

# 湘川地区震旦—寒武系硅岩的有机岩石学研究

唐世荣<sup>1</sup> 王东安<sup>2</sup> 李任伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (浙江农业大学环境与资源学院土化系, 杭州 310029) <sup>2</sup> (中国科学院地质研究所, 北京 100029)

**提 要** 湘川地区包括四川秀山、相西和湘中地区。该地区震—寒武系层状硅岩发育。硅岩有机碳含量较高, 变化于 0.06~ 9.00%, 平均 1.57%。有机碳与某些微量元素 (Ba Zn Rb Co As U Th) 的线性关系不明显; 油浸显微镜下鉴定硅岩中的干酪根组成多为有机质碎片和微粒体, 并显示微弱的各向异性。原始母质类型经恢复后基本为腐泥型, 属于 I 型无定型干酪根; 在干酪根化学元素组成图上 (Van Krevelan 图), 均位于变生作用阶段区, 表明有机质成熟度高; 干酪根稳定碳同位素组成变化于 - 29.30~ - 35.84‰。上述有机岩石学特征分析表明, 生物及其降解产物—有机质对硅岩的形成具有不可忽视的贡献; 硅岩形成过程中可能发生过“去杂质”作用; 硅岩中的有机质成熟度较高; 硅岩的形成环境可能属于浅水陆缘滞流盆地。

**关键词** 硅岩 有机岩石学 形成环境 湘川地区

**分类号** P 58/P 588.24

**第一作者简介** 唐世荣 男 32岁 博士 地球化学及沉积地球化学

## 1 前 言

湘川地区包括四川秀山、相西和湘中地区, 其范围属于习称的上扬子东缘及其过渡带。该区震旦—寒武系层状硅岩发育, 具有大面积区域性分布的特点, 并且与矿产、油气可能存在时空和成因关系。因此, 有不少人在该地区做过硅岩的沉积学和沉积无机地球化学方面的研究工作 (张继庆等, 1987; 浦必纯等, 1987<sup>[4]</sup>; 伊海生<sup>①</sup>, 1989; 彭军<sup>②</sup>, 1992; 王东安, 1994<sup>[1]</sup>)。但硅岩的有机地球化学和有机岩石学方面的工作则不多见 (唐世荣等, 1994)<sup>[3]</sup>。本文试图从硅岩的有机碳丰度、干酪根光学特征、元素组成特征及干酪根稳定碳同位素特征等来阐述硅岩的形成环境、生物对硅岩形成的贡献等成因问题。

## 2 地质背景

湘川地区地处中国南方震旦纪湘黔桂陆缘断陷盆地内。该盆地位于上扬子—鄂中古陆 (台地) 的东南缘至扬子板块边界。其基底为晋宁期的龙胜初始洋弧和湘黔弧后盆地。盆地边缘和内部分布有若干条近东西向和北北东向张性断裂, 控制着盆地的形

成。震旦纪时期盆地处于大陆架环境, 内部有明显的分异, 表现出晚震旦世盆地西北与东南部沉积物类型存在较大的差异。晚震旦世盆地的西北部堆积了一套浅海陆棚 (台地斜坡) 泥质和碳酸盐岩沉积物, 东南部堆积了一套盆地硅质和硅泥质沉积物。夏文杰等 (1994)<sup>[2]</sup> 根据盆地内沉积物的性质不同又划分出两种微相, 即钙泥质型台缘盆地相和硅质型台缘盆地相。后者主要分布在上扬子—鄂中台地东南缘的湘中、黔东南、桂北等地的留茶坡和老堡组中, 是本次研究的重点。早寒武世早期区内仍继承晚震旦世的岩相古地理格局。

## 3 研究方法

将野外采集的新鲜硅岩样品用铁锤破碎到 cm—mm 级大小, 从中手选出新鲜无污染、无后期石英细脉、无风化的小块碎片, 用不锈钢破碎机破碎到 120~ 160 目, 每个样品破碎之前特别注意清洗碎样机以防交叉污染。破碎后的样品用作有机碳含量分析。再根据有机碳含量特征, 选样用于干酪根提取。最后, 把提出的干酪根制成光片, 并测定干酪根

① 伊海生, 1989年. 湘黔地区上震旦统沉积相及层状硅岩成因研究, 成都地质学院博士论文, 108页.

