

人工岛建设对龙口湾表层沉积物粒度及黏土矿物组成特征的影响^{*}

任 鹏^{1,2,3}, 孙志高^{2,3}, 王传远³, 赵全升^{1*}, 祝 贺⁴

(1. 青岛大学 化学科学与工程学院, 山东 青岛 266071; 2. 福建师范大学地理研究所 湿润亚热带生态地理过程教育部重点实验室, 福建 福州 350007; 3. 中国科学院烟台海岸带研究所 海岸带环境过程重点实验室, 山东 烟台 264003; 4. 鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 26402)

摘 要:通过对 2013 年采自龙口湾的表层沉积物样品进行激光粒度分析和 X-射线衍射(XRD)分析,根据其表层沉积物粒度及黏土矿物组成分布特征,来探讨大规模人工岛建设对龙口湾表层沉积物粒度分布及黏土矿物组成特征的影响。结果表明,龙口湾沉积物粒度以粉砂为主(62.90%),黏土(18.05%)和砂(19.05%)的质量分数相近。龙口湾表层沉积物的黏土矿物组成与莱州湾整体沉积物组成相近,其不同组分质量分数表现为伊利石>蒙皂石>绿泥石>高岭石,但个别矿物的含量仍存在一定差异。表层沉积物粒度分布及黏土矿物的组合特征表明,尽管龙口湾的沉积物仍以沿岸河流输沙、风沙和岛岸侵蚀为主,但沿岸大规模人工岛建设已对其组合特征产生重要影响。粒度组成上黏土质量分数略有升高,砂质量分数略有下降;黏土矿物组成上表现为蒙皂石的最大质量分数升高24.55%,绿泥石和高岭石的最大质量分数均下降 35%左右,而伊利石质量分数最高且变化不大。通过对龙口湾表层沉积物粒度分布及黏土矿物组成特征的研究,可在一定程度上揭示大规模人工岛建设对龙口湾的沉积环境的影响。

关键词:沉积物;粒度;黏土矿物;组成特征

中图分类号:P736

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2016)04-0578-10

doi:10.3969/j.issn.1671-6647.2016.04.014

龙口市入选山东半岛蓝色经济区核心区,但其发展明显受到陆域狭小、空间资源不足的限制,为解决该问题,保持经济的持续稳定增长,采用了人工岛式填海和区块组团式填海相结合的方式建设离岸人工岛群^[1]。离岸人工岛群的建设势必会改变龙口湾的自然岸线,对龙口湾内水动力及泥沙运移环境的造成很大影响,从而引发湾内及周边海区潮流场和冲淤特性的变化^[1-2]。通过研究海洋沉积物的粒度分布及黏土矿物的组成特征可获得沉积物物源、水动力环境、搬运距离等诸多环境信息^[3-8],无论对研究海区的沉积物来源和特征,还是对探讨陆源物质入海后的输送运移、沉降规律都有重要意义的^[9]。对龙口湾表层沉积物粒度分布及黏土矿物组成特征的研究,能够反映出龙口湾的冲淤特性对人工岛建设的响应,并对人工岛的填海选址、填海土量具有指导意义,且对人工岛的岛岸防护、港池选址、航道疏浚、岛内功能区定位及污染物的排放有重要经济意义。当前关于海洋沉积物粒度分布及黏土矿物组成特征的研究已取得许多重要成果,且研究区域已覆盖渤海、黄海、东海、南海等中国近海^[10-16],以及长江、黄河等河流^[16-19]。

就莱州湾而言,前人的研究主要侧重莱州湾沉积动力条件、悬浮泥沙分布特征、海岸地貌以及海岸侵

* 收稿日期:2015-11-27

资助项目:中国科学院重点部署项目——北方典型海岸带水动力变化和复合污染机制及其生态损害评估课题 I:人工填海、造岛对近岸水动力及物质运输的影响机制与数值模拟任务-填海工程影响下潮间带及邻近海域沉积环境变化研究(KZZD-EW-14);中国科学院“一三五”规划生态突破项目——黄河三角洲陆海界面过程、生态演变与修复技术课题 I:黄河水沙运移、沉积与生态演变(Y254021031);国家自然科学基金项目——黄河口生态恢复工程对湿地氮循环关键生物地球化学过程的影响(41171424)和黄河口新生湿地系统碳氮循环关键过程队外源氮输入的响应(41371104)

作者简介:任 鹏(1989-),男,山东烟台人,硕士研究生,主要从事河口海岸沉积环境方面研究, E-mail:qdrp2013@163.com

* 通讯作者:赵全升(1963-),男,山东潍坊人,教授,博士,主要从事盐湖水文地质方面研究, E-mail:zqs0811@sina.com

(陈 靖 编辑)

蚀^[20-25]等方面,而对莱州湾沉积物粒度分布及黏土矿物组成特征的研究涉及较少,且集中在受黄河口影响的莱州湾海域,很少涉及莱州湾东部海域。随着龙口人工岛群建设规模的不断扩大,许多学者对龙口湾的海洋水质^[26-27]、资源现状、潮汐潮流特征和冲淤积现状^[28-30]等进行了大量实地调查,而关于大规模离岸人工岛群建设对龙口湾沉积物粒度分布与黏土矿物组合特征的影响的研究还鲜有报道。因此,我们对 2013 年采自龙口湾的表层沉积物样品进行鉴定,以探讨大规模离岸人工岛群建设对龙口湾沉积物黏土矿物组成与分布特征的影响。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

