

# 北黄海西部海底沉积物的粒度特征和净输运趋势\*

程 鹏 高 抒

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

**提要** 根据对北黄海西部海底沉积物的粒度测试,运用“粒度趋势分析”方法,分析探讨了北黄海西部(渤海海峡区)海底表层底质的粒度分布特征和净输运趋势。结果表明,本区的细颗粒沉积物主要位于北黄海中部和山东半岛沿岸、大连湾附近,粗颗粒沉积物则主要分布于庙岛群岛以东和大连湾东南侧海区。沉积物的平均粒径、分选系数、偏态系数等粒度参数的分布特征有一定的对应性。除庙岛群岛东侧的砂质沉积,分选较好之外,其它海区的沉积物总体特征是,粒径越粗,分选越差,偏态更正偏;而粒径越细,分选越好,偏态系数也较低。山东半岛北侧的沉积物具有向东和向东北的输运趋势,西部沉积物的输运趋势向东南并转向东,北部沉积物的输运趋势向南,形成了向北黄海中部汇聚的趋势。本项研究还表明“粒度趋势分析”方法在大范围的陆架区域具有较好的适用性。在操作中,使用规则的正方形网格可以较全面判断、合成趋势矢量;进行高密度的采样有助于揭示沉积物净输运趋势的细节特征。

**关键词** 粒度特征 粒度趋势分析 沉积物输运 北黄海

**学科分类号** P736.21

沉积物的粒度数据被广泛用于判断沉积物的沉积环境。此外,许多研究者试图将沉积物粒度参数的空间变化和其输运路径、方向联系起来。早期研究主要分析单个粒度参数的变化如平均粒径或分选系数等,平均粒径被认为是沿沉积物搬运方向逐渐变细(Pettijohn *et al.*, 1972; Self, 1977),但是,相反情形也同样存在(McCave, 1978; Nordstrom, 1981)。因此,使用单个粒度参数分析沉积物净输运方向,其效果有限。McLaren (1981)、McLaren 等(1985)提出运用三个参数(平均粒径、分选系数和偏态系数)的组合去描述沉积物的搬运方向。这项研究被逐渐发展成为“粒度趋势分析”方法(Gao *et al.*, 1991, 1992; Le Roux, 1994a, b)。本文采用 Gao 等(1991)方法:根据沉积物粒度参数的二维空间分布,判断沉积物的净输运格局。这种方法已被应用于河口、海岸、潮汐汊道、潮流沙脊等多种海洋环境(Gao *et al.*, 1992, 1994a; Gao *et al.*, 1994; Pedreros *et al.*, 1996),其结果与流场观测、示踪砂实验和地貌特征所显示的沉积物输运格局较为吻合。北黄海是黄河入海泥沙向外海扩散的主要通道和重要的沉积作用区。研究北黄海海区沉积物的净输运格局有助于理解黄河物质向外海输运的过程和机制。本文研究目的在于:1)了解本研究区

\* 中国科学院重点资助项目,KZ952-J1-406号;国家自然科学基金资助项目,49876018号。程鹏,男,出生于1973年5月,博士生, E-mail: shugao@ms.qdio.ac.cn

收稿日期:2000-02-16,收修改稿日期:2000-07-28

沉积物的类型和粒度分布特征; 2) 运用“粒度趋势分析”方法探讨海底沉积物的净输运格局, 并与以往的研究结果进行相互验证; 3) “粒度趋势分析”方法虽然已用于多种海洋环境, 但这些研究区域的尺度都较小。本文将探讨“粒度趋势分析”方法在大范围的陆架区域中运用的适用性和在操作方法上的问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与粒度测试

1998 年 9 月, 中国科学院海洋所“金星二号”考察船在北黄海西部海域进行了海洋地质和地球物理调查, 调查中使用抓斗式采样器采得 70 个站位的底质表层样, 采样站位见图 1。沉积物样品经六偏磷酸钠溶液和超声波分散后, 用 Cilas940L 型激光粒度仪(法国产, 测量范围 0.3—2000 $\mu\text{m}$ )进行粒度测试, 粒度参数的计算用矩值法(McManus, 1988), 每个样品计算 3 个粒度参数: 平均粒径( $\mu$ )、分选系数( $\sigma$ )和偏态系数( $SK$ )。沉积物的类型命名依据 Shepard(1954)。

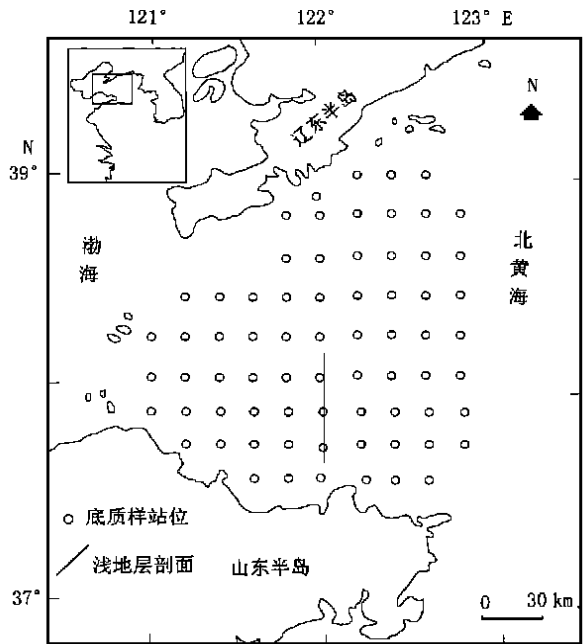


图 1 底质采样站位

Fig. 1 Stations for surficial sediment sampling and shallow seismic survey over the northern Yellow Sea

$$\mu = \sum_{i=1}^n P_i S_i \quad (1)$$

$$\sigma = \left[ \sum_{i=1}^n P_i (S_i - \mu)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$SK = \left[ \sum_{i=1}^n P_i (S_i - \mu)^3 \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

