

# 利用岩石地球化学特征判断西秦岭寒武系 含矿硅岩建造的沉积环境<sup>①</sup>

刘家军<sup>1</sup> 刘建明<sup>2</sup> 郑明华<sup>3</sup> 周渝峰<sup>3</sup>  
顾雪祥<sup>3</sup> 张斌<sup>3</sup> 林丽<sup>3</sup> 周德安<sup>4</sup>

1(中国科学院地球化学研究所 贵阳 550002) 2(中国科学院矿物资源探查研究中心 北京 100101)  
3(成都理工学院矿床地质研究所 成都 610059) 4(核工部北京地质研究院 北京 100029)

**摘要** 西秦岭寒武系硅岩建造是拉尔玛、邛莫金矿床和牙相金矿点的赋矿岩系。其主要由炭质硅岩和炭质板岩组成。其中的含矿硅岩构造十分丰富,有块状、条带状、层纹状、多孔状和同生角砾状等。硅岩单层厚度一般为30~200 m。其主要成分除SiO<sub>2</sub>(平均含量95.30%)外,其它氧化物含量能达1%者仅有FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,且FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比值大于1,而Sr/Ba比值小于1。硅岩建造中有机碳含量相当高,一般为(0.12~8.14)%,高者达22%。硅岩中稀土以总量低(3.29×10<sup>-6</sup>~100×10<sup>-6</sup>)、铈亏损为特征。硅岩建造中沉积黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化在-10‰~+46.9‰之间。硅岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值主要变化在+0.4‰~+0.8‰之间。硅岩建造的上述特点反映其主要是在深海一半深海环境下形成的。

**关键词** 硅岩建造 沉积环境 西秦岭

**第一作者简介** 刘家军 男 35岁 博士后 副教授 矿床地球化学

西秦岭寒武系硅岩建造(图1)是拉尔玛、邛莫金矿床和牙相金矿点的含矿岩系。该岩系主要由炭质硅岩和炭质板岩组成,局部出现碳酸盐岩和粉砂岩,并以富含有机质和菌藻微生物为特征。其中除高度富集Au外,尚富含Se、U、Cu、Mo、Sb、PGE(铂族元素)等近二十种元素,构成一极为典型的含矿硅岩建造。深入研究含矿硅岩建造的沉积环境,对于认识该硅岩建造中金矿床的形成机制将会起到重要作用。

## 1 硅岩建造的产出特征

西秦岭寒武系主要以炭质硅岩与炭质板岩相间互层产出为特征(图2),并构成厚度巨大(最厚可达1000 m)的硅岩建造。其中硅岩为硅岩建造的主要组成岩石之一,其单层厚度一般为30~200 m。鉴于硅岩的化学特征,致使其地貌景观形成山脊陡壁,气势磅礴,蔚为壮观。

硅岩因富含有机碳呈灰黑色,岩石致密坚硬。

经物相分析及显微镜鉴定表明,组成岩石的主要矿物为微晶石英(表1),其含量占矿物组成的90%以上。石英粒度较细,多呈等轴—它形粒状、条柱状、板片状,有时也见呈自形粒状和胶状者。石英微晶内部多较浑浊,不透明,但颗粒边界清晰。在扫描电子显微镜下,微晶石英显示为结晶完好的 $\alpha$ -石英,石英颗粒之间大多无胶状硅质连接。

硅岩中的杂质矿物有黄铁矿、重晶石、炭质和泥质物等。在球粒状硅岩中存在少量磷钼矿、磷灰石等矿物。

硅岩的内部结构按石英的结晶状态和聚集形态可划分为:粒状镶嵌结构、它形粒状结构、变胶状结构、似显微交织状结构等。

硅岩的类型按其外部构造特征可分为:块状硅岩、同生角砾状硅岩、多孔状硅岩、条带状硅岩、层纹状硅岩、球粒状硅岩和软变形状硅岩等。

硅岩建造中除硅岩外,板岩也占一定的比例,且由东向西(牙相→拉尔玛),板岩所占比例渐增(见图

<sup>①</sup> 国家自然科学基金和中国—奥地利国际合作项目(编号4880099)、国家自然科学基金(编号49503048、49773197)和中国博士后科学基金资助项目。

