

# 南黄海冷涡沉积和通道沉积的发现\*

申顺喜 陈丽蓉 高良 李安春

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

**提要** 为解决南黄海及东海北部的沉积环境和物质来源问题, 1992 年 5 月对黄海和济州岛西南的泥质沉积进行了多方面调查和研究, 发现济州岛西南、南黄海中部和北黄海西部泥质沉积区, 分别与那里的冷涡活动区相对应。因此, 这些泥质沉积应属于“冷涡沉积”; 而在冷涡之间又出现连接它们的“通道”, 形成了具有特殊结构的“通道沉积”, 它分布于黄海暖流之下, 呈南北向延伸。表明冷涡沉积和通道沉积是受控于冷涡、黄海暖流及其相关的环流体系。

**关键词** 冷涡沉积 通道沉积 黄海暖流

济州岛西南、南黄海中部和北黄海西部, 存在 3 个泥质沉积区。1992 年 5 月对黄海和济州岛西南的部分海域进行海洋沉积学的有关调查, 取得海底表层沉积物样品 187 个, 浅孔沉积物样品 18 个, 分别对沉积物的粒度、矿物组成、化学成分和生物种群等进行分析研究, 以对解决黄、东海陆架的沉积环境和物质来源, 提供科学依据。

## 1 研究概况

黑潮在冲绳海槽中部, 分出对马暖流以后, 又分成两支, 其一转向东北进入日本海; 其二转向西北进入南黄海, 成为黄海暖流。黄海暖流在其行进的过程中, 与黄海沿岸流相互作用, 产生一系列涡旋(毛汉礼等, 1986), 它们分别位于济州岛西南、南黄海中部和北黄海西部。在海洋水文学上把这种逆时针旋转的气旋型涡旋称为冷水团或“冷涡”(图 1)。

大量的海洋水文学方面的实测资料已充分证明, 上述冷涡的存在。早在 1969 年, 日本学者井上尚文利用施放水下漂流器所获取的资料, 首先证实“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”, 此后许多物理海洋学者进一步证实: 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”(胡敦欣等, 1980), 并从多方面肯定了这一气旋型涡旋四季常存。

同样, 南黄海中部及北黄海的西部, 也常年存在着性质相似的冷水团。几十年的水文学观测资料, 揭示了南黄海中部冷水团的范围更大, 底部的冷水中心常分为东西两部分, 并且中心位置有南北向摆动, 尤以西侧低温中心为甚, 最大摆动幅度约为 100km (翁学传等, 1988)。海洋学家还发现, 北黄海西部冷水团的低温中心比较稳定。

海洋沉积学的研究已证实, 济州岛西南、南黄海中部和北黄海西部, 存在 3 个泥质沉

中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2214 号。

\* 国家“八五”攻关项目, 85-904-01 号。

收稿日期: 1993 年 3 月 26 日, 接受日期: 1993 年 6 月 12 日。

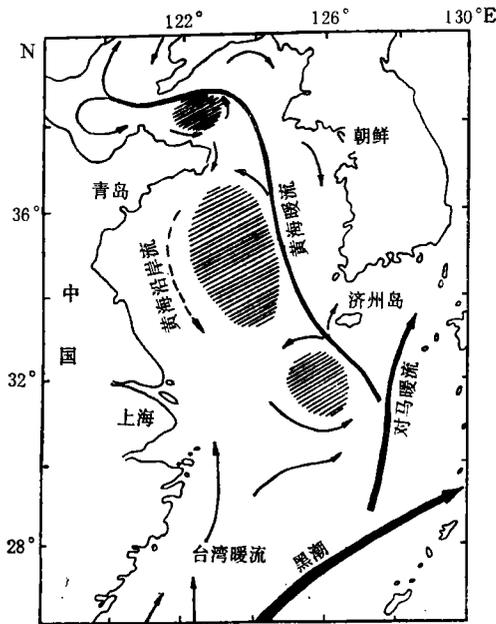


图 1 黄、东海的流系  
(据胡敦欣,1984)

