

# 扬子地台不同时代层状硅岩的 硅同位素结果的讨论<sup>①</sup>

王东安 陈瑞君

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

**提 要** 本文通过对扬子地台不同时代、层状硅岩的硅同位素结果及有关硅岩的  $Al/(Al+Fe+Mn)$  和  $Fe/Ti$  的比值来讨论硅岩成因及形成环境。

**关键词** 扬子地台 硅岩 硅同位素

**第一作者简介** 王东安 男 57 岁 研究员 沉积学及沉积岩石学 地球化学

硅同位素的测定, 近年来不断发展、应用于探讨岩石、矿物的成因和演化<sup>[1]</sup>。80 年代末期, 首先在地矿部矿床地质研究所由丁梯平教授主持, 建立了我国第一个硅同位素实验室, 先后成功地测试了大量不同类型富硅的岩石和矿物中的硅同位素(包括陨石、火成岩、火山岩、石英岩、石英砂岩、沉积硅岩和脉石英等), 这些结果对其地质背景的解释, 特别是对探讨某些矿床的成因有着重要作用。对沉积层状硅岩的稳定同位素也做了零星工作<sup>[2]</sup>, 从目前公布的测试结果来看, 尚未得到明显规律性的认识。我们在研究扬子地台不同时代层状硅岩过程中, 进行了一批硅同位素的测定, 现将分析结果做一些初步剖析, 以补充该领域研究资料, 为扩大硅同位素在地质学应用范围提供依据。

## 1 地质背景

扬子地台晚震旦世至晚古生代, 许多层位都有层状硅岩沉积(表 1)。它们是在特殊的地质背景下形成的, 并已成为不同地质历史时期颇有代表性的沉积层, 它们的产出不但反映了一定的古地理环境特点, 而且还与许多沉积矿产的形成和元素的富集有着密切的关系。

硅岩的形成, 除在地史上明显地与地壳运动、构造变动、岩浆活动和突发性地质事件有着密切联系外, 它的形成同时受当时当地沉积构造带内古地理环境所制约, 特别是洋底的热水活动, 生物与有机质作用有着极为密切的关系<sup>[3]</sup>。扬子地台晚震旦纪一早古生代的硅岩, 基本上产于外陆架比较凹陷的地段, 沿着构造线的方向呈带状分布, 有些可能与大洋盆地相连通。泥盆纪和石炭纪由于古地理格局与早古生代不同, 陆壳化较明显, 厚层状硅岩沉积移至扬子地台东南拗陷区。二叠纪开始, 由于地壳再次活化, 新老断陷频繁活动, 出

① 国家自然科学基金资助项目(49572119)

现新的古地理格局，使宽阔的海盆分异出许多菱形和拉长的椭圆形断陷盆地或裂隙槽，其中广泛地沉积着厚层放射虫硅岩，有些常与火山岩互层。

表 1 扬子地台震旦—二叠系硅岩产出地质背景和采样位置

Table 1 Geological setting and sampling localities of bedded siliceous rocks of Sinian— Permian in the Yangtze Platform

时代	硅岩产出层位	硅岩分布范围	$\delta^{30}\text{Si}$ 采样位置	地壳运动	岩浆活动	突发性地质事件	区域构造背景	古地理条件	建造类型		
二叠纪	大隆组 P <sub>2</sub>	广泛	• BY-183 • BY-184	—海西			硅岩产出大造山带，受构造控制，多数断裂沿方布于交汇处	浅海断陷或盆地	含锰硅泥岩—灰岩建造		
	龙潭组 P <sub>2</sub>	广泛							硅岩—凝灰岩建造		
	白泥塘组 P <sub>2</sub>	较广	• BY-45 • BY-46	—东吴					火山活动广泛，硅岩中夹凝灰岩及火山岩	裂陷槽内拗陷	碳酸盐岩—硅岩建造
	孤峰组 P <sub>1</sub>	广泛									
石炭纪	船山组 C <sub>3</sub>	局部									
	黄龙组 C <sub>2</sub>	局部									
	大塘阶 C <sub>1</sub> 岩关阶	局部									
泥盆纪	榴江组 D <sub>3</sub>	局部	• N-33 • N-27 • N-22				受构造控制，多数断裂槽附近	裂陷槽内拗陷	硅岩—页岩建造		
	罗富组 D <sub>2</sub>	局部							火山活动局部明显，硅岩中夹凝灰岩或火山岩层	硅岩—碳酸盐岩建造	
	纳标组 D <sub>2</sub>	局部							• W-3 • W-5	硅岩—页岩—凝灰岩建造	
	塘丁组 D <sub>1</sub>	局部									
志留纪	大贵坪组 S <sub>1</sub>	局部						陆缘海半深水滞流带	富碳硅泥质岩建造		
	龙马溪组 S <sub>1</sub>	局部									
奥陶纪	五峰组 O <sub>3</sub>	较广	• BY-177 • BY-178					外陆架半深水相	富碳硅泥质岩建造		
	胡乐组 O <sub>2</sub>	局部							硅泥质—碳酸盐岩建造		
寒武纪	牛蹄塘组 $\epsilon_1$	广泛	• BY-124 • 坝-1 • by-121 • by-113 • by-111					外陆架半深水相	硅岩—磷碳质页岩建造		
震旦纪	留茶坡组 Z <sub>6</sub>	广泛							• 坝-6, 坝-7 • BY-108 • BY-109	—澄江	局部有火山活动
	陡山沱组 Z <sub>6</sub>	局部									

