

热带西太平洋海水氧同位素组成特征的初步研究*

洪阿实 王明亮 高仁祥[†] 洪 鹰

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)

([†]地矿部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

提要 根据 1991 年 WOCE 首航中从热带西太平洋采集的水样的 $\delta^{18}\text{O}$ 数据, 论述了该海区的氧同位素组成及其分布特点。结果表明, 氧同位素的平面分布在一定程度上反映了热带西太平洋表层环流的基本特征, 提供了北赤道流和黑潮源地的同位素示踪物证据。此外, 还对 $\delta^{18}\text{O}$ 值的垂直分布、断面分布, 及 $\delta^{18}\text{O}$ 值与盐度、温度、溶解氧相互关系等进行初步探讨。

关键词 热带西太平洋 氧同位素 大洋环流

运用海水的稳定同位素, 主要是氧同位素的示踪原子特性以研究水团性质、运移、混合及其变异规律已取得重要成果, ^{18}O 示踪物被列为世界和我国 WOCE (世界大洋环流实验) 计划的观测项目之一。

热带西太平洋是执行 TOGA, WOCE 计划有重要意义的关键海域之一。本文论述该海区的氧同位素组成特点, 并依此试论热带西太平洋表层环流的基本特征等问题。

1 样品采集与测试

为执行 WOCE 计划, 于 1991 年 11—12 月, 运用“向阳红五号”调查船首次在 $116^{\circ}30'\text{E}$ — $141^{\circ}30'\text{E}$, $22^{\circ}00'\text{N}$ — $2^{\circ}42'\text{S}$ 海域进行调查采样。调查站位见图 1。样品装入 30—40 ml 双密封盖塑料瓶中(预先用海水冲洗塑料瓶 2—3 次), 低温保存, 待进一步处理和制样测试。

氧同位素分析采用 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 平衡法 (Epstein et al., 1953), 由一定量的纯 CO_2 与 5ml 样品在 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 下震荡 3—4h, 使气、液两相之间实现氧同位素平衡交换反应。采用双标准样, 通过双样比较双束补偿分析法, 在联机的高精度质谱计上进行同位素分析, 平均分析误差为 $\pm 0.1\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值以国际标准 SMOW (Craig, 1961) 表示¹⁾。

2 结果

2.1 表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值的一般分布特征 从测得的表层海水氧同位素的全部数据看,

* 国家海洋局资助课题。温度、盐度和溶解氧数据由南海分局提供; 裴凤亭参加了部分工作, 洪辉亮协助清绘图件。均此一并志谢。

收稿日期: 1992 年 9 月 2 日, 接受日期: 1994 年 3 月 1 日。

1) 洪阿实、李平, 1990, 闽南—台湾海滩上升流区海水 $\delta^{18}\text{O}$ 的测定及其分布特征。

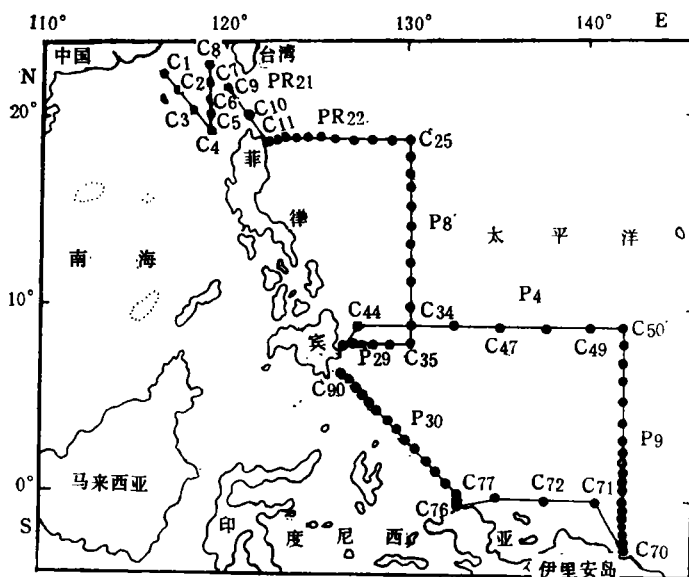


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling station in the tropical west Pacific