式中:  $P_i$  为粒径  $S_i$  的百分含量,  $n$  为粒径的个数。

### 1.2 粒度趋势分析

McLaren 等(1985)提出, 由于选择性起动、搬运和堆积, 如果沉积物从  $D_1$  点搬运到  $D_2$  点, 其平均粒径将变得更细, 分选更好, 偏态更正偏; 或平均粒径将变得更粗, 分选更好, 偏态更负偏, 即满足两种情况:

(1)  $\mu_2 > \mu_1$ ,  $\sigma_2 < \sigma_1$ ,  $SK_2 < SK_1$ ; (2)  $\mu_2 < \mu_1$ ,  $\sigma_2 < \sigma_1$ ,  $SK_2 > SK_1$ 。其中下标 1、2 代表不同的采样点位置, 平均粒径用  $\Phi$  值。Gao 等(1991, 1992)在此基础上提出了一个二维的分析方法: 将每个采样点的粒度参数与其周围直接相邻的点的各点进行一一比较, 如果采样点 1 与其直接相邻的某个采样点 2 之间的粒度参数满足上述两种情形之一, 则定义一个从采样点 1 指向采样点 2 的单位矢量。找出每个采样点所有的粒度趋势矢量, 然

后进行矢量合成, 得出一个合矢量, 如下式所示:

$$R(x, y) = \sum_1^n r(x, y) \quad (4)$$

式中  $r(x, y)$  是采样点  $(x, y)$  的每一个单位矢量;  $R(x, y)$  是合矢量,  $n$  是单位矢量的个数。每个采样点进行矢量判别和合成运算以后, 可以得出采样区二维的沉积物净输运矢量分布图。为了消除“噪声”的影响, 可对每个采样点进行平滑处理, 即将每个采样点与周围直接相邻的各点进行矢量平均:

$$\overrightarrow{R_w}(x, y) = \frac{1}{K+1} \left[ R(x, y) + \sum_1^k \overrightarrow{R_j} \right] \quad (5)$$

式中  $\overrightarrow{R_w}(x, y)$  是采样点  $(x, y)$  经平均处理后得到的消除噪声的“余矢量”, 称为输运矢量;  $R(x, y)$  是采样点根据(4)式得出的合矢量;  $R_j$  是与采样点直接相邻的各采样点的合矢量;  $K$  为直接相邻的采样点的个数。用平滑的方法得出的输运矢量分布图式, 消除了噪声, 如同提高了“图像”的质量, 可以更好地反映沉积物的净输运趋势。

## 2 结果

北黄海西部海底沉积物粒度参数(平均粒径、分选系数、偏态)分布特征和底质类型见图 2。运用“粒度趋势分析”方法所得沉积物净输运趋势格局如图 3 所示, 特征距离为 30km。需要指出的是, 本文研究使用激光粒度仪进行粒度测试, 而激光粒度仪测试的结果与沉降法、筛析法相比有一定差异。因此, 沉积物粒度数据的比较应保持在同一测量系统之内, 根据某个测量系统的粒度数据建立起来的反映沉积环境、沉积物输运过程的规律, 在运用于其它测量系统的测试数据时, 要进行适用性分析<sup>1)</sup>。本文粒度数据的比较保持在同一测量系统之中, 同时本文的研究也将是“粒度趋势分析”方法运用于激光粒度仪数据时的适用性分析。

粒度参数的分布特征总体上有一定的对应性。平均粒径, 中部海区较细, 并呈有规律的向中心区渐变的特征。山东半岛的近岸地区和大连湾附近有 7.0 $\Phi$  圈闭区, 沉积物较细。粗颗粒物位于庙岛群岛东侧和大连湾的东南侧海区。值得注意的是在山东半岛与中部海区之间, 平均粒径呈舌状向东凸起。整个海区的分选系数都很高, 说明分选系数很差。相对而言, 中部和南部海区的分选较好, 而西南部和北部的分选较差。此外, 老铁山水道南侧也较高, 这一区域等值线呈规律的分布, 可能与西北区缺乏采样点有关。整个区域的偏态都是正偏, 中部偏态系数较小, 西部和东北部较高, 南侧的等值线分布亦是向东的舌状凸起, 这一特征与平均粒径更为接近。除庙岛群岛东侧的砂质沉积分选较好之外, 其它海区沉积物粒度参数的总体特征是粒径越粗, 分选越差, 偏态更正偏; 而粒径越细, 分选越好, 偏态系数也较低。

研究区底质的类型较为简单。由于粒度测试的原因, 本文的沉积物命名与以往的研究有一定差异, 如以往研究的粉砂质粘土在本文则为粘土质粉砂, 但这并不影响分析沉积物的分布特征。细颗粒沉积物主要分布于沿岸和中部地区, 这一特征与以往的研究相符合(刘振夏, 1982; 刘敏厚等, 1987; 秦蕴珊等, 1989), 但山东半岛沿岸的两个细颗粒沉积区

