

# 台湾暖流深层水变化特征的分析\*

翁学传 王从敏

(中国科学院海洋研究所)

潜居于闽、浙外海深、底层的台湾暖流深层水(又称东海上层水或东海次表层水<sup>1,2)</sup>),是东海陆架西部海域的主要水团之一。台湾暖流深层水的消长变化,对于东海陆架西部海域的水文状况,以及渔业生产的影响非常显著。

关于台湾暖流深层水,国内、外海洋学者曾对其温、盐度特性和来源作过一些研究<sup>[1]</sup>,但对其变化(季节变化和多年变化)特征研究尚少。探讨这一问题,将有助于进一步了解该水团的基本特征。因此,本文拟以 28°N(代表中部台湾暖流深层水)和 30°N(代表北部台湾暖流深层水)断面为例,利用“相似系数”法对此进行分析。

## 一、资 料

本文引用的资料分为两部分: 28°N 和 30°N 断面,取自 1958—1980 年的海洋水文观测资料;台湾以东海区(24°—25°N, 122°—123°E),因缺乏近期观测资料,仅选用了 1930—1971 年的温、盐度资料。

由于东海陆架西部海域的水文状况复杂多变,因而本文拟采用“气候式”的多年平均值进行分析。为此,我们在 28°N(121°30′—125°00′E)和 30°N(122°30′—126°00′E)两断面上,按经度半度间距,各选定 8 个测站,计算了这些测站各层的多年(1958—1980)月平均温、盐度值。参与计算的观测资料总数,分别为 1034(28°N 断面)和 1212(30°N 断面)站次。每个测站平均每月有 11 次以上的观测(其中,最多的有 25 次,最少的也有 7 次)。

此外,我们还计算了台湾以东 24°—25°N, 122°—123°E 方区内各层的多年(1930—1971)月平均温、盐度值。然后,根据 T-S 曲线的解析理论,按各月的 T-S 曲线,直接确定黑潮次表层水上、下界的深度及月平均温、盐度值。

## 二、分析 方法

水团的分析研究,是海洋学研究中的重要课题之一。目前,分析研究大洋水团的方法颇多,且较为成熟;但在浅海水团的研究中,还没有较成熟的分析方法。

在文献[2]中,作者首次利用“相似系数”法确定了黄海冷水团的边界及温、盐特征,得出了比较合理的结果。本文仍采用这一方法来研究台湾暖流深层水的季节变化和多年变

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 861 号。本文承张启龙同志参加部分计算工作,白少英同志绘图,均此致谢。

收稿日期: 1982 年 7 月 1 日。

1) 赫崇本等, 1964。中国近海的水系。

2) “中国自然地理”海洋地理部分, 1979。

化。

必须指出,使用该方法时,正确地确定变性以前水团的温、盐度特征值——原始水型的温、盐度值,乃是重要的一步。因为对水团变化特性的分析,都以此为依据。若原始水型选取不当,将会影响分析的结果。

确定台湾暖流深层水的原始水型,必然涉及其来源。关于这个问题,宇田道隆(1950)、毛汉礼(1965)、深濑 茂和松宫义晴等(1977)均作过探讨<sup>[1]</sup>。他们认为:出现在东海陆架西部海域的台湾暖流深层水是黑潮在台湾东北分支出来的。本文作者在分析夏季台湾暖流深层水的温、盐度特征和来源时,也得出了其源自台湾东侧黑潮次表层水的结论<sup>[2]</sup>。据此,本文将台湾东侧黑潮次表层水的平均温、盐度值取作台湾暖流深层水原始水型的温、盐度指标。

本文相似系数的计算公式如下:

$$D_{k,i} = 1 - \sqrt{\frac{\left(\frac{T_{k,i} - \bar{T}_k}{\sigma_{1,k}}\right)^2 + \left(\frac{S_{k,i} - \bar{S}_k}{\sigma_{2,k}}\right)^2}{2}}, \quad (1)$$

( $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为温、盐度观测资料的总数;  $k = 1, 2, \dots, 12$  表示月份)

式中

$D_{k,i}$ ——两断面上任意一组温、盐度多年月平均值(或各年 8 月的观测值)与相应月份原始水型——黑潮次表层水的平均温、盐度值间的相似系数;

$T_{k,i}, S_{k,i}$ ——两断面上任意一组温、盐度多年月平均值(或各年 8 月的观测值);

$\bar{T}_k, \bar{S}_k$ ——台湾以东  $24^\circ-25^\circ\text{N}$ ,  $122^\circ-123^\circ\text{E}$  方区内黑潮次表层水的各月平均温、盐度值;

