

全球变化研究

用 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 研究海平面变化与全球对比问题^{*}

李荣西^{①②}, 魏家庸^③, 杨卫东^①, 郭庆军^①

① 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002;

② 西安工程学院, 陕西 西安 710054; ③ 贵州省区域地质调查研究院, 贵州 贵阳 550005)

摘要: 综述了近年来国际上在 Sr 同位素研究应用方面的新成果, 着重讨论了如何应用海相沉积岩(物) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值来研究海平面变化和全球对比问题。综合分析表明, 海水 Sr 同位素组成受 Sr 的来源控制, 海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值随时间变化与海平面变化有内在的联系, 高频旋回(时限约 2.0 Ma)的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化与三级海平面变化相对应。研究认为牙形石是分析 Sr 同位素组成最理想的样品, 用之建立的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线最具全球对比意义。与国外相比, 我国在这方面研究成果较少, 但从地质条件分析, 我国独有的一些地质记录, 在古海平面变化和全球对比研究中占据着不可缺少或不可代替的地位, 其中扬子地块西南缘二叠—三叠纪界限附近的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线, 可以弥补国外一些学者建立的自显生宙以来全球海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线在该时段存在的“断层”现象。

关键词: 锶同位素; 海平面变化; 全球对比; 牙形石

中图分类号: P736.2f 3 文献标识码: A 文章编号: 1001-8166(2000)06-0729-05

沉积岩地球化学特征对地质作用过程具有精确示踪和高分辨时间尺度标定的独特作用。微量元素、放射性同位素和 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 比值是反映古海水特征的重要信息。锶(Sr)同位素组成常被用做重要的定年“工具”, 也是大陆壳风化程度的一个指标^[1,2]。近年来大量研究成果表明, Sr 是对海水变化反应最灵敏的元素之一^[3,6], 自显生宙以来全球海水的 Sr 同位素组成有规律地变化, 其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值变化与海平面变化有内在的联系。因此, 可以用海相沉积物记录的古海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值随时间变化特征来研究地质历史时期海平面升降, 进而讨论有关全球对比问题。

1 海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的控制因素及其与海平面变化关系

几乎所有的地质作用都直接或间接地控制着海水的成分。但海水 Sr 同位素组成, 主要受控于由两

大地质作用产生的 Sr 源, 即由陆壳风化作用产生的“陆源”Sr 和由海底热流活动产生的“海源”Sr。“陆源”Sr 具有高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值, 它通过陆壳岩石风化后被流水作用带入海洋; 而“海源”Sr 具有低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值, 它随海底热流体活动直接进入海水^[3-5]。Sr 主要通过碳酸盐岩沉淀(主要是文石和方解石)从海水中带出。大陆架上碳酸盐岩沉积产物主要是文石珊瑚和一些藻类, 这些生物成因的文石含有较高的 Sr。相反, 深海碳酸盐岩沉积物常常是以低 Sr 方解石为主^[7]。

一般认为海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 主要受大陆风化速率的影响, 而大陆风化速率又与构造作用、古气候等密切相关。近年来许多研究表明海平面升降变化也是影响海水 Sr 同位素组成的主要因素之一。当海平面下降时, 陆地暴露面积增大, 由大陆风化作用进入海洋

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“吐哈盆地侏罗系储层地球化学研究”(编号: 49773179); 中国博士后科学基金项目“用 TOF-SIMS 分析矿物中单个有机包裹体成分”(编号: 1999/10)和贵州省自然科学基金项目“黔西南三叠纪高分辨率层序地层同位素地球化学响应”(编号: 99-3091)联合资助。

第一作者简介: 李荣西(1966-), 男, 汉族, 甘肃省宁县人, 博士后, 主要研究方向为油气地质与地球化学。

收稿日期: 1999-08-30; 修回日期: 2000-05-08

的“陆源” Sr 增加,从而引起海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的相对增高,同时暴露的大陆架文石重结晶作用强烈而迅速,释放出大量的 Sr。据研究^[8,9],在不到 100 ka 时间内,陆架碳酸盐岩会因文石重结晶作用而释放出其 90% 的 Sr,当海平面上升时,一方面由于陆地暴露面积减小,由风化作用进入海水的“陆源” Sr 减少;另一方面,海平面上升期往往对应于海底扩张加速期,此时海底热流活动剧烈,由此进入海水的“海源” Sr 增加,这两方面共同影响的结果,使海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值相对变小。例如,Spoomer^[10]曾研究发现在最近约 100 Ma 时间里,低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值对应于海底扩张高速期,与之同期的陆地面积减小;而高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值对应于海底扩张的低速期,同期的陆地面积增大。由以上分析可知,海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值变化与海平面变化呈负相关关系,海平面上升,该比值减小,海平面下降,该比值增大,总之,海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化受控于海平面升降变化。

