

海水中 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 的比值

李培泉

(中国科学院海洋研究所)

在海洋环境中,放射性核素 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 的测定占有重要的位置。

研究 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值,有助于了解这两个核素的地球化学过程、分馏现象以及在海洋中的归宿。同时,还可以根据其比值和其中一个核素的含量,推算出另一个核素的浓度。

一、核爆炸后的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值

1965年,Harley^[2]等人根据百万吨级的核武器爆炸后所产生的裂变产物、半衰期和衰变图而计算的全球降落的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值为1.45(快中子裂变值)。对中子能量为14MeV¹⁾的裂变产物所计算的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值为1.67。这两个值是后来研究 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值的重要参考依据。根据长期对大量环境样品——同温层空气、对流层空气及大气沉降物的放射化学分析,其 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值一般波动在1—3之间。

在我们研究的海水体系中,其比值也大都波动在这一范围,然而近岸海水大都低于1。

二、近岸海水的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值

^{137}Cs 、 ^{90}Sr 在近岸海水中的浓度变化比较大,一般来说,其浓度大都高于外海,而 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值则低于正常值1.45,一般为1左右,但也有个别海区为0.4左右,如表1所示。

从表1看出:近海区海水的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值一般都在1左右。其主要原因如下。

1. 沉积物对 ^{137}Cs 的吸附

实验发现: ^{137}Cs 很容易被沉积物尤其是

粘土性沉积物吸附,而 ^{90}Sr 则存在于海水中。从而造成海水中 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 的一次分馏,使 ^{90}Sr 的积累高于 ^{137}Cs ,故 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值降低。在悬浮物质较高的河口区和近岸区,更能加速这一分馏过程的进行。因为悬浮体就是沉积物的重要组分。已经发现,沉积层中的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值是很高的。例如,在浅水沉积层中其比值为8—17。据报道,在艾尔巴(Эльбы)乌斯提亚浅水区形成了富 ^{137}Cs 的沉积层。在印度孟买湾,进入海水中的核燃料废液,由于淤泥对 ^{137}Cs 的吸附,而使海水中 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值很快降低下来。应当指出:海

表1 近岸表层海水 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值
(括号数字代表年数或次数)^[1,3]

海 域	年 代	比 值
文亚尔德海湾	1971	1.14 (10次)
美国伍兹霍尔港	1969—1972	1.05 (13年)
圣劳伦斯湾		1.11 (2次)
巴芬湾	1970	0.96 (3次)
芬兰湾(5个小湾)	1971—1973	0.43 (15次)
波罗的海(4个海区)	1972—1973	0.75 (8次)
丹麦海峡	1973	0.70 (1年)
青岛汇泉湾	1960—1961	1.52—1.67
渤海海域	1975	0.30 (1年)
	1980—1981	0.65 (2年)
东海舟山附近	1973—1974	0.43 (2年)
日本近海	1977	1.50 (1年)

1) MeV为百万电子伏特。

水中的 ^{137}Cs 除进入沉积层外,也可能由于海水的扩散而部分的转入其他水域。在大陆架浅水沉积层中,如果想把正常的比值(1.47)降到所观察的比值(1.07),则必须有27%的 ^{137}Cs 从海水转入沉积层中。但是事实上,转移的数量并没有这样高。例如,在1973年,Nashkin和Bowen发现泥心中大约只有8%的 ^{137}Cs 来自海水,海水中其余的(19%) ^{137}Cs 并未进入沉积层,说明比值降低与海水扩散有一定关系。

2. ^{137}Cs 在大陆上的丢失

^{137}Cs 在大陆上的丢失,造成近岸海水两个核素来源的差异。Held在1965年曾报道钙质土壤能选择性的吸附 ^{137}Cs 。这一性质决定了 ^{137}Cs 不能完全随雨水进入河水和海洋,相当数量的 ^{137}Cs 将被阻留在土壤中。相反, ^{90}Sr 却很容易被雨水带入河水并最后进入海洋,因此影响了两个核素在河水和近岸海水中比值的降低。

3. 河水中 ^{137}Cs 的损失

核素进入河水之后,由于河水悬浮体对 ^{137}Cs 的吸附,使 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值降至0.5左右。Nagaya和Saiki指出河水中的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值在0.4—0.7之间。Park等人在1965年测得哥伦比亚河水其比值为0.27和0.29; Miyake和Tsubota在1963年测定日本10条河口水比值为0.1—0.31; Трыков等人测定的涅瓦底乌斯提亚河河水的比值为0.1—0.3。这种情况,同样在湖水中也明显地表现了出来。1971年密执根湖水的比值为0.11; 安大略湖的比值为0.33。由此可见,河水中两个核素的分馏作用是很强烈的, ^{137}Cs 的损失是明显的。

从大气沉降的 ^{137}Cs 与 ^{90}Sr 在进入海洋过程中,可能经过三次分馏作用:一是土壤分馏;二是河水分馏;三是近岸海水分馏。在每次分馏后, ^{137}Cs 总是受到一定的损失,从而降低了 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 的比值。

