

# 热水沉积硅质岩地球化学特征及意义<sup>\*</sup>

## ——以华南地区为例

杨海生, 周永章, 杨志军, 张澄博, 杨小强

(中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

**摘要:** 华南地区在晚震旦世—早寒武世、泥盆纪及早二叠世曾发生过大规模的热水活动—沉积事件, 形成热水沉积产物硅质岩。这类硅质岩建造具有地球化学多样性特点, 它受热水性质的控制, 同时还受沉积环境、与正常沉积的混合及构造条件等的影响。热水沉积硅质岩具有良好的地球化学遗传性。

**关键词:** 地球化学特征; 硅质岩; 热水沉积; 华南

**中图分类号:** P588.24<sup>+</sup>4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) 06-0111-05

热水沉积作用在我国地质历史上非常发育<sup>[1-4]</sup>, 在对华南地区热水沉积研究的早期工作中, 陈先沛等<sup>[1]</sup>指出广西泥盆系礁硅质岩套是热水沉积成因的观点。周永章<sup>[5,9]</sup>对广西丹池盆地中上泥盆统硅质岩和广东古水硅质岩建造进行了研究并提出热水沉积的标志和若干地球化学特征。韩发等<sup>[7]</sup>认为大厂矿床属于热液喷气成因的。

硅质岩在华南地区热水沉积体系中非常有代表性, 它发育的地质历史跨度大, 产出层位相对稳定, 伴随着丰富的矿化作用。本文尝试对该地区热水沉积硅质岩建造的地球化学特征及其地质意义作进一步探讨。

## 1 华南硅质岩建造概况

硅质岩建造在华南地区比较集中分布在震旦系顶部、泥盆统榴江组、二叠系当冲组等3个层位。

二叠系硅质岩主要发育的背景是碳酸盐型台地相。热水成因层状硅质岩建造主要出现在张性的台盆相区中, 以湖南当冲组和孤峰组为最有代表性。硅质岩主要分布于湖南永顺、桑植、慈利、涟源、七星街、隆回、邵阳、耒阳、桂阳、郴州等地, 硅质岩多呈黑色和灰黑色, 薄层—中层状, 单层厚几到几十厘米不等, 致密坚硬; 发育水平层理和纹层理构造。硅质岩主要由隐晶质玉髓和微晶石英组成, 含量高达80%左右; 此外还有粘土、碳酸盐、铁锰氢氧化物等。沿硅质岩带有锰和金的矿化。

泥盆统榴江组的硅质岩建造在华南地区广泛分

布, 其中以丹池盆地台盆相地层最为典型。硅质岩整体以黑色为主, 但亦有鲜艳颜色, 富含细分散状有机质。主要矿物成分是隐晶质玉髓和微晶石英, 约占矿物总量的90%。次要矿物有粘土、碳酸盐、铁锰氢氧化物及少量分散状黄铁矿、碳沥青等。根据沉积构造, 可以分出类碧玉岩、纹理状硅质岩、块状泥质硅质岩和硅质页岩。其中, 类碧玉岩形成温度为50~64℃, 硅页岩为29~40℃, 纹理状硅质岩和块状泥质硅质岩介于上述两者之间<sup>[9]</sup>。所以, 类碧玉岩、纹理状硅质岩、块状泥质硅质岩和硅质页岩, 基本上代表了高温热水喷口→远离热水喷口的硅质岩沉积变化序列。

震旦系顶部的硅质岩建造广泛分布于广东古水、筋竹、前排、新安等地区。岩石致密坚硬, 呈棕黄、乳白、碧绿、灰白及灰黑。主要矿物是微晶石英, 含少量粘土矿物、赤铁矿、重晶石, 偶见黄铁矿及细分散状有机质。可见层状构造、纹理构造、假角砾状构造和块构造等。

## 2 热水沉积硅质岩的地球化学特征

### 2.1 基本特征

在比较研究中我们发现, 华南硅质岩呈现出同一性与差异性并存的地球化学特征。

周永章<sup>[9]</sup>在古水硅质岩石的研究中指出: ①震旦系顶部硅质岩建造常量元素TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和K<sub>2</sub>O偏低。在Al-Fe-Mn三元图上, 几乎所有的硅质岩样品都落在热水沉积区; ②大部分微量元素含量偏