龙口湾位于莱州湾东北隅,是指砣姆岛连岛大沙坝与界河口连线以东、呈对数螺线型半敞开的海湾,为莱州湾的一个附属海湾^[1,31]。龙口湾地势东南高、西北低,地貌为冲洪积平原或浅海平原,其海岸为基岩海岸或砂砾质平原海岸^[32],人工岛群以北岸段以基岩海岸或人工岸线为主,以南主要为砂质海岸^[1]。龙口市规划设计的人工岛群位于山东省龙口市的渤海龙口湾南部海域,在注入龙口湾的北马南河和界河之间海域,工程东起现有岸线,北起龙口港主航道南约 2 km 处,西侧、南侧至龙口、招远海域分界线,是山东半岛“集中集约用海”九大核心区之一。自 2011 年离岸人工岛建设以来,当年累计完成围填海工程量 6 300 多万 m³,2012 年上半年完成围堰长度 120 km,完成总工程量 12 000 万 m³,至 2015 年填海造地面积 47 km²,围填海工程巨大^[33]。

1.2 样品采集与研究方法

2013-09-10,利用东营黄河口水文水资源勘测局的“黄测 A110”测量船,运用箱式取样器在龙口湾及周边海域采集 15 个代表性表层沉积物样品(由湾内向湾外延伸)。龙口湾南部采样点略有缺失,选取 10 个代表性表层沉积物样品进行粒度及黏土矿物分析(图 1)。

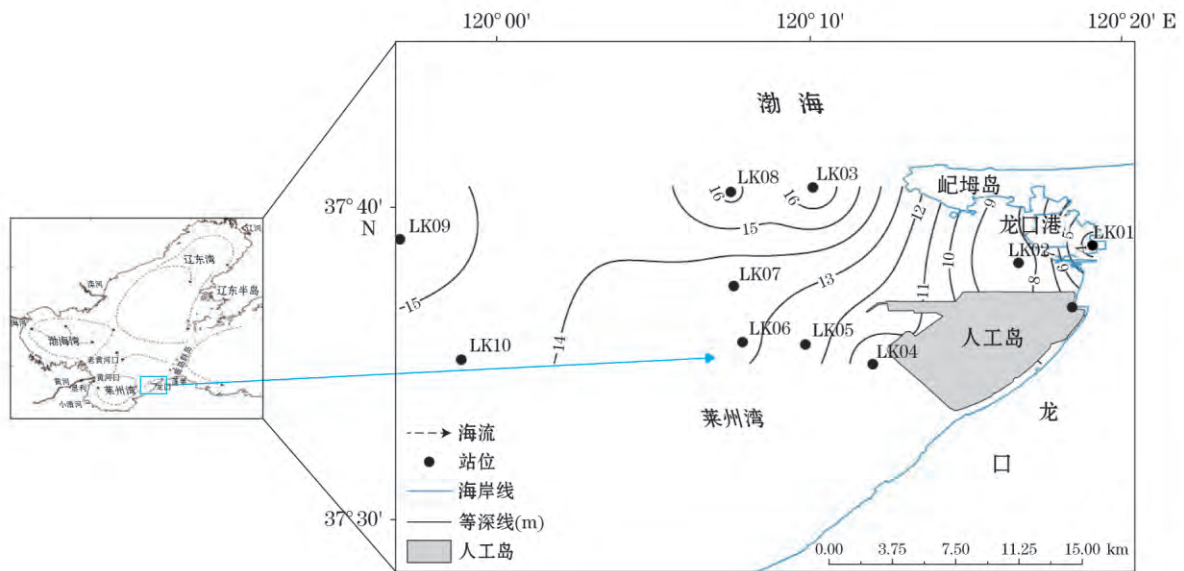


图 1 龙口湾环流示意图^[8,34]及采样点站位图

Fig. 1 The sketch map of circulation and sampling locations in the Longkou Bay

表层沉积物粒度分析过程如下:取适量样品,加入 30% 的双氧水和 0.25 mol/dm³ 的盐酸去除碳酸盐和有机质,离心后用超声波震荡充分分散,在中国科学院烟台海岸带研究所测试分析中心用 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行测试。表层沉积物黏土矿物组成分析过程如下:取适量的全岩样品,去离子水浸泡后,超声

分散 30 min 过 250 目筛;将筛下部分样品转入 800 mL 烧杯中,加入去离子水至固定界面;玻璃棒搅拌均匀后静置;依照 Stokes 定律提取出黏土粒径($<2 \mu\text{m}$)组分;将上述提取液离心、去上清液、制作定向片。自然沉降法制取定向样品;自然定向样品在 60°C 乙二醇蒸汽中 12 h,制成乙二醇饱和定向片;乙二醇饱和定向片 490°C 加热 2 h 后制成加热定向片,在中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室使用 X-射线衍射仪(XRD)进行测试分析。

使用 Origin 8.0 软件绘制沉积物粒度和黏土矿物组成三角图式,Excel 软件分析获取沉积物粒度组成以及黏土矿物组成数据,Arcgis 10.0 软件对样点的粒度组成和黏土矿物组成进行反距离权重(IDW)插值处理,并绘制粒度与黏土矿物组分分布图。

2 研究结果

2.1 沉积物粒度的空间分布特征

研究区内表层沉积物按粒径大小可分为黏土($<4 \mu\text{m}$)、粉砂($4\sim 63 \mu\text{m}$)和砂($>63 \mu\text{m}$)三个粒度组分,通过以沉积物粒度黏土-粉砂-砂为三端元的三角图式可以看出沉积物的粒度组成特征(图 2),其粒度组成以粉砂为主(平均约占 62.90%),其次是砂(平均约占 19.05%),黏土组分相对较少(平均约占 18.05%)。样点分布较为分散说明各样点间的粒度组成差异较大,研究区在沉积物粒度组成上呈现出明显的空间异质性(图 3)。

