DOI:10.3724/SP.J.1140.2010.04067

# 山东半岛近海表层沉积物黏土矿物分布及组合特征

李国刚,牟信侃1,胡邦琦2,彭卫国1

(1 国家海洋局 北海海洋工程勘察研究院,青岛 266033; 2 国土资源部 青岛海洋地质研究所,青岛 266071)

摘要:对山东半岛近海表层沉积物进行黏土矿物分析,探讨了研究区黏土矿物分布和组合特征。结果表明,山 东半岛近海黏土矿物组合以伊利石-蒙皂石-绿泥石-高岭石型为主,广泛分布在研究区北部、东部和东南外海,为黄 河型物质;山东半岛南岸丁字河口及千里岩---石岛外海一带高岭石含量明显增大,黏土矿物组合为高岭石-伊利石-蒙皂石-绿泥石型或伊利石-高岭石-蒙皂石-绿泥石型,为半岛型物质。山东半岛近海黏土矿物分布和组合特征显 示了近岸环流对黄河和山东半岛来源物质的搬运和扩散作用。

关键词:黏土矿物;ISKc图;高岭石;山东半岛近海

中图分类号:P736.2 文献标识码:A 文章编号:0256-1492(2010)04-0067-06

黏土矿物作为海洋环境中广泛分布的矿物,对 海洋地质环境变化反应敏感,其组分、组合、形态、结 构等特征可用于岩相古地理、古气候、古环境、地层 对比和成岩成矿条件的研究和恢复<sup>[1-2]</sup>。黏土矿物 是沉积物中最易迁移的部分,对研究海底沉积物物 源具有很好的指示作用。

黄海作为我国东部大陆架的半封闭浅海,以其 复杂的海洋动力、丰富的沉积来源吸引了许多学者 的注意,前人针对黄海表层沉积物中的黏土矿物做 了深入研究<sup>[1-7]</sup>,并取得了大量成果,但大多数研究 主要集中于物源多样的南黄海中部海区,而山东半 岛毗邻近海区的黏土矿物研究还较薄弱。

山东半岛周围近海跨越南北黄海分界线,是现 代黄河入海泥沙向黄海扩散的通道,同时,也是黄河 入海泥沙的重要沉积作用区,研究该区海底表层沉 积物中黏土矿物分布,对于研究山东半岛周围沉积 物物源及沉积环境特征具有重要意义。本文根据 "我国近海海洋综合调查与评价"专项之 CJ05 区块 调查与研究项目获得的 200 个表层沉积物样品,对 山东半岛近海表层沉积物的黏土矿物组合分布进行 分析,进而讨论山东半岛近海黏土矿物物源及其控 制因素。

1 研究区概况

研究区位于山东半岛周围,属于黄海西部,北界

位于老铁山水道至北黄海南部海域,西界位于庙岛 群岛、渤海海峡附近,东界位于北黄海中部至南黄海 中部,南界位于南黄海中部至即墨市鳌山头附近海 域(图 1a)。研究区范围及表层样取样站位分布如 图 1b 所示。

研究区环流体系主要由黄海暖流和黄海沿岸流 组成(图 1a)。通常认为,黄海暖流属于黑潮的一个 分支,自南向北由济州岛附近海域进入北黄海。黄 海沿岸流起源于渤海湾,沿山东半岛北部东流,绕过 成山头转向西南。对于山东半岛南部海水运动,人 们除对沿 40~50 m 等深线运动的黄海沿岸流明确 以外,40~50 m 等深线以内尚不明确。已有学者通 过观测和模拟指出,山东半岛南部近岸存在北一东 北向余流<sup>[8-11]</sup>,可与南下黄海沿岸流形成中尺度反 气旋漩涡<sup>[12]</sup>。

山东半岛附近主要有大沽河、胶莱河、白沙河、 五龙河、乳山河等注入黄海,对研究区海底沉积物供 应具有直接影响。此外,渤海的黄河入海泥沙在黄 海沿岸流驱动下进入黄海,绕山东半岛沿途沉积,形 成"山东泥楔"<sup>[13]</sup>、"Ω型泥隆"<sup>[14]</sup>等沉积体。山东半 岛南北广泛分布前震旦纪、中生代岩浆岩,以花岗岩 为主,可见闪长岩、辉长岩等<sup>[15]</sup>。

