

# 聚类分析法在浅海水团分析中的应用 及黄、东海变性水团的分析\*

苏育嵩 喻祖祥 李凤岐

(山东海洋学院)

水团分析是海洋学最早研究的课题之一。就研究方法而论,以浓度混合理论法历来最为引人注意。该法是由 Helland-Hansen 首次创立的,以后相继得到许多学者<sup>[1,14,15,17,18]</sup>的逐步完善和应用。这种方法建立在 T-S 图解的基础上,并能得到定量的结果,在大洋水团分析中应用的效果亦良好。但运用于浅海,则有较大的局限性。关键问题在于浅海难以确定“原始水型”的“核心值”,因而确定水团的边界会带来较大的误差;尤其是把问题处理成封闭系统内部的纯混合,对于变性显著的浅海水团,分析其消长变化时,误差必然会更大。一般说来,用纯混合理论法往往会得出显著偏大的混合区(秋季)和淡水区(夏季)。近年来概率统计法的研究工作已有一些进展<sup>[10,16,2]</sup>。它基于资料序列的统计分析,亦能得出定量的结果,但某些方法与实际应用仍有相当的距离。

本文试图应用聚类分析法研究浅海变性水团边界的确定及其消长变化规律。

## 一、聚类分析法在浅海水团分析中的应用

### (一) 在 T-S 点聚图上划分浅海变性水团的依据

浅海区水体受地理、气象及动力等因素的影响相当显著,变性强烈,因此不能充分具备大洋水团的均一性和保守性。特别在界面处,海-气之间的热交换是不能忽视的。不能把海水内部的混合看成是单向混合逐步趋于均匀的过程,而应看成是有消有长的变化过程。也就是说,处于浅海的水体不同程度地都已变性,对于浅海水团的分析,应该引入变性的概念。实际上浅海水团的分析,就是水体变性的分析,故本文将所讨论的各种水体统称为变性水团。为了便于分析,我们把浅海变性水团看作:理化性质相近、占据一定空间、具有规律性季节变化的水体。在 T-S 点聚图上,相当于具有一定数量的点子(代表空间)密集成团(温、盐度相近),其重心的季节变化遵循某种规律,而且有合并(某个水体消亡)及分离(某个水体形成)的过程。此外,在 T-S 点聚图上,混合区所对应的点子,不应象原混合理论那样,一定落在各水团核心值连线的中部区域(对黄、东海而言,该区域内点子数量相当可观),而应为各水团边缘上的零星点子。由此可见,我们的任务是设法在 T-S 点聚图上将温、盐相近的点子圈起来,每个圈代表一个变性水团,并根据海区的特点确定圈圈的个数。聚类分析方法基本上能满足这些要求。

\* 文稿承赫崇本教授审阅,谨致谢忱。

本刊编辑部收到稿件日期:1982年1月5日。

## (二) 聚类分析法的原理

设研究海区中有  $N$  个测样 (即样本), 每个测样有  $m$  项观测值 (如温度、盐度、溶解氧等), 把所有  $N$  个测样都看作是  $m$  维空间的向量

$$\mathbf{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

在  $m$  维空间中, 理化性质相近的样本, 其间的距离应该小, 故可依一定标准选其距离小者聚为一类。本文采用欧氏平方距离, 即两个向量  $\mathbf{X}_i$  与  $\mathbf{X}_j$  端点间的距离可表示为:

$$D_{ij}^2 = (\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)(\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)', \quad (2)$$

式中  $(\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)'$  为  $(\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)$  的转置。当只考虑温度 ( $T$ ) 和盐度 ( $S$ ) 两个指标时, 上式可简化为:

$$D_{ij}^2 = (T_i - T_j)^2 + (S_i - S_j)^2. \quad (3)$$

因  $T$  和  $S$  的量纲不同, 变化幅度有时也甚为悬殊, 故应对其进行标准化处理。

初始令每个测样自成一类, 计算所有测样两两之间的欧氏平方距离, 选其最近者聚合。例如  $D_{pq}^2$  为最小, 则将  $p, q$  合并为一个新类  $r$ 。  $r$  与其余各类间的平方距离  $D_{ir}^2 (i = 1, 2, \dots, N; i \neq p, q)$ , 因聚类方法的不同而有不同的定义, 例如重心法依下式进行计算:

$$D_{ir}^2 = \frac{n_p}{n_r} D_{ip}^2 + \frac{n_q}{n_r} D_{iq}^2 - \frac{n_p \cdot n_q}{n_r^2} D_{pq}^2, \quad (4)$$

式中  $D_{pq}^2$  为合并前  $p, q$  类间的平方距离,  $D_{ip}^2, D_{iq}^2$  为各类与原  $p, q$  类的平方距离,  $n_p, n_q$  分别为  $p, q$  类的测样数, 而  $n_r = n_p + n_q$ 。