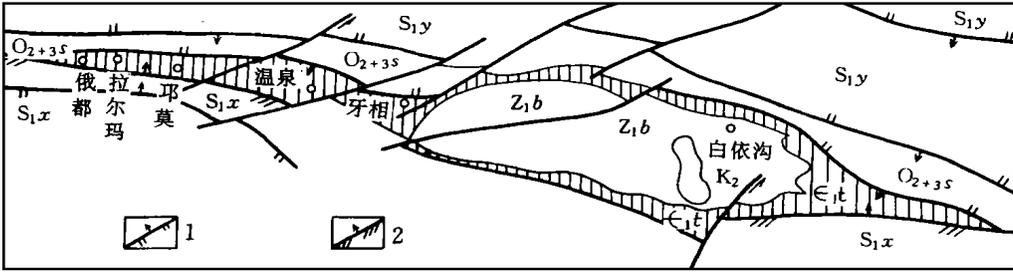


图 1 西秦岭寒武系硅岩建造地质略图

(据四川地质矿产局川西北地质大队区调分队, 1990, 略有修编)

$K_2$ ° 上白垩统;  $S_{1y}$ ° 下志留统羊肠沟组;  $S_{1x}$ ° 下志留统下地组;

$O_{2+3s}$ . 中、上奥陶统苏里木塘组;  $E_{1t}$ ° 寒武系太阳顶群;

$Z_{1by}$ ° 震旦系白依沟群; 1° 逆断层; 2° 逆掩断层

Fig. 1 Geological sketch map of the Cambrian silicalite formation in western Qinling

表 1 硅岩建造中岩石 X-射线粉晶分析结果

Table 1 X-ray Power diffraction analysis of the rocks in silicalite formation

位置	样号	岩性	矿物相			
			主要	次要	少量	微量
拉尔玛	L1-1	灰色板岩	石英、白云母		高岭石	
	L1-1A	灰色板岩	石英、白云母			绿泥石、钠长石
	L1-2A	炭质板岩	石英	白云母		钠长石
	L1-2B	炭质板岩	石英、白云母			钠长石
	L1-3	炭质板岩	石英		白云母	
	L1-3A	灰色板岩	石英	白云母		钠长石
	L1-4	灰色板岩	石英、白云母			钠长石
	L1-7	层纹状硅岩	石英			
	L1-10	层纹状硅岩	石英			
邛莫	CM 8-1	炭质板岩	石英			钠长石、高岭石、黄铁矿
	OP1-10	块状硅岩	石英			
	TC511	块状硅岩	石英			
	TC7-16	球粒状硅岩	石英			
	TC48-3	球粒状硅岩	石英			
牙相	Y1-6	灰黑色板岩	石英、白云母			
	Y1-7	灰黑色板岩	白云母、石英		正长岩	钠长石
	Y1-9	层纹状硅岩	石英			钠长石
	Y1-4	块状硅岩	石英			

注: 奥地利茵斯布鲁克大学分析。

2)。板岩以炭质板岩、硅质板岩为主, 粉砂质板岩较少。经显微镜下鉴定和 X-射线粉晶物相分析(表 1)表明, 板岩的主要组成矿物为石英、白云母以及少量高岭石和微量钠长石、绿泥石。在部分板岩中含有黄铁矿。碳酸盐岩在硅岩建造中所占比例极小, 仅

