

白沙口海岸带沉积物粒度成分的Q型因子分析*

李 凡

(中国科学院海洋研究所)

近年来,因子分析在地质学各分支学科中已经得到广泛的应用。Klavan, Solohus 和 Klavan^[4,7] 等曾用Q型因子分析对现代海湾和湖泊沉积物粒度成分进行研究,根据端元元素所代表的典型沉积环境及粒度成分分布特征的分析,区分了研究区的沉积环境,取得了良好的效果。他们认为,这种方法也可以运用于对古代沉积环境的研究。这种方法与 Folk^[5,3,6] 等人提出的方法不同,它运用了粒度分析的全部信息,而不是只取几个特征粒级或粒度参数,因而能够比较客观地反映它们与沉积环境间的关系。

本文运用Q型因子分析法,对白沙口海岸带及滨岸浅海区沉积物的粒度资料进行了计算分析,并将研究地区的不同沉积环境及相应的沉积物粒度分布特征进行了分类。

一、调查区自然地理概况

白沙口位于山东半岛东南部、五垒岛湾的西南隅(图1)。西有古龙嘴往南向海延伸,

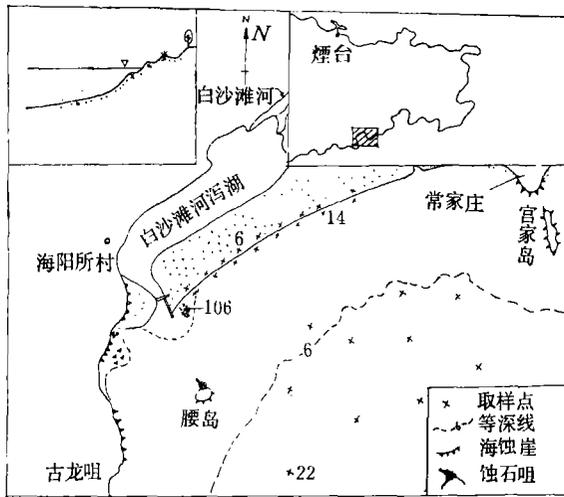


图1 白沙口海岸带取样站位图(1:100000)

(图例说明注字“蚀石咀”应为:砾石咀)

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第796号。
本文蒙李长珍、景立才等同志协助编译程序、本所计算机室的同志帮助计算,谨致谢意。
本刊编辑部收到稿件日期: 1981年7月17日。

东有常家庄南岬角相隔,形成次一级相对独立的海湾,湾口朝向东南,面对黄海。调查区岸段为开阔的港湾式海岸,湾内自常家庄南有一条长约 6 公里的沙嘴向西延伸,在海阳所村南部与西面的角滩隔一潮汐通道相呼应。沙嘴北面是泻湖,此潮汐通道即为泻湖的出口。这里由于白沙滩河泥沙的累年输入,发育了泻湖口三角洲。三角洲附近因为波能幅聚,加上潮流、河流径流的相互作用,泥沙运动活跃,形成许多沙洲、沙岗等堆积体。上述大型沙嘴,在沿岸带泥沙横向运动的影响下,具有沿岸沙堤的特征,并且发育了复式沙堤。根据野外观察,本区发育有大小不同的三道沿岸沙堤,靠近泻湖的是第三道沙堤,上面已经长满了茂密的松林,由于人为因素的影响改变了原始面貌。由此向南为第二道沙堤,其上长有草本植物,沙堤长期裸露于大气之中,在风力作用下,发育成滨岸沙丘。这两道沙堤间的凹地上长有芦苇。再向南,即是第一道沿岸沙堤(以下简称沿岸沙堤),亦即现在的高潮线附近,经常处于激浪冲流及回流的作用之下。

调查区属温带季风气候区,夏季多东南风,冬季多西北风,全年最大风速 18—20 米/秒,风向偏北。

海浪,夏季以涌浪为主,波向集中在 E—S 方位间;冬季以风浪为主,波向较分散。由于岸线轮廓的影响,全年盛行波向为 149° 。夏季波高多大于 1 米,1972 年实测最大波高 3.3 米。1972 年 7—8 月实测月平均潮差 2.48 米,最大潮差 3.32 米。大风浪又逢大潮时,激浪冲流可以漫过沿岸沙堤,冲刷滨岸沙丘的坡脚。

