

# 北黄海表层沉积物粒度分布特征 及其沉积环境分析\*

王伟<sup>1,2</sup>, 李安春<sup>1</sup>, 徐方建<sup>1,2</sup>, 黄鹏<sup>1</sup>, 李艳<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室 青岛 266071; 2.中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘要** 对北黄海 1140 个表层沉积物样品的粒度进行分析, 探讨其分布特征与物源和水动力环境的关系。结果表明, 研究区底质类型主要有泥、粉砂、砂质粉砂、粉砂质砂、砂五种类型, 少数站位含有砾石。研究区东部沉积作用的主控因素是潮流, 西部主要是山东半岛沿岸流。经过本区的黄海暖流限制了山东半岛沿岸流携带的细粒物质向东运移。研究区西部细粒沉积物的粒度分布是不均匀的, 南北是不对称的, 其形成受控于山东半岛沿岸流、黄海暖流和潮流。

**关键词** 表层沉积物, 粒度, 沉积环境, 北黄海

**中图分类号** P731

粒度是沉积物的基本性质之一, 粒度分析是一种经典的沉积学研究方法, 粒度组成、粒度参数及各种图解是识别沉积环境的类型, 推断沉积物扩散搬运过程的常用手段。

黄海是一个半封闭的陆架浅海, 被山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛环绕, 习惯上以山东半岛的成山角至朝鲜的长山串角之间的连线为界, 将黄海划分为北黄海和南黄海两部分。北黄海是现代黄河沉积物向外海扩散的通道, 也是黄海暖流进入渤海的通道所在(Liu *et al.*, 1998), 水动力条件复杂, 物质来源多样。近年来, 许多研究者运用多种方法研究了该区域的细粒沉积物及其物质来源。秦蕴珊等(1986)认为黄河物质进入渤海后经渤海海峡进入北黄海, 在沿岸流的作用下, 在山东半岛北岸沉积, 其特征是富含  $\text{CaCO}_3$  与片状矿物(陈丽蓉, 1989)。Lee 等(1989)认为黄海暖流和北上的长江冲淡水限制了黄河物质向东运移。程鹏的计算结果表明, 北黄海西部沉积物有向北黄海中部汇集的趋势(程鹏等, 2000), 而蒋东辉(2001)<sup>1)</sup>认为北黄海西部沉积物净输运趋势形成一个反时针方向的旋涡。齐君等(2004)和林承坤(1992)的研究结果表明, 北黄海中部的细颗粒沉积明显受到

了长江物质的影响。Liu 等(2004)和 Liu 等(2007)利用浅层地震剖面及其它资料分别探讨了北黄海黄河水下三角洲和山东半岛东部水下斜坡沉积体的形成过程。

对北黄海本部泥的成因, 有上升流说和弱潮流场说(朱玉荣, 2001)等解释, 而且以往的研究大多是集中在北黄海西部或山东半岛北岸附近海域, 对北黄海东部的研究比较欠缺。本文中作者利用中国科学院海洋研究所科学一号 2006 年底质调查航次所采的高密度表层沉积物样品, 进行统一的激光粒度测试, 取得该区到目前为止最为详尽的粒度数据, 并结合有关资料探讨北黄海表层沉积物分布特征及其沉积环境。这将有助于了解北黄海西部细粒沉积区的形成过程, 并对整个北黄海沉积环境有一个系统的认识。

## 1 地质环境

研究区位于辽东半岛以南的黄海北部海区, 地理坐标为  $121.697^\circ\text{—}124.460^\circ\text{E}$ ,  $37.971^\circ\text{—}39.638^\circ\text{N}$ 。研究区水深较浅, 一般小于 70 m。海底地势由北、西、西南向中部缓倾, 并由中部向南倾向南黄海。黄海北部海岸性质复杂, 近岸海域有多个岛屿分布(长山群岛), 使其海底地形、地势变得非常复杂, 鸭绿江、庄

\* 国家 908 专项, 1908-01-CJ03 号和国家自然科学基金资助项目, 40776030 号。王伟, E-mail: wangwei615@163.com

通讯作者: 李安春, 博士生导师, 研究员, E-mail: acli@ms.qdio.ac.cn

1) 蒋东辉, 2001. 渤海海峡沉积物输运的数值模拟. 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 150—179

