

黄海冷水团的变化特征*

翁学传 张以恩 王从敏 张启龙

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

提要 本文根据 1957—1967, 1972—1973 和 1975—1985 这 24 年的温、盐度资料, 利用“相似系数”法分析了夏季(8月)黄海冷水团分布范围、低温中心、体积和温、盐特性的多年变化。结果表明, 黄海冷水团的分布范围具有比较明显的年间变化, 强年的“相对体积”约为弱年的 2.2 倍。黄海冷水团的温、盐性质比较稳定, 多年最大变幅分别为 7.7°C 和 2.58‰。三个低温中心温、盐度的多年变幅, 盐度以北黄海低温中心为最大(约 1‰), 温度以南黄海西侧低温中心最显著(3.51°C); 而南黄海东侧低温中心温、盐度的变幅最小, 分别为 1.58°C 和 0.63‰。

黄海冷水团系指暖半年存在于黄海深底层温度较低的那一部分水体。它是黄海水文特征中的一个重要组成部分, 很早以前就引起了海洋学者的重视。

迄今, 有关黄海冷水团的基本特性、成因以及环流特征等方面, 国内、外海洋学者已进行了许多研究^{[1-9], [1], [2]}, 得出了一些比较重要的结果, 但是有关这一水团变化特征方面的报道却很少。本文在作者以往对黄海冷水团研究工作的基础上^[4], 从水团研究的角度出发, 对夏季(8月)黄海冷水团分布范围、低温中心位置、体积和温、盐性质等的多年变化特征进行分析。

一、资料和分析方法

本文所用资料分为冬季(2月)和夏季(8月)两部分, 均取自国内、外有关单位于 1957—1967, 1972—1973 和 1975—1985 年共 24 年间在黄海收集的温、盐度观测资料。在这些资料中, 以 1965—1966, 1972—1973, 1975 和 1977—1979 这 8 年的观测资料最为完整, 不仅测站较密, 而且均匀地分布于整个黄海海域; 其它年份, 调查范围偏小, 测站仅局限于 124°30'E 以西的黄海西部海域。

在文献[4]中, 作者曾利用“相似系数”法确定了黄海冷水团的边界及其温、盐特征, 得出了比较满意的结果。本文仍采用这一方法来研究黄海冷水团的多年变化特征。需要指出的是, 在使用该方法时, 正确地选定黄海冷水团原始水型的温、盐度指标是十分重要的。因为文中对黄海冷水团变化特征的分析都以此为据。根据黄海冷水团是冬季在黄海海域形成这一结论^[6, 7], 同时考虑到现有观测资料的时、空分布情况, 本文取用均匀分布于黄海冷水团海域内 10 个代表站(图 4)各年 2 月(冬季)温、盐度的多年(18 年)平均值作为黄海

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1352 号。

收稿日期: 1986 年 7 月 26 日。

1) 万国铭等, 1982. 南黄海冷水团月变化及其成因的初步分析. 海洋调查 No. 1.
2) 林金祥等, 1981. 黄海冷水团的基本特征. 海洋研究 No. 4.

冷水团原始水型的温、盐度指标。

本文采用的相似系数的计算公式如下:

$$D_{k,i} = 1 - \left[\frac{1}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\left(\frac{T_{k,i} - \bar{T}}{\Delta T_{\max}} \right)^2 + \left(\frac{S_{k,i} - \bar{S}}{\Delta S_{\max}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

($k = 1, 2, 3 \cdots m$, m 表示年份; $i = 1, 2, 3 \cdots n$, n 为温、盐度观测资料总数)

式中,

$D_{k,i}$ ——各水层或各断面上任意一年的任意一组温、盐度观测值与原始水型温、盐度指标间的相似系数;

$T_{k,i}$, $S_{k,i}$ ——各水层或各断面上任意一年的任意一组温、盐度观测值;

\bar{T} , \bar{S} ——黄海冷水团原始水型的温、盐度指标。统计上述 10 个代表站各年 2 月(冬季)温、盐度多年(18 年)平均值得出 $\bar{T} = 5.87^{\circ}\text{C}$, $\bar{S} = 32.41\text{‰}$ 。

$\overline{\Delta T_{\max}}$, $\overline{\Delta S_{\max}}$ ——夏季(8 月)黄海海域温度和盐度多年(21 年)平均极差值, 即 $\overline{\Delta T_{\max}} = 22.62^{\circ}\text{C}$, $\overline{\Delta S_{\max}} = 8.81\text{‰}$ 。

这样,由上式便可求得各年夏季(8 月)黄海各站层或各断面上的相似系数(D)值。

由各年夏季(8 月)相似系数(D)的空间分布可以得出:(1) D 值在上表层偏小,但随深度增加迅速增大。一般在水深 10—30m 层出现跃变。在跃层的下部, D 值多数接近 0.85。在跃层以下, D 值变化缓慢(图 1)。(2) D 值在上表层的平面分布不甚规则,约在

