

四川盆地南北缘志留系的锶和碳、氧同位素演化及其地质意义

张廷山 俞剑华 边立曾

(南京大学地球科学系)

S. Kershaw

(Department of Geosciences, Brunel University, UK)

陈晓慧 兰光志

(西南石油学院勘探系)

万云

(重庆石油高等专科学校)

[内容提要] 通过对四川盆地北缘广元地区及南缘綦江地区上奥陶统及下志留统地层的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 及 $\delta^{18}\text{O}$ 的系统测定,取得了沿地层剖面变化的同位素组成规律。研究结果表明,在盆地南缘 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值高于地质历史中海水的平均值,其原因是本区为受板块内古陆控制的缓坡环境,大量陆源锶的混入增加了 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的值。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值在上奥陶统至下志留统地层交界处、Rhuddanian/Aeronian(鲁丹期/艾隆期)交界处具正峰波动,反映了此时海平面的短时下陷。但从Rhuddanian至Telychian(特里奇期), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 逐渐降低。从Aeronian至Sheinwoodian(舍因伍德期)早期,盆地南北缘的 $\delta^{13}\text{C}$ 值处于逐渐上升的过程之中,而 $\delta^{18}\text{O}$ 则相反。同位素的演化特征说明本区当时为海进时期,海平面不断上升,与全球性海平面变化相吻合。由于受区域构造运动的作用,Sheinwoodian之后的全球持续海进对本区无影响。

关键词 锶同位素 碳氧同位素 环境演化 志留系 四川盆地南北缘

研究已证实,锶同位素及碳氧同位素在古海洋、古环境、古气候、生物演化、地层对比以及板块构造运动等研究领域都有重要意义。本文通过对四川盆地南北缘志留地层的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的系统测定,详细讨论了同位素演化特征与古海洋环境变化的关系。

1 地质概况及样品的采集与分析

四川盆地处于上扬子板块之上,通过对上扬子区志留纪沉积环境特征、沉积组合以及大地构造背景的综合分析,已建立的古地理格架表明,四川盆地南缘及北缘当时都处于受板块

① “油气藏地质与开发工程”国家重点实验室开放基金项目成果之一(基金名称:四川盆地志留纪生物礁与有机岩石学研究,编号:95079712005)。

② 本文1997年8月26日收稿。

内部古隆起控制的陆源碎屑——碳酸盐岩混积缓坡沉积环境条件之下^[1]。本区下志留统发育,为我国志留系研究的经典地区,因此通过该区的同位素地球化学分析来研究上扬子区志留纪古海洋的环境演化具有重要意义。

由于四川盆地南缘綦江观音桥剖面地层连续,与上奥陶统呈整合接触,化石丰富,研究程度高,为上扬子区的志留系代表剖面之一,因而将该剖面选作地球化学分析具有代表性及可比性。本次研究所用的分析样品主要采自此剖面。另外,为了便于对比研究,部分分析样品采自盆地北缘地区。

为了最大限度地减少外来物质的污染,确保分析精度,所有分析岩样的采集尽量做到新鲜,并且为了保证分析结果的可靠性和可对比性,每个层位的样品的所有地球化学分析项目都来自同一标本,即将每个层位上所采集的同一标本分为几个小块,分别送做不同项目的地化分析。

1. 锶同位素分析

锶同位素分析以綦江观音桥剖面为重点,从48个样品中精选出45个同位素分析研究。经纯化处理后的样品用MAT-261质谱仪测定 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,并进行归一化处理,通过分析NBS987标准样以控制样品的测量精度和准确度。

2. 碳、氧同位素分析

分析样品采自綦江观音桥野外露头剖面以及川西北广元朝天至中子野外露头剖面(生物礁)和广元河深一井岩心样品。分析测试工作由四川石油管理局地质勘探开发研究院地质实验室完成。碳、氧同位素分析采用正磷酸法进行,并通过分析GBW04405和GBW04406标准样以控制所分析样品的测量精度。