收稿日期: 2008-05-06, 收修改稿日期: 2009-08-05

河等河流注入研究区(秦蕴珊等, 1989)。

北黄海流系比较复杂。黄海沿岸流自渤海湾起, 终年沿山东半岛北部东流, 绕过成山角后沿 40—50 m 等深线至青岛崂山湾附近转向南和西南方向流动(图 1)。主要由鸭绿江冲淡水组成的辽南沿岸流沿着辽东半岛沿岸流向渤海海峡北部。冬季在强劲的偏北风作用下, 黄海暖流逆风向沿黄海海槽北上, 在 37°N 附近向东、西各有一条主要分支分别与西朝鲜湾流和黄海沿岸流汇合, 其余部分经老铁山水道进入渤海(李乃胜等, 2001)。

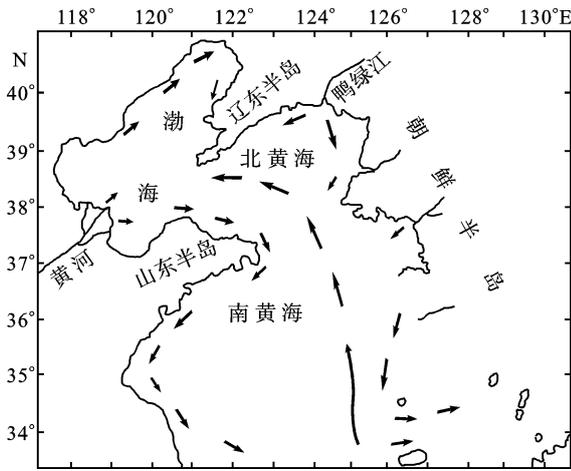


图 1 北黄海流系分布(Yang et al, 2003)

Fig.1 The distribution of the current system in the North Yellow Sea

### 2 样品来源及分析方法

研究样品为 2006 年 908 项目中在北黄海进行了底质调查中取得的 1140 个表层沉积物样。沉积物用箱式取样器采集, 对于一些位于养殖区或浅水区等大船无法进入的站位, 利用船载小艇, 使用蚌式采样器完成取样。表层沉积物样使用采样位置如图 2 所示, 采样网格为方格, 大连湾附近海域(A 区)183 个取样站位间距为 3 km, 研究区东部(C 区)44 个站位间距为 10 km, 其余站位间距 5 km。

粒度分析按海洋底质调查技术规程(国家海洋局 908 专项办公室, 2006)要求进行。取适量湿样品, 先后各加入过量的 30% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 0.25 mol/L 的 HCl 溶液去除有机质和碳酸盐, 离心清洗两次。加少许蒸馏水, 经超声波充分分散后在中国科学院海洋研

究所用法国产 Cilas940L 激光粒度仪上进行测量。测量范围为 0.3—2000 μm, 重复测量的相对误差小于 2%。部分含有砾石的样品和粗砂样品, 用孔径间隔为 1/2Φ 的分样筛过筛, 粒径大于 2000 μm 的部分采用筛析, 小于 2000 μm 的部分采用粒度仪测量。粒级标准采用尤登-温德华氏等比制 值粒级标准。

### 3 粒度特征及沉积物类型

#### 3.1 表层沉积物类型和分布

研究区沉积物的分类和命名采用福克等人的沉积物粒度三角图解法(Folk et al, 1970)。研究区有 21 个样品中含有砾石, 主要分布在长山列岛附近海域、大连湾口及其东南近海(图 3), 根据命名规则, 共分为 8 类, 分别是含砾泥、含砾泥质砂、含砾砂、砾质泥、砾质泥质砂、砾质砂、泥质砾、泥质砂质砾; 不含砾石的 1119 个沉积物样品共分为 6 类, 分别是泥、砂、砂质泥、砂质粉砂, 粉砂, 粉砂质砂。由图 2 可以看出研究区沉积物以砂、粉砂质砂、砂质粉砂为主, 粉砂分布范围较小, 泥的分布范围最小。砂质区主要分布在 123.4°E 以东和长山列岛附近。粉砂质砂主要分布在 123.1°E 以东和长山列岛周围, 在大连湾外离岸稍远的海域也有分布, 而且多为狭长的带状区域, 其长轴近似平行于辽东半岛外海岸, 鸭绿江口也有一小块, 呈东西向分布。粉砂主要分布在 123°E 以西 38.3°N 以南, 并有一分支以北偏西的方向延伸至研究区中部。泥的分布区域位于研究区西南的细粒沉积区的西部, 与位于东部的粉砂沉积相对应, 中间包围一圆形砂质粉砂沉积, 北部有狭窄开口与外联通。