$\sigma_{1,k}, \sigma_{2,k}$ ——标准离差,分别由下式得出:

$$\sigma_{1,k} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{k,i} - \bar{T}_k)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

$$\sigma_{2,k} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{k,i} - \bar{S}_k)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

由式(1)便可计算出  $28^\circ\text{N}$  和  $30^\circ\text{N}$  两个断面上每月(或各年 8 月)各站层的相似系数 ( $D$ )。

据计算结果,可以得出在上述两断面上相似系数的分布具有以下特征。

(1) 在两断面的闽、浙沿岸一侧,各月(或各年 8 月)的相似系数均为负值。这表明闽、浙沿岸的海水与台湾暖流深层水的温、盐性质差异较大,不同属一个水系。

(2) 相似系数值随深度增大而增加。一般在温、盐度跃层所在的深度上出现跃变。最大值则在深、底层出现。

(3) 各层的相似系数值,冬半年(10月至翌年 3 月)变化较小,变化趋势也较为一致;夏半年(4—9 月)变化较大,趋势互异。一般自 4 月起,断面中部深、底层的相似系数值迅速增加,于 7—8 月达最大,其后又逐渐变小。与此同时,表层相似系数值的变化趋势

却与之相反,最小值出现在 8 月。

相似系数数值的大小,表征着  $28^{\circ}\text{N}$  和  $30^{\circ}\text{N}$  断面处的海水与黑潮次表层水相似的程度。因此,根据各月(或每年 8 月)的相似系数值即可探讨台湾暖流深层水的季节变化(或多年变化)。但是,在分析过程中将会遇到如何具体确定台湾暖流深层水的分布范围、核心位置和温、盐度特征等问题。根据相似系数的定义,并考虑到台湾暖流深层水在东海陆架西部海域自南向北运移过程中逐渐变性的情况,我们采用与 Miller 类似的处理方法<sup>[3]</sup>:将  $D \geq 0.75$  的水体视为台湾暖流深层水的主体;而把  $0.50 < D < 0.75$  的水体视作其变性部分;将相似系数最大值所在的位置视作台湾暖流深层水的核心。以下,我们主要以相似系数为 0.75 的等值线及其最大值的分布变化,来具体分析台湾暖流深层水季节变化和多年变化的特征。

### 三、台湾暖流深层水的季节变化

我们从各月相似系数分布变化特征的分析中发现,台湾暖流深层水在  $28^{\circ}\text{N}$  和  $30^{\circ}\text{N}$  断面上并不终年存在。它出现的时间,具有明显的季节性,大体可归纳如下:冬季(1—3 月),台湾暖流深层水在东海陆架西部海域的分布范围较小,在本文研究的两断面上没有出现。入春以后,它的北伸势力逐渐增强:4 月,首先出现在  $28^{\circ}\text{N}$  断面中部的深底层,但范围较小;5 月,分布范围开始扩大,前缘接近  $30^{\circ}\text{N}$  断面。夏季(6—8 月)为台湾暖流深层水的强盛期,它的北伸势力最强,前缘已超越  $30^{\circ}\text{N}$ ,其中以 7 月分布最广。入秋以后,它开始消衰:自 9 月起北伸势力减弱,分布范围逐渐缩小;进入 10 月之后,台湾暖流深层水在  $28^{\circ}\text{N}$  和  $30^{\circ}\text{N}$  这两个断面上,又不复存在(图 1, 2)。

为了具体说明台湾暖流深层水随时间变化的特征,我们选取位于台湾暖流深层水核心的一个测站( $30^{\circ}\text{N}$ ,  $123^{\circ}\text{E}$ )作为示例进行分析。从该站相似系数的逐月变化(图 3)可以清楚地看出,10 月至翌年 3 月,该站各层相似系数值较为相近,都小于 0.50,没有显现出台湾暖流深层水的迹象。4—9 月,表层、深层的相似系数值相差悬殊,中层出现跃变。其中 6—9 月深底层的相似系数值都在 0.75 以上。也就是说,在这一期间该站的深底层存在着台湾暖流深层水。其厚度以 7 月为最大,约 25m,顶界深度约为 30m。

由以上分析可以得出,在本文研究的两个断面上,台湾暖流深层水仅存在于夏半年(4—9 月,其中  $28^{\circ}\text{N}$  断面为 4—9 月,  $30^{\circ}\text{N}$  断面为 6—9 月);冬半年(10 月至翌年 3 月),台湾暖流深层水消失。引起这种变化的原因,主要是由于台湾暖流夏强冬弱的变化。当然,与海水的垂直混合也有一定的关系。夏半年,该海域存在着明显的温、盐度跃层,海水处于极为稳定的状态,因而潜居于深底层的台湾暖流深层水不易与上表层海水发生混合,而利于维持其固有特性。入冬以后,由于对流和强劲风力的搅拌作用,海水处于不稳定状态,垂直混合过程可扩展至深底层,致使台湾暖流深层水迅速变性而消失。