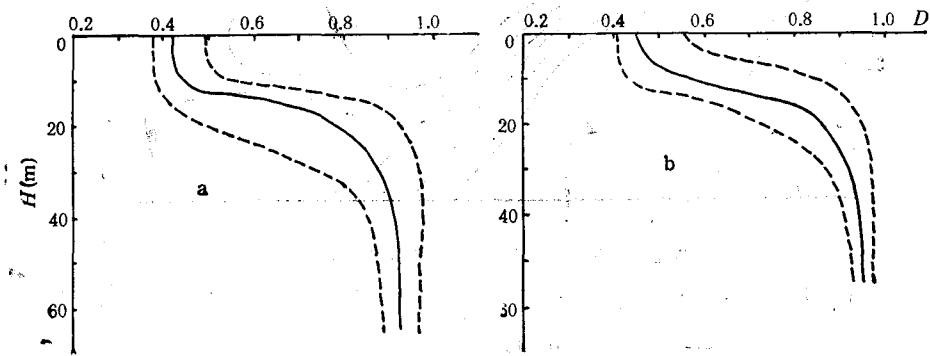


图 1 相似系数(D)的垂直分布

Fig. 1 The vertical distributions of the similar coefficient (D)

a. 南黄海 (123°00'E, 35°45'N); b. 北黄海 (121°10'E, 38°15'N)

——多年平均值; -----极值范围。

30m 层以下, 整个黄海 D 等值线皆呈内高外低的封闭状分布。 D 值大于 0.85 的水域, 等值线分布比较稀疏; D 值小于 0.85 的区域, 等值线密集, 水平梯度较大(图 2)。本文根据相似系数的定义以及各年夏季(8 月)黄海海域相似系数的平面和垂直分布特征, 将相似系数 $D \geq 0.85$ 的水体视为黄海冷水团的主体(以下简称黄海冷水团), 将 D 最大值所在的位置视为冷水团核心。以下主要以 $D = 0.85$ 等值线的分布变化, 来具体分析黄海冷水团的多年变化特征。

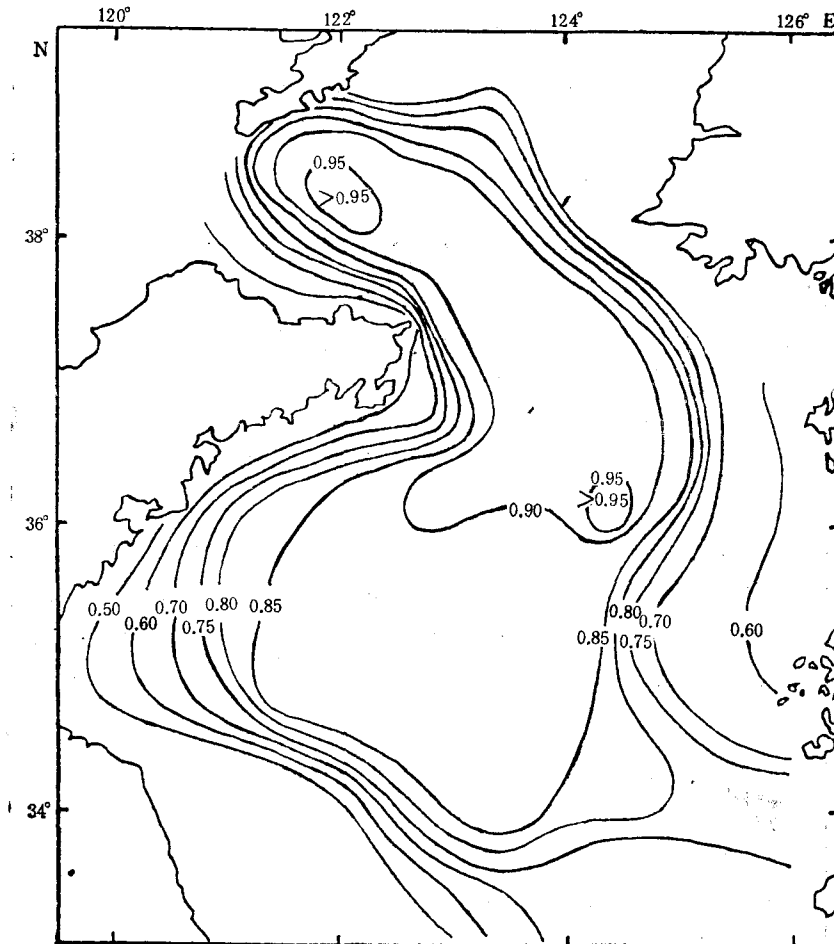


图2 相似系数(D)的平面分布(1979, 底层)

Fig. 2 The horizontal distributions of the similar coefficient(D) (1979, bottom)

