

文章编号:1009-3850(2011)03-0100-07

# 浙黔桂地区寒武纪硅质岩的地球化学特征及其形成背景

黄 华, 王国芝

(成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

**摘要:**本文采用常量和稀土元素地球化学方法对浙黔桂地区寒武纪硅质岩的形成背景进行了研究。研究表明,硅质岩的  $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$  为  $0.56 \sim 0.87$ ;  $Ce/Ce^*$  为  $0.74 \pm 0.19$ ;  $La_n/Ce_n$  为  $0.90 \sim 1.58$ ;  $La_n/Yb_n$  平均为  $6.38$ 。轻稀土明显富集,这些特征表明研究区硅质岩形成于大陆边缘环境或大陆边缘与深海过渡带。形成于裂陷盆地初期的硅质岩,比古华南残留洋盆和扬子陆块边缘的硅质岩轻稀土元素更加富集。构造拉张期形成的硅质岩为热液成因硅质岩,其稀土配分模式显示出轻稀土相对亏损、Eu 正异常特征;构造稳定期形成的硅质岩为沉积成因硅质岩,稀土配分模式显示出轻稀土相对富集、Eu 弱负异常特征。由硅质岩稀土配分模式的差异性反映出寒武纪时期的拉张为幕式拉张。位于扬子地台边缘的硅质岩所具有的 Ce 负异常,暗示着江南造山带寒武纪后曾发生过由东向西的大规模逆冲推覆。

**关键词:**硅质岩;寒武纪;常量元素;稀土元素

中图分类号:P595

文献标识码:A

已有的研究表明,不同成因和不同背景下形成的硅质岩的常量、微量及稀土元素特征明显不同(Shimizu and Masuda, 1977; Murray et al., 1990, 1991; Murray, 1994; 丁林等, 1995; Holser, 1997; Armstrong et al., 1999)。位于华夏与扬子板块交接部位的江南造山带内寒武系地层中分布有大量的硅质岩,前人的研究主要集中于硅质岩的成因研究,硅质岩的热液沉积成因<sup>[1~3]</sup>已被广泛接受,而对于硅质岩的构造背景的研究较为薄弱。本文旨在从硅质岩的地球化学特征揭示硅质岩形成时的构造背景。

## 1 样品特征及分析结果

用于研究的样品取自于3个不同构造部位的寒武系地层中。样品 ZL17、ZL106 和 WL24 分别取自扬子陆块东南边缘、古华南残留洋盆和江-绍结合带。其中 ZL17 采自贵州镇远, GPS 座标为:  $26^{\circ}57'$

$49.5''$ ,  $108^{\circ}38'33.7''$ ; ZL106 采自广西兴安, GPS 位置为:  $25^{\circ}54'19.7''$ ,  $110^{\circ}12'11.2''$ ; WL 采自浙江十二都, GPS 位置为:  $29^{\circ}46'39''$ ,  $120^{\circ}08'12.9''$ 。所有样品均来自于寒武系牛蹄塘组和清溪组,它们在平面上的分布位置如图1所示。

寒武系牛蹄塘组和清溪组中的硅质岩常呈深灰色,厚  $5 \sim 25$  cm,呈薄层状夹于深灰色泥岩中或与深灰色泥岩呈不等厚互层状。在野外露头上,它们常呈眉骨状突出于深灰色泥岩中;硅质岩与泥质岩界线截然或呈渐变过渡的关系。所有的硅质岩样品中均含有不等量的放射虫和海绵骨针。个别样品具有碳酸盐化,使放射虫和海绵骨针难以识别。

对所有用于分析的代表性样品先经薄片检查,选择裂缝不发育、缺少石英脉充填的样品,经手工碎成细粒后进一步手选,分选出来的样品送实验室分析测试。常量元素在西南冶金地质测试所用湿化学方法分析,微量元素在澳实分析检测(广州)有

收稿日期: 2010-06-17; 改回日期: 2010-06-27

作者简介: 黄华(1985-),女,硕士研究生,岩石地球化学专业。E-mail: huanghua5885@126.com

资助项目: “矿物学、岩石学、矿床学”国家重点(培育)学科建设项目(SZD0407)

