

## 2016年秋季黄东海温盐特征与水团划分

闫雨<sup>1,2</sup>, 陈斌<sup>2</sup>, 李博<sup>1</sup>

(1. 浙江海洋大学 海洋科学与技术学院, 浙江 舟山 316000; 2. 中国地质调查局 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 基于2016年秋季(11月)黄、东海航次调查的CTD温盐数据, 分析了观测期间温度和盐度大面以及典型断面分布特征。秋季, 黄海底层水具有显著的低盐高温特征, 可能是受到衰弱的黄海冷水团以及强盛的对马暖流作用。此外, 该年长江流域年径流量较多年同期偏高, 造成长江冲淡水入海时, 在东海表层向东扩散趋势明显。基于K-均值聚类分析法对黄东海的秋季水团进行了划分, 秋季黄东海海域表层水可分为沿岸冲淡水团、东海水团、黄东海混合水团和黄海水团; 底层分为东海水团、黄东海混合水团、黄海水团以及黄海冷水团。划分结果证明, 利用K-均值聚类分析法能够迅速、有效地判别水样归属于某类水团。

**关键词:** 温盐结构; K-均值聚类分析法; 黄东海

**中图分类号:** P731.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2018)05-0007-10

### 1 引言

黄、东海海域宽阔, 东海黑潮、台湾暖流、黄海暖流、对马暖流以及沿岸流构成了该区域主要的环流系统。其东部陆架海域受北上的高温高盐台湾暖流以及黑潮次表层水作用; 西部近岸则有以长江入海径流为代表的大量江河注入<sup>[1]</sup>, 且长江冲淡水存在明显的季节性转向; 秋季, 黄海底层的冷水团开始衰弱<sup>[2]</sup>, 其与黄海暖流的强弱将直接影响黄海的温盐分布; 此外, 位于济州岛东南的高盐对马暖流存在向西入侵的趋势, 入侵程度秋季最强<sup>[3]</sup>。黄东海秋季温盐特性与水团配置关系密切<sup>[4]</sup>, 其与水团划分方法一直以来都是研究的热点问题。

水团划分对分析黄东海区域环流的特征与变化具有重要指示意义。苏育嵩等<sup>[5]</sup>指出, 小型环流较多地存在于两个变性水团的交界处, 尤其在浅海区, 水团界限的舌状分布与海水流向的关系较为明显。除此之外, 水团的分布和变化还会影响海洋鱼

类的生长活动。海洋鱼类在生长和发育的不同阶段具有不同的适温性和适盐性, 在水团之间的混合区, 鱼类容易集群, 往往形成良好的中心渔场, 中心渔场的位置和渔汛期的早晚会随着不同水团的进退而发生变化。目前水团划分尚没有统一标准, 1916年 Helland-Hansen 首次提出 T-S 曲线法, 利用海水温盐特性划分水团, 后逐渐演变为现在的 T-S 图解法<sup>[6-8]</sup>; 毛汉礼等<sup>[9]</sup>最早尝试半定量划分方法, 利用温盐多边形和混合百分比划分浅海水团; 李凤岐等<sup>[10-13]</sup>还利用改进的逐步聚类分析法和模糊数学方法划分黄、东海水团。苏育嵩等<sup>[14]</sup>应用聚类分析法研究浅海变性水团的确定及其消长变化规律, 并于 1992 年提出不受资料输入顺序影响的模糊密度聚类法; 洪波等<sup>[15]</sup>利用 Fisher 型逐步判别法建立判别方程式, 根据选定的海水指标值划分东海海区表底层水团; 张绪东等<sup>[16]</sup>使用模糊聚类法对黑潮源区水体进行划分得到了隶属度分布图, 可直观的看出水团的空间分布; Bao 等<sup>[17]</sup>对北黄海的水团分布与水

收稿日期: 2018-02-04; 修回日期: 2018-04-04。

基金项目: 国家自然科学基金(41706022); 国家重点研发计划项目(2017YFA0604901)。

作者简介: 闫雨(1993-), 硕士研究生, 主要从事近海区域数值模拟研究。E-mail: yanyu9385@163.com

通讯作者: 陈斌(1979-), 副研究员, 博士, 主要从事河口海岸沉积动力及环境演化等方面研究。E-mail: chenbin1007@hotmail.com

团特征作了详细的分析和介绍。

由于浅海水团的分布复杂多变,寻找一种高效的水团鉴别方法具有重要的科学和实际意义。传统的T-S图解法大多是建立在温-盐曲线图或是散点图上,分类过程的重点在于分析样本数据的理化特征,对空间信息的整合往往受制于研究者的专业知识,主观上割裂了样本的整体信息,不利于分析整片海域的温盐特征;混合浓度分析法则将温度和盐度作为浓度处理,多使用在大洋水团,难以适用黄东海海域复杂多变的水文特征。已有的水团划分方法在处理大数据量的样本或者增加聚类要素时往往效率较低,K-均值聚类分析法简单高效,符合水团空间分布的一般规律,当聚类要素增加时,只需先按照要素的影响因子进行叠加,不会增大运算量,故本文利用2016年秋季黄东海大面调查实测的温盐资料,对温盐的分布形态和水团K-均值聚类分析方法进行了详细的研究。

## 2 资料与研究方法

### 2.1 数据来源

本文使用的是黄东海综合调查航次“北斗号”调查船采集的水文资料,调查所采用的仪器为美国海鸟(SBE)公司生产的19 Plus CTD温盐深剖面仪。该仪器拥有高精度的温盐传感器,可最大限度的减少船舶起伏引起的盐度尖峰,系统主要包括双温双盐度探头、自容式主机系统、泵循环海水系统、专用通讯电缆、固体存储器、RS-232接口和电磁采水系统。以采样频率4 Hz获得高精度、高分辨率、可靠性和易用性数据(温度精度为0.002℃,电导率精度为0.0003 S/m)。出航前,仪器装配的传感器进行了校正维护,以保证原始数据的可靠性。

