

长江口细颗粒沉积物的粘土矿物及地球化学特征

吕全荣 王效京

(华东师范大学河口海岸研究所)

概 况

粘土矿物是细粒沉积物中最主要的矿物组成。据长江口泥沙分析资料，在河口地区无论是悬沙或底沙，粒径均以 <0.032 毫米的颗粒为主，在悬沙中竟占90%以上，底沙中约占75%。因此，研究长江口沉积物的沉积作用、泥沙扩散及航道回淤等项目时，均须以细颗粒沉积物为主要对象。

本文着重探讨沉积物的粘土矿物种类、含量、赋存的化学元素及其与粒径的相互关系，并进而阐明其沉积特征和化学元素的迁移特征等。本文所用样品由细粒至粗粒提取六个粒级进行分析鉴定，样品位置如图1。

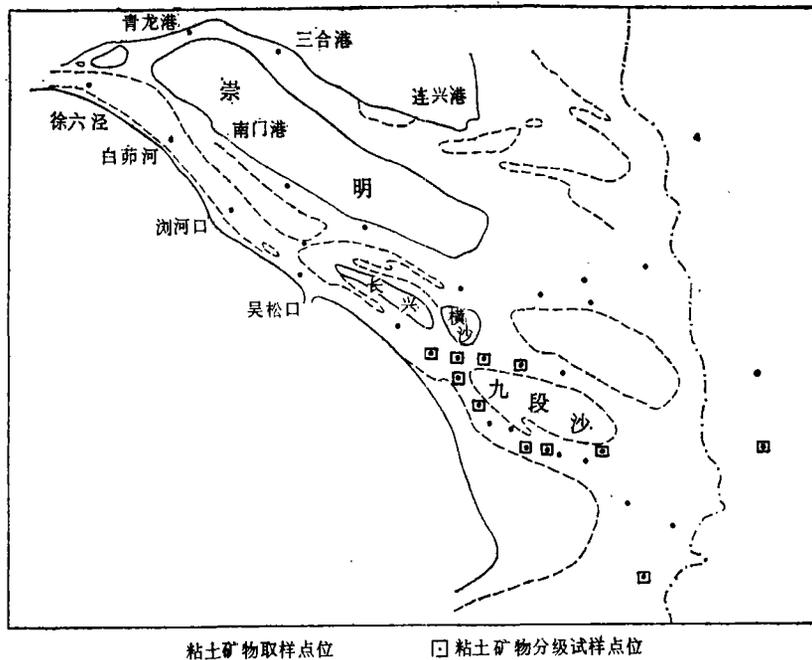


图1 长江口粘土矿物样品站位图

Fig. 1 Station locations of clay samples from the Yangtze River mouth

粘土矿物鉴定采用X衍射仪和电子显微镜,化学元素定量分析采用原子吸收光谱仪。

长江河口细颗粒沉积物主要分布于河口口门,口外海滨和边滩等地。这些地区的水动力状况具有如下特征:水体过水断面变宽,水流扩散,流速很快减弱;河口口门地段,潮汐作用增强,当转流时潮流的速度减缓,出现一个相对的缓流环境(流速小于0.45厘米/秒);长江河口口门地段盐淡水混和剧烈,除使水的含盐度增高、化学成份复杂、有利于细颗粒泥沙凝聚外,还由于盐水楔的形成,在盐淡水交界面处伴有缓流环境的出现,这样的水动力条件,有利于细颗粒沉积物的沉积。

一、沉积物的粘土矿物组成及与粒径的相关性

资料分析断定,各类沉积物中含有不同的粘土矿物成分,而同类粘土矿物的含量又与沉积物的粒径有关,为此,在研究沉积物的沉积作用时,必须十分重视矿物种类和粒径的关系。

1. 粘土矿物组成

据鉴定结果,长江口细颗粒沉积物的主要粘土矿物是伊利石、绿泥石、高岭石和蒙脱石等,其中伊利石含量最高,超过50%。主要粘土矿物的特征如下:

伊利石 据衍射谱线上的 10\AA 的峰值鉴定,它在电子显微镜下呈边缘参差的不规则六边形或碎片状。

绿泥石 据 14.2\AA 和 4.7\AA 的衍射峰鉴定,电镜下,呈边缘参差的碎片状,透明度通常较差。

高岭石 据 7\AA 和 3.5\AA 的衍射峰鉴定,电镜下,其外形呈规则或不规则的六边形,边缘较为平直清晰。

为进一步对绿泥石和高岭石作鉴定,将试样*经 $6N\text{ HCl}$ 处理,结果绿泥石发生分解,其 14.2\AA 和 4.7\AA 的特征衍射峰基本消失,而 7\AA 和 3.5\AA 则减弱,又将未经 $6N\text{ HCl}$ 处理的定向片,在 2θ 为 $24^\circ-26^\circ$ 的范围内进行慢扫描(每分钟 $1^\circ/8$),所得衍射谱线同时呈显 3.54\AA 和 3.58\AA 峰值,证实绿泥石和高岭石在沉积物中存在无疑。

蒙脱石 据 $17\text{\AA}-18\text{\AA}$ 的衍射峰鉴定,电镜下,其外形呈不规则的云雾状,矿物边界模糊不清。

此外,在电镜下,还观察到少量呈管状的多水高岭石矿物。

粘土矿物的定量计算采用峰高比法,其计算结果见表1、2。

2. 粘土矿物与粒径的关系

由分级试样的X衍射资料,揭示了细颗粒沉积物的粘土矿物含量与粒径存在如下关系:

(1)随着粒径的增大,粘土矿物含量减少,碎屑矿物增多 由图2和表4所示,粒径为 <0.5 微米的沉积物,主要由粘土矿物组成。碎屑矿物的衍射峰仅石英较为明显。粘土矿物与碎屑矿物峰高比为0.29,随着粒径的增大,峰高比亦明显增大,如 <1 微米

*试样均被甘油饱和

表 1 主要粘土矿物平均含量

Table 1 Average content of main clay minerals

矿物名称	最高含量 %	最低含量 %	平均含量 %
伊利石	62.46	43.74	57.58
绿泥石	35.74	19.03	25.89
高岭石	13.58	6.94	9.86
蒙脱石	5.80	2.20	3.40

表 2 长江南支(徐六泾—口外海滨)粘土矿物含量

Table 2 Content of clay minerals in the southern tributary of the Yangtze River

矿物名称	样号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
蒙脱石	3.8%	2.5%	3.1%	3.3%	2.9%	3.1%	4.2%	3.8%	2.8%	5.8%	5.5%	3.5%
伊利石	46.2	47.1	63.0	61.4	62.4	59.2	58.3	60.4	60.7	61.2	55.5	64.8
高岭石	13.2	12.9	8.1	8.7	8.8	9.8	9.7	10.5	9.6	8.6	8.7	7.5
绿泥石	36.8	37.5	25.8	26.6	25.9	27.9	27.8	25.3	26.9	24.4	30.2	24.3

和 < 2 微米沉积物的峰高比分别为0.41和0.48,而当粒径增大至 < 8 微米和 < 20 微米时,其比值分别增大为0.71和0.84,而且矿物种类亦随之增多,除石英、正长石和斜长石外,尚有方解石、白云石等出现(如图2)。说明同类沉积物中,细粒级与粗粒级的沉积物其矿物组成不同,前者以粘土矿物为主,后者以碎屑矿物居多,其粒径界线在4微米与8微米之间。

(2)粘土矿物聚集程度与其粒径的关系 在同类沉积物中,随其粒径的变化,同种粘土矿物的含量也不同。如图3、表3所示,蒙脱石在粒径为 < 0.5 微米和 < 1 微米的沉积物中最为富集,其含量变化规律为:在粒径 < 0.5 微米沉积物,其含量为3.98%,而粒径为 < 20 微米时,其含量骤减至1.03%,其含量的明显转折界限是2微米。高岭石亦呈相似的变化规律,由粒径 < 0.5 微米到 < 20 微米,其含量从10.29%降至7.52%,它主要富集于 < 4 微米的沉积物中。绿泥石恰与高岭石呈相反的变化趋势,它随粒径之增大,其含量由27.56%增至33.39%,主要富集于 > 4 微米的沉积物中。这两种粘土矿物在含量上的变化规律,还可由 2θ 为 $24^\circ - 26^\circ$ 间的衍射峰为 3.58 \AA 和 3.54 \AA 之峰高比获

表3 长江口细颗粒沉积物分级试样粘土矿物平均含量

Table 3 Average content of clay minerals in fine grain size deposits of the Yangtze River mouth

分级粒级 平均含量(%) 粘土矿物名称	沉积物粒径					
	<0.5 μ	<1 μ	<2 μ	<4 μ	<8 μ	<20 μ
蒙脱石	3.98	2.87	1.95	1.54	1.08	1.03
伊利石	58.17	59.32	60.64	59.91	59.23	58.06
高岭石	10.29	10.10	9.66	9.44	8.30	7.52
绿泥石	27.56	27.71	27.75	29.11	31.39	33.39

表4 不同粒径沉积物的碎屑矿物/粘土矿物之峰高比值

Table 4 Peak ratio of the clastic rock and clay in deposits with different grain size

样号	矿物种类	粒径											
		<0.5 μ		<1 μ		<2 μ		<4 μ		<8 μ		<20 μ	
		峰高	比值	峰高	比值	峰高	比值	峰高	比值	峰高	比值	峰高	比值
10	碎屑矿物	196		239		245		320		375		355	
	粘土矿物	652	0.30	606	0.39	600	0.41	737	0.43	529	0.71	428	0.83
42	碎屑矿物	146		287		236		286		310		321	
	粘土矿物	520	0.28	631	0.45	490	0.48	460	0.62	440	0.71	394	0.82
51	碎屑矿物	145		222		173		273		280		302	
	粘土矿物	502	0.29	558	0.40	306	0.56	475	0.59	406	0.69	344	0.88

证,表5显示了两者含量所呈现的相反关系,伊利石自身级配范围宽、含量高,含量与粒径的相关性不明显。

二、不同粒径沉积物的元素变化特征

不同粒径的沉积物在化学组成上存在明显的差异,表现于沉积物化学元素的含量随粒径的变化,这种关系的内在关系是由于不同粒径的沉积物其矿物组成成分不同,它们的基本变化情况如下:

1. 随沉积物粒径增大, K、Fe、Co、Ni、Zn、Cu元素含量递减

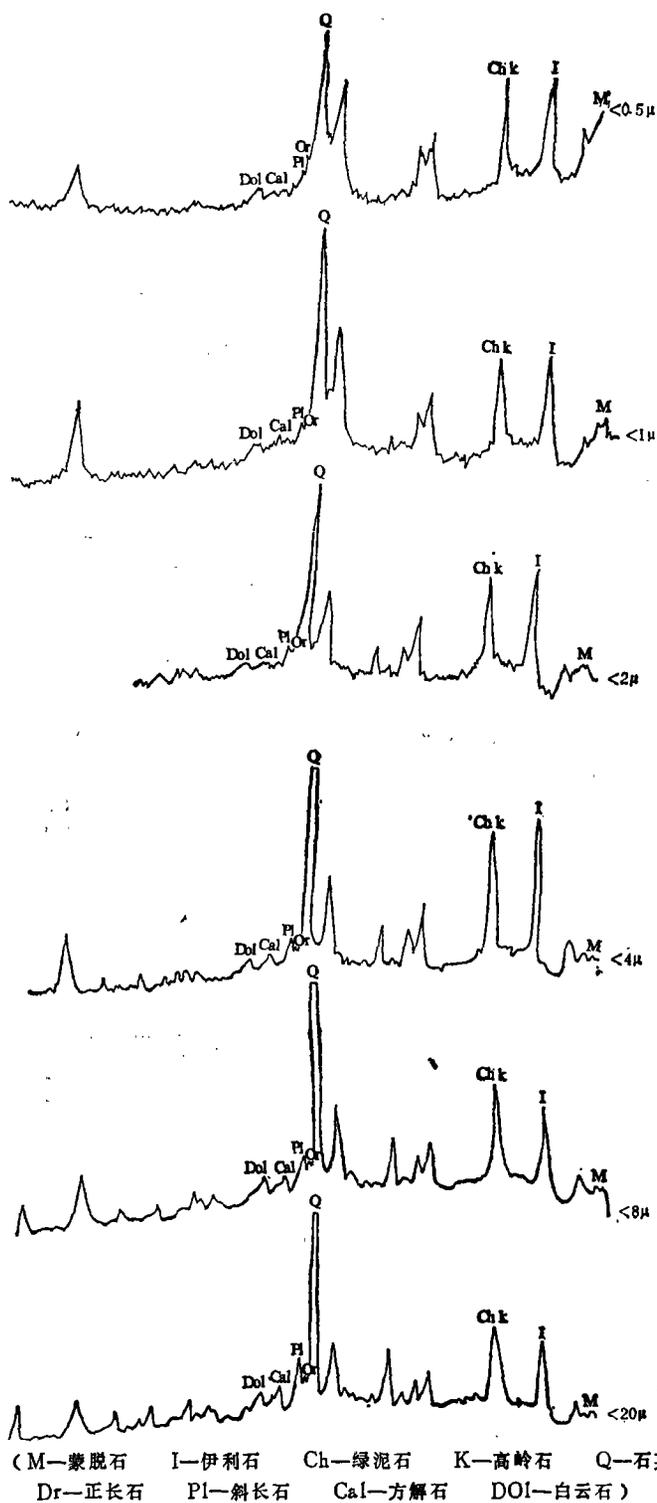


图 2 长江口细颗粒泥沙粒径分级试样X衍射图谱

Fig. 2 X-ray Diffraction spectrum of the sample grain size grading of fine grain sands from the Yangtze River mouth

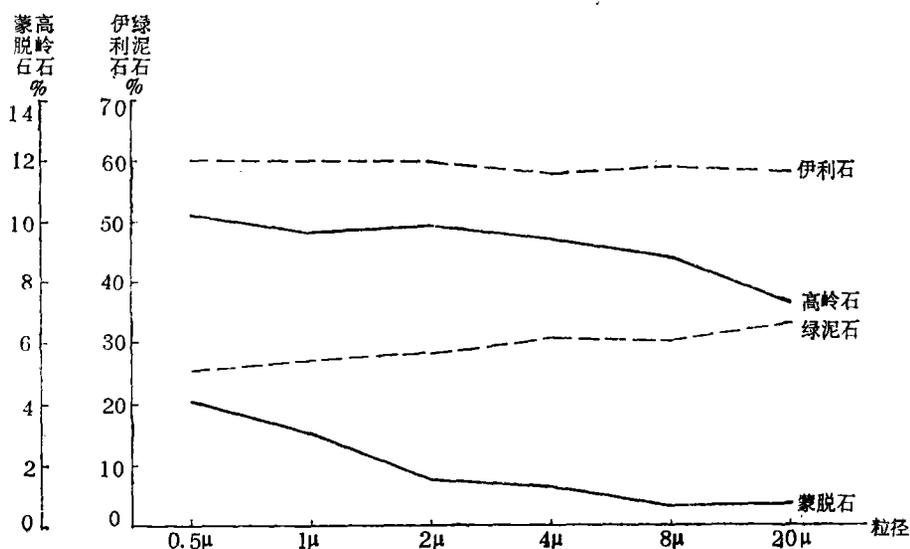


图3 不同粒径沉积物中主要粘土矿物含量的变化

Fig. 3 Content change of main clay minerals in deposits with different grain size

表5 绿泥石/高岭石的峰高比值

Table 5 Peak ratio of chlorite and kaolinite

样号	矿物名称	粒径											
		<0.5u		<1u		<2u		<4u		<8u		<20u	
		峰高	比值	峰高	比值	峰高	比值	峰高	比值	峰高	比值	峰高	比值
101	绿泥石	60	1.05	64	0.98	55	1.14	60	1.36	76	2.26	58	2.32
	高岭石	57		65		44		44		31		25	
42	绿泥石	60	0.91	81	0.95	37	1.03	55	1.10	52	2.08	43	2.50
	高岭石	62		85		36		50		25		17	
51	绿泥石	67	0.96	66	1.02	28	1.08	38	1.19	54	1.50	41	1.86
	高岭石	70		65		26		32		36		22	

K_2O 粘土类沉积物中平均含量为3.09%，于粘土质粉砂类中则为2.64%，分级试样中，它的含量从3.56%降至2.86%（表6、图4）。含量最高值在粒径为<1微米—<4微米之间，分别为3.70%，3.79%和3.81%。其原因是：粘土矿物将钾离子从溶液中聚集到其晶格层间或表面造成富集，故粘土矿物的含量降低 K_2O 的含量亦低。图3说明，1—4微米的沉积物，除富集粘土矿物外，钾长石也逐渐增多，故 K_2O 的富集是必然的。粒径<20微米的粉砂类沉积物，虽钾长石增多，但粘土矿物的数量显著降低，故 K_2O 的含量仍低，以致在粉砂类沉积物中其含量为2.33%。

表6 长江口细颗粒沉积物分级试样化学元素平均含量

Table 6 Average content of chemical elements in deospits with fine grain size of the Yangtze River mouth

氧化物及元素 平均含量	沉积物粒径					
	<0.5 μ	<1 μ	<2 μ	<4 μ	<8 μ	<20 μ
K ₂ O(%)	3.56	3.70	3.79	3.81	3.39	2.86
Na ₂ O(%)	0.91	0.61	0.49	0.61	0.91	2.86
CaO(%)	0.70	1.03	1.54	2.28	2.86	1.36
Fe ₂ O ₃ (%)	8.44	8.24	8.19	7.44	6.29	5.31
MgO(%)	2.44	2.45	2.67	2.79	2.64	2.48
NnO ₂ (%)	0.15	0.18	0.20	0.22	0.20	0.15
Co(ppm)	45.39	47.74	49.85	47.73	39.26	30.76
Ni(ppm)	79.85	78.49	79.33	68.13	59.82	47.88
Zn(ppm)	275.85	254.11	318.70	267.86	222.93	164.55
Cu(ppm)	100.27	106.93	105.38	84.10	62.71	49.63

表7 不同类型沉积物的化学组成平均值

Table 7 Average values of chemical components of different deposits

沉积物类型 元素含量	微量元素含量(ppm)							
	Ni	Co	Cu	Pd	Cd	Zn	V	B
粉砂质粘土	65.80	38.30	46.22	26.60	1.33	318.40	/	54.80
粘土质粉砂	57.80	33.98	45.70	26.72	0.88	312.20	52.2	72.63
砂	57.55	25.05	29.53	22.60	0.55	194.60	124.3	28.50

Fe₂O₃ 其含量在粘土类沉积物中为6.84%，粉砂类沉积物中为5.08%。于分级试样中，含量则从8.44%降至5.31%，Fe₂O₃的含量随粒径之增大而降低，但在<0.5微米—4微米粒级范围内差异较小，而其后变化甚大，以致<20微米粒径的沉积物为5.31%（表6），这充分表明，随粒径之增大，碎屑矿物相继增多（如图2、表4）。因此长江口细颗粒沉积物中，铁含量的递增不依赖于粉砂粒级的沉积物，而是与粘土矿物密切相关。

Co、Ni、Zn、Cu等四种元素的含量变化与Fe₂O₃相似，其含量值见表7、表6。它们显示出：①在粒径<2微米以下的三个粒级范围内，元素含量值均较高。②在粒径<4微米后随着粒径增大，元素含量则明显降低。然而，沉积物经X衍射鉴定后，并未

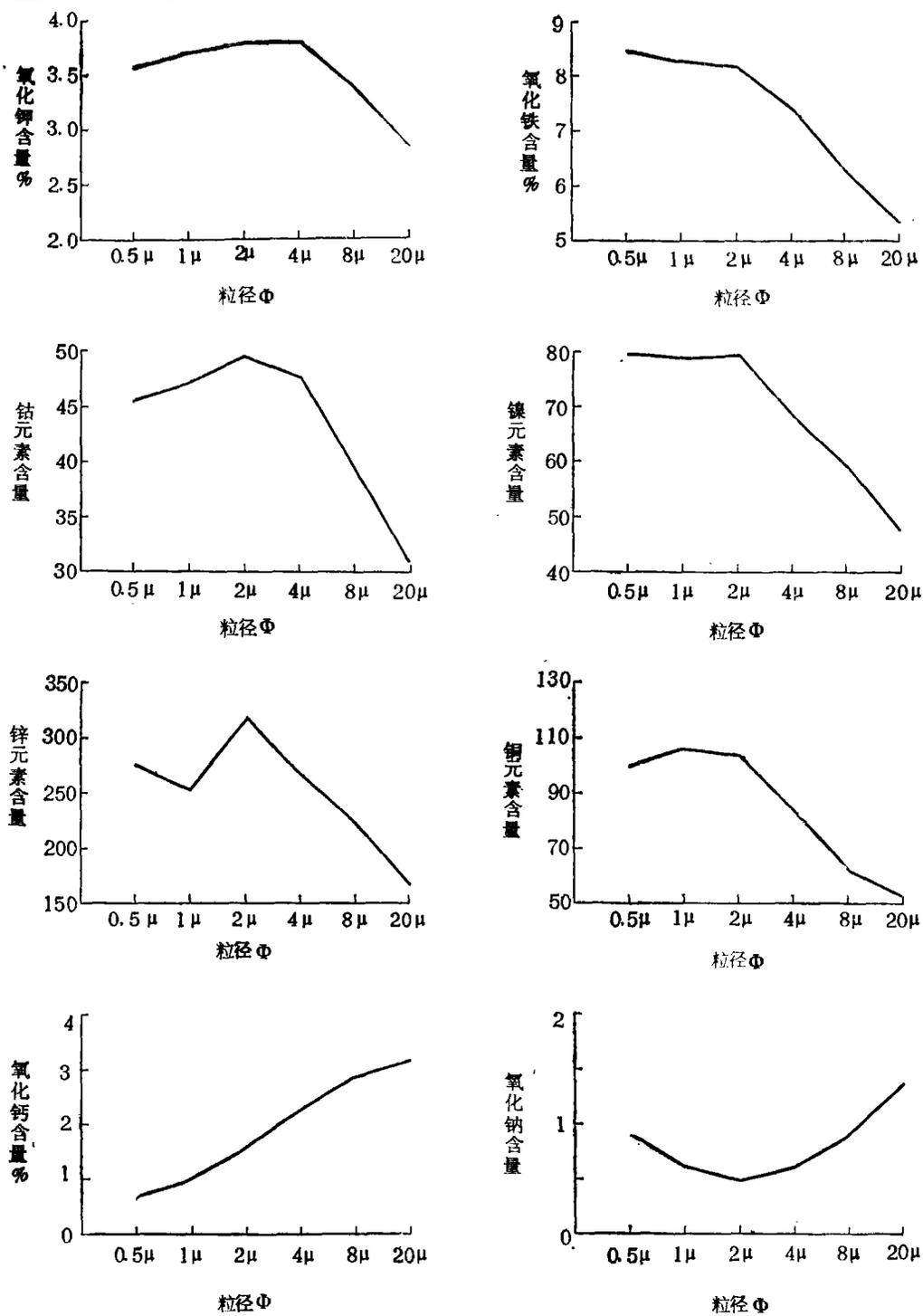


图4 不同粒径沉积物中元素(Zn, Cu, Co, Ni)和氧化物(K₂O, Fe₂O₃, CaO, Na₂O)含量变化曲线

Fig. 4 Content change curves of Zn, Cu, Co, Ni in deposits with different grain size and some oxides (K₂O, Fe₂O₃, CaO and Na₂O)

发现赋存这些元素的矿物，故断定它们的富集应是与细颗粒沉积物有关。

2. 随沉积物粒径增大, Ca、Na含量增高

本区沉积物的化学组成中，钙与钠呈现此规律。

CaO 它在粘土类沉积物中的平均含量为1.85%，砂类沉积物中为2.77%。于分级试样中，则其含量从0.7%增至3.6%，沉积物中该元素含量随粒径增大而增高，图2和图6可知，随沉积物粒径增大，粘土矿物含量降低，碎屑矿物增高，同时出现方解石、白云石和斜长石等矿物，致使沉积物中含钙量显著增高。此外，钙的含量在沉积物粒径 >4 微米后骤然增多，这与该粒径之后，碳酸盐类矿物出现较大幅度的增高相符（如图2）。

Na_2O 它在粘土类沉积物中的平均含量为2.19%，在砂类沉积物中为2.70%，于分级试样中， <0.5 微米粒径的沉积物为0.91%；由 >1 微米至20微米粒径的沉积物，其含量从0.61%增至1.36%。钠元素的含量随沉积物粒径之增大而增大（表6），原因是：在粒径为1—4微米的沉积物中，粘土矿物含量缓慢减少，碎屑矿物则逐渐增高。粒径为 <0.5 微米的沉积物中，其碎屑矿物含量甚微，但蒙脱石含量却高于其它粒级（表3、图5），所以，当蒙脱石与海水中的钠进行阳离子交换后，使其在晶层间赋存较多量的钠，致使此粒级的钠含量偏高。

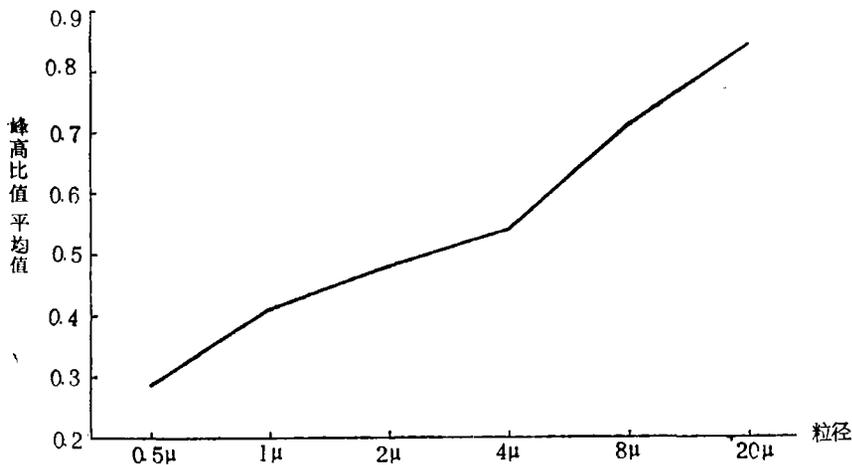


图5 碎屑矿物/粘土矿物峰高比值(平均值)与沉积物粒径变化关系

Fig. 5 Relationship of the peak ratio (average) of the clastic rock and clay and the grain size change of deposits

三、结 语

1. 粘土矿物的沉积特征

蒙脱石 它主要富集于粒径为 <0.5 微米和 <1 微米两个粒级内。（如图3）。在区域上其含量向口外海滨呈递增的趋势，原因在于这里的盐度环境（ $>5\%$ ）及较弱的水动力条件有利于蒙脱石的凝聚和沉淀。

高岭石 其含量在区域分布上,与蒙脱石呈相反的趋势,即河口口门区的含量高于口外海滨,这是由于它凝聚盐度小于3‰,且高岭石的颗粒一般大于蒙脱石而易于优先沉淀。

绿泥石 由表3可知,它主要富集于较粗的粒级内,它源于陆源碎屑,自生成因者

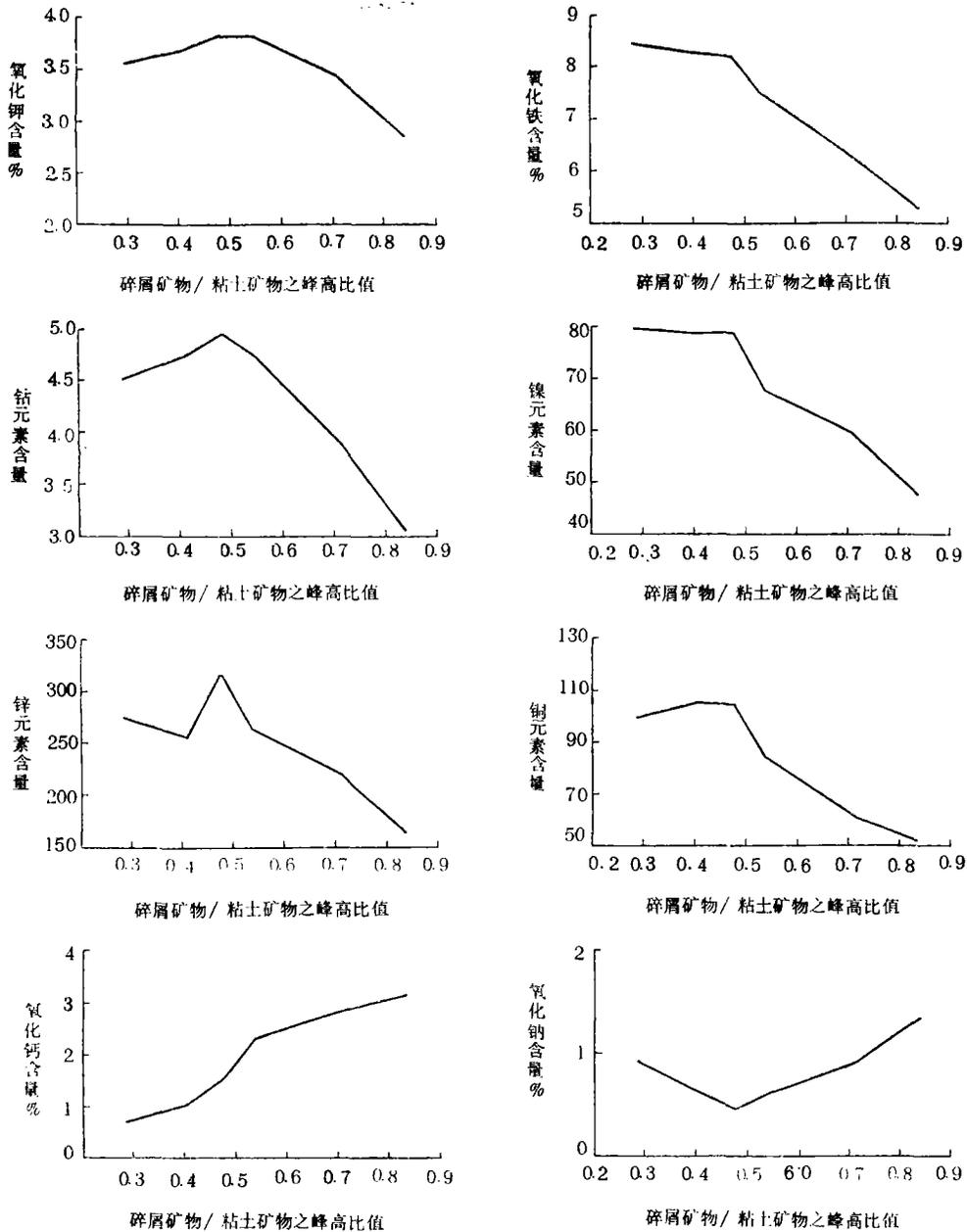


图6 碎屑矿物/粘土矿物峰高比值与沉积物元素含量相关图

Fig. 6 Correlationship of the peak ratio of the clastic rock and clay and the element content in deposits

极少。

2. 沉积物中化学元素的主要赋存状态

本区沉积物化学元素含量的变化与其粒径有一定规律，但变化的频率在粒级分配上是不均称的。而且与矿物种类密切相关（图 5），即某些元素与粘土矿物相关，而另一些则与碎屑矿物有关。

Fe、Mn、Ni、Co、Cu、Zn 等元素，在沉积物中主要的赋存状态为吸附。这些元素皆随粒径的增大，而含量降低，并在粒径为 8 微米后，降低的幅度更大，其变化趋势与粘土矿物含量变化基本相吻（图 6）。

Na、Ca 等元素在沉积物中，主要以碎屑矿物的形式出现，它们随沉积物粒径的增大含量迅速递增。据 X 衍射鉴定，在粒径为 > 4 微米的沉积物中，斜长石和碳酸盐类矿物含量增高。

钾元素在长江口现代沉积物中，它们的含量取决于粘土矿物和钾长石的多少。 < 4 微米的含量高峰据 X 衍射分析与粘土矿物的存在和钾长石的相对富集两个因素叠加有关。

（收稿日期 82 年 3 月 16 日）

参 考 文 献

- [1] 张志忠等, 1977, 长江口浮泥特性的初步研究, 杭州大学学报, 第 1 期。
- [2] 戈尔德施密特, V.M. 1959, 地球化学, 科学出版社。
- [3] 格里姆, R. E. 1960, 粘土矿物学, 地质出版社。
- [4] Feuillet, J.P., 1980, Estuarine Circulation; Controlling Factor of Clay Mineral Distribution in James River Estuary, Virginia, J. Sed. Petrology, V.50N. 1.
- [5] Edzwald, J.K., et al. 1975, Clay distributions in recent Estuarine, Clay and Clay Minerals V.23.
- [6] Biscaye, P.E., 1965, Mineralogy and Sedimentary of Recent Deep-Sea Clay in the Atlantic Ocean and Adjacent Seas and Oceans, Geol. Soc. America Bull., V. 76 N. 6.
- [7] Gibbs, R.J., 1977, Transport Phases of Transition Metals in the Amazon and Yu Kon River, Geol. Soc. America Bull. Y.88N 6.
- [8] Gibbs, R.J. 1977, Clay Mineral Segregation in the Marine Environment, J. Sed. Petrology; V.47 N. 1.

CLAY MINERALS IN FINE-GRAINED SEDIMENTS AT CHANGJIANG ESTUARY AND THEIR GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS

Lu Qianrong

Wang Xiaojing

(Institute of Estuarine and Coastal Research,
East China Normal University, Shanghai)

Abstract

It is clear that different clay minerals are usually of different grain size. In order to study their interrelationship, six grades of grain size were separated in this paper (i. e. $<0.5\mu$, $<1\mu$, $<2\mu$, $<4\mu$, $<8\mu$, and $<20\mu$), their mineral composition and geochemical characteristics were examined.

Minerals from treated samples were identified and quantitatively calculated by means of X-ray diffraction and electronic microscope. Meanwhile, atomic-absorption spectrum was applied to certain elements contained in various grades of grain size in quantitative analyses. Based on the above data, it is recognized that clay minerals are mainly composed of illite and secondly chlorite, kaolinite, montmorillonite, etc.. Minor hydrated kaolinite minerals can also be seen under electronic microscope. Based on the comprehensive analyses, the conclusions on the correlation between sediment grain-size, mineral construction and chemical composition have been drawn as follows:

1 With the increase of sediment grain-size, the clay mineral content decreases and the clastic mineral increases. The clay mineral dominates the sediments with a grain-size $<0.5\mu$; quartz is low in content; feldspar and calcite are hardly seen. On the other hand, in sediments with a grain-size of $<20\mu$ clay mineral decreases in content; quartz and feldspar increase in amount and clastic minerals, such as calcite, dolomite and mica can also be found.

2 Montmorillonite content decreases with the increase of sediment grain-size, so does the kaolinite content. This relationship becomes apparent while the grain size of sediments increases up to $>8\mu$. However, chlorite content is contrary to the kaolinite content as the grain size of sediments increases. No clear correlation can be observed between illite and its grain size.

3 The contents of K, Fe, Co, Ni, Zn and Cu decrease while these of elements, such as Ca, Na, increase as the grain size of sediments increases.

4 The properties of regional distribution of clay-mineral content are modified mainly by the salinity of water media as well as grain size. From the estuary to-

wards seashore, montmorillonite and chloride increase in content while the kaolinite content decreases.

5 Elements in sediments, such as Fe, Mn, Ni, Co, Cu and Zn, occur mainly in a state of absorption while Na, Ca exist right in the crystal lattice of minerals.