

# 生物作用在二氧化硅聚集沉淀过程中的意义

## ——以皖南浙西的硅岩为例

赵国连

1 (中国科学院地球物理所 北京 100101)

**摘要** 在皖南浙西分布着一条近北东向的上震旦统(皮园村组)一下寒武统(荷塘组)在硅岩条带,作者通过野外、室内的研究,对岩石的结构、构造、矿物成分各个方面进行了系统的研究,找到了放射虫壳体结构,证实了生物作用对硅岩聚集沉淀的重要意义,主元素及有机碳的分析也显示了生物作用的痕迹。

**关键词** 皖南浙西 生物作用

**作者简介** 赵国连 男 30岁 博士 沉积学

### 1 地质背景

皖南浙西地区,位于扬子板块的东南大陆边缘。距今17亿年左右,古华南洋介于扬子板块与其南部的华夏板块间,分别向两个板块俯冲。到了距今8亿年左右,晋宁运动的结果,二个板块沿江绍断裂对接,皖南浙西进入残留盆地阶段。此后,由于上述二个板块又一次分离,其间发育了扬子边缘海断陷盆地,北有巢宁盆地,南有开临盆地,在晚震旦世—早寒武世时期常处于陆表海、浅海碳酸盐盆地环境,但在晚震旦世,在皖南沉积了皮园村组硅质岩建造,至早寒武世,缺氧环境有所扩大,范围一直扩展到浙西北,形成了硅质页岩建造<sup>[1,2]</sup>。

据《浙江省区域地质志》,本区震旦系可以划分为二统组,它西经皖南、赣北、湘西一直延伸到黔东。上述震旦系,均属于介于峡东(地台型)与桂北(地槽型)之间的江南(过渡)型沉积,因而在岩性岩相上、地层划分上基本相同,即南沱冰碛岩上的地层划为两个岩石地层单位,分别相当于湖北峡东标准剖面的陡山沱组和灯影组,这是上统,而皖南的硅质岩称为皮园村组,与灯影组是同期异相沉积,浙西北的灯影组为浅海台地相碳酸盐建造。到了早寒武世,浙西、皖南地区沉积了荷塘组浅海相炭质页岩建造。

本区晚震旦世—早寒武世的硅质页岩建造,在地理分布上,严格受构造的控制,皖南东至黟县、休宁、太平、绩溪一带,呈近东西向线状出露在地向斜

内,而浙西一带,往往呈北东向出露(见图1)。

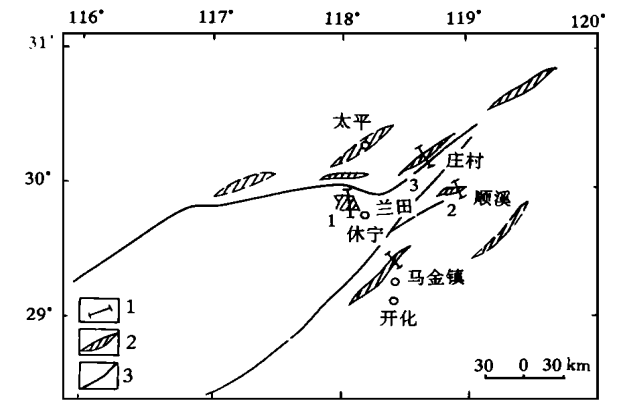


图1 皖南浙西上震旦统一下寒武统硅质岩的出露情况简图(据谢葵克<sup>[2]</sup>,有改动)

1. 剖面位置及编号; 2. 硅岩露头; 3. 断层

Fig. 1 Diagram of siliceous rocks form late Sinian early Cambrian in WZSA. (West of Zhejiang, South of Anhui)

