

# 湘南泥盆系碳酸盐岩中 锶的分布特点及其环境意义

刘文均

(成都地质学院沉积地质矿产研究所)

**提要** 湘南泥盆系碳酸盐沉积环境,可分为台地和台盆两大类和六种相类型。250块岩样的分析结果表明, Sr 和  $Sr / Ca \times 1000$  的含量比值变化与沉积环境密切相关,即由浅水台地相到深水台盆相,其比值从 0.27 增至 2.37。其原因是由于不同沉积环境中碳酸盐矿物组份不同,影响了锶的分布。因此锶的含量可作为相分析的工具。

**主题词** 泥盆系 碳酸盐岩 锶 相标志

**作者简介** 刘文均 54 男 副研究员 沉积学。

湖南南部泥盆系广泛发育,中上泥盆统以碳酸盐岩为主,沉积类型及古地理面貌较复杂。笔者在研究沉积相古地理特征的同时,较详细的研究了碳酸盐岩中锶的分布特点。

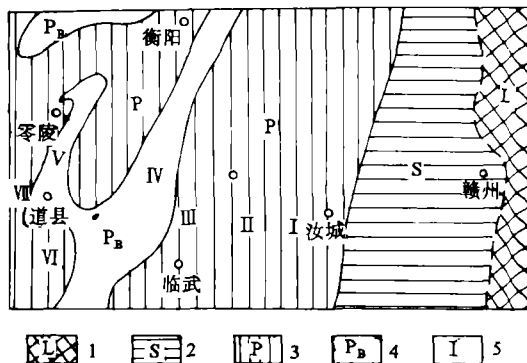
湘南地区位于江南地轴以南的华南褶皱系中。加里东运动后,本区进入相对稳定的发展阶段,泥盆纪海侵自南而北侵入,形成三面环陆的湘桂粤陆棚浅海。本区即处于这个浅海盆地的东缘。区内由于北东向基底断裂的同沉积期扩张活动的影响,地形起伏较大,形成两侧高而中部低陷的北东向槽地(图1),直接控制了沉积相的分布。中晚泥盆世的沉积以碳酸盐岩为主,按其岩石类型、结构构造和生物组合等标志,可以区别为台地相和台盆相两大类型,以及局限台地相、开放台地相、生物礁相、台棚相、盆缘斜坡相和台盆相等六类沉积相。

## 一 样品处理及分析结果

250块样品,系统采自7个不同沉积相类型的实测剖面中。样品均未经蚀变、矿化或次生风化作用。样品破碎至1mm后,由地科院测试所采用JA1160型等离子光谱仪测定,锶的检出限为0.05ppm,测定下限为0.15ppm。分析结果分别计算了  $Sr / Ca \times 1000$  比值,并按照层位、岩性和沉积相统计(表1)和做图(图2)。

## 二 讨 论

锶是碳酸盐岩中重要的微量元素之一。许多学者研究了它的地球化学特性,把它作为碳酸盐沉积和成岩作用过程中的重要标志元素。这些特性是:



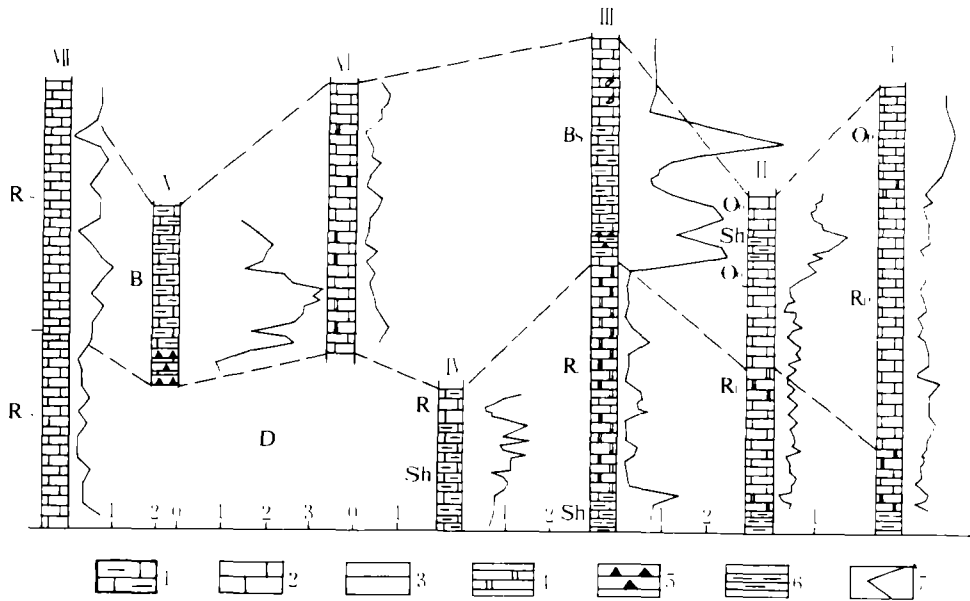
1. 武夷古陆, 2. 滨岸碎屑岩相, 3. 碳酸盐台地相, 4. 台盆相, 5. 采样剖面点: I 汝城牛田, II 宜章平和, III 临武香花岭, IV 新田麻坑寨, V 零陵寨梓岭, VI 道县后江桥, VII 道县红岩

图1. 湘南泥盆纪岩相古地理略图  
Fig.1 Lithofacies - paleogeographic sketch map of Devonian in Southern Hunan

表 1. 湘南泥盆系碳酸盐岩中 Sr 及其它元素平均含量表

Table 1 Sr and other elements average contents of studied rocks in Southern Hunan

沉积相	层位	岩性	样品数	常量元素 (%)			Sr (PPm)		Sr / Ca × 1000		代号
				Al	Ca	Mg	范围	均值	范围	均值	
局限台地	泻湖	D <sub>2</sub> q	12	0.56	29.18	4.61	55.32~209.9	136.5	0.28~0.64	0.47	A
		D <sub>2</sub> q	42	0.36	23.24	9.53	25.94~136.9	64.85	0.13~0.49	0.27	B
		D <sub>3</sub> s	14	0.58	23.14	9.38	27.47~123.8	77.13	0.14~0.64	0.33	C
	潮坪	D <sub>2</sub> q	27	0.26	35.89	0.86	102.5~259.1	169.44	0.26~0.70	0.47	D
		D <sub>3</sub> s	69	0.29	34.75	1.12	66.65~370.4	185.09	0.19~1.04	0.53	E
开放台地	D <sub>3</sub> s	灰岩	19	0.82	33.75	0.64	179.4~404.9	297.31	0.55~1.20	0.88	F
生物礁	D <sub>2</sub> q	灰岩	8	0.12	35.86	0.77	178.9~422.5	280.5	0.48~1.27	0.79	G
台棚	D <sub>2</sub> q	泥质灰岩	27	1.23	31.83	0.72	143.0~523.7	303.4	0.52~1.46	0.95	H
	D <sub>3</sub> s	泥质灰岩	9	2.07	26.71	0.48	196.1~402.1	300.78	0.83~1.66	1.18	I
盆缘斜坡	D <sub>3</sub> s	灰岩	19	0.26	34.71	0.87	214.2~1244.0	522.46	0.63~3.68	1.53	J
台盆	D <sub>3</sub> s	泥质灰岩	18	1.62	31.88	0.63	304.6~1158.0	769.72	1.38~3.38	2.37	K



D<sub>2</sub>q: 中泥盆统棋梓桥组; D<sub>3</sub>s: 上泥盆统余田桥组; Rp: 局限台地相; Dp: 开放台地相; Sh: 台棚相; R: 生物礁相; Bs: 盆缘斜坡相; B: 台盆相。1. 泥质灰岩; 2. 灰岩; 3. 砾屑灰岩; 4. 白云岩; 5. 硅质岩; 6. 泥质岩; 7. Sr / Ca × 1000 含量曲线 I 汝城牛田; II 宜章平和; III 临武香花岭; IV 新田麻坑寨; V 零陵寨梓岭; VI 道县后江桥; VII 道县红岩。

