

大洋钻探与海洋地球化学

——微量元素及稳定同位素地球化学记录

梁宏锋

(地质矿产部海洋地质研究所 青岛 266071)

提要 DSDP 与 ODP 的深入研究,发展了微量元素和稳定同位素地球化学。全球变化、大规模构造隆起和海底扩张等在微量元素和稳定同位素演化上的反映,使微量元素及稳定同位素地球化学成为地层划分对比的重要手段。开展以 Sr 和 REE 等微量元素以及 Sr、Nd 稳定同位素地球化学研究,对于解决西太平洋边缘海的海底扩张和古海洋及东亚大陆的环境变迁有重要的意义。

关键词 大洋钻探, Sr, REE 地球化学, 同位素地球化学, 古海洋环境, 地球化学记录

1 Sr 及其同位素地球化学

1.1 现代海水中的 Sr 及其同位素组成

海水中 Sr 的含量为 7.9mg/kg, 总量约为 1.21×10^{17} mol。海水中 Sr 的来源主要为陆源, 通量为 3.0×10^{10} mol/a, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 约为 0.711; 海底水岩交换(海底热液和海底岩风化)的通量为 1.2×10^{10} mol/a, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 约为 0.703; 全球海水中 Sr 的滞留时间为 2.5Ma~2.7Ma, 而海水混合是千年尺度, 因而对大洋来说, 海水中的 Sr 及其同位素的分布是均匀的。

1.2 海水中 Sr 演化及其环境意义

由于海水中 Sr 的分布可看作是均匀的, 因而通过研究不同地区碳酸盐沉积物中的 Sr 组成变化, 可以建立其演化曲线。Graham 等^[9]研究了太平洋和大西洋海盆的 DSDP 钻孔中碳酸盐中的元素组成变化, 建立了 75Ma 以来海水中 Sr 的演化曲线; Renard^[20]分析了晚侏罗纪以来 DSDP 钻孔碳酸盐样品中 Sr 的资料, 建立了 140Ma 以来海水中 Sr 元素的演化曲线(图 1)。由图可知, 随着时间的演化, 大洋海水中 Sr 呈波状增加趋势, 这种变化是地质地球化学环境变迁的反映。

1.2.1 海底热液活动对 Sr 的影响

海底热液中 Sr 的含量与海水中 Sr 的含量相近, 但 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值一般较低, 现代海底热液中 Sr 的含量约为 5.0 mg/kg~9.9mg/kg, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 约为 0.7028。由于海底热液活动输入大量的 Ca, 使得海水中的 Sr/Ca 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 降低。Renard^[20]认为海水中 Sr/Ca 的长期变化(波动)主要受海底热液活动的控制, 而海底热液活动又与海底扩张速率有关。由海底扩张引起的 Sr 的波动较大, 如早白垩纪的阿尔布阶、始新世、晚中新世到第四纪海水中 Sr/Ca 的低值, 与大西洋中脊快速扩张期相对应; 大西洋中脊慢速扩张期, 与晚白垩纪、中新世海水中 Sr 的高值相对应(图 1)。海水中的 Sr/Ca 比值在始新世初突然下降, 可能与那时海底热液活动的突然增强有关^[15]。

