

应用 T-S 关系定量地分析浅海水团的初步研究*

毛漢礼 任允武 万国銘**

(中国科学院海洋研究所)

自 1916 年 Helland-Hansen 首次将“水团”一詞导入海洋学以后^[25],几十年来,水团的分析研究,一直是海洋学上的重要問題之一;而 Helland-Hansen 所創立的 T-S 图解法,迄今亦仍被認为是分析水团最主要的工具和最有成效的方法。其后,Defant (1929 年)又参用气象学上定义“气团”的办法,将水团的定义进一步明确化,按照他的定义,“水团是具有明确而比較恆定(或保守)的理化特征(如温、盐度)、体积有限或无限的水体”^[24]。根据多年研究水团的结果,Добровольский (1947 年)又对水团的涵义作了补充,得出了一个比較全面而完整的定义,即:“水团是指在大洋的某一确定区域——源地——內形成的較大水体,它具有独特的理化特征和生物特征;这些特征几乎是长期恆定的、連續分布的,并作为水团这一綜合整体的組成部分,随水团而集体移动”^[15]。在这些定义中,都将特征(不論是理化特征或生物特征)的恆定性(或保守性)作为水团的最主要指标。对于大洋水团的研究來說,这样的划分准則,无疑是比較恰当的。Sverdrup 等在《海洋》一书的第十五章里,对大洋水团的研究成果,作了出色的总结^[4]。但也应指出,即使对性質比較恆定的大洋水团來說,应用上述各項定义,仍无法确定其表层的水团。因而,在大洋水团的研究工作中,一般均将变化較大(即比較不恆定)的表层水略而不論^[4]。这誠是一大遺憾。近海(特別是浅海)海水,不但性質复杂,而且变化极大,因此,关于近海水团(特別是浅海水团)的分析研究工作,就远不及大洋水团的研究工作来得多,其分析方法,更远远不及前者来得成熟,可以說,迄今尚无一項令人滿意的划分准則。

中国海位于欧亚大陆的东部,大部分均位于中緯度地带,水的深度不大,故其水文性質的季节变异很大;而其东、南两面,又有島屿羣与临近大洋有不同程度的隔离,使其水文性質,具有較大的“孤立性”;同时,对各个海区來說,又因气候条件不同,径流大小各异,还具有相当大的区域差异。这些均是研究中国海(特別是浅海部分)水团的主要困难所在。过去,日本学者如須田皖次、宇田道隆、辻田时美、加藤威夫、安井善一有人在描述中国海的海况(水文情况)时,曾对中国海的水团,作了一些初步的分析研究^[7-13]。近年来,我国科学工作者,也在这方面进行了一些工作,特别是对于黃海冷水团的形成及其性質和长江冲淡水的散布及其混合問題,还提出了一些独立的看法^[14,21]。但是,上述各項工作都是定

* 中国科学院海洋研究所調查研究报告第 242 号;本文在撰写过程中承管秉賢同志积极提供宝贵意見;初稿完成后,又經山东海洋学院海洋系海洋学教研組的同志詳細审阅并提出宝贵建議,均此致謝;1963 年 10 月在中国海洋湖沼学会第二届全国代表大会暨 1963 年学术年会上宣讀过,会后略有补充修改。

** 中国科学院东北海洋工作站,現在海洋研究所进修。

性的。本文企图应用 T-S 图解的解析理論,对南黄海和东海北部 (37° — 28° N) 夏季的水团,进行定量的分析。这只是对浅海水团定量分析方法的一次試探。

应该着重指出,根据本文方法分析出来的“水团”(文中簡称为“水”),只不过是具有較大年变化的浅海水团(特别是其表层水团)在某一特定季节的一种形态而已,它与严格按照水团定义(具有較大的恆定性)所規定的水团,在含义上是有所区别的。

本文所用資料,主要是近年(特别是 1959 年)日本长崎海洋气象台夏季的調查資料(因为这项資料比較系統)^[4],此外,还参考了日本公开发表的历史資料^[6],以及中、日两国科学工作者根据这些資料所取得的研究成果。

一、分析方法簡述

应用 T-S 图解来研究水团的这一方法,自 1916 年由 Helland-Hansen 創立以来,几十年間,不但主要地依賴这一方法比較明确地划定了各大洋中的主要水团^[4],而且,在它被大量应用的过程中,方法本身也获得了很大的发展。1927 年 Jacobsen 首先应用 T-S 图解来研究两个水团的混合問題并确定其涡动扩散系数^[23]。他的結果指出:当温、盐度各自均匀的两个水团(在 T-S 图解上,可以各用一个点子来表示)相互混合时,在 T-S 图解上是呈綫性反比关系的。这一結果,奠定了应用 T-S 图解方法定量地分析水团的基础。其后,Штокман 又将两个水团的混合問題扩展为三个水团的混合問題(即所謂“混合三角形”),并通过比較严格的数学分析,进一步建立了 T-S 图解方法的解析理論^[18,19]。接着,Иванов 和 Мамаев 又加以补充改进,使之更臻完善^[16,17]。这样一来,水团分析已由純粹定性的描述,逐渐发展成为可以进行定量研究的一項工作了。Cochrane 和 Montgomery 应用 T-S 組偶的頻率分布,分別計算了太平洋与大西洋各主要水团的体积^[20,22], Miller 又应用 T-S 图解研究了大西洋北美陆棚海边缘区的混合問題^[21],均是其例。

按照 T-S 图解法的解析理論,研究两个温、盐度各自均匀水团的相互混合情况,只要量取混合水型在 T-S 图解上到两个原始水型¹⁾的距离,即可計算出它們的混合百分数。

三个温、盐度各自均匀水团之間的相互混合,也可以应用上述原理,在 T-S 图解上作混合三角形,算出混合水型的混合百分数。关于具体的計算方法,在 Тимофеев 和 Панов 最近所著“水团划分与分析的間接方法”一书中已作了詳細叙述^[17]。

在大洋中,四个水团同时相互混合的情况是比較少見的。Тимофеев 认为,遇有这种情况时,可以根据它們相互混合的可能性,划分为两个混合三角形的方法来处理^[17]。Miller 在分析大西洋北美陆棚海边缘区域的水团时,則又提出了另一种方法^[21]。这一方法的要点,是在确定了参加混合的四个水团之原始水型以后,以它們的温、盐度值为頂点,在 T-S 图解上联成一个“混合四边形”。然后等分四边形的每边为四等分,并以相应对边分点的連綫,將該四边形分为 16 个小格。Miller 又从直綫混合的原理出发,粗略地确定了各水团 75%、50% 和 25% 等混合百分数綫的分布。

本文作者通过对我国黄、东海夏季基本水文特征的研究,知道了这一海区夏季的水文条件,主要取决于如下四个水团相互混合的情况。这四个水团是:大陆沿岸冲淡水、黄海

1) 水型是指温、盐度均匀,在 T-S 图解上仅用一个点子表示的水体;原始水型是指水团在混合前的状况,混合水型则是指在混合后的状况。

夏季深层冷水、黑潮表层水和黑潮次表层水。在这里,一方面由于大陆沿岸冲淡水不断的向外海输送,另一方面则由于外海黑潮表层水向陆棚区楔入,及黑潮次表层水逆大陆斜坡涌升的结果,形成了水文状况非常复杂的局面。使得 T-S 图解上的温、盐度组偶,非常分散(见图 5)。

在这种情况下,无论是应用两个混合三角形的方法,或者是应用 Miller 混合四边形的方法,均不能比较合理地计算各水团详细的混合百分数。针对这种情况,我们提出如下的方法,来计算四个水团的混合百分数。

设 ABCD 为我们在 T-S 图解上所确定的混合四边形(见图 1,确定办法详见下节); P 为四边形内的任意一点; PP₁、PP₂、PP₃、PP₄ 为自 P 点分别至四个边 AB、BC、CD、DA 所作的垂线, P₁、P₂、P₃、P₄ 为垂足;各线段的长度: PP₁ = N_{AB}, PP₂ = N_{BC}, PP₃ = N_{CD}, PP₄ = N_{DA}; P₁A = X_{A1}, P₁B = X_{B1}, P₂B = X_{B2}, P₂C = X_{C1}, P₃C = X_{C2}, P₃D = X_{D1}, P₄D = X_{D2}, P₄A = X_{A2}。

再设 A_P、B_P、C_P、D_P 分别为 P 点海水所含 A、B、C、D 四个水型的百分数,它们各包括两个分量,即: A_P = A₁ + A₂, B_P = B₁ + B₂, C_P = C₁ + C₂, D_P = D₁ + D₂; 各分量的量值,以垂足所截分各边的线段来表示。

为了满足: (i)两个水型的混合在 T-S 图解上呈直线反比关系,和(ii)位于四边形内的水型是由四个原始水型混合而来的,而位于四边形各边上的水型,则只是由两个原始水型混合这两个条件,我们提出如下两项假定:

第一,位于混合四边形内任意一点 P 的海水,是由四个边上的诸水型混合而来的,它含有各边海水的成分,与自该点到各边的垂线的长度成反比;

第二,每一边上的海水,含有该边两原始水型的成分,则与垂足到各原始水型的距离成反比。

根据上述假定,我们可以得到下列两组方程:

$$(A_1 + B_1)N_{AB} = (B_2 + C_1)N_{BC} = (C_2 + D_1)N_{CD} = (D_2 + A_2)N_{DA} \quad (1)$$

和

$$\frac{A_1}{B_1} = \frac{X_{B1}}{X_{A1}}, \frac{B_2}{C_1} = \frac{X_{C1}}{X_{B2}}, \frac{C_2}{D_1} = \frac{X_{D1}}{X_{C2}}, \frac{D_2}{A_2} = \frac{X_{A2}}{X_{D2}} \quad (2)$$

此外,由于 P 点海水所含四个原始水型百分数的八个分量总和应为 1,因此我们还可得到下列方程:

$$A_1 + B_1 + B_2 + C_1 + C_2 + D_1 + D_2 + A_2 = 1 \quad (3)$$

在上述方程组中,方程组(1)有三个独立方程,方程组(2)有 4 个独立方程,方程组(1) — (3)共有 8 个独立方程和 8 个未知数。根据代数方程理论,因其方程组行列式不为 0,

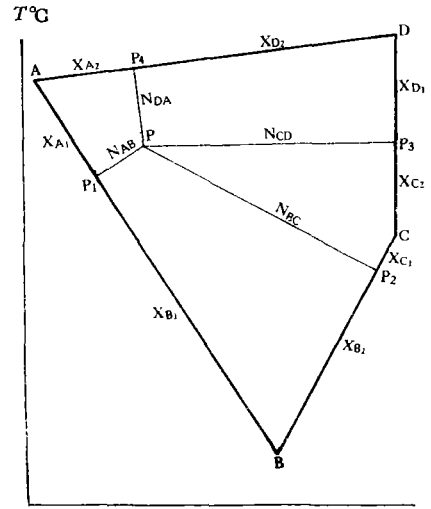


图 1 混合四边形 S %

Fig.1 Schematic representation of "mixing quadrilateral".

