

# “三江”地区哀牢山带两类硅质岩 特征及大地构造意义\*

沈上越 魏启荣 程惠兰 莫宣学

(中国地质大学材料与化学学院, 武汉 430074)

主题词 “三江”地区 哀牢山带 硅质岩 放射虫 硅同位素 稀土元素

提要 “三江”地区哀牢山带晚泥盆世和早石炭世硅质岩的产状、放射虫组合、硅同位素及稀土元素特征有明显的差异:前者属于深海环境,当时为陆内裂谷;后者属于哀牢山蛇绿岩套组成单元,形成于半深海环境,表明当时哀牢山是一个小洋盆。

“三江”(金沙江、澜沧江、怒江)地区哀牢山带位于横断山脉南缘,哀牢山断裂与墨江—滕条江断裂之间,是世界著名的构造岩浆带之一。在哀牢山蛇绿岩的底部和顶部发育有两类硅质岩<sup>[1,2,3]</sup>。笔者首次对其进行了较详细的放射虫生态组合研究,并确定其时代,同时首次对硅质岩进行了硅同位素和稀土元素特征研究,现论述如下:

## 1 两类硅质岩产状及放射虫生态组合特征

学堂、冬瓜林、比幅、库独木、川沟、金厂、二普寨、底码等地蛇绿岩底部晚泥盆世地层中广泛发育一种含放射虫硅质岩<sup>[1~3]</sup>。硅质岩与变石英杂砂岩、砂质绢云板岩、硅质板岩等组成深海浊积岩建造<sup>[4]</sup>。在冬瓜林等地,杂砂岩中的粒序层和鲍马序列比较典型。硅质岩主要由硅质和放射虫组成,放射虫的种属为: *Entactinosphaera assidera* Nazarov, *Entactinosphaera vetusta* (Hinde), *Entactinosphaera palimbola* Foreman, *Entactinosphaera* sp., *Entactinosphaera euthtasta* Foreman, *Entactinia cometes* Foreman, *Entactinosphaera inusitata* Foreman, *Entactinosphaera egindyensis* Nazarov, *Entactinosphaera aifpaiersis* Nazarov, 不含海绵骨针。其放射虫生态组合显示了深海放射虫组合的特征<sup>[5]</sup>,这些放射虫可与国内外晚泥盆世动物群对比,指示该类硅质岩形成于晚泥盆世,沉积于深海环境。

金山丫口、浪泥塘、老王寨、平掌、新寨河等地蛇绿岩顶部早石炭世地层中广泛发育另一类含放射虫硅质岩<sup>[1,3]</sup>。该硅质岩与碳质钙质硅质绢云板岩、绢云硅质板岩、泥质岩、结晶灰岩等共生。硅质岩主要由硅质、放射虫、海绵骨针和少量的绿泥石化玻屑(火山碎屑)组成。这类硅质岩中发现的放射虫,其种属为: *Albaillella paradoxa* Deflaadre, *Astroentactinia multispinisa* Won, *Entactinia* sp.<sup>[16]</sup>,这些放射虫的个体较小,丰度低,而共生的海绵骨

\* 本文得到国家自然科学基金(49772122)、“九五”国家科技攻关计划(96-914-01-03)及原地质矿产部资源与环境科技攻关课题(95-02-001-02)资助。

第一作者简介 沈上越,男,1941年生,教授,岩石学与岩石矿物新材料专业。

收稿日期 2000-01-25, 改回日期 2000-05-18

针却很发育。这些特点显示了半深海环境中放射虫组合的特征<sup>[5]</sup>,指示硅质岩形成于早石炭世,沉积于半深海环境,且硅质岩的时代与下伏玄武岩的时代(Rb-Sr等时线年龄341 Ma)<sup>[2]</sup>相吻合。

