

东海北部一个夏季气旋型涡旋 的初步分析*

胡敦欣 丁宗信 熊庆成

(中国科学院海洋研究所)

近十年来,随着海洋探测技术的发展,在世界各大洋里都发现了中尺度涡旋,这是物理海洋学上的重大进展之一。目前所发现的中尺度涡旋,不管是在大洋里,还是在极地区,一般均处于千米以上的深水区。但在陆架浅海区,海底摩擦要消耗大量的能量,是否也会出现这类涡旋,这是一个令人感兴趣的问题。

根据现有文献和我们对近几年东海水文调查资料的初步分析得知,在我国陆架区至少有两个气旋型涡旋,一个在台湾东北的彭佳屿附近海域,另一个在济州岛西南海域。对前者,管秉贤(1978)^[1]和 M. Uda (1974)^[3]等均从冷水团的角度进行过研究,特别是日本学者在此海域进行了多次调查。至于后者,井上尚文(1975)^[2]曾根据 1969 年 11 月投放的“人工水母”(即底层流示踪器)的资料分析指出:“在黄海暖流和黄海沿岸流两股底层流的中间区域,有黄海冷水伸入。在秋、冬期间,南北流向呈反时针方向旋转。从而可以认为,以调查海区的中部(济州岛南面)海底为中心,有一个范围相当大的环流存在。”由此人们自然会提出这样一个问题:在春、夏两季,这一反时针方向的水平环流是否继续存在。尤其在夏季,自南北上进入黄海和东海的黑潮及其分支(对马暖流和黄海暖流)与黄海、东海沿岸流系交错汇合,盘踞在下层的冷水又极度发展,使得环流结构和水文状况较冬季复杂得多,这时的情况又将变得怎样?本文主要根据 1972 年 7—8 月常规水文观测资料,同时参照近几年的水文资料,对此问题作一初步探讨。

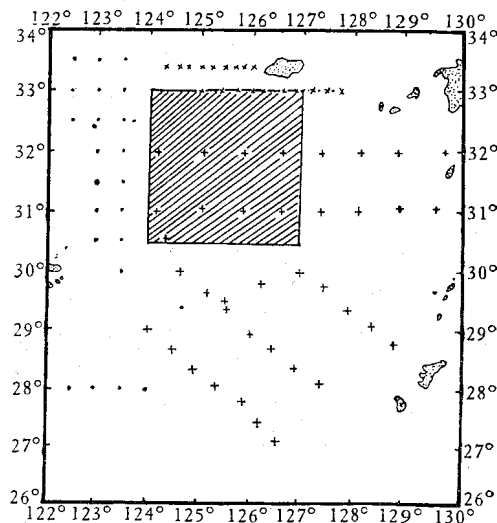


图 1 研究海区的位置和站位分布

注: ●东海渔业资源调查站位; + 日本气象厅海洋观测站位; × 南朝鲜水产振兴院观测站位

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 660 号。
收稿日期: 1980 年 10 月 17 日。