由图 1, 2 可以看出,台湾暖流深层水大致位于  $124^{\circ}\text{E}$  以西闽、浙外海的深底层。在  $28^{\circ}\text{N}$  断面,台湾暖流深层水的核心(相应于相似系数最大值所在的位置)处在  $122^{\circ}30' - 123^{\circ}00'\text{E}$  之间。其东、西边界,除个别月份(7 月)外,分别摆动于  $122^{\circ}55' - 123^{\circ}45'\text{E}$  和  $121^{\circ}45' - 122^{\circ}45'\text{E}$  之间。7 月,它与东侧沿陆坡涌升的东海黑潮次表层水合为一体,其

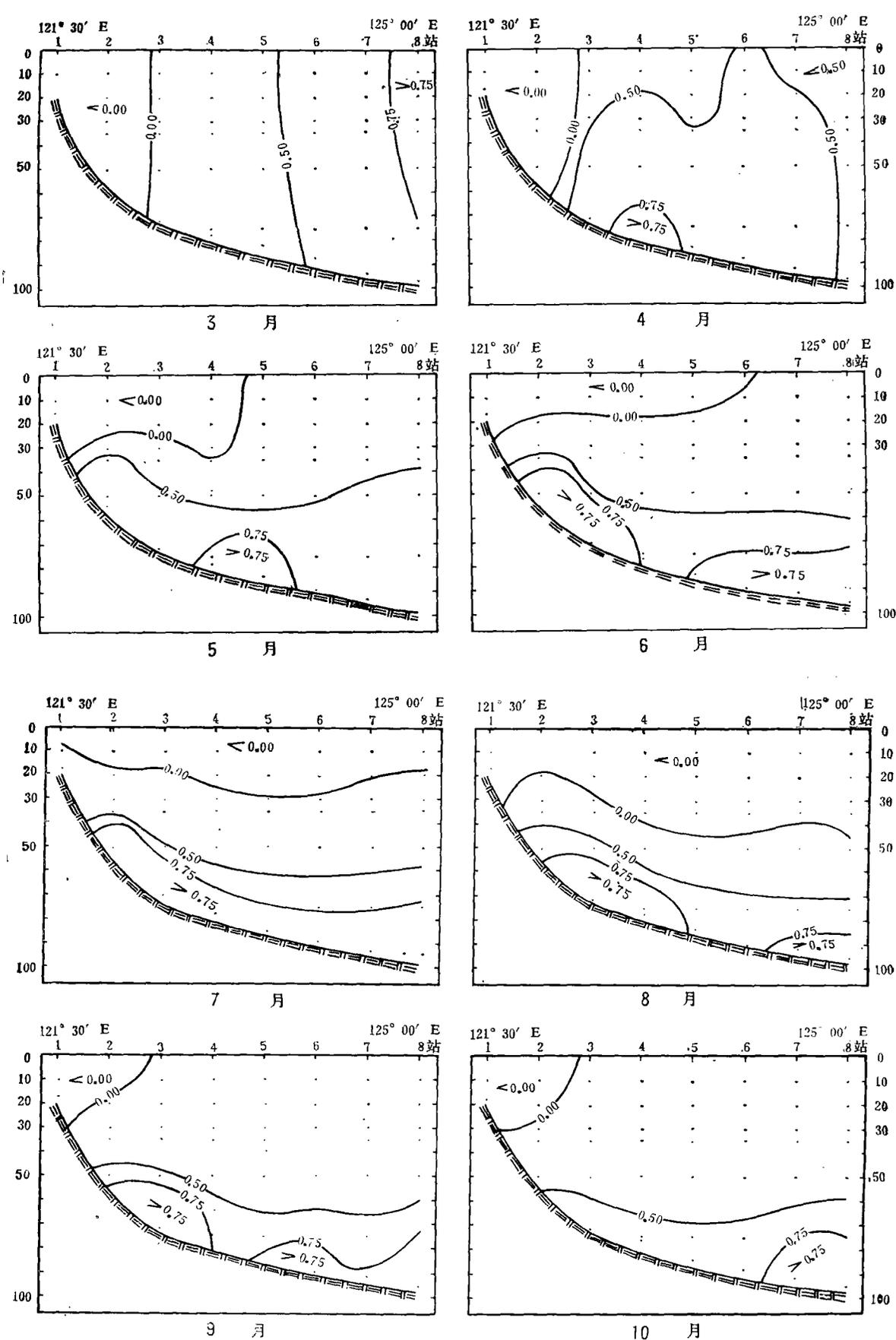


图 1 28°N 断面台湾暖流深层水的分布(1958—1980)

