

东海大陆架现代沉积作用的初步探讨*

杨光复 董太禄 徐善民

(中国科学院海洋研究所)

自 1932 年 Shepard^[13] 根据当时的海图指出亚洲东岸海底沉积物普遍存在近岸细、远

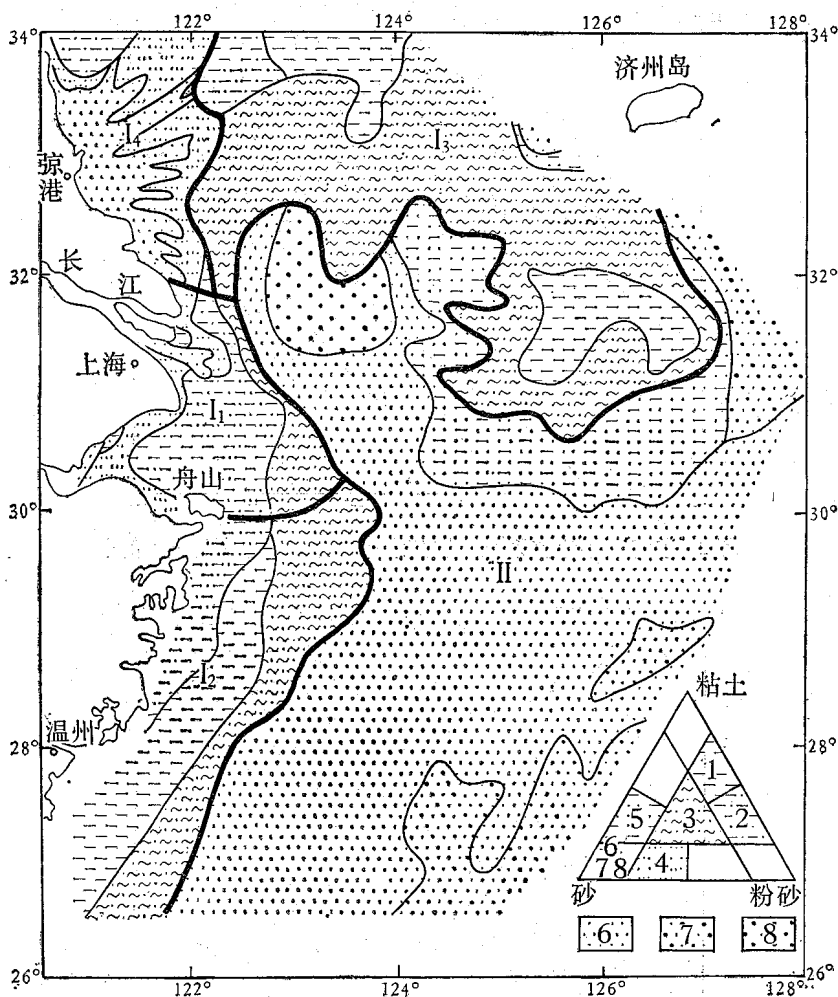


图 1 东海大陆架表层沉积物分布图

- I. 现代沉积: I₁ 长江口现代三角洲沉积; I₂ 闽浙近岸浅海沉积; I₃ 北部陆架浅海沉积; I₄ 苏北近岸潮流沉积
II. 残留沉积: 1. 粉砂质粘土; 2. 粘土质粉砂; 3. 砂-粉砂-粘土; 4. 粉砂质砂; 5. 粘土质砂; 6. 细砂;
7. 中细砂; 8. 中砂

(参考国家海洋局第二海洋研究所有关资料及中国科学院海洋研究所东海大陆架表层沉积物粒度分析资料编制。)

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 676 号。文中图件由蒋孟荣、李清等同志清绘,特此致谢。

收稿日期: 1981 年 4 月 7 日。

海粗的分布特点以来,不少学者如 Shepard^[14], Niino 和 Emery^[12], 范时清^[1]、秦蕴珊^[2]等对东海大陆架沉积物的类型及分布特征都进行过较详细的研究。他们认为外陆架砂质沉积物是在晚更新世冰期低海面时形成的。七十年代以来又有很多部门进行了大量广泛深入的调查研究。

