

三峡工程对长江口区沉积结构及地球化学特征的影响*

杨光复 吴景阳 高明德 周天成 李永植 韩有松

(中国科学院海洋研究所)

长江是我国第一大河,每年入海径流量平均近1万亿立方米,入海泥沙达4.9亿吨。三峡工程建成后将使长江中下游及河口地区的水、沙运行规律发生一系列的变化,这对长江口及其邻近海域的生态环境和水下三角洲的沉积环境和沉积过程将产生什么样的影响,是人们所关注的问题之一。

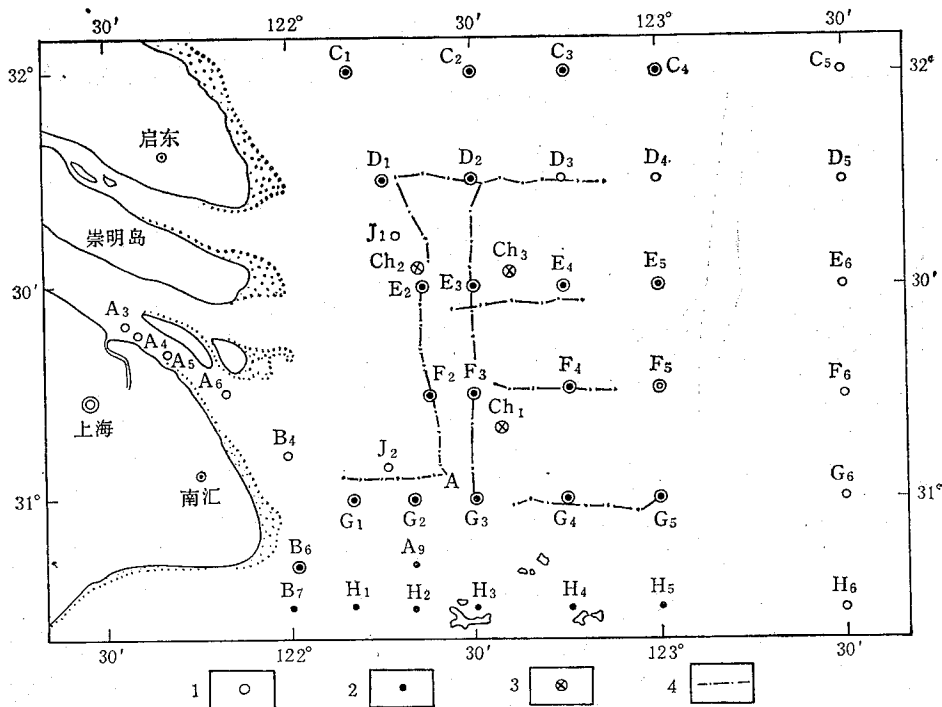


图1 长江口外海区调查站位图

1. 1985年9月站位; 2. 1986年1月站位; 3. 1982年钻孔; 4. 浅地层剖面测量航线

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第2057号。

参加本课题工作的还有张铭汉、张秀荣、李建博、李云飞、林国军、宋怀龙、林宝荣等。蒋孟荣等清绘全部图件,在此一并致谢。

收稿日期: 1989年11月4日。

1985年8月—1986年10月中国科学院海洋研究所开展了“三峡工程对长江河口区生态与环境的影响和对策”的研究，“三峡工程对长江河口区沉积结构及其地球化学特征的影响”的研究为其主要组成部分。先后进行了5个航次的调查。本专题调查区西自 $121^{\circ}30' E$ ，东至 $123^{\circ}30' E$ ，南起舟山群岛北($30^{\circ}45' N$)，北达启东咀外($32^{\circ}00' N$)，面积约2万平方公里。航线及站位示于图1。通过调查获得长江洪水期与枯水期的大量沉积物、悬浮体及箱式沉积物样品和浅地层剖面资料，经过室内沉积物粒度、重矿物、粘土矿物、化学、能谱、光谱及沉积物X光构造照相等分析研究，初步了解了长江口水深5—10 m以外和邻近海域的沉积环境及地球化学特征；结合有关资料，通过综合分析，初步提出了三峡工程对河口区沉积环境可能产生的影响的报告。调查研究海区处于河海相互作用的水域，情况十分复杂，在如此短的时间内，对其错综复杂的过程难以作出全面深入的了解和论断，还有很多问题有待进一步的调查研究。

一、全新世长江三角洲的发育过程和地层结构

长江三角洲曾经历了一个较长时期的发展过程，在距今8000—7500年前，冰后期海侵使长江河口退缩到扬州—镇江附近，此后海平面保持相对稳定，入海泥沙不断淤积，河口向海延伸，形成现今广阔的长江三角洲。三角洲平原和水下三角洲的范围包括苏北泰

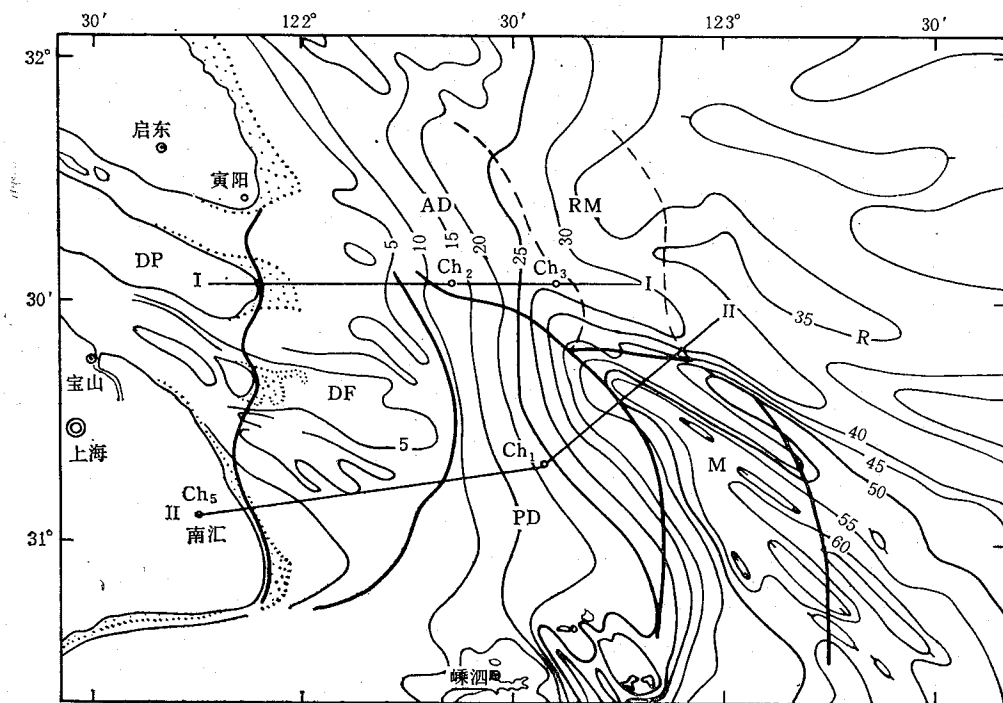


图2 长江口水下三角洲平面结构

DP: 三角洲平原; DF: 三角洲前缘; PD: 前三角洲; M: 陆架浅海; AD: 废弃三角洲;
RM: 改造沉积; R: 残留沉积

州、曲塘、海安以南,至苏南丹阳、江阴、沙洲一线,及长江口南岸冈身砂堤带以东,直至东海水深 40—50 m 附近的广大区域,总面积达 5 万平方公里以上。

1. 三角洲平原 全新世长江三角洲平原的顶点位于扬州、征仪附近。外缘界线(参见图 2)分布于长江口北角,崇明岛和横沙岛东端,至南汇咀一线。三角洲平原是随着长江入海河道,自苏北逐渐向南迁移的过程中,以海岸淤涨、河口沙坝充填和边滩并岸的方式形成,并由 5 个河口沙坝为核心的亚三角洲组成的大型三角洲体系¹⁾。其沉积结构,以崇明岛 Ch₄ 孔²⁾为例,顶积层厚 19.6 m,由河口沙坝、汉道、漫滩及沼泽相灰色粉砂质粘土、粘土质粉砂、细砂和粉砂质砂组成,时含陶片。前积层厚约 7 m,由灰色粘土质粉砂组成,底界深 27 m,含有较多的贝壳碎片。底积层由滨岸浅海沉积粘土质粉砂组成,厚约 15 m。其下埋深 41.6—53.3 m 的灰色粉砂、粗粉砂及滨岸沼泽沉积层,为海进过程中的沉积,沉积物中含有较多的贝壳碎片及个别细砾,沉积层底部 ¹⁴C 年龄为 11 640±540 年,下伏地层为晚更新世末期的陆相砂层。整个地层是由全新统海相及陆相过渡相沉积组成,在海进层之上构成的一个完整的三角洲沉积层序。

2. 水下三角洲 现代水下三角洲的平面分布(图 2),自口门向东南方向呈宽舌状伸展,据地形及浅地层剖面测量资料,外缘界线大致圈定在东经 122°50',水深 40—50 m 附近,与舟山群岛相连。水下三角洲分为南北两个叶瓣,南部叶瓣叠置北部叶瓣之上,交接带大致位于余山东北。南部叶瓣是现代长江入海泥沙的沉积区,属正在建设中的三角洲,余山—鸡骨礁以西三角洲前缘地形呈平坦状;鸡骨礁以东前三角洲呈上凸形(图 3 剖面 II-II),在剖面上水深 10—15 m 的地形坡度为 02' 左右,随水深而增加,至 25—40 m

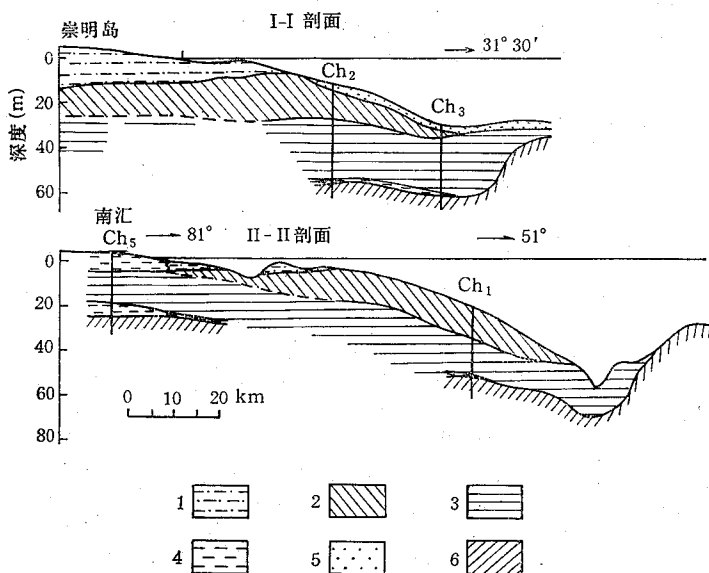


图 3 长江口水下三角洲剖面图(剖面位置见图 2)

1. 顶积层沉积; 2. 前积层沉积; 3. 陆架浅海沉积; 4. 潮滩沉积; 5. 改造相沉积; 6. 晚更新世陆相沉积

1) 同济大学地质系,三角洲教研组,1978,长江三角洲发育过程和沙体特征。(同济大学科学技术情报站资料)

2) 中国科学院海洋研究所 1982 年钻孔资料。(下同)

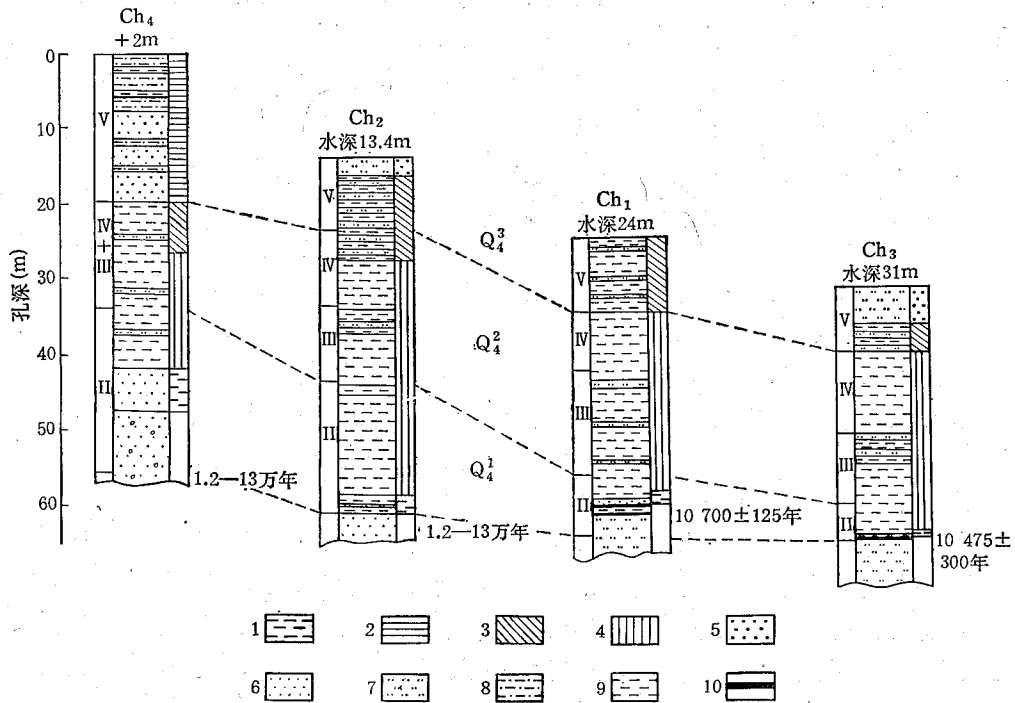


图4 长江口水下三角洲钻孔柱状对比图

(据《东海地质》及孟广兰资料¹⁾编绘)

1. 海岸及潮滩沉积; 2. 顶积层; 3. 前积层; 4. 浅海沉积; 5. 三角洲改造沉积; 6. 细砂及粉砂;
7. 粉砂; 8. 粘土质粉砂; 9. 粉砂质粘土; 10. 泥炭

孢粉组合带: II. 前北方期及北方期(温凉较干); III. 大西洋期(温热潮湿); IV. 亚北方期(温和略湿);
V. 亚大西洋期(温暖湿润)

1) 孟广兰, 1987, 东海长江口晚第四纪孢粉组合及其地质意义。(内部资料)

达 04'—05' 左右, 构成长江口外北西向深槽的西坡, 向东南方呈缓倾斜状。北部为前期三角洲废弃叶瓣, 由西向东南方向伸展, 剖面(图 3 剖面 I-I) 上地形呈缓倾斜, 一般坡度为 01'—02'。Ch₂ 和 Ch₃ 孔显示表层具有 2.5—6 m 左右的细砂和粉砂层, 覆于前期三角洲粘土质沉积物上(图 4), ²¹⁰Pb 测定该区现代沉积速率为零; 显然, 砂层的出现与三角洲废弃后受海洋动力作用的改造有关, 称其为“废弃三角洲”。

建设中的水下三角洲的平面结构(图 2), 依其地貌特征和物质组成, 划分为:

(1) 三角洲前缘。分布于三角洲平原外缘, 由河口水下汉道及水下浅滩堆积组成, 物质成分主要是细砂、粉砂、粘土质粉砂及粉砂质粘土, 构成了水下三角洲顶积层。由于水深浅, 水动力活跃, 堆积及侵蚀作用变化较大, 沙体移动变化快, 地形比较复杂, 地貌分异作用强烈。其外部界线大致在佘山、鸡骨礁、南汇咀外侧一带。

(2) 前三角洲。即由粘土质粉砂及粉砂质粘土组成的水下三角洲的前积堆积体, 是水下三角洲建设向陆架浅海淤进的主体部分。浅地层剖面测量声学图谱显示, 前三角洲呈正地形形态, 超覆于浅海沉积面之上, 前缘海底地形明显变陡。分布范围外部界线位于

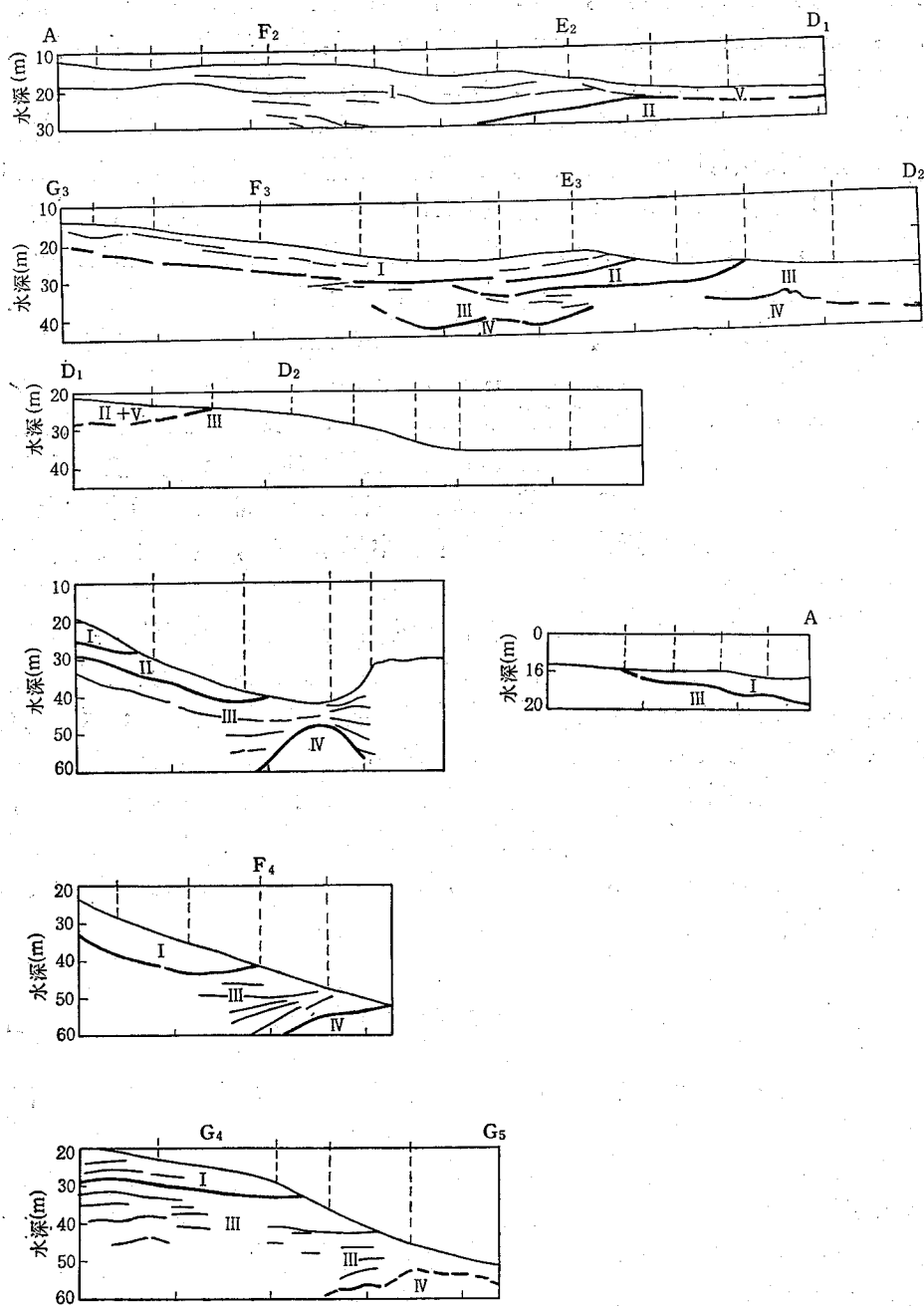


图5 长江口外海区浅地层测量剖面
(测线位置见图1)