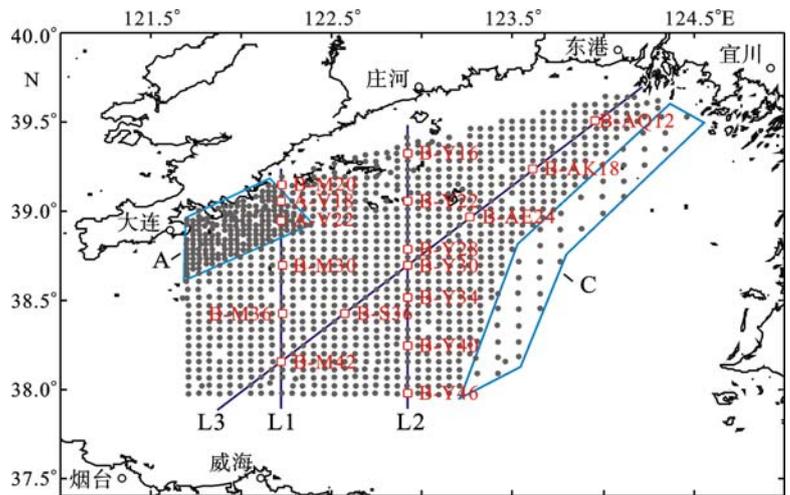


图 2 表层沉积物取样站位分布

Fig.2 The sampling stations of the surface sediments

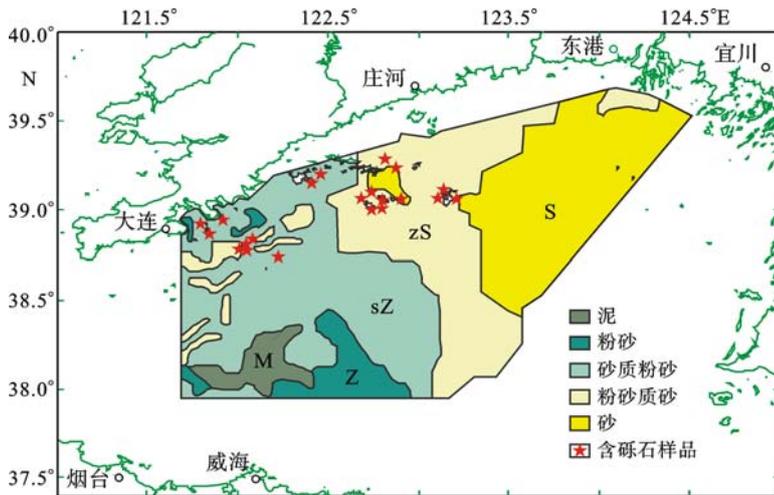


图 3 表层沉积物类型分布

Fig.3 Distribution map of the surface sediment types

### 3.2 表层沉积物粒级组分平面分布

北黄海表层沉积物颗粒按粒径可分为砂、粉砂、粘土三种组分,三者质量百分含量平均值分别为 50.0%、34.5%、11.3%。砂粒组的百分含量分布如图 4a 所示,其含量变化很大,分布范围为 0—97.7%。砂含量的高值区(>80%)主要分布在 123.3°E 以东海域和

以 122.8°E、39.2°N 为中心的长山列岛附近海域,低值区(0—30%)主要位于研究区的西南部,其次位于大连湾和大窑湾外近海。

粉砂粒组的百分含量分布如图 4b 所示,其含量范围为 1.3%—81.1%。粉砂含量高值区与砂的低值区比较一致,主要分布在研究区的西南部和大连湾外海。含量大于 50% 的高值区呈舌状向北偏东方向延伸到北黄海中北部,其北部边界大体与 50m 等深线一致(图 4d)。

粘土粒组的百分含量分布如图 3c 所示,其含量分布在 0.3%—48.6%之间。含量大于 30% 的区域仅分布在研究区的西南部,大于 16% 的区域有向北和东北延伸的趋势,在大连湾至广鹿岛近海沉积物粘土含量也大于 16%。

从表层沉积物粒度组成来看,研究区沉积物主要以砂和粉砂为主,粘土含量较低,含砾石的沉积物主要分布在长山列岛附近及大连湾附近海域。从西南至东北,沉积物粒度由细变粗,在研究区的西部自南向北变粗,至近岸区又变细。