航次设定11个断面,共40个大面站,调查范围为28.1°~36.5°E,120.3°~126.2°N,航次观测断面和站位如图1所示。图中水深数据为站位仪器投放水深,黑点是站位位置,黑线为典型断面,黑线上红点为典型断面上的代表站位。调查时间自2016年11月10日—12月9日,共获得39个站位的温盐剖面数据,站位最小投放水深16 m,最大水深为109 m,数据采样间隔0.5 m。

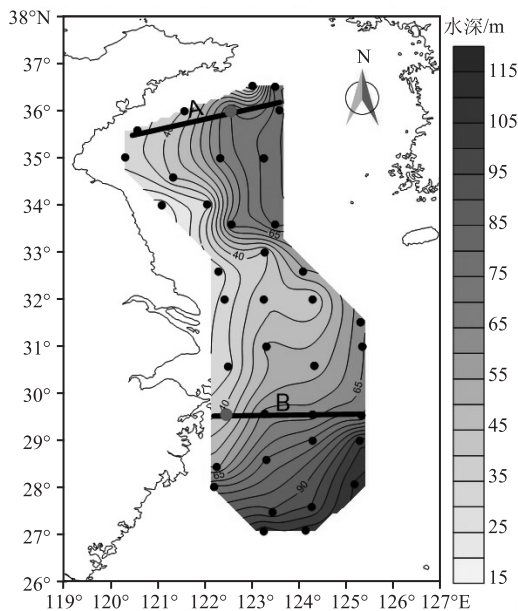


图1 2016年秋季黄东海调查站位分布示意图

### 2.2 K-均值聚类分析法

K-均值算法是一种基于“距离”的动态聚类算法,聚类的目标是根据需要将数据划分成指定个数的“簇”,其原理如图2所示,图中黑点为样本点,红点为选定的聚类中心,a—d分别对应聚类的4个过程:a.随机选取若干个初始聚类中心;b.基于各样本到初始聚类中心的距离,将样本划分于距离最近的聚类中心形成若干个聚类;c.计算每一个聚类内样本距离的平均值,并将该值作为新的聚类中心;d.用新的聚类中心重新进行聚类,循环步骤c和d直到连续两次的聚类中心相同则算法结束。

基于K-均值聚类算法的原理,定义距离 $L$ 为相似度,距离越远相似度约小,距离越近相似度越大。假定要划分的水团共有 $n$ 个样本点,每个样本点选取 $d$ 维理化指标,样本分为 $k$ 个水团,定义 $t$ 为迭代次数( $n, d, k$ 等符号在下文中含义相同),水团划分算法如下所示。

第一步:在 $n$ 个样本点上,选择初始水团“核心”的理化特征向量:

$$xi=(xi_1,xi_2,\cdots,xi_d) \quad (1)$$

第二步:采用加权欧氏距离作为样本间相似程度的聚类统计量 $L_i(xi,yj)$ ,将各样本点基于距离归

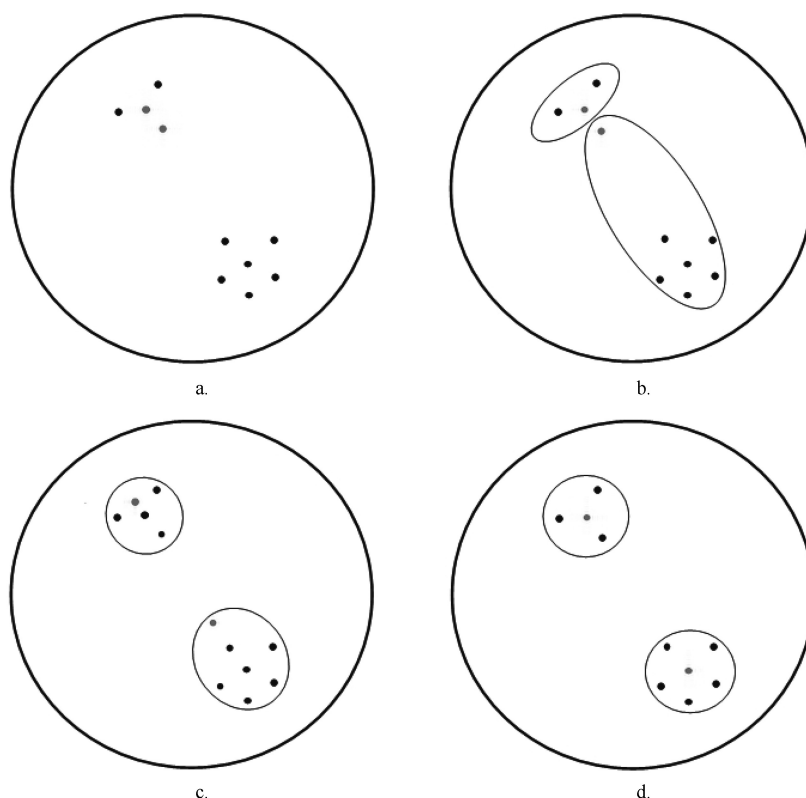


图2 K-均值聚类分析法步骤

类到各核心点形成子集。计算公式如下:

$$L_i(x_i, y_j) = f_1 \cdot (x_{i1} - y_{j1})^2 + f_2 \cdot (x_{i2} - y_{j2})^2 + \dots + f_d \cdot (x_{id} - y_{jd})^2 \quad (2)$$

式中:  $i=1, 2, \dots, n$  代表样本序号;  $j=1, 2, \dots, k$  是当前聚类计算的水团“中心”编号;  $i_1, i_2, \dots, i_d$  代表第  $i$  个样本的各项特征指标值;  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$  表征任意一个具有  $d$  维水团理化指标的特征向量, 各维度代表温度、盐度等理化指标; 用  $f_1, f_2, \dots, f_d$  代表水团聚类统计中指标的加权数, 用于平衡不同指标的单位 and 量纲;  $y_j = (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jd})$  是第  $t$  次聚类时各子水团中心点的  $d$  维理化指标的特征向量, 由  $t-1$  次运算后计算每个临时子水团中所有样本的距离均值得到。

