

文章编号: 1000-0550(2003) 03-0487-08

# 系统聚类分析在现代沉积环境划分中的应用 ——以崎岖列岛海区为例

李玉中 陈沈良

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

**摘要** 根据崎岖列岛海区现代沉积物的分选系数、砂粒含量和粘粒含量 3 个粒度特征参数,采用系统聚类分析方法划分现代沉积环境,与已知的沉积环境特征信息较为吻合。除水动力条件外,研究区的现代沉积环境深受物源条件和地形因素的影响。在有效划分研究区现代沉积环境的 3 个粒度参数中,砂粒含量是受物源条件影响最为显著的参数,分选是对地形与流场相互作用最为敏感的参数。偏度对研究区沉积环境差异的敏感性是有限的。峰度几乎不能作为研究区沉积环境划分的粒度参数。水动力条件的特殊性值得在沉积环境的划分中予以足够重视。

**关键词** 现代沉积环境 系统聚类分析 粒度特征参数 崎岖列岛

**第一作者简介** 李玉中 1970 出生 男 硕士 河口海岸动力地貌和动力沉积

中图分类号 P736.21 文献标识码 A

## 1 前言

沉积环境的识别方法有依据古生物、沉积构造、矿物成分、粒度等特征进行判别的多种方法。将沉积物的粒度特征与其形成时的沉积环境联系起来,以便为反演沉积环境提供可靠依据,前人已作了较多尝试,如 G. M. Friedman 提出的分选系数和偏度的离散图, R. Passega 提出的 CM 图, G. S. Visher 提出的粒度概率分布曲线等均产生较大影响<sup>[1~3]</sup>。但对粒度分布的环境解释存在多解性问题,即不同的环境可能出现相似的动力学条件,使得粒度特征表现出重复性;或者相反,同一环境有迥然不同的粒度特征,而表现出异化性<sup>[4~5]</sup>。因此,上述解释理论只在特定的环境中取得有限的成功<sup>[5~6]</sup>。解决粒度参数在环境解释方面多解性的问题可从以下两个方面入手:一是尝试采用多种粒度参数的不同组合进行环境划分,以寻找对环境鉴别最为敏感的粒度参数组合;二是探讨产生环境解释多解性的影响因素,针对不同的影响因素在研究区影响程度的不同,采用特定的粒度参数组合。由于现代沉积环境的特征信息通常是已知的(或是容易获取的),从而使采用上述两种途径建立沉积物粒度参数和沉积环境之间的对应关系成为可能。本文以崎岖列岛海区为例,采用上述两种途径,探讨近岸岛屿海域现代沉积环境划分的有效方法。

## 2 研究区概况

崎岖列岛位于杭州湾口北部,长江口外海滨段南

缘,其西北距上海市芦潮港约 30 km,其东隔黄泽洋与东海相望(图 1)。列岛由以大、小洋山为主要岛屿的 60 多个岛屿组成,诸岛屿在平面上大致呈南北两列岛链状排列,两列岛链围成的水域已具备一定的峡道特征,称岛链峡道或峡道。岛链峡道除西部水深在 9~14 m 以外,其东部水深均在 30 m 以上。崎岖列岛海区的岛屿群分布受 E~W 向和 NW~SE 向地质构造线控制<sup>[7]</sup>,北岛链呈 NW~SE 走向,南岛链呈 E~W 走向。岛链峡道的走向和区域潮流的主流向基本一致(涨潮主流向为 NWW 向,落潮主流向为 SEE 向),峡道地形的导流和束流作用显著。特别是峡道西部呈向西开敞的喇叭形,落潮时的束流作用更为显著。岛链峡道两侧岛屿间分布有众多潮汐通道,涨潮时,侧向潮汐通道对峡道内起汇流作用,落潮时起分流作用,这对峡道内的流场和泥沙输移有一定影响。

岛屿群的存在使得岛屿附近潮波变形,部分潮流能量消耗在对岛屿近岸和岛屿附近海床的摩擦上,使水动力加强。反映在地形上,即是岛屿周边的水深在 -10 m 以深,远离岛屿区的水深在 -10 m 以浅(图 1),同时也使列岛区的悬沙浓度显著高于其周边水域<sup>[7]</sup>。崎岖列岛海区位于长江口外海滨段南缘,属长江冲淡水的直接扩散范围。近百年来,崎岖列岛周边海区总体呈微淤状态,年均淤积速率 2.3 cm/a(近 50 年为 1.0 cm/a),长江冲淡水所携泥沙是该区域细颗粒沉积物的主要物质来源,列岛海区的粗颗粒沉积物主要源自当地岛屿风化物<sup>[8]</sup>。