表 1 表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化范围和平均值

Tab. 1 Variation ranges and averages of the surface seawater $\delta^{18}\text{O}$ value in the tropical west Pacific

断面或站位	海 区	数 据	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$		
			最 高	最 低	平 均 值
C1—C4	南海东北部	4	-0.72	-0.99	-0.86
C4—C8	南海东北部	1	—	—	-0.91
C8—C11	巴士海峡、巴林塘海峡	1	—	—	-1.32
PR22	18°20'N, 122°25'E—130°00'E	10	-0.03	-1.32	-0.60
P8	18°20'N—8°00'N, 130°00'E	7	-0.41	-1.04	-0.76
P29	8°00'N, 130°00'E—126°30'E	6	-0.31	-0.68	-0.44
P4	9°00'N, 127°00'E—141°30'E	6	0.45	-1.12	-0.61
P9	9°00'N—2°42'S, 141°30'E	14	-0.23	-1.01	-0.72
C71—C76	0°00'S, 141°00'E—0°00'S, 132°30'E	4	-0.51	-0.89	-0.69
C77—C90	0°30'N, 130°30'E—6°07'N, 126°20'E	11	-0.35	-0.59	-0.48
H ₂ ¹⁾	140°36.81'N, 112°31.81'E	1			0.27
13 ¹⁾	16°29.10'N, 139°42.99'E	1			-0.70
481 ¹⁾	18°46.0'N, 136°10.0'E	1			-0.58
482 ¹⁾	12°10.96'N, 144°47.50'E, 116°30'E—141°30'E, 22°00'N—2°42'S	1			-0.30
		62	0.45	-1.32	-0.60

1) 数据引自吴世迎, 1988。

$\delta^{18}\text{O}$ 值多数出现在 -0.2‰ 到 -1.0‰ 区间,除个别站位外,调查区表层海水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值是相当均匀的,变化范围为 -1.32‰ — 0.45‰ ,多数表现为平缓的低负值,只有零星的低正值出现。总的变化幅度在 1‰ 之内,与世界大洋氧同位素变化范围大体一致。总平均为 -0.60‰ ;最小值出现在 C11 站(菲律宾嘉牙鄢河入海口),似与近岸流系海水受陆地径流的冲淡混合作用有关;最大值出现在 C49 站, $\delta^{18}\text{O}$ 为 0.45‰ ,属低正值。表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化范围和平均值列于表 1。

2.2 表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值的平面分布 从 $\delta^{18}\text{O}$ 的等值线分布(图 2)来看,在 $5\text{--}15^\circ\text{N}$ 附近, $\delta^{18}\text{O}$ 值变化梯度较小,等值线近乎平行,并在大约 130°E 以东与纬度线接近平行,具有输运流系的特点,反映出定常流流场特征,等值线可以反映出环流路径,即调查海域存在着纬向定常流,在菲律宾东部海域转向北。可以初步认为,这是北赤道流(大约存在于 $10\text{--}20^\circ\text{N}$,流速约为 $10\text{--}100\text{cm/s}$,流幅 1000km)和黑潮(流速约为 200cm/s)源地(Pickard et al., 1987; 陈镇东,1992)的氧同位素示踪物证据。

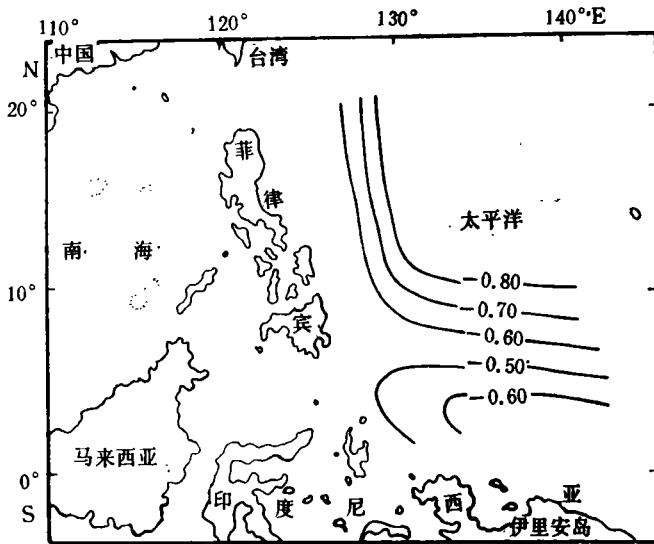


图 2 表层海水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 的平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of the $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ of surface seawater in the tropical west Pacific

