

东海北部的一个气旋型涡旋*

毛汉礼 胡敦欣 赵保仁 丁宗信

(中国科学院海洋研究所)

东海北部是几个流系交汇的地方,东有黄海暖流向西北流入黄海,西有所谓黄海沿岸流南下,南有黑潮北上余脉;另外,在夏季,上层还有长江冲淡水的影响(见图 1)。因此,这

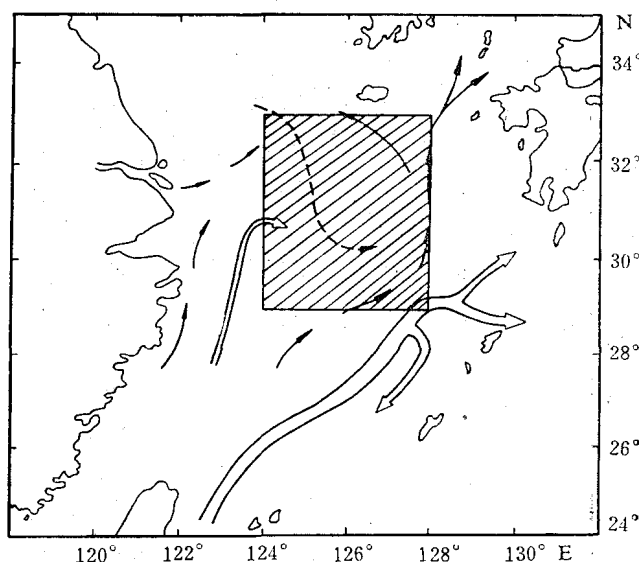


图 1 研究海区 and 主要流系分布

里的水文状况相当复杂,曾引起了不少中外学者的注意。井上尚文^[5]根据 1969 年 11 月在该海区投放的海底漂流器资料分析的结果表明,济州岛西南海域的底层流,在秋、冬两季为一范围相当大的反时针水平环流。胡敦欣等^[1,2]进一步指出,夏季在大约以 $31^{\circ}30'N$, $125^{\circ}30'E$ 为中心,尺度为 100—200km 的范围内存在着一个气旋型涡旋;阐明了这一涡旋形成的动力原因(黄海暖流、黄海沿岸流和黑潮北上余脉之间的相互作用)和热力学因子(黄海冷水的南伸);对这一海区海底圆形软泥沉积的形成机制作了简要的说明,并依此推测这一涡旋的常年存在。近几年来,我们又作过多次专题性调查,取得了较好的资料。本文旨在进一步论证这一涡旋的常年存在,阐明其多年变化,探讨引起这种变化的原因,并讨论几个有关的问题。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1251 号。本文曾在“东海及其他陆架沉积作用国际学术讨论会”(杭州,1983 年)上作报告。文中插图由白少英同志清绘,特此致谢。

一、涡旋的常年存在

众所周知,北半球的气旋型涡旋必然引起下层水(夏季为冷水)的上升。胡敦欣等^[1]利用这一概念,计算、绘制了多年(共8年)平均的夏季水温距平图和各层次上的闭合等温线图,并依此判断,夏季这一涡旋和由此而引起的冷水上升现象是多年存在的。同时,由图2可以看出,在夏季,地转流和实测流的分布是基本吻合的,说明这一涡旋确实存在,然而

