

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

四川盆地东部海相下一中三叠统界线的 锶同位素年龄标定

黄思静¹⁾, 裴昌蓉¹⁾, 卿海若²⁾, 胡作维¹⁾, 吴素娟¹⁾, 孙治雷¹⁾

1) 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都, 610059

2) 里贾纳大学地质系, Regina SK Canada S4S 0A2

内容提要:中国西南地区海相下一中三叠统以火山碎屑岩为其直观界线,该年龄的标定可为区域地层年表和国际地层委员会全球标准年表研究提供重要的下一中三叠统界线年龄参考值。基于此,本文测试了四川盆地东部华蓥山下一中三叠统界线火山碎屑岩附近的石膏和硬石膏样品⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值,以及相应的Si、Ca、Mg、Mn、Sr以及SO₄²⁻的含量,根据锶同位素地层学的原理,尝试对下一中三叠统界线进行了年龄标定;同时评估了样品的成岩蚀变性、对海水信息的代表性以及年龄标定结果的可靠性。火山碎屑岩附近5个样品的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值变化在0.708243~0.708391之间,标定的年龄值在240.5~242.5 Ma的范围内,2个紧靠火山碎屑岩样品的年龄值在242Ma左右(分别为241.9Ma和242.5Ma),从而为华南地区以火山碎屑岩作为海相下一中三叠统界线的合理性提供了重要的化学地层学依据,也为全球下一中三叠统界线提供了一个新的年龄值。

关键词:下一中三叠统界线年龄值;海相蒸发岩;锶同位素地层学;海相地层定年;四川盆地东部

锶同位素地层学(Strontium Isotope Stratigraphy, 简称 SIS)(Howarth et al., 1997; Veizer et al., 1997; Azmy et al., 1999; McArthur et al., 2000, 2001; Price et al., 2002),由瑞典地质学家 Wickman(1948)提出,其基本含意是:由于锶在海水中的残留时间($\approx 10^6$ a)大大长于海水的混合时间($\approx 10^3$ a),因而任一时代全球范围内海水锶元素在同位素组成上是均一的,从而导致地质历史中海水的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值是时间的函数。随着人们对海相内源沉积物成岩蚀变理解的深入、仪器的分析与测量精度的提高、以及数据的逐渐积累,锶同位素地层学在80年代后期逐渐进入实用阶段,并逐渐成为海相地层年龄测定的有效工具之一,已有不少学者在这方面作了很多有益的工作:如杨杰东等(2001)利用锶(也包括碳)同位素对苏皖北部上寒武系的时代作了界定;潘家华等(2002)根据太平洋海山磷酸盐的锶同位素组成确定了其形成年代;黄思静等(2002)利用锶同位素确定了四川龙门山泥盆系剖面 Frasnian—Famennian 阶和泥盆系—石炭系的界线;黄思静等(2004, 2005),Huang 等(2005)利用锶同位素标定了西藏南部岗巴剖面 Campanian—

Santonian 阶和 Maastrichtian—Campanian 阶界线,同时也对该剖面中厚壳蛤化石的锶同位素年龄进行了标定。利用海相内源沉积物的锶同位素组成确定沉积岩的年龄涉及到:① 锶同位素的分析精度,② 对成岩蚀变的认识,③ 数据的积累程度。目前,国际上已建立了供年龄标定使用的全球锶同位素一年龄数据库(Howarth et al., 1997; McArthur et al., 2001),并已有大量成功进行年龄标定的实例(McArthur et al., 1994; Dingle et al., 1997; Denison et al., 1998; Walter et al., 2000; Melezhik et al., 2001; Gleason et al., 2002; Ray et al., 2003)。

传统上,我国西南地区海相下一中三叠统以夹于碳酸盐岩(或蒸发岩)之间的火山碎屑岩(俗称绿豆岩)为界(关建哲等,1990),四川和重庆地区已普遍蚀变成水云母粘土岩。由于火山喷发作用的等时性,该界线已成为华南海相下一中三叠统对比的重要直观标志。有关该界线的古生物地层学的合理性尚有不同意见:姚建新等(2004)对贵州望谟甘河桥剖面所进行的研究,识别出了连续的牙形石带,表明该火山碎屑岩之下0.5 m处为牙形石 *Chiosella*

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40472068)和教育部博士点基金资助项目(编号 20050616005)的成果。

收稿日期:2006-01-25; 改回日期:2006-07-17; 责任编辑:章雨旭。

作者简介:黄思静,男,1949年生。教授,博士生导师,沉积地质学专业。Email: hsj@cdut.edu.cn。

timorensis 的首现层位, 如果将 *Chiosella timorensis* 带作为安尼阶的第一个牙形石带(Nicora, 1977), 则该火山碎屑岩已十分接近下一中三叠统界线的位置, 从而为该火山碎屑岩作为下一中三叠统界线的合理性提供了重要的古生物学依据。近年来, 对该火山碎屑岩的放射性年龄研究也有了重要进展, 王彦斌等(2004)利用高精度高灵敏度的二次离子探针质谱(SHRIMP)对作为贵州望漠甘河桥剖面下一中三叠统界线的火山碎屑岩中的锆石进行了 U-Pb 年代学分析, 结果为 $239.0 \pm 2.9\text{Ma}$ (2σ), 从而又将我国华南地区海相三叠纪的年代地层学研究向前推进了一步, 并逐步与国际相应研究接轨。