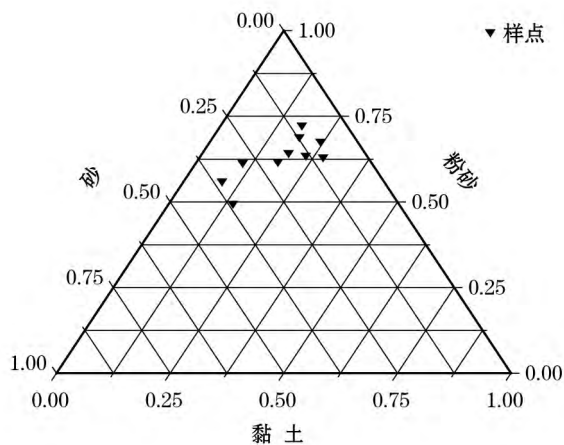


图 2 沉积物粒度三角图式

Fig. 2 Triangular schema of the grain sizes in sediments

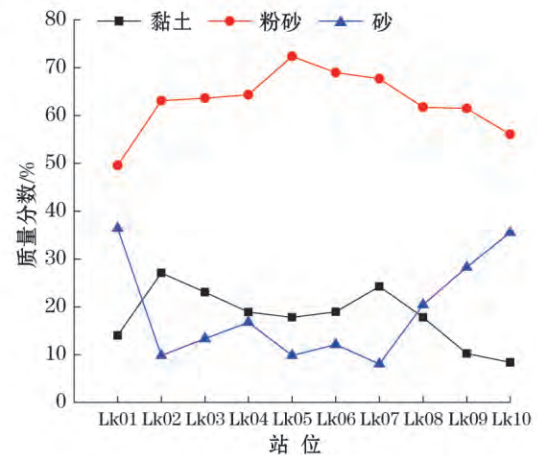


图 3 沉积物不同粒级组分的质量分数

Fig. 3 Contents of the different graded components in sediments

由图 3 可知,黏土和砂的分布特征整体呈相反变化,而粉砂的分布特征与二者均不相同。研究区沉积物粒度组成尽管均存在高值和低值中心(均呈现出一定的空间差异性),但这种差异性的强度并不一致。具体而言,黏土的组分质量分数在龙口湾近岸以及龙口湾最外侧小范围海域相对较低,在整个龙口湾湾内海域质量分数较高;砂的组分质量分数在龙口湾近岸和龙口湾最外侧小范围海域较高,在整个龙口湾湾内海域质量分数较低。与之相比,粉砂质量分数在整个研究海域均较高,而在龙口湾近岸和龙口湾最外侧小范围区域质量分数较低。龙口湾近岸海域和龙口湾最外侧小范围海域为砂质量分数高值区($>20\%$),同时也是粉砂质量分数低值区($<60\%$)和黏土质量分数低值区($<15\%$);砂质量分数低值区($<20\%$)主要呈带状从龙口湾湾内一直延伸至龙口湾外海域,同时也是黏土质量分数高值区($>15\%$)和粉砂质量分数高值区($>60\%$)的主要分布范围。粉砂在研究区除龙口湾近岸小范围低值区外,总体上呈现出由近岸向海递增趋势;黏土质量分数在龙口湾湾内呈现由近岸向海递增趋势,在湾外则呈递减趋势。在龙口湾湾内,砂组分质量分数介于

9%~36%,除近岸存在小范围高值区外,其整体呈现出由近岸向湾内递增的趋势;在龙口湾湾外,砂组分质量分数出现明显高值区,其值介于20%~35%。

2.2 沉积物黏土矿物组成的分布特征

根据 XRD 分析结果,研究区内沉积物中的黏土矿物主要由蒙皂石族、伊利石族、高岭石族、绿泥石族四族黏土矿物组成。从以黏土矿物组分伊利石、蒙皂石和高岭石+绿泥石为三端元的三角图式可以看出,龙口湾研究海域表层沉积物的黏土矿物组分主要为蒙皂石和伊利石,其中又以伊利石质量分数最高(图 4),其中伊利石是研究区海底表层沉积物黏土矿物中质量分数最高的,其质量分数介于 44.1%~67.2%,平均质量分数为 57.04%,占整个黏土矿物组分的一半以上。比较而言,龙口湾湾内伊利石的平均质量分数(55.9%)明显低于湾外(58.2%)。蒙皂石是研究区海底沉积物中较为普遍的黏土矿物,其质量分数介于 11.9%~39.4%,平均值为 24.91%;蒙皂石在龙口湾湾内质量分数较高(27.0%),特别是在 Lk03 站位,其质量分数高达 39.4%。与伊利石和蒙皂石质量分数相比,研究区海底表层沉积物中的绿泥石和高岭石质量分数均较低,其值分别介于 7.4%~12.4%和 5.5%~8.8%,平均值为 10.23%和 7.82%。大部分样点在沉积物黏土矿物三角图式中的分布较为集中,说明大部分样点间沉积物中黏土矿物组分分异较小,但不同黏土矿物组分在研究区内的空间分布却存在明显的差异性(图 5)。研究表明,伊利石和蒙皂石在研究海域的分布特征几乎完全相反,即伊利石的高值区对应蒙皂石的低值区,反之亦然(图 5a)。在砣姆岛西侧海域以及人工岛建设海域的蒙皂石质量分数较高,其值介于 20.9%~39.4%,平均质量分数(28.67%)高于整个研究海域的平均质量分数(24.91%)。伊利石在上述海域的质量分数相对较低,约为 44.1%~60.8%,其平均值(53.89%)低于整个研究海域的平均质量分数(57.04%)。同样,蒙皂石在龙口湾湾内及近岸的质量分数较低(约为 11.9%~21.7%),而伊利石在此海域的质量分数却相对较高(64.8%~67.2%)。整体而言蒙皂石在砣姆岛西南侧海域及人工岛建设海域的质量分数分布呈现出由近岸向海逐渐升高趋势,而在龙口湾内呈现出由岸向海逐渐降低趋势。伊利石在砣姆岛西南侧海域及人工岛建设海域的质量分数分布呈现出由近岸向海逐渐降低趋势,而在龙口湾内侧则呈现出由岸向海逐渐升高趋势。绿泥石和高岭石的质量分数分布特征相似(图 5b),但不尽相同。二者均在龙口湾湾近岸海域存在小范围低值区,而在湾内以及砣姆岛西南侧海域出现高值区,其质量分数分布均呈现出由近岸向海逐渐升高趋势。不同的是,高岭石在人工岛建设海域出现较大范围的低值区,且其中心达到研究海域该矿物组分质量分数的最低值(仅有 5.5%)。尽管人工岛建设海域的绿泥石质量分数亦出现明显低值区,但范围较小且质量分数降幅不大(9%左右)。

