

1973年夏季一个反气旋型 涡旋的初步分析*

邢成军

(中国科学院海洋研究所)

六十年代以来,海洋学上的一项重要成果是发现了海洋中存在着“中尺度”涡。其空间尺度为数百公里,时间尺度为数月,流速约为10厘米/秒。它可与大气中的气旋、反气旋相比拟,并具有巨大的能量,是决定海洋水文变化的重要因子之一。这种巨大的能量,在海洋能量分配和转化过程中起着重要的作用。“中尺度”涡的发现和和研究,不仅对搞清大洋总环流的变异有重要意义,而且对于反潜战环境条件、海洋生物分布和海-气交换等的描述也有重要作用,并将对海洋环境预报提供重要的理论基础。

近几年来,人们发现中尺度涡不仅存在于世界大洋,而且还存在于边缘海。1975年,日本学者井上尚文^[4]曾对济州岛西南海域的底层在秋冬期间存在的一个范围相当大的气旋型涡旋进行过研究。1978年,管秉贤^[2]对台湾省东北部的气旋型涡旋进行了研究。1980年,胡敦欣、丁宗信和熊庆成^[1]在对济州岛西南海域(30—32°N, 125—127°E)的气旋型涡旋研究中指出,这一冷涡不仅秋、冬季节,而且在夏季也出现,并推测这一涡旋可能终年存在。最近,管秉贤^[3]根据1967年6—8月间的温、盐资料对东海南部的反气旋型涡旋进行过研究,本文试图在此基础上对这一暖涡的特性作进一步的分析研究。

一、温、盐分布概况

本文应用1973年7月10日—8月10日,日本调查船“长风丸”在东海南部海域(122—125°E, 26—28°N)内(图1),夏季存在着一个反气旋型涡旋,其水平尺度约为100海里,厚度约为75米。

在研究区域内,从表层至75米层的温度和盐度的平面分布图上可以看出,位于27°N, 123°30'E附近有一个高温、低盐水存在(图2—5)。表层:29°C的等温线呈封闭曲线,中心水温高于29°C;相应的盐度低于33‰,其中心位置约在27°N, 124°E附近。温度的水平分布,由里向外递减,其垂直分布则随深度的增加而逐渐降低。20米层:28°C的等温线也呈封闭曲线,位于26—28°N, 122—125°E海域内,其中心位置约在27°N, 123°30'E,暖中心较表层向西移了约25海里。30米层(图2):28°C等温线类似椭圆状,长轴为NE—SW向,中心位置在27°N, 123°30'E附近,中心最高水温高于28.5°C,相应

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第840号。本文承毛汉礼教授热情鼓励,管秉贤、杨天鸿副教授仔细审阅原稿并提出宝贵意见,白少英同志绘图,在此一并致谢。

