

南海暖流

——广东外海一支冬季逆风流动的海流*

管秉贤

(中国科学院海洋研究所)

关于南海(包括 18°N 以北的南海北部)表面流及环流系统,国内外已有许多研究。例如,自五十年代以来,Dale (1956)曾对南海的漂流进行了广泛的研究,并提出了逐月表面海流图^[2]。Wyrki (1957)也对东南亚海域的表面环流作过全面的分析,还绘出了隔月的表面海流图^[48]。其后,Wyrki (1961)又在他著称的 Naga 报告中,进一步对这一海域的表面环流和环流的动力学作了比较深入的研究^[49]。近年来,Kwan Ming Chan (1970)^[7],Williamson (1970)^[17],Watts (1971a, 1971b, 1973)^[14-16]等引用六十年代及七十年代初期的调查资料,Uda 和 Nakao (1974)还引用了四十年代初期的历史资料^[31],分别对南海北部以及整个南海的水文特征和海流结构,及其季节变化进行了分析研究。国内有关单位也在这方面做了一些工作。

他们大都以船舶定位资料和漂流瓶资料为依据,主要从盛行季风对这一海区的直接吹刮作用来研究海流的分布和变化,也就是说,只着重考虑了 Ekman 漂流。当然,Wyrki (1961)也曾根据假设的海面风应力分布,探讨了整个南海区域由此所引起的斜压性水平环流^[49]。但是,上述工作所得出的结论,都缺少海流(特别是表层以下的深层流)、海水质量分布和风场等实测资料来加以验证。

从现有的文献来看,以往的研究结果都认为,就南海北部而论,无论是表层流或环流,其流向都与盛行季风的方向趋于一致:即在东北季风盛行期,南海北部的海水自东北流向西南;而在西南季风盛行期,则自西南流向东北。除局部小区域的沿岸逆流外,并无逆风流动的流系出现。

本文引用黑潮合作调查(CSK)中,香港渔业研究站“Cape St. Mary”号从1966年开始在 18°N 以北海区四个断面(汕头、香港、川岛及七洲列岛外东南向)上所得的温、盐度和动力高度资料(见CSK资料报告, Nos. 80, 92, 138, 165, 203及205等),通过温度分布结构的分析和动力计算,却得出了与上述不同的结论。作者认为,在东北季风盛行期,南海北部的海水并不是全自东北流向西南,而是:在这些断面上,特别是在其南半部的较深海域上,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。

上述CSK资料的特点是,断面布站甚密,两站相距最短的仅7海里,最长的亦仅18海里,一般为10海里左右。两站观测时间大都只相隔2小时左右。所以,通过这些资料的

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第421号;本文承曾呈奎教授热情鼓励与支持,毛汉礼教授殷切指导,赫崇本教授审阅全文并提出宝贵意见,方国洪同志帮助提供有关资料,刘秉玉、范继铨同志绘图,谨此致谢。

分析,有可能看出海水质量场以及海流动力结构较为细致和近乎同步的面貌。

这支海流以终年自西南流向东北为其特征,而在西南风盛行季节,这是众所公认的事实,无甚争议,因此本文将着重阐述冬季东北风盛行期(11—12, 1—2月)的情况。

南海北部的盐度,除河口附近区域外,分布较为均匀,故密度(σ_t)与温度分布趋于一致(比较图1中的a与c)。因而,可以根据 Fuglister (1954) 所阐明的关于“主要海流的位置与200米层(或其它邻近层次)上显著的温度水平梯度的位置相一致”的原理,来确定海流的途径并判明其流向^[3]。这一原理已得到了广泛的应用和进一步的证实(例如,见

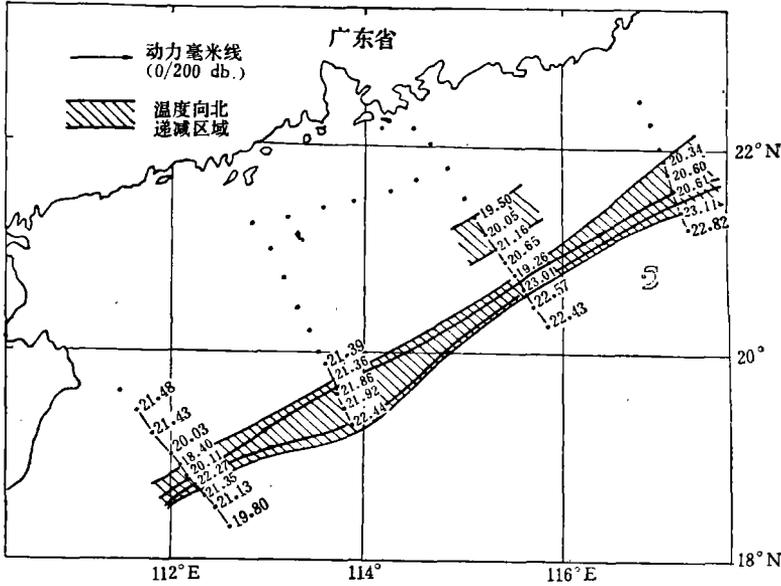


图1a 南海北部100米层温度(°C)分布,1968年1月6—14日。
附注:图1a左下格四条动力毫米线与温度递减区域相交处,漏排“760”和“780”两行数字。