第三步: 若本次运算与第  $t-1$  次的各子水团核心点相同, 运算结束。否则跳转到第一步直到每个子水团的中心点不再变化即代表划分结束。

综上所述, 聚类操作和水团划分都是要把属性相似的样本数据, 基于“距离”的划分方法归为一类。通过了解研究海域内的水文特征, 在聚类分析之前确定初始值  $k$  可以保障划分的时效; 另外, K-均

值聚类算法是根据海域内水团分布的先验知识进行迭代, 故针对不同的样本数据, 只需修改聚类之前相应的水团分类数, 即可调整水团划分结果, 相比较传统的 T-S 图解法更实用便捷; 除此之外, 这一算法适用于球状簇, 符合水团分布的一般规律, 保留了样本数据的整体性。总的来说, K-均值聚类算法在水团划分中具备先验性、便捷性、适用性 3 个优点。

### 3 研究结果

#### 3.1 黄东海秋季温盐分布特征

黄东海是具有显著海陆相互作用的陆架边缘海, 海洋环流复杂, 研究海区主要有季风驱动下形成的黄海沿岸流、济州岛附近北上的黄海暖流<sup>[18]</sup>以及浙闽近海沿岸流外侧的台湾暖流。黄东海表层温度南北差异明显, 自北向南逐步上升; 东西向呈近岸低温, 外海均匀的分布特点。

A 断面西侧受沿岸低温水和中部暖水的影响, 形成强度不等的温度锋, 在黄海表层呈舌状向南伸展, 极值小于  $14.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 同时南黄海 30 m 层有一暖水



舌位于海域中部,温度由 20 °C 降至 17 °C 以下(见图 3b)。需要注意的是,图 3b 表明 30 m 水层处未见界限分明的南黄海冷水团,仅能在底层看到小区域的南黄海冷水团,温度低至 7.6 °C,盐度 32.6 等值线沿西南方向强势扩张至 124°E 体现了该特征(见图 3f)。这一现象可能受两个因素影响,其一是黄海冷水团来源于冬季滞留水,夏季海水表面迅速升温,形成稳定的温度层结,随着夏季末北风的增强层结遭到破坏,从秋初开始衰弱,观测期间恰处较弱阶段;其二,此时对马暖流西向扩张程度最为强盛,进而影响到底层温盐特征。

台湾暖流是东海陆架海域一支重要的海流,常年位于长江口以南及浙、闽近海沿岸流的外侧<sup>[19]</sup>,舟山以东海域受其与长江冲淡水影响,出现温度在

20.0 °C 以上的高温区。台湾暖流在底层的范围明显大于其表层分布(见图 3a、3c),表层水中的台湾暖流沿 123°~123.5°E 轴线向北推进至 30°N 以南,底层水沿相同路径可持续北进至 30.9°N 左右。浙闽沿岸的水温范围为 18.0~21.5 °C,等温线平行于岸线且分布密集,在低温沿岸流和陆地的共同作用,形成很强的浙闽沿岸温度锋面,其外侧为源自台湾暖流的高温水舌,舌根温度在 22 °C 以上;盐度范围为 20.2‰~32.5‰,等盐线分布密集,水平梯度大,等盐线沿海岸呈南北向分布。东海西北部,黄海西岸南下的低盐水向东南侵入东海北部,与北面黄海暖流低温高盐水、南面的台湾暖流高温高盐水交汇,从而使得该处的等盐、等温线分布呈 S 状分布。