于个别地方呈小透镜体产出。其岩性主要为白云岩、钙质白云岩和泥质白云岩组成。

依据硅岩建造中的沉积韵律结构及其它特点, 可将其划分为三个沉积旋回, 分别以牙相组、希格组、拉尔玛组为代表(见图 2)。每个旋回自下而上

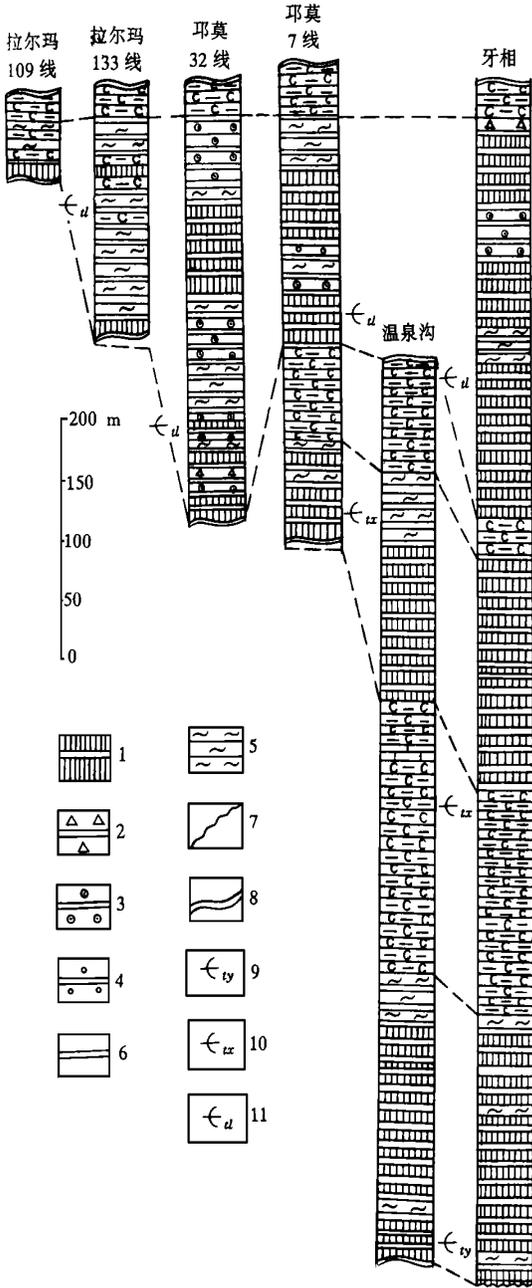


图2 西秦岭寒武系硅岩建造柱状对比图

1. 块状硅岩; 2. 同生角砾状硅岩; 3. 球粒状硅岩;
4. 多孔状硅岩; 5. 条带状、层纹状硅岩; 6. 炭质板岩;
7. 微角度不整合; 8. 未见底、顶;
9. 牙相组; 10. 希格组; 11. 拉尔玛组。

Fig. 2 Stratigraphic correlation of Cambrian silicite formation in western Qinling

均以厚层块状硅岩开始, 然后逐渐递变为中—薄层球粒状硅岩、条带状硅岩、层纹状硅岩, 最后过渡为含泥质较多的硅岩, 直至泥质岩(现已变质为板岩)。就空间来看, 牙相、温泉沟一带以厚层块状硅岩为

主; 黄水沟—邛莫一带以中—薄层球粒状硅岩、层纹状硅岩、条带状硅岩为主; 拉尔玛一带则以薄层状板岩为主, 并在硅岩与板岩的相变过渡带内。沿走向方向, 硅岩相变为板岩的特征为: 巨厚层、厚层块状硅岩→中—薄层条带状、层纹状硅岩→薄层板岩。由总厚度大, 且岩性单一的硅岩(100 m以上)逐渐分叉成3~5条厚度不大(5~20 m)的薄层条带状、层纹状硅岩, 硅岩层之间夹粉砂质板岩、炭质板岩等, 构成硅岩与板岩指状交叉相变现象。

## 2 硅岩建造的沉积环境分析

对于西秦岭寒武系硅岩建造的形成环境, 至今仍众说纷纭。作者对硅岩建造的某些地球化学特征的研究为判断其沉积环境提供了重要信息。

### 2.1 有机碳含量及其类型

对硅岩建造中近百件岩石样品分析表明, 其富含有机碳, 一般含量为0.12%~8.14%, 高者达22%, 平均值为2.32%。半数样品有机碳含量在1%~4%之间, 大于4%者约占25%以上。总体上讲, 硅岩中有机碳含量低于板岩, 前者一般在0.6%~3.0%之间, 且分布较集中, 而后者多在(1%~5%)之间, 变化范围大(0.6%~22%)。按照一般生油岩的评价指标, 硅岩建造中有75%以上的样品达到了良好的生油岩的有机碳丰度标准( $C_{org} > 1\%$ ), 显示出硅岩建造的沉积环境为缺氧的强还原环境。

对于硅岩建造中的有机质类型, 虽因受区域变质的影响难以恢复其原来的类型, 但通过分析得到的氢指数( $I_H$ )、氧指数( $I_O$ )等热解参数( $I_H = 0 \sim 1 \text{ mg/g } C_{org}$ ,  $I_O = 1 \sim 3 \text{ mg/g } C_{org}$ )和“氯仿沥青A”红外吸收光谱资料表明, 硅岩建造中的有机质类型经恢复为腐泥型<sup>[1]</sup>。

一般认为, 此种富含腐泥型有机质的黑色泥岩(板岩)与硅岩共生, 是海底喷流作用的一种典型标志<sup>[2]</sup>。由于海底喷流作用可使盆地内水体分层, 造成深部水体的强还原环境, 从而有利于低等厌氧生物的繁殖, 并使大量的有机质得以保存。这从另一侧面证实了寒武系硅岩建造是在水体较深的强还原环境中沉积的。

