

锶同位素在沉积环境分析方面的应用

史忠生, 陈开远, 何胡军, 史 军, 刘保军, 刘 刚

(中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 利用锶同位素地球化学行为、地球化学特征及这些特征在沉积环境方面的指示意义, 分析了东濮凹陷下第三系盐湖沉积的锶同位素特征。结果表明, 东濮盐湖下第三系 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值普遍偏高, 且大于海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值, 因此推断东濮盐湖属于一个内陆盐湖, 其湖水锶同位素的主要控制因素为高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.720 ± 0.005) 的壳源硅铝质岩石。锶同位素曲线变化反映了气候的变化, 运用这一特征对东濮凹陷下第三系的古气候进行了分析, 初步认为该区在沙河街组四段上亚段到沙河街组三段上亚段沉积时期为半干旱半湿润的气候, 而从沙河街组三段上亚段到沙河街组一段沉积时期气候变得更加干旱。

关键词: 锶同位素; 盐湖; 沉积环境; 东濮盐湖

第一作者简介: 史忠生, 男, 25 岁, 硕士研究生, 层序地层学

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

1 锶同位素特征

1.1 地球化学

锶的 4 个稳定同位素(^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr 和 ^{88}Sr) 中只有 ^{87}Sr 是放射源的, 它是由铷 ^{87}Rb 经过 β 衰变而来。锶常以分散状态赋存于含钙、钾的矿物中。壳源的硅铝质岩石具较高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值(平均为 0.720 ± 0.005), 但锶浓度较低; 幔源的镁铁质岩石具低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值(平均为 0.704 ± 0.002); 海洋碳酸盐和硫酸盐也具有低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值(平均 0.708 ± 0.001), 但浓度高。尽管一些地质作用(如蒸发作用)可以改变锶同位素的浓度, 但在同一地质时期同一水域组分 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值几乎不变^[1]。锶同位素的这些特征构成了分析环境变化的基础。

1.2 化学行为

锶元素常常以下列方式进入矿物体系中^[2]: (1) 作为杂质进入矿物中; (2) 占用晶格缺穴; (3) 吸附在晶体表面; (4) 与矿物中的主要元素发生固相类质同象替换。理论和实验研究都表明碳酸盐中 Sr 主要是替换结构中的 Ca^{2+} 而存在的, 这是由于 Sr^{2+} 和 Ca^{2+} 具有相似的离子半径和电价。X 射线吸收光谱测定显示方解石中的 Sr 主要以替换 Ca 的形式存在于晶格中; 离子交换研究表明珊瑚中霞石只有少于 1% 的 Sr 是可交换的, 位于非晶

格中; 吸附实验表明溶液中 ($\text{pH} < 8.5$) 只有小于 3% 的 Sr 被吸附在方解石表面。这些吸附性、可交换的锶在研究土壤和淡水方面具有重要的意义。另外, 矿物晶体结构的差异对 Sr 的含量也有较大的影响, 如在一定溶液中沉淀的霞石和方解石具有明显不同的锶含量^[3]。

1.3 锶同位素组成

1.3.1 海相

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。从寒武纪到现在, 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 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 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, 其内虽有涨落, 但总的演化趋势是上升的。

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

过水循环带到海洋中,壳源锶的大幅度增加,造成海洋锶同位素组成的升高;

(4) 碳酸盐的重溶,也是海洋锶的重要来源之一,它们的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值介于幔源和壳源之间,在一定程度上影响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记录。

1.3.2 湖相

与海相碳酸盐的锶同位素组成相似,不同地质时期的湖相碳酸盐锶同位素组成也是变化的,然而在时限很短的时间内这种变化又呈现出一种相对稳定。与海相碳酸盐不同的是湖相碳酸盐锶同位素的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 要偏大些,这主要是由于湖盆比海盆更易受高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的硅铝质岩石的影响。对于湖盆中碳酸盐锶同位素的组成,它的制约因素与海相碳酸盐锶同位素组成的制约因素类似,但还是有些不同:

(1) 湖盆更易受高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的硅铝质岩石的影响,所以碳酸盐中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值要比海相的偏大;

(2) 与海相相似,湖盆也可以受火山活动的影响,幔源物质进入湖盆时会使盆地中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的值降低;

(3) 不同时期海相碳酸盐的重溶也会影响陆相湖盆中锶同位素的组成。由于海相碳酸盐的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值一般要比陆相的低,所以这种作用会使湖盆中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值降低。