图 2. 湘南泥盆系不同沉积相碳酸盐岩中 Sr / Ca × 1000 的变化曲线

Fig.2 Variation curve of Sr / Ca × 1000 ratio in carbonate rocks for various facies types of Devonian in South Hunan

1、Sr 与 Ca、Mg、Ba 等元素同属 II<sub>A</sub> 族, 离子半径与 Ca<sup>2+</sup> 相近, 因此常在碳酸盐矿物中置换 Ca 的位置。

2、锶在碳酸盐矿物中的分布, 服从于 Berthelot-Nernst 分别为 Sr 和 Ca 的克分子浓度, 示, 即:  $(M_{Sr}/M_{Ca})_s = D \times (M_{Sr}/M_{Ca})_l$ , 式中  $M_{Sr}$  和  $M_{Ca}$  分别为 Sr 和 Ca 的克分子浓度, S.L 为固相和液相, D 标为分配系数。对于锶来说, 从特定溶液中沉淀下来的碳酸盐矿物中锶的含量, 一方面取决于溶液中 Sr 和 Ca 的浓度比, 同时还由于不同碳酸盐矿物中锶的分配系数 D 也不相同, 因此在相同溶液中沉淀下来的不同碳酸盐矿物中锶的含量也是不同的。

3、海水和淡水中 Ca, Sr 的平均含量差别很大 (海水中 Ca: 411ppm, Sr: 8ppm, 淡水中 Ca: 14.6ppm, Sr: 0.06ppm), 因此当碳酸盐岩在沉积或成岩过程中有淡水加入时, 就会影响锶的含量。

4、不同碳酸盐组份 (包括生物碎屑) 的碳酸盐矿物成份是各不相同的, 锶的含量也有所不同, 通常以文石中锶的含量最高, 高镁方解石次之, 低镁方解石最低。

这些特点, 都在不同程度上直接或间接的影响了锶在碳酸盐岩中的分布。

根据已有的分析数据, 计算了部份剖面中 Sr 与 Ca、Mg、Fe、Al、Mn、Ba 等元素的相关关系, 计算结果表明 (表 2), 无论在何种环境中, Sr 与 Ca 有显著的正相关关系, 与其他元素均为负相关关系, 可见它在碳酸盐岩中, 主要是以取代 Ca 的方式存在于方解石的晶格中, 这样也就提供了使用 Sr/Ca 比值来进行分析的基础。

从表 1 可以看出, 本区碳酸盐岩中锶的含量变化范围很大, 即从 25.94 ppm 至 1158ppm, 而且在白云岩中的含量相对低于灰岩。在不同的沉积相中, 从浅水台地到深水台盆, 锶的含量逐渐增高。从图 2 中可以看到, 不同沉积相的 Sr/Ca × 1000 比值的分布而是显著的。局限台地相的 Sr/Ca × 1000 的变化范围为 0.13—1.04, 均值为 0.27—0.53, 余田桥组略高于棋梓桥组, 原因可能与余田桥期的台地环境比棋梓桥期较为开放一些。与台地相毗邻的台棚相中, Sr/Ca × 1000 比的变化范围为 0.52—1.66, 平均 0.95—1.18, 开放台地与生物礁则介于其间, 深水台盆的比值最大, 平均可达 2.37。盆缘斜坡相中, 斜坡上部接近台地边缘且有部份岩屑来自台地, 因而其比值明显降低并接近台地。这种由浅水到深水碳酸盐岩中 Sr/Ca × 1000 比逐渐变大的趋势, 在图 3 中更为清晰, 即随着沉积环境由局限台地—开放台地—台棚—台盆, 沉积盆地由浅到深; 沉积物由颗粒灰岩及白云岩到泥晶灰岩或泥质灰岩; 岩石的颜色由浅到暗, 碳酸盐岩中 Sr/Ca × 1000 比值逐渐增大。在台地上, 泻湖相的准同生白云岩中的 Sr/Ca × 1000 也略大于成岩白云岩, 这样就形成了不同沉积相中以潮坪相白云岩为最低点的双峰值曲线。