二、黄海冷水团的多年变化特征

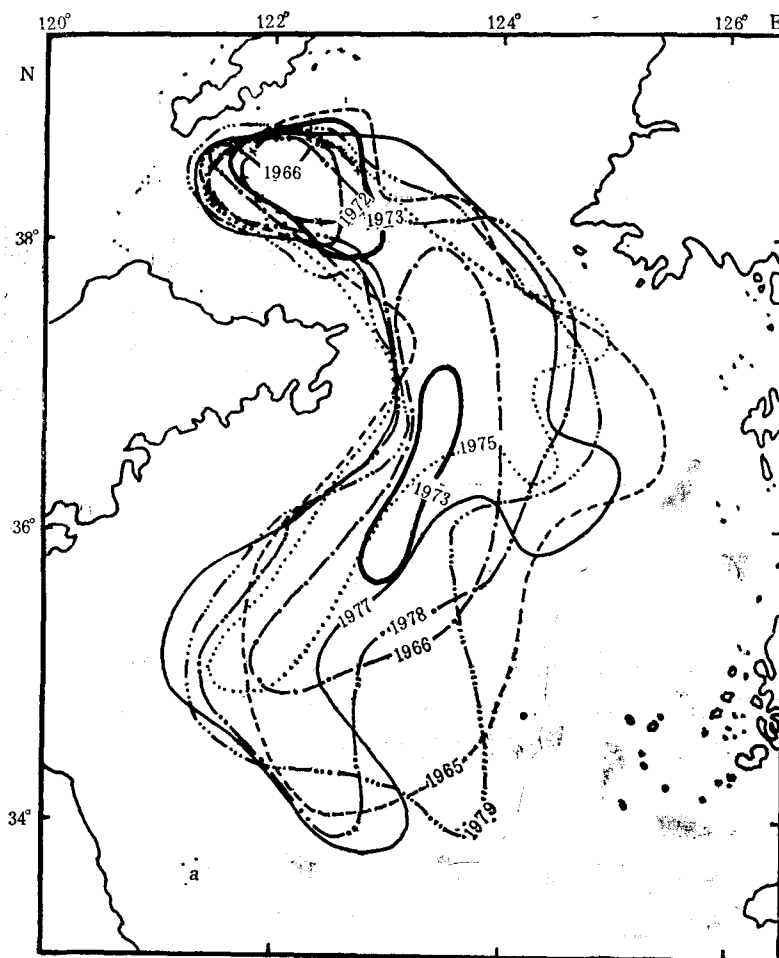
1. 分布范围

从各年相似系数 (D)0.85 等值线分布特征的分析中发现,各年的黄海冷水团大致都盘踞在 50m 等深线以深的黄海中央低洼区。以底层的平均位置而言,它东西约跨 4 个经度 ($121^{\circ}15' - 125^{\circ}05'E$),南北约占 5 个纬度 ($33^{\circ}43' - 38^{\circ}45'N$) (表 1)。但是,黄海冷水团各年的分布范围仍有比较明显的变化。图 3 是根据 $D = 0.85$ 等值线绘制的 30m 层和底层黄海冷水团各年的分布范围。该图清晰地表明,黄海冷水团的边界,除山东半岛附近海域因受地形影响比较稳定外,其它海域都有较大的变化。总的说来,这种变化在南黄海比北黄海明显,中、上层(例如 30m 层)又大于深底层。

由表 1 可见,就底层而言,在北黄海冷水团的西界和北界位置的最大变动距离较为相近,都在 30 海里左右;在南黄海,以它的南界位置的变动为最甚(约 82 海里),其次为西

界,而以东界位置的变动为最小(约 28 海里)。中、上层的情况与底层不同。有些年份(例如 1972 年等)黄海冷水团较弱,它只出现于北黄海,在南黄海仅存在于 30m 层以深海域;有些年份(例如 1966 年和 1973 年)黄海冷水团分为两大部分,分别独立地存在于南黄海和北黄海。就以黄海冷水团在 30m 层的出现情况来看,它的东界、南界和西界位置的变化都远比底层大,其中尤以南界位置的变化为最大(最大变动距离为 120 海里)。黄海冷水团边界的这种变化特征,明显地表明了相邻水团,特别是黄海东南部的黄海暖流水对黄海冷水团分布范围的影响。