I. 三角洲沉积; II. 前期三角洲沉积; III. 浅海沉积(三角洲底); IV. 晚更新世陆相沉积;
V. 三角洲改造相沉积

东经 $122^{\circ}51'$ 水深 40—50 m 附近,外侧即为滨外浅海沉积区。

水下三角洲浅地层结构,在浅地层声学图谱上看出,地层连续性较好,与钻孔揭示的

地层对比(图 4), 明显可见 I, II, III, IV 4 个反射层组(图 5)。每一层组均含若干个反射界面, 反映了三角洲沉积的不均一性。从图 5 可见, 层 IV 出现深度(现代海平面以下,下同)在 40—50 m 以下, 界面反射清晰, 起伏不平, 为更新世陆相沉积古地面。1978 年所获取的浅地层剖面(高明德等, 1982)明显显示, 现北西向深槽当时曾为宽谷, 一般深 65—70 m; 钻孔岩芯中见此层主要由河湖相砂、粉砂及粘土等组成; Ch₂ 孔深 47.6 m 处(古地面下) ¹⁴C 测年为 $19\,460 \pm 750$ 年。层 III 与层 IV 间明显不正合, 层 III 分布广泛, 厚 20—30 m, 显水平层理, 并随古地面地形略有倾斜, 填充于北西向宽谷中; 钻孔揭示由灰色粉砂质粘土夹少量粉砂薄层组成, 为海相沉积; Ch₃ 孔底部滨岸沼泽泥炭 ¹⁴C 测年为 $10\,790 \pm 120$ 年。层 II 主要分布于调查区北部, 为前期三角洲前积层沉积, 剖面中一般厚 10 m 左右, 微倾斜层理发育, Ch₂, Ch₃ 钻孔中见主要为灰色粉砂质粘土与粉砂互层, 其上覆盖层 V 为三角洲废弃后的破坏相沉积。层 I 主要分布于余山岛以南, 为现代水下三角洲前积层沉积, 剖面上见余山岛附近叠置于层 II 之上; 鸡骨礁附近及其以南与层 II 难于区分, 总厚度超过 20 m; 其前部覆于古谷地浅海沉积(层 III)之上, 并构成北西向深槽的西坡, 具倾向海倾斜的层理; Ch₁ 孔中见厚 10 m, 主要由粉砂质粘土、薄层粉砂夹层及互层组成。

3. 水下三角洲的发展趋势 水下三角洲现继续得到长江入海泥沙扩散的补给, 仍处于加积建设过程中。但从水下三角洲前缘海底地形及海流资料分析, 水下三角洲前缘的推进将受 31° N, 123° 30' E 北西向深槽上升流的顶托, 遇到一定障碍; 南部又有嵎泗列岛和马鞍山列岛的屏蔽和阻隔, 入海泥沙将会在岛屿北侧及群岛之间的海湾中落淤; 同时冬季自北而南的沿岸流还将携带泥沙向南继续运移。最近的海岸带调查查明, 南汇咀附近海底也有堆积趋势, 向南增长较快。水下三角洲北部海底的堆积速率处于减缓过程, 废弃三角洲海区已出现冲刷和改造。因此, 水下三角洲的堆积作用, 今后主要向南部偏移和增强。

二、长江口外海区海水中的悬浮体

长江口外海区的泥沙大多以悬浮的方式运移、沉积。海水中悬浮体的变化情况基本上反映了长江入海泥沙的扩散运移状况。现以 1986 年 1 月及 1986 年 7 月的含量与分布为例, 分别研究冬季枯水季节和夏季洪水季节的基本状况。

1. 悬浮体的含量与分布 夏季, 如 1986 年 7 月(图 6), 大致在水深 15—25 m 等深线附近, 表层水中有一条含量为 10 mg/L 的等值线, 呈北西-南东走向, 将调查区分为东、西两部分。此线以西(靠河口一侧)悬浮体含量较高, 鸡骨礁西高达 559 mg/L; 等值线围绕长江口呈舌状向东突出, 南汇咀附近沿海含量也较高, 多大于 40 mg/L。底层水中悬浮体含量普遍较表层高, 25, 50, 100, 250 mg/L 等值线亦呈北西-南东走向, 互相大体平行, 含量自西向东递减; 在杭州湾口北部有高含量区, 最高含量达 1578.3 mg/L, 向东北方向递减。

冬季, 如 1986 年 1 月(图 6), 悬浮体含量在 20 m 水深附近仍然是一条明显的界线。其西含量高(表层 > 20 mg/L, 底层 > 100 mg/L), 其东含量低。高含量区出现在鸡骨

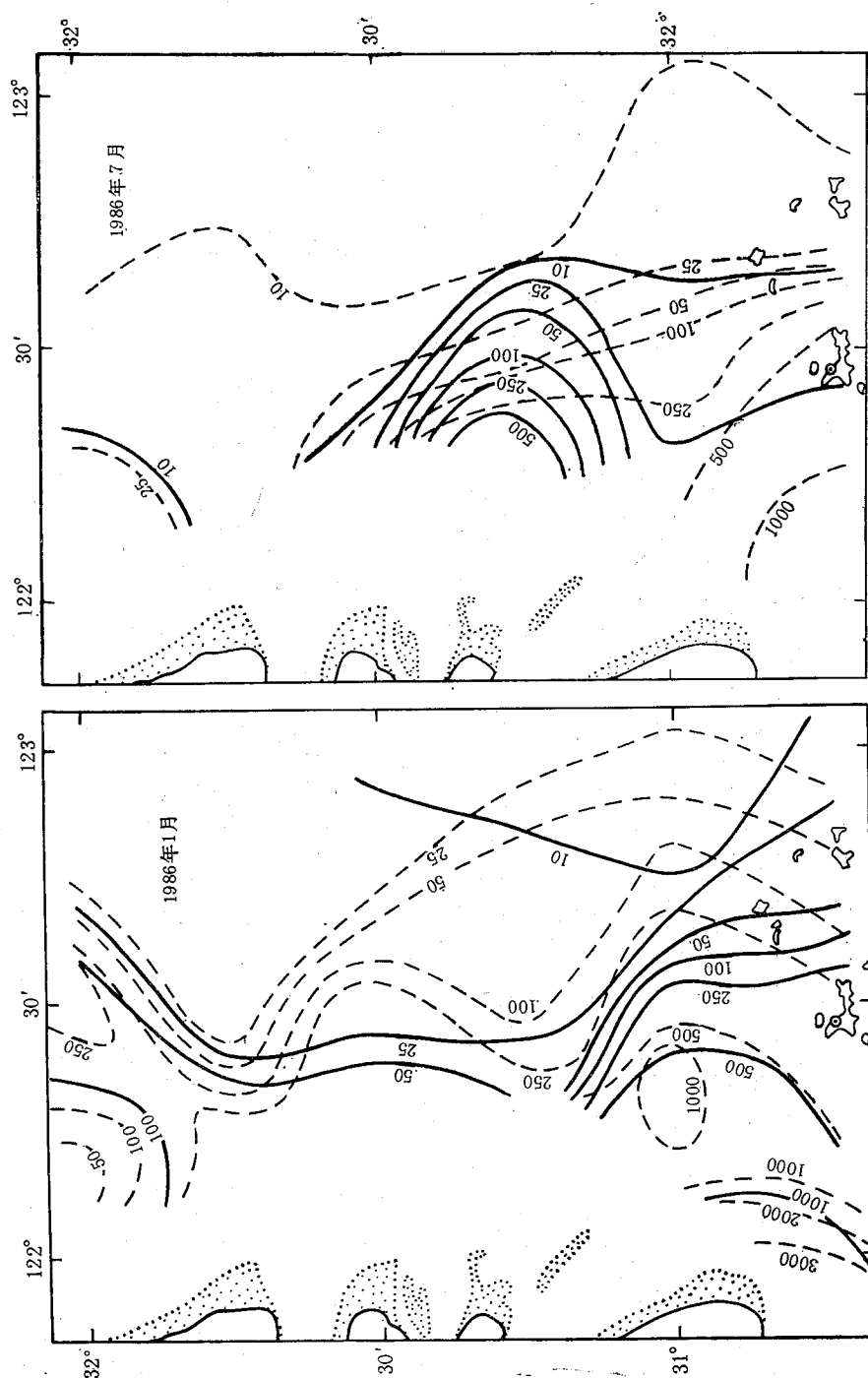


图6 长江口外海水悬浮体含量 (mg/L) 分布

礁以南,以杭州湾北侧含量最高,南汇咀附近沿海底层含量可高达 3 366 mg/L。调查区西北角也存在一较高含量区,多在 50 mg/L 以上。表层与底层水中悬浮体的分布形势相似,而底层含量均高于表层。

从上述可见,无论表层或底层,悬浮体含量均是冬季高于夏季,即使夏季含量低于 10 mg/L 的水深较大海域,在冬季也都高于此值。据对表层沉积的分析研究,冬季浮泥层厚度较夏季明显减小,粒度变粗,表明冬季悬浮体含量增高是海底沉积物在风浪作用下重新悬浮的结果。另外,从上述分布形势还可看出,长江口海域悬浮体的含量与分布除受长江入海泥沙的直接影响外,还与长江口南侧毗邻潮差很大的杭州湾有关。潮水涨落在杭州湾口海底掀起的泥沙使水中悬浮体含量大增,其中一部分向东北侵入长江口外海区,也在这一海域造成悬浮体的高含量区。

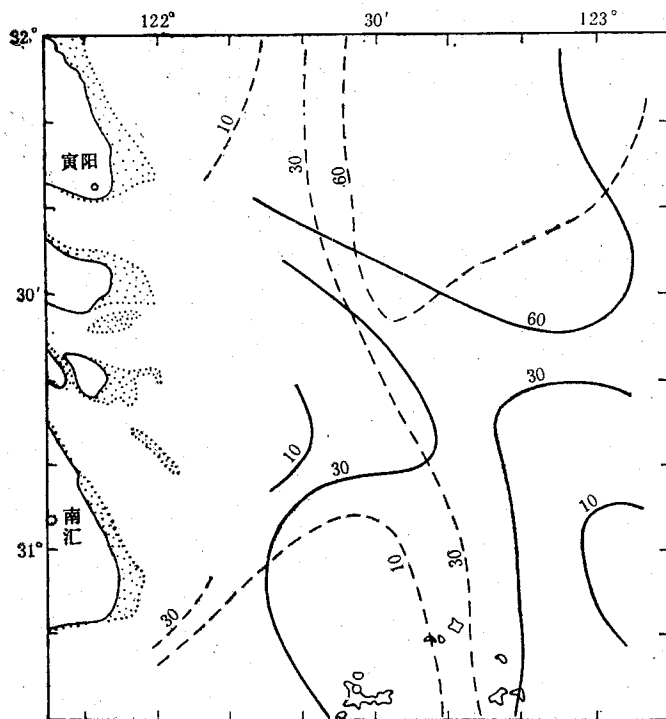


图 7 1986 年 7 月悬浮体烧失量(%)分布

——表层; -----底层

2. 悬浮体的物质组成与分布 为了研究悬浮体的物质组成,对 1986 年 7 月表、底层悬浮体作了烧失量和烧失残渣化学成分分析。主要结果如下。

(1) 烧失量 表层悬浮体烧失量(灼烧温度 500℃, 图 7)在河口及鸡骨礁附近较低(<30%), 30% 等值线在 122°30' E 线左右呈反“S”形延伸,其东较高,至北东向深槽又降至 30% 以下。调查区北部(31°30' N 以北,下同)各站烧失量普遍很高, 60% 等值线围绕此区由西北向东南呈舌状分布。调查区南缘岛屿分布区各站变幅大。底层悬浮体烧失量(图 7)在长江南槽口外及嵎泗列岛北侧出现低值区(<10%)。 30% 等值线大

体平行于 25 m 等深线。其西含量较低,其东较高,北东向深槽在 30—50% 之间。调查区南缘变幅大;北部有大片高值区,60% 含量等值线围绕此区在 $122^{\circ}30'$ — 123° E 之间形成南伸的舌状。

悬浮体烧失量与其中生物有机物的量成正比,与无机物量成反比,其低值区的分布和变化基本上反映了陆源物质向海扩散的情况。从表、底层悬浮体烧失量低值区在长江口外的分布与变化可看出,长江入海悬浮泥沙主要分布于前三三角洲地区,与悬浮体含量的变化情况一致,烧失量向外的增高表明有大量浮游生物加入。

(2) 悬浮体的化学成分

1) 铝: 悬浮体中铝的含量(图 8), 在 $31^{\circ}30'$ N 以北, 除近岸浅水区可达 5% 以外, 均小于 2.5%; 在其南除花鸟山附近表层小于 2.5% 外, 均大于 2.5%; 且底层略高于表层。鸡骨礁附近表、底层含量都超过 10%, 等值线呈舌状向海递减。

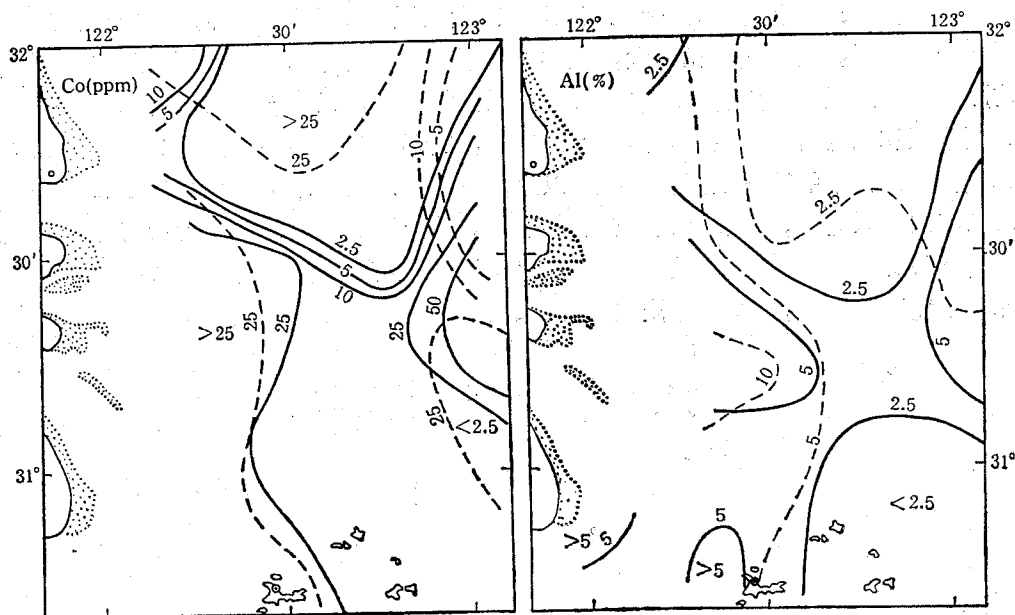


图 8 1986 年 7 月悬浮体中 Al, Co 的含量分布

——表层; -----底层

2) 钴: 含量分布形势与铝相似, 仍大致以 $31^{\circ}30'$ N 为界, 其北, 表层含量小于 2.5 ppm, 底层含量较表层高, 在 15—26 ppm 之间; 其南, 表、底层变化不大, 一般在 15—30 ppm 之间, 近岸浅水含量较高。另外, 北东向深槽以东表、底层含量均有增高的趋势。

3) 钙、镁、铁: 悬浮体中三者含量在整个调查区较为均匀。钙为 1—2%, 个别站位略高或略低于此, 呈不规则的斑块状分布。铁为 1—2%, 无论表层或底层都以河口区附近较高 (>2%), 调查区东缘中段含量较低 (<1%), 其他海域介于此二值之间。镁与铁相近, 在 1—3% 之间, 表层在 $30^{\circ}30'$ N 以南的前三角洲范围内大于 2%, 其余均小于此值; 底层 2% 的等值线在深槽西坡呈北东向走向, 西高东低。

3. 悬浮体与沉积物的来源 据对悬浮体的物质组成及含量分布的分析,长江口外海区沉积物按物质来源可分为3个不同的物源区。

(1) 河口区: 悬浮物质几乎全部来自长江,并与杭州湾发生部分沉积物交换。这里悬浮体浓度高,季节性变化大,夏季高浓度区围绕长江河口分布,冬季南移靠近舟山群岛北侧。夏季悬浮体中无机组分多在40%以上,近河口处可达90%。地球化学组分中钴和铝的含量高,大于15 ppm和2.5%,且表、底层变化不大,底层略高于表层。该区东界至 $122^{\circ}40' E$,北界在 $31^{\circ}30' N$,覆盖整个前三角洲地区。

(2) 北部区: 悬浮体浓度较河口区低很多。冬季悬浮体浓度可比夏季高数倍至数十倍。夏季表层悬浮体中无机组分均在40%以下,有大量浮游生物加入;底层水悬浮体中无机组分增加,可超过40%,这与海底冲刷作用有关。铝和钴的含量较河口区低;特别是钴,在底层中的含量与河口区几无多大差别,而表层的含量远低于河口区,在2.5 ppm以下,这也反映底部冲刷对悬浮体的影响。二者均有自西北向东南增高的趋势。

(3) 外海区: 位于河口区及北部区以东(大致以 $122^{\circ}50' E$ 为界)深度较大的海域,悬浮体含量很低,表、底层变化不大,底层略高于表层。南部北西向深槽受到北上台湾暖流的冲刷作用及长江向海扩散悬沙的影响,悬浮体中无机组分含量较高,在70—60%以上。夏季铝和钴的含量在调查区内接近河口区,且有向东增加的趋势。北部地形较平坦,有机质在悬浮体中的比重很高,占60%以上,烧失量最高可达98%;铝和钴的含量介于河口区与北部区之间,有表层大于底层的趋势。从表层水中铝和钴的含量与河口区相似来看,长江入海悬浮物质可扩散至这个地区;但从底层含量低这一情况分析,长江带来的悬浮沙不能在此沉积,只能随冲淡水向外扩散。