1.4 对气候变化的指示意义

Dia^[4], Clemens 等^[5]研究发现,近 0.45 Ma 以来,时间尺度为 10^{-2} Ma,海洋锶同位素曲线显示出高频变化的特征,并且这种变化与海洋氧同位素变化是同步的。进一步与 Vostok 冰芯中的 CO_2 记录相对应,发现海水 $\delta^{87}\text{Sr}$ 、冰芯 CO_2 浓度、冰芯 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 三者间几乎是同时变化的,都具有 2×10^{-2} Ma 和 10^{-1} Ma 左右的米兰柯维奇旋回。从而证明,海洋锶同位素曲线与气候变化相一致,即冰期时,海平面最低、冰盖层最大、海洋 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 最小。韦刚健等(1996)所研究的南海浮游有孔虫的海水 Sr 同位素变化趋势大体也表现为气候冷期

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为低值,气候暖期对应于 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 高值。

湖盆更易受气候因素的影响,所以锶同位素在反映气候上应该比海洋更加灵敏。在干旱少雨的气候下,由于含高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的壳源硅铝质岩石碎屑向湖盆注入量的减少,这一时期形成的沉积物中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值相对低些;而在半干旱半湿润的气候下,风化作用比较强烈,同时河流也比较发育,能够把风化的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的壳源硅铝质岩石碎屑搬运到湖中,这一时期形成的沉积物中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值相对高些。

2 东濮盐湖锶同位素分析

东濮盐湖不同层位 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的变化特征如表 1。从表中我们可以看出,每个层位内的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化范围很小,最大也只有 0.002 178,这说明在同一段地质时期内同位素锶的值是比较稳定的。同时该区的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 普遍偏大,远大于现代海洋的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值(0.709 2),而现代海洋的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值又大于地质时期的海相碳酸盐的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,所以从 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值这个角度来说,东濮盐湖应该属于陆相盐湖,影响锶同位素组成的主要控制因素应该是高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的壳源硅铝质岩石的输入量。Palmer 等 1989 年的研究认为全球河流输入的平均 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.711 9 较现代海水的 0.709 2 要高也证实了这一点。

表 1 不同层位 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的变化特征

Table 1 Characteristics of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values in different stratigraphic horizons

层位	最大值	最小值	最大值-最小值	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 平均值
Es ₁	0.712 292	0.711 580	0.000 712	0.711 894
Es ₂ [±]	0.713 026	0.711 812	0.001 214	0.712 309
Es ₃ [±]	0.717 244	0.717 244	0.000 000	0.717 244
Es ₃ ^中	0.715 179	0.713 001	0.002 178	0.714 080
Es ₃ ^下	0.713 759	0.711 585	0.002 174	0.712 672
Es ₄ [±]	0.713 691	0.711 877	0.001 814	0.712 422

不同层位间的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化要稍大些,如沙河街组一段和沙河街组三段沉积期 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的差值达到了 0.005 351,这说明不同时期由于控制锶同位素的因素发生了变化,所以锶同位素也发生变化。我们利用不同层位 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的平均值作

了 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 与地层的关系图(图1)。由沙河街组四段上亚段到沙河街组三段上亚段, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值逐渐增大,而由沙河街组三段上亚段到沙河街组二段上亚段沉积期 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 突然降低,但由沙河街组三段上亚段到沙河街组一段整体上还以降低趋势为主。由上面的分析可知,该盆地应该属内陆盐湖,锶同位素组成的控制因素应该主要是高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.720 ± 0.005)的壳源硅铝质岩石。所以,对该区来说, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的大小反映了陆源碎屑物对盆地的供应情况。由沙河街组四段上亚段向沙河街组三段过渡时期,由 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的逐渐增大可知,在这一时期河流向盆地提供的陆源碎屑物较多,反映在这一时期该区的气候应该是一种半干旱半湿润的气候,河水把大量的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的硅铝质风化产物带到湖中,使湖水的锶同位素增大;相反由沙河街组三段上亚段向沙河街组一段过渡时期, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值以降低的趋势为主,说明从沙河街组三段上亚段沉积期开始,该区的气候开始向干旱型的气候过渡,降雨量的减少使陆源碎屑物的供应也相应减少,湖盆中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值也降低。由沙河街组三段上亚段与沙河街组二段上亚段沉积期之间的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 突变可以推测,该区在由沙河街组三段上亚段沉积期向沙河街组二段上亚段沉积期过渡时,气候可能发生过突变。

3 结论

(1) 通过对东濮盐湖下第三系不同含盐层位锶同位素的分析,初步认为东濮盐湖属于典型的内陆盐湖,其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值普遍大于海洋的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,其锶同位素的主要来源应该是高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的壳源硅铝质岩石。

(2) 风化作用能够使锶同位素从岩石中迁移

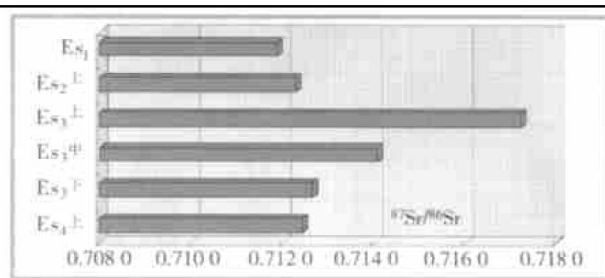


图1 不同层位 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 平均值的变化情况

Fig. 1 Characteristics of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mean values in different stratigraphic horizons