对于硅岩的成因和形成机理, 尽管从不同角度讨论很多, 但由于硅岩受各种因素影响, 如成岩后变化较大, 给研究它们形成环境带来许多困难, 特别明显的是硅岩主要矿物一氧化硅已不同程度重结晶, 导致失水和去有机质, 使许多元素被带走, 这些变异已无法全面反映硅岩原始沉积时地球化学域的特征。然而硅岩中硅同位素组成, 很少受成岩后发生变化的影响, 有可能客观地反映原始沉积时硅岩形成的沉积背景, 从一个侧面显示硅质来源和有利于沉积的相关因素。为此, 我们对扬子地台不同层位或同一层位不同地质背景的层状硅岩有选择的进行了硅同位素分析, 试图能得到有利于解释硅岩成因和形成机理的信息。

表2 扬子地台不同时代层状硅岩  $\delta^{30}\text{Si}$  测试结果

Table 2 The measured  $\delta^{30}\text{Si}$  of bedded siliceous rocks of different ages in the Yangtze Platform

样品号	地质时代	产出地点	岩石名称	$\text{SiO}_2$ 含量 (%)	$\delta^{30}\text{Si}$ NBS-28 标样 (‰)
BY-45	P <sub>2</sub>	遵义团溪	深灰色微晶硅岩	88.23	+0.2
BY-46	P <sub>2</sub>	遵义团溪	深灰色微晶硅岩	91.09	+0.9
BY-184	P <sub>2</sub>	连源七星街	黑色放射虫硅岩	95.29	+1.5
BY-183	P <sub>2</sub>	连源七星街	黑色放射虫硅岩	93.59	+1.8
N-33	D <sub>3</sub>	南丹罗富	黑色泥晶硅岩	94.53	+0.5
N-27	D <sub>3</sub>	南丹罗富	黑色放射虫硅岩	89.19	+0.4
N-22	D <sub>3</sub>	南丹罗富	富碳质层状泥晶硅岩	77.07	+0.3
W-3	D <sub>2</sub>	南宁五相岭	深灰色细晶硅岩	95.79	+0.2
W-5	D <sub>2</sub>	南宁五相岭	深灰色微晶硅岩	94.34	-0.1
BY-177	O <sub>2</sub>	桃江响桃园	黑色板状微晶硅岩	89.00	+1.2
BY-178	O <sub>2</sub>	桃江响桃园	黑色板状微晶硅岩	85.47	+0.9
BY-124	← <sub>1</sub>	桃江天井山	黑色泥晶硅岩	86.37	+0.7
BY-121	← <sub>1</sub>	桃江天井山	黑色泥晶硅岩	95.09	0.0
BY-113	Z <sub>6</sub> <sup>2</sup>	桃江天井山	黑色厚层状微晶硅岩	98.30	+0.5
BY-111	Z <sub>6</sub> <sup>2</sup>	桃江天井山	黑色厚层状微晶硅岩	95.50	+0.9
BY-108	Z <sub>6</sub> <sup>1</sup>	桃江天井山	深灰色层状细晶硅岩	87.71	0.0
BY-107	Z <sub>6</sub> <sup>1</sup>	桃江天井山	深灰色层状细晶硅岩	91.13	+0.1
坝-1	←	常德南坝	深灰色板状细晶硅岩	94.67	-0.2
坝-6	I	常德南坝	深灰色板状细晶硅岩	93.31	+0.7
坝-7	Z <sub>6</sub> <sup>2</sup>	常德南坝	深灰色板状细晶硅岩	96.24	+0.4