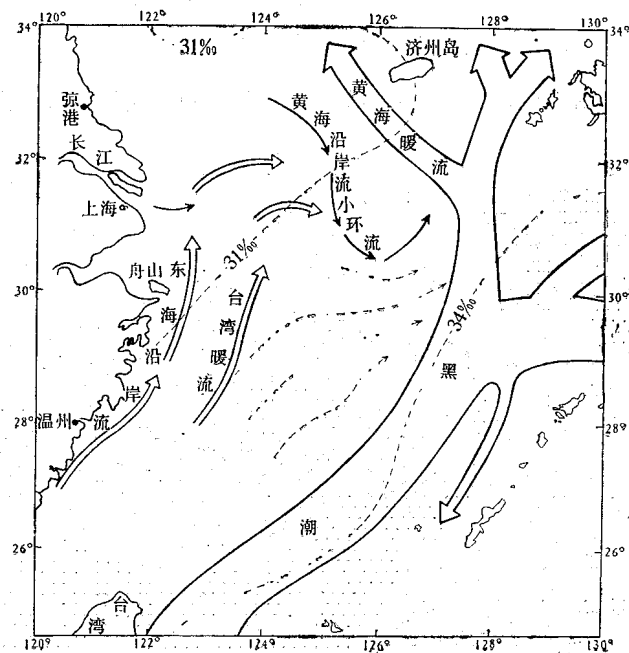


图2 东海夏半年流系及表层海水盐度分布示意图(据管秉贤)

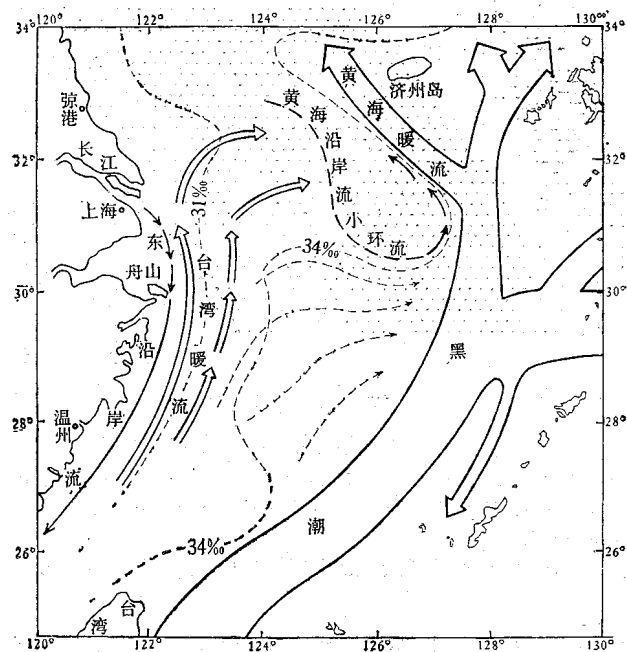


图3 东海冬半年流系及表层海水盐度分布示意图(据管秉贤)

本文根据我们近年来对陆架浅钻岩芯的分析和研究,就东海大陆架及黄海南部现代沉积物的形成过程提出一些粗浅的看法。

现代沉积物一般是指在现代环境下沉积的沉积物,正如 McManus (1975) 指出的,在时间上,其沉积物质的供给、分布及其沉积过程都是在现代进行的^[1]。由于现代环境具有一定的延续时间,所以现代沉积物还包括自该环境形成直至现在这个时期内形成的沉积物。

冰后期东海大陆架发生海侵,距今 7500 年前海平面接近于现今海平面,自那时以来,海平面保持相对稳定^{[3][4]},除河口及近岸地区外沉积环境基本上没有发生大的变化,现代沉积开始形成的年代大体上与这个时期一致。现代沉积物分布于长江口三角洲及闽、浙近岸水深小于 60—70 米,宽约 90—100 公里的浅海地带,苏北沿岸向东至济洲岛地区,可延至水深 100 米左右(图 1)。

东海大陆架现代沉积物的分散与沉积过程,直接受陆架区现代海洋水文要素的控制,东海陆架区的海流系统及盐度分布见图 2, 3。长江每年注入东海的总水量达 9540 亿立方米,占注入东海总水量的 92%,其径流量的变化和淡水舌的分布以及流经本区东部的黑潮直接控制了本区的水文特征。

一、陆源物质的主要来源及海水中悬浮体的分布

1. 陆源物质的主要来源

长江不仅每年有大量淡水注入东海,而且还带来多达 4.86 亿吨的泥沙(主要为粉砂及砂),使近 7500 年来长江三角洲的年平均增长速度达 40 米^[4];同时还有大量细粒悬浮物质随长江冲淡水向外扩散,成为东海大陆架现代沉积物的主要物质来源。黄河在公元 1128—1855 年于苏北入海时建造的以粘土、粉砂沉积物为主的古三角洲,遭到现代潮流及波浪的冲蚀、改造,大量细粒悬浮物质随黄海沿岸流南下带人东海北部。闽、浙沿岸丘陵地带河流短小,入海泥沙少而细(粒径一般为 0.02—0.04 毫米^[5]),它在东海物质来源中处于极次要的地位。