# 2 样品及方法

本文共采集 200 个海底表层沉积物样品,遍布 山东半岛南北两侧近海(图 1b)。样品处理方法参 照《海洋调查规范——第8部分:海洋地质地球物理 调查》(GB/T 12763.8—2007)和《我国近海海洋调 查与评价专项——海洋地质调查技术规程》:

基金项目:"我国近海海洋综合调查与评价"专项(908-01-CJ05) 作者简介:李国刚(1982—),男,硕士,从事海洋沉积学研究, E-mail;lotus.olive@qq.com

收稿日期:2009-12-29;改回日期:2010-02-12. 张光威编辑



Fig. 1 Sketch map of water circulation in offshore Shandong Peninsula (a. after Reference 12) and Distribution of sampling stations of the study area (b)

(1)准确称取适量样品放入离心管,加入过量10%双氧水;水浴 60 ℃加热至无反应。

(2)加入蒸馏水,超声波振荡,离心3次,上层液 废弃。

(3)将底部样品加适量蒸馏水,超声振荡,转入500 mL 烧杯中,定容到 500 mL。

(4)按照斯托克斯沉降定律,确定提取时间,提 取<2 μm的黏土粒级。

(5)将提取到的黏土组分制成定向片;将片置于 盛有乙二醇的干燥皿中在 60 ℃烘箱蒸样 12 h,上机 测试。

本文采用 X 射线衍射(XRD)法进行黏土矿物 分析,使用德国布鲁克 AXS 公司的 D8 Advance 型 X 射线晶体衍射仪,铜靶,管电压 40 kV,管电流 40 mA,扫描范围 2°~30°(20),扫描步长 0.02°(20),实 验测得的黏土矿物 X 射线衍射典型图谱如图 2。根 据样品的射线衍射图谱对各种矿物进行定性鉴定, 根据 Biscaye 法对黏土矿物相含量进行半定量计 算。

3 黏土矿物分布

研究区黏土矿物主要为伊利石、蒙皂石、高岭石 和绿泥石,各黏土矿物含量统计如表1。由于研究 区北部有庙岛群岛并与渤海相接,渤海和黄海的 物质通过渤海海峡和老铁山水道进行相互交换,因



图 2 山东半岛近海表层沉积物 X 射线衍射典型图谱 412 站、710 站分别位于烟台北部外海和乳山东南外海 Fig. 2 X-ray diffraction spectrums of the surface sediment



此,该区块不仅物质来源丰富,而且水动力条件及地 球化学环境亦十分复杂,造成了黏土矿物在研究区 内空间分布上具有较大差别,以下详细分析各黏土 矿物含量及分布特点。

#### 3.1 伊利石

伊利石是研究区含量最高的黏土矿物,含量介

### 表 1 山东半岛表层沉积物黏土矿物相对含量

 Table 1
 Relative Contents of clay minerals in the

	surface sediments			70	
	蒙皂石	伊利石	高岭石	绿泥石	
最小值(Min)	5	28	8	5	
最大值(Max)	32	76	44	30	
平均值(Av)	16	61	10	13	
标准偏差(STD EV)	4.4	9.5	9.7	3.3	
变异系数(Cv)	26.8	15.5	99.9	25.2	

于 28%~76%,平均含量 61%。由图 3a 伊利石分 布含量来看,山东半岛周围大部分海区伊利石含量 在 60%~70%之间,整个区域伊利石变化小,变异 系数为 15.5%;由分布趋势来看,山东半岛北部海 区含量高于半岛东部和南部,尤其是半岛南岸丁字 口湾及千里岩至石岛外海一带存在伊利石含量 Calline <50%的低值区。

#### 3.2 蒙皂石

蒙皂石含量变化范围是 5%~32%,平均含量

16%,在整个黏土矿物中相对含量仅次于伊利石。 研究区蒙皂石分布较均匀,标准偏差和变异系数变 化相对较小;高值区(C<sub>smeetite</sub>>20%)主要分布在山 东半岛东端及石岛附近海域,在研究区东南也存在 一个蒙皂石高值站位(图 3b)。