② 彭军, 1992年. 湘黔地区震旦—寒武系硅岩及重晶石成因, 成都地质学院博士论文, 104.

## 化学元素组成和稳定碳同位素组成, 结果列于表 1

表 1 湘川地区硅岩及其共生岩石的有机碳含量、干酪根元素组成及稳定碳同位素组成  
 Table 1 Content of  $C_{org}$  and compositions of kerogen elements and stable carbon isotopes  
 of the chert associated rocks in the Xiangchan region

样品编号	产地	采样层位	岩性描述	$C_{有机}\%$	$C\%$	$H\%$	$O\%$	$\delta^{13}C_{\text{‰}}$ (PDB)
Cs-109	四川涪溪	牛蹄塘组	黑色硅岩	2.92	57.76	1.01	4.48	-35.27
Cs-111	四川涪溪	牛蹄塘组	黑色硅岩	1.89				
Cs-112	四川涪溪	牛蹄塘组	黑色硅岩	0.60				
Cs-18	吉首红坪	留茶坡组	黑色硅岩	2.26	75.09	1.96	2.19	-34.38
Cs-261	双峰高涧	留茶坡组	黑色硅岩	0.52				
Cs-27	吉首红坪	留茶坡组	黑色硅岩	8.46				
Cs-272	双峰高涧	留茶坡组	黑色硅岩	1.74	86.71	0.75	3.07	-33.12
Cs-28	吉首红坪	留茶坡组	硅质泥岩	5.96				
Cs-29	吉首红坪	留茶坡组	硅质泥岩	10.30				
Cs-32	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	0.73				
Cs-33	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	1.12				
Cs-34	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	0.70	79.54	1.85	8.00	-34.99
Cs-37	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	1.00				
Cs-39	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	1.32				
Cs-4	吉首红坪	陡山沱组	硅质泥岩	0.11				
Cs-41	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	1.06				
Cs-43	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	1.00	76.78	1.89	11.23	-35.09
Cs-44	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	0.95				
Cs-47	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	0.96				
Cs-49	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	0.79				
Cs-51	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	1.38				
Cs-53	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	1.99	67.10	1.06	2.74	-34.54
Cs-54	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	1.62				
Cs-57	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	2.48				
Cs-58	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	4.50	73.72	1.42	12.75	-34.16
Cs-61	沅陵三角坪	留茶坡组	黑色硅岩	2.24				
Cs-62	沅陵三角坪	留茶坡组	泥岩	13.24				
Cs-66	沅陵三角坪	牛蹄塘组	黑色硅岩	1.88	79.41	1.26	2.29	-33.95
Cs-67	沅陵三角坪	牛蹄塘组	黑色硅岩	11.55				
Cs-7	吉首红坪	留茶坡组	硅质泥岩	9.84				
Cs-70	沅陵三角坪	牛蹄塘组	黑色硅岩	11.20	60.57	0.82	.43	-33.66
Cs-75	沅陵三角坪	牛蹄塘组	黑色硅岩	5.00				
泥岩平均值				9.65				
硅岩平均值				1.57				

注: 有机碳含量分析由石油勘探开发科学研究院实验中心有机碳分析实验室完成; 干酪根元素组成由该院化学组成分析室完成; 稳定碳同位素组成由同位素实验完成。

## 4 结果与讨论

### 4.1 硅岩中有机碳丰度

从表 1 知,研究区硅岩有机碳含量变化于 0.06~9.84%,平均 1.57%,与其共生的其它类岩石的有机碳含量为 0.11~15.00%,平均 9.65%,显然,与硅岩共生的其它类岩石的有机碳含量比硅岩高得多。沉积岩有机碳平均含量为 0.8% (Hunt, 1962),简单的计算后可知,本区硅岩的平均有机碳含量是沉积岩有机质平均含量的 1.93 倍,而与硅岩共生的其它类岩石的平均有机碳含量更高,是沉积岩有机质含量的 11.91 倍。这是在未考虑硅岩成岩作用过程中的去有机质作用和围岩成岩过程中有机质的演化及地表氧化作用的情况下得出的结果,事实上,原始有机质的含量可能要比目前检测出的有机碳含量高一些。对于古代沉积岩, Hunt 等学者认为有机质/有机碳比值为 1.22~1.33 (刘岫峰, 1991: 186 页)。由此可见,本区硅岩及共生岩石的有机质含量极为丰富,反映生物及其降解产物对硅岩的形成具有不可忽视的贡献。

