

太平洋结核结壳中的锶铅同位素关系研究

孙志国 郭卫东 刘昌岭 韩昌甫 许东禹

(地质矿产部海洋地质研究所 青岛 266071)

提要 依据多金属结核、铁锰结壳的记录,研究了太平洋海水结核结壳中锶、铅同位素的关系,结果表明,太平洋海水中锶同位素与铅同位素无明显的相关性。作者认为这是由于太平洋海水中锶、铅的滞留时间相差很大,达4个数量级,锶同位素记录了100 000 a至百万年时间尺度上全球性大洋范围内海水物质来源的变化,而铅同位素能在较小的时间尺度上反映局部的大洋海水物质来源的信号,是高分辨率的物源示踪剂。

关键词 锶同位素, 铅同位素, 古环境记录, 太平洋

对海洋沉积物的锶铅稳定同位素地球化学,国内作了些零星的研究^[1-5],尚未引起应有的重视。本文依据多金属结核、铁锰结壳的锶铅同位素记录,研究太平洋海水锶铅同位素的关系,并探讨锶铅同位素示踪的差异性。

1 样品及分析方法

研究对象为采自东太平洋海盆的4个多金属结核(C18, 5309G, 5270, CCA99')、一块铁锰结壳(5405),以及采自中太平洋约翰斯顿群岛卡林海山的铁锰结壳RD4-2。

将多金属结核、铁锰结壳分层取样,共刮取40个样品。每个样品磨细、混合均匀后既作锶同位素分析又作铅同位素分析。

锶同位素分析方法 取样品10 mg,用稀HAc浸泡处理后,取其中不溶物用6 mol/L HCl溶解,经标准阳离子交换处理(Dowex 50阳离子树脂),分离出Sr供质谱测量;Sr同位素在VG354质谱上用多接收方法测量,采用NBS987标准监测。

铅同位素分析方法 取样5 mg,用6 mol/L HCl

收稿日期:1997-01-21

完全溶解, 然后转换成 HBR 介质, 经标准阴离子交换处理(AG1× 8 阴离子树脂)富集分离出 Pb, 供质谱测量; Pb 同位素在 VG354 质谱计上用单接收方法测量, 采用 NBS981 标准监测。

2 结果与讨论

2.1 东太平洋海盆多金属结核、铁锰结壳的锶铅同位素

如表 2 所示, 东太平洋海盆多金属结核中, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 在 0.709094~0.709253 之间, 平均值

表 1 样品类型及取样位置

Tab. 1 Types and sites of samples

样品类型	样品	取样位置	取样区域
多金属结核	C18	11°24'29"N, 147°34'7"W	东太
	5309G	10°24'59"N, 151°29'22"W	平洋
	5270	10°29'58"N, 152°52'31"W	海盆
	CCA99'	10°45'46"N, 141°44'43"W	
铁锰结壳	5405	9°7'24"N, 152°58'35"W	中太
	RD4-2	17°34'39"N, 168°46'38"W	平洋

表 2 东太平洋海盆多金属结核、铁锰结壳的铅同位素组成

Tab. 2 Sr, Pb isotopic compositions of polymetallic nodules and a ferromanganese crust from the Eastern Pacific Basin

样品号	$\delta^{87}\text{Sr}(\text{‰})$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
C18	0.035	0.709 225± 8	18.715± 0.010	15.603± 0.013	38.595± 0.022
5309G-1	0.075	0.709 253± 7	18.670± 0.010	15.592± 0.010	38.622± 0.029
5309G-2	- 0.031	0.709 178± 7	18.690± 0.007	15.605± 0.007	38.587± 0.017
5270-1	- 0.125	0.709 111± 6	18.748± 0.011	15.601± 0.002	38.748± 0.005
5270-2	- 0.149	0.709 094± 7	18.745± 0.007	15.648± 0.005	38.837± 0.012
5270-3	- 0.093	0.709 134± 8	18.696± 0.003	15.592± 0.003	38.668± 0.008
5270-4	- 0.148	0.709 095± 6	18.680± 0.019	15.654± 0.020	38.511± 0.034
5270-5	- 0.131	0.709 107± 9	18.753± 0.011	15.626± 0.009	38.649± 0.022
CCA99'-1	0.085	0.709 260± 14	18.563± 0.005	15.580± 0.002	38.665± 0.006
CCA99'-2	0.056	0.709 240± 13	18.708± 0.007	15.559± 0.006	38.590± 0.013
CCA99'-3	0.083	0.709 259± 8	18.687± 0.006	15.587± 0.005	38.538± 0.015
CCA99'-4	0.110	0.709 278± 10	18.714± 0.006	15.614± 0.006	38.600± 0.014
CCA99'-5	0.024	0.709 217± 6	18.634± 0.007	15.555± 0.004	38.341± 0.015
5405-1	0.169	0.709 320± 7	18.721± 0.009	15.610± 0.009	38.579± 0.025
5405-2	0.020	0.709 214± 7	18.676± 0.006	15.563± 0.005	38.523± 0.016
5405-3	0.152	0.709 308± 7	18.665± 0.011	15.556± 0.006	38.536± 0.022
5405-4	0.031	0.709 222± 8	18.720± 0.004	15.604± 0.005	38.559± 0.014
5405-5	0.079	0.709 256± 9	18.729± 0.007	15.605± 0.005	38.589± 0.012
5405-6	0.072	0.709 251± 7	18.788± 0.010	15.675± 0.008	38.759± 0.028
5405-7	0.056	0.709 240± 8	18.689± 0.010	15.605± 0.012	38.596± 0.028