2. 海水中悬浮体的分布

东海大陆架海水中悬浮物质的含量与分布直接反映了陆源物质的扩散和运移范围。近岸地区直接受河流及海岸冲蚀作用的控制,季节性变化大,含量一般

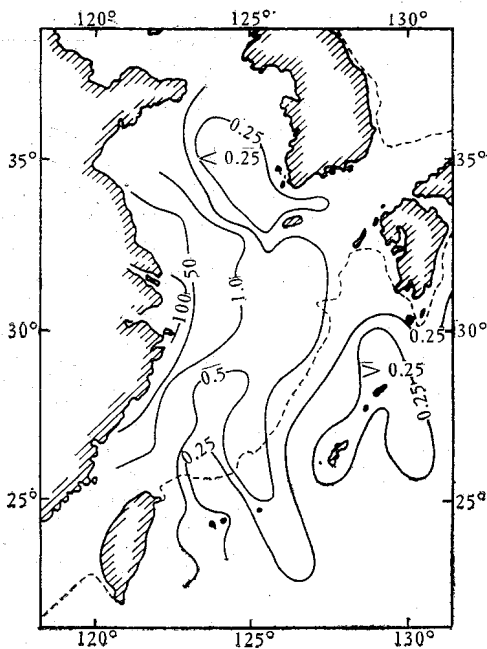


图 4 表层海水中悬浮体含量(毫克/升)

(据文献[9]略加修改)

1) 杨光复等,试论东海大陆架晚更新世以来海平面变化与海进沉积。中国科学院海洋研究所。

均在 50 毫克/升以上;长江口附近为 200—700 毫克/升,最高可达 1280 毫克/升;离岸较远的陆架区含量急剧减少,据 Emery 等^[9,10]及山本聪^[8]的研究,表层海水中均小于 1 毫克/升,随季节变化极小。整个海区悬浮体含量等值线沿海岸呈弧形分布,并在长江口外向外凸出(图 4)。

此外据卫星照片的分析^[1],夏季高含悬浮物质的浑水带在苏北浅滩地区宽阔,在闽、浙沿岸一般只宽约 40—50 公里,向西南可到达瓯江口附近。冬、春季在南下的东海沿岸流作用下浑水带分布范围向南扩展可至闽江口附近,一般都在闽江口及沙埕港之间,宽 30—40 公里,其分布趋势与长江冲淡水相似。

从悬浮物质的组成来看,近岸地区以粘土及碎屑矿物颗粒为主,不可燃烧组分占整个悬浮体含量的 75%;而离岸较远的地区则以生物骨骼为主,不可燃烧组分小于 25%。显然,前者是以陆源物质为主,后者以生物成因的物质为主。另外,长江口以南悬浮体组成中,4—62 微米的矿物颗粒粒径从大洋向岸变细, Md_{ϕ} 从 6ϕ 变至 8ϕ ,同时分选变差^[8,9],这表明长江口以南的陆源物质只影响近岸地区,对陆架外缘影响极少。

二、表层沉积物中粘土物质的分布

河流带入海洋及海岸冲刷产生的碎屑物质入海后,粗粒物质大多在河口地区沉积,其余的在波浪及沿岸流的作用下沉积于海岸带。而细粒粘土物质则呈悬浮状态被搬运至外海,它们的沉积取决于海水中悬浮物质的总量,海水的温度、盐度以及海流状况。海底沉积物中粘土物质含量的变化即是这些因素综合作用的结果。东海大陆架表层沉积物中粘

