

台湾海峡中、北部海域夏季温、盐度的 垂直分布类型和细结构*

张启龙 翁学传 李鹏程

(中国科学院海洋研究所)

近年来,关于台湾海峡西部海域的水文状况,已有一些研究(肖晖等, 1988; 曾刚等, 1988),但对海峡中部和东部海域的研究则较少,特别是对该海域海水温、盐度的垂直分布类型和细结构的调查研究至今尚未见报道。本文拟对台湾海峡中、北部海域夏季温、盐度的垂直分布类型和细结构进行分析研究。这将有助于进一步了解台湾海峡海域的水文状况、水团结构和海水的垂直混合过程及其机制,对该海域的资源(特别是渔业资源)开发也有现实意义。

本文所用资料是中国科学院海洋研究所和福建海洋研究所 1987 年 7 月 11—20 日和 8 月 25—29 日在台湾海峡中、北部海域进行的两次“上升流”专题调查中搜集的,调查站位如图 1 所示。这些资料包括南森站资料和 CTD 资料两类。前者系利用南森采水器和

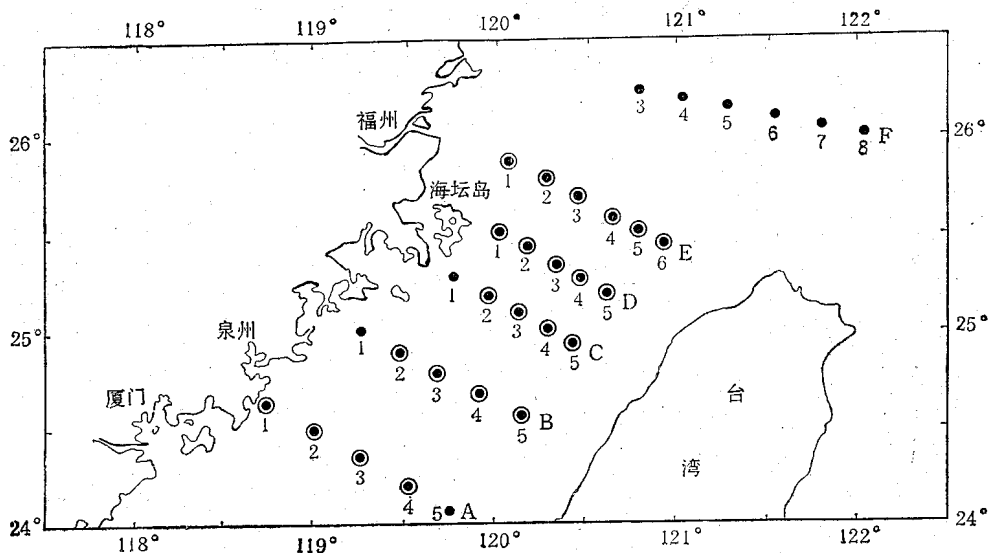


图1 调查站位

●南森站; ○CTD 站

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1603 号。黄荣祥、李虹、李文激和刘芳玉同志参加现场工作,白少英同志清绘插图,特此志谢。

收稿日期: 1989 年 1 月 19 日。

颠倒温度表获得,观测层次采用浅海标准层次(即0,5,10,15,20,25,30,50,75m,……底层)。后者系用美国 InterOcean 公司 513D 型多要素探测仪(CTD)获取,为连续取样,该探测仪深度、温度和盐度的观测误差分别为 $\pm 0.03\text{m}$, $\pm 0.02^\circ\text{C}$ 和 ± 0.05 。

两次调查期间的天气状况基本相似。第一航次期间天气形势较稳定,多为晴和少云。第二航次期间天气形势基本与第一航次相似;但8月30日因受台风影响,天气状况趋于恶劣,F断面未能进行观测。在两次调查期间,台湾海峡中、北部海域的风向较稳定,多为南-西南风,仅个别测站出现东南风;风速变化也较小,一般都在2—5m/s之间,最大风速为9m/s。调查期间气温较高,大都在26.8—28.8℃间,最高为29.4℃。

一、温、盐度垂直分布类型

台湾海峡中、北部海域温、盐度的垂直分布,除受太阳辐射和风等外界因素影响外,还与海域内水团和海流(夏季,还出现上升流现象)的分布及其变化有关。夏季,上(表)层海水温度迅速增高,海水温度的垂直变化较大,但由于水团和海流的影响,其变化因地而异。总的来说,这种变化在近岸区较远岸区大,北部较南部大。研究海域盐度的垂直变化相对较小,这与本海域夏季主要为南来具高盐特征的南海水和黑潮分支水所盘踞有关。