三、长江口外海区沉积物的特征与分布规律

1. 沉积物的类型和分布 1985年9月(洪水季节)和1986年1月(枯水季节)两次底质调查及室内粒度分析的结果表明,长江口外海区沉积物随季节、入海泥沙和海洋动力因素的改变而具有比较复杂的变化,浮泥的变化尤为突出。为确切地反映长江口外海区沉积物的特征和分布规律,底质图的编制主要以浮泥下伏(当浮泥厚度小于10—20 cm时)的沉积物为依据。

底质图(图9)显示,现代长江口(南支)外水下三角洲前三角洲沉积物主要为细粒粘土质粉砂和粉砂质粘土;外围出现较粗的砂-粉砂-粘土沉积带;再向外海为大陆架残留砂;启东咀外分布废弃三角洲(前期水下三角洲)经改造后形成的泥质和砂质沉积物。

(1) 现代前三角洲沉积 分布于 $31^{\circ}30' N$ 以南,水深小于50 m的浅水区,其东及东北边缘覆盖并掩埋长江口外北西-南东向古谷地的西部,构成现今北西-南东向深槽的西南坡,南抵舟山群岛,与浙闽近岸浅海泥质沉积带首尾相连。沉积物主要是灰黄、灰褐色粉砂质粘土和粘土质粉砂,偶夹薄层粉砂,肉眼不见层理成块状构造。X射线照相可见明显的微细水平层理,含少量贝壳碎屑,表面常有灰黄色浮泥,是由长江入海水流带入的大量悬浮物质沉积而成。

1) 粉砂质粘土: 分布于长江口以东,一直延伸至深槽西坡水深50 m处,直接由长江

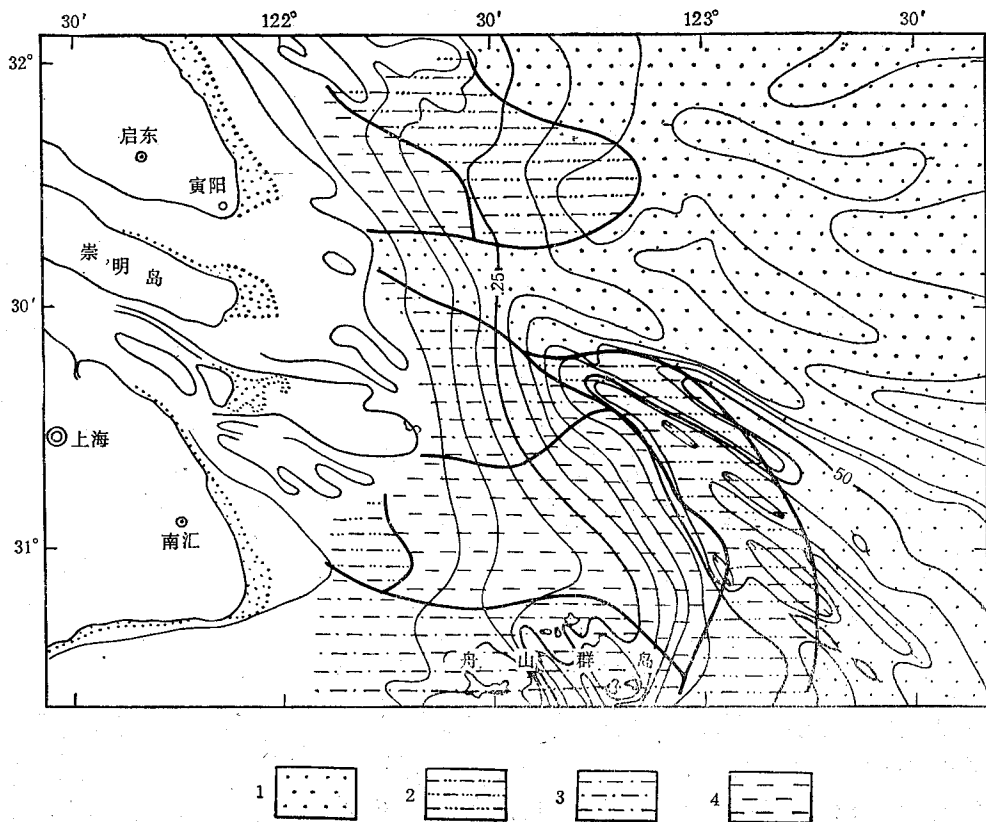


图9 长江口外海区底质图

1. 细砂; 2. 砂-粉砂-粘土; 3. 粘土质粉砂; 4. 粉砂质粘土
等值线为水深 (m)

带入的悬浮泥沙沉积, 颗粒组成较细, 沉积速率高。沉积物中粘土 ($> 8 \phi$) 含量 50—60%, 粉砂 ($4-8 \phi$) 34—49%, 砂含量很低, 一般小于 2%, $Md_{\phi} = 8.0-9.0$, 分选差, $QD_{\phi} = 1.7-2.5$ 。粒径频率曲线 5—7 ϕ 间有不明显的峰。此外, 在水深小于 5 m 区域的水下河道有较粗粒的砂-粉砂-粘土沉积物。

2) 粘土质粉砂: 出现在前述粉砂质粘土南北两侧, 北侧分布面积较小, 南侧广布于舟山群岛一带。沉积物中粘土粒级含量为 33—49%, 粉砂含量明显增高, 为 47—60%, 砂含量一般小于 3%, $Md_{\phi} = 6.5-8.0$, 分选中等, $QD_{\phi} = 1.5-2.1$ 。粒径频率曲线上 5—7 ϕ 间有一缓峰。

(2) 砂-粉砂-粘土沉积 分布于北西-南东向深槽, 处于前三角洲粘土沉积与残留砂之间。一般呈灰黄、灰褐色, 含少量贝壳碎屑, 表面无浮泥, 常散布一些贝壳碎片, 虫迹及水流冲刷形成的坑凹痕迹常保留完好; 沉积物含水量较前三角洲粘土沉积明显减小。沉积物中粘土、粉砂和砂的含量因地而异, 一般粘土含量 23—41%, 粉砂 22—52%, 砂 22—55%, Md_{ϕ} 在 3.7 与 6.9 之间, 分选中等, $QD_{\phi} = 1.8-3.3$ 。粒径频率曲线砂粒级部分常具明显的峰, 众数为 2—3 ϕ , 频数可达 20—40%, 且具有一定的分选性。(图 10)

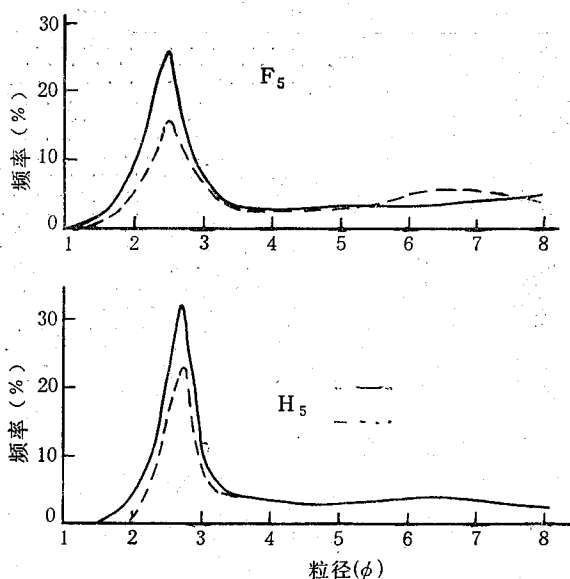


图 10 砂-粉砂-粘土的粒径频率曲线

——1985年9月; -----1986年1月

从地形地貌上分析,现北西-南东向深槽底部属浅海环境,在前三角洲还未推进到这里时已接纳浅海粘土质物质沉积。现今前三角洲沉积物仅掩盖了深槽的西部,使深槽宽度变窄,但未能改变其沉积环境。沉积速度极为缓慢,并伴随相当程度的冲刷作用,表层沉积物被粗化。另外,还可能有少量大陆架残留砂顺东坡向槽内搬运,使沉积物中砂含量增高,分选集中,而与常见的分选差、具多峰分布特征的混合砂-粉砂-粘土沉积物有明显差异。

(3) 废弃三角洲沉积 出现于 $31^{\circ}30'N$ 以北,启东咀外水深小于 25—30 m 区域,可分为南北两个部分:北部自西向东依次为粉砂质粘土,砂-粉砂-粘土;南部在北支口外为细砂,呈东西向分布,东端与陆架残留砂相连。沉积物一般为灰色和青灰色,冬、夏季表层常盖有浮泥,其厚度经常变化,夏季有时可厚达 10—20 cm。

根据 ^{210}Pb 沉积速度测定资料,该区沉积速度等于零。说明尽管有浮泥分布,但不能形成固定的沉积物。钻孔(见图 4 Ch_2 , Ch_3 孔)资料证实,细砂下伏为前三角洲相粘土质沉积(时代属全新世),虽然它在分布上与陆架残留砂相连,但并非海进时形成,而是前期三角洲废弃后在海洋动力条件下被改造而成。目前,长江口北支几被淤塞,向海泄流极少,出现潮流倒灌,因而在其形成过程中潮流的冲刷分选作用可能也是一个重要的因素。

(4) 陆架残留砂沉积 分布于水深大于 30—50 m 的广大海域。残留砂由中砂和细砂组成,砂的含量在 80% 以上,部分测站几乎不含小于粉砂粒级的物质,粉砂及粘土的含量一般小于 10%; $Md_{\phi} = 1.4-2.7$, 分选好, $QD_{\phi} = 0.2-1.2$, 正、负偏态分布均有, $SK_{\phi} = -0.5-0.8$, 大多数近正态分布。接近浅水区的残留砂中,含大量贝壳碎片,含量 2.9—44.5% 不等,向外含量减少。粒级频率分布曲线在 1—3 ϕ 间出现明显的尖峰,频数达 30—60%。

很多研究(杨光复等, 1980)表明残留砂是冰后期海侵过程中形成的滨海沉积, 海侵后基本上不受陆源碎屑沉积物的影响, 长江入海泥沙现在也很少影响这个地区。

2. 表层沉积物中的重矿物及其分布特征¹⁾

(1) 重矿物的含量与分布特征 重矿物含量分布(见图 11)与底质图相对照, 可清楚地看出它与沉积物类型关系非常密切, 高值(>5%)区基本与残留砂的分布一致, 最高含量可达 16.7%, 平均 10.0%; 长江口外前三角洲粘土沉积物和启东咀外泥质沉积物中的含量低, 一般不超过 2%; 深槽中砂-粉砂-粘土和粗细沉积物交界处的含量居中, 一般为 2—4%。

区内出现的重矿物主要有普通角闪石、绿帘石、钛铁矿、磁铁矿和片状矿物; 次为柎榴石、辉石、楣石、磷灰石、锆石、电气石等; 蓝晶石、十字石含量很低; 另外还有一些仅在个别站位出现, 其中自生黄铁矿对指示沉积环境具有特别重要的意义。详见表 1。

表 1 主要重矿物含量(颗粒%)

分区	含量	角闪石	金属矿物	片状矿物	绿帘石	辉石	柎榴石	磷灰石	锆石	楣石	自生黄铁矿		稳定系数
											粒状	充填	
全区	$\bar{X}$	35.6	19.5	18.5	15.5	2.6	2.3	1.0	0.7	1.2			0.8
	δ_x	6.8	10.0	2.0	6.2	0.6	1.8	0.4	0.6	0.6			0.5
I 区	$\bar{X}$	33.6	6.0	47.2	7.8	2.6	0.5	0.4	0.06	0.4			0.1
	Max	58.1	13.5	68.8	18.6	6.3	1.3	1.1	0.2	1.0			0.4
	Min	17.1	0.8	2.9	3.3	1.2	0	0	0	0			0.05
II 区	南部	$\bar{X}$	28.5	26.5	22.9	11.2	1.4	0.4	0.7	0.2	0.8	✓	1.5
	北部	$\bar{X}$	55.0	7.6	3.6	23.9	3.6	1.5	1.6	0.2	1.5	✓	0.2
III 区	$\bar{X}$	35.1	28.7	1.1	20.4	2.8	4.3	1.3	1.3	1.8			1.1
	Max	44.5	54.6	5.5	28.2	5.3	6.2	2.0	3.3	3.0		✓	3.6
	Min	21.3	16.8	0	17.5	1.7	3.0	0	0.6	0.8			0.6

注: (1) 表中“金属矿物”系指磁铁矿+钛铁矿; “片状矿物”指云母+绿泥石; “稳定系数”系指稳定矿物与不稳定矿物比值。

(2) $\bar{X}$, 平均值; δ_x , 标准偏差; Max, 最大值; Min, 最小值。

(3) ✓表示出现于个别站位。

1) 普通角闪石在调查区内无明显变化; 具不同色调的绿色, 呈长柱或短柱状; 是区内平均含量最高(35.6%)的矿物, 其含量变化于 17—58% 之间。

2) 绿帘石呈黄绿色或几乎无色, 外形呈不规则粒状, 表面较光亮。其含量在长江口外除南槽口附近较高(G 站, 平均 18.6%)外, 前三角洲其他地区小于 8%, 前三角洲以外的地区大于 10%; 残留砂中分布比较均匀, 为 12—28%。

3) 片状矿物主要包括黑云母和绿泥石, 大部分因风化呈现褐黄色片状或书页状, 部分为绿色鳞片状, 棕色云母少见, 全区平均含量为 18.5%。片状矿物易于随水漂移, 对水动力的变化非常敏感, 其分布特征与沉积物类型、沉积环境关系极为密切。粘土质沉积物中片状矿物含量最高, 一般 40—50%, 最高 68.8%; 深槽砂-粉砂-粘土沉积物分布地带,

1) 分析粒级 0.125—0.063 mm, 重液比重 2.89。

由于水流冲刷作用,含量明显减少,一般只 20% 左右,最高不超过 30%;残留砂中含量最低,不超过 6%。从浅水至深水,片状矿物形成 3 个含量显著不同的分布带,相互间构成鲜明对照。

4) 金属矿物主要包括钛铁矿、磁铁矿、白钛石和褐铁矿,占重矿物的 20% 左右;分布趋势与片状矿物相反,与重矿物含量的分布相似;残留砂中含量最高,一般 20—30%;最高 54.6%,其他沉积物中小于 8%。

5) 稳定矿物与不稳定矿物含量比值¹⁾的高值区与残留砂和深槽中砂-粉砂-粘土的分布范围基本一致,最高比值为 3.6,一般均大于 0.5,反映这些沉积物经过了较长时间、较充分的分选或改造。近岸及前三三角洲粘土质沉积物稳定矿物含量低,比值降至 0.1—0.4 之间。

6) 自生黄铁矿成球粒状或充填有孔虫,数量少,但能充分反映沉积环境的变化。主要出现在启东咀外废弃三角洲沉积物和深槽砂-粉砂-粘土沉积物中,后者的含量可达 7.3—11.3%。自生黄铁矿的出现,表明它们曾处于封闭的还原环境,现遭受冲刷改造,黄铁矿被冲出,残留于表层沉积物中。另外,在残留砂分布区的个别站位也有发现,但前三

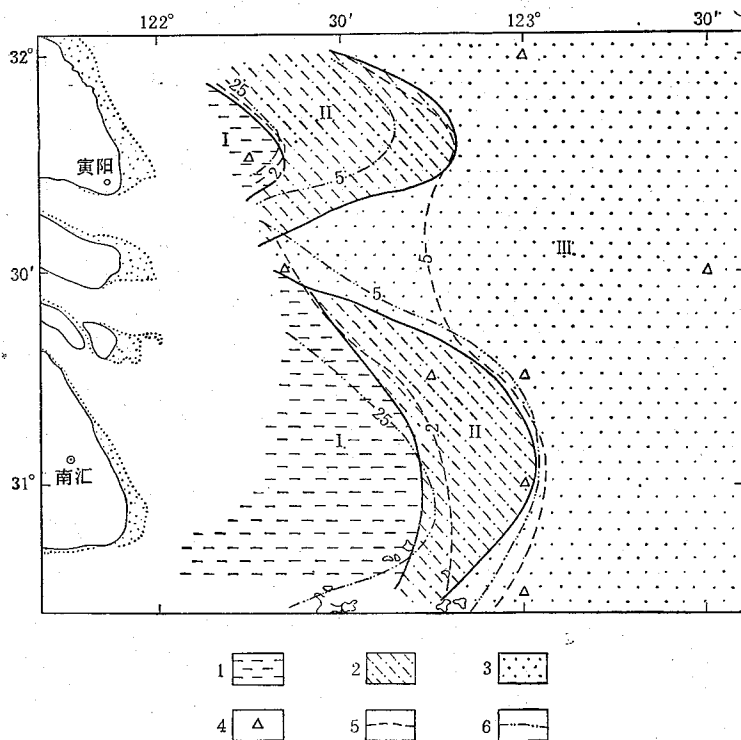


图 11 长江口外海区重矿物组合分区

1. 片状矿物区 (I); 2. 过渡区 (II); 3. 金属矿物区 (III); 4. 自生黄铁矿出现站位; 5. 重矿物含量(%); 6. 片状矿物含量(%)

1) $\frac{\text{稳定矿物}}{\text{不稳定矿物}} = \frac{\text{钛铁矿} + \text{榍石} + \text{锆石} + \text{金红石} + \text{电气石} + \text{独居石}}{\text{普通角闪石} + \text{辉石} + \text{云母}}$

角洲粘土沉积物中没有出现。

(2) 重矿物组合分区 根据区内各种重矿物的分布及组合特征,可划分为下列几个矿物区(图 11)。

I. 片状矿物区: 区内重矿物含量低,富含片状矿物,稳定矿物含量低,并含有角闪石、辉石等,分布于长江口外前三角洲地区和启东咀外。长江口外前三角洲地区出现的片状矿物风化程度低,含有一定数量的新鲜云母,不含黄铁矿,它们的沉积直接与长江入海物质的沉积有关。随季节的不同,区内表层沉积物中,特别是浮泥层中重矿物的含量变化较大。其中易于随水漂移的片状矿物冬季含量明显减少,柱状及粒状矿物则有增加,这在 1985 年 9 月采集的表层沉积物的上、下层样品中得到了明显的反映(表 2);对 1986 年 1 月采集的表层沉积物的观察也得到了证实。启东咀外($31^{\circ}30'N$ 以北)云母风化程度高,多呈褐黄色片状或厚板状,针刺即碎,同时还有自生黄铁矿出现,反映这里的沉积物曾处于还原环境,经历过较长时间的海底风化及冲刷作用。