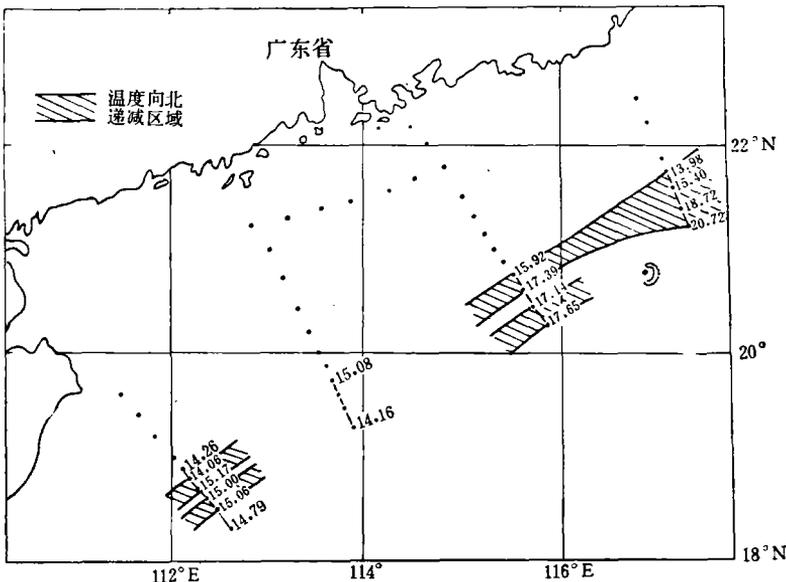


图1b 南海北部200米层温度(°C)分布,1968年1月6—14日。

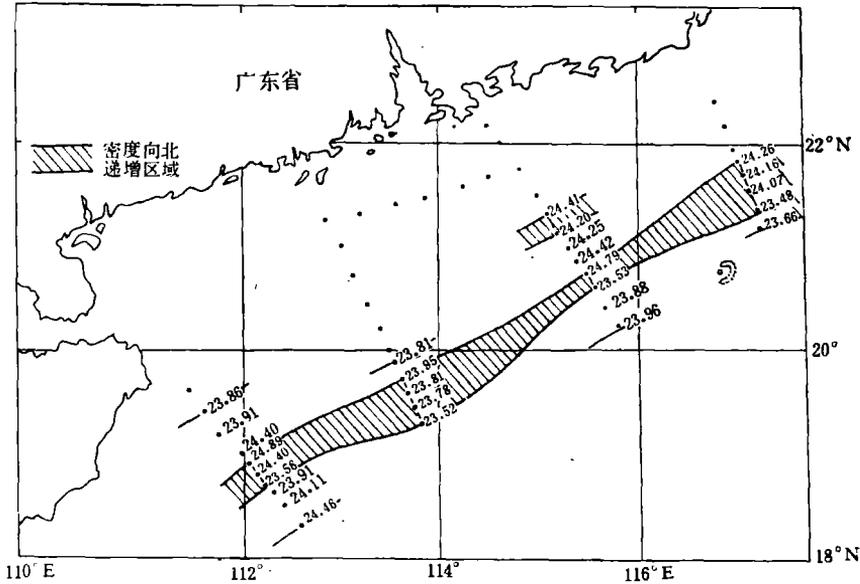


图 1c 南海北部 100 米层密度 (σ_t) 分布, 1968 年 1 月 6—14 日

Schroeder, 1965; 管秉贤, 1964)^{[1], [1]}。

图 1a 为 1968 年 1 月 6—14 日 100 米层的温度分布, 阴影区域表示水温向北递减, 即负梯度带。图上的一个显著的特点, 即温度负梯度带大致沿着 200、300 米等深线的走向, 自西南向东北延伸。除川岛断面外, 梯度都很强, 有的在相隔仅 7—8 海里的两站间, 温度向北剧减竟达 2—3℃ 或以上。而在负梯度带的两侧, 则为水温向北递增的区域。200 米层的水温分布也显示了类似的特点(图 1b)。

在相应的温度断面图上, 上述负梯度带内的等温线, 自东南向西北上倾, 坡度较陡。这在汕头外断面上显得更为突出(见图 2)。

南海北部冬季在 100—200 米层上所显示出来的这一温度负梯度带, 它与北太平洋西部北回归线附近相同层次上所出现的次表层热锋, 即所谓的“付热带辐聚”(Uda 和 Hasunuma, 1969)^[12], 具有同样的热结构。