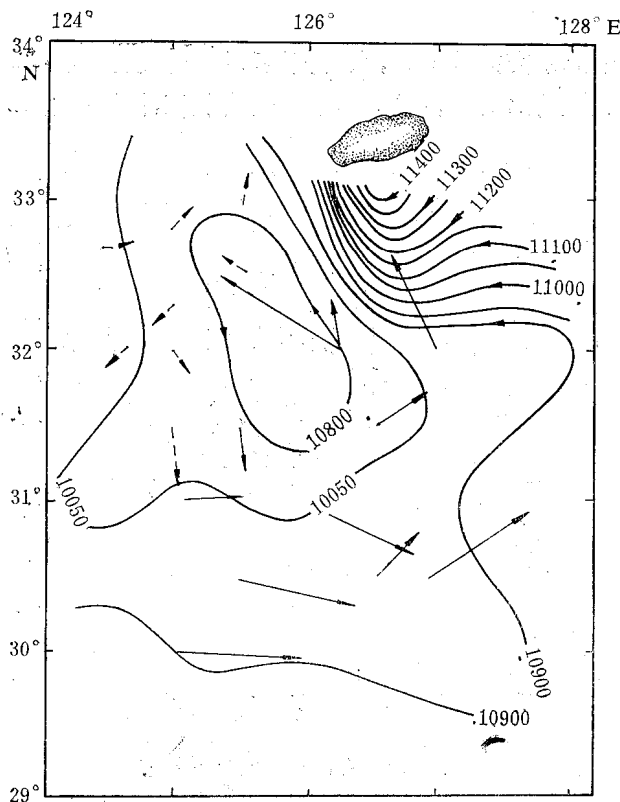


图2 10m 层上的动力高度(动力毫米)和实测流分布(1972年7—8月)

其它季节的情况又究竟如何?为了回答这一问题,我们就现有资料分别选取了1973年4—5月、1972年7—8月、1974年9月和1974年12月的海流观测资料来描绘春、夏、秋、冬四季的海流状况(见图3)。

春季这一涡旋在10m和20m层上最明显,这里我们选20m层为代表(图3a)。尽管126°E以西尚缺少资料,但从南、东、北三面已经可以看出涡旋的存在,其中心位置似乎在31°N, 126°15'E附近。需要指出的是,5m及以下各层都有同样的趋势,唯有表层受风的影响较大,这一涡旋不够明显。

夏季,也是以10m和20m层最为明显。我们选取10m层为代表(图3b)。需要指出的是,1972年夏季,由于缺少涡旋西北部的观测资料,我们取用历年7月份的资料填补,以虚箭头标示。由图3b可以看出,涡旋中心位置大约在31°45'N, 126°15'E附近。在10m