如此反复循环, 每次都选距离最小者合并。最后所有测样皆聚为一类, 就可划出系统树, 这就是系统聚类法。

## (三) 局部最佳的逐步检验聚类法

将系统聚类法照搬来分析浅海水团是不太适用的。系统树是将所有测样最终聚为一类而建立起来的, 在确定水团个数及混合区时均不方便; 而且这种聚类法需要储存大量的平方距离  $D^2$ , 当测样数及维数较多时, 一般的计算机将难以完成计算。为此提出了局部最佳逐步检验聚类法。这种方法需要建立一个合理的检定式, 以规定聚合的标准, 并需设法减少单个测样 (起始点) 聚合的次数, 以期聚类的结果达到系统聚类的要求。现分述如下:

### 1. 检定式

根据逐步聚类的要求, 提出如下检定式:

$$G = \frac{\frac{D_{pq}^2}{\sqrt{\sigma_T \sigma_S}}}{\frac{(S_p + S_q)}{n_r} + \frac{\sqrt{n_r}}{A}}, \quad (5)$$

使满足不等式

$$G < G^* \quad (6)$$

作为聚合的标准。式中  $G^*$  为临界值, 对于确定的海区为常数, 其具体量值可根据海区条件试验确定。 $G$  为计算值,  $D_{pq}^2$  是  $p$  与  $q$  的类间距离, 是衡量两类可否合并的主要依据。 $\sigma_T, \sigma_S$  分别表示温度和盐度的均方差, 可体现温、盐度的变幅, 反映不同季节  $G$  值的变动, 使 T-S 点聚图上夏季点子散布的幅度较冬季为大时仍能有同一的聚合标准, 而不必改变  $G^*$  值。 $S_p, S_q$  分别表示  $p, q$  的类内离差平方和

$$\left. \begin{aligned} S_p &= \sum_{l=1}^{n_p} [(T_l - \bar{T}_p)^2 + (S_l - \bar{S}_p)^2], \\ S_q &= \sum_{k=1}^{n_q} [(T_k - \bar{T}_q)^2 + (S_k - \bar{S}_q)^2]. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

它们体现类内测样的离散程度, 在检定式中起一种控制作用, 使密集成团 ( $S$  值小) 的类不易与其它类合并, 而放宽松散成团 ( $S$  值大) 的类的聚合条件。式中  $\bar{T}_p, \bar{S}_p, \bar{T}_q, \bar{S}_q$  分别为  $p, q$  类的温、盐度的均值;  $A$  为调整系数,  $\frac{\sqrt{n_r}}{A}$  体现两类测样总个数在聚合中的作用, 使  $n_r$  值小时不易合并,  $n_r$  大时则易于合并。

## 2. 聚类方式及步骤

(1) 开始每个测样自成一类, 此时各类的重心(均值)即为测样自身, 而类内离差平方和为零。

(2) 计算第一个测样(第一个起始点)与其余所有测样间的欧氏平方距离及  $G$  值。

(3) 选其中最小的距离, 经(6)式检验合格者并为一新类。为了减少起始点的个数及节省内存, 聚合时将序号大的类并入序号小的类内, 序号大的类即不复存在。同时计算新类的均值(重心)及类内离差平方和。

(4) 返回步骤(2), (3), 直到检验不合格为止, 此时第一类已包含若干个测样。这样构成一个小循环。

(5) 再对下一个测样返回步骤(2)—(4), 如此反复计算, 构成若干个小循环, 每个小循环都形成一个新类。

为了克服逐步聚类的局部性, 应该使临界值  $G^*$  尽量小, 但  $G^*$  值过小, 聚成的新类又会过多。为此采取把  $G^*$  值定为三级从小到大自动浮动的方式, 每一级都进行步骤(2)—(5)的计算, 即得最终的分类。

在最终分类中, 测样数众多者即定义为一个变性水团, 测样数少或单个测样的类定义为混合区。

在黄、东海的计算中, 取  $A = 6, G^* = 0.10, 0.13, 0.16$ 。计算结果参看图 1, 其中  $a$  标出了三个不同的  $G^*$  值所圈定的各变性水团的聚合范围。

## 3. 其它的处理

(1) 鉴于重心法的特点,  $p, q$  类合并后, 新类的均值就是新类的重心, 因此可用此均值去计算与其余各类的距离。设  $p, q$  类分别已有  $n_p$  和  $n_q$  个测样, 则  $p, q$  类间的平方距离及聚合后新类的均值(重心)分别为:

$$D_{pq}^2 = (\bar{X}_p - \bar{X}_q)(\bar{X}_p - \bar{X}_q)', \quad (8)$$

$$\bar{X} = (n_p \bar{X}_p + n_q \bar{X}_q) / n_r \quad (9)$$

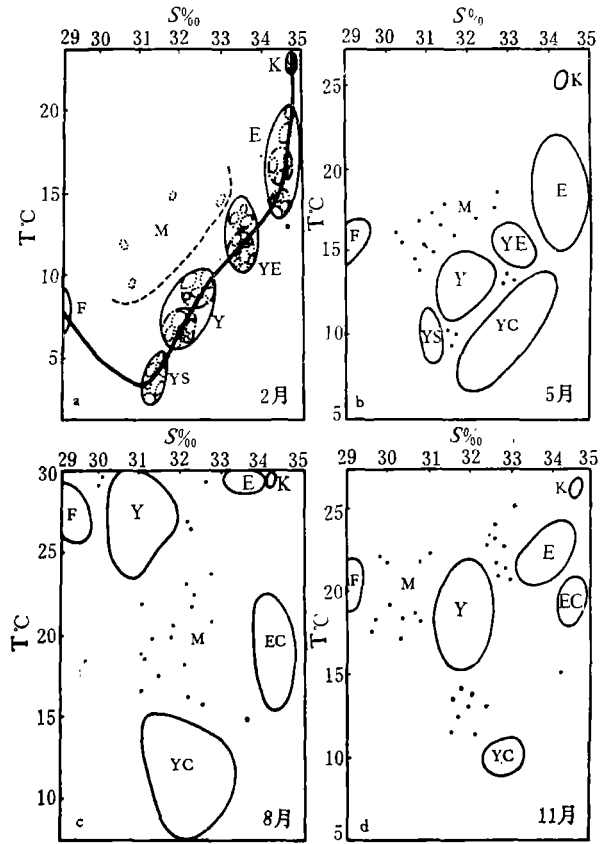


图1 黄、东海区各变性水团聚类图 (1979)

可见只要保留每类的均值,就可反复进行计算,即不必引用式(4),也不用保存  $D^2$  方阵,故可大量节省内存。

(2) 黄、东海存在强大的大陆沿岸冲淡水,在冲淡水影响范围内,均属低盐水体,理应聚成一类。但因该范围内盐度变化剧烈,使测样间距离很大,不易并为一类,而且还影响  $\sigma_T$ ,  $\sigma_S$ , 使其值偏大。为解决上述问题,将  $S < 29.00\text{‰}$  的测样一概赋值  $S = 29.00\text{‰}$ 。这样处理并不影响冲淡水与外海水的划分。

## 二、黄、东海变性水团分析的几个问题

取 1978—1980 年三年每月一次的大面观测资料,选用表层和底层的温、盐度进行分析,研究区域为  $28^\circ\text{—}37^\circ30'\text{N}$  之间,  $127^\circ\text{E}$  以西的海区,在这个区域内共有 102 个测站。

### (一) 变性水团的性质及类型

#### 1. 各变性水团的名称和性质

由划分变性水团的依据及聚类分析的结果,黄、东海区可分为以下八个不同性质的变性水团。

(1) 黑潮表层水(K): 属黑潮主流表层的高温高盐水,在研究海区内只占东南一隅,

是本海区少许变性的大洋性水团。

(2) 东海混合水, 亦称东海暖水 (E): 为进入东海陆架的高盐暖水, 秋、冬季因对流混合作用上下均匀一致。在本海区西南部它随台湾暖流而来, 在东部是由黄海暖流携带进入黄海南部的暖水。

(3) 黑潮次表层水, 亦称太平洋次层混合水 (EC): 在本海区冬季因冷却对流作用, 与上层的 E 混为一体, 只在暖半年于底层体现出来, 故具有相对低温和高盐的性质。

(4) 黄、东海混合水 (YE): 冬季具有低温高盐的性质(相对于周围而言), 夏季消失。在海区南部它是台湾暖流与江浙沿岸淡水的侧向混合水; 中部为黄海混合水向南扩展的混合水; 北部则为黄海暖流的前沿混合水。

(5) 黄海混合水 (Y): 长年盘踞黄海中部, 属地区性中盐水, 温度随季节变化较大。

(6) 黄海底层冷水 (YC): 是冬季 Y 留下的水体, 仅暖季在底层出现, 具有中盐低温的性质<sup>[5]</sup>。

(7) 黄海近岸水 (YS): 位于黄海西部近岸, 因受陆地影响, 并与沿岸冲淡水充分混合, 变性最显著, 夏季消失, 形成混合区。

(8) 大陆沿岸冲淡水 (F): 主要是长江迳流淡水入海冲淡形成的。为便于分析, 把苏北沿岸水也包括在内, 都以低盐为特征, 温度季节变化较大。

黄、东海变性水团的温盐特征 (以  $S = 30.50, 33.50‰$ ;  $T = 21, 12^{\circ}\text{C}$  作为相对特征指标) 及其出现的季节可参考表 1 (根据图 8 制作)。

表 1 黄、东海变性水团的性质及出现月份

$S = 30.50‰$		$S = 33.50‰$		
高温低盐 F (7-10)	高温中盐 Y (7-9)	高温高盐 E K (6-11) (1-12)		$T = 21^{\circ}\text{C}$
中温低盐 F (5,6,11,12)	中温中盐 Y YE (5,6,10-12) (12-2,4-6)	中温高盐 E EC (12-5) (6-11)		$T = 12^{\circ}\text{C}$
低温低盐 F (1-4)	低温中盐 YS Y YC (12-5) (1-4) (5-12)	低温高盐 YE (3)		

两水团交界线附近应属混合带, 其所占空间的宽狭与两水团性质的差异程度有关。但主要取决于在 T-S 点聚图上是否有点子。一个点子代表一定空间, 因此在水团分布图上占据一定空间者称为混合区 (M), 较狭的混合区仅以单线条表示。