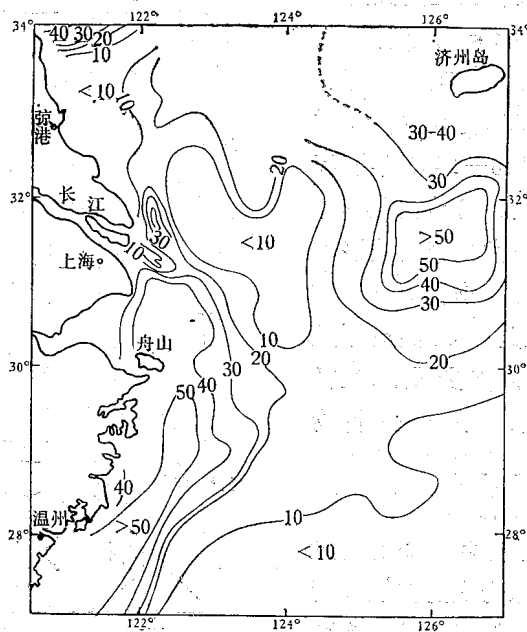


图 5 东海大陆架表层沉积物中粘土物质 ($>8\phi$) 含量等值线图²⁾

1) 上海师范大学、上海航政局,1980。利用卫星照片分析长江入海泥沙扩散的问题。

2) 参考郑铁民等提供的东海表层沉积物及我所地质室地貌组有关苏北、长江口地区的粒度分析资料。

土物质 ($>8\phi$) 的含量变化示于图5,并分别不同地区简述如下。

1. 闽、浙近岸浅海地区 粘土物质含量等值线成条带状平行于海岸,水深40—60米地区最高可达50—60%,向岸减至40%左右,向海至水深60—70米处逐渐减至20%左右,并向东南方向减至10%以下。

2. 长江口及杭州湾地区 长江口附近粘土的含量在20%以下,40—50%的高含量区极不对称地分布于长江口两侧,南侧杭州湾外舟山群岛周围分布面积大,北侧只有局部分布。

3. 济洲岛南部地区 大致以东经 126° ,北纬 $31^\circ30'$ 为中心,等值线呈同心圆状分布,中心部分含量最高达50—60%,向外逐渐降至20%以下。

4. 东海北部与南黄海交接地区 粘土物质的含量大多在10—30%之间,变化不大。表层沉积物中粘土物质的分布趋势在陆架南部大致与海水中悬浮体含量1毫克/升等值线的分布形势相一致。陆架北部大致与含量为0.5毫克/升的等值线相一致。它们基本上反映了现代沉积物在陆架上分散、沉积的范围。水深小于60—70米地区,可以以粘土含量为20%的等值线作为现代沉积物沉积的边界。在济洲岛南部,水深大于60—70米地区,其边界则大致与含量为20%或30%的等值线一致。

三、现代沉积物的分布与特征

东海大陆架现代沉积物按沉积环境的不同可以划分为下列4个类型(详见图1)。

1. 长江口现代三角洲沉积

长江口是一个喇叭形中强潮汐河口,一般潮差2.25米左右,落潮流速大于涨潮流速。长江带来大量泥沙在此沉积,形成了巨大的三角洲,其水下部分的沉积剖面示于图6。

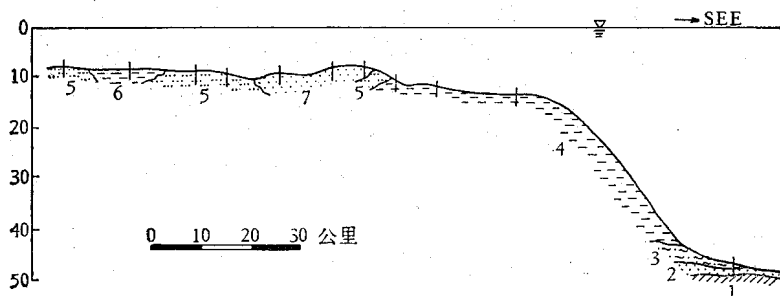


图6 长江口现代三角洲(水下部分)纵剖面图

1. 更新世沉积; 2. 海进残留砂; 3. 现代浅海泥与残留砂的混合沉积物; 4. 粘土质砂与粉砂质粘土; 5. 粉砂质砂与砂质粉砂; 6. 浅滩泥质沉积物; 7. 河口坝砂质沉积物

河口坝主要由黄色细砂组成,其中砂($2-4\phi$)的含量在80%以上,分选好, $QD_\phi < 0.5-1\phi$,有时夹有粘土及粉砂薄层。河床及浅滩沉积物较细,为黄灰色及黄褐色粉砂质砂及砂质粉砂,含有少量粘土物质, $Md_\phi = 4-5\phi$,分选好至中等。

三角洲前缘地形变化较大的斜坡地段及长江口南侧杭州湾外的广大地区,有大量粘土及粉砂物质沉积,顶部一般为黄褐色,向下变暗为灰褐色,随河流季节性的变化层理非常发育,粉砂及粘土相互层构成极薄的韵律层理,单层厚0.3—0.5厘米左右。三角洲前缘