长江冲淡水主要是长江入海径流(包括钱塘江

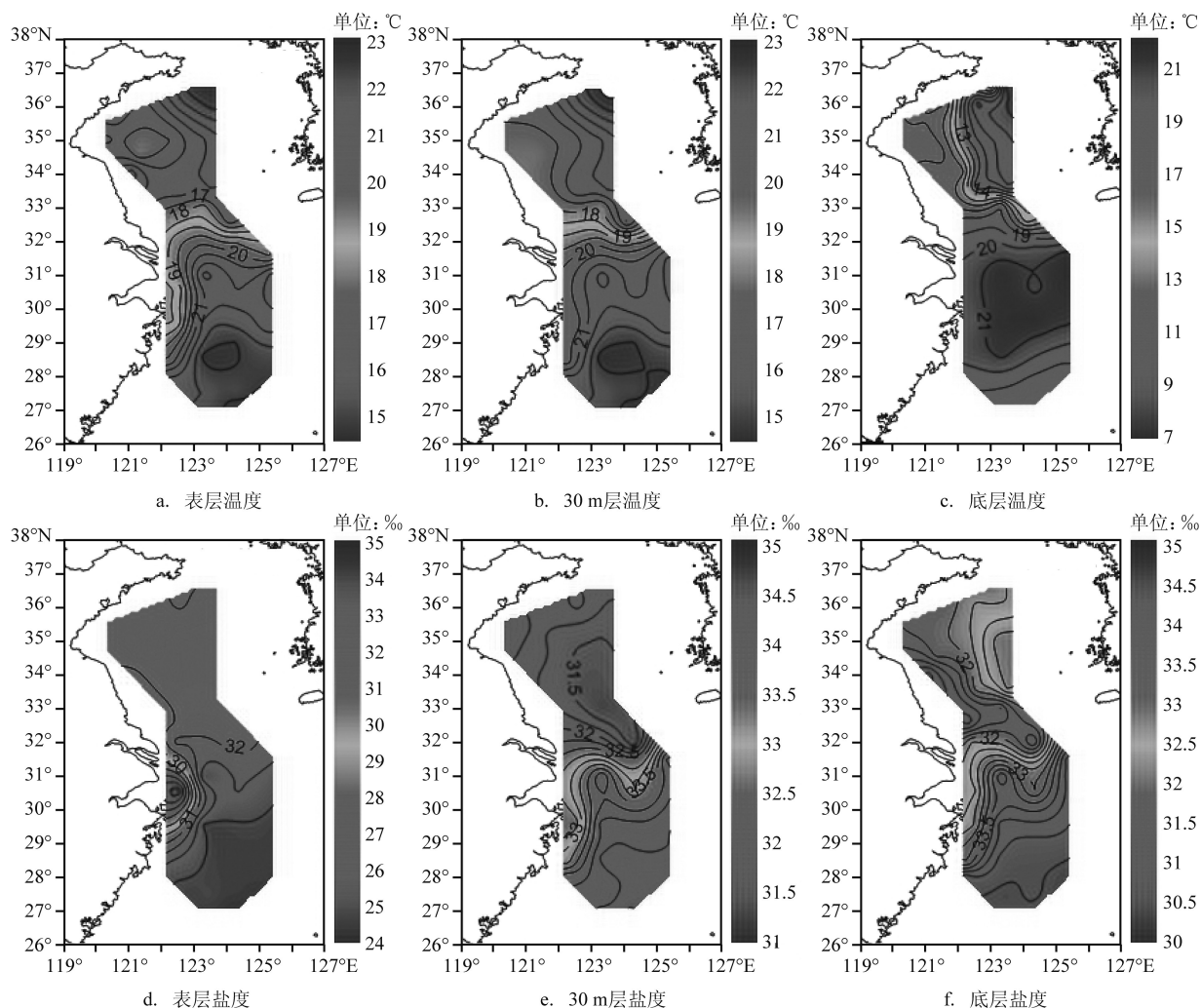


图3 2016秋季(11月)黄、东海温盐水平分布

水在内)与海水混合所形成的高温低盐水团,盐度低至24.1‰,空间特征表现为深度浅、范围广、厚度薄(见图3a、3d)。长江入海口的温盐变化较为复杂,长江冲淡水入海后大都被限制在杭州湾及舟山附近水域,使得附近被低盐的沿岸水和混合水占据,造成其表层盐度向东迅速递增,在31°N, 123°E附近形成很强的盐度锋面。浦泳修<sup>[20]</sup>认为秋季长江冲淡水顺岸南下,这与本文的观测略有不同,图3d中可清楚地看到长江冲淡水入海时表层向东扩散至122.5°~123.0°E,继而受到北上的高盐台湾暖流水顶托,高盐的台湾暖流水在北上路经长江口外海的过程中逐步向东偏转,通过粘滞作用携带部分长江冲淡水向东扩散,造成30.0‰等盐线可向东扩展至123°E左右(见图3a)。根据水利部长江水利委员会2016年长江泥沙公报显示,长江流域该年径流量较多年同期偏高,这可能是导致今年长江冲淡水向东扩展范围较远的原因之一。受高温黑潮水的影响,陆架边缘海域的水温大于22.5℃,盐度大于

34.5‰,为东海秋季水温最高区。

### 3.2 黄东海典型断面的垂向温盐分布特征

断面A位于35.5°N,西起青岛近海,东至123.8°E,断面横切黄海暖流且深入黄海冷水团所在位置(见图1)。图4a中水温自西至东逐渐降低,沿岸海水温度较高,大于17.0℃,东部水温较低,小于15.0℃,且表层水温明显高于底层。图4b可见断面西部水体为高温低盐特征,对应黄海西部沿岸流;受黄海暖流的影响,海域中部中下层为高温高盐水体,水体中心最高水温可达19.1℃,盐度32.3‰。图5a为断面A代表站位36.1°N, 122.6°E的盐度与温度剖面,温跃层明显可见于50 m水深左右,站位温度自16.0℃骤降至10.5℃,水温垂向梯度达0.5℃/m。温跃层之上水体水温在16.0℃左右,总体高于其他层位,垂向混合均匀且水温垂向梯度均小于0.01℃/m;温跃层之下被低温高盐水控制。