Fig. 1 Scheme of current systems in the Yellow Sea and East China Sea (Hu, 1984)

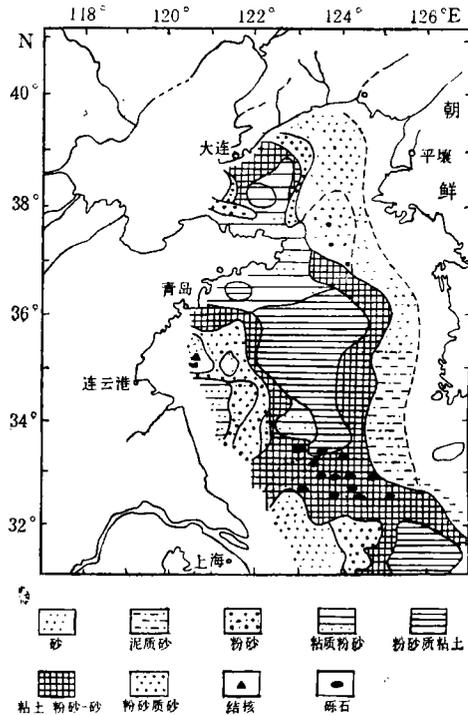


图 2 黄海及东海北部表层沉积物类型分布  
(据秦蕴珊等, 1989)

Fig. 2 Sedimentary types in the Yellow Sea and northern East China Sea (Qin et al., 1989)

积中心,形成大面积泥质分布区(秦蕴珊等, 1989; Emery, 1968; Lee, 1988; Niino, 1968; Park, 1990), 它们分别与上述冷涡活动区相对应(图2)。除此之外,物理海洋学家,还对济州岛西南海域,坡度较大的海底泥质沉积物,作了沉积动力学方面的分析,指出该泥质沉积的发生,主要是“气旋型涡旋的存在起了决定性的作用”,并通过实测海流,计算了各层海水的平均水平散度,证实该气旋型涡旋,即冷涡中心区,以 50 m 层为界,以上为辐散区,以下为辐聚区,因此,近底层的悬浮物质随海水向旋涡中心输送,不断沉积于海底(胡敦欣等,1980)。从沉积动力学的角度,肯定了这些泥质沉积物是底部海水的辐聚作用产生的。由此看来,冷涡活动区和泥质沉积区的因果关系,已为物理海洋学家和海洋地质学家共同确认。值得注意的是,在过去的研究中,往往把上述的泥质沉积划成彼此孤立的 3 个泥质沉积区,对其形成机制,特别是对其发生、发展及其演化的趋向,缺乏进一步的阐述。

2 冷涡沉积和通道沉积的特征

2.1 海区悬浮体的含量特征 实测资料(杨作升等, 1992; 秦蕴珊等, 1989)表明,南黄海中部的冷涡活动区,悬浮体含量低于周围地区,由于季节性的变化和其他原因,也导致悬浮体含量和分布范围有所变化,即悬浮体的含量在南黄海中部有一低值区,含量一般 <1mg/L,呈圆形分布,特别在底层更加明显。黄海暖流的悬浮体含量与邻近水体也明

显不同,呈条带状分布,含量仅高于冷涡活动区。而黄海暖流东西两侧的黄海混合水及朝鲜沿岸水的悬浮体含量均  $>2\text{mg/L}$ ,甚至超过  $5\text{mg/L}$ ,可看出,冷涡活动区的悬浮体含量随季节变化的幅度较小,周围地区,尤其是西部地区变化较大。

此外,南黄海悬浮体的粒度分布,与海底表层沉积物的粒度分布也极为一致(图3)。从沉积物的粒度分布得知,冷涡沉积区主要由软泥组成,平均粒径  $>8\phi$  的泥质沉积物的含量超过 60%。在黄海暖流流经的地区,泥质沉积物的含量也明显高于周围地区。这些不仅表明悬浮体的含量与底质沉积物有密切关系,而且它的颗粒大小与底质沉积物也完全可以对比。冷涡区悬浮体的粒度值较大,约为  $7\phi$ ,而同一地区的沉积物粒径约为  $8\phi$ ,说明底质沉积物的粒径小于悬浮体的粒径。造成这一结果的原因在于,悬浮颗粒的絮凝作用使其粒度加大,而底质沉积物在分析时进行了相应的处理,恢复了沉积物原始的粒径。不同的分析方法,代表了不同的含义。总之,底层悬浮体和表层沉积物的粒度分布是一致的,这更加清楚表明冷涡及黄海暖流对海底沉积作用的重要性。