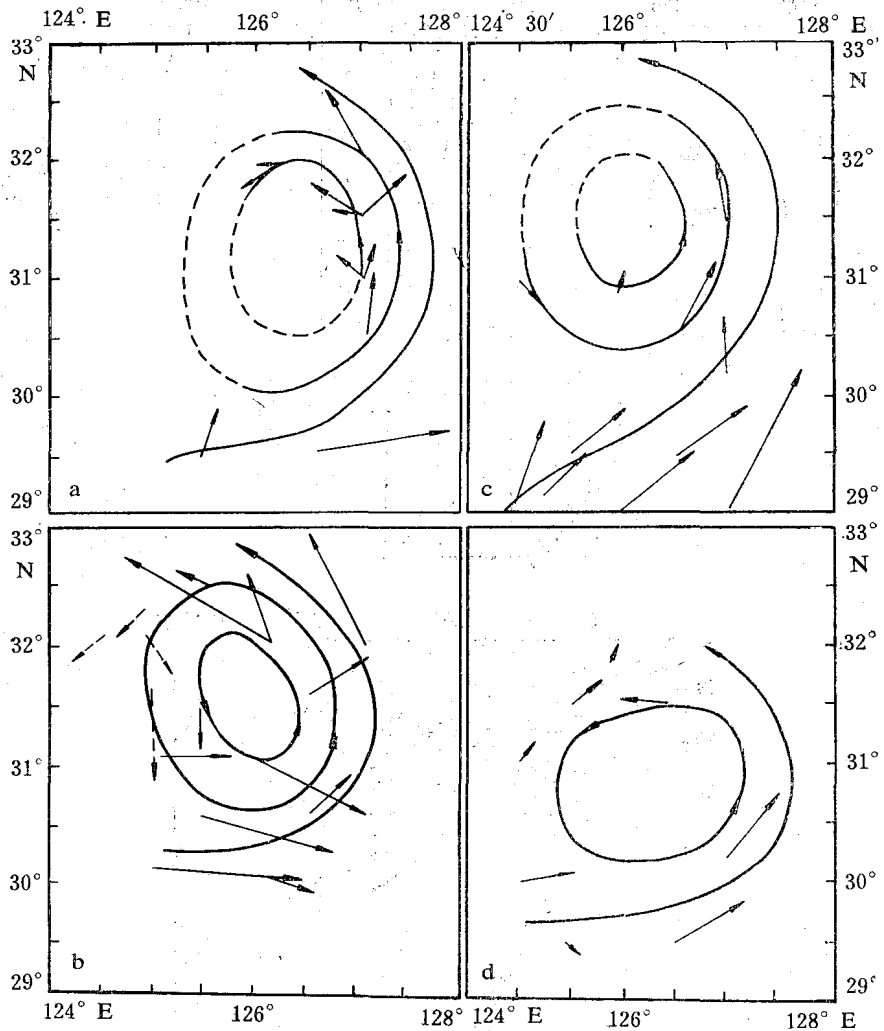


图3 余流分布

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

及以下各层也同样看出类似的环流趋势。

秋季, 这一涡旋在 5m 至 40m 颇为明显, 在 20m 层, 其中心位置大约在 $31^{\circ}30'N$, $126^{\circ}15'E$ 附近(图 3c)。

冬季, 涡旋的位置移向东南, 其中心位置大约在 $30^{\circ}45'N$, $126^{\circ}15'E$ 。这一气旋型涡旋, 从 10m 直到海底发展得比较成熟, 似乎以 20m 层比较明显(图 3d)。因为资料不足, 到底在哪一层涡旋最强, 尚难以确定。

同时, 我们还绘制了与海流观测准同期(观测日期与海流观测日期相近)的海水温度断面的分布图(图 4)。此图表明, 下层冷水明显地上升, 其中心位置与上述从海流直接观测所得出的大体一致。这从另一方面反映了气旋型涡旋四季存在的确实性。