锶的含量在碳酸盐岩中的变化范围大和有一定的变化趋势, 甚至具有双峰值分布特点。

J.Veizer 等 (1973, 1974) 在研究西喀尔巴阡山中部的中生代碳酸盐岩时, 就曾指出过锶的分布在不同沉积相中具有双峰值的分布特点, 即由浅滩白云岩到深海灰岩, 以及由浅滩到超咸水泻湖, 锶的含量都逐渐增加。

锶的这一分布特点, 不同学者的解释不尽相同。一种意见认为是由于继承了由沉积环境所决定的原始沉积特点所造成的, 与成岩作用无关。另一种意见则认为主要是与成岩作用有关, 特别是与有淡水参与的成岩作用再分配有关, 也有人认为是与粘土矿物的吸附作用有关。

J.Veizer 等根据现代海洋中钙质生物骨骼的矿物成份以及碳酸盐沉积物矿物成份的不同, 计算了不同沉积环境中锶的含量特征。在现代海洋中, 浅海的鲕粒、球粒、底栖生物、红藻及绿藻等主要由文石或高镁方解石组成, 深海中常见的颗石藻、有孔虫等则以低镁方解石为主。浅海及礁环境中的沉积物以高镁方解石为主, 超盐环境 (泻湖) 以文石为主, 而深海沉积物则以低镁方解石为主。这三种碳酸盐矿物中锶的含量差别很大 (文石 > 高镁方解石 > 低镁方解石), 但不稳定的文石和高镁方解石在成岩作用过程中向低镁方解石转化时, 锶的含量相应降低。经计算证明,

表 2. 碳酸盐岩中 Sr 与其它主要元素的相关关系  
Table 2. Correlation between Sr and other elements in Carbonate rocks

剖面	层位	沉积相	样品数	相关系数 r						显著性水平 (0.01)
				Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Ba	
汝城牛田	D <sub>2</sub> q	潮坪	13	0.86	-0.88	-0.56	-0.39	-0.34	-0.15	0.684
宜章平和	D <sub>3</sub> s	台棚	14	0.71	-0.66	-0.61	-0.66	-0.63	-0.77	0.661
零陵寨梓岭	D <sub>3</sub> s	台盆	18	0.73	-0.13	-0.79	-0.74	-0.73	-0.76	0.590