然而, 在四川和重庆地区, 由于早三叠世晚期和中三叠世早期是高度咸化的局限海环境, 该火山碎屑岩夹于石膏等蒸发岩地层中(地表则因大气水的溶解作用而成为盐溶角砾岩), 人们很难在这些蒸发岩中找到可供对比的化石带, 也没有对火山碎屑岩中的有关矿物进行相应的放射性年代测定。川、渝地区火山碎屑岩是否与华南其他地区火山碎屑岩同时喷发沉积, 火山碎屑岩(及上下的相邻蒸发岩)的年龄是多少, 该年龄值是否和全球下一中三叠统界线(即安尼阶的底界)一致, 这显然也是三叠纪年代地层学的一个重大问题之一, 同时也是建立和完善三叠系地层年表的重要工作之一。

笔者等在四川东部华蓥山地区采集了作为火山碎屑岩蚀变产物的水云母粘土岩上、下的蒸发岩样品, 在对这些样品进行化学成分、矿物成分分析和对海水代表性评估的基础上, 分析了样品的铷同位素

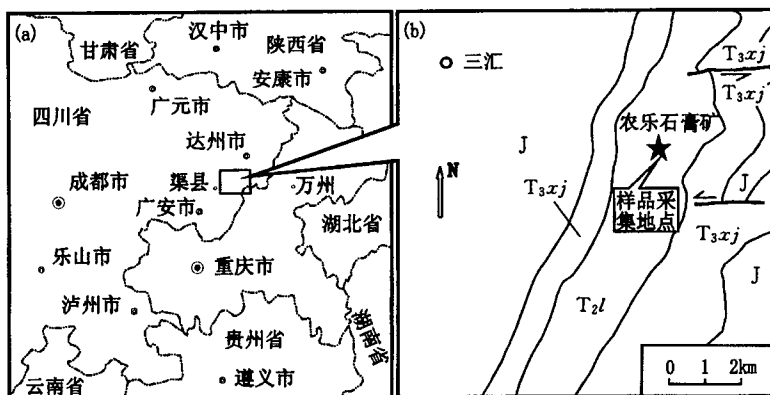


图 1 样品采集地点的地理位置图(a)和地质略图(b)

Fig. 1 Sketch geographic map (a) and geologic map (b) of sampling area

J—侏罗系; T_{3xj}—上三叠统须家河组; T_{2l}—中三叠统雷口坡组

J—Jurassic; T_{3xj}—Xujiahe Formation of Upper Triassic; T_{2l}—Leikoupo Formation of Middle Triassic

比值, 根据铷同位素地层学的基本原理和国际上已有铷同位素一年龄数据库, 标定了水云母粘土岩上、下地层的年龄, 为中国华南地区海相下一中三叠统界线提供了一个新的年龄值, 也为海相内源沉积物样品年龄的标定提供了一个新的研究途径。

1 样品与实验方法

样品采自位于四川盆地东部的渠县农乐石膏矿(图 1a)的井下坑道中, 该石膏矿位于华蓥山背斜中段西翼, 地表出露的最老地层为中三叠统雷口坡组(图 1b), 井下已掘进至下三叠统嘉陵江组, 主要开采嘉陵江组第四、第五段和雷口坡组第一段的石膏或硬石膏矿, 因而很容易找到作为下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组界线的水云母粘土岩(图 2)。所采集的 5 个样品中有两个直接靠近水云母粘

表 1 样品的采样位置、化学组成、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值和对应的年龄值

Table 1 Sampling location, chemical composition, Mn/Sr and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios and corresponding ages for the samples

样号	采样位置 ^①	化学组成							铷同位素组成		年龄(Ma) ^②	
		SiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Mn ($\times 10^{-6}$)	Sr ($\times 10^{-6}$)	SO ₄ ²⁻ (%)	Mn/Sr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2σ ($\times 10^{-6}$)	中心 值	边界 值
A	上 2m	1.16	31.11	1.33	604	221	51.31	2.733	0.708269	12	240.9	240.5
B	上 0.5m	1.37	36.81	0.40	27	182	51.24	0.148	0.708312	11	241.2	240.8
C	上 0m	33.29	7.41	0.35	12	4723	13.64	0.003	0.708391	9		241.9
D	下 0m	7.25	16.98	9.19	232	3561	27.86	0.065	0.708371	12		242.2
E	下 0.3m	1.15	30.43	3.31	89	296	49.61	0.301	0.708243	12	242.1	242.5

注: ① 样品采集处水云母粘土岩的厚度为 0.5 m; “上”指水云母粘土岩之上; “下”指水云母粘土岩之下, 如“上 2m”指水云母粘土岩之上 2m; “下 0.3m”指水云母粘土岩之下 0.3m(参见图 2)。② 年龄值的获取方法见正文的有关讨论。