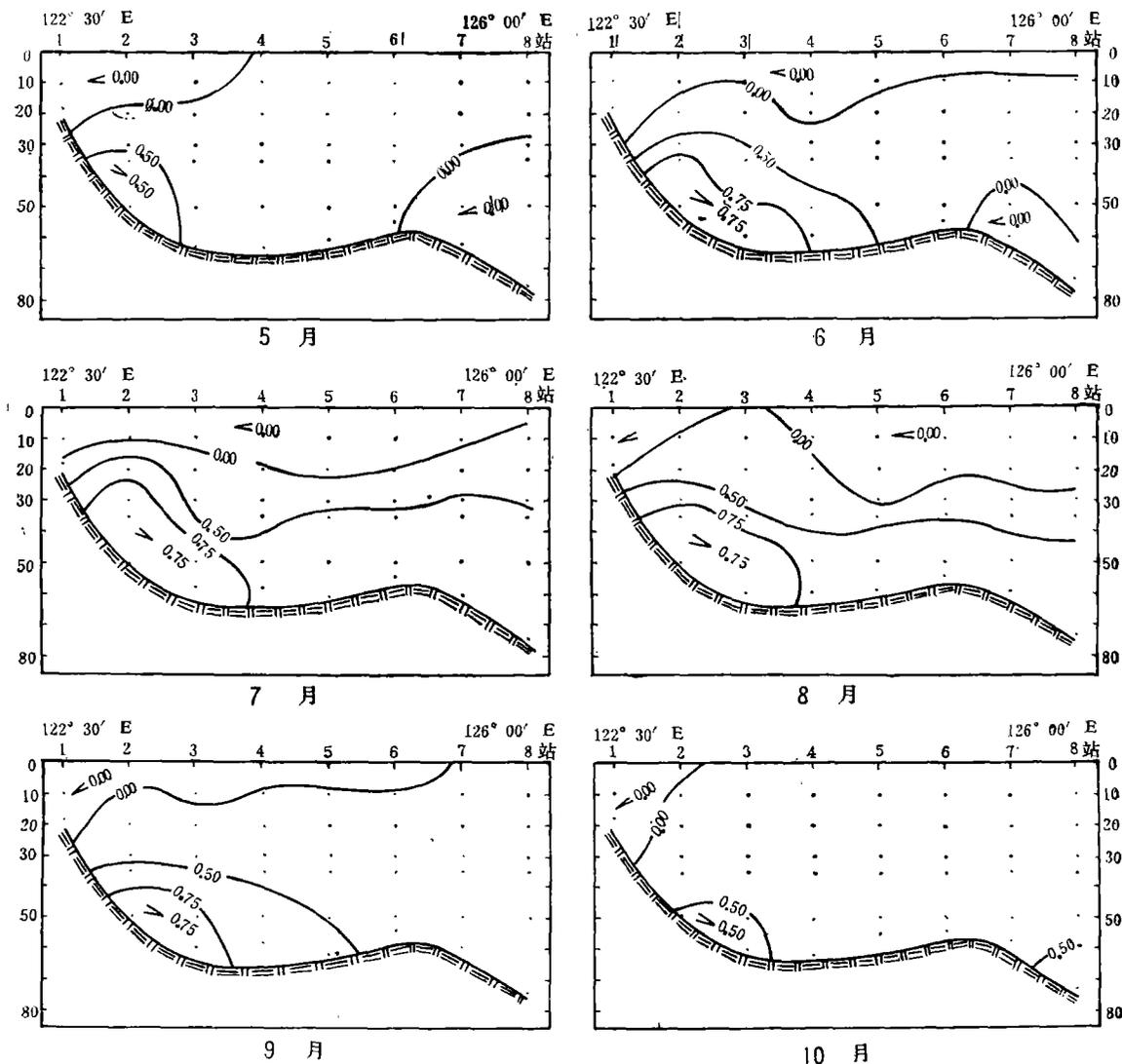


图 2 30°N 断面台湾暖流深层水的分布(1958—1980)