潮流基本上为往复流,在 -5 — -10 米等深线处,潮流流向大致与等深线平行,涨潮流流向 SW,落潮流流向 NE。

上述各种动力条件,在不同的地貌单元上形成不同的组合,因而相应的沉积物也显示出不同的粒度分布特征。

二、Q 型因子分析结果

在调查区,我们分别在沿岸沙堤、滨岸沙丘、沙洲以及滨岸浅海等地采集了 35 个样品进行机械分析,每个样品分为 9 个粒级。根据这些粒度分析的资料,用中国科学院地质研究所的因子分析程序^[1](我们作了某些修改、编译),在本所 DJS-6 机上进行计算。在原程序中,为了使所选出的主因素能够代表典型样品(即最靠近因子轴的一个样品)所具有的

表 1 因子分析 Q 型特征值 (λ_1)

13.87	0.27	0.04×10^{-8}	0.02×10^{-8}	0.03×10^{-9}	-0.09×10^{-9}	-0.02×10^{-8}
10.67	0.23	0.03×10^{-8}	0.02×10^{-8}	0.03×10^{-9}	-0.01×10^{-9}	-0.02×10^{-8}
6.39	0.11	0.03×10^{-8}	0.01×10^{-8}	0.02×10^{-9}	-0.01×10^{-9}	-0.03×10^{-8}
2.65	0.05×10^{-8}	0.03×10^{-8}	0.01×10^{-8}	-0.06×10^{-9}	-0.01×10^{-9}	-0.04×10^{-8}
0.81	0.04×10^{-8}	0.03×10^{-8}	0.01×10^{-8}	-0.07×10^{-9}	-0.02×10^{-8}	-0.08×10^{-8}

样品数 35 个,每个样品粒级数 9 个。

表 2 前四个特征及其累积百分比

主因素号	特征值	累积值	累积百分比 (%)	代表性样品号
λ_1	13.87	13.87	39.60	14
λ_2	10.68	24.55	70.10	22
λ_3	6.39	30.94	88.35	6
λ_4	2.65	33.59	95.92	106

地质特征,对于初始因子轴采用了正交的方差最大轴旋转,同时按照重新定义的标准方差最大准则,消除旋转产生的误差,因而,这种方法是较为适用的。

表 1 和表 2 分别列出了调查区沉积物粒度成分 Q 型因子分析的特征值 (λ_i) 以及前四个特征值的累积百分数。

从上表可以看出,前四个特征值所代表的方差,已经占总方差的 95.92%,故选出的这四个特征值,对原始数据的拟合程度是好的,它们能够代表整个样品数据的变化,因而将其作为调查区所求的端元原素。

三、典型样品代表的沉积环境及样品分类

通过 Q 型因子分析计算,我们选取了 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 等四个主因素,作为本区典型沉积环境的代表。它们的代表样品分别为 14, 22, 6, 106。其粒度参数见表 3。

表 3 典型样品的粒度参数

样品号 \ 粒度参数	M_z	σ	SK	KG
14	1.500	0.330	-0.020	0.753
22	5.704	1.500	0.290	1.220
6	2.071	0.476	0.100	0.952
106	0.735	0.737	0.044	1.048

样品 14 为中沙,分选极好(按 Folk 分级标准),其中,中沙粒级占总量的 92.4%,其粗沙粒级中含有较多的贝壳碎片。样品为负偏态,峰态值小,位于沿岸沙堤向海坡中部,由于激浪冲流和回流的往复冲刷以及重力作用引起的沙粒在斜坡上的滚动,使沙分选良好。频率分布为单峰曲线(图 2),这是在高能海滩环境下沙的典型粒度分布特征。

