

张会娜, 管勇, 窦衍光, 等. 胶州湾表层沉积物黏土矿物分布特征及物源分析[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(8): 20-28.

ZHANG Huina, GUAN Yong, DOU Yanguang, et al. Clay mineral assemblages and provenance in the surface sediment of Jiaozhou Bay[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(8): 20-28.

胶州湾表层沉积物黏土矿物分布特征及物源分析

张会娜^{1,2}, 管勇^{1,2*}, 窦衍光³, 王青^{1,2}, 徐锐^{1,2}, 秦升强^{1,2}, 王瑞龙^{1,2}, 夏伟强^{1,2}

(1 青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局), 青岛 266101; 2 自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室, 青岛 266100;

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237)

摘要:利用 X 射线衍射 (XRD) 对胶州湾 150 个站位表层沉积物的黏土矿物组成及含量进行分析, 研究了胶州湾表层沉积物黏土矿物的分布特征及其物质来源。结果表明, 胶州湾表层沉积物中黏土矿物组成主要是伊利石 (65.1%) 和蒙脱石 (17.1%), 其次是绿泥石 (9.0%) 和高岭石 (8.8%)。在空间分布上, 伊利石含量表现为西侧高、东侧低, 高值区主要分布在大沽河、洋河口外两侧; 蒙脱石含量高值区分布于胶州湾东北部、大沽河口东侧和湾口附近; 绿泥石含量表现为东侧高、西侧低, 且高值区整体呈条带状分布; 高岭石含量表现为斑状分布, 规律性不明显。黏土矿物物源分析表明, 大沽河、洋河等入海河流所携带的陆源物质是胶州湾的主要物质来源, 其中, 大沽河是胶州湾沉积物中伊利石、蒙脱石和高岭石的主要物源, 绿泥石则是大沽河、李村河及胶州湾东侧沿岸物质侵蚀风化产物共同作用的结果。

关键词:表层沉积物; 黏土矿物; 分布特征; 物源; 胶州湾

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.131

0 引言

黏土矿物是由不同类型源区的母岩在特定气候条件下, 受各种地质营力作用形成的自然产物, 其分布和组合特征受物源^[1-4]、水动力环境^[5-6]、古气候^[6]、沉积环境^[7]、成岩作用等多种因素的共同控制。黏土矿物作为近海沉积物的重要组成物质 (含量占比约 30%), 由于其对物源、气候条件和水动力特征变化等响应的灵敏性、指示性^[8-9], 分析黏土矿物的组成及其分布规律, 对研究物质来源和沉积环境意义重大。

胶州湾是一个与黄海相连的半封闭型海湾, 作为青岛的“母亲湾”, 对青岛市的发展举足轻重。

自 20 世纪 50 年代以来, 相关学者陆续在胶州湾开展了大量的地质工作, 包括胶州湾的形成演变过程、沉积环境演化、物质来源、沉积物地球化学特征、粒度特征、重金属元素分布特征、人类活动对胶州湾生态环境的影响等多方面的研究^[6-7,10-28], 沉积物的来源和环境演化一直是胶州湾研究的重点。胶州湾沉积物来源复杂, 泥沙来源主要包括陆源输入、河流输沙、海岸和海底侵蚀、大气降尘、海洋生物物质、城市垃圾等^[7,10,14-16,18,21,29]。其中, 沿岸河流输沙是胶州湾泥沙的主要来源^[10-11,15,17,29], 胶州湾 95% 的泥沙来自大沽河、洋河与南胶莱河等河流携带入海的陆源碎屑物质^[11,26,30], 其他物源总量较少, 对胶州湾沉积物贡献有限。此外, 根据前人研究, 胶州湾表层沉积物属于近陆海湾含砂黏土型沉积^[19], 其分布具有明显的规律性、亲陆性和区域性^[7], 表明胶州湾的沉积物来源是周边陆源物质。赵奎寰等^[17]通过分析胶州湾沉积物中重矿物组成、含量及分布规律, 认为除了大沽河等河流携带泥沙是胶州湾沉积物的主要来源外, 胶州湾周边沿岸火山碎屑岩、火山岩和变质岩的侵蚀风化物, 也是研究区不可忽视的物质来源。近年来, 随着城市的快

收稿日期: 2023-05-15

资助项目: 山东省自然资源厅地质勘查项目“山东省胶州湾海岸带综合地质调查”(2019); 青岛市城市地质调查项目(ZFCG2019001542)

作者简介: 张会娜(1991—), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail: zhanghn1991@163.com

* 通讯作者: 管勇(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事水工环地质方面的研究工作。E-mail: qddkgy@163.com

速发展,胶州湾的物质来源、泥沙运动和堆积格局受人类活动的影响日益加剧^[14,16,18,25,30],河流输沙逐年减少^[7,14]、胶州湾水域面积萎缩^[11,18,30-31]等问题威胁自然生态平衡,需要引起足够重视。

胶州湾表层沉积物中的黏土矿物主要是伊利石,其次是蒙脱石、绿泥石、高岭石^[19,29],其中蕴藏着丰富的沉积物来源、古环境及人类活动的信息,但由于研究区物源类型多样、受控因素较多,加之湾内水动力条件复杂,胶州湾黏土矿物的分布特征及其物质来源并不十分清楚。本文通过分析胶州湾及其周边的河流、潮间带和海域共 150 站位表层沉积物中黏土矿物分布,对胶州湾表层沉积物中黏土矿物分布特征及物源进行初步讨论,为胶州湾沉积环境分析提供基础资料,对揭示其所指示的古环境演化信息具有科学意义。

