

# 济州岛西北部的反气旋型涡旋沉积\*

申顺喜 于洪军 张法高

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

**摘要** 利用 1992 年以来来自南黄海的沉积物样品和 1996 年的南黄海水文调查资料,采用地层对比、沉积动力及环境分析等方法,研究了济州岛西北海域反气旋型涡旋流型的环流性质、其下方泥质沉积物的特征以及它们之间的因果关系,并与南黄海中部的气旋型涡旋沉积进行了深入的对比。结果表明,反气旋和气旋型沉积物都是细粒的泥质沉积,是在沉积动力较弱的低能环境下生成的,但它们之间还存在明显的差异,特别是反气旋型涡旋的沉积厚度大、粒度较粗,进一步反映了两者沉积动力的差别,显示了气旋型涡旋和反气旋型涡旋是具有独立属性的两种低能环境。

**关键词** 反气旋型涡旋沉积 下降流 沉积环境 济州岛西北海域

**学科分类号** P56.3883

南黄海的海洋环境,特别是环流系统十分复杂,在它的影响下形成了多种沉积体系,这一问题引起了广泛的关注,如南黄海中部和东南部的泥质沉积,近 10 多年来不断有研究者从不同角度探索其形成机制(刘敏厚等,1987;赵松龄等,1991;Hu, 1984; Park *et al*, 1990; Alexander *et al*, 1991),但至今仍有若干问题悬而未决,特别是其成因与物质来源问题令人费解。近来一些研究者注意到这些泥质沉积物与南黄海的环流系统之间存在着密切关系,并采取不同的方法进行了研究(赵一阳等,1991;申顺喜等,1996; Gao *et al*, 1996)。同时, Bahng 等(1993)、李绍全等(1998)、刘健等(1999)等对黄海东南部的泥质沉积物进行了高分辨率的浅地层测量(3.5kHz)、生物组合及粒度成分的综合分析研究,发现这些泥质沉积物的结构、声学特性、含水量等许多性质均有明显差异,并以声学特性为基础将其分为两个不同的地层单元。本文拟从沉积动力与沉积环境入手,探讨黄海东南部泥质沉积物的特征,重点讨论其南端,即位于济州岛西北海域的反气旋型涡旋泥质沉积物的形成机制,对比气旋型与反气旋型环流制约下的海洋沉积物的异同。

## 1 研究方法

使用粒度分析、矿物鉴定、<sup>14</sup>C 测年及生物地层学等方法,对南黄海陆架泥质沉积物的形成机制进行了综合性的分析,在此基础上结合 1996 年海洋水文观测资料,进行沉积环境和沉积动力分析,探索南黄海泥质沉积物的分布、来源以及成因等问题。其中矿物分析

\* 国家自然科学基金资助项目,49894170、49776296号。申顺喜,男,出生于1941年9月,研究员,Fax:0086-0532-2870882

收稿日期:1998-11-12,收修改稿日期:1999-11-08

主要采用 X-射线衍射法和电子探针技术确定不同的粘土矿物类型及其含量,同时还运用光学显微镜法鉴定了自生黄铁矿及其它碎屑矿物,粒度分析采用沉析法和筛析法,使用微机处理程序提供分析结果。应用沉积物粒度参数及海洋环流的有关资料,综合分析了海区的沉积动力环境,将南黄海陆架泥质沉积物进一步划分为气旋型和反气旋型涡旋泥质沉积物两种不同的沉积类型,并进行了初步的研究。