表 2 几种主要重矿物在表层沉积物上、下层中的变化(%)

站 位		角闪石	绿帘石	辉石	片状矿物
G ₃	上层	34.1	7.3	1.7	40.1
	下层	59.3	12.7	6.9	13.1
H ₂	上层	45.0	4.9	2.1	41.8
	下层	61.0	8.5	2.9	18.0

II. 过渡区: 分布于 I 区外侧与 III 区之间,矿物组合上具有 I 区与 III 区的特点,可分为南、北两个亚区(见表 1)。北部角闪石含量高(平均 55%),绿帘石和云母的含量接近于 III 区,但金属矿物含量和稳定矿物与不稳定矿物比值与 I 区相近。南部几种主要矿物如角闪石、绿帘石、片状矿物、金属矿物的含量均介于 I 和 III 区之间,常含有较多的自生黄铁矿。总的看来,北部接近于 III 区,南部接近于 I 区,这与它们的沉积环境密切相关。北部是以残留砂和废弃三角洲改造沉积为基础,来自苏北的泥沙在此暂时沉积时常与其相混,因而在 III 区矿物组合上叠加了 I 区的某些特征。而南部主要处于北西向深槽,槽内主要出露浅海沉积,长江入海物质为其主要物质来源,同时,残留砂的向陆搬运也提供了一定数量的物质,因而它具有 I, III 区的一些特点。

III. 金属矿物区: 此区以钛铁矿、磁铁矿为代表,平均含量 28.7%,最高达 54.6%;重矿物含量在调查区内也属最高;另外,还有较多的柘榴石、榍石和锆石;稳定矿物与不稳定矿物含量比值大于 1;片状矿物含量极低,一般不超过 5.5%。分布于现代陆源碎屑物质不能到达或不能沉积的残留砂分布区。

3. 表层沉积物中的粘土矿物 从 15 个站位(不包括残留砂)选取的 21 个样品中分离小于 0.002 mm 粘土粒级,经 X 射线衍射分析的结果表明: 区内所含粘土矿物以伊利石为主,次为高岭石、蒙脱石、绿泥石,另外还有少量石英和方解石,它们之间的相对含量和分布有如下特点。

(1) 伊利石平均含量 71.9%,变化很小,标准偏差仅 1.02;水深小于 25 m 的近岸

区略高,一般大于70%,由此向外小于70%,而不低于68%。

(2) 高岭石平均含量9.2%,在5.8—12.4%之间变动。长江入海口附近水深小于10 m区域含量较高,大于10% (10—12%),向外逐渐减小;启东咀外浮泥中含量低,不超过10%,一般8—9%,但其下伏的沉积物含量高(10—11%),接近长江入海口附近的含量。

(3) 蒙脱石平均含量6—8%,前三三角洲和启东咀外废弃三角洲地区一般在8%以下,平均6%左右,最低4%;深槽砂-粉砂-粘土沉积物和前三三角洲边缘均在平均值以上,约8—11%。

(4) 绿泥石平均含量12%,在6—16%之间,分布规律不明显。南汇咀外浮泥层以下含量可达15—16%,启东咀外个别站位可达15%左右。

通常高岭石具有较大的晶体,蒙脱石粒度较细,二者在搬运、沉积过程中显现明显的分异。从它们的分布形势可看出:(a) 启东咀外浮泥下伏沉积物高岭石含量与现河口附近含量相近,表明该处曾处于与后者相近的沉积环境;(b) 深槽和前三三角洲边缘蒙脱石含量高于区内其他地区,并处于孤立状态。这进一步说明该区沉积物属浅海沉积,不与现长江入海物质构成完整的分异系列,相反,其冲蚀物还能被上升流沿深槽西坡带至前三三角洲边缘。

四、长江口外海区沉积环境与沉积过程

1. 洪季与枯季浮泥的分布规律与沉积特征 长江输入海洋的大量泥砂进入河口段后,除在咸淡水交互作用下在河口及三角洲前缘沉积部分外,大量粘土及粉砂物质呈悬浮状态向口外扩散,前三三角洲地区是这些物质的主要沉积地。当其从海水中沉淀到海底时,呈现为含有大量水分的浮泥形式,它们易受风浪和流的作用重新悬起,再次被运移和沉积。研究浮泥的分布及沉积特征的变化规律,对阐明调查研究海区内的现代沉积作用和泥沙的搬运、沉积具有重要意义。

(1) 洪季浮泥的分布及沉积特征 长江入海泥沙量通常与水量成正比。长江洪水季节(6—10月)入海水量占全年的56.4%,沙量占77.7%,大量泥沙输入河口水域,并在前三三角洲地区沉积大量浮泥。1985年9月调查结果,浮泥的分布及沉积物类型如图12。

1) 分布与厚度: $31^{\circ}30'N$ 以南的前三角洲地区是浮泥的主要沉积区,分布范围大东界基本上与25—30 m等深线的走向一致,于 $31^{\circ}30'N$, $122^{\circ}30'E$ 处折向西北,范围缩小。南槽口、北槽口外厚度最大,可超过15 cm,向外逐渐减薄,等厚线围绕河口呈弧形向东突出。舟山群岛附近一般均小于2 cm。北部崇明岛东水深10 m左右地区厚层浮泥集中分布于一个不大的区域,呈舌状向东突出,最厚处亦超过15 cm,向外渐薄。另外启东咀外浮泥分布于水深25 m以浅的地区,10 m水深处厚10 cm左右,呈舌状向东偏南方向伸出。总的看来,浮泥具有自北向南分布范围扩大,自南向北、自西向东淤积厚度渐薄的变化趋势。

2) 沉积物类型及粘土含量的变化: 从图12可看出,自南槽口向东浮泥粒度最细,属

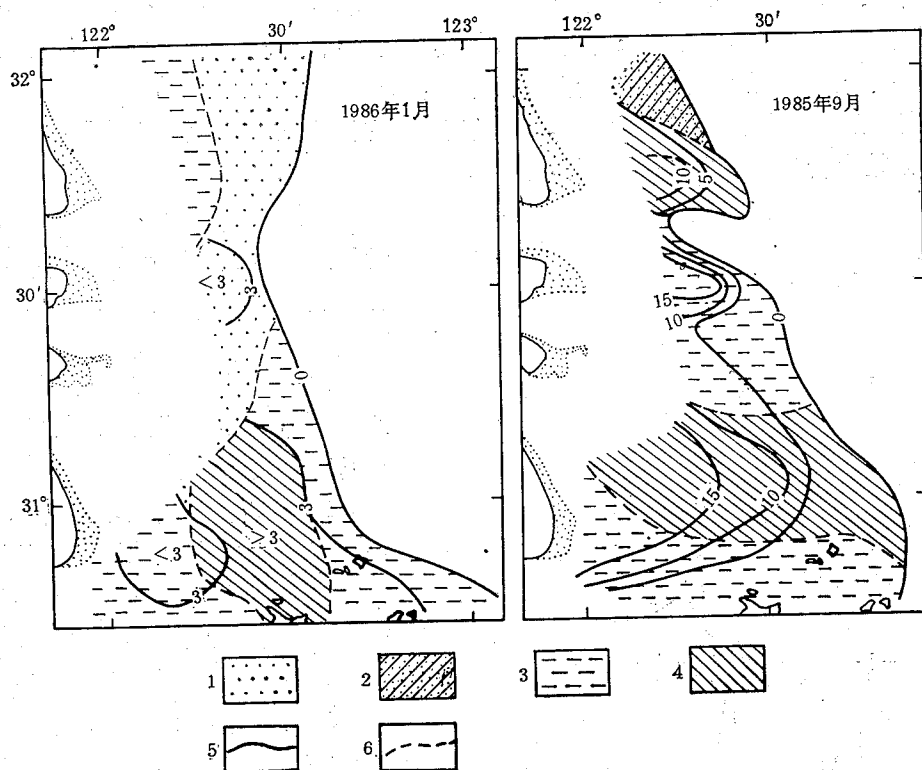


图 12 浮泥沉积物类型及厚度

1. 粉砂质砂； 2. 砂-粉砂-粘土； 3. 粘土质粉砂； 4. 粉砂质粘土； 5. 浮泥等厚线 (cm)； 6. 沉积物类型界线

粉砂质粘土, 粘土粒级的含量 50% 左右, 厚度最大的南槽口外含量达 58—61%; 在其两侧粘土含量减少, 仍在 40—50% 之间, 过渡为粉砂质粘土, 北侧至崇明岛东含量逐渐减至 20—40%。启东咀外浮泥粘土含量也超过 40%, 属粉砂质粘土。调查研究区的最北端出现由粉砂质砂组成的浮泥, 其粘土含量在 20% 左右。

(2) 枯季浮泥的分布及沉积特征 冬季长江入海水量及砂量明显减少。冬季东北和西北风形成的风浪和潮流将夏季沉积的浮泥重新悬起, 再搬运, 再沉积, 浮泥的分布及粒度组成都发生了巨大变化(见图 12)。

1) 分布与厚度: 与夏季比较, 分布范围在北部启东咀外向深水区扩展至水深 25 m 处, 在 $31^{\circ}30'N$ 南向岸回缩至 20 m 等深线附近; 在舟山群岛北向东扩展至水深 40—50 m 处。绝大部分地区厚度减薄至 5 cm 以下, 仅崇明岛东及南槽口外 10—15 m 水深处较厚, 约 5 cm, 但仍较洪季减少了 5—10 cm; 其他地区均在 3 cm 以下, 唯舟山群岛北厚度普遍增加 2—3 cm, 达 5 cm 左右。冬季总的趋势是大面积减薄, 浮泥的向南运移使舟山群岛附近增厚, 并呈南北向条带状分布。

2) 沉积物类型及粘土含量的变化: 冬季浮泥粒度变粗。鸡骨礁北出现砂质粉砂及粉砂质砂, 呈南北向条带分布, 粘土粒级的含量低于 20%。从它们的粒径频率曲线(图

13) 可看出: 北部 ($31^{\circ}40'N$ 以北) 浮泥扩大区的 C_2 , D_2 站有粉砂和粘土物质加入, 砂的含量相对减少, 曲线呈现双峰; 南部的 E_2 , F_2 站因浪和流的作用遭受冲刷, 细粉砂和粘土被移去一部分, 砂和粗粉砂的含量相对集中, 曲线呈现具有一定分选性的粗端尖峰。鸡骨礁南粉砂质粘土的分布范围缩小, 并向南延伸至舟山群岛。此外, 启东咀外水深小于 20 m 地区粘土含量也减少, 出现粘土质粉砂。

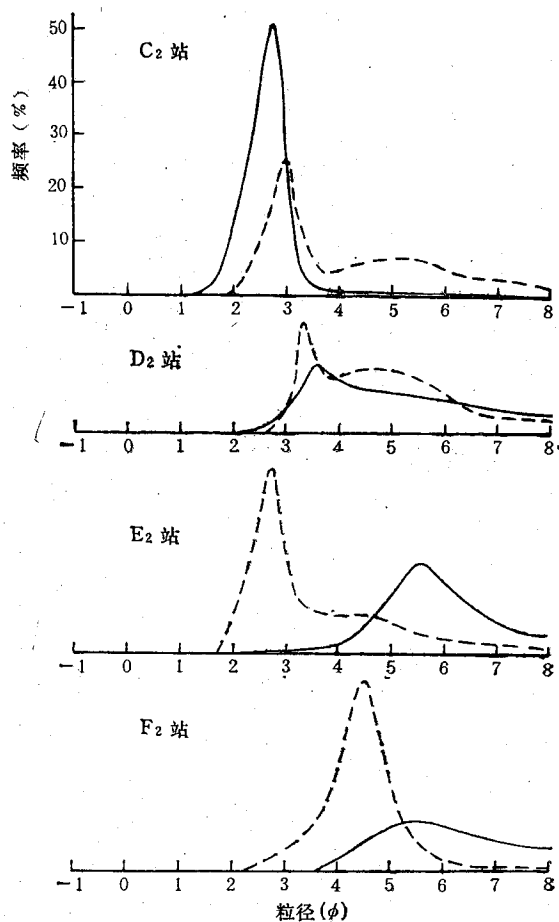


图 13 浮泥粒径频率曲线

——1985 年 9 月; ----1986 年 1 月

(3) 洪季与枯季浮泥分布及粘土含量的变化规律 比较洪(夏)季、枯(冬)季浮泥的分布及粒度的变化, 可得出下列几点认识。

1) 浮泥的分布范围除调查区南北两端冬季大于夏季外, 大部分地区均是夏季大于冬季。

2) 浮泥的厚度夏季呈现东西向分布形势, 以南槽口附近、北支口外及启东咀外最厚, 呈舌状突出; 冬季呈现南北向条带分布, 除舟山群岛附近增厚外, 其他地区均减薄。

3) 夏季浮泥的粒度组成基本与厚度分布形势一致, 即厚度大的地方粒度细, 粘土含量高。冬季, 北部及近岸浅水区发生粗化, 舟山群岛附近变细, 粘土含量增加, 其变化情况参见图 14。

4) 洪水季节大量泥沙输入, 是浮泥的主要沉积期, 浮泥分布形势与入海冲淡水的形势基本一致。冬季为已沉积的浮泥再悬浮、再搬运、再沉积的时期, 大部分地区遭受冲刷, 厚度减薄, 粒度变粗, 向南运移, 使舟山群岛附近浮泥增厚、变细, 部分还向南运移至闽浙近岸浅海。

2. 长江口外海区沉积作用分区 上述浮泥分布及粒度变化情况反映了长江口外海区现代沉积作用的基本状况, 结合沉积物的分布特征和有关 ^{210}Pb 沉积速率和 ^{14}C 年代测定资料 (中美长江口联合调查, Su Xianze *et al.*, 1983; You Kanyuan, 1983), 可将研究区划分为 4 个区 (图 15)。

I. 高速沉积区 处于南槽口外鸡骨礁以南至舟山群岛, 前三三角洲水深小于 30 m 地区, 沉积物主要为粉砂质粘土及粘土质粉砂。长江输入的大量泥沙在此沉积, 形成厚层浮泥; 冬季入海泥沙减少, 出现冲刷, 重新悬起的泥沙南移使舟山群岛北侧浮泥增厚, 部分

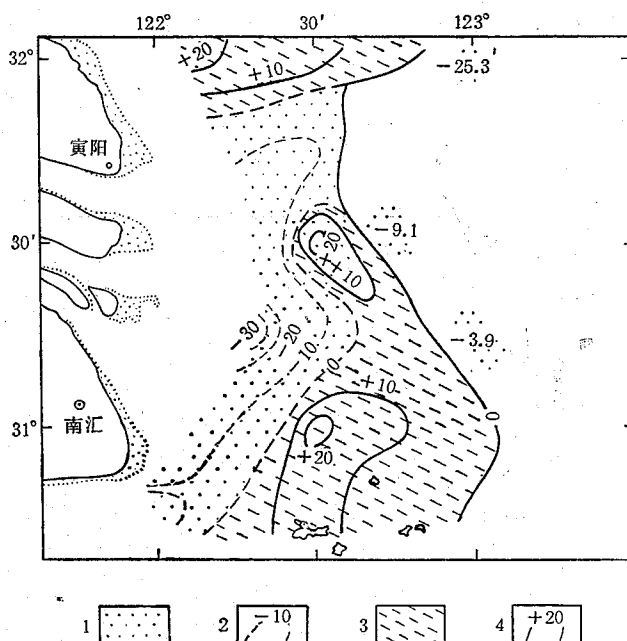


图 14 冬季(1986年1月)与夏季(1985年9月)表层沉积物中粘土(粒径 $>8\phi$)粒级含量变化[冬季粘土含量(%)—夏季粘土含量(%)]

1.变粗; 2.粘土减量(%); 3.变细; 4.粘土增量(%)

还随南下的闽浙沿岸流向南运移。该区是长江口外沉积速率最高者,经 ^{210}Pb 测定,南汇咀东,水深小于 20 m 区域沉积速率为 2—5 cm/a 左右。沉积物外观不见层理, X 射线照相能见到清晰的层理,层厚 2—4 cm; 向东随水深的增加沉积速率降低,在水深 30—40 m 处降至 3 cm/a 以下, X 光照片上出现较薄的微细层理,层厚约 1—2 cm。舟山附近估计约为 2—3 cm/a。

II. 低速沉积区 处于鸡骨礁与余山之间,水深小于 30 m 的前三角洲地区,沉积物主要为粘土质粉砂,是夏季长江入海悬浮泥沙扩散沉积的地区。浮泥厚度除余山北较厚外,均在 5 cm 以下。冬季入海泥沙大量减少,因受风浪及潮流的冲刷,沉积物普遍发生粗化,浅水区出现砂质粉砂及粉砂质砂,浮泥厚度普遍减至 3 cm 以下。 ^{210}Pb 测定沉积速率为 0.4 cm/a 左右,沉积物中砂、泥互层形成的层理明显。

III. 暂时沉积区 处于启东咀外废弃三角洲地区,表层沉积物分布比较复杂,出现砂、粉砂质粘土、粘土质粉砂和砂质粉砂等,冬、夏沉积物类型变化大。受苏北沿岸流南下带来泥沙的影响,常有浮泥出现,夏季最厚处可达 15 cm,分布范围较小;冬季范围扩大,但厚度减至 3 cm 以下,且粒度变粗。 ^{210}Pb 测定沉积速度为零。因此,可以认为出现在这个地区的浮泥不能形成固定的沉积物;它们在风浪大时被掀起,风浪小时沉积,经常处于变动之中,因而沉积物类型变得复杂,故称之为暂时沉积区。

IV. 稳定或冲刷区 $31^{\circ}30' \text{N}$ 以南,处于前三角洲东部边缘,水深大于 30 m、坡度较大的地带和三角洲外的深槽区; $31^{\circ}30' \text{N}$ 以北处于水深较大地区。南部沉积物为粘土质粉砂、粉砂质粘土和砂-粉砂-粘土,来自南部海区的台湾暖流经深槽北上,阻碍了长