以下主要根据南森站资料绘制的温、盐度垂直分布曲线的形式,具体分析其垂直分布类型。

1. 温度垂直分布类型 夏季,台湾海峡中、北部海域温度的垂直分布形式比较单一,主要是一种形式,即负梯度型,仅在极个别测站出现垂直均匀型和中层暖水型。

7月,负梯度型的分布范围较大,几乎遍及整个研究海域;8月,其分布范围略有缩小,个别测站出现了垂直均匀型。

夏季本海域温度的分层现象极为明显。温跃层($\frac{\Delta T}{\Delta Z} \geq 0.20^\circ\text{C}/\text{m}$)特征(深度、厚度和强度)的统计表明,7月除海域东侧的少数测站外,全海域普遍出现跃层现象(占测站总数的74%)。温跃层的上界深度较浅,一般为5—20m;最小为0m,都出现在近岸测站(B_1, B_2 站);最大为25m,位于泉州外海(B_3 站)。跃层的厚度不大,一般为5—15m,最大厚度分别出现在 C_2 站(25m)和 F_7 站(45m)。跃层强度在0.20—0.36℃/m间,强温跃层出现在海坛岛以南的近岸海区,中心位于 C_1 站;本海域的西南部和东北部跃层强度相对较弱(图2)。8月下旬(25—29日),温跃层的分布范围缩小,且略向西移。温跃层的上界深度与7月基本相同,厚度略为减小,强度明显增强,在0.21—0.45℃/m间。强温跃层的中心位置(C_2 站)较7月略向东移。

负梯度型主要是由于夏季海水表层的增温而形成的。另外,海峡夏季盛行西南风,其风力一般较弱,海水的垂直混合难以直达海底,因而多出现负梯度型。值得指出的是,在近岸区,负梯度型的出现还与当地的上升流现象有关。

垂直均匀型(海水温度在垂直方向上的变化幅度 $\leq 0.5^\circ\text{C}$)只在8月 B_4 和 E_6 两个测站出现。中层暖水型(即中层的水温较其上、下层为高)仅在7月见于 C_4 站附近。中层暖水出现在20—30m深度处,中心位于25m,其强度并不大,仅0.18℃/m。

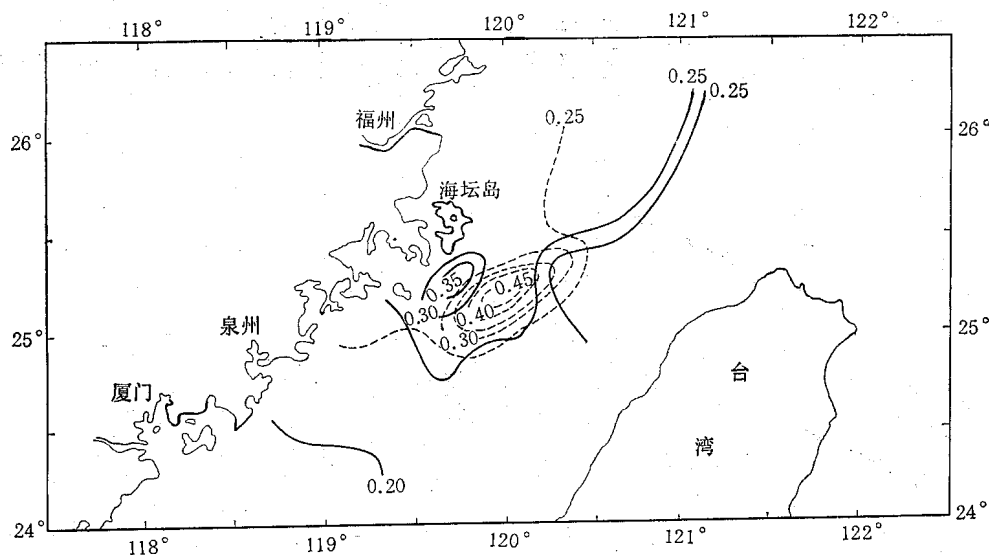


图2 温跃层强度分布

—7月; ----8月

2. 盐度垂直分布类型 夏季,台湾海峡中、北部海域盐度的垂直分布存在垂直均匀和正梯度两种类型。

(1) 垂直均匀型: 从海面到海底盐度垂直变化幅度 ≤ 0.10 , 其分布曲线近似于直线。7月,垂直均匀型的分布范围较小,仅在个别测站(A_5 和 F_8 站)出现;8月,其分布范围迅速扩大,遍及B断面以北的广大海域。

(2) 正梯度型: 正梯度型在7月几乎遍及台湾海峡中、北部整个海域,只有个别测站例外。随着时间的推移,其分布范围逐渐向南缩小。8月下旬,这一类型仅在海域南端的A断面附近出现,广阔的北部海域大都被垂直均匀型所替代。

7月,本海域的正梯度型盐度垂直分布大多不出现跃层,跃层仅在 C_5 和 E_6 站附近出现。盐跃层的上界深度较浅,分别为5m和10m;其厚度相应为10m和15m;跃层的强度也较弱,分别为0.11/m和0.15/m。8月,盐跃层仅在 A_2 站附近出现,其上界深度和厚度均为5m,强度则为0.14/m。