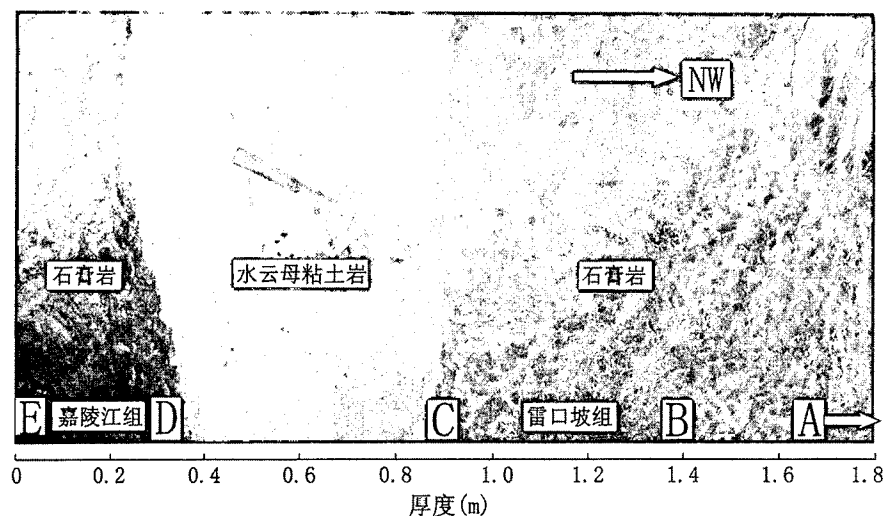


图 2 采样位置图

Fig. 2 Showing the sampling location

A、B、C、D、E 为样品号及所在位置,样品 E 的采集点为厚度始算点,即 0m,由 D、C 限定的区域为水云母粘土岩,其余为石膏岩或硬石膏岩,样品 A 的采集点已在图外(距 C 点 2m)

A, B, C, D and E are sampling locations, and E is the sampling start (0 m for the accumulation thickness), illite clay stone is between D and C, sample A is out of the figure

土岩的底板和顶板,其余 3 个样品逐渐远离水云母粘土岩(图 2,表 1)。在对采集的 5 个样品进行薄片鉴定的基础上,借助双目镜对用于锶同位素分析的样品进行了细致的分拣,尽可能回避了后期的方解石脉,样品经挑选后粉碎至 200 目,缩分成四份,一份留作备用,另外三份分别用于化学成分(Si、Ca、Mg、Mn、Sr 和 SO_4^{2-})分析、X 射线衍射分析和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值测试。

锶同位素分析由中国科学院地质与地球物理研究所完成,具体分析如下:取 70mg 左右粉碎至 200 目的样品,用 2.5mol/L 的 HCl 于 Teflon 杯中溶样,离心后的清液通过 AG50W×12 阳离子交换柱分离;Sr 同位素在 MAT262 同位素质谱计上测定,同位素分馏用 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.1194$ 校正,实验室对 Sr 标样 NBS987 分析结果为 $0.710226 \pm 12 (n=8)$;全流程空白本底约为 $2 \times 10^{-10} \sim 5 \times 10^{-10} \text{g}$,误差以 $2\sigma(\pm)$ 表示。

SiO_2 、CaO、MgO、 SO_4^{2-} 和 Mn、Sr 含量分析由四川省地质矿产局华阳地矿检测中心完成。 SiO_2 、CaO、MgO 和 SO_4^{2-} 含量由常规化学分析方法测试,检测限 1%;Mn、Sr 含量由原子吸收光度法测试,检测限分别为 5×10^{-6} 和 42×10^{-6} 。

5 个样品的 X 射线衍射分析曲线如图 3 所示,显示样品 A、B 基本上全由石膏组成;样品 E 存在一

定数量的硬石膏(0.35nm 左右反射的存在);样品 C 和样品 D 含有石英(0.33nm 左右反射的存在),与这两个样品化学成分中有较高的 SiO_2 含量是一致的(表 1),这两个样品也正好是紧靠水云母粘土岩的样品,显然是该火山碎屑岩中的石英混入了样品中。5 个样品都含有少量白云石(0.288nm 左右反射的存在),以样品 D 的白云石含量较高,化学分析中该样品也具有最高的 MgO 含量(表 1)。由于溶样采用的是用 2.5mol/L 的 HCl,石英在这样的条件下是稳定的,我们可以认为所分析的 Sr 主要来源于石膏(或硬石膏),少量来源于白云石,由于这些白云石均为泥晶级,它们应是在海水中沉淀的或在是准同生

阶段由交代作用形成的(刘宝珺,1980),其化学组成对海水的代表性仍然是可信的(黄思静等,2003)。

2 样品的锶同位素年龄标定

在三叠纪全球海水的锶同位素组成一年龄曲线

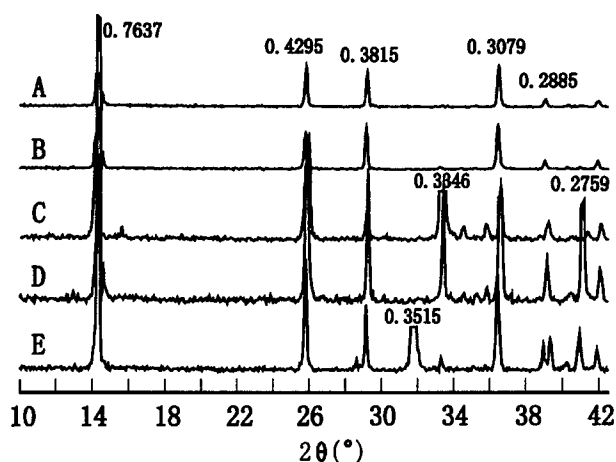


图 3 样品的 X 射线衍射曲线(A、B、C、D 为与表 1 对应的样品号,图中的数值为面网间距值,单位 nm,曲线的强度没有显示到最大值)