样品 22 号为细粉砂质软泥,粗粒级中含有少量贝壳碎屑。样品以粉砂粒级为主,并含有较多的粘细物质,质软且有可塑性,此外,还有生物活动形成的虫孔构造,分选性差,

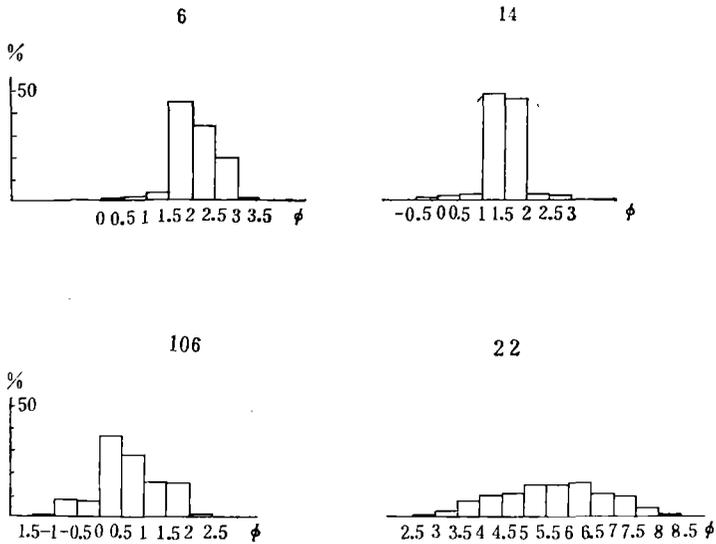


图 2 典型样品粒度频率分布图

正偏态,峰值大,频率分布曲线为多峰型。该样品处于滨外浅海,水深 -6.5 米处。这里海底坡度平缓,水体相对稳定。根据 1971—1974 年的调查结果认为,就全年平均状况而言,本区水深大于 3.5 米的海底泥沙即处于稳定地带。在大风浪期间(平均波高 1.4 米,周期 4.9 秒)海浪作用泥沙的起动临界深度为 -6.5 米^[2],这种海浪在本区的年出现频率小于 10% 。本区实测距海底 2 米的最大潮流流速为 $20-27$ 厘米/秒,按照泥沙的起动流速判断,除大浪期间泥沙被搅动扬起时海流作用明显以外,本区海底泥沙基本上处于稳定状态。此外,在洪水季节,较强的人海径流可能将少量粗粒物质搬运到这里沉积后,因水体稳定而得不到充分分选。所以这里所代表的海水动力因素系较为平静的弱能沉积环境。其沉积作用动力以重力作用为主。

6 号样品为细砂,分选好,正偏态,频率分布曲线为单峰型。该样品位于滨岸沙丘上。风力对于沙有强烈的分选作用,托洛波夫等人曾指出,风速 $4.5-6.7$ 米/秒和 $6.7-8.4$ 米/秒时,分别能够搬运粒径为 0.25 毫米和 0.5 毫米的沙粒。据现场观测资料,全年风速大于 5 米/秒的频率约为 48.5% ,大于 8 米/秒的频率为 20.9% 。在风速大于沙粒起动的临界值时,南部海滩上和北部沿岸沙堤上吹来的细砂,皆被沿岸沙丘上的草本植物阻挡,堆聚一起逐渐增高而成沙丘。因此,这里沙的粒度成分一般比沿岸沙堤细,而且多呈现出正偏态特征,部分样品也有弱负偏态。

106 号样品为粗砂沉积,其中粒径大于 1 毫米的粗粒物质占 13.1% ,其含量和中砂粒级接近,分选中等,频率分布曲线为多峰型。与 14 号样品比较,其平均粒径较粗,分选较差。106 号样品位于沙洲上,处于碎波带范围内。这里水体涡动强烈。由于潮汐涨落,有时淹没于海中,有时则露出水面,经受风力侵蚀。沙洲本身坡度较平缓,故其沉积环境与上述比较,虽有相似而又有不同,可看作沿岸沙堤等沉积环境之间的过渡类型。

以上是 $\lambda_1-\lambda_4$ 所代表的沉积环境。根据这四个特征值,我们可以将调查区的样品分为四类,每个样品所代表的沉积环境的比重可用上述四个主因素的权系数数值表示(表 4)。