1) 程鹏, 高抒, 李徐生, 2000. 激光粒度仪测试结果及其与沉降法、筛析法的比较. 沉积学报, 待刊

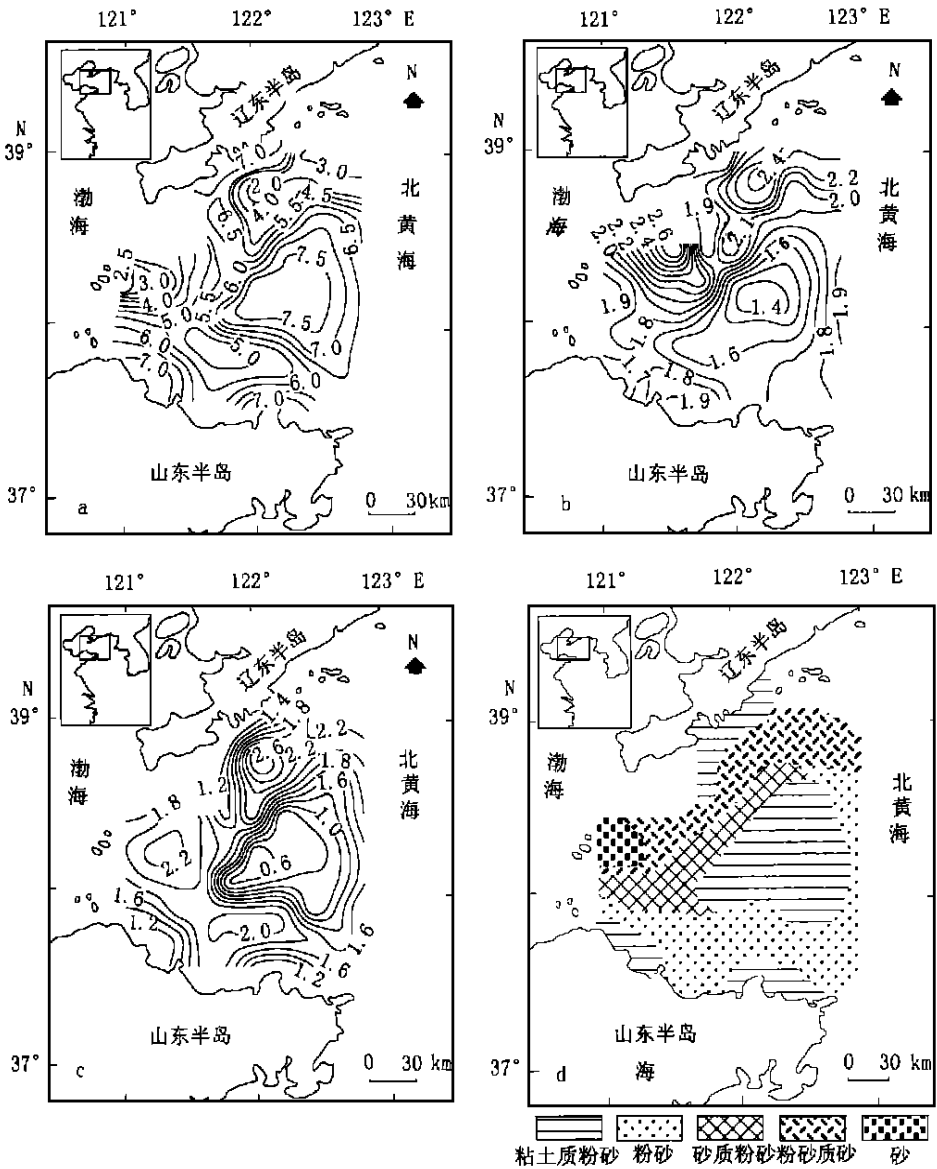


图 2 粒度参数[平均粒径(a)、分选系数(b)、偏态分布(c)]及底质沉积物类型分布(d)  
 Fig. 2 Distributions of grain size parameter [mean grain size (a), sorting coefficient (b), skewness (c)], and classification of surfacial sediment (d)

未曾为过去的研究所揭示。该区粉砂分布广泛,但仅限于南部区域。砂质沉积分布于庙岛群岛以东,粉砂质砂在其外围,以及本区的东北区。砂质粉砂则出现于中部泥区的西和北侧。

整个研究区域的沉积物净输运趋势很有规律,南部的海底沉积物净输运方向向东,同时,还有强烈的向东北(北黄海中部地区)的输运趋势。西部的沉积物向东南输运,汇入南

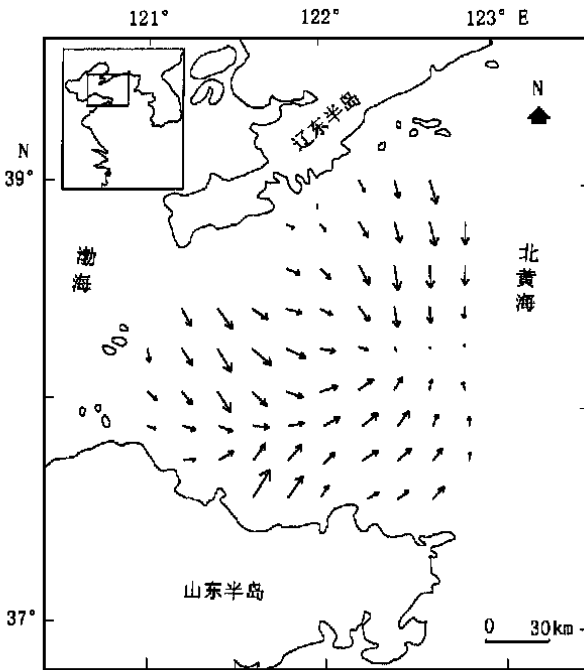


图 3 底质沉积物净输运矢量分布  
 Fig. 3 Distribution of seabed sediment transport vectors in the study area