根据以上看法,在那些河流影响大、悬浮物质多、水浅而封闭的海区,比值的降低将会更加明显。例如表1中的芬兰湾就是这样,毋

容否认,这里的比值反映了河水的特点。

在近岸浅水层,大量资料说明: $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值虽然很低,但两个核素的浓度一般都高于外海。这种现象可以用河水的搬运,雨水对沿岸大陆的冲刷和核素的累积作用来解释。

近岸海水 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 的来源主要是大气沉低、河流搬运和海水交换——即通过海流、潮汐等海洋过程把外海海水中的 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 带到近岸区(未包括原子能设施排放区)。

河水可以从上游搬运相当数量的 ^{90}Sr ,甚至比外海海水高10倍以上。例如,美国河水 ^{90}Sr 浓度可以高达600次衰变/(100升·分); Harley测定纽约市雨水的 ^{90}Sr 为366次衰变/(100升·分),这些水源在进入近岸海区时,都能携带大量的 ^{90}Sr 和少量的 ^{137}Cs 。

大量的核素进入海水之后,将随海水运动而被稀释,但是由于近岸水体交换速度比较缓慢,所以核素有可能积累起来,尤其在大陆河水不断向海洋提供核素的情况下,这种积累作用就更加明显。然而这种积累作用不是迭加式的。在那些非河口影响的海区,其近岸海水的两个核素浓度也同样比较高,这可以用雨水对沿岸大陆的冲刷作用和累积效应来解释。

对于大部分近岸海水一般都服从上述规律,但是在个别海区也有例外,例如,作者在青岛汇泉湾1960—1961年测定的比值为1.52和1.67,这个比值和理论比值相近。这可能与岸边是岩石,底部多为沙质,没有河水注入,悬浮体很少等因素有关。因为在这种条件下,两个核素分馏的条件不充分,故所得比值也高。

三、外海海水的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值

表2是太平洋和大西洋表层水、中层水和深层水中所测得的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 平均比值。

从表2的数值表明:在外海表层水中的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值与近岸水不同而显示了与Harly理论值的一致性,其重要原因是因为在那里影响比值变化的分馏因素较少。

$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值的一致性有力地说明了 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 在大洋水中的行为和状态是非常

相似的。有人曾认为比值1.37（太平洋表层水）和1.60（大西洋表层水）不同的原因是分析误差造成的。有人通过研究大西洋和太平洋表层海水的 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 含量看出：大西洋表层海水的 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 浓度多数都低于太平洋，而 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值又高于太平洋，尤其是在1966年以前的核爆炸频繁时期，这种差别更为明显（大西洋为1.77近似为1.8，太平洋为1.38，近似为1.4）。因此，不能简单的认为这种差别的主要原因是分析误差造成的。

表2 太平洋与大西洋表层、中层和深层海水的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值^[3]

海区	比值	表层平均	中层平均	深层平均
太平洋	1.37	1.37	1.62	1.65
	(1957—1970)	(1957—1970)	(1963—1967)	(1958—1970)
大西洋	1.60	1.60	1.47	1.35
	(1961—1972)	(1961—1972)	(1961—1972)	(1961—1972)

太平洋海水中的 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 含量高于大西洋是无可争议的事实。这种现象可以用核武器实验主要在太平洋进行和放射性废物通过哥伦比亚河或其他水道大量进入太平洋而造成污染来解释。另外，在太平洋比基尼和安尼维托克进行核实验时，由于珊瑚岛垫面的蒸发，而使大量放射性产物与碳酸钙尘埃一起抛入海洋，这种状况，为优先使碳酸钙阻留和富集 ^{90}Sr 创造了条件； ^{137}Cs 大部分留在空气中，并参与全球性的循环。这时，富集了大量 ^{90}Sr 的碳酸钙在海水中逐步溶解并随南、北赤道海流而扩散到广阔的海域中，尤其是北太平洋。这样使太平洋海水中增加了 ^{90}Sr 含量，从而降低了 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值：太平洋为1.37，大西洋为1.60。

据苏联Трусов的统计，大西洋的比值为1.8，太平洋为1.4。1.8和1.4能否反映两大洋中两个核素浓度的差别？为了解决这个问题，他们利用柱式图解法和数学分析法作了进一步的解析。图1是太平洋和大西洋 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比

值的柱式图解：x横坐标代表 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值，范围从0.6—3.8，纵坐标代表出现的机率，每一格宽度为2。