硅岩建造中富含黄铁矿莓群和结核, 有些呈放射状产出。在生物分子化合物的质谱检测中, 所有样品均反映出具有较高丰度的 $\beta$ -胡萝卜烷及同系物的峰谱<sup>[1]</sup>, 而高丰度 $\beta$ -胡萝卜烷表明有机质产出环境为强还原条件<sup>[3]</sup>。就饱和烃气相色谱测试结

表 2 饱和烃气相色谱测试结果(据文献[1])

Table 2 Gas chromatographic analysis of the saturated hydrocarbon in silicalite formation

样品号	原岩中金含量 (10 <sup>-6</sup> )	正烷烃分布特征					类异戊间二烯烷烃特征						
		主峰碳数	碳数分布范围	奇偶优势指数	C <sub>21</sub> +C <sub>22</sub> / C <sub>28</sub> +C <sub>29</sub>	C <sub>21</sub> / C <sub>22</sub>	正烷烃分布曲线	Pr	Ph	Pr/Ph	Pr/C <sub>17</sub>	Ph/C <sub>18</sub>	β-胡萝卜素
C-2	7.23	C <sub>18</sub>	15-24	0.89	0.79	1.15	前主峰形主峰后小突起	3.36	5.07	0.66	0.45	0.51	丰度较高
C-5	15.49	C <sub>18</sub>	15-35	0.93	1.28	1.26	前主峰形主峰后小突起	4.04	9.38	0.43	0.60	1.06	丰度较高
C-10	0.59	C <sub>20</sub>	14-24	0.89		3.64	前主峰形(后异烷烃峰)	3.89	10.90	0.36	0.89	1.80	丰度较高
C-11	0.006	C <sub>20</sub>	14-24	0.95		3.78	前主峰形(后异烷烃峰)	6.57	15.85	0.40	0.70	1.41	丰度较高

果(表 2)<sup>[1]</sup>来看,类异戊间二烯烷烃中的姥鲛烷(Pr)与植烷(Ph)的比值在 0.36~0.66 之间,且一般为 0.4 左右,表明样品中具有较明显的植烷优势,而植烷一般是在还原环境中通过植醇还原、加氢、脱水后形成的,但姥鲛烷则正好相反,即在氧化环境中植醇易生成姥鲛烷。因而 Pr/Ph 比值也说明硅岩建造形成于较强的还原环境。

2.2 岩石主要化学成分的判别

硅岩建造中硅岩以富 SiO<sub>2</sub> 为特征, SiO<sub>2</sub> 平均含量达 95.30%。除 SiO<sub>2</sub> 外,其它氧化物含量能达 1%者主要是 FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。综合比较某些常量元素含量的特征是判别硅岩形成环境的重要标志<sup>[4,5,6]</sup>。

2.2.1 FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值

在 15 件硅岩样品中, FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量的变化范围分别是 0.16%~3.21%与 0.04%~1.42%。其中 FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 大于 1 的样品有 11 件,占 73.3%。考虑到硅岩形成时间较长,且大气中以氧化为主,故硅岩形成时应有更多的样品具有 FeO 含量大于 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量的特征。因此,从 FeO 与 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的比值来看,硅岩建造沉积时当为还原环境。

2.2.2 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量

硅岩建造中硅岩 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量普遍较低,一般为 0.02%~5.92%之间。尽管如此,但硅岩中有磷质结核及磷矿化体产出。磷质结核的主要矿物成分为氟磷灰石、水羟磷铝石。磷矿化体主要产于硅岩层中,其厚度可达 2 m。板岩中 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量一般在 0.10%~5%之间,最高达 13%~15%。此特点也

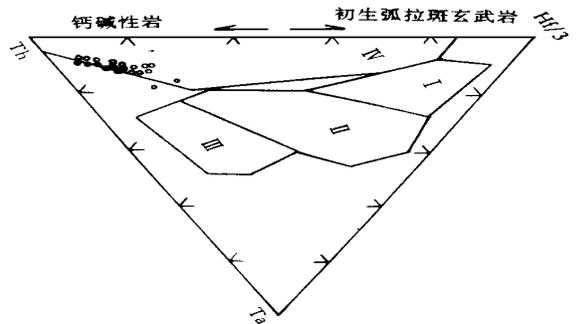


图 3 Hf/3-Th-Ta 三角图解(据文献[8])