综上所述,夏季台湾海峡中、北部海域温、盐度垂直分布的形式均较单一。7月,出现跃层的温度负梯度型和不出跃层的盐度正梯度型几乎占据了全部研究海域;8月,温度的垂直分布与7月相似,以出现跃层的负梯度型为主,而盐度则是垂直均匀型占主导地位。

二、温、盐度垂直细结构

对CTD资料的分析,使我们对台湾海峡中、北部海域温、盐度的垂直结构有了新的认识。分析结果表明,本海域存在多重的阶梯结构和细结构,这些细结构大多呈异常切变形状,并有许多垂直尺度不同(几厘米到几米)的结构细节(图3)。以下根据7月调查获得的CTD资料讨论温、盐度垂直细结构的主要特征。

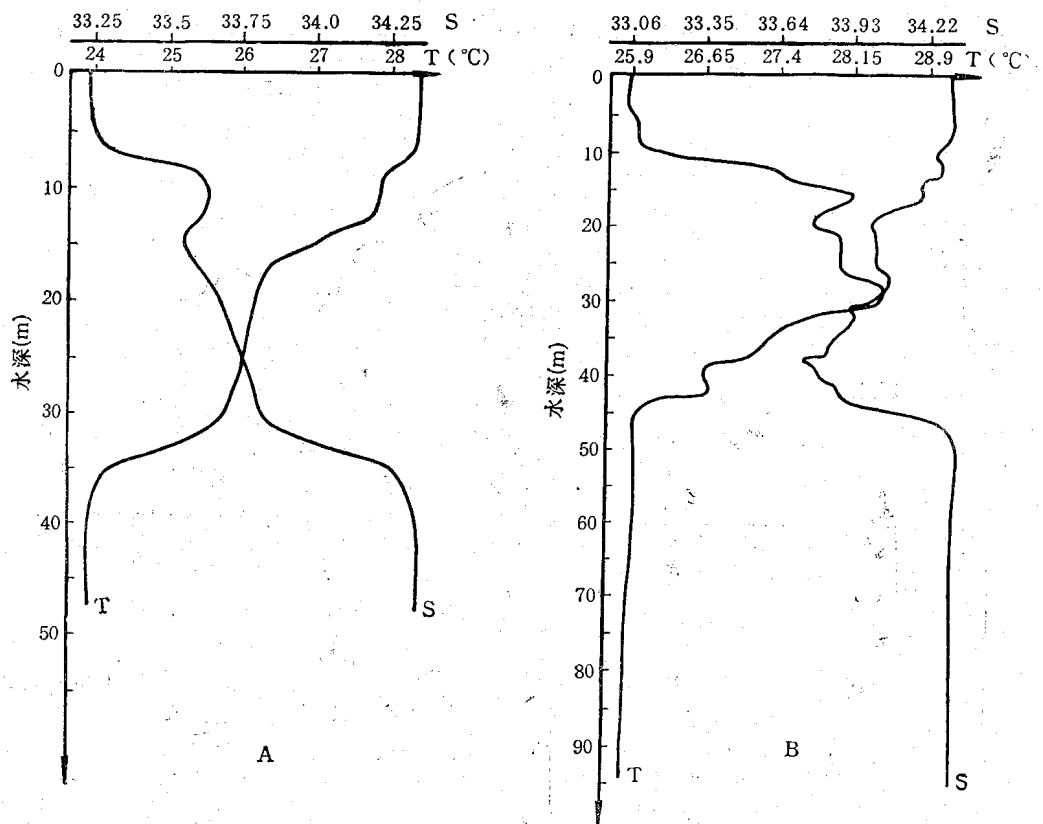


图3 温、盐度垂直细结构

A. A₂ 站(1987年7月11日); B. E_b 站(1987年7月19日)

1. 温度 本海域各测站温度的垂直结构大多呈现三层模式,由上准均匀层、跃变层和下准均匀层组成。大多数测站上准均匀层的温度垂直分布呈现温度随深度的增加而缓慢递减的准均匀状态;少数测站的上准均匀层呈均匀状态。下准均匀层的温度垂直分布与上准均匀层的情况相反,即多数测站呈均匀状态,少数测站呈准均匀状态。在跃变层里,存在着明显的垂直细结构,即温度随深度的增加而出现众多的细微脉动。

在A断面,温度上准均匀层下界和下准均匀层上界的深度均自西向东逐渐增大,即从A₁站的1m(上准均匀层下界)和12m(下准均匀层上界)至A₃站分别增至14m和41m;而后再逐渐变浅,至A₄站分别为3m和28m。在跃变层里,温度的垂直变化较大,各站的梯度值在 $-0.14^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 左右,最大为 $-0.16^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。在B断面,温度的上准均匀层不明显,而下准均匀层在近岸海域明显,在远岸海域不明显。在跃变层里,温度垂直变化较显著,各站的梯度值为 $-0.18^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 左右。在C断面,温度上准均匀层的下界深度各站基本相似,为8m左右;而下准均匀层的上界深度先自西向东增加(由C₂站的28m增加到C₃站的39m),而后再迅速变浅。在跃变层里,温度的垂直变化则由西向东逐渐减弱,即由C₂站的 $-0.24^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 逐渐减小到C₃站的 $-0.07^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。此外,在C₄站的19—28m和C₅站的10—13m水层处均出现暖水型梯度层。在D断面,各测站温度上准均匀层的下界深度也自西向东逐渐