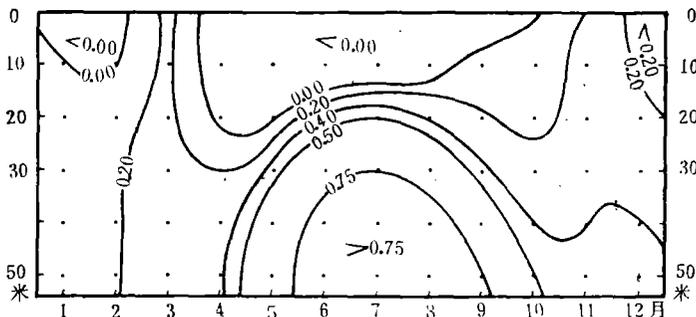
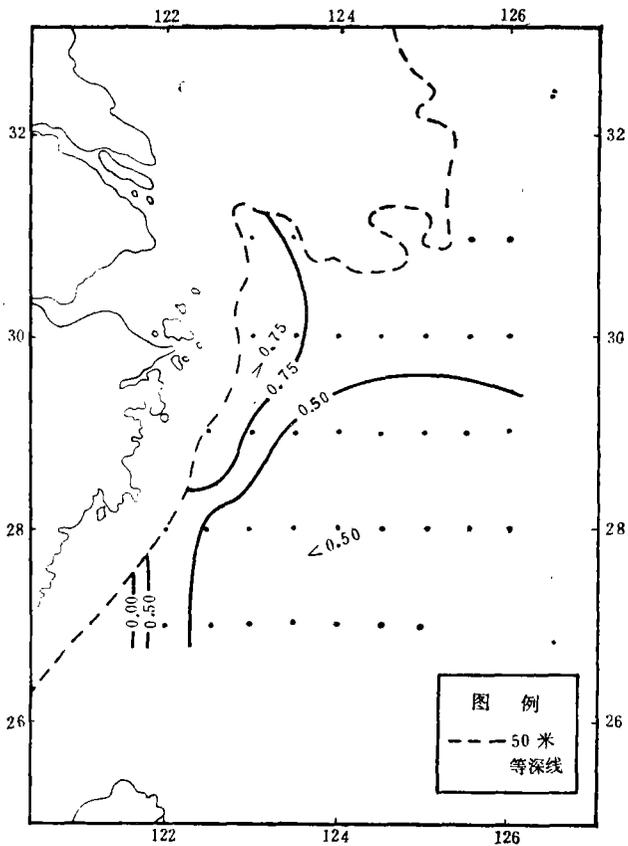
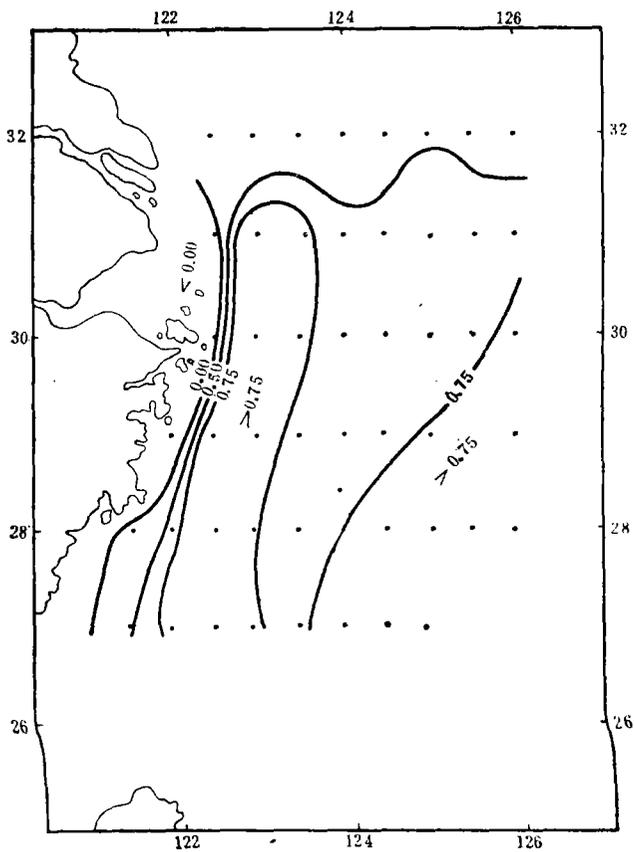