## 2 硅同位素的测试方法及结果

全部样品先进行化学处理, 去 S、C 等杂质, 将提纯的  $\text{SiO}_2$  制备成  $\text{SiF}_4$ , 再把纯化的

SiF<sub>4</sub> 通过 MAT-251 EM 型质谱仪测定，得到硅同位素值<sup>①</sup>，并采用国际 NBS-28 标样，所测全部结果随同 SiO<sub>2</sub> 的含量一并列入表 2。

### 3 讨 论

硅同位素在地质上的应用，尚属于初步积累阶段，从近年来所发表的硅同位素测试结果来看<sup>②(1)</sup>。陨石和玄武岩中 δ<sup>30</sup>Si 值比较接近，多数在 -0.1‰—-0.5‰ 之间，处于大洋深部蛇绿岩带中的放射虫硅岩的 δ<sup>30</sup>Si 值为 -0.3‰—-0.5‰，它们多靠近洋底火山活动中心，故硅同位素值比较接近玄武岩，而处于远离大洋较浅部的正常海水沉积的放射虫硅岩显然不同，它们的 δ<sup>30</sup>Si 值一般在 +0.2‰—+0.8‰ 之间，成岩阶段形成的硅质结核或硅质白云岩中的 δ<sup>30</sup>Si 值可高达 +2.4‰—+3.4‰，由此可见，不同地质背景和环境中所形成的硅岩、硅同位素组成可能有较大差别，当然不同时期的海水，其 δ<sup>30</sup>Si 值也有所不同。

表 2 所列扬子地台不同层位，不同剖面所产硅岩的硅同位素结果。为了讨论，可分为不同层次的三类；(1) 较高值 +0.7‰—+1.8‰ (8 个样品)；(2) 中等值 +0.2‰—+0.5‰ (7 个样品)；(3) 较低值 +0.1‰—-0.2‰ (5 个样品)，它们在不同层位或同一层位不同沉积背景的剖面中有一定的变化范围；其中较高值集中在二叠系、奥陶系、震旦系留茶坡组所产硅岩中，较低值主要出现在中泥盆统(南宁五相岭剖面)，中等值较为分散仅在上泥盆统(南丹罗富剖面)有明显集中。下面根据不同地史时期硅岩的硅同位素组合范围(图 1)，结合它们产出的地质背景、形成环境和生物地球化学条件的变化<sup>③(2,3)</sup>，进行一些初步讨论：

(1) 二叠系硅岩中 δ<sup>30</sup>Si 值分布范围比较集中，但也有变化(图 1-A)。这些样品分别采自湖南连源七星街和贵州遵义团溪。这一层位的硅岩除普遍富含有机碳外，还不同程度的保存着放射虫、海绵骨针等浮游生物残骸，可见硅岩在形成过程中，生物和有机质起了重要作用。二叠系硅岩主要产于断陷盆地中，以岩类组合看，硅质沉积时水体不会太深<sup>(2)</sup>。

在这些层位中，除遵义团溪剖面以西在白泥塘组上部出现零星的火山活动外，在连源一带这一层位中，还未发现火山活动的迹象。由此可见，其它二叠系硅岩出现 δ<sup>30</sup>Si 值偏高，显然与上述地质背景有关。这一结果与表 3 的 Al/(Al+Fe+Mn) 及 Fe/Ti 的比值来讨论硅

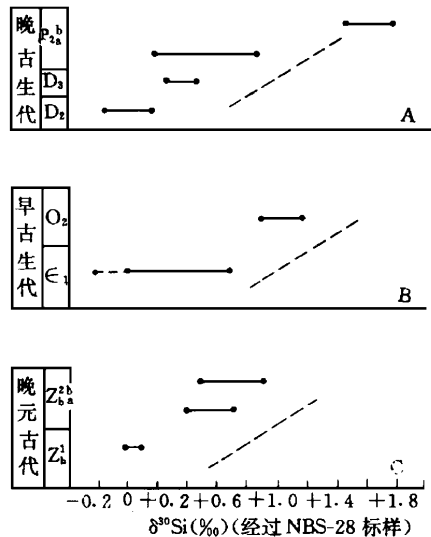


图 1 扬子地台不同时代层状硅岩硅同位素的变化范围

Fig. 1 The changes range of the δ<sup>30</sup> Si of bedded siliceous rocks of different age in the Yangtze Platform

① 样品由地矿部矿床地质所同位素实验室测定。

② 样品由地矿部矿床地质所同位素实验室测定。

③ 丁锦平，1990，硅同位素地球化学研究进展，矿物、岩石地球化学通讯，(2)：99—101。

岩的来源和成因的结果较吻合。

表3 扬子地台不同时代硅岩的 Al/(Al+Fe+Mn)和 Fe/Ti 比值

Table 3 The Al/(Al+Fe+Mn) and Fe/Ti value of siliceous rocks of different ages in the Yangtze Platform