本刊编辑部收到稿件日期:1982年1月19日。

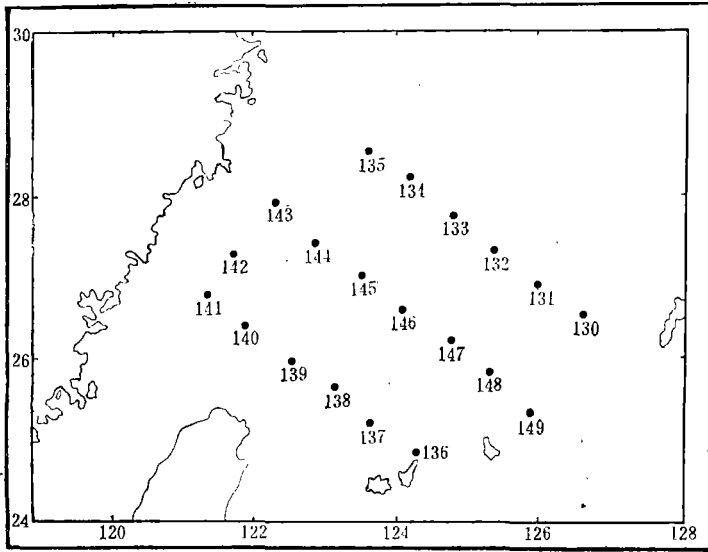


图1 站位图

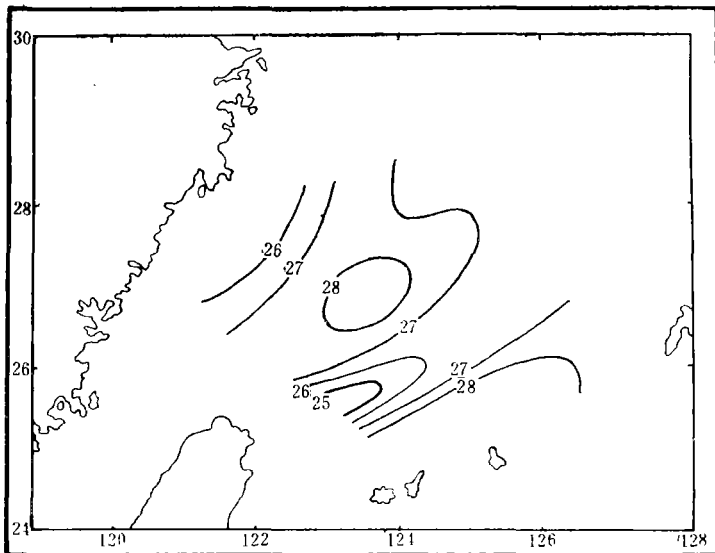


图2 30米层温度分布图

的盐度低于 33‰ 。50米层：在观测区域内，等温线呈半封闭状，开口朝西南向，最高水温位于 140 站 ($26^{\circ}30'N$, $121^{\circ}56'E$)，并且有朝西南方向移动的趋势。75米层(图 3)： $23^{\circ}C$ 、 $22^{\circ}C$ 和 $21^{\circ}C$ 三条等温线均能很好地封闭起来，暖中心最高水温高于 $23^{\circ}C$ ，相应的盐度低于 34.30‰ ，其中心位置位于 $27^{\circ}10'N$, $123^{\circ}15'E$ 处，较 50 米层最高水温的位置向东北方向移动了约 75 海里。

从盐度分布图上同样可以看出，表层： 33‰ 的等盐线基本呈椭圆状，长轴为 NE—SW 向。中心盐度低于 33‰ ，低盐中心与表层高温中心的位置基本一致。30 米层(图 4)：