### 2. 变性水团的类型

根据表 1 所示, 若以盐度作为分类指标, 可以把黄、东海的变性水团分为以下三个类型。

(1) 外海类型(或东海类型): 有 K, E 和 EC。此外, 对于黄海来说, 冬季个别月份的 YE 也可划入此类型。但对东海而言, 应将 YE 视为外海水与沿岸冲淡水的充分混合水。

(2) 地区性类型(或称黄海类型): 有 Y, YC 和 YS, 还有 YE。有人把 YE 看作是黄

海混合水 Y 的一部分,作为混合水处理。Y 作为混合水是相对而言,在讨论黄、东海变性水团时, Y 在本海区范围最大,而且长年存在,是黄海的主要水体,可以看作是相对独立的区域性变性水团。

(3) 沿岸冲淡水类型: 只有一个,即 F。

此外,从表 1 也可看出,除 Y 以外, K, E 和 F 也是长年存在的,在本海区属长年性水体,其余均属季节性水体。

综上所述,在研究海区内,前述八个变性水团,在一年中任何月份都没有同时存在过,一般为 4—6 个,最多达 7 个。

### 3. 冬季变性回归线

从冬季的 T-S 点聚图上可以看出,温、盐点子基本上散布于一条曲线两侧(参看图 1a), 这条曲线称为冬季变性回归线(或称为冬季混合曲线)<sup>[2]</sup>, 仅在 1—4 月存在, 5 月表层增温后即消失。其形状及位置虽各年都有差异,但均在一定范围内变动。图 2 中的两条实线表示 1978—1980 年 1—4 月变性回归线最大的变动范围。图中实线圈表示三年中 1—4

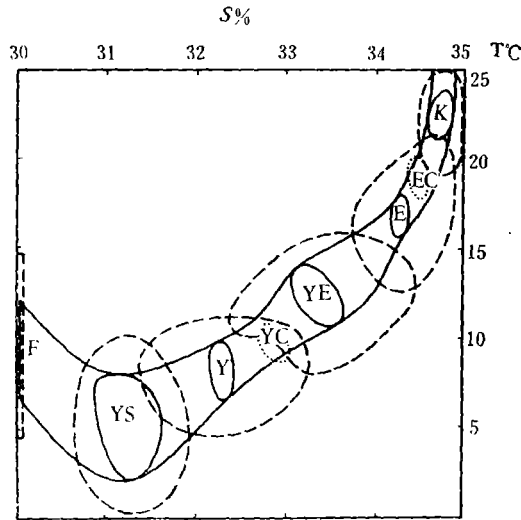


图 2 黄、东海区冬季变性回归线及各变性水团多年变动范围

月各变性水团重心的变动范围。由图可见, K, E 和 Y 的变动范围较小,而 YE, YS 和 F 的变动范围较大,这体现了各水团变性的程度。图中的虚线圈表示三年中 1—4 月各水团温、盐点子多年变动的最大范围;而点线圈则表示夏季底层冷水团 EC 和 YC 重心的变动范围。从图中可看出, EC 的重心虽介于 K 与 E 之间,但却处于 E 的范围之内,这就足以说明夏季的 EC 仍是冬季底层 E 的持续。而 YC 的重心同时处于 Y 与 YE 的范围之内,且以 Y 为主,可见冬季的 Y 与 YE 乃是夏季底层 YC 的前身。

### 4. 冬季各水团逐级变性的特征

从冬季 T-S 点聚图(图 1a)以及相应的水团平面分布图(图 3)中各水团的位置可看出,各变性水团是依照由高温、高盐向低温、低盐的规律逐级变性的,其次序是:

$$K \rightarrow E \rightarrow YE \rightarrow Y \rightarrow YS。$$

变  
加  
围  
峰  
底  
期  
则

逐级变性的原因,主要是当外海水北上进入黄海浅海区时,在地理、气象以及沿岸淡水影响下的混合作用。

如果认为K是本海区的“原始”水型,那么E应是第一级变性水。台湾暖流与黄海暖流处于E水团之中,可见这两支暖流仍具有混合变性水的性质。对马暖流是黑潮的主要分支,有的作者<sup>[6]</sup>认为,它是起源于该海区的混合水的流系,这与本文所述以上两支暖流混合变性的结论是一致的。YE是第二级变性水,其南、中部的水体具有充分混合水的性质是十分明显的,其北部的水体却是黄海暖流的前沿变性水。黄海暖流前沿变性水的另一部分处于第三级变性水Y中,可见黄海暖流的前沿变性水是属二、三级的变性水,而YS则应属于第四级变性水。

这种逐级变性的过程对南下水系也适用,其变性次序是:

$$F \rightarrow YS \rightarrow Y \rightarrow YE \rightarrow E。$$

因此,完整的变性过程应是按以下方式同时进行的:

$$K \rightarrow E \rightleftharpoons YE \rightleftharpoons Y \rightleftharpoons YS \leftarrow F。$$

