

黄河、长江、珠江沉积物中粘土的矿物组合、化学特征及其与物源区气候环境的关系*

杨作升

(青岛海洋大学)

提要 采用X射线衍射、电镜扫描、能谱分析、等离子体吸收光谱、原子吸收光谱等方法,对黄河、长江、珠江河口段及其邻近海域的粘土作了矿物组合及化学特征分析,发现它们之间存在差别,根据其特点划分出黄河型、长江型和珠江型三种粘土,它们分别具有半干旱寒冷气候区、湿润温暖气候区和多雨炎热气候区产物的特点,和这三大河沉积物主要物源区的气候环境是对应的。三大河物源区由北而南分处不同气候环境,是区分三大河粘土的客观基础。上述结果可用于判别三大河毗邻海域中沉积物的来源和扩散。

黄河、长江和珠江是中国最大的三条河流,其入海泥沙量约占中国较大河流入海泥沙总量的90%¹⁾,多年平均值为16亿吨左右(图1)¹⁾。在上述巨量泥沙中,粘土及其主要成分——粘土矿物占有很大比重,一般在1/3以上。研究上述粘土的矿物组合、化学特征、来源和成因,对于认识河-海沉积作用,阐明陆-海物质平衡,确定中国海陆架沉积物来源、边界和分区以及测定这些沉积物的各种特征等,都具有重要的意义^{1),7)}。

我们在黄河、长江和珠江三角洲地区口门河段及其毗邻海域等处采集的153个典型样品,包括沉积物底质样和悬浮体样,其中黄河及渤海沉积物样品²⁾采样地区包括黄河下游的郑州、洛口、垦利,河口陆上三角洲的渔洼、清三、清四、清六、清七及拦门沙感潮河段,黄河三角洲潮间带及莱州湾河口海域,渤海南部等地,共35个样品;长江及黄、东海沉积物样品³⁾采样地点有长江南京河段,长江口北港、南港河段,九段沙、横沙、崇明岛南部等地及口门一带,还有自长江口向东到126°30'E,南北为30—33°N的黄、东海地区(图2),共87个样品;珠江及南海陆架沉积物样品⁴⁾采样地区包括珠江下游的梧州、思贤濠,珠江三角洲的黄埔河段大右河段以及入海口门如虎门、蕉门、横门、鸡啼门(大林站)、崖门、洪奇沥、磨刀门等地区;南海陆架样品包括自珠江口到21°20'N一带的样品,共31个。

本文对样品的粘土粒级部分作了矿物及化学元素分析,描述了其鉴别特征,解释了其

* 国家教委基金资助项目。

收稿日期:1986年12月28日。

1) 海河现在入海泥沙不多,故未计算在内。

2) 以上样品是山东海洋学院1984届学生陈锡东在作者指导下作毕业论文时会同珠江水利委员会及南海分局环境中心监测站等单位取得的。

3, 4) 同2)。

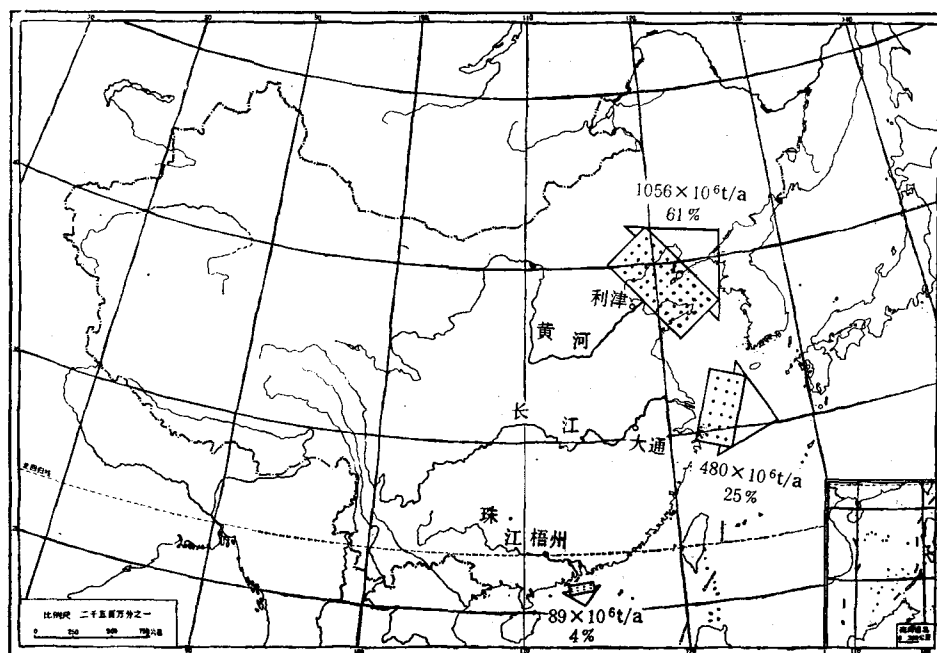


图 1 中国三大河多年平均入海泥沙量

Fig. 1 Three biggest Chinese rivers and their annual average sediment load to the seas

源区环境，并以黄、东海交界附近沉积物来源为例说明了上述结果在海洋地质学中的应用。

一、样品处理和实验技术

1. 粘土粒级的提取和 X 射线衍射定向片的制备

将所得沉积物样品加蒸馏水稀释，离心洗去盐分，加过氧化氢除去有机质，用超声波分散，以沉降法提取粘土粒级 ($<2 \mu\text{m}$)，直到全部粘土粒级从沉积物中提出为止。

X 射线衍射用的定向片制备采用的是抽滤法，即将一定数量粘土加入一定体积的蒸馏水中，获得已知浓度的稀泥浆，再倾入抽滤器中，其底部置有微孔滤膜或滤片，然后在 5 分钟内将稀泥浆抽滤在膜或片上，数量不足时可再倒入样品。滤膜或片有 $<0.45 \mu\text{m}$ 的微孔，膜为有机质或银质，片为陶瓷。采用抽滤法的优点是：1) 可避免因自然干燥法中矿物重力不同而产生的分异效应；2) 省时；3) 允许用乙二醇蒸气法处理定向片，以避免通常用甘油法处理后可能产生的吸潮及分布不匀等问题，这是因为膜中微孔可吸附和保持乙二醇蒸气的缘故，从而达到良好的乙二醇饱和效果。采用银膜可使背景衍射降到最低。本处采用美国 Milipore 公司生产的银膜。

2. 样品处理和仪器分析条件

X 射线衍射分析所用样品分别作乙二醇蒸气饱和处理，再加热到 400°C 处理一次，最

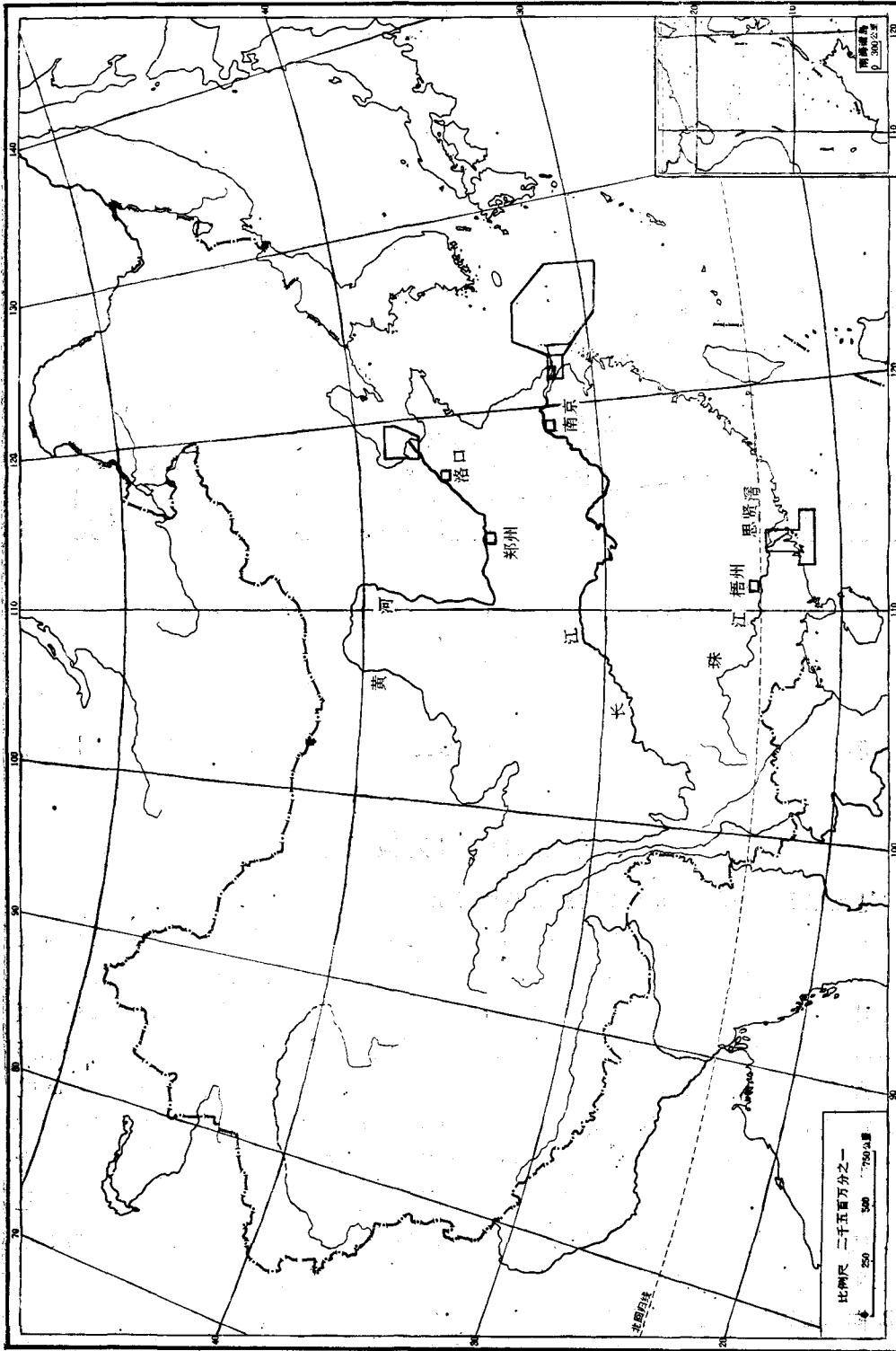


图2 取样地点及区域示意

Fig. 2 Sampling points and areas

□ 取样区域

后在 500℃ 处理。在确定伊利石时，一部分 X 射线衍射谱用计算机处理过。用修正后的 Biscay 法估算粘土矿物百分含量，在估算绿泥石和高岭石时，考虑了绿泥石中铁含量的影响；混合层矿物的定量估算用热处理法进行。X 射线衍射分析所用仪器为转靶衍射仪，管流 80—100 mA，管压 45 kV，衍射谱再现性和灵敏度良好。

扫描电镜及能谱分析用 EDX-215 型仪器进行；等离子体光谱用 ICPQ-1000 型仪器进行；部分样品用原子吸收光谱进行。

二、实验结果和三大河粘土特征的比较

1. X 射线衍射分析

X 射线衍射分析表明：黄河入海沉积物中的粘土矿物成分以伊利石为主，平均含量为 62%；其次为蒙皂石¹⁾；再顺次为绿泥石和高岭石（图 3）。长江粘土矿物中的伊利石平

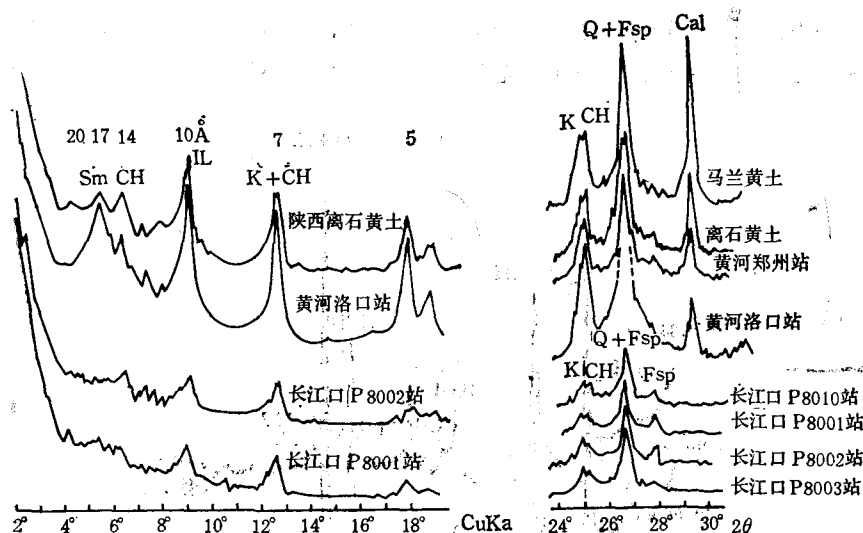


图 3 黄河黄土和长江粘土矿物的 X 射线衍射谱^[7]

Fig. 3 Typical X-ray diffractograms of clays from the Huanghe loess and Changjiang Rivers

表 1 三大河粘土矿物平均含量比较(%)

Tab. 1 Comparison of average contents of clay minerals from 3 rivers in %

三大河 \ 粘土矿物	伊利石	蒙皂石	绿泥石	高岭石
黄河	62	16	12	10
长江	65	10*	11	14
珠江	50	3	17	30

* 包括膨胀性混合层。

1) 蒙皂石 (Smectite)，即过去统称的蒙脱石族，包括蒙脱石和皂石两亚族。按 1976 年国际粘土协会规定将上述两亚族称为蒙皂石族。

均含量为 65%；高岭石次之，含量比黄河的略高；绿泥石和蒙皂石较少，蒙皂石主要表现为膨胀性混合层（图 3），大部为蒙皂石-伊利石混合层型。珠江粘土矿物中的伊利石占 50% 左右，明显地少于黄河和长江；高岭石含量次之，可达 30% 左右，分别是黄河的 3 倍和长江的 2 倍；绿泥石为 17%；蒙皂石约为 3%，仅为黄河的 1/5 和长江的 1/3。

表 1 综合了三大河粘土矿物含量，它表明最显著的区别是蒙皂石和高岭石的含量：位于北方的黄河，蒙皂石最多，高岭石最少；位于南方的珠江正好相反——蒙皂石最少，高岭石最多；长江则处于中间状态。与此相应，伊利石和绿泥石含量也有差异，但不很明显。

为了鉴别蒙皂石的种属，将长江和黄河的粘土样品用 LiCl 法处理后再作 X 射线衍射，结果表明，其蒙皂石主要属贝得石矿种，是陆源云母类风化后的产物。

粘土中的非粘土矿物往往具有指示物源或成因的价值。黄河粘土中的非粘土矿物的特点是具有相当多的方解石及不稳定的矿物角闪石（图 2），此外，还有石英、钾长石和酸性长石。长江仅为石英和长石，矿物种类在三大河中最少（图 3）。珠江粘土中除了长石、石英外，特点是 X 射线谱上有三水铝石和针铁矿出现（图 4）。

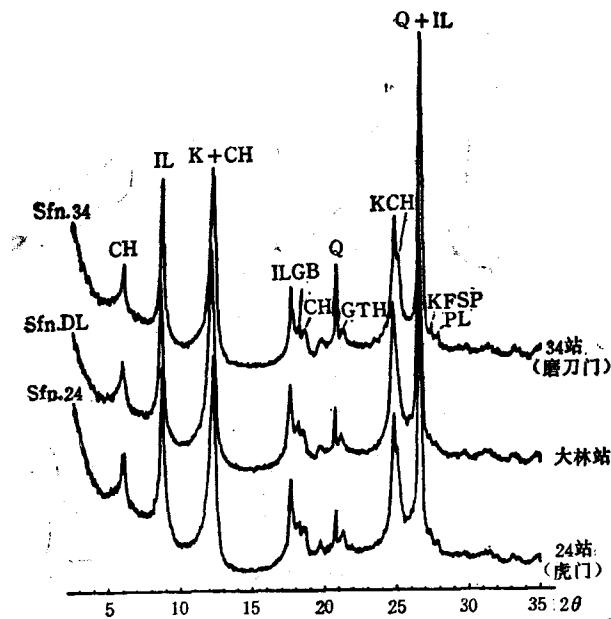


图 4 珠江粘土的典型 X 射线衍射谱

Fig. 4 Typical X-ray diffractogram of clays from the Zhujiang River

(图中 Sfn. 应为 Stn.)

2. 化学成分分析结果

黄河粘土的特点是含有较多的碱土金属及碱金属，如 Ca, Sr, Na 等，尤其是 Ca 含量是长江的 2 倍、珠江的 5 倍以上，是世界大河口平均值的 3 倍、世界土壤中 Ca 平均值的 4 倍，这和粘土中存在相当数量的方解石相对应；而 Fe, Ti 和 Mn 等元素含量则较少（表 2）。

长江粘土中的 Na, Ca, Sr 等比黄河少, 但 Fe, Al, Ti 则较高。珠江粘土中碱金属和碱土金属元素的含量比长江更少; Ca 不到黄河的 1/5, Sr 不到黄河的 1/2; 但 Al, Fe, Ti 等元素则比黄河和长江的都高(表 2, 3)。

表 2 黄河、长江和珠江口门河段粘土中的 8 种主要元素百分含量

Tab. 2 Percentages of 8 elements of clays from the estuaries of the Huanghe, Changjiang and Zhujiang Rivers

河口段	样品数	元 素							
		Si	Al	Fe	Ca	Mg	Na	Ti	Mn
黄河	32	55.2	20.8	7.0	10.8	2.8	2.0	0.76	0.13
长江	41	55.5	22.0	11.5	3.9	2.8	1.2	1.0	0.18
珠江	23	54.1	24.1	13.1	2.1	2.4	(缺)	1.48	0.26

表 3 黄河、长江和珠江河口段细粒级沉积物中某些元素的含量与
乌兰黄土和世界河口平均值的比较 (ppm)

Tab. 3 Comparison of contents of some elements of finegrained sediments from the estuaries of the Huanghe, Changjiang and Zhujiang Rivers with those from Malan loess and average values of world rivers

元 素	河 口 段			乌兰黄土 ^[8]	世界河口平均值 ^[8]
	黄 河 ^[8]	长 江 ^[8]	珠 江		
Na	9000	5000	4100	10000	7100
Ba	600	560	361	580	600
Sr	220	150	95	250	150
Zr	140	160	197	160	—
V	110	160	161	121	170
Zn	75	107	150	75	350
Cr	72	83	118	74	100
Cu	33	70	64	38	100
Ni	38	78	50	46	90
Co	12	25	24	14	20
Pb	35	65	56	35	150
Be	1.6	2.1	3.9	1.6	—
P	1100	1150	873	1100	1150

从表 3 可见, 长江和珠江粘土中的某些重金属如 Cu, Pb, Zn, Cr, V 等均比黄河高, 表明其受到一定污染, 可作为暂态示踪剂。黄河的含量接近源区背景值。

三、三大河粘土成分特征及其与源区环境的关系

上述结果表明, 三大河粘土的矿物组合和化学成分特征差别很大, 这可用其物源区气候条件不同来解释。

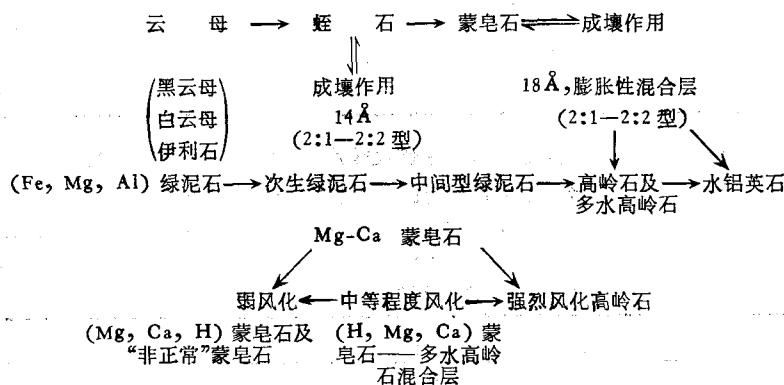
1. 黄河沉积物

黄河沉积物 90% 来自黄河中游的黄土高原, 具有黄土富 Ca 等特点, 源区黄土呈碱性或弱碱性 (pH 7.8—8.2)^[2], Ca 大量富集导致生成方解石。由于黄土高原气候比较干

早寒冷,化学风化较弱,这种碱性、弱化学风化的环境有利于土壤中方解石和蒙皂石的形成和保存^[6],也有利于角闪石这一不稳定矿物在粘土粒级中的保存,但却不利于高岭石的形成。

2. 长江沉积物

长江沉积物 80% 来自川江,长江地区气温较黄土高原高得多,雨量也多,土壤多呈弱酸性或酸性,化学风化较黄河流域强,这种环境条件导致:(1)蒙皂石含量减少,出现相当多的膨胀性混合层矿物;(2)粘土矿物中最稳定的高岭石含量增加;上述过程可图示如下^[4,6]:



(3)碱土金属被大量淋溶带走, Ca 含量减少, 方解石不再在粘土中显示, Al, Fe 等元素随风化作用增强而增加。

3. 珠江沉积物

珠江沉积物主要来自炎热多雨的西江地区,土壤呈酸性,化学风化强烈,结果导致:(1)在碱性土壤中稳定的蒙皂石趋于消失;(2)风化强烈的产物——高岭石大量形成,这一

表 4 黄河型、长江型和珠江型粘土的对比

Tab. 4 Comparison of the characteristics of Huanghe type, Changjiang type and Zhujiang type clays

	黄河型粘土	长江型粘土	珠江型粘土
矿物成分特征	1. 含有相当多的蒙皂石; 2. 伊利石 > 蒙皂石 > 绿泥石 > 高岭石; 3. 粘土矿物结晶程度较好; 4. 存在相当数量的方解石和少量角闪石。	1. 蒙皂石多以膨胀性混合层矿物出现; 2. 伊利石 > 高岭石 > 绿泥石 > 蒙皂石(膨胀性混合层矿物); 3. 粘土矿物的结晶变差。	1. 蒙皂石含量很少; 2. 伊利石 > 高岭石 > 绿泥石 > 蒙皂石; 3. 粘土中高岭石结晶度较差; 4. 存在一定数量的三水铝石和针铁矿,石英含量增高。
化学成分特征	1. 某些碱土金属(如 Ca, Sr)及碱金属(如 Na)的含量较高,如 Ca 是长江的 2 倍、珠江的 5 倍; 2. Fe, Al 含量较少; 3. 痕量金属含量在天然背景值内。	1. Fe, Mn 含量较黄河的高; 2. 某些痕量金属(如 Cu, Ni, Pb 等)含量较黄河和珠江高,表明入海沉积物受到污染。	1. 碱土金属如 Ca, Mg, Sr, Ba 等显著低于长江和黄河; 2. Ti 含量是黄河的 2 倍、长江的 1.5 倍; 3. Al, Fe 值较高; 4. Zr, Zn, Cr 等含量较高。

风化过程的终端产物即铁与铝的氢氧化物如三水铝石及针铁矿等也同时出现;(3)碱金属及碱土金属被大量淋溶失掉,其含量在三大河粘土中降至最低,方解石完全无显示;(4) Si, Al, Fe, Ti 等元素的含量因风化强烈而残留粘土中且明显增加。

综上所述,三大河粘土各具有其特定的、对应于其物源区气候环境的矿物和化学成分组合,我们把这三种组合分别称为“黄河型”、“长江型”与“珠江型”粘土,并归纳于表 4。

四、在判别中国海陆架沉积物来源和扩散中的应用

由于中国海陆架有大量沉积物来自三大河,因此利用上述粘土的特征,可以判别陆架沉积物的来源及泥质部分的扩散情形,对东海北部陆架沉积物的来源和分区的研究就是成功的一例。过去,一些学者认为,长江口以东到济州岛一带陆架区沉积物主要来自长

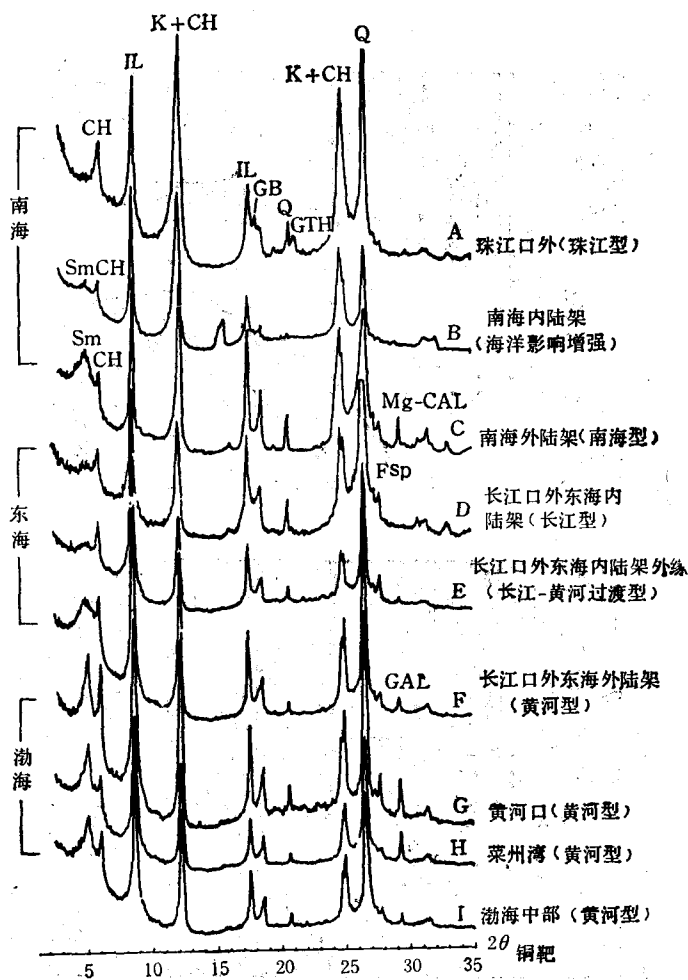


图 5 黄河、长江和珠江口及其相邻陆架区粘土的典型 X 射线衍射谱

Fig. 5 Typical X-ray diffractograms of clays from the Huanghe, Changjiang and Zhujiang Rivers and their adjacent continental shelves.

(图中莱州湾应为莱州湾)

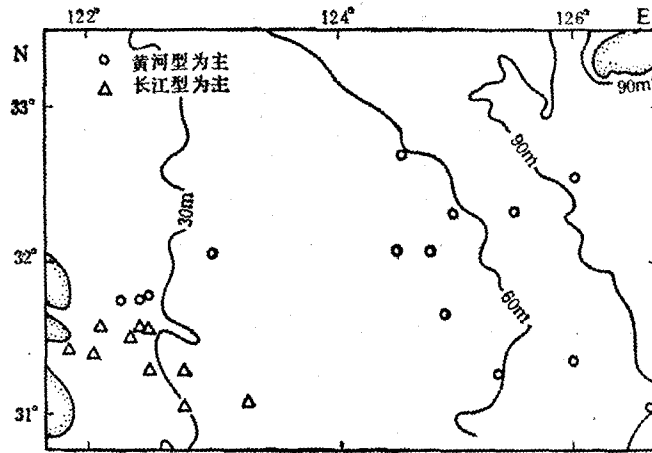


图 6 长江口外陆架区粘土类型

Fig. 6 Types of clays in the continental shelf adjacent to the Changjiang estuary

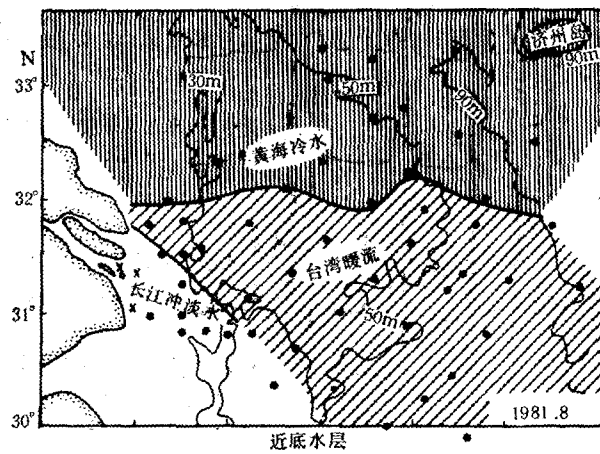
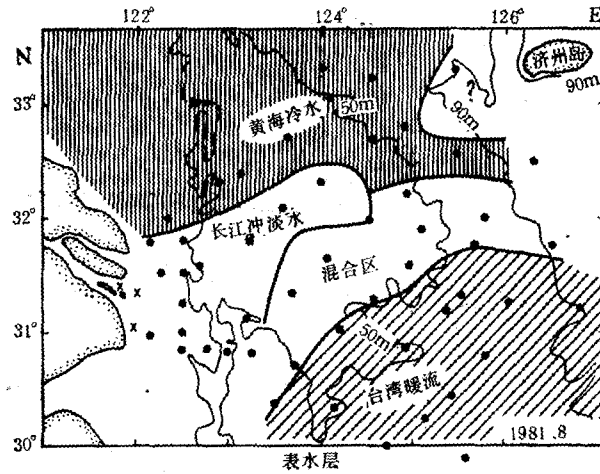


图 7 长江口外夏季水团分布 (1981年8月)^[5]

Fig. 7 Water mass distribution on the continental shelf area adjacent to the Changjiang estuary in August, 1981

江,少量来自外海^[1],^[3]利用上述特征对该区沉积物作判别,结果表明,在这一带的中陆架和外陆架上,粘土中有不少方解石和蒙皂石(图 5F),这和黄河型粘土的特征是一致的,但在长江口以东不超过 123°30'E 的内陆架,粘土中却无方解石,在其 X 射线衍射谱上无明显分离的蒙皂石峰,仅见膨胀性混合层矿物所具有的 10—17Å 的连续波状峰,与长江型粘土特征一致(图 5D)。经分析知蒙皂石属贝得石种,为陆源成因。由上述可见,本海域外陆架沉积物泥质部分主要属黄河型,长江入海沉积物的影响仅限制在长江口外 123°E 以西的海域(图 6)。

这一分区和边界的划分与本海域水团分布和海流情形相对应。本海域黄河物质主要来自苏北老黄河口,被海洋动力因素侵蚀、悬浮的当地黄河沉积物由沿岸流带向南和东南方向,沉积到中、外陆架区;在长江口以东,由长江排出的沉积物主要集中在水体中、下层,在北上的台湾暖流的阻隔与顶托下,它们无法向东越过 123°30'E,而被南下的海流带向南及东南的内陆架及杭州湾一带,这在冬季尤其如此(图 7, 8)^[4];黄、东海海流分布与上述情况一致,这就证实了根据粘土的矿物和化学成分组合特征得出的东海陆架物源区的结论。

