

# 中国南方二叠纪古海洋锶同位素演化<sup>①</sup>

田景春 曾允孚

(成都理工学院沉积地质矿产研究所, 成都 610059)

**提 要** 本文以贵州罗甸沫阳二叠系剖面为研究对象, 通过对海相碳酸盐岩的锶同位素组成变化的研究, 探讨了我国南方二叠纪古海洋锶同位素组成特点、演化及其地质意义。

**关键词** 二叠纪 古海洋 锶同位素

**第一作者简介** 田景春 男 32岁 博士、副教授 沉积学(含古地理学)

## 引 言

锶同位素不仅可作为追踪古海洋沉积历史的重要示踪剂<sup>[1,2]</sup>, 而且可有效地用于地层划分<sup>[3]</sup>。因此, 国际上对古海洋锶同位素地球化学演化进行了大量研究, 并建立了显生宙以来古海水中<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr的演化曲线<sup>[4,5]</sup>。然而, 在我国前人还未系统地进行过此方面的研究, 更没讨论过其地质意义。所以, 本文以贵州罗甸沫阳二叠系剖面为研究对象, 通过对海相碳酸盐岩的锶同位素组成变化的研究, 探讨我国南方二叠纪古海洋锶同位素的组成特点、演化及其地质意义。

## 1 区域地质背景

研究区二叠系的沉积域主要属于古扬子板块(俗称扬子准地台)的一部分。扬子古板块是经历了晋宁运动之后由洋壳转化为陆壳而形成的。从沉积格局来看, 二叠纪开始时, 研究区西邻康滇古陆, 北靠上扬子古陆, 此时的滇黔桂海域仍继承了晚石炭世的古地理面貌, 形成了南低北高、具开阔型陆表海性质的二叠纪古海洋, 在此背景下开始了二叠纪的碳酸盐岩沉积发育史。本文所研究的贵州罗甸沫阳二叠系剖面位于湘黔桂三省交界处的贵州省境内, 从沉积物类型来看, 早二叠世主要为深灰色、灰黑色薄至中厚层的泥晶灰岩、硅质泥灰岩等; 晚二叠世主要为深灰、灰色薄-中厚层含生物碎屑泥晶灰岩、泥晶生物屑灰岩、亮晶生物屑灰岩及硅质岩等。从地层划分来看, 从下到上依次划分如下四个组(图1)。