侧沉积后转而向东。北部沉积物向南输运,西北部沉积物向东南输运,这样总体上呈向北黄海中部汇聚的趋势。

“粒度趋势分析”得出研究区南部沉积物具有向东净输运的趋势,这与以往的研究相符合。渤海海峡区的环流结构的基本特征是“北进南出”,即黄海暖流及辽南沿岸流从海峡北部进入渤海,分别形成各自的环流后,再由海峡南部流向黄海。流出的水体便携带黄河入海泥沙进入北黄海,在沿岸流的作用下,在山东半岛北岸沿途沉积(秦蕴珊等, 1986)。地球化学元素分布(刘彬昌, 1981)和悬浮体通量的观测结果(Martin *et al.*, 1993)进一步证实了这一结论。

山东半岛北侧的沉积物不仅有向东的净输运趋势,还有强烈的向

东北(北黄海中部)的净输运趋势,这一趋势没有被以往的研究指明。根据浅地层剖面(图 4,剖面南端起点为  $37^{\circ}38'02''N$ ,  $122^{\circ}00'00''E$ ,北端终点为  $38^{\circ}11'29''N$ ,  $122^{\circ}00'00''E$ ,位置见图 1),全新统从山东半岛北侧向北黄海中部逐渐变薄。中部泥质沉积在图上表现很明显,为“声学透明层”。整个剖面自南向北全新统的底界是连续的。这表明,北黄海中部的泥质沉积和山东半岛北侧沉积是统一的沉积体。沉积物的一部分自南向北输运,形成了泥质沉积。

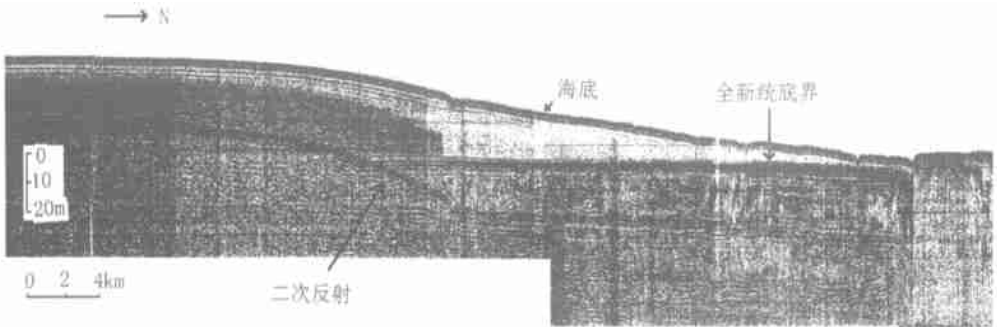


图 4 浅地层剖面南端起点  $37^{\circ}38'02''N$ ,  $122^{\circ}00'00''E$ ,北端终点  $38^{\circ}11'29''N$ ,  $122^{\circ}00'00''E$   
 Fig. 4 Shallow seismic profile from  $37^{\circ}38'02''N$ ,  $122^{\circ}00'00''E$  to  $38^{\circ}11'29''N$ ,  $122^{\circ}00'00''E$

黄渤海之间的水交换特征是,渤海海峡北侧余流流速较大,沿着渤海海峡狭窄的北部

通道进入渤海, 而向外的余流较弱, 沿着海峡余下部分输入黄海 (Huang *et al.*, 1999)。研究区的西北部分 (渤海海峡的北端) 缺乏采样点, 因而这一区域的沉积物净输运趋势尚不知晓。海峡余下部分的沉积物净输运趋势向东南, 这与水交换特征相符合。

图 3 所示沉积物净输运趋势的一个显著特征是, 沉积物有以北海黄为中心汇聚的趋势。北海黄中部为一冷水团控制的弱流区, 根据北海黄的环流格局和水交换特征, 北进的黄海暖流、辽南沿岸流及南出的山东沿岸流与中部冷水团进行水交换, 向冷水团中心, 流速逐渐减弱, 沿岸流和黄海暖流所携带的沉积物也逐步沉积, 粒径逐渐变细, 在北海黄中部形成泥质沉积。这一特征在平均粒径分布图 (图 2) 上也有清楚的表现。

一般认为, 黄河物质主要绕成山角转而南下, 向东输运有限。由于本文研究区的东部海区没有采样点, 因而, 沉积物向东进一步的输运特征尚不清楚。现行的“粒度趋势分析”方法在反映悬移质沉积物的输运时还存在一些问题, 它不能表示冲泻质 (Wash-

load, 即在输运过程中始终不与底质发生交换的那一部分悬移质沉积物) 的输运趋势 (详见讨论部分), 因而, 不能排除有部分悬移质沉积物向东扩散的可能。除此之外, 本文研究区的采样点较少, 采样网格不够密集, 尤其是西北部缺少采样点, 这影响了本区 (特别是北部) 沉积物净输运细节特征的揭示, 需要今后的进一步研究。总的来说, 根据上述分析, 北海黄海底沉积物的净输运格局可概示于图 5。