2 锶同位素记录与古海洋演化

2.1 锶同位素及其地质意义

锶在海洋中的存留时间至少在百万年以上,而海洋的混合时间只有1千年,因此在百万年的时间尺度上,一般认为锶在海洋中的分布是均一的,不受纬度、海洋盆地和水体深度的影响^[2],因而可作为大区域的海平面升降指标。海水中锶含量的变化与构造运动及海底扩张速度关系密切。在稳定的大陆板块内,火山活动弱,陆表海中由于古陆上古老硅铝质岩石风化所提供的锶源,使海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值上升,其中所沉积的沉积岩内 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值也相对较高。因此,海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的高低,一方面反映了锶的来源,另一方面也反映了构造及火山活动和海平面升降之间的关系,并为实际所证实^[3~6]。

2.2 锶同位素分布特点

据Burk^[7]、Popp^[8]及Koepnick^[9]资料,显生宙以来海洋中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值是不断变化的,在志留纪内,其变化趋势是由低向高演化。本剖面锶同位素的演化(图1,图2)具如下主要特点:第一, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值总体上均较高,高于地质历史中海水的平均值0.70675~0.7090^[7]。这是由于上扬子板块内构造稳定,无火山活动而古隆起发育,古陆(如黔中隆起)上风化的大量陆源硅质沉积物(湄潭组碎屑岩)加入的缘故。陆源锶的注入控制了研究区内锶同位素的含量。第二, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值从上奥陶统观音桥组中部最低值0.701691开始,阶梯状上升,至奥陶系与志留系交界处,比值达0.712136,为一峰值,反映了奥陶纪末期因冰川作用而造成的全球性海平面下降。到志留纪开始, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值下降为0.711937,说明此时有了部分海

进。至Rhuddanian期与Aeronian期交界处， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值上升为0.717556，可反映海平面的又一次下降。在龙马溪组中下部所发生的一次较大的海退，使黔中古隆起面积扩大，地表径流量增大，风化速度加强，进入海洋的陆源锶量较多，导致此时 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值上升。在Aeronian期内， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值呈波浪状演化，但总体上是向低值变化，其比值从Aeronian期顶部(龙马溪组顶部)的0.713977下降至Telychian期底部(桥沟组底部)的0.710284，反映了海平面的上升过程，这与根据 ΣREE 值的演化分析及戎嘉余等^[10]根据古生物分析所得的结果相一致。至Telychian期， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值进一步下降，反映海平面的继续上升，开始形成成礁环境。在石牛栏组，锶同位素值出现多次波动，最小为0.708254，最大为0.711846，说明此时的海平面在上升过程中有小的波动。Telychian期结束后， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值在韩家店组迅速上升，反映了海平面的快速下降。但据Johnson等^[11]研究，从Telychian末开始，全球海平面还是处于上升阶段，但在上扬子区却反映出海平面下降的特征，与全球海平面变化有所不同。上扬子板块此时的海平面下降与整个上扬子区的区域构造抬生有关，表现为区域性海平面下降。