地质时代	样品号	采样地点	硅岩特点及岩类组合	$\frac{Al}{Al+Fe+Mn}$	$\frac{Fe}{Ti}$	
二 叠 纪	P <sub>2</sub>	BY-45	遵义团溪 遵义团溪 遵义团溪 平均	中层、薄层、透镜层, 常与页岩、灰岩互层。向西出现火山岩夹层、凝灰质成分增多富含 FeS <sub>2</sub> 和 Corg。	0.26	25.5
		BY-46			0.30	75.8
		BY-61			0.14	52.5
		平均			0.23	51.3
	P <sub>2</sub>	BY-183	湖南七星街 湖南七星街 平均	中厚层状, 富含有机质, Corg 含量平均大于 2.92%, 富含放射虫及骨针	0.30	37.2
		BY-184			0.48	18.7
		平均			0.39	27.9
泥 盆 纪	D <sub>3</sub>	N-21	南丹罗富 南丹罗富 南丹罗富 南丹罗富 平均	以中—厚层状为主, 富含有机质 Corg 平均 4.8%, 富含放射虫和竹节虫化石、硅岩—页岩组合。	0.42	29.4
		N-22			0.75	5.9
		N-27			0.53	17.5
		N-33			0.44	27.8
	D <sub>2</sub>	W-3	南宁五相岭 南宁五相岭 平均	中厚层状为主, 邻近层位有火山岩夹层, 有机质含量低, Corg<0.2%, 局部含放射虫	0.19	60.7
		W-5			0.37	37.1
		平均			0.25	48.5
奥 陶 纪	O <sub>2</sub>	BY-177	桃江响桃园 桃江响桃园 平均	中—薄层状, 与碳质页岩互层富含有机质 Corg>1%, 碳硅质页岩 Corg 含>6%。	0.78	5.1
		BY-178			0.57	13.7
		平均			0.68	9.4
寒 武 纪	ε <sub>1</sub>	BY-118	桃江天井山 桃江天井山 桃江天井山 桃江天井山 平均	厚层状与碳磷质页岩互层, 富含有机质, Corg≥1.99%, 产有放射虫及骨针化石。	0.63	12.6
		BY-121			0.17	4.5
		BY-124			0.75	4.2
		BY-130			0.75	5.6
		平均			0.58	16.9
寒 武   震 旦	ε <sub>1</sub>   Z <sub>6</sub>	坝-1	常德南坝 常德南坝 常德南坝 常德南坝 平均	厚层状, 结晶较好, 有机质含量较低 Corg≤0.3%	0.44	23.1
		坝-5			0.42	10.9
		坝-6			0.11	53.1
		坝-7			0.11	35.0
		平均			0.27	30.5
震 旦 纪	Z <sub>6</sub>	BY-109	桃江天井山 桃江天井山 桃江天井山 平均	厚层状为主, 结晶较好, 有机质含量不高, Corg≤0.5%	0.24	41.0
		BY-111			0.34	27.0
		BY-113			0.29	30.0
		平均			0.29	32.7
	Z <sub>6</sub>	BY-107	桃江天井山 桃江天井山 平均	厚层状, 常与白云岩, 白云质页岩互层, 有机质含量较低	0.70	9.2
		BY-108			0.60	16.0
		平均			0.65	12.60

(2) 泥盆系的两个不同层位、不同地点的剖面, 所采硅岩的 δ<sup>30</sup>Si 值有明显差别(图 1—A)。从变化趋势看, 与它们产出的地质背景和形成环境较一致。硅同位素值偏低的广西南宁五相岭剖面中的硅岩, 产于中泥盆统, 形成于海槽扩张期<sup>[4]</sup>, 水体较深, 往往有火山活

动相伴生, 有机质含量偏低, 元素组合比值<sup>[6]</sup>  $Al/(Al+Fe+Mn)$  偏低, 仅为 0.25, 而  $Fe/Ti$  比值较高, 达 48.5 (表 3), 说明它们的形成与热水活动有关。上泥盆统的广西南丹罗富剖面的硅岩, 是扩张海槽的边缘带的产物, 水体相对较浅, 又远离火山活动带, 富含有机碳及放射虫, 竹节虫等生物残骸, 从表 3 中可见  $Al/(Al+Fe+Mn)$  较高, 达 0.54, 而  $Fe/Ti$  比值为 20.2, 说明硅岩形成过程生物化学作用突出。整个广西泥盆系火山活动较为频繁, 但研究区远离火山活动带, 受火山作用影响较小, 故硅同位素值保持中等, 也较为合理。