### 3 讨论

#### 3.1 “粒度趋势分析”的理论依据

McLaren 等 (1985) 指出沿净输运方向, 沉积物的 3 个粒度参数变化满足两种情形。但是, “粒度趋势分析”的依据并不能简单的视为 McLaren 命题的逆命题。事实上, McLaren 提出的两种情形只是一个概念模式, 并没有得到完全证实。在实际观察中, 沿沉积物净输运方向, 粒度变化也有不同于两个情形的情况发生, 如沉积物会变得更细, 分选更好, 偏态更正偏 (Self, 1977; Gao *et al.*, 1991)。因此, “粒度趋势分析”的理论依据必需有其它的解释。Gao 等 (1994) 在北海潮流砂脊进行试验, 将 3 个粒度参数的 8 种粒度趋势组合分别得出的净输运矢量与通过流场、地貌观测得出的沉积物输运方向进行比较, 逐个检查其在已知净输运方向上出现的概率, 结果发现 McLaren 所指出的两种情形具有更高的出现概率。因而, “粒度趋势分析”所依据的假设是: 沿着净输运方向, McLaren 提出

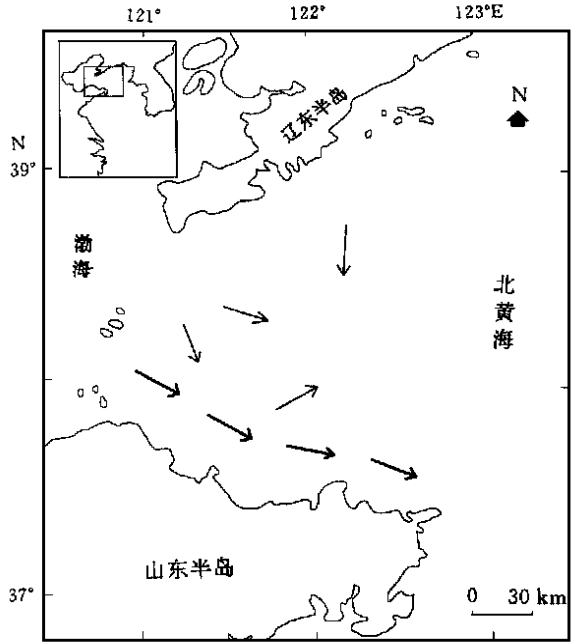


图 5 海底沉积物净输运概图

Fig. 5 Sketch map showing net sediment transport patterns

的两种粒度趋势出现的概率远高于在其它方向上出现的概率,分析所得的净输运矢量所指的方向代表沉积物真实净输运方向的概率最大。所以,在分析粒度趋势的结果时,不能根据单个的净输运矢量得出精确的净输运方向,而只能根据总体的趋势得出概略的图解。

### 3.2 采样对“粒度趋势分析”的影响

在使用“粒度趋势分析”的操作中,采样是决定分析结果可靠性的最重要因素。采样对“粒度趋势分析”方法的影响主要表现在:(1)采样深度;(2)采样点间距;(3)采样网格的设置。采样要在同一时间尺度的活动层深度以内,因为采样深度在一定程度上指示了与该深度相联系的时间尺度下的净输运过程。由于水动力状况的差异,不同采样点同一时间尺度的活动层深度不同。因此,不同的采样点的采样深度要相匹配。本文粒度分析所用底质样取表层 0—2cm 深度以内,大致代表 10 年的时间尺度,基本上可保证这一要求。

采样点的间距要适当。如果采样间距过大有可能跨越不同的沉积环境,将并没有输运过程联系的沉积物误判为存在输运关系。同时,为了指示沉积物净输运的细节特征,采样间距应适当的小。但存在一个最小间距,也就是要求满足由于沉积物净输运产生的粒度变化大于由于粒度分析技术产生的误差。以往的研究中,采样间距在几公里左右(如 Gao *et al.*, 1992, 1994a),而本文的采样间距达 20—30km,这可能会对“粒度趋势分析”结果产生一定影响。本研究区的西北部为残留沉积区,但由于这一区域没有采样点,因而采样区域基本上以现代沉积为主,采样点没有跨越不同沉积环境。相对于研究区的尺度来说,本文的采样间距还不够小,因而没能显示出足够的净输运细节特征。

采样网格的设置对“粒度趋势分析”的影响更为突出。“粒度趋势分析”的操作方法是将某一采样点与其周围相邻各点进行粒度参数的比较,以寻找出其可能的净输运方向。因此,要求相邻的各点能代表所有可能的输运方向。Le Roux (1994b) 提出 5 点方式(图 6a),将中心点与周围四点进行比较并考虑粒度参数变化梯度,得出中心点的净输运矢量,但是认为沉积物的净输运方向是粒度参数梯度最大的方向,这一主张并没有依据。就其 5 点分布来看,周围 4 点代表了中心点的 4 个方向即东、南、西、北。如果周围 4 点并不正好在图示 4 个位置上,则将这些点转换到这 4 个位置上。Le Roux (1994b) 方法中,每一采样点,其周围点所代表的方向只有 4 个。Gao 等(1994b) 讨论了采样网格的设置,提出各采样点等距离的设置方式(图 6b) 最好。在等距离采样网格中,每个点直接相邻点(用特征距离法判断)所代表的方向有 6 个,即东、西、东北、东南、西北、西南。等距离网格考虑到了 Gao 等(1991) 方法中使用最小间距来判断相邻点,因为特征距离的选择直接影响相邻点的选取,特征距离不同,由此决定的相邻点也将不同。对于不规则采样点网格来说,特征距离的选取具有一定的任意性,不可避免会带来误差,而等距离网格则可避免这一问题。但是,“特征距离法”只是用来判断相邻点的一种算法,在实际编写程序时可有多种方法,尤其对于规则采样点,可用方法很多。从以相邻点代表净输运方向来看,对于规则的正方形网格(图 6c),某一中心点的直接相邻的点可代表 8 个方向(东、南、西、北、东北、东南、西北、西南),多于等距离网格。