与残留砂之间,由于粗细物质的混合构成了砂-粉砂-粘土组成的混合沉积带。

2. 闽、浙近岸浅海沉积

从图 1 可见,闽、浙沿岸浅海沉积物向岸一侧颗粒较粗,为粘土质粉砂;中部变细,为粉砂质粘土;向海靠近残留砂一侧又变粗,为砂-粉砂-粘土或粘土质砂。根据水深 40—70 米地区的浅钻岩芯资料,砂-粉砂-粘土及粘土质砂同时也出现在粉砂质粘土之下、海进砂之上;其粒径频率曲线具有明显的双峰特征,众数分别为 $2-4\phi$ 和 $4-5\phi$,前者与残留砂(或海进砂)一致,后者与粉砂质粘土一致;当其过渡为粉砂质粘土时, $2-4\phi$ 的峰即消失,这表明所含的砂质物质来自外侧的残留砂(或下伏海进砂层)。在近岸地带沉积厚度一般为 45 米左右,最大可达 80 米^[5],向海逐渐减薄,舟山群岛外水深 28 米处的 D_{c1} 孔,厚 19.4 米,至水深 60—70 米尖灭过渡为残留沉积。

闽、浙沿岸入海河流短小,入海泥沙有限,不可能形成如此大量的泥质沉积。从海水悬浮体的含量变化,海洋水文状况及沉积物的分布情况可以看出,它们主要来自长江。特别是冬、春季南下的东海沿岸流从长江口及其附近地区带来大量细粒悬浮物质,在高温高盐水向岸逼近的情况下,不能向外扩散,逐渐沉积。另外,近岸河流有较粗粒的粉砂物质输入海中,因而在向岸一侧沉积物中粉砂含量较高,在临近残留砂的地区,残留砂与向岸搬运的砂质物质相混形成了由砂、粉砂及粘土组成的混合沉积,因而构成了两侧粗中间细的分布格局。这一沉积过程可用图 7 所示的模式图表示。

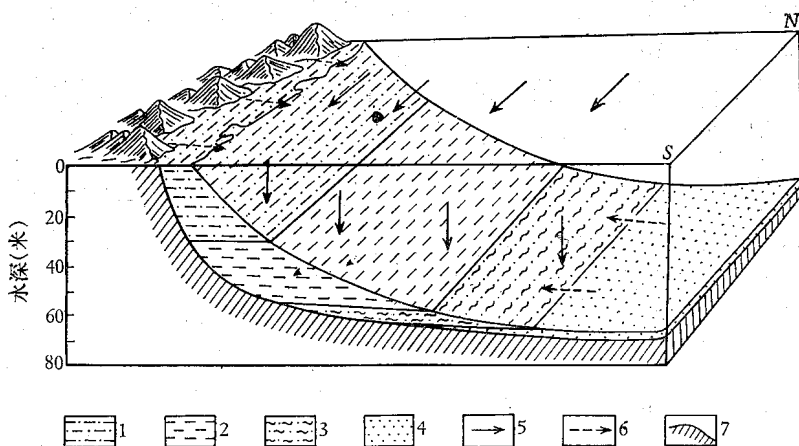


图 7 闽浙近岸浅海沉积模式图

1. 粘土质粉砂; 2. 粉砂质粘土; 3. 砂-粉砂-粘土; 4. 残留砂; 5. 悬浮物质的运移方向;
6. 砂质物质的运移方向; 7. 沉积基底

3. 北部陆架浅海沉积

广泛分布于陆架北部、南黄海南部及济洲岛南部水深 20 米至 100 米左右的地区,覆盖于海进砂层之上。厚度一般均小于 0.5 米,仅在水深接近于 20 米地区及济洲岛以南局部地区可厚至 1.5 米。沉积物以黄褐、黄灰色砂-粉砂-粘土为主,分选差,粒径频率曲线上具有明显的双峰特征(图 8),在粒径累计频率曲线上出现了两个“广”形的线段(图 9)。前峰众数为 $2-2.5\phi$,与下伏海进砂层的众数一致,表明它们是由海水中沉淀的粘土物质与海进残留砂相混合沉积而成。