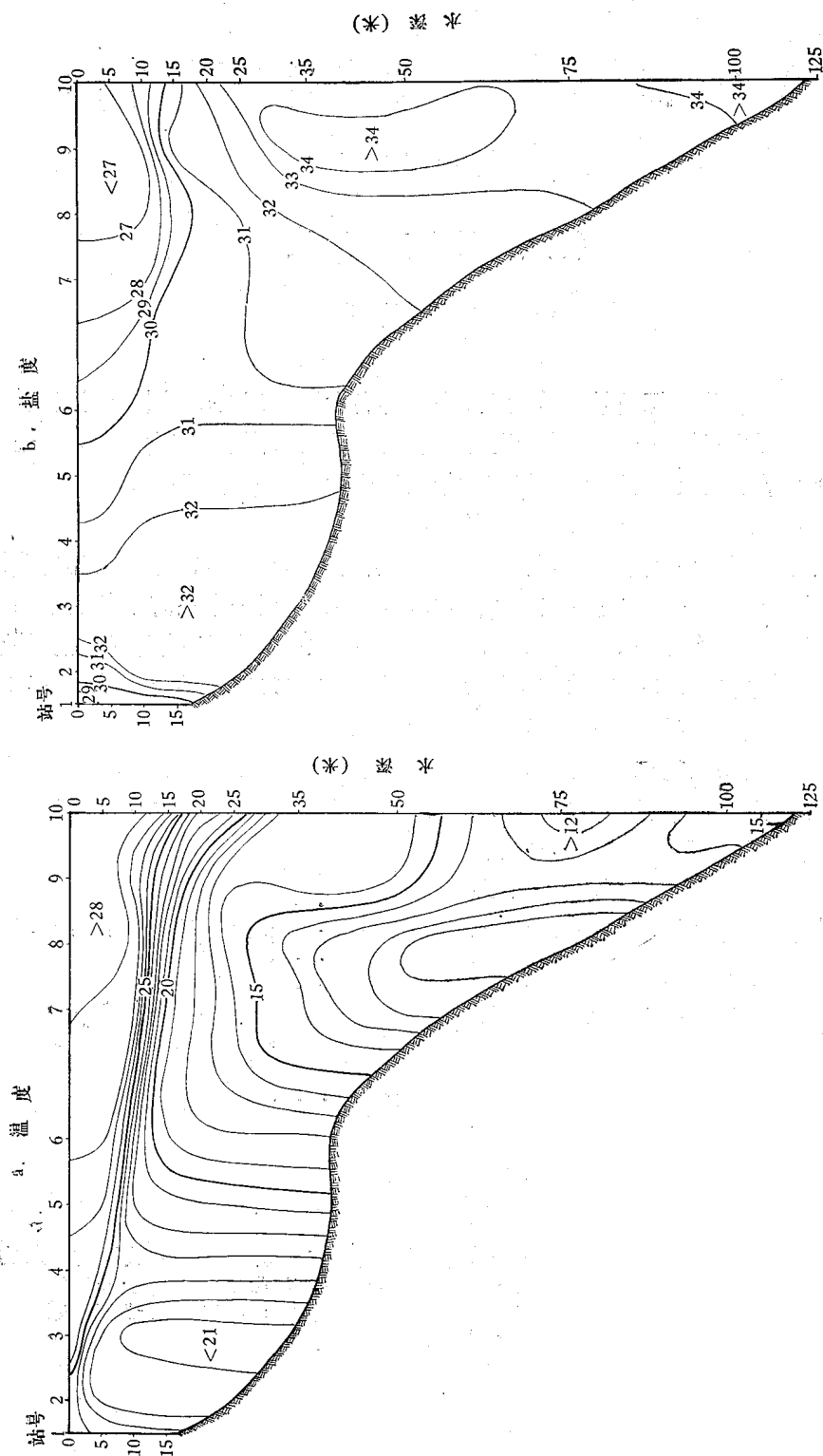


图 2 32°N 断面上的温、盐度分布 (1977 年 8 月)

本文研究的重点海区的范围是 $30^{\circ}30' - 33^{\circ}00'N$, $124^{\circ}00' - 127^{\circ}E$, 如图 1 阴影部分所示。为了便于资料的分析, 在绘制温、盐度等平面分布图时, 将其范围扩大到 $28^{\circ} - 34^{\circ}N$ 之间的大部分海域。

本文引用的资料主要来源于国家海洋局标准断面调查资料, 东海渔业资源调查资料, 日本气象厅海洋气象观测资料和南朝鲜水产振兴院海洋观测资料。

一、研究海区的温度、盐度分布特征

本研究海区, 正位于长江口大浅滩东侧的陆架外缘部分, 水深约在 50—100 米之间, 因为即将接近大陆坡, 所以海底坡度变大, 在东西方向上约为 10^{-4} 量级, 而等深线基本上是 NNE—SSW 走向。在夏季各月份, 有以高温、高盐为特征的台湾暖流水、对马暖流水和黄海暖流水, 以低温为主要特征的黄海沿岸水和以高温、低盐为特征的长江冲淡水, 在这里交错汇合。由于这几种水系的消长变化每年均有所不同, 同时又受海底地形等因素的影响, 致使本研究海区的水文状况变得特别复杂。不过, 从历史的温、盐度观测资料分析, 其温、盐度分布的一般特征如下:

1. 从横切本研究海区的 $32^{\circ}N$ 断面上温、盐度垂直结构来看, 在东经 124° 以东的海区内, 基本上以 10—15 米层为界, 明显地分成上下两层, 如图 2 所示。在上层, 覆盖着一层高温低盐水, 其盐度值一般在 $26 - 30\text{‰}$ 之间, 低盐中心位置约在 $32^{\circ}N$, $126^{\circ}E$ 附近。在下层为一盐度相对偏高的低温水, 其温度在 $11^{\circ} - 15^{\circ}C$ 之间。上层的高温低盐水大都出现在 7 月到 8 月上旬期间, 在其它时间很少观测到。下层的低温水 6 月和 7 月份较强; 8 月中旬以后, 由于南面的高温高盐水向北扩展和海水本身的变性, 下层低温水逐渐向北退缩, 势力减弱。在上下两种水体之间为一强温跃层, 与此相比, 盐跃层相对弱得多。