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2003-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40073010); 全国高等学校博士点基金资助项目(2000099815); 教育部骨干教师、优秀青年教师资助计划(教育司2001-39); 国家科技部973资助项目(G1999043200)

作者简介: 杨海生(1978年生), 男, 博士研究生; 通讯联系人: 周永章; E-mail: eeszhou@zsu.edu.cn

低, 但 Ba、As、Sb、Hg 和 Se 偏高; ③稀土总量低, 北美页岩组合样标准化后的稀土配分模式与典型热水沉积物相似, 总体上  $\delta\text{Ce}$  和  $\delta\text{Eu}$  呈正的异常。

泥盆统榴江组硅质岩具有与震旦系顶部硅质岩建造相似的地球化学特征<sup>[9]</sup>: ①与沉积岩比较 Cu、Zn、Pb、Cr、B 等元素的含量偏低, Ni、Co 和 V 的含量相近, 而 Sb、As、Ag 和 Ga 的含量偏高; ②从近热水喷口向远离热水喷口方向, 存在特征的地球化学递变序列: 富 Sb、As 和 Ag, 相对贫 V 和 Cu, 且 FeO 与 MnO 显示正相关→Pb、Zn 和 Ni 含量相对地高, 并与 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 呈正相关→富 V, 相对贫 Sb、As 和 Ag, 且 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、MgO 和 SiO<sub>2</sub> 两两间表现为线性关系; ③REE 总量较低, 从远离热水喷口形成的块状泥质硅质岩向热水喷口及附近形成的

类碧玉岩和纹理状硅质岩过渡,  $\Sigma\text{REE}$  减低,  $\delta\text{Ce}$  极负异常, 但块状泥质硅质岩例外。

湖南二叠系 11 件层状硅质岩样品化学分析表明: ①硅质岩 SiO<sub>2</sub> 含量较高, 平均值为 81.10%, 含量在 1% 以上的组分有 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MnO 和 CaO, 其它成分含量都很低。另外, Al/(Al+Fe+Mn) 比值较低, 平均为 0.29。这些与其他地区 (美国的 Franciscan<sup>[8]</sup>; 丹池盆地及古水<sup>[5,9]</sup>) 的典型海相热水沉积硅质岩的化学成分相似; ②与沉积岩相比, 本区硅质岩大部分微量元素含量偏低, 但热水沉积物特征元素 As、Sb、Ni 含量较高; ③硅质岩稀土总量较低, 轻稀土大于重稀土。具有  $\delta\text{Ce}$  和  $\delta\text{Eu}$  的负异常, 其中  $\delta\text{Ce}$  从 0.22~0.88, 平均为 0.45,  $\delta\text{Eu}$  从 0.74~0.9, 平均 0.82 (表 1, 图 1)。