根据表 4 的数据, 绘出以下分类图。

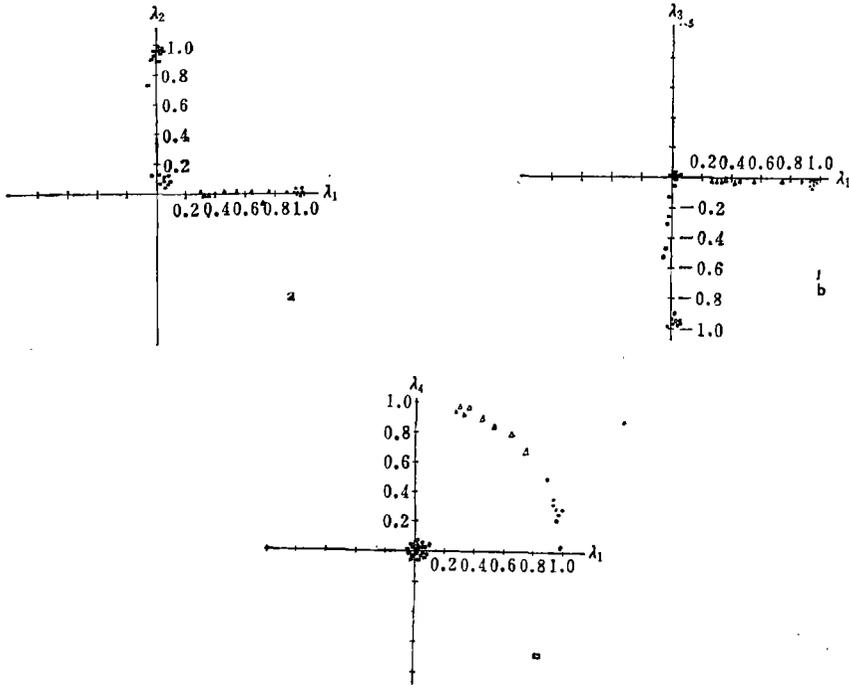


图 3 沉积物按主因素权系数分类

● 沿岸沙堤; ■ 滨岸浅海; ○ 滨岸沙丘; △ 沙洲。

表 4 旋转后的主因素权系数值

样品号	$\lambda_1(13.87)$	$\lambda_2(10.68)$	$\lambda_3(6.39)$	$\lambda_4(2.65)$	样品号	$\lambda_1(13.87)$	$\lambda_2(10.68)$	$\lambda_3(6.39)$	$\lambda_4(2.65)$
	权系数	权系数	权系数	权系数		权系数	权系数	权系数	权系数
4	-0.043	0.746	-0.522	0.019	106	0.295	-0.0004	-0.010	0.952
5	0.082	0.087	-0.987	0.017	107	0.631	0.001	-0.012	0.769
6	-0.004	0.120	-0.990	-0.004	108	0.748	0.001	-0.014	0.660
7	0.037	0.085	-0.989	-0.003	109	0.533	0.0001	-0.015	0.842
8	0.001	0.123	-0.987	0.001	104	0.272	-0.001	-0.010	0.952
9	0.098	0.083	-0.984	0.013	110	0.344	-0.001	-0.012	0.934
10	0.075	0.103	-0.989	0.014	111	0.343	-0.0002	-0.010	0.925
11	0.023	0.079	-0.887	0.006	22	0.002	0.993	-0.049	-0.002
13	0.708	-0.053	-0.516	0.143	24	-0.001	0.966	-0.130	-0.002
19	0.931	0.002	-0.016	0.358	31	-0.019	0.938	-0.258	0.008
18	0.869	0.001	-0.024	0.490	36	0.014	0.985	0.041	-0.007
17	0.970	0.002	-0.021	0.235	38	-0.034	0.798	-0.474	0.018
16	0.966	0.0003	-0.013	0.248	50	0.013	0.979	0.056	-0.008
15	0.970	0.001	-0.026	0.023	52	-0.024	0.922	-0.319	0.010
14	0.970	-0.003	-0.041	0.239	53	0.014	0.977	0.080	-0.008
113	0.951	0.002	-0.018	0.299	62	0.011	0.896	0.009	-0.009
110	0.932	-0.003	-0.064	0.322	65	0.009	0.984	0.029	-0.005
105	0.443	-0.0001	-0.012	0.895					