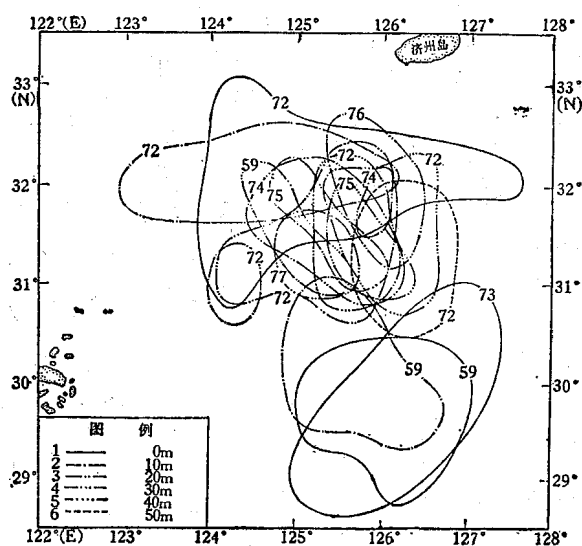
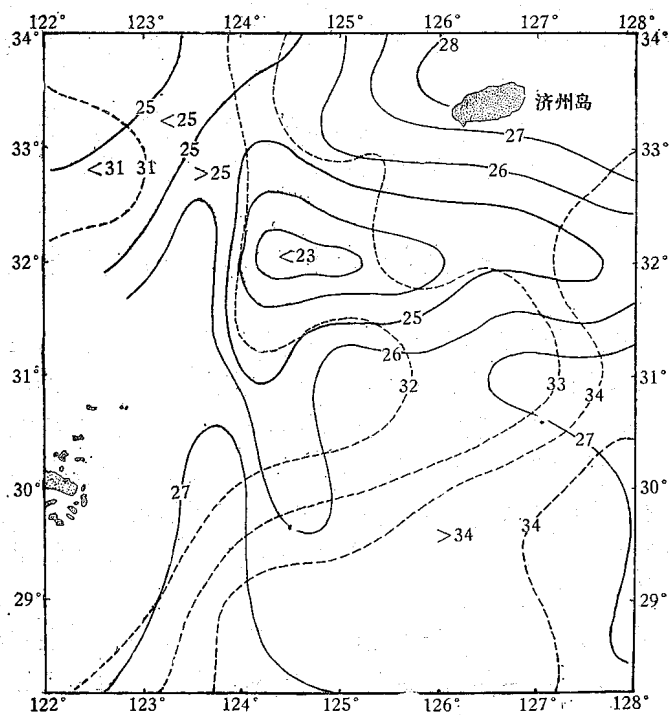
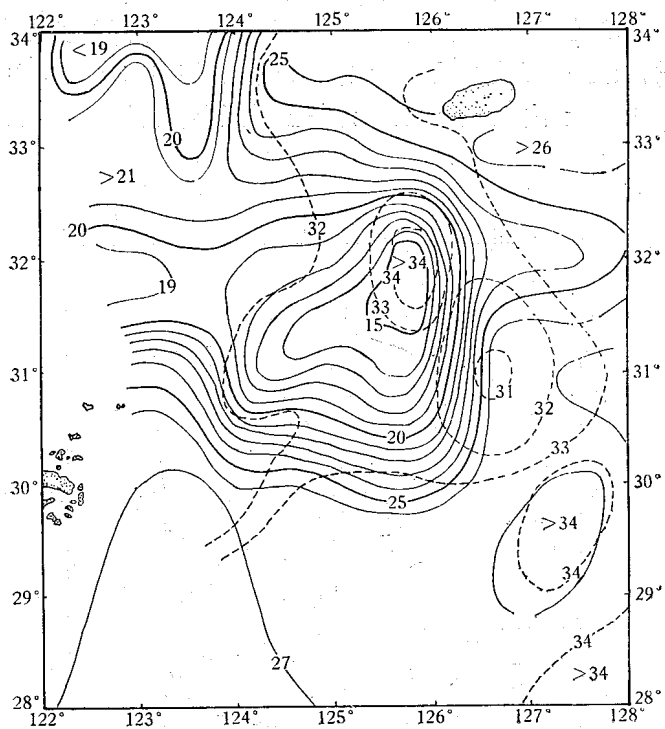


图 3 冷中心区封闭等温线位置的平面分布



a. 表层



b. 20米层

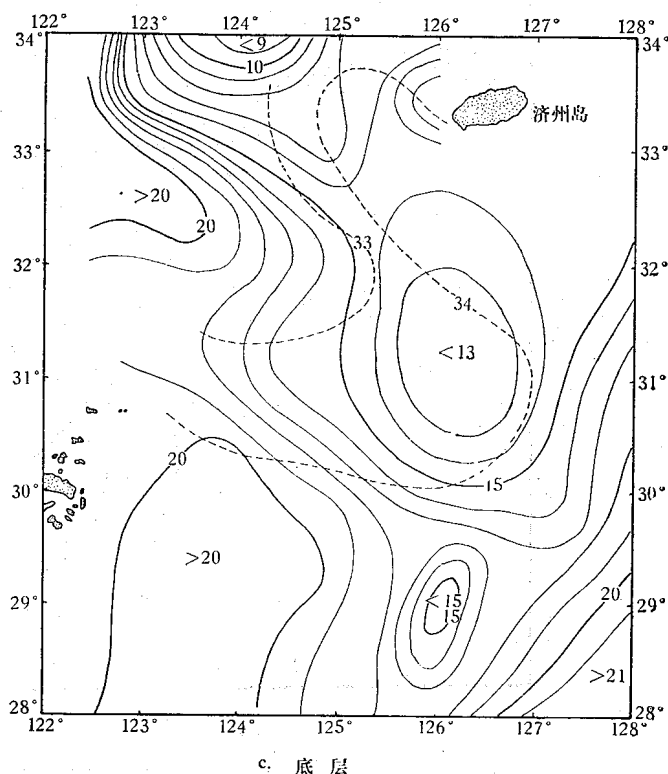


图4 1972年7—8月海水温度和盐度平面分布

2. 从温度的平面分布来看,本研究海区每年夏季在中层或上层均出现冷中心区,随年份和月份的不同,其出现位置和层次都有所不同。不过,冷中心区所处的位置绝大多数都集中在 30° — $32^{\circ}30'N$, 125° — $126^{\circ}30'E$ 这一范围内,如图3所示。图3中的封闭线是取自每层范围最大的等温线,线上的数字代表年份。图3表明,每年夏季在本海区内都有下层低温水上升的现象。一般年份仅仅上升到20米层上下,1972年夏季比较特殊,下层低温水一直影响到海面。