故有唯一解。其解为:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{X_{B_1}}{\bar{ab}} \left(\sum_4 \frac{1}{N} \right)^{-1} & A_2 &= \frac{X_{D_2}}{\bar{da}} \left(\sum_4 \frac{1}{N} \right)^{-1} \\ B_1 &= \frac{X_{A_1}}{\bar{ab}} \left(\sum_4 \frac{1}{N} \right)^{-1} & B_2 &= \frac{X_{C_1}}{\bar{bc}} \left(\sum_4 \frac{1}{N} \right)^{-1} \\ C_1 &= \frac{X_{B_2}}{\bar{bc}} \left(\sum_4 \frac{1}{N} \right)^{-1} & C_2 &= \frac{X_{D_1}}{\bar{cd}} \left(\sum_4 \frac{1}{N} \right)^{-1} \\ D_1 &= \frac{X_{C_2}}{\bar{cd}} \left(\sum_4 \frac{1}{N} \right)^{-1} & D_2 &= \frac{X_{A_2}}{\bar{da}} \left(\sum_4 \frac{1}{N} \right)^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中, $\bar{ab} = \overline{AB} \cdot N_{AB}$, $\bar{bc} = \overline{BC} \cdot N_{BC}$, $\bar{cd} = \overline{CD} \cdot N_{CD}$, $\bar{da} = \overline{DA} \cdot N_{DA}$,

$$\sum_4 \frac{1}{N} = \frac{1}{N_{AB}} + \frac{1}{N_{BC}} + \frac{1}{N_{CD}} + \frac{1}{N_{DA}}.$$

根据方程(4)所示之解,即可计算位于混合四边形内任意一点海水所含各原始水型的混合百分数。但这样的计算,显然是太冗繁了。为了应用上的方便起见,我们在确定了黄、东海夏季四个水团的原始水型之后,按照图2所示的位置,计算了121个点上的混合百分数,并依此绘出了各个原始水型的等百分数分布曲线图(图3)。

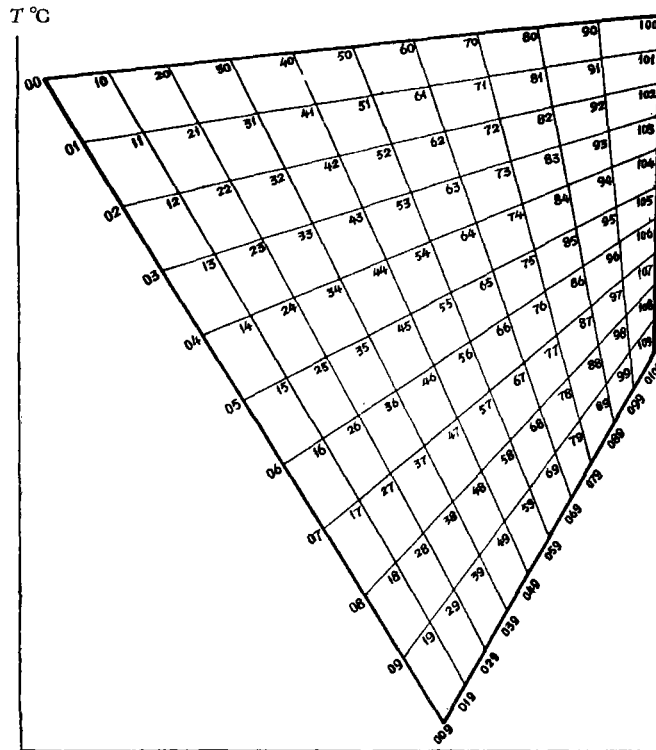


图2 混合四边形内计算点的分布

S%

Fig.2 Distribution of points for calculation within a mixing quadrilateral.

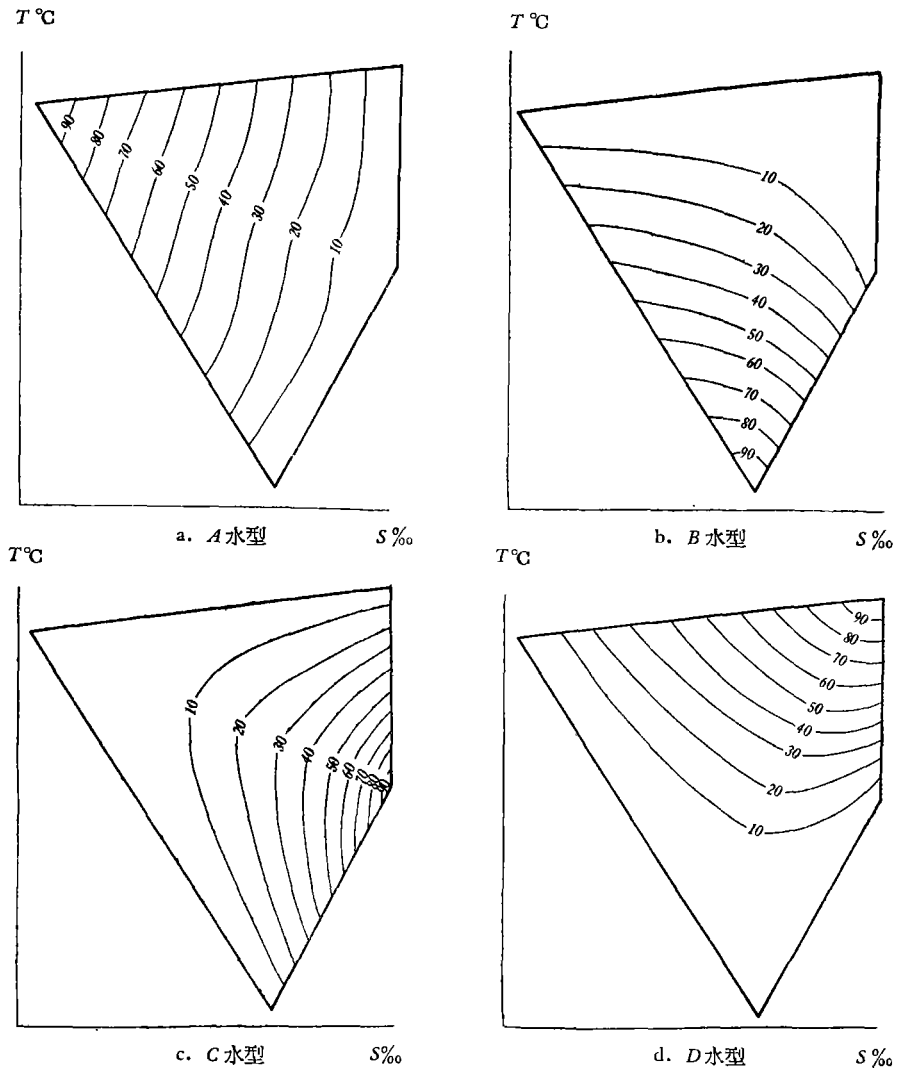


图3 各水型等百分数线的分布

Fig.3 Distributions of equal mixing percentage lines for each water type.

- a) Water type A; b) Water type B;
c) Water type C; d) Water type D.

有了这几幅图,我们只要把任一 T-S 组偶置于图中,即可立即读出这一点海水所含各个原始水型的混合百分数,这样就十分方便了。

二、确定原始水型的方法

正确地确定代表混合以前水团特征的原始水型,是一件非常重要的工作。因为所有混合水型的混合百分数,均将依此而定,如处理不当,就不能得到合理的结果,因此,必须十分谨慎。在一般情况下,确定原始水型的步骤是:先将研究海区(应包括所有参加混合的水团分布的主要区域,其测站最好是均匀分布的)的温、盐度观测值,绘入 T-S 图解中,然后,从图中选取各水团的极值点集中的地方,作为代表某一水团的原始水型。我们之所

以不取绝对极值点而取平均极值点来代表原始水型，其故有二：第一，绝对极值点很可能是由于观测资料的差错等原因而产生的；第二，也可能是受了研究区域之外的水团的影响。而实际工作中所遇到的情况则往往并不如是简单，即极值点之位置，常常需要经过具体分析之后，方能确定。下面我们拟以研究海区的水团为例，介绍一些情况。

在进行南黄海和东海北部（ 37° — 28° N）夏季水团分析工作的时候，我们首先利用夏季观测资料（主要是七月份的）绘制了约有 200 多个测站（测站位置大体上是均匀分布的）的 T-S 曲线，初步分析了 T-S 曲线的类型。

总的说来，研究海区 T-S 曲线的形状，是十分复杂的。这充分地反映了这个海区海水的垂直结构与相互混合过程的复杂性。但是，将全部曲线进行概括之后，便可以得到如图 4 所示的三种基本类型，它们的分布区域，如图 4 所示。

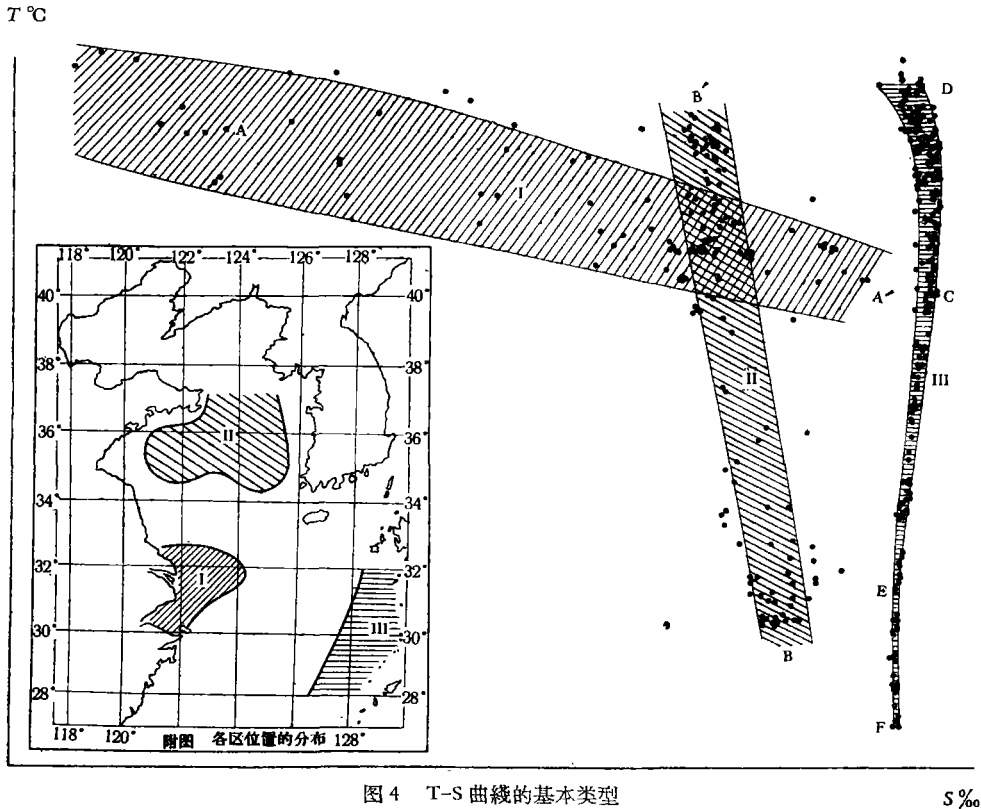


图 4 T-S 曲线的基本类型

Fig.4 Fundamental types of the T-S curves.

