

南海北部冬季水温垂直结构的重要特征*

管秉贤

(中国科学院海洋研究所)

在论证广东外海冬季存在着一支逆风流动的海流——“南海暖流”时,我们曾经指出:南海北部在北回归线附近,冬季在100—200米层上出现了一个温度负梯度带,它与北太平洋西部相同纬度和层次上所出现的次表层热锋——“副热带辐聚”,具有同样的热结构。并指出,正如次表层热锋与副热带逆流的关系一样,这种负梯度带的存在与南海暖流也是密不可分的^[1]。

最近,在探索南海暖流的结构和机制问题时,我们发现,除了温度水平结构的上述重要特征之外,这一海区冬季的水温垂直结构也存在着值得重视的特征。同时,这种分布特征又与南海暖流的存在紧密相关。

本文引用了前文^[1]中曾引用过的CSK(黑潮及邻近海域的合作调查)资料和国家海洋局提供的部分资料,着重对汕尾、广州、海南岛东南方的若干断面的温度垂直结构作一扼要的分析,并对与南海暖流有联系的一些问题进行简略的探讨。由于在南海北部,除河口区域外,密度场主要取决于温度场,因而,和前文一样,本文根据温度场分析得出的结果,是适用于地转流场的。我们认为,这方面的分析探讨,对阐明南海北部冬季的水温分布结构,以及进一步探索南海暖流的成因,都是有意义的。

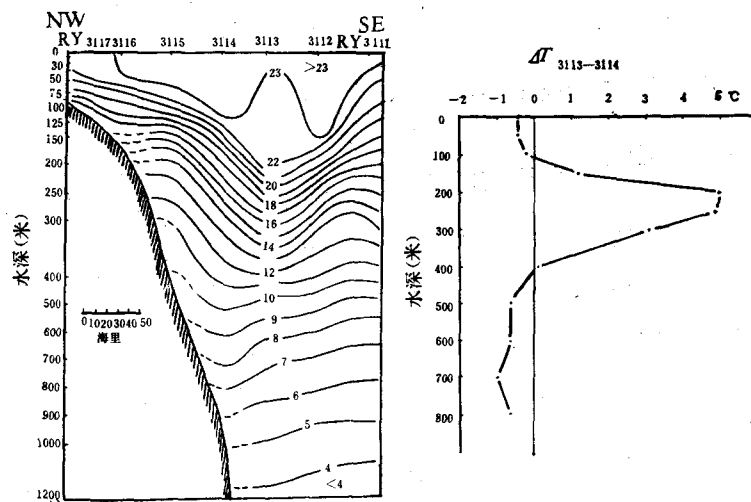


图1 汕尾碣石湾外断面的温度(°C)分布, 1967年2月23—24日

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第626号。本文承我所毛汉礼副所长指导并审阅全文, 山东海洋学院赫崇本副院长提出宝贵意见, 范继铨同志绘图, 谨此致谢。
本文曾于1979年10月在武汉召开的中国海洋湖沼学会第三届年会上宣读。
本刊编辑部收到稿件日期: 1980年9月8日。

1. 日本气象厅凌风丸 (Ryofu Maru) 1967年2月23—24日在汕尾碣石湾外 SE 向断面上所得的资料¹⁾, 为分析上述分布特征提供了明显的例证。从图 1 (引自[1]图 5a) 中可以看到, 在位于 115° — 120° E 之间的这一断面上存在三层水体。近表层为 23°C 左右的暖水, 水层自两侧向断面中心 (Ry 3113 站) 加深, 最厚处可达 200 米左右。次表层是以 22° — 12°C 等温线为界的颇为强陡的温跃层 (本文称为“上温跃层”), 自断面中心向两侧上倾, 均可达到海面附近 (30—50 米)。这个水层的厚度约为 200 余米, 下界最深位置可达 400 米左右。深层 (400—1200 米) 为 11° — 4°C 的较冷水体, 等温线自 SE 向 WN 缓慢下倾。这里大部分为主温跃层所在处, 虽其强度较上温跃层为弱, 但伸展颇深邃。这部分温跃层本文称为“下温跃层”。这三个水层中等温线的走向, 在大部分区域是一致的, 但在断面左侧, 特别是在 3114—3113 站之间, 次表层的与深层的截然不同: 大约以 400 米层为分界, 其上的等温线 ($\geq 12^{\circ}\text{C}$) 自 SE 向 NW 上倾, 其下的则沿着原来的走向, 仍自 SE 向