### 2 硅岩的岩石学特征

#### 2.1 硅岩的剖面类型及其特点

据硅岩的颜色、结构、构造、物质组成等在时空上的分布特征,本区震旦—寒武系硅岩总共有三种类型的剖面(图2)。

I 以浙江开化底本桥头村剖面下寒武统的荷塘组为代表,剖面以大的磷结核(直径达30~50cm)出现为开端,其中的泥质硅岩均为灰黑色,中层

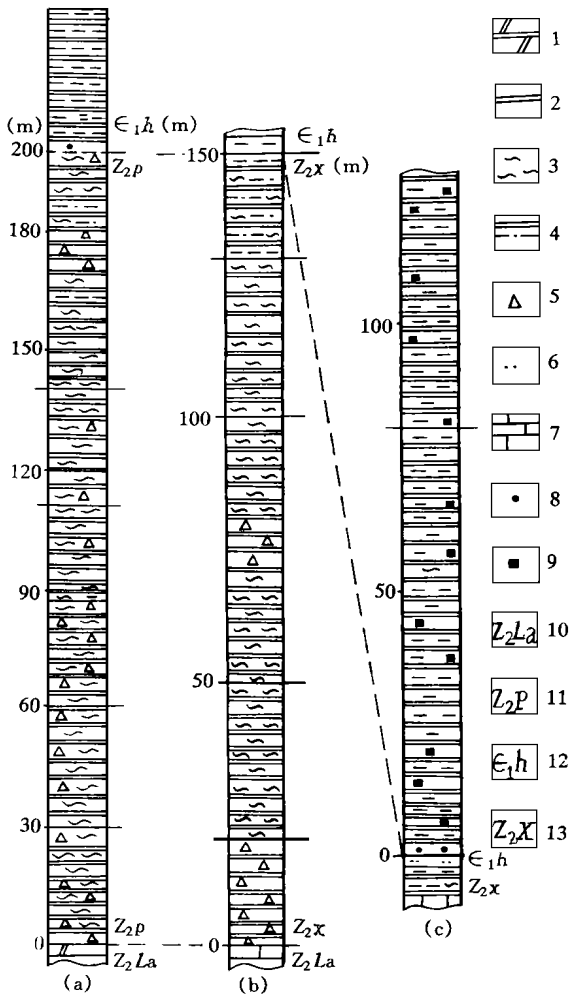


图 2 研究区硅岩的剖面类型

(a 兰田剖面; b 顺溪剖面; c 开化剖面)

- 1. 白云岩; 2. 硅岩; 3. 条带状构造; 4. 硅质泥岩; 5. 块状构造;
- 6. 长石石英砂岩; 7. 灰岩; 8. 磷结核; 9. 黄铁矿; 10. 上震旦统兰田组;
- 11. 上震旦统皮园村组; 12. 下寒武统荷塘组; 13. 上震旦统西峰寺组

Fig. 2 Types of section of siliceous rock sequence of the Piyuanchun Formation and Hetang Formation in WZSA.

状构造, 其单层厚度变化不大。且泥岩与硅岩互层, 从下往上, 泥质增加硅质减少, 硫含量高, 夹有较厚的石煤层, 其中的黄铁矿含量十分丰富。

II 以皖南休宁兰田剖面上震旦统皮园村组为代表。这种剖面的硅岩特征是: ①硅岩的颜色由底向上, 黑色与灰色交互出现, 但总的趋势向上有颜色变浅和特点。②硅岩的构造在垂向上表现出由厚层状→中层状→中薄层状变化, 在顶部出现薄层硅岩中的泥岩夹层, 硅岩的单层厚由底向上变薄, 在上震旦统与下寒武统的界线附近。有大量的磷结核出现, 磷结核大小 20~30 cm, 平均 20 cm, 磷结核看成

是两者分界的宏观野外标志。③岩石构造上来看, 由底部的块状构造, 条带状构造向上变得较模糊, 由于色调变化界线穿越条带状构造而造成的。

III 以浙江临安顺溪横毛坪剖面为代表, 岩石颜色主要为黑色, 整个剖面从下往上, 中层状构造的硅质泥岩为主, 夹有石煤层; 到顶部, 有少量薄层硅岩。

### 2.2 硅岩的矿物组成

本区硅岩, 据化学分析及光学显微镜、扫描电镜的测试结果, 可以看出, 其主矿物是微晶石英的各种多形变体。它们大致可以分为三类: (1) 粒状自形一半自形微晶石英, 及它形的微晶石英。前者晶形大小为 0.0025~0.05mm 不等, An-3 样品扫描电镜下观察到较完好的六方双锥晶形。(2) 纤维状微晶石英, 也即习称的玉髓, 空洞、晶洞、裂隙中呈球形集合体产出。由于含无数小的包裹体和其他杂质的存在, 它们在单偏光下可呈现淡黄色调。(3) 粗晶石英, 这类石英有二层含义, 首先粗晶石英指那些与周围微晶石英相比较大而突出的石英, 其次, 指与周围微晶石英有明显的形状及成因上差别, 因此粗晶石英可以是与周围微晶石英相同成因, 也指与周围石英晶体有不同成因的石英。

黄铁矿在本区的荷塘组较丰富, 例如底本桥头乡剖面上的黄铁矿粒成层产出, 可占泥岩总量的 10%~20%; 而顺溪剖面的中部开始的有黄铁矿, 如 An-34, 有许多呈菱铁矿的假象的黄铁矿。