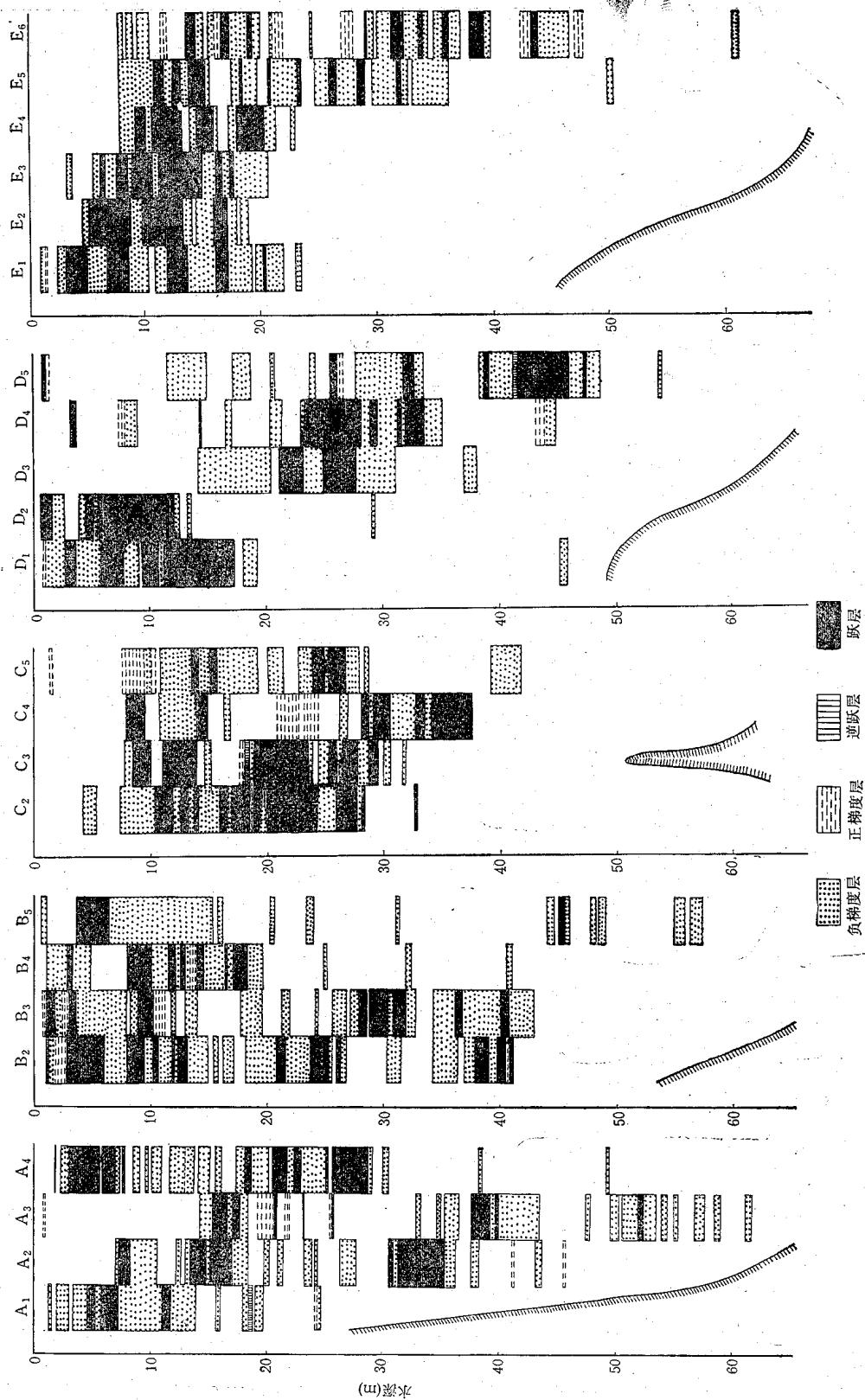


图 4 各断面温度梯度层分布

增大,由 D_1 和 D_2 站的 2m 左右增至 D_4 站的 23m; 温度下准均匀层的上界深度除 D_1 和 D_2 两站较浅(分别为 17m 和 12m)外,其余均较深,且呈自西向东逐渐加深趋势,一般在 30m (D_3 站)—47m (D_5 站)间。在跃变层里,温度垂直变化较大,各站的梯度值在 -0.09 — $-0.39^\circ\text{C}/\text{m}$ 之间。在 E 断面,各站温度上准均匀层的下界深度普遍较浅,大多在 5m 左右,最深也不过 10m;而下准均匀层的上界深度除 E_5 站(35m)和 E_6 站(45m)较深外,其余都在 20m 左右。在跃变层里,各测站温度垂直分布差异较大,梯度值先自西向东增大,由 E_1 站的 $-0.22^\circ\text{C}/\text{m}$ 至 E_4 站达最大为 $-0.30^\circ\text{C}/\text{m}$,而后又逐渐变小,至 E_6 站为 $-0.08^\circ\text{C}/\text{m}$ 。