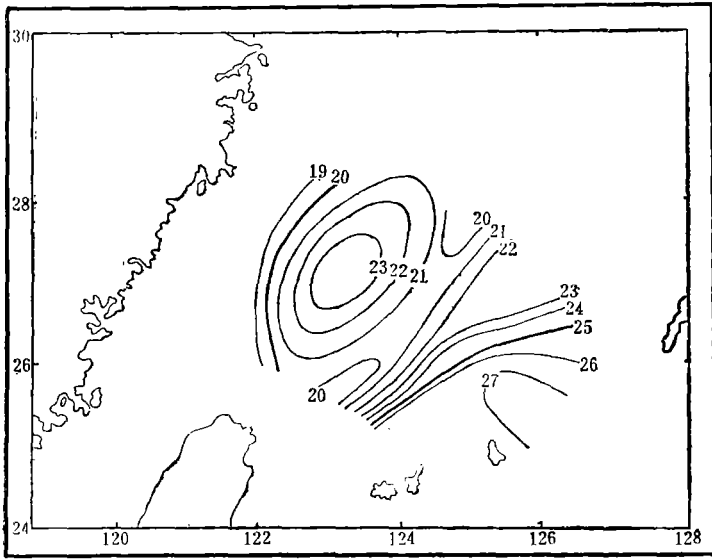


图 3 75 米层温度分布图

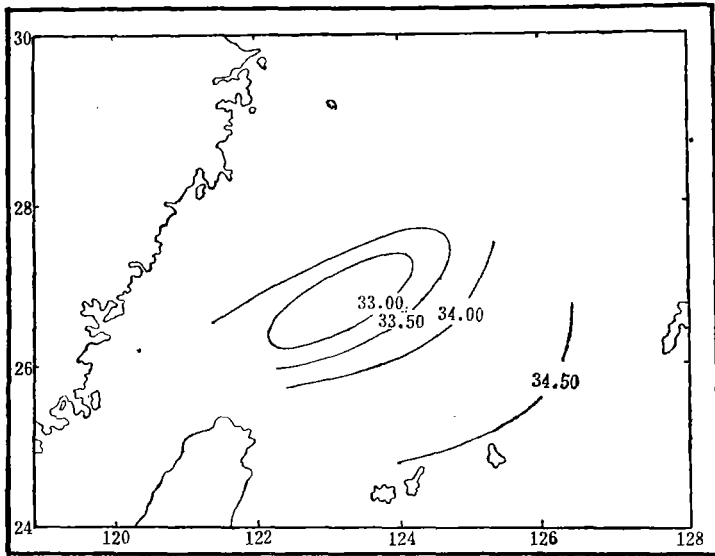


图 4 30 米层盐度分布图

33‰ 的等盐线呈现以 27°N , $123^{\circ}30'\text{E}$ 为中心的椭圆状, 33.50‰ 的等盐线基本上也呈封闭曲线, 中心位置与该层闭合等温线的中心位置颇为一致, 较表层、10 米层和 20 米层向西移了约 25 海里。75 米层 (图 5): 34.30‰ 的等盐线近似地封闭呈圆形, 低盐中心位于 $27^{\circ}15'\text{N}$, 123°E 处, 较 30 米层又向西北移了约 32 海里, 但较 50 米层的中心位置又向东有所后退, 即中心位置与该层闭合等温线的中心位置颇为一致。

从各层温度、盐度分布图上均能十分清楚地看出, 在研究海区内确实存在一个高温低盐中心。

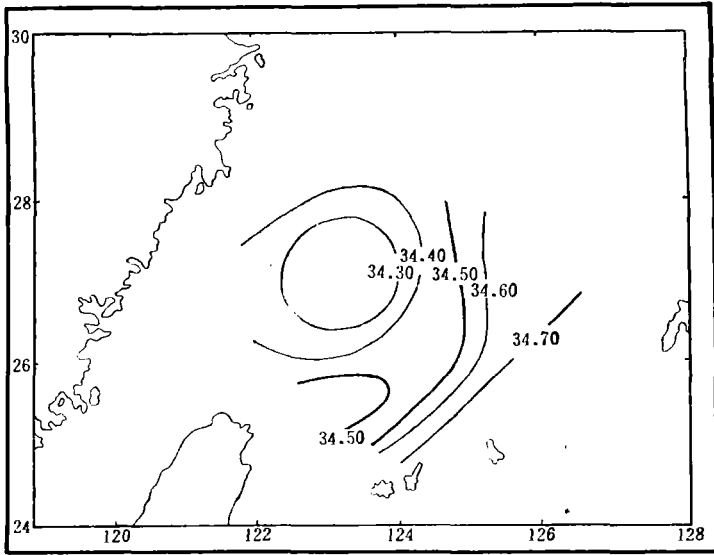


图 5 75 米层盐度分布图

二、动力高度、水平和垂直流速的分布

本文分别以 100 米、500 米和 1000 米层为基准面计算了各层的动力高度、地转流速和垂直流速。计算结果表明,选取这三种不同的动力零面,所得到的动力高度及地转流速的分布趋势是基本一致的。

水平和垂直流速的计算,采用杨天鸿¹⁾所给出的由海水质量场来计算水平和垂直流速的公式:

$$\rho u = K \left(\frac{\Delta \sum_D^z \rho g \Delta z}{\Delta x} - \frac{\Delta \sum_D^z \rho g \Delta z}{\Delta y} \right),$$

$$\rho v = K \left(\frac{\Delta \sum_D^z \rho g \Delta z}{\Delta y} + \frac{\Delta \sum_D^z \rho g \Delta z}{\Delta x} \right),$$