#### 3.3 高岭石

高岭石变化范围介于 2%~44%之间,平均含 量为 10%,是研究区沉积物中含量最低的黏土矿 物。高岭石整体分布差异明显,变异系数大,其分布 趋势与伊利石相反,大致为南高北低,尤其是山东半 岛南岸存在一个高岭石局部富集带(Ckaolinite>20%), 分布范围与伊利石低值带相对应。研究区其余海区 高岭石含量均小于 10%,变化幅度小(图 3c)。

### 3.4 绿泥石

研究区绿泥石含量介于 5%~30%,平均含量 为13%,略次于蒙皂石的含量,排第三位。从图中 可以看出,在整个研究区块中绿泥石的含量分布相 对均匀,仅半岛南部局部站位含量较高(图 3d)。



图 3 山东半岛近海表层沉积物黏土矿物伊利石(a)、蒙皂石(b)、高岭石(c)、绿泥石(d)含量分布(%) Fig. 3 Spatial distribution patterns of clay minerals (%):illite (a), semctite (b), kaolinite(c) and chlorite(d).

# 4 黏土矿物组合与物源

本文根据研究区 200 个站位黏土矿物组分数据,以伊利石、蒙皂石、高岭石+绿泥石为端元做出 三角端元图(ISKc图)(图 4)。研究区内的沉积物 以伊利石含量 C<sub>illite</sub> =50%为界明显划分为上下两部 分,其中绝大部分站位投影于上侧。结合前人对黄 河沉积物黏土矿物的研究结果<sup>[3,16-18]</sup>,研究区绝大 部分站位的 ISKc 投影与黄河沉积物重合于图 4 上 侧(红圈投影),大致以 55% < C<sub>illite</sub> <70%、10% < C<sub>smeetie</sub> <25%为特征,说明本研究区的黏土矿物来源 与黄河密切相关,主要为黄河型物质。根据样品黏 土矿物相对含量进行划分,黄河型黏土矿物组合类 型为伊利石-蒙皂石-绿泥石-高岭石型。通过站位分 布来看,黄河型组合遍布山东半岛南北两侧,尤其以 半岛北部、东部近海和东南外海占绝对优势。

从 ISKc 图中可以看出,有 22 个站位投影位于 C<sub>illite</sub>=50%的下侧,与黄河型沉积物相比,伊利石含 量优势消失,大致为 28%~48%,而高岭石+绿泥 石含量增至 45%~60%。参照站位分布信息,上述 22 站位于山东半岛南岸丁字河口及千里岩至石岛 外海一带,即图 3c 中的山东半岛南部高岭石高值 带。该区沉积物的黏土矿物组合明显不同于黄河型 物质,以高岭石相对含量优势为特征,可能与山东半 岛基岩风化有关,可定为半岛型物质。以黏土矿物 相对含量划分,半岛型黏土矿物组合类型为高岭石-伊利石-蒙皂石-绿泥石型或伊利石-高岭石-蒙皂石-绿泥石型。

## 5 控制因素

海洋黏土矿物根据物质来源可分为自生和陆源 两种类型,前者通常需要稳定的沉积环境,而研究区 地处山东半岛周围近海,水体动荡,陆源供应充足, 该区黏土矿物基本为陆源物质风化搬运所形成。海 底黏土矿物分布由物源和海洋动力因素共同控制, 山东半岛近海黏土矿物分布显示了研究区环流体系 对黄河及山东半岛来源物质的搬运与扩散作用。

黄河入海物质在沿岸流驱动下经渤海海峡南部 进入北黄海,沿胶东东北岸东流,沿途沉积,到达成 山头后转向南及西南,大致沿 40~50 m 等深线南 下,进入南黄海中部。黄河物质影响范围主要在研 究区北部、东部近海以及东南远海,而山东半岛南部 存在的高岭石高值区说明该区物源组成发生改变。





