

# 西藏南部中白垩世的锶、硫同位素组成及其古海洋地质意义<sup>①</sup>

尹 观 王成善  
(成都理工学院 成都 610059)

**提 要** 讨论了西藏南部中白垩世海相碳酸盐锶同位素组成和黑色页岩中黄铁矿硫同位素组成的主要特征及其古海洋地质意义。主要结论是:①该区中白垩世海相碳酸盐的锶同位素组成在0.7084~0.7090之间,大陆壳来源的锶占28%~30%,陆源物质输入的影响高于其它地区;火山熔岩中锶的同位素组成为0.7095,高于同期玄武岩的平均值,火山熔岩中大陆壳来源的锶约为 $65.2 \times 10^{-6}$ ,占总锶量的34%左右,火山熔岩形成过程中,同化了大量的壳源物质。②该区中白垩世黑色页岩中的黄铁矿的硫同位素组成为27%~31.6%,它来源于同期海水硫酸盐,且系中晚期成岩作用的产物,不同时间、不同沉积环境中形成的黄铁矿,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值差异明显,它们动态地反映成岩作用中环境的演化过程。

**关键词** 同位素组成 物质来源 环境演化 古海洋地质  
**第一作者简介** 尹观 男 53岁 教授 同位素地质学

中国海相中白垩世地层主要分布于西藏高原,其中又以西藏南部研究的最为详细。它北以雅鲁藏布江缝合线为界,南倚印度板块的北缘,呈带状向东西方向展布。依据沉积组合的特点分为两个带:喜马拉雅南部分区带和喜马拉雅北部分区带(表1)。南

最好,研究程度较高的海相白垩系地层;北带以江孜、日喀则为代表,沉积类型较复杂,在时限不长的地层内,频繁出现深海含放射虫硅岩沉积和火山物质堆积,反映原始构造活动激烈、断裂发育。岗巴地区中白垩纪沉积岩主要有陆源碎屑岩类、碳酸岩和细屑岩类,据浮游有孔虫和底栖有孔虫组合规律,大致估计在中白垩纪时的水深在200m左右变化。江孜地区同期沉积主要为黑色页岩、燧石层和碳酸岩沉积组合,沉积水深大约在CCD面附近摆动<sup>[1]</sup>。

研究区沉积层内广泛分布着黑色页岩,有机质含量中等,遗迹化石罕见,或仅见大量的均分潜迹(Chondrite),生物化石为浮游生物,黑色页岩纹层状,两地的S/C比值稍有差别,岗巴地区的接近0.4,江孜地区的大于4.0,并有丰富的黄铁矿,DOP值大都在0.6至0.75之间,区内沉积相,古生物组合和地球化学特征均显示出缺氧或贫氧的海洋沉积环境。

为了促使该区的研究不断深入,在国家自然科学基金资助下,我们从古海洋学的角度对在中白垩世时发生在本区的大洋缺氧事件(OAE)进行了研究。本文报道的是该项目的部分研究成果,目的是试图从锶、硫同位素的研究着手,找出其在古海洋地质研究中的某些意义。

表1 喜马拉雅地区海相白垩系对比表

Table 1 Contrast of the Cretaceous marine facies in the Ximalaya area

南 区		北 区		时 代		样品位置
基塔拉组		缺失		古新世	E <sub>1</sub>	
宗山组	上段	北家组	马斯特里赫	坎潘	K <sub>2</sub>	
	下段	床得组	坎潘			
旧堡组 夏吾除波组 仲玛层 冷青热组		宗卓组	康尼克—三冬 土伦 赛诺曼			
察目拉组 东山组		加不拉组	阿尔毕 贝里阿斯—阿普特		K <sub>1</sub>	
古错村组		维美组	晚侏罗—贝里阿斯	J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub>	JA3.2, J1	