和

$$-\rho w = K \left[\frac{\Delta \left(\sum_H^z \frac{\Delta \sum_D^z \rho g \Delta z}{\Delta x} - \sum_H^z \frac{\Delta \sum_D^z \rho g \Delta z}{\Delta y} \right)}{\Delta x} + \frac{\Delta \left(\sum_H^z \frac{\Delta \sum_D^z \rho g \Delta z}{\Delta x} + \sum_H^z \frac{\Delta \sum_D^z \rho g \Delta z}{\Delta y} \right)}{\Delta y} \right].$$

1) 杨天鸿, 1962。关于渤海中央区垂直流速计算和涡动热传导系数确定的初步探讨(未刊稿)。

式中, $K = \frac{1}{2f}$, f 为柯氏参数, 取 $f = 7.29 \times 10^{-5}$ 秒⁻¹, ρ 表示海水的密度, D 为基准面深度, H 为海底深度。所取的坐标系是 x 轴向东, y 轴向北, z 轴垂直向下, 原点取在平均海面。

我们根据以 1000 米为基准面所得到的计算结果, 绘制了动力高度及地转流分布图, 从动力高度分布图上, 可清楚地看到其水平分布特征是, 自表层至 75 米层均有呈封闭的等动力高度线存在。从表层至 30 米各层, 等动力高度线均呈椭圆状, 其长轴约沿 NE—SW 向, 原点约在 27°N , $123^{\circ}30'\text{E}$ (图 6)。在 50 米至 75 米层的动力高度图上, 等动力高度线已趋于圆形。50 米层中心位于 $27^{\circ}15'\text{N}$, 123°E 附近, 较 30 米以浅各层, 向西北移动约 32 海里。75 米层较 50 米层, 其中心位置又向东退回约 20 海里。这与封闭的等温线和等盐线的中心位置的移动规律基本一致。

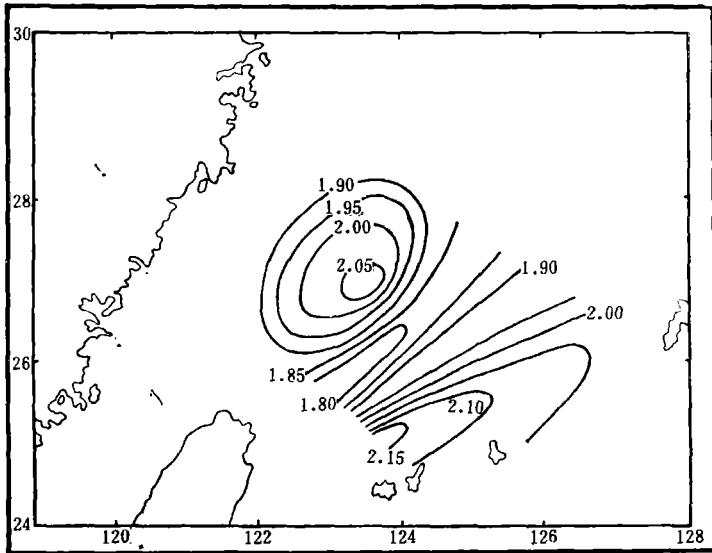


图 6 30 米层动力高度(动力米)分布图

通过上面的分析, 可以看出这一涡旋的轴心自上而下并不是完全垂直的, 而是自表层至 50 米层, 向西北方向倾斜, 50 米层以下则向东有所弯曲。

涡旋轴心的倾斜, 我们初步认为这可能是由于夏季, 台湾海峡盛行西南风, 而在闽浙沿岸产生“离岸流”, 这种离岸流所挟水体具有高温、低盐的特征。这种高温、低盐水体伸至研究海区, 作为补偿效应, 在涡旋中心呈现下降流, 而在海底附近则有向岸流出现, 从而形成垂直环流, 并导致众所周知的浙闽沿岸的涌升现象。这种流势, 迫使涡旋的轴心自表层至 50 米层向西北方向倾斜。而在 50 米层以下, 由于水平流动向东北方向, 又迫使涡旋的轴心在 50 米附近向西北方向突起。