Fig. 3 XRD profiles for the samples (A, B, C and D are the numbers of samples, corresponding to table 1, numerical value are the d values (in nm), however, the the maximum intensity for the curves is not shown)

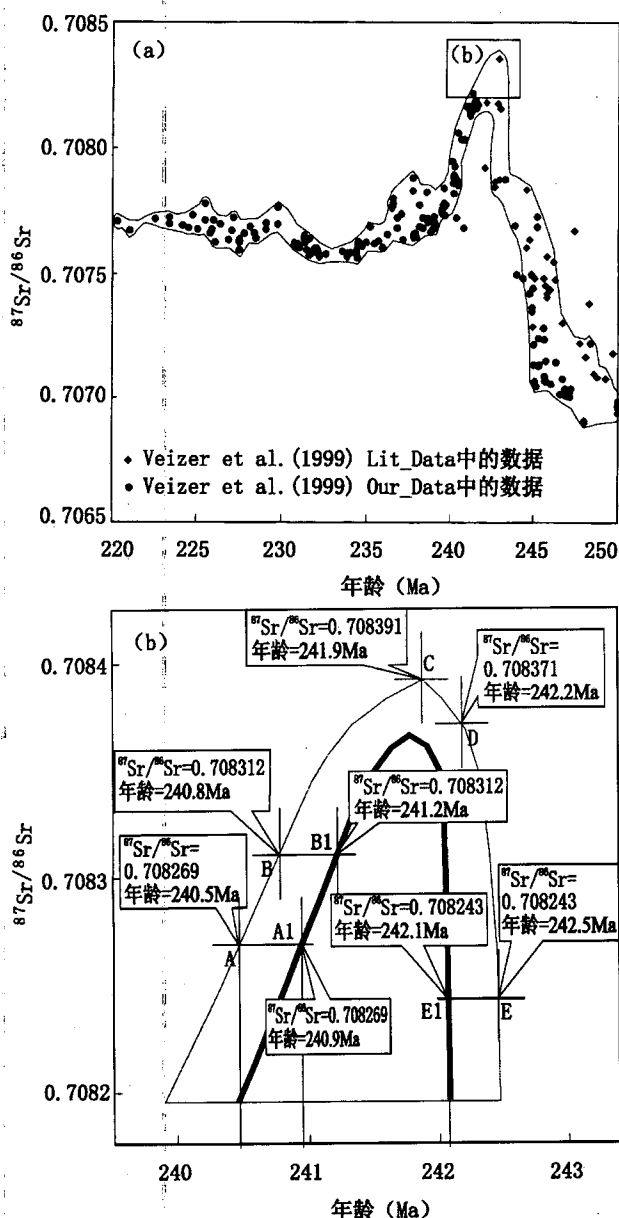


图4 220~250Ma 期间海水的锶同位素组成一年龄投点图

Fig. 4 Seawater Sr-isotope curve during the period of 220~250Ma

资料来源于 Veizer 等(1999)通过互联网提供的锶同位素数据一年龄数据库,显示数据变化范围的阴影区是本文加的,图 b 是图 a 中本研究样品分布范围区域的放大,图 b 中 A(含投在中心线上的 A1)、B(含投在中心线上的 B1)、C、D、E(含投在中心线上的 E1)为与本文其他图表对应的样品编号

Data are from Veizer et al. (1999), the shadow in the Fig. 4a is added by the authors, Fig. 4b is the magnification of the sample's distribution range in the Fig. 4a, sample A (including A1)、B (including B1)、C、D、E (including E1) are corresponding to other figures or tables in the paper

中,早、中三叠世之交的时间段附近正好处于全球海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值由上升到下降的转折阶段,海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值在界线附近达到最大值(图 4a)(Veizer et al., 1999),因而下一中三叠统界线附近内源沉积物样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值基本上没有年龄多解性,我们可以方便地利用已有的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值一年龄数据库来标定下一中三叠统界线附近样品的年龄。

5 个样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值变化在 0.708243~0.708391 之间,紧靠下一中三叠统界线(水云母粘土岩)的两个样品具有最高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(图 5),远离界线(无论向中三叠统雷口坡组还是向下三叠统嘉陵江组)样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值呈现降低趋势,但向雷口坡组方向降低的幅度显著小于向嘉陵江组方向的降低幅度(图 4),这些都表明样品采集点下一中三叠统界线附近石膏、硬石膏 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 组成的变化趋势与 Veizer 等(1999)利用全球锶同位素数据库建立的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值一年龄曲线的下一中三叠统界线附近锶同位素随时间的变化趋势是一致的(图 4a)。