<sup>1</sup> 教育部科学技术研究重点项目(批准号:01079)、国家自然科学基金(批准号:40276027)资助

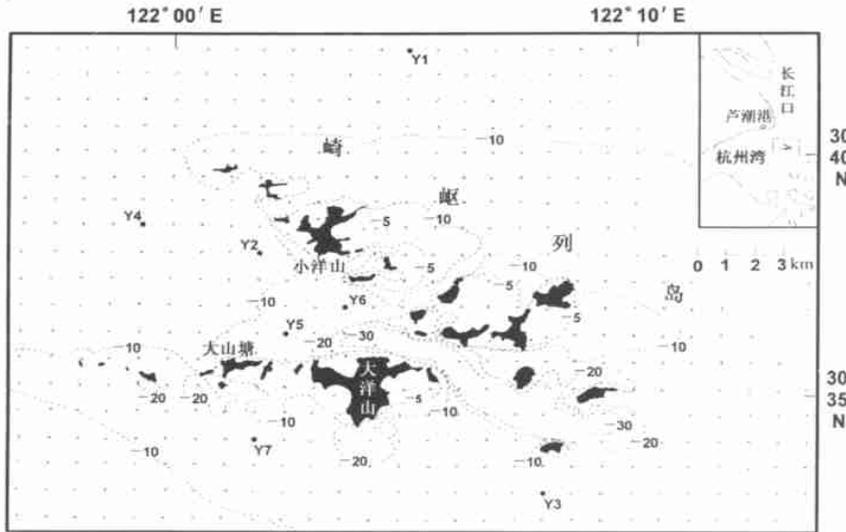


图1 嵊泗列岛海区位置、现代沉积物取样站位及地形图

Fig. 1 Location map of the study area with depth contours and sampling stations of modern sediments

嵊泗列岛海区的流场主要由潮流控制,波浪和径流的影响相对较小,潮波受东海前进波系统控制,以 $M_2$ 分潮起支配作用,潮汐性质属非正规半日浅海潮,平均潮差2.79 m,属中潮区<sup>[7]</sup>。潮流椭圆率在0.01~0.25之间,属往复流性质。列岛区外的潮流椭圆率在0.10~0.25之间,略具旋转性;岛链峡道内的潮流椭圆率在0.05~0.10之间,往复性极强<sup>[7]</sup>,涨落潮转流迅急,憩流期和小流速期较短。

嵊泗列岛海区的高流速特征显著<sup>[7]</sup>,大、中、小潮全潮平均流速分别为112 cm/s、100 cm/s和73 cm/s。涨潮平均历时5 h 47 min,落潮平均历时6 h 40 min。涨潮最大流速121~255 cm/s,落潮最大流速222~309 cm/s。总体上,列岛海区的落潮流速大于涨潮流速,落潮历时大于涨潮历时,落潮流居显著优势。

嵊泗列岛海区的波浪以风浪为主,季节性变化明显<sup>[8]</sup>。夏季多南向和西南向浪,平均波高0.8 m;冬季多北向和西北向浪,平均波高1.0 m。列岛区外的水深一般在7~10 m之间,波浪对海底现代沉积物的作用较为显著;列岛区内因受大、小洋山等岛屿遮挡的影响,风浪的强度弱,周期短,年平均波高0.4 m。列岛区内水深较深,相比较而言,海底现代沉积物受风浪的影响较小。

### 3 资料和方法

本文的研究区域限定在嵊泗列岛及其邻近海区,在 $121^{\circ}56'50'' \sim 122^{\circ}14'E$ 和 $30^{\circ}32' \sim 30^{\circ}42'N$ 之间,约

$28 \times 18 \text{ km}^2$ 面积范围。现代沉积物样品取自1996年10月在该海区用蚌式采泥器按1 km间距抓取的461个海底表层沉积物样品(图1中阴影点,超出研究区域范围的样品未选取),如遇岛屿则在原布置点500 m范围内补样,采样入土深度5~10 cm。样品在室内按颗粒分析法进行粒度分析。

系统聚类分析是最常用的聚类分析方法之一,它采取分类后各亚类内距离最小、亚类间距离最大的基本原则来定量地确定研究对象不同种类的划分。具体方法是逐步将距离最近的类合并在一起,直到所有样品都并成一类为止。通常只要合并到能够体现各分类样品的主要特征,并满足研究需要时就可以中止<sup>[9]</sup>。

在进行聚类分析之前,先采用标准差标准化法将所有样品的各观测值进行标准化,以保证进行聚类的各项指标均处于同等重要的地位。衡量两个样品间的距离采用欧氏距离法,如样品共有 $p$ 个测定指标,则其欧氏距离相当于两个样品在 $p$ 维欧氏空间的距离。根据样品间的最小距离进行初始聚类,便产生新类。进行下一步类间聚类时,需要计算类间距离,类间距离的计算采用类平均法,计算式如下:

$$D_{pq} = \sqrt{\frac{1}{n_p n_q} \sum_{i \in G_p} \sum_{j \in G_q} d_{ij}^2}$$

式中: $D_{pq}$ 为类 $G_p$ 和类 $G_q$ 间的距离,

$d_{ij}$ 为类 $G_p$ 内 $i$ 样品和类 $G_q$ 内 $j$ 样品间的距离,

$n_p$ 为类 $G_p$ 内的样品数,

$n_q$ 为类 $G_q$ 内的样品数。

将类间距离最小的类合并。

上述对样品进行的系统聚类分析通常称为 Q 型系统聚类分析。同样的方法可以对样品的多个测定指标(或变量)进行系统聚类分析,称为 R 型系统聚类分析。本文采用 SPSS 10.0 统计分析软件中 Classify 工具箱对样品的粒度数据进行聚类分析。首先采用 R 型聚类分析方法压缩分析指标,然后根据压缩后的粒度特征参数采用 Q 型聚类分析方法对样品进行聚类。对分类后不同类别的样品按类别分别赋以不同的数值,继而采用 Surfer 7.0 软件的等值线工具,按样品点的赋值不同,自动绘出沉积环境划分的平面分布图。将不同分类方案的沉积环境平面分布图,分别同已知

