

南海北部冬季逆风海流的一些 时空分布特征*

管秉贤

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

摘要 1982年2—3月“南海暖流动力学实验”结果表明: 南海东北部深水区域冬季流场以斜压性流为主要分量。据此, 本文重新分析了1966—1968及1975年冬季在南海北部观测所得的温度断面资料以探索这支逆风海流的分布变化特征。分析表明, 东北向逆风海流以汕头外海为最稳定和强大, 海南岛东南方的也相当稳定。在这两断面上, 东北向流的存在时间尺度可达4—6个月以上。冬季东-西向的空间尺度有时可达6个经度。但这些断面上的热结构与相应的海流结构在水平及垂直方向上都很复杂。除南海东北部外, 逆风海流很不稳定。这支海流与副热带逆流颇为类似。

关于南海北部的环流系统, 我们曾指出, 在近海区域, 特别是粤东沿岸, 冬季存在着逆风流向东北的海流, 称为“南海暖流”^[1]。前几年, 作者又根据“黑潮联合调查”(CSK) 期间“Cape St. Mary”号调查船的观测资料指出, “在东北季风盛行期, 南海北部的海水并非全自东北流向西南, 而是在这些(例如, 汕头、香港、上下川岛及七洲列岛外东南方)断面上, 特别是在其南半部的较深海域, 冬季存在着一支狭窄而呈带状的、流速相当强的逆风流动的东北向流”。“至于116°E以东海区, 这里的东北向流更为稳定而强大, 其南界到达21°N附近。因而粤东沿岸的东北向流, 是南海北部整个东北向流的一个重要组成部分, 而不是局部性涡旋形成的逆流”^[1]。同时, 还指出了这一海域中与南海暖流相对应的水温分布的水平和垂直结构的一些重要特征^[1,2]。

1982年2月18日—3月7日, 中国科学院南海海洋研究所在南海东北海域强劲东北风下所进行的“南海暖流动力学实验”取得了成功。在汕头外SE向断面水深1000m处的海流计浮标站, 获得了在东北风7—8级、阵风9级情况下连续7天多的实测记录, 7层(10, 50, 100, 200, 300, 500, 800m)海流的余流均指向东北或西北。汕头近海一昼夜连续测流站所得余流, 除10m层是东南偏东向外, 10m层以深均是东北向流。从而确证了从地转流场上首先发现的“南海暖流”的存在, 并进一步证实了作者过去所提出的有关这一逆风海流的一些结论^[2]。

最近, 苏联海洋学者 Бреховских 等^[3]有关“世界大洋冬夏季水位及表层梯度流的气

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1242号。

收稿日期: 1983年12月2日。

1) 管秉贤、陈上及, 1964。中国近海的海流系统。全国海洋综合调查报告, 第五册, 1—85。

2) 郭忠信、黄羽庭, 1982。东北季风对南海暖流区温、盐度分布的效应——南海暖流动力学实验结果的初步分析。第三届全国水文气象学术讨论会论文摘要汇编, 2-35—36。

候式结构”的研究结果,也为论证南海北部冬季存在着逆风海流提供了有力的证据。该文图1(见本文图1)清楚地表明,冬季南海北部的水位自南向北降低,南部约100cm,北部为20cm,坡度甚大;其等值线西起海南岛东到台湾均为SW-NE向的平行分布。这一趋势与东海东南部—台湾以东海域的完全相似,几乎为同一分布。该文图3指出了世界大洋冬季的表层梯度流分布,其中南海北部几乎都是东北向流,流速相当强,甚至比东海南部和台湾以东的还要强些(图略)^[4]。

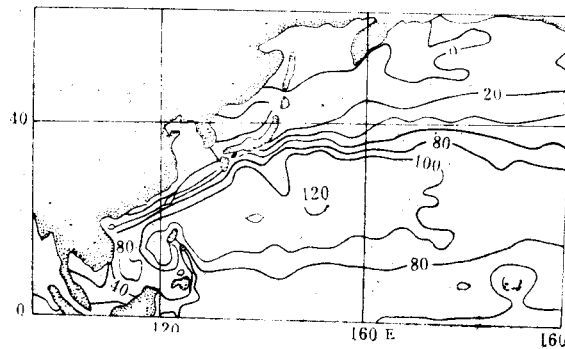


图1 南海北部冬季的水位分布
(根据 Бреховских 等, 1983)