各种采样网格的最边缘上的点,由于在某些方向上缺乏相邻的点,因而造成这些方向上的净输运趋势在矢量判别、合成过程中得不到反映,这些点的净输运趋势有相当的误差。因此,在分析结果时,对于位于边缘上的点要作特殊考虑。在实际操作过程中,如果

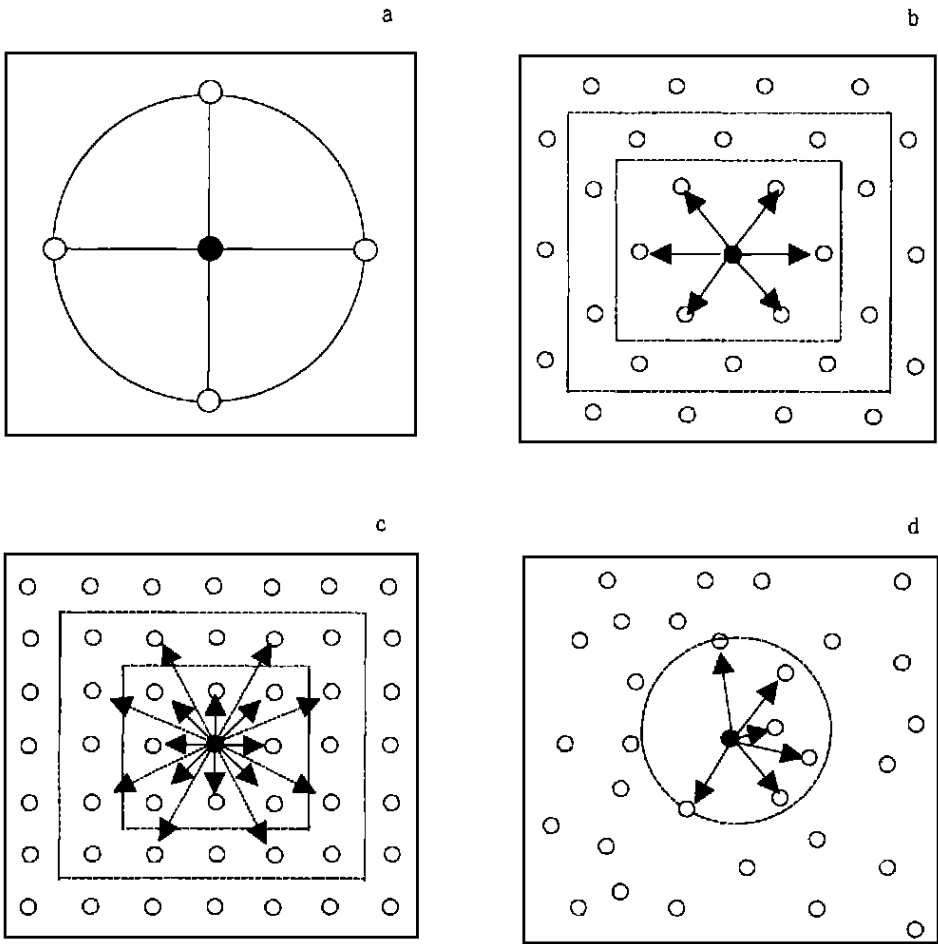


图 6 采样网格类型

Fig. 6 Types of sampling grid

(a) Le Roux (1994b) 5 点法采样网格; (b) 等距离采样网格, 箭头表示相邻点所代表的某一采样点(图中黑点)所有可能的输运方向, 两道虚线框表示两层边缘点; (c) 正方形采样网格, 箭头所示意义同(b), 实、虚箭头分别显示远近相邻点, 两道虚线框表示两层边缘点; (d) 不规则采样点, 箭头所示意义同(b), 虚线圆表示某一特征距离范围

(a) Sampling grid suggested by Le Roux (1994b); (b) equal distance sampling grid, with the arrows showing all of the probable transport directions of the sampling site denoted by black point, and with the two dash lines showing edge samples; (c) uniform (grid-iron) sampling grid; and (d) random sampling grid, with the dash line denoting a characteristic distance for judging adjacent sample sites

采样区域大于研究区, 将会有更好的效果。考虑到边缘效应, 对于正方形网格, 如要获得 8 个方向, 则最外层采样点为边缘点, 如判断 16 个方向, 则最外两层为边缘点(图 6c)。同样考虑等距离网格, 如只产生一层边缘点, 则只有 6 个方向得到判断(图 6b)。在实际运用中, 8 个方向即可有足够的代表性。所以, 从使用采样点效率的角度, 正方形采样网格优于等距离网格。本文的研究采取了正方形网格设置, 同时考虑到采样点的数量和使用



效率, 选取了使用 8 个代表方向的判断方法。

对于不规则采样点(图 6d), 其代表的净输运方向的合理性不如规则网格。由于相邻点不能全面的反映某一采样点所有可能的输运方向, 矢量合成将会产生相当的误差。甚至会因为缺少相邻点, 而使真正的净输运方向得不到反映。因此, 在实际操作中, 应尽可能使用规则的采样网格。为了消除由于不规则采样网格带来的误差, 插值也许是一种可行的方法。Le Roux (1994b) 提出的变换方法, 实质上也是一种插值方法。Asselman (1999) 提出运用地理信息系统方法可以得到更好的结果。但无论哪种插值方法, 都不可避免带来误差, 因为人为设定的插值规律不一定符合粒度参数的真实空间变化, 当采样点之间并不存在设定的空间关系时, 插值会带来错误的结果。插值方法是否可以提高不规则采样网格的可靠性还需要进一步的研究。