将 5 个样品投在 Veizer 等(1999)提供的全球 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值一年龄曲线上(图 4),按边界年龄值(即样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与已有样品($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值一年龄数据库中的样品)分布范围边界交点处的年龄值),则 5 个样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值所分布范围对应的年龄值变化在 240.5~242.5 Ma 的范围内,其中 240.5 Ma 的样品的采样位置已距作为下一中三叠统界线的水云母粘土岩顶界 2m(表 1,图 2),如果不考虑这个样品,则其余 4 个样品(在距水云母粘土岩底界和顶界 0.3~0.5 m 的范围内)年龄的分布范围变化在 240.8~242.5 Ma 的范围内;如果按中心

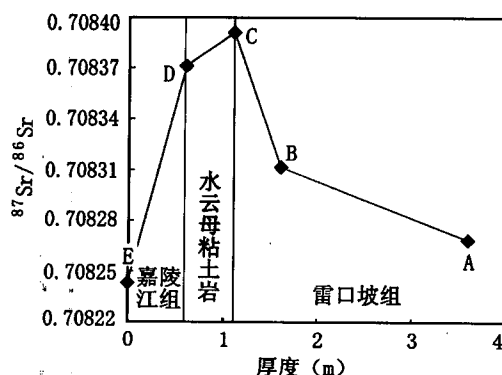


图5 样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值和厚度投点图,厚度的意义与图 2 相同

Fig. 5 Plot of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio and sampling thickness, the meaning of thickness is the same to Fig. 2

线年龄值(即样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与已有样品 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值—年龄数据库中的样品)分布中心线交点处的年龄值),则 5 个样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值所分布范围对应的年龄值变化在 240.9~242.1 Ma 的范围内,距水云母粘土岩底界和顶界 0.3~0.5 m 范围内 4 个样品对应的年龄值变化在 241.2~242.1 Ma 之间;两个紧靠水云母粘土岩顶板和底板样品的年龄值在 241.9~242.2 Ma 的范围内。因此,我们可以认为:四川盆地东部华蓥山中、下三叠统界线处火山碎屑岩的锶同位素年龄被限定在 242 Ma 左右。可以看出,所采用的投点方式对所获得年龄值的影响是很小的,造成的误差对地质年龄的精度没有实质性的影响。

3 年龄测定可靠性的评估

海相碳酸盐样品锶同位素年龄测定的可靠性主要取决于所利用的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值—年龄数据库的可靠性以及样品锶同位素组成对海水的代表性两个因素,我们对此作如下评述。

3.1 所利用的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值—年龄数据库的可靠性

我们所利用的数据库是 Veizer 等(1999)通过互联网提供的锶同位素数据—年龄数据库,就已公布的全球海相地层锶同位素数据库而言,这仍然是三叠系数据量最大的数据库,值得注意的是,该数据库采用的是 Harland 等(1990)的地质年代表,在该年代表中,下一中三叠统界线的年龄值为 241.1Ma,而国际地层学委员会 2004 年公布的国际地层表(Gradstein et al., 2004)的下一中三叠统界线的年龄值为 245.0Ma($\pm 1.5\text{Ma}$),由于目前还没

有与该地层表年龄值一致的锶同位素数据—年龄数据库,因而两者之间显然存在年龄换算问题。

3.2 样品的锶同位素组成对海水的代表性

样品的成岩蚀变性是影响其锶同位素组成对海水代表性以及相应年龄标定可靠性的另一重要因素,前人已有大量研究讨论海相碳酸盐的成岩蚀变问题(黄思静,1990,1992;黄思静等,2003),但对海相硫酸盐(主要是石膏和硬石膏)的成岩蚀变性讨论很少,也找不到相应的判断海相硫酸盐成岩蚀变的标准。我们可以认为:海水和成岩孔隙水(包括影响成岩作用的大气水)Mn、Sr 含量的差别以及沉积过程中矿物沉淀速度与成岩过程矿物重结晶速度(或新生矿物沉淀速度)的差别(主要影响 Mn、Sr 在矿物中的分配系数(黄思静,1990)对碳酸盐的影响和对硫酸盐的影响是类似的,因而 Mn、Sr 含量和 Mn/Sr 比值仍然可以作为评价硫酸盐成岩蚀变的指标。

Kaufman 等(1992, 1993)曾建议:海相碳酸盐锶同位素地层学研究样品的 Mn/Sr 比值小于 2~3 时,其对海水的代表性基本上能满足锶同位素地层学的要求。本研究的 5 个样品的 Mn/Sr 比值的最大值为 2.733,除样品 A(Mn/Sr = 2.733)以外,其余 4 个样品的 Mn/Sr 比值都在 0.4 以下,平均值为 0.65,按 Kaufman 等(1992, 1993)的建议,本研究的样品对海水的代表性基本上能满足锶同位素地层学的要求;然而, Korte 等(2003)在研究欧洲阿尔卑斯地区三叠系海相碳酸盐锶同位素组成时,将 Mn 含量小于 250×10^{-6} 的样品视为锶同位素地层学研究的好样品,按此标准,样品 A(Mn 含量为 604×10^{-6})不是锶同位素地层学研究的好样品。因此,除位于下一中叠统界线之上 2m 处的样品 A 以外,本研