图4是1972年7—8月观测的海水温度和盐度的平面分布。图中实线和虚线分别表示温度等值线和盐度等值线。图4c中水深大于100米的测站,我们均取100米为该站的“相对底层”。由图4可以看出,在本研究海区内分布着一块范围不小的冷水区,从表层到50米层都很明显。同其它年份比较,1972年夏季的这块冷水范围大,海水温度的水平梯度也较大。如20米层上冷水中心的温度较其邻站(相距35—40海里)最大可低 $7.2^{\circ}C$,而在一般年份仅低 1.8 — $3.2^{\circ}C$ 。另外,从盐度的平面分布来看,冷水中心的盐度值略高于周围邻站约千分之零点几。但这一现象不如温度那样明显。

1972年7—8月温度和盐度的断面分布,和一般年份不同,上层的高温低盐水几乎没有出现,在 $32^{\circ}N$ 断面上盐度的分层现象不显著,如图5b所示。在 $32^{\circ}N$ 断面的西侧是以高温低盐为特征的长江冲淡水,东侧则是以高温高盐为特征的对马暖流水,断面中间的大部分为盐度稍偏高的低温水所控制,也就是说,下层的低温水几乎上升到了近表层。 $126^{\circ}E$

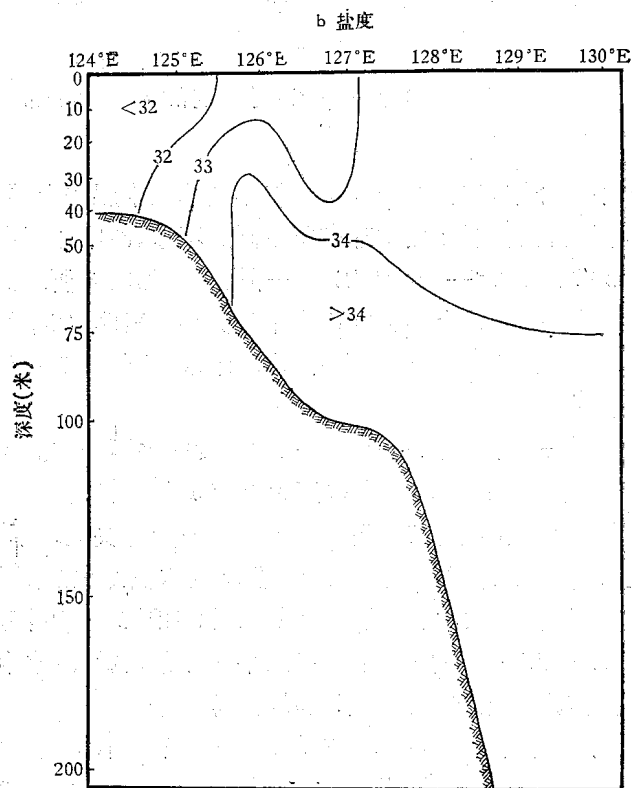
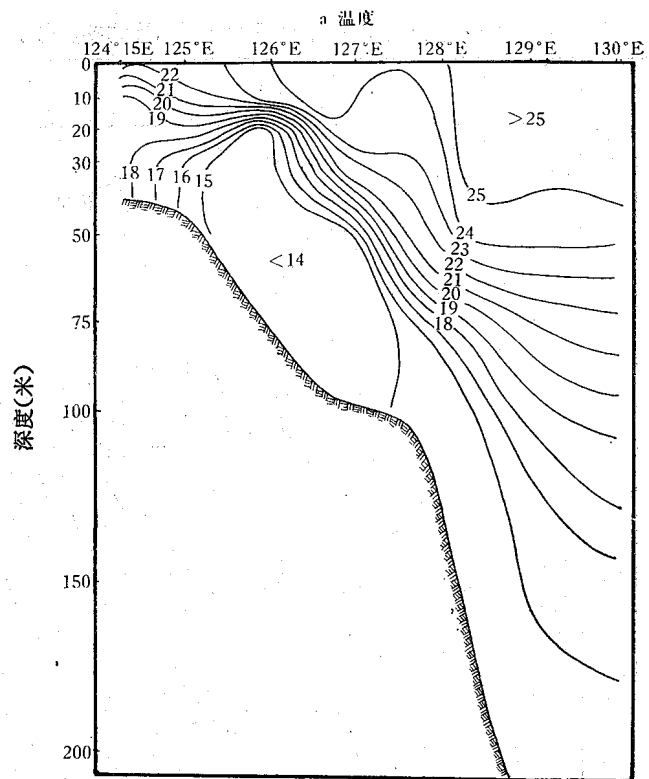


图5 32°N断面海水温度和盐度分布(1972年7—8月)