2 海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线的建立与全球对比问题

由于海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 与海平面变化关系密切,因此,可以通过分析一套海相碳酸盐岩地层的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,建立其随时间变化曲线,来确定地层沉积形成时期的海平面变化特征,并进一步解决有关地层层序划分和全球对比问题。

建立某一套碳酸盐岩地层所代表的古海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线有两个前提条件:① 在某一给定时间里,海水各种来源的 Sr 同位素完全混合均匀;② 碳酸盐岩等样品记录和保存了其形成时海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 。

通过对现代开阔海水和珊瑚礁水(陆架)分析表明,它们的 Sr 同位素组成完全一致,具有混合均一的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 。假定自显生宙以来,海水 Sr 同位素混合均一(事实上,研究结果表明该假定是成立的^[3,12,13]),那么在不同地区具有相同层位(形成年龄相同)的两个样品应该具有相同的 Sr 同位素组成。同理,受同一海平面控制的不同地区处于同一层位的地层层序应具有相同的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化特征。因此通过建立古海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 随地质时间的变化曲线,可以进行全球地层对比。

一般地,通过对已知层位(年代)的碳酸盐岩等海相沉积岩(物)分析,来确定过去某一特定时期的古海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,这种碳酸盐岩等样品必须满

足前面提到的第二个条件,即记录和保存了其形成时海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 。由于后生成岩作用的改造,样品是否保存了原始海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$,是一个复杂的问题,下面将予以专门讨论。

3 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线的可信度与古海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的保存

通过碳酸盐岩样品分析建立的古海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线的可信度取决于三个因素:① 样品分析精度和准确度;② 样品所在地层层位及其年代准确度;③ 样品对海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的保存程度。

目前先进的高精度质谱仪能够保证样品分析所要求的精度和准确度。至于第②个影响因素,在生物地层、年代地层研究程度高的地区,一般来说也有保证。而对生物地层研究程度低,缺少完整的生物化石带资料或海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化频繁的地区,需要认真对待,一般要加密采样,而且有必要做磁性地层学研究工作。问题的关键是第③个因素。因为后生成岩作用不可避免地对碳酸盐岩样有影响,只是其对样品记录的原始海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值改造程度大小不同而已。理论上讲,样品时代越老,埋藏越深,其受改造的几率越大^[12]。但也并不全是如此,因为后生成岩作用及改造程度与岩性也有关。可以采用一些方法,对其进行评估。

目前常用的评估碳酸盐岩样品成岩作用和样品对原始海水同位素组成保存程度的方法有 3 种,即岩石学方法、阴极发光法和微量元素方法。

岩石学方法是在野外宏观和室内显微镜下观察研究基础上研究岩石原生矿物、结构、构造等保存及改造程度,以及后生成岩作用的胶结物和次生结构等发育情况,以确定岩石是否遭受了后期改造以及改造程度大小。

阴极射线方法是依据岩石在后期成岩作用过程中形成的胶结物在阴极射线照射下发光来区分后生成岩作用强弱,不同期次、不同类型的胶结物发光特征不同,一般地,发光特征越复杂,后期成岩作用越强烈,被改造程度越大。

碳酸盐岩的某些微量元素在后期成岩作用中常具有明显的“分异性”,据此可以判断样品受改造程度。Denison 等^[14]通过对下古生界泥灰岩研究表明,当样品的 $\text{Sr}/\text{Mn} > 2.0$, $\text{Mn} < 300 \times 10^{-6}$ 时最完整地保存了原始海水的同位素比值,而当 $\text{Sr}/\text{Mn} \leq 2.0$, $\text{Rb}/\text{Sr} > 0.001$ 时,样品受到了成岩作用改造,该方法目前被普遍应用。通过综合应用以上 3 种方法,一

般可以确定样品对原始 Sr 同位素保存程度, 确保分析结果的可信性

4 样 品

在研究原始海水同位素组成时, 碳酸盐岩是最常用的样品。除此之外灰泥岩或以灰泥基质为主体的碳酸盐岩也是较为理想的样品, 因为它们最大限度地阻止了同沉积的岩石孔隙间流体与外来流体的交换, 从而最完整地记录和保存了原始海水的同位素组成。