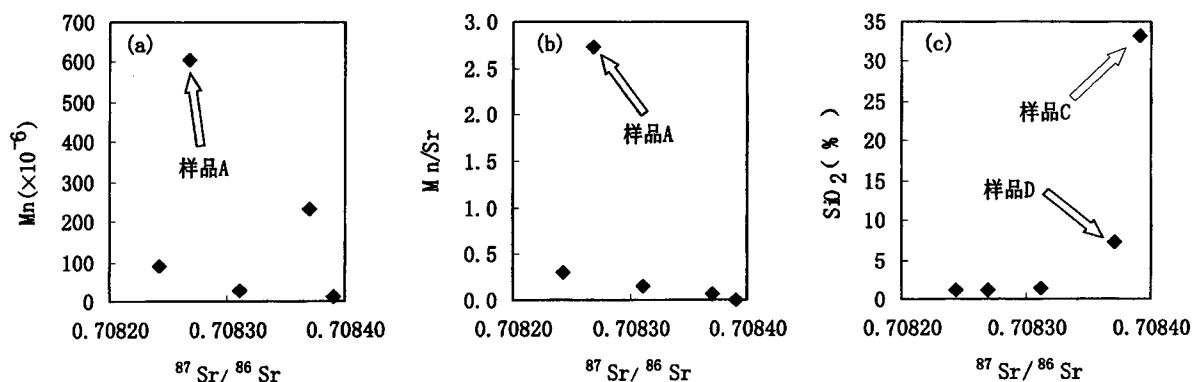


图 6 样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与 Mn 含量投点图(a)、与 Mn/Sr 比值投点图(b)以及与 SiO_2 含量投点图(c)

Fig. 3 Plots of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio vs. Mn concentration (a), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio vs. Mn/Sr ratio(b) and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio vs. SiO_2 concentration (c)

研究的其余 4 个样品的锶同位素组成可用于锶同位素地层学研究。另外,样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与 Mn 含量和 Mn/Sr 比值的投点图并没有表现出其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值随 Mn 含量或 Mn/Sr 比值的增加而增加的趋势(图 6a、b),个别(样品 A)Mn 含量或 Mn/Sr 比值较高的样品也并不具有显著较高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(由于成岩蚀变引入的基本上均为壳源锶),说明其对海水仍具代表性。

值得注意的是,样品的 SiO_2 含量与其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值之间在一定程度上显示出正相关关系,两个在 X 射线衍射曲线(图 3)上有石英存在的样品(样品 C 和 D,其化学组成中的 SiO_2 含量也很高(表 1)都具有较高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,尤其是 SiO_2 含量最高的(33.29%)的样品 C,其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值达到 0.708391(图 6d),造成这两个样品高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值可能有如下两个原因:

(1)从这两个样品所处的年代位置来说,它们最靠近作为下一中三叠统界线的水云母粘土岩,它们也应具有最高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,因而年代效应是这两个样品具有很高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的主要原因。

(2)样品中部分石英溶解提供的壳源锶(源自石英中 Rb 的衰变)可能是这两个样品具有很高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的另一原因,实验过程采用的是 2.5mol/L 的 HCl,虽然酸性条件下石英是稳定的(这不同于长石等铝硅酸盐矿物和一些粘土矿物),但我们不能断言实验过程中石英完全没有溶解。

(3)石英含量最高的样品 C 和样品 D 都具有非常高的 Sr 含量(4723×10^{-6} 和 3561×10^{-6}),高的 Sr 含量表明了样品在锶同位素组成上对海水的代表性(黄思静,1990;Kaufman et al., 1992, 1993; K-orte et al., 2003),假定这些样品的石英中含有 100×10^{-6} 的 Rb(Rb 更多的应存在于长石类铝硅酸盐矿物中),这两个样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值可分别校正到 0.708323 和 0.708351(取时间为 241Ma),从图 4 可以看出,这对样品的年龄标定没有实质性的影响,因而样品 C 和样品 D 的年龄值仍然是基本可信的。

4 结论

(1)中国西南下一中三叠统以火山碎屑岩为界,火山碎屑岩在四川盆地东部已蚀变为水云母粘土岩,其上下的石膏、硬石膏的 Mn、Sr 含量、Mn/Sr 比值以及其他化学成分和矿物成分分析表明锶的同位素组成对海水具有较好的代表性,并可作为锶同位素地层学研究样品。

(2)根据锶同位素地层学原理,通过火山碎屑岩附近 0~2m 范围内石膏、硬石膏的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值测定,尝试对下一中三叠统界线进行了年龄标定,5 个样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值变化在 0.708243~0.708391 之间,标定的年龄值在 240.5~242.5 Ma 的范围内,2 个紧靠火山碎屑岩样品的年龄值在 242Ma 左右(分别为 241.9Ma 和 242.5Ma),该年龄值基本上代表了早、中三叠世之交火山喷发的年龄,并与前人从贵州相应火山碎屑岩中锆石二次离子探针质谱仪分析获得的 ^{206}Pb — ^{238}U 年龄值($239.0 \pm 2.9\text{Ma}$)接近,从而为华南地区以火山碎屑岩作为海相下一中三叠统界线的合理性提供了重要的化学地层学依据,也为全球下一中三叠统界线提供了一个新的年龄值。