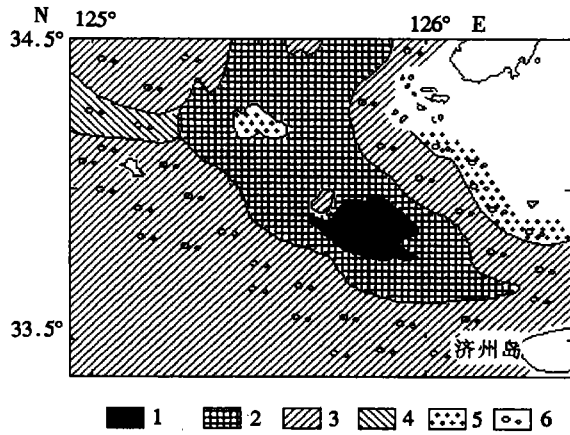


图1 反气旋型涡旋沉积的分布特征

Fig.1 Distribution pattern of an anticyclonic eddy sediment

1. 反气旋泥质沉积; 2. 侵蚀泥; 3. 泥质砂; 4. 砂质泥;  
5. 细砂; 6. 砾石

## 2 结果与讨论

### 2.1 反气旋型涡旋沉积特征

**2.1.1 一般特征** 济州岛西北海域的海底分布着一个较小的泥斑(图1),呈近似的圆形分布,厚度约为13.5—20m,颜色为深灰色,沉积物以细粒的粘土矿物为主,含有较多的生物状自生黄铁矿,沉积物中铝、铁、钛、磷等多种元素的含量高。此外,该泥质沉积物的含水量较高,达50.3%(水/湿样,下同),结构均匀,质地软,具有声学透明层的特征(Bahng *et al.*, 1993; Cho *et al.*, 1996)(表1)。根据有关钻孔(YSDP102)样品的<sup>14</sup>C年龄推算该泥斑沉积底部(13.5m)的年龄距今约为5 689年。它的形成与那里反气旋型

涡旋的存在密切相关,因此本文将其称为反气旋型涡旋沉积。

表1 反气旋型涡旋沉积、侵蚀泥质沉积和气旋型涡旋沉积特征

Tab.1 Sedimentary characteristic of the cyclonical eddy sediment, eroded mud deposit and anticyclonical eddy sediment

沉积类型	形态	颜色	声学特性	底部 <sup>14</sup> C年龄 (a B.P.)	厚度 (m)	粒径 (MzΦ)	含水量 (%)
气旋型涡旋沉积 (南黄海中部)	似圆形	绿灰	透明层	5550 ± 220	2.8	8.5	50—55
反气旋型涡旋沉积 (济州岛西北部)	似圆形	深灰	透明层	约5689	13.5	6—7	50.3
侵蚀泥质沉积 (济州岛西北部)	条带状	绿灰	内反射层	>6000	38	7.3	38.5

**2.1.2 分布范围及地层层序** 反气旋型涡旋沉积在黄海东南部呈小的斑块状分布,济州岛西北海域的则是较大的一个,它的下面是侵蚀泥质沉积。侵蚀泥质沉积的分布面积远大于上层,因此在反气旋型涡旋沉积未能覆盖的地区便直接出露于海底。由于它们都是泥质沉积,分布的位置上下叠置、颜色相近等,以往常将它们统称为黄海东南部的泥质沉积。然而,近年来深入的研究揭示了它们之间性质的差异,主要表现在地层结构、声学

性质、含水量及地球化学特征等诸方面,其中下层的特征是分布连续,较硬,含水量低(38.5%),含大量粉砂纹层,并具有声学内反射层的特性,表面有冲刷侵蚀痕迹(Bahng *et al.*, 1993),与上层反气旋型涡旋沉积的界线十分清楚,本文将其称为侵蚀泥质沉积。可见两者的区别颇为明显,它们分别为不同时期、不同环境下形成的两个不同的地层单元,即反气旋型涡旋沉积和侵蚀泥质沉积。

根据直接出露于海底的侵蚀泥质沉积的表面有侵蚀的特征,表明侵蚀泥质沉积物形成时的沉积动力与现代那里的沉积动力条件有一定的差别,这与中国科学院海洋研究所1996年的海流观测资料是吻合的。根据观测流速计算结果,该区海水的底层流速(包含潮流和海流)大于海底泥质沉积物的启动流速,因此该侵蚀泥质沉积并非现在沉积动力环境的产物,而是现在沉积动力环境以前的某个时期沉积的,其后在现代水动力环境的作用下,不断被冲刷侵蚀,细粒物质一再被悬浮和搬运,本身受到明显的改造。

**2.1.3 反气旋型涡旋沉积与气旋型涡旋沉积的异同** 上述反气旋型涡旋沉积的许多特征与南黄海中部的气旋型涡旋形成的粉砂质粘土(即泥质沉积)有些相似,如其成分主要是由粘土矿物组成,碎屑矿物中自生黄铁矿丰富,此外它们都呈近圆形分布、结构均匀、含水量高等。但它们之间存在着不容忽视的差别,主要表现在:沉积厚度、沉积物粒度以及沉积速率等方面,其中反气旋型涡旋沉积的较大厚度及略粗的沉积物粒度组成,体现了反气旋型涡旋环境的沉积动力强于气旋型涡旋环境的特征,由此形成了黄东海陆架区两个重要的沉积模式——气旋型涡旋沉积和反气旋型涡旋沉积。