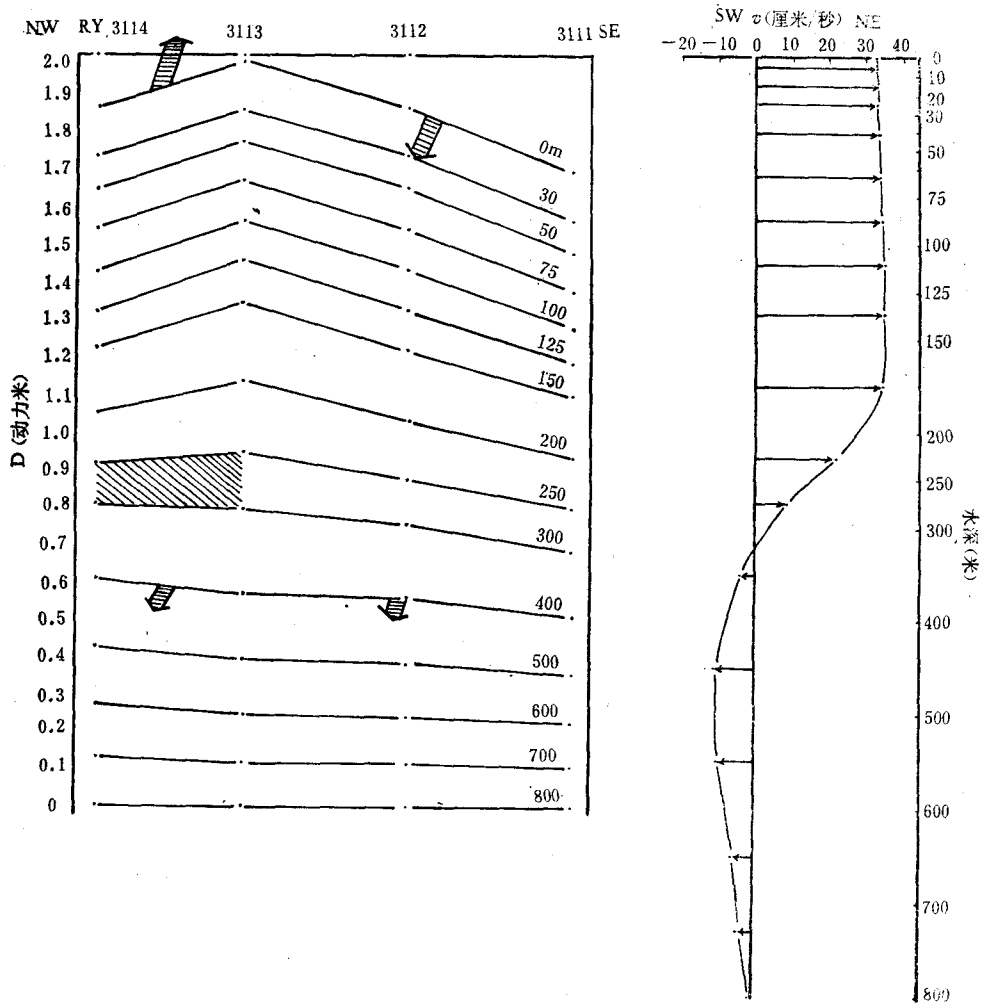


图2 汕尾碣石湾外断面各层在 800 米层上的高度(动力米), 1967年2月23—24日

1) 见 CSK 资料报告 No. 82。

NW 下倾。从而,在这里等温线的坡度有零值处,且自此向上下层发散。也就是说,断面上存在着一段区域,那里上温跃层的走向与下温跃层的走向相反。如把上、下温跃层看成是一个整体,则这种现象即是温跃层的分叉 (bifurcation)。

这一断面 (3114—3111 站之间)以 800 米层为零面的各标准层次的高度 (动力米)如图 2 所示。从地转流场上可以明显地看出,在 400—800 米层之间,存在着自 NE 向 SW 的海流,流速较弱,这是与下温跃层相关联的主要环流。在 400 米层以上,断面右侧也是 NE—SW 向流,流速较强;断面左侧存在着自 SW 流向 NE 的海流,这就是前文中所提出的“南海暖流”的一部分,流速亦强。这种上下层流向相反的海流是与整个水层的质量分布相关联的。但由于深层等温线的梯度和坡度均较近表层、次表层的要小得多,所以 400 米层以上的海流主要与次表层的上温跃层(还有近表层的暖水)相关联。因此,在广东外海的东部海域,此时在地转流场上,上下层的流向并非到处都相一致,而存在着上下层流向相反的一些区域(参见图 2 右侧 Ry 3113—3114 两站间的流速垂直分布)。这里,在上、