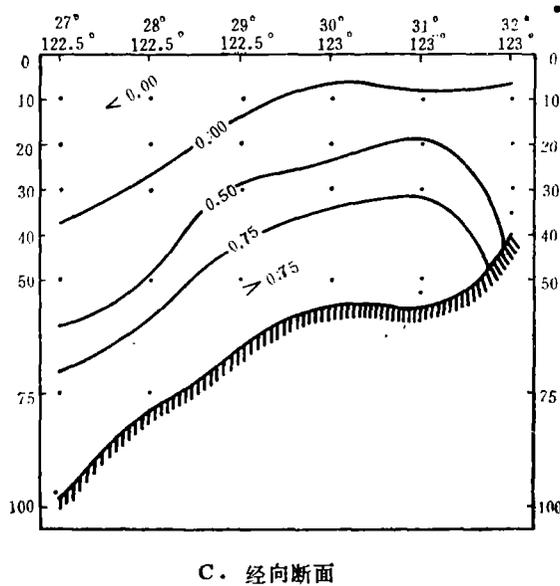
图 3 30°N, 123°E 站相似系数(D)的逐月变化



a. 50米层



b. 底层



C. 经向断面  
 图 4 夏季(8月)台湾暖流深层水的分布(1958—1977)  
 a. 50m 层; b. 底层; c. 径向断面。

东侧边界难以确定。在 30°N 断面,台湾暖流深层水各月(6—9月)的位置都比较稳定,大致位于 122°45′—124°15′E 之间(核心在 123°00′—123°30′E 之间)。由于受地形的影响,其西侧边界的位置尤为稳定,均处在 122°45′E 附近。

台湾暖流深层水的顶界深度[相应于相似系数为 0.75 等值线所处的最小深度]各月虽然不同,但都呈现南大、北小之势:在 28°N 断面,位于 40—65m 之间;随着海水深度的变浅,至 30°N 断面顶界深度上升到 30—40m 左右。此外,由图 1 和图 2 还可以看出:在台湾暖流深层水向北扩展的初期和末期(即相对地较弱的时期),其顶界深度均较大,在强盛期,顶界深度则较小。在 28°N 和 30°N,两者的最大变幅分别为 29m 和 15m。顶界深度变化的这种特点,在很大程度上与台湾暖流和垂直混合的强弱有着密切的关系。还需指出,由于台湾暖流深层水在浙江近岸有沿海底斜坡涌升的现象,所以其上界面(即相似系数 0.75 等值线所处的位置)便与海底地形按同一方向倾斜,呈现西高、东低的分布趋势。

为得出夏季台湾暖流深层水在东海陆架西部海域分布的全貌,我们引用文献[1]的资料,计算了夏季(8月)27°00′—32°00′N, 126°E 以西海域各站层的相似系数,将结果绘成平面图和断面图(图 4)。图中相似系数为 0.75 等值线的分布表明,夏季(8月)台湾暖流深层水呈带状分布于 124°E 以西,闽、浙外海的深、底层。其东西宽度约 70 海里,北缘可达 31°N 以北。由图 4(b, c)也可以看出,台湾暖流深层水在自南向北伸展的过程中厚度和宽度的变化均不大,只是随着水深的变浅,其上界面逐渐升高。

台湾暖流深层水离开源地之后,其温、盐性质虽然在运移过程中有所变化,但程度不大。因此,仍呈现低温、高盐的特性。在黄、东海陆架海域中,它是温、盐性质比较稳定的水团之一。这可以由台湾暖流深层水温、盐度季节变化和多年变化的特性得到证明。由

以下不同月份台湾暖流深层水的平均温、盐度值(表1)可以看出,台湾暖流深层水各月(4—9月)温度和盐度的变化均不显著。4—9月温度变化的总趋势是逐渐升高,但最大变幅小于 $1.87^{\circ}\text{C}$ 。盐度的变化也较小,其最大变幅小于 $0.26\text{‰}$ 。应该指出的是,台湾暖流深层水盐度的变化与台湾东侧黑潮次表层水的平均盐度具有相似的变化趋势,最高盐度值均出现在7月。由表1还可看出,本文得出的台湾暖流深层水夏季(8月)的温、盐度特征值与文献[1]中按  $T-S$  曲线解析理论得出的结果 ( $T = 19.0^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 34.4\text{‰}$ ) 非常吻合。

表1 台湾暖流深层水的平均温、盐度值

海区	要素	月份					
		4	5	6	7	8	9
28°N	T	17.68	18.30	18.27	19.07	19.36	19.55
	S	34.39	34.36	34.48	34.58	34.47	34.43
30°N	T	—	—	18.60	19.15	19.42	20.39
	S	—	—	34.21	34.47	34.34	34.32
台湾东侧	S	34.74	34.71	34.71	34.80	34.76	34.65