限公司用电感偶和等离子体-质谱( ICP-MS) 实验室分析 样品的常量和微量元素分析结果列于表 1。

2 常量元素特征

8 个硅质岩样品中 ,除 WL24S4 外 ,其它样品 SiO<sub>2</sub> 含量都很高 ,均为 80% 以上 ,但都低于纯硅岩的 SiO<sub>2</sub> 含量 ( 91% ~ 99. 8% )<sup>[4]</sup>。 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 0. 81% ~ 7. 51% , Si/Al = 7. 78 ~ 98. 55 ,远低于纯硅岩 ( 80 ~ 1400) 。此外 ,样品的 Si/Al 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 呈很好的负 ( 曲线) 相关关系 ( 图 2) ,表明这些硅质岩含较高比例的陆源泥质沉积物 ,为泥硅岩。

硅质岩的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 相对稳定 ,很少受成岩作用和后期变质作用的影响 ,且 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 的含量主要由陆源物质输入量决定 ,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的富

集则与洋中脊热水组分活动的强度相关。因此 ,硅质岩中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 的含量可作为大陆边缘沉积环境的判别指标 ,而 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量则反映洋中脊组分的影响程度。研究表明 ,Al/( Al + Fe + Mn) 值与离大陆的远近呈反比 ,典型大陆型硅质岩的 Al/( Al + Fe + Mn) 比值为 0. 619 ,典型的深海和半深海生物沉积物 Al/( Al + Fe + Mn) 值为 0. 319 ,而大洋中脊硅质岩则更低 ,Al/( Al + Fe + Mn) 值为 0. 008 ( Baltuck ,1982<sup>[5]</sup>) ;离大陆较近的大陆坡和边缘海环境沉积的硅质岩 MnO/TiO<sub>2</sub> 比值应小于 0. 5 ,而开阔大洋底硅质沉积物的则较高 ,其值可达 0. 5 ~ 3. 1<sup>[6]</sup> ; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 比值的大小与离大陆的远近同样呈反比 ,大陆边缘、大洋盆地和洋中脊的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 范围分别为 0. 5 ~ 0. 9、0. 4 ~ 0. 7 和 < 0. 4<sup>[7]</sup>。

研究区硅质岩样品的 MnO/TiO<sub>2</sub> 比值全部小于 0. 5 ,Al/( Al + Fe + Mn) 比值为 0. 12 ~ 0. 64 ,为大陆边缘型硅质岩 ; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 的值为 0. 56 ~ 0. 87 ,均大于 0. 5 ,落入大洋盆地和大陆边缘硅质岩的范围中。在 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/( 100-SiO<sub>2</sub>) - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/( 100-SiO<sub>2</sub>) 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 图解中<sup>[9]</sup> ( 图 3) ,大部分投点均落入大陆边缘盆地 ,而 1、3、4 号样品则落入大陆边缘附近 ( 图 3a) 或大陆边缘与远洋盆地的重叠区 ( 图 3b) 。这些参数特征表明 ,研究区的硅质岩主要为大陆边缘型硅质岩。

3 稀土元素地球化学特征

研究表明 ,硅质岩的 REE 元素 ,特别是其中 Ce/Ce\* 以及北美页岩平均值 ( NASC) 标准化的 La<sub>n</sub>/Ce<sub>n</sub> 比值 ,可用来有效地判别硅质岩的形成环境。洋中脊附近硅质岩的 Ce 异常 Ce/Ce\* = 0. 30 ± 0. 13 ( Ce 异常 ( Ce/Ce\* ) = 3Ce<sub>n</sub>/( 2La<sub>n</sub> + Nd<sub>n</sub>) )<sup>[10]</sup> , La<sub>n</sub>/Ce<sub>n</sub> ≈ 3. 5; 大洋盆地硅质岩的 Ce/Ce\* = 0. 60 ± 0. 13 ,La<sub>n</sub>/Ce<sub>n</sub> = 1. 0 ~ 2. 5; 大陆边缘硅质岩的 Ce/Ce\* = 1. 09 ± 0. 25 ,La<sub>n</sub>/Ce<sub>n</sub> = 0. 5 ~ 1. 5 ( Murray RW et al. ,1992<sup>[4]</sup>; Armstrong HA et al. ,1999<sup>[11]</sup>) 。研究区样品的 Ce/Ce\* = 0. 74 ± 0. 19 ,平均值 0. 83 ,且 La<sub>n</sub>/Ce<sub>n</sub> 变化范围为 0. 91 ~ 1. 58 ,平均值 1. 19 ,说明研究区硅质岩应为形成于大陆边缘或大陆边缘-大洋盆地的过渡带。