的沉积环境特征信息比较,选择最为吻合的划分方案。

### 4 结果与讨论

#### 4.1 现代沉积物特征

现代沉积物的粒度分析结果表明,列岛海区现代沉积物样品中, > 0.25 mm 的颗粒含量极微,仅占沉积物总含量的 0.1%。现代沉积物主要由 < 0.25 mm 的砂粒(0.25~ 0.05 mm)、粉粒(0.05~ 0.005 mm)和粘粒(< 0.005 mm)组成,其含量分别占沉积物总含量的 13.4%、51.1%和 35.4%。砂粒分布受物源影响较为显著,且主要分布在岛屿区附近,远离岛屿其含量迅速降低(图 2)。

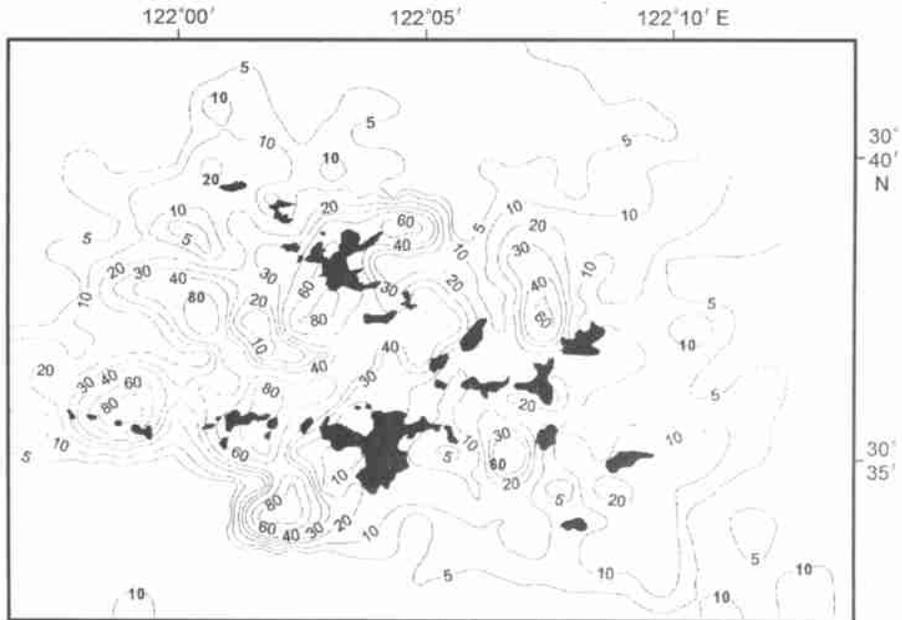


图 2 崎岖列岛海区现代沉积物砂粒含量分布图(单位: %)

Fig. 2 Map showing percentage of sand within modern sediments in Qiqu Archipelago area

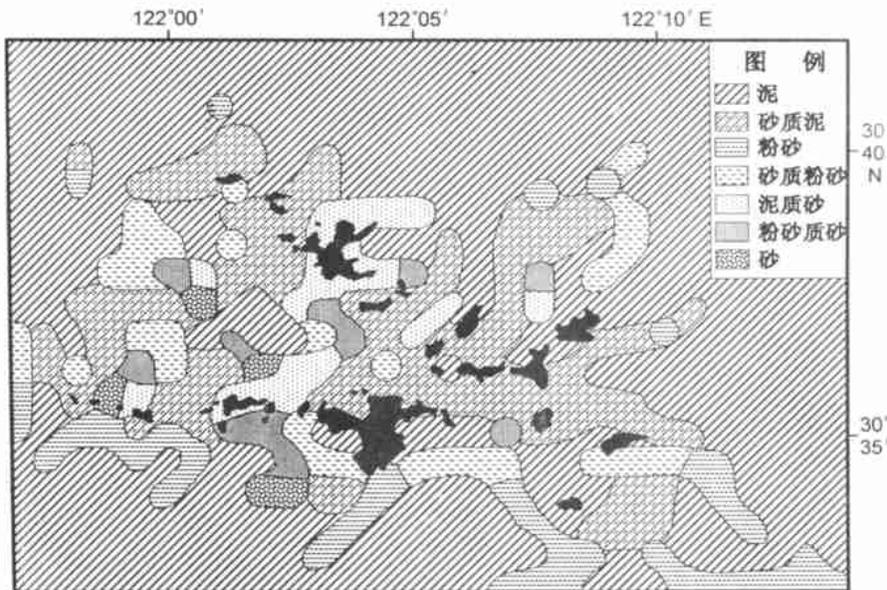


图 3 崎岖列岛海区现代沉积物类型分布图

Fig. 3 Distribution map showing types of modern sediments in Qiqu Archipelago area