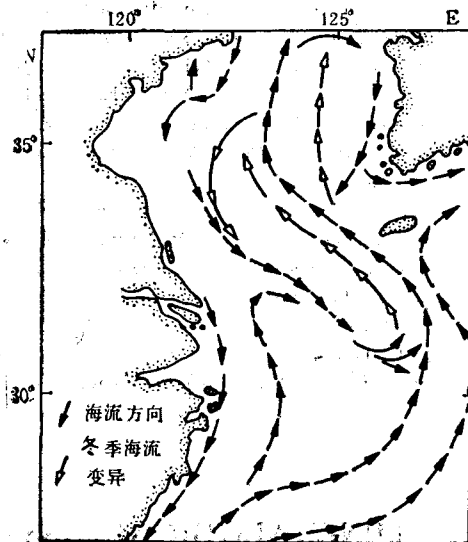


图 8 黄、东海流系图(据管秉贤等改绘)
Fig. 8 Current system in the Huanghai Sea and East China Sea

五、结 论

1. 中国三大河入海沉积物中的粘土具有十分不同的矿物和化学成分组合特征。黄河型粘土具有相对比较寒冷干旱气候环境产物的特征,长江型粘土具有温暖湿润气候环境产物的特征,珠江型粘土具有炎热多雨气候环境产物的特征。2. 造成以上差异的原因是:因为三大河粘土的主要来源区分属不同的气候环境。黄河沉积物 90% 来自中游的黄土高原,长江沉积物 80% 来自川江,珠江沉积物 70% 来自西江,物源区气候条件差别较大。3. 中国特有的西高东低地势是产生上述差异的客观基础。由于中国三大河由北向南排列,河水基本上是由西向东流,所以三大河主要物源区从南到北基本平行排列,分属不同的气候类型,为区别三大河粘土提供了客观条件,这是中国大河的特色,与世界其他大河如密西西比河等不同。4. 上述结果可用于判别三大河毗邻海域中沉积物的来源和扩散,也可用于古代三大河流域及岸线变迁的探索。

参 考 文 献

[1] 文启忠、杨伟华、刁桂恬等,1964。有关黄河中游黄土地球化学的某些特征,第四纪地质问题。科学出版社,

1) 时英民,1978。东海大陆架沉积物中的粘土矿物。东海大陆架论文集。(中国科学院海洋所内部资料)

- 76—77 页。
- [2] 刘东生等, 1966. 黄土的物质成分和结构. 科学出版社, 59—68 页。
- [3] Aoki, S., et al., 1983. Clay Mineral Composition in Surface Sediments and the Concentration of Suspended Matter of the East China Sea, Proceedings of SSCS, China Ocean Press, p. 78.
- [4] Jackson, M. L., 1964. Soil Clay Mineralogy, A Symposium. Ed. by Rich C. I. and G. E. Kuntz, The University of North Carolina Press, Chapel Hill, p. 259.
- [5] Milliman, J. D., R. C. Beardsley, Yang Zuosheng et al., 1985. Modern huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms. *Jour. Continental Research* 4: 175—188.
- [6] Takeshi, H., 1978. Weathering process of smectite, *Developments in Sedimentology* 26: 221—242.
- [7] Yang Zuosheng and J. D. Milliman, 1983. Fine-Grained Sediments from the Changjiang and Huanghe Rivers and Sediment Sources of the East China Sea, Proceedings of the International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special References to the East China Sea. China Ocean Press, Vol. 1 pp. 72—82.
- [8] Y. H. Lee, H. Teraoka, Z. S. and Yang Zuosheng et al., 1984. The elemental composition of suspended particles from the Yellow and Changjiang Rivers, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 1561—1564.

MINERALOGICAL ASSEMBLAGES AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CLAYS FROM SEDIMENTS OF THE HUANGHE, CHANGJIANG, ZHUJIANG RIVERS AND THEIR RELATIONSHIP TO THE CLIMATE ENVIRONMENT IN THEIR SEDIMENT SOURCE AREAS

Yang Zuosheng

(Ocean University of Qingdao)

ABSTRACT

Clay fraction of more than 150 sediment samples taken from the lower streams and delta areas of the three biggest Chinese rivers, the Huanghe, Changjiang and Zhujiang Rivers were analyzed mineralogically and chemically. The results show big differences in mineralogical and chemical characteristics among the clays of the three rivers. Three types of clays with different mineral and chemical compositions were distinguished based on the result of analyses: the Huanghe type, Changjiang type and Zhujiang type. Their mineral and chemical characteristics are the same as the clays formed under three different climate types (semi-dry and chill type, warm and wet type, hot and rainy type) corresponding to those of the main sediment source areas of the Huanghe, Changjiang and Zhujiang Rivers, respectively.

These three rivers, located sequentially north to south, traverse land high in the west and low in the east, so they tend to flow eastward. Due to their geographical location they get their sediments from different, more or less parallel, latitudinal main source areas under different climate types. Thus, their clays, being products from different sources, have correspondingly different mineralogical and chemical characteristics, that can be used to distinguish sediment sources in the China seas.