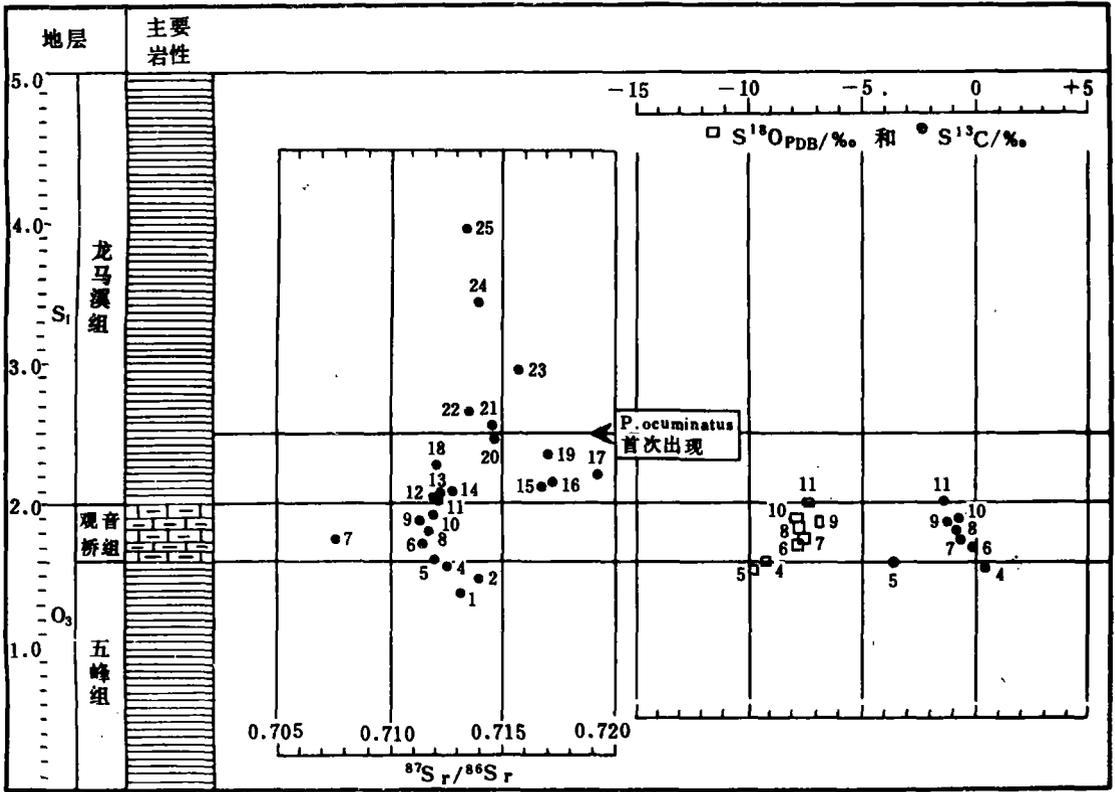


图1 黔江观音桥剖面奥陶系—志留系交界处 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的分布

Fig. 1 The distribution of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values at the Ordovician—Silurian boundary in the Guanyinqiao section, Qijiang, Sichuan