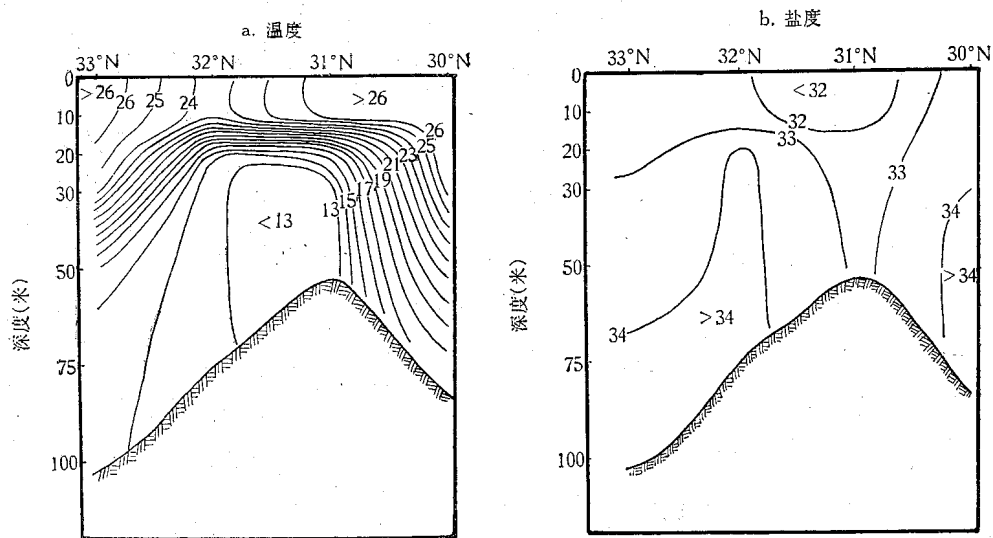


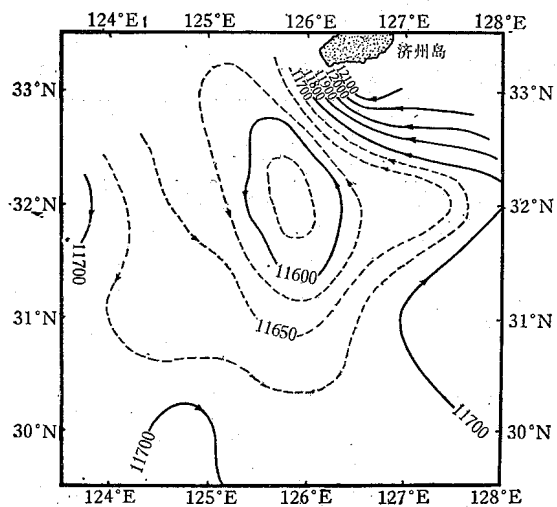
图6 126°E断面温度和盐度分布(1972年7—8月)

断面上温度和盐度的分布趋势,和 32°N 断面相似,见图 6。由图 5 和图 6 看出,断面两侧海水的温度高,盐度偏低;断面中间部分的海水温度低,盐度则偏高。两个断面上的等值线的分布趋势大致相同,都是从断面的两侧向中间部分上倾,坡度较陡,大约在 31°—32°N, 125°—127°E 这样大的范围内呈弓形,在浅海区海水温度和盐度等值线的这种上凸现象,直接反映了在这海区内有上升流存在。上述的冷水区的出现是下层低温水上升的直接结果。

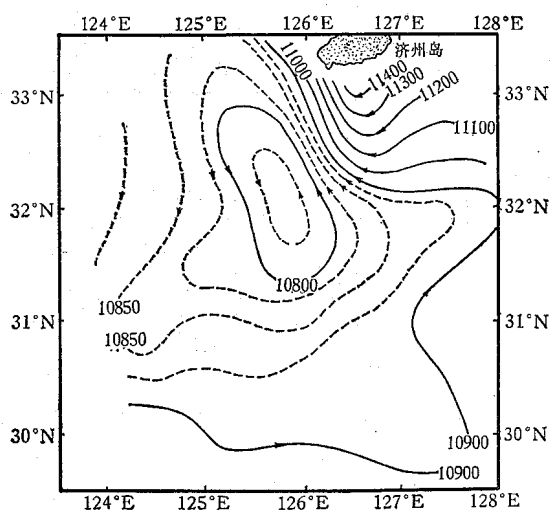
二、气旋型涡旋的确定

如上所述,1972 年夏季本研究海区下层低温水的上升现象特别强,可直达近表层。出现这种上升现象的原因究竟是什么?当然,黄海暖流从对马暖流分出后,向西北方向流动并进入本海区,由于受到地形抬升的作用,会使下层低温水上升。但是,这种作用看来不会形成这么大范围的下层低温水上升。我们通过同期余流资料和动力高度的分析,认为这一现象与本研究海区出现的气旋型涡旋紧密相关。

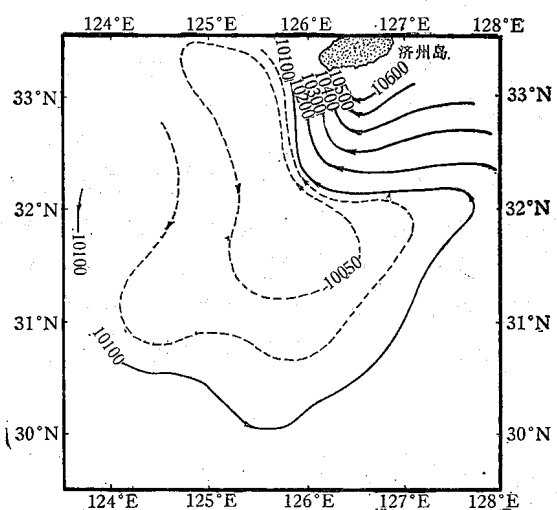
图 7 是 1972 年 7—8 月表层、10 米、20 米、30 米和 50 米层动力高度的平面分布。图中实线和虚线均为动力高度等值线,其间隔分别为 100 动力毫米和 25 动力毫米。在计算动力高度时,我们选取本海区内最深的 A₃ 站(水深 154 米)的底层为相对动力零面。由各层动力高度的平面分布不难看出,各层的动力高度值是中心低,周围高。由此得出,在本研究海区内,海水是沿着反时针方向流动。在本研究海区的中心等动力高度线自行封闭,为一气旋型涡旋。其空间尺度,在上层约为 90 海里,到下层,东南-西北向空间尺度加大,约为 100 多海里。涡旋的中心位置自表层向下层逐渐向西北方向偏移,在 50 米层上,离开表层的中心位置足有几十海里。动力高度等值线,除在济州岛南面(即黄海暖流经过的海区)非常密集以外,大部分海区比较稀疏,即是说,黄海暖流经过的海区流速比较大,