根据样品中各粒级组分含量的不同,按 Folk(1954) 分类方案<sup>[10]</sup>划分研究区现代沉积物类型,列岛海区范围内共有 7 种沉积物类型:泥、砂质泥、粉砂、砂质粉砂、泥质砂、粉砂质砂和砂(图 3)。泥的分布范围最广,主要分布在列岛区外。砂质泥的分布范围次之,主要分布在列岛周边和岛链峡道内。粉砂主要分布在列岛周边,砂质粉砂主要分布在列岛周边和岛链峡道内。泥质砂、粉砂质砂和砂等粗颗粒沉积物主要分布在岛链峡道西部、潮汐通道和其出口处,以及岛体附近;这些粗颗粒沉积物在小洋山一大山塘一线集结,形成大型沙体,并有随小洋山和大山塘两侧潮汐通道向峡道外输移的趋势。

同类型沉积物的粒度分布存在着一定差异,这里选取各类型沉积物有代表性的粒度分布样品,以直方图的形式展示(图 4)。

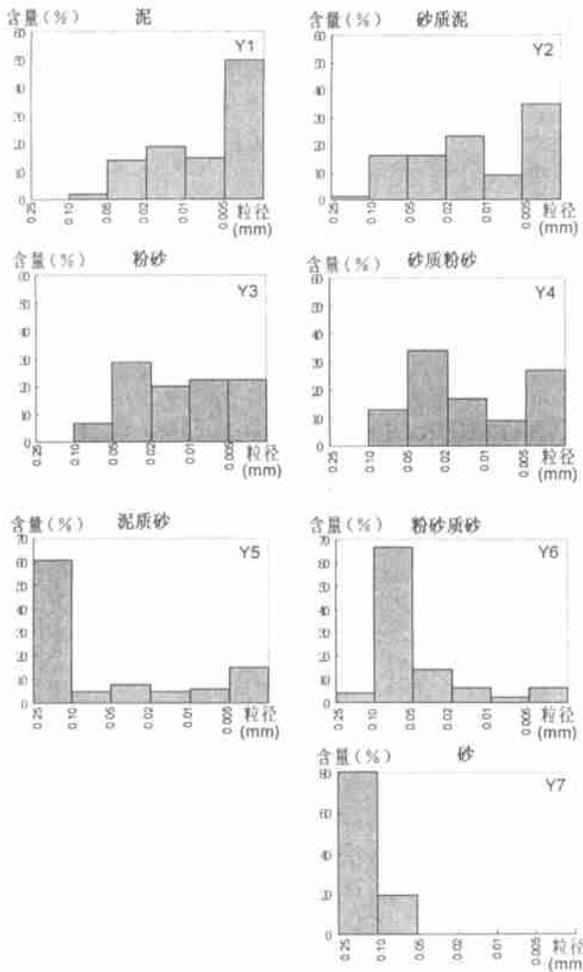


图 4 崎岖列岛海区现代沉积物粒度分布直方图  
(站位见图 1)

Fig. 4 Block diagrams of grain size distribution of modern sediments in Qiqu Archipelago area

现代沉积物粒度参数:平均粒径( $\mu_m$ )、分选系数( $\delta$ )、偏度( $S_k$ )和峰度( $K$ )均按矩法计算<sup>[11]</sup>,计算式

如下:

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

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i (S_i - \mu)^2}{n}}$$

$$S_k = (\sum_{i=1}^n P_i (S_i - \mu)^3) / \delta^3$$

$$K = (\sum_{i=1}^n P_i (S_i - \mu)^4) / \delta^4$$

式中: $P_i$ 为粒级 $S_i$ 的百分含量, $n$ 为粒级数。粒度参数及其平面分布见表 1、图 5。

各类型沉积物的平均粒径平均值在 2.82~7.00 $\phi$ 之间(表 1),除砂以外,各类型沉积物的平均粒径平均值均大于 4.34 $\phi$ (即小于 0.05 mm)。泥的平均粒径最细,其次为砂质泥、粉砂和砂质粉砂,泥质砂、粉砂质砂和砂的粒径最粗(表 1)。

各类型沉积物的分选性除砂的分选好以外,其它各类型的沉积物均显出较差的分选性(表 1)。分选差是浅海沉积物的普遍特征<sup>[6]</sup>,沉积物的粒度较细和潮流的往复搬运是分选差的主要原因。砂的分选好可能与其本身的物理特性有关。许多学者发现,分选的好坏强烈依赖于沉积物的中值粒径<sup>[6,12]</sup>,其中以 0.1~0.2 mm 粒度沉积物的分选最好,本区砂的中值粒径恰在该范围内(表 1)。相比较而言,砂、粉砂质砂和泥的分选相对较好,砂质泥、粉砂、砂质粉砂和泥质砂的分选相对较差。

