

全新世长江水下三角洲沉积相的研究*

陈中原 许世远 严钦尚
(华东师范大学, 上海, 200062)

提要 利用钻孔、柱状样及浅地层剖面仪等对长江水下三角洲进行了调查研究。结果表明,三角洲全新统的发育可分为全新世早、中、晚期沉积;自河口向海有三角洲前缘相、前三角洲沉积相、三角洲-陆架过渡相三个相带;全新世长江水下三角洲的垂直相序,覆盖在下伏浅海相之上,向上依次为前三角洲相和三角洲前缘相。

通过对长江水下三角洲的调查(图1),对所取样品进行了粒度、揭片、微体古生物、地球化学和¹⁴C等项目的实验室分析。在资料整理和参考前人工作成果的基础上,本文重点剖析全新世长江水下三角洲沉积环境和发育特征,旨在为古长江三角洲中矿产资源的开发和沉积环境的识别,提供科学依据。

一、全新统分层

根据本区5个钻孔、13号浅孔、崇明岛综合孔¹⁾及几十个柱状样(图1)综合分析表明,本区全新统地层在各孔中埋深不一(图2)。全新统基底的下层沉积物类型多样,为灰黑色炭质泥(C_{J-4}孔)、具槽状交错层理的灰白色砾质砂(C_{J-2}孔)、灰色均质泥(C_{J-1}孔)及灰黄色具平行层理的粉、细砂(C_{J-3}, C_{J-5}孔)。它们不含海相生物化石,偶见少量土星介(*Subbradyi* sp.)、玻璃介(*Candona* sp.)等陆相介形虫。孢粉组合以松(*Pinus*)—栎(*Quercus*)—桦(*Betula*)—冷杉(*Abies*)—云杉(*Picea*)—蒿(*Artemisia*)—水龙骨科(Polypodiaceae)为主。C_{J-4}孔在孔深46.98—47.69m的泥炭层,¹⁴C测年分析为20 542 ± 1 076a. B. P.,浅地层剖面在相应下伏层深度的剖面中,经常可见古河道遗迹(图3)。这些均表明它们属晚更新世末低海面、寒冷气候期的河、湖沉积。

基底以上的全新统地层可明显分为三段(图2):