在暖季这种有规律的变性现象不复出现,因此把冬季作为讨论变性水团的起点是比较合适的。

### (二) 变性水团的消长变化

#### 1. 各变性水团水平范围的消长变化

黄、东海区各变性水团的消长变化各年略有差别,但其季节变化却十分显著。关于各变性水团水平范围的消长变化,本文仅以1979年2、5、8、11四个月的表、底层情况为例加以说明(参看图3,4)。至于各月的消长变化,可参看图5。由于本研究海区中K的范围很小,季节变化也小,故分析时将其并入E中。

从这些图中可看出,三个长年性的变性水团E、Y和F在表层都是年周期的变化,其峰值F在春末夏初,而E和Y则迟后一些,在夏末秋初,其迟后的原因与F的消长有关。底层则复杂一些,F季节变化不明显;E的变化与表层相反,峰值在冬季;Y体现出半年周期变化,峰值在春初和秋末。YE和YS基本上属冷季水团,表、底层基本一致,而EC与YC则属暖季底层冷水团。EC和YC的共同特点是形成时迅速扩大到极大值,然后逐渐消

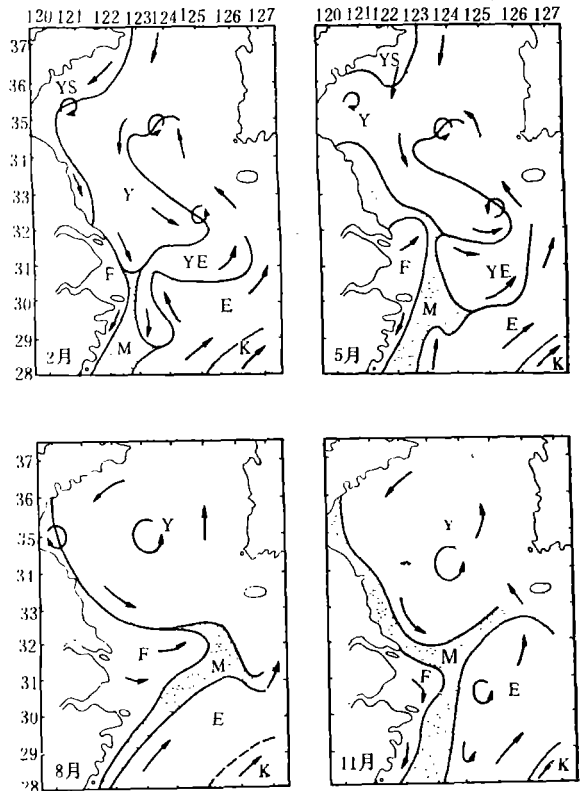


图3 黄、东海各变性水团分布及环流图(表层, 1979)

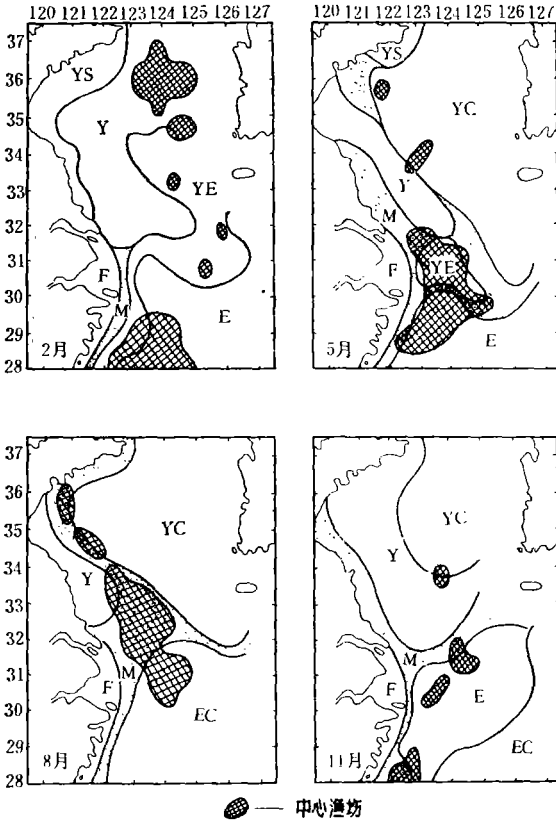


图 4 黄、东海区各变性水团分布及中心渔场图(底层, 1979)

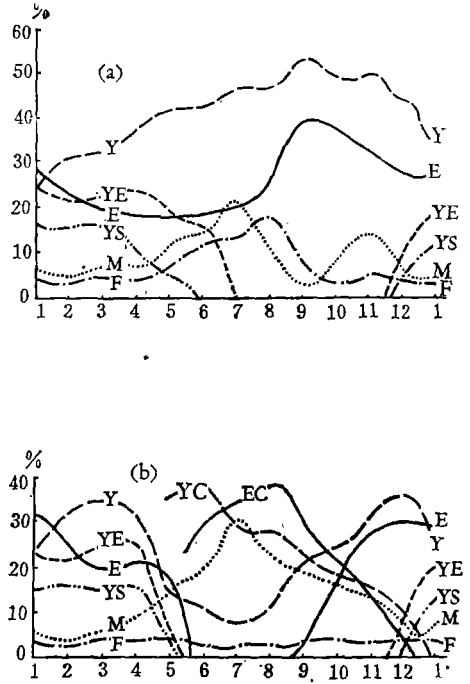


图 5 黄、东海区各变性水团面积百分比过程曲线图(1979)  
(a) 表层; (b) 底层。

失。因为 EC 与 YC 分别是底层 E 和 Y 的继续, 故其形成(或出现)必然与 E, Y 的迅速削弱相对应。

混合区的变化也比较复杂, 一般来说, 夏季比冬季大(主要由于 F 的影响), 除江浙沿岸外, 底层又比表层大(底层的混合作用不如表层大)。从其移动位置来看, 表层由冬季开始逐渐往北移, 秋季达最北, 而底层则是夏季达最北(图 6)。