高岭石的分布与陆源供应密切相关,通常是长 石和其他铝硅酸盐风化产物。山东半岛富含的硅铝 岩浆岩在沿海潮湿气候下最终风化成高岭石,随五 龙河、白沙河等半岛河流输送入海,导致丁字河口高 岭石富集。根据徐丹亚和赵保仁<sup>[12]</sup>的研究,在冬季 盛行风作用下,山东半岛南岸出现减水,迫使黄海暖 流的一部分向西北延伸,到达山东半岛近海后右转, 在紧靠山东半岛南岸形成东北向沿岸流,与南下黄 海沿岸流在青岛一石岛海域发育反气旋中尺度漩涡 (图 1a)。山东半岛南岸物质由丁字河口入海后随 流北上,在此反气旋漩涡内沉积,形成高岭石高值带 (*C*<sub>kaolinite</sub>>20%),分布范围在 36°~36°35′N、121°~ 122°20′E之间。

## 6 结论

(1)研究区黏土矿物主要有伊利石、蒙皂石、高 岭石和绿泥石4种,其中伊利石总体含量占绝对优势,大致北高南低,而高岭石分布与伊利石相反,半 岛南部存在一条高岭石高含量带。

(2)根据黏土组分相对含量划分,研究区黏土矿 物组合类型以伊利石-蒙皂石-绿泥石-高岭石型为 主,广泛分布在研究区北部、东部近海和东南外海, 为黄河型物质;山东半岛南岸丁字河口及千里岩一 石岛外海一带黏土矿物组合为高岭石-伊利石-蒙皂 石-绿泥石型或伊利石-高岭石-蒙皂石-绿泥石型,为 半岛型物质。 (3)黏土矿物组合分布类型显示了山东半岛近海环流对不同来源物质的控制作用,其中黄河型物质分布主要受控于山东半岛东北部的黄海沿岸流, 半岛型物质主要受控于黄海沿岸流与黄海暖流东北向余脉形成的反气旋漩涡。

**致谢:**中国科学院海洋研究所殷学博博士在样 品测试方面提供帮助,中国海洋大学杨作升教授对 本文提出宝贵建议,在此一并感谢。

#### 参考文献(References)

- [1] 石学法.海洋黏土矿物的研究进展与发展趋势[J].海洋地质动态,1995(1):1-3. [SHI Xuefa. Research progress and trend in marine clay minerals[J]. Marine Geology Letters, 1995(1):1-3.]
- [2] 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 palaeoenvironmental significance of the clay minerals assemblage in marine sediments[J]. Marine Geology Letters, 2001, 17(1); 5-10.]
- [3] 杨作升.黄河、长江、珠江沉积物中黏土的矿物组合、化学风化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 characteristics of clays from sediments of the Yellow, Changjiang and Pearl Rivers and their relations to the climate environments in their sediment source areas [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1988, 19(4);336-346.]
- [4] 陈正新,南黄海 QC1 孔黏土矿物研究[J].海洋地质与第四纪地质,1990,10(3):35-45. [CHENG Zhengxin. Clay minerals from drill hole QC1 in south Yellow Sea[J]. Marine Geology and Quaternery Geology, 1990, 10(3): 35-45.]
- [5] 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,2001,46(增刊):30-33. [WEI Jianwei, SHI Xuefa, XIN Chunying, et al. Distribution characteristic of clay minerals and their prospecting significance in the Southern Yellow Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 2001,46(S):30-33.]
- [6] Liu Jian, Yoshiki Saito, Kong Xianghuai et al. Geochemical characteristics of sediment as indicators of post-glacial environmental changes off the Shandong Peninsula in the Yellow Sea [J]. Continental Shelf Research, 2009, 29:846-855.
- [7] 孔祥淮,刘健,李巍然,等.山东半岛东北部滨浅海区表层沉积物粒度及矿物成分[J].海洋地质与第四纪地质,2006,26(3):
  21-29. [KONG Xianghuai, LIU Jian, LI Weiran et al. Grainsize characters and mineral components of surface sediments in the offshore area of northeastern Shangdong Peninsula [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2006, 26(3):21-29.]