#### 四、台湾暖流深层水的多年变化

基于资料的情况,本文着重分析1959—1960,1963—1966和1971—1980年间夏季(8月)台湾暖流深层水主要示性特征的多年变化。

**1. 核心位置** 从上述年份夏季(8月)相似系数最大值的分布可以看出,在 $30^{\circ}\text{N}$ 断面,台湾暖流深层水核心的位置各年都比较相近:多数位于 $123^{\circ}00'\text{E}$ 的底层;有些年份出现在 $123^{\circ}30'\text{E}$ 的底层(图5)。在 $28^{\circ}\text{N}$ 断面,核心位置的年间变化比 $30^{\circ}\text{N}$ 断面复杂。在上述年份,其中有8年位于 $122^{\circ}30'—123^{\circ}00'\text{E}$ 的底层,6年出现在 $124^{\circ}00'\text{E}$

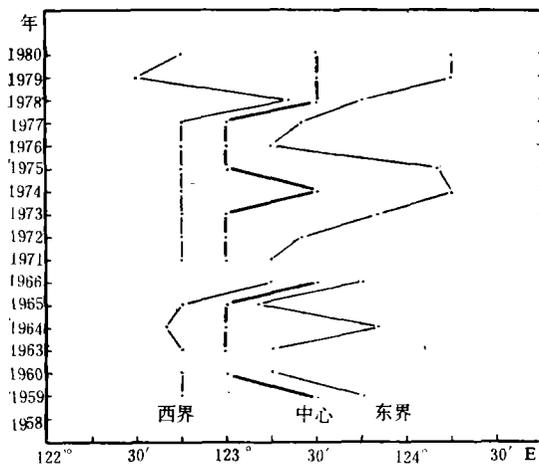


图5 台湾暖流深层水的核心和东、西边界的位置( $30^{\circ}\text{N}$ )

以东的底层。

**2. 东、西边界位置** 台湾暖流深层水东、西边界位置的多年变化,也具有与核心位置相似的变化趋势。在  $30^{\circ}\text{N}$  断面,其东、西边界位置各年大致相近。以底层而言,其西边界除 1966 和 1978 年因台湾暖流深层水较弱(后洋)处于  $123^{\circ}15'\text{E}$  和  $123^{\circ}20'\text{E}$  以外,都位于  $122^{\circ}45'\text{E}$  附近;其东侧边界处在  $123^{\circ}10' - 124^{\circ}15'\text{E}$  之间(图 5)。在  $28^{\circ}\text{N}$  断面,台湾暖流深层水的东、西边界位置变动较大,某些年份,诸如 1963, 1965, 1973, 1977 和 1979 年,均与东侧沿陆坡涌升的东海黑潮次表层水合为一体,其东侧边界不易确定;其他年份,则东、西侧边界分别摆动于  $122^{\circ}40' - 124^{\circ}50'\text{E}$  和  $122^{\circ}00' - 123^{\circ}00'\text{E}$  之间。

**3. 顶界深度** 夏季台湾暖流深层水的顶界深度,存在着明显的年间变化。影响其变化的因子颇多,除地形外,台湾暖流和西南季风的强弱都起着极为重要的作用。以上述两个断面为例,虽然各年夏季(8月)台湾暖流深层水的顶界深度都呈现南大、北小之势,但年间的差异十分显著。其最大变幅在  $28^{\circ}\text{N}$  断面为 24m,在  $30^{\circ}\text{N}$  断面可达 33m。需要指出的是,在这两个断面上,顶界深度的季节变化和多年变化各具特色。就季节变化而言, $28^{\circ}\text{N}$  断面顶界深度值的最大变幅(29m)大于  $30^{\circ}\text{N}$  断面(15m),多年变化却相反, $28^{\circ}\text{N}$  断面(24m)小于  $30^{\circ}\text{N}$  断面(33m)。

**4. 温、盐特征** 台湾暖流深层水的温、盐性质不仅季节变化较小,年间变化也不太显著。统计上述各年份夏季(8月)台湾暖流深层水的平均温、盐度值(表 2)表明,其温度多年变化的最大变幅为  $2.96^{\circ}\text{C}$ ,盐度的最大变幅为  $0.37\text{‰}$ 。这一结果进一步阐明了台湾暖流深层水温、盐性质的稳定性。

表 2 各年夏季(8月)台湾暖流深层水的平均温、盐度值

断面 \ 项目	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		盐度 ( $\text{‰}$ )	
	范围	变幅	范围	变幅
$28^{\circ}\text{N}$	17.19—19.50	2.31	34.37—34.61	0.24
$30^{\circ}\text{N}$	17.89—20.85	2.96	34.27—34.64	0.37