由上述分析可见,本海域跃变层内温度的垂直细微变化比较明显。为了分析这些细微变化的主要特征,我们根据本海域的实际情况,参考了蓝淑芳等(1989)和 Fukasawa(1978)的分析方法;我们将温度垂直梯度值 $\geq 0.05^\circ\text{C}/\text{m}$ 的水层称为温度正梯度层,其中梯度值 $\geq 0.20^\circ\text{C}/\text{m}$ 的称为逆温跃层;同时将相应的温度梯度值为负号者分别称为温度负梯度层和温跃层。据此,各断面上温度梯度层的分布如图 4 所示。表 1 中列出各断面温度梯度层的分布特征。

2. 盐度 本海域各测站盐度的垂直结构与温度大致相似,也大多呈现上准均匀层、

表 1 各断面温度梯度层的分布特征*

断面		A	B	C	D	E
负梯度层	个数	102	122	57	70	124
	厚度	大多在 0.2—2m	大多在 0.2—2m	大多在 0.3—2m	大多在 0.1—5m	0.1—3m
	分布	几乎遍布于 1m 以下的水层	位于 1m 以下的水层	遍布于 4m 以深的整个断面	西侧位于 1—19m 水层,东侧位于 12m 以深水层	西侧位于 2—23m 水层,东侧位于 8—46m 水层
温跃层	个数	61	55	53	63	80
	厚度	大多在 0.3—2m	大多在 0.2—2m	0.2—2m	0.2—5m	西侧 0.2—3m; 东侧 0.2—1m
	分布	多位于 3—39m 水层	西侧位于 1—40m 水层,东侧位于 3—18m 水层	位于 8—37m 水层	西侧位于 1—19m 水层,东侧大多在 21—46m 水层	多位于 3—43m 水层
正梯度层	个数	11	7	7	7	9
	厚度	0.2—1m	0.2—1m	0.1—1.2m	0.1—0.8m	0.1—1.4m
	分布	较分散,大多位于水深 12—26m 处	多分布于 2—14m 水层	大多位于 7—30m 水层	较分散,多位于 0.8—44m 水层	大多分布在 E_6 站的 10—43m 水层
逆温跃层	个数	1	1	1	2	无
	厚度	0.3m	0.1m	0.2m	0.1m	
	分布	在 A_1 站的 18.4—18.7m 水层	位于 B_2 站的 1.2—1.3m 水层	分布于 C_3 站的 20.4—20.6m 水层	分别位于 D_2 站的 0.6—0.7m 和 D_4 站的 3.3—3.4m 水层	