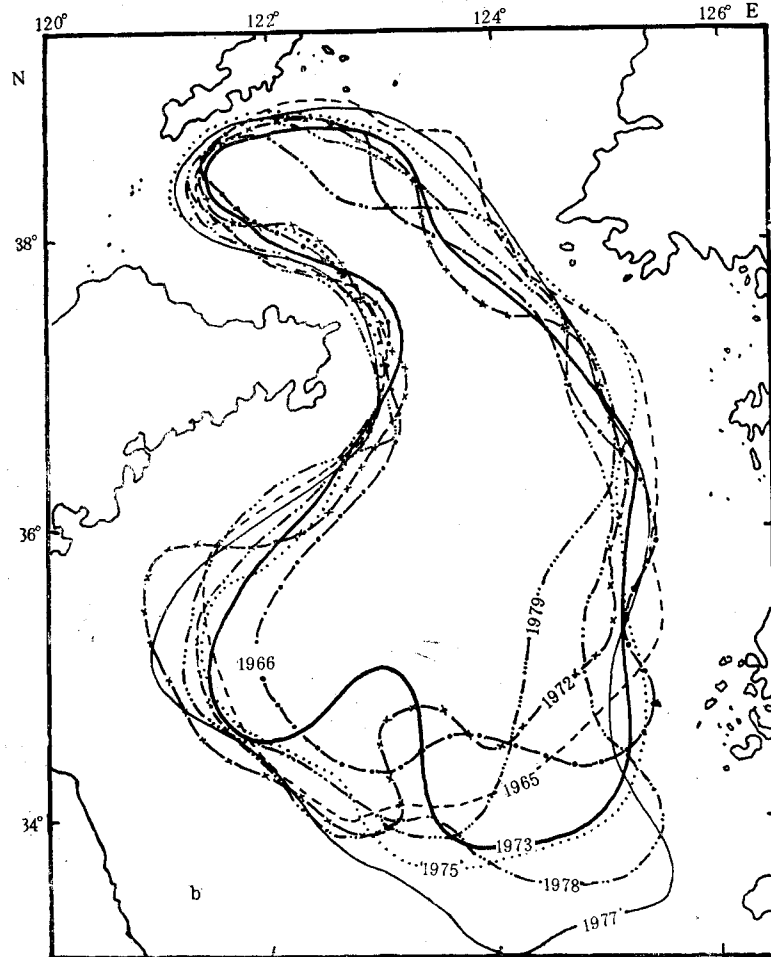
根据相似系数 0.85 等值线空间分布的特征我们还可以得出, 黄海冷水团呈圆顶状分布于黄海中央区的深底层。它的厚度四周小、中央大。由于受黄海槽状地形的影响,黄海冷水团的厚度东侧大于西侧,南黄海大于北黄海。但是,黄海冷水团顶界深度(黄海冷水团顶部所处的深度)的分布却与厚度相反,而呈现西侧浅、东侧深,南黄海浅于北黄海的



a. 30m层;

图3 黄海冷水团各年的分布范围

Fig. 3 The secular variations of the distributive ranges of the Huanghai Sea Cold Water Mass



b. 底层。

图3(续)

分布趋势。此外，黄海冷水团的顶界深度还存在着明显的多年变化。以南黄海的 36°N 断面为例，它的顶界深度最浅为9m(1978)，最深可达32m(1972)，多年(24年)平均为19m。在北黄海，它的顶界深度变化范围为14(1975)—33(1966)m之间，多年(24年)平均值为23m(图5)。

2. 低温中心位置

黄海冷水团是以低温为主要特征的。从海水温度的分布可知，黄海冷水团具有3个低温中心，即北黄海低温中心、南黄海西侧低温中心和南黄海东侧低温中心。北黄海低温中心的位置比较稳定，各年的位置极为相近。多数年份，它都位于威海市以北的 $122^{\circ}12'\text{E}$ ， $38^{\circ}14'\text{N}$ 附近，而且各层低温中心的位置都比较一致。南黄海两个低温中心位置的多年变动范围较北黄海的略为大些，其中尤以西侧低温中心为甚。它们的多年变化主要表现为南北向的摆动，最大的摆动幅度约60海里。与北黄海低温中心不同，这两个低温

表1 夏季(8月)黄海冷水团边界的多年变化

(1957—1967, 1972—1973, 1975—1985)

Tab. 1. The secular variations of the boundaries of the Huanghai Sea Cold Water Mass in summer (Aug.)

(1959—1967, 1972—1973, 1975—1985)

水团边界	30m 层			底层		
	最大变动范围	最大变动距离 (海里)	平均位置	最大变动范围	最大变动距离 (海里)	平均位置
东界	123°40'—125°20'E	87	124°34'E	125°00'—125°32'E	28	125°05'E
北界	38°21'—38°53'N	26	38°41'N	38°32'—39°03'N	31	38°45'N
西界	121°08'—121°52'E	38	121°23'E	121°00'—121°35'E	30	121°25'E
南界	121°00'—122°42'E	88	121°34'E	120°50'—122°00'E	61	121°15'E
	33°40'—35°40'N	120	38°18'N	32°58'—34°20'N	82	33°43'N

表2 夏季(8月)黄海冷水团低温中心位置和温、盐度的多年变化

(1957—1967, 1972—1973, 1975—1985)

Tab. 2. The secular variations of the center of low temperature, temperature and salinity of the Huanghai Sea Cold

Water Mass in summer (Aug.)

(1957—1967, 1972—1973, 1975—1985)

项目	南海			黄海			北海		
	30m 层		底层	30m 层		底层	30m 层		底层
位置	东侧	西侧	东侧	西侧	东侧	西侧	东侧	西侧	
最大变动范围	123°45'—124°30'E 36°00'—36°58'N	122°30'—123°00'E 35°00'—36°00'N	124°16'—124°35'E 35°20'—36°43'N	122°00'—123°00'E 35°30'—36°30'N	122°01'—122°34'E 38°00'—38°30'N	122°12'E 38°14'N	122°01'—122°34'E 38°03'—38°30'N	122°12'E 38°14'N	
平均位置	124°25'E 36°28'N	122°50'E 35°48'N	124°29'E 36°11'N	122°34'E 35°51'N	122°13'E 38°14'N	122°12'E 38°14'N	122°13'E 38°14'N	122°12'E 38°14'N	
变动范围 平均值	6.57—9.92 8.57	6.22—9.81 8.13	6.16—7.74 6.95	6.01—9.52 8.06	4.03—9.65 6.60	4.03—7.36 5.81	4.03—9.65 6.60	4.03—7.36 5.81	
盐度 (‰)	32.20—32.94 32.52	32.04—32.98 32.48	32.34—32.97 32.69	32.05—32.86 32.61	31.83—32.56 32.15	31.80—32.77 32.20	31.83—32.56 32.15	31.80—32.77 32.20	