表 1

断面位置	观测日期	观测单位	资料编号
1. 汕头外 SE 向	1966年9月1—2日 1967年3月14—15日 1967年10月10日 1968年1月7日 1968年5月21—22日 1968年9月19—20日	香港渔业研究站 “Cape St. Mary”号	CSK 资料报告: Nos. 78, 92, 138, 165, 203, 205
2. 汕尾碭石湾外 ESE 向	1967年2月23—24日	日本气象厅“Ryofu Maru”号	CSK 资料报告: No. 82
3. 香港外 SE 向	1968年1月10—11日 1966年11月24—25日	香港渔业研究站“Cape St. Mary”号	CSK 资料报告: Nos. 80, 165
4. 川岛外 SE 向	1966年11月29日—12 月6日	香港渔业研究站“Cape St. Mary”号	CSK 资料报告: No. 80
5. 海南岛外 SE 向	1975年7月21—22日 1975年11月14—15日 1975年12月1—3日	国家海洋局	

“南海暖流动力学实验”的主要贡献之一是用海流实测结果证明了南海东北部较深海域冬季的流场是以斜压性流为主,亦即地转流具有较好的代表性。本文将根据这一结果再次引用作者在前两文中所引用过的温度资料来分析讨论与这些温度场有关的冬季逆风