* 当梯度层单独存在时,其厚度为其单体厚度;当连续叠置存在时,则指连续叠置的厚度。下同。

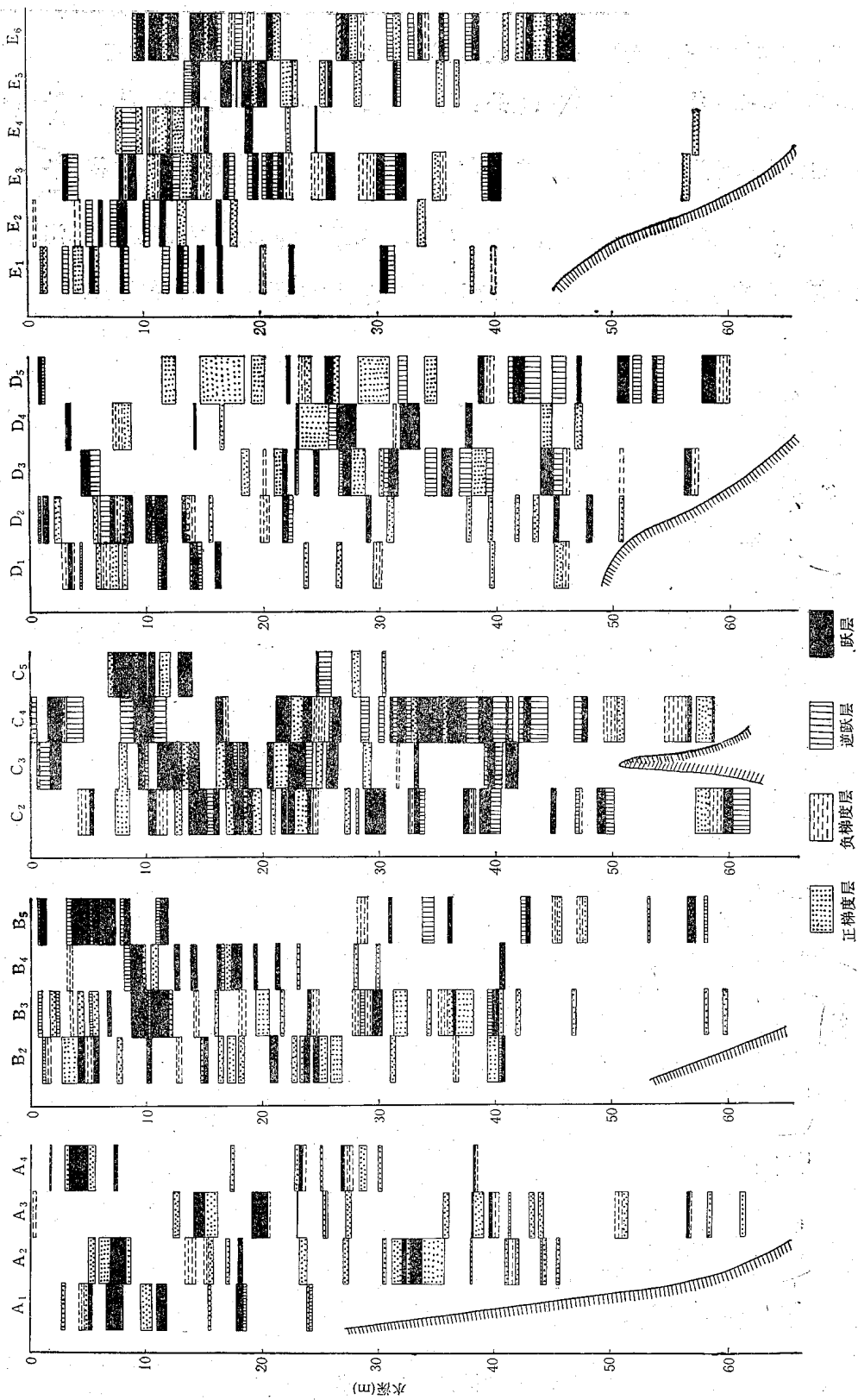


图 5 各断面盐度梯度层分布

跃变层和下准均匀层三层模式。总的来说,盐度与温度的垂直结构大致相对应,各测站盐度与温度的垂直细结构也有许多相似之处。与温度相对应,本文将盐度垂直梯度 $\frac{\Delta S}{\Delta Z} \geq 0.05/\text{m}$ 的水层称为盐度正梯度层,其中 $\frac{\Delta S}{\Delta Z} \geq 0.1/\text{m}$ 的水层称为盐跃层;将 $\frac{\Delta S}{\Delta Z} \leq -0.05/\text{m}$ 的水层称为盐度负梯度层,其中 $\frac{\Delta S}{\Delta Z} \leq -0.1/\text{m}$ 的称为逆盐跃层。本海域各断面盐度梯度层的分布如图 5 所示。表 2 列出了各断面盐度梯度层的分布特征。