1 研究区概况

胶州湾地处黄海海域中部、胶东半岛南岸,行政区划隶属于山东省青岛市。胶州湾东西宽 28 km,

南北长 33 km^[15],海域面积 380 km²,是全国最大的半封闭型海湾^[30]。胶州湾属于暖温带季风型大陆气候,受海洋调节作用明显,湾内空气湿润,气候温和,降雨丰富。研究区水系发育,多是源近流短河系^[10],注入胶州湾的河流主要有大沽河、洋河、墨水河、白沙河、李村河等^[30-31](图 1),环胶州湾河流年均入海输沙量约为 56.97 万 t。大沽河是山东半岛最大的水系,干流全长 179.9 km,流域面积 6 131.3 km²,年径流量 7.95 亿 m³,占据总入湾径流量的 75%;多年平均输沙量为 36.59 万 t/a,占胶州湾多年平均入海输沙量的 64.2%^[21]。胶州湾内平均水深约为 7 m,湾内最大水深可达 64 m^[14,16,20],平均潮差 2.8 m,最大潮差 4.75 m,潮流属于正规半日潮^[7,14],湾内绝大部分潮流运动形式为往复流^[5-6],涨、落潮形成的往复流是控制胶州湾内泥沙沉积作用的主要动力^[20]。胶州湾地处华北地台胶莱盆地的东南翼,地层及岩石类型复杂,胶州湾北部沿岸分布着大面积的白垩纪青山群火山碎屑岩和火山岩,东南部沿岸主要是花岗岩区及次火山岩区,胶州湾西南部发育一套古老的变质岩系^[5,7,10,17,21]。

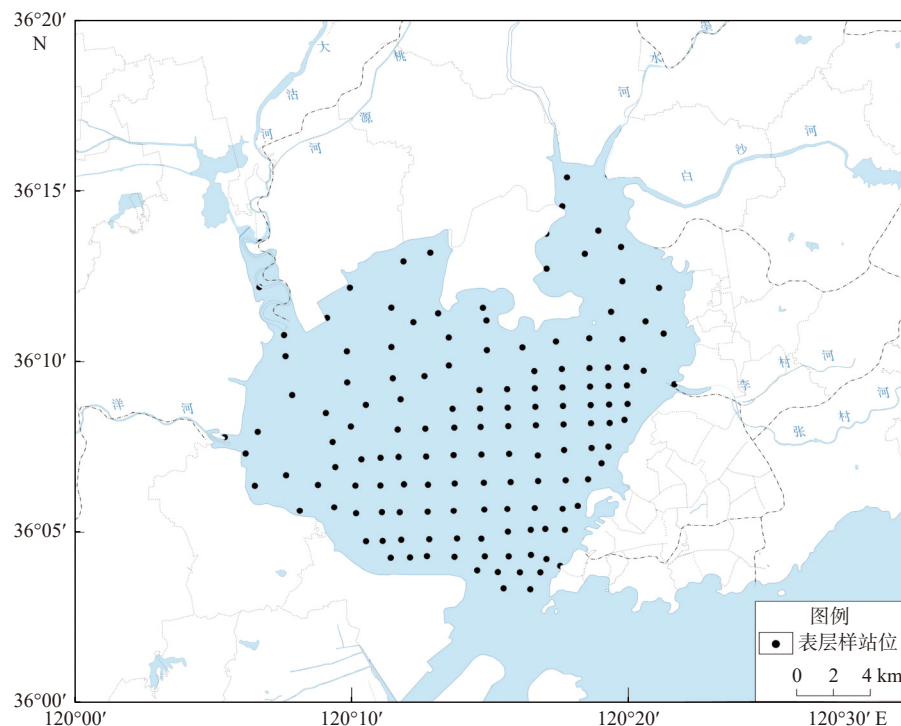


图 1 胶州湾表层沉积物取样站位

Fig.1 Distribution of surface sediments samples of Jiaozhou Bay

2 样品与方法

本文所用样品为青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)2019 年在胶州湾海域、潮间带和周

边河流采集的高密度表层沉积物,共采集表层样 150 个站位,样品采集严格按照《海岸带地质环境调查评价技术规范》(DD2014-03)要求进行,海域站位大致间距 1.5 km×1.5 km,局部区域放稀、加密(图 1),

表层沉积物样品每站位重量均 ≥ 2 kg, 每站位装 2 袋(每袋重量 ≥ 1 kg)。

黏土矿物分析采用的是 X 射线衍射分析法(XRD)。首先称取沉积物干样 5 g 加入少量蒸馏水润湿, 再加入 50 mL 浓度 30% 双氧水浸泡 36 h 去除有机质; 然后加入 50% 浓度冰乙酸 30 mL, 60 ℃ 水浴 5 h 去除碳酸盐矿物, 加蒸馏水混匀重复 3 次洗去样品盐分。按照 Stoke 原理确定的沉降时间标准, 吸取悬浮液制成定向薄片。X 射线衍射分析使用的是 D/Max-2500 型 X 射线衍射仪(Cu 靶, 管压/管流: 40 kV/150 mA), 扫描速度 $2^\circ(2\theta)/\text{min}$ 。依据 BISCAYE 方法^[32]对黏土矿物进行定性分析和半定量计算, 用乙二醇饱和片图谱上 4 种黏土矿物的 3 个特征衍射峰的峰面积为基础数据进行计算, 峰面积计算方法为衍射峰高乘以半峰宽, 其重量因子分别为 1、4、2。高岭石与绿泥石的含量比例以 $25^\circ(2\theta)3.5 \text{ \AA}$ 附近的衍射峰高比值求得, 其中, $3.53 \text{ \AA}$