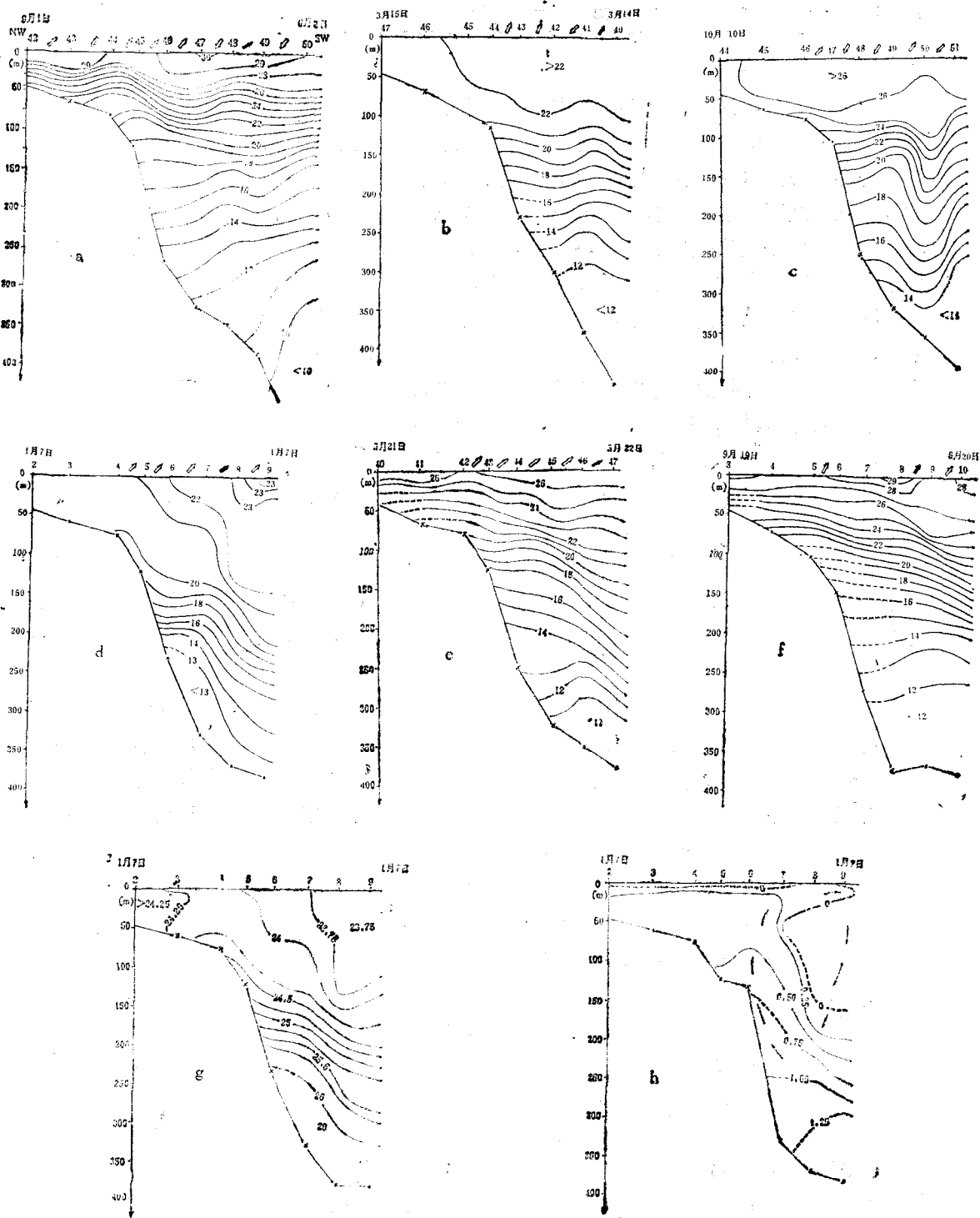


图2 汕头外 SE 向断面的温度 $T(^{\circ}\text{C})$ 、密度 (σ_t) 及磷酸盐 ($\text{PO}_4\text{-P}$, $\mu\text{g-at/l}$) 分布
 a. $T(^{\circ}\text{C})$, 1966 年 9 月 1—2 日 “Cape St. Mary” 号观测, 根据 CSK 资料报告 No. 78; b. $T(^{\circ}\text{C})$, 1967 年 3 月 14—15 日, No. 92; c. $T(^{\circ}\text{C})$, 1967 年 10 月 10 日, No. 138; d. $T(^{\circ}\text{C})$, 1968 年 1 月 7 日, No. 165; e. $T(^{\circ}\text{C})$, 1968 年 5 月 21—22 日, No. 203; f. $T(^{\circ}\text{C})$, 1968 年 9 月 19—20 日, No. 205;
 g. σ_t , 1968 年 1 月 7 日, No. 165; h. $\text{PO}_4\text{-P}(\mu\text{g-at/l})$, 1968 年 1 月 7 日, No. 165

海流的一些时空分布特征。

本文着重分析汕头、香港、川岛及海南岛东南外海 4 个 NW-SE 向的断面分别在 1966—1968, 1967, 1968 及 1975 年间的观测资料(来源详见表 1)。

1. 汕头外海 1966 年 9 月—1968 年 9 月的 6 个水温断面如图 2a—f 所示。这些断面的位置及其站距基本固定不变。1968 年 1 月 7 日的密度 (σ_t) 断面如图 2g。图 2d 与图 2g 的比较表明在离岸较远的区域, 密度场与温度场的分布趋势几乎完全一致, 故可用温度场来代替密度场分析地转流的分布变化趋势。

图中横坐标上的箭矢表示根据温度分布所估算的、与断面正交的近表层流速分量的方向, 其中实心箭矢指出两站间近表层平均流速最大处, 即流(速)轴所在处。从图上可以看出, 在这两年期间, 汕头外 SE 向断面的较深水域, 流向均以指向 NE 为主, 尤其是这两年的冬季和初春季, 如 1967 年 3 月(图 2b) 及 1968 年 1 月(图 2d), NE 向流比其他时期更为明显。其中, 1968 年 1 月几乎整个水层 (0—350m) 都是 NE 向流。此时的流幅亦比夏季 (1966 及 1968 年 9 月, 图 2a, f) 为宽广, 中间并无 SW 向流出现。在其他时期, 不但水平方向上, 深、底层也有 SW 向流出现。1966 年 9 月, 150m 层以下的深水部分几乎全都是 SW 向流。但流轴位置比较稳定, 大都位于深度为 350m 左右的两个测站之间(即离岸方向上第 6—7, 7—8 站之间, 离岸距离约为 90—110 海里)。所以, 在这两年间汕头外断面的较深海域终年存在着 NE 向流, 冬季时逆风流动, 流势、流幅反而比其他季节为强大。

从图 2d—f 温度分布图中还可以看出, 严冬季节所出现的等温线, 自岸向外海下倾的分布趋势相当稳定, 除上层随气温的升高(从 1 月—5 月—9 月)层化日趋明显, 深、底层在接近陆坡处出现等温线向岸下倾现象外, 主温跃层 (14° — 20°C) 的分布趋势几乎不发生变化(当然, 下倾坡度趋于减弱)。所以, 1968 年 1 月上旬所观测到的较强、较宽的东北向流, 其空间尺度(宽度)约为 50 海里, 时间尺变也可达到或超过半年。

在这两年间, 深底层的 SW 向流幅以 1966 年 9 月(图 2a) 最为宽广, 除个别区域外, 150m 层以深几乎均是 SW 向流。1968 年 9 月(图 2f) 也有类似情况。这又表明, 传统概念认为夏季西南风季节, 南海北部从表到深底层都盛行 NE 向流, 这与事实不相符。所以, 在南海北部与基本流场相关联的下温跃层的走向与季风的关系有时不明显, 或者相反^[2]。上例即是夏季流场与西南季风相反的情况。当然, 1968 年 1 月的流场正是与东北季风相反的例子。所以, 这里位于深底层的基本流场与海面上空季节风的关系, 不象传统概念那样简单, 而是相当复杂的。