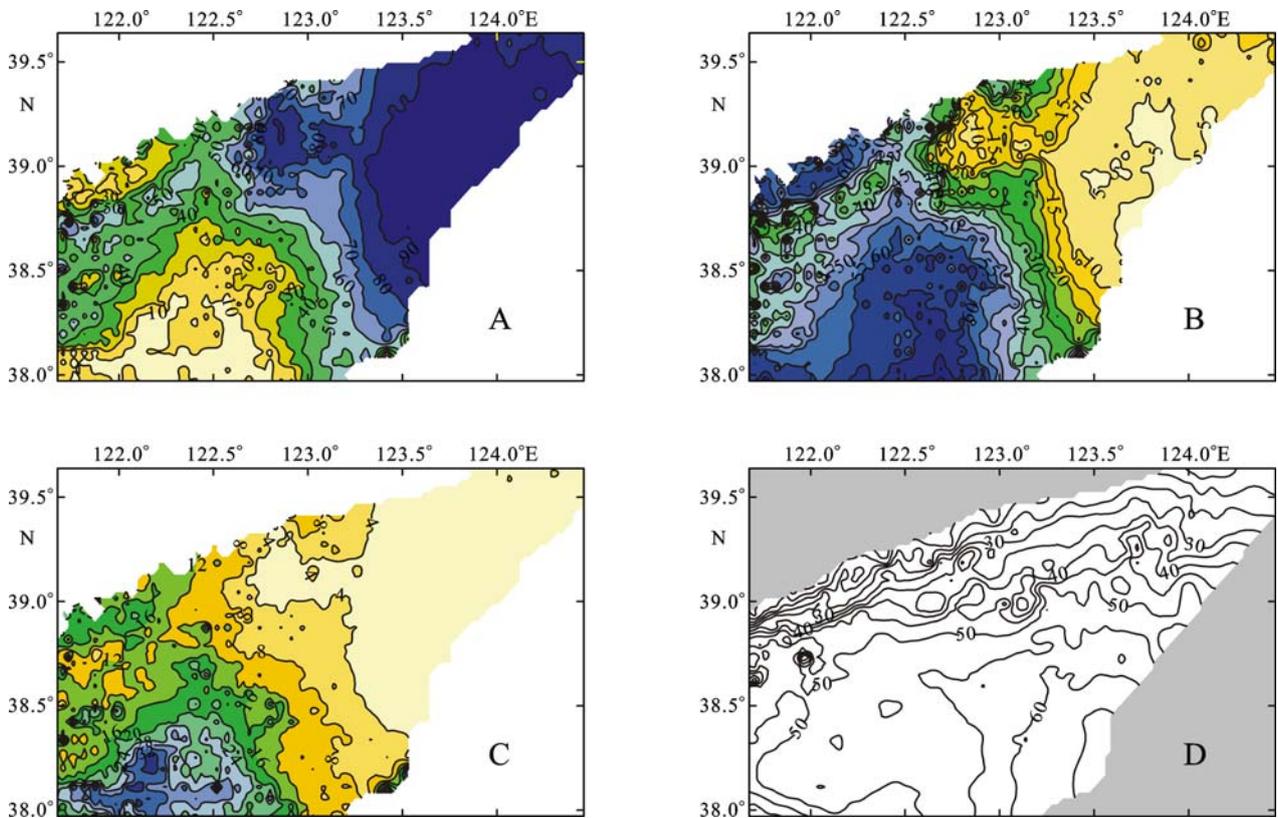


图 4 表层沉积物中(a)砂、(b)粉砂、(c)粘土粒级颗粒百分含量(%)分布及(d)取样区水深(m)

Fig.4 The percentage content of sand(a), silt(b), clay(c)in the surface sediments and the water depth of the sampling area (d)

### 3.3 沉积物粒度参数

采用矩值法(国家海洋局 908 专项办公室, 2006)计算了平均粒径、分选系数等粒度参数。平均粒径代表粒度分布的集中趋势, 反映了沉积介质的平均动能, 在一定程度上也能反映沉积物的来源——同源物质的粒径沿运移方向递减。从图 5 中可以看出, 长山列岛附近的沉积物颗粒最粗, 粒径粗于  $2\Phi$ , 其次是  $123.3^{\circ}\text{E}$  以东的沉积物, 平均粒径为  $2-3$ 。粒径  $8.2-5.5\Phi$  的细粒沉积物的分布区如舌状从研究区西南向东北延伸, 平均粒径向北、北偏东方向逐渐变粗。粒径在  $5.5-4\Phi$  的沉积物大致呈条带状环绕着中部细粒区。大连湾外海也分布着一细粒沉积区, 粒径较细 ( $6.5-5.5\Phi$ )。

如图 6 所示, 研究区表层沉积物分选较差, 自东向西呈现出阶梯状分布特征, 东部分选最好。  $123.4^{\circ}\text{E}$  以东沉积物分选系数基本在 1.5 以下, 鸭绿江口附近大于 1.8;  $123^{\circ}\text{E}-123.4^{\circ}\text{E}$  之间, 分选系数介于 1.5—1.8 之间, 北部近岸区分选系数略大;  $123^{\circ}\text{E}$  以西沉积物分选系数基本上大于 1.8, 研究区最西部以及大连湾附近, 分选系数大于 2.1。