I—N 型洋脊玄武岩; II—E 型洋脊玄武岩(板块内拉斑玄武岩); III—板块内碱性玄武岩; IV—板块解体边缘的钙碱性岩或初生弧拉斑玄武岩。

Fig. 3 The triangle diagram of Hf/3-Th-Ta for slates in silicalite formation

反映了硅岩建造沉积时当为水域较宁静、水体较深(200 m 左右)的缺氧、低能的强还原局限海环境。

2.3 微量元素组成的判别

2.3.1 Sr/Ba 比值

硅岩建造中 Sr/Ba 比值绝大部分小于 1。在海相环境下,仅有深海与滞流浅海相环境的 Sr/Ba 小于 1,但深海相的单个 Sr、Ba 元素含量相对滞流浅海更富集<sup>[7]</sup>。在寒武系硅岩建造中, Sr、Ba 含量较高,其中 Ba 含量为 2.075×10<sup>-6</sup>, Sr 含量为 37.26×10<sup>-6</sup>(N=34)。显然反映硅岩建造为深海相沉积的特点。

2.3.2 Hf/3-Th-Ta 三角图解

利用岩石中某些微量元素之间的图解关系,可

以判断其形成的构造环境<sup>[8]</sup>。硅岩建造中炭质板岩的 Hf/3-Th-Ta 三角图解(图3)表明,在寒武纪时,硅岩建造中的板岩形成于板块解体边缘环境。此结论与作者研究西秦岭大地构造演化时所得结论“西秦岭在寒武纪时为被动大陆边缘的裂谷盆地环境”<sup>[9]</sup>一致。

## 2.4 稀土元素成分判别

Murray 等<sup>[10]</sup>研究大洋中脊、大洋盆地和大陆边缘等不同大地构造环境中的热水沉积硅岩后认为,从滨浅海至大洋盆地:(1)REE 总量降低;(2)HREE 相对富集;(3)铈亏损明显。洋中脊环境  $\alpha_{Ce}$  平均值为 0.3,大洋盆地环境  $\alpha_{Ce}$  平均值为 0.55。而大陆边缘环境铈负异常不明显,甚至为正异常,其  $\alpha_{Ce}$  值变化范围为 0.79~1.54。

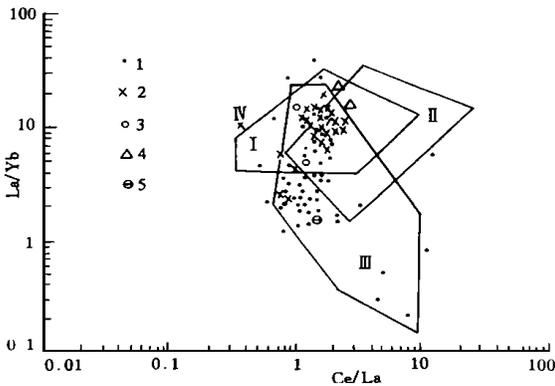


图4 不同岩类 Ce/La-La/Yb 图解(据文献[12])

- I. 深海沉积物; II. 铁锰结核及铁镁岩; III. 海底玄武岩及其相应的岩石; 1. 硅岩建造中硅岩; 2. 硅岩建造中板岩;  
3. 湖南放射虫硅岩; 4. 日本 Kamiaso 放射虫硅岩;  
5. 湖南热水沉积藻硅岩。

Fig. 4 The diagram of Ce/La vs. La/Yb of different rocks

硅岩建造中,无论硅岩抑或板岩,其  $\alpha_{Ce}$  平均值为 0.59,接近大洋盆地环境的  $\alpha_{Ce}$  平均值,亏损较明显,此特征与所有深海钻探取得的燧石无例外地出现 Ce 负异常特征<sup>[11]</sup>是一致的。说明该硅岩建造主要是深海一半深海环境下沉积形成的。这与寒武系地层相分析得出的结论<sup>[2]</sup>一致。

据 N. Kunendorf 等<sup>[12]</sup>在研究东太平洋海隆、中印度洋中脊、红海及弧后扩张环境的沉积物的稀土配分特征后指出,仅仅利用稀土配分曲线是不能清楚地区分洋中脊或远洋沉积物的。采用氧化-还原条件的 Ce/La 比值与反映分馏情况的 La/Yb 之比值作为辅助图解(图4)是适宜的。从图4中可以看出,硅岩建造中板岩的比值大多落点于深海沉积物

区,少数落点于海底玄武岩及相应的岩石区。尽管硅岩的投点大都落于洋底玄武岩及相应岩石范围内,但这并不意味着板岩与硅岩在沉积环境上的不同,而是反映了两者之间在物源上的差别,尤其是硅岩与板岩不仅可见互层产出,而且出现指状交叉的相变关系,因而两者的沉积环境是一致的,均属于海水较深的半深海-深海环境。