T-S 曲线形状的三种基本类型，代表了我們根据水文特征所划分的三类海水，即大陆沿岸冲淡水、黄海混合水和黑潮水。根据 T-S 曲线确定水团数目的法则^[17]，I 类曲线与 II 类曲线分别代表 A、A'、B、与 B' 四个水团，而 III 类曲线则又代表 D、C、E、F 四个水团（见图 4）。但如将全部测站的 T-S 组偶，皆绘入 T-S 图解之中（见图 5），则根据 A'、B' 两个水团的位置，可以认为，它们和其他水团相互混合的产物，在研究各类原始水型的混合时，不应把它们也考虑在内；即是说，我们只须考虑 A、B、C、D、E、F 六个水团就够了。

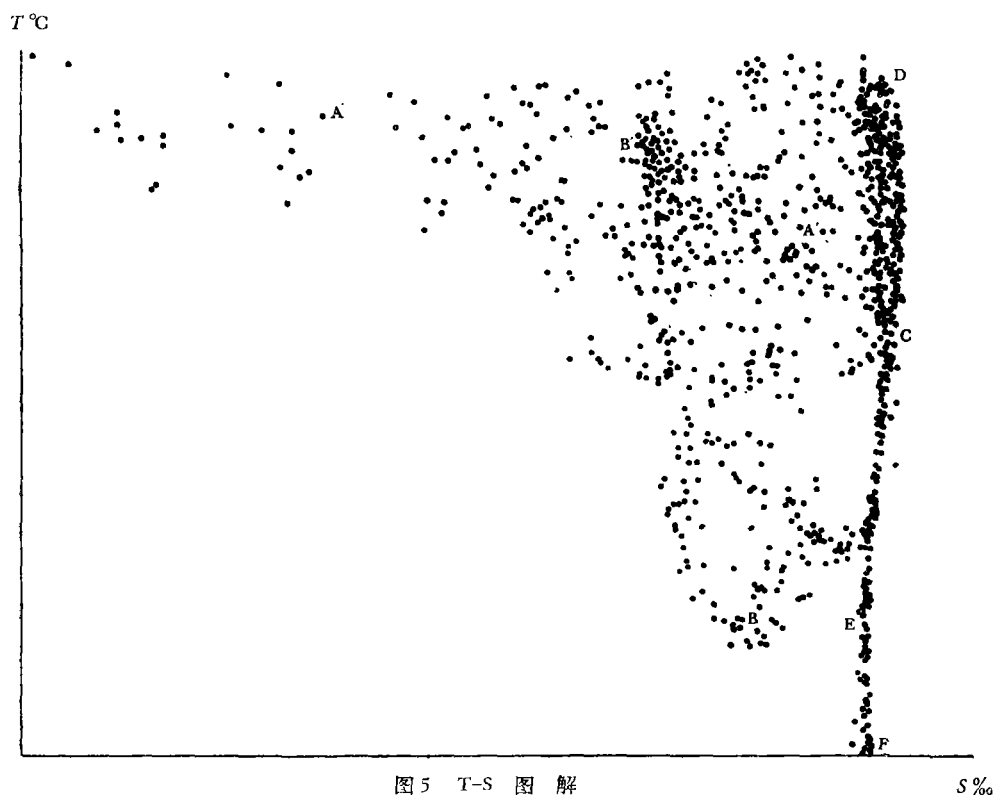


图5 T-S 图解

Fig.5 T-S diagrams.

上述六个水团,从其水文特征来看,即是大陆沿岸冲淡水(简称大陆沿岸水)、黄海夏季深层冷水(简称黄海冷水)、黑潮表层水、黑潮次表层水、黑潮中层水和黑潮下层水(名称是否适当,留待下面讨论)。这六个原始水型在混合前的温、盐指标值,则是根据如下的具体考虑分别确定的。

大陆沿岸冲淡水(A) 它包括长江冲淡水和苏北沿岸水。由于前者是这一区域大陆沿岸水的主体,同时其盐度变幅又远较后者为大,因此在确定原始水型时,主要应根据长江冲淡水来进行考虑。但因这一水团的盐度变幅特别大(达到 25‰ 以上),而其极值则接近于 0 (即为淡水)。如果我们按照一般方法,采取盐度接近于 0 ‰ 的极值点,显然是不合理的,因为我们这里研究的问题是“冲淡水”与“海水”的混合,而不是淡水与海水的混合。在这种情况下,我们认为取平均值是比较合理的。

从实际工作中得知,长江冲淡水的厚度甚小,取表层(0米)的平均值,大体上即能代表长江冲淡水的整个水层。从而,我们只计算了表层。计算方法是:从盐度平面图上,按照低盐水舌外缘最大水平梯度线的位置,首先确定这一水团分布的范围,然后在此范围内,以 1/4 纬度和 1/4 经度为单位,作出网格,并从温、盐度分布图上,读取每个经、纬线交点的温、盐度值,填入图中,算出代表原始水型的平均温、盐度值。计算结果,经与作者之一在“长江冲淡水及其混合问题的初步探讨”^[1]一文中所计算的统计数值,十分接近。

黄海夏季深层冷水(B) 这一原始水型的确定,也是一个需要讨论的问题。由于

黄海冷水的温度分布与盐度分布系统并不完全一致,因此在 T-S 图解上,温度极值点与盐度极值点是互相分离的。在这种情况下,究竟应以盐度极值为依据,还是以温度极值为依据呢?我们认为,黄海冷水既是根据这时的温度特征而确定的水团,故应以温度极值为依据。但是,黄海冷水温度极值出现的位置,却不在研究海区的范围之内,而是在北黄海,那么,这一原始水型的温度指标,是否应取北黄海的温度极值?这又成为另一个需要考虑的问题了。通过对这一海区夏季的基本水文特征的研究,我们初步认为,这一水团是冬季在本海区当地冷却形成的,它的温度极值,明显地反映了地理条件的特点,即具有显著的区域差异,而且各种迹象表明,它自形成以后就很少移动,即是说,南黄海的深层冷水,主要是在南黄海本身范围内形成的,而并非来自北黄海。因此我们认为,取南黄海的温度极值作为这一原始水型的温度指标,较为合适。至于这一原始水型的盐度指标,则是根据那些温度极值点的平均位置,从 T-S 图解上确定的。

黑潮系统诸水团的原始水型,主要是根据本海区黑潮主干经过的几个深水站(深度在 1,000 米以上)的 T-S 曲线确定的。确定时适当地参照了 Штокман 提出的关于 T-S 曲线几何性质的七条定理^[19]。

黑潮次表层水(C) 宇田道隆曾经指出,黑潮次表层水有沿大陆坡涌升的现象^[11]。涌升后它与大陆棚上诸水团直接发生混合。为了较好地反映这一现象,黑潮次表层水原始水型的温、盐度指标,是参照涌升到大陆棚上的黑潮次表层水的温、盐特征确定的。依此确定的温度值,较最大盐度层的温度值略低,盐度指标值,则仍取最大盐度层的极值。

黑潮表层水(D) 这是一个以高温、高盐为特征的水团。夏季,其温度值是本文所研究的海区最高的,而其盐度值,却由于受了降水和陆水冲淡的影响,较其下的黑潮次表层水略低。为了使之能够包括表层附近所有的温、盐度值,我们取温度极值(但除去个别不合理的)作为这一原始水型的温度指标;为了消去被陆水冲淡这一效应,并将其盐度值稍稍增大(增大约 0.2‰)使之与黑潮次表层水相等,作为这一原始水型的盐度指标。

黑潮中层水(E) 它是黑潮系统中盐度最低的水团。这一原始水型的温、盐度指标值,是按照 Штокман 的“几何原理”^[18]确定的;即从曲线的拐点和下层水团的极值点,各作一切线,而以这两切线的交点,作为这一原始水型的位置。

黑潮下层水(F) 它位于深海谷的底部,本文所研究的海区只有很小的一个区域有这种水团存在。从这样的一个小区域来确定原始水型的温、盐指标,显然是不够准确的。但由于其影响不大,在资料缺乏的情况下,只好以其温度极值(最低值)作为确定的依据。

通过上述分析,我们可以初步地确定本海区夏季共有六个水团。其中前四个水团——大陆沿岸水、黄海冷水、黑潮表层水和黑潮次表层水,占据本海区的绝大部分空间,是本海区的主要水团;同时,它们彼此接触,相互混合,需要应用上述“混合四边形”法进行分析。另外两个水团——黑潮中层水和黑潮下层水,都处于深海谷中。它们与前四个水团中的三个水团(大陆沿岸水、黄海冷水、黑潮表层水)之间,不能发生直接混合,而只有通过其中之一(黑潮次表层水),才能与它们混合,因此可以另作处理。由于在 T-S 图解上,这两个水团范围内的 T-S 组偶,基本上是呈直线分布的(见图 4, C、E、F),所以它们的混合百分数,可以采用两个水团呈直线混合的原理进行计算。

应用前面提出的方法,我們分別計算六个水团的混合百分数,并图示了它們的等混合百分数綫在几个有代表性的平面和断面上的分布概况。現在我們拟将初步分析的結果,簡略地說明如下。

三、分析結果的探討

1. 大陆沿岸冲淡水 关于这一水团,过去所用的名称很不一致。日本作者有的称为“长江水”^[13],有的称为“中国大陆沿岸水”^[12],也有人称为“大陆中部沿岸水”^[10];我国作者則将渤、黄、东海所有的沿岸水統称为“沿岸水系”,而在沿岸水系之下,又将位于江、浙两省沿岸的沿岸水,分別称为“苏北沿岸水”与“江浙沿岸水”。按江、浙两省的沿岸水皆以低盐为其特征,加之又相互混合,故其确切边界,很难划定。再說,它的体积同其他外海水团比較起来,則显然小得很多,因此我們認为,在研究这种較大尺度水团混合的情况下,把它們作为一个水团来看待,并称之为“大陆沿岸冲淡水”(簡称“大陆沿岸水”)是比較恰当的。当然,对較小区域的研究來說,将这一水团再作次一級的划分,还是有必要的。