在研究海区沿 L1、L2 和 L3 剖面线(图 2), 选取部分站位沉积物的粒度频率分布曲线绘制成图 7。从图 7 中可以看出, 沿 L1 剖面线(图 7 左列)由下往上看, 南部沉积物粒度频率分布曲线为三峰, 沉积物颗粒较细, 粒径细于  $4\Phi$ , 向北细粒物质逐渐减少, 并过渡为两峰, 主峰为细砂组分。由此可见, L1 剖面线南部水动力条件较弱, 物质来源复杂, 中部水动力条件较强, 可能为黄海暖流进入渤海的通道。

沿 L2 剖面线(图 7 中列)由下往上看, 沉积物频率分布曲线变化剧烈, 从南至北, 由三峰迅速过渡到以粉砂为主的单峰, 峰度变大, 沉积物中细粒组分逐渐减少, 剖面线北部站点曲线发生明显变化: 出现了大量的粗砂组分, 粘土组分近乎消失, 粉砂组分也急剧减少, 最北端稳定在分别以粗砂和细砂为主的双峰。由此可以看出, L2 剖面线南半段水动力条件较强, 由南向北的海流作用形成了以粗粉砂为主的沉积物, 在最南端受到山东半岛沿岸流影响形成以细粒物质

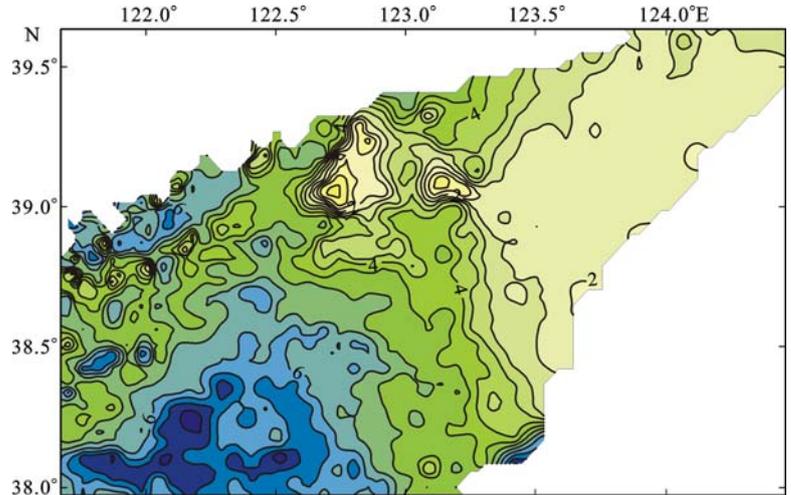


图 5 表层沉积物平均粒径( $\Phi$  值)分布

Fig.5 The distribution of mean sizes ( $\Phi$ ) of the surface sediments

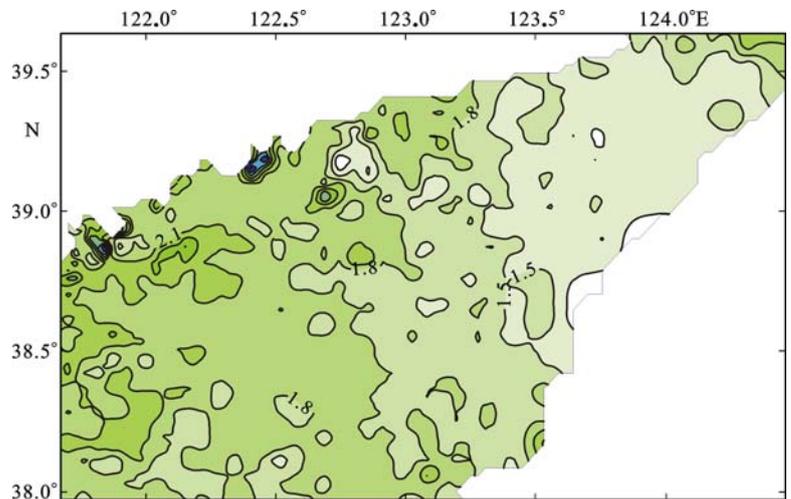


图 6 表层沉积物分选系数分布图

Fig.6 The distribution of the sorting coefficient of the surface sediments

为主的多源沉积物, 往北这种影响迅速减弱。L2 剖面北段, 沉积物主要受附近岛屿物质影响, 含有大量的粗砂组分。

L3 剖面线是从研究区西南部到鸭绿江口附近, 如图 7 右列所示, 沉积物频率分布曲线变化规律显著, 从西南至东北, 曲线由三峰渐变为双峰, 细粒组分逐渐减少, 粉砂组分增多, 中部形成了以粉砂为主的单峰曲线, B-AE24 则是以砂为主的多峰曲线, 其后 ( $123.3^{\circ}\text{E}$  以东)皆是以砂为主的双峰曲线。可以看出, 沿 L3 剖面线由西南至东北水动力条件逐渐增强, 剖面线东段和西段的沉积物物源明显不同,  $123.3^{\circ}\text{E}$  以东的沉积物中, 粗砂峰可能指示着物源来自于附近岛屿侵蚀物和残留沉积物, 细砂峰则是强潮流的分选造成的。