**1.1 栖霞组** 主体为广海陆棚相沉积, 下部主要为深灰色薄层含生物碎屑灰岩, 见海绵骨针、介屑等生物; 中部主要为薄层硅质岩夹泥晶灰岩透镜体; 上部则演变为台缘斜坡

① 国家自然科学基金项目 48970116

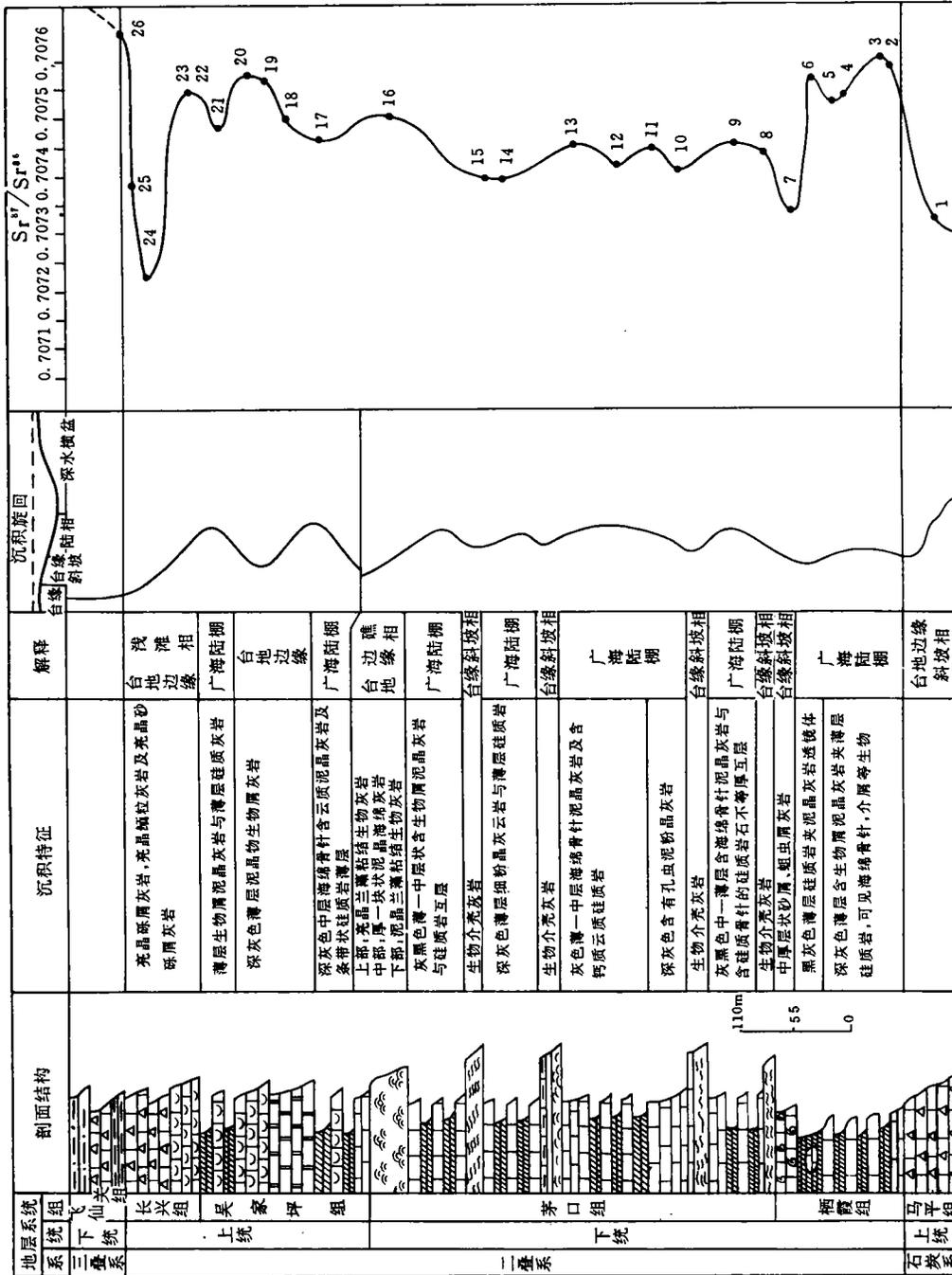


图1 贵州罗甸沫阳二叠系碳酸盐岩沉积与锶同位素演化关系图

Fig. 1 Relationship between the strontium isotope evolution and the carbonate sediment of Permian Series in Muoyang Profile, Guizhou

相的中厚层砂屑、棘屑灰岩。

1.2 茅口组 底部为一层台缘斜坡相的生物介壳灰岩;下部和中部则为广海陆棚相的灰色薄—中厚层海绵骨针泥晶灰岩与含硅质骨针的硅质岩互层,其中并夹有台缘斜坡相的生物介壳灰岩;到上部则演变为台地边缘礁相的生物礁灰岩。

1.3 吴家坪组 上二叠统吴家坪组主要为广海陆棚相和台地边缘相沉积。其中下部主要为含海绵骨针的泥晶灰岩及薄层硅质岩;中部则系厚层状生物屑灰岩;到上部又演变为生物屑灰岩和硅质岩。

1.4 长兴组 系二叠纪最后一期沉积,主要为台地边缘滩相的厚层亮晶砾屑灰岩,亮晶鲕粒灰岩等;其与上覆地层为整合接触。

由于该剖面二叠系地层出露完整,地层连续,且主体为一套离岸的海相碳酸盐岩沉积,同时其地层划分和沉积特征与邻区可以很好的对比;所以,该剖面特征明显,可作为研究中国南方二叠纪古海洋演化的典型代表剖面。

## 2 锶同位素分析及结果

为解决上述问题,本研究所分析的样品是在对经过野外采集的各种新鲜样品,经室内薄片鉴定和阴极发光后精选的。具体分析方法是:首先将所要分析的碳酸盐岩全样用 2.5N HCl 溶样,然后经盛有 AG-50W×8 树脂的离子交换柱分离和纯化,最后将纯化后的样用 MAT-261 质谱仪(西德进口)测定<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值,并进行归一化处理,通过分析 NBS 987 标准样(表 1)以控制样品的测量精度和准确度。