2.3 $\delta^{18}\text{O}$ 值的垂直分布 太平洋深层水具有低温高盐的特征(Pickard et al., 1987),从 C34, C47, C62, C72 和 C76 站的 $\delta^{18}\text{O}$ 的垂直分布来看,只在表层和次表层有较显著的变化,次表层以下至深层、底层, $\delta^{18}\text{O}$ 值随深度变化很平稳,基本上属均匀分布, S, T 和 DO 也有类似的情况。

2.4 $\delta^{18}\text{O}$ 值的断面分布 图 3 给出了纬向断面的 $\delta^{18}\text{O}$ 分布。可看出有低 $\delta^{18}\text{O}$ 的底流爬升现象,反映有一股不很强烈的底流涌升的存在。

3 讨论

3.1 表层海水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与盐度、温度的关系 大洋水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与盐度关系的研究,是同位素海洋学研究的重要内容,已被作为研究海水性质、探讨海水来源问题的重要途径

(Broecker, 1974)。表层海水的蒸发作用,或由于具有低盐、低 $\delta^{18}\text{O}$ 值特点的大陆径流、天然降水或冰雪融化水等冲淡水的加入而改变表层海水的盐度,也将影响同位素组成的再分配或同位素分馏而导致 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化。

表层海水受热蒸发的过程相当于开放系统的蒸馏。在蒸发时,较轻的同位素组分总是优先富集在汽相中,富集的程度取决于温度,并服从瑞利(Raleigh)同位素分馏原理。在一般情况下,表层海水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值跟盐度呈一定的正相关关系(Craig, 1966)。除前述淡水、冰融水的影响外,如果发生不同性质的水团混合或低温高盐的底流涌升,将使这种正相关关系受到不同程度的削弱,使相关系数降低,甚至出现负相关。在本调查海域, P 9 断面位于黑潮源地附近马里亚纳海盆西沿, P4 断面的 $\delta^{18}\text{O}$ 分布反映出有一股低 $\delta^{18}\text{O}$ 值的底流涌升作用的存在,处于巴士海峡的 PR21 断面是黑潮水与南海水交换区域,还有南菲律宾海盆深水循环的存在(陈镇东, 1992)、太平洋赤道海流系统(Pickard et al., 1987)以及近岸流系(如 PR22 断面的 C11 站)的影响等,都说明调查海区水动力因子活跃,大大影响了本区表层水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与盐度的相互关系。表 2 列出了表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与盐度、温度

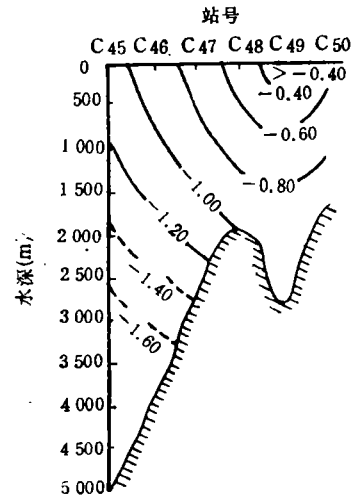


图 3 P4 断面 (9°00'N) 的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 分布
 Fig. 3 Distribution of the $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ for P4 Section (9°00'N) in the tropical west Pacific

表 2 表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与盐度、温度的相关分析

Tab. 2 Correlative analysis on the $\delta^{18}\text{O}$ value with the salinity and the temperature in surface seawater in the tropical west Pacific