- [8] ZHANG Fagao, MAO Hanli, LENG Yangui et al. Analysis of drift bottle and drift card experiments in Bohai Sea and Huanghai Sea(1975-1980)[J]. C. J. of Oceanology and Limnology, 1987, 5(1):67-72.
- [9] 刘光章,尹毅. 青岛近海表层海水流动状况及对青岛沿岸污染 的影响[J]. 黄渤海海洋,1984,2(1):17-25. [LIU Guang zhang, YIN yi. Status of surface water flow in Qingdao offshore and its compacts to the pollution of Qingdao coastal area [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1984,2(1):17-25.]
- [10] 赵保仁.单站浮标测流资料的诸分析.海洋科学集刊[M].第
   21集,北京:科学出版社,1984;35-48. [ZHAO Baoren.
   Spectrum analysis of some data of current at a single buoy station. Studia Marina Sinica[M]. Vol. 21, Beijing: Science Press,1984;35-48.]
- [11] 山东省科学技术委员会.山东省海岸带和海涂资源综合调查报告集[M].北京:中国科学技术出版社,1984;206-207.
  [Shangdong Science and Technology Commission. Report set of Shandong coastal and tidal wetland resources investigation [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1984; 206-207.]
- [12] 徐丹亚,赵保仁. 青岛一石岛近海反气旋中尺度涡旋存在证据 及数值模拟[J]. 海洋学报,1999,21(2):18-26. [XU Danya, ZHAO Baoren. Existential proof and numerial study of a mesoscale anticyclonic eddy in the Qingdao-Shidao offshore[J]. Acta Oceanologica Sinica. 1999, 21(2):18-26.]
- [13] LIU Jingpu, John D Milliman, GAO Shu. The Shandong mud wedge and post-glacial sediment accumulation in the Yellow Sea[J]. Geo-Mar Lett., 2002, 21:212-218.
- [14] Yang Z S, Liu J P. A unique Yellow River-derived distal subsqueous delta in the Yellow Sea [J]. Marine Geology, 2007, 240:169-176.
- [15] 郑光膺.黄海第四纪地质[M].北京:科学出版社,1991:29-30. [ZHENG Guangying, et al. Quaternary Geology in the Yellow Sea [M]. Beijing: Science Press, 1991:29-30.]
- [16] Xu D Y. Mud sedimentation on the East China Sea shelf [C]// In: Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, 12 16 April 1983. Beijing; China Ocean Press, 1983;506-516.
- [17] Ren Mei-e, Shi Yunliang. Sediment discharge of the Yellow River (China) and its effect on the sedimentation of the Bohai and the Yellow Seas[J]. Continental Shelf Research, 1986, 6 (6): 785-795.
- [18] 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 geochemistry of the sediments from the Yangtze and Yellow Rivers[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2001, 21(4):7-12.]

# DISTRIBUTION PATTERN AND ASSEMBLAGE FEATURE OF CLAY MINERALS IN SURFACE SEDIMENTS FROM THE COASTAL AREA OF SHANDONG PENINSULA

LI Guogang<sup>1</sup>, MU Xinkang<sup>1</sup>, HU Bangqi<sup>2</sup>, PENG Weiguo<sup>1</sup>

(1 Marine Engineering and Prospecting Institute of North China Sea, S()A, Qingdao 266033, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, MLR, Qingdao 266071, China)

Abstract: By analyzing the clay minerals in 200 samples of surface sediments from the Coastal area of Shandong Peninsula, the distribution pattern of clay minerals (illite, chlorite, smectite, and kaolinite) was constructed. Results show that illite is the dominant clay mineral (61%), followed by smectite (16%), chlorite (13%), and kaolinite (10%). There are two areas in accordance with clay minerals assemblage. The first one, characterized by illite-smectite-chlorite-kaolinite assemblage and extensively distributed in the north, east and southeast offshore areas, was defined as the area dominated by the Huanghe-derived sediments. The other one located at the southern offshore area and characterized by a clay minerals assemblage of kaolinite-illite-smectite-chlorite or illite-kaolinite-smectite-chlorite, was defined as the area with Peninsula-source sediments dominating. The distribution pattern and assemblage features of clay minerals indicate that the transport and dispersal processes of sediments around the Shandong Peninsula were strongly controlled by the near shore circle currents.

Key words: clay minerals; ISKc diagsam; Kaolinite; coastal area of Shandong Peninsula