0.709 188; $\delta^{87}\text{Sr}$ 在 - 0.149 ‰ ~ 0.075 ‰ 之间, 平均值 - 0.016 ‰; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 18.563~18.753 之间, 平均值 18.692; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 15.555~15.648 之间, 平均值 15.594; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 38.341~38.837 之间, 平均值 38.611。

铁锰结壳 5405 中, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为 0.709 214~0.709 320, 平均值 0.709 259; $\delta^{87}\text{Sr}$ 0.020 ‰ ~ 0.169 ‰, 平均值 0.082 ‰; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 18.665~18.788, 平均值 18.712; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.556~15.675, 平均值 15.602; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 38.523~38.759, 平均值 38.591。

2.2 中太平洋铁锰结壳的锶铅同位素

如表 3 所示, 铁锰结壳 RD4-2 中, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 在 0.708 841~0.709 258 之间, 平均值 0.709 085; $\delta^{87}\text{Sr}$ - 0.506 ‰ ~ 0.082 ‰, 平均值 - 0.163 ‰; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 18.618~18.748, 平均值 18.663; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.560~15.627, 平均值 15.596; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 38.456~38.783, 平均值 38.583。

表 3 中太平洋铁锰结壳的锶铅同位素组成

Tab. 3 Sr, Pb isotopic compositions of a ferromanganese crust from the Central Pacific Ocean

样品号	$\delta^{87}\text{Sr}(\text{‰})$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
RD4-2-1	- 0.090	0.709 136± 6	18.748± 0.007	15.627± 0.004	38.776± 0.012
RD4-2-2	- 0.506	0.708 841± 8	18.732± 0.010	15.616± 0.009	38.610± 0.022
RD4-2-3	- 0.443	0.708 886± 6	18.661± 0.007	15.566± 0.006	38.559± 0.014
RD4-2-4	- 0.505	0.708 842± 8	18.653± 0.006	15.560± 0.006	38.557± 0.017
RD4-2-5	- 0.343	0.708 957± 6	18.618± 0.012	15.589± 0.009	38.481± 0.027
RD4-2-6	- 0.214	0.709 048± 8	18.665± 0.013	15.600± 0.011	38.539± 0.026
RD4-2-7	- 0.214	0.709 048± 7	18.637± 0.010	15.579± 0.007	38.456± 0.018
RD4-2-8	- 0.212	0.709 050± 8	18.673± 0.011	15.611± 0.010	38.550± 0.028
RD4-2-9	- 0.045	0.709 168± 8	18.654± 0.008	15.594± 0.008	38.493± 0.022
RD4-2-10	- 0.047	0.709 167± 9	18.694± 0.007	15.618± 0.007	38.584± 0.017
RD4-2-11	- 0.056	0.709 160± 8	18.645± 0.009	15.577± 0.006	38.591± 0.019
RD4-2-12	- 0.157	0.709 089± 7	18.623± 0.004	15.590± 0.003	38.643± 0.008
RD4-2-13	- 0.130	0.709 108± 6	18.644± 0.004	15.594± 0.004	38.544± 0.011
RD4-2-14	- 0.087	0.709 138± 8	18.635± 0.020	15.609± 0.016	38.582± 0.034
RD4-2-15	- 0.082	0.709 258± 8	18.628± 0.007	15.595± 0.009	38.581± 0.019
RD4-2-16	- 0.016	0.709 189± 9	18.665± 0.004	15.604± 0.004	38.609± 0.011
RD4-2-17	0.068	0.709 248± 8	18.671± 0.007	15.592± 0.006	38.570± 0.018
RD4-2-18	- 0.017	0.709 188± 7	18.688± 0.011	15.592± 0.011	38.539± 0.028
RD4-2-19	- 0.382	0.708 929± 5	18.696± 0.014	15.606± 0.012	38.783± 0.025
RD4-2-20	0.062	0.709 244± 8	18.669± 0.012	15.602± 0.019	38.618± 0.041