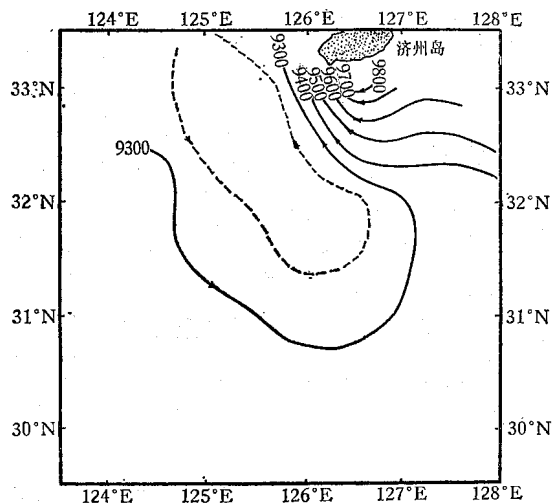
a. 层表



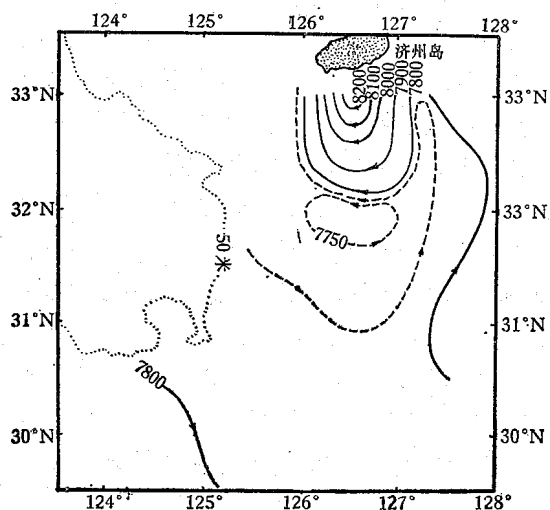
b. 10 米层



c. 20 米层



d. 30 米层



e. 50 米层

图 7 1972 年 7—8 月动力高度平面分布

流速值在 10 厘米/秒以上, 其它大部分海区流速值均在 10 厘米/秒以下。从上层到底层流速逐渐变小, 在底层仅为 2—3 厘米/秒左右。从流速值和中心位置在垂直方向上的变化来看, 我们认为这气旋型涡旋的强度是比较弱的。以上所述, 与 1972 年同期实测流的分析结果是相符合的; 就是说, 在 1972 年夏季, 无论从地转流角度, 还是从实测流角度来看, 两者都表明本研究海区确实存在一个气旋型涡旋。但地转流所确定的涡旋中心位置比实测流确定的涡旋中心位置偏北 20 多海里, 这表明气旋型涡旋可能不仅是由密度分布不均匀所造成, 还有其它更重要的原因。

为了获得这个涡旋的某些粗略的定量概念, 我们选用了四个连续站的实测流资料, 对这四个站从表层到海底所围成的四棱柱体中的水体, 分别估算了各层的平均散度值 M (见表 1), 又假定海表面的垂直流速 $\omega = 0$, 根据流体的连续方程, 按公式 $\omega = \int_0^h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dz$, 分别估算了各层的平均垂直流速 ω 值 (见表 2)。表 1 中的平均水平散度值表

表 1 各层平均水平散度 M 值(单位: 10^{-7} 秒 $^{-1}$)

层次(米)	5	10	20	30	40	50	底
M	8.2	12.1	1.8	3.3	3.6	5.9	-0.5

表 2 各层平均垂直流速 ω 值(单位: 10^{-3} 厘米/秒)

层次(米)	5	10	20	30	40	50
ω	0.5	1.9	4.6	6.1	6.2	6.4

明: 50 米层以上的平均水平散度为正, 为辐散区, 其中 10 米层的水平辐散度最强, 为其它层次的 1.5—6 倍; 50 米层以下的平均水平散度为负, 为辐聚区。由此进一步表明, 本研究海区内 50 米层以上的水体是按气旋式流动的。由表 2 可知, 由于气旋型涡旋的存在, 涡旋中心区域的垂直流速的量级约为 10^{-4} — 10^{-3} 厘米/秒; 50 米层上的平均垂直流速最大, 约为 6.4×10^{-3} 厘米/秒, 50 米层以上的平均垂直流速约为 4.3×10^{-3} 厘米/秒。当然, 这些计算结果的数值并不那么完全可信, 但我们认为, 至少就其量级来说还是合理的。