从图 2a—f 中还可以看出, 在南海北部的较深海域里, 上均匀层的厚度以 1 月为最深, 可达 150m 左右; 及至 3 月减至 100m 左右; 5 月层化已很明显, 均匀层仅约 20m; 9 月层化仍甚明显, 均匀层亦仅 20m 左右; 及至 10 月, 快速增深可达 50m 以上。上均匀层厚度的变化与季风强度密切相关, 同时也受到气温变化的一些影响。

2. 如将香港外 SE 向断面 1968 年 1 月 10—11 日的调查结果(见图 3) 与汕头外 SE 向断面 1968 年 1 月 7 日的调查结果(见图 2d) 作一比较, 可以看出, 两个断面的水温结构很相似。在香港外断面上, 大于 22°C 的上均匀层范围更为宽广(由 30 海里扩充到 50 海里), 深度亦可达 150m 左右。这个宽广深厚的均匀层, 即是副热带辐聚区, 东北向流即是

与此相应的流场。均匀层以下的等温线的位置及其自岸向海下倾的分布趋势亦与汕头外断面的相似。流轴也位于水深约为 300 余米的两站之间。所不同的,只是在香港外断面的流轴左侧出现 SW 向流,这与此处上均匀层的加深有关。所以,就这一时期这两个断面的情况而论,这支逆风的 NE 向流,在 W-E 方向上至少可延伸两个经度,即 200 余公里。

3. 类似的情况还可举出 1966 年 11—12 月香港及川岛外方 SE 向的两个温度断面(见图 4)。香港外断面是 11 月 24—25 日观测的,而川岛外断面的深水部分是 12 月 5—6 日观测的。两个断面相距约两个经度,即 200 余公里。在这两个断面上(除川岛外断面 350 m 以深部分外),等温线沿陆坡向上凸起形成穹形,而其右侧的等温线自 NW 向 SE 下倾的趋势十分相似。近表层均为大于 25°C 的均匀水。香港外断面除穹形左侧极小部分外,右侧的 NE 向流相当强。在这两个断面上,流轴均位于水深超过 450m 的两站之间。香港外断面的上均匀层最厚可达 80m;而川岛外断面的最厚则达 150m。这一差异主要是由于川岛外断面的深水部分是在香港外断面观测之后约 10 天

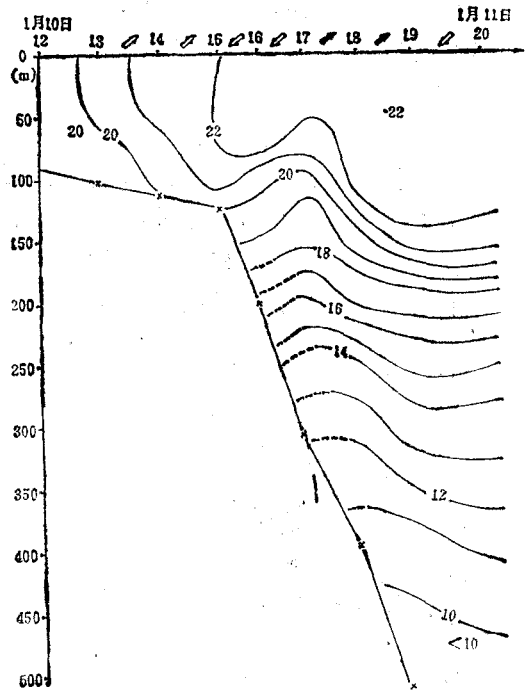


图 3 香港外 SE 向断面的温度 ($T^{\circ}\text{C}$) 分布
1968 年 1 月 10—11 日(“Cape St. Mary” 号观测,
根据 CSK 资料报告, No. 165)