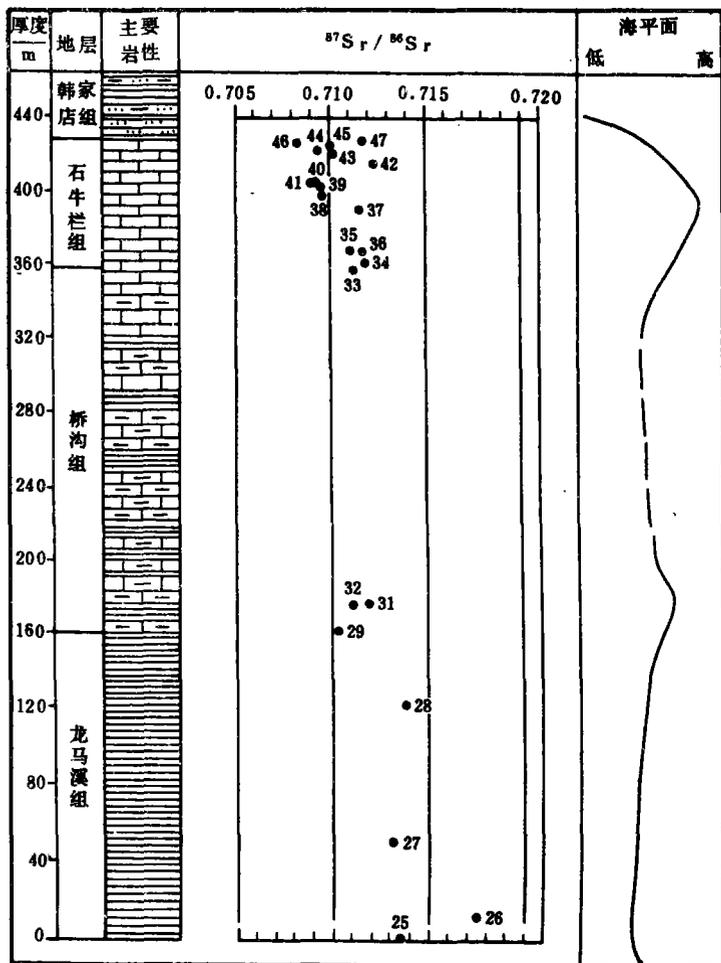


图2 秦江观音桥剖面志留系锶同位素分布与海平面变化

Fig. 2 The Sr isotope distribution in response to the sea-level changes during the Silurian in the Guanyinqiao section, Qijiang, Sichuan

3 碳、氧同位素

3.1 碳同位素

1. 四川盆地南北缘志留系碳同位素分布

在盆地南缘,上奥陶统观音桥组底部碳同位素值为 0.4% ,向上出现较大的负偏移,达 -3.78% ,然后在 -0.7% 至 -1.1% 之间波动至志留系龙马溪组底部(图1),由于Rhuddanian期及Aeronian期地层为龙马溪组页岩、粉砂岩沉积,因而未能分析出碳氧同位素数据。至Telychian期桥沟组和石牛栏组,碳酸盐岩比例增多,此时碳同位素值绝大多数为正值,从桥沟组 0.7% 左右逐渐呈波动式增加,向石牛栏组演化。至石牛栏组上部,碳同位素最高值达 2.33% (图3)。石牛栏组平均值为 1.146% 。

所测的盆地北缘广元朝天火焰山王家湾组的三个碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)全为正值,值域在 1.00% 至 1.99% 之间波动,平均值为 1.595% ,高于盆地南缘的石牛栏组 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值。而王家