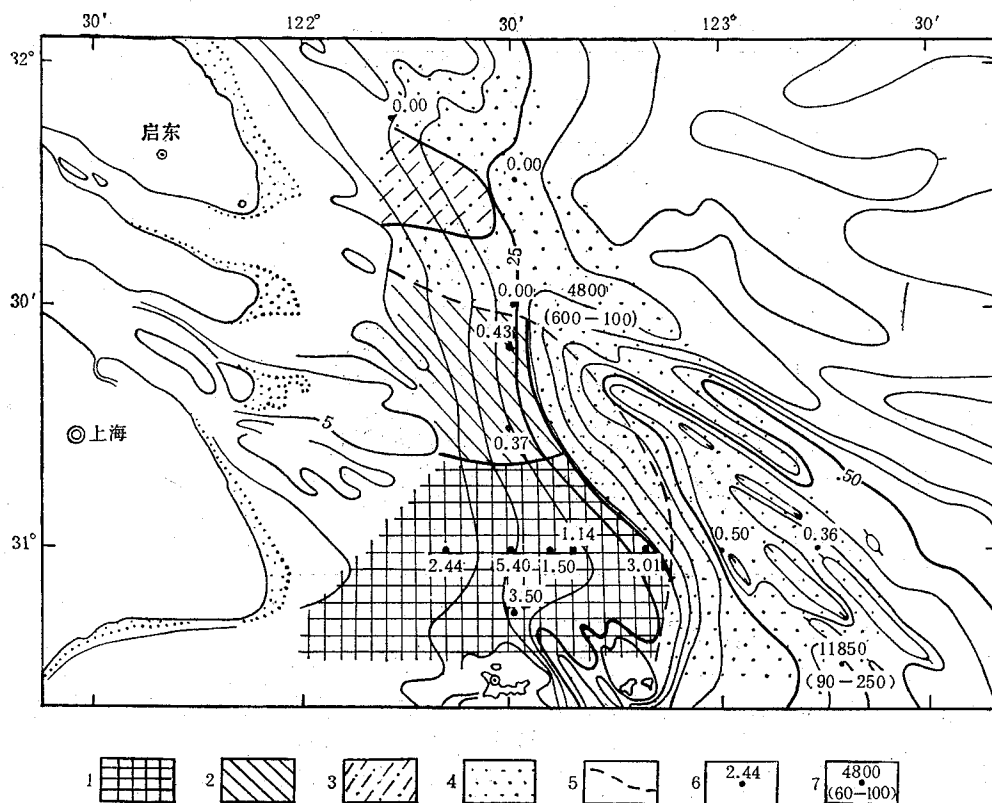


图 15 长江口外海区沉积分区图

1. 高速沉积区 (I); 2. 低速沉积区 (II); 3. 暂时沉积区 (III); 4. 稳定或冲刷区 (IV);
5. 现代水下三角洲边界; 6. 沉积速率 (cm/a); 7. ^{14}C 年代[年代(深度, cm)]

江泥沙入海后向深槽中扩散、沉积。海底表面无浮泥沉积,矿物、粒度和海底微地貌证明,海底处于冲刷或相对稳定状态。北部大多为细砂,夏季基本上无浮泥沉积,冬季在启东咀外浮泥能扩展到这个地区, ^{210}Pb 测定沉积速度为零,处于无沉积或有冲刷的状态。特别需要指出的是,废弃三角洲地区现正处于冲刷改造阶段,顶部已出现一定厚度的砂质沉积物,在分布上与残留砂连成一体,很难区分。残留砂分布区虽然现仍遭受海洋作用的改造,但长江冲淡水带来的悬浮物质不能在此沉积,依然保留着原来的面貌。

五、长江口外海区沉积物化学成分分布特征及其变化规律

为了解三峡工程建成后对长江口沉积地球化学特征可能产生的影响,对 1985 年 9 月(洪水期)和 1986 年 1 月(枯水期)采集的表层沉积物,以及 1985 年 9 月箱式取样器采集的沉积物,用原子吸收光谱测定 Fe, Mn, Ca, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd; 化学法或比色法测定了有机 C、P、阴离子洗涤剂; 元素分析仪测定了洪水期及枯水期表层沉积物的有机 C、有机 N 和 H; X 射线荧光法测定了洪水期表层样全样和粘土粒级中的 K, Ca, Fe, Mn, Ti, Rb, Sr, Ba, Cu, Zn, Pb。同时,为配合说明长江入海物的运移与变化,还分

析了水体中的阴离子洗涤剂。

1. 沉积物中一般成分的含量分布 这里的一般化学成分主要指沉积物中的造岩常量元素,如 Si, Al, Mg, Ca, Na, K, Fe, Ti, Mn, 和亲岩分散元素,如 Rb, Cs, Ba, Sr 等(刘英俊等, 1984)。

表 3 列出了 1985 年 9 月采集的样品中 K, Ca, Rb, Si, Ba, Fe, Mn, Ti 等元素在表层沉积物中的含量范围及平均含量。

表 3 表层沉积物中一般化学成分的含量

元素	K (%)	Fe (%)	Ti (%)	Rb (ppm)	Ba (ppm)	Ca (%)	Mn (%)	Sr (ppm)
含量范围	0.74—2.35	2.13—5.35	0.18—0.64	70.0—159	287.5—504.84	1.77—10.08	0.03—1.08	121.0—510
平均含量	1.67	3.69	0.44	120.3	433.8	3.10	0.116	181.9

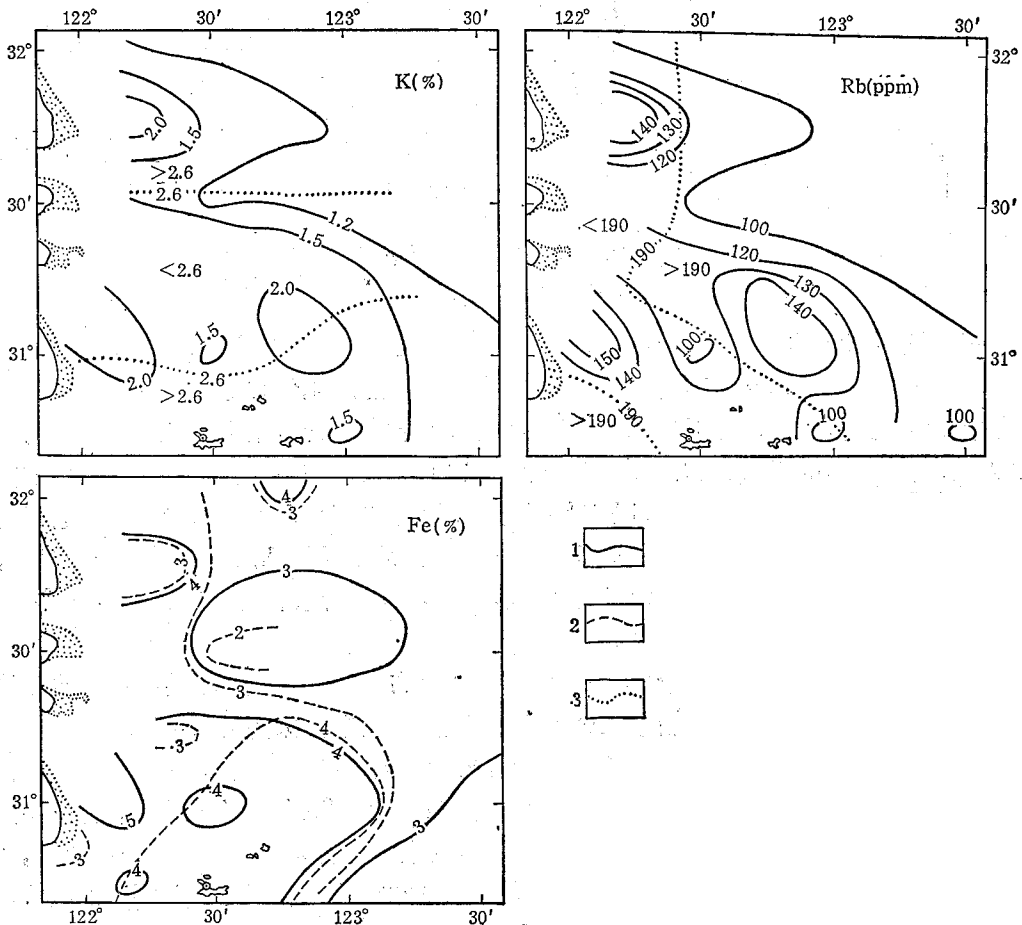


图 16 沉积物中 K, Rb, Fe 的含量与分布

1. 1985 年 9 月; 2. 1986 年 1 月; 3. 粘土粒级 (1985 年 9 月)

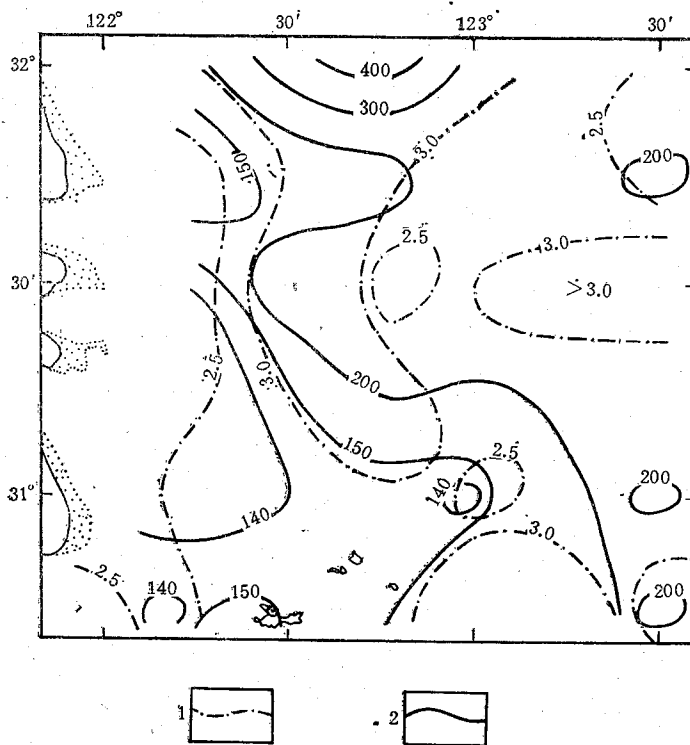


图 17 沉积物中 Ca 和 Sr 的含量与分布
1. Ca (%); 2. Sr (ppm)

这些元素按其区域分布,大致可分为以下两类型式。

(1) K, Rb, Ti, Fe, Ba 分布型 从这些元素的区域分布可看出(如图 16),它们分布的总趋势是,长江口外近岸部分含量较高,向东和向北含量减少。调查区内有两个含量较高,向东凸出的舌状分布:北部分布于长江口北角(启东咀外, $31^{\circ}45'N$),分布范围较小;南部主要分布于南槽口外,以 $31^{\circ}00'N$ 为轴心,在 $31^{\circ}15'N$ 与 $31^{\circ}45'N$ 之间构成较大范围的分布区,大体与前三角洲的范围一致。在两个舌状凸出之间是一低含量带,大致分布于 $31^{\circ}30'N$ 附近;只是 Fe 稍有不同,在此带东段含量有所增高,北部有个别小范围含量较高。

冬季枯水期 Fe 的分布基本上仍保留着夏季分布的某些特点,不同的只是北部的舌状凸出不明显,南槽口近岸高含量区含量有所降低,而其东仍保持较高含量。

(2) Ca, Sr, Mn 分布型 这类元素分布的主要趋势与前类不同(如图 17),在长江口外近岸带含量一般较低,向东却有所增加。Ca 在 $122^{\circ}30' - 40'E$ 附近,前三角洲边缘有一由北向南至 $31^{\circ}N$ 附近的高含量带,调查区东北角及东南角含量较低。此外, Ca, Mn 在调查区中部 ($31^{\circ}30'N$) 东侧 E_5, E_6 站 ($122^{\circ}59'N$ 和 $123^{\circ}30'N$), Mn, Sr 和 Ca 在调查区北部 C_3 站 ($122^{\circ}46'N, 32^{\circ}E$) 附近还分别存在高含量区。

控制沉积物中元素区域分布模式的主要因素是沉积物类型,它们与沉积物的粒度组成密切相关。前述第一类元素都随沉积物粒度变细而含量明显增高,特别在粘土质沉积

物中更为富集。从沉积地球化学性质来看,它们在粘土矿物中含量较高,属于易被粘土沉积物优先吸附,与细悬浮物相伴迁移或一起絮凝沉降的元素,因而在分布上也就与沉积物中粘土含量的分布趋势相近。从表 4 可看出, K, Rb, Ti, Fe, Ba 等在沉积物粘土粒级 ($<2\ \mu\text{m}$) 中的含量普遍高于在沉积物全样中的含量。而属第二类的 Ca, Sr, Mn 等则显然不同,其在粘土粒级中的平均含量却低于在沉积物全样中的平均含量,与粘土沉积物的关系不很密切,生物的富集作用及物质来源的差异对它们分布的影响相当大。

表 4 表层粘土中元素的含量及其与沉积物全样中的含量比值

成分	K (%)	Fe (%)	Ti (%)	Rb (ppm)	Ba (ppm)	Ca (%)	Mn (%)	Sr (ppm)
粘土中的含量范围	2.25—3.02	5.90—6.90	0.45—0.61	180—213	370—561	0.78—1.90	0.07—0.12	83—141
粘土中的平均含量	2.71	6.43	0.54	191	470	1.49	0.099	108
含量比值*	1.62	1.74	1.24	1.59	1.08	0.48	0.85	0.59

* 含量比值=粘土中的平均含量/沉积物全样中的平均含量。

但是作为沉积物中主要成分的 SiO_2 , 属另一分布类型,其特点是与沉积物中粘土粒级的含量呈显著的负相关关系,而与沉积物的粒度呈正相关。因此,可以推断其分布趋势会与粘土的含量分布(也与 Al, K, Rb 等元素的分布)状况相反,在粘土含量高的区域含量必然低,而在粘土含量较低的区域含量则高。

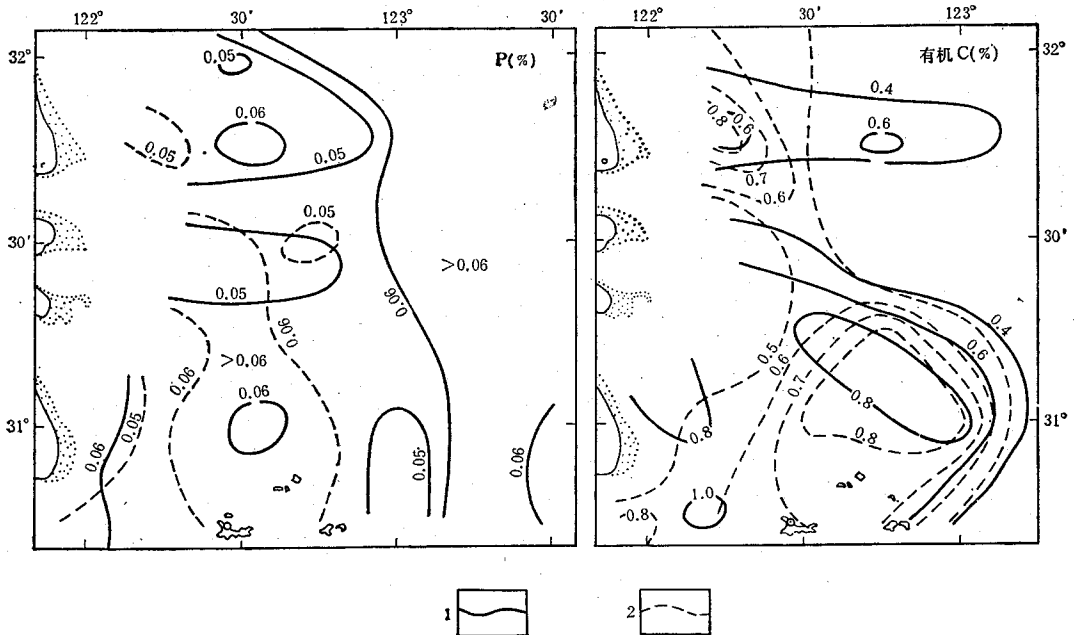


图 18 沉积物中有机 C 和 P 的含量与分布

1.1985年9月; 2.1986年1月

2. 沉积物中有机质与营养元素的含量分布特征 表层沉积物中有机 C、有机 N、P 及烧失量 (IL) 的含量范围及平均含量 (1985 年 9 月调查) 见表 5。三者的分布模式极相似。有机 C 在表层沉积物中的分布示于图 18。可以看出, 夏季在长江口北角启东咀外和沿长江南支方向的长江口外前三角洲边缘, 分布高含量区, 后者范围较大, 构成了区内南北两个向东凸出, 向外海方向含量递减的舌状分布带; 两舌间 ($31^{\circ}30' N$) 有机物质的含量很低。其分布模式与沉积物中的 K, Rb, Ti 等元素的分布模式一致, 与沉积物中细

表 5 表层沉积物中有机成分的含量

成分	有机 C	有机 N	P	IL
含量范围(%)	0.09—1.02	0.02—0.12	0.040—0.086	1.72—7.97
平均含量(%)	0.53	0.069	0.056	5.07

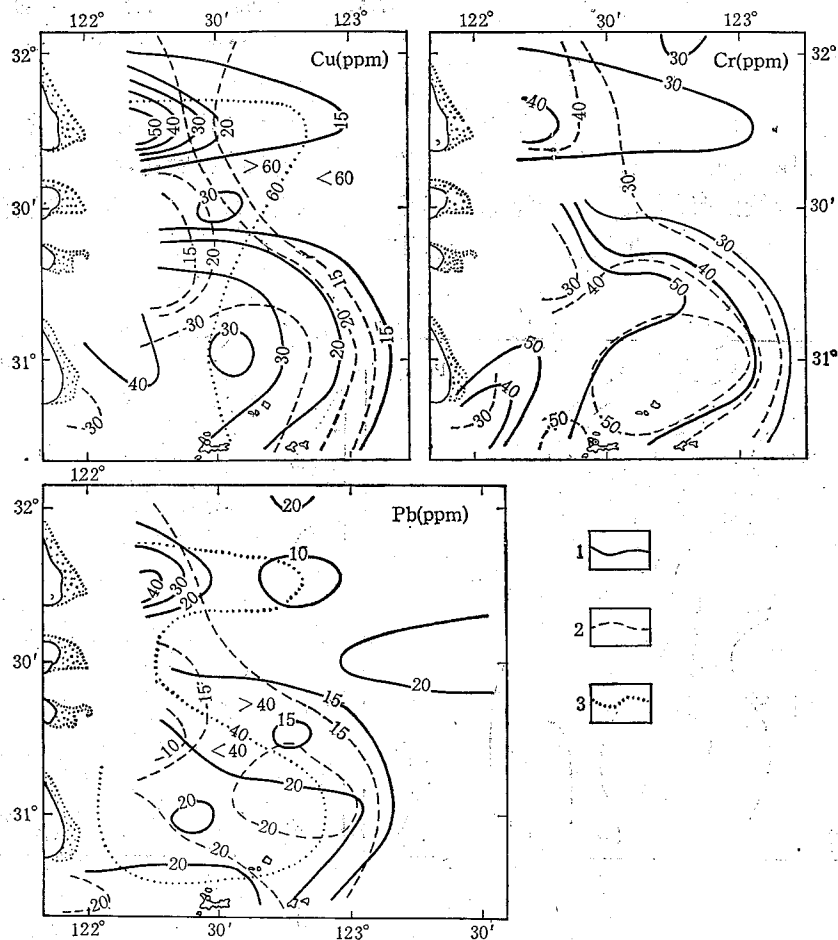


图 19 沉积物中重金属 Cu, Cr, Pb 的含量与分布
1. 1985 年 9 月; 2. 1986 年 1 月; 3. 粘土粒级 (1985 年 9 月)