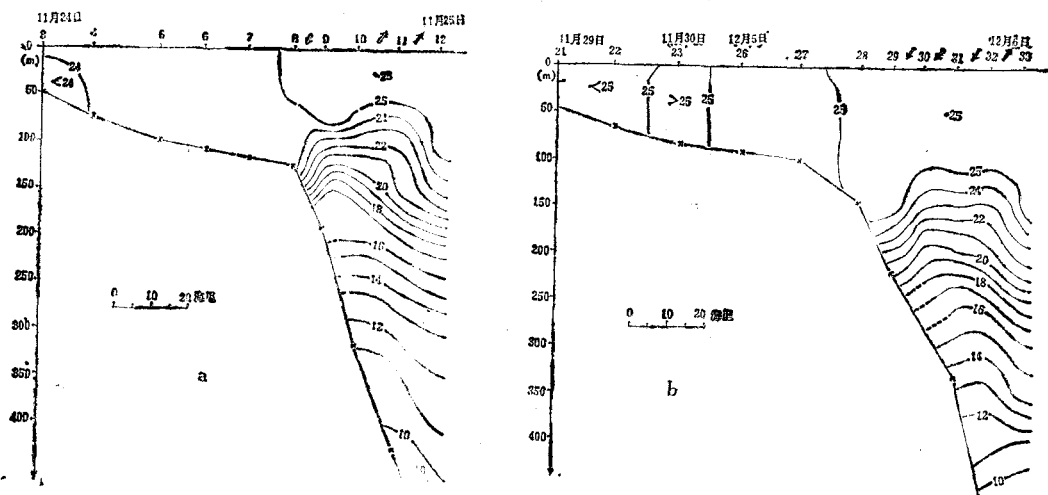


图 4 香港 (a) 及川岛 (b) 外 SE 向断面的温度 ($T^{\circ}\text{C}$) 分布
(“Cape St. Mary” 号观测, 根据 CSK 资料报告 No. 80)
a. 1966 年 11 月 24—25 日; b. 1966 年 11 月 29 日—12 月 6 日

观测的,当时东北风较强烈,气温也更低,以致垂向搅拌更剧之故。从两断面上同一条等温线位置的比较可知,在此期间内,等温线下沉约 60—70m。从这两个温度断面分布颇为相似这一特征可以认为,通过前后两断面的显然是同一个水体。所以,与温度分布相应的这支 NE 向流,其 E-W 向的空间尺度至少也有 200 余公里。

4. 关于海南岛东南外方水域的情况,正如作者所指出的^[2],在 1975 年 4 月—1976 年 12 月期间,这里断面中部的地转流场上几乎终年存在着自 SW 流向 NE 的海流,流速以秋季(10, 11 月)为最强,相隔 40 海里的两站间的最大流速可达 50—80cm/s。图 5 指出了海南岛 SE 向断面在 1975 年夏(7 月 21—22 日)、秋(11 月 14—15 日)和冬季(12 月 1—3 日)的温度分布。除近表层外,400m 以浅的等温线($\geq 10^{\circ}\text{C}$)以第 3 站为峰顶向左