硅质岩的的稀土配分模式也可以较直接地反映出其成因及形成背景。洋中脊及深海平原地区的硅质岩轻稀土亏损 ,而盆地裂隙阶段和残留海阶段由

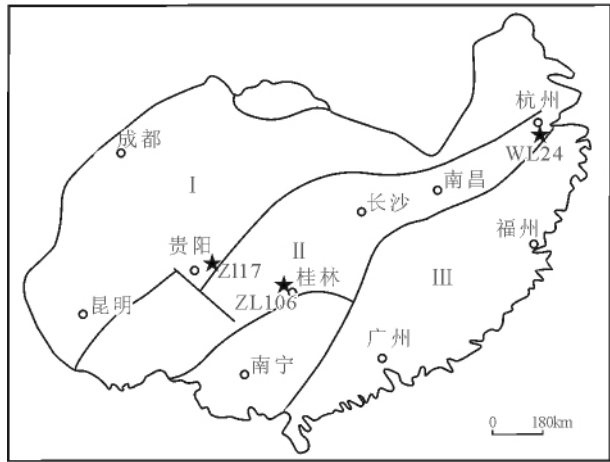


图 1 浙黔桂地区大地构造背景图  
I. 扬子陆块; II. 江南造山带; III. 华南活动带; IV. 采样地点  
Fig. 1 Tectonic setting of the Zhejiang-Guangxi-Guizhou zone  
I = Yangtze block; II = Jiangnan orogenic zone; III = Huanan active zone; IV = sampling site

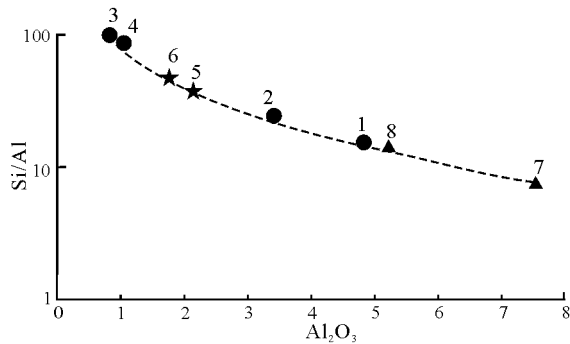


图 2 硅质岩的 Si/Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 相关关系图  
Fig. 2 Si/Al vs. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagram of the siliceous rocks

表 1 硅质岩的常量元素(%)和微量元素(μg/mg)分析数据表  
Table 1 The contents of major and trace elements in the siliceous rocks