断面B位于东海南部,从宁波象山向东延伸至

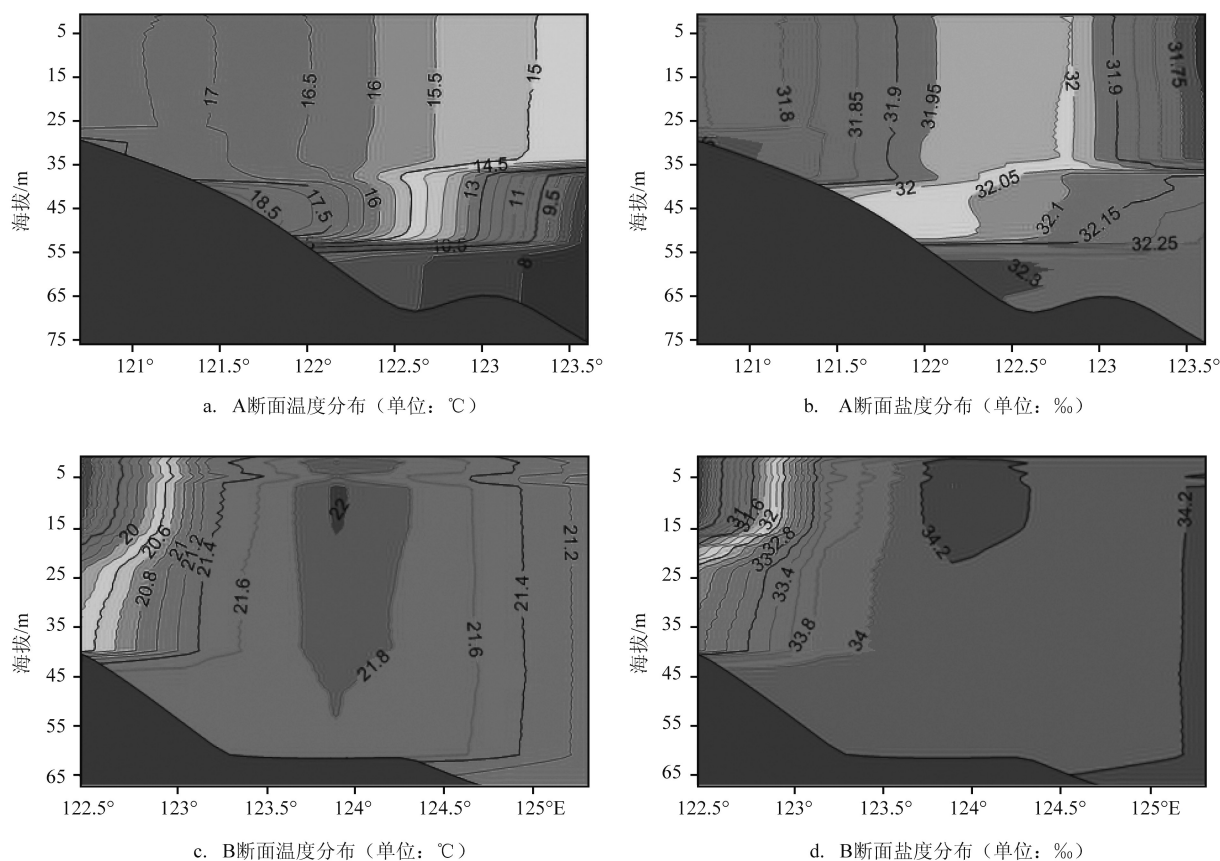


图4 A、B断面温盐垂直分布

125.4°E(见图1),B断面位置横切台湾暖流北上路径,断面温盐分布如图4所示。图4c可见长江冲淡水在断面表层向东延伸至123°E,垂向影响至水深20 m;温盐从近岸至125.5°E呈先增后降的趋势,中部受台湾暖流作用,温度较高。与高温中心相对应,存在着一个封闭的高盐中心(盐度大于34.2‰),出现于123.8°E以东30 m以深水域(见图4d),这一高温高盐区表征了台湾暖流主体所在的位置。图5b为断面B代表站位29.6°N,122.5°E的温盐结构,图中显示断面西侧(123.0°E以西)沿岸海区受沿岸水和长江径流的影响,以盐跃层为主导,海水温度( $T < 20.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、盐度偏低( $S < 32.0\text{ }‰$ ),层化现象明显且底层温盐高于表层。图4d为断面东侧,由于秋季水体强混合使得表层至50 m层温度、盐度混合均匀,垂向梯度小于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ;但底层75 m处保留部分黑潮水输送过来的热量,50~75 m层出现逆温现象,温度梯度约为 $-0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。

### 3.3 黄东海秋季水团划分

#### 3.3.1 确定水团划分个数

本文选定温盐作为理化指标,确定指标的加权数 $f_{x1}, f_{x2}$ ,同时将温度和盐度进行标准化, $T_n = \Delta T_c / \Delta \sigma_T$ ,  $S_n = \Delta S_c / \Delta \sigma_S$ ,其中 $\Delta T_c$ ,  $\Delta S_c$ 分别表示两样本间温度和盐度差, $\Delta \sigma_T$ ,  $\Delta \sigma_S$ 代表样本中温度和盐度的标准差,用以消除量纲影响。

李凤岐等<sup>[12]</sup>提出一种使用函数 $F_k$ 确定水团划分个数的方法, $f_k$ 函数定义为:

$$f_k = \frac{\frac{1}{2(k-1)} \sum_{l=1}^k n_l (\bar{x}_l - \bar{x})(\bar{x}_l - \bar{x})'}{\frac{1}{2(n-k)} \sum_{l=1}^k \sum_{r=1}^{n_l} (\bar{x}_l - \bar{x})(\bar{x}_l - \bar{x})'} \quad (3)$$

式中: $n_l$ 为第 $l$ 类内的样本数, $r$ 为第 $l$ 类内样本的新序号, $\bar{x}$ 是样本的总体均值, $\bar{x}_l$ 是第 $l$ 类的均值。该方法是根据系统聚类的原理提出的,聚类过程与本文提出的K-均值聚类过程不同,因此该水团数的确定方法在本文中并不完全适用。本文结合K-均值聚类分析方法的原理和水团特点,采用式(3)中欧氏距离和的变化率来确定水团个数。定义类内距离和 $F_k$ ,类内距离为某一类中每一点与该类中心的欧式距离的平方和,类内距离和即所有类的类内距离之和,可表示为:

$$F_k = \sum_{l=1}^k \sum_{r=1}^{n_l} (\bar{x}_l - \bar{x})(\bar{x}_l - \bar{x})' \quad (4)$$

使用K-均值聚类过程中,类内距离和 $F_k$ 会随水团分类数 $k$ 的增加逐步减少,曲线由剧降转为平缓所对应的分类数,即所求的水团数。分别计算水团分类数从2~10的 $F_k$ 值,从表1发现水团数5之后, $F_k$ 变化趋于平缓。进一步,结合本文研究海域的秋季温盐结构和前人先验经验<sup>[21-22]</sup>,将水团划分个数 $k$ 定为5。