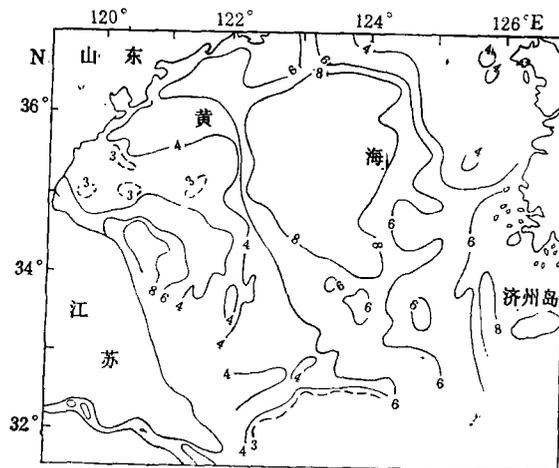


图 3 南黄海表层沉积物的平均粒径 ( $\phi$ ) 分布(据秦蕴珊等,1989)

Fig. 3 Mean diameter ( $\phi$ ) distribution of surface sediment in the Southern Yellow Sea (Qin et al., 1989)

实线为实测值;虚线为估算值。

**2.2 浅层沉积物的沉积速率** 由以上悬浮体的含量及其分布规律不难推断,冷涡区的沉积速率应低于黄海暖流流经的地区,即冷涡通道区的沉积速率。而其他地区均高于上述二区。这与  $^{210}\text{Pb}$  的实测结果一致。根据浅表层沉积物(0—30cm) $^{210}\text{Pb}$  测年方法测得冷涡中心区的沉积速率约为  $0.1\text{cm/a}$ ,冷涡通道区的沉积速率约为  $0.1\text{—}0.2\text{cm/a}$ ,而周围其他地区  $>0.2\text{cm/a}$ (秦蕴珊等,1989)。这进一步表明,黄海暖流及其环流系统所代表的沉积动力因素,对黄、东海陆架沉积作用的控制能力。

根据  $^{14}\text{C}$  测年,  $\text{C}_{4-1}$  站( $35^{\circ}29'\text{N}$ ,  $122^{\circ}30'\text{E}$ , 水深  $60.34\text{m}$ , 岩芯长  $397\text{cm}$ ), 测得孔深  $270\text{—}280\text{cm}$  段的年龄值为距今  $5550 \pm 220\text{a}$ , 表明该地的沉积速率是较小的。

**2.3 冷涡及通道沉积物的组成** 沉积物被带到海底之后,由于所处环境千差万别,变化十分复杂。黄海及东海北部陆架就是很明显的例子。首先,根据海洋水文学多年积累

的各种数据,结合海底悬浮体、底质沉积物等详细的调查资料,经过综合分析,表明冷涡沉积是还原环境的典型产物,它所在地区终年由冷水团低温中心盘踞,底层水的年平均水温 $<8^{\circ}\text{C}$ (24年平均值)(翁学传等,1988)(图4);底质沉积物的实测Eh平均值为 $-30\sim-150\text{mV}$ ;沉积物中饱含水量,一般含水量 $>60\%$ ;从粒度组成来看,冷涡区沉积物的颗粒特别细,以泥质沉积物为主(图5)。十分明显,具有上述特征的泥质沉积,构成一个特殊的还原环境,使沉积物呈灰绿色,含丰富的自生黄铁矿(王琦等,1981;秦蕴珊等,1989)(表1)。凡此种种,都说明了环境因子的影响,它不但有很好的代表性,而且有普遍性。如美洲密西西比河水下堆积体含丰富的自生黄铁矿,沉积物呈灰绿色,饱含水量等,也是一较典型的还原环境。通道沉积物的组成近似于冷涡沉积物。