粒物质的分布密切相关。与夏季比较,冬季在分布上的变化主要表现在:北部的舌状不明显,等值线有由东西延伸的纵向分布转为沿岸延伸的横向分布的趋势,与河口等深线的分布形状趋于一致,而在北西向深槽基本没有变化,西部近岸地带含量则趋于降低。

磷的含量分布图形(图 18)有些不同。夏季,调查区东北部、东部和西南部南汇咀外含量较高($>0.06\%$),中部 E_3 , E_4 站 ($31^\circ 31' N$ 线上,调查区西部)和东南角含量较低。冬季高含量区主要呈南北向带状,北起 $31^\circ 30' N$ 附近向南延伸,分布在调查区偏西的海域内(主要以 $122^\circ 30' E$ 为轴),西南部南汇咀外下降较多。

沉积物中的磷除部分来自陆源,随径流带来而在河口区沉积外,也有部分来自生物作用,因此其分布并不全受沉积物粒度分异的控制,夏季调查区东部离岸远的区域磷含量较高就是例证。但总的看来,冬季也出现趋于南北向分布的变化,且 $>0.06\%$ 带的分布与粘土粒级南移的趋势相近。

3. 沉积物中重金属及某些污染成分的分布特征 表层沉积物中 7 种重金属及阴离子洗涤剂(LAS)(吴景阳等,1987)的含量范围及平均含量(1985 年 9 月调查)见表 6。

表 6 表层沉积物中重金属及洗涤剂的含量

成分	Zn	Cu	Cr	Ni	Co	Pb	Cd	LAS
含量范围 (ppm)	35—120	5.2—50.8	18.5—64.8	21.2—56.4	12.2—23.3	8.3—43.1	0.1—0.7	0.4—4.7
平均含量 (ppm)	70	21.9	38.0	35.5	17.9	17.3	0.2	1.9

在河口沉积物中,微量重金属的含量与粘粒及有机质的含量间存在着明显的正相关关系,它们的区域分布状况也就与有机质及其他富集于细颗粒物中的元素的分布基本一致,如 Zn, Cu, Ni, Cr, Pb 等都具有与有机 C、有机 N 以及 K, Rb, Ti, Fe 等元素相似的分布模式和变化特点(夏季与冬季 Cu, Cr, Pb 的分布见图 19)。只是 Pb, Ni 等元素(Fe 也有这种情况),在两个向东凸出的舌状分布中间的低含量带 ($31^\circ 30' E$ 线上)东半部(约 $123^\circ E$ 以东的 E_5 , E_6 站上)的含量又有增高,看来这些站上的元素来源不同于河口近岸区。

从沉积物中重金属含量与盐度的关系来看,在含量都较高的 G_1 和 G_4 站(南汇东的 $31^\circ N$ 线上, $122^\circ 12'—122^\circ 45' N$ 处),夏季表层海水的盐度大致在 13—20 的范围内,与重金属絮凝实验所得到的盐度基本相符。但到冬季,盐度则增至 20—32 的范围,表层沉积物中的高含量分布未见有西移的趋势,西部近岸地带反而较夏季低(与有机质等成分的变化趋势一致),仅在 $G_2—G_4$ ($122^\circ 20'—122^\circ 45' E$, $31^\circ N$) 的区域内保持高含量。这些现象看来都需联系浮泥的沉积和再迁移的变动情况来加以说明。虽然河口咸、淡水交汇对重金属的吸附、絮凝、沉积起着重大的作用,但富集重金属的颗粒物沉积和富集的区域则还取决于水动力条件,取决于沉积物的再悬浮和再搬运等复杂的作用过程。

阴离子洗涤剂的分布(图 20)与重金属分布的不同主要在于其高含量区离岸更远些,这可能与洗涤剂比重金属更易迁移有关。但其总的分布趋势仍呈现调查区北部启东以东 ($31^\circ 45' N$) 及南汇以东 ($31^\circ N$) 海域含量较高,中间夹有一低含量带,夏季北区含量高

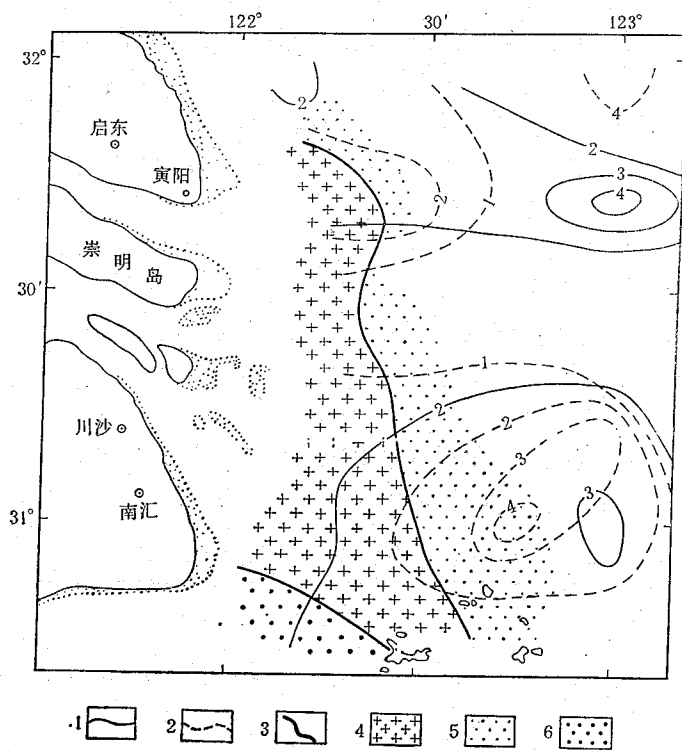


图 20 沉积物中阴离子洗涤剂的含量 (ppm) 分布及上下层含量变化分区

1. 1985 年 9 月; 2. 1986 年 1 月; 3. 分区界线; 4. I 区(夏季上层>下层, 冬季上层<下层);
5. II 区(夏季、冬季上层<下层); 6. III 区(不定)

于南区, 冬季则相反的特点。

比较各种元素在沉积物和其粘土组分中的含量与分布, 可以发现不同元素有不同的特点。例如 Rb, K 等亲岩元素和 Zn, Cu, Pb 等重金属元素, 在表层沉积物中具有相似的区域分布, 显示出长江入海细颗粒物的分布趋势, 也表明在河口近岸沉积物中, 这些元素主要来源于长江。但它们在沉积物粘土组分中具有不同的区域分布趋势: 重金属 Zn, Cu 和 Pb 的分布(图 19) 是近岸区高于远岸区; Rb 和 K 的情况则不同, Rb 的分布(图 16) 具有相反的趋势, 近岸区的含量大多稍低于离岸较远的地区, 而 K 在粘土中的分布则是调查区东南部和北部含量稍高, 中部含量稍低。另外, 从粘土中这些元素的含量变化幅度来看, 重金属的变幅较大 (Zn, 122—179 ppm; Cu, 42—84 ppm; Pb, 24—52 ppm), Rb 的变幅最小 (180—213 ppm)。这些现象似能说明, 调查区近岸站位的沉积物中, 在自然背景值的基础上, 有污染重金属的加合。Rb 在离岸较远的粘土中的含量高于近岸区的原因则可能是这些离岸较远的表层粘土沉积的时代较早, 从海水中吸附了更多的 Rb。

由于对海洋沉积物污染程度的评价尚无统一、适用的标准, 故对长江口底质的污染程度尚难作出确切的评价。用全国海岸带调查环保组 1983 年试定的海洋沉积物污染评价标准 [Zn, 80; Cu, 30; Pb, 25; Cd, 0.5 (mg/kg)] 来衡量, 在有些站位这些元素则

已超标,它们主要位于调查区的西部近岸海区,如南槽及南汇咀外的 B_4 , B_6 , G_1 , G_2 , J_2 等站,以及启东咀以东的 D_1 站,但超标程度一般都较小,与国外某些港湾河口底泥中的重金属含量相比,不算很高。

为了了解污染物在水体中的迁移、稀释、扩散的情况,在未经过滤的水样中直接萃取测定阴离子洗涤剂的含量。因洗涤剂在颗粒物中亦较为富集,所以其含量分布也能反映由径流带来的悬浮泥沙及有机物颗粒的含量分布。图 21 是 1986 年 1 月取样分析的结果,可以看出,由长江南支的南港向外,水体中洗涤剂的含量逐渐降低,到长江口外,基本上具有沿海岸方向的带状分布趋势,并向外递减。表层海水中含量为 $20 \mu\text{g/L}$ 的等值线与 20—25 m 地形等深线的位置相近,形状相似。反映其污染来源除南港注入之外,看来也有从苏北沿岸及长江北岸输入的污染物。近岸低层水中阴离子洗涤剂的含量较表层水低,但在离岸较远的 E_5 和 F_5 站 (123°E) 附近含量又有些回升。

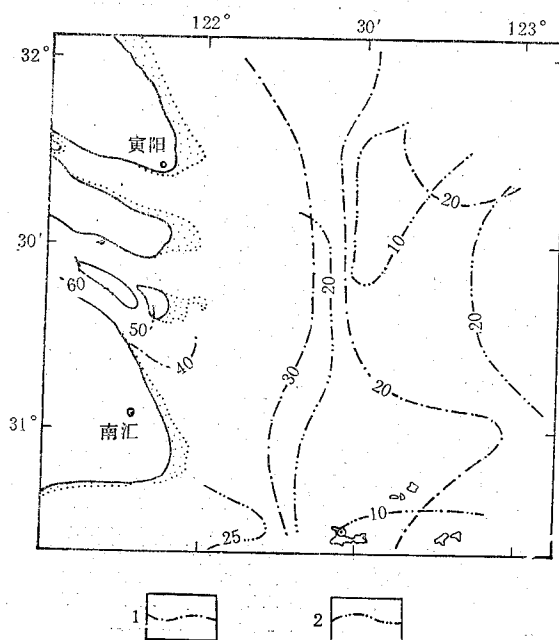


图 21 水体中阴离子洗涤剂的含量 ($\mu\text{g/L}$) 与分布

1. 表层水; 2. 底层水

总的看来,长江口外近岸部分沉积物受到了一定程度的人为污染影响(包括重金属和有机污染物),沉积物中污染物的含量有一定的积累和增高,但增高的幅度不是很大。形成这种局势的主要原因与长江输入大量泥沙有关。大量悬浮泥沙在河口和口外絮凝沉降,不仅对水中的污染物起着净化作用,同时大量泥沙的沉积也使沉积物中污染物量的比例降低,对沉积物中的污染物起到了“稀释作用”。虽然长江及长江口附近沿岸地区向海中排放了大量污染物,且其中大多数又都就近沉淀,但沉积物中污染物的相对浓度也因伴随有大量的泥沙沉积而不致过高。

4. 夏季、冬季沉积物化学成分的变化与分散运移规律 从以上讨论可看出,沉积物

中的化学成分可按其在河口沉积物中的分布,大体上分为两大类:一类主要富集在细粒和有机质较多的沉积物中;另一类则与细粒沉积物关系不密切。由于大多数污染物、有机质和某些营养成分都属于前一类,因此,讨论这类化学成分的分布、运移规律就更为重要。此外,正因为这类化学成分与细粒沉积关系密切,因而从它们的分布、运移规律能了解河口细悬浮物运移、沉积的趋势。反过来,根据河口及海域沉积物的类型及浮泥的分布变化规律也能推断这类化学成分的分布变化情况。

由于与生态环境关系较密切的有机质和重金属等污染成分的区域分布相似,故绘制了有机质、重金属的综合分布趋势图,以期综合反映其特征。作图方法是先求得各站有机C、有机N及Cu、Pb、Zn、Cr的综合含量指数,再根据各站指数绘出等值线分布图(图22)。综合含量指数(P)由下式求得:

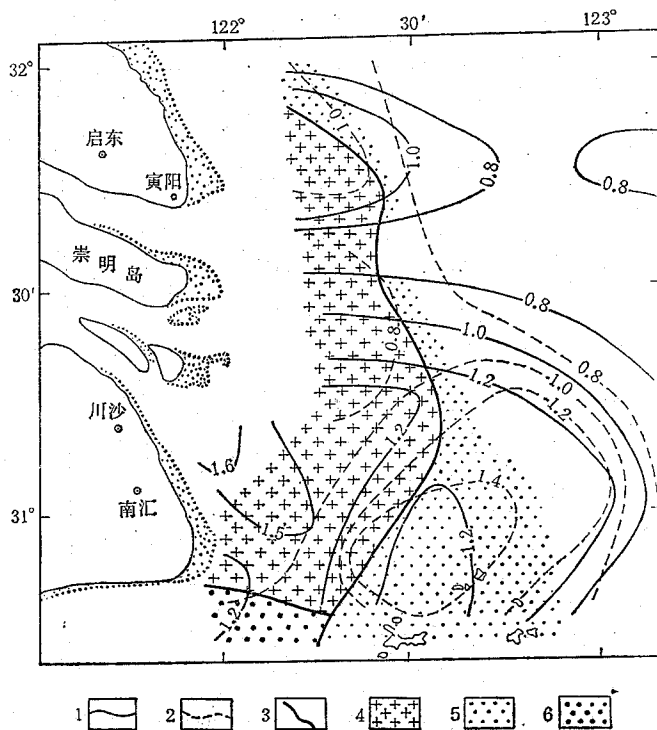


图22 沉积物中有机质、重金属综合含量指数(P)分布趋势及上、下层含量变化分区

1. 1985年9月; 2. 1986年1月; 3. 分区界线; 4. I区(夏季上层>下层, 冬季上层<下层);
5. II区(夏季上层<下层, 冬季上层>下层); 6. III区(夏季、冬季上层>下层)

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\bar{c}_i}$$

其中, P_i : 某站某元素的分指数; c_i : 某站某元素的实测含量; $\bar{c}_i$: 调查区沉积物中某元素的平均含量; n : 元素的种数(此处为6)。

根据绘制的分布趋势图,结合前述讨论,可以初步综合出沉积物中有机组分、重金属和洗涤剂的某些共同的分布特点。

(1) 这些元素和成分在表层沉积物中的区域分布主要受沉积物类型的控制, 它们相对富集在细粒沉积物中, 其分布模式与沉积物粘土含量相似, 高含量主要分布在粉砂质粘土区, 其次为砂-粉砂-粘土和粘土质粉砂区。

(2) 由于调查区西部, 特别是西南部近岸的细粒沉积物主要来自长江, 因此这些化学成分的高含量区也就基本上反映了长江输出的细粒悬浮泥沙的主要沉积地。

(3) 夏季化学成分在调查区表层沉积物中显示出南北两个明显的向东凸出的舌状分布, 分别反映了现代长江入海泥沙及苏北南下泥沙的扩散运移趋势。而冬季, 特别在北部, 等值线有由顺河口方向延伸分布转为平行于沿岸方向分布的趋势, 表明夏季洪水期径流的影响大, 而冬季影响小。冬季调查区西部, 河口近岸的沉积物中化学成分的含量有明显降低的趋势, 显示表层细粒沉积物在冬季可能受到冲刷作用。

(4) 调查区南半部, 除近岸带浅水区外, 夏季与冬季表层沉积物中化学成分(如有机质、重金属及铁等)的含量分布几乎无甚变化或变化甚小, 表明该区的沉积环境相对稳定。其中有两种情况: 在深槽区以西水深小于 30 m 的前三角洲地区, 高含量部分处于高速沉积地区, 全年有相当厚的细泥沙堆积, 冬、夏也就都保持着较高的含量; 在深槽区及其附近一般含量较低, 冬、夏均分布稳定, 则可能与该处冬、夏都几乎没有浮泥沉积有关。

(5) 从夏季和冬季表层沉积物上层(浮泥)和下层中的化学成分的分析结果, 能看出某些变化规律, 例如, 有机 C、有机 N 及 Zn, Cu, Pb, Ni 等元素, 按其变化特点可分为 3 个区(图 22)。I 区在调查区西部河口近岸部分, 特点是夏季上层含量大于下层, 冬季则变为上层小于下层。II 区分布在 I 区的东南部, 其变化特点正相反, 夏季上层含量小于下层, 冬季却变为上层大于下层。III 区在调查区西南角(即南汇咀西南), 其主要特点为夏季和冬季都是上层的含量较高。

夏季与冬季, 阴离子洗涤剂在沉积物上下表层中的含量变化也有类似的分区现象(图 20)。只是 I 区的范围更窄些, 其主要特点也是夏季含量上层大于下层, 冬季变为上层小于下层。II 区主要表现为无论冬、夏都是上层小于下层。III 区的情况则较复杂, 有不同的变化。

化学成分在分布上的这种变化若用浮泥的粗细变化来说明, 则可解释为: 在 I 区, 夏季沉积物表层主要被长江输出的较富含有机质和微量元素的细粒泥沙所覆盖, 因而化学成分的含量一般是上层大于下层。到冬季, 长江输出物质减少, 加上风浪及沿岸流的影响, 浮泥粗化, 致使上层化学成分含量降低, 形成上层小于下层的状况。在 II 区, 冬季上层沉积物中粘土组分增加(见图 14), 形成上层含量高于下层的状况。在 III 区, 夏、冬季沉积物粒度变化较小, 冬季上层的化学成分含量略有增高, 但仍保持与夏季相同的趋势(上层大于下层)。化学成分的这些变化特点与分区现象, 基本上与冬、夏季浮泥中粘土含量的变化特点与分区(见图 14)一致。