图 3a 是以 λ_1 和 λ_2 为横、纵坐标轴的样品分类。沿岸沙堤、滨岸浅海和滨岸沙丘的样品,分别集中在横、纵坐标轴的一端及坐标原点附近,而沙洲的样品则沿横轴散布在沿岸沙堤与滨岸沙丘的样品之间。这说明前三种样品中,每个样品均与其典型样品的性质相似,而又分别代表着三种不同的沉积环境;沙洲沙的样品点分散,反映了其所处环境中沉积动力因素的变化较大,呈现出某些沉积环境间的过渡性特征。

图 3b 是以 λ_1 和 λ_3 为横、纵坐标轴分类。沿岸沙堤及滨岸沙丘的样品,分别集中在横、纵坐标轴的端点,而沙洲及滨岸浅海的样品,则散列在横轴上及靠近原点的纵轴上。这种情况除与图 3a 所反映的特点相同外,还表现出在滨岸浅海环境中沉积动力因素也存在一定的差异。

图 3c 是以 λ_1 和 λ_4 为横、纵坐标轴的分类。沿岸沙堤的样品散布在典型样品——14 号样品的周围,而沙洲的样品则从 λ_4 的典型样品——106 号向横轴方向扩散,显示出该样品代表的沉积环境的过渡性特征。滨岸沙丘及滨岸浅海的样品,群集在坐标原点周围,明显地表现出和前两类的区别。

通过上述分析,我们可以将本区样品分为三类,其沉积环境分别为沿岸沙堤、滨岸沙丘和滨岸浅海。据样品点落在图中的坐标位置来看,沙洲沙样品点最分散,其沉积环境为过渡性质,总的趋势倾向于沿岸沙堤,为激浪冲流和回流作用的高能沉积环境,沉积物搬运方式以推移、跃移为主;滨岸沙丘则为滨海风成沙丘沉积环境,沉积物搬运方式与前者相同;滨岸浅海属静水沉积的弱能沉积环境,沉积物搬运以悬移为主。

四、不同沉积环境下的沉积物粒度参数特征

在同一地貌单元上,由于部位不同,其沉积动力条件组合亦有所差异,反映在粒度分布特征上也不尽相同,在某种情况下,粒度参数变化很大。表 5 列出了调查区不同沉积环境条件下沉积物的粒度参数。

表 5 白沙口不同地貌单元上沉积物的粒度参数

地貌 样品 部位 数		M_z		σ		SK		KG	
		平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围
滨岸沙丘	9	1.991	1.916—2.100	0.519	0.462—0.590	+0.082 -0.033	+0.053—0.116 -0.026—0.036	1.075	0.952—1.232
沿岸沙堤	8	1.465	1.327—1.510	0.406	0.316—0.535	-0.145	-0.020—0.343	1.128	0.715—1.609
沙 洲	8	0.824	0.641—1.128	0.736	0.612—0.827	+0.039 -0.118	+0.033—0.044 -0.004—0.307	0.929	0.720—1.126
滨岸浅海	10	5.785	4.626—6.738	1.536	1.048—2.043	+0.274	+0.147—0.393	0.963	0.689—1.248

应当指出,在同一沉积环境中,沉积物的粒度参数有一定的变化是自然的,如果变化幅度太大,则会失去其对于沉积环境的指示意义。为研究粒度参数在某种沉积环境下的变化大小,我们引用变异系数 CV_i 来表示其在同一沉积环境中的相对波动程度。

变异系数 CV_i 定义为: S/\bar{x} 。式中 S 为样本 (指总的样品) 的标准离差, \bar{x} 为样本的均值, 下标 i 为粒度参数类型。

表 6 列出了本区不同沉积环境中样品的 M_z 和 σ 的变异系数。

表 6 不同地貌部位上沉积物样本均值 (M_z) 标准离差 (σ) 的变异系数

滨岸沙丘		沿岸沙堤		沙洲		滨岸浅海	
CV_{M_z}	CV_σ	CV_{M_z}	CV_σ	CV_{M_z}	CV_σ	CV_{M_z}	CV_σ
0.029	0.023	0.047	0.166	0.177	0.059	0.134	0.171