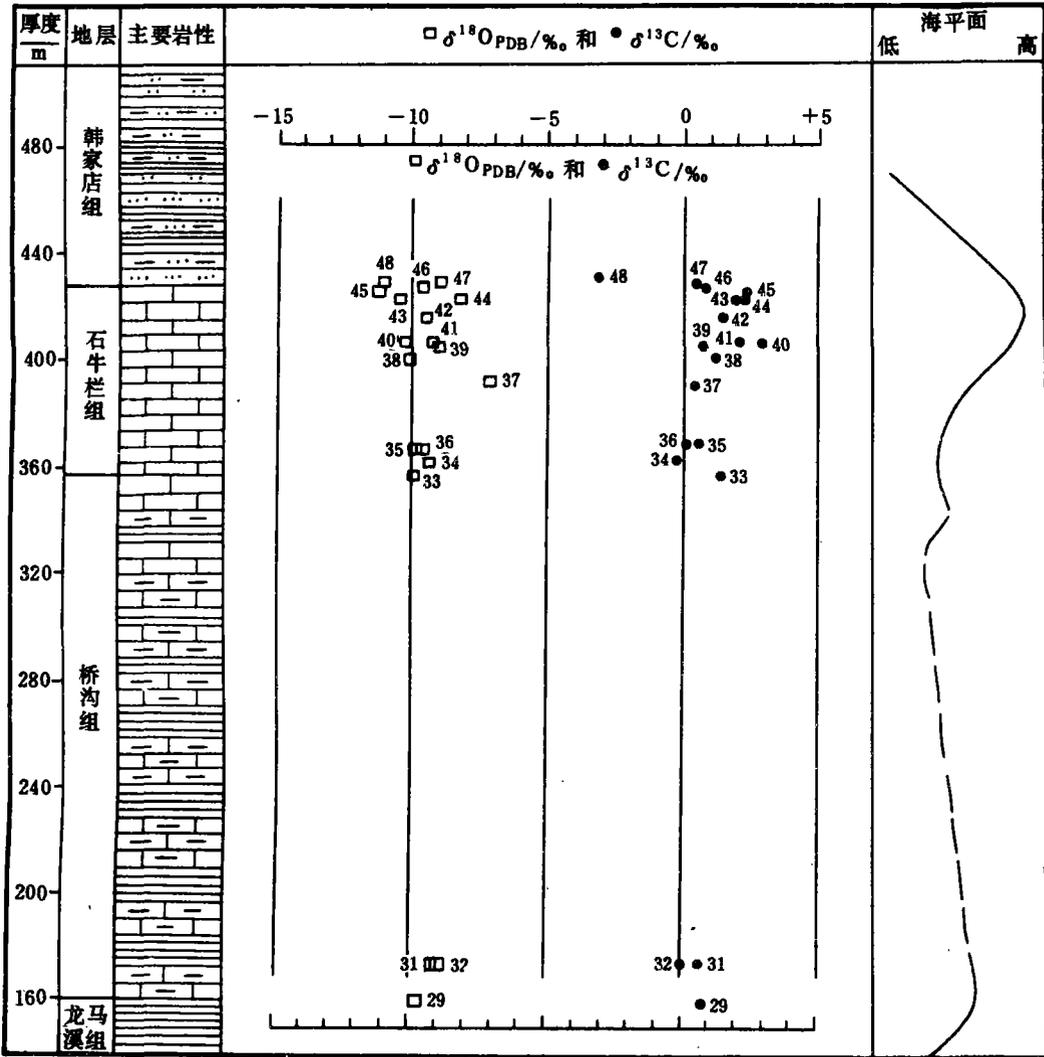


图3 綦江观音桥剖面志留系碳、氧同位素分布与海平面变化

Fig. 3 The carbon and oxygen isotope distribution in response to the sea-level changes during the Silurian in the Guanyinqiao section, Qijiang, Sichuan

湾组之上的广元朝天小屯子宁强组礁灰岩,其四对样品的8个碳同位素值明显高于王家湾组,其值域范围在2.03‰至2.39‰之间变化(图4)。

2. $\delta^{13}C$ 的演化及地质意义讨论

纵观四川盆地南北缘志留系碳酸盐岩层 $\delta^{13}C$ 的分布特征,不难发现一个十分有趣的现象,即从Telychian 期早期地层(桥沟组)开始,至Telychian 期中期(石牛栏组下部), $\delta^{13}C$ 值在-0.66‰至1.24‰之间变化,大多数值为小于1的正值。而到了Telychian 期晚期(石牛栏组上部以及广元朝天火焰山王家湾组), $\delta^{13}C$ 值上升且大于1‰,部分大于2‰。而至Wenlock (文罗克世)早期地层(广元中子小屯子礁灰岩), $\delta^{13}C$ 值全部大于2‰,说明从Telychian 期至Sheinwoodian 期, $\delta^{13}C$ 处于波动上升的演化过程中。

盆地南缘					盆地北缘					海平面 降 升		
地层	样品号	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ 均值	地层	样品号	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ 均值			
韩家店组	H-47	0.36	-9.05	0.36	宁强组	SxR-11-1F	2.30	-8.11	2.901	海平面 降		
石牛栏组	H-46	0.81	-9.58	1.146		SxR-11	2.23	-7.73				
	H-45	2.33	-11.25			SxC-3F	2.24	-8.21				
	H-44	2.16	-8.22			SxR-9-1F	2.39	-6.86				
	H-43	1.81	-10.39			SxR-9-1	2.20	-8.13				
	H-42	1.39	-10.57			Sx-11F	2.03	-7.17				
	H-41	2.06	-9.2			SxC-6F	2.09	-7.30				
王家湾组	H-40	2.95	-10.21			SxC-6	2.33	-8.55			1.595	海平面 升
	H-39	0.64	-9.14			HFR-7-1	1.99	-7.14				
	H-38	1.02	-10.21			HF-5	1.68	-6.95				
	H-37	0.44	-7.25			HF-5	1.58	-7.19				
	H-36	0.06	-9.74									
	H-35	0.33	-9.93									
	H-34	-0.41	-9.41									
H-33	1.24	-9.90										