通过这一水团的混合百分数的平面分布和断面分布图(图 6, 7),对这一水团扩展的范围,我們可以得到一个比較清晰的概念。从表层、20 米层和“底层”(水深大于 100 米处取 100 米为底层,下同)的平面分布图(見图 6)可以看出,这一水团扩展的范围,随着深度的增加而剧速地縮小。如以 50% 等混合百分数綫为边界(此后,“边界”一詞的含义,皆系指 50% 这一等混合百分数綫的位置而言),表层最东达到了 $125^{\circ}20'E$ 附近,而 20 米层和“底层”則仅达到 $123^{\circ}E$ 附近。从横貫这一水团南半部的两幅断面图(見图 7)又可看出,这一水团的厚度很小,在这两个断面上,最厚处也不过 15 米左右。

从上述等混合百分数綫的分布图上,我們还可看出这一水团扩展的方向。

2. 黄海夏季深层冷水 这一水团前人所用的名称也是比較混乱的,有人称为“中央冷水”^[12],有人称为“黄海沿岸水”^[13],也有人称为“黄海冷水团”^[12,10]。我們認为,由于这一水团是在黄海形成的,而且只有夏半年在深底层才显示出它的低温特性,因此称之为“黄海夏季深层冷水”(簡称“黄海冷水”),比較恰当。

大体說来,黄海冷水位于水深大于 20 米的地方,图 8 指出了它在 20 米层和“底层”的分布情况。图中指出,这一水团几乎占滿了南黄海深度較大的区域,其南部呈舌状伸向东海,南界达到了 $30^{\circ}40'N$ 附近。

看来,这一水团的分布与地形有密切的关系。它主要是貯存在海底下凹的海盆地帶,只有伸向东海的水舌却是处在一个海底較陡的斜坡上,图 9 繪出了一个横断面上的分布情况。

3. 黑潮表层水 在討論黑潮表层水之前,我們拟对整个黑潮暖流水的分层問題略作說明。早年,須田皖次曾对此作过一些研究^[7,8]。他指出,亲潮寒流先汇于亚北极中层水,其后潛入黑潮下层,这可取为黑潮的下层边界。从这一观点出发,他認为黑潮的厚度只有 400—600 米,自此以下,不属于純黑潮系統。他把純黑潮系統的海水粗略地分为三个水层(表层部、中心部和下层部),并認为最大盐度层是黑潮水的中心部。因限于資料,本文不拟对各层海水的来源及其关系問題进行詳細的討論,而只拟应用 T-S 曲綫来試行划分本海区内黑潮流域垂直配置的水团。它們的名称,是根据水团所在层次而暫定的,

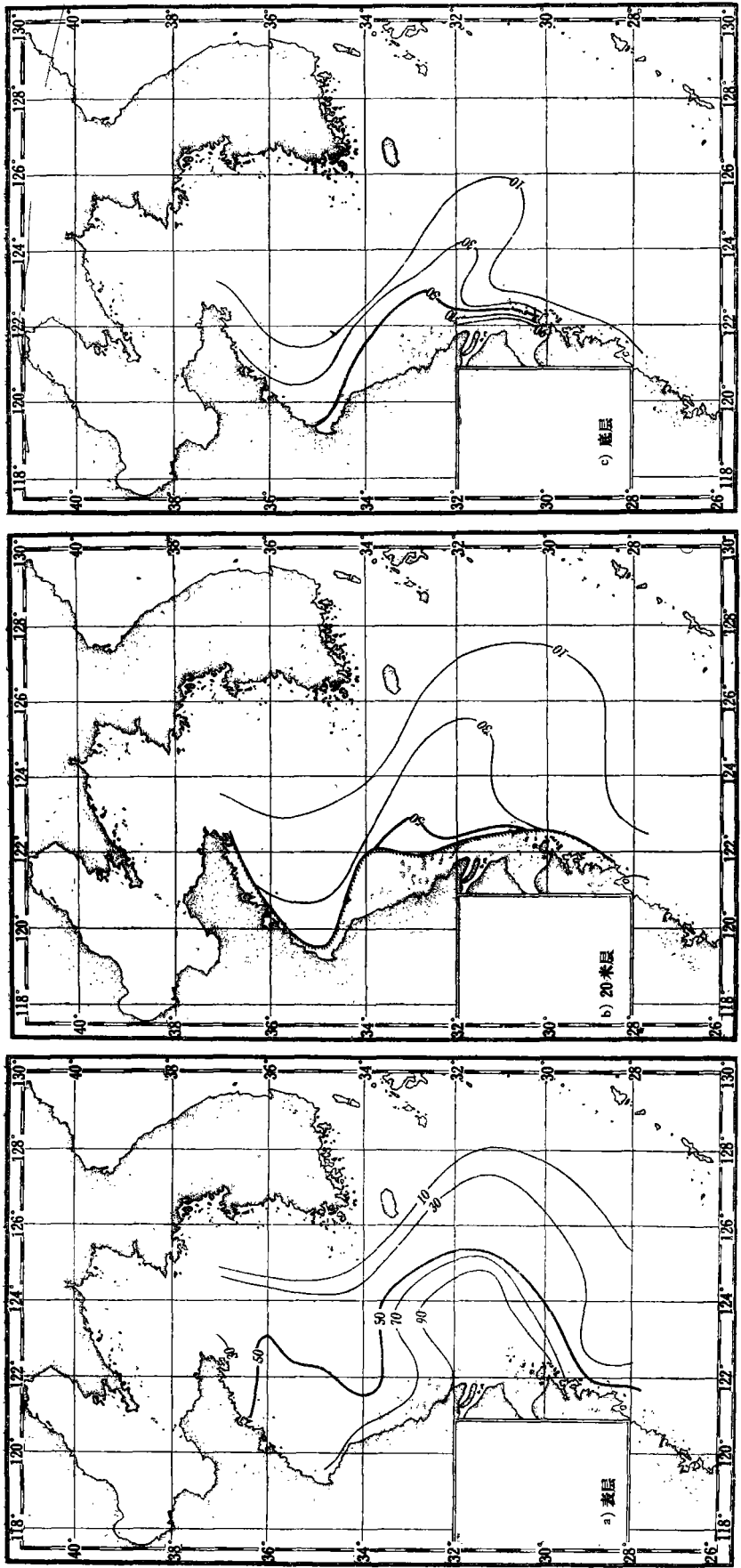
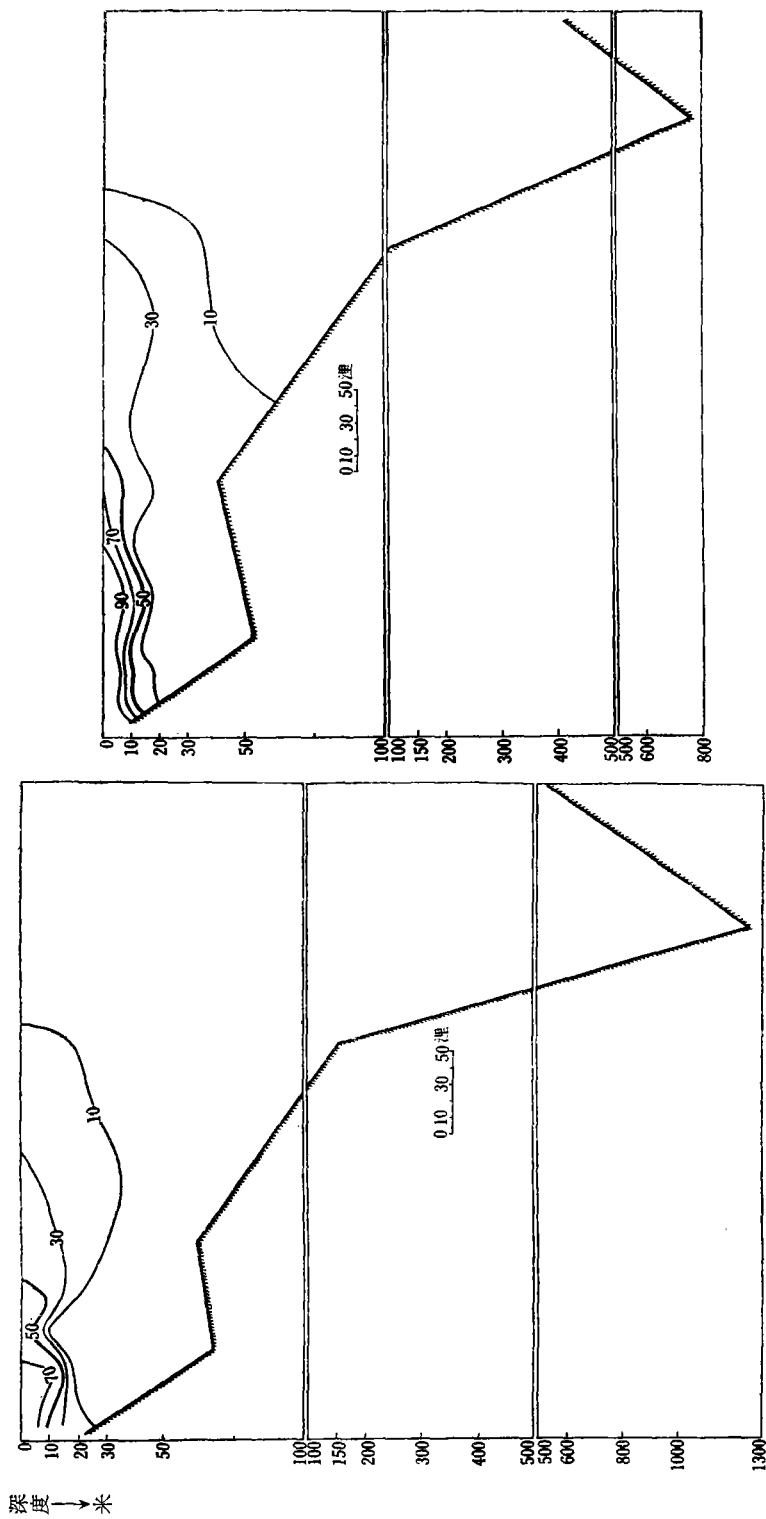