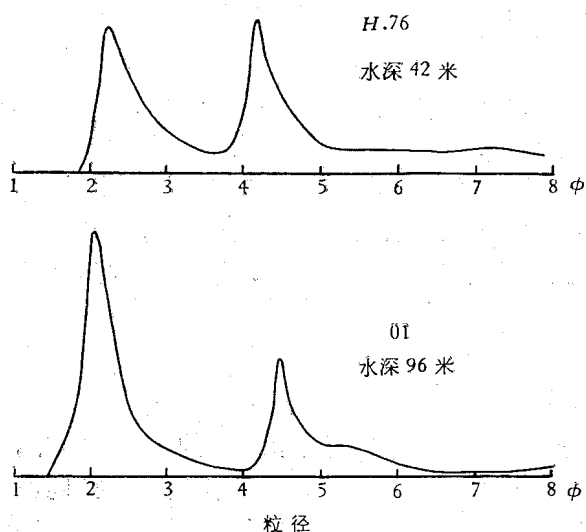


图8 东海大陆架北部现代沉积物粒径频率分布曲线

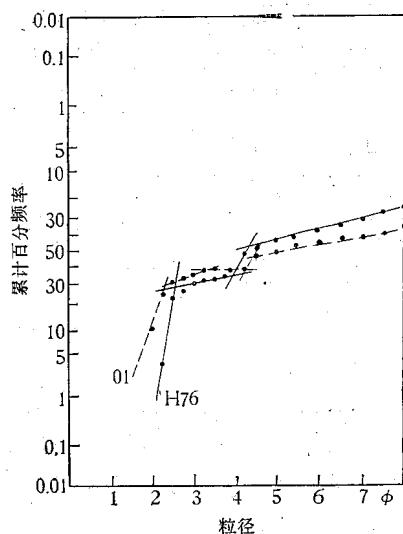


图9 东海大陆架北部现代沉积物粒径累计频率分布概率曲线

另外从图2, 3还可看出, 来自西北方向的黄海沿岸小环流以及来自陆架南部流向北东的混合水流与流经济洲岛南部的黑潮分支黄海暖流, 以北纬 $31^{\circ}30'$ 、东经 126° 为中心形成反时针的“旋涡”。旋涡中心为一相对低能的环境, 大量悬浮物质从海水中沉淀, 因而这里沉积厚度较大, 粘土物质含量较周围地区高。根据东经 126° 、北纬 $30^{\circ}15'$ 、水深80米处样品的 C^{14} 测年为6880年¹⁾, 表明它们形成的年代小于7000年。

这里还须指出, 济洲岛南部现代沉积物的外侧, 有较多的现代泥质物质混入残留砂, 但数量尚少, 未能改变残留砂的特征, 表明这里仍有微弱的现代沉积作用。

4. 苏北近岸潮流沉积

它是这个地区比较特殊的一种沉积类型, 分布水深小于20—25米, 以琼港为中心向海构成一系列指状辐射砂脊(参见图1)。覆盖于古长江及古黄河三角洲上。辐聚中心粒径较粗, 为细砂, $Md_{\phi}=2-3\phi$, 分选好, $QD_{\phi}<0.5$ 。向外粒径变细, 分选变差。粒径频率

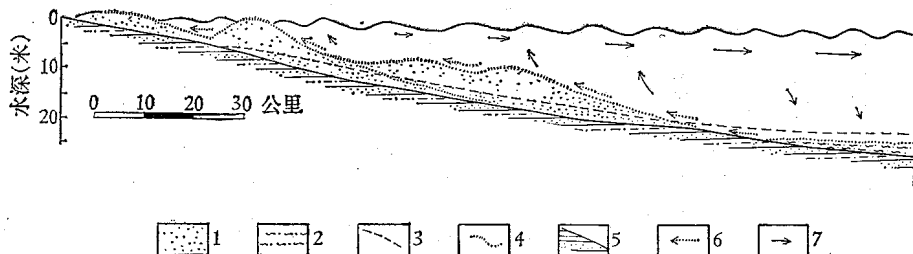


图10 苏北潮流砂脊形成模式图

1. 细砂; 2. 砂-粉砂-粘土; 3. 被侵蚀的海底; 4. 海底; 5. 基底(古长江、黄河三角洲沉积物);
6. 粗粒物质的运移方向; 7. 细粒悬浮物质的运移方向

1) 中国科学院贵阳地球化学研究所 C^{14} 实验室, C^{14} 年代数据汇编。1979年第四纪地质会议论文集。

分布愈向辐聚中心愈近于正态,甚至为负偏态。砂脊间及其外围为砂质粉砂及粉砂质砂,并逐渐过渡为富含泥质的陆架浅海沉积。

辐射沙脊的形成与这个地区的潮汐作用密切相关^{[6]1)}。涨落潮往复流在南部呈南东-北西向,北部呈北东-南西向,向琼港湾会聚。在它们和波浪的作用下,古长江三角洲及古黄河三角洲遭到强烈冲刷,被冲刷下来的物质又重新被波浪和潮流分选,粗粒物质被涨潮流向岸推移,形成与潮流方向一致呈辐射状分布的滩脊。而细粒物质随落潮流带向外海,沉积物发生“粗化”(图 10),也使海水中悬浮体含量较附近地区高,形成广阔的浑水区。