图 7 和图 8 是动力计算所得到的各层地转流速分布图。从图中可以十分明显地看出, 地转流存在着以 27°N , $123^{\circ}30'\text{E}$ 为中心的顺时针方向(即反气旋型)旋转。以表层为例(图 7), 流速以南部较大, 最大达 13.2 厘米/秒; 东、西两侧次之, 约为 6 厘米/秒。北面偏小, 平均约 3—4 厘米/秒。在这一涡旋的外围, 地转流的分布呈现如下特征: 南部和东

需要指出的是: 根据一般原理, 涡旋中心水平流速应接近于零或较小, 但计算得到的涡旋中心的水平流速较大。这可能是因为计算点不够密集或者是计算方法在浅海区域有一定的局限性。关于浅海地转流的计算, 仍是一个值得进一步探讨的问题。

垂直流速的计算结果表明, 在涡旋所在范围内的 145 和 146 站, 垂直流速为正值, 即为下降流。而在涡旋外围的 139, 137 和 147 各站, 垂直流速为负值, 即为上升流。涡旋内垂直流速的最大值出现在 146 站的 10 米层, 为 4.4×10^{-3} 厘米/秒。该站从表层至 75 米层, 垂直流速的平均值为 2.6×10^{-3} 厘米/秒。145 站的垂直流速较 146 站小, 各层平均值为 0.9×10^{-3} 厘米/秒。涡旋中心平均垂直流速约为 1.8×10^{-3} 厘米/秒。涡旋的外围各站, 以涡旋以南的 137 站的上升流为最强, 各层平均值为 8.3×10^{-3} 厘米/秒。这里正是黑潮流经处, 水深由深变浅的斜坡上。涡旋东南方的 147 站, 上升流亦很强, 最大值在 10 米层, 为 1.4×10^{-2} 厘米/秒。平均值为 5.9×10^{-3} 厘米/秒。涡旋西南面的 139 站, 上升流较南部和东南部要小得多, 但最大值仍可达 4.5×10^{-3} 厘米/秒, 出现在 20 米层, 平均值为 3.6×10^{-3} 厘米/秒。

三、反气旋涡旋形成原因

日本学者日高孝次 (1926)^[6] 曾作过有关北太平洋西部海流受地形影响的模拟试验, 得到: 黑潮的东、西两个分支流过台湾后, 将出现气旋和反气旋两种涡旋, 其中的反气旋涡旋, 就是在本文所研究的区域内(见文献 [6] 中的图 2)。其试验是假设黑潮存在着东、西两个分支, 其强度为 4:1, 并假定东分支沿台湾东岸向东北方向流动, 西分支绕台湾岛从台湾海峡向东北方向流动。由于东、西两分支的绕流作用, 在台湾的北部将出现气旋和反气旋两种涡旋。本文所讨论的这一暖涡并非每年出现, 且出现季节也不一样。而黑潮的西分支, 主要在夏季出现, 在冬季极其微弱。即使是在夏季, 也有的年份强, 有的年份弱。这样看来, 如果西南风不出现或者出现东北风, 这一暖涡恐难出现。另外, 若暖涡单纯是黑潮西分支的绕流所导致, 因为东分支比西分支强, 应该得到冷涡比暖涡空间尺度大的结论。但实际上, 暖涡倒比冷涡的范围大, 而且冷、暖两涡并非对称, 而是暖涡偏北一些。这种情况的出现, 将归因于西南季风影响下的横向环流的影响。由于夏季台湾海峡盛行西南风, 在海峡北部的上层, 有一支高温、低盐水向东北方向输送, 同时在浙、闽沿岸有一支离岸流。这种离岸流所挟水体具有高温、低盐特征, 当流至该研究海区后, 在其中心附近下降, 而在海底附近则有向岸流出现, 以作为补偿。因底层水体较上层温度低、盐度高, 向岸流所挟的这种水体在浙、闽沿岸有涌升现象, 致使该研究海区西侧的 140, 141, 142 和 143 各站比其中心的 144 和 145 站的温度低、盐度高。而在该海区南侧的 138 和 139 站, 在 5—11 月期间常常存在冷水上升现象^[2], 东侧的 137 及 147 站, 位于黑潮流经处, 水深由深变浅的斜坡上, 亦存在冷水的爬坡现象。由于冷水上升, 所以该研究海区南侧和东南侧与研究海区中心相比, 温度低而盐度高, 这样, 在研究海区中央就有高温低盐水的聚集, 从而在其周围就出现了反气旋型涡旋。