表 1 湖南二叠系 硅质岩 化学成分<sup>1)</sup>

Tab 1 Chemical composition of the Permian cherts in Hunan Province

$w_B/\%$

| 样品         | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TFe  | MnO  | MgO  | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | LOI   | Total  |
|------------|------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|--------|
| 1-3        | 76.78            | 0.14             | 4.03                           | 2.02 | 0.55 | 1.80 | 5.77  | 0.00              | 1.09             | 0.47                          | 7.12  | 99.76  |
| 1-4        | 86.13            | 0.10             | 2.60                           | 1.13 | 0.27 | 0.92 | 3.60  | 0.14              | 0.75             | 0.12                          | 4.25  | 100.01 |
| 1-8        | 76.94            | 0.10             | 3.15                           | 1.88 | 2.37 | 0.69 | 6.26  | 0.02              | 0.42             | 0.05                          | 7.55  | 99.42  |
| 1-11       | 66.63            | 0.06             | 1.57                           | 1.26 | 1.45 | 0.65 | 14.93 | 0.00              | 0.17             | 0.08                          | 13.34 | 100.15 |
| 1-15       | 93.66            | 0.02             | 0.27                           | 2.04 | 1.56 | 0.19 | 0.75  | 0.04              | 0.05             | 0.15                          | 1.32  | 100.06 |
| 2-1        | 77.23            | 0.07             | 2.76                           | 1.86 | 2.40 | 0.75 | 6.31  | 0.23              | 0.41             | 0.17                          | 7.21  | 99.39  |
| 3-1        | 68.49            | 0.02             | 0.37                           | 3.48 | 5.50 | 1.14 | 8.13  | 0.00              | 0.04             | 0.62                          | 11.63 | 99.41  |
| 3-2        | 92.08            | 0.03             | 0.57                           | 2.14 | 1.58 | 0.16 | 0.43  | 0.02              | 0.15             | 0.06                          | 3.08  | 100.31 |
| 3-3        | 88.20            | 0.03             | 0.77                           | 3.53 | 3.09 | 0.35 | 1.23  | 0.01              | 0.08             | 0.08                          | 2.02  | 99.39  |
| 4-4        | 88.80            | 0.09             | 2.50                           | 1.87 | 0.93 | 0.36 | 1.44  | 0.02              | 0.22             | 0.03                          | 3.45  | 99.72  |
| 4-6        | 77.14            | 0.12             | 4.13                           | 2.89 | 0.79 | 0.38 | 5.73  | 0.01              | 0.37             | 0.07                          | 7.73  | 99.36  |
| 平均         | 81.10            | 0.07             | 2.07                           | 2.19 | 1.86 | 0.67 | 4.96  | 0.04              | 0.34             | 0.17                          |       |        |
| Franciscan | 92.30            | 0.09             | 1.31                           | 2.63 | 0.53 | 0.28 | 0.11  | 0.16              | 0.35             | 0.03                          |       |        |
| 丹池盆地       | 93.10            | 0.10             | 1.80                           | 1.30 | 0.10 | 0.10 | 0.20  | 0.1               | 0.5              |                               |       |        |
| 古水         | 92.84            | 0.11             | 2.72                           | 1.77 | 0.07 | 0.10 | 0.07  | 0.03              | 0.61             | 0.05                          |       |        |

1) 样品由中国科学院地质与地球物理研究所 ICP-MS 实验室分析

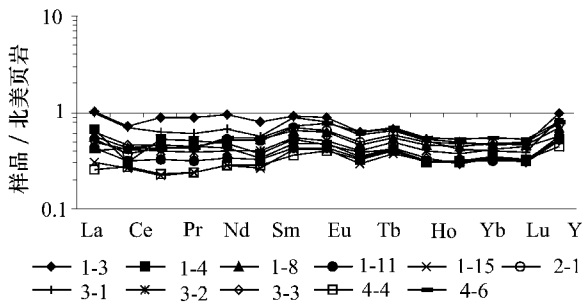


图 1 湖南二叠系硅质岩稀土元素配分模式图

Fig. 1 North America shale-normalized REE distribution patterns in the Hunan cherts

2.2 因子分析

为了客观的提取硅质岩所反映的地质地球化学

信息, 需要在地质调查的基础上, 通过有目的的取样及测试, 找出影响不同层位硅质岩地球化学特征的共同因素和特殊因素。当许多因素存在一定程度的相关性时, 通过数学方法的处理, 在保留原始变量大部分相关关系和变异性的基础上, 将众多原始变量转化为维数较少的新变量, 能够大大简化观测系统, 有效提取影响观测数据的主要因素。正是由于因子分析方法处理和解决问题的优点, 早在 60 年代它已在西方地质学领域的各个分支中得到了广泛的应用, 但国内目前, 将其应用于热水沉积领域的仅见于对古水硅质岩的研究<sup>[9]</sup>。

本文应用 R 型因子分析对震旦系顶部、泥盆统榴江组和二叠系硅质岩的原始分析数据进行了处理, 得到了如下的结果。

震旦系顶部硅质岩

|       |                                                                                                                                                 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 常量元素  |                                                                                                                                                 |
| 第一主因子 | { —SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> } |
| 第二主因子 | { FeO, MnO, MgO }                                                                                                                               |
| 第三主因子 | { CaO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> }                                                                                                          |
| 微量元素  |                                                                                                                                                 |
| 第一主因子 | { Rb, Cs, Ta, Th, Nb, U, Zr, Hf, W, Sn, Sc, Co, Ni, Bi, Sb, Se }                                                                                |
| 第二主因子 | { As, Au }                                                                                                                                      |
| 第三主因子 | { Hg, Ba, —Sn }                                                                                                                                 |
| 第四主因子 | { Zn, Cu, Ni, Cr, Bi }                                                                                                                          |
| 第五主因子 | { Ag, Cr, Ni, —Sn }                                                                                                                             |
| 第六主因子 | { Pb, Ba }                                                                                                                                      |