* 参加调查工作的还有杨文达、唐保根、管一平等同志;部分样品分析得到地科院地质所等单位的大力协助,在此深表谢意。

收稿日期:1988年11月12日。

1) 徐志明,1982。崇明岛东部滩地沉积。

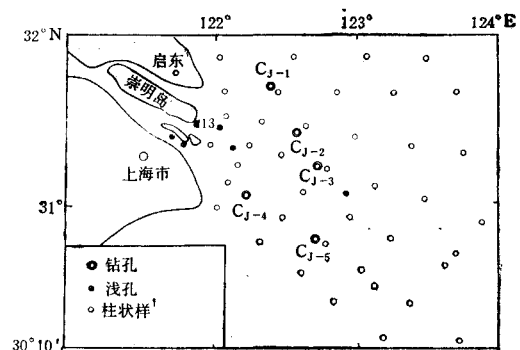


图1 长江水下三角洲调查范围
Fig. 1 Study area of subaqueous Changjiang delta

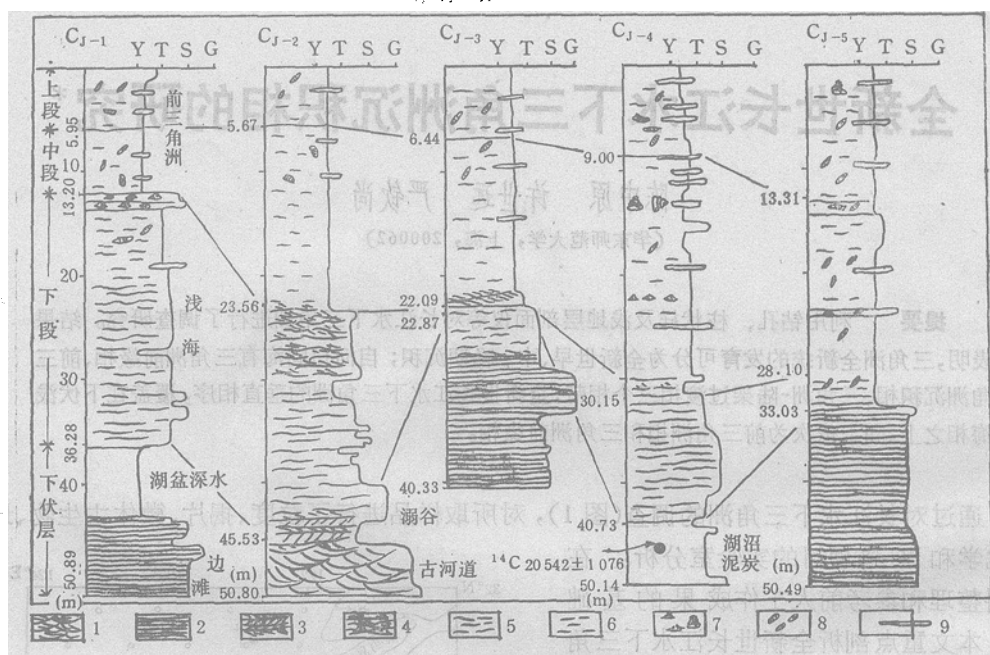


图2 长江水下三角洲地层分层、沉积结构及构造特征

Fig. 2 Strata division and features of sedimentary texture, structure of subaqueous Changjiang delta

Y. 泥; T. 粉砂; S. 细砂; G. 砾质砂。1. 槽状层理; 2. 平行层理; 3. 双向波痕交错层理; 4. 小型波痕交错层理; 5. 波状、透镜状层理; 6. 鱼鳞状粉砂透镜层; 7. 贝壳; 8. 潜穴; 9. 水平粉砂夹层。

下段 各孔中厚度不一。厚的约23.0m (C_{J-1}孔), 薄的仅为1.0m (C_{J-3}孔)。沉积物中见较多的近岸浅水生物属种。软体动物贝壳有: 雕刻轮螺 [*Zeuxis caelatus* (A. Adamas)], 纹笋螺 (*Sterioterbrum* sp.), 始美蛤 (*Eocallista* sp.) 等。有孔虫优势属种有: 厚壁新方球虫 (*Neogloboquadrina pachyderma*)、暖水卷转虫 (*Ammonia tepida*)、泡泡球虫 (*Globigerina bulloides*)、缝裂希望虫 (*Elphidium magellanicum*) 和毕克卷转虫变种 (*Ammonia beccarii* vars.) 等。介形虫以宽卵中华丽花介 (*Sinocytheridea latiovata*)、方地豆艳花介 (*Leguminocytheresis hodyii*) 等为主。

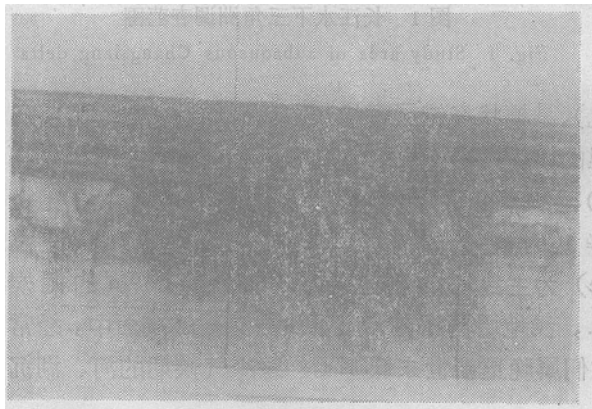


图3 长江水下三角洲浅地层剖面

Fig. 3 Shallow seismic profile of subaqueous Changjiang delta

上部水平层为全新世三角洲沉积; 下部为晚更新世末“U”字型古河道遗迹; 两直线距为1.0km, 地层垂向厚度约50m。

孢粉组合为栎—松—桦—禾本科 (Gramineae) (表1、图4)。其中, 落叶阔叶类的栎的含量较晚更新世末有明显的增高, 在 C_{J-5} 孔中可达48%; 松的含量居