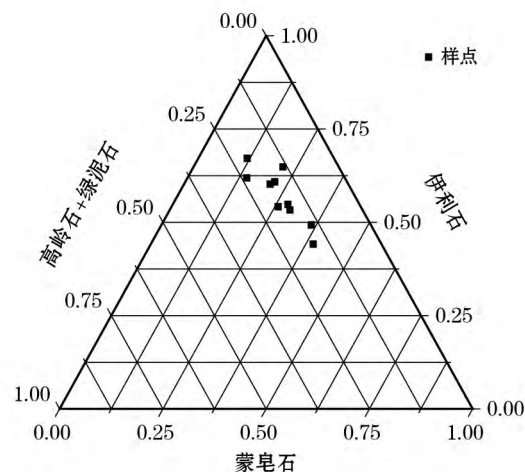


图 4 沉积物黏土矿物的三角图式

Fig. 4 Triangular schema of the clay components in sediments

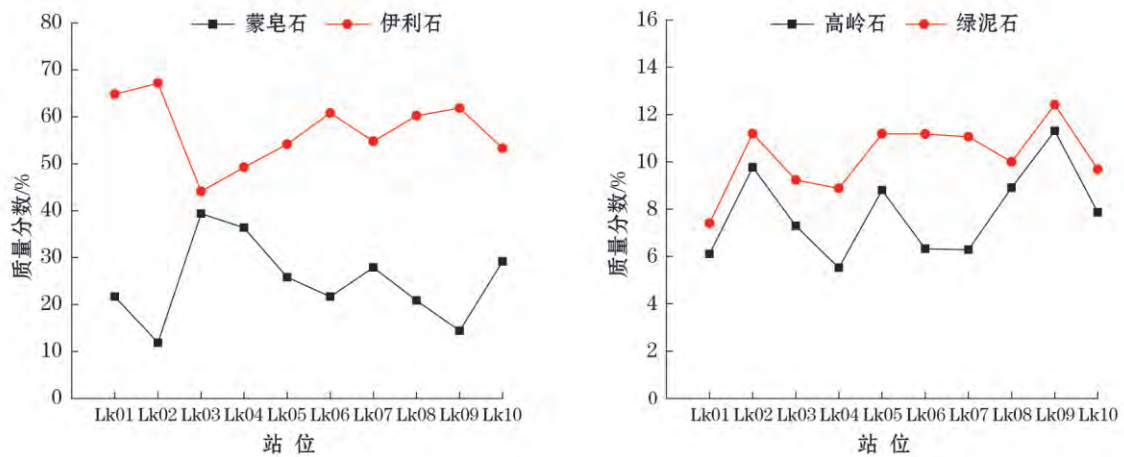


图5 沉积物黏土矿物各组分相对质量分数

Fig. 5 Contents of the different clay components in sediments

3 讨论

龙口湾及其附近海域的沉积物具有明显的亲陆性和区域性,其物质来源除本区河流、风积和人工物质外,还受沿岸流携带的现代黄河物质^[32,35]的影响。黄河物质入海后大致可分为3个方向搬运,其中一个方向是进入莱州湾,并借助海峡南出之水把黄河物质送入外海^[3]。据国家海洋局第一海洋研究所2006-03-01—06在龙口港附近海区的调查数据,龙口湾海底沉积物主要有中砂、中细砂、细砂、粉砂质砂、粉砂质黏土,且分布规律明显。龙口湾内湾和沙坝沉积物普遍较细,且分选良好,为细砂和粉砂质黏土;外湾为粉砂质砂,砣矶岛头附近为中砂和中细砂。龙口湾属渤海湾-莱州湾矿物省,就其黏土矿物组成而言,高岭石与绿泥石质量分数较高,伊利石结晶度较好^[11]。该矿物省受黄河影响最大,黄河沉积物黏土矿物为伊利石-绿泥石-高岭石-蒙皂石组合,而以黄土为主要成分的黄河入海物质大部分沉积在此矿区,因而龙口湾黏土矿物也属于伊利石-绿泥石-高岭石-蒙皂石组合(表1)。龙口湾现代岸线与水下水地形经多年水动力调整,加上干旱降雨量偏少,河流携沙少,其海底沉积环境已基本处于动态平衡和相对稳定状态^[9,18]。而自2010年以来,龙口湾大规模离岸人工岛的建设在某种程度上已对这种稳定状态产生深刻影响。据表1可知,就沉积物黏土矿物组分而言,整个渤海湾表层沉积物黏土矿物为伊利石-蒙皂石-绿泥石组合,主要有伊利石、蒙皂石、绿泥石和高岭石,且伊利石质量分数最高,蒙皂石次之,绿泥石和高岭石较低。莱州湾北岸表层沉积物中的黏土矿物组成成分与渤海湾和龙口湾相近,其不同种类矿物的质量分数变化均不大。与未进行大规模离岸人工岛建设前的研究结果相比,龙口湾表层沉积物的黏土矿物质量分数已发生了一定变化,表现为蒙皂石质量分数(24.91%)升高,绿泥石(10.23%)和高岭石(7.82%)质量分数均有所降低,而伊利石质量分数(57.04%)最高且变化不大,与黄河及黄河近岸黏土矿物相比,仍属于黄河型。