5. 沉积物中某些化学成分的垂向分布特征及其与三角洲沉积环境的关系 对 1985 年 9 月用箱式取样器取得的 5 个站位(启东咀以东的 D₁ 站, 122°17' E, 31°45' N; 北槽以东的 F₂ 站, 122°30' E, 31°15' N; 南槽外以东的 G₂ 站, 122°20' E, 31°008' N, 和 G₄ 站, 122°45' E, 31°00' N; 南汇咀东南的 H₂ 站, 122°20' E, 30°45' N) 的沉积物进行了化学成分分析。根据其分布特征及所处的沉积环境, 可将这 5 个剖面分为 3 种

类型。

(1) G_2 , G_4 , H_2 站处于现代水下三角洲的前三角洲高速沉积区,在厚约 50 cm 的沉积物中,化学成分含量变化不大。污染成分中除洗涤剂在 G_2 和 G_4 站剖面上显出近表层含量有较明显的增高外,重金属等元素仍保持相对稳定,说明在这些站位近期有很高的且相对稳定的沉积速率,特别在 G_2 与 G_4 站之间是高速沉积区中心。 H_2 站的深层变化稍大,在约 30—36 cm 层次范围内多数成分的含量变化较大,32 cm 处有一高值,而在 36 cm 以下化学成分含量普遍较上层低,看来这个层次前后的径流条件和沉积环境有较大变化。

(2) F_2 站处于三角洲前缘与前三角洲交界附近的低速沉积区。从剖面上可看出,在 20 cm 厚的沉积物中,化学成分含量变化较大;特别是在 16 cm 层次以下,有机 C、重金属、Fe 的含量明显减小,而 Ca 的含量却增大;重金属等污染成分在近表层有较明显的增高,表明此处沉积速率较低,结合下层沉积物粒度较粗的特点,可看出其沉积环境与上层有明显的差别。

(3) D_1 站处于废弃三角洲位置上的暂时沉积区,在 36 cm 厚的柱样中多数元素和成分,由表层至深部,含量有“高一低—高一较低—较高(或高)”的波状变化过程。深度 8—12 cm 处重金属及有机组分的含量都是剖面上最低的层次(Fe 的低含量处在 8—10 cm 层),显示出在此层次沉积时沉积环境有着骤然的转变。在此层之下的沉积层可能属另一沉积环境系统;在此层之上多数化学成分含量有逐渐增高的趋势,同时,在近表层的沉积物中重金属、洗涤剂等的含量有明显增高。看来上层沉积物是新近沉积的物质。

六、长江三峡工程对长江口外海区沉积环境可能产生的影响

1. 长江入海水、沙的基本特征

(1) 水量沿程变化 长江干流径流量主要来自上游(占 46.4%)和中游(占 47.3%),下游只占 6.3%(表 7),这是由于上游有金沙江、岷江、沱江、嘉陵江、乌江等 5 大水系汇入。中游有洞庭湖、汉水和鄱阳湖 3 大水系汇入。沿途支流的汇入使干流总水

表 7 长江干流径流量沿程变化特征*

区段	集水面积 (km^2)	区间面积		径流量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	区间径流量	
		(km^2)	占全城(%)		($\times 10^8 \text{m}^3$)	占全江(%)
寸滩以上	866 559	943 908	48.0	3 600.1		36.8
寸滩—宜昌		138 942	7.7		942.9	9.6
宜昌	1 005 501			4 510.0		
宜昌—汉口		482 535	26.6		2 940.2	30.0
汉口	1 488 036			7 483.2		
汉口—湖口		196 555	10.9		1 695.6	17.3
湖口	1 684 591			9 178.8		
湖口—长江口		122 608	6.8		614.7	6.3
长江口	1 807 199			9 110.0		

* 引自中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1981。

量形成从上游向下游递增之势。特别是屏山到宜昌的川江段,虽然流域面积只占总面积的29%,但其水量却占总水量的32%。宜昌到湖口的中游段水量增长尤多,其面积仅占37.5%,而其水量却占47.3%。中游段是长江流域多雨地区,流域平均径流深度达900mm以上,为全流域最高。两湖和汉水水系汇入的水量使中游段增水最大,这对三峡工程建成后维持中下游水量的平衡将起重要作用。

(2) 径流的年内变化 长江宜昌、大通站多年平均流量值及年内分配如表8所示。

表中给出,宜昌站流量主要集中于6—10月(66.4%),大通站则在5—10月(65.8%)。这是因为汛期来临时间不同所致。一般两湖地区早在3—4月份即已入汛,而4—6月份多雨季节时,长江才开始涨水。6月份以后雨区西移,四川盆地和汉水流域开始进入多雨季节,致使长江普遍涨水。因此,虽然径流主要集中于6—11月的夏、秋季,但沿程变化却显示夏、秋季水量集中程度自下游向上游增加,而冬、春季水量则从上游向下游增加,致使上游水量分布集中,下游水量则趋于均匀。

(3) 多年变化 长江干流年径流多年变化很小,实测最大、最小年径流量之比,上游都小于2;中、下游略大,但也只在2—2.2之间,这主要是由于中、下游接纳了两湖和汉水等水系的径流补给,因而对其干流径流的稳定性产生一定影响。与我国其他河流相比,长江年径流的多年变化是很小的。

另外,长江干流各测站年径流都有连续丰水和连续枯水相交替的现象,但其变化不算大。以汉口站为例,连续最长丰水年为7年(1866—1872年),其间平均年径流量为多年平均值的1.09倍;连续最长枯水年为8年(1955—1962年),其平均年径流量为多年平均值的0.9倍。

(4) 泥沙 长江虽然是我国第一大河,但由于其支流含沙量多在 1.0 kg/m^3 以下,因而含沙量不高,大通站的多年平均含沙量仅 0.54 kg/m^3 。只是由于其年径流总量较大,才使输沙量达 $4.90 \times 10^8 \text{ t/a}$ (大通站),占全国河流输沙总量的19.1%,居全国第二位。

就长江来沙而言,宜昌以上以金沙江下游和嘉陵江上游为最多,构成上游区泥沙的主要来源;中、下游汉水流域泥沙主要来源于丹江与唐河、白河,但来沙量少;而水量却向下游增加,因而含沙量有向下游减少的趋势(表9)。一般有如下特征:

1) 首次洪水含沙量最大,这是因为洪水多由暴雨形成,首次暴雨冲下泥沙量大。

2) 沙峰与洪峰不完全一致,这由洪水来源所定。由上表可见,各流域段侵蚀模数不同,即其所处自然地理环境不一,因而洪、沙多少有别。

由于各地雨期不一,洪水期就不尽相同,且含沙量年内分配也不均匀,因而年内输沙量也不尽相同,且多集中于汛期,如表10所示。

上述变化除了与流量有关外,也与含沙量年内分配不均有关,一般干流枯季(1—4月,11—12月)月平均含沙量均在 1 kg/m^3 以下,最小含沙量仅为 $0.001—0.048 \text{ kg/m}^3$,最大含沙量则多出现在6—9月。支流多年平均含沙量变化更大,嘉陵江北碚站为 2.1 kg/m^3 ,其最大含沙量可达 32.8 kg/m^3 ,而最小含沙量大都为零。

输沙量的多年变化干流各站均不大,这是由于径流量的变化相对较小。其变化也与

表 8 宜昌、大通站

站名	集水面积 ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	统计年限	多年平均年径 流量 ($\times 10^9 \text{ m}^3$)	月平均流			
				1	2	3	4
宜昌	100.55	98	4 510	4 330	3 960	4 460	6 710
大通	170.54	37	9 110	10 200	11 200	15 200	23 300

* 中国科学院《中国自然地理》水文地理编写组, 1976. 中国自然地理·地表水。(交流资料)

表 9 长江流域含沙量特征值

河流测站	多年平均含沙量 (kg/m^3)				多年平均输沙量 ($\times 10^8 \text{ t}$)				侵蚀模数 (t/km^2)
	平均	最大	最小	最大/最小	平均	最大	最小	最大/最小	
金沙江屏山	1.99	7.71	1.13	5.9	2.49	4.29	1.48	2.90	522
嘉陵江北碛	2.48	5.42	1.43	3.8	1.77	3.85	0.804	4.80	1 125
长江宜昌	1.19	1.54	0.89	1.7	5.23	7.54	3.86	1.95	492
长江大通	0.52	0.70	0.43	1.6	4.90	6.78	3.91	1.70	295
汉水碾盘山	2.01	3.82	0.51	7.5	1.10	2.60	0.166	1.70	784

表 10 长江流域输沙量年内变化特征

河流 站名	年输沙量 ($\times 10^4$ t)	月输沙量占年输沙量的百分比(%)												最大一个月		最大四个月	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	出现月份	占全年 (%)	出现月份	占全年 (%)
金沙江 巧家	16 210	0.2	0.1	0.2	0.7	1.2	27.4	33.1	23.4	12.3	1.0	0.8	8	33.1	7—10	96.2	
长江 宜昌	52 300	0.0	0.0	1.1	5.4	8.9	29.7	26.4	18.0	7.3	2.3	0.6	7	29.7	6—9	83.0	
长江 大通	49 000	0.7	0.6	3.9	9.0	9.8	22.2	19.8	15.9	10.4	4.6	1.7	7	22.2	7—10	68.3	
赣江 丁家渡	0.1140	0.6	2.3	14.3	24.6	30.2	9.0	5.6	4.5	1.3	0.8	0.3	6	30.2	4—7	78.1	

径流量和径流来源有关, 通常情况为丰水丰沙, 但也不尽一致, 特别是特大值的不一致更为常见。多年变化与径流量一样, 也可出现连续多沙年和连续少沙年, 前者常持续 2—3 年, 后者可持续 2—4 年。

2. 建坝后来水来沙量可能产生的变化

(1) 建坝后水库的调节作用 三峡水库为季度调节水库, 汛期排洪, 汛末蓄水, 枯水季节放水。按 150 m 方案, 库容为 $1.969 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 汛期运行的防洪限制水位为 135 m, 相应库容为 $1.24 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。10 月份蓄水, 库水蓄到正常水位 150 m 需增蓄 $7.29 \times 10^9 \text{ m}^3$, 下泄流量将减少 $2 800 \text{ m}^3/\text{s}$, 大坝下游水位因而降低 1 m。枯水期 1—4 月, 下泄流量增加约 $1 000 \text{ m}^3/\text{s}$, 将使坝下江段水位提高 1 m。枯水年份 4 月份水库将降至死水位——130 m, 相应库容 $1.033 \times 10^{10} \text{ m}^3$; 5 月份水位调蓄到 135 m 运行, 需增蓄 $2.07 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

流量值年内变化*

量值 (m^3/s)								年平均流量 (m^3/s)
5	6	7	8	9	10	11	12	
12 020	18 700	30 100	28 200	26 600	19 700	10 600	6 030	14 300
35 500	41 100	48 900	45 600	42 000	35 800	25 200	14 900	29 200

180 m 方案, 10 月份下泄流量将减少 $7\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 下游水位将降低约 2.5 m; 1—4 月下泄流量增加 $2\,000\text{—}2\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 下游水位提高 1.5 m。

(2) 建坝后来水量的可能变化 由前述可知, 大通站年平均流量为 $29\,200\text{ m}^3/\text{s}$, 径流量为 $9.11 \times 10^{11}\text{ m}^3$, 部分来自宜昌以上, 占 46.4%, 相当部分来自中下游地区, 其中, 宜昌—汉口间占 30.0%, 汉口—湖口占 17.3%, 湖口—河口占 6.3%。大坝建成后, 10 月份水库蓄水, 1—4 月放水。按此, 水库 (150 m 方案) 运行时各典型年的调节流量如表 11。因而大通站流量在各典型年的水库调节期间内, 10 月和 1—4 月的流量将有如表 12 的变化(假定宜昌一大通站间补给不变)。

表 11 按 150 m 方案水库调节流量表 (m^3/s)

月份	枯水型(1959—1960年)			中水型(1950—1951年)			丰水型(1949—1950年)		
	入库流量	出库流量	增减	入库流量	出库流量	增减	入库流量	出库流量	增减
10	12 000	9 230	-2 770	20 300	17 520	-2 780	22 200	19 430	-2 790
11	89 400	89 400	0	10 600	10 600	0	11 800	11 800	0
12	5 580	5 580	0	5 740	5 740	0	6 450	6 450	0
1	3 550	4 170	+620	3 800	4 420	+620	4 570	5 190	+620
2	3 250	4 420	+1 170	3 380	4 450	+1 170	4 000	5 170	+1 170
3	3 750	4 780	+1 030	3 590	4 850	+1 260	4 200	5 230	+1 030
4	4 380	5 120	+740	5 830	6 340	+510	6 110	6 850	+740
5	6 770	6 770	0	11 900	11 900	0	12 100	12 100	0
6	17 400	17 400	0	21 830	21 830	0	25 200	25 200	0
7	22 600	22 600	0	34 470	34 470	0	42 890	42 890	0
8	27 800	27 800	0	23 260	23 260	0	32 550	32 550	0
9	13 600	13 600	0	28 040	28 040	0	34 470	34 470	0

调节前后流量年内均值如表 13。

由表 13 可见, 调节前后各水文年总平均流量值变化不大, 但其月平均值却趋于均匀。这样, 汛期来水量不变, 只是汛末 (10 月) 下泄水量减少, 枯水期来水量增加。

(3) 建坝后来沙量的可能变化 根据输沙资料, 长江干流沿程输沙量为: 宜昌 $5.23 \times 10^8\text{ t}$, 汉口 $4.30 \times 10^8\text{ t}$, 大通 $4.90 \times 10^8\text{ t}$ 。按设计, 三峡水库建成后的最初 10 年内水库泥沙将有 67% 沉积于库内, 亦即宜昌站输沙量将由 $5.23 \times 10^8\text{ t}$ 减为 $1.76 \times 10^8\text{ t}$, 这必将对中、下游河段的输沙产生巨大的影响。

表 12 水库调节期间大通站有关月份流量变化表 (m^3/s)

月份	枯水型 (1959—1960 年)				中水型 (1950—1951 年)				丰水型 (1949—1950 年)			
	正常流量	调节流量	增减		正常流量	调节流量	增减		正常流量	调节流量	增减	
			+-	%			+-	%			+-	%
10	16 800	14 030	-2 770	-16.5	41 500	38 720	-2 780	-6.7	49 900	47 110	-2 790	-5.6
1	9 200	9 820	+620	+6.7	9 430	10 050	+620	+6.6	17 400	18 020	+620	+3.5
2	8 090	9 260	+1 170	+14.5	9 000	10 170	+1 170	+13.0	19 400	20 570	+1 170	+6.0
3	14 300	15 330	+1 030	+7.2	13 300	14 560	+1 260	+9.5	14 400	15 430	+1 030	+7.2
4	20 700	21 440	+740	+3.6	27 500	28 010	+510	+1.9	24 800	25 540	+740	+2.3

表 13 水库调节前后大通站年内流量变化 (m^3/s)

月份	枯水型 (1959—1960 年)		中水型 (1950—1951 年)		丰水型 (1949—1950 年)	
	调节前	调节后	调节前	调节后	调节前	调节后
6	46 700	46 700	41 000	41 000		
7	45 700	45 700	48 300	48 300	66 900	66 900
8	32 600	32 600	47 900	47 900	63 000	63 000
9	23 700	23 700	44 300	44 300	55 400	55 400
10	16 800	14 030	41 500	38 720	49 900	47 110
11	16 200	16 200	29 600	29 600	39 900	39 900
12	11 800	11 800	13 600	13 600	24 400	24 400
1	9 200	9 820	9 430	10 500	17 400	18 020
2	8 090	9 260	9 000	10 170	19 400	20 570
3	14 300	15 330	13 300	14 560	14 400	15 430
4	20 700	21 440	27 500	28 010	24 800	25 540
5	31 000	31 000	39 400	39 400	32 100	32 100
合计	276 790	277 580	364 830	366 060	407 600	408 370

表 14 长江干流悬移质输沙颗粒级配表*

站名	年平均粒级[小于某粒径 (mm) 的沙量百分数](%)								粒径 (mm)		
	0.007	0.010	0.025	0.050	0.100	0.250	0.500	1.000	d_{50}	$d_{\text{平均}}$	$d_{\text{最大}}$
宜昌	11.8	19.5	38.4	65.5	88.8	97.5	99.9	100.0	0.035	0.053	1.390
汉口	20.1	28.1	50.7	74.2	92.6	99.6	100.0		0.024	0.039	1.350
大通	16.4	26.4	47.9	72.5	94.9	99.4	100.0		0.027	0.038	0.973

* 长江流域规划办公室, 1978, 长江流域水文资料。(内部资料)

按上海水利局的资料¹⁾, 建库前宜昌—汉口段泥沙分配为: 宜昌下泄泥沙 $5.23 \times 10^8 \text{t}$; 洞庭湖出湖沙量为 $0.54 \times 10^8 \text{t}$; 汉水流域来沙为 $1.24 \times 10^8 \text{t}$; 区间其他来沙量为 $1.12 \times 10^8 \text{t}$ 。以上合计汉口站来沙量应为 $8.13 \times 10^8 \text{t}$, 而汉口站实际下泄量为 $4.30 \times 10^8 \text{t}$, 故区间沉积量达 $3.83 \times 10^8 \text{t}$, 其中包括 $7.04 \times 10^6 \text{t}$ 的粗砂推移质和 $8.43 \times 10^5 \text{t}$ 的卵石推移质。所以, 中、下游输沙以细粒物质为主, 其中值粒径由宜昌的 0.035 mm 减至汉口的

1) 上海水利局, 长江三峡工程对上海地区水文形势和水域环境的影响。(内部资料)

0.024 mm, 至大通站有所增加, 为 0.027 mm。长江干流各站历年悬移质颗粒级配特征值见表 14。

从表中可见, 宜昌—汉口段泥沙粒级由粗变细, d_{50} 、 $d_{\text{平均}}$ 和 $d_{\text{最大}}$ 也顺序减少; 而大通站则有所不同, 其粒级大于 0.050 mm 者略有增多, 大于 0.050 mm 者减少。

三峡水库建库后, 大量泥沙在库内沉积使下泄水体挟沙不足, 必将造成宜昌以下河段的冲刷, 其冲刷情况将随河床质颗粒级配、河道自然环境和水流挟沙能力而定。

表 15 长江流域各站河床质颗粒级配表*

站名	平均粒级[小于某粒径 (mm) 的沙量百分数](%)														粒径 (mm) d_{50}
	0.007	0.010	0.025	0.050	0.100	0.250	0.500	1.000	2.000	5.000	10.000	20.000	50.000	100.000	
宜昌		0.1	0.4	1.1	9.6	67.2	94.4	97.0	97.7	98.2	98.7	99.2	99.9	100.0	0.203
汉口		0.1	0.4	1.0	12.9	76.9	93.0	96.2	97.7	99.0	99.7	100.0			0.177
大通	1.3	2.3	5.4	10.2	19.6	81.3	94.6	96.8	97.9	98.8	99.1	99.5	99.9	100.0	0.166