四、现代沉积物的运移与沉积

综合以上讨论,东海大陆架现代沉积物的运移与沉积示意于图 11。

如果长江输入的泥沙全部沉积于三角洲地区,则沉积速率将达到约 1.3 厘米/年,且高于长江全新世各期三角洲的沉积速率,而今长兴期三角洲沉积速率最高的河口坝只有 1.14 厘米/年,前缘斜坡及前三三角洲只有 0.54 厘米/年及 0.31 厘米/年^[4],因而必然有大量泥沙向外搬运扩散。其中一个主要的去向是随南下的东海沿岸流南移于闽、浙近岸浅海地区,同从闽、浙丘陵进入浅海的泥沙一起沉积,因而在该地区发育了较厚的现代浅海泥质沉积物。如果根据舟山群岛外 D_{c1} 孔揭露的厚度计算,沉积速率大致为 0.26 厘米/年,

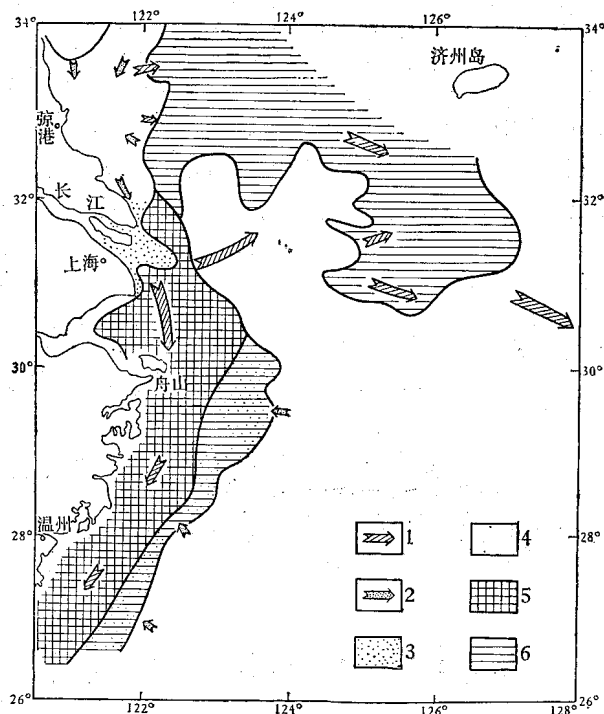


图 11 东海大陆架现代沉积物的运移与沉积示意图

1. 悬浮物质的运移扩散方向; 2. 粗粒物质的运移扩散方向; 3. 粗粒物质的强沉积区;
4. 粗粒物质的弱沉积区; 5. 悬浮物质强沉积区; 6. 悬浮物质弱沉积区

1) 李成治、杨光复。苏北琼港湾现代潮流沉积。中国海岸河口学会 1980 年学术会议论文集。

这样在该地区每年就要接纳 1 亿多吨的物质沉积, 约为长江入海泥沙的 $1/3-1/4$ 。但是夏季长江洪水季节东海沿岸流自南向北阻碍了长江泥沙的南下, 因而很可能被阻留于舟山群岛一带, 待冬季再随南下的沿岸流南迁。这个问题比较复杂, 尚待进一步研究证实。另外, 在风浪及海流作用下, 残留砂中的砂粒物质也向岸搬运, 参与了现代沉积作用。

长江入海泥沙还随长江冲淡水向东北方向扩散。从海流系统、海水盐度分布都可看出, 无论冬半年或夏半年长江口外均有一股北东向的流, 表层海水的等盐线及悬浮体含量的等值线均向这个方向凸出, 证明了这一分支的存在。它们越过长江口大沙滩于济洲岛南部沉积一部分, 然后向东越过大陆架进入大洋。从海水中悬浮体含量及现代沉积物的厚度来看, 它与流向闽、浙近岸浅海的泥沙量相比较处于次要地位, 沉积作用的强度远不及长江口和闽、浙近岸浅海地区, 但扩散面较宽。

苏北近岸被落潮流带去的细粒悬浮物质和来自黄海其他地区的悬浮物质一起被黄海沿岸流向南运移, 除部分于沿途沉积外也在济洲岛沉积, 余下的也向东越过大陆架向大洋扩散。

由此可见, 进入东海大陆架的陆源物质主要在近岸浅海地区 (包括三角洲) 及陆架北部沉积, 很少进入陆架南部水深大于 60—70 米的外陆架地区, 所以该地区冰后期海侵时形成的残留砂直接出露于海底。但是根据对残留砂的研究^[7], 它们含有相当数量反映现代环境的浮游有孔虫, 这表明该地区仍然有以生物沉积作用为主的现代沉积作用。