\* 王成善,陶然.《喜马拉雅特提斯晚白垩古海洋学》科研报告.成都理工学院,1992

带以岗巴、定日地区地层为代表,与下伏侏罗系和上覆第三系构成连续沉积,是西藏及喜马拉雅山发育

① 国家自然科学基金(0487005)和杰出青年科学基金(49625203)资助  
收稿日期:1996-10-30

# 1 沉积层的锶同位素组成及其物质来源的线索

## 1.1 海相碳酸盐的锶同位素组成

不同地质时期海相碳酸盐的锶同位素组成是变化的,而在时限很短的同一地质时期内又表现出相对恒定<sup>[2]</sup>。从前寒武纪到现在,海相碳酸盐的锶同位素组成经历了若干次大的涨落。现代海相碳酸盐的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 值最高,大于 0.709 0;最低值在二叠纪中期,小于 0.706 5。白垩纪时期内的变化范围为 0.707 1~0.708 0,其内虽有起落,但总的演化趋势是逐步上升的。

海相碳酸盐锶同位素组成主要受下列因素制约:

(1)全球性火山造成幔源物质输入量的剧增,是导致海洋锶同位素组成降低的主要原因;

(2)沿洋中脊的热水对流系统内,海水与热玄武岩的相互作用有利于海水锶和幔源锶的混合和同位素交换,其结果不仅可以引起海水锶同位素组成降低,而且可以使这种作用加速;

(3)来自古老的克拉通硅铝质岩石,尤其是前寒武地盾区裸露的花岗片麻岩大量风化剥蚀,通过水循环带入到海洋中,壳源锶的量大幅度增加,这一作用可以造成海洋锶同位素组成升高;

(4)不同地质时期海相碳酸盐的重溶,也是海洋锶的重要来源之一,它们的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 值居于幔源和壳源之间,在一定程度上影响到海洋锶的同位素组成。

某一地质时期内海洋锶的同位素组成,实际上是不同来源的锶在海水中所占比例大小的一种动态平衡的规律反映,一旦出现全球性的事件,原先建立的这种动态平衡就受到破坏,继而在新的地质条件下去建立新的平衡。海相碳酸盐的形成,保存了当时地质条件下海洋锶同位素组成的纪录。

许多研究证明,不同地质时期内,海洋锶同位素组成在全球范围内达到了同位素均一化。根据同位素质量平衡原理可以写出方程<sup>[4]</sup> (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>sw</sub> = (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>M</sub> · M + (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>V</sub> · V + (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>S</sub> · S

字母 M、V、S 分别代表海相碳酸盐岩重溶、年青火山岩和古老硅铝质岩石来源锶的百分含量;注足 SW、M、V 和 S 分别为海水、海相碳酸盐岩重溶、年青火山岩和古老硅铝质岩石。

据此方程,可以粗略估算出不同地质时期海洋

锶的同位素组成和不同来源锶的相对数量关系,根据哪一种来源锶占主导优势,进而推断引起这一变化具体的地质原因。

## 1.2 岗巴、江孜沉积层的锶同位素组成

为了确切了解研究区内白垩世海洋锶源的演化和地质构造运动的影响程度,我们在岗巴剖面仲玛层(C-T)的底部(第 42 层)和夏吾除波组(第 45 层)分别采集了泥灰岩样品。采样的目的在于了解这一界线的上下是否存在锶同位素的异常;在江孜剖面的锶同位素样品采自宗卓组(第 15 层)的黑色页岩。在时间上相当于岗巴剖面的采样层。而火山熔岩的样品则位于维美组,属晚侏罗一早白垩世的层位,由于岩性上的差别和其它的原因,两个剖面之间很难安排更多的横向对比的样品。尽管如此,这样的情况仍然可以得到有意义的研究线索。

岗巴剖面的两个泥灰岩样品的碳酸盐含量较高,江孜剖面中的黑色页岩含碳酸盐甚低。样品均用高纯度 2 mol/L 的盐酸提取内含的碳酸盐。火山熔岩样品用氢氟酸熔样,经离子交换柱提纯及分离铷。锶同位素比值用 MAT-261 同位素质谱计测定,仪器精度为 0.02% (对标准样品 NBS981)。江孜黑色页岩的非碳酸盐组分含量高,在经盐酸提取碳酸盐后,其残渣用火山熔岩同样的化学处理方法,以了解碎屑物质的锶同位素组成。