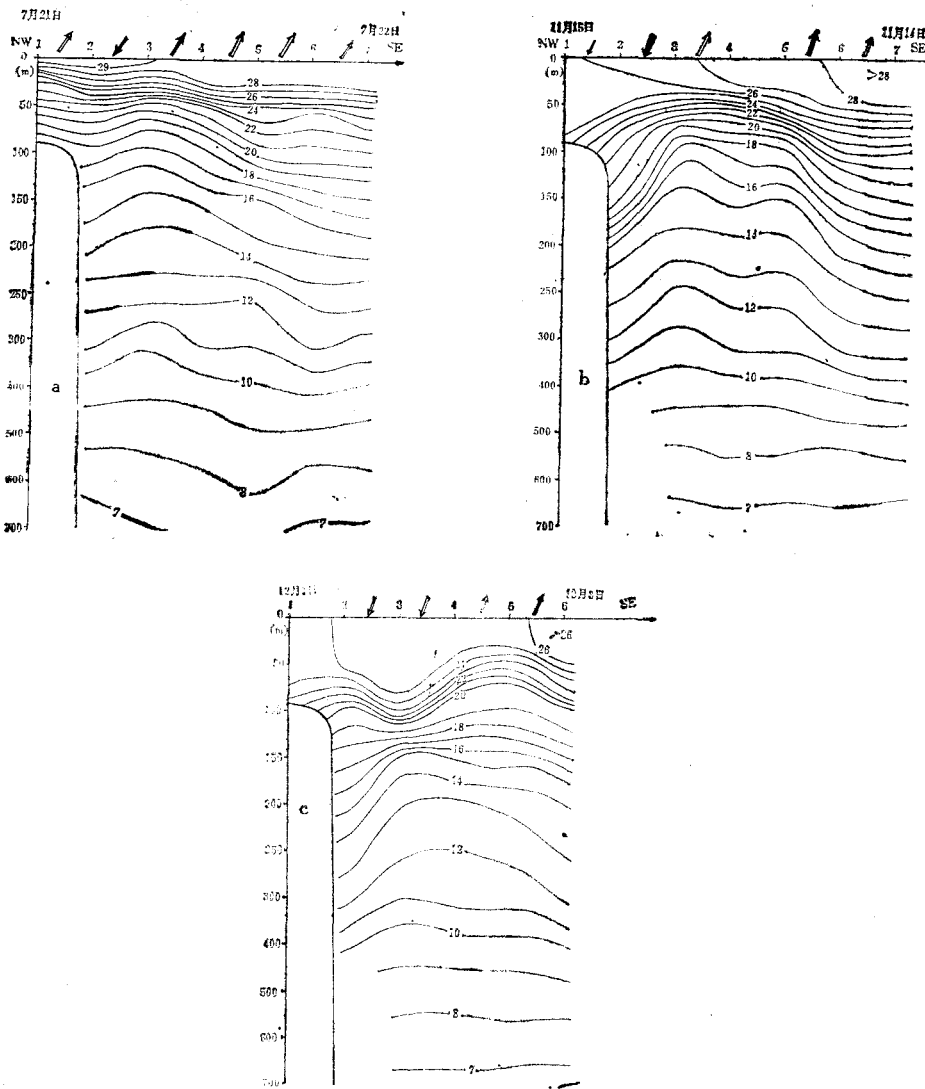


图 5 海南岛外 SE 向断面的温度 ($T^{\circ}\text{C}$) 分布(两站间矢量表示表层流向, 黑色粗矢量表示流速较强)

a. 1975 年 7 月 21—22 日; b. 1975 年 11 月 14—15 日; c. 1975 年 12 月 1—3 日

右两侧下倾的趋势非常明显,而且以基本上相同的坡度持续至少4个月以上。3站右侧主要为NE向流,断面上的流轴位于5—6站之间,流幅最宽可达 4×40 海里。3站左侧出现SW向流。在冬季,由于上均匀层加深(可达75m),近表层的SW向流向右侧可扩展到3—4站之间,但150m层以深仍然为NE向流,且流幅相当宽阔。所以,这一年下半年海南岛SE海域的海水温度结构以及与此相关的NE向流,是从夏季一直维持下来的,历秋至冬基本稳定。如以3站右侧 $10-15^\circ\text{C}$ 等温线的分布作为这支NE向流的代表,则在4个月内除了近表层因气温、风情变化所导致的扰动外,流况基本上没有变动。

5. 上述从汕头、香港、川岛以及海南岛外方SE向断面的温度分布中,亦即从地转流场中显现出来的冬季NE向逆风海流,以汕头外方为最稳定和强大;海南岛SE向断面上的也相当稳定。在这两个断面上,NE向流包括冬季在内的存在时间尺度,可达到4个月一半年以上。在其他断面上(如香港和川岛外方),其存在的时间尺度,由于没有足够的资料,尚难以判断。但有时流速也很强,例如,1966年11月24—25日及12月5—6日的观测结果就是这样^[1]。

关于这支NE向流的空间尺度,在1968年1月的观测中,前后连贯的四个断面均有

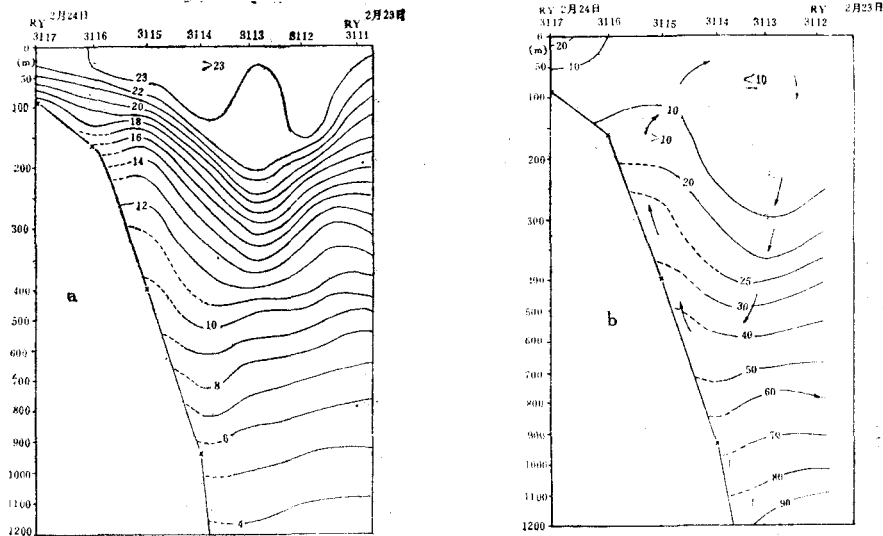


图6 汕尾碣石湾外ESE向断面的温度(a. $T^\circ\text{C}$)及硅酸盐(b. $\text{SiO}_3\text{-Si}, \mu\text{g-at/l}$)分布。
1967年2月23—24日(“Ryofu Maru”号观测,根据CSK资料报告No. 82)