## 2 两类硅质岩中硅同位素特征

对两类硅质岩分别进行了系统采样,并在该区首次进行了硅同位素分析,结果列于表1。硅同位素的测试方法,目前是将样品的硅(Si)转化为SiF<sub>4</sub>,再在气体同位素比值质谱仪上测试硅同位素的组成。

$$\delta^{30}\text{Si}(\text{‰}) = [({}^{30}/{}^{28}\text{Si})_{\text{sample}} - ({}^{30}/{}^{28}\text{Si})_{\text{NBS-28}}] \times 10^3 / ({}^{30}/{}^{28}\text{Si})_{\text{NBS-28}}$$

式中比值均为质量分数比值, $\delta^{30}\text{Si}$ 的测试精度为 $\pm 0.1\text{‰}$ 。

表1 哀牢山带硅质岩硅同位素含量( $\delta^{30}\text{Si}/\text{‰}$ )与稀土元素丰度( $w_B/10^{-6}$ )

Table 1 Si isotopic content and REE abundances of silicalites in Ailao Mountain belt

序号	$\delta^{30}\text{Si}$	La	Ce	Pr	Sm	Eu	Gd	Yb	Lu	Ce/Ce*	$\Sigma\text{REE}$	(La/Yb) <sub>N</sub>	时代
页岩 <sup>[8]</sup>		32	73	7.9	5.7	1.24	5.2	3.1	0.48	1.00	167.41	1.00	
1	0.5	10.79	21.58	2.42	1.88	0.43	1.68	0.90	0.14	0.92	50.13	1.17	D <sub>3</sub>
2	-0.4	9.55	16.34	2.26	1.93	0.41	1.89	0.85	0.12	0.75	42.81	1.11	
3	0.4	10.89	20.32	2.78	1.78	0.37	1.63	1.46	0.23	0.81	50.20	0.72	
4	-0.4	5.06	9.01	1.17	1.30	0.25	0.88	0.46	0.07	0.77	23.69	1.07	
5	1.3	16.94	33.07	3.54	2.57	0.63	2.32	1.05	0.15	0.92	75.91	1.56	C <sub>1</sub>
6	0.2	31.12	56.61	6.47	4.93	0.87	4.01	2.04	0.31	0.87	134.26	1.26	
7	0.6	8.94	19.24	2.54	1.71	0.36	1.49	0.98	0.15	0.87	45.93	0.88	

硅同位素分析单位:原地质矿产部矿床地质研究所,采用气体同位素比值法;稀土元素分析单位:湖北省地质局中心实验室,采用等离子光谱法。1—冬瓜林;2—川沟;3—金厂;4—二普寨;5—金山丫口;6—老王寨;7—新寨河。

宋天锐等<sup>[6]</sup>及丁悌平等<sup>[7]</sup>研究认为,硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值可以反映硅质岩的沉积环境,即深海环境沉积的硅质岩, $\delta^{30}\text{Si}$ 为 $-0.6\text{‰} \sim 0.8\text{‰}$ ,平均值为 $0.16\text{‰}$ ;半深海环境沉积的硅质岩, $\delta^{30}\text{Si}$ 为 $0.1\text{‰} \sim 0.6\text{‰}$ ,平均值为 $0.4\text{‰}$ ;浅海环境沉积的硅质岩, $\delta^{30}\text{Si}$ 为 $-0.35\text{‰} \sim 3.4\text{‰}$ ,平均值为 $1.3\text{‰}$ 。哀牢山带D<sub>3</sub>硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $-0.4\text{‰} \sim 0.5\text{‰}$ ,平均值为 $0.03\text{‰}$ ,与深海环境沉积的硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值非常一致<sup>[6]</sup>;C<sub>1</sub>硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 为 $0.2\text{‰} \sim 1.3\text{‰}$ ,平均值为 $0.7\text{‰}$ ,接近半深海硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值而远离浅海硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值<sup>[7]</sup>。因此,哀牢山带硅质岩的硅同位素值指示D<sub>3</sub>时海水较深,C<sub>1</sub>时海水较浅。