表 1 龙口湾、黄河、黄河近岸、渤海湾和莱州湾沉积物粒度及黏土矿物组成对比

Table 1 Comparison of the composition of grain size and clay in sediments of Longkou Bay, The Yellow River, the inshore area of the Yellow River, Bohai Sea and Laizhou Bay

区域	粒度组成/%			黏土矿物组成/%				数据来源
	黏土	粉砂	砂	伊利石	高岭石	绿泥石	蒙皂石	
黄河	—	—	—	62.5	9.7	12.5	15.2	[43]
黄河近岸	17.4	59.1	23.5	55.4	7.8	10.3	26.5	[16]
渤海湾	粉砂质黏土	黏土质粉砂	粉砂	56.5	10.2	13.2	19.4	[37]
	25.93	52.05	22.02	58.1	7.2	10.1	24.5	[16]
莱州湾北岸	15.96	62.40	21.64	57.6	8.6	10.7	23.0	[16]
龙口湾	—	—	—	58.3	20.3	11.3	8.2	[11]
	—	—	—	70~75	8~10	>10	8~13	[44]
	粉砂质黏土	黏土质粉砂	粉砂	56~60	10~12	12~16	16~20	[37]
	18.05	62.9	19.05	57.04	7.82	10.23	24.91	本研究

注:— 表示无数据

莱州湾海区内存在一个大顺时针向的余环流,黄河口沙嘴前缘存在一个较强的潮流,在莱州湾东南存在一个较弱的潮流区(图 1),莱州湾东南部的较弱潮流区与龙口湾人工岛建设海区较为接近,上述环流和潮流对沉积物在龙口湾内的分布可能会产生一定影响^[39-41]。龙口湾是一个对数螺旋型半敞开的海湾,湾内地貌主要为浅海平原,北部近 10 km 的连岛沙坝形成了天然波堤,砣姆岛和连岛沙坝的存在使龙口湾较为封闭,湾内水深大部分在 10 m 以内,由东向西逐渐加深,湾内波浪不强,流速很小,水动力较弱,湾内有少量淤积^[32]。由于砣姆岛北侧的泥沙不会绕过连岛沙坝进入南侧^[1,36],说明在砣姆岛南侧西部呈弱侵蚀状态。陆源入海泥沙在自右向左输运过程中逐渐落淤,而这从尖子沙咀及其附近岸滩的缓慢增长得到证实。由于鸭滩阻挡泥沙不会进入龙口湾湾内,因此在龙口湾顶部基本无泥沙进出,其始终处于动态平衡。整体而言,龙口湾的泥沙运动大致可分为两部分,一是砣姆岛以东连岛沙坝以北的泥沙作东西向运动,仅有少量泥沙悬移质绕过砣姆岛影响龙口湾;二是湾内河流,如界河、河抱河、龙口河等向龙口湾输入少量泥沙。因此,湾内无明显泥沙交换,这也是龙口湾泥沙淤积微弱的主要原因。伊利石是黏土矿物中最稳定的矿物之一^[37],无论是在中国近海还是世界大洋,都在组合上占优势,因而龙口湾沉积物黏土矿物中伊利石的质量分数变化不大。而蒙皂石是黏土矿物中比较细小的矿物,较容易随水搬运,由此使得本研究的蒙皂石在龙口湾湾内质量分数较高。由于细粒级泥沙的淤积,使得龙口湾内的黏土质量分数也有所上升。黏土矿物的分布不仅与物源有关,而且水动力等海洋沉积环境在黏土矿物入海后对表层沉积物中黏土矿物分布也有较大影响。在海洋中由于自身粒径和比重等因素,黏土矿物在随洋流输运过程中沉积分异作用明显。根据 Gibbs 的数据,四种黏土矿物中蒙皂石粒径最小(平均粒径 0.4 μm)、比重最轻(2.10 g/cm^3);绿泥石粒径最大(平均粒径 10 μm)、比重最重(2.50 g/cm^3)^[38]。颗粒最小,易于悬浮的伊利石随水流沉降,而颗粒较大的高岭石和绿泥石则在湾外存在较多的沉降。

自 2011 年龙口湾大规模离岸人工岛正式开工建设至今,已完成约 50 km^2 的围堰工程,大量的土石堆积在海岸,在海潮的冲刷作用下进入近岸海区,并在水动力作用下进行初步沉积分异。陆源物质入海后,要面临一个搬运、混合、沉积以及沉积后的改造过程,高能河水入海后能量逐渐减弱,入海沉积物在水动力作用下经过初步的沉积分异作用,泥沙粗粒级组分堆积在河口附近,细粒级组分受到往复潮流的影响,向河口两侧运移。然而,由于人工岛建设,入海泥沙粗粒级组分堆积在人工岛海岸附近,细粒级组分受海流的影响逐渐向莱州湾中部和龙口湾运移。龙口湾湾内海底沉积物普遍较细,除沙坝外海底沉积物由湾内向湾外逐渐变粗,而蒙皂石质量分数在细粒沉积物中要比在粗粒沉积物中高。龙口湾湾内的蒙皂石质量分数明显高于湾外,主要原因是水动力作用,大规模的人工岛建设可对龙口湾水流的流动以及泥沙的输运产生很强的阻隔作