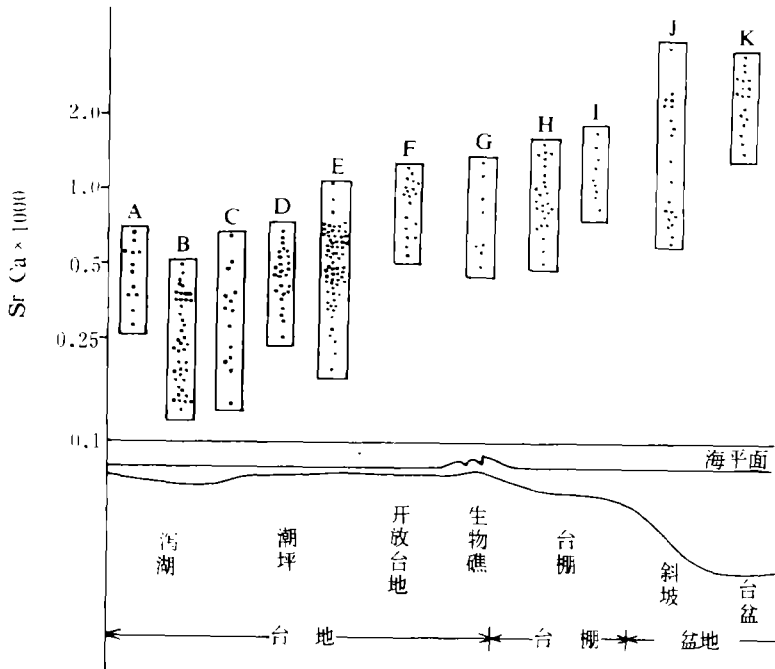


图 3. 不同岩相中的 Sr / Ca × 1000 比值变化 (图中 A、B……K 见表 2)

Fig. 3 Variations of Sr / Ca × 1000 ratio for various facies types

高镁方解石中锶的下降幅度大于文石，而稳定的低镁方解石中锶的含量在成岩作用过程中并不发生变化，结果反而造成低镁方解石中锶的含量大于由文石或高镁方解石转化而成的方解石。这样由于原始沉积环境所控制的矿物组份的不同，造成了锶的含量以浅海为低点向深海和泻湖环境逐渐增加的双峰值分布特点。他们还认为如果这一特点是成岩作用的结果，那么成岩溶液的  $\delta^{18}\text{O}$  也应有双峰值特点，对此他们持否定态度。

D.W.Morrow 等 (1977) 则认为，古代灰岩在晚期成岩作用过程中，地下水的渗和和岩石的孔隙度控制了锶的含量变化。由于不同孔隙度岩石的锶的损耗水平是不相同的。因此，礁灰岩、颗粒灰岩等高孔隙度岩石的锶的损耗较大，锶的含量相对变低，而礁后或深水的致密灰岩的锶的损耗较小，其含量也相对要高一些。不过他们也承认不同孔隙度灰岩的分布主要也是由沉积环境决定的。

笔者认为上述几种对锶的双峰值分布特点的解释之间,并不存在重大的矛盾。其中由沉积环境所决定的原生矿物组份是主要影响因素,但不排除成岩作用包括淡水的影响。以本区而论,锶含量有较大差别的深水台盆和浅水台地之间,在岩石类型、结构构造和生物组合上均有重大差别。深水台盆以暗色致密泥晶灰岩及泥质灰岩为主,所含生物以营浮游生活的锥壳纲的竹节石为主(原始矿物成份为低镁方解石),而浅水台地或生物礁相以浅色高孔隙度的颗粒灰岩或生物灰岩为主,生物碎屑的矿物成份多为文石或高镁方解石,因此在成岩作用过程保存了原始沉积物中锶的分布特点是完全可能的。此外,也要注意不同沉积相的原生孔隙特点,以及不同沉积环境的成岩作用特点。一般说来,原生孔隙的发育程度与沉积环境密切相关,通常孔隙发育的岩层,多是一些粗结构的碳酸盐岩,在沉积相带上多属于潮间,潮下高能环境以及台地边缘的浅滩或生物礁等,而低孔隙的细粒碳酸盐岩,多出现在较深水的台盆中。此外,浅水台地的成岩环境常常是在有淡水渗和下进行的,而深水台盆沉积物的成岩环境则是在海水作用下进行的,由于海水和淡水的  $Msr/Mca$  是完全不同的,这样也必然引起锶含量的差别。这些因素都可能导致锶含量的双峰值分布。至于粘土矿物的吸附问题,虽然在台棚或台盆相中,粘土矿物及其主要造矿元素铝的含量较高,但相关分析结果表明,锶与铝呈明显的负相关关系,可见它的存在状态和富集与粘土矿物无关。