泥主要呈负偏态,砂质泥主要呈近对称偏态。其它各类型沉积物均为正偏(表 1),反映在粒度频率曲线上即有一个拖长的细尾,它是岛区及其周边的粗颗粒沉积物在高悬沙浓度的沉积环境下不可避免地沉积一部分细颗粒泥沙的结果。

## 4.2 现代沉积环境划分

根据前述研究区现代沉积环境信息,采用系统聚类分析方法在沉积物粒度特征参数中寻找对应关系是本文的出发点之一。对系统聚类分析方法划分效果的检验,依据能够反映前述沉积环境的区域差异为参考标准。

### 4.2.1 现代沉积环境划分参数的确定

由于采用所有的粒度特征参数进行系统聚类分析不能够有效揭示研究区内的沉积环境差异,各项粒度特征参数之间也可能存在不同程度的内在联系,因此如何压缩指标,并最大限度地保持指标中所包含的特征信息是首要问题。

以样品的各项观测值作为聚类标准,对各粒度特征参数作 R 型聚类分析,将具有相同聚集趋势(即距离较近)的参数合并,这对最终以粒度特征参数为指标作 Q 型聚类分析标准划分样品类别将是合理的。所

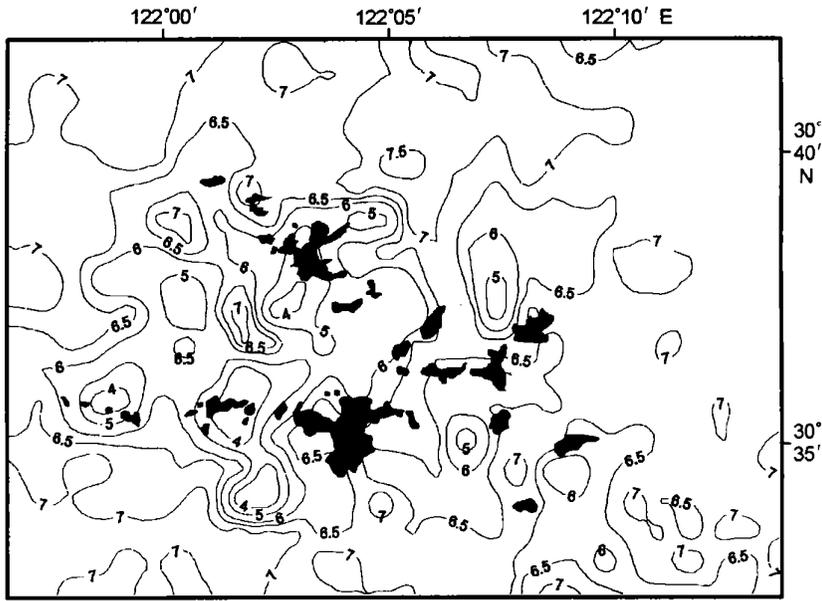


图 5 崎岖列岛海区现代沉积物平均粒径分布图

Fig. 5 Distribution of mean grain size within modern sediments in Qiqu Archipelago area

表 1 崎岖列岛海区现代沉积物粒度参数

Table 1 The grain-size parameters of modern sediments in Qiqu Archipelago area

沉积物类型	中值粒径( $\phi$ )	平均粒径( $\phi$ )	分选系数	偏度	峰度
泥	$\frac{4.01}{8.53}$ 7.10	$\frac{6.32}{7.78}$ 7.00	$\frac{1.19}{1.84}$ 1.57	$\frac{-1.21}{0.17}$ - 0.35	$\frac{1.34}{3.33}$ 1.83
砂质泥	$\frac{4.51}{7.97}$ 6.12	$\frac{5.16}{7.30}$ 6.26	$\frac{1.68}{2.58}$ 1.89	$\frac{-0.92}{0.56}$ 0.03	$\frac{1.37}{2.40}$ 1.63
粉砂	$\frac{5.64}{6.72}$ 6.13	$\frac{5.98}{6.75}$ 6.41	$\frac{1.23}{1.74}$ 1.60	$\frac{0.06}{0.66}$ 0.22	$\frac{1.56}{2.39}$ 1.77
砂质粉砂	$\frac{4.47}{6.29}$ 5.60	$\frac{5.13}{6.37}$ 5.92	$\frac{1.55}{1.91}$ 1.73	$\frac{0.11}{1.01}$ 0.45	$\frac{1.58}{2.99}$ 1.94
泥质砂	$\frac{2.34}{5.72}$ 3.65	$\frac{3.12}{5.97}$ 4.34	$\frac{1.02}{3.32}$ 1.74	$\frac{0.24}{3.08}$ 1.47	$\frac{1.63}{9.8}$ 4.59
粉砂质砂	$\frac{3.27}{4.27}$ 3.81	$\frac{3.34}{5.10}$ 4.34	$\frac{0.94}{1.86}$ 1.55	$\frac{0.99}{2.37}$ 1.56	$\frac{2.54}{8.56}$ 4.78
砂	$\frac{2.32}{3.32}$ 2.94	$\frac{2.52}{3.14}$ 2.82	$\frac{0.24}{0.64}$ 0.45	$\frac{0.14}{4.69}$ 1.85	$\frac{1.39}{15.49}$ 7.21