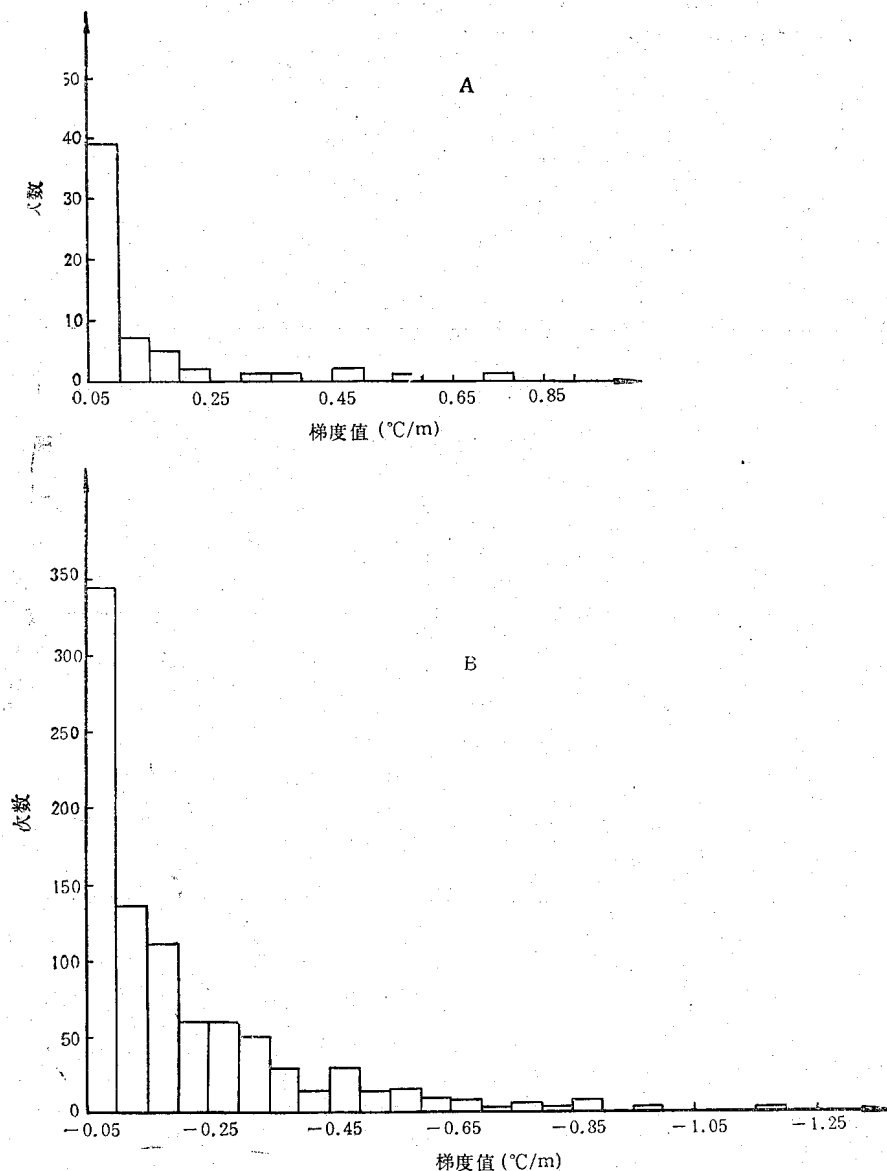


图 6 温度梯度层出现频率
A. 正梯度层; B. 负梯度层

图 6、图 7 分别统计了温、盐度正、负梯度层的出现频率。由图可见,夏季(7 月),台湾海峡中、北部海域普遍存在温、盐度的垂直细结构,温度的细结构又较盐度发达。温度负梯度层的出现频率远高于正梯度层,两者相差可达 14 倍。盐度的情况却相反,负梯度层出现频率较正梯度层低,两者相差 1 倍左右。无论温度还是盐度,其正、负梯度层的梯度值均偏小,以 $0.05\text{--}0.10(^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 或 m^{-1}) 范围最常见,随梯度值的增大其出现频率迅速降低。此外,各单个温、盐度正、负梯度层的厚度值(图略)的统计结果表明,它们的厚度都比较小,几乎 75% 左右的梯度层的厚度都集中在 $0.1\text{--}0.6\text{m}$ 范围。