目前我们尚不能提出划分 CV_i 值大小的标准, 只能暂时从其相对大小进行比较。

从表 6 可见, 滨岸沙丘上样本的 CV_{M_z} 和 CV_σ 值均小, 说明其沉积动力因素在这种地貌单元内的变化幅度较小, 因而其粒度参数对于该沉积环境的代表性较强。在沿岸沙堤上, CV_{M_z} 值较小, 而 CV_σ 值较大, 这说明虽然沿岸沙堤的分选性普遍良好, 但其相对变化幅度仍较大, 这可能是由于影响粒度分选作用的某些动力因素在沿岸沙堤的不同部位上分布不平衡所致。沙洲沙的平均粒径值变化较大, 其分选性虽然较差, 但相对变化不大。滨岸浅海沙的平均粒径和标准离差的空间变化都大, 主要因为这个区域包括的范围较广, 条件差异较大。

从 CV_i 的变化情况来看, 研究沉积环境不但不能依据某个粒度参数特征, 而且要对粒度参数进行全面分析, 并结合其他条件综合考虑。

五、沉积物粒度的概率曲线、C-M 图及粒度参数散点图

为进一步研究本区不同沉积环境的沉积物粒度分布特征, 并与 Q 型因子分析方法相对照, 我们选取了目前常用的概率曲线、C-M 图及粒度参数散点图。

1. 粒度概率曲线

从图 4 可以看出, 沿岸沙堤和沙洲沉积物的概率曲线上, 都表现出三个群, 其中跃移群均可分出两个亚群。两类沉积物比较, 沙洲沙较粗, 但其曲线特征相似, 均属海滩沉积环境, 其特征和浙江普陀山海滩、滦河口附近的沙质海滩等地海滩沙的概率曲线特征相似 (图 4b), 都是激浪冲流和回流等所谓双向底流对沉积物反复作用的反映。

在滨岸沙丘的概率曲线上, 跃移群的两个亚群基本合为一个, 显示出一般风成滨岸沙丘典型概率曲线的基本特征。滨岸浅海沙的曲线形态与前者不同, 其中悬移荷载显著增多, 跃移荷载粗端较细, 分选较差。

2. C-M 图

图 5 中我们引用了 C-M 图的某些基本图形, 并在其中投上了调查区样品的数据。可以看出, 本区测点样品组合成为半“S”形, 与基本图形比较, 缺乏 Q-R 和 R-S 段, 不同于河流沉积环境的特点, 但是与其牵引流动力条件又相似, 都落入海湾沉积区和静水沉积区内。上述情况说明, 沿岸沙堤、沙洲沙的搬运方式为滚动和滚动悬浮; 滨岸沙丘样品点落在沿岸沙堤的左下方, 表现出和它们不同的特点; 滨岸浅海沉积物的搬运方式则为均匀

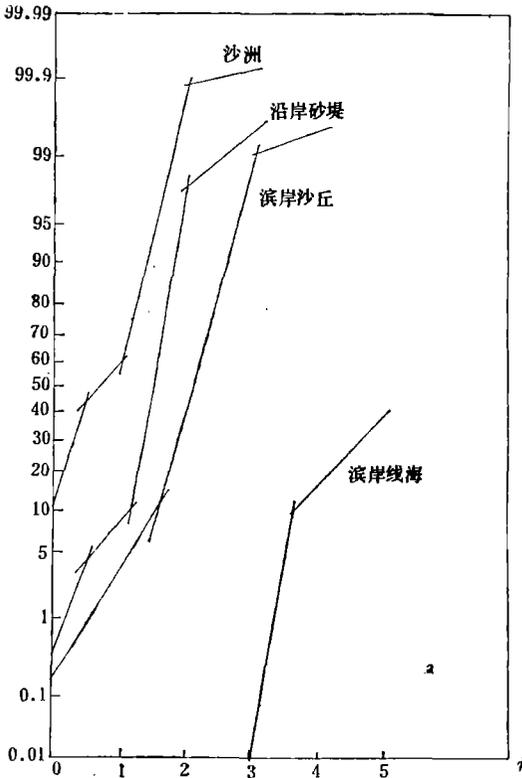


图 4a 白沙口不同沉积环境下
沉积物粒度概率曲线

悬浮。

3. 粒度参数散点图

图 6 绘出了测量样品的粒度参数散点图。在 M_z 对 σ 图中, 沿岸砂堤、沙洲和滨岸沙丘三类样品点的位置相近, 而又自成一类, 相互区别。滨岸浅海样品点散布在