本区硅岩富含有机质, 各个剖面中, 黑色条纹相间的构造中, 黑色条纹中含有相当部分的有机质, 一般是比较难于氧化的有机质, 可占岩石组份的 5%~10% 不等, 有机质的保存与沉积速率、氧逸度大小有关。沉积速率大, 因沉积物中缺氧, 岩石中残留的有机质较多, 反之, 则少。

### 2.3 硅岩的结构

作者在对本区硅岩进行野外观察、光学显微镜、扫描电镜的研究后将皖南浙西硅岩结构类型总结如下:

#### 2.3.1 微晶结构

由直径较小(0.0025~0.05 mm)的微晶石英组成, 一般经过了一定程度的重结晶, 兰田、顺溪、石山等地常有发育。

#### 2.3.2 纤维状微晶结构

由纤维状、放射状的玉髓组成, 一般在纯硅岩剖面中部分地段零星分布, 如兰田剖面中部。

### 2.3.3 泥晶结构或微晶——泥晶结构

一般在微晶石英含量 $< 20\%$ 的泥岩中发育,如兰田荷塘组,开化荷塘组等。

### 2.3.4 放射虫结构

本区各个剖面都见到了放射虫的壳体结构,主要依据时代分布、结构类型,分为二种:一种是由放射虫的硅质骨格经重结晶保存下来的大致呈五边形轮廓的结构(图版 I -1),或球形轮廓,一般由十几个至几十个  $0.03\text{ mm}$  至  $0.1\text{ mm}$  的微晶石英组成的集合体,都可能是放射虫的骨格经硅化而形成的。它们都在震旦系皮园村组中发育。如兰田、顺溪都较发育,也有少量发育在开化荷塘组;另一种是圆球形放射虫结构,一般由单个球体组成,其直径为  $0.2\text{ mm}$  左右,分内外核,内核较大,外壳较薄(仅为  $0.04\text{ mm}$  左右)经专家鉴定,认为是放射虫的化石,它们分布于下寒武系荷塘组底部,如兰田剖面,石山剖面可见到(见图版 I -2)。

### 2.3.5 菌藻结构

硅质岩中的古菌类、藻类极为丰富,据唐世荣等人的报道,上扬子地台晚震旦世至早寒武世的地层中,此类生物的痕迹都非常发育。单体组织为球形个体,而结构组织较复杂。有的具复杂的胞内组织。本区发育有如下二种结构:多孔状菌藻结构,由紧密排列的小孔组成,可能由化学作用、菌藻生物作用共同形成的,空腔也可能是营养细胞腐解后留下的孔洞 Am-35(图版 I -7);球网状结构, Am-64(图版 I -8)有一种不完整的球形结构,壳上有网点状结构,可能是菌体部分体壁保存下来的。它们零星发育于开化、顺溪剖面。

## 3 硅岩的构造

本区硅岩的构造比较简单,以条带状构造,层状构造,块状构造等为主。

1)条带状构造,黑色的条带与白色的条带构成韵律层,白色条带以微晶石英组成,黑色条带由铁质、有机质及隐晶质石英组成,宽为  $2\sim 5\text{ mm}$ ,在兰田剖面地层中较常见,也见于开化、顺溪等地,但条带变窄。

2)纹层状构造,仍以黑色条纹相间构造为主,但条带的宽度变化较大,而且黑的条纹间常渐变现象,见于兰田剖面的中上部。

3)块状构造,较普遍发育于兰田剖面。

## 4 硅岩的主元素地球化学特征及有机质的分布特征

### 4.1 主元素

硅岩的主元素地球化学特征,可以因岩石种类差异而显示出各自的特征。纯硅岩  $\text{SiO}_2$  含量可占  $90\%$  以上,其余成分含量较低,本区主元素含量有以下几个特征:(表 1)。

1)硅岩的  $\text{SiO}_2$  含量都比较高,凡野外定名为硅岩的  $\text{SiO}_2$  都在  $93\%$  以上,而野外定名为泥岩的  $\text{SiO}_2$  含量也在  $75\%$  左右;其余的氧化物,偶而几个样品超过  $1\%$  的,只有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  及  $\text{MgO}$ 、及某些样品的挥发份等几种成份;