从温度的平面及断面分布图上显示出来的这些特点, 有力地表明, 在上述温度负梯度带内, 水层西北侧是冷水, 东南侧是暖水, 所以这里的海面自西北向东南上倾, 海

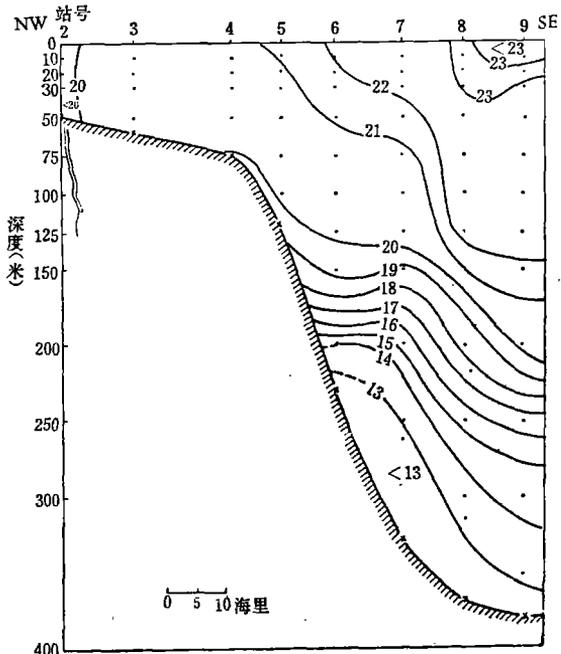


图 2 汕头外断面的温度 (°C) 分布, 1968 年 1 月 7 日

水应自西南流向东北。这与海面相对于 200 分巴面的动力高度分布(见图 1a)也是一致的,760—780 动力毫米线,即是连续地自西南指向东北的。这几条曲线十分近似地绘出了 1968 年 1 月东北风鼎盛期这支东北向流的途径。

根据这次观测中汕头和七洲列岛外断面的温、盐度资料算得的地转流速(厘米/秒)分布见图 3a, b。流速正值表示与断面正交的分量自西南流向东北。这里的流速值系相邻两站之间,以两站共有的最深观测层次为零面的各层平均流速。这种计算方法,近年来不少学者都曾采用过。例如: Jeffrey (1971)^[6], Reid 和 Nowlin (1971)^[10] 以及 Gorden (1975)^[4]等。本文采用此法,是由于上述断面的地形较陡,观测资料又大都未能达到海底之故。计算结果表明,此法还是可取的。因由此得出的流速分量,其方向及量值都与前述定性分析结果相符,即凡是等温线急剧下倾之处,流速的东北分量就大,断面上流速最大处与 100 或 200 米层上最强的温度负梯度带两者的位置亦相一致。当然,此法得出的流速值是比较粗略的。

从图中可以看出,这两个断面上的东北向流速都很强。例如,在汕头外断面上,第 7—8 站之间,以 250 米层为零面的各层流速,表层最大的可达 123 厘米/秒(~2.4 节)左右。在七洲列岛外断面上,第 24—25 站之间,以 250 米层为零面的各层流速,表层最大的可达 95 厘米/秒(~1.8 节)左右。同时,随着深度的增加,流速递减,但很缓慢,这表明整个水层的流速分布是比较均匀的。

香港和川岛外断面东北风盛行期的东北向流速也很强。例如,根据 1966 年 11 月 24 日—12 月 7 日的观测资料得出的计算结果表明,这时这两个断面上最大的东北向流速,比前述几个断面(1968 年 1 月观测)上的还要强。

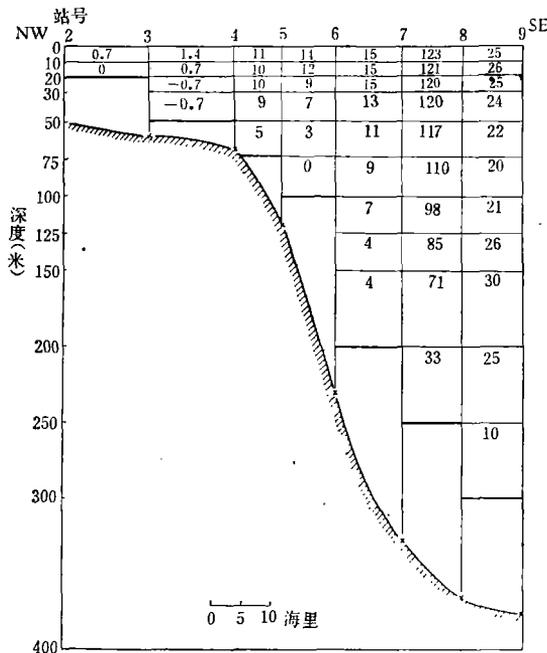


图 3a 汕头外断面地转流速(厘米/秒)分布, 1968 年 1 月 7 日
(流速正值表示自 SW 流向 NE, 粗线为流速计算零面)