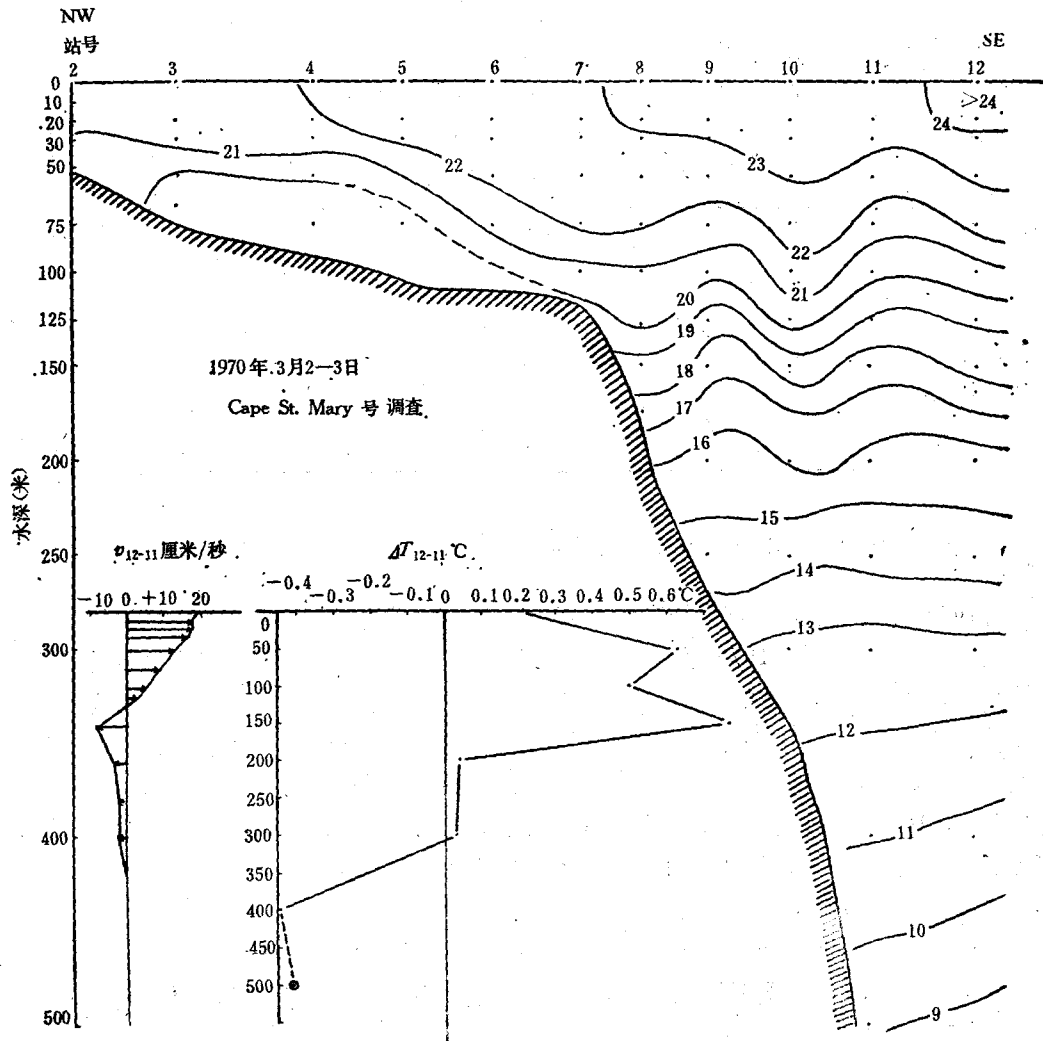


图 3 广州外海断面的温度分布和第 11—12 站间各层的水平温度差值和地转流速

下温跃层的分界面上,相对于计算零面的流速趋向于零(参见[1]图5b)。

这一断面上温度垂直结构的上述分布特征不是孤立和偶然的,在南海北部的其他断面上也是屡见不鲜的,甚至在北太平洋西部的相同纬度处还可以看到类似的、可能更为显著的现象。

2.图3系广州外海 NW—SE 向的一个水温断面,这是香港渔业研究所“Cape St. Mary”号调查船在1970年3月2—3日观测所得的(见CSK资料报告No.275)。虽然,这个断面所含的深水部分很狭窄,但是仍然可以看到,在断面南端,大约在250—400米层以下的水体,等温线自SE向NW下倾,这里的海流应自NE指向SW。而在其上的水体,上温跃层的等温线成波状,有两个显著的“温脊”(thermal ridge或thermal dome)。上温跃层有一部分的走向与下温跃层的走向正好相反,从而上下层的流向也可能相反,并在中间出现流速(相对于计算零面)为零的分界面。第11—12两站间各层的水平温度差值 ΔT 和以400米层为零面的地转流速如图3左下方所示。