为了进一步分析三个长年性变性水团的消长变化, 特绘制图 7。该图给出了三年 36 个月中表层各变性水团水平变动的最大范围。由图可见, 这三个变性水团都有自己的本体区(图中空白部分), 即长年不为其它水团侵占的区域。它们所占的范围并不大, 而各水团变动范围(单阴影线部分)均较大, 这就充分说明了黄、东海区表层水团变性及其消长变化的激烈程度。YE 和 YS 则完全处于以上三个水团变动的范围内, 统称为变性交换区(所有阴影线部分)。在变性交换区内, YS 只在海区西北部的近岸带活动, 而 YE 的活动范围较大, 北部可达  $35^{\circ}30'N$ , 2 月份在海区西南部成带状分布, 可扩展到  $27^{\circ}N$  以南<sup>[2]</sup>。

底层除 F 外, 所有变性水团均找不到本体区。

### 2. 各变性水团重心的季节变化

以 1979 年为例, 在 T-S 点聚图上将各变性水团的重心按月份顺序相联以体现其变



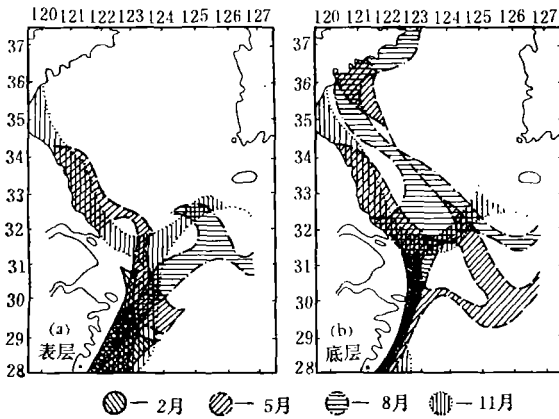


图 6 黄、东海区各季节混合区变动图 (1979)

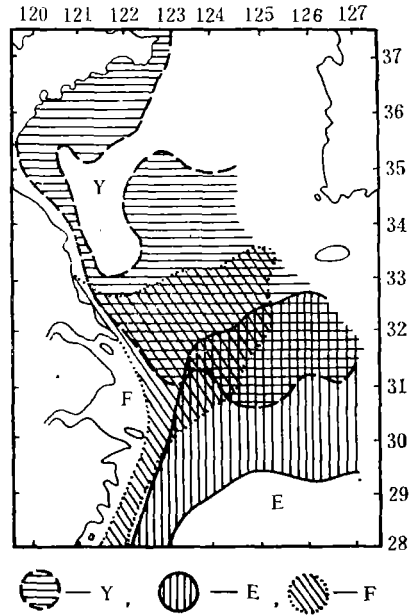


图 7 黄、东海区表层各变性水团边界的多年变动范围

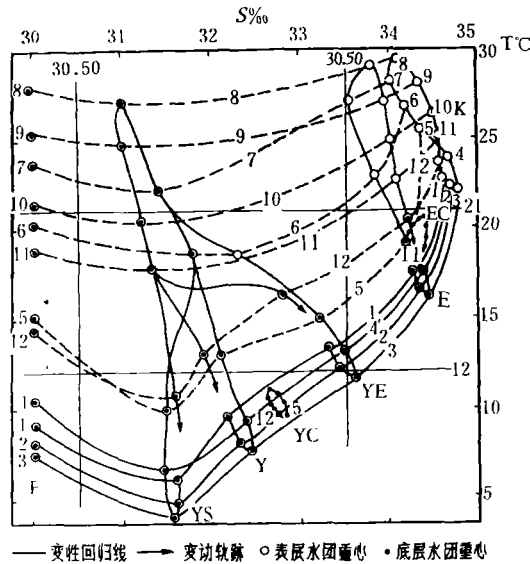


图 8 黄、东海区各变性水团重心季节变动轨迹(1979)

化的轨迹(图 8), 并可得出如下结论:

(1) 整个黄、东海的水体均以暖季的增温、降盐和冷季的降温、增盐为变性特征。图中还可看出, K, E 两者的盐度春季低于秋季, 而 Y, YE 的盐度则春季高于秋季, 形成夏季前者作顺时针转化、后者依逆时针转化的特点。其原因是, 长江冲淡水在由春到夏的发展过程中是由东南转向东北, 降水量的大值也随季节由南向北移动, 这就导致东海春季的