综上所述, 这一气旋型涡旋四季都是存在的, 至少在我们选取资料的年份是如此。夏、

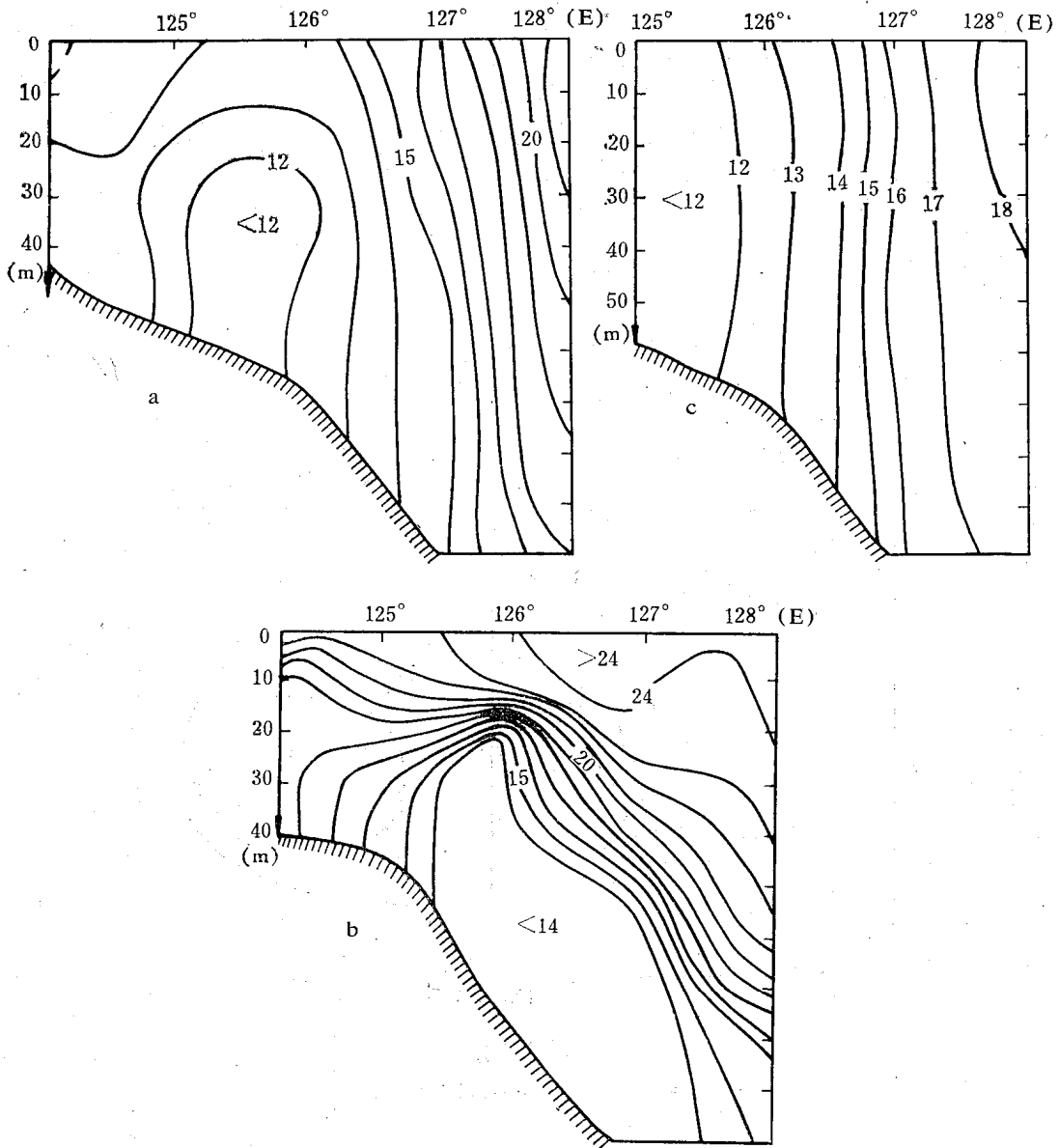


图4 温度断面分布(°C)

a. 31°N 断面, 1973 年 4 月; b. 32°N 断面, 1972 年 7—8 月; c. 31°N 断面, 1975 年 1 月.

冬两季这一涡旋在 10m 以下比较明显, 春、秋两季在 5m 以下, 至于其原因我们将在第四节予以讨论。就其中心位置而言, 图 3 似乎表明, 从夏季、秋季至冬季, 其中心位置逐渐自北向南移动, 然后从冬季、春季至夏季又逐渐自南向北移动。这似乎与下列事实有关: 冬季在强劲的偏北风作用下, 黄海南下的沿岸流加强, 并南伸越甚; 同时, 黄海暖流也比较强, 因此黄海冷水向南延伸也自然加强, 从而这一涡旋的中心位置便向南移动。在夏季, 盛行偏南风, 情况则相反, 必然造成涡旋中心的北移。也就是说, 冬季黄海沿岸流与黄海暖流加强, 切变加强, 强涡旋容易生成; 而夏季这两支流相对较弱, 不利于强涡旋的生成。从这

点出发,似乎可以推断,这一气旋型涡旋在冬季应该比夏季强。

二、涡旋的多年变化

目前,在没有大量测流资料,特别是浮标阵测流资料的情况下,我们讨论涡旋的多年变化是非常困难的。因此,我们不得不从涡旋的温、盐结构上来讨论。由于本海区的温、盐度结构在冬季垂直均匀,而春、秋资料缺乏,所以这里讨论的也只能是夏季涡旋的多年变化。

夏季这一涡旋与温度场有着密切的关系,涡旋越强,冷水上升越强,因此,水温大面图上闭合等温线的分布趋势和密集程度可以认为是涡旋强弱的一个比较可靠的指标。为此,我们将以水温平面图上闭合等温线的多寡,以及这些闭合等温线所涉及的水层厚度,作为衡量涡旋强弱的指标,并用以阐明夏季涡旋的多年变化。表1给出了11年6—8月从0m, 10m, 20m, 30m和底层平面图中所读取的闭合等温线的数目及其所涉及的水层厚度和 32°N 以南底层水温低于 15°C 的冷水面积。由此表可见,1972年7—8月为历年夏季涡旋最强的月份,其闭合等温线数目最多,为10条,而且遍及从表到底整个水层;其次