$22^\circ-23^\circ\text{C}$ 的垂直均匀层,其左侧均为NE向流,故W-E向的空间尺度可达6个经度,即600—700km。在其他几次的观测中(如1966年11月—12月),W-E向的空间尺度至少可达2个经度,即200km左右。

6. 这样大范围而维持相当长时间的温度结构以及相应的NE向流,是一支斜压性很强的地转流。它所出现的等温线自右侧(SE)向左侧(NW)的上倾现象,是为了维持地转平衡(柯氏力与压力梯度力相等)的结果。当然,这种等温线的向左侧上倾现象,也与横流方向的垂直环流相适应,即左侧海水发生上升运动,右侧发生下降运动。这不仅从温度和密度(σ_t)分布中可以得到证明,从磷酸盐、硅酸盐的分布中可以看更为明显。

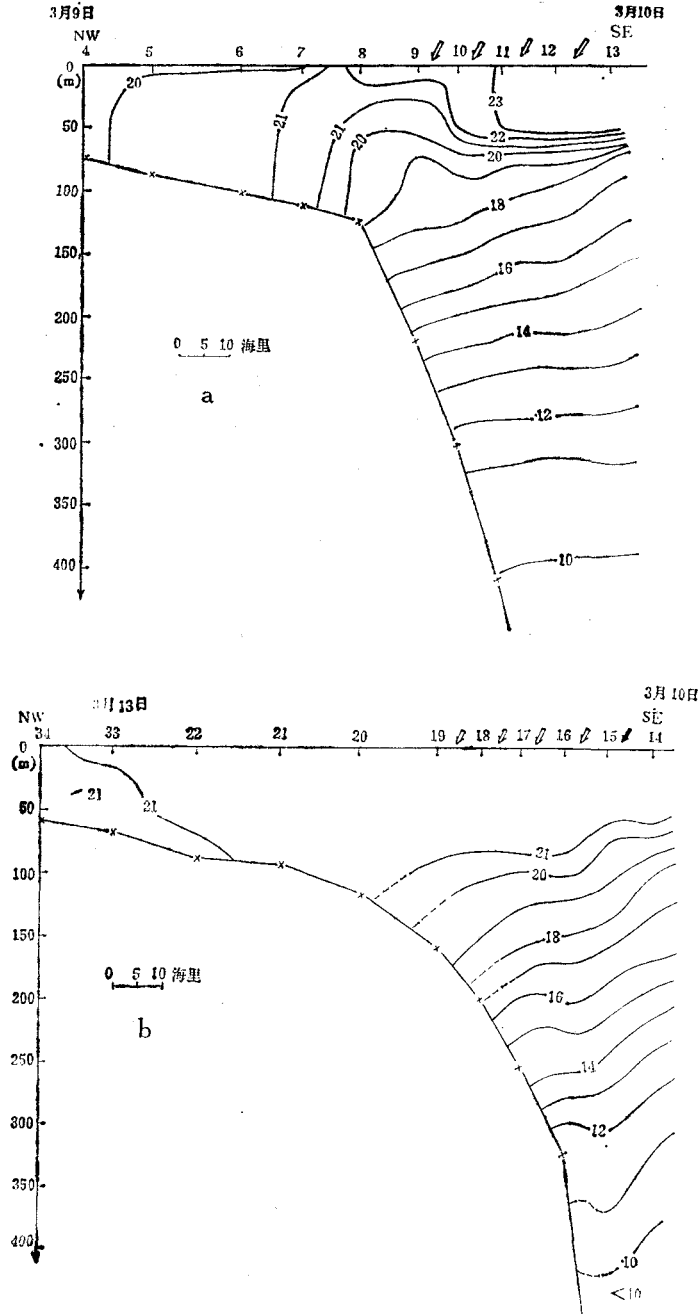


图7 香港和川岛外 SE 向断面的温度 ($T^{\circ}\text{C}$) 分布
(根据 CSK 资料报告, No. 92)

a. 香港, 1967年3月9—10日的观测; b. 川岛, 1967年3月10—13日的观测

图2g,h为汕头外 SE 向断面 1968年1月7日的 σ_t 及 $\text{PO}_4\text{-P}$ 分布,图 6a,b 为汕尾碣石湾外 ESE 向断面 1967年2月23—24日的 T 及 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 分布。可以看出,磷酸盐和硅酸盐的分布,都与温度和密度的分布趋势一致。营养盐类含量的分布均有沿陆坡—陆架