## 2.5 同位素组成判别

### 2.5.1 硫同位素组成

在含矿硅岩建造中 12 件沉积黄铁矿(包括条带状、层纹状、浸染状、同生角砾状、结核状)的  $\delta^{34}S$  值中(表3),除牙相地区一个黄铁矿样品为负值(-10.0‰)外,其它均在+3.21‰~+46.9‰之间。12 件样品的平均值为+41.1‰。从空间上看,从东至西的黄铁矿的  $\delta^{34}S$  值有逐渐增大的趋势(图5)。这可能反映了沉积期岩相古地理的变化。换言之,沉积期的古地理从东至西,由较开放的环境逐渐变为较闭塞的环境。在闭塞的环境中,细菌和微生物的还原活动与海水硫酸盐的剩余量呈反相关,从而导致了硫同位素的生物还原分馏较小,沉淀出富  $\delta^{34}S$  的硫化物。相反,东部处于相对开放的海洋环境,微生物细菌活动与剩余硫酸盐量之间的关系与前者不同,其硫酸盐供给是充分的,它将导致硫同位素生物还原分馏变大,即沉积硫化物相对富  $\delta^{34}S$ ,其  $\delta^{34}S$  值偏离海水的  $\delta^{34}S$  愈大。此种变化规律与粤北中泥盆统铅锌矿床的硫同位素组成的分布规律受岩相古地理的控制特征类似<sup>[13]</sup>。

### 2.5.2 硅同位素组成

硅岩的值  $\delta^{30}Si$ (表4)变化于+0.4‰~+1.3‰之间。其中块状硅岩、多孔状硅岩、同生角砾状硅岩、条带状硅岩的  $\delta^{30}Si$  值均小于+0.7‰,它们的平均值为+0.46‰;而球粒状硅岩等的  $\delta^{30}Si$  值均大于+0.8‰,明显与前述各类硅岩的  $\delta^{30}Si$  值明显不同。这可能与该类硅岩具有生物特征有关。矿床中石英脉  $\delta^{30}Si$  值变化范围为-0.1‰~+0.7‰,与硅岩的  $\delta^{30}Si$  值接近。无论是硅岩或是石英脉,其  $\delta^{30}Si$  值均与该地区附近由火山作用形成的玛瑙及煤系地层中硅化木的  $\delta^{30}Si$  值(见表4)(-0.7‰~-1.0‰,平均-0.8‰)相去甚远,也与生物成因硅岩(-1.1‰~+3.4‰)、交代成因硅岩(+2.4‰~+3.4‰)<sup>[14,15,16]</sup>相异。但与广西大厂热水沉积硅岩<sup>[17]</sup>(+0.4‰~+0.6‰)、新西兰热液蛋白石(+0.5‰)<sup>[17]</sup>等相近。据宋天锐、丁梯平<sup>[14,15,16]</sup>对典

表 3 硅岩建造中沉积黄铁矿的硫同位素组成  
Table 3  $\delta^{34}\text{S}$  values of sedimentary pyrite in silicalite formation

序号	样号	采样地点	样品名称	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
1	h1	拉尔玛 CM109	结核状黄铁矿	13.00
2	h2-1	拉尔玛 CM109	粗粒浸染状黄铁矿	16.90
3	h2-2	拉尔玛 CM109	粗粒浸染状黄铁矿	46.90
4	h3	拉尔玛 CM109	条带状黄铁矿	16.00
5	h4	拉尔玛 CM109	层纹状黄铁矿	14.10
6	h5	邛莫 PD0	浸染状黄铁矿	24.60
7	h12	邛莫 PD11W	硅岩中层状黄铁矿	7.84
8	h6	牙相 PD5	角砾状黄铁矿	-10.00
9	156	拉尔玛 TC6	结核状黄铁矿	9.49
10	156	拉尔玛	结核状黄铁矿	11.36
11	162	拉尔玛	结核状黄铁矿	3.21
12	19	温泉沟	炭质板岩中浸染状黄铁矿	15.50

注: 1~8 本文资料, 核工部北京地质研究院、宜昌地质矿产研究所分析; 9~12 据张占鳌(1992)。

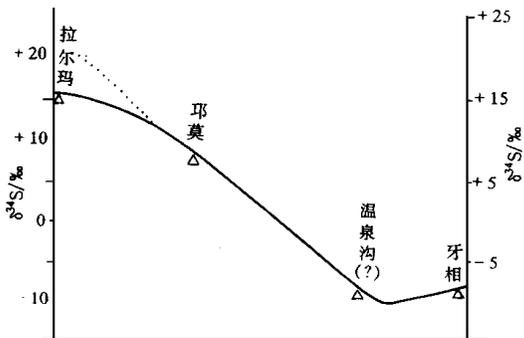


图 5 硅岩建造中沉积黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值的变化趋势

Fig. 5 The variation tendency of  $\delta^{34}\text{S}$  values from sedimentary pyrite in silicalite formation