从有机碳在沅陵三角坪剖面地层柱上的变化特点看 (图 1),从剖面底部 (留茶坡组下部)到剖面中部、上部 (留茶坡组中、上部)再到牛蹄塘组有机碳含量是逐渐增加的,剖面下部有机碳丰度低,上部有机碳丰度高。这一变化特点反映整个沉积环境的还原性逐渐增加。

但是,硅岩中有机碳与某些微量元素的正相关关系不明显 (图 2),可能反映硅岩成岩过程中发生过二氧化硅的重结晶作用,作用的结果导致某些微量元素被不同程度地剔除,即所谓的“去杂质作用”。硅质物质的沉淀并不是发生在一个真空环境中,而是有多种物质存在的复杂的沉积环境中,其中包括有微量元素、有机质、生物碎片等杂质存在。在这样的环境中发生大量的硅质物质的堆积作用,必然会引起上述物质共沉淀。因此,最初堆积下来的硅质发生重结晶作用,结果二氧化硅的结晶程度越来越高,有机质含量减少,硅质沉积物中的微量元素及其它杂质成分随之发生转移,最终导致硅质中原有的各种杂质元素大量减少。由于各种微量元素的化学性质和成岩作用的历史不同,硅岩中的微量元素等杂

质成分也将发生不同程度的剔除,致使杂质组分之间的相关性不明显或差。去杂质作用从另一方面说明硅岩并不是很好的容矿围岩,但却是良好的矿源层。湖南吉首红坪剖面硅岩层上伏的钒矿层 (含钒 > 1%) 的形成很可能与硅岩的去杂质作用有关。

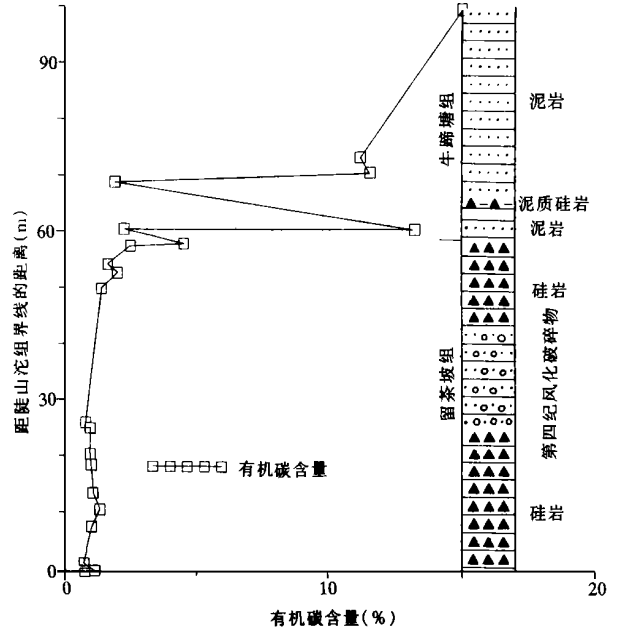


图 1 沅陵三角坪剖面硅岩及其共生岩石中有机碳含量在垂向剖面上的变化趋势

Fig. 1 Variations of organic carbon in the horizontal section of the chert and associated rocks at the Shanjaoping profile, Yuanlin

### 4.2 干酪根的光学特征

为了研究干酪根的光学特征,笔者选取 5 个提纯的干酪根粉末样品送中国矿业大学制成干酪根光片。将制好的光片放在油浸反射光显微镜下进行显微组分特征研究后发现,本区硅岩的干酪根绝大部分是由微粒体和有机质碎片组成,微粒体呈灰黄色-黄色,大的微粒体集合体有时表现出微弱的各向异性<sup>①</sup>。根据肖贤明 (1992) 对过成熟干酪组分划分及原始母质类型恢复方法,本区硅岩干酪根的原始显微组分应属腐泥组,原始有机质类型基本上属于

I 型无定形干酪根。

① 唐世荣. 湘黔地区震旦-寒武系硅岩的沉积学及沉积地球化学研究. 中国科学院地质研究所博士论文, 1995, 88.