泥盆统榴江组硅质岩

|       |                                                                                                  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 常量元素  |                                                                                                  |
| 第一主因子 | { Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, —SiO <sub>2</sub> } |
| 第二主因子 | { FeO, MnO }                                                                                     |
| 第三主因子 | { Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> }                                                               |
| 微量元素  |                                                                                                  |
| 第一主因子 | { Pb, Zn, Ni, —Ga }                                                                              |
| 第二主因子 | { —Cu, Sb, Ag, V }                                                                               |
| 第三主因子 | { As, —V }                                                                                       |
| 第四主因子 | { Sn }                                                                                           |

二叠系硅质岩

|       |                                                                                                  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 常量元素  |                                                                                                  |
| 第一主因子 | { TiO <sub>2</sub> , K <sub>2</sub> O, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, —SiO <sub>2</sub> } |
| 第二主因子 | { MnO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> }                                                          |
| 第三主因子 | { CaO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> }                                                           |
| 微量元素  |                                                                                                  |
| 第一主因子 | { Zr, Pb, Ag, As, Zn, Au, Ni, Th, Sn, Cu, U, Sb }                                                |
| 第二主因子 | { V, Cr, Co }                                                                                    |
| 第三主因子 | { Sr, U, —Sb, —Sn, Ni, Zn }                                                                      |
| 第四主因子 | { Cu, Sn, —As, Th, —Au }                                                                         |
| 第五主因子 | { Co, Ni, Au, —U }                                                                               |

3 讨 论

3.1 因子分析结果的地质地球化学意义

常量元素组分第一主因子中反映粘土物质部分的元素 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO 等彼此间存在强烈的正相关性, 而与 SiO<sub>2</sub> 呈负相关。这暗示了在热水沉积作用发生的同时, 正常沉积作用仍然存在。它们存在的方式可能有 3 种: ①正常沉积作用与热水沉积作用交替出现; ②热水沉积沉积与正常沉积作用同时进行, 但强弱程度随时间各有消长; ③被加热海水与正常冷海水的混合。

常量元素组分第二主因子主要反映了硅质岩形成时的氧化还原条件。根据 Maynard<sup>[9]</sup> 的工作, FeO 和 MnO 具有相似的沉积地球化学特性, 但沉积环境的改变, 可使它们分离。在还原环境中 FeO 和 MnO 通常表现为正相关性, 泥盆统榴江组的类碧玉岩和纹理状硅质岩很好地反映了这一现象。而在

震旦系顶部硅质岩中, FeO 和 MnO 并不存在显著的相关性。这反映了震旦系顶部硅质岩的沉积环境可能只是在局部地区是还原的。二叠系硅质岩中无一含有 FeO, 这在热水沉积硅质岩中是不多见的。结合二叠系硅质岩微量元素比值特征 (U/Th 0.24 ~ 3.39, 平均 0.94, V/Cr 0.52 ~ 3.79, 平均 1.39, V/(V+Ni) 0.07 ~ 0.59, 平均 0.25), 估计其形成与氧化环境有关。

常量元素的第三主因子所反映的地质地球化学意义在三层位硅质岩中是不同的。现代热水沉积作用的研究表明<sup>[10]</sup>, P 会因热水活动而被活化、转移出来并在热水沉积物中得到富集。

由此看来震旦系顶部及二叠系硅质岩常量元素第三主因子更多的是反映硅质岩是热水沉积成因的, 而泥盆统榴江组硅质岩中的这一因子是块状泥质硅质岩的特征, 它暗示了 Fe-Mn 微细结核的存在。

华南热水沉积硅质岩微量元素第一主因子代表了古地下热水循环中的林滤因子: 震旦系顶部硅质岩微量元素第一主因子所包含的元素与华南地球化学异常基底的特征元素组合相吻合, 隐含了震旦系顶部热水沉积硅质岩的形成与华南古基底有特殊的地球化学联系。这一元素组合指示了地球化学演化具有继承性。同样的, 在泥盆统榴江组可以把硅质岩中的 Pb, Zn, Ni 组合解释为, 热水不断活化和汲取围岩中的 Pb, Zn, Ni 等成矿元素, 并将其带出地表, 随硅质岩一起沉淀下来。值得注意的是二叠系硅质岩微量元素第一主因子中含有亲基性元素, 结合区域发展史, 华南二叠系是基性火山活动强烈时期, 这似乎暗示了硅质岩的形成与火山活动有一定的联系。