附近为绿泥石, $3.57 \text{ \AA}$ 附近为高岭石, 4 种黏土矿物的总含量均一化含量为 100%。

3 黏土矿物分布特征

3.1 伊利石

伊利石在胶州湾表层沉积物中含量最高, 含量介于 56.0%~76.8%, 平均含量为 65.1%, 含量集中在 60%~70%(表 1), 伊利石在整个胶州湾内变化系数较小, 变化系数为 0.07, 含量分布差异不大。伊利石总体分布特征: 在胶州湾西侧伊利石含量普遍较高, 平均含量 $>65\%$; 伊利石高值区主要是在大沽河、洋河口外两侧和胶州湾南段湾口北部。在胶州湾东北部、李村河下游与湾口附近, 伊利石含量较低, 平均含量普遍 $<65\%$ (图 2a); 总体来看, 在近岸和靠近河流入海口处更易出现伊利石高值区。

表 1 黏土矿物含量统计表
Table 1 Percentages in content of clay minerals

区域	参数	黏土矿物相对含量/%				黏土矿物比值	
		伊利石	蒙脱石	绿泥石	高岭石	伊利石/蒙脱石	高岭石/绿泥石
胶州湾区域	最小值	56.0	7.5	6.1	5.3	2.1	0.7
胶州湾区域	最大值	76.8	27.0	12.5	12.9	9.4	1.4
胶州湾区域	平均值	65.1	17.1	9.0	8.8	4.0	1.0

3.2 蒙脱石

研究区蒙脱石的含量仅次于伊利石, 变化范围为 7.5%~27.0%, 平均含量 17.1%(表 1)。胶州湾表层沉积物中蒙脱石分布较均匀, 标准偏差和变异系数变化相对较小。蒙脱石整体分布特征: 胶州湾东北部、大沽河下游和湾口附近含量较高, 平均含量普遍 $>18.0\%$; 低值区主要分布在研究区中部、洋河口外两侧及大沽河东侧局部区域(图 2b), 且低值中心分布无明显规律。对比伊利石、蒙脱石百分含量等值线图(图 2a、b)可以发现, 蒙脱石的高含量区对应着伊利石的低值区, 蒙脱石低含量区对应着伊利石的高值区, 蒙脱石和伊利石之间呈负相关关系(图 3a)。

3.3 绿泥石

胶州湾黏土矿物中绿泥石含量较低, 介于 6.1%~12.5%, 平均含量 9.0%(表 1)。绿泥石整体分布特征: 高值区呈 NEE 向条带状分布在胶州湾中部

($>9\%$)和湾口处; 其他区域均表现为低值区, 其含量普遍 $<9\%$ (图 2c)。

3.4 高岭石

研究区高岭石含量变化范围为 5.3%~12.9%, 平均含量为 8.8%(表 1), 与绿泥石含量接近。高岭石整体分布差异不明显, 变化系数较小。高岭石整体分布特征: 在胶州湾东北部、西南部有局部高值区($>9\%$), 且高值区整体呈现斑状分布特征; 其他区域高岭石含量均较低(图 2d)。通过高岭石-绿泥石含量关系对比图可以发现, 高岭石和绿泥石含量呈现一定的正相关关系(图 3b)。

3.5 黏土矿物组合特征

3.5.1 伊利石与蒙脱石

伊利石/蒙脱石比值范围为 2.1~9.4, 平均比值为 4.0, 大部分介于 3.0~4.0(图 4a); 总体呈现西高东低、南高北低的趋势。高值区主要集中在胶州湾西南部, 大致可分为 2 个高值带: ①沿洋河往东至