(3)在影响海相地层锶同位素年龄测定的因素中,除 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值—年龄数据库本身的可靠性和样品的分析测试精度外,样品的成岩蚀变性仍然是影响年龄测定可靠性的主要原因,但锶同位素地层学在海相地层年龄测定中有着较高的潜在价值,随着仪器的改善、数据的积累以及人们对海相内源沉积物成岩蚀变的更深刻理解,相信锶同位素地层学会有着更为广泛的应用前景。

参 考 文 献

- 关建哲,戴克琳,杜其良. 1990. 峨眉山绿豆岩的应用及其成因探索. 成都地质学院学报, 17(2): 37~43.
- Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G. 2001. 国际地层表. 金玉环, 王向东, 王玥, 译. 地层学杂志, 29(2): 97~98.
- 黄思静. 1990. 海相碳酸盐矿物的阴极发光性与其成岩蚀变的关系. 岩相古地理, 10(4): 9~15.
- 黄思静. 1992. 碳酸盐矿物的阴极发光性与其 Fe、Mn 含量的关系. 矿物岩石, 12(4): 74~79.
- 黄思静, 石和, 张萌, 武文慧, 沈立成. 2002. 龙门山泥盆纪锶同位素演化曲线的全球对比及海相地层的定年. 自然科学进展, 12(9): 945~951.
- 黄思静, 石和, 毛晓冬, 张萌, 沈立成, 武文慧. 2003. 早古生代海相碳酸盐的成岩蚀变性及其对海水信息的保存性. 成都理工大学学报(自然科学版), 30(1): 9~18.
- 黄思静, 石和, 沈立成, 张萌, 武文慧. 2004. 西藏晚白垩世锶同位素曲线的全球对比及海相地层的定年. 中国科学(D 辑), 34(4): 335~344.
- 黄思静, 石和, 张萌, 武文慧, 沈立成, 黄成刚. 2005. 西藏南部晚白垩世厚壳蛤的锶同位素年龄标定. 地球科学——中国地质大学学报, 30(4): 437~442.
- 刘宝珺. 1980. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 219~221.
- 潘家华, 刘淑琴, 杨忆, 刘学清. 2002. 太平洋海山磷酸盐的锶同位素成分及形成年代. 矿床地质, 21(4): 350~355.
- 王彦斌, 刘敦一, 姚建新, 纪占胜, 王立亭, 武桂春. 2004. 黔西南下一中三叠统界线年龄. 地质学报, 78(5): 587~590.
- 杨杰东, 郑文武, 王宗哲, 陶仙聪. 2001. Sr、C 同位素对苏皖北部上