参 考 文 献

- [1] 范时清, 1959. 中国东海和黄海底质的初步研究. 海洋与湖沼 2(2): 82—85.
- [2] 秦蕴珊, 1963. 中国陆棚海地形及沉积物类型的初步研究. 海洋与湖沼 5(1): 71—86.
- [3] 赵希涛等, 1979. 中国东部 20000 年以来的海平面变化. 海洋学报 1(2): 269—281.
- [4] 同济大学海洋地质系三角洲科研组, 1978. 全新世长江三角洲的形成和发育. 科学通报 23(5): 310—313.
- [5] 逢自安, 1980. 浙江港湾淤泥质海岸剖面的若干特征. 海洋科学 2: 9—14.
- [6] 李本川、李成治, 1980. 苏北平原海岸地貌特征及沿岸泥沙动态. 海洋科学 3: 13—16.
- [7] 杨光复、董太录、徐善民、苍树溪, 1980. 东海大陆架南部晚更新世末期以来的沉积特征. 《黄、东海地质》. 科学出版社, 67—81.
- [8] 山本聪, 1979. 海洋悬浊物质の堆积学. 海洋科学 11 (7): 609—615.
- [9] Emery, K. O. et al., 1974. Non-combustible suspended matter in surface water off eastern Asia. *Sedimentology*. 21: 565—575.
- [10] Emery, K. O. et al., 1978. Suspended matter in water: influence of river discharge and of upwelling. *Sedimentology* 25: 125—140.
- [11] McManus, D. A., 1975. Modern versus relict sediments on continental shelf. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 86: 1154—1130.
- [12] Niino, H. and K. O. Emery, 1961. Sediments of shallow portion of East China Sea and South China Sea. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 72(5): 731—736.
- [13] Shepard, F. P., 1932. Sediments of continental shelves, *Bull. Geol. Soc. Amer.* 43: 1017—1040.
- [14] Shepard, F. P. et al., 1949. Distribution of sediments on East Asiatic continental shelf. Allan Hancock Found. OCC Paper, No. 9.

A GENERAL DESCRIPTION OF THE MODERN DEPOSITION ON THE CONTINENTAL SHELF OF THE EAST CHINA SEA*

Yang Guangfu Dong Tailu and Xu Shanmin

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

This paper presents a general description of modern deposition on the continental shelf of the East China Sea. The material upon which this study was based consisted of core and surface sediment samples.

On the continental shelf, the modern sediments consist mainly of clay, while in the region of estuaries and the Jianggang Bay in northern Jiangsu Province, they consist mainly of sand. In the region south of the Changjiang (Yangtze) River mouth, at water depths of less than 50—60 meters, the area of clayey sediments ranges from 90—100 kilometers in width, being thickest near the shore, measuring about 40—50 meters and thinning out toward the sea. It is also vastly distributed in the southern part of the South Yellow Sea where it extends over an area with water depths of 100 meter, its thickness being less than half a meter.

The modern sediments on the continental shelf occurred 7000—8000 yrs B. P. when the sea level uplifted to the present position. Transportation and deposition of the modern sediments are influenced by both the movement of terrigenous source materials and current, so the distributive tendency of the modern sediments is consistent with both the consistent variation of suspended materials in sea water and the current system. The suspended materials that come from the Changjiang (Yangtze) River mouth have been distributed by currents. Some of them are carried southward by longshore current of the East China Sea, and then deposited in the shallow area near the shore south of the Changjiang (Yangtze) River mouth, while the other suspended materials are transported eastwards, and deposited in the southern part of the South Yellow Sea. The suspended materials carried away from the northern and middle part of the South Yellow Sea by southflowing current are also deposited in the southern part of the South Yellow Sea, the residual suspended materials are transported over the continental shelf into the open sea. The sandy materials from the Changjiang (Yangtze) River are deposited in its estuary. The presence of sandy sediments in Jianggang Bay is a result of the action of tidal current. In the area of relict sand only a little biogenic deposition occurred.

The continental shelf of the East China Sea may be divided into four modern depositional provinces and one relict depositional province: 1) modern deltaic deposition in the Changjiang (Yangtze) River mouth; 2) shallow sea deposition covering near shore areas from Fujian Province to Zhejiang Province; 3) shallow sea deposition in the northern part of the continental shelf; 4) modern tidal current deposition in the Jianggang Bay; 5) relict deposition on the outer continental shelf.

*Contribution No. 676 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.