滤波也是消除噪声的一种方法, 但是会产生空间变形, 尤其是在采样网格比粒度沿输运方向上的空间变化要大的时候, 滤波导致有价值的空间信息的损失。采样网格的设置也会影响滤波的结果。对于规则采样网格, 滤波能产生相当有规律的趋势(如本文)。不可否认, 可能会有一些真实细节被滤波消除了, 但从提供概略图式的目的出发, 滤波反而有助于产生总体上的认识。

### 3.3 净输运趋势与输运率

图 7 为一设想的理论研究图式, (a) 表示流场, 图中水流方向向东, 流速向北、向东逐渐减小。沉积物粒度分布特征是粒径向北、东逐渐减小, 其它粒度参数也有相应变化(b)。运用“粒度趋势分析”, 得出沉积物的净输运方向将如(c)所示, 即同时存在向东和向北的输运趋势。按流场特征, 水流向东, 沉积物也存在向东的输运。同时流速向北减弱, 也会造成沉积物向北扩散。因而, 这两个趋势都可能存在。当一个区域沉积物存在多个输运方向时, 作者通常以沉积输运率大的方向为主要方向。图 7 中沉积物向东方向的输运率要大于向北方向, 但是沉积物的粒度变化(如平均粒径), 向北方向的变化要大于向东方向, “粒度趋势分析”得出的沉积物净输运趋势反而会向北输运趋势比向东方向更显著。因此, “粒度趋势分析”只能提供沉积物输运方向的信息, 不能得出输运率的大小。同时也说明粒度变化梯度最大的方向并不一定是沉积物的主要输运方向。本研究区, 粒度趋势反映了沉积物沿山东半岛向东的输运趋势, 同时也有强烈的向北输运趋势, 但就沉积物的输运率来说, 前者却是主要输运方向。这一结果与图 7 所示十分相似。

### 3.4 细颗粒沉积物的“粒度趋势分析”

选择性沉降是“粒度趋势分析”的一个假设, 即粗颗粒沉积物比细颗粒沉积物沉降的可能性大。但细颗粒物质常以絮凝的方式沉降, 因而絮凝作用有可能会干扰“粒度趋势分析”。野外观测表明, 由较细沉积物组成的絮凝团, 沉降速度较小, 颗粒分选也较好, 而由较粗的沉积物组成的絮凝团, 沉降速度较大, 且分选较差(Asselman, 1999)。因而, 絮凝作用并不干扰“粒度趋势分析”。如果有些沉积物在输运进程中根本不与底质沉积物发生交换或沉积(如同河流中的冲泻质), 它的粒度沿程变化在底质中得不到反映, 因而, 现有的“粒度趋势分析”不能指示其净输运方向。这也是“粒度趋势分析”结果与流场特征不尽相同的原因之一。细颗粒沉积物, 特别是冲泻质对“粒度趋势分析”的结果的影响还需要进一步的研究。

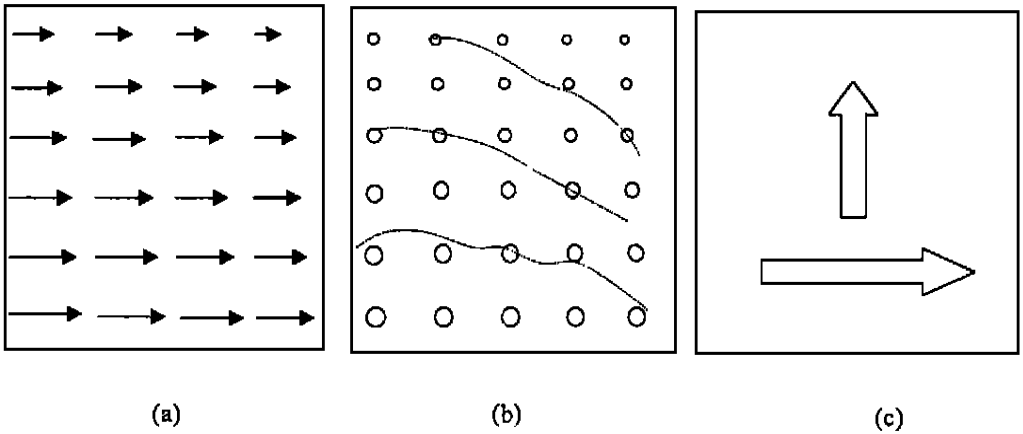


图 7 粒度趋势与输运关系理论图示

Fig. 7 Sketch map showing the relationship between grain size trends and sediment transport patterns

(a) 流场分布; (b) 沉积物粒度分布, 圆表示粒径大小, 虚线表示粒度参数等值线分布;

(c) 粒度趋势分析所得沉积物净输运概图

(a) Distribution of currents; (b) distribution of grain size parameters, with the circles representing grain size and the dash lines denoting grain size parameters; and (c) net sediment transport directions based on grain size trends analy

## 4 结论

北黄海西部的细颗粒沉积物主要位于北黄海中部和山东半岛沿岸、大连湾附近, 粗颗粒沉积物则主要分布于庙岛群岛以东和大连湾东南侧海区。沉积物的平均粒径、分选系数、偏态等粒度参数的分布特征较为相似, 总的来说, 粒径越粗, 分选越差, 偏态更正偏; 而粒径越细, 分选越好, 偏态系数也较低。