冷涡及通道沉积物的化学成分也有很大的特殊性(表2)。冷涡沉积物以高Al, Fe, Ti, 低Si有别于其他地区,与太平洋深海粘土相比,除Si的含量稍低外,其余成分均有一定的相似性(Tomoyuki Moritani, 1981);通道沉积物的一般化学组成与黄河及渤海沉积物相比,主要元素如Al的含量较高, Ca的含量较低,展示了它与黄河及渤海物质组成的不同,表明通道沉积有其自身的物质来源。

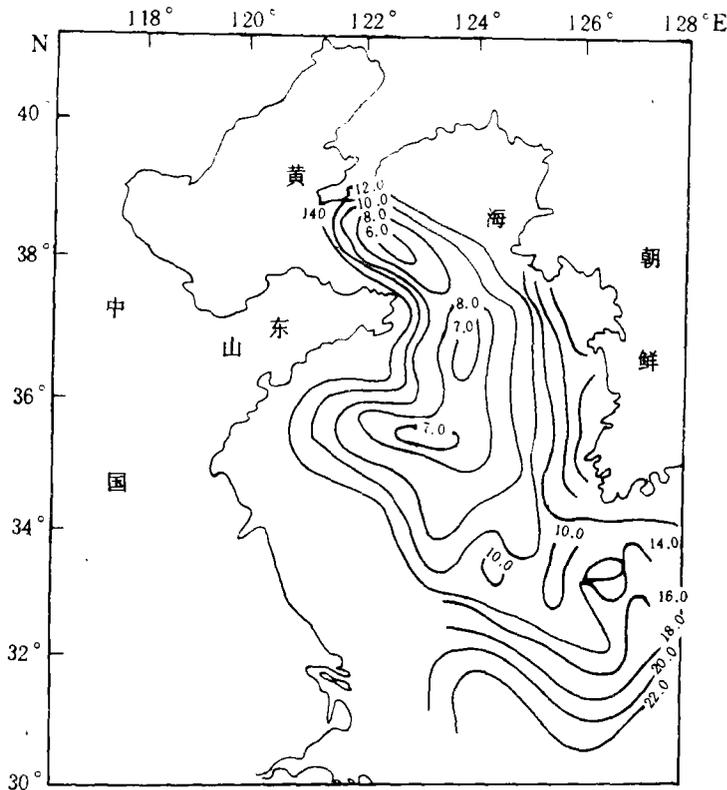
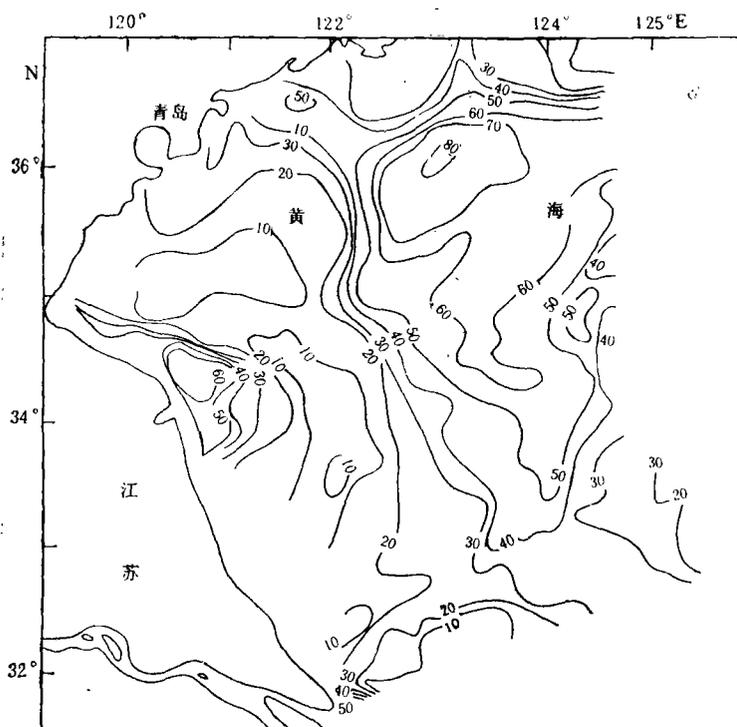