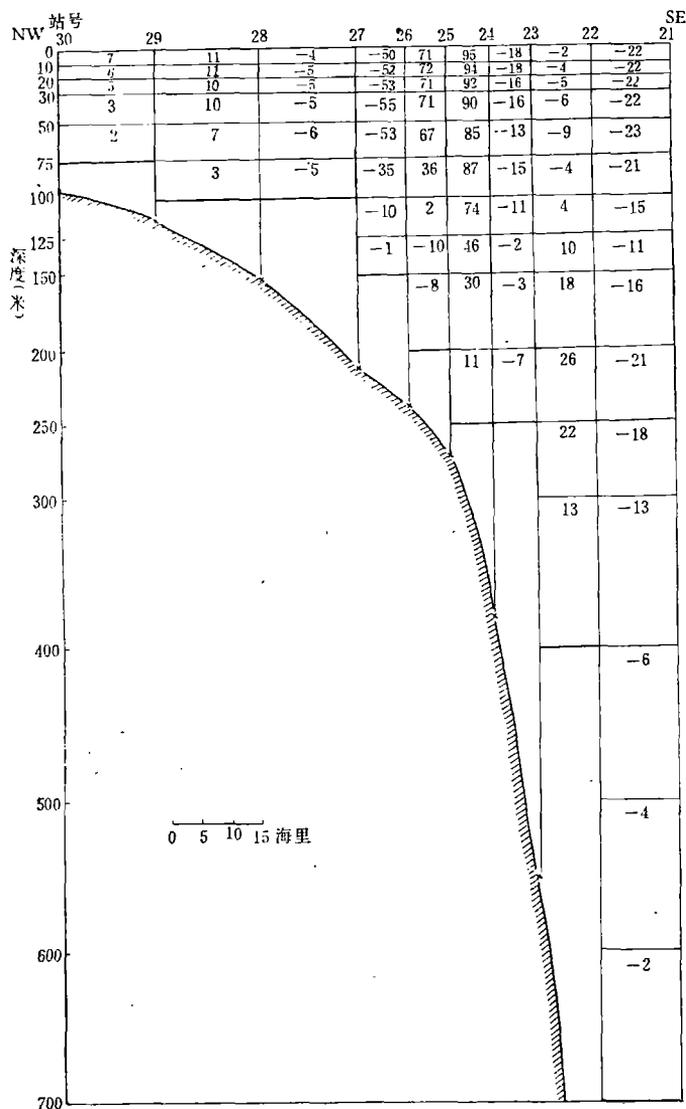


图 3b 七洲列岛外断面地转流速(厘米/秒)分布, 1968 年 1 月 12 日

南海北部几个断面上 10 米层的地转流速分布分别见图 4a, b。前图四个断面系 1968 年 1 月观测, 后图二个断面(其他二个未测)系 1966 年 11—12 月观测。这些都是东北风鼎盛期的观测结果。从图上可以看出, 逆风流动的这支海流, 其流轴(流速较强部分)位置偏于断面的南半部, 大致沿着 200—300—400 米等深浅, 指向东北方。这一位置正是 100、200 米层上温度负梯度带最强, 同时也正是海面相对于 200 分巴面的等动力高度线密集通过之处。计算结果还表明, 在垂直方向上流向几乎完全一致, 随着深度的增加, 流速递减亦缓慢。所以, 可以认为, 图 4 代表了海面以下到 50 米层(断面北侧)或 100—200 米层(断面南侧)内地转流速分布的概况。1966 年 11—12 月近表层最大流速(相对于 400 米层)竟可达到 170 厘米/秒(~3.3 节)左右。

