

长江口外表层沉积物黏土矿物分布特征

蓝先洪, 张志珣, 李日辉, 王中波, 陈晓辉, 田振兴

(国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071;
青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘要:依据对长江口外表层沉积物 187 个站位沉积物样品的黏土矿物含量分析,研究了长江口外表层沉积物黏土矿物的组合特征和分布规律。长江口外表层沉积物伊利石为优势矿物,平均含量为 60.3%;次之为蒙脱石,平均为 14.9%;高岭石平均含量 13.5%,绿泥石平均含量为 12.3%。黏土矿物的组合类型以伊利石—蒙脱石—高岭石—绿泥石型为主,伊利石—高岭石—绿泥石—蒙脱石型次之。长江口外表层沉积物黏土矿物主要为陆源成因,物质主要来源于黄河和长江的供给。Q-型聚类分析显示,现代黄河物质及老黄河物质主要沉积于研究区东北部 29°30'N 以北地区,长江物质主要在研究区西部及中部区域沉积。

关键词:黏土矿物;分布特征;长江口外

中图分类号:P736.21 文献标识码:A

黏土矿物是海洋环境中分布最为广泛的矿物。黏土矿物具有颗粒微细、结构和成分多变等特点,对地质作用和沉积环境的变化反映敏感。因此,利用海洋沉积物中的黏土矿物及其组合能够有效识别沉积物中物质的来源和搬运路径,反映源区的岩石和气候特征^[1-6]。

东海地区泥质沉积广泛发育,黏土矿物构成了区内沉积物的重要组分,其类型多样,分布广泛,是各种地质作用信息的主要载体,对黏土矿物类型、共生组合及其分布特征等方面的研究可提供其物源及其形成环境等方面的重要信息。前人对东海海区黏土矿物进行了许多研究,积累了大量资料,取得了许多重要成果^[7-13]。朱凤冠等^[9]研究认为东海沉积物的黏土矿物特征主要受入海物源的控制和海区水动力作用的支配。东海陆架

沉积物来自我国大陆黄河、淮河、长江等大河携带入海的巨量泥沙,由于海流的携带不断向外陆架搬运扩散并沉积。北部主要受黄河、废黄河、淮河物质影响,南部主要受古今长江入海物质影响,海槽区尚有部分火山喷发物为来源的黏土矿物。长江入海细粒物质向东和西南运移扩散以及黄河入海细粒物质向东进入北黄海,经南黄海西部进入东海^[10]。上述前人的研究成果确立了人们对长江口及邻近海域沉积物中黏土矿物的总体认识,并给后来研究者提供了更多可选的研究方法。国土资源地质大调查取得的大量资料,对长江口外表层沉积物黏土矿物分布规律进行全面的分析和研究,并对其沉积物的物质来源进行探讨。

1 样品采集与分析方法

1.1 样品采集与处理

2006 年 8—9 月在长江口外海域进行了沉积

收稿日期:2011-08-24

基金项目:国土资源大调查项目(1212010611301)

作者简介:蓝先洪(1958—),男,研究员,主要从事海洋地质与沉积地球化学研究工作. E-mail:lanxh@qingdaonews.com

物取样,用箱式取样器采集。室内对表层沉积物 187 个样品做了黏土矿物分析测试(图 1)。

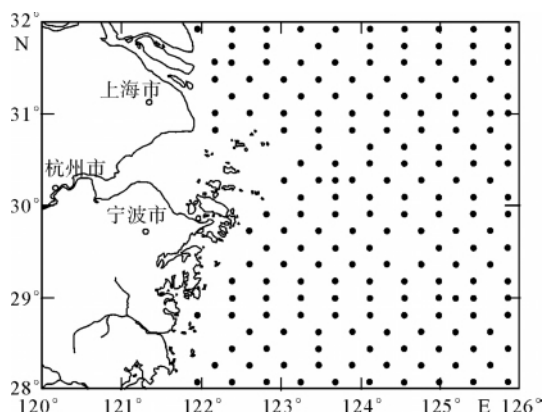


图 1 黏土矿物取样站分布

Fig. 1 The location of the sampling stations of clay minerals

黏土矿物的提取依据表层沉积物样品中泥质组分的多寡,将约 40~70 g 的样品放入 2 000 mL 的烧杯中,加入蒸馏水充分洗涤搅拌成悬浮液。对于含有机质较多的样品,则先用适量的 H_2O_2 处理,以除去有机质,然后搅拌成悬浮液。按斯托克斯沉降定理,提取 $<2\ \mu m$ 的黏土组分。

将提取到的黏土组分分别制成甘油饱和定向片及自然定向片。保留剩余的黏土组分,以备进行其他测试和验证用。因样品含铁、钙质不高,仅用 H_2O_2 处理后样品即可充分分散,为尽量保持样品中黏土矿物的原始特征,故未进行去铁、钙处理。

1.2 黏土矿物的 X 衍射分析鉴定

黏土矿物 X 衍射分析鉴定由青岛海洋地质研究所测试中心完成。所采用的 X 射线衍射仪为日本理学 D/Max-RA 型高功率转靶 X 射线衍射仪。黏土矿物的定性鉴定主要是根据经甘油饱和和处理后的定向片的 X 衍射图谱进行的。

黏土矿物半定量分析时的含量计算以甘油饱和和处理的衍射扫描图谱为准,量取各黏土矿物积分强度值(峰顶至背景线的距离),权因子的倒数乘以峰高强度值,与加权峰高强度值之和的百分比,对应于该矿物的百分含量^[14]。计算绿泥石与高岭石各自的百分含量则用绿泥石(d_{004})、高岭石

(d_{002})的峰高值分别除以 1、1.75 加和后求出各自的百分含量^[14]。

2 结果与讨论

2.1 表层沉积物黏土矿物组合类型

长江口外表层沉积物黏土矿物类型主要为伊利石、蒙脱石、高岭石和绿泥石。黏土矿物的组合类型根据样品中各黏土矿物的相对含量,特别是蒙脱石的相对含量,可分为 7 种组合类型:①伊利石—蒙脱石—高岭石—绿泥石型(I 型);②伊利石—高岭石—绿泥石—蒙脱石(II 型);③伊利石—绿泥石—高岭石—蒙脱石型(III 型);④伊利石—高岭石—蒙脱石—绿泥石型(IV 型);⑤伊利石—蒙脱石—绿泥石—高岭石型(V 型);⑥伊利石—高岭石—绿泥石型(VI 型);⑦伊利石—绿泥石—高岭石型(VII 型)。在表层沉积物中,黏土矿物的组合类型以 I 型为主,其次为 II 型,然后分别为 III、IV 和 V 型,VI 型和 VII 型在本区表层沉积物中所占的比重不大(图 2)。

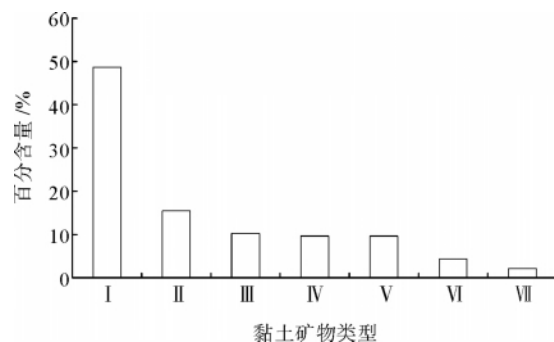


图 2 表层沉积物黏土矿物组合类型

Fig. 2 The assemblages of clay minerals in the surface sediments

2.2 黏土矿物分布规律

2.2.1 伊利石

伊利石是研究区沉积物中含量最高的黏土矿物(含量 47.0%~76.7%,平均值 60.3%),主要分布在 55%~65%之间。以 56%和 64%为界,将伊利石含量分为低($<56\%$)和高($>64\%$)2 个区。高值区分布在研究区的有 2 个区域,即南部

和东南部以及长江口外部一小块区域,中南部海域存在小块伊利石高值区;低值区主要分布在研究区东北部及北部。分布规律是南部、东南部伊利石含量向北和东北部逐渐降低(图 3),以东南部近陆坡区含量最高。

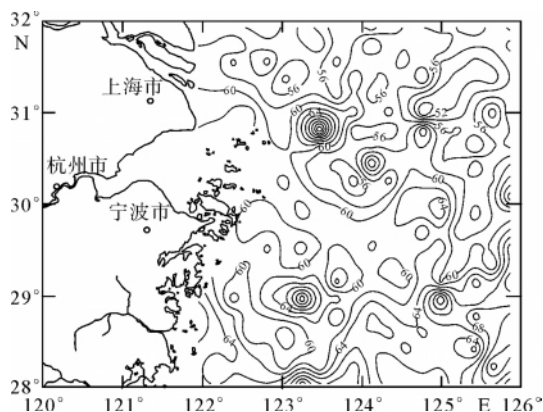


图 3 表层沉积物中伊利石百分含量分布

Fig. 3 The distribution of illite content in the surface sediments

2.2.2 蒙脱石

蒙脱石在研究区沉积物中含量介于 0 ~ 34.8% 之间,平均值为 14.9%,主要分布在 10% ~ 20% 之间。以 10% 和 16% 为界,将蒙脱石含量分为低(<10%)和高(>16%)含量区。高值区主要分布在研究区的北部及东北部,低值区主要分布在研究区的南部、西南部和东南部。分布规律为东北部和北部较高含量向南部和东南部逐渐降低(图 4),蒙脱石含量的分布与伊利石相反。

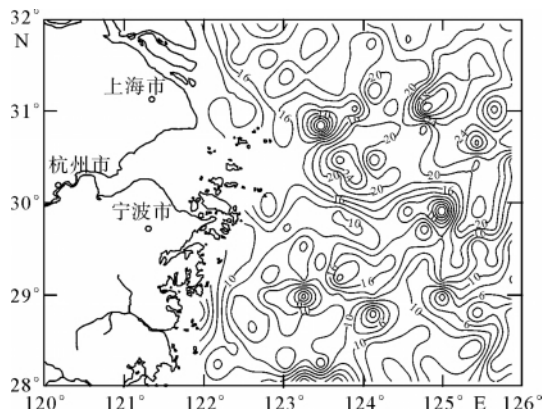


图 4 表层沉积物中蒙脱石百分含量分布

Fig. 4 The distribution of smectite content in the surface sediments

2.2.3 高岭石

研究区内高岭石含量在 9.6% ~ 20.7% 之间,平均值为 13.5%,主要分布在 10.0% ~ 16.0% 之间。以 12% 和 16% 为界,将高岭石含量分为低(<12%)和高(>16%)含量区(图 5)。高值区主要分布在研究区西北部 and 西部;低值区主要在研究区的东部和西南部、中部。分布规律为西部近岸海域含量较高,尤其是长江口入海口和浙江沿岸含量最高,向中部和东部海域方向逐渐减少。

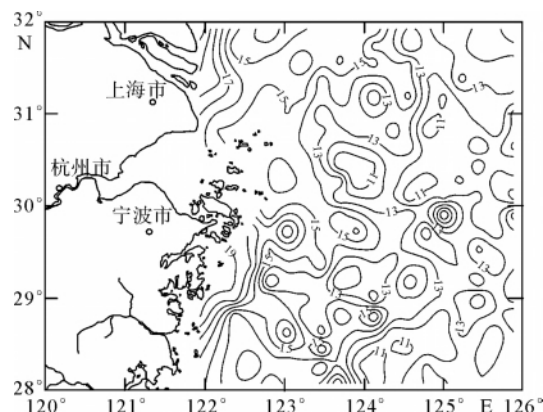


图 5 表层沉积物中高岭石百分含量分布

Fig. 5 The distribution of kaolinite content in the surface sediments

2.2.4 绿泥石

研究区内绿泥石含量在 6.6% ~ 17.2% 之间,平均值为 11.3%,主要分布在 8.0% ~ 14.0% 之间,是研究区沉积物中含量最低的黏土矿物。以 10% 和 12% 为界,将绿泥石含量分为低(<10%)和高(>12%)含量区(图 6)。高值区主要分布在研究区东南部和南部;低值区主要在研究区的东北部和中部。

2.3 黏土矿物分区特征

为了了解研究区黏土矿物的组合分区,对所分析黏土矿物样品采用 SPSS 软件进行 Q 型聚类分析。统计分析为 187 个样品,聚类方法采用离差平方和法(Ward's Method),距离的计算方法采用欧氏距离平方方法(Square Euclidean distance)。依据该区域所分析黏土矿物样品的 Q 型聚类分析,可将长江口外区域划分为 3 个矿物组合区(图 7)。

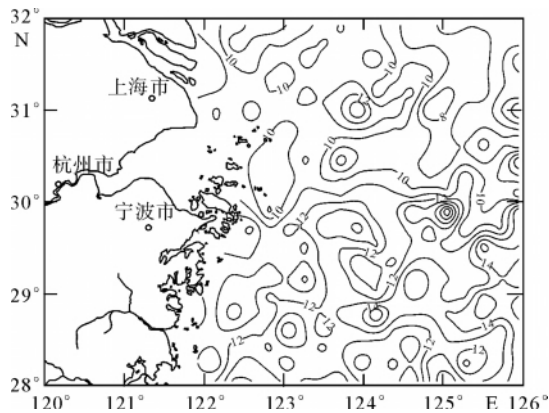


图 6 表层沉积物中绿泥石百分含量分布
Fig. 6 The distribution of chlorite content in the surface sediments

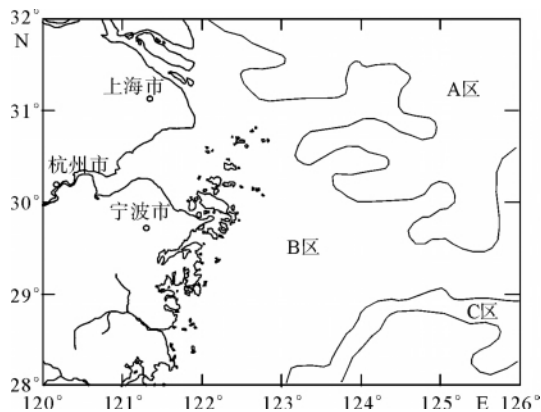


图 7 黏土矿物分区

Fig. 7 The distribution areas of clay minerals

(1) A 区

A 区区域范围从南黄海向东南延伸到达 $29^{\circ}30'N$ 附近, 分布于研究区的北部和东北部。黏土矿物组合特征为蒙脱石高值—伊利石与绿泥石低值。特征黏土矿物为蒙脱石含量普遍较高, 一般在 $19\% \sim 23\%$ 之间, 最高值达 $31\% \sim 34\%$, 平均值为 21.6% (表 1); 伊利石含量偏低, 除极少数几个站大于 60% 以外, 大部分在 $50\% \sim 60\%$ 之间, 平均为 55.6% ; 绿泥石含量也偏低, 最低值为 7.3% , 最高值为 11.7% , 平均为 9.8% ; 高岭石平均为 13% 。

A 区平均黏土矿物组合与黄河黏土矿物组合较为接近 (黄河黏土矿物蒙脱石、伊利石、绿泥石和高岭石含量平均值分别为 23% 、 59% 、 9% 和 8%)^[9], 与周晓静等^[13]对长江口及东海陆架进行

的样品聚类分析归于东北部和东部的类黄河黏土分布区域相近。

(2) B 区

B 区区域范围为在长江口外海域东南部及浙江近岸海域, 分布于研究区的西部、中部及东南角。黏土矿物组合特征为蒙脱石低值—伊利石与绿泥石中值。特征黏土矿物为伊利石含量较高, 一般都在 $60\% \sim 65\%$ 之间, 平均为 62.5% ; 蒙脱石含量一般在 $8\% \sim 15\%$ 之间, 平均为 11.6% (表 1); 绿泥石含量也较高, 平均为 12.1% ; 高岭石平均为 13.8% 。

B 区平均黏土矿物组合与长江黏土矿物组合较为接近 (长江黏土矿物伊利石、蒙脱石、绿泥石和高岭石含量平均值分别为 68% 、 6% 、 11% 和 14%)^[9], 与周晓静等^[13]对长江口及东海陆架进行的样品聚类分析归于东海陆架中西部地区类长江黏土分布区域相近。

(3) C 区

C 区仅在研究区的东南部有少量分布。黏土矿物组合特点为不含蒙脱石, 而伊利石与绿泥石含量为高值区。伊利石含量介于 $66\% \sim 75\%$, 绿泥石含量介于 $13\% \sim 16\%$, 高岭石含量介于 $12\% \sim 17\%$, 其平均含量分别为 71.5% 、 14.2% 和 14.3% (表 1)。

表 1 Q-型聚类分析划分的黏土矿物组合分区

Table 1 Distribution areas of clay mineral assemblage from the Q-type cluster analysis

矿物组合 分区	样品数 /个	蒙脱石 /%	伊利石 /%	高岭石 /%	绿泥石 /%
A 区	69	21.6	55.6	13.0	9.8
B 区	110	11.6	62.5	13.8	12.1
C 区	8	0	71.5	14.2	14.3

2.4 黏土矿物物质来源探讨

许多研究表明, 东海黏土矿物主要是陆源的^[7,8]。东海沉积物的黏土矿物特征主要受入海物源的控制和海区水动力作用的支配, 东海陆架沉积物来自我国大陆黄河和长江等大河携带入海的巨量泥沙, 由于海流的携带不断向外陆架搬运扩散并沉积。东海陆架北部主要受黄河、废黄河

物质影响,南部主要受古今长江入海物质影响^[9]。长江入海细粒物质一部分向东进入日本海及太平洋和一部分西南运移扩散进入台湾海峡以及黄河入海细粒物质一部分向东进入北黄海,经南黄海西部进入东海^[10]。东海陆架沉积物可分为“类长江”与“类黄河”2 种类型,类长江细颗粒沉积物主要分布在东海陆架中西部地区;类黄河沉积物在研究区东北部、东部和南部的部分区域分布,东北部的类黄河沉积物可能来自黄河或废黄河口的细颗粒物质,而南部和东部的细颗粒沉积物可能是晚更新世冰期干冷气候下形成的产物与现代河流入海细颗粒的混合物^[13]。

黏土矿物一般由风化作用而形成,其类型主要取决于母岩类型和气候条件。如伊利石主要为长石的风化产物,而长石既是重要的造岩矿物又是各大岩类中普遍存在的矿物,因此,作为陆源物质的伊利石在本区沉积物中占主要地位就不奇怪了。高岭石和绿泥石也是入海陆源细粒物质的主要矿物成分。一般认为,绿泥石的主要母岩是变质岩,主要形成于以物理风化为主的高纬度地区;高岭石则多形成于低纬度地区的温暖潮湿环境中;在偏碱性介质条件的沉积环境,有利于蒙脱石形成和保存^[1]。

东海地处边缘海,其黏土矿物的特征及其分布除受陆源区的母岩类型和气候环境影响外,还受搬运过程以及沉积区域的沉积水动力条件控制。由于黏土矿物颗粒微细($< 2 \mu\text{m}$),对水动力作用很敏感,所以,沉积区域的水动力作用无疑是影响黏土矿物分布的最主要的因素。黏土矿物的沉淀主要依靠絮凝作用,所以黏土矿物自身的结晶习性和沉积区的地球化学环境也是影响黏土矿物分布的重要因素^[15]。由东海所处的地理位置和海流分布,其中可以造成蒙脱石含量增加或减少的可能原因有:①黄河细颗粒物质的增加;②在东海环流体系的作用下,现代陆源沉积物中 4 种主要黏土矿物在远途输运过程中发生了分异;③黏土矿物之间发生了相互转化。黄河入海物质对东海陆架黏土粒级沉积物的控制,因受环流分布的影响,黄河源沉积物东海北部的影响可能更大,但越向南其影响力越弱^[13]。