长期以来, 人们应用腕足化石研究海水的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$, 受此启发, 许多人也尝试应用牙形石化石来分析研究古海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, 结果取得了意想不到的效果^[17]。通过对腕足和牙形石样研究比较, 发现牙形石样比同层位共生的腕足样具有更强的放射性, 更富集 Sr, 而且难以受成岩作用改造, 是研究古海水 Sr 同位素组成的最好样品^[15-17]。

牙形石是一类已经绝灭了的海生动物的某种器官, 是一类微体化石 (约 0.1~0.5 mm), 分布时代从寒武纪一直延续到三叠纪末, 通常产于海相地层, 在灰岩中含量最丰富, 其分布不受地理条件限制, 遍布于世界各地, 许多种属垂直分布短, 在地层划分对比中常起关键作用, 一些属种成为全球地层对比的标准化石。研究表明, 应用牙形石分析研究海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值, 可以避免在岩石分析中遇到的许多问题 (如样品时代、层位、同位素保存等)^[18], 综合分析其有以下 5 大优点: ① 牙形石富集 Sr, 其 Sr 含量在 $2\,000 \times 10^{-6} \sim 4\,000 \times 10^{-6}$ ^[18], 这样便于仪器准确检测; ② 牙形石本身具有抗成岩作用改造能力, 易于保存原始生活海水的 Sr 同位素组成^[16, 17]; ③ 由于牙形石 Sr 含量高, 一般单个牙形石样足够分析之用 (分析用量 $< 15\mu\text{g}$), 因而避免因大块样品混合不均缺乏代表性或人为污染; ④ 牙形石的颜色变化指数 (CAI) 是热演化程度的一个重要指标^[19], 从颜色可以很容易地判断其经历的后期成岩作用强度, 一般地当 $\text{CAI} < 2$ 时, 认为其没有受后期成岩作用影响; ⑤ 牙形石本身产于海相地层, 遍布世界各地, 分布时代广, 因而易于采到, 同时它又是全球地层对比的重要标准化石, 用其得到的成果, 具有精确的年代和确切的地层层位, 具有全球对比意义。由于牙形石具有以上 5 大优点, 所以许多学者选用其来确定古海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 组成及变化特征, 取得了大量成果, 从发表的有关文献资料看, 这文献成果有逐年增加趋势, 相信在同位素研究方面, 它是继腕足类化石之后又

一研究的热门化石

5 研究现状

70 年代末期, 随着层序地层学的兴起和发展, 海平面变化和全球对比成为地学界研究热点之一, 由于 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 对海平面变化具有示踪意义, 有关这方面研究也随之大量出现。Burke 等^[3]早在 1982 年就建立了显生宙以来全球海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线, 但该曲线因样品数量有限 (786 块), 个别样的年代不准确, 因此难以成为标准曲线。此后许多人都在其曲线基础上进行了大量的补充修正工作, 分别建立了显生宙以来各时期的海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线。特别是 Stephen 等^[18]用牙形石样分析建立的北美和欧洲大陆志留纪各牙形石带 (每个带平均时限约为 2.0 Ma) 的高分辨 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线, 发现其与 3 级海平面升降旋回完全对应。另外许多研究发现, 泥盆纪^[16]、石炭纪^[15]和二叠纪^[20]的高分辨 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线同样也与 3 级海平面变化旋回相对应。它们共同特点是 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值随着沉积层序增大, 但在层序边界附近就明显减小, 普遍认为海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的这种高分辨旋回性变化受 3 级海平面变化控制。

以上所有研究成果, 绝大部分样品都采自于北美洲及欧洲大陆, 很少有亚洲等其它大陆的样品或数据资料, 这样建立的全球古海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线无法反映出当北美洲和欧洲大陆存在沉积间断的那些时段全球海水 Sr 同位素组成特征和古海平面变化特征。例如, Koepnick 等^[21]在 Burke (1982) 资料基础上, 补充修正重建的三叠纪和侏罗纪海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化曲线, 在晚二叠世和早三叠世 (P/T) 界线附近, 明显存在一个“断层”, 这一“断层”反映出采样地区 (北美洲、欧洲) 在 P/T 界线附近存在着沉积间断。因为从全球地质演化史分析表明, 晚二叠世时联合古大陆形成, 陆架面积大量减小, 全球范围内缺乏二叠纪末期的海相 (尤其是浅海相) 沉积记录, 唯古特提斯海周围部分地区保存了二叠—三叠纪的连续沉积^[22], 其中我国扬子地块是二叠—三叠纪时浅海面积最大, 沉积记录保存最好的地区^[25]。已有的生物、沉积地层、层序地层及地球化学等大量研究成果一致表明, 扬子地块二叠—三叠纪海相沉积具有全球代表性, 可以做为全球对比的标准^[26]。所以, Koepnick 等^[21]建立的曲线上的“断层”应该由我国扬子地块的资料来弥补。