表 2 西藏南部中白垩世沉积岩和火山熔岩的锶同位素测定结果

Table 2 Analysis results of the Sr isotope composition in the Middle Cretaceous sediment and volcanic lava, South Tibet

剖面名称	样品编号	岩性	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	
			碳酸盐	非碳酸盐
岗巴剖面	GG42C5	泥灰岩	0.7085	
	GG45C2	泥灰岩	0.7084	
江孜剖面	JA15.1	黑色页岩	0.7090	0.7176
	JA3.2	火山熔岩		0.7095

测定单位:成都理工学院

表 2 列样品的锶同位素组成有以下特点:

(1)岗巴、江孜地区碳酸盐的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值均高于白垩纪海洋碳酸盐(0.707 1~0.708 0)的最高值;

(2)岗巴地区不同层位碳酸盐的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 的最高值基本恒定不变;江孜地区黑色页岩中碳酸盐的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 的值略高于岗巴地区;黑色页岩中的非碳

组分的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值为 0.717 6, 显示出大陆壳硅铝质物质占优势; 火山熔岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  为 0.709 5, 高于玄武岩的平均值, 表明火山熔岩来源深度不大。

从前面列出的同位素质量平衡方程可以看出, 海洋碳酸盐锶同位素组成升高有两方面的原因: 一是大陆壳硅铝质物质化学风化后进入海洋的锶的相对量增加; 二是早期沉积的高锶同位素比值的海相碳酸盐重溶占主导优势。Faure 统计了大量玄武岩、硅铝质岩石和海相碳酸盐锶的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值, 确定了它们的平均值分别为:  $0.704 \pm 0.002$ 、 $0.720 \pm 0.005$  和  $0.708 \pm 0.001$ 。

所以前列方程式可改写为  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{sw}} = 0.704 \cdot V + 0.720 \cdot S + 0.708 \cdot M$

如果设  $M = 0$ , 也就是说没有早期沉积的高锶同位素比值海相碳酸盐的重溶, 或者说这一影响没有占主导优势, 这时算得岗巴、江孜地区大陆壳硅铝质岩石风化来源锶所占比例分别为 28% 和 30%, 然而就一般情况而言, 浅海陆棚环境一般比远洋沉积环境受大陆壳硅铝质岩石风化物质输入的影响大些, 特别是输入量大, 沉积速率快时, 更应如此。这只是一般极限情况。若考虑古碳酸盐重溶输入的情况, 大陆壳硅铝层岩石风化来源的锶应该低于这些极限值。岗巴和江孜两地区各测得的锶同位素值和计算所得大陆壳来源锶所占的比例值很难在横向上展开对比, 原因是江孜剖面采样的层位, 在时间上比岗巴样品所在层位晚些。江孜样品的锶同位素比值略高于岗巴样品, 这也符合 Burke 等<sup>[3]</sup> 对显生宙大洋 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值变化所作的统计规律, 即中白垩纪以后大洋 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值逐渐升高。

按 Burke 的统计<sup>[3]</sup>, 白垩纪中期海洋锶同位素组成的平均值为 0.707 5 左右, 在不考虑古碳酸盐重溶输入的影响下, 算得大陆壳来源的百分比含量约为 22%。然而, 在岗巴和江孜地区大陆壳来源锶的加入量计算为 28%~30%, 明显高于当时海洋的大陆壳来源锶含量。这说明岗巴、江孜地区陆源物质堆积的影响远比其它海洋地区大得多, 这与岗巴地区同一时期内计算的陆源堆积速率较高的情况相吻合。这也可能与当时印度冈瓦纳古大陆的分裂, 研究区当时正处在新形成的孤立的新海盆内有关。

在江孜地区, 我们还测试了 2 件非碳酸盐样品。一件是黑色页岩提取碳酸盐后的残渣, 其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值为 0.717 6, 很明显是大陆来源的硅铝质占优势的物质; 另一件是火山熔岩,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值为 0.709 5, 高

于一般玄武岩的平均值和当时的海相碳酸盐的值, 估计这些火山熔岩中混有部分大陆物质, 根据 Boger 和 Faure<sup>[2-3]</sup> 用过的确定非碳酸盐沉积物的锶同位素组成与锶含量的关系式:  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = 0.70294 + 0.8158/\text{Sr}$