- 前寒武系时代的界定. 地层学杂志, 25(1):44~47.
- 姚建新, 纪占胜, 王立亭, 王彦斌, 武桂春. 2004. 贵州南部地区中三叠统青岩阶底界附近牙形石生物地层学研究. 地质学报, 78(5): 578~585.
- Azmy K, Veizer J, Wenzel B, Bassett M G, Copper P. 1999. Silurian strontium isotope stratigraphy. *GSA Bull.*, 111(4): 475~483.
- Denison R E, Kirkland D W, Evans R. 1998. Using strontium isotopes to determine the age and origin of gypsum and anhydrite beds. *J. Geol.*, 106:1~17.
- Dingle R V, McArthur J M, Vroon P. 1997. Oligocene and Pliocene interglacial events in the Antarctic Peninsula dated using strontium isotope stratigraphy. *J. Geol. Soc. Lond.*, 154:257~264.
- Gleason J D, Moore T C, Rea D K, Johnson T M, Owen R M, Blum J D, Hovan S A, Jones C E. 2002. Ichthyolith strontium isotope stratigraphy of a Neogene red clay sequence: calibrating eolian dust accumulation rates in the central North Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, 202: 625~636.
- Harland W B, Armstrong R L, Cox A V, Craig L E, Smith A G, Smith D G. 1990. A Geologic Time Scale 1989. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 124~125.
- Howarth R J, McArthur J M. 1997. Statistics for strontium isotope stratigraphy: a robust LOWESS fit to marine Sr-isotope curve for 0 to 206 Ma, with look-up table for derivation of numeric age (look-up table version 8/96). *J. Geol.*, 105: 441~456.
- Huang Sijing, Shi He, Shen Licheng, Zhang Meng, Wu Wenhui. 2005. Global correlation for strontium isotope curve in the Late Cretaceous of Tibet and dating marine sediments. *Science in China (Series D)*, 48(2): 199~209 (in English).
- Kaufman A J, Knoll A H, Awramik S M. 1992. Biostratigraphic and chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic sedimentary successions: Upper Tindir Group, northwestern Canada, as a test case. *Geology*, 20: 181~185.
- Kaufman A J, Jacobsen S B, Knoll A H. 1993. The Vendian record of Sr- and C-isotopic variations in seawater: implications for tectonics and paleoclimate. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 120: 409~430.
- Korte C, Kozur H W, Bruckschen P, Veizer J. 2003. Strontium isotope evolution of Late Permian and Triassic seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(1): 47~62.
- McArthur J M, Kennedy W J, Chen M, Thirlwall M F, Gale A S. 1994. Strontium isotope stratigraphy for the Late Cretaceous: direct numerical age calibration of the Sr-isotope curve for the U. S. Western interior Seaway. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 108:95~119.
- McArthur J M, Morton M, Thirlwall M F. 2000. Strontium isotope stratigraphy of the Aalenian/Bajocian auxiliary stratotype point at Bearreraig, Isle of Skye, NW Scotland. *GeoRes. Forum.*, 6:137~144.
- McArthur J M, Howarth R J, Bailey T R. 2001. Strontium Isotope Stratigraphy: LOWESS Version 3: Best Fit to the Marine Sr-Isotope Curve for 0~509 Ma and Accompanying Look-up Table for Deriving Numerical Age. *J. Geol.*, 109:155~170.
- Melezhik V A, Gorokhov I M, Fallick A E, Gjelle S. 2001. Strontium and carbon isotope geochemistry applied to dating of carbonate sedimentation; an example from high-grade rocks of the Norwegian Caledonides. *Precambrian Research*, 108:267~292.
- Nicora A. 1977. Lower Anisian platform—conodonts from the Tethys and Nevada: Taxonomic and stratigraphic revision. *Palaeontographica*, A157: 88~107, Stuttgart.
- Price G D, Gröcke D R. 2002. Strontium-isotope stratigraphy and oxygen- and carbon-isotope variation during the Middle Jurassic—Early Cretaceous of the Falkland Plateau, South Atlantic. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 183: 209~222.
- Ray J S, Veizer J, Davis W J. 2003. C, O, Sr and Pb isotope systematics of carbonate sequences of the Vindhyan Supergroup, India: age, diagenesis, correlations and implications for global events. *Precambrian Research*, 121:103~140.
- Veizer J, Jasper T, Korte C, Schaaf M, Ala D, Azmy K, Buhl D, Diener A, Ebner S, Podlaha O G, Bruckschen P. 1997. Strontium isotope stratigraphy: potential resolution and event correlation. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 132:65~77.
- Veizer J, Ala D, Azmy K, Bruckschen P, Buhl D, Bruhn F, Carden G A F, Diener A, Ebner S, Godderis Y, Jasper T, Korte C, Pawellek F, Podlaha O G., Strauss H. 1999. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater. *Chem. Geol.*, 161: 59~88.
- Walter M R, Veevers J J, Calver C R, Gorjan P, Hill A C. 2000. Dating the 840~544 Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon, and sulfur in seawater, and some interpretative models. *Precambrian Research*, 100:371~433.
- Wickman F E. 1948. Isotope ratios: a clue to the age of certain marine sediments. *J. Geol.*, 56: 61~66.

Age Calibration for the Boundary between Lower and Middle Triassic by Strontium Isotope Stratigraphy in Eastern Sichuan

HUANG Sijing¹⁾, PEI Changrong¹⁾, QING Hairuo²⁾, HU Zuowei¹⁾, WU Sujuan¹⁾, SUN Zhilei¹⁾

1) *State Key Laboratory of Oil/Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology,
Chengdu, 610059, China*

2) *Department of Geology, University of Regina, Regina SK Canada S4S 0A2*

Abstract

In Southern China, Geologists normally take the volcanic ash bed (with the thickness from 10 to 50 cm) as the boundary for marine Lower and Middle Triassic (i. e. the boundary between Anisian and Olenekian). The volcanic ash is just interbedded in evaporates (gypsum and anhydrite) of the Jialingjiang Formation (below the volcanic ash) and the Leikoupo Formation (above the volcanic ash), and has been alternated to illite clay stone now in Sichuan Province and Chongqing Municipality. In order to determine the age of the volcanic ash bed (also for the boundary between the Jialingjiang Formation and the Leikoupo Formation), we measured the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of marine sulfate samples near the boundary collected from Eastern Sichuan. The XRD analysis results, Sr, Mn, Ca, Mg, Si and SO_4^{2-} concentrations indicate that the sulfate generally contains information on the original seawater strontium isotope composition. According to the principle of strontium isotope stratigraphy, we attempt to calibrate the ages of the boundary between the Jialingjiang Formation and the Leikoupo Formation. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of the samples with the thickness range 50cm above and 30 cm below the volcanic ash are from 0.708243 to 0.708312, and the ages calibrated are from 240.8Ma to 242.5 Ma. The erupting time of the volcano is about 242.5Ma by SIS age of top and foot samples. The results of age calibration shows that the volcanic ash as the boundary between Lower and Middle Triassic is reasonable. A new age for the boundary between Lower and Middle Triassic has been provided in this paper.

Key words: New age for the boundary between Lower and Middle Triassic; marine evaporate; strontium isotope stratigraphy; dating marine sediments; Eastern Sichuan of China