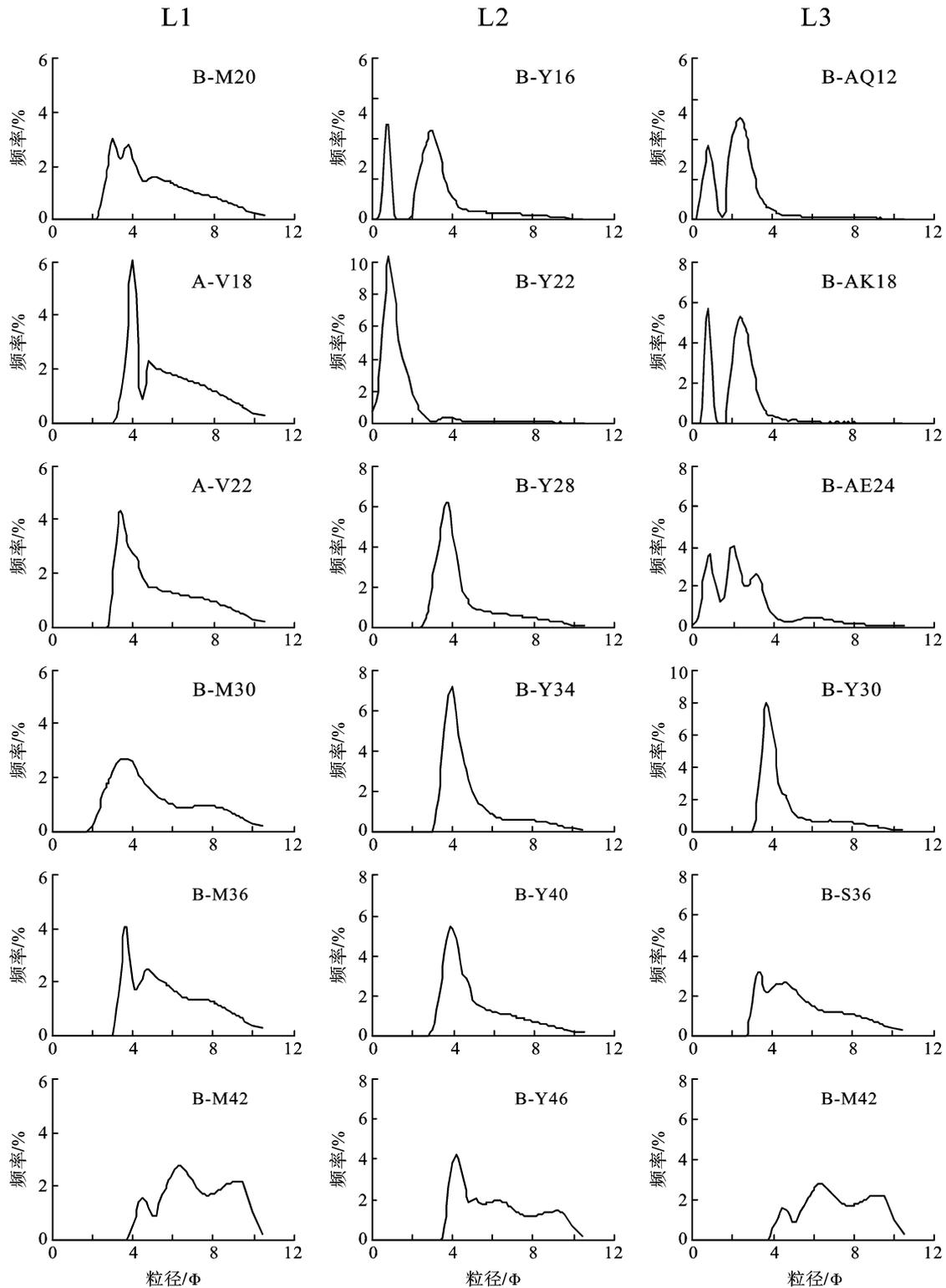


图 7 表层沉积物粒度频率分布曲线的空间变化

Fig.7 The spatial variation in grain-size frequency of the surface sediments

#### 4 讨论

沉积物的粒度分布特征主要受控于物源和沉积环境。本研究海区影响沉积物类型分布的主要条件是

物源、地形和水动力条件。从图 3 和图 4 可知, 在研究海区的西南部, 泥质区和粉砂区各有一个分支向中部延伸, 左侧泥质区分支自西南向东北方向延伸, 右侧粉砂分支自东南向北偏西方向延伸, 在两分支

中间围绕一近似圆形的区域,其粒度较粗,砂含量明显较大。从分布趋势看前述两支细粒沉积分别来自研究区的西南和东南方向,中间的粗粒区应该来自北部。这种分布与山东半岛北部沿岸流是密切相关的。携带大量细粒物质的沿岸流沿山东半岛向东运移,遭遇经渤海海峡进入渤海的黄海水体后,分出一支向北偏东方向流动,携带的细粒物质沉积下来,形成了北偏东向的泥质区,表层悬沙浓度的分布(程鹏等, 2000)<sup>1)</sup>也很好地显示了这一趋势。沿岸流继续向前,细粒物质在烟台—威海以北的弱流区(董礼先等, 1989)沉积下来,至成山角与北上的水体交汇,主体部分向南流入南黄海,在成山角以东形成厚层楔状沉积(Liu *et al.*, 2004),而部分物质因受阻流速减弱沉积下来形成了狭长的粉砂底质区(孔祥淮等, 2006),并在北上潮流的影响下向北偏西方向扩散,悬沙浓度向北递减(程鹏等, 2000),最后在北黄海中部沉积下来,形成北偏西向的粉砂区侧支。由频率分布图可看出研究区西南部细粒沉积物为多物源沉积,其物源有山东半岛沿岸流携带来的渤海物质和近岸侵蚀物,也可能有北上水体携带的南黄海物质以及强潮流侵蚀的残留沉积物。