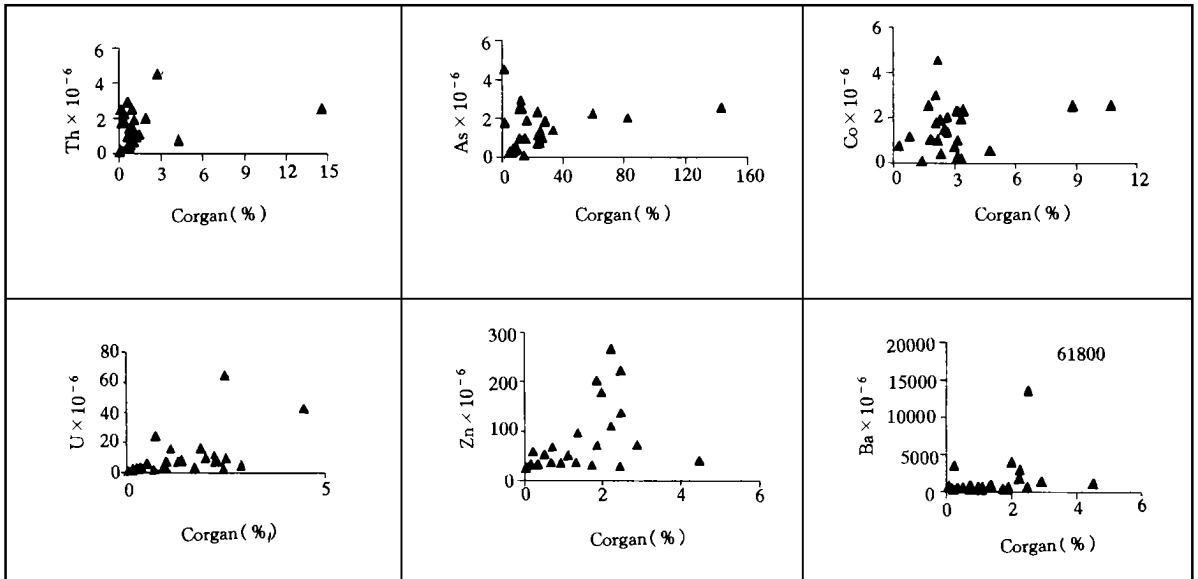


图 2 研究区硅岩及其共生岩石中有机碳含量与某些微量元素含量之间的关系。

Fig. 2 Relationships between organic carbon and contents of some trace elements in the chert and its associated rocks in study area.

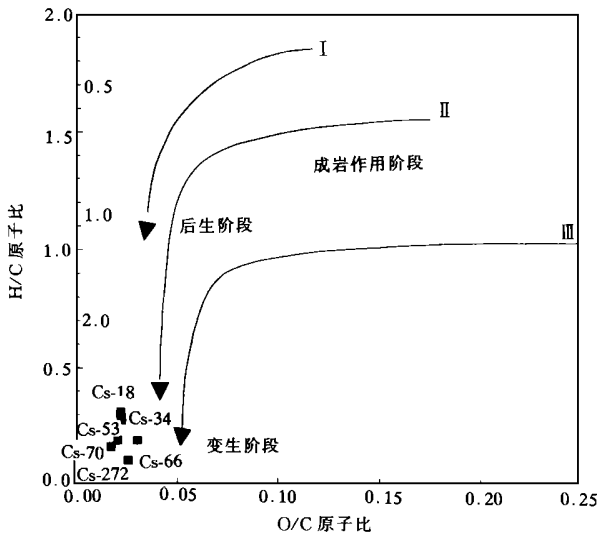


图 3 研究区震旦-寒武系硅岩干酪根元素化学组成分析 (Van Krevelen图, 据 Tissot和 Welte, 1984)

Fig. 3 Elemental Composition of kerogens in the Sinian-Cambrian chert of the study area (Van Krevelen diagram, after Tissot and Welte, 1984)

### 4.3 干酪根的元素组成

图 3是根据表 1中的干酪根元素化学成分分析数据作出的范·克雷维伦 (P. W. Van Krevelen,

1961)图解 依据 Hayes等 (1983)编制的有关无机成岩作用、变质相和变质程度以及沉积有机质成熟度指标的关系图,本区硅岩的干酪根样品的 H/C和 O/C原子比值均落入 Van Krevelen图上的变质作用阶段 (图 3),表明有机质已进入高成熟度阶段 其中三个样品的 H/C原子比低,而 O/C原子比高,是遭受风化作用影响的样品,因而未在图中标出