计算得出, 黑色页岩中非碳酸盐组分锶总含量为  $371 \times 10^{-6}$ ; 火山熔岩总锶含量为  $189.5 \times 10^{-6}$ , 内含壳源锶  $65.2 \times 10^{-6}$ 。由此可见, 壳源物质对西藏中白垩世沉积的影响是十分明显的。大量陆源物质的堆积, 无疑会对岗巴、江孜地区有机碳的相对含量有明显的稀释作用。

## 2 硫同位素组成特点及对沉积环境的分析

由于岗巴和江孜地区岩相特性差别明显, 前者属浅海陆棚沉积, 后者为远洋沉积。岗巴以菱铁矿、碳酸盐为主, 黄铁矿少见, 江孜黑色岩中含有丰富的浸染型黄铁矿和黄铁矿结核, 黄铁矿结核大小不一, 最大直径达 8 cm。所以硫同位素的研究仅限于江孜地区。

### 2.1 江孜地区黑色页岩中黄铁矿的硫同位素组成特点

由于经费等原因, 只能选择一二个层位两种不同类型的黄铁矿: 黄铁矿结核和浸染型细粒分散黄铁矿进行硫同位素研究。黄铁矿结核选最大的, 分别在核中心和边缘钻取粉末; 浸染型分散黄铁矿经选纯在真空系统内制备成  $\text{SO}_2$ , 用 ZHO3 型质谱计测量硫同位素比值, 测量精度优于 0.1%。测得的结果列于表 3。

表 3 江孜地区黑色页岩中不同类型黄铁矿硫同位素组成  
Table 3 Sulfur isotope composition of different pyrites in the black shale, the Jiangzi area

样品编号	样品名称	$\delta^{34}\text{S}/\%$	测定单位	备注
JA10.3-1	黄铁矿结核	27.50	成都理工学院	相同样品
JA10.3-1	黄铁矿结核	27.00	成都地矿所	
JA10.3-2	浸染型分散细粒黄铁矿	31.60	成都理工学院	相同样品
JA10.3-2	浸染型分散细粒黄铁矿	28.79	成都地矿所	
J-1	黄铁矿结核(核心)	-0.79	成都地矿所	同一标本上分核心和核外层分别测定
J-2	黄铁矿结核(外核)	3.85	成都地矿所	

这里,样号为 JA10.3-1 和 JA10.3-2 的样品经两个单位的同位素实验室分别测定,JA10.3-1 的测定结果稳定,JA10.3-2 的测定结果有些偏差,但在误差范围内,取其平均值为 30.20%。

上述结果具有以下特点:

(1)同一地层内,两种不同类型的黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  均为高正值,并且大大高于相同地质时期海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  平均值;

(2)同一时代地层内,黄铁矿结核和浸染型分散细粒黄铁矿两者之间的平均硫同位素组成差异明显,前者比后者平均相差 2.95%;

(3)不同时代地层的黄铁矿样品的硫同位素组成差别甚大,在 25%~28% 左右;

(4)同一结核样品中,核心和核外层的硫同位素组成相差明显,核心较核外层的  $\delta^{34}\text{S}$  低。

## 2.2 硫同位素分馏效应和沉积环境的分析

许多研究成果证实,海相沉积物中硫的还原型化合物是自生的。而且,硫的还原型的化合物主要是由海洋硫酸盐还原形成的,分散在黑色页岩层中的有机物是还原硫酸盐过程中最有效的催化剂。

在海水硫酸盐还原生成硫化物的过程中,硫同位素的分馏效应主要表现为动力分馏。特别是在还原细菌的作用下,生成的硫化物和被还原的硫酸盐之间可以产生明显的同位素分馏。但是,还原反应中生成物的同位素组成还取决于其生成环境对反应物和生成物是处于相对“封闭”或“开放”状态,因此,海相沉积中硫的还原型化合物的同位素组成往往可以提供还原型化合物的形成过程、成岩作用和沉积环境分析的有用信息。