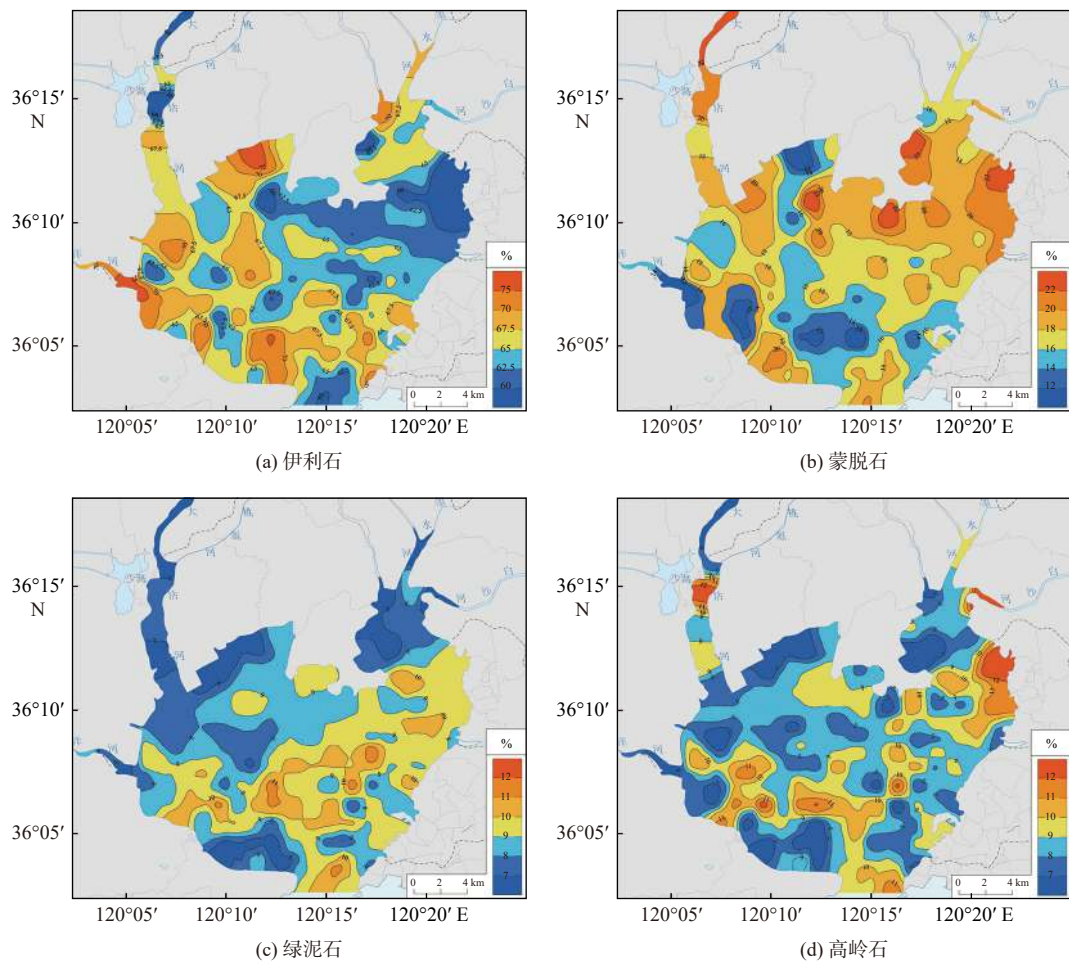


图 2 胶州湾表层沉积物中黏土矿物百分含量等值线分布

Fig.2 Distribution of clay minerals in the surface sediments of the Jiaozhou Bay

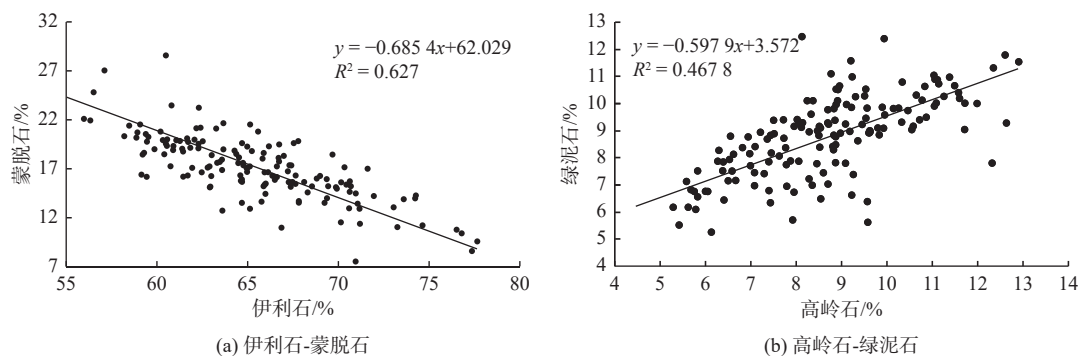


图 3 黏土矿物 (伊利石-蒙脱石、高岭石-绿泥石) 含量关系

Fig.3 Content interrelations of clay minerals (illite vs smectite and kaolinite vs chlorite)

西部滨海区,呈近 EW 向条带状,比值多 >4.5 ;②沿大沽河东侧往南呈近 SN 向条带状高值带,比值多 >4 。低值区主要分布在胶州湾东北部,且越往东部沿海比值越低(<2.5)。

3.5.2 高岭石与绿泥石

高岭石/绿泥石比值范围为 0.7~1.4,平均比值为 1.0。高值区主要分布于大沽河、墨水河、白沙河等胶州湾北部陆域河流处,整个胶州湾海域内高岭

石/绿泥石比值介于 0.9~1.3,仅在局部存在低值(图 4b)。

4 物源分析

研究表明,胶州湾沉积物中黏土矿物受物源、水动力作用和沉积古气候等多种因素的影响^[6]。近海海域黏土矿物的主要来源是陆地,胶州湾地理条

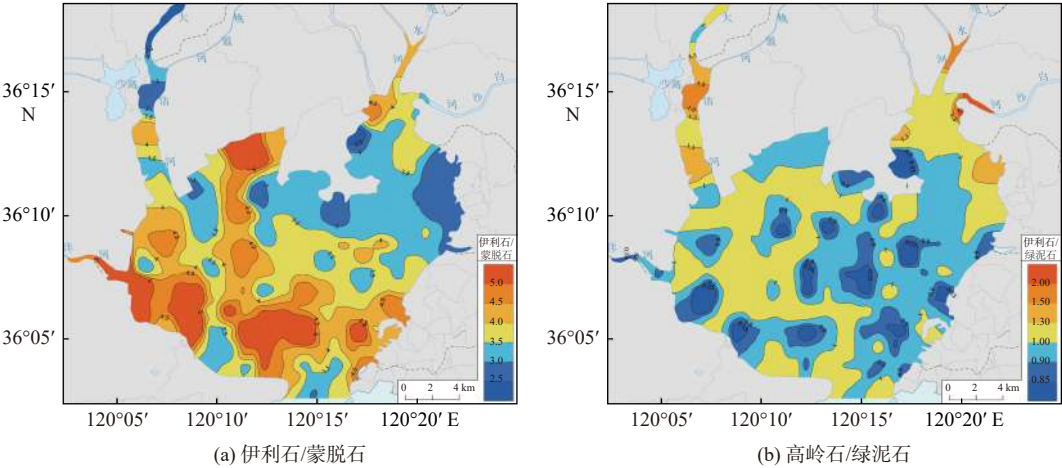


图 4 胶州湾表层沉积物黏土含量比值等值线分布

Fig.4 The distribution of clay mineral contents ratio in the surface sediments of the Jiaozhou Bay

件比较特殊,四周均为陆地,仅在研究区东南侧以狭窄湾口与黄海连通,岩浆岩(主要是火山岩、花岗岩)、变质岩、沉积岩等在胶州湾沿岸均有分布^[10,15,17,21],周边的陆源物质风化剥蚀后必然要被各种地质营力带入湾内^[6]。胶州湾周边水系发育,注入胶州湾的河流每年携带大量富含黏土矿物的泥沙入海(表 2),这些物质一部分被输入黄海,另一部分在湾内沉积下来,成为了胶州湾内的主要沉积物。胶州湾周边主要河流的径流量及输沙量如表 2 所