中心的各层位置不甚一致,其中西中心各层位置的连线自海底向上由西向东上倾;各层东中心位置的连线则由南向北偏西方向上倾,见表 2。

3. 体积

水团的体积是表征水团强弱的重要标志之一。由于浅海水团的体积不易确定,所以在许多文献中都间接地以黄海冷水团的底层分布范围作为衡量冷水团体积的指标。但是,本文的分析结果表明,不同年份黄海冷水团分布范围在垂直方向上的变化远比水平方向显著,因此不能仅以底层的分布范围来衡量冷水团体积的大小。基于资料所限,同时也为了简便起见,我们取 30m 层和底层黄海冷水团单位厚度(厚度为 1m)的体积之和作为黄海冷水团的“相对体积”,并据此分析黄海冷水团体积的多年变化。需指出的是,水团“相对体积”与实际体积有较大差异,本文旨在分析体积变化的某些基本特征。

前已述及,1965—1966,1972—1973,1975 和 1977—1979 年,黄海海域的调查资料较

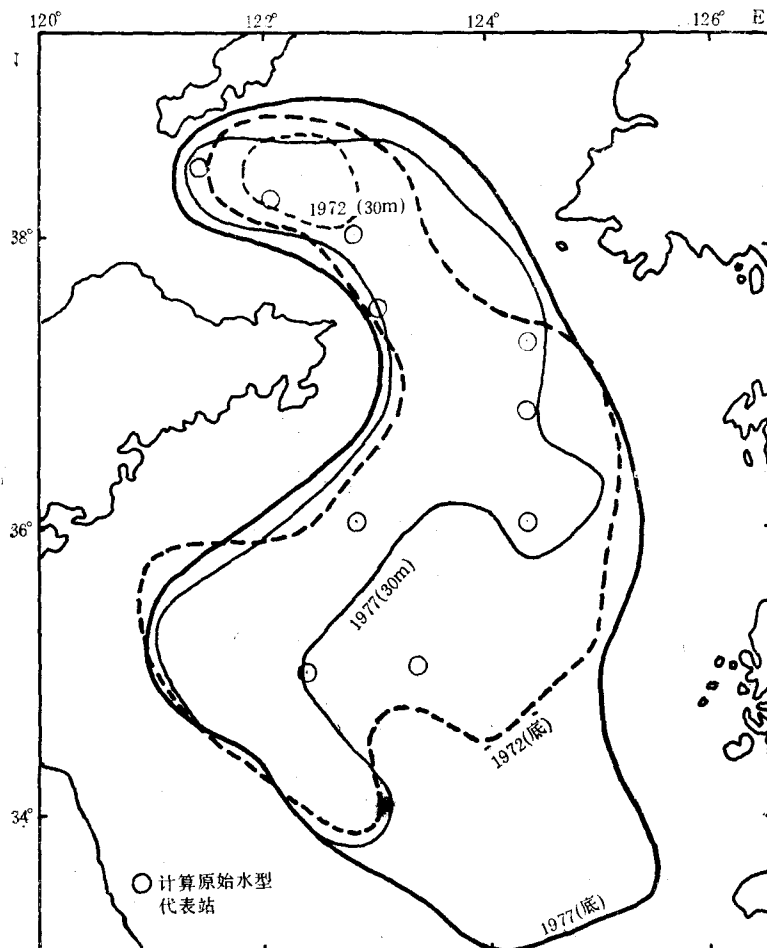


图 4 黄海冷水团强年(1977)和弱年(1972)的平面分布情况

Fig. 4 The horizontal distributions of the Huanghai Sea Cold Water Mass in the stronger(1977) and weaker(1972) years

完整。统计这 8 年的资料表明, 黄海冷水团的“相对体积”以 1977 年为最大, 达 235km^3 ; 以 1972 年为最小, 仅 107km^3 , 前者约为后者的 2.2 倍。图 4 是这两个年份黄海冷水团的平面分布情况。

值得指出的是上述 8 年中, 各年黄海冷水团南黄海部分和北黄海部分(以成山角和长山串连线为界)“相对体积”的比值极为相近, 都在 4.0—4.9 之间。就以上述年间黄海冷水团“相对体积”最大和最小的 1977 和 1972 年来说, 冷水团南、北黄海部分的比值分别为 4.1 和 4.2。这说明黄海冷水团南、北两部分体积的变化基本上是同步的, 也就是说它们主要是受相同因子的影响而变化的。