次;还出现少量栗、栲青等。草本植物以禾本科为主。这些反映了下段地层为全新世早期温暖—略干的气候期沉积。

表 1 长江水下三角洲地层中孢粉组合

Tab. 1 Sporo-pollen assemblages of subaqueous Changjiang deltaic strata

孢粉分带	C _{J-1}	C _{J-2}	C _{J-3}	C _{J-4}	C _{J-5}	长-11 ⁽¹⁾	时代划分
上带	松—榉—豆 科—水龙骨科		栎—松—榆 —水龙骨科	松—栎—水 龙骨科	松—栎—桦 —水龙骨科	麻栎—松—栗 —水龙骨科	Q ₃ ⁴ 亚大西洋期
中带	松—桦—禾 本科—莎草科	松—栎—禾本 科—莎草科	松—栎—桦 —莎草科	松—栎— 禾本科	松—栎—朴 —莎草科	松—麻栎—柳	Q ₄ ⁴ 亚北方期
	栗—栲—榉树 —水龙骨科	栗—栎—藜科 —水龙骨科	栎—栗—禾本 科—水龙骨科	栎—栲— 蒿—藜科	栎—栗—蒿 —水龙骨科	青岗栎— 栲—漆树	Q ₄ ⁴ 大西洋期
下带	松—桦—栗 —禾本科	栎—松—禾 本科	栎—松— 禾本科	栎—松— 禾本科	栎—松— 桦—蒿	麻栎—松— 禾本科	Q ₄ ⁴ 北方—前 北方期
下伏层	松—桦—榉树 —冷杉—云杉 —蒿—水龙骨科		松—栎—桦 —冷杉—云 杉—蒿—水 龙骨科	栎—松—冷 杉—云杉— 蒿		麻栎—松—冷 杉—水龙骨科	Q ₃ ³ 末次冰期