### 4.4 干酪根碳同位素分布特征

表 1列出了本区 10个硅岩干酪根样品的稳定碳同位素测定分析结果。从表知,6个取自留茶坡组的硅岩干酪根样品,具有负的  $\delta^{13}C$ 值,变化于  $-33.95\text{‰} \sim -35.09\text{‰}$ ,平均  $-35.84\text{‰}$ ,而 4个取自牛蹄塘组的硅岩样品,其干酪根碳同位素变化范围更大,为  $-29.30\text{‰} \sim -35.27\text{‰}$ ,平均  $-32.84\text{‰}$ 。显然,牛蹄塘组样品的碳同位素比值与留茶坡组样品有一定的差异,反映它们的形成环境存在差异 Barghoorn等 (1977)对 Gunflint铁建造中的有机质之碳同位素分布特征进行了详细的研究 他们认为,硅岩形成的深度对有机质来源  $CO_2$ 具有决定性意义,从而影响其干酪根的碳同位素分布特征 并因此发现,含轻碳同位素的干酪根 ( $-25\text{‰} \sim -30\text{‰}$ )形成于浅水环境,而含重碳同位素的干酪根样品 ( $-15\text{‰} \sim$

20‰)形成于深水相。本区硅岩中干酪根的碳同位素以富含轻碳同位素为特征,反映它们的形成环境为浅水环境。

Lewan(1986)也对干酪根中碳同位素分布特征与环境之间的关系作过深入的研究。他发现,无定形干酪根可以依其碳同位素不同分成两大类: L-型和 H-型。其中 L-型干酪根的碳同位素值变化于  $-35‰ \sim -26‰$ ,而 H-型干酪根变化于  $-20‰ \sim -24‰$ 。前者的形成环境为局限的浅水( $< 250\text{ m}$ )陆缘海盆,盆地上部的海水具有明显的分层现象,这里光合作用带的主要碳源为有机来源的  $\text{CO}_2$ ;后者产于滞流的深水盆地( $> 500\text{ m}$ ),且盆地上部水体循环性好,光合作用带主要的碳源为大气来源的  $\text{CO}_2$ 。前已讲到,本区硅岩的干酪根经原始母质类型恢复后均为腐泥型干酪根,且它们的干酪根碳同位素表现出轻碳同位素集的特点。因此,与 Lewan(1986)所述的 L-型干酪根相似,推测本区硅岩的形成环境具有水浅、水体分层的特点,属于局限的浅水陆缘滞流海盆沉积的产物。

上述现象可能与生物死亡后在海水柱中的沉降里程有关,里程越短即水浅,生物及其降解产物在水柱中滞流的时间愈短因而愈易保存。本区硅岩除个别地段含有丰富的硅质放射虫外,所见到的硅质生物绝大部分是菌藻类低等生物<sup>①</sup>。这些生物要沉降到海底并在沉降过程中不被溶蚀掉,必须满足两个条件:一是有机质保护,二是沉降的里程较短,即水浅。硅岩中干酪根稳定碳同位素很负,表明有机碳的贡献大,水体浅。

## 5 生物在硅岩形成过程中的作用

上述事实表明,硅岩的形成离不开一个特殊的生物地球化学环境。尤其是时代相对年青的硅岩的形成与生物有着十分密切的关系。这种关系表现在:

(1) 硅质生物具有降解、破坏悬浮于自然界水体中的硅酸盐、铝硅酸盐质点的能力。不同类型的硅酸盐抵抗生物风化侵蚀作用的能力是不同的,岛状、链状、层状及富含钾和钙成分的架状硅酸盐最容易受到生物的风化作用和生物的转化作用的影响,而环状硅酸盐在生物降解作用过程中变化比较缓慢。

(2) 生物具有从海水中萃取硅质物质以组成

其躯壳的能力。生物的这种聚硅能力是很惊人的。Jorgensen, F. G. (1953)曾作过试验,在含  $\text{SiO}_2$  的溶液中加入两种硅藻后,氧化硅的浓度从  $0.65 \sim 1.25\text{ mg/kg}$  降为  $0.065 \sim 0.085\text{ mg/kg}$ ,因此生物可以从  $\text{SiO}_2$  很低的海水中吸取  $\text{SiO}_2$ 。这种本领是形成广布于现代洋底硅质软泥的主要原因之一。