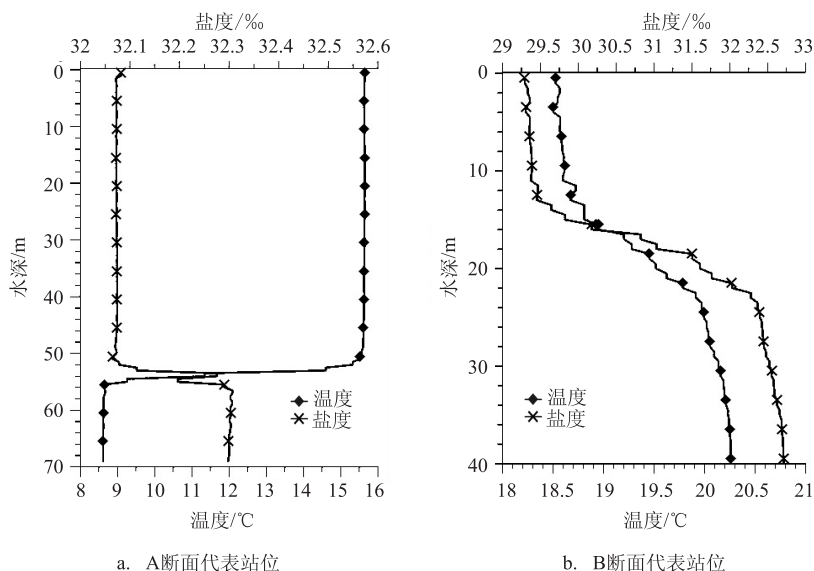


图5 秋季(2016年11月)代表站温盐密垂直分布图

### 3.3.2 水团划分结果

5种水团的名称使用英文缩写,分别为沿岸冲淡水团(CDW)、东海水团(ECSW)、黄东海混合水团(YECSW)、黄海水团(YSW)以及黄海冷水团(YCW)。

各样本点所属水团如图6所示,5个水团对应的温盐聚类中心见表2。样本点在不同水层的分布如图6a—6c,依据样本点划分情况,结合平面和典型断面的温盐特征,得到表层(2 m)、中层和底层水团分布特征(见图7)。对于不同水团中间的水体,温

盐特性一般介于毗邻水团之间,存在着较大的水平梯度,称为过渡带<sup>[23]</sup>,由于数据和K-均值聚类分析法本身的限制,过渡带的具体范围难以辨认出。综上所述,各水团的概述如下:

(1)沿岸冲淡水团在浙江沿岸呈带状分布,该水团是由长江、钱塘江等入海径流和陆架海水混合而成的沿岸水,温盐特征表现为低盐高温。由图7b可见表层分布略大于中层,底层则与东海混合水混为一体,完全消失;

(2)黄东海混合水团主要表现为入海径流(包

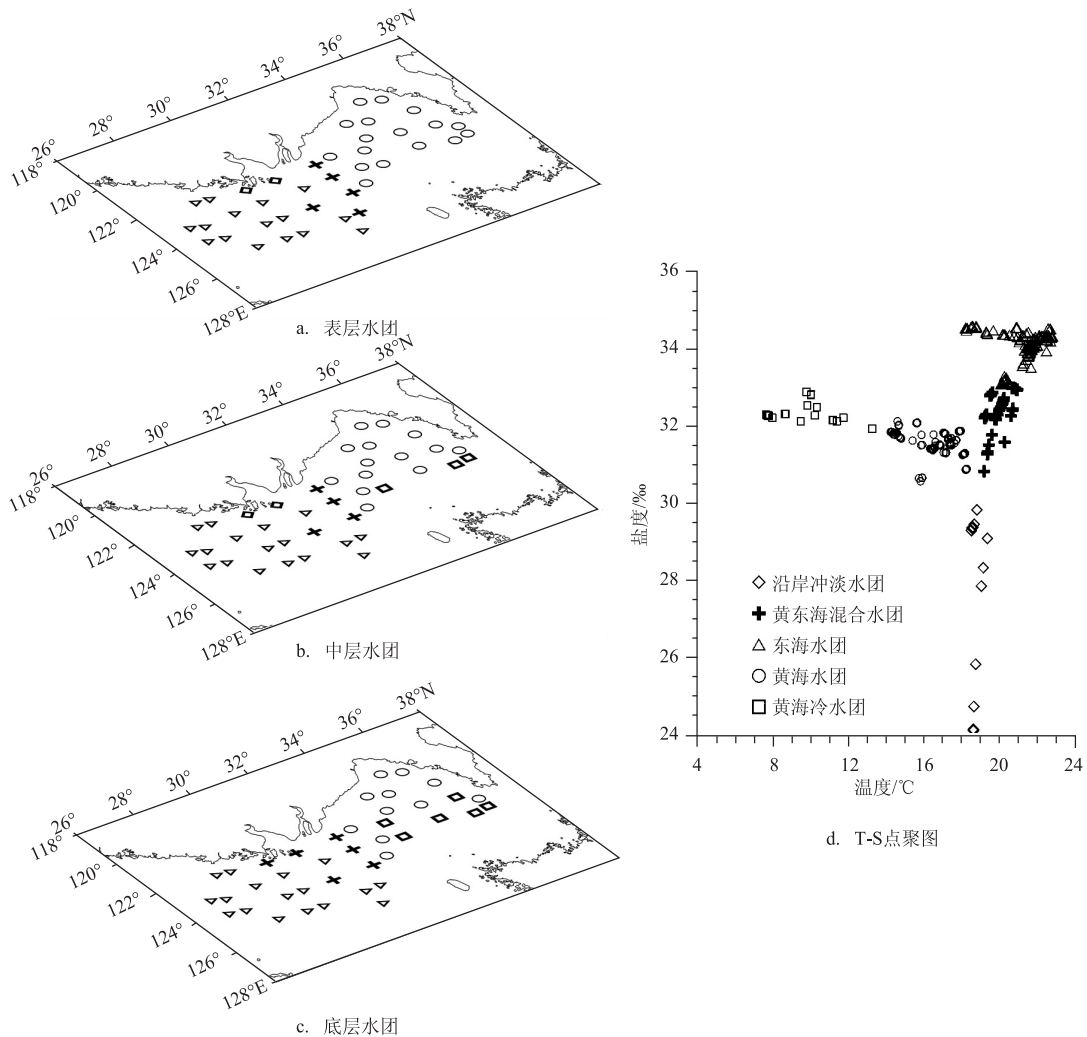


图6 聚类结果

表1  $F_k$ -水团数

水团数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_k$	13 459.1	5 058.0	4 522.1	2 837.6	1 967.2	1 604.8	1 130.8	962.2	799.3
变化量	8 401.1	535.9	1 684.4	870.5	362.3	474.1	168.6	162.9	—