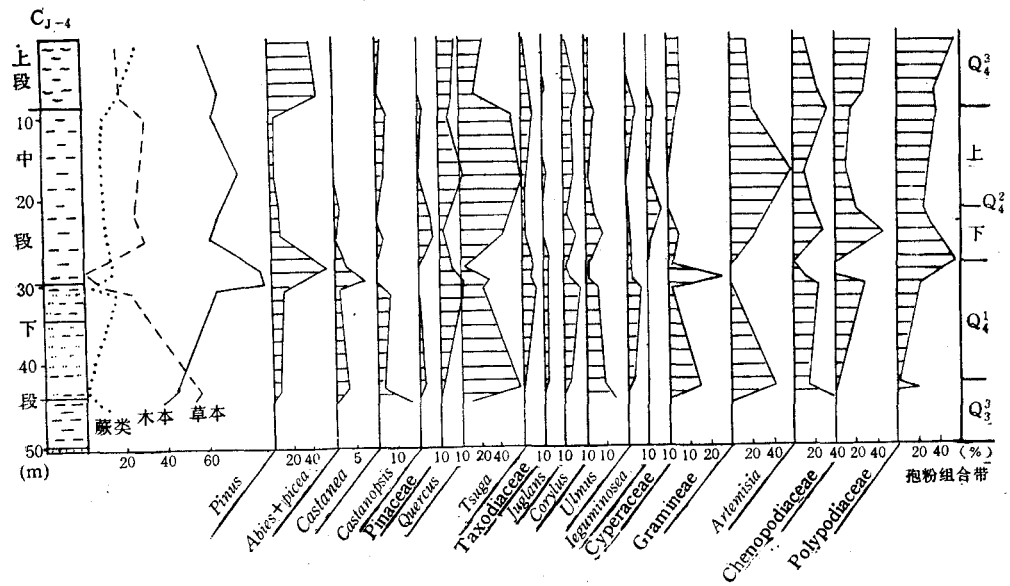


图 4 C_{J-4} 孔孢粉分析图谱

Fig. 4 Sporo-pollen analysis spectra of core No. C_{J-4}

中段 厚度在 5.0—23.0m 之间。沉积物为厚层灰、深灰色粉砂质泥，局部夹粉砂薄层，压实性好。见少量软体动物贝壳：齿缘舟蚶 (*Scapharca subcrenata* Lischke)、小陀螺 (*Gibberlina* sp.)、雕刻陀螺及“厚茧”舌形螺 [*Polinices (Glossaulax)*] (“*Reiniana*” Dunker) 等浅水种。常见的有孔虫除了上述之外，还见有一些代表水深较大的分子，如拉