为了进一步阐明黄海冷水团体积的多年变化特征, 现以资料较完整的黄海冷水团北黄海部分(简称北黄海冷水团)为例进行分析。图 5 绘制了北黄海冷水团“相对体积”的多年变化曲线。我们根据北黄海冷水团各年的“相对体积”, 利用标准离差(σ), 将其划分为强年($V - \bar{V} > \sigma$)、平年($-\sigma \leq V - \bar{V} \leq \sigma$)和弱年($V - \bar{V} < -\sigma$)三种情况。由图 5 可以得出: 1963, 1977 和 1984 年为强年, 北黄海冷水团的“相对体积”均大于 43km^3 ; 1960, 1966 和 1972 年为弱年, 冷水团的“相对体积”都小于 21km^3 ; 其余年份为平年, 其“相对体积”在 $21-43\text{km}^3$ 之间。值得指出的是, 北黄海冷水团强年的“相对体积”约为弱年的 2.1 倍, 这与整个黄海冷水团的情况极为相似。由图 5 还可看出, 北黄海冷水团“相对体积”的变化与冷水团的低温中心温度和顶界深度有较好的对应关系, 即冷水团的低温中心温度低、顶界深度浅, 它的“相对体积”大; 反之, 低温中心温度高, 顶界深度深, 则冷水团的“相对体积”就小。

为探讨北黄海冷水团“相对体积”多年变化的原因, 将其与烟台的 1 月平均气温作了对比(图 5)。由图 5 可以看出, 这两条曲线的变化趋势较为相近, 除个别年份(1975 年和 1979 年)外, 气温较低的年份冷水团的“相对体积”较大, 气温较高年份冷水团的“相对体积”就较小。据此, 并结合前人的研究成果^[2,7,8], 可以得出这样的结论: 黄海冷水团体积的变化与当年冬季黄海及其邻近地区的平均气温具有较为密切的关系。

4. 温、盐特性

根据相似系数 $D \geq 0.85$ 的各站层所对应的温、盐度值, 我们得出了各年夏季(8 月)黄海冷水团的温、盐度范围(图 6)。由图 6 可见, 各年夏季(8 月)黄海冷水团的盐度范围都比较接近, 其最高值和最低值的多年变化范围分别为 $32.86(1961)-33.92\text{‰}(1983)$ 和 $31.34(1973)-32.01\text{‰}(1982)$ 。各年夏季(8 月)黄海冷水团温度最高值与盐度一样, 变化较小, 在 $10.71(1963)-11.73\text{℃}(1975)$ 间; 各年的最低温度值差异较大, 其变动范围为 $4.03(1957)-7.36\text{℃}(1960)$ 。在本文研究的期限(1957—1967, 1972—1973, 1975—1985)内, 黄海冷水团温、盐度的极差分别为 7.70℃ 和 2.58‰ 。这一结果进一步阐明了黄海冷水团是一个温差大、盐差小而且温、盐性质相对稳定的水团。

黄海冷水团由于范围广阔(东西约跨 4 个经度, 南北约占 5 个纬度), 所以它的温、盐度特性还存在着明显的地域性差异。分析表明, 冷水团南黄海部分的温、盐度值各年都明显地高于北黄海; 同时南、北两部分温、盐度的多年变化特征也不尽相同。由图 7 和表 2 还可以得出, 各年黄海冷水团三个低温中心的温、盐度性质也存在着比较明显的差异。其中, 北黄海低温中心的温、盐度值都较低, 南黄海西侧低温中心的温度略高; 从盐度来看,