通过上述动力高度等资料的分析, 指出本研究海区在 1972 年夏季出现了一个气旋型涡旋, 并对这个涡旋的个别特征给予了说明。但是, 由于缺少长期的连续观测资料, 对这个涡旋的全过程难于进行研究。至于其它年份的夏季是否同样会出现这样的涡旋, 由于余流资料甚少, 要回答这个问题是比较困难的。然而多年夏季水文观测资料和海底沉积的分布, 给了我们如下启示:

1. 每年夏季在本研究海区中、下层都出现一个冷水块, 其密度较东西两侧为大, 长时间停留在坡度较大的斜坡上面而不下滑, 反而在纬度 32° 附近呈现强弱不同的上升现象, 冷水上升的高度比纬度 31° 和 33° 地区的都高。这种现象几乎每年都有, 这似乎暗指每年夏季都有气旋型涡旋出现。
2. 在本研究海区的海底, 分布着一个近似圆形的软泥区域, 其空间尺度和位置与涡旋

的空间尺度和位置十分吻合。这个软泥区域,正处于水深由 50 米左右很快增加到 90 米的海底地形变化较大的地区。在这样的斜面上能够形成近似圆形的软泥分布,我们认为本气旋型涡旋的存在起了决定性的作用。如前所述,近底层为辐散区,悬浮物质随海水向涡旋中心输送,并不断沉积于海底。年长日久,圆型软泥得以形成。由此,我们推测这里的涡旋很可能常年存在。

三、气旋型涡旋的形成原因

海洋中,形成各类涡旋的原因多种多样,如风、海岸与海底地形以及海洋内部的热力结构等等因子的作用,都会形成涡旋。1972 年本研究海区出现的这个气旋型涡旋,究竟是那些因子作用的结果,我们根据手头仅有的一些资料进行分析,提出几点初步的看法:

1. 入夏以后,我国东海受太平洋副热带高压的控制,主要盛行偏南季风,同时又不断地受到台风的影响。为了弄清风对本涡旋的形成有无关系,我们查阅了本海区内历史的海流和风的资料。从这些资料中我们得知,当风向和流向大致相同时,风对海流的影响深度较大;风向和流向相反时,风只能改变表层的流向。例如,有一个测流站,观测期间的风向为 SSE,平均风速为 16 米/秒,而余流流向除表层为 NE 外,以下各层的流向为 ESE 或 SE,即逆风而上。由此可见,本海区的余流方向,除表层外,其它层次受风的影响很小。至于台风的影响,我们分析了 1972—1978 年夏季各月份影响东海的几次台风资料。在这六年中,仅有两次经过本研究海区,一次是 1972 年第 3 号台风,于 7 月 26 日前后以每小时 15 海里向北移动;另一次是 1978 年第 10 号台风,于 8 月 19 日前后以每小时 17 海里左右的速度同样向北移动。这两次台风过后几天都进行了海上水文调查。这两次台风的路径如图 8 所示。图中阴影部分分别表示两次水文调查所获得的表层冷水的范围。

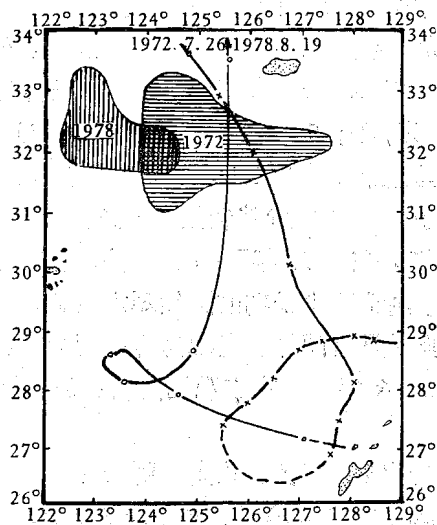


图 8 7203 和 7810 号台风路径
和表层冷水出现的范围

由图 8 可见,1972 年第 3 号台风经过本研究海区后,在表层出现了一片冷水。因为没有台风前的水文调查资料加以对照,很难确定这片冷水是否是受台风影响而形成。但是,1978 年第 10 号台风过后,不仅本研究海区的表层没有出现这片冷水(表层冷水出现在本研究海区的西面),台风经过的海区海水温度反而略高于周围海区。因而,我们认为,作为出现气旋型涡旋的客观标志的冷水存在,与台风的影响没有直接的关系。

2. 前面第一节中指出,每年夏季在本海区的下层是一块低温水。关于这一低温水的成因,说法不一,这里不再赘述。但从历史的 7—8 月的测流资料分析,黄海暖流在进入南黄海北上时,即在济州岛西南海域的 20 米层以下,似乎分出了一股向西流动的小分支,一直进入到 124°E 附近。这股流有把南黄海底层冷

水和本海区下层低温水分开之势,从而使下层低温水有可能成为一块“孤立的水体”。在夏季这一下层低温水的存在与发展,是本气旋型涡旋形成和发展的热力学因子。

3. 全国海洋综合调查报告中指出:“渤、黄、东海的环流,除东海沿岸流流向有季节变化外,趋势基本上是稳定的。暖流北上,沿岸流一般南下,两者大体上形成了反时针方向的流动,渤、黄海环流近乎封闭。”当时调查的海区只局限在 124°E 以西的海域。近十年来在 124°E 以东也进行了一些连续观测,这些观测进一步表明渤、黄海的环流在夏季可向南延伸到 31°N 附近,如图 9¹⁾ 所示。由图 9 可以清楚地看出,本海区的东部是对马暖流;东北部是对马暖流伸向黄海的分支——黄海暖流;西部是范围狭窄的偏南向的黄海沿岸流;