通过上述分析,区内二叠纪海相碳酸盐岩的锶同位素组成如表 2 所示,其组成有如下特点:

(1) 总体上讲二叠纪碳酸盐岩的锶同位素组成在 0.70722~0.70767 之间变化;其中早二叠世栖霞期锶同位素变化幅度大(0.70757~0.70734),茅口期锶同位素组成较为稳定,变化幅度小;晚二叠世吴家坪期锶同位素在 0.70744~0.70755 之间波动;到长兴期碳酸盐岩的锶同位素发生大幅度的变化,从早到晚由 0.0722 升至 0.70767;且地质界限附近(组与组之间)锶同位素均有明显的变化。

(2) 上述锶同位素组成的变化范围恰介于 B. N. Popp 等测定的腕足化石的锶同位素组成(0.70819~0.706837)范围内<sup>[6]</sup>,且其变化和 W. H. Burke 等<sup>[7]</sup>及 B. N. Popp 等<sup>[6]</sup>公布的锶同位素演化曲线总趋势类似。

## 3 锶同位素演化及意义

海水中锶存留的时间(residence time)是  $1.9 \times 10^7$  年<sup>[8]</sup>,而海水完全混合所需的时间(混

表 1 NBS987 标准值

Table. 1 Standard ratio of NBS987

分析号	本文 NBS987 测定值	NBS987 标准值
7579	0.71027±0.000019	0.71023±0.00005
7606	0.71028±0.000057	
7619	0.71024±0.000065	
7632	0.71032±0.000025	
7647	0.71026±0.000073	
7651	0.71033±0.000060	
平均值为:0.71028±0.000035		

合时间 mixing time) 为  $10^3$  年<sup>[9]</sup>。因此,在任何给定的时间内海水中的锶同位素组成为一常数<sup>[9]</sup>,这已被现代海水中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值测定结果所证实。但据 W. H. Bulce 等(1982)研究,显生宙海水中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值随时间的推移而改变,这种变化受三个不同锶源所控制:一是年青火山岩的锶,其初始值为  $0.7040 \pm 0.002$ ;二是大陆壳古老硅铝质岩石化学风化所提供的锶,其初始值为  $0.7200 \pm 0.005$ ;三是海相碳酸盐化学风化提供的锶,其初始值为  $0.7080 \pm 0.001$ 。锶源的变化与板块活动史和海底扩张速度密切相关<sup>[10]</sup>,这主要表现为在洋中脊扩张期即洋中脊体积增大期,伴随着海平面上升使得海陆面积比增大,结果由火山源供给海水中的锶比例增大,这种具低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的锶的混入必然导致海水中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的相对降低;这样从与海水相平衡中沉淀出的碳酸盐也具有较低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值;反之,在洋中脊体积缩小,海底扩张速度减小期,随着海平面下降、海陆面积比缩小,结果由大陆古老硅质岩风化供给海水中的锶比例增大,这样相对高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的混入使得海水中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值相对升高,从而引起从海水中沉淀出的碳酸盐也具高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值。正如 R. Leetolle 和 G. Ordin(1986)所阐述的那样:海相碳酸盐中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的

迅速增长与古老硅铝酸盐在给定时期的侵蚀速率加强相对应,相反, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的降低与贫 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  的年轻火山岩的供给有关。所以,海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的高低实质上反映了锶的来源,且反映了与火山活动(洋中脊火山)及海平面升降之间的相关关系<sup>[11]</sup>。

从显生宙海洋中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的曲线<sup>[7]</sup>,可以看出显生宙以来海水中的 Sr 同位素组成处在不断的变化之中,且到二叠纪其比值相对较低,这与二叠纪剧烈的全球火山活动相关。但从二叠纪本身来看,从早二叠世初期到晚二叠世末期海水中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值也处在不断变化之中,这充分说明在二叠纪这个特定的地质发展过程中古海洋中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值同样也是随着时间的演化而变化,并非保持一恒定值,这与锶同位素演化趋势是相一致的。