| 样品编号                           | 1      | 2      | 3       | 4      | 5       | 6       | 7      | 8      |
|--------------------------------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 原样编号                           | ZL17S1 | ZL17S2 | ZL17S3  | ZL17S4 | ZL106S1 | ZL106S2 | WL24S4 | WL24S5 |
| 岩石名称                           | 硅质岩    | 硅质岩    | 硅质岩(有脉) | 硅质岩    | 硅质岩     | 硅质岩     | 硅质岩    | 硅质岩    |
| SiO <sub>2</sub>               | 83.23  | 88.68  | 90.42   | 91.71  | 86.77   | 89.66   | 66.35  | 84.71  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.13   | 0.5    | 0.5     | 0.64   | 0.85    | 0.68    | 1.93   | 1.48   |
| FeO                            | 1.39   | 2.29   | 3.42    | 2.99   | 3.51    | 2.99    | 1.1    | 0.87   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.79   | 3.4    | 0.81    | 0.82   | 2.11    | 1.73    | 7.51   | 5.2    |
| CaO                            | 0.27   | 0.45   | 1.03    | 0.51   | 1.15    | 0.41    | 5.72   | 0.56   |
| K <sub>2</sub> O               | 1.89   | 1.16   | 0.19    | 0.21   | 0.08    | 0.22    | 3.69   | 2.61   |
| MgO                            | 0.46   | 0.3    | 0.19    | 0.14   | 1.32    | 0.83    | 2.92   | 0.47   |
| MnO                            | 0.013  | 0.02   | 0.031   | 0.031  | 0.031   | 0.022   | 0.036  | 0.01   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.13   | 0.15   | 0.093   | 0.079  | 0.5     | 0.39    | 0.22   | 0.092  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.044  | 0.044  | 0.096   | 0.073  | 0.046   | 0.039   | 0.1    | 0.079  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.21   | 0.13   | 0.047   | 0.052  | 0.19    | 0.13    | 0.34   | 0.21   |
| Lol                            | 3.8    | 2.8    | 2.48    | 2.65   | 3.38    | 2.25    | 9.9    | 3.55   |
| La                             | 17.2   | 9.7    | 2.8     | 2.9    | 3.3     | 7       | 23.7   | 13     |
| Ce                             | 28.1   | 17.2   | 3.8     | 4.5    | 7.7     | 16.5    | 44.2   | 24.8   |
| Pr                             | 3.98   | 2.38   | 0.76    | 0.79   | 1.06    | 2.01    | 4.98   | 2.93   |
| Nd                             | 13.2   | 8.8    | 3.1     | 3.1    | 4.2     | 8.5     | 18.4   | 11     |
| Sm                             | 1.88   | 1.26   | 0.74    | 0.63   | 0.94    | 1.88    | 3.06   | 2.03   |
| Eu                             | 0.38   | 0.23   | 0.41    | 0.3    | 0.25    | 0.57    | 0.62   | 0.43   |
| Gd                             | 2.02   | 1.34   | 1.17    | 0.82   | 1.07    | 2.15    | 3.26   | 2.12   |
| Tb                             | 0.32   | 0.23   | 0.21    | 0.12   | 0.17    | 0.34    | 0.41   | 0.3    |
| Dy                             | 2.06   | 1.4    | 1.54    | 0.7    | 1.06    | 2.26    | 2.31   | 1.55   |
| Ho                             | 0.49   | 0.3    | 0.42    | 0.16   | 0.23    | 0.58    | 0.47   | 0.25   |
| Er                             | 1.49   | 0.93   | 1.52    | 0.49   | 0.74    | 1.63    | 1.39   | 0.94   |
| Tm                             | 0.24   | 0.2    | 0.2     | 0.06   | 0.08    | 0.21    | 0.19   | 0.1    |
| Yb                             | 1.52   | 0.93   | 1.54    | 0.46   | 0.77    | 1.56    | 1.32   | 0.88   |
| Lu                             | 0.24   | 0.15   | 0.23    | 0.07   | 0.12    | 0.23    | 0.2    | 0.13   |
| Σ REE                          | 73.12  | 45.05  | 18.44   | 15.1   | 21.69   | 45.42   | 104.51 | 60.46  |
| LREE                           | 64.74  | 39.57  | 11.61   | 12.22  | 17.45   | 36.46   | 94.96  | 54.19  |
| HREE                           | 8.38   | 5.48   | 6.83    | 2.88   | 4.24    | 8.96    | 9.55   | 6.27   |
| LREE/HREE                      | 7.73   | 7.22   | 1.70    | 4.24   | 4.12    | 4.07    | 9.94   | 8.64   |
| La <sub>n</sub>                | 45.50  | 25.66  | 7.41    | 7.67   | 8.73    | 18.52   | 62.70  | 34.39  |
| Sm <sub>n</sub>                | 8.17   | 5.48   | 3.22    | 2.74   | 4.09    | 8.17    | 13.30  | 8.83   |
| Gd <sub>n</sub>                | 6.50   | 4.31   | 3.76    | 2.64   | 3.44    | 6.91    | 10.48  | 6.82   |
| Yb <sub>n</sub>                | 6.10   | 3.73   | 6.18    | 1.85   | 3.09    | 6.27    | 5.30   | 3.53   |
| (La/Sm) <sub>n</sub>           | 5.57   | 4.68   | 2.30    | 2.80   | 2.14    | 2.27    | 4.71   | 3.90   |
| (Gd/Yb) <sub>n</sub>           | 1.06   | 1.15   | 0.61    | 1.43   | 1.11    | 1.10    | 1.98   | 1.93   |
| (La/Yb) <sub>n</sub>           | 7.45   | 6.87   | 1.20    | 4.15   | 2.82    | 2.96    | 11.83  | 9.73   |