用,进而影响了龙口湾海域的水动力环境。龙口湾北面有岬姆岛和连岛沙坝阻挡,湾内风浪小,流速也小,水流趋于平缓,由此导致了黏土矿物颗粒性质在龙口湾海区存在较大差异。在近岸物质运输过程中潮流对泥沙运移也有很大影响,黄河入海的悬浮泥沙的分布与扩散受到莱州湾内高速潮流场的影响,潮流场对海洋沉积物的扩散有着重要作用^[21-22,40]。安永宁等^[1]运用 MIKE21 数学模型模拟了人工岛群建设前后海域潮流场和海底冲淤的变化特征,认为龙口湾大规模离岸人工岛群建设在改变海底地貌和岸线的同时,会改变龙口湾内的水动力条件和冲淤特征,由此对龙口湾海区的沉积环境也会产生重要影响。由于大规模人工岛围填海工程的实施,导致龙口湾北侧海域在各种典型风况下的淤积量均有所增加^[42],这就使得水动力性能较弱的矿物(如伊利石和蒙皂石)在龙口湾附近明显增加。另外,受人工岛群建设的影响,龙口湾的流速和有效波高变小,不利于泥沙的启动和运移^[2]。人工岛建设前缘由于挑流和破浪作用,潮流和波浪作用较强,有利于泥沙的启动和运移,最大冲刷深度增大,由此导致泥沙随海流进入水动力较弱的莱州湾,进而使得湾内的高岭石和绿泥石质量分数降低。

4 结 论

通过对龙口湾的表层沉积物样品进行的激光粒度分析和 X-射线衍射(XRD)分析,得到其表层沉积物粒度分布及黏土矿物组成特征,可在一定程度上揭示大规模人工岛建设对龙口湾的沉积环境的影响。得出结论如下:

1) 龙口湾表层沉积物的粒度组成主要以粉砂为主,砂次之,黏土组分相对较少,与渤海和莱州湾沉积物的粒度组成差异不大;沉积物粒径变化不大,但是黏土质量分数略有升高,砂质量分数略有下降。

2) 龙口湾海域的黏土矿物中各矿物的质量分数发生变化,高岭石和绿泥石的质量分数下降,蒙皂石的质量分数上升。其不同组分质量分数整体表现为伊利石>蒙皂石>绿泥石>高岭石。

3) 尽管龙口湾的沉积物仍以沿岸河流输沙、风沙和岛岸侵蚀为主,但沿岸大规模人工岛建设已对其组合特征产生重要影响,粒度组成上黏土质量分数略有升高,砂质量分数略有下降;黏土矿物组成上表现为蒙皂石的最大质量分数升高 24.55%,绿泥石和高岭石的最大质量分数均下降 35%左右,而伊利石质量分数最高且变化不大。相对莱州湾海域大范围的研究,对龙口湾海域的小范围研究更能揭示龙口湾的沉积环境变化及影响因素。

参考文献(References):

- [1] AN Y N, WU J Z, ZHU L H, et al. Response of erosion-deposition pattern to artificial islands construction in Longkou Bay[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(10): 24-30. 安永宁,吴建政,朱龙海,等. 龙口湾冲淤特性对人工岛群建设的响应[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(10): 24-30.
- [2] ZHOU G Z, FENG X L, LIU J, et al. Prediction of erosion evolution and deposition in the east coast of the Laizhou Bay after the implementation of the coastal planning[J]. Marine Science, 2014, 38(1): 15-19. 周广镇,冯秀丽,刘杰,等. 莱州湾东岸近岸海域规划围填海后冲淤演变预测[J]. 海洋科学, 2014, 38(1): 15-19.
- [3] CHEN L R. A study on mineral assemblages in sediments of the Bohai Sea, the Huanghai Sea and the East China Sea[J]. Marine Science, 1989, 13(2): 1-8. 陈丽蓉. 渤海、黄海、东海沉积物中矿物组合的研究[J]. 海洋科学, 1989, 13(2): 1-8.
- [4] SUN Y B, GAO S, LI J. Marginal sea terrigenous material granularity of environmentally sensitive component in the preliminary analysis [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(1): 83-86. 孙有斌,高抒,李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 83-86.
- [5] LAN X H, ZHANG X J, LIU X B, et al. Distribution pattern of clay minerals in surface sediments of south Yellow Sea and their provenance[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(3): 11-16. 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]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 11-16.
- [6] GAO S. Grain size trend analysis: principle and applicability[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 826-836. 高抒. 沉积物粒径