图4 南黄海8月底层水温分布(据赫崇本,1959)

Fig. 4 Distribution of water temperature at bottom layer in August in the southern Yellow Sea (He, 1959)

#### 2.4 冷涡及通道沉积的结构特征 冷涡沉积物的结构特征十分明显,它具有特殊的灰

图 5 南黄海泥质沉积物 ( $>8\Phi$ ) 含量分布(%)Fig. 5 Distribution of mud ( $>8\Phi$ ) percentage content in the southern Yellow Sea

绿色,主要由细粒粘土物质组成,一般  $>8\Phi$  的泥质沉积物的含量超过 70%;成分上下均一,结构无变化,含水量高,通常大于 60%;可塑性强,有滑感。这清楚表明,沉积物是在一个比较稳定的环境下连续生成的。

表 1 南黄海自生黄铁矿在泥质沉积物中的含量(%)

Tab. 1 Content of the authigenic pyrite in mud sediment in the southern Yellow Sea

测 站	2011 <sup>1)</sup>			2022 <sup>1)</sup>			H-106 <sup>2)</sup>	
层位(cm)	0—14	14—54	100—140	0—50	50—98	98—140	5—15	15—350
含 量	0.1	91.1	99.0	95.4	93.1	99.6	36.0	99.0

1) 0.25—0.1mm 粒级(王琦等,1981); 2)  $>0.063\text{mm}$  粒级。

通道沉积,从颜色、粒度、结构以及成分等各方面来看,与冷涡沉积有其相似性,也有差异性。其差异表现在通道沉积具有独特的沉积结构,形成一般海相地层所没有的微结构,这种结构表现为“涡旋扰动沉积”的特征。因此,常被误认为取样时人为扰动所致。通道沉积的这一特征,清楚地表明水动力环境是海洋沉积作用的重要因素。黄海暖流作为一个庞大的流动水体,它的存在把统一的黄海分成东西两部分,并使这两部分水体无法沟通,因而有“水体障壁”之称。它的这一特性已为许多物理海洋学家和海洋地质学家所证

表 2 冷涡、通道及有关海区沉积物的化学成分

Tab. 2 Chemical compositions comparison between cyclonic eddy and pathway sediments and other areas

项 目	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
冷涡沉积物	55.1	17.0	6.7	3.2	1.6	3.0	3.5	0.8
通道沉积物	65.9	13.5	4.3	1.9	1.8	2.5	3.2	0.6
渤海沉积物	63.4	11.2	4.1	2.1	6.0	2.5	2.3	0.6
黄河三角洲沉积物	67.7	10.4	3.5	1.5	5.0	2.0	2.1	0.6
太平洋深海粘土 <sup>1)</sup>	59.8	18.0	8.8	3.7	1.9	1.9	3.4	0.9

1) 据 Tomoyuki Moritani, et al., 1981.

实(杨作升等,1992)。由于这个流系的存在,使其西部的黄海混合水、东面的朝鲜沿岸水在其边缘受阻,产生“若干尺度很小的涡旋”(乐肯堂,1992),这些复杂的“深水涡旋”(毛汉礼等,1986;乐肯堂,1992),导致了特异的沉积效果,造成无数大小不一的涡旋扰动沉积,分布在黄海暖流所流经的路线上,这就是所谓的通道沉积。