南海北部, 冬季在这里存在着这样强大的逆风流动的东北向流, 这是从 CSK 资料中

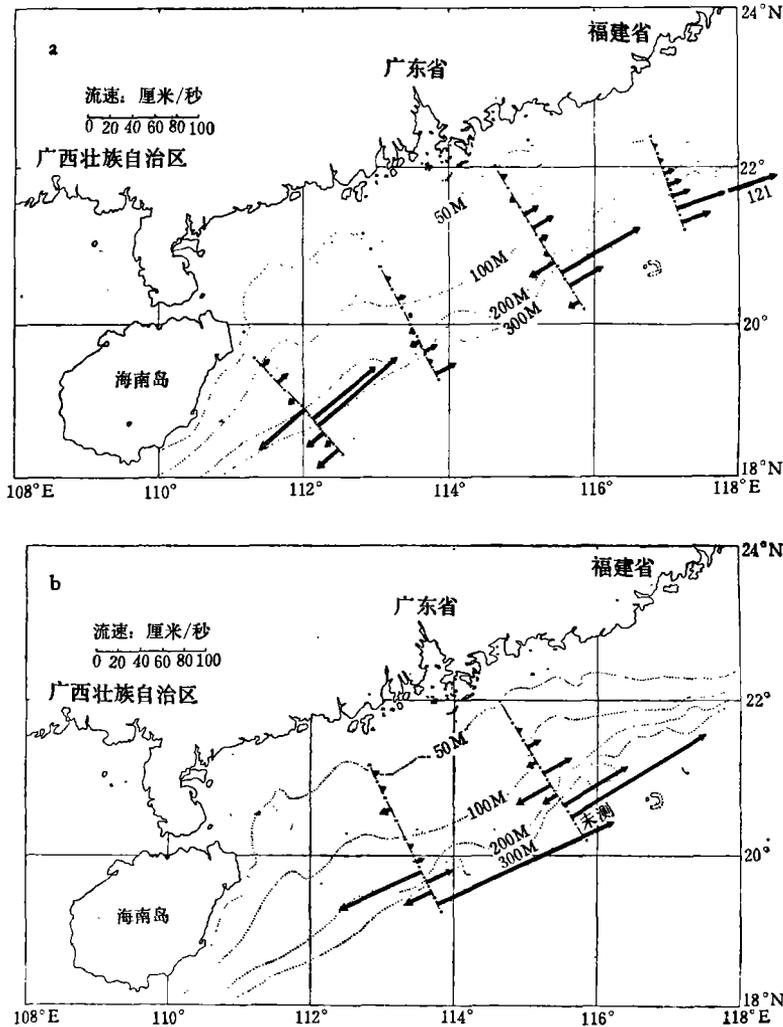


图4 南海北部10米层地转流速分布(以两站间共有的最深观测层次为零面)

a. 1968年1月6—14日; b. 1966年11月24—25日—12月5—6日(其他两个断面未测)

首次发现的。本文将这一东北向流系(包括主轴及其侧翼)称之为“南海暖流”。

从图中还可以看出,这支东北向流呈带状分布,在它中间介以西南向流,东北向流的带状区域比西南向流的大,流速也强得多。前后各断面的带状区域以近乎连贯的势态自西南向东北分布着。例如,就 116°E 以西海区而言,除了西南向的沿岸流以外,东北向流(南海暖流的侧翼)—西南向流—东北向流(南海暖流的主轴)依次沿着等深线相间地分布的趋势,相当明显。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系的一个重要组成部分,而不是局部性涡旋形成的逆流。作者还认为,粤东近海的东北向流对冬季台湾海峡的流况也有较大的影响,对此,将另文报道。

所以,南海北部冬季的海流分布是比较复杂的,远远不象常见海流分布图上所表示的那样简单,为一派西南向流[参见: Dale (1956)^[2], Wyrki (1957, 1961)^[18,19], LaFond

(1966)^[8], Williamson (1970)^[17], Министерство Оборны СССР, Военно-Морской Флот (1974)^[23]等等], 其间存在着狭窄而较强的东北向流。当然, 由于受强劲的东北风所引起的漂流的影响, 在近表层, 这种东北向流也可能暂时被掩盖, 但在表层以下, 它仍是很明显的。不仅如此, 在东北风减弱的间隙期间, 它还将显现在表层。

上述诸断面的温、盐度资料, 由于布站很密, 可以认为, 初步揭示了这支东北向流的比较细致的动力结构。但断面较短(最长的仅 120 余海里), 尚难窥见这支海流的全貌。为此, 本文又引用日本气象厅凌风丸“Ryofu Maru”1967 年 2 月观测的断面资料(见 CSK 资料报告 No.82) 进行分析比较。这断面位于汕尾碣石湾外 ESE 方向, 在 120°E 以西部分共长 280 余海里, 其西半部介于前述香港和汕头外断面之间。

图 5a, b 分别为这一断面的温度和地转流速分布。在 400 米层以上, 以 22—12°C 等温线为标志的强陡温跃层, 自东南向西北上倾, 在近表层, 上倾的等温线甚至可延伸到海岸附近。相应地, 这里将出现较强的东北向流。相距为 40 余海里的两站间的平均流速(以 800 米层为零面)可达 30 余厘米/秒左右。所以, 在 1967 年东北风劲吹的冬季, 115°E 以东海区也确实存在着东北向流。当然, 这里的海流也深受从巴士海峡进入南海的黑潮