表1 气旋型涡旋的几个特征量的多年变化

时 间		底层冷水面积 (km^2)	封闭等温线		34‰等盐线和 128°E 之间的距离(偏西) (n mile)
年	月		条数 ¹⁾	层次(m)	
1959	6—7	17200	5	0—20	—
1963	7—8	9300	0	—	63
1972	7—8	38400	10	0—底	116
1973	6	41800	0	—	70
1974	6	(44100)	2	10—20	—
1974	7	17000	2	10—20	70
1975	6	55400	3	0—20	83
1975	7	24900	3	10—30	70
1975	8	4800	0	—	0
1976	6	73500	1	20	79
1976	8	28500	2	0—10	58
1977	6	44100	2	20	70
1977	8	10200	0	—	63
1978	6	31600	1	5—15	61
1978	7	16100	3	0—10	60
1978	8	1100	6	15—30	83
1979	6	(33000)	0	—	58
1979	7	18900	3	10—20	55
1979	8	4000	0	—	55
1980	6	63600	6	0—底	84
1980	7	29900	2	10—15	81
1980	8	12700	5	10—30	81

1) 系指 32°N 以南的闭合等温线的条数。

为1980年6月,为6条,也涉及整个水层;再次为1978年8月,为6条,但只涉及15m到30m。其他年份多在10—20m层。这表明,就平均状况来说,夏季涡旋强度中心在10—

20m 层,而且多数月份,底层水是与黄海冷水相通的——这由下层水温分布所证明。另外,有的月份连一条闭合等温线都不出现,如 1963 年 7—8 月,1973 年 6 月,1975 年 8 月,1977 年 8 月和 1979 年 8 月。在这些月份里,是否这一涡旋就不再存在,现在似乎难以断定。但至少可以说,在这些观测时间内涡旋十分微弱,以至于从温度的水平结构上探查不出来;也有可能本身就不存在,这待进一步研究。

另外一个有趣的结果是,从 1975 年、1978 年、1979 年和 1980 年的 6—8 月份闭合等温线的数目及其所涉及的水层厚度的急剧变化,似乎可以看出,这一涡旋是相当不稳定的。如 1975 年 7 月中旬观测时,有 3 条闭合等温线分布于 10—30m 层;而 8 月中旬观测时,就一条也不复出现了。1979 年 7—8 月和 1980 年 6—7 月都有类似的情况。由此似乎可以推断,尽管我们说这一涡旋年年而且常年(即四季)都存在,但并不能说它时时存在。了解它不存在的最长连续时间有多长,对研究它的动力学机制及其在沉积动力学上的作用是重要的。这是个有趣而值得研究的问题。

此外,胡敦欣等^[1,2]指出,夏季这一涡旋底层一般北与黄海冷水相连,而黄海冷水的南伸则是这一夏季涡旋形成的热力学因子。据此,我们把历年 6—8 月份在 32°N 以南底层低于 15°C 等温线的冷水所占面积与大陈岛上对应年份 4,5 月 NE 和 NNE 向的平均风速绘于图 5。由此可以看出,各年 6 月份底层冷水面积的大小与 4,5 月大陈岛 NE 和 NNE 向的平均风速有较密切的关系,其相关系数为 0.92,显著性水平远高于 0.01。而 7,