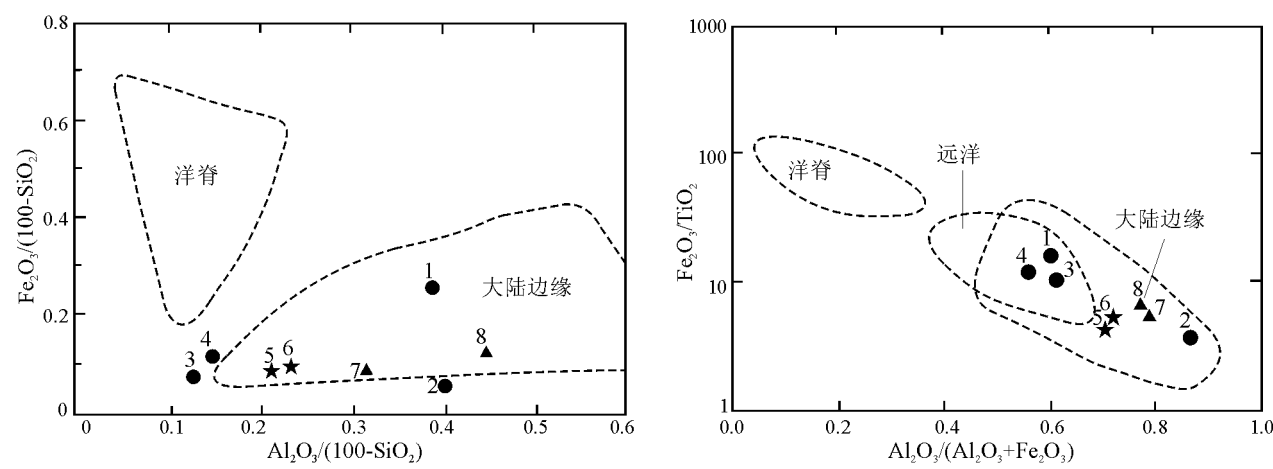


图3 硅质岩常量元素图解( 据 Murray ,1991)

Fig.3 Major element diagram of the siliceous rocks ( after Murray , 1991)

于靠近大陆 ,受陆源物质的影响强烈而具有明显的轻稀土富集的特征<sup>[11 ,12]</sup>。与大陆边缘有关的硅质岩经球粒陨石标准化的稀土模式则表现为轻稀土富集并有明显负 Eu 异常的右倾型( Armstrong H A et al. ,1999<sup>[11]</sup> )。从分析结果看 ,研究区 8 个硅质岩样品稀土元素总量平均值 $47.97 \times 10^{-6}$  ,LREE/HREE 平均为 5.96 ,La<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub> 平均为 5.88 ,球粒陨石标准化后的稀土配分模式也显示强烈右倾 ,说明研究区硅质岩具有明显的轻稀土富集特征 ,研究区硅质岩的形成与大陆边缘有着密切的关系。

由硅质岩的 La/Ce - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ) 图 ( 图 4 ) 可以看出 ,大部分样品的投点还是位于大陆边缘范围 ,但是 3、4 号样品的投点位置则更靠近深海一侧 ,说明这两个样品与其余样品形成的构造背景有着明显的不同。

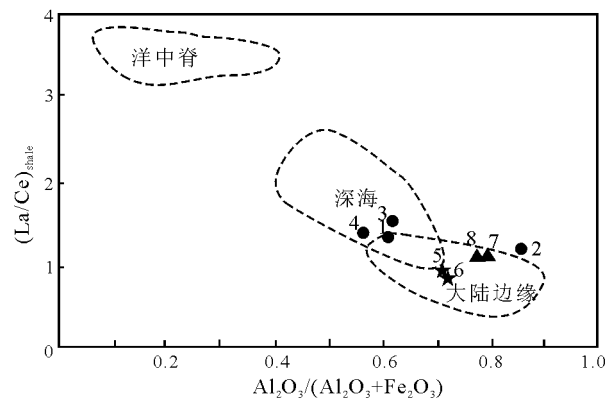


图4 硅质岩的 La/Ce-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ) 图( 据 Murray ,1994)

Fig.4 La/Ce vs. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ) diagram of the siliceous rocks ( after Murray , 1994)

4 讨 论

常量元素和稀土元素的判别图解已表明研究区的硅质岩为大陆边缘型硅质岩。但值得注意的是 ,在北美页岩标准化稀土配分模式图上 ,每个样品的稀土特征又明显不同( 图 5 ) ,说明它们的形成背景还是有一定的差异。根据 Ce、Eu 的特征可以进一步将其稀土配分模式分为 4 种不同的形式: Ce 负异常 ,Eu 正异常; Ce 负异常 ,Eu 负异常; Ce 无异常 ,Eu 正异常; Ce 无异常 ,Eu 负异常。

图 6 为 Richard W. Murray 在 1992 年提出的海相硅质岩的稀土特征示意图<sup>[15]</sup>。可以看出 ,Ce 元素受海水的影响较大 ,越是远离陆源其异常就越明显。大陆边缘型硅质岩的 Ce 呈平坦型 ,而深海或大洋盆地背景下形成的硅质岩则表现出明显的 Ce 异常。研究区的硅质岩 ,常量和稀土元素的投点属于大陆边缘区或大陆边缘-深海过渡区 ,但采自扬子地台边缘镇远的 1~4 号样品表现为明显的 Ce 负异常。究其原因 ,寒武纪该区硅质岩沉积时远离物源区 - 雪峰古陆 ,故沉积时处于“欠补偿”状态。硅质岩继承了海水的 Ce 元素特征 ,表现为负异常( Ce 元素的异常可直接表明硅质岩形成时受海水改造的程度)。现今的地质构造显示 ,沉积区离雪峰古陆仅有 17~22km。因此我们推测 ,在寒武纪之后 ,位于研究区东侧的雪峰古陆曾经逆冲推覆 ,发生大规模的由东向西长距离推移。其余样品靠近陆源供给区 ,且 7、8 号样品在区域地质背景上位于江绍接合带 ,处于拉张过后的稳定时期 ,所以其 Ce 元素不具有明显的异常。