2)本区硅岩的  $\text{CaO}$  含量较低,除少数样品可以检测到较低的含量( $0.02\% \sim 0.31\text{ wt}\%$ )外,其余测试样品的  $\text{CaO}$  都未测出,因此本区硅岩不是含碳酸盐类硅岩,而是富含粘土岩类,因为  $\text{Al}_2\text{O}_2$  含量的消长,是与  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、挥发份的消长关系是一致的;

3) $\text{Al}_2\text{O}_2$  在非曲型硅岩中的含量,相对于典型硅岩的含量要高;说明硅质泥岩受陆源影响较大;

4)除了个别样品外,  $\text{Na}_2\text{O}$  都高于  $\text{K}_2\text{O}$ , 即  $\text{Na}/\text{K} > 1$ 。

5)泥质硅岩的主元素的重量百分比与硅岩的相应值相比悬殊较大。

下面以兰田剖面采集到的硅岩、泥岩样为例,说明常量元素所表现出来的变化规律:(图 3)。

(1)  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ ,  $\text{TFe}/\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}/\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}/\text{TFe}$  都表现出一致的变化规律,即由剖面底向上,由较高的值变小;而  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  相反,由底部较低的值向上变高,至剖面顶变得极大。说明了本区硅岩的  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MnO}_2$ 、 $\text{TFe}$  等指标的高低主要受热水来源的影响,而  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$  等受陆源的输入控制为主。

(2)在寒武系—震旦系界面,垂向上存在着岩性、地球化学条件的突变,二者在化学成分、岩石类型、物质来源等方面都有较大的差别,这反映了震旦纪与寒武纪在地质环境上有一定的差异。震旦系的硅岩以热水来源的  $\text{SiO}_2$  为主,生物作用较强,而寒武系的泥质硅岩,陆源输入的杂质相对有所增加,热水来源的  $\text{SiO}_2$  稍有减少。横向上,西部兰田剖面发育了较典型的硅岩,  $\text{SiO}_2$  值为本区最高,向东变低,  $\text{TFe}$ 、 $\text{MnO}_2$  也有类似变化趋势;  $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、

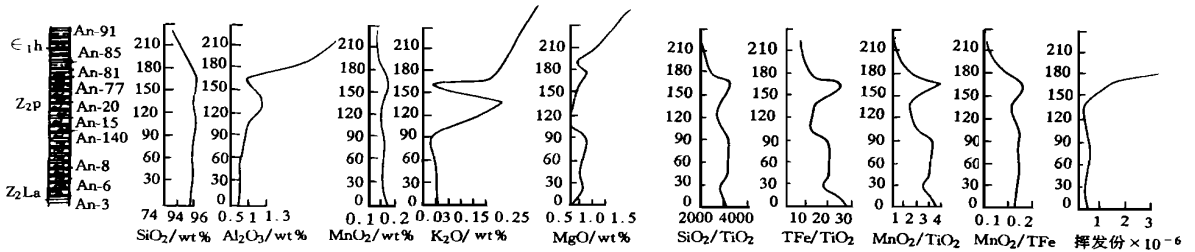


图 3 兰田剖面主元素、比值变化趋势图

Fig. 3 Diagram of changing trending of major elements and their ratio value in Lantian section

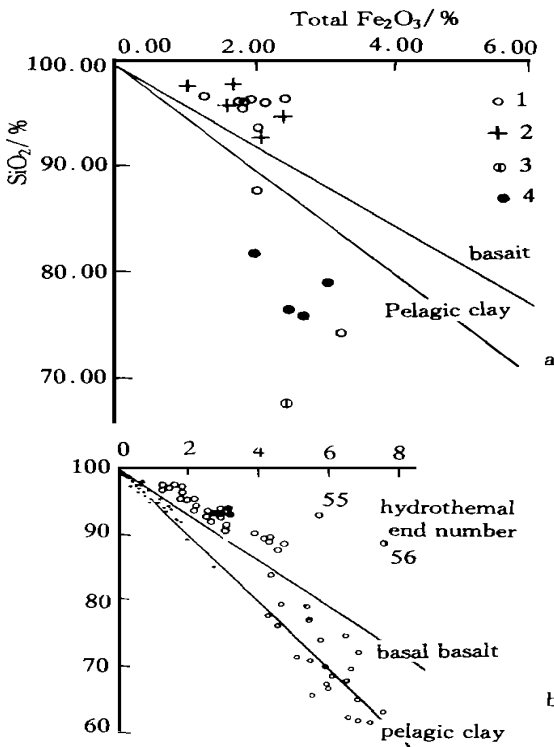


图 4 研究区硅岩 SiO<sub>2</sub>-TFe 图

(a) 本区样品; (b) 引自 Adachi 等, 1986;