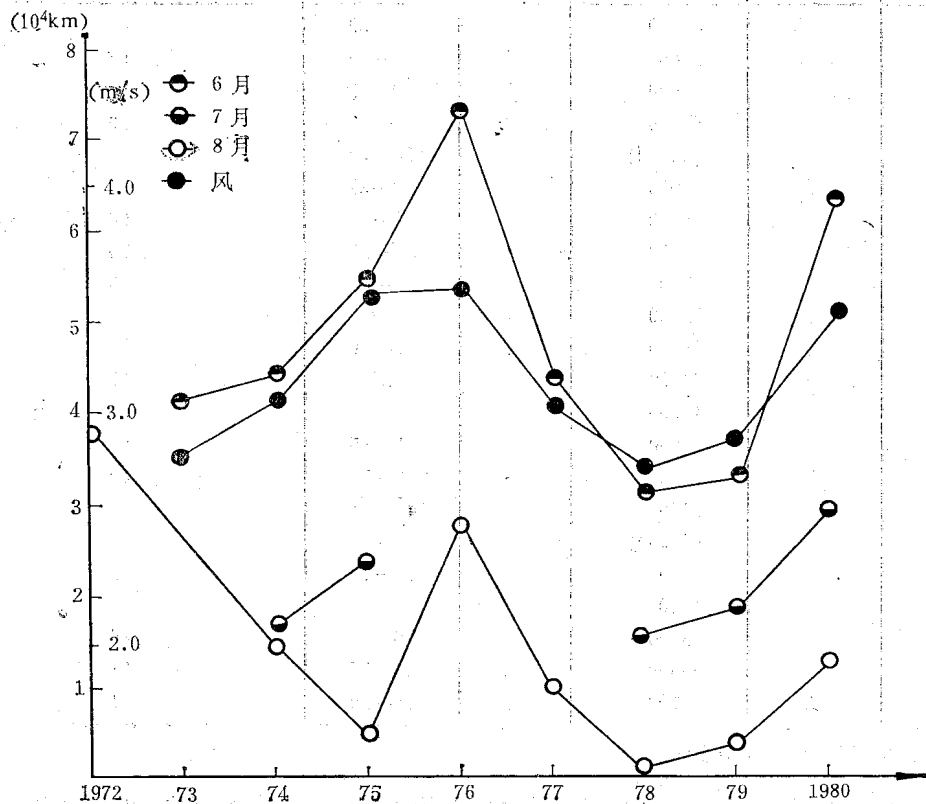


图 5 夏季底层冷水的面积 (32°N 以南) 和大陈岛 4,5 月的平均风速 (NE 向和 NNE 向) 的多年变化

8 月份的相关系数不如 6 月份那么好,这可能与时间迟角有关。

以上事实表明,夏季涡旋区底层冷水在 32°N 以南所占据的面积与大陈岛上的风有相当密切的关系。如 4, 5 月份的东北风强,则 6 月份黄海冷水南伸范围大;夏季南风强,则黄海冷水向北退缩越甚。这似乎与黑潮北上余脉和黄海沿岸流本身直接受风的影响有关。4, 5 月份,当东北风强时,黑潮北上余脉减弱,而黄海冷水易于南伸。反之,当大陈岛上的南风强时,一方面黑潮北上余脉加强,另一方面黄海冷水(或沿岸流)也会直接受制而易于向北退缩。

由表 1 还可以看出, 1972 年 7—8 月份和 1980 年 6 月份, 底层冷水南伸的程度和 34‰ 等盐线偏西的程度为历年夏季最强的两次。而 1975 年 8 月份和 1979 年 8 月份, 底层冷水南伸的程度和 34‰ 等盐线偏西的程度为历年夏季最弱的两次。可以设想,冷水的南伸程度大致可以代表黄海沿岸流的强度,而 34‰ 等盐线的位置大致可以表征黄海暖流的位置和强度。无论从理论上或从表 1 都可以判定,二者对涡旋的形成和加强起着重要作用。尽管二者应该有一定的关系,但由于整个黄海的尺度比研究海区大得多,仍可以认为二者是相互独立的。

三、几个问题的讨论

1. 关于这一气旋型涡旋的成因,胡敦欣等^[1]曾认为是由于黄海暖流、黄海沿岸流和黑潮北上余脉在本海区的配置与相互作用和底层黄海冷水的热力学效应。在这三股流的作用下,上层可以形成反时针涡旋辐散,而底摩擦效应会加强底层的辐聚,从而强化中心的上升运动。然而,这几股流的流轴并不是不变的,当黄海暖流和沿岸流基本平行而反向时,反时针涡旋是否还会存在?在这种情况下,依旧会出现下层水上升和涡旋现象。从这一带夏季经常是一个低温带^[4]来看,上述情况可能是经常发生的。而从流体动力学上来说,在这两支流的中间区,也应该有一系列涡旋产生。在研究海区的西北,夏季经常有一个位置不定的冷水中心,也可能是这种作用的结果。