在 123°E 以东海区,粉砂质砂和砂区都有明显的南北向边界,董礼先等(1989)的计算结果表明在  $M_2$  潮流的作用下,北黄海东部粒径为 0.25 mm( $2\Phi$ )和 0.063 mm( $4\Phi$ )沉积物向鸭绿江口——大孤山一线运移,124°E 以西部分运移方向为南北向。从频率曲线上来看,该区沉积物是以双峰为特征的砂质沉积物,长山列岛附近站位样品中砾石的磨圆度较差,搬运距离不远,应为近源沉积物,而在东部海区,则是强的潮流场改造来自于沿岸河流以及全新世海侵前残留的物质。另外,从图 2 中可以看到,鸭绿江口附近有一小块砂质粉砂区,其形成原因是鸭绿江径流携带了大量的细粒物质在此沉积,使此处沉积物稍微偏细,而一部分入海淡水自东向西沿辽南沿岸运动(高建华等, 2003),造成此区块呈东西向分布。总之,北黄海东部海区粒度分布特征的主要因素是强潮流,鸭绿江和周边物源对其也有一定影响。

由沉积物粒度平面分布和剖面分布特征可以看出,从南黄海进入渤海的水体限制了山东半岛沿岸流所携带细粒物质向东和东北方向的扩散, Lee 等(1989)认为那是黄海暖流造成的,而 Sternberg 等

(1985)的夏季调查表明,研究区的泥沙启动主要是潮流引起的,蒋东辉(2001)的计算结果也显示研究区中部大潮低潮后,悬沙浓度呈南北向条带状分布,并由东向西递减。相对于流速较低的黄海暖流,潮流对沉积物的搬运能力更强一些。因此,不能认为仅是黄海暖流影响了研究区沉积物分布,  $M_2$  潮流也起了重要作用,甚至是主要作用。

## 5 结论

通过对北黄海的表层沉积物粒度分布特征、底质类型和粒度参数变化的分析,可以得出如下结论:

(1) 研究海区底质类型为泥、粉砂、砂质粉砂、粉砂质砂,砂,局部海区样品含有砾石,砂、粉砂质砂和砂质粉砂的分布区域较广,粉砂和泥的分布区域较小。

(2) 从研究区西南部至鸭绿江口,沉积物粒度由细变粗。在研究区的西部,自南向北沉积物粒度变粗,至近岸区又变细。

(3) 物源和水动力条件是控制研究海区表层沉积物粒度特征的主要因素。岛屿附近的沉积物比较粗。北黄海西部海区主要受控于山东半岛沿岸流,东部海区主要受控于强潮流。由南黄海进入渤海的水体限制了山东半岛沿岸流所携带物质向东和东北方向的运移。