山东半岛北侧的沉积物具有向东的运输趋势, 同时也有向东北的运输趋势。西部沉积物的运输趋势向东南并转向东, 北部沉积物的运输趋势向南, 形成了向北黄海中部汇聚的趋势。

基于激光粒度仪测试数据的“粒度趋势分析”方法在大范围的陆架区域具有一定的适用性。在操作中, 使用规则的正方形网格可以较全面地判断、合成趋势矢量, 得出可靠的净输运趋势。进行高密度的采样有助于揭示沉积物净输运趋势的细节特征。在分析粒度趋势结果时, 应注意粒度趋势反映的是运输的方向而不是运输率的大小。

致谢 李坤业、官晨钟、李安春、贾建军、蒋东辉、薛允传、曹奇原协助参加了野外采样, 刘敬圃帮助浅地层处理, 中国科学院海洋研究所“金星二号”全体船员提供了海上调查的后勤支持, 谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉, 1987. 黄海晚第四纪沉积. 北京: 海洋出版社, 303—309
- 刘振夏, 1982. 黄海表层沉积物的分布规律. 海洋通报, 1(1): 43—51
- 刘彬昌, 1981. 黄海沉积物中碳酸钙的初步研究. 海洋与湖沼通报, 2: 20—25
- 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉等主编, 1989. 黄海地质. 北京: 海洋出版社, 65—177
- 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: 125—135
- Asselman N E M, 1999. Grain size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, river waal, the Netherlands. *Journal of sedimentary research*, 69(1): 51—61
- Gao S, Collins M, 1991. Critique of the “ McLaren Method” for defining sediment transport paths. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61: 143—146
- Gao S, Collins M, 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”. *Sedimentary Geology*, 81: 47—60
- Gao S, Collins M, 1994a. Analysis of Grain Size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coastal Research*, 10(1): 70—78
- Gao S, Collins M, 1994b. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors” —reply. *Sedimentary Geology*, 90: 157—159
- Gao S, Collins M B, Lanckneus J *et al*, 1994. Grain size trends associated with net sediment transport patterns: an example from the Belgian continental shelf. *Marine Geology*, 171—185
- Huang D J, Su J, Backhaus O, 1999. Modelling the seasonal thermal stratification and baroclinic circulation in the Bohai Sea. *Continental Shelf Research*, 19(11): 1485—1506
- Le Roux J P, 1994a. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors” —comment. *Sedimentary Geology*, 90: 153—156
- Le Roux J P, 1994b. An alternative approach to the identification of net sediment transport paths based on grain-size trends. *Sedimentary Geology*, 94: 97—107
- Martin J M, Zhang J, Shi M C *et al*, 1993. Actual flux of the Huanghe (Yellow River) sediment to the western Pacific ocean. *Netherlands Journal of Sea Research*, 31(3): 243—254
- McCave I N, 1978. Grain-size trends and transport along beaches: an example from eastern England. *Marine Geology*, 28: M 43—M 51
- McLaren P A, 1981. Interpretation of trends in grain-size measurements. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 611—624
- McLaren P A, Boeles D, 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55(4): 457—470
- McManus J, 1988. Grain size determination and interpretation. In: Tucker M ed. *Techniques in Sedimentology*, Blackwell, Oxford, 63—85
- Nordstrom K F, 1981. Differences in grain size distribution with shoreline position in a spot environment. *Northeast Geol*, 3: 252—258
- Pedrerros R, Howa H L, Michel D, 1996. Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas. *Marine Geology*, 135: 35—49
- Pettijohn F G, Potter P D, Siever R, 1972. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York, N Y, 1—618
- Self R P, 1977. Longshore variation in beach sands, Nautla area, Veracruz, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 151—158
- Shepard F P, 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 151—158

## NET SEDIMENT TRANSPORT PATTERNS OVER THE NORTHWESTERN YELLOW SEA, BASED UPON GRAIN SIZE TREND ANALYSIS

CHENG Peng, GAO Shu

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

**Abstract** It is important to identify net sediment transport characteristics of the northern Yellow Sea, in order to understand the processes of material exchange between the Bohai and Yellow Seas. In this study, grain size trend analysis was carried out to delineate net sediment transport patterns of the region using the samples collected during the cruise in September, 1998. As a secondary objective, the applicability of grain size trend analysis to large scale areas on continental shelf environments is discussed.

The results indicate that grain size parameters have some distinct patterns in spatial distributions in the study area. Except for the sand which are well-sorted to the eastern of Miaodiao Islands, the sediments with coarser sizes are poorly sorted and highly positively skewed, and the sediments with finer sizes are better sorted with lower skewness. Sediments along the northern coast of Shandong Peninsula are transported towards the east or northeast. In the central area, net deposition is taking place, as indicated by the convergence of the grain size trends. This result is consistent with previous observations about the Yellow River sediment transport from the south channel of Bohai Strait, and the current circulation pattern over the northern Yellow Sea. The present research indicates the validity of grain size trend analysis for large-scale areas of continental shelves. Sufficiently short sampling distance is necessary to delineate the detailed transport patterns and a uniform (grid-iron) sampling grid is better to assess the directions of transport vectors. It should be noted that the transport vector contains information on transport direction, rather than the magnitude of transport rate.

**Key words** Grain size characteristics Grain size trends analysis Sediment transport North Yellow Sea

**Subject classification number** P736. 21