在我国将 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 用于海平面变化和全球对比方面研究的成果相对较多, 但 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 在这一

方面的研究成果却很少,在扬子地区尤其如此

扬子地块西南缘是全球三叠纪海相地层发育最完整的地区之一,也是我国三叠纪综合地层学研究标准地区之一^[25]。本区在三叠纪时发育了生长时期、规模、形态、格架、层序极不相同的碳酸盐岩台地,如大型的扬子台地和许多孤立陆源碎屑沉积盆地中的小型台地,这在全球范围来说是独一无二的,其已经引起了国内外学者的极大兴趣。建立古海水⁸⁷Sr/⁸⁶Sr变化曲线的一个理想地区应该具备:①生物地层研究程度高;②地层剖面沉积连续、无间断或缺失;③有丰富的生物化石资料和合适的分析样品。比较而言,我国扬子地块西南缘(特别是黔西南地区)具备以上3个条件,是建立二叠—三叠纪海水⁸⁷Sr/⁸⁶Sr变化曲线的首选地区^[23,24]。

目前由美国国家自然科学基金资助的中外合作科研项目“南盘江盆地碳酸盐岩台地演化控制机理”和贵州省自然科学基金资助的“黔西南三叠纪高分辨层序地层的地球化学响应”等课题在本区同时开展工作,其中有一项主要内容就是要建立二叠纪和三叠纪海水⁸⁷Sr/⁸⁶Sr变化曲线

6 结语

以上着重讨论了如何应用 Sr同位素组成来研究海平面变化和全球对比问题,同时对与之有关的原理、方法和存在的问题进行了介绍和分析。与国外相比,我国在这方面研究成果很少,但一些独有的地质景观记录了全球演化过程中的一幕,已经引起了国外同行的极大关注,本文对此作了客观分析。文章意在能起抛砖引玉之作用。

致谢:美国 Kansas 大学教授 Enos 和 Wisconsin 大学教授 Lehmann 提供了大量有关资料,并对一些问题进行了讨论,在此表示感谢。

参考文献

- [1] Capo R C, Depaolo D J. Seawater strontium isotopic variation from 2.5 million years ago to present [J]. *Science*, 1990, 249: 51~55.
- [2] Hodell D A, Mueller P A, Mckenzie J A. Strontium isotope stratigraphy and geochemistry of the late Neogene ocean [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1989, 92: 165~178.
- [3] Burke W H, Denison R E, Hetherington E A, *et al.* Variation of seawater ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr throughout Phanerozoic time [J]. *Geology*, 1982, 10: 516~519.
- [4] Asmerom Y. Strontium isotopic variation of Neoproterozoic

seawater: implication for crystal evolution [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55: 2 883~2 894.

- [5] Montañez I P. Integrated Sr isotope variations and sea-level history of Middle to Upper Cambrian platform carbonates: Implication for the evolution of Cambrian seawater ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr [J]. *Geology*, 1996, 24(10): 917~920.
- [6] Veizer J, Compton W. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr composition of seawater during the phanerozoic [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1974, 38: 1 461~1 484.
- [7] Hess J, Bender M L, Schissing J G. Evolution of the ratio of ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr in seawater from Cretaceous to present [J]. *Science*, 1986, 231: 979~984.
- [8] Gavish E, Friedman G. Progressive diagenesis in Quaternary to later Tertiary carbonate sediments: sequence and time scale [J]. *J Sediment Petrol*, 1969, 39: 980~1 006.
- [9] Morrow D W, Mayers L R. Simulation of limestone diagenesis: a model based on strontium depletion [J]. *Canadian J Earth Sci*, 1978, 15: 376~296.
- [10] Spoomer E T C. The strontium isotopic composition of seawater, and seawater-oceanic crust interaction [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 31: 167~174.
- [11] Mc Arthur. Recent trends in strontium isotope stratigraphy [J]. *Terra Nova*, 1994, 6: 331~359.
- [12] Denison R E, Koepnick R B, Burke W H. Construction of the Cambrian and Ordovician seawater ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr [J]. *Chemical Geology*, 1998, 152: 325~340.
- [13] Heather M S, Daniel P S. Effects of quaternary sea level cycles on Sr in seawater [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62(7): 1 107~1 118.
- [14] Denison R E, Koepnick B B, Fletcher A, *et al.* Criteria for the retention of original seawater in ancient shelf limestone [J]. *Chemical Geology*, 1994, 112: 131~143.
- [15] Cummins D J, Elderfield H. The Strontium isotopic composition of Brigantian (late Dinantian) seawater [J]. *Chemical Geology*, 1994, 118: 255~270.
- [16] Diener A, Eloneth S, Veizer J *et al.* Strontium isotope stratigraphy of the Middle Devonian Brachiopods and conodonts [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, 60: 639~652.
- [17] Kovach J. The Sr content of conodonts and possible use of the Sr concentrations and Sr isotope composition of conodonts for correlation purpose [J]. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 1981, 13: 285~286.
- [18] Stephen C, Ruppel Eric W J, James E B, *et al.* High-resolution ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr chemistratigraphic of the silurian: Implication for event correlation and Strontium flux [J]. *Geology*, 1996, 24(9): 831~834.
- [19] Epstein A G, Epstein J B, Harris L D. Conodont color alteration: An index to organic metamorphism [A]. In *US Geological Survey Professional Paper* [C]. Washington: United State Government Printing office, 1977.
- [20] Ruppel S C, James E W, Barick J E. Improvement in the