图6 A水型(大陆沿岸冲淡水)等混合百分数线的平面分布
 Fig.6 Horizontal distributions of equal mixing percentage lines of water type A (The Continental Coastal Water).
 a) Surface; b) 20m layer; c) Bottom.



a. 横贯黑潮主干

b. 横贯东海北部(对马暖流南段)

图 7 A 水型等混合百分数线的断面分布

Fig.7 Sectional distributions of equal mixing percentage lines of water type A.

a) Section across the main part of the Kuroshio

b) Section across the northern portion of the Eastern China Sea (southern part of the Tsushima Current)

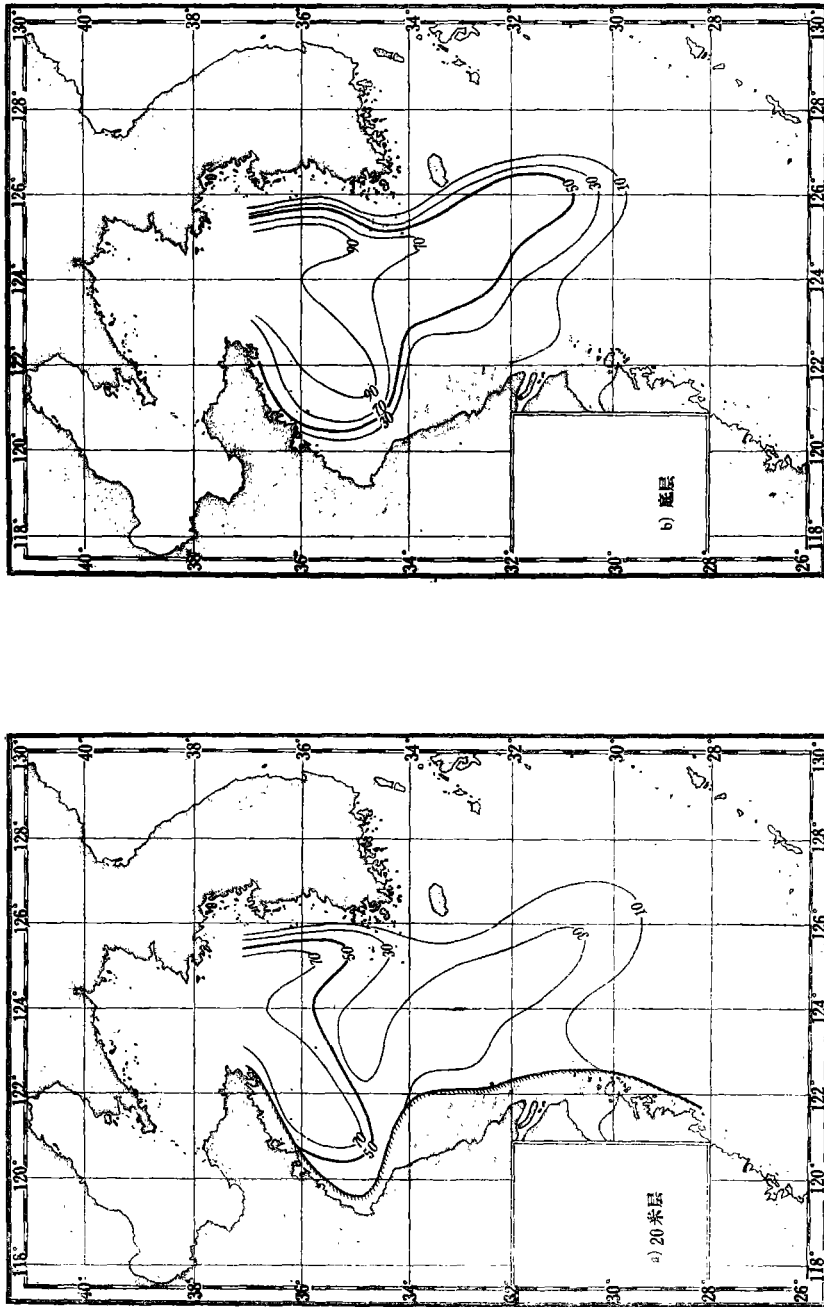


图 8 B 水型(黄海冷水)等混合百分数线的平面分布
 Fig.8 Horizontal distributions of equal mixing percentage lines of water type B (The Yellow Sea (Summer) Cold Water)
 a) 20m. layer; b) Bottom.

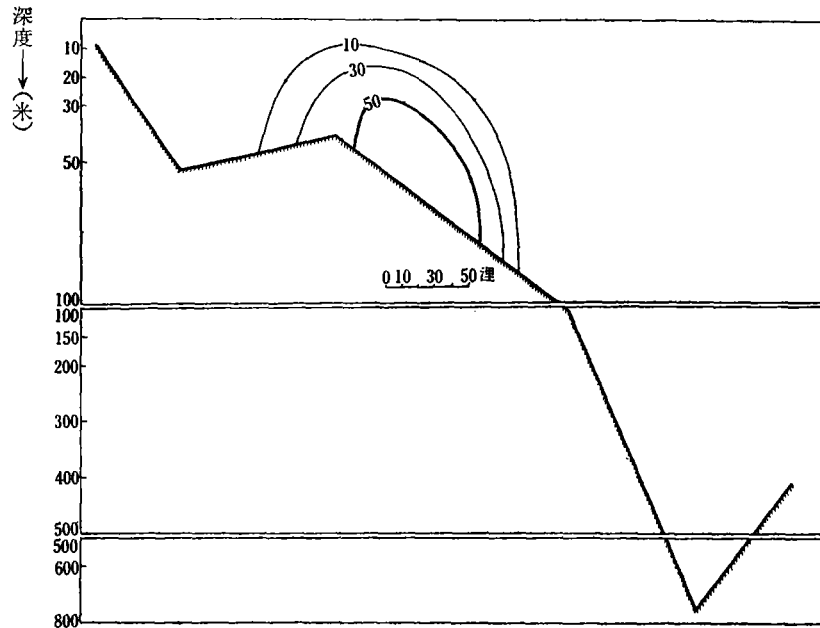


图 9 B 水型等混合百分数线的断面分布(断面横东海北部)

Fig.9 Sectional distributions of equal mixing percentage lines of water type B (Section across the northern portion of the Eastern China Sea)

这只是为了说明的方便起见,是否恰当,尚待今后收集更多资料,进行进一步的研究。

图 10 指出了黑潮表层水在表层、20 米层和“底层”分布的概况。由图可知,在表层,这一水团除主干部分外,显然还分出两个分支。靠近大陆的一支(西分支),北界(50%线)达到 30°N 附近;靠近九州的一支(东分支),除主流进入日本海外,另有一个分支,经济州岛附近进入南黄海,其北界达到了 34°N 附近。这一水团在 20 米层分布的范围,与表层相似,但经过济州岛附近进入南黄海的分支,显然比表层微弱得多了,北界已不能进入南黄海。在“底层”,这一水团所含的成分已经很少了。除了主流通过的个别测站之外,其混合百分数皆不到 50%。

关于黑潮水团几个分支的名称,过去也很混乱,为了便于叙述且免于混淆,本文提出如下的命名法:(i)它靠近大陆的那一支,有人称为“中间暖水”^[12,13],有人称为“台湾暖水”,也有人称为“黑潮北上分支水”^[9],本文则称为“台湾暖流水”;(ii)九州沿岸分支,前人统称为“对马暖流水”,本文拟仍沿用;(iii)对马暖流水进入黄海的分支,有人称为“对马西分支水”^[9],也有人称为“黄海暖水”,本文则称为“黄海暖流水”。

黑潮表层水的垂直分布,在黑潮主干、对马暖流、及台湾暖流等区域,各具特点。图 11a 是横贯主干的一个断面分布图。图中指出,在图的左方,即黑潮主流通过的地方^[14],黑潮表层水向下延伸的深度最大(约 100 米),而在出现逆流的区域,深度最小(不到 50 米)。这一现象可以做为研究本区海流的一项有用指标。图 11b 是横贯对马暖流南段的一个断面分布图。比较图 11a 与 11b 可以看出,黑潮表层水的垂直延伸范围,即其厚度(这里最厚处约为 50 米),已远不及它在主干区域(可达 100 米)来得大了;同时,作为研究海流的指标作用,也远不如前者明显了。在横截台湾暖流的断面(图 11c, 11d)上,黑潮表

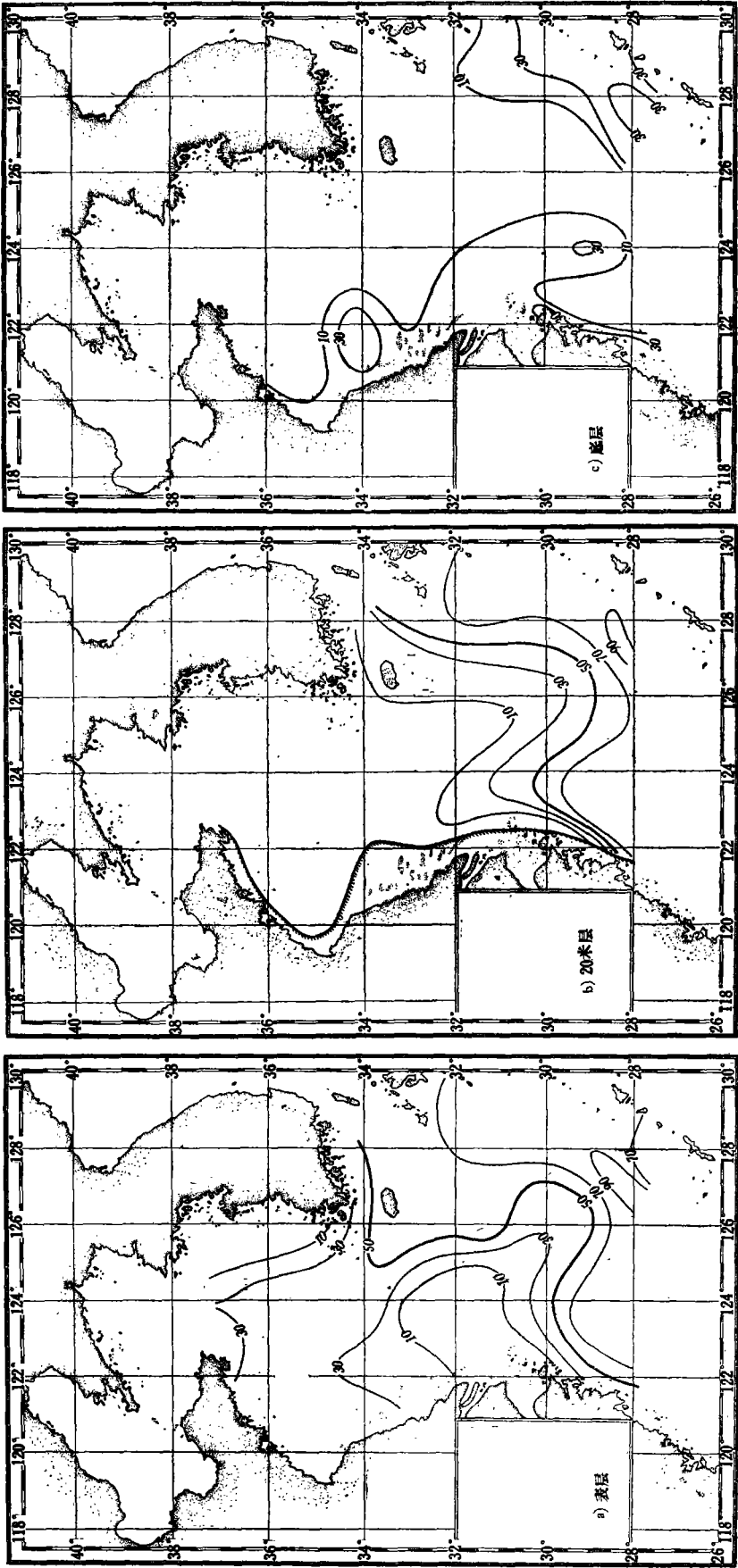


图 10 D 水型(黑潮表层水)等混合百分数线的平面分布
 Fig.10 Horizontal distributions of the equal mixing percentage lines of the water type D (The Kuroshio Surface Water)
 a) Surface; b) 20m layer; c) Bottom.