## 3 两类硅质岩中稀土元素特征

哀牢山带硅质岩稀土元素测试结果列于表1。其中Ce异常Ce/Ce\*中的Ce\*是由La和Pr页岩标准化<sup>[8]</sup>插值得到。硅质岩轻稀土和重稀土的相对富集程度用(La/Yb)<sub>N</sub>比值表示。为了对比,笔者选用被广泛采用的北美页岩<sup>[8]</sup>对样品进行标准化,页岩标准化稀土曲线如图1所示。

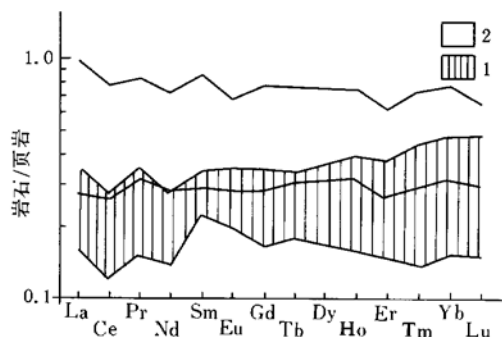


图1 哀牢山带硅质岩稀土元素配分曲线  
Fig. 1 Chondrite-normalized REE Patterns of silicalites in Ailao Mountain belt  
1—D<sub>3</sub> 硅质岩; 2—C<sub>1</sub> 硅质岩

### 3.1 铈异常

硅质岩的Ce异常可以指示沉积环境<sup>[9]</sup>。

Murray等<sup>[10]</sup>研究表明,加利福尼亚弗朗西斯科杂岩中的部分沉积岩(或硅质岩)相当于大陆边缘沉积硅质岩,其 $Ce/Ce^*$ 在0.67~1.35之间变化,平均值为1.09;深海平原硅质岩的 $Ce/Ce^*$ 在0.50~0.76之间变化,平均值为0.60;洋脊附近的硅质岩 $Ce/Ce^*$ 在0.22~0.38之间变化,平均值为0.30。丁林等<sup>[11]</sup>对“三江”地区昌宁—孟连带的硅质岩研究也表明,不同沉积相或大地构造环境的硅质岩 $Ce/Ce^*$ 确有明显的不同,该带中相当于大陆边缘沉积的硅质岩 $Ce/Ce^*$ 值变化在0.72~0.98之间,平均值为0.90;相当于深海平原硅质岩的 $Ce/Ce^*$ 值变化在0.55~

0.80之间,平均值为0.62;相当于洋脊附近沉积的硅质岩 $Ce/Ce^*$ 值变化在0.31~0.49之间,平均值为0.37。上述研究表明,硅质岩的 $Ce/Ce^*$ 值指示其沉积环境确有普遍意义,尽管各地Ce异常对沉积环境的反映有微小的差异。

在哀牢山带,晚泥盆世硅质岩的 $Ce/Ce^*$ 为0.75~0.92,平均值为0.81;早石炭世硅质岩 $Ce/Ce^*$ 为0.87~0.92,平均值为0.89(表1,图1)。因此,哀牢山带硅质岩的 $Ce/Ce^*$ 值指示在晚泥盆世时海水相对较深,相当于深海—半深海环境,而早石炭世时海水相对较浅,相当于半深海环境<sup>[8,10]</sup>。

### 3.2 稀土元素总量

Murray<sup>[10,12]</sup>等研究认为,从大陆边缘→深海平原→大洋中脊,硅质岩的稀土总量 $\Sigma REE$ 具有正态分布的特点。

在哀牢山带,D<sub>3</sub>硅质岩的 $\Sigma REE$ 为 $23.69 \times 10^{-6} \sim 50.20 \times 10^{-6}$ ,平均值为 $41.71 \times 10^{-6}$ (表1,图1),介于大陆边缘硅质岩与深海平原硅质岩的稀土元素总量<sup>[11]</sup>之间,因此,硅质岩 $\Sigma REE$ 也指示,哀牢山带D<sub>3</sub>硅质岩沉积于深海—半深海环境。