注: 左上为最小值, 左下为最大值, 右中为平均值。

采用的沉积物粒度特征参数有: 中值粒径、平均粒径、分选系数、偏度、峰度、砂粒含量、粉粒含量和粘粒含量等, 共 8 个, 分别将其编号为 V1、V2、V3、...V8。依次将 8 个粒度特征参数聚类为 7、6、5、4、3 类, 从多至少, 依次采用 7、6、5、4、3 种粒度参数进行沉积环境划分。若划分效果不佳, 则按各参数在聚类过程中被聚合的次序, 依次舍去。参数被舍去的次序, 依据是否具有更明确的环境指示意义或是否是最基本的粒度参数为原则(表 2)。对于分选、偏度等对环境鉴别较为敏感的参数, 则再行采用与其它参数的多种组合方案尝试。最优的尝试结果是: 采用分选系数、砂粒含量和粘粒含量 3 个参数划分的效果最佳; 采用中值粒径、砂粒

含量和粘粒含量 3 个参数划分的效果次之。

#### 4. 2. 2 现代沉积环境划分结果

根据选定的分选系数、砂粒含量和粘粒含量 3 个参数对各沉积物样品进行 Q 型系统聚类分析, 再根据各样品所属类别绘制沉积环境分区图(图 6), 最终的分类数(3 类)是对多种分类方案比较后确定。因分类数增加时, 仅是对图 9 中的 ④区作更细致的划分, 已无更多的实际意义, 故认为将列岛海区的沉积环境分为 3 类已大致能反映出研究区各沉积亚环境的差异。

iv 类沉积区主要分布在列岛区外, 主要沉积物类型为泥。该区沉积物的粒度较细, 主要呈负偏态(表 1), 分选相对好于列岛周边的沉积物。该区沉积物粒

表 2 粒度特征参数聚类过程表

聚类阶段	聚合参数	被聚合参数	欧氏距离系数	沉积环境划分参数
1	V6	V4	0.000	V1, V2, V3, V5, V6, V7, V8
2	V4, V6	V5	0.011	V1, V2, V3, V6, V7, V8
3	V8	V7	0.024	V1, V2, V3, V6, V8
4	V3	V2	0.027	V1, V3, V6, V8
5	V2, V3	V1	0.027	V3, V6, V8

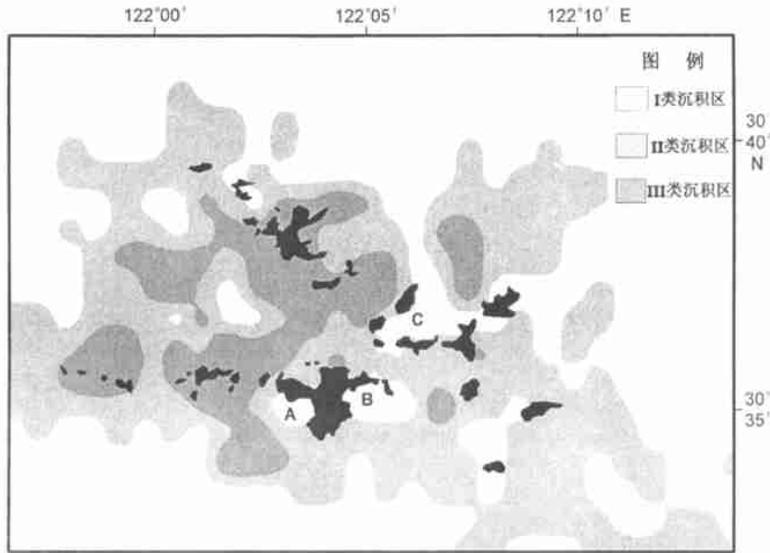


图 6 崎岖列岛海区沉积环境分区图

Fig. 6 Sedimentary environments in Qiqu Archipelago area

度较细主要受物源条件的强烈影响, 即有丰富的细颗粒泥沙来源而较少岛源粗颗粒物参与。同时, 列岛区外的潮流较岛链峡道内相比, 略具旋转性<sup>[7]</sup>, 有相对长的憩流期和小流速期, 有利于细颗粒泥沙的沉积。

㊟类沉积区主要位于列岛周边和岛链峡道内, 主要沉积物类型为砂质泥、粉砂和砂质粉砂。该区沉积物的平均粒径较列岛区外粗, 分选相对较差(图 5), 物源和水动力作用是该区沉积物特征形成的主要原因。由于靠近岛屿, 已有部分源于岛屿风化物的粗颗粒物参与(图 2), 沉积物粒径相对较粗。岛屿群对潮流的阻挡, 使岛屿附近的水动力加强, 不利于细颗粒泥沙的沉积。岛屿对潮流的阻挡使得岛屿附近的潮波发生变形, 加之岛屿间的诸多潮汐通道的复杂流路, 使得该区沉积物的分选性相对较差。