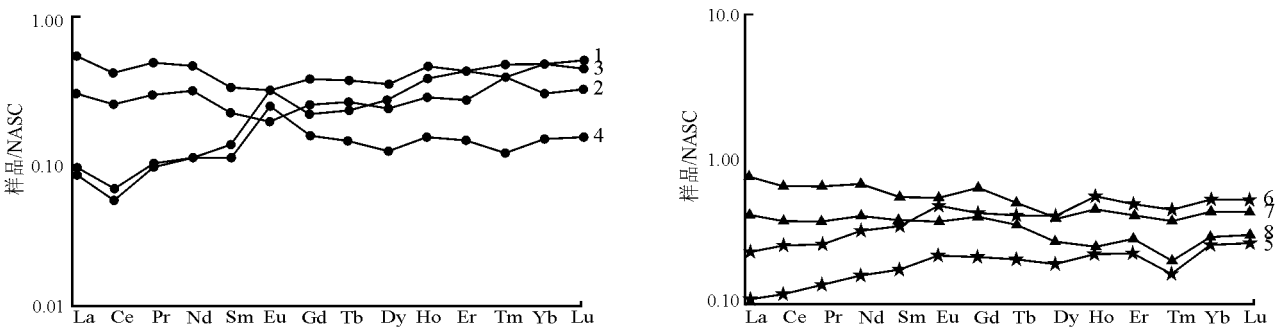


图5 浙黔桂地区寒武纪硅质岩 NASC 标准化的 REE 分布型式( 北美页岩 REE 值引自 Taylor ,1985)

Fig.5 NASC-normalized REE distribution patterns for the Cambrian siliceous rocks from the Zhejiang-Guangxi-Guizhou zone ( REE values of NASC from Taylor ,1985)

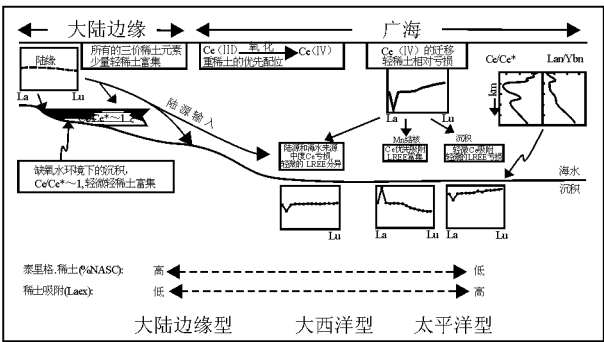


图6 大陆边缘-广海硅质岩的稀土特征示意图

Fig.6 REE representation of the siliceous rocks from the continental margin to open sea

Eu 元素的异常可以表征样品沉积期构造环境的稳定与否,研究区的硅质岩显示不同的 Eu 异常状态。从图 6 可以看出,一般情况下 Eu 在海水中或大洋沉积物中并无显著异常。前人研究显示, Eu 可以呈 +3 价和 +2 价两种价态,硅质岩可以在两类情况下出现 Eu 异常:一类是和海底热液活动有关的部分洋脊盆地内发育的硅质岩,会出现 Eu 正异常,即  $\text{Eu}^{3+}$  被还原成  $\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Eu}^{2+}$  被热液喷发的 Fe-Mn 矿物颗粒吸附从而导致沉积物中的 Eu 发生富集;另一类是大陆边缘相硅质岩,会表现出 Eu 异常,若陆源物质来自于较为成熟的古老地壳则可能导致 Eu 负异常,若陆源输入物质来自未分异的安山质岩岩浆岛弧则可能导致 Eu 正异常,故该类异常可能和陆源物质的加入有关。因此,硅质岩的 Eu 正异常往往是高温热水流体参与其成岩作用的标志 (Murray, 1991)。由北美页岩标准化的硅质岩稀土配分模式可以看出, 3~6 号硅质岩样品显示 Eu 正异常,在研究区样品的 Al-Fe-Mn 投点图上(图 7), 3~6 样品落在了热液成因区,其余 4 个不具有 Eu 异