图4 研究区 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 演化及海平面演化关系

Fig. 4 The variations in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values in response to the sea-level changes in the Silurian carbonate rock beds on the northern and southern margins of the Sichuan Basin

许多测试结果表明,大多数海相无机碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值都接近于零^[12~14],而四川盆地南北缘研究区内地层的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值明显偏离理论值。对 $\delta^{13}\text{C}$ 来说,引起其偏离理论值的原因是由两个外来碳储库——氧化碳储库和还原碳储库之间相对比例变化而引起的,在通常情况下,氧化条件下所沉积的碳酸盐岩比还原条件下形成的碳酸盐岩富集 ^{12}C ^[14,15]。在海平面下降时期,一般古陆面积都会有所增大,风化剥蚀作用随之加强。由于风化剥蚀的作用,使古陆上的大量有机碳被氧化而注入相邻的海洋环境中,使海水中的 ^{12}C 含量增加。另外,地质历史中的海平面的下降,往往是由于冰川作用和区域构造活动等所造成,此时,不适于生物礁的发育(Jeppsaon^[16]; Kershaw和Brunton, 1996, 口头交谈),海洋中的生物作用减弱。上述两项主要原因,使海平面下降期所形成的海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。而在海平面上升期,海洋中生物作用强烈,生物礁发育,生物有机碳的埋藏量增加,使溶解在海水中的 CO_2 富 ^{13}C ,此时与海水相平衡的碳酸盐岩也富含 ^{13}C ,同时期 $\delta^{13}\text{C}$ 值增高。因此,碳酸盐岩中的 $\delta^{13}\text{C}$ 演化与海平面升降有着十分密切的关系。

由于志留纪时,上扬子区为统一的海盆,海水相通,因此 $\delta^{13}\text{C}$ 的分布特征代表了区域性特点。在研究区中,晚奥陶世 $\delta^{13}\text{C}$ 有一些轻微的下陷过程(图1),代表了晚奥陶世冰川作用而造成的全球海面下降事件。从Telychian早期桥沟组开始至Sheinwoodian的宁强组上部, $\delta^{13}\text{C}$ 值表现为不断的增高(从0.7%左右一直上升至大于2%) (图4),到宁强组上部达最大,反映了在此时,随全球海平面的上升,上扬子区区域海平面也随之上升,至宁强组时该区海平面上升幅度达最大,随后因区域构造运动的影响,海平面迅速下降,上扬子板块除北部边

缘地区外,全部隆起成陆^[1]。

3.2 氧同位素

一般海洋表层温度的升高对应于海平面的上升和太阳热辐射的增加,沉积物中 $\delta^{18}\text{O}$ 值随之下降;而海洋表层温度的相对下降则对应于海平面的相对下降,沉积物中 $\delta^{18}\text{O}$ 值随之上升(陶发祥等^[2])。因此,碳酸盐岩中具有系统规律变化的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,也可作为反映海平面升降的辅助指标。

盆地南缘綦江观音桥剖面上奥陶统观音桥组 $\delta^{18}\text{O}$ 值从其底部 -9.96% (PDB)向上逐渐增大,渐变为顶部的 -6.94% 至 -7.89% (PDB)。至志留系龙马溪组底部(Ruddanian 阶底)为 -7.34% (PDB)(图1),此段时间恰为冰川活动期,全球海平面下降。在Telychian 阶下部的桥沟组至Telychian 阶上部的石牛栏组中, $\delta^{18}\text{O}$ 虽然有波动,但总体表现为逐渐降低,从桥沟组的 -9.72% (PDB)降为石牛栏组上部的 -11.25% (PDB)达最低点,反映海平面在Telychian 期为上升时期(图4)。在四川盆地南缘,石牛栏组上部沉积时的海平面上升达到了最高点。在四川盆地北缘,所测的广元朝天火焰山王家湾组灰岩, $\delta^{18}\text{O}$ 值从 -6.95% (PDB)降为顶部的 -7.67% (PDB),中部的 $\delta^{18}\text{O}$ 值一度达 -10.4% (PDB)。而所测的广元中子宁强组上部小屯子礁灰岩生物骨骼的 $\delta^{18}\text{O}$ 值从下向上也具有降低的演化特点,从 -7.3% (PDB)降为 -8.11% (PDB)。从王家湾组至宁强组上部, $\delta^{18}\text{O}$ 值逐渐下降的演化过程反映了Telychian 后期至Sheinwoodian 早期的海平面上升过程(图4)。