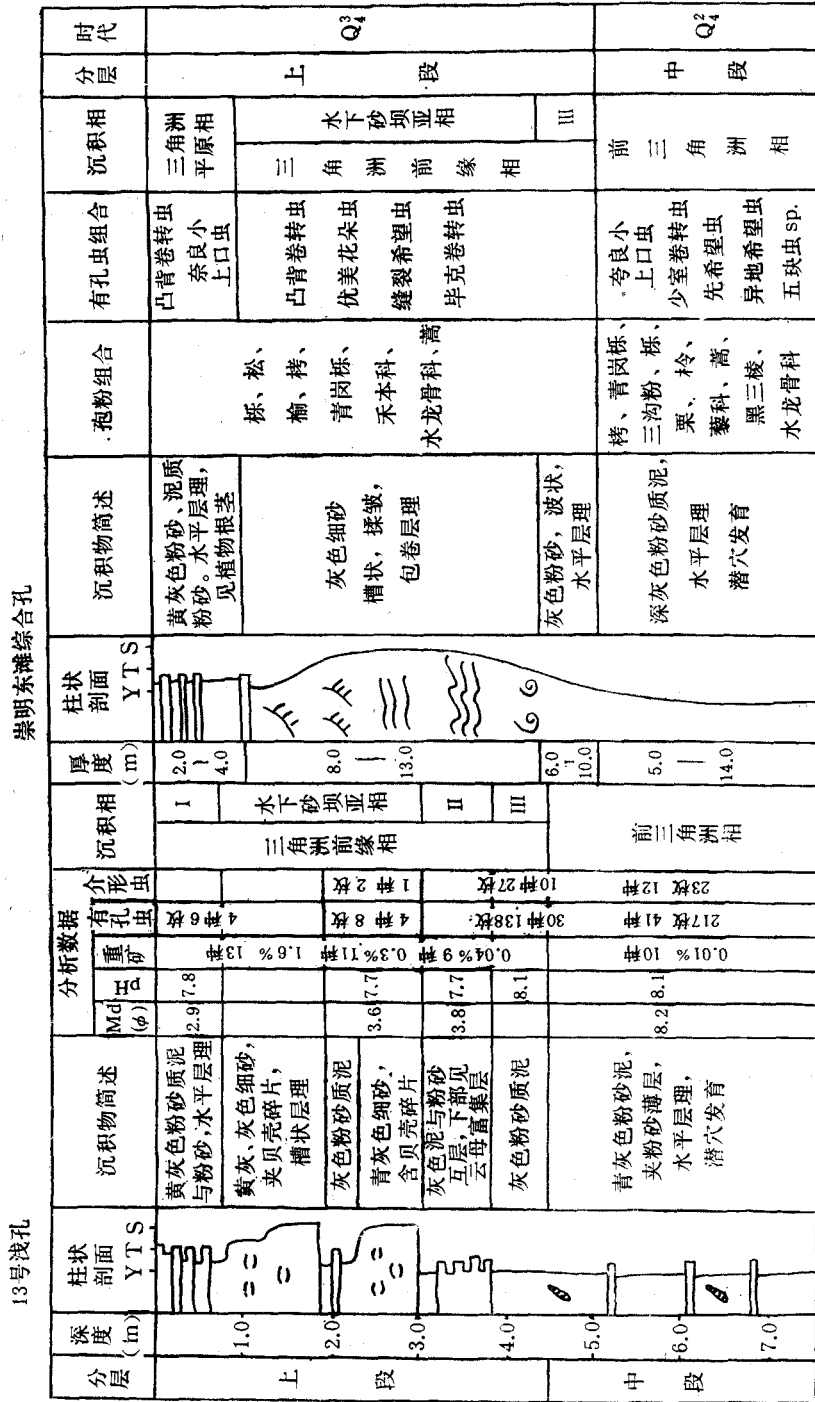


图 5 长江口区 13 号浅孔及崇明岛综合孔地层剖面
 Fig. 5 Strata profile of core No. 13 in the Changjiang River mouth area, and the generalized lithostratigraphic log of the Chongming Island

I. 分汉河道亚相; II. 汉道间浅滩亚相; III. 前缘斜坡亚相. Y. 泥; T. 粉砂; S. 细砂.

马克五块虫 (*Quinqueloculina lamarckina*)、具缘小泡虫 (*Bulimina marginate*)、太平洋霍氏虫 (*Hopkinsina pacifica*) 和具瘤先希望虫 (*Protelphidium tubcalatum*) 等。介形虫主要为: 宽卵中华丽花介、中国洁面介 (*Albileberis sinensis*) 和方地豆艳花介。

孢粉可明显分上、下两个组合带(表 1、图 4)。下组合带以栗 (*Castanea*)—栲 (*Castanopsis*)—柘—藜科 (*Chenopodiaceae*)—水龙骨科为主,其中,喜暖、湿的青岗栎、栲、栗的含量占木本花粉的 30—40%; 上组合带以松—柘—禾本科—莎草科 (*Cyperaceae*) 为主,其中,常绿阔叶类大量减少,落叶阔叶类的柘和针叶类的松的含量又明显增高,并伴随出现一定数量的桦。可见,中段地层的孢粉组合,反映了暖热湿润—温和略干的气候特点。下组合带暖热的气候特征,在全球范围内可以对比,为气候最佳时期,属全新世中期的大西洋期。

上段 厚度在 6.0—14.0m 之间。沉积物在近河口的 13 号浅孔、崇明岛综合孔中表现为黄灰色粉、细砂(图 5), 向离河口较远的 C_{J-1-5} 孔逐渐过渡为厚层状灰、深灰色粉砂质泥。有孔虫属种在近河口区较少,向外海增多。与下、中段相比,代表河口—浅海的分子明显较多。它们为: 奈良小上口虫 (*Epistominella naraensis*)、卷转虫 (*Ammonia* spp.)。介形虫见东台新单角介 (*Neomonoceratina dongtaiensis*)、日本库什曼介 (*Cushmanides* Japan)。软体动物贝壳有蛤蜊 (*Macra* sp.) 和蓝蛤 (*Retusa* sp.) 等。

孢粉组合以松—柘—桦—水龙骨科为主(表 1、图 4)。柘与松的含量占孢粉总量的 60—70%。另见一定数量的榆、豆科等。草本花粉中藜科、黑三棱较多,蕨类孢子仍以水龙骨科占优势。这说明上段地层属全新世晚期温凉—略干的气候期沉积。

二、沉积相特征

对长江口外海底表层 600 多个沉积物样品的粒度、矿物及其分布特征的研究,并结合钻孔、柱状样、表层样品中微体古生物、地球化学等分析资料,本区可分三个沉积相带,即三角洲前缘相、前三角洲相和三角洲—陆架过渡相(图 6)。