现代海底热水沉积物的研究表明<sup>[11, 12]</sup> 在热水沉积物中, Ba, As, Sb, Hg, Ag 等出现高度富集。同样华南热水沉积硅质岩微量元素的第二、三等主因子是热水沉积作用的反映。这似乎暗示着这些特征的微量元素的富集可以看作是热水沉积的诊断性标志。

3.2 热水沉积硅质岩形成的古大地构造背景

热水沉积作用可以发育于地壳演化的不同阶段和各种大地构造位置。大洋中脊、弧后和弧间盆地、裂谷或断陷盆地等都是理想的热活动—沉积的场所。它们多与张性应力环境和地热异常相联系。受热源形成和活动机制、热源稳定性及维持时间长短、深部壳—幔相互作用等因素的制约。

古水地区是 NE-SW 走向的云开地体的一部分。在前寒武纪时期, 云开地区属于边缘型古地槽, 与

古水相似的震旦系顶部硅质岩的产出位置与古水大致成宽带状线形排列。硅质岩中碳酸盐及粗粒陆源碎屑的缺失指示了硅质岩建造形成于深海碳酸盐补偿深度以下。结合云开地体的演化历史可以推测,形成古水硅质岩的有利大地构造位置是前寒武纪时期云开地体边缘的裂谷或张性应力带,中一晚元古的热—构造事件为热水活动创造了条件。

硅质岩在丹池盆地内产出层位稳定,集中在  $D_3^1$  榴江组台盆相地层中。在泥盆纪时期,华南地区的古构造格局受北东向和北西向两组交叉断裂的控制。岩浆和沉积相带的展布及切割关系表明,丹池盆地是由同生沉积活动性断裂所制约。同生断层是热水沉积盆地中最基本结构要素和构造型式。它不仅控制了热水沉积盆地的空间展布、几何形态及内部沉积作用和火山作用的进行,而且也控制了盆地内硅质岩石的形成和分布。在热水硅质流体的活动中,同生断层是流体活动、迁移、传输的主要场所和通道。

二叠纪是华南大规模海侵时期,伴随这次海侵,湖南许多地方形成了一套分布较稳定的层状硅质岩<sup>[13]</sup>。层状硅质岩主要分布于下二叠统茅口阶上部以硅质岩为主的孤峰组或当冲组中,在以碳酸盐岩为主的茅口组的上部也有少量。

自晚古生代以来,华南大陆进入板内活动阶段,形成了台盆相间、台中有盆、盆中有台的古地理格局。以湘桂为中心产生三叉裂谷的裂陷活动,一臂沿北西方向张裂,在滇黔桂湘地区形成北西向的裂谷盆地;另一臂在湘桂地区形成北东向的裂谷盆地<sup>[14]</sup>,二叠统的层状硅质岩就是在这些裂谷性深水盆地中形成的<sup>[15]</sup>。与这些深水盆地和台盆相邻的是浅水台地,这种深水盆地相和台盆相的以硅质岩为主的岩类组合与浅水台地相的碳酸盐岩和碎屑岩呈截然接触或快速相变,表明了其间存在有同沉积断裂<sup>[15,16]</sup>。从层状硅质岩的分布范围和岩相古地理图也可看出其受同沉积断裂分割控制的特点。

3.3 热水沉积硅质岩演化的稀土元素记录

对 REE 研究发现<sup>[17-19]</sup>,稀土元素在成岩作用过程中很少发生变化,这为利用稀土元素的地球化学行为来探索热水沉积硅质岩的演化问题提供了便利的条件。

Shimizu<sup>[20]</sup>和 Murray<sup>[17]</sup>的工作表明,海水的稀土元素以极低的丰度和  $\delta\text{Ce}$  为特征。一般,热水沉积物从海水中吸取 REE 是没有明显的选择性的。所以,热水沉积物和海水应有着平行的稀土配分模式。这一点已被现代洋中脊热水沉积和古地热系热水沉积 REE 配分模式研究所证实。而正常沉积物