2.3 控制太平洋海水锶铅同位素成分的因素

大洋海水锶同位素受古老硅质岩、年轻玄武质火山岩和海洋碳酸盐岩 3 种不同物源的锶同位素的混合控制^[7]。海洋中铅来源不外乎以下几种,即陆源碎屑物,入海河流中溶解的铅,火山喷发及海底热液带入的铅,降尘(包括宇宙尘),降雨及现代工业污染物^[7]。以上每一种来源中均有一部分或全部的铅溶于海水,并最终加入海洋沉积作用。但实际上,对海水的铅同位素组成有较大影响的只是来自陆源的铅和火山喷发、热液活动带入的陆地幔的铅,现代工业污染物的介入只是最近几百年的事,可以不予考虑。从同位素地球化学理论上讲,陆源物质输入,会使海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\delta^{87}\text{Sr})$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 升高,而幔源物质输入,会使海水的这些比值降低^[7]。

从上述海水锶铅的来源来讲,理论上海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\delta^{87}\text{Sr})$ 应与海水的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 呈正相关性,然而,多金属结核、铁锰结壳的锶铅同位素记录研究表明,太平洋海水的锶铅同位素成分之间不存在明显的相关性。

海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\delta^{87}\text{Sr})$ 与 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 无明显的相关的原因是因为锶铅在大洋海水中滞留时间相差太大。锶在大洋海水中滞留时间非常长,长达几百万年以上^[6],锶在大洋海水

滞留时间为 4 Ma^[5]或 5 Ma^[7]。正因锶在海水中滞留时间达百万年级,锶同位素成分在各开阔性大洋海水中是均匀的,具有统一的演化模式^[7-8],是在十万年至百万年时间尺度上全球性大洋范围内海水物质来源变化的示踪剂。所以,控制大洋海水锶同位素的主导因素是大陆古老硅铝质岩石的风化剥蚀速率,大洋海水锶同位素演化曲线记录了青藏高原隆升的信息^[8]。

然而,大洋海水中铅滞留时间很短。Chow 1962 年认为,铅滞留时间为 10 Ka^[5],后来 Craig 等(1973)发现铅在太平洋海水中滞留时间比钍滞留时间(1 000 a 左右)还要短,仅为 80~ 100 a。最近人们研究表明铅滞时间为 100 a 左右^[6]。由于铅滞留时间比大洋海水混合时间(1 500 a 左右)还要小,所以,不同大洋中以及同一大洋不同水团中海水的铅同位素组成亦不相同,海水的铅同位素能在较小的时间尺度上反映局部的大洋海水物源来源变化的信号,是高分辨率的物源示踪剂^[6],能记录海底热液活动的信息^[11]。

5 结论

太平洋多金属结核、铁锰结壳中的锶铅同位素成分无明显相关性的原因是:这两种元素在大洋海水中滞留时间相差很大,相差达 4 个数量级。大洋海水锶滞

留时间长达 500×10^4 a 以上, 而铅滞留时间仅百年左右, 因此, 锶同位素在各开阔性大洋中是均匀的, 在全球大洋海水中具有统一的演化模式, 是在 100 000 a 至百万年时间尺度上全球性大洋范围内海水物质来源变化的示踪剂, 而铅同位素能在较小的时间尺度上灵敏地反映局部的大洋海水物质来源变化的信号, 是高分辨率的物源示踪剂。

参考文献

- 1 孙志国、宋鹤彬。海洋地质动态 1996, 3: 4~ 6
- 2 孙志国等。科学通报, 1996, 41(5): 434~ 437
- 3 孙志国等。海洋科学, 1996, 3: 35~ 41
- 4 于津生等。中国科学(B 辑), 1994, 24(7): 757~ 765
- 5 赵焕庭等。南沙群岛永暑礁第四纪珊瑚礁地质, 北京: 海洋出版社, 1992。153~ 160
- 6 Aboucham i W. and Goldstein S. L. . *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995, 59(9): 1 809~ 1 820
- 7 Faure G. . *Principles of Isotope Geology* (Second edition). John Wiley and Sons, Inc. 1986. 183~ 199
- 8 Hodel l D. A. and Woodruff F. . 1994, *Paleoceanography*, 9(3): 405~ 426

STRONTIUM AND LEAD ISOTOPIC RELATIONSHIP IN WATER OF THE PACIFIC OCEAN

SUN Zhiguo, GUO Weidong, LIU Chang-ling, HAN Chang-fu, XU Dong-yu
(*Institute of Marine Geology, MGMR, Qingdao 266071*)

Received: Jun. 21, 1997

Key Words: Strontium isotope, Lead isotope, Paleoenviromental record, Pacific Ocean

Abstract

Based on Sr and Pb isotopic records of polymetallic nodules and ferromanganese crusts from the Eastern Pacific Basin and the Central Pacific Ocean, Sr and Pb isotopic relationship in water of the Pacific Ocean is discussed. The study suggests that $\delta^{87}\text{Sr}$ ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) does not relate with $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, because the residence time of Sr is 5 Ma, over three orders of magnitude longer than the ocean mixing time of 1.5 Ka or so, and Pb has a residence time about 100 a. As a result, strontium isotope ratios are uniform in the oceans, and are useful for tracing changes occurring in the whole ocean over timescales of $10^5 \sim 10^6$ years, whereas lead isotopes are more sensitive than strontium to variation in local inputs and changes through time.