- Record of Secular Change in Sea-Water $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: A Stronger Basis for Dating of Paleozoic Diagenetic and Depositional Events [C]. AAPG Annual Convention Program, Houston, 84A.
- [21] Koepnick R B, Denison R E, Burke W H, *et al.* Construction of the Triassic and Jurassic portion of the Phanerozoic curve of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ [J]. *Chemical Geology*, 1990, 80: 327-349.
- [22] Schopf T J M. Permo-Triassic extinctions: relation to seafloor spreading [J]. *Journal of Geology*, 1974, 82: 126-143.
- [23] Enos P, Wei Jiayong, Yan Yangji. Facies distribution province South China [J]. *Sedimentary*, 1997, 44(3): 563-584.
- [24] Lehrmann, D J, Wei Jiayong, Enos D. Controls on facies architecture of large Triassic carbonate platform: the Grant Bank of Guizhou, Nanpanjiang Basin, South China [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1998, 68(2): 311-326.
- [25] Yang Zunyi, Wu Shunbao, Yin Hongfu, *et al.* Geologic Accident in Transitional Permian-Triassic in Southern China [M]. Beijing Geological Press, 1991.
- [26] Yin Hongfu, Tong Jinnan, Ding Meihua, *et al.* Sea level changes of later Permian-Middle Triassic in Yangtze area [J]. *Earth Science Journal of China University of Geology*, 1994, 19(5): 627-632.

VARIATIONS OF RATIO OF $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ IN SEAWATER WITH TIME IMPLICATIONS FOR SEA LEVEL CHANGES AND GLOBAL CORRELATION

LI Rong-xi^{①②}, WEI Jia-yong^③, YAN Wei-dong^①, GUO Qing-jun^①

① *Geochemistry Institute, CAS, Guiyang 550002, China*; ② *Xi'an Engineering University, Xi'an 710054, China*; ③ *Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, Guiyang 550005, China*

Abstract Strontium (Sr) is one of the most sensitive indicators to seawater. It has been widely exploited both in terms of its concentration and particularly in its isotope, which has been used to investigating ancient sea level fluctuations. Appreciable progresses have been achieved in recent years, but problems still remained with the seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve construction for the purpose of global correlation. It is shown that the variations of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout the Phanerozoic are related to the sea level changes. High-frequency (2.0 Ma) fluctuations in seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ consistent with third-order sequence. These changes are controlled by Sr sources of the seawater. There are two main Sr sources, one is "the continental Sr" with a high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, which is input to seawater by flux, the other one is "the oceanic Sr" with a low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, which is got into seawater directly by hydrothermal circulation through seafloor. Conodont is the ideal sample for the studies because of its precise stratigraphic age and high Sr concentrations as well as relatively resistant to diagenetic alteration. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve of seawater constructed by using conodont is the best standard for global correlation. China possesses some unique geological records, such as the continuous sedimentation at the Permian/Triassic boundary, which is very helpful to supplement the gap in the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve constructed for seawater from Permian to Jurassic by R. B. Koepnick *et al.* (1998) on the basis of Burke *et al.* (1982).

Key words Strontium isotope; Sea level change; Global correlation; Conodont.