括向东扩展的长江冲淡水)与黄东海交接处海水混合所形成的低盐水团,秋季具有高温、低盐特点,该水团夹在黄海和东海中呈现相互交错形势(见图7a);

(3)东海水团位于沿岸冲淡水团东侧,该水团范围广阔,占据了大部分的东海陆架区。主要由水团右侧的黑潮水、北上的台湾暖流、左侧的近岸水和黄海的南下水混合而成,其在底层的分布范围明显大于表层范围。由于东海水团和黄东海混合水团温盐特征相似,前人使用的T-S图解法没有单独划分该水团<sup>[22, 24]</sup>,相比较而言,本文使用的K-均值聚类分析法划分水团的结果更为精确。同时,由于秋季强盛的偏北风使得海水垂向混合增加,加之研究海域水深较浅,使得东海底层水与表层水融为一体,水团划分未发现东海底层水,这一结果与张启龙<sup>[25]</sup>研究相似。秋季,黄海同样受强盛偏北风影响,

黄海表层未发现黄海冷水团,黄海水团占据黄海表层32°N以北广大海域(见图7a);

(4)黄海冷水团自秋初开始逐渐衰弱,并于秋末最弱,观测期间为11月下旬,恰处黄海冷水团向冬季更新过渡的消衰期,仅在中层水以下发现小范围的南黄海冷水团(见图7c)。这一点与喻祖祥<sup>[26]</sup>使用逐步检验聚类法获得的结果不同,但与刘树勋<sup>[27]</sup>使用模糊聚类法的研究结果一致。

## 4 结论

秋季,黄海底层表现为显著地低盐高温特征,这一现象可能受两个因素影响。其一是受从初秋开始衰弱的黄海冷水团作用;其二,此时对马暖流西向扩张程度最为强盛,进而影响到底层温盐特征。

长江冲淡水入海时,在东海表层向东扩散趋势明显,该年长江流域年径流量较多年同期偏高,这可能是导致今年长江冲淡水向东扩展范围较远的原因。

总体来看,秋季黄东海海域表层水可分为沿岸冲淡水团、东海水团、黄东海混合水团和黄海水团;底层分为东海水团、黄东海混合水团、黄海水团以及黄海冷水团。划分结果证明,利用K-均值聚类分析法能够迅速、有效地判别水样归属于某类水团。

本文仅使用了温盐作为理化指标划分水团,用

表2 各水团温盐范围及聚类中心

水团名称	聚类中心 (°C, ‰)	温度范围 /°C	盐度范围 /‰
沿岸冲淡水团(CDW)	18.8, 28.1	18.5~19.6	24.1~30.2
东海水团(ECSW)	19.6, 34.2	19.2~21.0	32.9~34.6
黄东海混合水团(YECSW)	22.0, 33.2	18.2~22.8	30.8~33.0
黄海水团(YSW)	16.5, 31.6	13.7~18.3	30.6~32.1
黄海冷水团(YCW)	9.2, 32.4	7.6~13.3	31.8~32.9

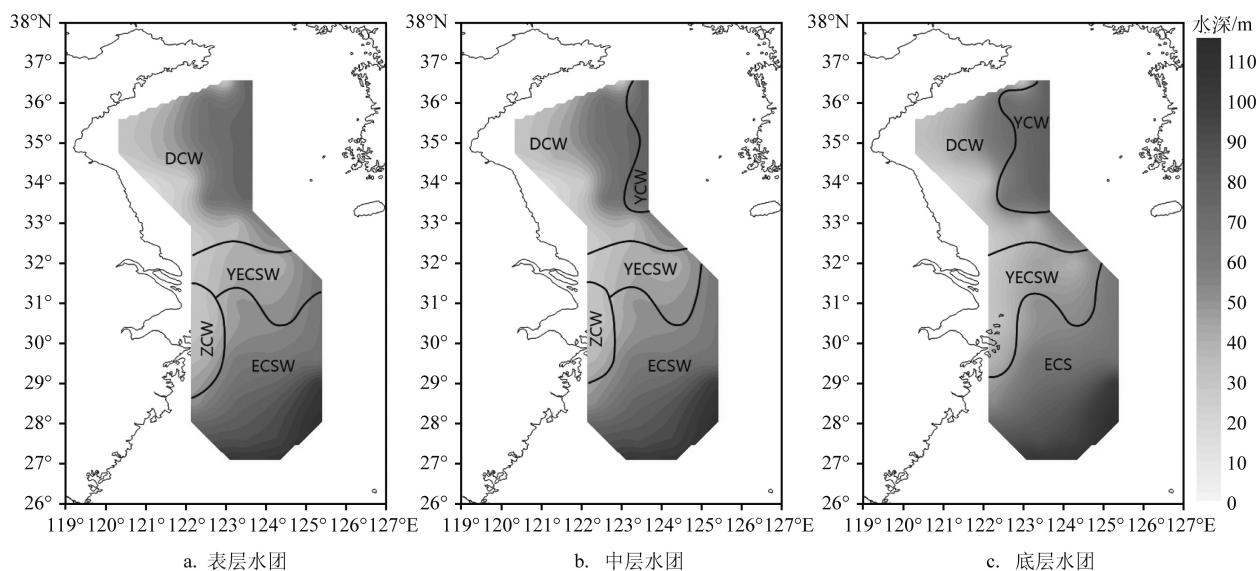


图7 2016秋季(11月)黄、东海水团分布



于证明该方法在实际应用中的可行性,这种方法弥补了T-S图解法划分水团的不足,一定程度上更为准确合理,但仅凭借温盐指标,难以划分来源不同但温盐特征相似的水体,对于使用更多理化指标,还有待进一步分析和研究。