从研究区来看,二叠纪时与古特提斯洋相通的华南古海洋在整个漫长的二叠纪演化过程中,海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值也处在不断的变化之中(图 1),具体表现为:石炭纪晚期至末期海相碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  由 0.70732 上升为 0.70757,这是由于晚石炭世黔桂运动所引起的

表 2 二叠系剖面海相碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值

Table 2 Ratio of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in marine carbonate of the Permian profile

序号	编 号	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
1	Gu-m-c-1	0.70732±0.000054
2	Gu-m-P <sub>1</sub> -0-6	0.70757±0.000062
3	Gu-m-P <sub>1</sub> -1-1	0.70760±0.000054
4	Gu-m-P <sub>1</sub> -6-1	0.70754±0.000029
5	Gu-m-P <sub>1</sub> -8-1	0.70753±0.000094
6	Gu-m-P <sub>1</sub> -10-1	0.70757±0.000069
7	Gu-m-P <sub>1</sub> -13-2	0.70734±0.000048
8	Gu-m-P <sub>1</sub> -16-1	0.70744±0.000025
9	Gu-m-P <sub>1</sub> -19-1	0.70744±0.000053
10	Gu-m-P <sub>1</sub> -21-1	0.70741±0.000013
11	Gu-m-P <sub>1</sub> -24-1	0.70744±0.000011
12	Gu-m-P <sub>1</sub> -26-1	0.70742±0.000051
13	Gu-m-P <sub>1</sub> -29-1	0.70745±0.000013
14	Gu-m-P <sub>1</sub> -30-1	0.70739±0.000074
15	Gu-m-P <sub>1</sub> -33-1	0.70740±0.000066
16	Gu-m-P <sub>2</sub> -36-4	0.70749±0.000079
17	Gu-m-P <sub>2</sub> -37-1	0.70747±0.000031
18	Gu-m-P <sub>2</sub> -38-1	0.70750±0.000052
19	Gu-m-P <sub>2</sub> -39-1	0.70757±0.000041
20	Gu-m-P <sub>2</sub> -41-1	0.70758±0.000078
21	Gu-m-P <sub>2</sub> -46-1	0.70748±0.000045
22	Gu-m-P <sub>2</sub> -52-1	0.70752±0.000011
23	Gu-m-P <sub>2</sub> -54-1	0.70755±0.000041
24	Gu-m-P <sub>2</sub> -56-1	0.70722±0.000041
25	Gu-m-P <sub>2</sub> -58-1	0.70739±0.000045
26	Gu-m-P <sub>2</sub> -61-2	0.70767±0.000055

海平面下降使华南地区的陆地面积增大,海陆面积比减小,陆源风化产生的较多的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的地壳锶被带入海洋,同位素质量平衡的结果引起海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的相对升高,结果造成沉积碳酸盐的锶同位素值升高,从栖霞初期开始碳酸盐岩的锶继续上升至 0.7060,这是由于前期从陆壳岩中经 $^{87}\text{Rb}$  衰变产生的 Sr 在海侵的初期阶段,被地表径流淋取并被带入海洋所致。之后,从栖霞晚期至茅口早期碳酸盐岩的锶同位素组成处在不断的变化之中,即呈波浪式变化,这种变化显然与锶源供给有关,从区域地质背景来看,在此阶段地壳相对稳定,区内也无火山活动,因此,这种变化主要与古海洋海平面的升降变化有关,由沉积相分析可知,在此阶段沉积相经历了台地边缘相至广海陆棚相的多次交替。茅口晚期至茅口末期,碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值在经历了前期的波动后相对逐渐上升(0.70739~0.70749),这种上升是由于东吴运动的前奏(在黔桂地区称为大厂上升运动)的作用,整个华南发生海退,陆地面积增大,被带入海洋中的地壳锶相对比例增大,结果导致碳酸盐的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值相对升高。从全球来看,虽然此期为二叠纪火山活动强烈时期,且此时在贵州西部也形成了大面积玄武岩出露,但由于其为陆相喷发,再加之所研究的区域远离海岸,其不可能马上被风化供给海洋,因而由火山活动而带入到海洋中的深源锶的比例并没有增加。因此海相碳酸盐岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值并没有相对下降。