1. 三角洲前缘相

分布在正常波基面(约—12m 水深)¹⁾以上地带。沉积物以黄灰色粉、细砂为主。中值粒径为 3.0—5.0 ϕ , 分选较好。沉积物中含大量重矿物(0.5—2.0%), 呈串珠状分布,与水下砂坝位置基本一致; 重矿物种类有角闪石、绿帘石、石榴石、钛铁矿、赤铁矿、褐铁矿、金红石、榍石和磷灰石等 27 种,以前 9 种广布全区,约占全部重矿的 90%。炭含量较低,在 0.18—0.38% 之间,这与河口区水浅、动力强有关,大量有机质不易沉淀。底质(指沉积物间隙水)中盐度(以沉积磷酸盐测定法)为 24×10^{-3} 左右, Sr/Ba, B/Ga 分别为 0.31—0.46 和 3.1—5.0。反映了河口区淡、咸水相互交汇的沉积特点。

近河口区由于受淡水和高浓度泥砂等因素的影响,海相生物不发育,故沉积物中微体古生物数量稀少。有孔虫壳体小,每 50g 干样中的属种为 2—4 种,个数为 5—10 枚。它们多为随潮流从外海搬运而来的奈良小上口虫、优美花朵虫等,介形虫有宽卵中华丽花介、艳花介等。另见 3 个属种的超微化石: 大洋桥石 (*Gephyrocapsa oceanica*)、赫氏艾

1) 朱慧芳等, 1985。长江口风浪特征及其对岸滩的作用。

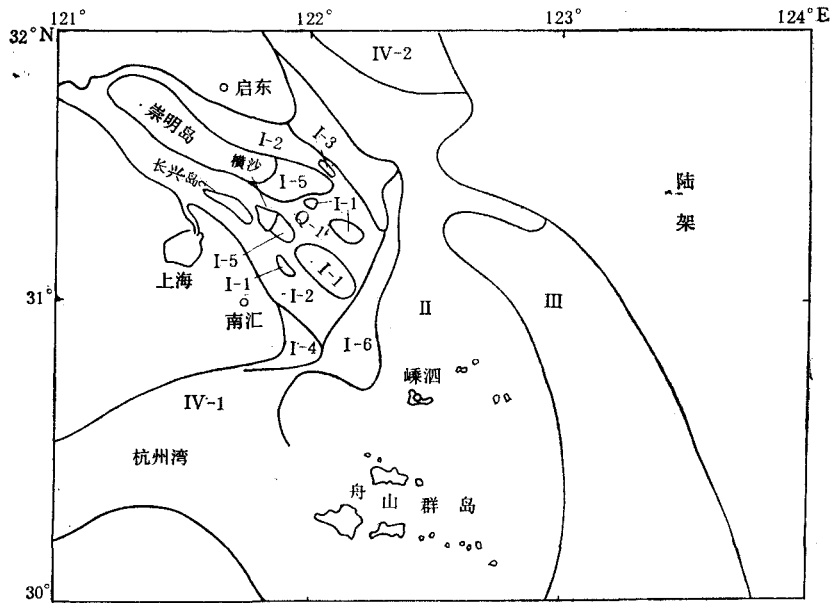


图 6 长江水下三角洲沉积相带分布

Fig. 6 Sedimentary facies distributions of subaqueous Changjiang delta

I. 三角洲前缘相: I-1. 水下砂坝亚相, I-2. 分汊河道亚相, I-3. 改造砂地亚相, I-4. 侧翼边滩亚相, I-5. 汉道间浅滩亚相, I-6. 前缘斜坡亚相; II. 前三角洲相; III. 三角洲-陆架过渡相; IV. 伴生相 IV-1. 杭州湾亚相, IV-2. 苏北浅滩亚相。

氏石 (*Emiliania huxleyi*) 和瓦氏卷舟颗石 (*Helicopontosphaera wallichii*)。

应当指出,在径、潮流和沿岸流等水动力相互作用下,三角洲前缘沉积环境存在着明显差异。根据沉积结构、构造、微地貌形态等主要相标志特征,又可将其分为水下砂坝、分汊河道、改造砂地、侧翼边滩、汉道间浅滩及前缘斜坡等 6 个亚相(图 6)。这在世界各地其他三角洲中也都常见^[1,2],反映了三角洲前缘水浅、水动力较强的环境特点。

2. 前三角洲相

分布在 -10—50m 水深之间。近 10m 水深处为黄灰色泥质粉砂,向海逐渐过渡为灰、深灰色粉砂质泥。中值粒径在 $6.0-8.0\phi$ 之间,分选中等一差。由于本相带位于正常波基面以下,重矿物不易进入,故其含量一般小于 0.01%;粘土矿物以伊利石占优势(约 60%),其余为蒙脱石、高岭石、绿泥石。炭含量在泥层中较高,为 0.21—1.5%。盐度值在 $25-33 \times 10^{-3}$ 之间, Sr/Ba, B/Ga 分别为 0.34—0.46 和 2.68—4.80。反映较三角洲前缘海相性增强的沉积特点。

本区微体古生物在属种和数量上都远多于河口地带。有孔虫属种增至 30—40 种,个数最多达 3000 枚以上。优势种为厚壁新方球虫、法尔孔抱球虫 (*Globigerina falconensis*)、奈良小上口虫等。介形虫除上述外,还见翼花介 (*Cytheroptern* sp.) 和穆赛介 (*Munseyll* sp.) 等一些常见于水深大于 20m 的分子。超微化石也增至 7 个属种,除了大洋桥石等外,另见弱孔圆颗石 (*Cyclocolithus leptopora*)、毕氏五边石 (*Braarudosphaera sellii*)、脐形石 (*Umbilicosphaera mirabilis*) 等。大洋桥石含量占化石群的 10—50%,

其余均较少。

3. 三角洲-陆架过渡相

分布在水深—50—60m 处。沉积物由灰、深灰色砂—粉砂—泥和泥质砂组成。其中泥含量通常占 35% 左右,其余为砂质物,来源于邻近陆架残留砂,在海底流、风暴流等动力作用下呈混合堆积。中值粒径在 3.0—4.0 ϕ 之间,分选差。向海方向,泥含量逐减少,最终过渡为残留砂。本相带炭含量较前三三角洲为低,约 0.22%。盐度值已接近正常海水数值,为 29—33 $\times 10^{-3}$, Sr/Ba, B/Ga 也增高,在 0.48—0.56 和 3.32—3.74 之间。

过渡相带中有孔虫在 40 种以上,个数最多达 3.0—4.0 万枚。常见有具缘小泡虫、冷水面颊虫 (*Buccella frigida*)、科契箭头虫 (*Bolivina cochei*) 等一些水深大于 30m 的微体古生物分子。超微化石除上述外,还有胸甲球石 (*Thoracosphaera* sp.) 等。大洋桥石、赫氏艾氏石的含量也可增至 20—50%。这些皆区别于近河口区沉积,反映了海相性进一步增强之浅海沉积环境特点。

三、沉积相层序

根据钻孔、柱状样等相标志分析,全新世长江水下三角洲沉积层序,与上述自陆向海相带沉积特征基本一致。从上至下为:

1. 三角洲前缘相

沉积物为黄灰色粉、细砂,厚度约 5—17m。中值粒径为 2.8—4.5 ϕ ,分选较好,含植物根茎。沉积构造有板状、槽状和波痕等交错层理。揉皱、包卷层理及黑云母富集纹层也时有出现。重矿物种类、含量,化学元素及微体古生物属种、个体等相标志特征,均与平面相带基本一致。由于各亚相在平面上错综分布,故在钻孔中可见它们相互迭置(图 5)。

2. 前三三角洲相

沉积物为厚层状灰、深灰色粉砂质泥,厚度约 12—33m,偶夹薄层粉砂。中值粒径为 7.5—8.5 ϕ ,分选很差。水平层理,粉砂透镜体十分发育。潜穴和有机质团块分布密度较高。目前,前三三角洲中大量的有机质,部分转化为天然气,聚集在颗粒较粗的地层中。其余一些相标志与前述平面相类同。