## 2.2 反气旋型涡旋沉积环境

**2.2.1 济州岛西北部海域的环流结构** 黄海暖流从南向北将黄海分成东西两部分,西边它与黄海沿岸流相互作用的结果,形成了逆时针向的气旋型涡旋;东边黄海暖流与朝鲜沿岸流构成顺时针向的黄海东部环流(苏育嵩等, 1995; 乐肯堂等, 1990),位于济州岛西北部海域的反气旋型涡旋(顺时针向),就是黄海东部环流的重要部分。这个反气旋型涡旋流型的中心位置大约在  $34^{\circ}\text{N}$ ,  $125.5^{\circ}\text{E}$  附近地区,它的下部为气旋型环流,形成垂向的双环结构,中心区域海水的上层为下降流,而下层为上升流,上层强于下层,其性质与黄海冷水团的垂向双环结构有明显差异(苏纪兰等, 1995)。

Kang 等(1991)根据 16 年(1969—1984)连续观测资料绘制了表层海水温度距平分布

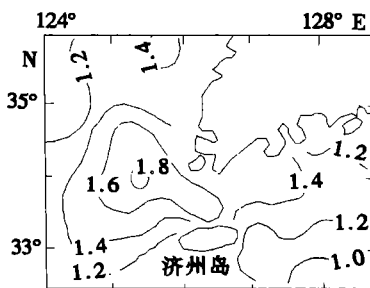


图2 表层水温距平分布图(°C,引自Kang *et al.*, 1991)

Fig.2 The distribution of sea surface temperature anomalies (°C)

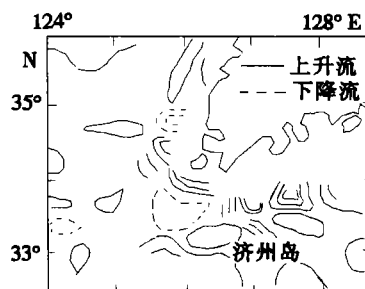


图3  $M_2$  潮垂直余流模拟结果(10—20m)  
[根据戚建华图(1998)改绘]

Fig.3 Simulated  $M_2$  tide vertical residual current (10—20m)

图,显示济州岛西北海域中心区出现水温距平最大值为 $1.8^{\circ}\text{C}$ (图2)。同时根据 $M_2$ 分潮垂直余流数值模拟的结果表明,位于济州岛西北海域,10—20m层存在下降流(图3)(戚建华等,1998),进一步证实了这个反气旋型涡旋的存在。

**2.2.2 济州岛西北部海域的沉积动力特征** 南黄海中部的泥质沉积物是在气旋型涡旋环境生成的,沉积厚度仅为2.8m,沉积物的平均粒径为 $8.5\Phi$ ,而济州岛西北部反气旋型涡旋沉积,则是在更加复杂的情况下形成的,即在以反气旋型环流为主的双环结构下形成。由于海水上层的反气旋型涡旋具有高压涡的性质(陈宗镛等,1992),在它的控制下,迫使周围海水中的悬浮沉积物,包括浮游生物,在上层海水中不断向涡旋的中心区辐聚,并在下降流的作用下向底层输送,下层海水虽有上升流活动,但因其能量远小于上层的下降流,因此,悬浮的沉积物逐渐沉积于海底,形成了约为20m的厚层沉积(Bahng *et al*, 1993),其平均粒径为 $6-7\Phi$ ,略粗于南黄海中部的泥质沉积物,反映下降流具有强于上升流的沉积动力。由此可见,济州岛西北部海域的反气旋型涡旋沉积与南黄海中部的气旋型涡旋环境之间,在沉积动力方面既有共性又有差别。它们的粒度组成较细,表明是沉积动力弱的低能沉积环境的产物,而厚度明显变大、粒度较粗的济州岛西北部的泥斑,体现了反气旋型涡旋环境的沉积动力强于气旋型涡旋环境的特征(表2)。