海区或断面	回归方程 ($x = S$)	回归方程 ($x = T$)
本海区	$\delta^{18}\text{O} = 0.0018S - 0.684$ $n = 62, r = 0.0031$	$\delta^{18}\text{O} = 0.028T - 1.415$ $r = 0.156$
C1—C4	$\delta^{18}\text{O} = 0.096S - 4.11$ $n = 4, r = 0.40$	$\delta^{18}\text{O} = -0.074T + 0.93$ $r = -0.285$
PR22	$\delta^{18}\text{O} = 0.00255S - 4.69$ $n = 10, r = 0.0031$	$\delta^{18}\text{O} = -0.02T - 0.065$ $r = -0.028$
P8	$\delta^{18}\text{O} = -0.22S + 6.62$ $n = 7, r = -0.52$	$\delta^{18}\text{O} = 0.0016T - 0.81$ $r = 0.014$
P29	$\delta^{18}\text{O} = -0.30S + 9.63$ $n = 6, r = -0.90$	$\delta^{18}\text{O} = 0.061T - 2.11$ $r = 0.94$
P4	$\delta^{18}\text{O} = -2.66S + 89.64$ $n = 6, r = -0.49$	$\delta^{18}\text{O} = 1.93T - 55.1$ $r = 0.84$
P9	$\delta^{18}\text{O} = 0.061S - 2.79$ $n = 14, r = 0.18$	$\delta^{18}\text{O} = -0.090T + 1.89$ $r = -0.26$
C71—C76	$\delta^{18}\text{O} = -0.18S + 5.49$ $n = 4, r = -0.55$	$\delta^{18}\text{O} = 0.086T - 3.25$ $r = 0.36$
P30	$\delta^{18}\text{O} = 0.0084S - 0.76$ $n = 11, r = 0.067$	$\delta^{18}\text{O} = -0.052T + 1.03$ $r = -0.28$

的相关分析。由表 2 可见, P8 和 P29 这两条断面的 $\delta^{18}\text{O}$ 与 S 的线性回归方程很相似, 相关图上两条直线近乎平行, 反映了这两种水在成因来源上有着某种本质上的联系。

3.2 $\delta^{18}\text{O}$ 值的垂直分布及与盐度、温度和溶解氧的关系 表层海水由于蒸发作用造成盐度增加和 ^{18}O 富集。因此, 一般表层海水的 $\delta^{18}\text{O}$ 比深层海水高。但在上升流区, 发生了水团的垂向交换, 由于深层低 $\delta^{18}\text{O}$ 涌升流的影响, 使表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 与深层海水的差别相应减少, 甚至出现均匀的垂直分布, $\delta^{18}\text{O}$ 与盐度、温度的相关关系也发生变化。以菲律宾海沟东侧的 C34 站 (9°N , 130°E) 为例, $\delta^{18}\text{O}$ 与 S 呈负相关 ($r = -0.74$, $n = 5$), 而与 T 呈正相关 ($r = 0.994$)。与深层海水的低溶解氧、低 $\delta^{18}\text{O}$ 相比, 通常表层海水的溶解氧含量较高, $\delta^{18}\text{O}$ 值也较高。因而, 在一般海区, $\delta^{18}\text{O}$ 的垂直分布也应与溶解氧呈正相关。如发生水体强烈的垂向交换混合, 则将削弱正常的相关性, 甚至使 $\delta^{18}\text{O}$ 的垂直分布与溶解氧呈现负相关 (表 3)。在 C47 站, $\delta^{18}\text{O}$ 与温度和溶解氧均呈正相关 ($r = 0.80$ 和 0.84), 而 C76 站的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与盐度正相关性不好, 与温度和溶解氧的相关性不明显, 这可能是由于近岸上升流的底流涌升作用的影响, 反映了不同水团的水动力环境、化学参数的特征和相互关系。

表 3 $\delta^{18}\text{O}$ 垂直分布与盐度、温度和溶解氧的相关分析

Tab. 3 Correlative analysis on the $\delta^{18}\text{O}$ vertical distribution with the salinity the temperature and the dissolved oxygen in the tropical west Pacific