* 出处同表 13。

由表 15 可见, 长江中、下游平原区的长江河床质颗粒级配均较上游为细, 河床必然遭受冲刷, 因而宜昌至汉口段原为有冲有淤, 总量处于淤积环境的河段, 特别是上部必将遭受冲刷, 使河床加深、加宽, 悬沙粒径随冲刷物质的加入而有很大变化。

丹江口水库的规模虽然与三峡水库不同, 但根据下面两项对比, 它们的某些特征可以相互比拟, 因而可以借鉴。

1) 输沙: 由表 16 可见, 无论悬移质输沙还是推移质输沙, 它们的含沙量是接近的, 特别是汉口以上河段。

2) 颗粒级配:

表 16 1960 年长江与汉水河段输沙对比¹⁾

站名	悬移质输沙			推移质输沙	
	输沙率 (kg/s)	流量 (m ³ /s)	含沙量 (kg/m ³)	输沙率 (kg/s)	含沙量 (kg/m ³)
沔阳(汉水)	699	973	0.72	5.2	0.005
汉口	13 095	21 447	0.61	83.3	0.004
大通	15 547	25 789	0.60	10.9	0.0004

表 17 表明, 长江中、下游与汉水下游输沙粒级组成是相似的, 特别是沔阳站和与之相当的螺山站极为接近, 各站的 0.025—1.000 mm 粒组也很接近, 而这一粒组正是汉水下游变化最为明显的粒级, 因此, 三峡水库建成后, 下游河道的变化情况可与丹江水库建成后的情况类比。

进而有人按丹江口河段相关分析, 认为, 由于水流挟沙能力大于水流所搬运的沙量, 必然造成河道的冲刷, 其沿程增加量约为每公里增值 7‰, 这样, 三峡大坝建成后悬浮泥沙将在坝下 820 km 处达到平衡。上海水利局认为, 按丹江口水库建成后的情况判断, 三峡水库建成后, 宜昌汉口间河道将从年淤积量 $3.83 \times 10^8 \text{ t}$ 转为年冲刷 $0.63 \times 10^8 \text{ t}$ 。若中、下游流域补充来沙不变, 河道冲淤抵销, 则汉口站输沙量可能降为 $3.67 \times 10^8 \text{ t}$ 。同理, 大

表 17 长江与汉水河段悬移质输沙颗粒级配对比¹⁾

站别	小于某粒径 (mm) 的百分含量 (%)								d_{50}	统计年限
	0.007	0.010	0.025	0.050	0.100	0.250	0.500	1.000		
监利	24.1	33.8	55.4	74.6	90.0	97.5	99.9	100.0	0.021	1956—1969
江山	20.8	28.9	49.6	68.8	87.9	98.4	100.0		0.025	1970—1974
螺山	17.4	27.3	50.6	74.0	90.7	98.6	100.0		0.024	1957—1965
汉口	20.1	28.1	50.7	74.2	92.6	99.6	100.0		0.024	1956—1974
沔阳(汉水)	15.3	24.4	47.9	73.1	91.1	99.4	100.0		0.028	1956—1974

1) 长江流域规划办公室, 1978, 长江流域水文资料。(内部)

通站年输沙量可能从 $4.90 \times 10^8 \text{ t}$ 降为 $4.07 \times 10^8 \text{ t}$, 即减少输沙 $0.63 \times 10^8 \text{ t}$, 占原输沙的 13% 左右。另据尤联元等 (1987), 宜昌以下的四口 (松滋口、太平口、藕池口、调弦口) 多年平均分沙量为 $1.81 \times 10^8 \text{ t}$, 占干流来沙的 34.2%。若大坝建成后仍按此比例分沙, 其他条件不变, 则四口将分去下泄泥沙 $1.76 \times 10^8 \text{ t}$ 中的 $0.59 \times 10^8 \text{ t}$, 加上区间其他来沙 $2.35 \times 10^8 \text{ t}$, 至大通输沙量将减少至 $3.49 \times 10^8 \text{ t}$, 减少 $1.41 \times 10^8 \text{ t}$, 占原输沙的 29% 左右。

从前述表 14 中还可可见, 宜昌—汉口间悬移质输沙中小于某粒径的颗粒百分含量多有增加, 特别是 $<0.025 \text{ mm}$ 组分, 而汉口至大通间则相反, 显现减少, 反映大通站悬沙有变粗的趋势。

据相对丰水年 (1964 年) 和相对枯水年 (1971 年) 的输沙分析 (见表 18), 丰水年宜昌—汉口间沉积 $1.1077 \times 10^8 \text{ t}$, 主要为 $>0.025 \text{ mm}$ 粒组, 而补充的悬移质则为 $6.677 \times 10^7 \text{ t}$, 主要是粒径 $<0.007 \text{ mm}$ 组分, 区间净沉积 $4.400 \times 10^7 \text{ t}$ (不考虑区间补充泥沙的沉积, 下同)。枯水年则沉积 $4.865 \times 10^7 \text{ t}$, 为 $>0.05 \text{ mm}$ 组分, 补充量 $4.065 \times 10^7 \text{ t}$, 为 $<0.05 \text{ mm}$ 组分, 区间净沉积 $8 \times 10^6 \text{ t}$ 。而汉口—大通间则于丰水年补充 $1.1803 \times 10^8 \text{ t}$, 沉积 $1.903 \times 10^7 \text{ t}$, 净增 $9.900 \times 10^7 \text{ t}$; 枯水年沉积 $1.0190 \times 10^8 \text{ t}$, 补充 $7.090 \times 10^7 \text{ t}$, 沉积 $3.100 \times 10^7 \text{ t}$; 补充部分大多为 $0.025—0.100 \text{ mm}$ 粒组, 且枯水年较丰水年粗, 致使悬移质组成粗化。综上所述可以看出: 宜昌—汉口河段变化的特征是粗组分 ($>0.025 \text{ mm}$ 粒组) 沉积减少, 而细组分 ($<0.025 \text{ mm}$ 粒组) 补充增加; 而大通至汉口间, 减少的粒组中除粗组分外还有相当的细组分, 补充悬沙的粒组均较宜昌—汉口间粗, 且枯水年粗于丰水年。另外, 从大通站输沙量与悬沙粒径之间的关系 (图 23) 中也可看出二者成反比, 即输沙量愈大, 粒径愈细。这样可推断, 在大坝建成后入海沙量明显减少的情况下, 由于冲刷河床质的补充, 大通站入海悬沙的粒径必然变粗。

3. 三峡工程对河口区沉积环境和地球化学特征的影响

(1) 影响因素

1) 三峡工程属季度调节水库, 长江年径流量不变。10 月份水库蓄水, 来水量减少 5.6—16.5%, 影响较大。枯水期, 下泄流量增加, 来水量增加 2.3—14.5%, 如逢大潮汛, 则可抵销海水倒灌的影响, 有益无害。

2) 建库后 67% 泥沙沉积于库内, 致使来沙减少, 如果不考虑河道的冲淤变化, 只计三峡、丹江两水库的影响, 则将使来沙减少 $0.63—1.41 \times 10^8 \text{ t}$, 占原输沙量的 13—29% 左

表 18 典型年输沙分析(粒径单位: mm)

类型	站别或区间	粒组的输沙量 ($\times 10^4 t$)							输沙量及变化 ($\times 10^4 t$)
		<0.007	0.007 —0.010	0.010 —0.025	0.025 —0.050	0.050 —0.100	0.100 —0.250	0.250 —0.500	
丰水型(1964)	宜昌	8 784	7 165	13 083	12 772	14 391	5 482	623	62 300
	宜昌—汉口	6 038	—1 085	639	—3 913	—4 722	—908	—449	—4 400
	汉口	14 822	6 080	13 722	8 859	9 669	4 574	174	57 900
	汉口—大通	—1 127	2 327	1 262	3 413	3 619	—776	1 182	9 900
	大通	13 695	8 407	14 984	12 272	13 288	3 798	1 356	67 800
枯水型(1971)	宜昌	6 255	2 711	8 006	9 925	10 133	3 753	917	41 700
	宜昌—汉口	1 475	275	1 483	832	—3 221	—1 013	—631	—800
	汉口	7 730	2 986	9 489	10 757	6 912	2 740	286	40 900
	汉口—大通	—2 400	—1 550	—4 234	583	6 507	—1 720	—286	—3 100
	大通	5 330	1 436	5 255	11 340	13 419	1 020	0	37 800

右,其平均输沙量相当于枯沙年的情况。但实际上原淤积区,即宜昌—汉口段河道,因来沙不足必然冲刷以维持水力平衡,初期可达坝下 820 km,其后有可能逐步延长。

3) 据上述,即使在建库前处于淤积环境的宜昌—汉口河段,泥沙运移过程中也在进行分选,即悬沙中 >0.025 mm 组分因沉积而减少, <0.025 mm 组分则相对增加,但河床质颗粒组成却以 0.1—0.5 mm 粒级居多。因而建坝后,冲刷河床补充泥沙的结果,必将使悬沙粗化,中值粒径加大。

(2) 对沉积环境的影响

1) 由于 10 月份水库蓄水,长江入海流量减少,又值强潮季节,海水入侵将加强,短时间影响江河水质,甚至影响上海市用水。但从全年看,因为年径流量不变,不仅不会造成水质恶化,而且枯水季节由于水量增加,对用水和维持航运水深将是有益的。

2) 来沙粗化有可能改变近海沉积环境;但河口地段沉积物相对较粗,不会造成太大影响。由于河道冲刷部位主要在中游地区延伸,不会影响到河口地区,特别是下游地区悬沙、床沙都较中游为粗;但有可能使浅滩和三角洲淤长减慢,甚至发生浅滩的冲刷,这对维持航运水深是有益无害的。

3) 从前面的分析可知,长江口三角洲前三三角洲地区是入海悬浮泥沙的主要沉积地区,三峡工程建成后,入海水、沙量的变化也将主要影响这个地区。夏季洪水期是主要沉积时期,大坝建成后,入海水量除 10 月蓄水时减少外,其他月份保持不变,而沙量都要减少,悬沙粒径变粗。因而前三三角洲地区沉积的浮泥将有所减薄,分布范围也可能缩小。

4) 现冬季枯水时期,前三三角洲地区主要受风浪的作用,其近岸浅水地区普遍受到冲

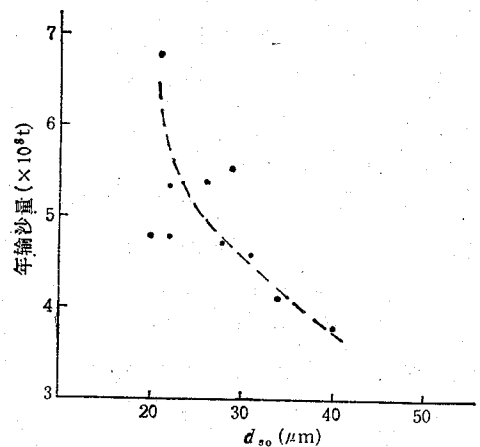


图 23 大通站悬沙中值粒径 (d_{50}) 与年输沙量的关系 (1960—1974 年)

刷,沉积物粒度变粗。建坝后通过水库的调节,冬季入海水量增加,口门附近的冲刷可能会加强,沉积物粗化的范围可能扩大。

5) 大坝建成后,南支口外前三三角洲地区夏季浮泥沉积减薄;冬季在冲刷增大的情况下,最终将出现沉积速率下降,高速沉积区范围缩小,现铜沙浅滩以北的低速沉积区冲刷和沉积物的粗化范围将有扩大,随着时间的推移,这种情况将越来越明显。

(3) 对沉积地球化学特征的影响

1) 三峡建坝后,长江入海沙量,特别是细粒泥沙量的减少会使河口区水的自净能力有所降低;随着工农业的进一步发展,河口区排污量增大,河口水体中的污染物浓度将增高,水质变坏。同时,因结合在颗粒物上的有机物及污染物的密度增加,以及与化学成分一起在河口外沉淀的泥沙量减少,细沉积物中的有机质、污染物及某些营养成分的含量亦将普遍增高。

2) 建坝后,10月份水流量减少,长江口盐度相应有所增加,污水、江水和咸水混合使泥沙絮凝及污染物的沉积区可能上移。在夏季,部分富含有害物质及部分营养成分的浮泥随其分布面积的变窄而使污染程度有所增高。

3) 另一方面,含沙量减少将引起河口及口外的供沙量减少,潮流及沿岸流对口外沉积物的冲刷作用的影响增加,不仅南槽外的高速沉积区沉积速率将有降低,而且冬季海流将细沉积物向南搬运,与细沉积物结合的化学成分亦同时被带走南移。因此估计,建坝后南槽外有机质、重金属、Fe、Ti等元素以及某些营养成分和污染物的高含量区将向南迁移。

总的看来,三峡工程建成后,尽管150 m方案大坝将拦截67%的泥沙于库内淤积,但其下泄水量除10月蓄水时有明显减少外,其他月份基本保持不变,冬季还有增加,这将引起中游河道的冲刷或淤积量减少,经过沿程河道和支流的补充、调节,河水悬沙浓度将恢复到一定程度,但其粒径将变粗。初步估算,长江入海沙量的变化大致在-15%左右,这将对长江口外海区的沉积环境产生一些影响;直接影响的范围主要为长江口外三角洲的前三角洲地区,即 $31^{\circ}30'N$ 以南, $122^{\circ}40'E$ 以西;鸡骨礁以南所受影响较大,沉积速率将降低;鸡骨礁以北,沉积物将会发生粗化。同时,入海泥沙特别是细粒粘土物质的减少,将影响海水的自净能力,沉积物中污染物和重金属的浓度会相对提高;但是由于海域宽阔,目前只个别站位略高,超过标准,因而不致产生严重影响。

若取180 m方案,将会有更多的泥沙沉积在库内,10月蓄水时下泄流量减少7000 m^3/s 。估算大通站流量,中水、丰水年将减少15%左右,而枯水年可达40%,冬季枯水期将增加10—30%。尽管经过中、下游的补充和调节,变幅可能会小一些,但其影响必将比150 m方案显著。

参 考 文 献

- 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会,1981,中国自然地理·地表水,科学出版社。
尤联元等,1987,三峡工程修建后下游河道变化预估,长江三峡工程对生态环境影响及其对策研究论文集,科学出版社,260—270。
刘英俊等,1984,元素地球化学,科学出版社,154—366。
李保如等,1980,三门峡水库拦沙期下游河道的变化,河流泥沙国际学术会议论文集,第二卷,光华出版社,407—

416。

吴景阳、李健博等, 1987, 海河口区阴离子表面活性剂的地球化学及环境信息, 科学通报, 32(10): 768—772。

杨光复等, 1980, 东海大陆架晚更新世末期以来的沉积特征, 黄东海地质, 科学出版社, 61—81。

高明德等, 1982, 长江水下三角洲的基本特征, 黄东海地质, 科学出版社, 208—219。

韩其为, 1980, 丹江水库淤积及下游河道的变化, 河流泥沙国际学术会议论文集, 第二卷, 光华出版社, 727—736。

秦蕴珊等, 1987, 东海地质, 科学出版社, 152。

Su Xianze *et al.*, 1983, The recent sedimentation rate and process in the Changjiang estuary and its adjacent continental shelf area, Proceedings of SSCS, 606—616。

You Kanyuan, 1983, Modern sedimentation rate in the vicinity of the Changjiang estuary and adjacent shelf, Proceedings of SSCS, 590—605。

EFFECTS OF THE THREE GORGES PROJECT ON DEPOSITIONAL STRUCTURE AND GEOCHEMISTRY CHARACTERS OF THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY*

Yang Guangfu, Wu Jingyang, Gao Mingde

Zhou Tiancheng, Li Yongzhi and Han Yousong

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

In order to estimate the influence of the Three Gorges Project on the deposition and geochemistry characters in the river and its adjacent waters, we have carried out 5 investigations on sedimentation, suspended samples, shallow stratum measurement, etc. during 1985—1986 in flood and dry seasons, and studied depositional structure and geochemistry characters.

The subaqueous delta platform of the Changjiang Delta can be approximately divided into north and south parts by the line of $31^{\circ}30'N$. The north part is an abandoned delta in a reworked process. The south part is a developing delta piling up on the abandoned delta. It is the main depositional area for the sediment load from the Changjiang River. Though the discharge and sediments during June to October take up 5.8% of the river's annually, and the main distributional region of suspended materials is wider in the season than in winter, the suspended material content is just on the contrary because of wind-wave action in winter. According to the component and distributional characters of the sediments, there exist three sedimentation areas, i.e. the estuary, the north and the offshore areas; and combining the distributional law of suspended mud with the depositional intensity, we can also divide them into high depositional rate area, low depositional rate area, temporally depositing area and relatively stable area. Summer is the main depositing season for the subaqueous delta. Sediments and suspended mud have tendency to extend eastward in tongue form at the time. In winter, the materials resuspended by wave are transported to south by southward current along the coast. The sediments around the estuary and the nearshore area coarsen, the suspended mud get thinner; and its distribution is in N-S strike, while the content of clay in sediments increases and the su-

* Contribution No. 2057 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

spended mud gets thicker around the areas of the Zhoushan Islands.

In the study areas, lithogenous elements and some lithophile elements in the sediments can be classified as follows: (1) the K, Pb, Ti, Fe, Ba, containing sediment whose regional distribution is closely related to the clay content; (2) the Ca, Sr, Mn, containing sediment whose distribution is notably influenced by biological factors; (3) the heavy metals Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, containing sediment whose distribution is similar to the first category. In addition, the distribution pattern of organic nitrogen, organic carbon is also similar to the first category. The high content of the chemical elements in finer sediments basically reflects the spreading and depositing range of the suspended load of the Changjiang River. An obvious tongue of sediments extends eastwards to the sea in summer and spreads along the coast in winter.

After the completion of the Three Gorges Project, the sediments discharged from the great reservoir will be decreased by about 67%, and the annual water discharge will be basically unchanged. Under these conditions, we infer that there will be evident influence in the areas of subaqueous delta and prodelta. As a result, the grain size of the sediments will be coarser at the estuary and its adjacent area, the depositional rates will be contracted in the high depositional rate area, and the self purification ability of sea water around the estuary will be reduced too.