1. 兰田样品; 2. 顺溪样品; 3. 庄村样品; 4. 开化样品

Fig. 4 Diagram of SiO<sub>2</sub>-TFe of cherts from WZSA

及 Al/(Al+Fe+Mn) 有相反的趋势。

下面我们将进一步讨论有关元素含量、及比值, 对硅岩环境的指示, 及目前所能进行的地球化学解释方法举例说明:

Adachi M 等认为, 在 TFe-SiO<sub>2</sub> 图上(图 4), 普遍硅岩即海水沉积成因、生成成因 SiO<sub>2</sub> 与少数粘土的混合物, 它与放射虫硅岩的成分都落入平均远洋粘土与纯 SiO<sub>2</sub> 点联线上, 表明陆源物质是运洋粘土的主要来源。本区开化的泥岩、兰田的泥岩, 都落入

纯 SiO<sub>2</sub> 与 pelagic clay 连线相近的下部区域(图 4), 因此, 早寒武纪时开化受陆源物质影响较大。

而 DSDPlegsites303, 304 硅岩的样品分布于 SiO<sub>2</sub>-玄武岩线及 SiO<sub>2</sub>-热水端元联线上, 是个多源性区, 是与生物、玄武岩、火山热水喷流有关的区域, 本研究区硅岩(图 4), 兰田样品, 除了 An-85, An-91 外, 都落于这个多源区, 顺溪剖面也位于此范围内, 因而本区硅岩与火山喷溢活动、热液作用带来的 SiO<sub>2</sub> 关系密切, 而进入荷塘组, 岩石多变为硅质泥岩, 因热水来源 SiO<sub>2</sub> 变少且陆源输入稍微增加造成的。

(3) Al/(Al+Fe+Mn) 指数:

关于 Al、Fe、Mn 原子成分的贡献, 一般把 Al、Ti 当作陆源组分, Mn、Fe 当作热水端元。这是因为 Al、Ti 是难风化产物, 并残留于风化壳内, 因此深海中沉积物的 Al、Ti 代表陆源, 而 Mn, 是深海沉积物的标志, 在大陆边缘, Mn 含量较低。因而目前都用 TFe/Ti-Al/(Al+Fe+Mn) 图来区分上述各端元的相对贡献的大小, 从而区分各种成因的硅岩<sup>[3]</sup>。从(图 5)上来看, 兰田剖面的荷塘组样品(An-85, An-91)属硅质软泥沉积类型并受陆源的影响, 热水提供的成分仅 10%; 开化的全部样品, 庄村 An-30, 硅质软泥、陆源混合型, 热水成分较低。兰田的纯硅岩样品, 及顺溪全部的样品、庄村的纯硅岩样品(An-23, An-28)都是热水成因与生物成因的混合作用的产物。

4.2 有机质

在薄片观察的基础上, 作者选出了兰田主剖面上 6 个硅岩样品, 粉碎到厘米-毫米级大小, 人工排选出新鲜、无后期脉充填的样品, 进行有机碳分析。每个样重约 2 克, 分析前粉碎到 160 目, 分析由石油勘探院完成。数据结果见表 2。