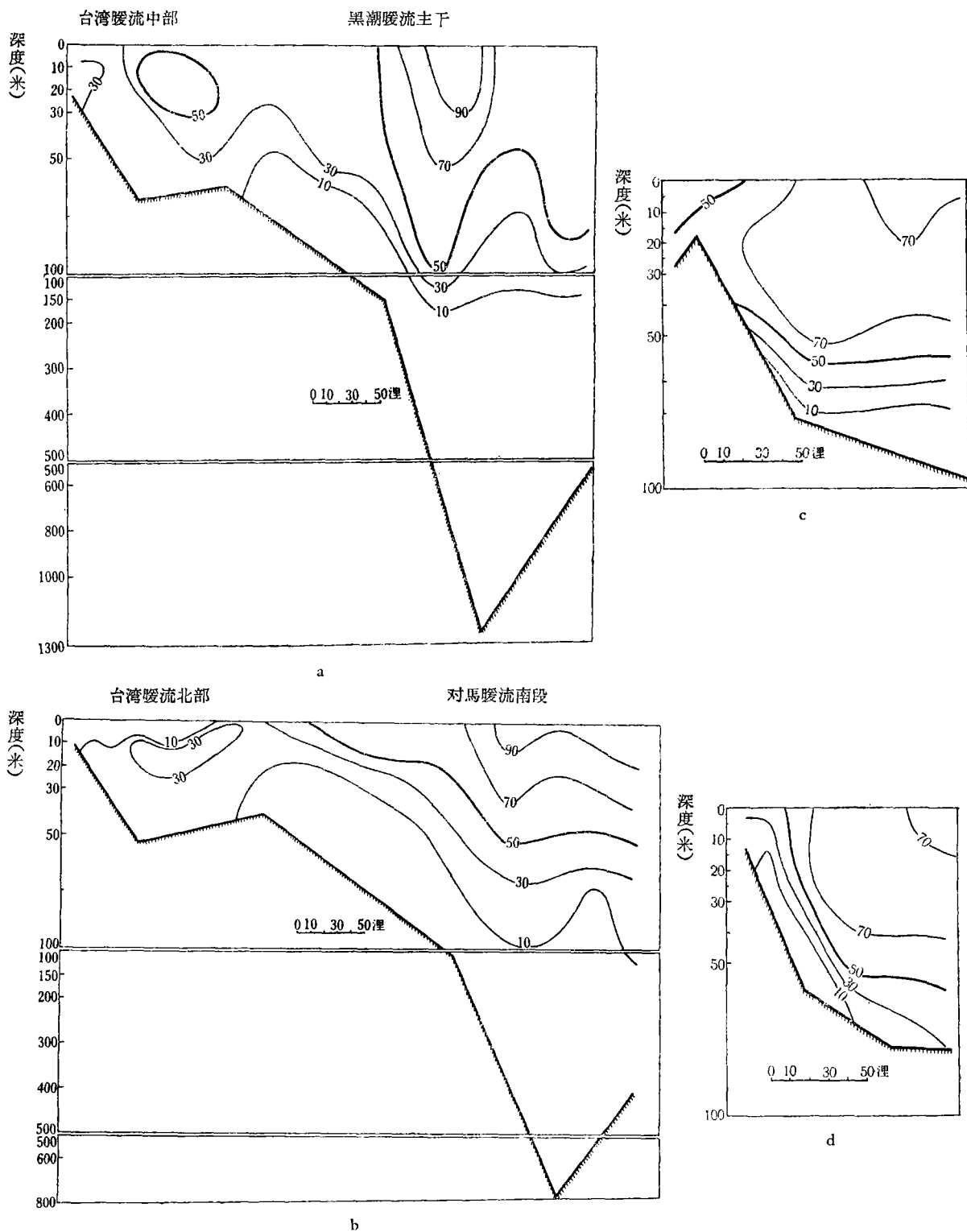


图 11 D 水型等混合百分数线的断面分布

a) 横贯黑潮主干; b) 横贯东北北部(对马暖流南段); c) 横截台湾暖流南部; d) 横截台湾暖流中部。

Fig.11 Sectional distributions of the equal mixing percentage lines of the water type D

a) Section across the main part of the Kuroshio; b) Section across the northern portion of the Eastern China Sea (the southern part of the Tsushima Current); c) Section across the southern portion of the Taiwan Current; d) Section across the central portion of the Taiwan Current.

层水的厚度已变得更薄,并且完全没有上述反映海流的相应迹象了。

4. 黑潮次表层水 这一水团大致相当于须田皖次的“黑潮中心部”^[7,8]。同黑潮系统的其它水团比较起来,它以盐度最高为其特征;因此,似应属于 Муромцев 所划分的“北亚热带近表层水”^[3]。

图 12 指出黑潮次表层水在表层、20 米层和“底层”的分布情况。值得注意的是,在表层图上,还出现一个以 29°N 、 126°E 为中心的黑潮次表层水含量较高的闭合区域。这一现象表明:在这里涌升的黑潮次表层水,已经显著地影响到表层。

图 12c 指出黑潮次表层水在本海区“底层”的水平分布情况。依此图看来,它的 50% 綫,在台湾暖流中,其北界只达到 $31^{\circ}20'\text{N}$ 附近,而在黄海暖流中,则达到了 34°N 附近。

在黑潮暖流的各个部位上,黑潮次表层水所处的深度情况亦不相同。在主干上,它大体处在 75 米至 400 米之間,核心約在 150 米附近。从图 13a 可清楚地看到,黑潮次表层水在主干上沿大陆斜坡向大陆棚涌升的现象,是非常显著的;在这里,50% 这一等混合百分数綫,竟向上延伸到 30 米层附近。

在对馬暖流南段的断面上(图 13b),黑潮次表层水大体位于 50—300 米之間,核心位于 90 米上下。这里同样也有涌升现象出现,但远不如黑潮主干部分来得显著。

在台湾暖流中,黑潮次表层水已变得很薄;但它在这里貼岸涌升的现象,却是相当显著的(见图 13c, 13d)。

5. 黑潮中层水 这一水团以低温、低盐为其特征,它并不与须田皖次所划分的“黑潮下层部”^[7,8]完全相当。从其水文特征来看,似属 Муромцев 所划分的“北太平洋中层水”^[3]。黑潮中层水分布于較深的海谷中,在黑潮的主干部分,它分布的深度,大約在 400—800 米之間;在对馬暖流南段,大致是 300 米到海底(約 600—700 米);台湾暖流中,則沒有这一水团出现。

6. 黑潮下层水 这一水团只分布于黑潮主干范围很小的深谷底部,它的分布深度,大致是 800—1,200 米。这种水团带有“北太平洋上深层水”的性质^[3];但其盐度較后者为低,温度則又較后者为高,这可能是由于受了琉球海岭阻障的影响,使本海区的黑潮下层水与北太平洋的上深层水不能自由交通的緣故。

以上我們分別說明了研究海区六个水团各自的分布概况。为了获知这些水团在本海区相互配置的全貌,我們以 50% 这一等混合百分数綫,作为水团的边界,以 75% 綫所包的面积,作为水团的核心范围,研究了这些水团在各层的水平分布,以及它們在橫貫黑潮主干、对馬暖流南段和台湾暖流几个断面的分布情况,从而了解各个水团的水平配置及垂直配置的情况。

(1) 表层 本海区的表层,只有大陆沿岸水和黑潮表层水这两个水团。值得注意的一点是:在这两个水团之間,有一块面积較大的区域,在这里,几类原始水型的混合百分数均不到 50%,因此,这一区域可以恰当地称为“混合区”;其中,以 30°N 、 126°E 为中心的那一圓形混合区尤为显著,而这一区域,也即是前面提到过的黑潮次表层水涌升到海面的范围。

(2) 20 米层 在 20 米层,共出现了四个水团,但是每一个水团所占的面积都不大。对本海区絕大部分的地方來說,則是各种原始水型皆不到 50% 的混合区。四个水团