收稿日期: 1996 年 3 月 12 日

1996 年第 3 期

19

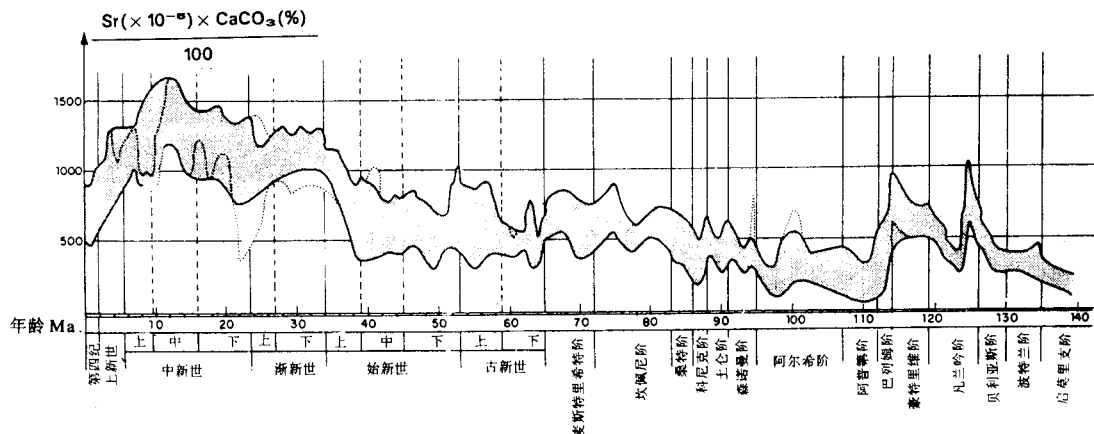


图 1 140 Ma 以来大洋碳酸盐中的 Sr 元素演化曲线(据 Renard,1986)

Fig. 1 Sr evolution curve of the carbonate in the Ocean Since 140 Ma

1.2.2 全球气候变化对海水中 Sr 含量的影响

全球气候变化,对大陆化学风化有明显影响,因而影响由河流输入海洋的 Sr 通量及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值。由于全球气候变化,引起海平面升降。在海进后期,海平面高,大陆架上沉积大量富含白云石的碳酸盐,使得大洋水中的 Ca 相对减少,从而使 Sr/Ca 比值增大,这时期形成的大洋碳酸盐中的 Sr/Ca 比值高。在海退期间,大陆架碳酸盐沉积减少,同时由于陆架的风化作用使海水中 Ca 的含量增加,从而使大洋水中的 Sr/Ca 比值降低,而且在海退后期达到最低值。根据海进-海退大洋碳酸盐中 Sr/Ca 的变化趋势,Renard^[20]将晚侏罗纪(140Ma)以来的海水中的 Sr/Ca 演化分成 7 个旋回,其中晚白垩纪的两个旋回与海平面的变化曲线十分吻合,即高海平面与 Sr/Ca 演化曲线的高峰值相对应。

1.3 海水中 Sr 同位素组成演化及其环境意义

生物成因的碳酸盐是研究古海水 Sr 同位素演化的理想对象,因为其分布广, Sr 含量高,与海水和间隙水(成岩作用)之间的同位素分馏可以忽略。在 70 年代,就有人注意到 Sr 同位素组成随时间的变化,随着 DSDP 研究的深入,人们对 DSDP/ODP 所取得的样品进行了大量的 Sr 同位素研究,并总结出一条 500Ma 以来海水 Sr 同位素组成演化曲线^[2,13]

影响 Sr 同位素组成的主要因素有陆源物质及海底热液活动。前者与大规模的构造隆起、气候变化等有关。当风化作用加强,陆源高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的 Sr 随河流进入海洋,使得海水中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值增高;后者与洋中脊的扩张速率有关,快速扩张时期海底热液活动带来大量的低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的 Sr,使得海水中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值降低。

1.3.1 大规模构造隆起的 Sr 同位素记录

大规模构造隆起,大面积古老岩石裸露,风化作用加强,使得大量的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的溶解 Sr 进入海洋,造成海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值升高。40Ma~15Ma 以及晚中新世(6.1Ma)到早上新世(4.9Ma)的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 显著升高,主要是由于青藏高原的隆起所致^[11,18,21]。

1.3.2 全球气候变化的 Sr 同位素记录

全球气候变化,即冰期~间冰期的转换对大陆风化作用有着明显的影响,这在海水中 Sr 同位

素组成中也有反映。气候变冷,海平面降低,大陆风化作用增强,大量的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的Sr输入海洋,使得海水中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值升高。新生代以来,全球气候呈变冷的趋势,40Ma以来 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的升高即是这种趋势的反映^[4,5,17]。晚上新世(2.8Ma)到更新世(0.5Ma)的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 显著升高(110×10^{-6})与约2.6Ma时北半球冰盖的形成有关^[7,8,10]。