㊟类沉积区主要分布在岛链峡道的西部, 主要沉积物类型为泥质砂、粉砂质砂和砂, 该区沉积物的显著特征是分选相对较好, 粒度粗(图 5), 且在岛链峡道西部的小洋山—大山塘—一线集结形成大型沙体(图 3), 该区砂质沉积物的分布特征应与其特定的沉积动力环境和物源条件有必然联系。

#### 4. 2. 3 沉积环境划分讨论

R. C. Selley 给出的经典的沉积环境定义是: 地表上物理、化学和生物等作用有别于其相邻区域的某一地貌单元。但他没有将物源的影响充分考虑在内, 如果进入环境内的沉积物的粒度特点千差万别, 相同环境的沉积结果将迥然不同, 因此, 离开物源条件的差异探讨沉积环境的划分可能是不完善的(佩蒂庄、王新民等和邵磊等均有类似的观点<sup>[4, 13-14]</sup>)。同时, 离开地形条件谈论水动力也是不切实际的, 水动力环境是传统的沉积环境划分的主要依据之一(即物理作用的一个重要方面), 然而水动力环境无不受地形条件(特别是局部地形)的深刻影响, 而且这种影响往往是相互的, 即地形改变了流场, 流场也在不断改变着地形。

本文将物源条件和地形作为沉积环境的控制要素, 系因研究区沉积环境和沉积结果深受物源条件和地形因素的影响。在应用聚类分析划分研究区现代沉积环境的 3 个指标中, 砂粒含量是受物源条件影响最为显著的变量(图 2)。将地形引入沉积环境要素, 系因研究区地形与流场之间相互作用的重要性, 岛屿岩体的硬边界显著改变了岛屿区及其附近的流场, 流场

也显著改变了岛屿附近的海底地形(软边界)。分析表明,分选是对研究区地形与流场相互作用最为敏感的粒度参数。同时,沉积环境分区图显示,图中的A、B、C处均属iv类沉积区,现代沉积物类型为泥和砂质泥,这是令人初为迷惑的现象,然而深入的分析发现,这3处在地形上均呈半封闭的小海湾形态(即弱动力环境),因此,地形因素是这些区域沉积环境的主要控制因素。

前人的研究表明,偏度是对沉积环境反映较为敏感的粒度参数之一<sup>[11]</sup>,前文的讨论也显示偏度在研究区不同的沉积环境中存在着一定程度的差异,但它却最终未能在聚类分析中起到分类指标的作用。根据偏度和分选系数的散点图(图7),iv区沉积物和㊟区沉积物的部分样品在散点图中发生重叠,因而,将偏度作为聚类指标之一,使得前述的iv类和㊟类沉积区聚为一类,难以分辨iv、㊟类沉积区的沉积环境差异。这种现象说明,偏度对研究区沉积环境差异的敏感性是有限的。即粒度参数的环境解释多解性问题一方面可能是由于不同粒度参数对不同的沉积环境敏感性不一所致。实际上,偏度对研究区沉积环境的差异不够敏感,与研究区不同沉积环境之间呈逐渐过渡的关系是分不开的,图7中iv类沉积区和㊟类沉积区重叠的样品多位于两个沉积区的交界处附近,因此,依据某些粒度参数划分呈渐变关系的沉积环境之间的界线,有时确很困难。

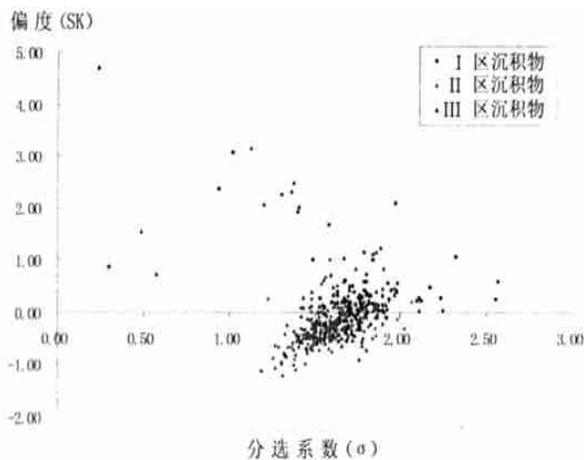


图7 崎岖列岛海区现代沉积物偏度、分选系数散点图

Fig. 7 Plot map of skewness against sorting coefficient of modern sediments in Qiqu Archipelago area

峰度几乎不能作为研究区沉积环境划分的指标之一,在所有以峰度为指标进行环境划分的尝试中,结果仅能区分出砂质沉积区和非砂质沉积区两种沉积环境,这应与峰度是粒度分布相对于平均粒径的四次矩

有关,四次矩使不同样品的峰度值差异过分显著,掩盖了其它粒度参数差异的显著性。

采用中值粒径、砂粒含量和粘粒含量3个参数划分研究区沉积环境的效果仅次于采用分选、砂粒含量和粘粒含量3个参数的划分效果,中值粒径和砂粒含量可与传统的CM图所采用的平均粒径和第一百分位粒径相比拟,说明该划分方案与CM图均有其合理之处。但采用中值粒径、砂粒含量和粘粒含量3个参数划分的缺点在于㊟类沉积区的范围(较狭窄)与已知的沉积环境特征信息不尽吻合,究其原因,可能是由于分选系数没有参与的缘故,分选系数对研究区流场与地形相互作用的特殊性较为敏感。