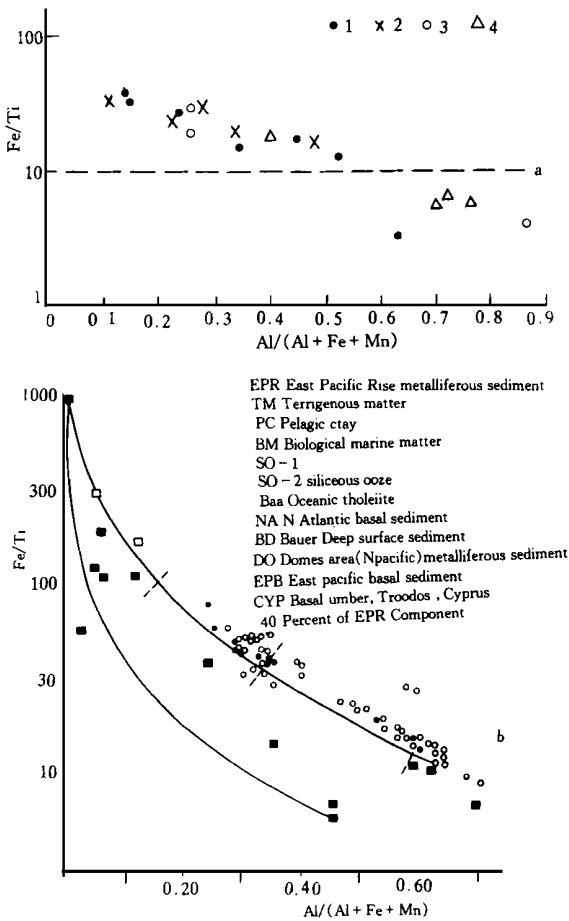


图 5 研究区硅岩  $TFe/Ti- Al/(Al+Fe+Mn)$  关系图  
 (a) 研究区硅岩及硅质泥岩; (b) 引自 Barret, 1981;  
 1. 兰田样品; 2. 顺溪样品; 3. 庄村样品; 4. 开化样品

Fig. 5  $Fe/Ti-Al/(Al+Fe+Mn)$  diagram of present marine sevliments and this region

表 2 皖南兰田剖面硅岩样品有机碳分析结果

样品号	An-3	An-6	An-14-2	An-15(1)	An-20	An-77	均值
有机碳含量/%	1.29	1.49	1.10	1.01	0.27	0.88	1.01

由表 2 可知, 兰田主剖面硅岩有机碳含量变化于 0.27%~1.49%, 平均值 1.01。沉积岩的有机质平均含量为 0.81%, 可见本区硅岩平均有机质的含量略超过一般沉积岩。如果考虑硅岩成岩作用过程中的去有机质作用, 原始有机碳的含量应该更高。Hunt 等研究发现, 有机质与有机碳的比值约 1.22 至 1.133。上述数据中, 也显示剖面底部的纯硅岩有机碳含量高, 由此向上, 有降低的趋势。这与显微镜下薄片观察到的剖面底部丰富的放射壳体的存在的现象是一致的。

## 5 二氧化硅沉淀过程与生物作用的关系

### 5.1 $SiO_2$ 的沉淀方式

化学沉淀方式,  $SiO_2$  以正硅酸  $H_4SiO_2$  或  $Si(OH)_4$  形式存在于溶液中, 在饱和条件下, 强酸性或弱酸性介质中易发生  $SiO_2$  的沉淀。

生物沉淀方式: 据报道, 环太平洋的层状燧石, 大部分是海洋生物硅质壳的沉积堆积而组成硅岩的, 硅质生物是硅藻、放射虫、硅质海绵骨针<sup>[3]</sup>。这些生物能集中吸取  $SiO_2$  以组成自身的躯壳。它们的生长受水中  $SiO_2$  浓度、水体循环情况、火山热液提供  $SiO_2$  多少及环境介质的化学性质等因素影响, 水体下部存在火山热液的地区, 往往是硅质生物大量繁殖的地区, 能因生物体堆积形成硅岩层, 如本区的休宁兰田硅岩层。

关于本区硅岩  $SiO_2$  的沉淀方式, 初认为以生物化学沉淀、生物沉淀为主, 但化学沉淀作用也贯穿其中, 只是贡献的大小是随地随时不同的。本区的硅岩都含有丰富的有机质, 菌藻类生物及硅质放射虫, 表明本区生物沉淀  $SiO_2$  的作用是十分重要的因素; 但局部地区可见重晶石, 这是热水胶体化学沉积的标志。而且有些硅岩较纯, 看不到直接的生物体、有机质、粘土矿物含量也较少, 岩石结构单一, 微量元素, 稀土总量较低, 有 Ce 异常, 这是热水化学作用的痕迹。因此, 作者认为, 本区硅岩沉淀方式上, 以生物、生物化学作用为主, 但也具化学沉淀因素贯穿其中, 只是作用力大小不一样。

### 5.2 生物因素在硅岩形成过程中的作用

首先, 硅质生物在其生命活动过程中, 通过光合作用, 新陈代谢改变环境的 Eh、pH 值, 从而利于  $SiO_2$  沉淀。当藻类繁盛时, 光合作用使湖水中的 pH 值偏大, 超过 10, 导致海底的碎屑石英、粘土矿物被溶解, 湖水中的  $SiO_2$  含量达到近饱和, 而当藻类活动减弱, 水中的  $SiO_2$  因 pH 值降低而变得过饱和和发生沉淀。而且, 在生物作用下, 大多数硅酸盐矿物易于发生风化, 保证  $SiO_2$  来源。硅质生物对硅质物质有强烈依赖性, 火山热液喷流口, 往往就是放射虫硅质沉积发育最好的地段; 硅质生物可以从  $SiO_2$  很低的环境中吸取并富集  $SiO_2$  于自身的壳体结构中<sup>[4]</sup>。本区兰田, 就是放射虫硅岩最发育的地段, 其中的硅岩质纯, 因为有较丰富的硅质壳体, 才能使硅岩的形成变得十分容易; 相反, 硅质生物发育不