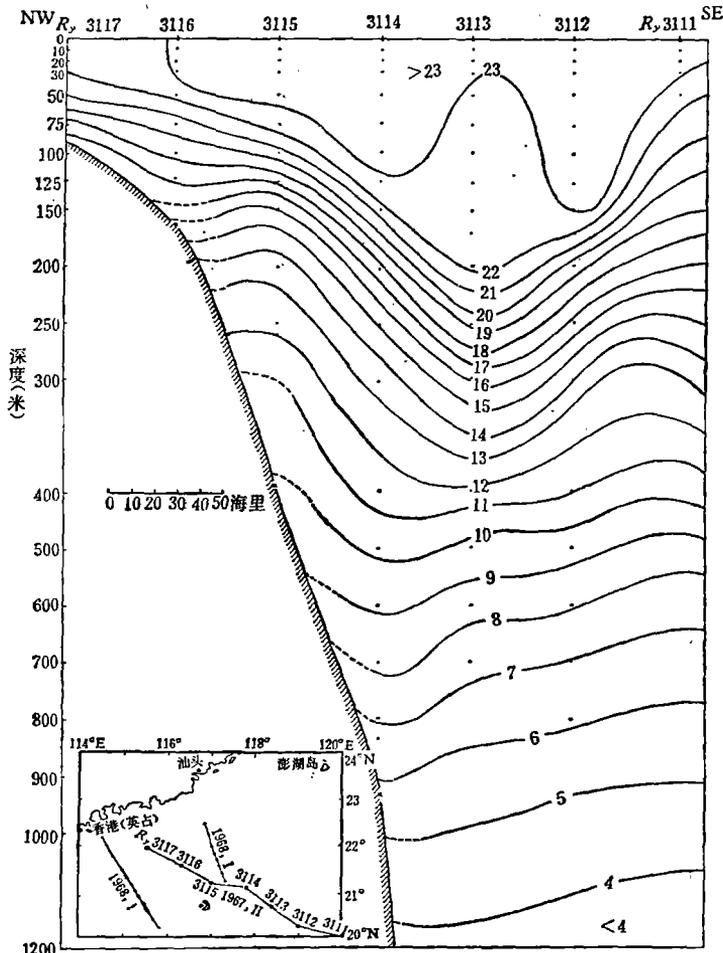


图 5a 汕尾碣石湾外断面的温度(°C)分布, 1967 年 2 月 23—24 日

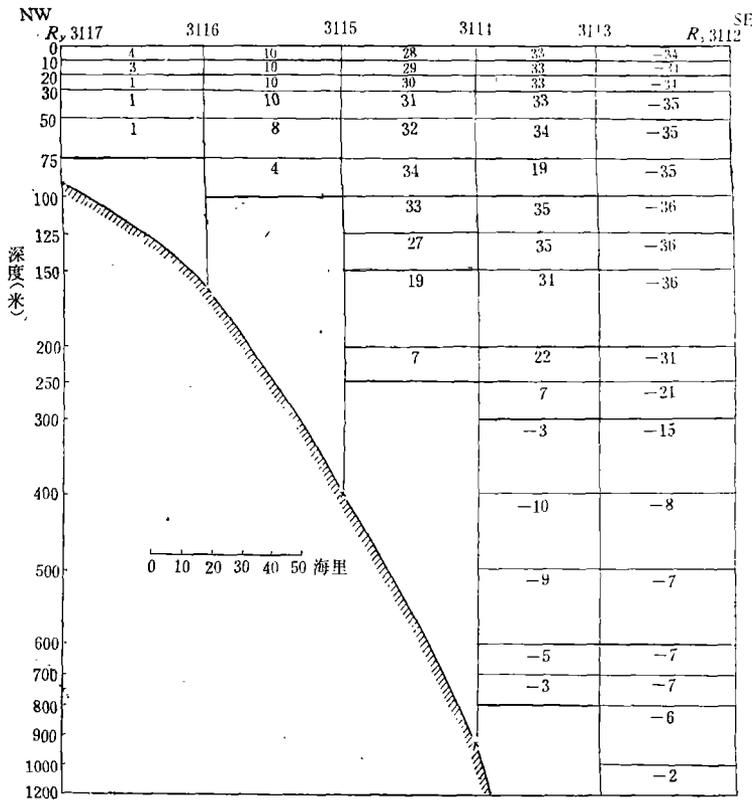


图 5b 汕尾碣石湾外断面的地转流速(厘米/秒)分布, 1967 年 2 月 23—24 日
(流速正值表示自 SW 流向 NE, 粗线为流速计算零面)。

附注: 表中第 4 行, 第 6 格中的“19”, 应改为 34 (抄误)。

的影响。但联系前述四个断面上所存在的东北向流来看, 这断面西半部的东北流, 显然是南海北部本身海水的流动。

从上图来看, 这支东北向流的宽度约 120—150 海里, 流速较强(大于 30 厘米/秒)的轴心部分, 约宽 80—85 海里, 厚度约 300 米, 流速在垂直方向上的变化颇缓。东北向输送量(相对于两站之间的共有的最深观测层次)约为 10×10^6 米³/秒。“凌风丸”同期在台湾以东 23°N 断面上的观测结果指出, 黑潮相对于 1200 分巴面的北向输送量约为 29×10^6 米³/秒(Nitani, 1972)^[9]。所以, 这支海流的输送量达到了同期黑潮输送量的三分之一或以上。

综上所述, 从 1966 年(11—12 月)、1967 年(2 月)和 1968 年(1 月)这三年的资料来看, 南海北部在东北风鼎盛的冬季, 不仅都存在着逆风流动的东北向流, 而且它的流速和输送量还是相当强大的。