(4) 北黄海中西部细粒沉积区的粒度分布是不均匀的,且南北不对称。它的西部为泥,东部为粉砂,中间圆形区域为砂质粉砂。该区沉积物具有多元性,其成因动力环境以山东沿岸流与黄海暖流和潮流的作用为主,环流或冷涡的作用不明显。

## 参 考 文 献

- 孔祥淮, 刘 健, 李巍然, 2006. 山东半岛东北部滨浅海区表层沉积物粒度及矿物成分. 海洋地质与第四纪地质, 26:21—29
- 朱玉荣, 2001. 潮流场对渤、黄、东海陆架底质分布的控制作用. 海洋地质与第四纪地质, 21:7—13
- 齐 君, 李凤业, 宋金明, 2004. 北黄海沉积速率及其沉积通量. 海洋地质与第四纪地质, 24:9—14
- 李乃胜, 赵松龄, 鲍·瓦西里耶夫, 2001. 西北太平洋边缘海地质. 哈尔滨: 黑龙江教育出版社, 1—435
- 陈丽蓉, 1989. 渤海、黄海、东海沉积物中矿物组合的研究. 海洋科学, 1—8
- 国家海洋局 908 专项办公室, 2006. 海洋底质调查技术规程.

1) 程 鹏, 2000. 北黄海细颗粒物质的沉积特征与输运过程. 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 63—96

- 北京: 海洋出版社, 1—63
- 林承坤, 1992. 黄海粘土沉积物的来源与分布. 地理研究, 11: 41—51
- 秦蕴珊, 李 凡, 1986. 黄河入海泥沙对渤海和黄海沉积作用的影响. 海洋科学集刊, 27:124—134
- 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 1989. 黄海地质. 北京: 海洋出版社, 11—103
- 高建华, 高到抒, 董礼先等, 2003. 鸭绿江河口地区沉积物特征及悬沙输送. 海洋通报, 22: 26—33
- 程 鹏, 高 抒, 2000. 北黄海西部海底沉积物的粒度特征和净运输趋势. 海洋与湖沼, 31: 604—615
- 董礼先, 苏纪兰, 王康培, 1989. 黄渤海潮流场及其与沉积物搬运的关系. 海洋学报, 11: 102—114
- Folk R L, Andrews P B, Lewis D W, 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 13: 937—968
- Lee H J, Chough S K, 1989. Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. Marine Geology, 87: 195—205
- Liu J P, Milliman J D, Gao S *et al*, 2004. Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, North Yellow Sea. Marine Geology, 209: 45—67
- Liu J, Saito Y, Wang H, 2007. Sedimentary evolution of the Holocene subaqueous clinoform off the Shandong Peninsula in the Yellow Sea. Marine Geology, 236: 165—187
- Liu Zhenxia, Xia Dongxing, Berne S *et al*, 1998. Tidal deposition systems of China's continental shelf, with special reference to the eastern Bohai Sea. Marine Geology, 145: 225
- Sternberg R W, Larsen L H, Miao Y T, 1985. Tidally driven sediment transport on the East China Sea continental shelf. Continental Shelf Research, 4: 105—120
- Yang S Y, Jung H S, Lim D I *et al*, 2003. A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. Earth-Science Reviews, 63—93

## DISTRIBUTION OF SURFACE SEDIMENTS AND SEDIMENTARY ENVIRONMENT IN THE NORTH YELLOW SEA

WANG Wei<sup>1,2</sup>, LI An-Chun<sup>1</sup>, XU Fang-Jian<sup>1,2</sup>, HUANG Peng<sup>1</sup>, LI Yan<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071;  
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049)

**Abstract** Distribution of 1140 surface sediment samples in the North Yellow Sea was studied for understanding the provenance and the hydrodynamic condition. The samples can be classified into five types in grain size: mud, silt, sandy silt, silty sand, and sand, plus gravel, occasionally. The controlling factor for sediments distribution is the tide in eastern part of the study area, and coastal current off Shandong Peninsula in the western part. The Yellow Sea Warm Current restricts the eastward transport of fine-grade matter carried by Shandong Peninsula coastal current. Distribution of the fine sediments in western part of the study area is uneven, due to a combination effect of the Shandong Peninsula coastal current, the Yellow Sea Warm Current, and tide.

**Key words** Surface sediments, Distribution, Sedimentary environment, the Yellow Sea