示,可以看出大沽河是胶州湾的主要物源。来自不同源区的黏土矿物组成特征是不同的,因此,可以通过对比研究区周边潜在物源区的黏土矿物组成并结合研究区黏土矿物的分布特征,分析胶州湾黏土矿物的物质来源。考虑胶州湾地理位置的特殊性,本次研究除了讨论胶州湾周边河流潜在物源区外,还初步对比了黄河、长江黏土矿物特征与胶州湾沉积物的关系(表 3)。大沽河、洋河、墨水河、李村河主要黏土矿物是伊利石和蒙脱石;

表 2 输入胶州湾主要河流的流量与输沙量

Table 2 The characteristics of major rivers flowing directly into the Jiaozhou Bay

河流名称	流域面积/ 10^3 km^2	年均入海水量/ 10^4 m^3	年输沙量/ (10^4 t/a)	数据来源
大沽河	6.13	50 366	36.590	文献[26,30]
洋河	0.30	2 106	2.215	文献[26,30]
墨水河	0.32	3 734	6.867	文献[30]
白沙河	0.21	3 133	1.280	文献[30]
李村河	0.11	3 576	5.245	文献[30]

表 3 胶州湾及周边潜在物源区黏土矿物组成

Table 3 Clay mineral assemblages from potential source areas of the Jiaozhou Bay

区域	黏土矿物相对含量/%				黏土矿物比值		数据来源
	伊利石	蒙脱石	绿泥石	高岭石	伊利石/蒙脱石	高岭石/绿泥石	
胶州湾	65.1	17.1	9.0	8.8	3.81	0.98	本文
大沽河	62.2	23.6	6.3	7.9	2.63	1.25	本文
洋河	73.9	11.9	7.4	6.8	6.21	0.92	本文
白沙河	61.3	19.8	4.7	14.2	3.09	3.02	本文
墨水河	68.8	16.6	6.4	8.2	4.14	1.28	本文
李村河	62.4	21.2	8.9	7.5	2.94	0.84	本文
黄河	55.5	26.3	10.5	7.7	2.11	0.73	文献[33]
黄河	62.5	15.2	12.5	9.7	4.30	0.79	文献[34]
黄河	62.0	16.0	12.0	10.0	3.88	0.83	文献[35]
长江	70.8	6.6	13.2	9.4	10.73	0.71	文献[34]
长江	65.9	2.2	16.6	15.3	30.2	0.92	文献[36]

注:表中黄河、长江黏土矿物数据来自不同时期的研究数据。

白沙河主要黏土矿物是伊利石、蒙脱石和高岭石; 黄河主要含伊利石和蒙脱石; 长江流域以伊利石和绿泥石为主。

蒙脱石-伊利石-绿泥石+高岭石 3 组分图解是识别不同源区的黏土矿物组成特征的常用方法^[37]。本文以蒙脱石、伊利石、绿泥石+高岭石为端元绘制了黏土矿物三角图(图 5), 对胶州湾沉积物来源进行分析。图中黄河、长江黏土矿物相对含量数据主要参考文献资料, 其他数据均使用的是本次调查取样及分析测试结果。胶州湾内样品结果与大沽河、洋河等周边河流黏土矿物皆有部分重合, 与长江来源物质差异较大, 根据前人研究, 长江沉积物的伊利石/蒙脱石比值 >8 ^[34], 而胶州湾表层沉积物中伊利石/蒙脱石比值约为 4, 因此可以排除长江来源的沉积物对胶州湾黏土矿物的贡献。虽然黄河黏土矿物数据投点与胶州湾表层沉积物黏土矿物有部分重合, 但是李安春等 2000 年通过分析山东半岛南部(丁字湾北岸至胶州湾南岸)轻重矿物的不同组合特征研究近海沉积物的物质来源和沉积动力环境, 矿物组合特征表明崂山头西部矿物区的物质来源主要为青岛沿岸地区的花岗岩, 其次是胶州湾南岸的变质岩, 而黄河物质对崂山头西部矿物区无明显贡献^[38-39]。此外, 有研究表明黄海沿岸流的输沙对青岛前海及崂山东部的泥沙有一定影响^[5,26], 对崂山西部区域输沙作用不明显, 外海输入进入湾内的沉积物总量较小, 量级有限^[14,18,29]。因此, 本研究认为黄河来源的沉积物对胶州湾黏土矿物作用不大, 研究区周边河流携带的陆源物质是胶州湾表层沉积物黏土矿物主要来源。

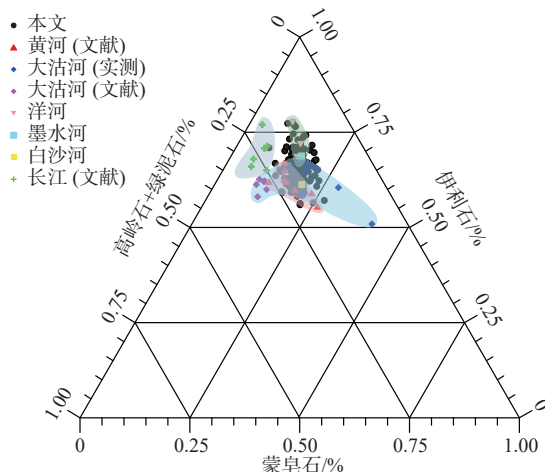


图 5 蒙脱石-伊利石-绿泥石+高岭石端元图

Fig.5 Triangle chart with smectite, illite, and chlorite + kaolinite as three end members