好的地区,往往也是陆源注入较多的地区,沉积速率快,残留有机质反而增多,由此可以看出,纯硅岩发育在低温、阳光充足,水流清澈而没有或较少陆源的地区。Suess 也认为,只有沉积速度较小的地方,才有利于生物参与硅岩的形成。经环境相分析本区纯硅岩的产生环境是浅水台地斜坡地带,是生物作用较强的地段。

$TFe/Ti-Al/(Al+Fe+Mn)$  图(图5)表明,本区的纯硅岩(兰田、顺溪)的样品,都落入热水成因、生物成因的混合区,其中生物作用所占的成分较大。本区测得的  $Na_2O/K_2O > 1$ , 是正常生物化学作用的体现。

本区硅岩有机质含量高,外观呈黑色—黑灰色,是缺氧滞环境的标志。在这样滞流浅海环境下,生物、有机质剧增,它们有聚硅作用,并通过环境介质的改造,利于硅的富集、保存、饱和、沉淀。热水作用提供了  $SiO_2$ , 使局部硅浓度提高,且改变了水温,更利于生物的繁衍,提高了 S 等阴离子含量,形成了利于硅岩形成的地球化学障<sup>[4]</sup>。

伊海生在研究上扬子硅岩时指出,热水来源的  $SiO_2$  被海底洋流扩散,富硅海水中的  $SiO_2$  为菌类所吸收,最终演化为富含超微生物结构的硅岩;唐世荣在湘川地区硅岩发现了大量的放射虫,海绵骨针等生物结构,与之类似的下扬子区,硅岩的  $SiO_2$  可能一部分来自生物体的分解物。总之,我们认为本区

硅岩以热水作用提供的  $SiO_2$  为主,而  $SiO_2$  的聚集、沉淀与生物、化学作用有关,但主要还是以生物作用为主。

## 6 结论

皖南浙西硅岩的类型受构造背景、沉积作用、生物作用共同控制,尤其是生物聚集作用在硅的沉淀成岩作用中贡献很大。

关于硅岩的矿物成分结构、构造的研究,尤其是作者找到了放射虫壳体结构,生物作用促进了聚集  $SiO_2$  的沉淀。

从硅岩的主元素地球化学分析与有机碳分析也可以看出,生物作用对硅岩形成的意义。

### 参 考 文 献

- 1 王东安. 扬子地台晚元古代以来硅岩地球化学特征及其成因. 地质科学, 1994, 29(1): 41~54
- 2 谢奕克. 皖南浙西上震旦统碧玉岩的地质意义. 中国地质科学院南京地质矿产研究所刊, 1979
- 3 Brassell S C. Applications of biomarkers for delineating marine paleoclimatic fluctuations during the Pleistocene. In: Engel M H, Macko S A, eds Organic Geochemistry Principles and Applications. Plenum Press 1993. 699~738
- 4 Fu Jiamo, Sheng Guoying, Xu Jiayou, Eglinton G, Gowar A P, Jia Rongfen, Fan Shanfa, Peng Pingan. Application of biological markers in the assessment of paleoenvironments of Chinese non-marine sediments. Org. Geochem. 1990, 16: 769~770