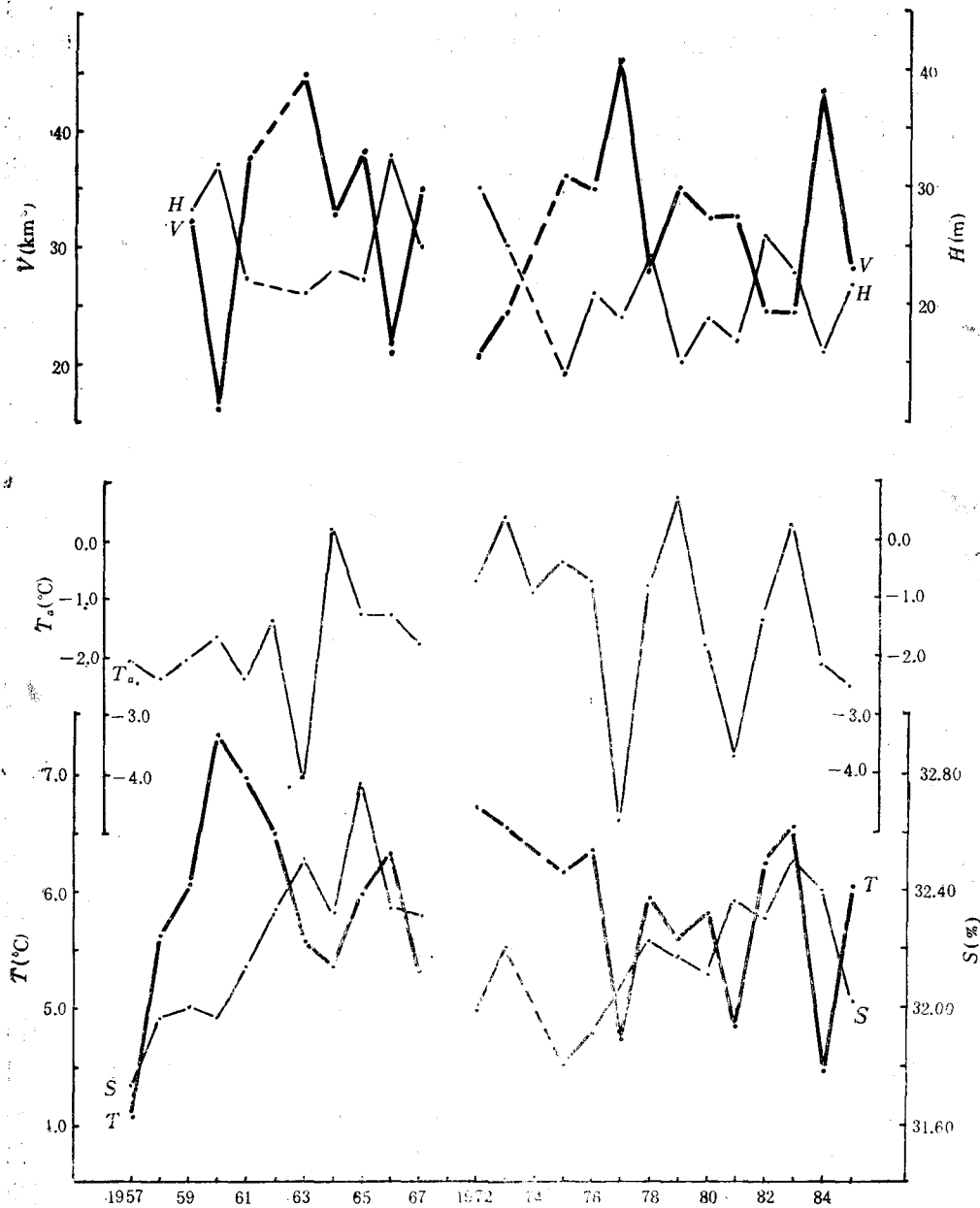


图5 北黄海冷水团“相对体积”(V)、顶界深度(H)和低温中心温度(T)、盐度(S)以及烟台1月平均气温(T_a)的多年变化

Fig. 5 The secular variations of the "relative volume", depth of the top boundaries (H), temperature (T) and salinity (S) of the center of low temperature of the Huanghai Sea Cold Water Mass and the average air temperature (T_a) in Yantai (Jan.)

南黄海东、西两个低温中心的盐度值比较相近,且都高于北黄海低温中心的盐度值。

由各年夏季(8月)黄海冷水团低温中心的温、盐度值统计结果(表2)还可以得出,就

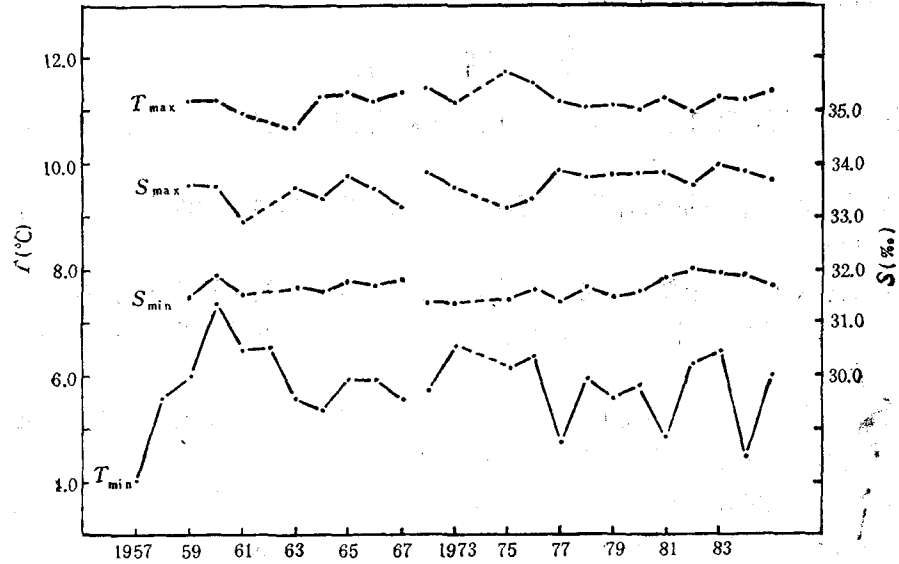


图6 黄海冷水团温、盐度最高、最低值的多年变化

Fig. 6 The secular variations of the highest and lowest values of the temperature and salinity of the Huanghai Sea Cold Water Mass