(3) 湖南桃江奥陶系中统所产硅岩, 硅同位素值较高 (图 1-B)。该层硅岩厚度不大, 是泥质粉砂岩的夹层, 有机质含量较高, 保存有放射虫生物残骸, 其  $Al/(Al+Fe+Mn)$  的比值为 0.68,  $Fe/Ti$  比值为 9.4, 与  $\delta^{30}Si$  的变化是一致的。

(4) 湖南桃江天井山剖面震旦系所产硅岩, 不同层位中硅同位素变化更为明显, 陡山沱组  $\delta^{30}Si$  值偏低, 而留茶坡组则偏高 (图 1-C)。这种变化同样显示出硅同位素组成变化范围与形成硅岩时海水的深度、有机质及生物作用强度和火山作用的影响有着密切的关系。 $Z_6$  时水体较深, 火山活动残留仍存在着影响, 生物及有机质活动均未达到繁盛期, 仅局部地区形成硅质沉积, 硅同位素值偏低反映了这一背景和环境。而  $Z_6$  时有所不同, 水体逐渐变浅, 有机质和生物繁衍出现高潮期, 它们对硅岩的形成有明显的影 响, 硅同位素值变高也反映了这一特点。

(5) 值得注意的是在不同地点 (天井山、南坝) 两个剖面上, 在震旦系向寒武系过渡界线附近, 硅同位素值突然变低, 出现 0‰ 和 -0.2‰ 的最低值, 这绝不是偶然的, 它是否与地壳运动或地质劫难事件有关<sup>[5]</sup>? 也值得进一步探讨。

(6) 综合图 1 所表示的三个不同地史阶段硅同位素组成范围, 可看出各层段有一个共同的变化趋势, 这就是每个层段的硅同位素值都是由下向上逐渐递增。三个不同的层段正是地质变革的不同阶段, 因此, 可以认为从一个侧面反映硅同位素值的变化与地壳运动旋回有某些联系, 反之又可验证地壳周期性的活动与硅岩的形成有紧密的联系, 成为硅岩形成的重要地质背景。

总之, 综合上述的事实和进行讨论, 硅同位素数值及其变化, 有可能给予我们判断和解释硅质来源、硅岩的沉积背景和形成环境等带来新的信息。

钟华同志对本文提出宝贵意见, 特此致谢。

收修改稿日期: 1995 年 12 月 10 日

## 参 考 文 献

- [1] 地矿部矿床地质所, 同位素地质室, 稳定同位素研究进展, 北京科学技术出版社, 1992, 2-9。
- [2] 王东安, 扬子地台晚古生代以来硅岩地球化学特征及其成因, 地质科学, 1994, (1): 41-54。
- [3] 王东安, 陈瑞君, 扬子地台震旦-二叠纪硅岩形成的地质背景及其成矿关系, 生物成矿作用研究, 海洋出版社, 1993, 52-64。
- [4] 广西地质矿产局, 广西泥盆纪沉积岩相古地理及矿产, 广西人民出版社, 1987, 17-98。
- [5] 范德廉, 叶杰, 杨瑞英, 黄忠祥, 扬子地台前寒武纪-寒武纪界线附近地质事件与成矿作用, 沉积学报, 1987, 5(3): 81-92。
- [6] Bostrom K, Kragmer T, Gartner S., Provenance and accumulation rates of opaline silica. Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and

Co in Pacific Pelagic sediment. *Chemical Geology*, 1973, 11(1/2):123—148.

## Discussion on Silicon Isotope of Bedded Siliceous Rocks of Different Ages in Yangtze Platform

*Wang Dongan and Chen Ruijun*

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029)

### Abstract

Many sedimentary siliceous rock beds are found in Late Sinian to Late Paleozoic in Yangtze Platform. It is difficult to clarify the origin and silicon sources of these siliceous rocks because of diagenetic changes, although some studies have been conducted on the rocks in different aspects. However, silicon isotope of siliceous rocks is affected little by diagenesis.

It may be better to use silicon isotope to reflect the original sedimentary geochemical condition and silicon sources of siliceous rock.

We here report 20 silicon isotope ratio results of siliceous rocks which deposited in different geological background. Combined with other geochemical features related to origin of siliceous rock, such as  $Al/(Al+Fe+Mn)$  and  $Fe/Ti$ , and features of bio-organism in the rocks, the silicon isotope results are compared and discussed. These results may provide a reference for the application of silicon isotope in sedimentary siliceous rock study.

**Key Words:** Yangtze Platform Siliceous rock Silicon isotope