2. 关于涡旋的稳定性。在夏季,涡旋的中心总是冷中心,一般也应该是高盐的。然而,有的月份,在涡旋的中心却是孤立的低盐中心。这暗示涡旋是不稳定的,它有时很弱,有时甚至不复存在,长江冲淡水即有可能占据这一海区(特别在中、上层)。此后,如果涡旋再次形成,则其中心必将是低盐的。在这种情况下,如果涡旋持续较长时间,中心海水不断上升,则中心的低盐水逐渐为高盐水所代替。涡旋的这种不稳定性还可以由表 1 得到证实。如 1975 年 7 月中旬测到较为明显的涡旋(以闭合等温线的多寡为代表),一个月以后,则一点涡旋迹象也不存在了,1979 年 7 月也有类似的情况发生。这种变化还可以从底层冷水南伸的面积和 34‰ 等盐线在 32°N 上西偏距离的变化中反映出来。由此似乎可以作出如下结论: 涡旋年年而且常年存在,但并不是时时存在,很可能在某段时间并不存在,但这段时间不会超过一个季度,很可能小于一个月。

3. 秦蕴珊等^[3]的沉积类型分布图(图 6)表明,大约以 $31^{\circ}45'\text{N}$, 126°E 为中心,半径约 100km 的范围内,有一片类似圆形的软泥沉积,胡敦欣等^[1]曾指出,这一气旋型涡旋在这块软泥的形成过程中起了决定性的作用。近底层的大量悬浮体将由于涡旋的辐聚作用随海水向涡旋中心输送而上升。颗粒较大者将会在中心很快沉积到海底。较轻者随上升流向上运移,在运移过程中由于凝聚作用而沉降,只有那些很轻的颗粒被带到海面而辐散。

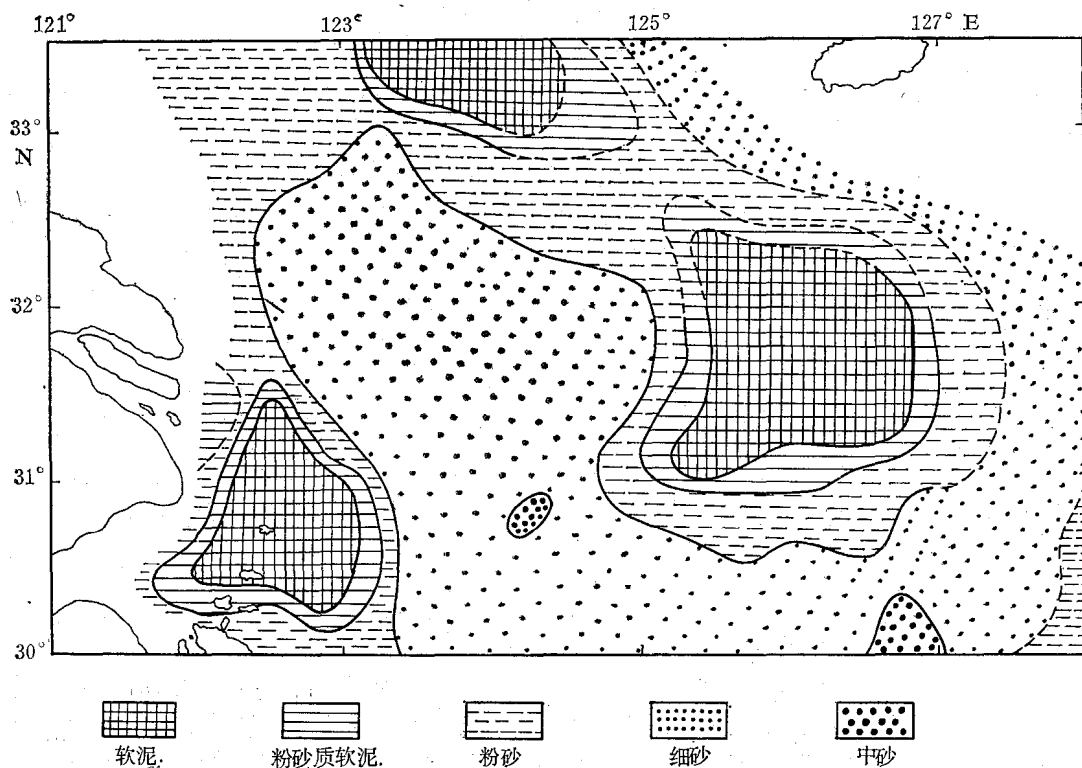


图 6 沉积类型分布

(引自文献[3])