在本区的工作中,笔者还对不关剖面,碳酸盐岩原氧、碳同位素进行过同步研究,研究结果表明,随着沉积环境深度和开放程度的增加,  $\delta^{18}O$  也有逐渐增大的趋势,在局限台地上,准同生白云岩的  $\delta^{18}O$  也明显的大于成岩后生白云岩,即  $\delta^{18}O$  也存在有与锶含量同步变化的趋势。 $\delta^{18}O$  的这种分布特征同样也可能是继承了沉积环境的特点而非成岩作用影响的结果。因为在海相碳酸盐岩的沉积过程中,现代海洋研究表明,海水的深度和盐度、温度之间有密切的关系,而后者又直接影响了海水的  $\delta^{18}O$ ,因此在一定条件下,海水的深度也可直接影响到它的同位素组成。另一方面,由于蒸发作用引起的盐度增高,也会造成  $^{18}O$  的相应富集,因而蒸发成因的准同生白云岩也以富含  $^{18}O$  为特点。由此可见,由浅水到深水以及由浅水到超盐度水中形成的碳酸盐岩中的  $\delta^{18}O$ ,也可能具有双峰值分布特点,其原因也是由原始沉积环境所决定的,在这种情况下, Sr 和  $\delta^{18}O$  所具有的同步分布现象,正好是沉积环境的反映而不一定是成岩作用所造成的。因此碳酸盐岩中锶的分布特点,具有很好的指相意义,正如 Veizer 至今所强调的那样,是很好的“相分析工具”。

收稿日期: 1987年1月20日

### 参 考 文 献

- 刘文均, 1987, 湘南泥盆系碳酸盐岩中氧碳同位素组成特点,《地球化学》, 87年3期。  
D.W.Morrow & I.R.Mayers, 1978, Can. J. Earth Sci. V.15, p.376—396.  
J.Veizer & R.Demovic, 1973, Jour. Sed. petrology V.43 N.1 p.258—271.  
J.Veizer & R.Demovic, 1974, Jour. Sed. Petrology, V.44, N.1, p.93—115.  
J.Veizer 1983, Chemical diagenesis of carbonates: Theory and Application of trace element technique, SEPM short course N.10

## THE DISTRIBUTIVE CHARACTERS AND ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF STRONTIUM IN CARBONATE ROCKS OF DEVONIAN IN SOUTHERN GUNAN

Liu Wenjun

(Institute of sedimentary Geology and Mineral Resources, Chengde College of Geology)

### Abstract

In Devonian period, southern Hunan was situated in the east margin of Hunan, Guangdong, Guangxi neritic shelf basin. During the middle-late Devonian epoch, the carbonate sediments were dominant in this area, which may be divided into two facies area: the platform and the platform-basin, and six such facies types as the restricted platform; open platform; reef; shelf; platform basin with slope margin and platform-basin.

250 samples of fresh carbonate rocks for this study were collected from seven sections of various localities and facies types. The contents of elements in carbonate rocks are detected by ICP-AES (model JA-1160).

The strontium is one of the important trace element in carbonate rocks. The average Sr contents and Sr/Ca  $\times 1000$  ratio in different sedimentary facies are vary widely. The tendency of this variation is closely related to sedimentary environments, i.e. the Sr/Ca  $\times 1000$  ratio tends to increase gradually from restricted platform to open platform to shelf and to platform-basin; and from shallow to bathyal, which is from 0.27 to 0.88 to 0.95-1.18 to 2.37. In the lagoon of restricted platform, the Sr/Ca  $\times 1000$  ratio of primary dolomites is higher than that of diagenetic dolomites.

Several authors have noted that many ancient carbonate rocks have a wide range and a bimodal distribution of Sr and given various explanation for it. We agree upon the idea suggested by J. Veizer et al. (1973, 1974), who hold that in the different sedimentary environments the primary carbonate minerals are different, and the Sr content of these minerals is also various. During the diagenetic process, the content decrease with the neomorphism from instable aragonite and high-Mg calcite into stable low-Mg calcite, but the Sr content in low-Mg calcite is not to change due to it is stable. Thus a bimodal strontium distribution of carbonate rocks in various facies is caused, and may be a indicator for environments.