则恰恰相反。

典型的海相热水沉积物具有稀土总量低,重稀土富集和明显的  $\delta(\text{Ce})$  负异常。华南各层位热水沉积系硅质岩北美页岩标准化稀土配分模式均与典型热水沉积物稀土配分曲线相近, $\delta(\text{Ce})$  和  $\delta(\text{Eu})$  的负异常较为明显。Fleet<sup>[21]</sup>在系统研究了世界热水成因的和非热水成因的金属沉积物之后指出:热水成因的金属沉积物 REE 总量低, $\delta(\text{Ce})$  负异常, HREE 有富集趋势,而非热水成因的金属沉积物 REE 总量高, HREE 不富集,  $\delta(\text{Ce})$  正异常。这一特点在两类沉积之间有连续性变化,在北美页岩标准化配分模式图上,随着热水沉积比例的减少,  $\delta(\text{Ce})$  由负异常逐渐转向正异常,稀土配分曲线由左倾逐渐变化为水平<sup>[5,15,21]</sup>。因此从图中可以看出,华南热水沉积硅质岩的形成过程中以热水活动为主,有正常沉积的参与。部分硅质岩样品具有不明显的  $\delta(\text{Ce})$  负异常,甚至出现  $\delta(\text{Ce})$  的正异常,且 REE 总量较高。这可能有以下三方面的原因:

(1) 正常沉积的污染。由于正常沉积物 REE 含量通常较热水沉积物高,所以少量的正常沉积物就可以歪曲,甚至完全掩盖原来的热水沉积物的 REE 特征。在深海沉积中,REE 通常有效的附着在通常作为正常沉积的铁锰氧化物和粘土矿物上。我们注意到出现  $\delta(\text{Ce})$  负异常,甚至  $\delta(\text{Ce})$  的正异常,且 REE 总量较高的硅质岩样品往往铁锰氧化物和粘土的含量比较高。

(2) 沉积速率的变化。Fleet<sup>[21]</sup>在解释东太平洋沉积物的  $\delta(\text{Ce})$  异常时指出,沉积物中  $\delta(\text{Ce})$  的大小与沉积速率成反比。陈先沛<sup>[1]</sup>对广西泥盆系硅质岩的工作支持了这一看法。泥盆统榴江组硅质岩从远离热水喷口形成的块状泥质硅质岩向热水喷口及附近形成的类碧玉岩和纹理状硅质岩过渡,  $\Sigma\text{REE}$  减低,表明,在热水喷口及其附近,硅质沉积物的沉积速率要比在远离热水喷口地带的大。

(3) 海水自身的演化。众所周知,热水流体起源于海水,而海水本身  $\delta(\text{Ce})$  是随着时间的变化而变化的。作为热水沉积产物的华南硅质岩记录了海水  $\delta(\text{Ce})$  的演化历程,即  $\delta(\text{Ce})$  负异常是时间的函数。

世界主要热液活动场所的热水沉积物稀土研究显示  $\delta(\text{Eu})$  呈现正的异常,如红海、大西洋的 TAG 地区等。Feyer<sup>[22]</sup>等对太古代含铁硅质岩建造的研究支持将  $\delta(\text{Eu})$  正异常作为热水活动事件的标志。可以看到震旦系顶部硅质岩呈现  $\delta\text{Eu}$  的正异常而泥盆统榴江组和二叠系硅质岩中没有记录到  $\delta$

(Eu) 的正异常。这主要与两个层位硅质岩的形成温度较低有关。华南硅质岩  $\delta$  (Eu) 的异常暗示了, 华南地区在晚震旦世—早寒武世、泥盆纪以及二叠纪曾发生过大规模的热水活动—沉积事件。

4 结 论

通过对华南地区重要层位热水成因硅质岩建造地球化学特征的分析, 大致可以得到如下结论:

(1) 华南热水沉积硅质岩的地球化学特征具有多样性, 它除了受热水本身性质的控制之外, 还与沉积环境、正常沉积的混合、构造条件等因素有关。

(2) 因子分析和稀土元素特征共同显示硅质岩石具有良好的地球化学遗传性。

(3) 热水沉积硅质岩的存在暗示了, 华南地区在晚震旦世—早寒武世、泥盆纪二叠纪曾发生过大规模的热水活动—沉积事件。

参考文献:

[ 1 ] 陈先沛. 初论礁硅质岩套——一种重要的含矿组合 // 地球化学文集 Q. 北京: 科学出版社, 1986, 37—44

[ 2 ] 王京彬, 李朝阳. 金顶超大型铅锌矿床 REE 地球化学研究 [ J ]. 地球化学, 1991, ( 4 ): 359—365.