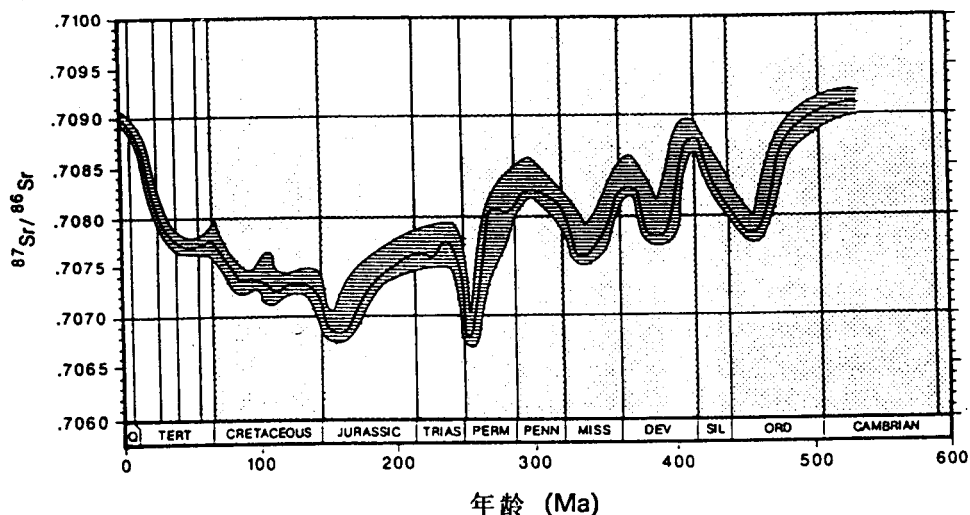


图2 500 Ma以来大洋碳酸盐中的Sr同位素演化曲线(据Koeppnick等, 1988)
Fig. 2 Sr isotopic evolution curve of the carbonate in the ocean since 500 Ma

1.3.3 海底热液活动的Sr同位素记录

Edmond等人的计算表明,海底热液活动输入海洋的Li、Rb、Ca、Sr和Ba的量等于或大于从河流输入海洋的量。最近Cocherie等^[6]研究了地中海热液活动对Sr同位素的影响后认为,Sr同位素组成可以指示热液活动。100Ma以来的Sr同位素组成的演化曲线在35Ma~53Ma(始新世)之间的低值,与大西洋中脊在始新世时的快速扩张相对应。但Richter等^[21]对100Ma以来Sr同位素演化的模拟计算后认为,影响Sr同位素组成变化的主要因素是陆源Sr的输入量。海底热液活动对Sr同位素演化的影响将是今后研究中值得注意的问题。

1.4 Sr及其同位素地层学

由于同一时期海水中的Sr和Sr同位素分布是均匀的,海洋自生沉积物(如碳酸盐、铁锰氧化物和鱼牙等)的Sr和Sr同位素与海水保持平衡,而成岩作用引起同位素分馏可以忽略不计,因此我们可以通过不同地区样品的Sr和Sr同位素的分析,建立标准的演化曲线来进行地层对比划分。这个方法的优点是不需要保存完整的生物壳体,甚至不需要分选样品,只用简单的化学分离就可以。Sr及其同位素地层学是古地磁古生物等方法的有用补充。

Renard根据140Ma以来海水中Sr元素的演化曲线,将其分为7个Sr旋回^[20],每个旋回分为若干带,这些带与古地磁分带相吻合。同时从演化曲线上可以看出,几乎所有的地质界线处都存在Sr的地球化学间断。根据这些带和间断可以对地层进行划分对比。

