.0   | 38.3  | 263.8     | 5297     | 35    | 64     |
| Zr           | 41.4  | 156.6 | 164.7 | 120.2 | 2.0    | 15.3  | 17.8      | 21.0     | 19.4  | 21.8   |
| Nb           | 5.0   | 11.3  | 7.4   | 7.4   | 15.7   | 6.4   | 135       | 18.8     | 1.60  | <1.0   |
| Ta           | 0.50  | 1.02  | 0.49  | 0.21  | 0.1    | 1.01  | 0.8       | 0.2      | 0.02  | 0.15   |
| U            | 0.14  | 5.49  | 2.02  | 2.52  | 0.78   | 1.78  | 53.9      | 11.1     | 0.54  | 0.00   |
| Th           | 12.6  | 10.7  | 11.8  | 8.7   | 16.3   | 0.2   | 90.6      | 7.4      | 6.9   | 4.4    |
| $\Sigma$ REE | 27.03 | 40.58 | 33.4  | 74.79 | 172.77 | 27.72 | 58 871.41 | 1 176.22 | 20.71 | 14.44  |

Htq-7, Dq-2, Dq-4, Gtc-5——核桃箐、大箐、观天厂碳酸熔岩; Ptc-2, Lws-11——平地厂、老鸣哨落雪组( $Pt_2l$ )白云岩; MCS——为四川米仓山白云石碳酸岩; TPG——陕西华阳川铁岔沟白云石碳酸岩; LN——陕西华阳川洛南石英碳酸岩; HY——华阳川华阴石英碳酸岩

### 3.2 同位素地球化学

连同熔蚀白云石晶屑在内, 白云石  $\delta^{18}O_{SMOW} = +7.11\% \sim +18.48\%$ ,  $\delta^{13}C_{PDB} = -3.01\% \sim +0.89\%$ , 较世界典型侵入碳酸岩( $\delta^{18}O_{PDB} < +10\%$ ,  $\delta^{13}C_{PDB} = -8\% \sim -2\%$ )偏高; 但与国外 Kordor, Tanga, Sinai Pen 等碳酸杂岩富 Fe 相<sup>[4]</sup>( $\delta^{18}O_{SMOW} = +13.7\% \sim +22.1\%$ ,  $\delta^{13}C_{PDB} = -2\% \sim 0\%$ )相近, 也未偏离次火山碳酸岩总体变化范围<sup>[5]</sup>( $\delta^{18}O_{SMOW} = +5.3\% \sim +25.5\%$ ,  $\delta^{13}C_{PDB} = -8.6\% \sim +3.1\%$ ). 本区  $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{13}C$  偏高的原因可能与火山喷发前岩浆分异有关.  $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{13}C$  比值低的白云石主要富 Mg 低 Fe, 且常以晶屑或熔蚀斑晶出现, 是岩浆喷发前结晶的产物; 而比值高的白云石富 Fe, 其流体包裹体均一温度一般为  $400 \sim 250^\circ\text{C}$ , 是岩浆喷发后的结晶物. 这种变化与世界碳酸杂岩富 Mg 相及富 Fe 相的变化规律一致. 由此可见, 碳酸岩浆演化过程中, Fe 富集也伴随  $^{18}O$ ,  $^{13}C$  的富集.

5 件样品中  $\epsilon_{Nd} = -2.90 \sim -4.22$ , 其中 4 件为  $-4.88$ . Sm-Nd 同位素年龄( $1\,708\text{ Ma}$ )与相邻硅酸盐熔岩及火山碎屑的锆石年龄( $1\,743\text{ Ma}$ <sup>[6]</sup>)相近.  $\epsilon_{Nd}$  为负值, 但数据变化较大. 表

明 Sm-Nd 同位素不同程度地受到壳源物质混染. 所有数据中未出现正值, 可能暗示了物质来源与富集地幔有关.

黄铁矿、黄铜矿的  $\delta^{34}\text{S} = -4.55\text{‰} \sim +5.95\text{‰}$ , 中值为  $+1.54\text{‰}$ , 与相邻沉积白云岩黄铜矿 ( $-3.2\text{‰} \sim +17.9\text{‰}$ , 中值  $+5.52\text{‰}$ ) 明显不同.

## 4 共生岩石组合

已发现的火山机构附近有次火山钠长岩-碳酸岩杂岩和钠化基性岩出露. 区域上有同时代碱性玄武岩和粗安岩<sup>[7]</sup>存在. 与碳酸熔岩共生的主要为粗安质-粗面质-流纹质以及碳酸质层火山碎屑岩. 此外还有黑云粗安质-粗面质硅酸盐岩呈厚层、条带、角砾状混于碳酸熔岩中构成杂岩. 这些粗安质、粗面质硅酸盐岩与硅酸质熔融包裹体的化学成分相近, 由此证明它们是由曾经活动的硅酸质-碳酸质混合岩浆在分异、喷发、流动过程中形成的碱性硅酸盐物质.

## 5 地质意义

(1) 武定观天厂碳酸熔岩的发现表明了我国中元古代扬子地台西缘也有碳酸质火山活动. 其中昆阳裂谷与现代的东非裂谷有相似性.

(2) 昆阳群地质中有两大难解之谜, 其一是“因民角砾岩”的成因, 其二是“刺穿角砾岩体”的成因. 它们可能都与碳酸质火山活动有关.

(3) 昆阳群因民组-落雪组沉积时期火山地质研究一直是薄弱环节, 碳酸质火山岩的发现将打开该研究新局面.

(4) 碳酸熔岩及其碳酸质次火山岩是重要含 Cu 岩石, Cu 丰度为  $(280 \sim 5\,000) \times 10^{-6}$ . 它们是昆阳裂谷很有前景的两个新的找矿方向.

**致谢** 本工作为中国有色金属工业总公司资助项目.

## 参 考 文 献

- 1 孙克祥, 沈远仁, 刘国庆, 等. 滇中元古宙铁铜矿床. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 88
- 2 李 石. 湖北庙垭碳酸岩地球化学特征及岩石成因探讨. 地球化学, 1980, (4): 15~21
- 3 邱家骧, 李昌年, 喻学惠, 等. 秦巴碱性岩. 北京: 地质出版社, 1993. 101
- 4 Bogoch R. Dolomite of possible mantle origin southeast Sinai. Chemical Geology, 1986, 56(3/4): 281~288.
- 5 Le Bas M J. Carbonatite magma. Mineralogical Magazine, 1981, 44(334): 133~140.
- 6 李志伟. 浅议“东川式”铜矿成因. 云南地质, 1992, 11(1): 47~51
- 7 熊兴武, 侯蜀光, 薛顺荣. 滇中昆阳群因民组地层学与沉积古地理. 武汉: 中国地质大学出版社, 1995

(1996-12-16 收稿, 1997-04-28 收修改稿)