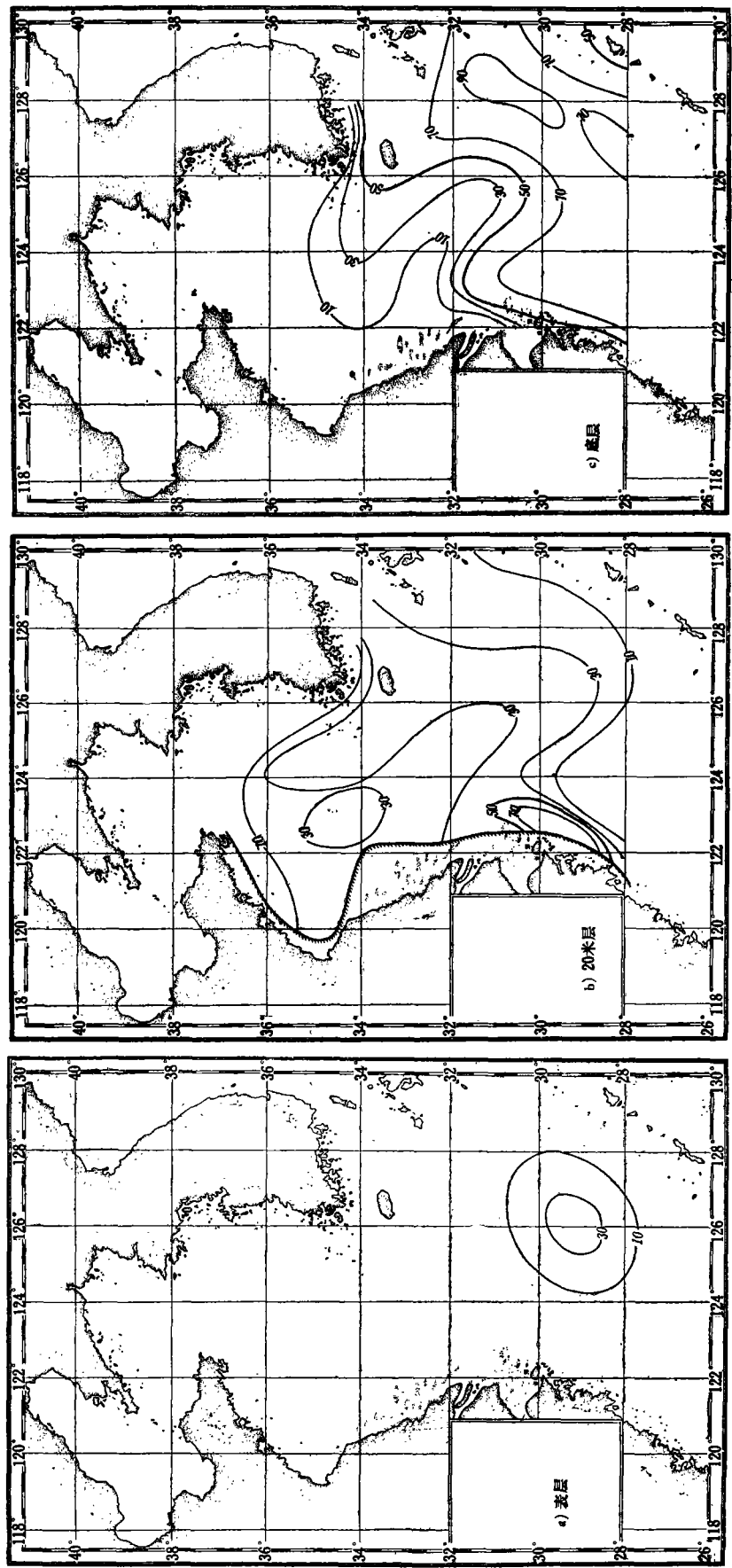
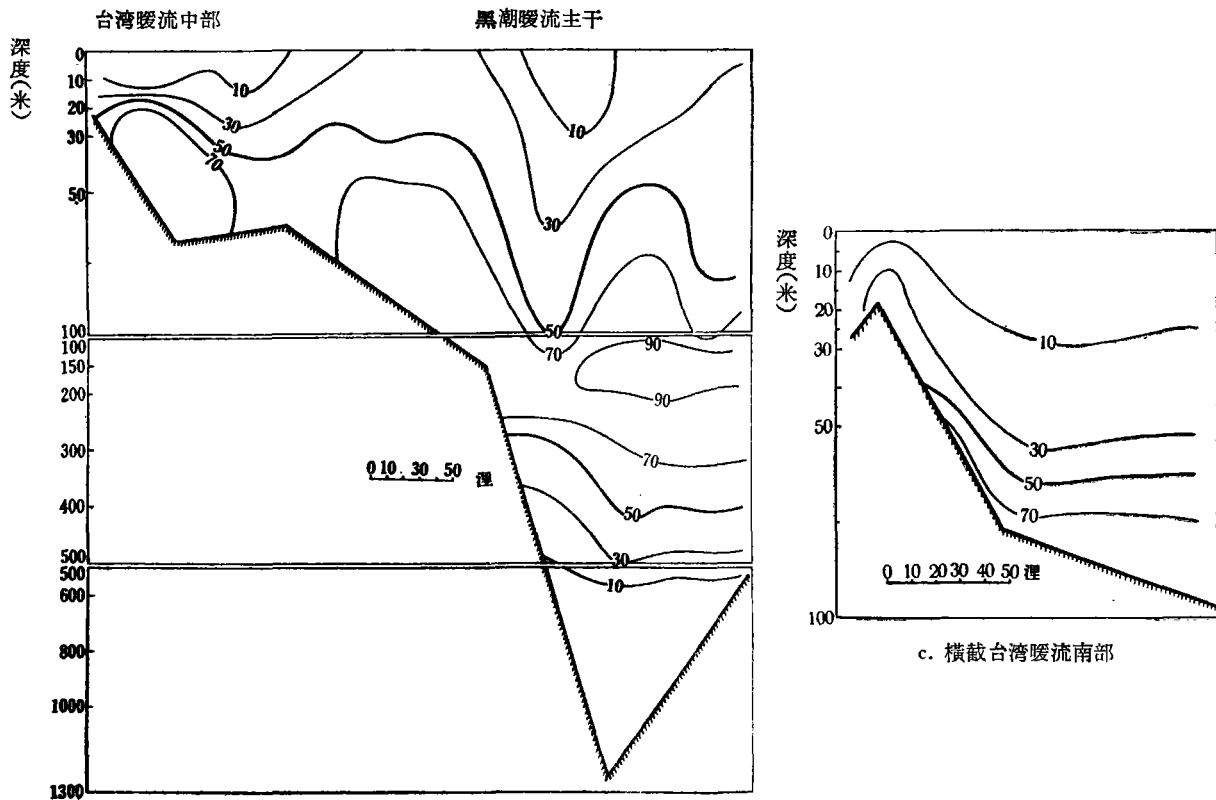
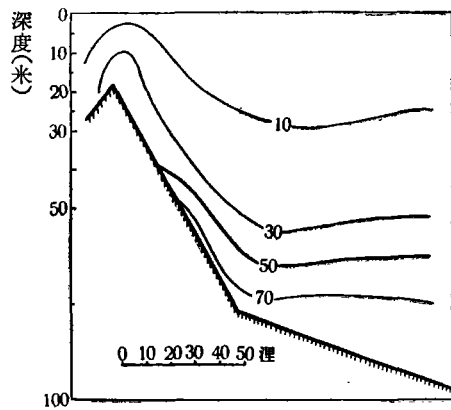


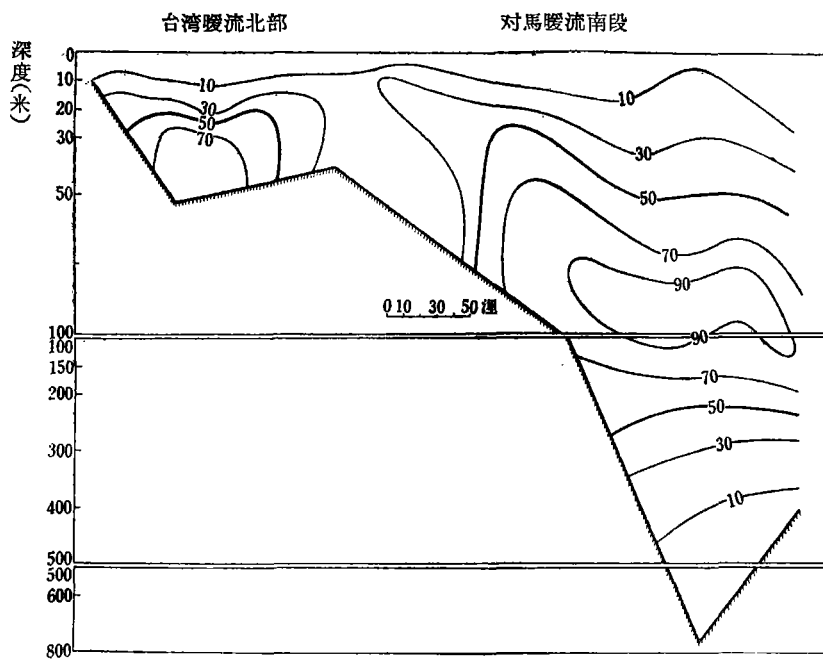
图 12 C 水型(黑潮次表层水)等混合百分数的平面分布
 Fig.12 Horizontal distributions of the equal mixing percentage lines of the water type C (The Kuroshio Subsurface Water)
 a) Surface; b) 20m layer; c) Bottom.



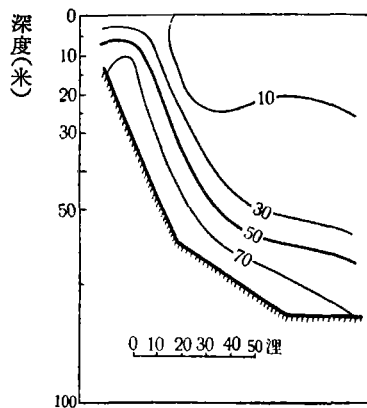
a. 横贯黑潮主干



c. 横截台湾暖流南部



b. 横贯东海北部(对马暖流南段)



d. 横截台湾暖流中部

图 13 C 水型等混合百分数线的断面分布

Fig.13 Sectional distributions of the equal mixing percentage lines of the water type C
a) Section across the main part of the Kuroshio; b) Section across the northern portion of the Eastern China Sea (the southern part of the Tsushima Current); c) Section across the southern portion of the Taiwan Current; d) Section across the central portion of the Taiwan Current.