目前普遍认为Hodell等(1991)建立的晚第三纪以来(24Ma)的海水Sr同位素的演化曲线和Farrel等(1995)建立的7Ma以来的演化曲线较为准确。Hodell等(1991)和Shackleton等^[22]根据 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 演化建立了其与年龄的回归方程,近年来得到广泛应用,其年龄误差为0.50Ma^[11]。

2 稀土元素地球化学

稀土元素(REE)由于具有相似的地球化学性质,在自然环境中紧密共生,但又由于其地球化学性质的微小差异而使得其在不同的地球化学条件下发生分离,因而在不同环境下形成的沉积物中其REE分布模式不同,我们可以通过研究海洋沉积物中的REE分布模式来恢复其形成的地球化学环境,识别古海洋事件,如利用Ce和Eu从REE中的分离来恢复古氧化还原条件。正常海水中Ce主要以Ce⁴⁺形式出现,而Ce⁴⁺不易沉淀,因而正常海洋环境形成的沉积物具有Ce负异常,如果陆源碎屑物影响较大,则Ce不出现负异常。现代海底热液的REE行为研究结果表明,热液中的REE含量较低且呈Ce负异常。

海洋碳酸盐中的REE特征,特别是Ce异常可以用来反映古海洋底层水的氧化还原环境。Wang(1988)研究了大西洋DSDP525A、530A孔54Ma以来碳酸盐中的REE地球化学特征后认为,在白垩纪该地区为还原环境,而到中始新世,海水的氧化还原条件与现代相似。

Hu等(1988)研究南大西洋DSDP516和516F孔的碳酸盐相中的REE地球化学特征的结果表明,中始新世火山活动由弱(50Ma)到峰值(48Ma),然后从晚中新世(约38Ma)到晚渐新世(26Ma)减弱。Ce异常值(北美页岩标准化)的研究表明,在晚白垩(88Ma~70Ma)期间,南大西洋海水处于还原条件,

从70Ma开始,由于南大西洋海水循环加速,海水变为氧化环境(55Ma),大约从58Ma~55Ma到0.5Ma,南大西洋海水的氧化还原条件保持恒定,与现代海水相似,为氧化环境^[12]。

REE对环境的指标,特别是在一些常规方法较难判断的沉积岩如页岩和隧石中更显其重要,Murray(1990)研究了太平洋东岸侏罗纪以来的隧石和页岩中的REE特征,根据Ce异常(北美页岩标准化)恢复了3种不同的沉积环境:扩张轴附近、深海盆地和大陆边缘。在扩张轴附近,由于热液活动的影响,Ce异常较小($\delta\text{Ce}\approx 0.29$),在深海盆地,Ce异常为 $\delta\text{Ce}\approx 0.55$,在大陆边缘环境,几乎没有Ce异常, $\delta\text{Ce}=0.9\sim 1.30$ ^[14]。

除REE、Sr元素之外,人们还对沉积物中的Mn、Fe、Cd、Mg、Ba、Zn、Cu等元素进行了研究^[3,19,20],结果表明,这些微量元素也研究古环境演化的有用工具。近年来,海洋环境中Nd同位素地球化学研究也已成为海洋地球化学研究的前缘领域之一。由于Nd在海洋中的滞留时间是千年尺度,因此,Nd同位素组成是局部环境的记录。已有的研究表明,不同地区的海水及海洋自生组份的Nd组成不同^[1,16]。同时,Nd同位素组成也是研究海洋沉积物中物质来源的有用手段^[16]。