本区的碳、氧同位素演化特征以及沉积特征也与Jeppson^[16]的志留纪海洋循环模式有可比性。Jeppson 根据志留纪牙形刺的演化规律,将海洋循环分为P型及S型两种模式,目前已被广泛接受。P型模式表现为在低纬度地区气候潮湿温和,古陆的风化作用强烈,大量陆源碎屑物质被带入海洋中沉积下来,使碳酸盐沉积及生物礁发育受到抑制,因而所占比例较小,而且此时的海水盐度较低。而高纬度地区海水温度低且密度大,含 $\delta^{18}\text{O}$ 高,而含 $\delta^{13}\text{C}$ 低,海水不具氧化-还原的分层现象,此时海平面较低。S型海洋模式表现为在低纬度气候干燥、古陆的风化剥蚀作用弱、海洋中近岸区蒸发作用强、碳酸盐及生物礁沉积发育地区。而高纬度区由于水体温湿,海水形成明显的氧化-还原分层现象。此时海平面为高水位期,大量有机物质在沉积物中被保留下来,使全球海洋的二氧化碳总量(ΣCO_2)中的 $\delta^{13}\text{C}$ 增加而 $\delta^{18}\text{O}$ 降低^[17]。对比Jeppson^[16]的P、S型海洋演化模式,本区龙马溪组处于低纬度区的P型海洋循环条件下,古陆风化剥蚀作用强,碳酸盐岩不发育,海平面低。而石牛栏组、王家湾组及宁强组处于低纬度区的S型海洋循环条件之中,古陆风化剥蚀作用弱,碳酸盐岩及生物礁发育,海平面高, $\delta^{13}\text{C}$ 高而 $\delta^{18}\text{O}$ 低。桥沟组为介于P型及S型之间的中间类型。本区古海洋循环模式与碳氧同位素的演化特征与瑞典哥特兰地区志留纪古海洋P、S型模式及 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 的演化特征有可比性^[17]。

4 小结

通过四川盆地南北缘志留系的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 分析,结合区域大地构造演化及沉积相特征研究,对上扬子区古海洋环境有以下认识:

从Ruddanian 至Aeronian 中晚期,海平面较低,当时的全球性大海进还没有波及到上扬子板块内稳定古陆的周缘区,从Aeronian 晚期开始直至Sheinwoodian 期,上扬子区都处于海平面上升环境之中,但Sheinwoodian 期之后,由于上扬子区的构造升降成陆,该区发生