至此,我们可以肯定地说,这一圆形软泥既是气旋型涡旋年年常年存在的结果,反过来又是这一涡旋常年存在的很好旁证。

四、结 论

1. 根据现有的水文和地质资料分析,可以作出结论,东海北部这一涡旋,似乎年年、季季都存在;但从涡旋在夏季的月变化分析可知,并非时时存在。

2. 这一涡旋在夏季有明显的年变化以至月变化。黄海暖流、黄海沿岸流的强弱与位置的变化是产生这一变化的主要原因。至于其季节变化,由于资料不足,难以作出可靠的分析。然而,从图 3 来看,考虑到黄海暖流和黄海沿岸流的强弱变化,似乎此涡旋在冬季最强,其中心位置最偏南,夏季其中心位置最偏北。

3. 这一涡旋,一般多出现于中层而不达表面,春、秋和冬三季主要是风的破坏作用,而夏季,长江冲淡水则起了破坏作用。

4. 涡旋的常年存在是圆形海底软泥沉积区形成的决定性因子。涡旋的平均位置与软泥中心相当吻合。

5. 黄海暖流, 黄海沿岸流和黑潮北上余脉三股流的配置是这一涡旋形成的主要动力因子。其中, 黄海暖流和黄海沿岸流的强弱与流轴的位置则起决定作用。夏季底层冷水的存在则是加强这一涡旋的热力学因子。

参 考 文 献

- [1] 胡敦欣、丁宗信、熊庆成, 1980。东海北部一个气旋型涡旋的初步分析。科学通报 25(1): 29—31。
- [2] 胡敦欣、丁宗信、熊庆成, 1984。东海北部一个夏季气旋型涡旋的初步分析。海洋科学集刊 21: 87—99。
- [3] 秦蕴珊等, 1982。东海大陆架沉积物分布特征的初步探讨。黄东海地质。科学出版社, 39—51 页。
- [4] 熊庆成、赵保仁, 1984。1980 年 7 月东海北部冷涡区域温、盐度和海流的观测和分析。海洋科学 2: 1—7。
- [5] 井上尚文, 1975。東け海大陸棚上の海底流動。海洋科学 7(1): 12—18。
- [6] Guo Binghuo, 1981. The temperature and salinity structure and the circulation in the Yellow Sea. Proceedings of the Japan-China Ocean Study Symposium on Physical Oceanography and Marine Engineering in the East China Sea. Shimizu, Japan, pp. 174—197.
- [7] Pu Yongxiu, 1981. The upwelling and eddy phenomena in the north part of the East China Sea. Proceedings of the Japan—China Ocean Study Symposium on Physical Oceanography and Marine Engineering in the East China Sea. Shimizu, Japan, pp. 79—94.
- [8] Sygimori, Yasuhiro, et al., 1981. A Study of interaction between the Kuroshio and the Continental Coastal Waters in the East China Sea. Proceedings of the Japan—China Ocean Study Symposium on Physical Oceanography and Marine Engineering in the East China Sea. Shimizu, Japan, pp. 42—66.

A CYCLONIC EDDY IN THE NORTHERN EAST CHINA SEA*

Mao Hanli, Hu Dunxin, Zhao Baoren and Ding Zongxin
(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

Abstract

A cyclonic mesoscale eddy located about 150 km southwest of Cheju Island, the scales of which are 100—200 km horizontally and 50 m vertically, is reexamined with current measurements. The year round and multiyear existence of the eddy has been identified with thermal structure and current measurements. Interannual fluctuation of the eddy in summer is discussed in somewhat detail in terms of closed isotherms at various levels. The observed current data in 1972's summer agree well with computed geostrophic flow, i.e. they both show the existence of the cyclonic eddy with cold and saline water in the central area. It is reasoned that the formation of the eddy is closely correlated to the interaction of the Yellow Sea Warm Current, Yellow Sea Coastal Current and the northward residual of Kuroshio, and the Changjiang Diluted Water may also play an important role in summer. It is important to note that position and dimension of a distinct circular-shaped region of clayey mud is surprisingly coincident with those of this eddy.

* Contribution No. 1251 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.