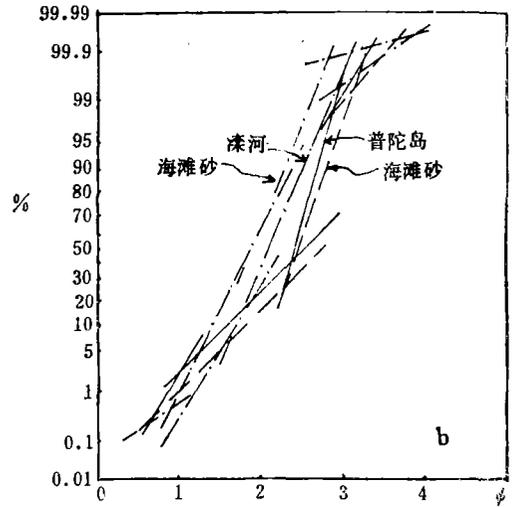


图 4b 溇河、普陀岛
海滩砂概率曲线

(图 4b 摘自李萍等《几种现代沙的概率累积曲线》, 同济大学学报, 1979 年 2 月)

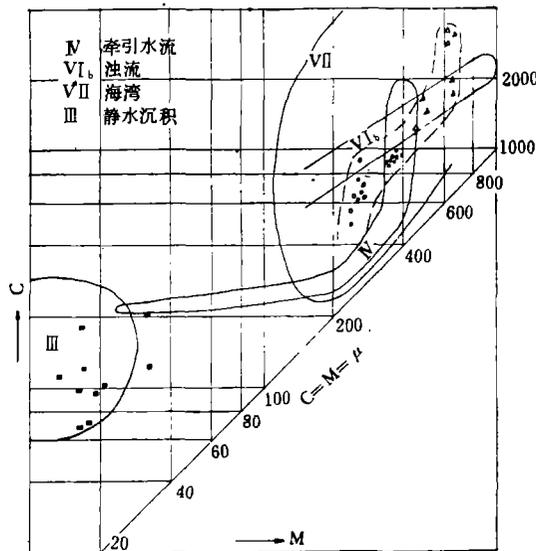


图 5 白沙口海岸带沉积物 C-M 图

● 沿岸砂堤; ■ 滨岸浅海; ○ 滨岸沙丘; △ 沙洲。

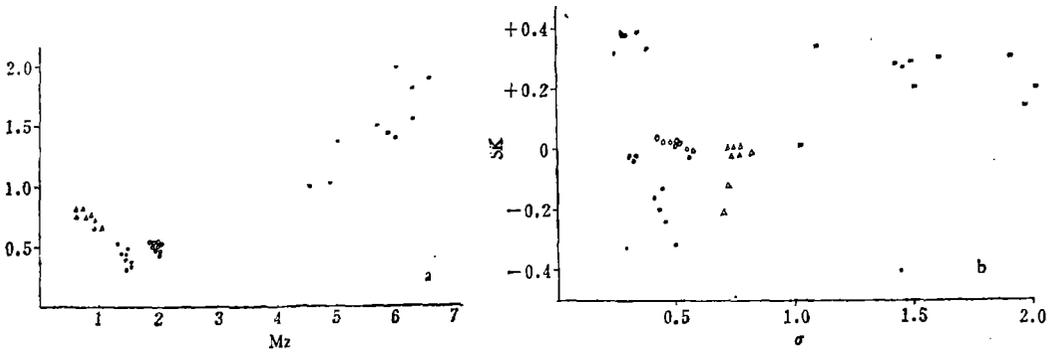


图6 白沙口海岸带沉积物粒度参数散点图

● 沿岸沙堤; ■ 滨岸浅海; ○ 滨岸沙丘; △ 沙洲。

图的右上方, 显示出它与前几类沉积环境的明显不同。在 σ 对 SK 的图中(图 6b), 样品点的分布趋势与图 6a 类似, 但测点较为分散。

以上各种方法, 从不同角度说明了在调查区不同沉积环境下, 沉积物粒度成分的分布特征及沉积搬运方式, 其主要结论和上述 Q 型因子分析是一致的。这些方法各有特点, 若能综合使用, 互相对照, 对研究沉积环境将会获得较好的结果。