[ 3 ] 肖荣阁, 杨忠芳, 杨伟东, 等. 热水成矿作用 [ J ]. 地学前缘, 1994( 3—4 ): 140—147.

[ 4 ] 侯增谦, T Urabe. 现代与古代海底黑矿型块状硫化物矿床矿石地球化学比较研究 [ J ]. 地球化学, 1996, 25( 3 ): 228—240.

[ 5 ] 周永章. 广西丹池盆地泥盆系热水成因硅质岩的地球化学特征 [ J ]. 沉积学报, 1990, 8( 3 ): 75—83.

[ 6 ] 周永章, CHOWN E H, GUHA J, 等. 粤西古水震旦系顶部层状硅质岩的热水成因属性 [ J ]. 沉积学报, 1994, 12( 3 ): 1—10.

[ 7 ] 韩发, 哈钦森 R W. 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积的证据——含矿建造及热液沉积岩 [ J ]. 矿床地质, 1989, 8( 2 ): 25—27.

[ 8 ] YAMAMOTO K. Geochemical characteristics and depositional

environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes [ J ]. Sedimentary Geology, 1987, 52: 65—108.

[ 9 ] MAYNARD J B. Geochemistry of sedimentary ore deposits [ M ]. New York: Springer-Verlag, 1983: 305.

[ 10 ] MARCHIG V. Some geochemical indication for determination between diagenetic and hydrothermal metaliferous sediments [ J ]. Marine Geology, 1982, 50( 3 ): 241—256.

[ 11 ] ADACHI M, YAMAMOTO K, SUIGISKI R. Hydrothermal cherts and associated siliceous rocks from the northern Pacific: their geological significance as indication of ocean ridge activity [ J ]. Sedimentary Geology, 1986, 47: 125—148.

[ 12 ] RONA P A, SCOTT S D. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: New Perspectives [ J ]. Economic Geology, 1993, 88( 8 ): 1935—2294.

[ 13 ] 湖南省地质局. 湖南省区域地质志 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1988.

[ 14 ] 王立亭. 中国二叠纪岩相古地理与成矿作用 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1994.

[ 15 ] 夏邦栋, 钟立荣. 中国南方早二叠世孤峰组层状硅岩成因 [ J ]. 地质学报, 1995, 69( 2 ): 125—137.

[ 16 ] 刘本培. 地史学教程 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1986: 267—269, 1—408.

[ 17 ] MURRAY R W. Rare earth element as indication of different marine depositional environments in chert and shale [ J ]. Geology, 1990, 18: 268—271.

[ 18 ] 周永章, 杨蔚华, 刘友梅, 等. 稀土元素作为粤西桂东南地区存在晚前寒武纪热水沉积事件的证据 // 矿床地球化学研究 [ C ]. 北京: 地震出版社, 1994: 105—107.

[ 19 ] 丁振举, 刘丛强, 姚书振, 等. 海底热液系统高温流体的稀土元素组成及其控制因素 [ J ]. 地球科学进展, 2000, 15( 3 ): 307—312.

[ 20 ] SHIMIZU H, MASUDA A. Cerium in cherts as indicator of marine environment of its formation [ J ]. Nature, 1977, 266( 24 ): 346—348.

[ 21 ] FLEET A J. Hydrothermal processes at Seafloor Spreading Centers [ C ]. New York: Plenum Presss, 1983: 473—489.

[ 22 ] FRYER B J. Rear earth elements, iron formations for changing Precambrian oxidation states [ J ]. Geochim Cosmochim Acta, 1977, 41: 361—367.

Geochemical Characteristics and Significance of Hydrothermal Cherts  
——A Case Study of South China

YANG Hai sheng, ZHOU Yong zhang, YANG Zhi jun, ZHANG Cheng bo, YANG Xiao qiang  
( Department of Earth Science, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** There existed large scale hydrothermal sedimentary active in Precambrian, Devonian and Permian in South China. The hydrothermal cherts varied in hydrothermal quality, tectonic background, sedimentary circumstances mixing processes with the ordinary sedimentation and in geochemical characteristics. Hydrothermal cherts had certain geochemical transmissibility.

**Key words:** geochemical characteristics; chert; hydrothermal sedimentation; South China