常(或具轻微负 Eu 异常)样品落入沉积成因区(生物成因区)。因此我们推测 Eu 元素的正异常与热液的改造有关: 3~6 号样品在沉积时受热液的改造,从而使 Eu 元素被铁锰矿物颗粒所吸附而富集;其余 4 个样品未受热液改造故不显示 Eu 正异常。此外, 1~4 号样品取自同一构造区,但表现出 Eu 异常却截然不同。由此我们认为在寒武纪时研究区正处于一个幕式的拉张时期<sup>[16]</sup>,造成流体的释放,

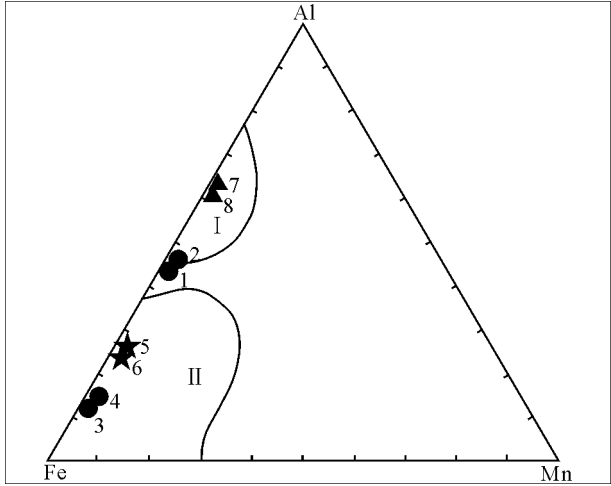


图7 硅质岩的 Al-Fe-Mn 三角图(据 K. Yamamoto, 1987)

I. 生物沉积硅质岩; II. 热水沉积硅质岩

Fig.7 Al-Fe-Mn triangular diagram of the siliceous rocks (after Yamamoto, 1987)

I = biogenic; II = hydrothermal

间歇性的热液活动造成了样品特征的不一致性。

所有样品都表现为轻稀土元素的富集,但是其轻重稀土分异的程度不同,这可能与构造位置不同有关。研究表明,处于裂隙初期的硅质岩轻稀土元素富集最为明显。在 10 亿年前,扬子板块与华夏板

块碰撞,在江绍一带闭合,而在贵州、广西一带形成一个残留洋盆。寒武纪时研究区处于构造拉张期<sup>[17,18]</sup>,7、8号样品正好位于江绍结合带上,其 $La_n/Yb_n$ 比值高达11.83和9.73,说明其形成于裂陷初期。而5、6号样品位于残留洋盆内,所以轻重稀土分异较7、8号样品不明显,配分模式有较大不同。

## 5 结 论

(1) 浙黔贵地区硅质岩大都为泥硅岩,热液成因和沉积成因硅质岩并存,主要形成于大陆边缘或大陆边缘与大洋盆地的过渡带,与洋中脊无关。

(2) 位于扬子地台边缘的寒武纪硅质岩所具有的Ce负异常,说明硅质岩沉积时远离物源区。寒武纪后江南造山带曾发生过由东向西大规模的逆冲推覆,使得物源区向沉积区靠近。

(3) 硅质岩稀土配分模式的差异性反映出寒武纪时期的拉张为幕式拉张。形成于裂陷盆地初期的硅质岩,比古华南残留洋盆和扬子陆块边缘的硅质岩轻稀土元素更加富集。

(4) 构造拉张期形成的硅质岩为热液成因硅质岩,其稀土配分模式显示出轻稀土相对亏损、Eu正异常特征;构造稳定期形成的硅质岩为沉积成因硅质岩,稀土配分模式显示出轻稀土相对富集、Eu弱负异常特征。