### 3 南黄海及东海北部陆架的沉积格局

冷涡沉积主要分布在南黄海中部与济州岛西南部冷水团活动区的海底;而通道沉积分布在黄海暖流经过的地区,大体上平行于黄海暖流的流轴(图6)。冷涡沉积与冷水团上下对应,互为因果,构成一个主要受控于海洋水文动力因素的特殊沉积体,它的形态和水平尺度与冷水团十分相似。沉积中心位于 $36^{\circ}$ — $35^{\circ}30'N$ ,  $123^{\circ}30'$ — $124^{\circ}E$ 附近。由于黄海冷水团具有自身的特殊规律,其冷水低温中心的位置在一定的范围内摆动(翁学传等,1988),造成冷涡沉积在厚度上的变化,形成中间厚(4m)边缘薄,底部有富含贝壳的薄层沉积。冷涡沉积区的分布半径大约有60km,总面积达1万平方公里。构成南黄海中部全新世以来海底沉积物的主体。此外,在济州岛西南也同样存在一个冷涡沉积区,对于该地出现的泥质沉积,除海洋地质学家外,物理海洋学者也早有论述,明确指出该泥质沉积的存在是由冷涡产生的。这种冷涡沉积的产生与冷水团或冷涡的存在统一,不仅反映了冷涡沉积是地质学的现象,而且也是物理海洋学某些规律的反映,具有错综复杂的形成机制。通道沉积分布在 $124^{\circ}E$ 附近,呈南北向,和黄海暖流的流轴基本一致;南面向东偏移至 $126^{\circ}E$ 。它以自身鲜明的特点构成一条独立的沉积体系,从南到北绵延在黄海的中部海底,达数百里。从陆架海洋动力学的观点出发,以黄海冷涡-通道沉积为依据,清楚地表明黄海暖流及其相关的环流体系,是黄、东海陆架上一个强大的沉积动力因素,它控制着黄、东海陆架的基本沉积格局,使来自中国大陆的沉积物流难以越过它;同样,源自朝鲜半岛的沉积物流也不能通过它。有的研究者为了形容它的强大,把它及其有关的流系称为“水体障壁”,甚至是“最洁净的水体障壁”(杨作升等,1992)。从其“最洁净”的程度便可知东西两侧的“混浊水”未曾穿越这水体障壁。所以,黄海暖流的存在,决定了南黄海陆架,包括东海北部陆架的基本沉积格局,把南黄海陆架的沉积物非常清楚地分成3部分:1)西面为来自中国大陆的陆源物质(包括陆架本身的供给物);2)东面为源自朝鲜半岛的物质;3)属于黄海暖流和冷涡所特有的物质。十分明显,物质来源的不同,决定了南黄海海域的物质组成、矿物组合、化学成分、生物种群等都存在差异。因此,在南黄海陆架

区,以黄海暖流为主导,把黄海陆架分为冷涡及通道沉积,以及黄海暖流东西两侧各属一方的陆架沉积。

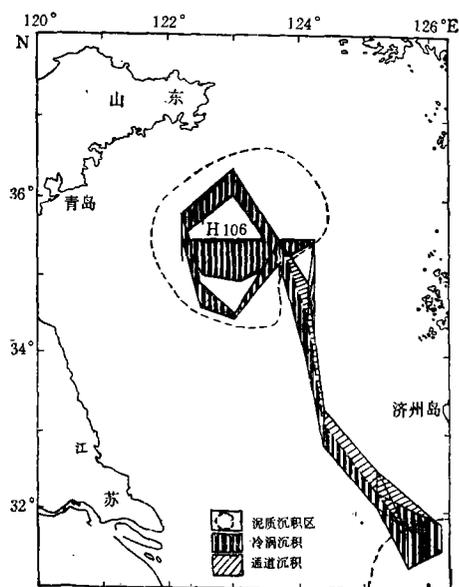


图 6 冷涡及通道沉积示意

Fig. 6 The sketch of the cyclonic eddy and pathway sediments in the southern Yellow Sea and northern East China Sea