外缘向上减少的趋势,这表明深层水(密度较大)有沿陆坡—陆架外缘爬升之势;而在向海一侧,近表层为垂直均匀层,营养盐类含量自此向深层随着深度而增加,表明近表层水向下沉降,形成了如图中箭矢所示的垂直环流。

7. 上述诸断面的温度结构以及与其相应的海流分布,无论在水平或垂直方向上都十分错综复杂,NE 向流与 SW 向流的剪切也很大。就是在汕头外 SE 向的断面中,情况也是这样:在基本上前后连贯的两年(共 6 次)观测中,虽然,NE 向流比较稳定而强大,但变化仍相当大。下面再举出香港和川岛外 SE 向断面的情况,来揭示温度结构(从而海流分布)的剧烈变化。前述 1966 年 11—12 月的两个断面(图 4a, b)中,等温线的分布以自 NW 向 SE 下倾,从而海流以自 SW 流向 NE 为主要特征。但在 1967 年 3 月 9—13 日两个同样断面的观测中,却出现了几乎完全相反的温度结构以及相应的海流分布。自图 7a, b 可见,在 400m 层以浅的水体中,等温线的分布,可以说,完全以自 SE 向 NW 下倾为其主要特征,从而海流几乎完全自 NE 流向 SW。在相隔仅 3 个月之后,等温线几乎沿顺时针方向转了 90°。这种变动的动力原因值得深入研究。

南海北部陆架外缘—陆坡区域的温度结构以及海流分布的变化是很显著的。从而,这支冬季逆风海流,除了在南海东北部(即汕头外海域)比较稳定外,在其他区域不很稳定,有时可能变化很大,故在这点上又与吉田耕造所发现的副热带逆流颇为相似,即两者均可能是稳定性、持久性、连续性更差或竟是半永久性的一种流动^[3]。

今后应着重探索上述诸断面温度结构的形成及变异原因,这对阐明南海暖流的形成机制,将是必要和大有裨益的。

参 考 文 献

- [1] 管秉贤, 1978. 南海暖流——广东外海一支冬季逆风流动的海流。海洋与湖沼 9(2): 117—127。
- [2] 管秉贤, 1981. 南海北部冬季水温垂直结构的重要特征。海洋与湖沼 12(4): 311—320。
- [3] Yoshida, K. and T. Kidokoro, 1967. A Subtropical Countercurrent (II) A prediction of eastward flows at lower subtropical latitudes. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 23 (5): 231—246.
- [4] Бреховских, А. Л., Ю. Л. Демин и Т. В. Шаханова, 1983. Климатическая Структура Уровня и Поверхностных Градиентных Течений Мирового Океана в Летний и Зимний Сезоны. *Океанология* 23 (2): 217—222.

SOME FEATURES OF THE TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTIONS OF THE "COUNTER-WIND" CURRENT IN NORTHERN SOUTH CHINA SEA IN WINTER*

Guan Bingxian

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao*)

ABSTRACT

Results of field experiments in the South China Sea (SCS) Warm Current region during Feb.-Mar., 1982 showed that a baroclinic (or density) current is the main component of winter current field in the deep water of the northeastern SCS. Based on this result the sectional temperature data collected in 1966—1968 and 1975 in the northern SCS are reanalysed to study the temporal-spatial features of the distribution of the winter "counter-wind" current which flows toward NE in close relation to the temperature field. The main results are as follows

(1) The current off Shantou was stabler and stronger than those on other sections. The current SE off Hainan Island flowed stably, too. On these two sections, the thermal structure and the corresponding NE-ward current may exist for 4—6 months or more, i.e., they may remain basically stable from summer through winter.

(2) The observation in January 1968 showed that a vertically homogeneous layer of 22—23°C water appeared on sections from ca. 111° to 117°E, and the axis of the NE-ward flowing current existed to its left. Therefore, the length of the current in the W-E direction may reach at least 6° longitudes.

(3) Thermal structure with such a large horizontal scale and of so long a duration means that the corresponding NE-ward current may be geostrophic and of strong baroclinity. The isotherms sloped upward along the continental slope and shelf-break to achieve the geostrophic balance. Sectional distributions of σ_t , PO_4-P and SiO_3-Si are used to verify the vertical circulation in the cross-current section.

(4) The thermal structure and corresponding current patterns on these sections are rather complicated both horizontally and vertically. The shear between the NE-flowing and SW-flowing currents is great. Outside the part in the northeastern SCS, the winter "counter-wind" current is not stable and probably very variable. As a whole, in this respect, this current is very similar to the Subtropical Counter-Current (Yoshida and Kidokoro, 1967): less stable, discontinuous or even transient.

* Contribution No. 1242 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.