哀牢山带C<sub>1</sub>硅质岩的稀土元素总量明显偏高, $\Sigma REE$ 为 $45.93 \times 10^{-6} \sim 134.26 \times 10^{-6}$ ,平均值为 $85.37 \times 10^{-6}$ ,比任何环境下硅质岩的 $\Sigma REE$ <sup>[10~14]</sup>都高出许多,表明哀牢山带C<sub>1</sub>硅质岩形成时受火山物质的影响较大。区域上早石炭世是哀牢山带海底火山喷发的主要活动期,C<sub>1</sub>硅质岩中含一定量火山物质蚀变而成的绿泥石即说明这一点。

### 3.3 轻、重稀土元素分异程度

Murray等<sup>[10,13,14]</sup>研究认为,从大陆边缘→深海平原→大洋中脊,硅质岩的轻稀土元素由弱富集逐渐变为明显亏损。在大陆边缘, $(La/Yb)_N$ 平均值为1.1~1.4;在洋脊附近, $(La/Yb)_N$ 平均值只有0.3左右;深海平原硅质岩的 $(La/Yb)_N$ 介于上述二者之间。

在哀牢山带,D<sub>3</sub>硅质岩的 $(La/Yb)_N$ 为0.72~1.17,平均值为1.02(表1,图1),与大陆边缘到深海平原之间(深海—半深海环境)沉积的硅质岩的稀土分异程度相当<sup>[10,11]</sup>。C<sub>1</sub>硅

质岩的 $(La/Yb)_N$ 为0.88~1.56,平均值为1.23,轻稀土元素弱富集,这种分异特点与大陆边缘(半深海环境)沉积的硅质岩相近<sup>[10,11]</sup>。

## 4 大地构造意义

“三江”地区哀牢山带两个时代、两种类型的硅质岩,其硅同位素、稀土元素特征及放射虫生态组合共同指示它们沉积于不同的海相环境,属不同大地构造环境的产物。

晚泥盆世硅质岩与浊积岩建造共生,硅质岩的硅同位素 $\delta^{30}Si$ 为-0.4‰~0.5‰,平均值为0.03‰,与深海硅质岩的 $\delta^{30}Si$ 值<sup>[6]</sup>几乎完全一致。 $Ce$ 异常较弱, $Ce/Ce^*$ 平均值为0.81,说明当时海水尽管较深,但相对封闭,处于还原环境, $Ce$ 元素没有产生明显的分离。稀土元素总量偏低,说明晚泥盆世硅质岩的沉积速率较大,形成的时间短,来不及从海水中充分获取稀土元素。轻、重稀土元素几乎没有分异, $(La/Yb)_N$ 平均值为1.02,与前述硅质岩中放射虫生态组合指示的深海环境完全相符。因此,哀牢山带晚泥盆世时海水确实较深,属深海环境,说明当时在扬子地台西缘就已存在一个陆内裂谷,硅质岩就形成于这一环境中。

早石炭世硅质岩位于哀山蛇绿岩的上部,硅同位素值变化范围大, $\delta^{30}Si$ 为-0.2‰~1.3‰,平均值为0.7‰,这与半深海环境沉积的硅质岩的 $\delta^{30}Si$ 值<sup>[6]</sup>相当。 $Ce$ 异常相对较弱, $Ce/Ce^*$ 平均值为0.89,说明哀牢山带在早石炭世海水相对较浅,相当于半深海,海水相对较封闭,而它的稀土元素总量较高, $\Sigma REE$ 平均值高达 $85.37 \times 10^{-6}$ ,主要是当时哀牢山带处于一个强烈而广泛的海底火山活动期。硅质岩中轻稀土元素弱富集, $(La/Yb)_N$ 平均值为1.23,也进一步显示了其半深海的沉积环境,并与其硅质岩中放射虫组合指示的半深海环境相符合。因此,哀牢山带早石炭世时海水相对较浅,属半深海环境,表明哀牢山带蛇绿岩代表的洋是一个相对封闭的小洋盆,与张旗等人从蛇绿岩特征研究中得出的结果相一致<sup>[15]</sup>。