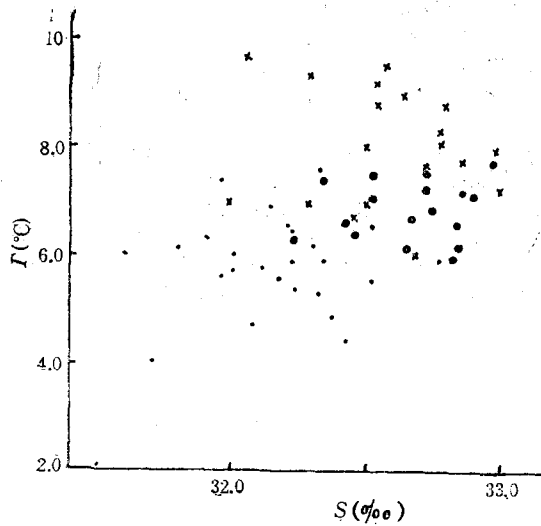


图7 黄海冷水团低温中心的 $T-S$ 关系

●北黄海；○南黄海东侧；×南黄海西侧。

Fig. 7 The $T-S$ diagram of the center of low temperature of the Huanghai Sea Cold Water Mass

底层而言,在这三个低温中心中,盐度的多年变幅以北黄海低温中心为最大,约1‰(图5);温度的多年变幅则以南黄海西侧低温中心为最大,可达3.51℃;而以南黄海东侧低温中心的温、盐度值的变幅为最小,分别为1.58℃和0.63‰。[这显然与这些低温中心所处

的地理位置和自然环境有着密切的关系。

三、结 语

综合以上分析,我们对夏季(8月)黄海冷水团的多年变化特征可以得出以下几点初步结论。

1. 黄海冷水团各年的分布范围呈现比较明显的变化,其中南黄海大于北黄海,中、上层大于深、底层。

2. 黄海冷水团有三个低温中心。其中,北黄海低温中心的位置比较稳定,多数年份都位于 $122^{\circ}12'E$, $38^{\circ}14'N$ 附近;南黄海两个低温中心的位置变动略为大些,主要表现为南北向的摆动。

3. 黄海冷水团强年的“相对体积”约为弱年的2.2倍。各年南黄海冷水团和北黄海冷水团“相对体积”之比极为相近,其值在4.0—4.9之间。

4. 黄海冷水团的温、盐性质比较稳定,多年最大变幅分别为 $7.7^{\circ}C$ 和 2.58‰ 。三个低温中心温、盐度的多年变幅,盐度以北黄海低温中心为最大(约 1‰),温度以南黄海西侧低温中心最显著($3.51^{\circ}C$),而南黄海东侧低温中心温、盐度的变幅为最小,分别为 $1.58^{\circ}C$ 和 0.63‰ 。

参 考 文 献

- [1] 孙湘平,1980。气候异常引起黄海冷水团及渤海冰情变异的若干例证。海洋湖沼通报 1: 1—8。
- [2] 张元奎、贺先明,1981。春季北黄海冷水团强度的年际差异及其预报。海洋湖沼通报 1: 19—25。
- [3] 赵保仁,1985。黄海冷水团锋面与潮混合。海洋与湖沼 16(6): 452—460。
- [4] 翁学传、王从敏,1983。黄海冷水团边界及温、盐范围的确定。中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议(1980)论文集。科学出版社,61—70页。
- [5] 袁业立,1979。黄海冷水团环流 I. 冷水团中心部分的热结构和环流特征。海洋与湖沼 10(3): 187—213。
- [6] 管秉贤,1963。黄海冷水团水温变化以及环流特征的初步分析。海洋与湖沼 5(4): 255—284。
- [7] 赫崇本、汪园祥、雷宗友等,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。
- [8] 宇田道隆,1934。日本海、黄海オホーツクの平年各月海况。水产试验场报告 5: 191—236。
- [9] Nakao, T., 1977. Oceanic Variability in Relation to Fisheries in the East China Sea and Yellow Sea. *Jour. of the Faculty of Marine Science and Technology Tokai University*. Special number: 199—367.

THE VARIATIONAL CHARACTERISTICS OF THE HUANGHAI SEA (YELLOW SEA) COLD WATER MASS*

Weng Xuechuan, Zhang Yiken, Wang Congmin and Zhang Qilong

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

ABSTRACT

Based on the 24 year's data of the temperature and salinity, the secular variations of the distribution range, the center of low temperature, the volume, the temperature and salinity characteristics of the Huanghai Sea Cold Water Mass in summer (Aug.) are determined with the "similar coefficient" method in this paper. The results show that the distribution range of the Huanghai Sea Cold Water Mass has the distinct secular variations and its "relative volume" in the stronger year is 2.2 times that in the weaker year; the characteristics of the temperature and salinity are stable relatively; the secular variations of the temperature and salinity are 7.7°C and 2.58‰ . The biggest variation of the temperature and salinity among the three centers of low temperature are 3.51°C and 1‰ which appear in the west part of the south Huanghai Sea and the north Huanghai Sea, while the smallest are 1.58°C and 0.63‰ which appear in the east part of the south Huanghai Sea.

* Contribution No. 1352 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.