南海暖流, 无论就其地理位置、水文特征、流速结构和显著出现的季节等方面而言, 都与日本学者吉田和城所(Yoshida and Kidokoro, 1967)^[20], 宇田和莲沼(Uda and Hasunuma, 1969)^[21]约在 10 年前所发现的北太平洋付热带逆流有着很相似之处。这一东向的付热带逆流, 主要出现在 20—25°N 范围内, 它向西一直可追溯到 122°E 附近。付热带逆流和南海暖流这两者, 除了均位于北回归线附近和以冬、春季为最显著外, 其他的相似性还表现

在以下几方面:

(1) 付热带逆流与该海区的次表层热锋相关联。这一热锋位于 $20-22^{\circ}\text{N}$ 附近,那里,主跃层自南向北上倾,即为东向流的标志,其两侧伴以西向流 (Uda and Hasunuma, 1969)^[12]。

冬季,南海暖流与该海区内较强陡的温跃层相关联。这一跃层以 $19-22^{\circ}\text{N}$ 附近为最显著。那里,跃层自东南向西北上倾,亦为东北向流的标志。两侧亦伴以西南向流。所不同的,只是南海北部地形较浅,这一温跃层(从而这支海流)的走向,沿着等深线自西南偏向东北而已。

(2) 付热带逆流的途径与 100 米层上的 $21-24^{\circ}\text{C}$ 等温线相一致。通过这一热锋时,水温向北递减很快 (Uda and Hasunuma, 1969)^[12]。

冬季,南海暖流的途径,也与 100 米层上的 $19-23^{\circ}\text{C}$ 等温线相一致。通过这一区域时,水温向北递减,而且锐减更速。

(3) 付热带逆流的宽度、厚度分别约为 100 海里和 300 米,流速约 0.2—1.3 节,平均为 0.5 节 (Uda and Hasunuma, 1969)^[12]。

冬季,南海暖流流速较强部分的宽度、厚度也分别为 80—85 海里和 300 米左右,其流速和输送量比付热带逆流为强大。例如,付热带逆流的输送量仅为黑潮的十分之一或二,而南海暖流的输送量竟可达到黑潮的三分之一左右。

吉田认为,与反气旋式风应力涡度子午向分布中的“槽”相应的付热带东向逆流可能不是一种局部和孤立的现象,而是一种全球性的气候式现象。他还认为,从理论上讲,付热带逆流可能穿过整个大洋,这不仅是在北太平洋,南太平洋,大西洋和印度洋也一样。他更期待能发现某些过去未曾知道的海流 (Yoshida and Kidokoro, 1967; Yoshida, 1970)^[20,21]。随着最近十年来海洋调查研究的广泛开展,他的这种预见,逐渐得到了证实。付热带逆流可能是大洋环流所具有的最基本的特征中的一种表现 (Yoshida, 1977)^[22]。因此,联系南海暖流和付热带逆流所共同具有的上述特点来看,南海暖流可以定性地认为是“南海中的付热带逆流”。

莲沼和吉田还于 1974 年 2—3 月在西北太平洋进行了付热带逆流的现场实验,证实了在下述两处存在着十分明确的东向流,其一在我国台湾省以东的 $22-23^{\circ}\text{N}$ 处,另一在菲律宾以东的 $17-18^{\circ}\text{N}$ 处 (见 Yoshida, 1977)^[22]。两者都是出现在黑潮以东区域的东向流。有特殊意义的是,本文所发现的冬季逆风流动的南海暖流,却位于黑潮以西的 $18-22^{\circ}\text{N}$ 附近海区。付热带逆流的发现改变了人们过去对北太平洋付热带大环流结构的认识。而黑潮东西两侧存在着付热带东向逆流的事实,又使黑潮源地区的流速分布结构显得更为复杂。这种付热带逆流与黑潮起源部分两者之间的关系如何,实是大洋环流理论研究中急待阐明的一个相当重要的课题。

还有,正如吉田和城所所指出的,由于付热带“槽”的稳定性较差,付热带逆流也可能是稳定性、持久性、连续性更差或竟是半永久性的一种流动^[20]。从而,具有付热带逆流特性的南海暖流,也将赋有类似的性质。亦即,南海暖流各年冬、春季的流况,可能不尽相同,而有显著的季节和年际变异。本文建议,今后除了在南海北部较低纬度处 ($18-22^{\circ}\text{N}$) 继续开展海流观测,以取得新的更多的实测流速资料外,还应在相应海区进行系统性的水文