低盐;而渤海、黄海北部夏季沿岸冲淡水也较强,降水也多,所以黄海夏、秋季盐度较低。

(2) 温度的变幅随变性水团的级别而增加,最大较差是 YS 达 23℃ (大陆影响)。盐度的较差 YE 最大为 2.50‰ (处于外海水与冲淡水的交汇处),而底层冷水团 EC 和 YC 最为稳定。夏季跃层强度最大时,表、底层 Y 与 YC 的温、盐变化幅度分别为 16℃ 和 1.60‰; E 和 EC 则分别为 9.5℃ 和 0.80‰。其余各变性水团重心的温、盐变化范围见表 2。

表 2 各变性水团重心的温、盐变化范围

名称 变化范围	K	EC	E	YE	YC	Y	YS	F
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	7.5	1.5	13	15	2	19	23	20.5
$\Delta S(\text{‰})$	0.8	0.2	0.9	2.5	0.2	1.4	0.6	—

(3) 季节性水团 YE, YS 以及 EC, YC 都有其形成与消亡的过程。前两者的消长表现为因增温、降盐作用与 Y 的合并以及随后因降温、增盐作用而与 Y 的分离。后两者则表现为增温期的层化作用和降温期因垂直对流混合的程度而保持的时间。但 EC 与 YC 的来源并不相同, EC 终年有太平洋次层水的维持<sup>[9,12]</sup>,而 YC 在冬季得到更新<sup>[13]</sup>。

当然,从它们变性情况来看,冬季形成上下均匀的各变性水团后,上层是春季增温、降盐而变性,底层却是冬季水的保持<sup>[7]</sup>。但我们考虑到,冬季底层水尽管温度很低,但它和表层水一样在该区域相对于其它水是暖水性质,不具备相对低温的特征;另一方面当秋季对流作用增强时,“老”的底层冷水范围逐渐缩小,而“新”的底层水又出现且逐渐扩大,此时新的底层水与表层水的性质是一致的。据上述情况,我们把表层水和性质相近的部分底层水(冬季为全部)看成是连续的全年性变性水团;而把从春初开始至秋末为止体现相对低温的底层水看作是相对独立的季节性水团,并有着形成、体现和消亡的过程。因此,溯其形成来源,乃是冬季水在春季的保持和体现,而其消亡则是秋季体积的变小并伴随更新。所以,就性质而言,EC 与 YC 是海区变性最小的冷水团,它们只在范围上有明显变化。

### (三) 变性水团与海洋环境的关系

#### 1. 水团变性过程中热力因素与动力因素的关系

水团的变性是热力因素与动力因素共同作用的结果。热力因素主要指通过海面的热交换及对流作用;动力因素指海水运动引起的涡动混合作用。通过分析认为,在水团变性过程中,热力因素是起主导作用的。其原因为:(1) 在冬季,从南到北形成明显的变性回归线,温度由高到低,体现了地理、气候因素的作用;表、底层温、盐一致,体现了表层降温冷却引起的垂向对流混合的作用<sup>[12]</sup>;(2) 在春、秋季,表层温度变化很大,而盐度相对较小;春季底层出现冷水团后能长期维持,其消亡也主要依靠秋、冬季降温对流作用。

当然,动力因素的作用也不可忽视,特别在夏季长江冲淡水和暖流水系强盛时期,侧向的涡动混合作用是很显著的。

#### 2. 水团分布与环流的关系

鉴于水团运动与海水的流动有区别, 因此变性水团的分析不能直接用来分析环流。但两者有一定的联系, 可互为旁证。在浅海区由于受地理、气候的影响很大, 例如冬季黄海冷水的南侵与季风强度关系密切<sup>[8]</sup>, 特别是黄、东海纬向尺度大, 流系也主要是南北向的。因此, 同一个流系, 在其由南向北进的过程中, 海水必然要变性, 形成若干个不同级别的变性水团。同理, 南下的水系也要逐渐变性而形成不同性质的变性水团。可见不能把流系与变性水团等同看待, 不能把小型环流仅仅看作是存在于变性水团内部的流动, 较多的是存在于两个变性水团的交界处。这是浅海区别于大洋的特点。但是在浅海区流向与变性水团的界线舌状分布的关系仍然是明显的, 特别是冬季, 可以用来作为环流分析的旁证(图 3)。

### 3. 变性水团分布与底层中心渔场位置的关系

海洋中各种鱼类在其发育成长的不同阶段具有不同的适温性和适盐性, 因而鱼类的迴游、聚散随着海况和气候的变动而具有明显的规律性, 特别在冷、暖流交汇处的混合区附近, 鱼类容易集群, 往往形成良好的中心渔场。混合区的位置是随着冷、暖流的强弱和不同水团的进退而变动的, 因此中心渔场的位置和渔汛期的早晚也同时因地制宜。关于中上层渔场已作过分析<sup>[3]</sup>, 现再举底层渔场为例, 图 4 中的阴影线部分即表示底层中心渔场, 一般有如下规律:

(1) 中心渔场大体处于混合区附近, 特别在几个水团交汇的混合区内往往形成良好渔场。增温期交汇混合区向北移动时, 中心渔场也随着北移; 降温期两者亦同步南移。

(2) 在 YE 变性水团内往往是良好渔场, 正好说明 YE 具有充分混合水的性质。

(3) 冷季中心渔场一般偏向混合区的暖水 (E, Y) 的一侧, 暖季则偏向冷水 (YC, EC) 一侧。

变性水团的分析可为海洋渔业生产中开展渔情分析及预报提供参考。

## 参 考 文 献

- [1] 毛汉礼、任允武、万国铭, 1964. 应用 T-S 关系定量地分析浅海水团的初步研究. 海洋与湖沼 6(1): 1—22.
- [2] 陈敦隆, 1964. 应用统计方法划分水团之间的边界. 山东海洋学院学报 2: 13—35.
- [3] 苏育嵩, 1980. 划分变性水团边界的温盐点聚对照法与东海西部海区变性水团的分析. 海洋学报 2(1): 1—16.
- [4] 徐斯、王锡侯、王仁树, 1965. 关于有界水团混合的讨论. 海洋与湖沼 7(3): 278—294.
- [5] 赫崇本、汪园祥、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.
- [6] 佐原勉、半沢洋一, 1979. 東シナ海の水系分布. 海と空 54(4): 135—148.
- [7] 深瀬茂, 1975. 東シナ海陸棚上の底层水. 海洋科学 7(1): 19—26.
- [8] Asaoka, O. and S. Moriyasu, 1966. On the Circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in Winter, (Preliminary Report). *Oceanogr. May.* 18(1—2): 73—81.
- [9] Miller, A. R., 1950. A Study of Mixing Processes Over the Edge of the Continental Shelf. *J. mar. Res.* 9(2): 145—160.
- [10] Motgomery, R. R., 1955. Characteristics of Surface Water at Weather Ship. *J. Deep-Sea Res.* 3: Supplement Papers in Marine Biology and Oceanography Dedicated to Henry Bryant Bigelow. pp. 331—334.
- [11] Stockmann, W. B., 1946. A Theory of T-S Curves as a Method for Studying the Mixing of Water Masses in the Sea. *Jour. mar. Res.*, 6(1): 1—24.
- [12] Nakao, T., 1977. Oceanic Variability in Relation to Fisheries in the East China Sea and Yellow

- Sea. Journal of the Faculty of Marine Science and Technology, Tokai University Special Numbers. pp. 199—367.
- [13] Uda, M., 1938. Notes on the Origin of Deep Water in the Seas Adjacent to Japan. *J. Limnol.* 8(3—4): 195—204.
- [14] Иванов, А. В., 1964. К теории T-S кривых. Изв АН СССР, Серия Геогр. и Геофиз. 1(6).
- [15] Мамаев, О. И., 1962. T,S — анализ движущихся водных масс океана ограниченных и вертикали. *Океанология.* 2(2): 193—204.
- [16] Романцов, В. А. и А. Ф. Буй, 1977. Некоторые результаты мономерного анализа водных масс Норвежского и Гренландского морей. Труды ААНИИ. 342: 24—37.
- [17] Тимофеев, В. Т. и В. В., Панов, 1962. Косвенные методы выделения и анализа водных масс. стр. 193—236.

# APPLICATION OF CLUSTER ANALYSIS METHOD FOR ANALYZING THE WATER-MASSSES IN THE SHALLOW WATER AREA AND THE ANALYSIS OF MODIFIED WATER-MASSSES IN THE HUANGHAI SEA AND THE EAST CHINA SEA

Su Yusong Yu Zuxiang and Li Fengqi

(*Shandong College of Oceanology*)

## ABSTRACT

The idea of modified water-masses is introduced and a cluster analysis is used for determining the boundary of modified water-masses and its variety in the shallow water area of the Huanghai Sea (Yellow Sea) and the East China Sea. According to the specified standards to make the cluster, we have determined the quantity and boundary of the water-masses and the mixed zones.

The results obtained by the cluster method show that there are eight modified water-masses in this area. According to the relative index of temperature and salinity, the modified water-masses are divided into nine different characteristic parts. The water-masses may also be divided into three salinity types. On the TS-Diagram, the points concerning temperature and salinity of different modified water-masses are distributed around a curve, from which the characteristic of gradual modification may be embodied. The variation ranges of different modified water-masses are all large, explaining the intensive modification of water-masses in this area. The increase of temperature and the decrease of salinity in warm season and the reversal of them in cold season are regarded as the characteristics of modification of the sea water in all the Huanghai Sea and the East China Sea. All the seasonal water-masses undergo a process of formation and elimination.

The correlations of the modified water-masses with the marine environment are discussed in this paper. The modification of water-masses is created by the combinative actions of thermodynamic and dynamic factors. Through the analysis of modified water-masses, we believe that the thermodynamic factors play a major part in the modification of water-masses in this area. The correlations between the tongue-like distribution of the boundary of modified water-masses and the current direction are very apparent, which can be used as a collateral evidence for analyzing circulation. Finally, the relationships between the modified water-masses and the central fishing grounds at bottom layer are illustrated.