表2 气旋和反气旋型涡旋的沉积环境

Tab.2 The sedimentary environments of the cyclonical and anticyclonical eddy

涡旋沉积类型	悬浮体含量 (mg/L)		暖水种 浮游生物	水平环流	垂向环流性质 (cm/s)	
	表层	底层			表层	底层
	气旋型涡旋沉积 (南黄海中部)	0.3	1—2	—	气旋型 (逆时针向)	上升流
反气旋型涡旋沉积 (济州岛西北)	0.4	5.8	<i>Sagitta enflata</i> <i>Euphausia tenera</i>	反气旋型 (顺时针向)	下降流	上升流

反气旋型涡旋上层海水向涡旋中心辐聚的特性,不仅使悬浮的沉积物向中心区集中,而且使该海区多种浮游生物,如:*Sagitta crassa*(冷水种)、*Sagitta nagea*和*Sagitta enflata*(暖水种)向中心区域的混合程度和数量增加(YOO, 1991),尤其是广温性暖水种有孔虫的含量比临近海区迅速增加,如:*Neogloboquadrina dutertrei*、*Globigerinoides ruber*等(刘健等,1999)。气旋和反气旋型涡旋与海洋生物的密切关系,在世界其它海域也屡见不鲜,如阿拉斯加陆架海的反气旋型涡旋,可以使青鳉(*Pollock sp.*)的卵和仔鱼向涡旋中心区迅速增加(Schumacher *et al*, 1993),在爱尔兰海(Irish Sea)的气旋型涡旋,也是浮游生物的幼体依赖的场所(Hill *et al*, 1994),这些特殊现象已经引起广泛的重视。究竟是什么原因使这些生物依赖于这种特殊的海洋环境?是否由于气旋或反气旋型涡旋是陆架区相对稳定的低能环境?或许是它们中心区域水体微弱的垂向流动,成为多种海洋生物产卵、孵化和幼体发育的摇篮。显然,这种环境的低能特征是十分重要的。

### 3 结论

**3.1 黄海东南部的泥质沉积物,根据其性质的不同分为上下两层,上层为反气旋型涡旋沉积;下层为侵蚀泥质沉积。**

3.2 济州岛西北部的反气旋型涡旋沉积的厚度、粒度均大于南黄海中部的气旋型涡旋沉积, 表明它们的沉积环境不同, 显示了反气旋型涡旋与气旋型涡旋沉积动力性质的差异。