图 6 列举了  $30^{\circ}\text{N}$  断面台湾暖流深层水核心处的温度、盐度和相似系数的多年变化。由图可见,温度和盐度多年变化的趋势恰好相反,即温度的降低伴随着盐度的升高,反之亦然。相似系数的变化趋势与盐度的变化较为一致。由此可以得出:当相似系数值偏高时(即台湾暖流深层水变性较小时),台湾暖流深层水的温度偏低、盐度偏高;当相似系数值偏低时(即变性较大时),其温度偏高、盐度偏低。在  $28^{\circ}\text{N}$  断面,台湾暖流深层水核心处的温度、盐度和相似系数的多年变化也具有类似的特点,但由于某些年份与其东侧沿陆坡涌升的东海黑潮次表层水合为一体,因而这一特点不如  $30^{\circ}\text{N}$  断面明显。

**5. 强年和弱年的划分** 台湾暖流深层水的强弱变化,直接影响着东海陆架西部海域的水文状况和渔业生产。为了分析各年夏季(8月)台湾暖流深层水的强弱变化,我们取其核心处的相似系数( $D$ )作为主要参量,即以其变性程度作为指标来进行划分,并规定  $D - \bar{D} < -\sigma$  为弱年,  $D - \bar{D} > \sigma$  为强年,  $-\sigma \leq D - \bar{D} \leq \sigma$  为常年( $\bar{D}$  为相似

系数的多年平均值,  $\sigma$  为标准离差)。分析结果得出: 1964, 1975, 和 1980 年为强年; 1966, 1976 和 1978 年为弱年; 其他年份为常年。

以上仅以东海西北部海域的  $28^{\circ}\text{N}$  和  $30^{\circ}\text{N}$  两个断面为例, 对台湾暖流深层水的变化特征作了探讨, 得出了一些初步的结果。因资料所限, 对  $28^{\circ}\text{N}$  以南的台湾暖流深层水变化特征, 未加讨论。期望今后能更多地收集到  $28^{\circ}\text{N}$  以南海区的资料, 以便对台湾暖流深层水变化特征的全貌作进一步的分析研究。

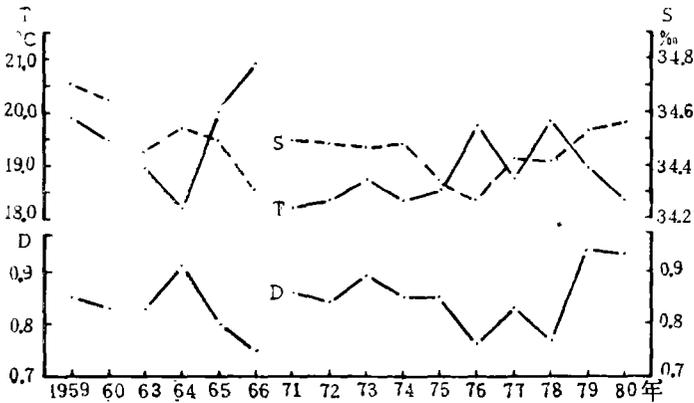


图 6 台湾暖流深层水核心的温度、盐度和相似系数 ( $D$ ) 的变化 ( $30^{\circ}\text{N}$ )

### 参 考 文 献

- [1] 翁学传、王从敏, 1980. 台湾暖流水(团)夏季的 T-S 特征及来源的初步分析. 海洋科学集刊, 第21集(印刷中).  
 [2] 翁学传、王从敏, 1981. 黄海冷水团边界及温、盐范围的确定. 海洋湖沼水文气象学会1980年学术年会论文集(印刷中).  
 [3] Miller, A. R., 1950. A study of mixing processes over the edge of the continental shelf. *Jour. Mar. Res.* 9(2): 145—160.

## AN ANALYSIS OF VARIATIONAL CHARACTERISTICS OF THE DEEP WATER OF TAIWAN WARM CURRENT\*

Weng Xuechuan and Wang Congmin

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

### ABSTRACT

The seasonal and secular variations of the Deep Water of Taiwan Warm Current at  $28^{\circ}\text{N}$  and  $30^{\circ}\text{N}$  sections are analysed with the method of similar coefficient based on the mean data of 1958—1980. Results obtained show that the Deep Water of Taiwan Warm Current appears only from April to September and that variations of its main indicative characteristics (location of core, depth of upper boundary, eastern and western boundaries) are smaller at  $30^{\circ}\text{N}$  section, larger at  $28^{\circ}\text{N}$  section. The seasonal and secular variations of its temperature and salinity are not remarkable.

\*Contribution No. 861 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.