据此推测,扬子地台西缘在晚泥盆世裂开了一个水体较深、相对封闭的深海槽,后来,地幔上拱,早石炭世时拉张形成了洋壳,但规模不大,可能为一小洋盆。

## 参 考 文 献

- 1 沈上越,魏启荣,程惠兰,等. 云南哀牢山带金矿带成因类型探讨. 特提斯地质, 1997, (21): 73~84.
- 2 莫宣学,沈上越,朱勤文,等. 三江中南段火山岩蛇绿岩与成矿. 北京:地质出版社, 1998, 48~68.
- 3 沈上越,魏启荣,程惠兰,等. 云南哀牢山带蛇绿岩中的变质橄榄岩及其岩石系列. 科学通报, 1998, 43(4), 438~442.
- 4 吴浩若. 放射虫岩及其地质意义. 国外地质(7). 北京:科学技术文献出版社, 1986. 1~4.
- 5 冯庆来. 放射虫古生态的初步研究. 地质科技情报, 1992, 11(2): 41~46.
- 6 宋天锐,丁梯平. 硅质岩中的硅同位素( $\delta^{30}Si$ )应用于沉积相分析的新尝试. 科学通报, 1989, 18: 1408~1411.
- 7 丁梯平,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.
- 8 Empson-Morin K M. Depth and latitude distribution of radiolaria in Campanian (Late Cretaceous) tropical and subtropical oceans. Micropaleontology, 1984, 30: 87~115.
- 9 Shimizu H, Masuda A. Cerium in chert as an indication of marine environment of its formation. Nature, 1977, 266 (5600): 346~348.
- 10 Murray R W, Brink M R, Gerlach D L, 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. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55(7): 1875~1895.

- 11 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. 中国科学(B 辑), 1995, 25(1): 93~100.
- 12 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. *Geology*, 1990, 18(3): 268~271.
- 13 German C R, Klinkhamer G P, Edmond J M, *et al.* Hydrothermal scavenging of rare earth elements in the ocean. *Nature*, 1990, 345(6275): 516~518.
- 14 Elderfield H, Goddard R U, Sholkovitz E R. The rare earth elements in rivers, estuaries and coastal seas and their significance to the composition of ocean water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, 54(4): 971~991.
- 15 张 旗, 张魁武, 李达周, 等. 云南新平县双沟蛇绿岩初步研究. 岩石学报, 1988, 4(4): 37~48.
- 16 沈上越, 魏启荣, 程惠兰, 等. “三江”哀劳山带蛇绿岩特征研究. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(1): 1~8.

## Characteristics and Geotectonic Implications of Two Sorts of Silicalites in Ailao Mountain Belt, “Three\_River” Area

Shen Shangyue, Wei Qirong, Cheng Huilan, Mo Xuanxue

(Institute of Material and Chemistry, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

**Key words:** “Three\_River” area; Ailao Mountain belt; silicalite; Radiolaria; Si isotope; REE

### Abstract

Late Devonian ( $D_3$ ) silicate and Early Carboniferous ( $C_1$ ) silicate in Ailao Mountain belt, “Three\_River” area, are quite different from each other in mode of occurrence, Radiolaria association, Si isotope and REE character. The former was formed in a deep-sea environment, i. e., in an intracontinental rift, whereas the latter is a component unit of Ailao Mountain ophiolite suite formed in a bathyal environment, indicating that Ailao Mountain was a small oceanic basin at that time.

### 更 正

因作者疏忽, 本刊 2000 年 19 卷第 4 期第 330 页表 5 “泰陵剖面大红峪组三层岩石的贵金属元素分析值”中的单位  $w_B/10^{-6}$  应为  $w_B/10^{-9}$ , 特此更正, 希读者见谅。

《岩石矿物学杂志》编辑部