站位	回归方程 ($x = S$)	回归方程 ($x = T$)	回归方程 ($x = \text{DO}$)
C34	$\delta^{18}\text{O} = -0.22S + 6.97$ $n = 5, r = -0.74$	$\delta^{18}\text{O} = 0.0145T - 0.84$ $r = 0.994$	$\delta^{18}\text{O} = 0.19\text{DO} - 1.06$ $r = 0.97$
C47	$\delta^{18}\text{O} = -0.27S + 8.28$ $n = 5, r = -0.35$	$\delta^{18}\text{O} = 0.0207T - 1.18$ $r = 0.80$	$\delta^{18}\text{O} = 0.35\text{DO} - 1.58$ $r = 0.84$
C62	$\delta^{18}\text{O} = -0.0038S + 0.79$ $n = 6, r = -0.055$	$\delta^{18}\text{O} = -0.0058T - 0.44$ $r = -0.29$	$\delta^{18}\text{O} = -0.26\text{DO} + 0.098$ $r = -0.54$
C72	$\delta^{18}\text{O} = 0.049S - 2.31$ $n = 4, r = 0.37$	$\delta^{18}\text{O} = -0.0023T - 0.57$ $r = -0.18$	$\delta^{18}\text{O} = -0.16\text{DO} - 0.17$ $r = -0.68$
C76	$\delta^{18}\text{O} = 0.26S - 9.86$ $n = 5, r = 0.59$	$\delta^{18}\text{O} = -0.0063T - 0.56$ $r = -0.30$	$\delta^{18}\text{O} = -0.18\text{DO} - 0.24$ $r = -0.48$

4 结语

WOCE 首航热带西太平洋进行氧同位素示踪物观测已获初步成果。在主要考虑表层海水输运过程的情况下, 热带西太平洋表层海水 $\delta^{18}\text{O}$ 的平面分布在一定程度上反映了本区定常流场的物理海洋学的基本特征, 提供了北赤道流和黑潮源地的氧同位素示踪物证据。

$\delta^{18}\text{O}$ 的垂直分布只在表层和次表层有较显著的变化, 次表层以下呈现出基本均匀、比较平稳的特点。 $\delta^{18}\text{O}$ 的断面分布反映了在某些站位底流涌升作用的存在。水团的水平和垂向交换混合, 南菲律宾海盆深水循环的存在, 以及近岸流系等等诸多因素大大影响了本区大洋表层水的 $\delta^{18}\text{O}$ 与盐度的相关关系。也影响了 $\delta^{18}\text{O}$ 的垂直分布及与盐度、温度和溶解氧的关系。

我们从 $\delta^{18}\text{O}$ 的平面分布上似乎还可以看到纬向的北赤道流到棉兰老岛东南海域外

有南拐的踪迹, 这就是棉兰老岛沿岸流? 首航所获初步结果有待今后航次中进一步观测研究。

参 考 文 献

- 陈镇东, 1992, 南菲律宾海盆之深水循环, 海洋科技会刊(台湾), 10: 26—35。
 吴世迎, 1988, 大洋和近岸水的氧同位素组成研究, 黄渤海海洋, 6(3): 43—53。
 Pickard, G. L., & Emery, W. J., 1982, 物理海洋学导论, 范光龙译, 1987, 国立编译局(台湾), 203—204。
 Broecker, W. S., 1974, Isotopes as water mass tracers, *Chemical Oceanography*, 6(2): 143—151。
 Craig, H., 1961, Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters, *Science*, 133: 1 833—1 834。
 Craig, H., 1966, Isotopic composition and origin of the Red Sea geothermal brines, *Science*, 154: 1 544—1 548。
 Epstein, S., and Mayeda, T., 1953, Variation of oxygen-18 content of waters from natural sources, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 4: 213—224。

A PRELIMINARY INVESTIGATION ON THE COMPOSING CHARACTERISTICS OF OXYGEN ISOTOPE OF THE SEAWATER FROM THE TROPICAL WEST PACIFIC

Hong Ashi, Wang Mingliang, Gao Renxiang[†], Hong Ying

(Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005)

[†](Central Laboratory of Petroleum Geology, MGMR, Wuxi 214151)

ABSTRACT

Based on the $\delta^{18}\text{O}$ data of the seawater samples collected from the tropical west Pacific during the first cruise of WOCE program in 1991, this paper discusses the oxygen isotope composition of this area and its distribution features. Results show that, the horizontal distribution of the oxygen isotope to some extent reflects the basic characteristics of the surface circulation here and provides the isotopic tracer evidence for the origin region of the Kuroshio and the North Equatorial Current. Some preliminary discussions are carried out on the vertical and sectional distribution of $\delta^{18}\text{O}$ value, the correlations among the $\delta^{18}\text{O}$ value and salinity, temperature and the dissolved oxygen, the action of the bottom current upwelling and the mixing of water masses in the studied area.

Key words Tropical west Pacific Oxygen isotope Ocean circulation