从晚二叠世开始,随着时间的推移,海相碳酸盐岩的锶同位素又发生了相应的变化。吴家坪早期碳酸盐岩的锶同位素组成由 0.70747 上升至 0.70758,这显然是由于前期残留于地壳中的高比值的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  在海侵初期被带入到海洋所致。从吴家坪晚期到长兴中期,碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值明显的相对降低,即由 0.70748 降至 0.70722,因为在该期海平面相对于前期仍处在上升阶段,结果高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的陆壳供给海洋的锶比例相对下降,且早二叠世晚期的玄武岩此时已部分被风化;在上述双重因素的作用下,碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值相对明显下降。从长兴晚期开始,研究区及整个华南发生海退至长兴末期下降到最低点,在此过程中陆源供给的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的锶比例相对升高,从而导致碳酸盐岩的锶同位素组成升高。

## 结 语

本研究以贵州罗甸沫阳二叠系剖面为例揭示了中国南方二叠纪海相碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  的演化;探讨了其演化的原因,结果表明锶同位素的演化与海平面升降有明显的相关关系,即海平面升降与碳酸盐岩的锶同位素组成呈负相关关系。

由于海相碳酸盐岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的相对高低受多种因素的控制,因此,本文所述很不全面,文中不当之处敬请读者指正。

本文是在导师曾允孚教授指导下完成的,在此表示衷心的感谢。

收稿日期:1994年2月10日

## 参 考 文 献

- [1] Veizer, J.; R. Demovic, 1974, Strontium as a tool in facies analyses; *J. Sediment.* 44(1):99~115.
- [2] Veizer, J., 1975, Possible use of strontium in sedimentary rocks as a paleo—environmental indicator; *Sedimentary Ge-*

ology. 5(1):5~22.

- [3] 赵其渊, 1988, 海洋地球化学, 地质出版社。
- [4] Pryrtmsn, Z. E., 1970, Isotopic composition of strontium in seawater throughout Phanerozoic time; *Geochim. Cosmochim. Acta.* 34(12):105~121.
- [5] Brass, G. W., 1976, The variation of marine  $\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio during Phanerozoic time; *Geochim. Cosmochim. Acta.* 40(1):721~730.
- [6] Popp, B. N., 1986,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios in Pre-Carboniferous seawater from analyses of well-preserved brachiopod shells; *Geochim. Cosmochim. Acta.* 50(7):1321~1328.
- [7] Burk, W. H., 1982, Variation of seawater  $\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  throughout Phanerozoic time; *Geology.* 10(10):516~519.
- [8] E. D. Goldberg, 1986, Minor elements in sea water. In: Riley, J. P., Skirrow, G. (eds); *Chemical Oceanograph: Vol. 1* New York: Academic Press.
- [9] G. 福尔, 1972, 锶同位素地质学(中译本), 科学出版社。
- [10] Hess, J.; M. L. Bender and J. Schilling, 1986, Evolution of the ratio of strontium-87 to strontium-86 in sea water from Cretaceous to present; *Science*, 231(4741):979~983.
- [11] Chaudhuri, S. and N. Clauer, 1986, Fluctuations of isotopic composition of strontium in seawater during the Phanerozoic Eon; *Chemical Geology.* 59(4):293~303.

## The Revolution of the Isotopic Composition of Strontium in the Permian Paleo-ocean in South China

Tian Jingchun and Zheng Yunfu

(Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059)

### Abstract

It is well known that the strontium isotope is very useful not only for studying sedimentary history of palaeo-ocean but also for stratigraphic classification. So it is very important to research the geochemistry of strontium isotope. The paper, taking the Mouyang profile in Guizhou for example and through the analyses of the isotopic composition in marine carbonate, discusses in detail the evolution of strontium isotope and its geological significance. The results show the following facts:

1. In general, the change of the isotopic composition of strontium in marine carbonate is between 0.70722 and 0.70767 from the beginning to the end of the Permian period.

2. The change scale of the strontium isotope is similar to the results determined by B. N. Popp; And its evolution trend is very similar to the outcome published by W. H. Burk and B. N. Popp.

3. The change of isotopic composition of strontium is controlled by the source of strontium, such as volcanic rock, crust silicate and old marine carbonate. From the study area, it is known that the change of  $\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio is related to sea level change, and there is a negative correlation between the  $\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio and sea level change.

**Keywords** Permian period Paleo-ocean Strontium isotope