## 参考文献:

- [1] 李献华. 赣东北蛇绿混杂岩带中硅质岩的地球化学特征及构造意义. 中国科学, 2000, 30(3): 284-290.
- [2] 彭军, 夏文杰, 伊海生. 湘西晚前寒武纪层状硅质岩的热液沉积地球化学标志及其环境意义[J]. 岩相古地理, 1999, 19(2): 29-37.
- [3] 吴新华, 楼法生, 王玉净等. 赣东北地区不同时代硅质岩的地球化学特征及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2000, 10(2): 209-216.
- [4] MURRAY R W, BUEHHOLTZ TEN BRINK M R, GERLACH D C, et al. Rare earth, major, and trace element composition of Monterey and DSDP chert and associated host sediment: Assessing the influence of chemical fractionation during diagenesis [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1992, 56: 2657-2671.
- [5] BALTUCK M. Provenance and distribution of Tethyan pelagic and hemipelagic siliceous sediments, Pindos Mountains, Greece [J]. Sedimentary Geology, 1982, 31: 63-88.
- [6] SUGISAKI R, KINOSHITA T. Major element chemistry of the sediments on the central Pacific Transect, Wake to Tahiti, GH80-1 cruise [J]. Geol. Surv. Jpn., Cruise Rep. 1982, 18: 293-312.
- [7] MURRAY R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications [J]. Sedimentary Geology, 1994, 90(3-4): 213-232.
- [8] MURRAY R W, BUEHHOLTZ TEN BRINK M R, GERLACH D C, et al. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey group, California: Assessing REE sources to Fine-grained marine sediments [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55: 1875-1895.
- [9] 杜远生, 朱杰, 顾松竹, 等. 北祁连山带寒武系-奥陶系硅质岩沉积地球化学特征及其对多岛洋的启示[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(10): 1314-1329.
- [10] 杨学明译. 岩石地球化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.
- [11] ARMSTRONG H A, OWEN A W, FLOYD J D. Rare earth geochemistry of Arenic cherts from the Ballantrae Ophiolite and Leadhills Imbricated Zone, southern Scotland: implications for origin and significance to the Caledonian Orogeny [J]. Jour. Geol. Soc. Lond., 1999, 156: 549-560.
- [12] 丁林, 钟大赉. 滇西昌宁-孟连带古特提斯洋硅质岩稀土元素和铈异常特征[J]. 中国科学(B辑), 1995, 25(1): 93-100.
- [13] 邵军, 夏文臣. 云南富宁地区早石炭世硅质岩稀土元素特征及沉积环境分析[J]. 西北地质, 2002, 35(1): 58-62.
- [14] TAYLOR S R, MCLENNAN S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985, 312.
- [15] MURRAY R W. Interoceanic variation in the rare earth, major, and trace element depositional chemistry of chert: Perspectives gained from the DSDP and ODP record [J]. The geochemistry of marine chert, 1992, 56: 1897-1913.
- [16] 杜德莉. 台西南盆地的构造演化与油气藏组合分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(3): 5-18.
- [17] 胡开明. 江绍断裂带的构造演化初探[J]. 浙江地质, 2001, 17(2): 1-11.
- [18] 黄世伟, 张廷山, 叶舟, 等. 江绍断裂带的活动特征初探[D]. 西南石油大学, 2007.
- [19] YAMAMOTO K. Geochemical characteristics and depositional environment of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto Terranes [J]. Sedimentary Geology, 1987, 52(1-2): 65-1081.
- [20] MURRAY R W, BRINK M R, JONES D L et al. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale [J]. Geology, 1990, 18(3): 268-271.
- [21] SHIMIZHU H, MASUDA A. Cerium in chert as an indication of marine environment of its formation [J]. Nature, 1977, 266(5600): 346-348.

## Geochemistry and tectonic setting of the Cambrian siliceous rocks in the Zhejiang-Guangxi-Guizhou zone

HUANG Hua , WANG Guo-zhi

( College of Earth Sciences , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , Sichuan , China)

**Abstract:** The tectonic setting of the Cambrian siliceous rocks in the Zhejiang-Guangxi-Guizhou zone are discussed with the aid of major and rare earth element geochemistry. In the siliceous rocks ,  $Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$  ratios range from 0.56 to 0.87.  $Ce/Ce^*$  ratios equal to  $0.74 \pm 0.19$ .  $La_n/Ce_n$  ratios range from 0.90 to 1.58. Average values of  $La_n/Yb_n$  ratios equal to 6.38. All these results show that the Cambrian siliceous rocks in the Zhejiang-Guangxi-Guizhou zone were formed in the continental-margin environment or transitional zone from the continental margin to deep sea. LREEs are more enriched in the siliceous rocks from early rift basins than those from the ancient Huanan residual oceanic basin and Yangtze block. The siliceous rocks formed during tectonic extension tend to have hydrothermal origin , and display the REE distribution patterns of being depleted in LREE and positive Eu anomaly. The siliceous rocks formed during stable tectonism tend to be sedimentary in origin , and display the REE distribution patterns of being relative enriched in LREE and slight negative Eu anomaly. The differences in the REE distribution patterns cited above indicate the episodic extension during the Cambrian. The negative Ce anomaly in the siliceous rocks on the margins of the Yangtze platform implies that the large-scale EW-trending overthrusting once occurred in the Jiangnan orogenic zone after the Cambrian.

**Key words:** siliceous rock; Cambrian; major element; REE