六、结 论

1. 在不同的沉积环境中, 由于沉积环境因子的差异, 形成了不同的动力条件组合。在特定的动力条件组合下, 沉积物具有不同的粒度分布特征。因此, 我们有可能根据粒度成分提供的信息, 将它们分成与沉积环境相适应的不同类型。在本调查区内, 我们用 Q 型因子分析法, 分为沿岸沙堤、滨岸沙丘和滨岸浅海等三种沉积环境和沙洲一种过渡性沉积环境。

2. Q 型因子分析应用了粒度分析的全部资料, 而不是少数特征粒级的含量或粒度参数, 它能够较为敏锐的、客观的反映出样品间的差异, 结合使用概率曲线、C-M 图及粒度参数散点图等方法, 更有利于区分在不同沉积环境下, 沉积物的粒度特征及搬运方式, 这对于研究现代沉积环境及推测古代沉积环境都是可行的。

3. 计算粒度参数的变异系数 CV_i , 便于我们了解同一沉积环境内沉积物粒度参数的变化大小, 以便进一步研究不同沉积环境条件下粒度参数的代表性。

4. 某些学者怀疑利用粒度成分研究沉积环境的效果, 他们认为, 不同的沉积动力条件有可能形成同样的粒度分布。笔者认为, 鉴别沉积环境固然不能单纯依靠粒度成分的资料, 但不可否认, 在一定条件下, 粒度成分是搬运营力的函数。搬运营力的性质和大小, 往往能够从粒度成分的特征上敏锐的反映出来。近 20 多年来的大量研究成果表明, 根据粒度成分, 不但可以区分大的沉积环境, 如风成沙、河流沙、海滨沙等, 而且对于区分亚环境, 如滨岸沙丘、沿岸沙堤、海滩等, 也能得出较好的结果。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地质研究所编著, 1977. 数学地质引论. 科学出版社, 第 346—352 页。
- [2] 李凡, 1981. 白沙口海岸带泥沙运动和地貌演变. 海洋科学集刊 **18**: 133—148。
- [3] Friedman, G. M., 1961. Distinction between dune beach and river sands from their textural characteristics. *J. Sed. Petro.* **31**(4): 514—529.
- [4] Klavan, J. E., 1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distribution. *J. Sed. Petro.* **36**(1): 115—125.
- [5] Mason, C. C. and R. L. Folk, 1958. Differentiation of beach, dune, and aeolian flate environment by size analysis, Mustang Island, Texas. *J. Sed. Petro.* **28**(2): 211—226.
- [6] Passaga, R., 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.* **41**: 1952—1984.
- [7] Solohub, J. T. and J. E., Klavan, 1970. Evaluation of grain-size parameters in lacustrine environments. *J. Sed. Petro.* **40**(1): 81—101.

FACTOR ANALYSIS (Q) OF GRAIN SIZE DISTRIBUTION IN THE BAISHAKOU COASTAL ZONE*

Li Fan

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The multivariate statistical technique known as Factor analysis (Q) has been used to study grain-size distributions of sediments and depositional environments in the Baishakou coastal zone. By way of Factor analysis (Q) and calculation, four main factors have been chosen representing near bay dune, longshore bar, off shore, and shoal as four depositional environments, in which the shoal is suggested to be the transitional depositional environments. The detailed descriptions on the characteristics of grain-size parameters and depositional environments have also been discussed. In addition, we cite variational coefficient (CV_1) to measure the change of grain-size parameters of sediments with the same depositional environments.

Because of the Factor analysis using up all informations of grain-size analysis, the Factor analysis will show differentiations in the grain-size distributions of sediments in various depositional environments, therefore it is rather objective in determining depositional environments.

In this paper, probability curves, C-M maps, and scatter plots of these sediments are also been plotted, the results of which are corresponding to this of Factor analysis. It is considered that all these methods have their own advantages in studying the depositional processes. However, it is better to use them synthetically and comparatively to obtain better results.

* Contribution No. 796 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica