

南黄海表层沉积物黏土矿物分布及物源

蓝先洪¹, 张宪军², 刘新波¹, 李日辉¹, 张志珣¹

(1 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 2 山东省物化探勘查院, 济南 250013)

摘要:通过对南黄海表层沉积物 295 个站位的黏土矿物含量分析,研究了南黄海表层沉积物黏土矿物的组合特征、分布规律及与物质来源的关系。南黄海表层沉积物中伊利石含量最高,蒙脱石和高岭石含量次之,绿泥石含量最低;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-蒙脱石-绿泥石型次之;南黄海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。现代黄河物质及老黄河物质主要沉积于南黄海的西部和中部;长江物质主要在南黄海的西南和中北部区域沉积,东部物质反映来自朝鲜半岛的物质对南黄海东部的作用。

关键词:黏土矿物;分布特征;物源;南黄海

中图分类号:P736.21

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2011)03-0011-06

南黄海处于构造相对稳定的冰后期沉溺盆地,泥质沉积广泛发育,黏土矿物构成了区内沉积物的重要组成部分,其类型多样,分布广泛,是各种地质作用信息的重要载体。由于黏土矿物具有独特的特点,它对地质作用和地质环境的变化反映敏感,因而,黏土矿物的组合、组合、形态和结构等特征在海洋沉积作用、物质来源、沉积环境分析以及地层划分、古气候和古环境演变研究中得到了广泛的应用^[1-8]。

前人对南黄海沉积物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^[9-16]。杨作升^[12]根据黄河、长江黏土矿物含量差异特征和化学元素组合对东海北部陆架沉积物的来源和分区进行了研究,认为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。魏建伟等^[13]用 X 射线衍射技术分析了南黄海 88 个表层沉积物样品的黏土矿物,对其含量及组合特征分析认为南黄海中部泥质沉积可分为南北 2 个部分,并依据地理位置及各种黏土矿物含量与黄河、长江沉积物黏土矿物含量特征的关系将南黄海泥质区划分为以黄河(包括老黄河)物质为主的北部和“多源”混合沉积而成的中部和南部。中国学者主要研究了南黄海的中部和西部^[9-13],而韩国学者对南黄海的东部做了一些研究^[14-16]。国土资源地质大调查取得的大量资料,使

我们能够对南黄海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 样品与方法

2001—2003 年在南黄海区域进行了沉积物取样,用抓斗和箱式取样器采集。室内对表层沉积物 295 站位(图 1)样品作了黏土矿物 X 射线衍射分析鉴定。

黏土矿物 X 射线衍射分析鉴定由青岛海洋地质研究所测试中心完成。黏土矿物的提取根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,则先用适量的双氧水处理,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 $<2\ \mu\text{m}$ 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,仅用双氧水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。

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 射线衍射图谱进行的。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,量取各黏土矿物峰高强度值(峰顶至背景线的距离),权

基金项目:国土资源大调查项目(200211000001)

作者简介:蓝先洪(1958—),男,研究员,从事海洋地质研究,

E-mail:lanxh@qingdaonews.com

收稿日期:2010-09-11;改回日期:2010-10-29. 张光威编辑

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^[17]。样品中黏土矿物加权峰高之和的计算式为^[17]:

$$\omega = \frac{1}{4}h_m + h_i + \frac{1}{2.5}h_{(c+k)} + \frac{1}{2.5}h_{(m+i)} + \frac{1}{2.5}h_{(c+i)}$$

+...

式中:

ω ——样品中数种黏土矿物加权峰高之和;

h_m ——蒙脱石的峰高,单位为 cm;

h_i ——伊利石的峰高,单位为 cm;

$h_{(c+k)}$ ——绿泥石+高岭石的复合峰高,单位为 cm;

$h_{(c+i)}$ ——绿泥石-伊利石混层黏土峰高,单位为 cm;

$h_{(m+i)}$ ——蒙脱石-伊利石混层黏土峰高,单位为 cm。

计算绿泥石与高岭石各自的百分含量则分别用绿泥石(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^[17]。

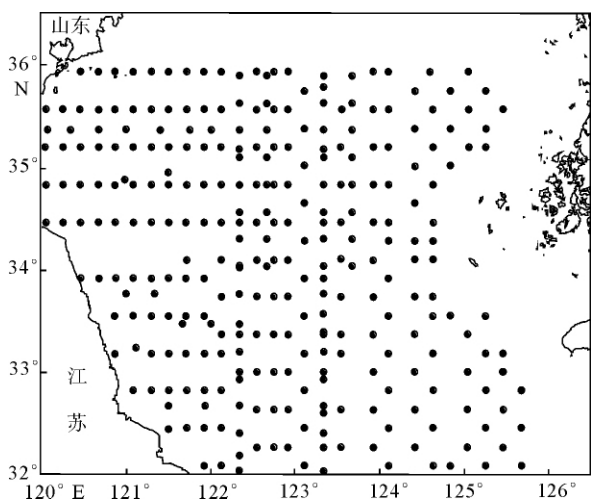


图 1 南黄海表层沉积物取样站位分布

Fig. 1 The location of sampling stations

2 结果

2.1 黏土矿物组合类型

295 个表层沉积物黏土矿物分析表明,南黄海黏土矿物类型主要为伊利石、蒙脱石、高岭石和绿泥石,混层黏土矿物在个别样品中的 X 射线衍射图谱中有显示。

蒙脱石普遍结晶不良,在其 X 射线衍射图谱中表现为在甘油处理后的 X 射线衍射图谱中其衍射

峰弥散、宽化。而其他 3 种黏土矿物的衍射峰则相对较尖锐,说明它们结晶良好,各类黏土矿物的含量普遍以伊利石为主,其次为蒙脱石或高岭石,再次则为绿泥石。

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 5 种组合类型:(1)伊利石-蒙脱石-高岭石-绿泥石型(占 60.7%);(2)伊利石-高岭石-蒙脱石-绿泥石型(占 21.0%);(3)伊利石-高岭石-绿泥石-蒙脱石型(占 12.5%);(4)伊利石-蒙脱石-绿泥石-高岭石(占 3.9%);(5)伊利石-高岭石-绿泥石型(占 2.0%)。可见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,其次为伊利石-高岭石-蒙脱石-绿泥石型和伊利石-高岭石-绿泥石-蒙脱石型。

2.2 黏土矿物分布规律

2.2.1 伊利石

伊利石是南黄海表层沉积物中含量最高的黏土矿物(含量为 44.5%~78.8%),平均值为 62.2%。伊利石含量的高值区和低值区主要呈圆斑状分布。伊利石总的分布特征是:在西南部和中东部含量普遍较高(>64%),在中东部有一条南北向的高值区分布,在此区域某些站位伊利石含量最高达到 78%;而在南部和中北部海域伊利石含量在局部地区存在小块高值或低值区;在中部、西北部和东北部伊利石含量相对较低(<60%),在此区域某些站位伊利石含量最低为 45%(图 2)。

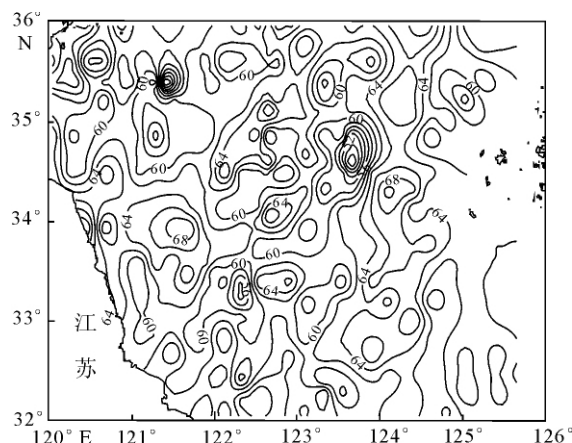


图 2 南黄海表层沉积物伊利石百分含量等值线

Fig. 2 The distribution of illite in the surface sediments

2.2.2 蒙脱石

蒙脱石的含量变化范围较大(0~40.3%),平均值为 15.1%。蒙脱石某些区域缺失,这在 4 种黏土

矿物中是惟一的。蒙脱石含量的高值区和低值区主要呈圆斑状分布,其分布有以下特征(图3):蒙脱石的高值区主要分布在东北部、西北部、中部和中南部($>18\%$),在此区域某些站位伊利石含量最高达到40%;蒙脱石的低值区主要分布在东南部、西南部(苏北浅滩)和中北部($<12\%$),在中东部有一条南北向的低值区和西南部有一条东北向与北部相连的低值区分布。蒙脱石的含量分布特征与伊利石分布的相反。

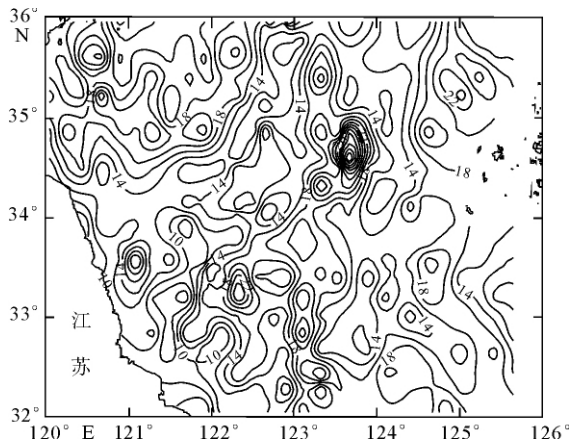


图3 南黄海表层沉积物蒙脱石百分含量等值线分布

Fig. 3 The distribution of smectite in the surface sediments

2.2.3 高岭石

南黄海区内高岭石含量为7.8%~21.90%,平均值为12.8%。高岭石的高值区主要分布在中部、中北部和西南部海域($>14\%$),在此区域某些站位高岭石含量最高达到21%;高岭石的低含量分布区主要在东北部和中东部($<10\%$)(图4)。

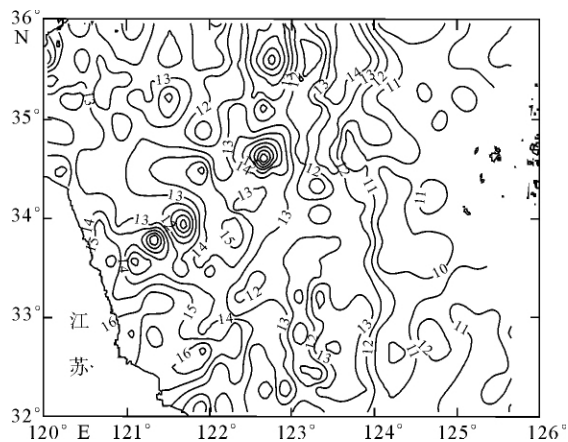


图4 南黄海表层沉积物高岭石百分含量等值线分布

Fig. 4 The distribution of kaolinite in the surface sediments

2.2.4 绿泥石

绿泥石是南黄海沉积物中含量较低的黏土矿物(含量为5.5%~19.5%),平均值为9.9%。绿泥石的高值区主要分布在东南部、西南部和中北部($>12\%$),在此区域某些站位绿泥石含量最高达到19%;绿泥石的低含量分布区主要在西北部、中南部和东北部($<10\%$)(图5)。

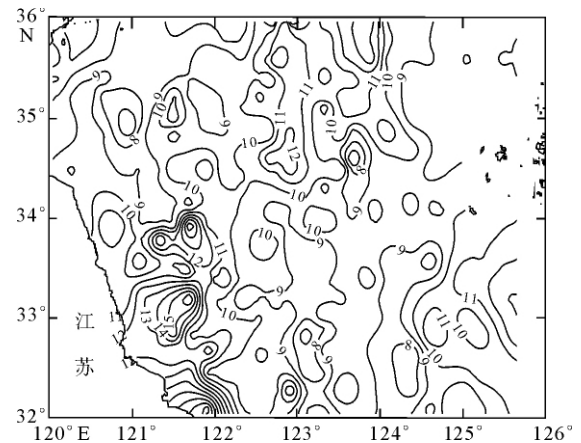


图5 南黄海表层沉积物绿泥石百分含量等值线分布

Fig. 5 The distribution of chlorite in the surface sediments

3 物质来源

在海洋沉积物中,所赋存黏土矿物的含量及共生组合类型主要取决于三方面:即黏土矿物的物源、沉积时的海水动力环境及其沉积后的地质环境。由于南黄海沉积物的沉积历史并不太长,因此,主要决定因素是前两者。前者决定了沉积物中黏土矿物的初始类型,并且可根据各种黏土矿物的成因特点反映其来源所在;而后者则决定了各种黏土矿物在沉积时所表现出的黏土矿物共生组合类型的变化特征。

许多研究表明,南黄海黏土矿物主要为陆源的。南黄海西部有两大明显的物质来源:由沿岸流携带而来的现代黄河物质与苏北老黄河口堆积体受侵蚀再搬运而来的物质^[9]和长江向东偏北方向运移进入南黄海中部的物质^[18]。另外,南黄海东部朝鲜半岛上的河流也输送了一些沉积物^[16]。南黄海沉积物中黏土矿物的类型和共生组合特点,说明其沉积物主要来自于周边黄河、长江和朝鲜半岛水系等携带的大量陆源物质和邻近海域沉积物的再作用^[13],但风力以及流经沉积区内的黑潮分支之一黄海暖流也可带入陆源或来自大洋的细粒物质^[19]。

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;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;蒙脱石是在富盐基,特别是贫 K^+ 而富含 Na^+ 和 Ca^{2+} 的碱性介质中形成的,火山灰物质在碱性介质中很容易变成蒙脱石,因此,大洋物质中含有较高蒙脱石^[5,8]。

研究表明长江沉积物的伊利石/蒙脱石比值在 8 以上,黄河沉积物该比值在 6 以下^[20],而朝鲜半岛的荣山江和锦江沉积物的蒙脱石含量很低,高岭石和绿泥石含量较高^[14-15]。通过以伊利石、蒙脱石、绿泥石+高岭石为端元的端元图(ISKc 图)能清晰地区分三类沉积物(图 6)^[20]。

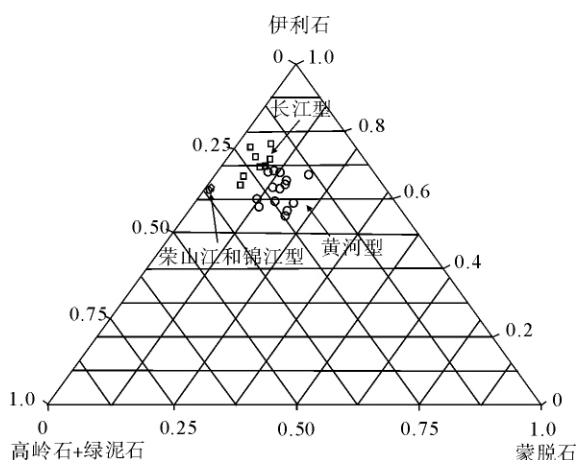


图 6 伊利石-蒙脱石-绿泥石+高岭石端元图

Fig. 6 The triangular diagram with illite, smectite and kaolinite+chlorite as end members

陆源物质在入海后,要面临一个搬运、混合以及沉积后的改造作用过程。伊利石与蒙脱石含量比值分布表明(图 7),该比值大于 8 的区域主要分布在南黄海的西南部,中北部有零星分布,反映出长江对南黄海沉积物的影响主要在西南区域,而长江物质对中北部区域也有所影响;伊利石与蒙脱石含量比值小于 6 的区域主要分布在南黄海的西部和中部,说明黄河物质主要影响区域在西部和中部;高岭石+绿泥石与蒙脱石比值分布表明(图 8),该比值大于 2 的主要分布在南黄海的西南部、东部和中北部,同样反映出长江物质对南黄海西南部和中北部的影响,而朝鲜半岛物质主要对东部物质有影响,以上研究结果与地球化学研究结果^[21-22]基本相同。

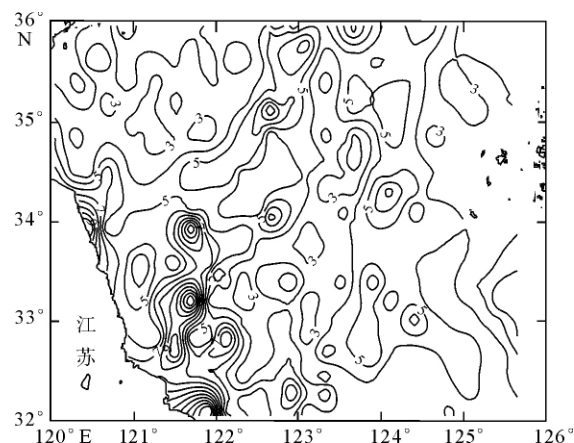


图 7 南黄海表层沉积物伊利石与蒙脱石比值等值线分布

Fig. 7 The distribution of illite/smectite ratio in the surface sediments

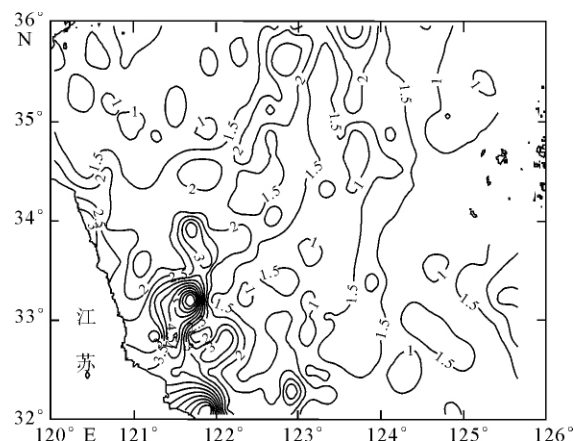


图 8 南黄海表层沉积物绿泥石+高岭石与蒙脱石比值等值线分布

Fig. 8 The distribution of chlorite+kaolinite/smectite ratio in the surface sediments

南黄海地处边缘海,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。黄海陆架区环流系统为包括黑潮系统及沿岸流系统的气旋式环流系统,黑潮的分支之一黄海暖流对南黄海的影响较大^[19,23]。黑潮属大洋性强流,可携带大量的远洋物质,其中包括远洋黏土矿物,特别是蒙脱石。有资料显示^[5],大洋中的蒙脱石大多是海底火山灰海解后的产物,在深海沉积物中的含量较丰富。根据南黄海蒙脱石的 X 射线衍射特征以及南黄海海域的沉积水动力环境,蒙脱石除了主要来自于周边地区被河流和风搬运入海的陆源物质外,黑潮系统有可能带来一些具远洋性质的蒙脱石^[19]。

4 结论

(1)南黄海表层沉积物黏土矿物主要有伊利石、蒙脱石、高岭石和绿泥石,其中伊利石含量最高,蒙脱石和高岭石含量次之,绿泥石含量最低;伊利石含量总体在南部为中间低两边高,而北部表现为中间高两边低;蒙脱石含量分布则相反,在南部为中间高两边低,而北部含量为中间低两边高;高岭石含量为中部高两边低,绿泥石含量在南部为中间低两边高,而北部含量为中间高两边低。黏土矿物有5种组合类型,其中以伊利石-蒙脱石-高岭石-绿泥石型为主,伊利石-高岭石-蒙脱石-绿泥石型次之。

(2)南黄海表层沉积物黏土矿物主要为陆源成因,主要来源于黄河和长江物质,朝鲜半岛和远洋物质也有一定的贡献。现代黄河物质及老黄河物质主要沉积于南黄海的西部和中部;长江物质主要在南黄海的西南和中北部区域沉积,东部物质反映来自朝鲜半岛物质对南黄海东部的作用。

参考文献 (References)

- [1] Rateev M A, Gorbunavo Z N. The distribution of clay minerals in the oceans[J]. *Sedimentology*, 1969, 13(1): 21-43.
- [2] Gibbs R J. Clay mineral segregation in the marine environment [J]. *J. Sediment. Petrol.*, 1977, 47: 237-243.
- [3] 时英民. 渤海表层沉积物中黏土矿物的研究[J]. *海洋科学集刊*, 1984, 21: 312-316. [SHI Yingmin. The study of clay minerals in surface sediments of the Bohai Sea[J]. *Studia Marine Sinica*, 1984, 21: 312-316.]
- [4] Park B K, Han D J. The distribution of clay minerals in recent sediments of the Korean Strait [J]. *Sedimentary Geology*, 1985, 41(1): 173-184.
- [5] 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, 9(4): 31-35. [LAN Xianhong. Clay minerals as an index of paleoclimate[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1990, 9(4): 31-35.]
- [6] 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. [LAN Xianhong, MA Daoxiu, XU Mingguang, et al. Clay minerals in the Late Quaternary of the sediments of the Zhu Jiang Estuary and their facies significance[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1988, 7(2): 127-134.]
- [7] 邱燕. 南海中南部表层沉积物黏土矿物分布及控制因素[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(5): 1-7. [QIU Yan. Distribution characteristics and controlling factors of clay minerals in surface sediments from the central and southern South China Sea[J]. *Mar. Geol. And Quat. Geol.*, 2007, 27(5): 1-7.]
- [8] 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. [LAN Xianhong. The palaeo-environmental significance of the clay minerals assemblage in marine sediments[J]. *Marine geology letters*, 2001, 17(1): 5-10.]
- [9] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽容, 等. 黄海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 123-133. [QIN Yunshan, ZHAO Yiyang, CHEN Li-rong, et al. *Geology of the Yellow Sea*[M]. Beijing: Science Press, 1989: 123-133.]
- [10] 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉. 黄海晚第四纪沉积[M]. 北京: 海洋出版社, 1987: 69-85. [LIU Minhou, WU Shiying, WANG Yongjie. *Late Quaternary deposit of the Yellow Sea*[M]. Beijing: Ocean Press, 1987: 69-85.]
- [11] 郑光膺. 黄海第四纪地质[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 31-136. [ZHENG Guangying. *Quaternary Geology of the Yellow Sea*[M]. Beijing: Science Press, 1991: 31-136.]
- [12] 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. [YANG Zuosheng. Mineralogical assemblages and chemical characteristic of clay from sediments of the Yellow, Yangtze and Pearl Rivers and their relationship to the climate environment in their sediment source areas[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1988, 19(4): 336-346.]
- [13] 魏建伟, 石学法, 辛春英, 等. 南黄海黏土矿物分布特征及其指示意义[J]. *科学通报*, 2002, 46(S1): 30-33. [WEI Jianwei, SHI Xuefa, XIN Chunying, et al. Distribution characteristic of clay minerals and their prospecting significance in the South Yellow Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 48(S1): 30-33.]
- [14] Chough S K, Kim D C. Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1981, 5(3): 721-725.
- [15] Kim D C. Recent clay mineral of the Yeongsan Estuary and the adjacent continental shelf [D]. Seoul National Univ., 1980: 1-63.
- [16] Chough S K. Further evidence of fine-grained sediment dispersal in the southeastern Yellow Sea[J]. *Sediment Geology*, 1985, 41: 159-172.
- [17] GB/T 13909-1992. 海洋调查规范: 海洋地质地球物理调查[S]. 1993: 15-16. [GB/T 13909-1992. Specifications for Oceanographic Survey: Marine Geology and Geophysics Survey[S]. 1993: 15-16.]
- [18] 杨光复. 东海大陆架现代沉积作用的初步探讨[J]. *海洋科学集刊*, 1984(21): 281-290. [YANG Guangfu. The primary study on modern sedimentation of shelf in East China Sea[J]. *Studia Marine Sinica*, 1984(21): 281-290.]
- [19] 蓝先洪, 张训华, 张志珣. 南黄海沉积物的物质来源及运移研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2005, 4: 53-60. [LAN Xianhong, ZHANG Xunhua, ZHANG Zhixun. Marine sources and transportation of sediments in the Southern Yellow Sea[J]. *Transaction of Oceanology and Limnology*, 2005, 4: 53-60.]
- [20] 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. [FAN Dejiang, YANG Zuosheng, MAO Deng, et al.

- Clay minerals and geochemistry of the sediments from the Yangtze and Yellow Rivers[J]. Mar. Geol. and Quat. Geol., 2001, 21(4):7-12.]
- [21] 蓝先洪,张志珣,李日辉,等. 南黄海表层沉积物微量元素地球化学特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(3): 45-51. [LAN Xianhong, ZHANG Zhixun, LI Rihui, et al. Geochemical characteristics of trace elements in the surface sediments of the South Yellow Sea[J]. Mar. Geol. And Quat. Geol., 2006, 26(3):45-51.]
- [22] 蓝先洪,王红霞,李日辉,等. 南黄海沉积物常量元素组成及物源分析[J]. 地学前缘, 2007, 149(4): 197-203. [LAN Xianhong, WANG Hongxia, LI Rihui, et al. Major elements composition and provenance analysis in the sediments of the South Yellow Sea[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(4): 197-203.]
- [23] 赵一阳,李风业,秦朝阳,等. 试论南黄海中部泥的物源及成因[J]. 地球化学, 1991, 20(2): 112-117. [ZHAO Yiyang, LI Fengye, QIN Shao-yang, et al. Source and genesis of mud in the central part of South Yellow Sea[J]. Geochimica, 1991, 20(2):112-117.]

DISTRIBUTION PATTERN OF CLAY MINERALS IN SURFACE SEDIMENTS OF SOUTH YELLOW SEA AND THEIR PROVENANCE

LAN Xianhong¹, ZHANG Xianjun², LIU Xinbo¹, LI Rihui¹, ZHANG Zhixun¹

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China;

2 Shandong Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Jinan 250013, China)

Abstract: The clay minerals composition of the surface sediments in the South Yellow Sea from 295 stations were studied with focus on clay assemblages and their distribution pattern as well as provenance. The research results show that illite dominates in surface sediments of the South Yellow Sea with smectite or kaolinite as the second and chlorite the lowest. The assemblage of illite-smectite-kaolinite-chlorite is the main type of the clay minerals assemblage in the area, followed by the illite-kaolinite-smectite-chlorite assemblage. Clay minerals are mainly from the Yellow River and Yangtze River. Materials from both the recent and the ancient Yellow River deposited mainly in the western, middle part of the South Yellow Sea, while the substance from the Yangtze River deposited mainly in the southwestern and southern parts. In the eastern part of the study area, an influence of the material from the Korean peninsula was observed.

Key words: clay mineral; distribution pattern; provenance; South Yellow Sea