观测, 积累较长期的资料, 并结合北太平洋上的海面风应力资料^[5], 以便对这支海流的动力结构、生成机制及其变异等问题, 开展进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 管秉贤, 1964. 黑潮流速流量的分布、变化及其与地形关系的初步分析。海洋与湖沼 6 (3): 229—251。
- [2] Dale, W. L., 1956. Wind and drift currents in the South China Sea. *The Malayan Journal of Tropical Geography*, 8: 1—31.
- [3] Fuglister, F. C., 1954. Average temperature and salinity at a depth of 200 meters in the North Atlantic. *Tellus* 6(1): 46—58.
- [4] Gordon, A. E., 1975. Antarctic oceanographic section along 170° E. *Deep-Sea Res.* 22(6): 357—377.
- [5] Hidaka, K., 1958. Computation of the wind-stresses over the oceans. *Rec. Oceanogr. Wks. Japan* 4(2): 77—123.
- [6] Jeffrey, E. C., 1971. Velocity structure and flux of the Antarctic Circumpolar Current south of Australia. *Jour. Geophys. Res.* 76(24): 5859—5864.
- [7] Kwan Ming Chan, 1970. The seasonal variation of hydrographical properties in the northern South China Sea. In “The Kuroshio—A symposium on the Japan Current” pp. 143—162.
- [8] LaFond, E. C., 1966. South China Sea. *Encyclopedia of Oceanography*. Reinhold Pub. Corp. pp. 829—836.
- [9] Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio. In “Kuroshio—its physical aspects” pp. 129—163.
- [10] Reid, J. L. and Jr. W. D. Nowlin, 1971. Transport of water through the Drake Passage. *Deep-Sea Res.* 18(1): 51—64.
- [11] Schroeder, E. H., 1965. Average monthly temperatures in the North Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.* 12(3): 323—343.
- [12] Uda, M., and K. Hasunuma, 1969. The eastward Subtropical Countercurrent in the western North Pacific Ocean. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan* 25(4): 201—210.
- [13] Uda, M., and T. Nakao, 1974. Water masses and currents in the South China Sea and their seasonal changes. In “The Kuroshio III”, Proc. IIIrd CSK Symp., Bangkok, Thailand, 1972. pp. 161—188.
- [14] Watts, J. C. D., 1971a, A general review of the oceanography of the norther sector of the South China Sea. *Hong Kong Fisheries Bulletin* 2: 41—50.
- [15] Watts, J. C. D., 1971b. The hydrology of the continental shelf area south of Hong Kong. I. Oceanographic observations. for the year 1969. *Hong Kong Fisheries Bulletin* 2: 51—57.
- [16] Watts, J. C. D., 1973. Hydrography of the continental shelf area off Hong Kong. II. Observations for the year 1970. *Hong Kong Fisheries Bulletin* 3: 37—46.
- [17] Williamson, G. R., 1970. Hydrography and weather of the Hong Kong fishing ground. *Hong Kong Fisheries Bulletin* 1: 43—49.
- [18] Wyrki, K., 1957. Die Zirkulation an der Oberfläche der Südostasiatischen Gewässer. *Deut. Hydrogr. Zeitschrift* 10(1): 1—31.
- [19] Wyrki, K., 1961. Scientific results of marine investigation of the South China Sea and the Gulf of Thailand, 1959—1961. *Naga Report*, 2: 195.
- [20] Yoshida, K. and T. Kidokoro, 1967. A Subtropical Countercurrent (II) A prediction of eastward flows at lower subtropical latitudes. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan* 23(5): 231—246.
- [21] Yoshida, K., 1970. Subtropical Countercurrents: Band Structures revealed from C S K Data, In “The Kuroshio—A symposium on the Japan Current”, pp. 197—204.
- [22] Yoshida, K., 1977. Physical Oceanography in Japan—Some topics on the activities during the last ten to twenty years—Science Council of Japan, Recent Progress of National Sciences in Japan. 2: 73—82.
- [23] Министерство Обороны СССР, Военно-Морской Флот, 1974. Атлас Океанов, Тихий океан. Фиг. 205.

THE WARM CURRENT IN THE SOUTH CHINA SEA— A CURRENT FLOWING AGAINST THE WIND IN WINTER IN THE OPEN SEA OFF GUANGDONG PROVINCE*

Kwan Ping-hsien

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

All the literatures up to date dealing with the surface current system and circulation in the northern sector of the South China Sea indicated without exception that the directions of the currents or the flow patterns in winter followed those of the prevailing NE monsoon.

Through an analytical study of the CSK data obtained by R/V "Cape St. Mary" of the Fisheries Research Station, Hong Kong and "Ryofu Maru" of the Meteorological Agency, Japan during the winter periods for the years 1966—1968, a narrow, strong and band-like northeastward current was discovered on the geostrophic-current field to the south of the Tropic of the Cancer, ca. 19—22°N. It is known as the Warm Current in the South China Sea, or briefly the Nan Hai Warm Current.

It was associated with a strong thermal front, characterized by 19—23°C isotherms at 100—200 m, and extending approximately along the 200—300 m. isobaths. Across this front, the temperature decreased northward rapidly, so that a northeastward current, flanked by southwestward currents on either sides, is expected to exist along this front.

Through the comparisons of the geographic locations, hydrographic characteristics and current structures between the Nan Hai Warm Current occurred to the west of the Kuroshio and the Subtropical Countercurrent occurred to the east of the Kuroshio, a close similarity between them is evidently displayed, and the Nan Hai Warm Current may be considered qualitatively as "the Subtropical Countercurrent in the South China Sea".

* Contribution No. 421 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.