(3) 为硅岩的形成提供充足的  $\text{SiO}_2$ 。硅质生物的上述本领致使  $\text{SiO}_2$  在生物体中大量富集,当生物死亡后下沉到海底或湖底,经成岩作用过程后便能引起生物体中  $\text{SiO}_2$  直接堆积成岩。在这个过程中硅质生物往往要经历溶解-再沉淀的过程才能形成硅岩。

(4) 改变硅岩形成的环境条件: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 值条件,间接促使  $\text{SiO}_2$  发生过饱和和沉淀。

(5) 是沉淀  $\text{SiO}_2$  的一种有效工具:硅质生物由于其对硅质物质的特别嗜好,常常大量地繁殖在  $\text{SiO}_2$  供给充足的地区,如洋流上升地带、火山-热液作用地带、冰川发育地带等等,这些地带  $\text{SiO}_2$  营养物质来源充足,硅质生物十分活跃,它们把大量的硅聚集于生物体内,然后堆积下来形成巨厚的硅岩层。

本区硅岩中生物种类繁多,有机碳含量丰富,说明生物对该地区硅岩的形成起着不可忽视的作用;另一方面,也反映  $\text{SiO}_2$  沉淀时的古海水柱深度不可能太大。

## 6 结 论

湘川地区震旦-寒武系层状硅岩发育。硅岩的有机岩石学研究同样可以揭示硅岩成因。通过研究湘川地区硅岩有机碳含量及其与某些微量元素(Ba、Zn、Rb、Co、As、U、Th)的关系,干酪根化学元素组成、干酪根稳定碳同位素组成等有机岩石学方面的特征,笔者认为生物及其降解产物-有机质对本区硅岩的形成具有不可忽视作用;硅岩形成过程中可能发生过“去杂质”作用;推测硅岩的形成环境属于浅水陆缘滞流盆地。

本文写作过程中得到过叶连俊院士的关心和支

① 伊海生,1989年.湘黔地区上震旦统沉积相及层状硅岩成因研究,成都地质学院博士论文,108页。

持。中国科学地质研究所雷加锦博士对于酪根的光学特征部分提出了建设性意见。石油勘探开发科学研究院实验中心的董爱正、李力和徐冠军等为笔者完成了有关干酪根测试工作,特此致谢。

#### 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] 夏文杰, 周浩达, 王熙林等. 中国南方震旦纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1994, 107.

[3] 唐世荣, 王东安. 硅岩研究的进展. 地球科学进展, 1994, (6): 71~75.

[4] 蒲心纯, 张继庆, 殷积成等. 上扬子区晚震旦世沉积岩沉积相及矿产. 重庆出版社, 1984, 1-25.

## Organic Petrology of the Cambrian-Sinian Chert from the Xiangchuan Region

*Tang Shirong<sup>1</sup> Wang Dongan<sup>2</sup> and Li Renwei<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> (Department of Soil Chemistry, College of Environments and Natural Resources, Zhejiang Agricultural University, Hanzhou 310029, Zhejiang, China)

<sup>2</sup> (Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

### Abstract

The Xiangchuan region is referred to Shoushan County, Sichuan Province and the western and middle parts of Hunan Province where Sinian-Cambrian bedded cherts are well-developed. The organic carbon content in the chert samples is relatively high, ranging from 0.06 to 9.00% and averaging 1.91%. The linear positive relationship between organic carbon concentrations and some trace element contents is not clear. Microscopic studies of the kerogen from the chert samples show that the main components of the kerogen are organic fragments and microsome with weak anisotropy. The restoration results suggest that the primary mother materials basically belong to Type-I amorphous kerogen. On the Van Krevelen diagram, all samples fall into the metagenesis field. Stable carbon isotopes of kerogen from the chert samples range from -29.30 to -35.84‰. Analysis of the features of organic petrology mentioned above suggests 1) that organisms and their degraded products contribute much to the formation of chert, 2) that in the formation of the chert a so-called "elimination of impurity matters" processes may probably take place; and 3) that the chert is formed in a shallow continental-margin stagnant basin.

**Key Words** chert organic petrology formation environment Xiangchuan region