4.1 伊利石物源

前人研究表明, 伊利石是黏土矿物中最稳定的矿物之一, 在整个近海都是优势矿物^[40], 在海洋沉积物中最为常见。伊利石赋存于碱性环境中, 多由以长石为主的铝硅酸盐等矿物风化形成^[9], 而长石又是赋存于地层 3 大类岩石中最为普遍的重要组成矿物, 因此, 伊利石在胶州湾表层沉积物黏土矿物中含量最高, 达到约 65.1%。从伊利石百分含量等值线图(图 2a)可以看出, 伊利石高值区主要分布于大沽河河口区、洋河河口区及胶州湾南段湾口北部的强潮流区。由表 2 可知, 大沽河是注入胶州湾的最大河流, 其入海年径流量约占胶州湾总量的 86%, 每年携带入海泥沙量占胶州湾年输沙量的 64.2%^[41]。大沽河沉积物中伊利石百分含量为 62.2%, 因此认为大沽河是胶州湾伊利石重要的物源区。虽然洋河的输沙量远小于大沽河, 但是其黏土矿物中伊利石含量高达 73.9%, 碎屑物质随洋河入海后, 在近海潮流和波浪等因素影响下搬运和沉积。因此, 洋河也可以作为胶州湾伊利石的一个物源区。从胶州湾东北方向入海的墨水河黏土矿物中伊利石含量虽高(68.8%), 但是相较于大沽河, 其年输沙量较少(约 6.87×10^4 t), 对胶州湾伊利石物质来源贡献有限。

研究表明, 伊利石受水动力的影响较明显, 作为一个半封闭型天然港湾, 胶州湾内平均潮差 2.8 m, 潮差表现为中等强度, 往复流是控制湾内泥沙运动和表层沉积物沉积作用的主要动力^[5]。伊利石百分含量等值线图(图 2a)显示, 在胶州湾南段湾口北部伊利石含量较高, 分析是由于该区域潮流作用强, 颗粒较大的伊利石等黏土矿物优先沉降、聚集^[42]。

4.2 蒙脱石物源

研究区内黏土矿物中蒙脱石的含量(平均 17.1%)仅次于伊利石(平均 65.1%), 总体含量较高。关于蒙脱石的物质来源, 研究认为, 基性火山岩、火山岩或火山物质在碱性环境下发生化学风化作用产物中常富含蒙脱石^[37,40,43-44], 在一些含火山物质较丰富的砂岩中, 蒙脱石含量也较高^[20]。由蒙脱石百分含量等值线图(图 2b)可知, 蒙脱石高值区主要分布在胶州湾东北部、大沽河下游和湾口附近。大沽河作为胶州湾输沙量最大的河流, 多年平均入海输

沙量约 36.59×10^4 t, 而且研究区内大沽河沉积物中蒙脱石含量最高(平均为 23.6%), 因此, 认为大沽河是胶州湾黏土矿物蒙脱石的主要物源。另外, 李村河年输沙量虽少(5.25×10^4 t), 但是河流沉积物中蒙脱石含量高(21.2%), 也可以为胶州湾蒙脱石提供部分物质来源。

除了入海河流携带的陆源碎屑物质为胶州湾提供物源以外, 研究区周边的花岗岩和火山岩也可以提供部分物源。胶州湾北部沿岸分布着大面积的火山杂岩^[17,21], 研究区西南湾有一蒙脱石富集区, 前人研究认为是由于此处沿岸都是火成岩^[6]。在北方较冷气候条件下, 这些火山岩母岩经过风化作用形成蒙脱石和绿泥石等黏土矿物^[6,43]。由蒙脱石百分含量等值线图可知胶州湾东北侧蒙脱石分布广泛, 分析认为除了东部花岗岩侵蚀风化产物提供物源外, 墨水河、白沙河等季节性小河流在经过北侧白垩纪青山群火山碎屑岩和火山岩分布区也可以为湾内带来物源。此外, 前人研究表明蒙脱石颗粒比其他黏土矿物小, 且随水搬运能力强, 在湾内潮流作用下更容易长距离搬运^[42,45]。综上认为, 胶州湾的蒙脱石主要来源于大沽河、李村河及周边沿岸的火山物质。

4.3 绿泥石物源

海洋沉积物黏土矿物中的绿泥石主要来自火成岩和变质岩的风化^[3,44], 且多形成于机械风化作用强烈的环境中, 代表一种寒冷、干燥的气候条件^[1,45]。胶州湾东部陆域广泛分布着花岗岩, 为胶州湾表层沉积物中绿泥石矿物提供了良好的物质基础。陆源物质随河流入海, 在环胶州湾河流中大沽河输沙量巨大, 占据绝对优势, 且绿泥石百分含量平均为 6.3%, 大沽河依然是研究区黏土矿物绿泥石的主要物质来源。研究区李村河沉积物中绿泥石的含量最高(平均为 8.9%), 年输沙量 5.25×10^4 t, 因此, 李村河也可以作为胶州湾黏土矿物绿泥石一个物源区。另外, 从胶州湾黏土矿物百分含量等值线图(图 2c)可知, 绿泥石在胶州湾东侧含量较高, 但是分布不规律, 分析认为是由于胶州湾东侧入海的河流短小, 季节性强, 加之湾内东部地区潮流作用较强、海洋动力复杂, 黏土矿物的机械分异作用明显而导致的^[7,17]。

研究区西侧绿泥石含量整体较低, 仅西南侧局部存在绿泥石高值区(含量 > 10%), 前人研究认为, 主要原因是胶州湾西南部红石崖街道南侧发育古

元古代荆山群变质岩, 东南侧低丘陵区发育新元古代花岗片麻岩, 在受到侵蚀风化、搬运堆积等地质营力作用下, 岸边基岩及其风化物被带入湾内^[17], 富含绿泥石的悬浮物便在湾内西南侧近岸堆积。综合分析认为, 绿泥石主要来源于大沽河、李村河及胶州湾周边陆域地区广泛发育的变质岩。