## 5 结论

根据崎岖列岛海区现代沉积物的分选系数、砂粒含量和粘粒含量3个粒度特征参数,采用系统聚类分析方法划分现代沉积环境,与已知的沉积环境特征信息较为吻合。除水动力条件外,研究区的现代沉积环境受物源条件和地形因素的影响较为显著。在有效划分研究区现代沉积环境的3个粒度参数中,砂粒含量是受物源条件影响最为显著的参数,分选是对地形与流场相互作用最为敏感的参数。偏度对研究区沉积环境差异的敏感性是有限的。峰度几乎不能作为研究区沉积环境划分的粒度参数之一。水动力条件的特殊性值得在沉积环境的划分中予以足够重视。

## 参考文献(References)

- 1 Friedman G M. Dynamic processes and statistical parameters compared of the grain size distribution of beach and river sand [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1967, 37: 514~ 529
- 2 Passega R H. Grain-size representation by CM patterns as a geological tool [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1964, 34: 830~ 847
- 3 Visher G S. Grain size distributions and depositional processes [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1969, 39: 1074~ 1106
- 4 佩蒂庄 F J. 沉积岩(中译本) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1981. 49 [Pettijohn F J. Sedimentary rocks [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1981. 49]
- 5 刘岫峰. 粒度分析及其在沉积学研究中的应用 [A]. 沉积专辑 [C]. 成都地质学院沉积岩研究室, 1981. 21~ 61 [Liu Xiufeng. Grain size analyses and its application in sedimentology [A]. In: Sedimentary rocks teaching and researching section of Chengdu Geology University ed. Sedimentology Subject [C]. 1981. 21~ 61]
- 6 赖内克 H E, 辛格 I B. 陆源碎屑沉积环境(中译本) [M]. 北京: 石油出版社, 1984. 112~ 116 [Reineck H E, Singh I B. Depositional sedimentary environments (translated in Chinese) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984. 112~ 116]
- 7 陈沈良. 崎岖列岛海区的水水泥沙及其峡道效应 [J]. 海洋学报, 2000a, 22(3): 123~ 131 [Chen Shenliang. Hydrodynamics, sediments

- and strait-channel effects for the Qiqu Archipelago[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000a, 22(3): 123~ 131]
- 8 陈沈良. 崎岖列岛海区百年冲淤特征及其原因[J]. *海洋通报*, 2000b, 19(1): 58~ 66 [Chen Shenliang. Erosion and accretion characteristic and their causes in the Qiqu Archipelago in the recent century [J]. *Marine Science Bulletin*, 2000b, 19(1): 58~ 66]
- 9 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 393~ 425 [Zhang Yaoting, Fang Kai tai. Introduction of multivariate statistical analysis[M]. Beijing: Science Press, 1982. 393~ 425]
- 10 Folk R L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature[J]. *Journal of Geology*, 1954, 62: 344~ 359
- 11 弗里德曼 G M, 桑德斯 J E. 沉积学原理(中译本)[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 82~ 87 [Fridman G M, Sanders J E. Principle of sedimentology (translated in Chinese) [M]. Beijing: Science Press, 1987. 82~ 87]
- 12 Yang S L. Sedimentation on a growing intertidal island in the Yangtze river mouth[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, 49: 401~ 410
- 13 王新民, 宋春晖, 师永民等. 青海湖现代沉积环境沉积相分析[J]. *沉积学报*, 1997, 15(Supp.): 157~ 162 [Wang Xinmin, Song Chunhui, Shi Yongmin, *et al.* Modern sedimentary environment and sedimentary facies characteristics in Qinghai Lake[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(Supp.): 157~ 162]
- 14 邵磊, 李文厚, 袁明生. 吐鲁番—哈密盆地陆源碎屑沉积环境及物源分析[J]. *沉积学报*, 1999, 17(3): 435~ 442 [Shao Lei, Li Wenhou, Yuan Mingsheng. Sedimentary environments and source rock analysis of the Turpan Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(3): 435~ 442]

## Application of System Cluster Analysis to Classification of Modern Sedimentary Environment ——A Case Study in Qiqu Archipelago Area

LI Yu-zhong    CHEN Shen-liang

(State Key Laboratory of Estuarine & Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

**Abstract** By system cluster analysis on sorting coefficient, percentage of sand and clay in modern sediments, The modern sedimentary environment in Qiqu Archipelago area can be well classified into three types of sub-environments, which are in line with the environmental features there. In addition to hydrodynamic function, sedimentary environment is strongly affected by material sources and topography. Among 3 factors by which sedimentary environment is well classified, the factor of percentage of sand is the variable which is most significantly affected by material sources, and sorting coefficient is the parameter which is most sensible to the reciprocal functions between currents and topography. The sensibility of skewness to variation of sedimentary environment is finite. Kurtosis can hardly be used to classify sedimentary environment. Particular hydrodynamic condition should be also taken into account.

**Key words** modern sedimentary environment, system cluster analysis, grain-size characteristic parameter, Qiqu Archipelago