3. 浅海相

沉积物为厚层状黄灰色粉砂质泥与泥质粉砂互层,厚度约为 1—24m。中值粒径为 4.0—7.5 ϕ ,分选中等。波状层理,薄层粉砂透镜体较发育。重矿物有白云母、角闪石、独居石、榍石、电气石等,粘土矿物仍以伊利石占优势。本相带炭含量明显较前三三角洲为低,一般在 0.16—0.19% 之间。盐度值稍高,为 27—33‰, Sr/Ba, B/Ga 仍在海陆过渡相范围内,分别为 0.27—0.43 和 2.17—3.90。有孔虫为 10—40 种,个数在 30—700 枚之间。优势种有优美花朵虫、法尔孔抱球虫、厚壁新方球虫等,反映了当时水深较大的浅海环境。介形虫见长中华丽花介 (*Sinocytherelonga*)、中国洁面介等。超微化石仍以大洋桥石为主。

值得注意的是,在相序层理中,风暴沉积构造较明显。在三角洲前缘相中,见有以丘状层理为主的风暴沉积层;在前三三角洲相中,风暴沉积以浊积层形式出现。这也为三角洲环境的识别,提供了新标志。

综上所述,全新世长江水下三角洲沉积相序,覆于浅海相之上,向上依次为前三角洲相和三角洲前缘相。表现在颗粒上由细变粗,层理由水平到波痕、槽状,重矿物含量由低到高,微体古生物由多变少,孢粉组合反映了由温暖湿润、温和略干—温凉略干的气候特点。这些均表明了全新世长江水下三角洲是在全新世早期海侵沉积基础上,进而转变为中、晚期的三角洲沉积。

参 考 文 献

- [1] Crickmay, C. H. and C. C. Bates, 1955. Discussion of delta formation. *AAPG. Bull.* 39: 107—114.
- [2] Fisk, H. H. and E. Mcfarlan Jr., 1955. Late quaternary deltaic deposits of the mississippi river-local sedimentation and basin tectonics. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper* 62: 279—302.

SEDIMENTARY FACIES OF HOLOCENE SUBAQUEOUS CHANGJIANG RIVER DELTA

Chen Zhongyuan, Xu Shiyuan and Yan Qinshang

(*East China Normal University, Shanghai, 200062*)

ABSTRACT

Changjiang delta is one of the largest deltas in the world, with total area about 51 800 km², yearly runoff of 995 billion m³ and yearly fluvial input of 0.486 billion m³. The Holocene delta has been reconstructed on the background of tectonic subsidence since Pliocene. Its strata, according to the analysis of sedimentary texture, structure, pollen and spores, microfauna and radiocarbon etc., can be classified into three sections, namely, the lower, middle and upper, each corresponding to the early, middle and late stage deposition of Holocene period.

From the river mouth to the sea, there exist three sedimentary facies representing the delta front, the prodelta and the delta-shelf transitional zone. At water depth of 12 m is the average normal wave base which is the boundary between the delta front and prodelta. The greyish yellow silty fine sand with high content (0.5—2.0%) of heavy minerals is dominant terrigenous material in the delta front carried by runoff. Owing to the lower salinity and higher turbidity in the estuary, the species and numbers of microfauna are scarce in the sediment except those transported from open sea by tidal currents. The sediment in the prodelta are much finer, mostly composed of darkish grey silty clay with higher organic content (1.0—1.5%) and much microfauna. With the increasing of water depth, the sediment gradually changed into clayey sand, the coarser sand being obviously deposited in the period of stillstand of post-glaciation transgression, reflecting the transition from prodelta to the shelf.

The facies sequences of the subaqueous delta from top downward are delta front and prodelta. The facies index of the sequence are quite similar to those mentioned above in addition to the much burrowing in the prodelta and the various kinds of cross beddings appeared in the delta front and sinuous, horizontal lamina.