本文只是对台湾海峡中、北部海域夏季温、盐度垂直分布类型和细结构的主要特征作了初步分析,进一步的研究正在进行之中。

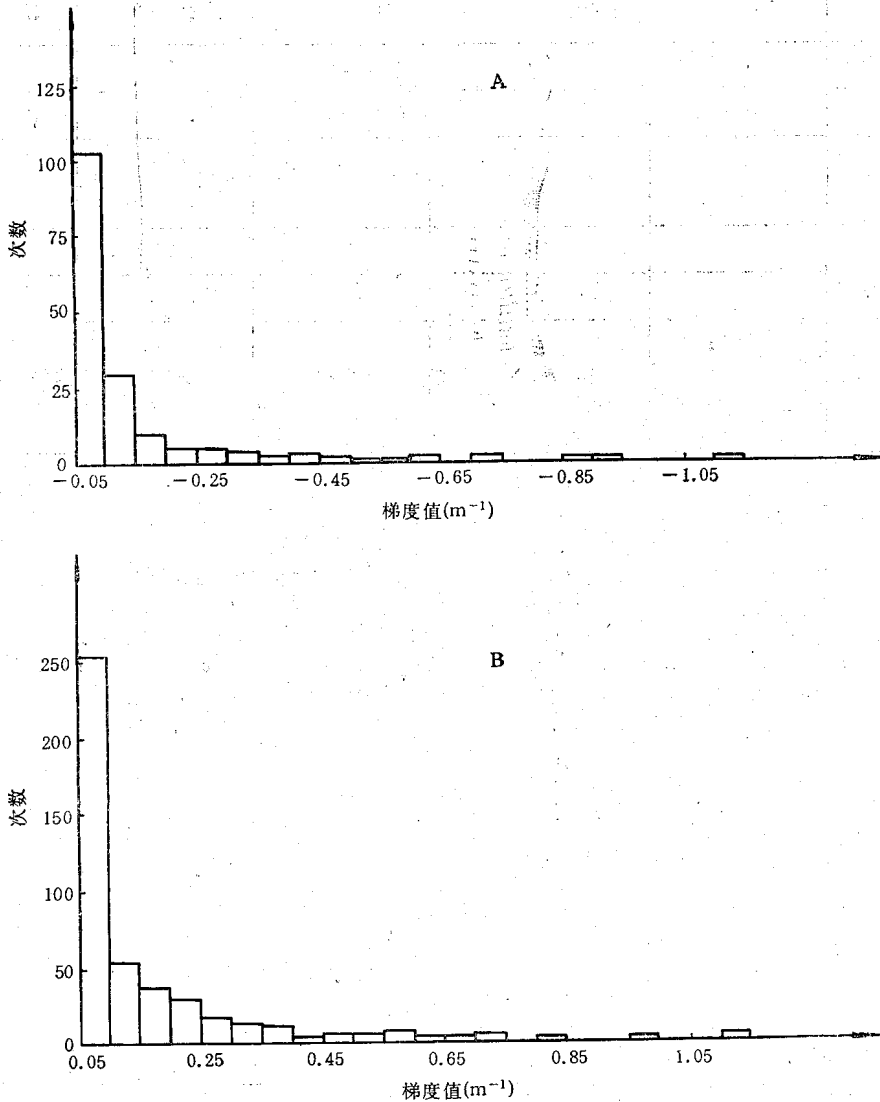


图 7 盐度梯度层出现频率

A. 负梯度层; B. 正梯度层

表 2 各断面盐度梯度层的分布特征

断面		A	B	C	D	E
正梯度层	个数	42	41	32	42	33
	厚度	0.1—2m	0.1—2m	0.1—2m	0.2—2m	0.1—1m
	分布	遍布于 1m 以深的整个断面	位于水深 1m 以下水层	多位于 1—60m 水层, 在 C ₅ 站位于 7—31m 处	多分布于 1m 以深的整个断面	多位于 2m 以深的整个断面
盐跃层	个数	26	37	60	41	61
	厚度	0.1—2m	0.2—2m	0.1—2m	0.2—1m	0.2—1m
	分布	位于 3—40m 水层	位于水深 2m 以下的整个断面	大多位于 9—42m 水层	分布于水深 1m 以下的水层	遍布于 0.6m 以下水层
负梯度层	个数	14	17	16	16	21
	厚度	0.1—1m	0.1—1m	0.1—2m	0.2—1.5m	0.2—1m
	分布	较分散, 大多位于 4—51m 水层	大多分布于 0.6m 以深水层	位于 0—62m 水层内	位于 2m 以下水层	遍布于 0.6m 以下水层
逆盐跃层	个数	3	18	38	24	26
	厚度	0.1—0.3m	0.2—1m	0.2—2m	0.2—1.5m	0.1—1m
	分布	两个位于 A ₁ 站的 18—25m 水层, 一个位于 A ₂ 站的 44.0—44.1m 水层	多集中在 B ₃ —B ₅ 站的 0.6—59.2m 水层	分布于 0—62m 水层	位于水深 0.8—60m 处	遍布于 0.6m 以深水层

参 考 文 献

- 肖晖、蔡淑惠, 1988。台湾海峡西部海域温、盐度分布特征。台湾海峡 7(3): 227—234。
- 曾刚、肖晖, 1988。台湾海峡西部海域温、盐度跃层初步分析。台湾海峡 7(2): 143—150。
- 蓝淑芳、顾传成、傅秉照, 1989。南黄海斜断面的水文状况及其微细结构。海洋科学集刊 30: 33—50。
- Fukasawa, M. and Y. Nagata., 1978. Detailed oceanic structure in the vicinity of the Shoal Kokushosone. *Journal of the Oceanographical Society of Japan* 34(2): 41—49.

THE VERTICAL DISTRIBUTION PATTERNS AND FINE STRUCTURES OF TEMPERATURE AND SALINITY IN THE MIDDLE AND NORTHERN TAIWAN STRAIT IN SUMMER*

Zhang Qilong Weng Xuechuan Li Pengcheng

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this paper, the vertical distribution patterns and fine structures of temperature and salinity in the middle and northern Taiwan Strait is studied based on data obtained with Nansen bottle and CTD system in two special cruises for "upwelling" in July and August, 1987. The results show that the vertical distribution patterns of temperature and salinity are simple in this area in summer. For temperature, negative gradient is main in the area; the vertical homogeneous type and intermediate warm water type can only be found at a few stations. For salinity, only two types of vertical distributions, the homogeneous type and the positive gradient type, are found, and the positive gradient type covers almost the whole studied area in July and the vertical homogeneous type is dominant in August.

Multi-ladder structure and fine structure phenomena also exist in the vertical distribution of temperature and salinity in the region, and the fine structure of temperature is more developed than that of salinity. For temperature, the appearance frequency of negative gradient layer is very higher than that of positive gradient layer. For salinity, the appearance frequency of negative gradient layer is lower than that of positive gradient layer. Their gradient values, however, are all small, commonly $0.05\text{--}0.10^{\circ}\text{C}/\text{m}$ for temperature and $0.05\text{--}0.10/\text{m}$ for salinity. Their appearance frequency lowers rapidly with the increase of the gradient value. The thickness of positive (or negative) gradient layer of temperature and salinity is small in summer. Almost 75% of the gradient layers are $0.1\text{--}0.6\text{ m}$ thick.

* Contribution No. 1603 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.