3 边缘海微量元素和稳定同位素地球化学研究设想

微量元素和稳定同位素记录着过去全球环境变化的重要信息,是当代地球化学研究的主要内容,是解决重大地质问题的有用手段。由于Sr及其同位素的演化具有全球意义,而REE及Nd同位素的演化反映了局部区域特征。开展边缘海微量元素如Sr、REE等及Sr、Nd等稳定同位素的研究,对于进一步了解全球古海洋环境演化和西太平洋边缘海扩张及东亚大陆的环境变迁等有着重要的意义。故建议开展下面几方面的研究:(1)开展自生沉积物如碳酸盐中稀土元素,特别是Ce的赋存状态研究,对于更好地了解古海水的氧化还原条件有着重要的意义。(2)边缘海REE及Nd同位素演化规律研究有助于了解边缘海海底扩张及热液活动。(3)开展微量元素如Sr、Cd、Mg、Fe、Mn等元

素的演化规律及其与古海洋环境演化关系研究。(4)开展 Sr、Nd 等稳定同位素地球化学研究,寻找青藏高原隆起的海洋地球化学记录,建立西太平洋边缘海 Nd 同位素演化曲线。

主要参考文献

- [1] Albarede, F. *et al.*, 1992. *Geology* 20 :761-763.
- [2] Burke, W. H. *et al.*, 1982. *Geology* 10:516-519.
- [3] Boyle, E. A., 1981. *Earth and Planetary Science Letter* 53:11-35.
- [4] Capo, R. C. *et al.*, 1990. *Science* 249:51-55.
- [5] Clemens, S. C. *et al.*, 1993. *Nature* 363:607-610.
- [6] Cocherie, A. *et al.*, 1994. *Marine Geology* 118:291-302.
- [7] DePaolo, D. J., 1986. *Geology* 14:103-106.
- [8] Farrell, J. W. *et al.*, 1995. *Geology* 23, N5:403-406.
- [9] Graham, *et al.*, 1982. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46:1 281-1 292.
- [10] Hodell, D. A. *et al.*, 1990. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)* 80:291-307.
- [11] Hodell, D. A. *et al.*, 1991. *Geology* 19(1) :24-27.
- [12] Hu, X. *et al.*, 1988. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52:201-207.
- [13] Koepnick, R. A. *et al.*, 1988. *Paleoceanography* 3(6) :743-756.
- [14] Murray, R. W., *et al.*, 1990. *Geology* 18: 268-271.
- [15] Owen, R. M. *et al.*, 1985. *Science* 227:166-169.
- [16] Piepgrass, D. J. *et al.*, 1985. *Earth and Planetary Science Letter* 72:314-356.
- [17] Raymo, M. E. *et al.*, 1988. *Geology* 16:649-653.
- [18] Raymo, M. E., 1994. *Paleoceanography* 9 :399-404.
- [19] Renard, M., *et al.*, 1979. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Government Printing Office, Washington 47: 497-501.
- [20] Renard, M., 1986. *Marine Micropaleontology* 10:117-164.
- [21] Richter, F. M. *et al.*, 1992. *Earth and Planetary Science Letter* 109:11-23.
- [22] Shackleton, N. J. *et al.*, 1995. *Ocean Drilling Program, Scientific Results* 138.

ODP AND GEOCHEMISTRY OF OCEAN —RARE ELEMENTS AND ISOTOPE GEOCHEMISTRY RECORDS OF MA- RINE GEOLOGIC ENVIRONMENTS

Liang Hongfeng

(*Institute of Marine Geology MGMR, Qingdao 266071*)

Received: Mar. 12, 1996

Key Words: ODP, Sr and REE geochemistry, Sr and Nd isotopic geochemistry, Paleoceanography environments, Geochemistry records

Abstract

With the developing of DSDP/ODP, the rare elements(Sr and REE) and isotopic (Sr and Nd) geochemistry of marine sediments have been developed. The rare elements and isotopes evolutions record some important geologic events, such as past global change, large tectonic rising and sea floor spreading, and it is a useful stratigraphy tool. The studies of Sr and REE and Sr and Nd isotopes geochemistry in the western Pacific marginal sea will play an important role in the study of the sea floor spreading of western Pacific marginal sea and the evolution of the paleoceanography environments and Eastern Asia continent environments.