### 参 考 文 献

- 申顺喜, 李安春, 袁 巍, 1996. 南黄海中部的低能沉积环境. 海洋与湖沼, 27(5): 518—523
- 乐肯堂, 毛汉礼, 1990. 南黄海冬季温盐结构及其流系. 海洋与湖沼, 21(6): 506—514
- 刘 健, 李绍全, 王圣洁等, 1999. 末次冰消期以来黄海海平面变化与黄海暖流的形成. 海洋地质与第四纪地质, 19(1): 124
- 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉, 1987. 黄海晚第四纪沉积. 北京: 海洋出版社, 362, 364
- 李绍全, 刘 健, 王圣洁等, 1998. 南黄海东侧冰消期以来的沉积层序与环境演化. 科学通报, 43(8): 876—880
- 苏育嵩, 苏 洁, 1995. 利用卫星图像对黄海表层水系的分析. 海洋与湖沼, 26(5)增刊: 16—22
- 苏纪兰, 黄大吉, 1995. 黄海冷水团的环流结构. 海洋与湖沼, 26(5)增刊: 1—7
- 陈宗镛等, 1992. 海洋科学概论. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 234
- 赵一阳, 李凤业, 1991. 南黄海沉积速率和沉积通量的初步研究. 海洋与湖沼, 22(1): 38—43
- 赵一阳, 朴龙安, 秦蕴珊等, 1998. 南黄海沉积学研究新进展—中韩联合调查. 海洋科学, (1): 34—37
- 赵松龄, 李国刚, 1991. 黄海南部黄海槽沉积的成因及其浅地层结构. 海洋学报, 13(5): 672—678
- 戚建华, 苏育嵩, 1998. 黄海潮生陆架锋的数值模拟研究. 海洋与湖沼, 29(3): 247—254
- Alexander C R, Demaster D J, Nittrouer C A, 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea. Marine Geology, 98: 51—72
- Bahng Hyo Ky, Jae Kyung Oh, 1993. Acoustic Facies in the Western South Sea, Korea. The Journal of the Oceanological Society of Korea, 313—322
- Cho Yeong-Gil, Lee C B, Choi M S, 1996. Geochemistry of the surface sediments off the southern and western coasts of Korea, Proceedings of the Korea-China International Seminar on Holocene and Late Pleistocene Environments in the Yellow Sea Basin, November, 20—22, 1996, Seoul, Korea. Seoul National University Press, 159—181
- Gao Shu, Yong Ahn Park, Zhao Yi-yang, et al, 1996. Transport and resuspension of fine-grained sediments over the southeastern Yellow Sea, Proceedings of the Korea-China International Seminar on Holocene and Late Pleistocene Environments in the Yellow Sea Basin, November 20—22, 1996, Seoul, Korea. Seoul National University Press, 83—98
- Hill A E, Durazo R, Smeed D A, 1994. Observations of a cyclonic gyre in the western Irish Sea. Continental Shelf Research, 14(5): 479—490
- Hu Duxin, 1984. Upwelling and sedimentation dynamics. Chin J Oceanol Limnol, 2(1): 12—19
- Kang Yong Q, Young Ho SEUNG, 1991. Analysis and prediction of SST anomalies in the seas around Korea. In: Institute of Oceanology, Academia Sinica ed. Proceedings of the 2nd international symposium on Marine science in Yellow Sea, July 27—29, 1991. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 36—46
- Park Y A, Khim B K, 1990. Clay minerals of the recent fine-grain sediments on the Korean continental shelves. Continental Shelf Research, 10: 179—191
- Schumacher J D, Stabeno P J, Bograd S J, 1993. Characteristics of an eddy over a continental shelf: Shelikof Strait, Alaska. J Geophys Res, 98(c5): 8 395—8 404
- YOO Kwang-li, 1991. Studies of Yellow Sea zooplankton in Korea. In: Institute of Oceanology, Academia Sinica ed. Proceedings of the 2nd international symposium on Marine science in Yellow Sea, July 27—29, 1991. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 203—209

## AN ANTICYCLONIC EDDY SEDIMENT PATTERN IN NORTHWEST OF CHEJU ISLAND

SHEN Shun-xi, YU Hong-jun, ZHANG Fa-gao

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

**Abstract** To the northwest of Cheju Island there is an anticyclonic eddy type below a mud patch. Using sediment samples collected since 1992 and oceanographic investigation data in 1996, studies to understand the sedimentary environment of the mud patch including analyses of grain-size composition, mineral content and stratum chronology, and with comparison to the cyclonic eddy sediments in the center part of the South Yellow Sea were made. The results show that the mud patch can be classified into upper and lower stratum units at about 13.5m depth below the seabed, the lower sediment is composed of hard homogeneous dark greenish-gray mud with a lower water content (38.5%), and has an acoustic internal reflection and eroded surface. The upper sediment is composed entirely of soft dark-gray homogeneous mud with relatively higher water content (50.3%). Besides, in comparison with the cyclonic eddy sediments in the center part of the South Yellow Sea, it is found that there are differences in the sedimentary grain size and accumulation thickness from each other. This suggests that the upper mud sediment would be considered as the anticyclonic eddy sediment, while the lower layer sediment the eroded mud deposit.

The findings were as follows: 1) the vertical circulation of anticyclonic eddy type in the area northwest of Cheju Island has a double-eddy structure, i.e., the upper layer eddy is clockwise and more intense, with downwelling in the center, and the lower layer eddy is anticlockwise and weaker, with upwelling in the center. 2) According to their intrinsic properties, the mud sediments in the area, northwest of Cheju Island, can be classified into anticyclonic eddy sediment and eroded mud deposit. 3) An anticyclonic eddy sediment is thicker and is of larger grain size than that of the cyclonic eddy sediment in the center part of the South Yellow Sea, this suggests that there would have some differences in sediment dynamics between an anticyclonic eddy and a cyclonic one.

**Key words** An anticyclonic eddy sediment Downwelling Sedimentary environments The area northwest of Cheju Island

**Subject classification number** P56.3883