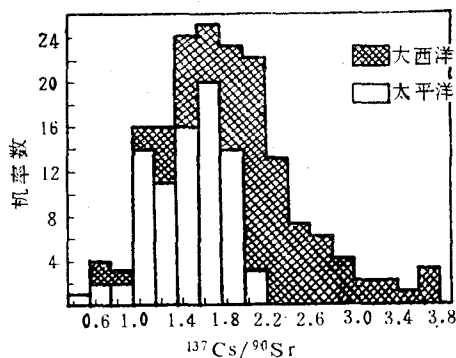


图1 大西洋、太平洋海水中 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值的分析

从图1看出：所有大西洋海水的比值分布与太平洋比较大都向右偏移，说明大西洋的 ^{90}Sr 含量偏低。当然， $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值也必然大于太平洋。柱式图解表明这种现象曾用概率纸进行了检验。结果证明它是正态分布的一级近似。图2则是太平洋和大西洋 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值正态分布的检验图式。x轴表示 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值，纵座标大小用 $U = (x - \mu) / \delta$ 表示，在这里 μ 是平均值， δ 表示一次有效结果与平均值的平均平方偏差，U值可以由Гайсса积

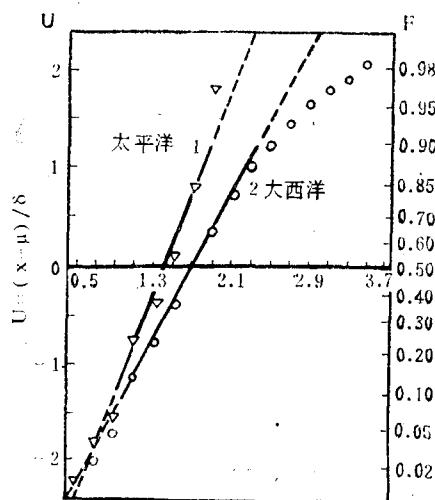


图2 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值分布的检验

分表按下述公式找到:

$$F = \int_{-\infty}^U \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{s^2}{2}} ds$$

每一个x值的对应F值, 可以利用计算柱式图1面积的方法找到。

由图2看出: 在F值边界为10—90%的情况下图形是直线的, 通过图2可以得出平均值及平均平方偏差。F值与横座标x轴的交点, 决定了两个大洋的平均值。看来, 这个值对于两个大洋来说是很有代表性的。

由以上分析指出: 在太平洋和大西洋 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 平均值的不同, 如果不能看成是一种规律的话, 至少也是反映了一种倾向。这种解释对表层水是可行的, 因为表层水的 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 浓度高, 测定误差范围小, 准确度强, 有代表性; 而对中层水和深层水来说困难却很大, 这是由于两个核素的浓度逐步降低、误差范围和两个核素的比值波动都较大, 其比值真实性也就相对较差所致。尤其是在283—4759米深处 ^{137}Cs 或 ^{90}Sr 含量小于5次衰变/(100升·分)的情况下, 这种比值的更为显著。例如, 1970年在北大西洋382—4900米之间, 平均比值为2.01, 但是, 波动范围可以由0.26到20, 而在表层却无这种现象。

四、小 结

太平洋中层水、深层水的 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值分别为1.62和1.65。大西洋中层水和深层水平均比值为1.47和1.35。这些比值与表层水的比值仍然可以大体认为是相近的。由此可以推测这两个核素在外海深层水的运动规律也是基本相似的。

外海水中 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比值是一个比较稳定的常数。而在近岸水区则波动较大, 这与 ^{137}Cs 的化学特性和环境因素的影响有密切关系。三次分馏作用使 ^{137}Cs 的浓度明显降低, 从而影响比值的降低。

太平洋与大西洋表层水相比, 其 ^{90}Sr 的量要高, 因此, 太平洋比值低于大西洋。

主要参考文献

- [1] Bowen, V.T., et al., 1974. *Limnol Oceanogr.* 19(4):670—687.
- [2] Harley, N., et al., 1965. *USAEC Health Safety Lab. Fallout Program Quart Summ Rep.* HASL—264, 251—260.
- [3] Трыков, А. Г., 1975. In *Impacts of Nuclear Releases into the Aquatic Environment* pp.133—143.



卡拉胶生产工艺通过鉴定

卡拉胶是从沙菜等红藻中提取的一种海藻胶, 在食品、日用化工和医药等方面有广泛用途。近年来, 国外生产发展很快, 国内使用靠进口。为了充分利用丰富的海藻资源, 建立我国的卡拉胶工业, 中国科学院海洋研究所于1985年在海南岛文昌县海藻养殖场, 进行了卡拉胶生产试验获得成功。1986年3月中旬, 农牧渔业部水产局在文昌县主持召开了“卡拉胶生产工艺”鉴定会, 与会专家一致认为: 该所采用压榨脱水法工艺生产卡拉胶的新方法, 从沙菜中提取卡拉胶获得成功, 首次进行了小批量试销; 经过八个多月生产实践证明: 该工艺是先进可行的, 具有产品质量好、设备简单、投资少、操作容易、成本低等优点, 首次在国内建立了卡拉胶生产工厂, 填补了国内空白, 为海藻利用开辟了新的领域。文昌县海藻养殖场, 采用压榨脱水法生产的卡拉胶, 主要质量指标, 接近美国同类产品水平, 已在食品工业使用, 效果良好, 是一种较优良的新产品。该方法生产的卡拉胶, 成本较低, 经济效益显著。

(胡葵英)