众所周知,陆地径流携带泥沙到达河口区,由于河流比降的降低,河口区水介质环境的改变,绝

大部分泥沙在河口三角洲地区絮凝沉降。少量未沉降泥沙在海流的作用下,继续向远处扩散。另外,已沉积的泥沙,在波浪潮汐的强力作用下,引起底部泥沙的再掀动、再悬浮,然后受海流及底层流的携带又继续向远处扩散。东海海流的作用范围及冬夏季变化,管秉贤等作过详尽的研究,将黏土矿物分界线与东海海流活动范围作比较,发现黏土分区界线与苏北沿岸流、黄海环流、浙江沿岸流、黑潮流的活动范围基本吻合,因此,认为海流活动控制着黏土物质的扩散范围^[9]。

本研究区位于东海西部,表层沉积物¹⁴C 测年表明,沉积年代介于 2 000~3 000 a,基本上为相同时代沉积。根据黏土矿物的类型和共生组合特点,说明研究区沉积物主要来自于周边长江、钱塘江、黄河和近岸水系等携带的大量陆源物质和邻近海域沉积物的再作用。对于研究区周边陆地入海径流黏土矿物组成和浙江海岸带及近岸港湾黏土矿物已有了许多研究^[9,15,16]。研究结果表明,黄河黏土矿物的组合类型可分为 2 种组合类型:伊利石—蒙脱石—高岭石—绿泥石型(I 型)^[9]和伊利石—蒙脱石—绿泥石—高岭石型(V 型)^[16];长江黏土矿物的组合类型也可分为 2 种组合类型:伊利石—高岭石—绿泥石—蒙脱石(II 型)^[9]和伊利石—绿泥石—高岭石—蒙脱石型(III 型)^[16];浙江海岸带及近岸港湾黏土矿物组合类型为伊利石—绿泥石—高岭石—蒙脱石型(III 型)^[9]。可见,I 型和 V 型黏土矿物组合为黄河源物质,而 II 型 III 型为长江及近岸港湾源物质。综合分析研究区域 A 区为黄河源区,以黄河源为主;而 B 区为长江源区,以长江源为主。

一般来说,近岸区海水动力作用较强,盐度也较低,絮凝作用较弱,所以对于呈等粒状或厚板状的高岭石类矿物来说容易先在这里沉淀下来,形成高岭石分布的高值区(图 5)。离岸较远的海区,相对来说水动力作用较弱,盐度也随之增高,絮凝作用明显加强,具有呈碎片状或鳞片状的伊利石与蒙脱石便逐渐地在这里絮凝沉淀下来,所以,这些矿物在这里形成高值区(图 3 和图 4)^[17,18]。陆源物质在入海后,要面临一个长途搬运,混合以及沉积后的改造作用,因此,在本研究区 C 区沉积物中的黏土矿物组合应是多种因素共同作用后的产物。

3 结论

(1) 长江口外表层沉积物中广泛存在的黏土矿物是伊利石、高岭石、绿泥石和蒙脱石。伊利石为优势矿物,平均含量为 60.3%;次之为蒙脱石,平均为 14.9%;高岭石平均含量 13.5%;绿泥石平均含量为 12.3%。

(2) 黏土矿物的组合类型以伊利石—蒙脱石—高岭石—绿泥石型为主;伊利石—高岭石—绿泥石—蒙脱石型次之。长江口外表层沉积物黏土矿物主要为陆源成因,物质主要来源于黄河和长江的供给。

(3) Q 型聚类分析显示,现代黄河物质及老黄河物质主要沉积于研究区东北部 $29^{\circ}30'N$ 以北地区;长江物质主要在研究区西部及中部区域沉积。

参考文献:

- [1] 蓝先洪. 黏土矿物作为古气候指标矿物的探讨[J]. 地质科技情报, 1990, 4: 31-35.
- [2] Park Y A, Khim B K. Clay minerals of the recent fine grained sediments on the Korean continental shelves[J]. Continental Shelf Research, 1990, 10: 179-191.
- [3] 蓝先洪. 海洋沉积物中黏土矿物组合特征的古环境意义[J]. 海洋地质动态, 2001, 17(1): 5-10.
- [4] Xu K H, Milliman J D, Li A C, et al. Yangtze-and Taiwan-derived sediments on the inner shelf of East China Sea[J]. Continental Shelf Research, 2009, 29: 240-256.
- [5] 方习生, 石学法, 王国庆. 长江水下三角洲表层沉积物黏土矿物分布及其影响因素[J]. 海洋科学进展, 2007, 25(4): 419-427.
- [6] 蓝先洪, 张宪军, 刘新波, 等. 南黄海表层沉积物黏土矿物分布特征及物源[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 11-16.
- [7] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽容, 等. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-550.
- [8] 金翔龙. 东海海洋地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1992: 1-524.
- [9] 朱凤冠, 李秀珠, 高水土. 东海大陆架沉积物的黏土矿物的研究[J]. 东海海洋, 1988, 6(1): 40-51.
- [10] 何良彪. 中国海及其邻近海域的黏土矿物[J]. 中国科学(B 辑), 1989, 1: 75-83.
- [11] 李国刚. 中国近海表层沉积物中黏土矿物的组成、分布及其地质意义[J]. 海洋学报, 1990, 12(4): 472-479.
- [12] 朱凤冠. 东海陆架区全新世地层中黏土矿物[J]. 东海海洋, 1985, 3(4): 32-43.
- [13] 周晓静, 李安春, 万世明, 等. 东海陆架表层沉积物黏土矿物组成分布特征及来源[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(5): 667-675.
- [14] GB/T 12763. 8-2007. 海洋调查规范第 8 部分: 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 10-12.
- [15] 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中黏土的矿物组合、化学特征及其与物源区气候环境的关系[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(4): 336-346.
- [16] 范德江, 杨作升, 毛登, 等. 长江与黄河沉积物中黏土矿物及地化成分的组成[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 7-12.
- [17] 蓝先洪, 马道修, 徐明广, 等. 珠江口晚第四纪沉积物黏土矿物及指相意义[J]. 台湾海峡, 1988, 7(2): 127-134.
- [18] 辛春英, 何良彪, 王慧艳. 黄河口及其近岸区的黏土矿物[J]. 黄渤海海洋, 1998, 16(4): 23-27.

DISTRIBUTION OF CLAY MINERALS IN SURFACE SEDIMENTS OFF YANGTZE RIVER ESTUARY

LAN Xianhong, ZHANG Zhixun, LI Rihui, WANG Zhongbo, CHEN Xiaohui, TIAN Zhenxing

(The key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resource and Geology, Qingdao 266071, China;

Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: Based on the clay mineral contents from 187 stations in the surface sediments, this paper deals with the assemblages and the distributions of clay minerals in the surface sediments off the Yangtze River estuary. The research results show that illite dominates the surface sediments off the Yangtze River estuary with the smectite or kaolinite the second and chlorite the lowest; the illite-smectite-kaolinite-chlorite-assemblage is the main type of the clay minerals assemblage in the area, with the illite-kaolinite-chlorite - smectite-type as the second; the source of clay mineral is mainly from the Yellow River and the Yangtze River. The Q-type cluster analysis shows that sediments from both the recent and ancient Yellow River were deposited mainly in the northeast part of the study area to the north of $29^{\circ}30'N$. Substance from the Yangtze River were deposited mainly in the western and middle parts off the Yangtze River estuary.

Key words: clay mineral; distribution characteristic; off Yangtze River estuary