海洋硫酸盐的还原作用是在缺氧条件下产生的。还原作用越强烈,反映的缺氧程度越高。这样的还原反应往往发生在海水底层或海底淤泥层中。许多实验证实,硫酸盐还原时先是生成  $\text{H}_2\text{S}$ ,然后在一定的条件下再由  $\text{H}_2\text{S}$  生成硫化物。当这种反应发生在海水底层或海底淤泥层表面时,由于海水硫酸盐的供给属“开放系统”,这时生成的硫化氢或硫化物应当富含  $^{32}\text{S}$ ,它们与海水硫酸盐的硫同位素分馏在 40%~60% 的范围,也就是说,这时生成的  $\text{H}_2\text{S}$  或硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值,比同期海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  值低 40%~60%。如果白垩纪海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  值平均为 17% 左右,由此还原生成的  $\text{H}_2\text{S}$  或硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值就应在 -23%~-43% 的范围内。江孜地区黑色页岩中黄铁矿未见如此低的  $\delta^{34}\text{S}$  值存在,这说明江

孜地区黑色页岩中的黄铁矿不是由海水底层或淤泥表层的海水硫酸盐还原生成的  $\text{H}_2\text{S}$  形成的。

江孜地区黑色页岩中的黄铁矿主要是在成岩作用的中晚期形成的,而且主要与海底淤泥层中包裹的含硫酸盐的海水有关。包裹到沉积淤泥层中的海水硫酸盐,在还原细菌作用的早期,优先消耗  $\text{SO}_4^{2-}$  中的  $^{32}\text{S}$ ,生成富含  $^{32}\text{S}$  的  $\text{H}_2\text{S}$ ,在沉积早期淤泥层较薄时,它很快从淤泥层内外逸,脱离原先的反应体系。包裹在淤泥层内的海水硫酸盐被逐渐消耗,因与海水隔离而得不到补充。此时,形成了对参加反应的反应物构成了“封闭系统”,而生成物  $\text{H}_2\text{S}$  的外逸却构成了“开放系统”的环境模式。结果是残留在淤泥层中的海水硫酸盐逐渐相对富  $^{34}\text{S}$ 。随着时间的推移,沉积淤泥层不断加厚,进入深部底层的海水硫酸盐后期产生的  $\text{H}_2\text{S}$  难以外逸,这种情况一直持续到海水硫酸盐全部耗尽。这时产生的  $\text{H}_2\text{S}$  全部转变为黄铁矿,它们的硫同位素组成就完全可能大大高于当时的海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  值,在中白垩世江孜地区黑色页岩中,无论黄铁矿结核还是浸染型分散细粒黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值,均高于同期海水硫酸盐。上述分析应该是该区岩石成因研究的一条重要线索。

该区的地质背景资料也对上述分析给了很好的补充:江孜地区处在西藏日喀则—江孜断裂带上,在前后时限不长的地层内,频繁出现深海含放射虫硅岩沉积和火山熔岩物质的堆积。这表明该处的沉积环境易受温度的影响。当沉积环境温度较高时,更有利于当时沉积淤泥层内还原生成的  $\text{H}_2\text{S}$  的迅速逸出,特别是还原反应初期,沉积速度慢、沉积层较薄时,很难使系统对反应产物  $\text{H}_2\text{S}$  保持封闭状态,这也是该层最后由残存的海水硫酸盐还原形成的黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值大大高于同期海水  $\text{SO}_4^{2-}$  的直接原因。

江孜地区黑色页岩同层位内黄铁矿结核和浸染型分散细粒黄铁矿的平均硫同位素组成存在一定的差异,前者比后者低 2.95% 左右,这可能与它们生成的时间先后有关,后者更偏晚些。一般情况下,沉积物形成后,在成岩作用的早期阶段,沉积物中发生物质的再分配,它的规模取决于物质的成分和形成的条件。在成岩作用中, Mn, Fe, P, C, S 等元素的价态发生着变化,硫化物和其它的结核形成就与这种变化有关<sup>(4)</sup>。

根据格里年科 B. A 著作<sup>(4)</sup>引用有关黑海新埃夫克辛沉积层内黄铁矿结核的  $\delta^{34}\text{S}$  研究资料发现:由核心向边缘,  $\delta^{34}\text{S}$  逐渐升高,这一变化反映了由早