4.4 高岭石物源

高岭石是入海陆源悬浮物质的重要矿物成分, 其矿物分布与陆源物质供应密切相关。高岭石是在特定气候环境条件下母岩(特别是花岗岩)遭受强烈的化学风化作用、水解作用后形成的产物^[1,9,37,42]。胶州湾位于黄海中部, 海洋性气候特征明显, 气候温和, 且降雨量丰富, 十分有利于高岭石的形成和保存。大沽河年输沙量占胶州湾多年平均入海输沙量的 64.2%, 泥沙中含有大量黏土矿物, 其中高岭石平均含量达 7.9%, 是胶州湾高岭石的主要物质来源。此外, 研究区东部广泛发育崂山花岗岩, 富含硅铝矿物成分的岩浆岩母岩在温暖潮湿环境下经过风化作用形成高岭石, 在白沙河等周边河流的携带作用下注入胶州湾^[45], 高岭石遇到碱性海水极易发生絮凝作用而沉降^[37,42], 高岭石便在湾内沉积下来。白沙河是崂山山区最长的河, 其沉积物中高岭石含量较高(平均 14.2%), 因此, 本次研究认为白沙河也可为高岭石提供物源。高岭石总体呈斑状分布, 规律性不明显, 分析认为是由于胶州湾是一个半封闭型海湾, 湾内潮流作用强、水动力条件复杂^[16,29], 人类活动影响显著, 河流带来的松散沉积物进入胶州湾后, 高岭石受潮流搬运作用重新分配的结果。

5 结论

(1) 胶州湾表层沉积物中黏土矿物组成主要是伊利石(平均 65.1%)和蒙脱石(平均 17.1%), 其次是绿泥石(平均 9.0%)和高岭石(平均 8.8%)。空间分布上, 伊利石含量表现为西侧高、东侧低, 高值区主要分布在大沽河、洋河口外两侧; 蒙脱石含量高值区分布于胶州湾东北部、大沽河口东侧和湾口附近, 绿泥石含量表现为东侧高、西侧低, 且高值区整体呈条带状分布; 高岭石含量表现为斑状分布, 规律性不明显。

(2) 黏土矿物物源分析表明大沽河、洋河等入海河流所携带的陆源物质是胶州湾的主要物质来

源,其中,大沽河是胶州湾沉积物中伊利石、蒙脱石和高岭石的主要物源,绿泥石则是大沽河、李村河及胶州湾东侧沿岸物质侵蚀风化产物共同作用的结果。

参考文献:

- [1] 孔祥乐,项海光.海洋沉积黏土矿物与全球变化研究的探讨[J].海洋湖沼通报,2003,37(1):22-26.
- [2] 黄龙,王中波,耿威,等.东海东北部海域表层沉积物黏土矿物来源及输运[J].地球科学,2020,45(7):2722-2734.
- [3] 乔淑卿,石学法,方习生,等.渤海-北黄海沉积物黏土矿物特征及其环境意义[J].海洋科学进展,2020,38(7):253-262.
- [4] 虞义勇,王永红,李日辉,等.渤海西部表层沉积物中黏土矿物分布特征及物源指示[J].海洋地质与第四纪地质,2017,37(1):51-58.
- [5] 董贺平,李绍全,李广雪,等.青岛近海潮流沉积体系[J].中国海洋大学学报,2006,36(1):31-36.
- [6] 何良彪.胶州湾黏土矿物的分布图式[J].黄渤海海洋,1985,3(3):62-68.
- [7] 王文海,王润玉,张书欣.胶州湾的泥沙来源及其自然沉积速率[J].海岸工程,1982,1(1):82-90.
- [8] 蓝先洪,张宪军,刘新波,等.南黄海表层沉积物黏土矿物分布及物源[J].地球科学,2011,31(3):11-16.
- [9] 宋召军,张志珣,余继峰,等.南黄海表层沉积物中黏土矿物分布及物源分析[J].山东科技大学学报自然科学版,2008,27(3):1-4.
- [10] 赵奎寰.胶州湾的成因及演变[J].黄渤海海洋,1998,16(1):15-20.
- [11] 李善为.从海湾沉积物特征看胶州湾的形成演变[J].海洋学报(中文版),1983,5(3):328-339.
- [12] 江云水,彭红瑞.黏土矿物的X射线衍射分析[J].青岛科技大学学报(自然科学版),2017,38(增1):139-141.
- [13] 栾光忠,刘红军,范德江.青岛胶州湾地质特征及其成因[J].海洋湖沼通报,1998,3:18-23.
- [14] 高抒,汪亚平.胶州湾沉积环境与潮汐汉道演化特征[J].海洋科学进展,2002,20(3):52-59.
- [15] 戴纪翠,宋金明,郑国侠,等.胶州湾沉积环境演变分析[J].海洋科学进展,2006,24(3):397-406.
- [16] 李凤业,宋金明,李学刚,等.胶州湾现代沉积速率和沉积通量研究[J].海洋地质与第四纪地质,2003,23(4):29-33.
- [17] 赵奎寰.胶州湾重矿物分析:在港湾淤积调查中的应用[J].海岸工程,1983,2(1):26-38.
- [18] 汪亚平,高抒,贾建军.胶州湾及邻近海域沉积物分布特征和运移趋势[J].地理学报,2000,55(4):449-458.
- [19] 曹钦臣,涂仁亮.胶州湾沉积物地球化学特征的初步研究[J].海洋学报,1982,4(4):473-482.
- [20] 毕世普,孔祥淮,张勇,等.胶州湾浅表地层沉积物粒度特征及其环境意义[J].海洋地质前沿,2015,31(10):1-6.
- [21] 庄海海,徐绍辉,高茂生,等.胶州湾表层沉积物粒度特征及其沉积环境[J].海洋地质前沿,2018,34(9):24-31.
- [22] 胡睿,窦衍光,邹亮,等.胶州湾海域表层沉积物重金属元素分布特征与风险评价[J].海洋地质前沿,2021,37(11):11-21.
- [23] 刘怀山,周青春,童思友,等.近海湾口潮汐沉积地球物理特征研究:以胶州湾口为例[J].中国海洋大学学报,2006,36(1):145-150.
- [24] 张珂,王朝晖,冯杰,等.胶州湾表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J].分析测试学报,2011,30(12):1406-1411.
- [25] 何书锋,李广雪,史经昊.胶州湾表层沉积物重金属元素分布特征及其影响因素[J].海洋地质前沿,2013,29(4):41-48.
- [26] 董贺平,邹建军,李广雪,等.胶州湾西北部沉积物中重金属元素分布特征及评价[J].海洋地质动态,2007,23(8):4-9.
- [27] 梁宪萌.百年来胶州湾的环境演变与人为活动影响的甄别研究[D].青岛:中国科学院海洋研究所,2019.
- [28] 窦衍光,印萍,陈斌,等.滨海基岩城市地质调查成果应用探索与理论技术创新:以青岛市为例[J].海洋地质前沿,2021,37(9):1-9.
- [29] 汪亚平.胶州湾及临近海区沉积动力学[D].青岛:中国科学院海洋研究所,2000.
- [30] 盛茂刚,崔峻岭,时青,等.青岛市环胶州湾各河流输沙特征分析[J].水文,2014,34(3):92-96.
- [31] 刘福寿,王揆洋.胶州湾沿岸河流及其地质作用[J].海洋科学,1992,1:25-28.
- [32] BISCAYE P E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1965, 76(7): 803-832.
- [33] 卢健.南黄海西部晚更新世末期以来沉积特征及其物源环境意义[D].青岛:中国科学院海洋研究所,2013.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 何梦颖,郑洪波,黄湘通,等.长江流域沉积物黏土矿物组合特征及物源指示意义[J].沉积学报,2011,29(3):544-554.
- [37] 宋泽华,万世明,黄杰,等.南海西北部表层沉积物黏土矿物分布特征及其来源[J].海洋学报,2017,39(9):71-82.
- [38] 李安春,陈丽蓉,李铁刚,等.山东半岛南部近海表层沉积物矿物组合特征及其物源与沉积动力环境指示意义[J].海洋科学,2000,24(3):57.
- [39] 胡刚,毕世普,张勇,等.山东半岛中南部滨浅海地区表层沉积物分布特征及形成机制[J].海洋地质与第四纪地质,2015,35(6):17-23.
- [40] 秀丽,魏飞,刘杰,等.渤海湾西部表层沉积物粒度及黏土矿物特征分析[J].海洋科学,2015,39(8):70-77.
- [41] 陈小英,刘金庆,郭磊,等.胶州湾大沽河河口近岸海域短时间尺度沉积动力过程[J].海洋地质与第四纪地质,2016,36(6):45-50.
- [42] 赵德博,万世明.南海沉积物中黏土矿物及其在古气候中的应用研究进展[J].海洋地质与第四纪地质,2014,34(4):163-171.
- [43] 梁小龙,杨守业,印萍,等.黄海与东海周边河流及泥质区沉积物黏土矿物的分布特征和控制因素[J].海洋地质与第四纪

- 地质, 2015, 35(6): 1-15.
- [44] 艾丽娜, 韩宗珠, 王双, 等. 渤海海表层沉积物黏土矿物组成及分布特征对物源的指示意义[J]. 海洋湖沼通报, 2016, 5: 60-68.
- [45] 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): 470-479.

Clay mineral assemblages and provenance in the surface sediment of Jiaozhou Bay

ZHANG Huina^{1,2}, GUAN Yong^{1,2*}, DOU Yanguang³, WANG Qing^{1,2},
XU Rui^{1,2}, QIN Shengqiang^{1,2}, WANG Ruilong^{1,2}, XIA Weiqiang^{1,2}

(1 Qingdao Geo-Engineering Surveying Institute (Qingdao Geological Exploration Development Bureau) Qingdao 266101, China;

2 Key Laboratory of Urban Geology and Underground Space Resources, Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Qingdao 266100, China; 3 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China)

Abstract: The content and composition of clay minerals from 150 surface sediment samples obtained in 2019 from the Jiaozhou Bay, Qingdao, East China were analyzed using XRD. The distribution characteristics and sediments resources were discussed. Results show that illite (65.1%) dominated in the surface sediments, smectite (17.1%) ranked the second, followed by chlorite (9.0%) and kaolinite (8.8%). On the spatial scale, the illite contents were higher in the west and lower in the east, and the higher value areas were mainly distributed near the mouths of Dagou River and Yanghe River. Smectite contents were higher in the northeast; chlorite contents were higher in the east and lower in the west area, and the higher area of chlorite showed a zonal distribution. The higher distribution of kaolinite was patchy and the regularity was not obvious. Provenance analysis showed that terrestrial materials carried by inflow rivers were the main material sources, including Dagou, Yanghe, and Nanjiaolai Rivers. Besides, the Dagou River was the main provenance of illite, smectite and kaolinite, while chlorite was jointly from the Dagou River borne materials and the erosion product of coastal materials.

Key words: Jiaozhou Bay; surface sediment; clay minerals; distribution pattern; provenance