出来,并随着河流进入湖中,而它又受气候条件的影响,因此,湖水中锶同位素的分布情况在一定程度上能够反映当时的气候情况。东濮盐湖下第三系不同含盐层位锶同位素的研究表明:该地区在沙河街组四段上亚段到沙河街组三段上亚段时期为半干旱半湿润的气候,风化作用比较强烈。而从沙河街组三段上亚段到沙河街组一段沉积期时期气候开始由半干旱半湿润向更加干旱转化,陆源碎屑物的减少使这一时期的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值降低。

参 考 文 献

- 1 Kelts K. Lacustrine basin analysis and correlation by strontium isotope stratigraphy[R]. Abstract of 13rd International Sedimentary, 1987
- 2 贺秀斌. 微量元素锶及其同位素的地球化学研究与应用前景[J]. 地球科学进展, 1997, 12(1): 15~ 19
- 3 Reeder R J. Crystal chemistry of the rhombohedral carbonates[J]. Min Soc Am, Reviews in Mineralogy, 1983, 44: 1~ 47
- 4 Dia A N, Cohen A S O, Nions. R K, et al. Seawater Sr isotope variation over the past 300 ka and influence of global climate cycles[J]. Nature, 1992, 356: 786~ 788
- 5 Clemens S C, Steven C, Parrell, et al. Synchronous changes in seawater strontium isotope composition and global climate[J]. Nature, 1993, 363: 607~ 609

APPLICATION OF SR ISOTOPE TO SEDIMENTARY ENVIRONMENT ANALYSIS

Shi Zhongsheng Chen Kaiyuan He Hujun Shi Jun Liu Baojun Liu Gang

(Resources College, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Abstract: With indicating significance of geochemical characteristics of Sr isotope in sedimentary environment, characteristics of Sr isotope in Eocene saline deposits in Dongpu depression have been studied. Analysis result indicates that the value of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ are generally higher and exceed that in the sea water, so it is inferred that Dongpu salt lake

might have been an inland brine lake, and the Sr isotope in the lake water might have mainly been controlled by the silicor aluminium rock with high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.720 ± 0.005) value. Variation of Sr isotope curve may reflect the climate change, and the Eocene paleo-climate in Dongpu depression has also been analyzed with this feature. It is preliminarily suggested that the climate might have been semiarid and semihumid from E_{s4}^{up} to E_{s3}^{up} , and it became more arid from E_{s3}^{up} to E_{s1} .

Key words: Sr isotope; salt lake; sedimentary environment; Dongpu depression

(上接第186页)

参 考 文 献

- 1 杨育斌, 张金来. 油气地球化学勘查[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1995. 1~ 15
- 2 汤玉平, 龚维琪, 邓树立, 等. 油气化探异常类型及机理研究[C]. 见: 程同锦, 戴联善主编. 第四届全国油气化探学术会议论文集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998. 19~ 25
- 3 汤玉平, 陈英伟. 熵估值在油气化探异常评价中的应用[J]. 物探与化探. 1998, (4): 320
- 4 汤玉平, 刘运黎. 马氏距离法在油气化探异常评价中的应用[J]. 物探与化探. 1998, (3): 231~ 237
- 5 江洪训. 非常规油气物化探在油气勘查中的重要意义存在问题与应用前景. 见: 程同锦, 戴联善主编. 第四届全国油气化探学术会议论文集[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998. 14~ 19

APPLICATION OF SOURCE-SIMILAR FABRIC ANOMALY ANALYSIS IN PETROLEUM GEOCHEMICAL EXPLORATION

Liu Yunli

(Hefei Institute of Geochemical Exploration, Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Hefei, Anhui)

Abstract: Source-similar fabric anomaly is used to express the comprehensive characteristics that can reflect the fabric being similar to those of light hydrocarbon component in subsurface reservoirs, which is usually necessary to have exact meanings in geology and geochemistry and reflects the change of hydrocarbon fabrics, so as to indicate more definitely the existence and location of oil/gas reservoirs. By using entropy-value analysis, Marsh distance analysis and clustering analysis, various indexes or their composite characteristics in the study area can be calculated, and the range of favorable numerical values will be determined, anomaly parameters can be chosen, and prospective areas can then be delineated. The method of source-similar fabric anomaly has been proved to have obviously more advantages than the anomaly analysis of total hydrocarbon concentration, which will have good prospects in the future.

Key words: source-similar fabric anomaly; concentration anomaly; fabric parameters; entropy-value anomaly; Marsh distance anomaly