### 参考文献:

- [1] 王家栋, 类彦立, 徐奎栋. 黄海冷水团及周边海域夏初小型底栖动物现存量及空间分布研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(3): 359-366.
- [2] 苏纪兰. 中国近海的环流动力机制研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 1-16.
- [3] 胡放, 于非, 王建丰, 等. 黄海暖流源区附近温盐结构及其季节变化[J]. 海洋科学, 2016, 40(7): 160-169.
- [4] 乐肯堂, 毛汉礼. 南海黄冬季温盐结构及其流系[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(6): 505-515.
- [5] 苏育嵩, 喻祖祥, 李凤岐. 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[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(1): 71-85.
- [6] Stockman W B. A theory of T-S curves as a method for studying the Mixing of water masses in the sea[J]. Journal of Marine Research, 1946, 6(1): 1-24.
- [7] 毛汉礼, 任允武, 万国铭. 应用T-S关系定量地分析浅海水团的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1964, 6(1): 1-22.
- [8] 李伟, 王玉衡, 汪嘉宁, 等. 2011年春、夏季黄、东海水团与水文结构分布特征[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 615-623.
- [9] 毛汉礼, 甘子钧, 蓝淑芳. 长江冲淡水及其混合问题的初步探讨[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(3): 183-206.
- [10] 李凤岐, 苏育嵩, 喻祖祥. 聚类分析在浅海变性水团分析中的试验[J]. 海洋学报, 1983, 5(6): 675-686.
- [11] 李凤岐, 王凤钦, 苏育嵩, 等. 黄、东海域春季水团的划分、判别与分析[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(1): 22-34.
- [12] 李凤岐, 苏育嵩, 范立群. 模糊数学方法在南海北部海区水团分析中的应用[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(1): 253-265.
- [13] 李凤岐, 王凤钦, 苏育嵩. 划分水团的模糊密度聚类法[J]. 青岛海洋大学学报, 1992, 22(1): 12-18.
- [14] 苏育嵩. 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[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(1): 56-70.
- [15] 洪波, 杨红. Fisher型逐步判别法在东海水团判别中的初步应用[J]. 海洋渔业, 2005, 27(2): 143-149.
- [16] 张绪东, 张国友, 佟凯, 等. 黑潮源区海域水团分析[J]. 海洋通报, 2004, 23(1): 15-21.
- [17] Bao X W, Li N, Wu D X. Observed characteristics of the North Yellow Sea water masses in summer[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(1): 160-170.
- [18] 管秉贤. 黄、东海浅海水文学的主要特征[J]. 黄渤海海洋, 1985, 3(4): 1-10.
- [19] 齐继峰, 尹宝树, 张启龙, 等. 东海与邻近海域水、热、盐通量的季节变化研究[J]. 海洋学报, 2016, 38(11): 1-19.
- [20] 浦泳修. 夏季长江冲淡水扩展机制的初析[J]. 东海海洋, 1983, (1): 43-51.
- [21] Li G X, Han X B, Yue S H, et al. Monthly variations of water masses in the East China Seas[J]. Continental Shelf Research, 2006, 26(16): 1954-1970.
- [22] 苏育嵩, 李凤岐, 王凤钦. 渤、黄、东海水型分布与水系划分[J]. 海洋学报, 1996, 18(6): 1-7.
- [23] 翁学传, 王从敏. 台湾暖流水(团)夏季T-S特征和来源的初步分析[J]. 海洋科学集刊, 1984, 21: 113-133.
- [24] Hur H B, Jacobs G A, Teague W J. Monthly variations of water masses in the Yellow and East China Seas[J]. Journal of Oceanography, 2000, 56(3): 359.
- [25] 张启龙, 杨玉玲, 程明华. 南海黄春季温、盐结构特征分析[J]. 海洋科学, 1994, (6): 50-55.
- [26] 喻祖祥, 苏育嵩, 俞光耀, 等. 长江口及济州岛附近海域变性水团的初步分析[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(1): 132-144.
- [27] 刘树勋, 沈新强, 王幼琴, 等. 渤、黄、东海水团多年月平均分布与变化的初步分析[J]. 海洋学报, 1993, 15(4): 2-11.

## Characteristics of thermohaline structures and water masses division in the Yellow Sea and the East China Sea in autumn 2016

YAN Yu<sup>1,2</sup>, CHEN Bin<sup>2</sup>, LI Bo<sup>1</sup>

(1. College of Marine Science and Technology, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000 China; 2. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266100 China)

**Abstract:** According to the in situ temperature and salinity data observed by CTD in the Yellow Sea and the East China Sea in autumn 2016, the characteristics of the thermohaline structures and typical section distribution were analyzed. In autumn, the bottom water of the Yellow Sea had significant low-salt and high-temperature feature possibly due to the weak Yellow Sea cold water mass and the powerful Tsushima Warm Current. In addition, the runoff of the Yangtze River was stronger this year, and was diffused offshore obviously. The autumn water masses in the Yellow and East China Sea were divided based on the K-means clustering analysis. The surface water in the Yellow Sea and East China Sea in autumn could be divided into the coastal diluted mass, the East China Sea mass, the Yellow Sea mixed mass and the Yellow Sea mass, while the bottom were divided into the East China Sea mass, the Yellow Sea and East China Sea mixed water mass, the Yellow Sea water mass and the Yellow sea cold water mass. The results show that the water masses can be quickly and effectively determined by the K-means clustering analysis.

**Key words:** thermohaline structure; K-means cluster analysis; Yellow Sea and East China Sea