配置的情况大体是这样：(i) 黄海冷水位于本文所研究的海区的北端，由于它在此地最先出现，可见，在这里黄海冷水所处的深度最浅；(ii) 大陆沿岸水在这一水层分布的范围，比表层缩小得多，在这一水层里，它主要分布于 $30^{\circ}30'$ — $33^{\circ}40'N$ 之间的浅水区域；(iii) 黑潮表层水的范围也比表层向东退缩，进入黄海的分支已经不明显了；(iv) 值得注意的是，在近海的某些地方已出现黑潮次表层水，可见它在这里上升得最为显著。

(3) 底层 在“底层”，黑潮表层水已经不见了，而只出现大陆沿岸水、黄海冷水和黑潮次表层水三个水团鼎足分布的局面。大陆沿岸水的边界位置，大体上和 20 米层的相同；在“底层”，黄海冷水已经扩展到整个南黄海的中部，而且向南伸展到 $30^{\circ}40'N$ 附近；黑潮次表层水除分布在黄海冷水的东、南两方以外，还分出了一个分支，插入前两个水团之间。在这三个水团交接的地方，也有一个各种原始水型皆不到 50% 的混合区。

(4) 各个水团垂直配置的情况 在黑潮主干这一断面上，有一个地方，黑潮表层水楔形伸入，达到 100 米左右的深层，这就是黑潮的主流所在。黑潮次表层水的下界，约为 400 米左右，它逆坡涌升的现象是十分明显的。黑潮中层水和黑潮下层水，则分别分布于 400—800 米和 800 米—海底之间；如前所述，它们与大陆棚上的水团，并无直接联系。

横贯东海北部的另一个断面，几乎剖切了研究海区所有的水团。这样看来，在断面东部（这里正是对马暖流的南段），黑潮水几个水团垂直配置的情况，与黑潮主干部分非常近似；只是由于这里水的深度较浅，因而没有黑潮下层水出现；同时，各个水团的厚度都相应地变薄，而且，黑潮表层水的楔形下伸现象，也不甚显著了。断面西部正是台湾暖流的前端，其上层是厚度很薄的大陆沿岸水，下层是一支孤立的黑潮次表层水，两者之间，有一个 10 多米厚的混合水层。断面中部出现了一股伏在海底的黄海冷水，它除了东侧与黑潮上层水直接接触外，其余几面，都有厚度和范围较大的混合水，和其它的水团相间隔。

在台湾暖流区域内，各水团的垂直配置情况是比较复杂的。在台湾暖流不同的位置上，各水团垂直配置与黑潮次表层水逆坡涌升的情况，也是不一样的。

结 语

本文从几个水团同时相互混合的观点出发，提出了一个应用 T-S 图解来分析陆棚浅海区域水团的方法，并用以分析了南黄海与东海北部 (37° — $28^{\circ}N$) 夏季的水团。应用这种分析方法得到的结果，同我们根据温、盐、磷、氧四个独立因子综合分析的结果相比较，大体相同；可见这种方法，在混合过程极其复杂的浅海区域，也仍有一定的适用性。特别是在几个水团相互混合剧烈，从一般水文特征无法确定其边界时，应用这种方法最能发挥作用。而且，根据这一方法，能够定量地指出某一地点上各原始水型所占的含量（混合百分数），这是应用一般的定性方法所无法做到的。至于这种方法本身，我们认为，它具有以下几点优点：

第一，在几个水团相互混合的区域，应用原始水型的 50% 这一等混合百分数线作为边界，而以各种原始水型的混合百分数皆不到 50% 的区域作为混合区，可以说是一项比较客观、也比较合理的准则；而在应用一般定性方法来分析水团时，边界的划分经常是主观的，亦是最容易引起争论的。

第二，这种方法除了能够确定水团的边界和混合区之外，根据等混合百分数线的分布

情况,还可以了解各种水团的中心位置与扩展方向,为水团在水平与垂直方向的动向,提供了合理、可靠的依据(或指标)。

第三,这种方法只需应用最易获得而又准确可靠的温、盐度资料,所以实用意义较大。

但也应强调地指出,这种方法也有一定的局限性和缺点。首先,它只适用于分析温、盐度相差较大的水团;而对温、盐特征年变化较大的水团来说,它也只能分析一个特定季节的情况。其次,在等混合百分数的分布图上,有时可能出现个别的不合理现象;如前所述,在以 34°N 、 122°E 为中心的这一区域的“底层”,出现了一个黑潮表层水含量较高的区域(见图10c),这是难以理解的。究其原因,很可能是由于这里近陆水浅,因受陆地影响,使底层水温迅速上升的缘故,并不见得真的是黑潮表层水的成分增加了。又如在图12b上,南黄海中部,20米层竟出现了黑潮次表层水一个孤立的高含量区,这也是值得怀疑的。根据情况看来,很可能是由于,在这里,20米层适处在温跃层附近,其温、盐度值接近黑潮次表层水的缘故。这些个别不合理的现象,都需要通过分析将其分别剔除。

最后,还需着重地指出,在这种方法中,原始水型的温、盐度指标确定得正确与否,是一个重要关键。本文试行确定的几个原始水型,其温、盐指标是否完全正确合理,也还是值得进一步研究的问题。

参 考 文 献

- [1] 毛汉礼、甘子钧、蓝淑芳, 1963. 长江冲淡水及其混合问题的初步探讨. 海洋与湖沼 5(3): 183—205.
- [2] 赫崇本、汪圆祥、雷宗友、徐 斯, 1959. 黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨. 海洋与湖沼 2(1): 11—15.
- [3] 穆罗姆采夫, A. M., 1958. 太平洋水文的基本特征. (谢金赞等, 1959年译, 科学出版社) 183—198页.
- [4] 斯费德鲁普, H. U., 约翰逊, M. W., 佛莱明, R. H., 1946. 海洋. (毛汉礼, 1958年译, 科学出版社) 120, 530—659页.
- [5] 普劳德曼, J., 1953. 动力海洋学. (毛汉礼, 1956年译, 科学出版社) 114—115页.
- [6] 中国人民解放军海军海道测量部, 1957. 海洋水文参考资料(中国海区及朝鲜西岸), I. 274—403页.
- [7] 须田皖次, 1930. 黑潮系海水の組織と其の乱流状態に就いて(1). 海洋时报 2(3): 483—499.
- [8] 须田皖次, 1931. 黑潮系海水の組織と其の乱流状態に就いて(2). 海洋时报 3(1): 201—209.
- [9] 辻田时美, 1950. 硅酸盐よりみたる支那东海の水塊. 东海黄海の海况, 第二报(日本西海区水产研究所, 油印本).
- [10] 加藤威夫, 1957. 夏季における东支那海の海况. 海洋时报 10(8): 693—697.
- [11] 宇田道隆, 1941. 1939年6、7月中国海方面的海况. 水产試験場报告第11号, 39—97页.
- [12] 宇田道隆, 1950. 东支那海の水溫变化(其一). 东海黄海の海况, 第二报(日本西海区水产研究所, 油印本).
- [13] 安井善一, 1932. 长崎—上海間水溫盐分の年变化に就いて. 海洋时报 4(1): 241—248.
- [14] 日本气象厅, 1960. 海洋气象観測資料, 26: 53—57, 108—113, 图1—16.
- [15] Добровольский, А. Д., 1961. Об определении водных масс. Океанология, 1(1): 12—24.
- [16] Мамаев, О. И., 1962. T, S-анализ движущихся водных масс океана, ограниченных по вертикали. Океанология, 2(2): 193—204.
- [17] Тимофеев, В. Т., Панов, В. В., 1962. Косвенные методы выделения и анализа водных масс, Гидрометеоиздат, Ленинград, 154—235.
- [18] Штокман, В. Б., 1943. Основы теории TS-кривых. «Проблемы Арктики», № 3.
- [19] Штокман, В. Б., 1944. Геометрические свойства OS-кривых при смешении трех водных масс в неограниченном море. Докл. АН СССР: 43(4): 351—355.
- [20] Cochrane, I. D., 1958. The frequency distribution of water characteristics in the Pacific Ocean. Deep-Sea Res., 5(2): 111—127.
- [21] Miller, A. R., 1950. A study of mixing processes over the edge of the continental shelf. J. Mar. Res., 9(2): 145—160.
- [22] Montgomery, R. B., 1958. Water characteristics of Atlantic Ocean and of World Ocean. Deep-Sea Res., 5(2): 134—148.

- [23] Jacobsen, J. P., 1927. Eine graphische Methode zur Bestimmung des Vermischungs-Koeffizienten im Meere. *Gerlands Beitrage Geophysik*, 16:404 (Leipzig)
- [24] Defant, A., 1929. Veröff Inst. f. Meerskunde N. F. Reike, A, 19.
- [25] Helland-Hansen, B., 1916. Nogen hydrografiske metoder. *Forh. Skandinavioke Naturf. möte*: 357. (Christiania)

A PRELIMINARY INVESTIGATION ON THE APPLICATION OF USING T-S DIAGRAMS FOR A QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE WATERMASSES IN THE SHALLOW WATER AREA

MAO HAN-LEE, REN YUN-WU AND WAN KOU-MIN

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

(ABSTRACT)

In this article, a preliminary investigation on the application of using T-S Diagrams for a quantitative analysis of the watermasses in the shallow water area has been made. Watermasses of Summer type in the region of the Southern Yellow Sea and the northern part of the East China Sea (37° — 28° N) have been selected for this investigation. The main body of this paper consists of three sections.

In the first section, the method employed in this paper is presented. For the study of the simultaneous mixing of four watermasses, two graphical methods have been available, i.e. the so-called "method of two sets of 'mixing triangles'" suggested by Timofeev and the "method of 'mixing quadrilateral'" employed by Miller. In this paper, an algebraic method is proposed. Based on the well-known "linear and inverse ratio" relationship (advance by Jacobsen) and some reasonable assumptions (stipulated by us), three sets of algebraic equations have been formulated and formal solutions of these equations obtained. For the convenience of practical computations, a set of graphs have been constructed.

The second section deals with the determination of the "original water types". On account of the utmost importance of the correctness of these determinations and also of the complex nature of the watermasses in our selected area, great cares have been exercised in every respect on the determination of the "original water types". Hundreds of T-S curves representing every subarea and every watermass have been drawn and their shapes detailedly compared, characteristic features of different watermasses have been carefully examined, several of Stockman's seven rules of "mixing triangle" have been properly applied, etc. It is found that six different "original water types" (representing six different watermasses) can be recognized, i.e. (1) The (Continental) Coastal Water, (2) The Yellow Sea (Summer) Cold Water, (3) The Kuroshio Surface Water, (4) The Kuroshio Subsurface Water, (5) The Kuroshio Central Water, and (6) The Kuroshio Lower Water. Among these six watermasses, the first four (1—4) can mix with one another simultaneously, but the last two (5—6) can't, they can only mix with each other and the (Kuro-

shio) Central Water (5), may also with the (Kuroshio) Subsurface Water (4).

In the third section, the essential results found by us are briefly discussed. Dozens of charts, diagrams, and graphs showing lines of equal percentage of each of the six "original water types" have been presented. Line of 50% of any "original water type" is taken as its boundary, areas containing more than 75% of any "original water type" are considered as "core zones", areas containing less than 50% of any "original water type" are defined as "mixed zones". The nature and characteristic features of these six watermasses have been briefly described, and their general distributions properly outlined. Finally, the general arrangement of these six watermasses in the area studied has been reviewed, and the occurrence of certain peculiar features on the distributions of temperature and salinity has been ascribed to some kinds of movements of these watermasses (for examples, upwelling, wedge-in, etc.).

Results of this investigation agree satisfactorily with those obtained by qualitative analysis of the distributions of temperature, salinity, dissolved oxygen and phosphate, etc. in the same area and same season. It shows that this method is applicable to the watermass analysis of the shallow water area.

In addition to the above-mentioned sections, this article also contains a brief introduction and some concluding remarks.