#### 4 结论

本文从分析南黄海的浅孔和表层底质沉积物样品入手,结合浅地层剖面的测量记录,发现上述泥质沉积区的成因主要受控于黄海暖流及冷涡等环流系统。这些大小不一的环流系统,成为黄、东海重要的沉积动力因素。它们的连续性活动,必然形成与之对应的连续性沉积体系,这就是冷涡沉积和通道沉积。这一新的结论,是在海洋沉积动力学的基础上提出的。自 1957 年以来,海洋水文学调查证实,黄海暖流、黄海沿岸流及冷涡是长期存在的水体,而不是短暂的偶然现象。所以它们的影响是长期的、稳定的。作为主要的沉积动力因素,控制了整个黄海及东海北部陆架的沉积格局。此外,来自海底浅孔的沉积物样品,提供了确凿无疑的证据。这些样品表明,南黄海中部的泥质沉积分布广泛,中心区的厚度达 4m,其结构和物质组成显示连续性沉积的特征,底部有富含贝壳的薄层沉积,厚约 5cm。根据  $^{14}\text{C}$  测年资料,表明冷涡及黄海暖流在大约 1 万年前就已存在,并延续至今。

#### 参 考 文 献

- 毛汉礼等,1986,东海北部的一个气旋型涡旋,海洋科学集刊,27: 23—31。  
 王 琦、杨作升,1981,黄海南部表层沉积中的自生黄铁矿,海洋与湖沼,12(1): 25—32。  
 乐肯堂,1992,冬季黄海暖流水的起源,海洋学报,14(2): 9—19。  
 杨作升等,1992,黄、东海陆架悬浮体向其东部深海区输送的宏观格局,海洋学报,14(2): 81—90。  
 胡敦欣等,1980,东海北部的一个气旋型涡旋的初步分析,科学通报,1: 29—31。

- 秦蕴珊等, 1989, 黄海地质, 海洋出版社(北京), 65—196。
- 翁学传等, 1988, 黄海冷水团的变化特征, 海洋与湖沼, 19(4): 368—379。
- 赫崇本等, 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。
- Emery, K. O., 1968, Relict sediments on continental shelves of world, *Bull. Am. Assoc.*, 52: 445—464.
- Hu Dunxin, 1984, Upwelling and sedimentation dynamics, *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 2(1):12—19.
- Lee, H. J. et al., 1988, Heavy minerals indicative of Holocene transgression in the southeastern Yellow Sea, *Contin. Shelf Res.*, 8(3):255—266.
- Niino, H. and Emery, K. O., 1968, Continental shelf sediments off northern Asia, *J. Sed. Petrol.*, 36: 152—161.
- Park, Y. A., Kim, B. K. and Park, S. C., 1990, Origin and Distribution Patterns of Muddy Deposits in the Yellow Sea Proceedings of the First International Conference on Asian Marine Geology, Shanghai, China, Ocean Press (Beijing), pp. 335—350.
- Tomoyuki Moritani et al., 1981, Deep Sea Mineral Resources Investigation in the Western Park of Central Pacific Basin, Cruise Report, Geological Survey of Japan, 216—225.

## DISCOVERY OF HOLOCENE CYCLONIC EDDY SEDIMENT AND PATHWAY SEDIMENT IN THE SOUTHERN YELLOW SEA\*

Shen Shunxi, Chen Lirong, Gao Liang, Li Anchun  
(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

### ABSTRACT

Three mud patches exist in the southwest of Cheju Island, in the central part of the southern Yellow Sea and the Western part of the northern Yellow Sea. Marine sedimentology investigations on the mud patches in the central part of southern Yellow Sea and southwest of Cheju Island were conducted in May of 1992. One hundred and eighty seven surface sediment samples and eighteen core samples were collected. Multiple studies were made to understand on the sedimentary environments and the source of materials included analyses of sediment grain sizes, mineral content, chemical composition and, and so on. It was found that the existence of the mud sediment is correlated with cyclonic eddy activities. Therefore, the three mud patches should be considered as “cyclonic eddy sediments”. Among the cyclonic eddies are pathways of warm current below which “pathway sediments” with distinctive characteristics have been deposited. The three mud patches and the pathway sediments among them are controlled by the Yellow Sea Warm Current and Cyclonic Eddy current Systems.

**Key words** Cyclonic eddy sediment Pathway sediment Yellow Sea warm current

\* Contribution No. 2214 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.