- 趋势分析:原理与应用条件[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 826-836.
- [7] ZHOU L C, LI J, GAO J H, et al. Comparison of core sediment grain-size characteristics between Yangtze River Estuary and Zhoushan islands and its significance to sediment source analysis[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(5): 25-27. 周连成, 李军, 高建华, 等. 长江口与舟山海域柱状沉积物粒度特征对比及其物源指示意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(5): 25-27.
- [8] QIAO S Q, SHI X F, WANG G Q, et al. Discussion on grain-size characteristics of seafloor sediment and transport pattern in the Bohai Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2010, 32(4): 139-147. 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海海底质沉积物粒度特征及运输趋势探讨[J]. 海洋学报, 2010, 32(4): 139-147.
- [9] HE L B. Clay minerals of China sea and its adjacent sea[J]. Science in China, 1989, 1(1): 75-83. 何良彪. 中国海及其临近海的黏土矿物[J]. 中国科学, 1989, 1(1): 75-83.
- [10] WANG W W, FU Y B, LI S T, et al. Distribution on surface sediment and sedimentary divisions in the middlepart of Bohai Sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(3): 478-485. 王伟伟, 付元宾, 李树同, 等. 渤海中部表层沉积物分布特征与粒度分区[J]. 沉积学报, 2013, 31(3): 478-485.
- [11] HE L B. Clay minerals from the sediments in the Bohai Sea[J]. Haiyang Xuebao, 1984, 6(2): 272-276. 何良彪. 渤海表层沉积物中的黏土矿物[J]. 海洋学报, 1984, 6(2): 272-276.
- [12] WU W Z, ZHU Y Z. Preliminary studies of clay minerals from the South China Sea[J]. Tropic Oceanology, 1983, 2(1): 20-26. 吴文中, 朱袁智. 南海的黏土矿物[J]. 热带海洋, 1983, 2(1): 20-26.
- [13] CHENG P, GAO S, BOKUNIEWICZ H. Net sediment transport patterns over the Bohai strait based on grain size trend analysis[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, 60(2): 203-212.
- [14] SHI X F, CHEN C F, LIU Y G, et al. Study of the trend and moving effect of sediment grain size in central south yellow sea[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(6): 452-456. 石学法, 陈春峰, 刘焱光, 等. 南黄海中部沉积物粒径趋势分析及搬运作用[J]. 科学通报, 2002, 47(6): 452-456.
- [15] WANG W, LI C A, XU F J, et al. Distribution of surface sediments and sedimentary environment in the North Yellow Sea[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2009, 40(5): 525-531. 王伟, 李安春, 徐方建, 等. 北黄海表层沉积物粒度分布特征及其沉积环境分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(5): 525-531.
- [16] WANG M M, SUN Z G, LU X N, et al. Effects of long-term implementation of the flow-sediment regulationscheme on grain and clay compositions of inshore sediments in the Yellow River Estuary[J]. Environmental Science, 2015, 36(4): 1256-1262. 王苗苗, 孙志高, 卢晓宁, 等. 调水调沙工程长期实施对黄河口近岸沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1256-1262.
- [17] YANG Z S. Fine-grained sediments of the Changjiang and Huanghe rivers and sediment sources of East China Sea. Proc. Int. Sym. Sedimentation on the Continental Shelf with Spec. Ref. to the East China Sea[M]. China Ocean Press, Beijing, 1983: 405-415.
- [18] HE L B, LIU Q Y. Chemical characteristics of clay minerals of the Yellow River and Yangtze river sediments[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(7): 730-734. 何良彪, 刘秦玉. 黄河与长江沉积物中黏土矿物的化学特征[J]. 科学通报, 1997, 42(7): 730-734.
- [19] MILLIMAN J D, BEARDSLEY R C, YANG Z S, et al. Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms[J]. Continental Shelf Research, 1985, 4(1-2): 175-188.
- [20] LIU Y X, HUANG H J, YANG X Y. The transportation and deposition of suspended sediment and its dynamic mechanism analysis based on landsat images in the Laizhou Bay[J]. Haiyang Xuebao, 2013, 35(6): 43-53. 刘艳霞, 黄海军, 杨晓阳. 基于遥感反演的莱州湾悬沙分布及其沉积动力分析[J]. 海洋学报, 2013, 35(6): 43-53.
- [21] CHEN B, HUANG H J, MEI B. Characteristics of sediment transportation near Xiaoqing estuary[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(5): 35-42. 陈斌, 黄海军, 梅冰. 小清河口海域泥沙运动特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(5): 35-42.
- [22] JIANG W S, WANG H J. Distribution of suspended matter and its relationship with sediment particle size in Laizhou Bay[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2005, 36(2): 97-103. 江文胜, 王厚杰. 莱州湾悬浮泥沙分布形态及其与底质分布的关系[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(2): 97-103.
- [23] LI M M, WANG Q, ZHANG A D, et al. Study on the geomorphic evolution of the muddy coast along the southern-weater Laizhou Bay over the past 50 years[J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(2): 141-151. 李蒙蒙, 王庆, 张安定, 等. 最近 50 年来莱州湾西-南部淤泥质海岸地貌演变研究[J]. 海洋通报, 2013, 32(2): 141-151.
- [24] LU X D, LIU Y X, YANN L W. Analysis of character of beach erosion and accumulation in the west coast of Laizhou Bay[J]. Marine Science, 2008, 32(10): 39-44. 卢晓东, 刘艳霞, 严立文. 莱州湾西岸滩冲淤特征分析[J]. 海洋科学, 2008, 32(10): 39-44.
- [25] FENG A P, XIA D X, GU D Q, et al. Study on process and cause of the coastal erosion along the south coast of the Laizhou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2006, 24(1): 83-90. 丰爱平, 夏东兴, 谷东起, 等. 莱州湾南岸海岸侵蚀过程与原因研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(1): 83-90.
- [26] HAN B, SONG Z L, CAO L, et al. Survey and assessment of coastal seawater quality in Longkou Bay[J]. Advances in Marine Science,