了迅速的海退,而此时全球仍处于海进时期,说明本区海平面变化受到全球海平面升降及区域构造作用的双重影响。在海平面上升期,生物礁发育。

在不同沉积环境中,地化指标不同,其组合特征可作为研究区的环境指标。

参 考 文 献

- 1 张廷山、陈晓慧、边立曾、俞剑华、兰光志、万云. 大地构造对上扬子区志留纪生物礁分布及发育的控制. 沉积学报, 1996, V. 14, N. 4, 84~93
- 2 陶发祥、洪业汤、冷雪天. 锶同位素对环境变化的指示意义. 地质地球化学, 1996(5), 45~49
- 3 Veizer J and Compston W. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Precambrian carbonates as an index of crustal evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1976, 40, 905-914
- 4 Chaudhuri S and Clauer N. Fluctuations of isotopic composition of strontium in seawater during the Phanerozoic Eon. *Chemical Geology*, 1986, 59(4), 293-303
- 5 田景春、曹允孚. 中国南方二叠纪古海洋锶同位素演化. 沉积学报, 1995, V. 13, N. 4, 125~130
- 6 张自超. 我国某些元古宙及早寒武世碳酸盐岩石的锶同位素组成. 地质论评, 1995, V. 41, N. 4, 349~354
- 7 Burke W H. Variation of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time. *Geology*, 1982, 10(10), 516-519
- 8 Popp B N. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in pre-Carboniferous seawater from analyses of well-preserved brachiopod shells. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1986, 50(7), 1321-1328
- 9 Koepnick R B. Construction of the Triassic and Jurassic portion of the Phanerozoic curve of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. *Chemical Geology (Isotope Geosciences Section)* 1990, 80, 327-349
- 10 戎嘉余、马克斯·约翰逊、赵元龙. 古喀斯特岩岸的地质意义——以黔中贵阳乌当志留纪岩岸为例. 地质论评, 1996, V. 42, N. 5, 448~458
- 11 Johnson M E, Rong Jiayu and Yang Xuechang. Intercontinental correlation by sea-level events in the Early Silurian of North American and China (Yangtze Platform). *Geological Society of America Bulletin*, 1985, 9, 1384-1397
- 12 Ronov A B. Probable changes in the composition of seawater during the course of geological time. *Sedimentology*, 1968, 10
- 13 Veizer J and Hoefs J. The nature of $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ secular trends in sedimentary carbonate rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1976, 40, 1387
- 14 陈锦石、陈文正. 碳同位素地质学概论. 北京: 地质出版社, 1982
- 15 沈渭洲等主编, 丁悌平、张宗清主审. 稳定同位素地质. 北京: 原子能出版社, 1987
- 16 Jeppson L. An oceanic model for lithological and faunal changes tested on the Silurian record. *J. Geol. Soc. Lond.*, 1990, 147, 663-674
- 17 Samtleben Chr, Munnecke A and Bicket T. The Silurian of Gotland (Sweden), facies interpretation based on stable isotopes in brachiopod shells. *Geol. Rundsch.* 1996, 85, 278-292

Strontium, carbon and oxygen isotopic compositions and their geological significance: the Silurian strata on the northern and southern margins of the Sichuan Basin

Zhang Tingshan Yu Jianhua Bian Lizeng

Department of Geosciences, Nanjing University

S. Kershaw

Department of Geosciences, Brunel University, UK

Chen Xiaohui Lan Guangzhi

Exploration Department, Southwest China College of Petroleum

Wan Yun

Chongqing School of Petroleum

ABSTRACT

The Sr, C and O isotopic compositions across the stratigraphic section have been obtained in the light of the systematic determinations of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values for the Upper Ordovician—Lower Silurian strata in the Guangyuan region of the northern margin and Qijiang region of the southern margin of the Sichuan Basin. On the basis of the isotopic data in combination with the sedimentary facies and tectonic data and the published information about the global Silurian regressive-transgressive events, the following conclusions can be drawn:

1. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values are commonly higher than the average values of $\delta^{87}\text{Sr}$ for sea water in the geologic records on the southern margin of the basin. This is because the study area was in a ramp setting governed by intraplate palaeocontinent, and the addition of a large amount of terrigenous strontium led to the increase in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values.

2. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values are positively fluctuated at the Upper Ordovician—Lower Silurian boundary and Rhuddanian—Aeronian boundary, indicating a temporary fall of sea level at that time. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values decreased gradually in the period from the Rhuddanian to Telychian.

3. The $\delta^{13}\text{C}$ values increased gradually on both the northern and southern margins from the Aeronian to early Sheinwoodian, while the things for $\delta^{18}\text{O}$ values are contrary.

4. The isotopic evolution shows that the Upper Yangtze area was influenced by the transgressive events from the Rhuddanian to early Sheinwoodian, when the sea level was rising in response to the global sea-level changes. However, the persistent world-wide transgressions following the Sheinwoodian didn't affect this area due to regional tectonism.

Key words: strontium isotope, carbon and oxygen isotope, environmental evolution, Silurian, northern and southern margins of the Sichuan Basin