表 4 硅岩及石英脉的  $\delta^{30}\text{Si}$  值

Table 4 The  $\delta^{30}\text{Si}$  values in the chert and quartz vein

序号	样号	样品名称	采样位置	$\delta^{30}\text{Si}/\text{‰}$ (NBS-28)
1	TC7-9	块状硅岩	邛莫 TC7	0.7
2	TC-9	多孔状硅岩	邛莫 TC7	0.5
3	PD5-1	同生角砾状硅岩	牙相 PD5	0.7
4	TC7-12	条带状硅岩	邛莫 TC7	0.5
5	TC32-1	球粒状硅岩	邛莫 TC32	1.3
6	Si-1	泥晶硅岩	热陇桥	0.8
7	Si-2	泥晶硅岩	邛莫 32 线	1.1
8	Si-3	层纹状硅岩	邛莫 0 线	1.2
9	Si-4	球粒硅岩	邛莫 0 线	1.1
10	Si-5	球粒状硅岩	邛莫 57 线	1.0
11	Si-6	条带状硅岩	邛莫 TC16-1	0.4
12	Si-7	球粒状硅岩	邛莫 ZK02 平台	0.8
13	Si-8	同生角砾状硅岩 (角砾)	邛莫 48 线	0.7
14	Si-9	同生角砾状硅岩 (基质)	邛莫 48 线	0.4
15	Si-10	玛瑙	郎木寺侏罗纪 火山盆地	-1.0
16	J601	玛瑙	郎木寺侏罗纪 火山盆地	-0.7
17	Si-11	硅化木	郎木寺侏罗纪 煤系地层	-0.7
18	L10	硅化硅岩	拉尔玛 109 线	-0.2
19	L17	石英脉	拉尔玛 109 线	-0.1
20	L40	石英脉	拉尔玛 129 线	0.2
21	G22	石英脉	邛莫 7 线	0.7

1~5 样品为本文资料, 地科院矿床地质研究所测定; 6~21 据毛裕年(1992)

型硅岩  $\delta^{30}\text{Si}$  值 (‰) 分析表明, 硅岩的  $\delta^{30}\text{Si}$  值在不同的沉积环境中的分布有一定的规律性: 从深海一半深海—滨浅海环境,  $\delta^{30}\text{Si}$  值从 +0.16‰ ~ +0.4‰ ~ +1.3‰ 逐步增大。从本区硅岩变化范围可以看出, 硅岩主要是在半深海环境下形成的。

### 3 主要认识

综上所述, 西秦岭在寒武纪时所处的沉积环境为一缺氧、低能、且水体较深 (200 m 左右) 的强还原

局限海盆地。由于同生断裂的活动, 使盆地深度从东(牙相)至西(拉尔玛)有变浅的趋势。正是在此种特殊的环境下, 西秦岭寒武系硅岩建造中的硅岩中组构十分复杂, 既有反映同生—成岩作用的组构, 又有反映热水作用的组构, 它们在空间上呈现规律性的变化: 块状硅岩、同生角砾状硅岩、多孔状硅岩, 主要分布于东部的温泉、牙相一带; 球粒状硅岩目前仅见于邛莫、黄水沟; 条带状硅岩、层纹状硅岩和软变形状硅岩, 主要分布于邛莫、拉尔玛一带, 并且至西

部的拉尔玛, 硅岩呈“指状”逐渐相变为板岩。硅岩的此种宏观分布特征反映了在其沉积过程中存在一个热水供应通道, 即喷流口。在喷流口附近由于快速沉积, 加之喷流体的冲击和已沉积物质的垮塌, 因而出现了硅岩的块状构造、同生角砾状构造、多孔状构造和滑塌状构造等; 稍离喷流口区, 温度有所下降, 且热水中硫化氢气体丰富, 有利于生物的生长繁殖, 从而形成了具有生物特征的球粒状构造; 远离喷流口区, 因水域相对较宁静, 从而形成的多是典型的沉积构造, 如层纹状、条带状构造等; 离喷流口区更远的地方, 因热水溶液中硅的含量较低, 沉积速度较慢, 同时有大量陆源物质的加入, 导致硅岩与板岩呈逐渐过渡关系。