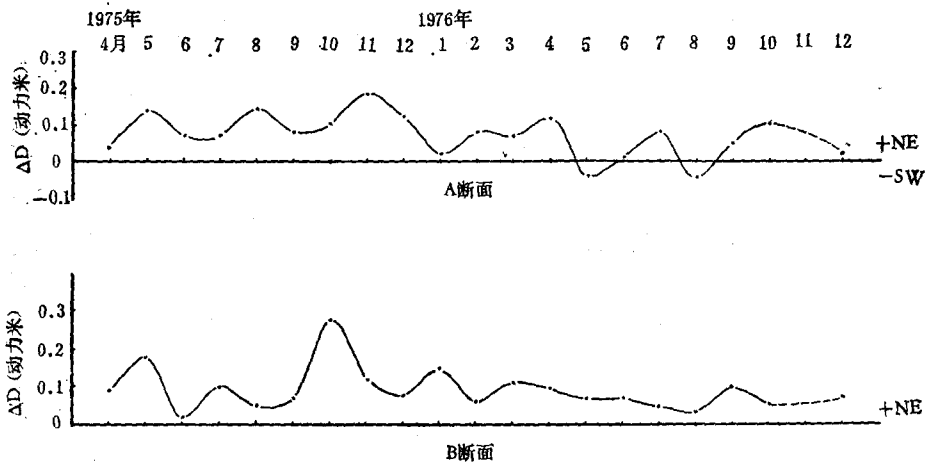


图4 海南岛以东两个NW—SE向断面上的最大地转流速(以两站间的 ΔD 表之)

3.1975—1976年间国家海洋局在海南岛东南海域对两个NW—SE向的断面(A及B)先后共观测了20个月(1975年4月—1976年12月),为分析南海北部的水温垂直结构及其变异提供了颇为系统的资料。关于这两个断面上的海流情况,特别是冬季的,作者曾在“东海、南海我国近海冬季一支逆风北上海流的证据”一文中作了阐述¹⁾。该文指出,在上述期间,在这两个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,相隔约40海里的两站间的最大流速可分别达到50(A断面)或80(B断面)厘米/秒(见图4)。当然,在断面两侧也存在着自NE流向SW的海流。现在再来分析这两个断面上温度垂直结构的特征。

从图5一些温度断面上都可以在不同程度上看到水温垂直结构的上述分布特征,即下温跃层的走向,在某些区域和叠置其上的上温跃层的走向恰好相反,从而上下层的流

1) 管秉贤,1978。东海南海我国近海冬季一支逆风北上海流的证据。本文曾于1978年10月青岛召开的全国海洋湖沼学会学术会议上宣读。

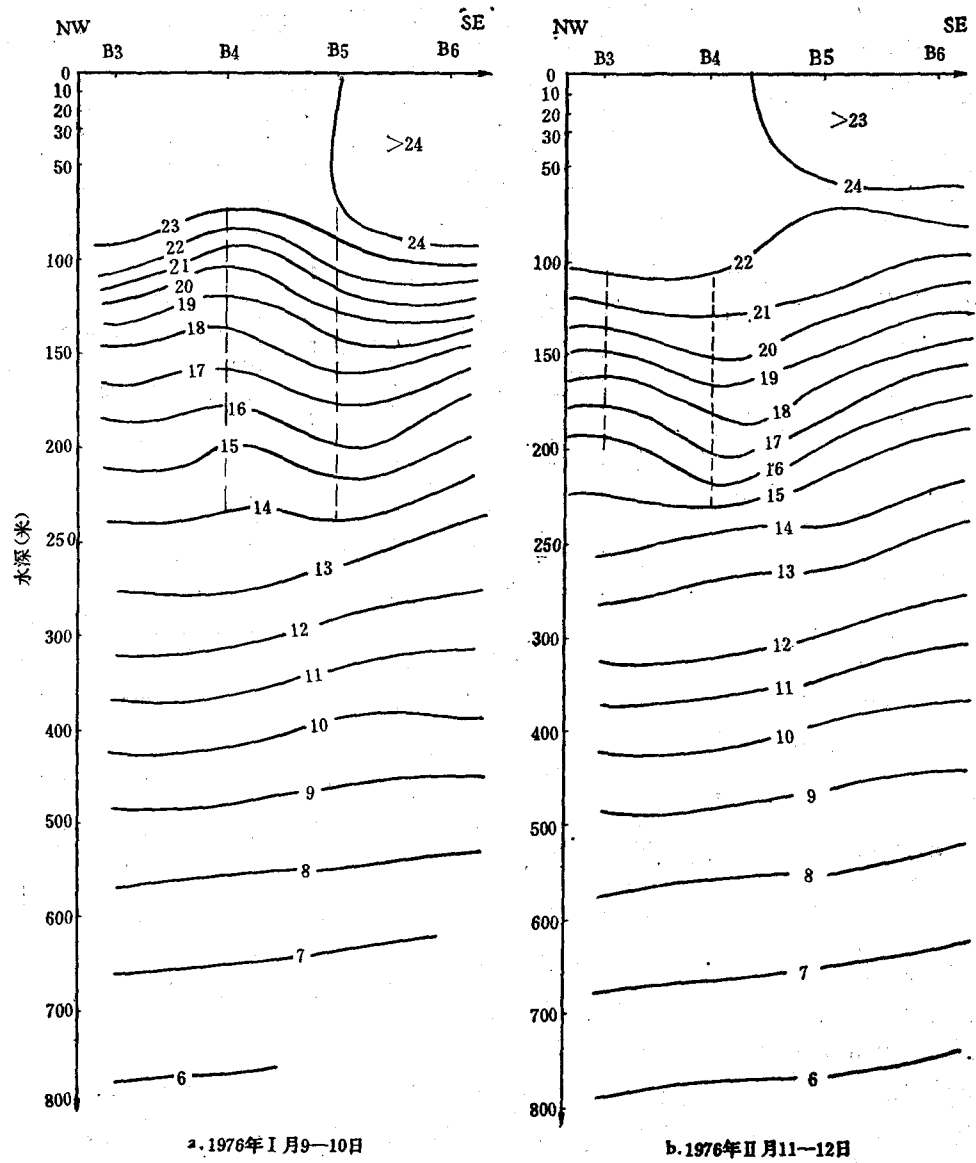


图5 海南岛 SE 外方的几个温度断面(1976 年 1, 2, 10 及 12 月)

向也可能出现相反的现象。例如，1976 年 1—2 月，10 月，12 月的 B 断面和 1976 年 12 月的 A 断面，都有类似的情况。图 5 中界于两条点垂线之间的部分都具有这种分布特征。大约在 150—200 米层以下，下温跃层的等温线都自 SE 向 NW 下倾，海流应自 NE 流向 SW。位于其上的上温跃层在不同程度上发生“起脊”现象，因而存在着一些区域，那里的流向可能与下层的相反（当然，并非所有上、下温跃层走向不同的，上、下层流向都将相反，有些区域反向的上温跃层较薄较弱，因而流向仍然上下一致，如 A 断面的情况，即是这样）。与汕尾碣石湾外海断面有所不同的，只是上下层水体的分界面比较浅薄而已。1976 年 12 月 14—15 日的观测结果表明，在 B 断面上，无论是下温跃层的倾斜和上温跃

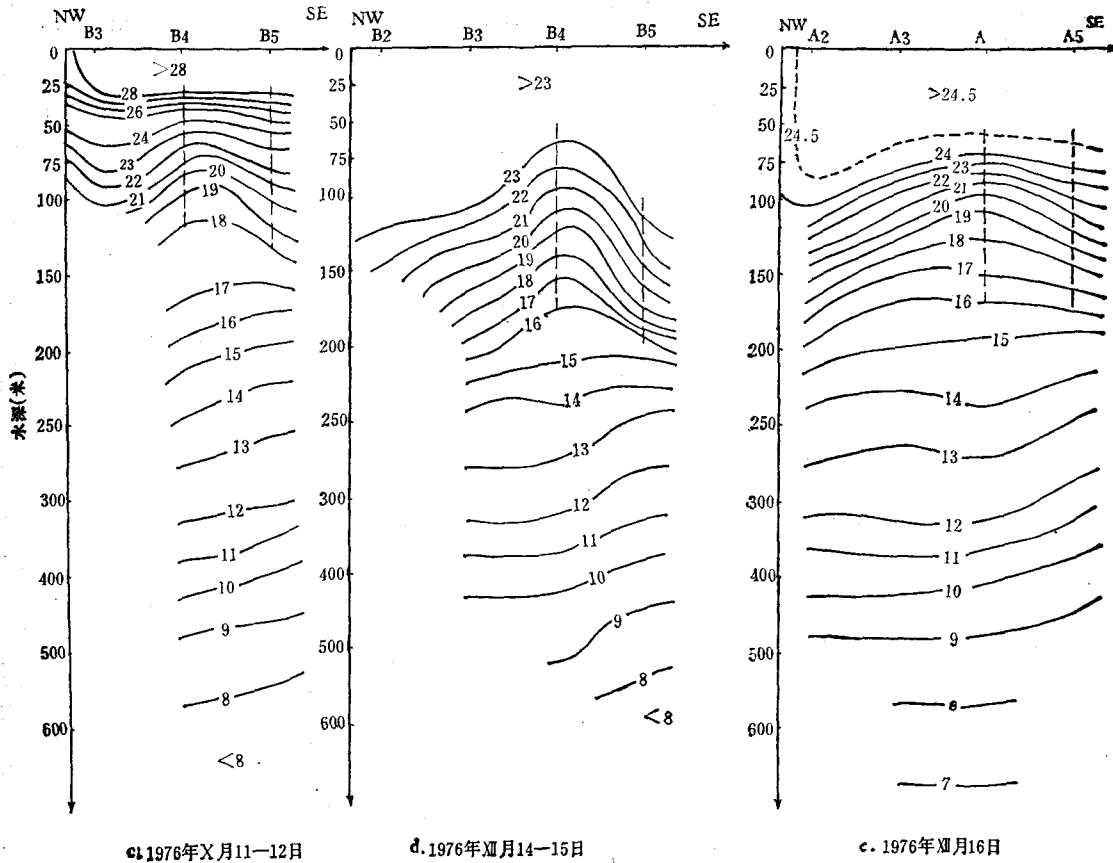


图5 海南岛SE外方的几个温度断面(1976年1, 2, 10及12月)

层的“起脊”现象,都相当显著,这不仅呈现在温度结构上,盐度结构也有类似情况(见图5b,盐度分布图略)。同时,还应指出,这种现象在时间、空间上都有其一定的连续性。例如,B断面1976年1, 2, 10, 12月(11月没有观测)几乎在相同位置上都出现这一分布特征,充分显示了时间上的连续性。再结合A断面1976年12月的资料来看,这一特征在空间分布上也不是孤立的。更重要的是,这种特征出现的位置也比较固定,大都在4—5, 3—4两组站之间。我们认为,这里就是冬季南海暖流常常出现的位置。同时,更往东一些,例如广州和汕尾外的断面等处,这种特征也大都出现在断面南端水深较大的区域。

图6中的两组曲线分别指出了这两个断面上A4及B4两站的海面比容水位(0/500db)和200米层温度($^{\circ}\text{C}$)在这20个月内的变化。十分明显,比容水位的变化主要取决于温度的变化,也就是说,等温线的坡度也大致代表了等压面的坡度(当然,等压面的坡度是与自下而上的等温线坡度的累积效应相当),只是两者的倾斜方向恰巧相反而已:即当等温线自SE向NW下(上)倾时,相应的等压面则自SE向NW上(下)倾。

下面以B断面中心处两站(B4—B5)之间的各层等温线坡度的变化(由于站距是固定的,两站之间各层温度差 ΔT 的变化也代表了这一坡度的变化)为例,来讨论温度垂直结构,亦即海流垂直结构的特征。

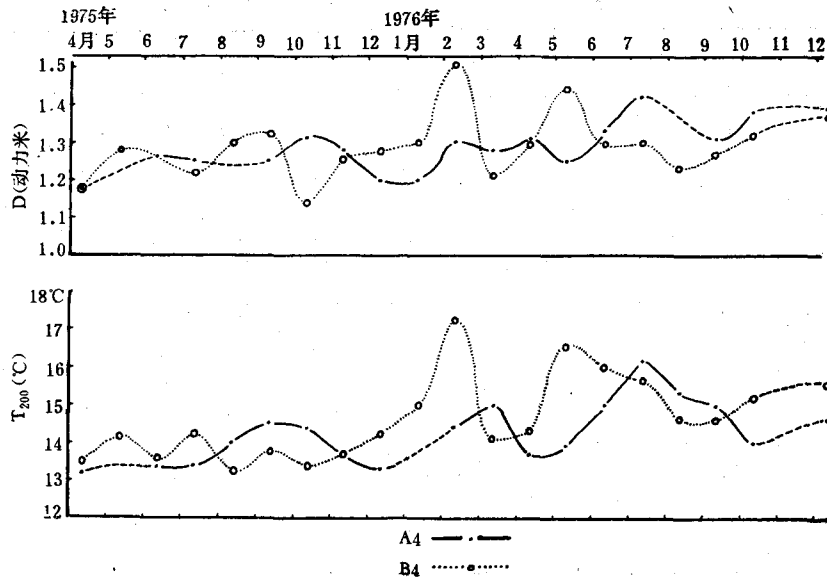


图6 A4, B4 两站比容水位(动力米, 0/500db)与200米层温度(°C)的比较(1975年4月—1976年12月)

表1中列举了在这20个月期内逐月各层 ΔT 值的符号,正值表示断面向海一侧的水温高于断面向岸一侧,反之则为负值。从表中可以看出,通过这两站的各层等温线的坡度变化颇为复杂,并非人们通常所认为的:夏季等温线均自SE向NW上倾(从而各层海流均自SW流向NE),冬季等温线均自SE向NW下倾(从而各层海流均自NE流向SW),而是各月等温线的倾斜方向并无明显的规律性,且绝大多数月份上下层的倾斜方向往往相反,亦即等温线在某层有向一端发散的趋势。

表2指出了表1中各月等温线坡度(其实是各层温度差)自下层向上层的累积值,即 $\Sigma\Delta T$ 。此值大体上代表了等压面的坡度,从而也代表了地转流。正值表示等压面自SE向NW下倾,亦即海流自SW流向NE;负值则反之,表示等压面自SE向NW上倾,亦即海流自NE流向SW。从表2中可以看出,约有1/3以上的月份,上下层等压面的倾斜方向不同,亦即上下层的地转流向相反,存在着(相对于计算零面的)流速零值处。这现象不仅冬季月份有,夏季月份亦有(大多数情况是:深层是顺风流动,而上层却是逆风流动),所以上下层流向相反,也并非冬季独有的现象。并从表1中可以看到,等温线向某一方倾斜大多数具有2—3个月的持续时间。

所以,水温垂直结构出现上述这样上下层等温线走向相反分布特征,在海南岛以东海域,是相当普遍的。

4.J. Masuzawa (1969)曾根据1958年7—9月Takuyo和Ryofu Maru的调查资料绘制了沿 155°E 的水温经向断面图(见[2],图1)。他指出,在北太平洋西部内区的副热带区域,几乎均匀的副热带水(Subtropical Mode Water)位于上温跃层(0—200米)与主温跃层(200—700米)之间。这两种主、上温跃层分别与基本环流和次级环流相关联。重要的是,这两种温跃层的走向也是相反的,主温跃层自南向北下倾,而上温跃层则自南向北上倾。

表1 B断面上两站间各层温度差值 ($\Delta T = T_{B_5} - T_{B_4}$) 的符号

月 层 (米)	1975										1976										
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+		-	
100	+	-	-	+	+	+	+		+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+		+
200	-	-	+	+	+		+		-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-		-
300	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-		-
400	-	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-		-
500	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-		-
600	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+					
700	+	-	+	+	-	+	+	+	+		-	-	+	-	0	+					
800	+	-	+	+	-	+	+	+	+			-	+	-							

表2 B断面上两站间各层温度差的累积值 [$\Sigma \Delta T = \Sigma(T_{B_5} - T_{B_4}), ^\circ\text{C}$]

月 层 (米)	1975									
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I
0—800	4.66	-0.49	0.16	2.57	1.50		10.11		2.15	1.74
100—800	4.39	-0.96	0.49	2.34	1.94		9.26		1.58	1.53
200—800	0.91	-0.81	0.96	1.61	0.62		5.69		1.47	-0.82
300—800	0.99	-0.15	0.36	1.35	-0.35	-0.12	3.91	1.53	1.49	-1.92
400—800	1.35	-0.34	0.61	1.05	-0.29	0.41	3.71	1.81	1.34	-1.12
500—800	1.46	-0.69	0.59	1.14	-0.31	0.44	2.59	1.09	0.83	-0.62
600—800	0.94	-0.98	0.40	0.82	-0.27	0.50	1.71	0.62	0.67	*
700—800	0.72	-0.56	0.32	0.44	-0.15	0.21	1.03	0.29	0.80	

月 层 (米)	1976									
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XII
0—800	-3.47	3.27	4.89	-2.93	-2.33	-1.01	1.78	1.86	2.77	0.04
100—800	-4.18	2.38	4.44	-3.52	-2.54	-1.42	1.50	1.88	2.69	0.13
200—800	-3.47	0.11	3.10	-2.69	-1.68	-0.85	0.96	1.72	-1.48	-3.07
300—800	-1.85	-0.74	2.48	-3.37	-1.03	0.55	1.18	1.64	-1.10	-2.86
400—800	-1.19	-0.36	2.02	-2.79	-0.54	1.13	0.75	1.12	-1.03	-1.69
500—800	-0.50	-0.33	1.32	-2.67	0.06	1.15	*	*	*	*
600—800	-0.32	-0.76	1.05	-2.04	0.05	0.70				
700—800	*	-1.25	0.69	-1.24	*	*				

* 凡深层无数值者,表示该月观测未及800米层。

所以,他又着重指出,副热带准匀水位于其上为东向的副热带逆流和其下为西向的潜流两者之间^[1]。这一经向断面的水温结构和本文所列举的南海北部一些 NW—SE 向断面上、下层温跃层走向相反的结构是很为相似的。所以,在位于副热带的南海北部,水温垂直结构出现这样的特征,看来更不是孤立和偶然的現象了。当然, Masuzawa 所指出的是范围达 10 个纬度以上的大尺度现象,而本文所指出的,限于资料,只是范围仅 1—2 个纬度的中尺度现象,同时,上下温跃层分界处的厚度也是很薄的。但是两者的地理位置相近,结构又相似,这点是值得重视的。

5. 通过上述简略分析,对于南海北部冬季的水温(亦即海流)的垂直结构,本文提出下列几点初步看法:

(1) 这里的流场,除了 Ekman 漂流以外,斜压性地转流场,主要与位于较深层次的下温跃层(强度较弱,但延伸较深广)和叠置其上的近、次表层的上温跃层(强度较强,但较浅薄)相关联。下温跃层的走向决定了基本流场;上温跃层的走向,特别是它的“起脊”现象,决定了次级流场。有一些区域,上、下温跃层的走向相反,中间存在着等温线自此向上下层发散的层次;因而可能存在着(相对于计算零面的)流速零值处,从而出现上下层流向相反的现象。冬季出现的逆风流动的南海暖流,它的流动在不少区域与这种上、下温跃层的走向相反相关联。亦即冬季的南海暖流是一种较浅薄的(约在 300—400 米层以上)上层流,其下为流向可能相反的基本流场。

(2) 下温跃层的走向,可能与整个南海环流,从而与其上的整个风系有联系。上温跃层的起脊现象,在南海范围内,或许是其北部(北回归线附近区域)所特有的。这两者的相互叠置与变化决定了南海北部流场的分布和变化。这里,上温跃层的起脊现象,似乎是终年存在的。从本文所分析的区域来看,温脊不止一个,可能有 2—3 个,其位置亦较固定。

(3) 从现有资料来看,在南海北部与基本流场相关联的下温跃层的走向,它与季风的关系有时较明显,有时则否。所以这里地转流场随季风转变的反应,估计不会象印度洋那样明显。为了阐明这一关系,长时间序列的断面观测(包括水文、海流实测)资料,是很必要的。同时,这对研究南海暖流的季节和年际变化也是有用的。

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] Masuzawa J., 1969. Subtropical Mode Water. *Deep-Sea Research* 16: 463—472.

AN IMPORTANT FEATURE OF THE WINTER VERTICAL THERMAL STRUCTURE IN THE NORTHERN SOUTH CHINA SEA*

Guan Bingxian

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this paper, based on the temperature sectional data obtained during the winters of the 1960's and 1970's in the northern South China Sea, an important feature of the vertical thermal structure, bearing a close connection with the existence of the South China Sea Warm Current, is described and the correlative current vertical structure is discussed as well.

Some preliminary views concerning the thermal and current structures in this region are suggested as follows:

1. Besides the Ekman drift current, there is the field of the baroclinic geostrophic current which is essentially correlated to the lower thermocline and the superposed upper thermocline. The direction of the inclination of the lower thermocline determines that of the basic current field which is correlated to the wind system over the whole South China Sea. The direction of the inclination of the upper thermocline, especially its ridged phenomenon, determines that of the secondary current field.

2. In some localities, the inclinations of the upper and lower thermoclines are in opposite directions, there exist layers from which the isotherms diverge, therefore possibly exists a zero-velocity (referred to the zero-surface of calculation) layer. The South China Sea Warm Current, flowing against the wind in winter, is closely related to the phenomenon of opposite inclinations of the lower and upper thermoclines.

3. The ridged phenomenon of the upper thermocline is perhaps peculiar to the northern part so far as the South China Sea is considered. It seems that thermal ridges appear throughout the year. In the region studied, there are about 2—3 thermal ridges, positions of which seem to be nearly invariable, as shown from the data available.

It is considered that the study of such a feature is helpful to the investigation of the mechanism of the South China Sea Warm Current.

* Contribution No. 626 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.