四、结 论

根据上面的分析, 本文得出以下几点初步看法:

1. 根据 1973 年夏季 (7—8 月) 的温度和盐度资料的分析得出, 在东海南部 (26—28°N, 122—125°E) 存在一个反气旋型涡旋。其水平尺度约为 100 海里, 厚度约为 75 米, 中心平均垂直流速约为 1.8×10^{-3} 厘米/秒。

2. 涡旋中心为下降流, 浙、闽沿岸和黑潮流域出现上升流。

3. 涡旋的轴心并非垂直, 而是自上而下向西北方向倾斜, 而在 50 米层以深, 又略向东移动。

4. 关于这一涡旋的形成原因, 我们认为是在地形影响下的黑潮西分支的绕流和西南季风影响下的横向环流等因素综合作用的结果。这一涡旋的形成原因是比较复杂的, 且目前尚缺乏有关资料, 难以作出深入的分析。为搞清涡旋的详细结构及成因, 需作进一步的专题调查。

参 考 文 献

- [1] 胡敦欣、丁宗信、熊庆成, 1980. 东海北部一个反气旋型涡旋的初步分析。科学通报 25(1): 29—31。
- [2] 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: 2—11。
- [3] 管秉贤, 1983. 黑潮源地区若干冷暖涡的主要特征。中国海洋湖沼学会 1979 年学术年会论文集(印刷中)。
- [4] 井上尚文, 1975. 東シナ海大陸棚上の海底流动。海洋科学 7(1): 12—18。
- [5] 日本气象厅, 1975. 气象厅海洋气象观测资料。54: 118—131。
- [6] Hidaka, K., 1926. Experimental Studies on the North Pacific Ocean Currents near Japan (1st Paper). Geophys. Mag. 1: 68—75.

A PRELIMINARY STUDY ON THE ANTICYCLONIC EDDY IN SUMMER OF 1973*

Xing Chengjun

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

This paper presents the results of a comprehensive analysis of the temperature and salinity data collected by the Japanese research ship "Chofu Maru" in the East China Sea during the months from July to August in 1973. An anticyclonic eddy was found then in the southern part of the East China Sea (26—28°N, 122—125°E). The horizontal measurement of the eddy is about 100 nautical miles and its thickness is about 75 m. The center of this eddy is located near 27°N, 123°30'E. Geostrophic currents of every layer revolve clockwise around 27°N, 123°30'E. The current velocity of the eastern and southeastern parts of this eddy is greater while in the center of this eddy it is comparatively smaller, and main directions of currents are northeastward. In general, directions recorded by GEK are consistent with our calculated results. Within the range of this eddy, the vertical current speed is positive (i.e. downwelling), while in the southeastern part of the eddy, it is negative (i.e. upwelling). Within the center of this eddy, the average vertical current speed is 1.8×10^{-3} cm/s. The axis of the eddy is slanting northwestward from surface down to 50 m layer, where it then bends eastward. In this paper, the cause of the formation of this eddy has been preliminarily studied and analysed. It is considered that the resultant actions of circumfluence of the western branch of the Kuroshio effected by topography and of crosswise circulation brought about by the SW monsoon.

*Contribution No. 840 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.