### 参 考 文 献

- 周德安, 钱法荣, 漆富成等. 西秦岭南亚带硅灰泥岩型金(铀)矿床矿化地质特征与成矿机理. 核工部北京地质研究院, 1992. 88~111
- 郑明华, 周渝峰, 刘建明等. 喷流型与浊流型层控金矿床. 成都: 四川科学技术出版社, 1994. 273
- 傅家谟, 盛国英. 中国主要含油气盆地沉积类型的有机地球化学特征. 有机地球化学论文集. 北京: 科学出版社, 1986. 1~17
- Bostrom K, Krammer T, Gantner S. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Fe, Ti, Mn, Ni, and Co in pacific pelagic sediment. *Chemical Geology*, 1973, 11(1/2): 123~148
- Rona P A. Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in ocean crust. *Econ. Geol.*, 1978, 73(2): 135~160
- Rona P A. Hydrothermal mineralization of oceanic ridges. *Canadian Mineralogy*, 1988, 26(3): 447~465
- 孙少华. 一组元素比值在研究沉积环境中的意义——Sr/Ba V/Ni 的沉积环境意义. 中国青年沉积盆地分析会议论文集, 1989.
- Quinby M S Q, Wilde P. The provenance of low-calcic black shales. *Mineralium Deposita*, 1991, 26(2): 113~121
- 刘家军, 郑明华, 刘建明等. 西秦岭大地构造演化与金成矿带的分布. *大地构造与成矿学*, 1997, 21(4): 307~314
- Murray R W, Brink M R B, Gerlach D C, et al. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*, 1990, 18(3): 268~271
- Shimizu H, Masuda A. Cerium in chert as an indication of marine environment of its formation. *Nature*, 1977, 266(5600): 346~348
- Kundezendorf N, Stoffers P, Gwozdz R. Regional variations of REE pattern in sediments from active plate boundaries. *Marine Geology*, 1988, 84: 191~199
- 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985. 71~74
- 丁悌平. 硅同位素地球化学研究进展. *矿物岩石地球化学通讯*, 1990, (3): 99~101
- 宋天锐, 丁悌平. 硅质岩中硅同位素( $\delta^{29}\text{Si}$ )应用于沉积相分析的新尝试. *科学通报*, 1989, 34(18): 1408~1411
- 丁悌平, 万德芳, 李金城等. 硅同位素测量方法及其地质应用. *矿床地质*, 1988, 7(4): 90~95
- 韩发, 沈建忠. 大厂锡矿床硅、氧同位素地球化学. *矿物学报*, 1994, 14(2): 171~180
- 刘家军, 郑明华. 热水沉积硅岩的地球化学. *四川地质学报*, 1993, 13(2): 110~118

# Judging the Sedimentary Environment of the Silicalite Formation on the Chemical Characteristics of Rocks in Western Qinling

Liu Jiajun<sup>1</sup> Liu Jianming<sup>2</sup> Zheng Minghua<sup>3</sup>  
Zhou Yufeng<sup>3</sup> Gu Xuexiang<sup>3</sup> Zhang Bin<sup>3</sup> Lin Li<sup>3</sup> Zhou Dean<sup>4</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

<sup>2</sup>(The Research Center of Mineral Resources Exploration, CAS, Beijing 100101)

<sup>3</sup>(Institute of Mineral Deposits, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

<sup>4</sup>(Beijing Research Institute of Geology, China National Nuclear Corporation, Beijing 100029)

## Abstract

The Cambrian silicalite formation, composed of black chert and black slate, is the host-rock of Laerma and Qiongmo gold deposits in western Qinling. The ore-bearing chert is characterized by bedded, laminated, massive and pseudobrecciated structures which change regularly in space. The thickness of a chert bed generally varies from 30 to 200 meters. Host elements are simple and concentrated in the chert. Besides SiO<sub>2</sub> (95.30% on average), only FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> reach or are more than 1.0%. The ratios of FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in all chert samples are mainly greater than 1, but the ratios of Sr/Ba are less than 1. The organic carbon concentrations of silicalite formation range mostly from 0.12% to 8.14%, the highest concentration being 22%. REEs (rare-earth elements) are characterized by a low total content (ranging between  $3.29 \times 10^{-6}$  and  $100 \times 10^{-6}$ ), negative Ce anomaly and a gradually increasing NASC—normalized value with increasing atomic number of REEs. The  $\delta^{30}\text{Si}$  values of the chert in the area range mainly from +0.4‰ to 0.8‰. All the geochemical characteristics of the silicalite formation manifest that the silicalite formation deposited in the deep and half-deep sea environment.

**Key words** silicalite formation sedimentary environment western Qinling