期结晶相对富 $^{32}\text{S}$ 到晚期结晶相对富 $^{34}\text{S}$ 的演化过程,我们在JA19.3-1的黄铁矿结核中没有类似的研究,它与浸染型分散细粒黄铁矿之间硫同位素组成只是一种平均值的差异。有关黄铁矿结核不同部位 $\delta^{34}\text{S}$ 的研究,我们在江孜地区另一层位上采到了更大的黄铁矿结核(结核越大,结核中心和外缘的 $\delta^{34}\text{S}$ 值差异更明显,更方便研究)作一测定,核心的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-0.79\%$ ,核外层为 $3.85\%$ ,与前人的工作相符。但它们的 $\delta^{34}\text{S}$ 值远低于JAI0.3样品,反映了不同层位生成环境的差异。

### 3 几点认识

通过锶、硫同位素的分析研究,可以为西藏中侏纪古海洋地质的深入研究,提供以下的重要线索:

(1)江孜、岗巴地区中白垩世海相碳酸盐的锶同位素组成为 $0.7084\sim 0.7099$ ,大陆壳来源的锶占 $28\%\sim 30\%$ ,陆源物质输入的影响高于其它地区;火山熔岩的锶同位素组成为 $0.7095$ ,高于同期玄武岩的平均值,火山熔岩中大陆壳来源的锶约为 $65.2\times 10^{-6}$ ,占总锶量的 $34\%$ 左右,火山熔岩形成过程中,

同化了大量的壳源物质;

(2)江孜地区中白垩世黑色页岩中黄铁矿的硫同位素组成为 $27\%\sim 31.6\%$ ,它来源于同期海水硫酸盐,且系中晚期成岩作用的产物;不同时间、不同沉积环境中形成的黄铁矿,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值具有明显的差异,它们动态地反映成岩作用中环境演化过程。

本文报道的工作得到了成都理工学院同位素地质研究室和成都地矿所硫同位素实验室的大力支持,特致谢意。

### 参 考 文 献

- 1 余光明,王成善. 西藏特提斯沉积地质. 见:地质专报,矿物岩石,地球化学,第12号. 北京:地质出版社,1990. 10~38
- 2 Burke W H, Denison R E, Hetherington E A, et al. Variation of seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  throughout phanerozoic time. *Geology*, 1982, 10: 516~519
- 3 Faure G. Principles of Isotope Geology (the second edition), New York, John Wiley & Sons, 1986. 141~151, 161~164, 183~193, 523~531
- 4 格里年科 B A, 格里年科 И. И. 著. 硫同位素地球化学. 赵瑞译. 北京:地质出版社, 1980. 58~59, 64, 67

## Strontium and Sulfur Isotope Compositions and the Significance of the Palaeo-Oceanic Geology in the Middle Cretaceous in the South Tibet

Yin Guan Wang Chengshan

(Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059)

### Abstract

Discussed the principal features of the strontium isotope composition in oceanic carbonates and the sulfur isotope composition (pyrites) in the black shale, as well as the significance of the palaeo-oceanic geology in the Middle Cretaceous in the South Tibet, as follows.

1. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio in the oceanic carbonate was about  $0.7084\sim 0.7090$ . Strontium originated from the crust amounted to  $28\%\sim 30\%$ . The influence inputted from the continental materials in the studied area was greater than that in the other areas. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  value in the volcanic lava was  $0.7095$ , and higher than the average value of the synchronous basalt. The strontium, originated from the crust, in the volcanic lava accounted for  $65.2\times 10^{-6}$ , amounting to  $34\%$  in the total. A large number of the crust origin materials was assimilated in the forming process of the volcanic lava.

2. The sulfur isotope composition (pyrites) in the black shale was  $27\%\sim 31.6\%$ . The sulfur originated from the synchronous seawater sulfate, and the pyrite was the diagenetic product in the middle—late diagenesis. The  $\delta^{34}\text{S}$  (pyrites), formed in the different time and environment, was very different. The sulfur isotopes could reflect the environment evolution process in the diagenesis.

**Key Words** isotope composition material origin environment evolution palaeo-oceanic geology