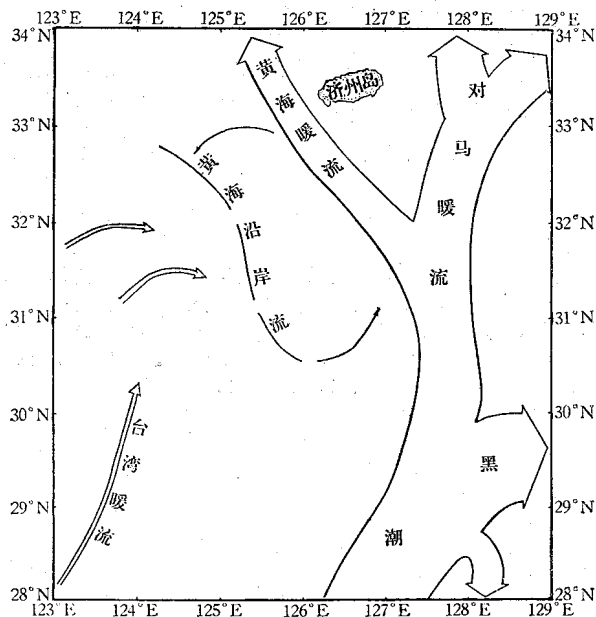


图 9 东海夏季流系示意图

南部是受长江口大浅滩的影响而偏东向的台湾暖流。所以,本海区正位于渤、黄海环流的南端。本海区的西北部,即在黄海暖流和黄海沿岸流之间,其余流大体上以 20 米层为界分为两层。上层受风等因子的影响,流向变化比较大;下层流向较稳定,基本为 W—WNW 它的流速小,一般为几个厘米/秒。由于这股逆坡而上的偏西方向的海流的存在,使本研究海区的中下层形成了一个反时针方向流动的小环流,即气旋型涡旋。因此我们认为本气旋型涡旋是黄海、东海反时针环流系统中的一个次级小环流。它的形成与本研究海区的海底地形的影响和两股反向海流(指黄海暖流和黄海沿岸流)的侧向切变效应有着密切的关系。

1) 本图引自管秉贤等,1978 年,“东海海流系统概述”一文。

四、结 语

1. 本文根据常规的温、盐度和实测流的资料,分析证明了1972年夏季在本研究海区出现了一个弱的气旋型涡旋,其空间尺度上小下大,平均约为90余海里。此涡旋的出现,使下层冷水明显地上升,计算得到的平均垂直流速约为 4.3×10^{-3} 厘米/秒。

2. 我们认为,夏季下层低温水的存在与发展、海底地形的影响和两股反向海流的侧向切变效应与本气旋型涡旋的形成有着密切的关系。但是应该指出的是,夏季风场和台风的影响,似乎与本气旋型涡旋没有直接的关系。

3. 在本研究海区内,海底沉积为一孤立的软泥区,它的形成与本气旋型涡旋有着密切的关系。它既是涡旋作用的结果,又是涡旋常年存在的佐证。

关于这一气旋型涡旋的生成、发展和消失的全过程,由于目前缺乏完整而系统的观测资料,尚难作进一步分析研究。因此,有待今后通过专题调查,获取充分而又精密的资料,对上述看法加以验证并进行深入的分析研究。

参 考 文 献

- [1] 管秉贤, 1978。我国台湾及其附近海底地形对黑潮途径的影响。海洋科学集刊 14: 1—21。
- [2] 井上尚文, 1975。東シナ海大陸棚上の海底流動。海洋科学 7(1): 12—18。
- [3] Uda, M. and A. Kishi, 1974. Cyclonic cold eddies along the edge of the kuroshio current in relation to the genesis and passage of cyclones. I. Waters north of Taiwan. in The Kuroshio III, proceeding of the Third CSK Symposium Bangkok Thailand. 1972. pp. 199—218。

A PRELIMINARY INVESTIGATION OF CYCLONIC EDDY IN NORTHERN EAST CHINA SEA IN SUMMER*

Hu Dunxin Ding Zongxin and Xiong Qingcheng

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

On basis of the analysis of the temperature and salinity data observed in July—August, 1972 and some historic data of the temperature and the salinity, the authors found that there was frequently an isolated cold water mass at the middle and upper water layers in the northern part of the East China Sea (SW of Cheju Island) in summer. After comparing the phenomenon with the residual current data observed in this region, the authors pointed out that there was a cyclonic eddy in this region.

It is shown from calculation and analysis that the horizontal extent of the upper portion of the eddy is small, but that of the lower portion large. Its average horizontal scale is about 90 miles, the average velocity of upwelling at its center approximately equals to 4.3×10^{-3} cm/sec.

The authors suggested that this cyclonic eddy seems to be a small secondary circulation of the anticlockwise circulation in the Yellow Sea and the East China Sea. Its formation is closely related to the topography of the bottom of this region, the appearance of cold water from lower layers in summer and the shear effect of two current systems of the Yellow Sea Warm Current and Coastal Current of the Yellow Sea.

*Contribution No. 660 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.