## The Influence of Biogenic Procession on the Accumulation and Precipitation of Silica

—An example from South of Anhui and West of Zhejiang

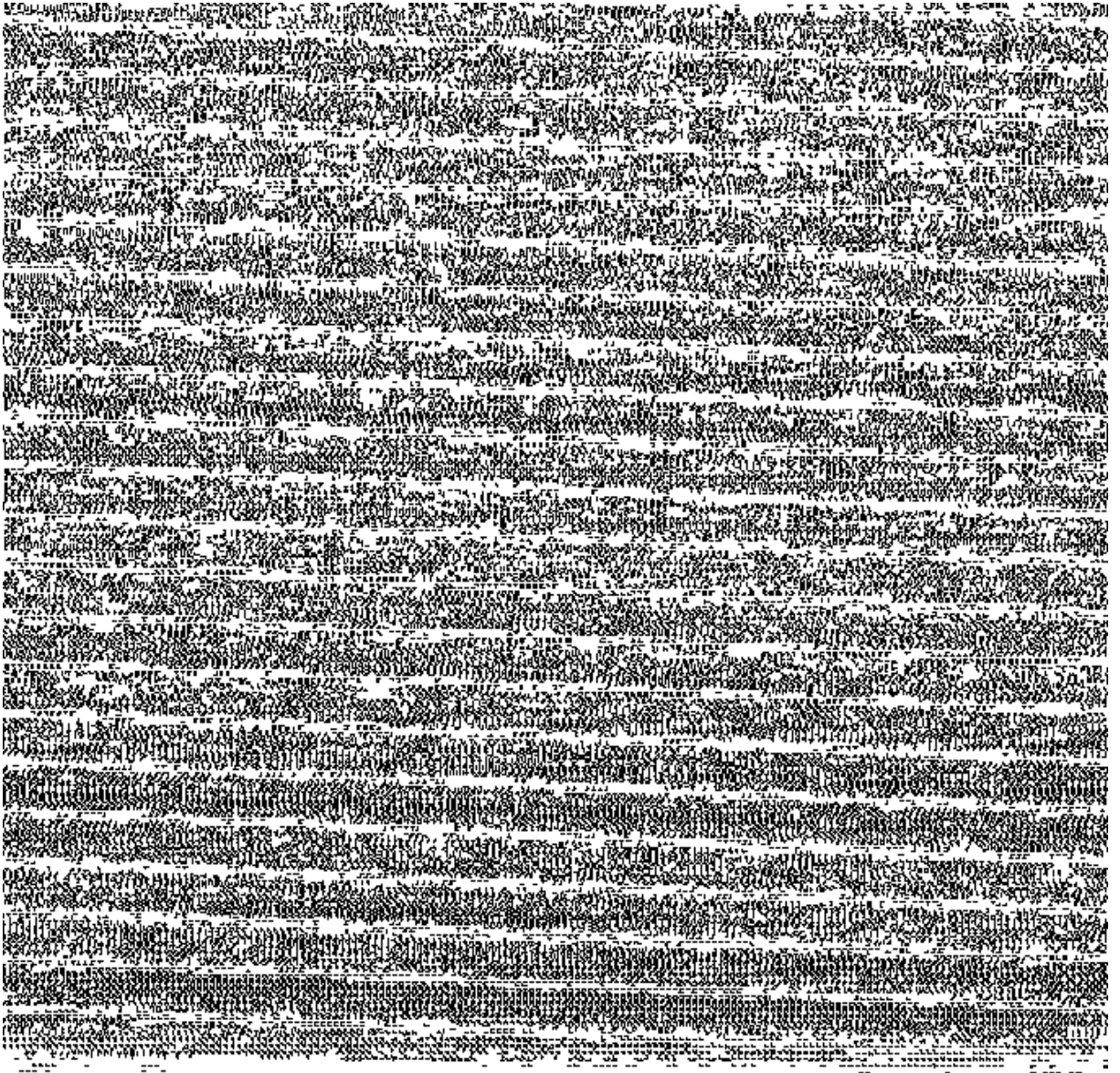
Zhao Guolian

(Institute of Geophysics, Chinese Academy Sciences Beijing 100101)

### Abstract

In the South of Anhui and West of Zhejiang, there is a zone of upper Sinian and lower Cambrian siliceous rocks which stretch approximately NE. After field trip and laboratory studies, we understood all aspects of their texture and structure and mineral composition and found shells of radiolarian. It is proved that biogenic procession plays an important role in the formation of cherts and the analysis of major elements shows it clearly.

**Key words** South of Anhui and West of Zhejiang biogenic procession.



图版说明 1. 放射虫结构, 正交偏光,  $40\times 3.3$ , 临安顺溪西峰寺组, An-39 号样; 2. 放射虫结构, 正交偏光, 开化底本, 荷塘组, An-60 号样; 3. 放射虫结构, 正交偏光, 兰田皮园村组, An-3 号样; 4. 放射虫结构, 单偏光,  $20\times 3.3$ , 石山荷塘组, An-114 号样; 5. 放射虫结构, 正交偏光,  $20\times 3.3$ , 开化底本, 荷塘组, An-64 号样; 6. 放射虫结构, 正交偏光,  $40\times 3.3$ , 临安顺溪西峰寺组 An-50 号样; 7. 草蓐状菌藻结构, 隐晶质石英集合体中密布小孔隙, 扫描电镜, 顺溪剖面; 8. 球状菌藻壳体, 壳面上见网状构造, 扫描电镜, 开化底本剖面