- 2010,28(2):186-192. 韩彬,宋转玲,曹磊,等. 龙口湾近岸海域水质状况调查与评价[J]. 海洋科学进展,2010,28(2):186-192.
- [27] WANG R C, WANG G. The status of water quality in Longkou Bay[J]. Ocean Technology, 2000,19(2):66-71. 王荣纯,王刚. 龙口湾近岸水质现状[J]. 海洋技术,2000,19(2):66-71.
- [28] WANG W H, WU G Q, WANG R Y. An approach to problems on silt in Longkou Bay[J]. Coastal Engineering,1988,7(1):19-27. 王文海,武桂秋,王润玉. 龙口湾泥沙问题的研究[J]. 海岸工程,1988,7(1):19-27.
- [29] LI X T, FENG J Z. Characteristics analysis of tide levels in Longkou Bay[J]. Coastal Engineering, 1994,13(4):13-24. 李秀亭,丰鉴章. 龙口湾的潮汐特征分析[J]. 海岸工程,1994,13(4):13-24.
- [30] BIAN S H, YANG Y D, TIAN Z W, et al. Study on erosional and depositional stability of Lanjiang Sand Bar in the Longkou Bay[J]. Coastal Engineering, 2006,25(4):18-24. 边淑华,杨玉娣,田梓文,等. 龙口湾拦江沙坝冲淤稳定性研究[J]. 海岸工程,2006,25(4):18-24.
- [31] QU M X, WANG W H, FENG J Z, et al. Natural environment of Longkou Bay[M]. Beijing: Ocean Press,1995. 曲绵旭,王文海,丰鉴章,等. 龙口湾自然环境[M]. 北京:海洋出版社,1995.
- [32] WANG W H. The development, utilization and protection of Longkou Bay[J]. Coastal Engineering, 1994,13(1):10-19. 王文海. 龙口湾的开发利用与保护[J]. 海岸工程,1994,13(1):10-19.
- [33] LIANG L. The research of intensive use sea way in Shandong peninsula blue economic zone[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012. 梁丽. 山东半岛蓝色经济区集约用海方式研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.
- [34] ZHAO B R, ZHUANG G W, CAO D M, et al. Circulation, tidal residual currents and their effects on the sedimentations in the Bohai Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica,1995,26(5):466-473. 赵保仁,庄国文,曹德明,等. 渤海的环流、潮余流及其对沉积物分布的影响[J]. 海洋与湖沼,1995,26(5):466-473.
- [35] LIU F Y. Analysis on the status of accretion of sediments and dynamic condition of Longkou Harbour Channel[J]. Coastal Engineering, 1994,13(1):20-23. 刘凤岳. 龙口港航道泥沙淤积状况及其动态分析[J]. 海岸工程,1994,13(1):20-23.
- [36] CHEN Z S. Introduction of China Bay[M]. Beijing: Ocean Press, 2007. 陈则实. 中国海湾引论[M]. 北京:海洋出版社,2007.
- [37] LI G G. Composition, distribution and geological significance of clay mineral in the surface sediment offshore China[J]. Haiyang Xuebao, 1990,12(4):470-479. 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.
- [38] GIBBS R J. Clay Mineral Segregation in the Marine Environment[J]. Journal of Sedimentary Research, 1977, 47(1):237-243.
- [39] LIN X T, LI W R, SHI Z B. Characteristics of mineralogy in the clastic sediments from the Yellow River provenance[J]. Marine Geology & Quaternary Geology,2003,23(3):17-21. 林晓彤,李巍然,时振波. 黄河河源碎屑沉积物的重矿物特征[J]. 海洋地质与第四纪地质,2003,23(3):17-21.
- [40] GU Y H, XIU R C. On the current and storm flow in the Bohai Sea and their role in transporting deposited silt of the Yellow River[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1996,14(1):1-6. 顾玉荷,修日晨. 渤海海流概况及其输沙作用初析[J]. 黄渤海海洋,1996,14(1):1-6.
- [41] WANG K S, SHI X F, CAI S W, et al. Distribution and provenance of the surface sediments of the Yellow River mouth and Laizhou Bay deduced from heavy minerals[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010,30(6):1-8. 王昆山,石学法,蔡善武,等. 黄河口及莱州湾表层沉积物中重矿物分布与来源[J]. 海洋地质与第四纪地质,2010,30(6):1-8.
- [42] FENG X L, DONG W W, ZHUANG Z Y, et al. The calculation of alongshore silt discharge rates and evolution development in the east-coast of Laizhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China,2009,39(2):304-308. 冯秀丽,董卫卫,庄振业,等. 莱州湾东岸沿岸输沙率及冲淤演化动态分析[J]. 中国海洋大学学报,2009,39(2):304-308.
- [43] FAN D J, YANG Z S, MAO D, et al. Clay minerals and geochemistry of the sediments from the Yangtze and Yellow Rivers[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001,21(4):7-12. 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.
- [44] ZHAO Q J. A study of the clay minerals of the surficial deposit in the Bohai Sea[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas,1987,5(1):78-84. 赵全基. 渤海表层沉积物中黏土矿物研究[J]. 黄渤海海洋,1987,5(1):78-84.

Impacts of Construction of Artificial Islands on the Flow-sediment Regulation Scheme on Grain and Clay Compositions in the Longkou Bay

REN Peng^{1,2,3}, SUN Zhi-gao^{2,3}, WANG Chuan-yuan³, ZHAO Quan-sheng¹, ZHU He⁴

(1. *College of Chemical Science and Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China*; 2. *Institute of Geograpy, Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Process, Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China*; 3. *Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Yantai 264003, China*; 4. *Institute of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China*)

Abstract: Based on the laser particle size and X-ray diffraction (XRD) analysis, sediment samples collected from the Longkou Bay in 2013 were determined to discuss the impacts of large-scale offshore construction of artificial islands on the distributions of grain size and clay components in sediments. Results showed that, silt was predominated(59.1%), clay(18.05%) and sand(19.05%) components were closer. The clay components in sediments of the Longkou Bay were close with those in the Laizhou Bay, and the clay components were in the order of illite>smectite>chlorite>kaolinite, but there still exists certain differences between individual mineral content. Surface sediment particle size distribution and the combination of the clay mineral characteristics showed that although local river, wind sediment and the shore erosion is given priority to the Longkou Bay sediments, the construction of coastal large-scale artificial island also has an important influence on its combination features. Grain size of clay content on the slightly elevated, sand content declined slightly; Clay mineral composition on the show is about 24.55% increase in the maximum content of smectite, chlorite and kaolinite have the maximum content decreased about 35%, and the highest levels of illite haven't changed much. Through the research of the surface sediment particle size distribution and composition of clay mineral characteristics in the Longkou Bay, can reveal large-scale artificial island construction has given a certain extent influence on the sedimentary environment of the Longkou Bay.

Key words: sediment; grain; clay; composition characteristics

Received: November 27, 2015