

东海沉积物中重矿物组合的统计分析*

陈丽蓉 范守志 毛彦平

(中国科学院海洋研究所)

对东海沉积物中重矿物的组合状态及矿物分区,陈丽蓉等^[1]曾从特征矿物对比的角度加以研究。本文应用数理统计的方法进行了研究,得到了相似的结果。

一、Q 型分析

我们对东海海底表层沉积物中 235 个 0.1—0.25 毫米粒级样品所含的 44 种重矿物的百分含量进行了 Q 型分析。样品的分布范围是 121°—129°E, 26°30'—32°N。

原始资料矩阵是

$$X = (X_{iK})_{N \times M}$$

其中 X_{iK} 是第 i 个样品中第 K 种重矿物的百分含量。 $N = 235$, $M = 44$ 。

依 A-B 相关法^[3],用 DJS-6 型电子计算机从各个

$$Q_{i,j} = \frac{\sum_{K=1}^M X_{iK} X_{jK}}{\sqrt{\sum_{K=1}^M X_{iK}^2} \cdot \sqrt{\sum_{K=1}^M X_{jK}^2}}$$

($i, j = 1, 2, \dots, N$)

中挑出一个最小的 Q 因子

$$Q_{A,B} = \min[Q_{i,j}],$$

从而产生出一对端元样品 A 和 B, 结果是

$$A = 233 (127^\circ 31'E, 27^\circ 28.2'N),$$

$$B = 216 (121^\circ 30'E, 26^\circ 30'N).$$

又依下式¹⁾

$$\cos^{-1}Q_{A,C} + \cos^{-1}Q_{B,C} = \max[\cos^{-1}Q_{A,i} + \cos^{-1}Q_{B,i}]$$

从其余各站中产生第三个端元样品 C, 结果是

$$C = 10 (125^\circ 45'E, 31^\circ 45'N).$$

将各站的 $Q_{A,i}$, $Q_{B,i}$ 及 $Q_{C,i}$ 值分别标在三张站位图上。

图 1 是 $Q_{A,i}$ 图。端元站位 A 位于冲绳海槽中。那里辉石类和磁铁矿的含量很高,在 44 种重矿物中所占的百分含量各为 85.6% 和 9.4% (见表 1)。图中 A_1A_2 线以东的九个站

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 677 号。我所徐文强、申顺喜及计算机组全体同志给予许多帮助,李清同志绘图,谨致谢意。

收稿日期: 1981 年 3 月 2 日。

1) 范守志、毛彦平。多端元模式下的 ABC 端元。

位的 $Q_{A,i}$ 值都很大,平均值达到 0.75。从 A_1A_2 线向西, $Q_{A,i}$ 值迅速降低,在冲绳海槽的西缘,水深 200 米一带, $Q_{A,i}$ 值已降到 0.05 左右。再向西,直到岸边的广大地区中的 225 个站位的 $Q_{A,i}$ 值均保持为低值,在 0.05 附近细微变动;尤以 B 站 (216 站) 及钱塘江口 209 站 ($121^{\circ}30'E$, $30^{\circ}30'N$) 的 $Q_{A,i}$ 值最低,

$$Q_{233,216} \approx Q_{233,209} \approx 0.0008.$$

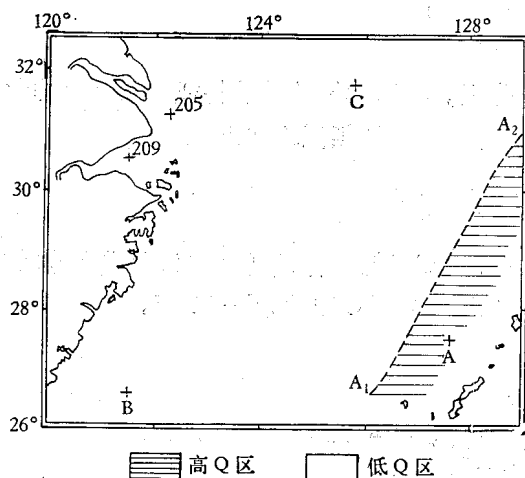
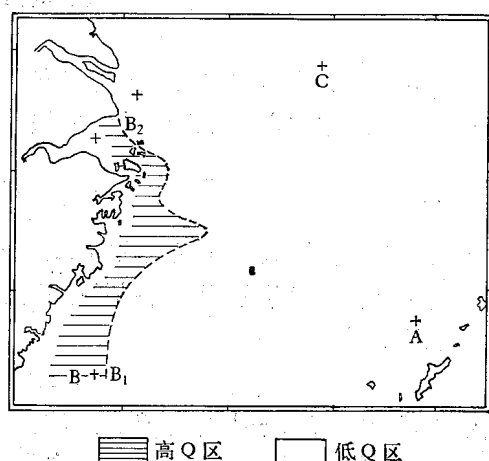
图1 $Q_{A,i}$ 图图2 $Q_{B,i}$ 图

表1 端元站位矿物组分摘要

矿种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
站位号	角闪石	绿帘石	紫苏辉石 透辉石 辉石	白云母 黑云母 绿泥石	十字石 红柱石 蓝晶石	石榴石	磁铁矿	钛铁矿	白云石	橄榄石
233 (A 端元)	0.9		85.6				9.4		1.5	
216 (B 端元)	1.5	0.9		95.4					1.2	
10 (C 端元)	20.2	26.0	1.7	0.9		8.4	0.9	30.2	0.9	
209 (杭州湾)				95.9				1.0	2.1	
205 (长江口)	37.9	19.7	1.7	12.0	0.3	1.1	0.3	1.7	18.8	

这样,由 Q 因子的涵义得知, A_1A_2 线以西的广大地区的重矿物组成状态与 A 站完全不同。 A_1A_2 线以东的地区可划为一个矿物区,称为 A 区,是冲绳海槽矿物区。

如果以海槽西缘的 200 米等深线作为本区的西部边界,那么本区就包括一个向大陆架浅水区迅速过渡的海槽西坡带(但限于站位稀疏,不再细分)。

图 2 是 $Q_{B,i}$ 图。 B_1B_2 线以西的 21 个站位有较高的 $Q_{B,i}$ 值,平均值为 0.67; 其余地区的 214 个站位的 $Q_{B,i}$ 值绝大多数低于 0.30。 B_1B_2 线以西(包括杭州湾在内)构成一个矿物区,称为 B 区,是西部矿物区。 但该区各站的 $Q_{B,i}$ 值并不整齐,从 0.40 到 1.00 都有,并且排列杂乱。 杭州湾内各站位的 $Q_{B,i}$ 值最高;而在舟山群岛以南的开阔沿海地带,

有些站位的 $Q_{B,i}$ 值并不十分高。B 区内这种 Q 值参差不齐的统计特征与渤海莱州湾矿物区的情况十分相似^[2]。莱州湾由于云母含量高而且变化幅度大,因而造成湾内各站的 Q 值出现明显的差异。这里,B 站位的特征正是云母类、绿泥石等片状矿物的含量特高(表 1),区内各站也均以云母和绿泥石含量高、变化幅度大为特征。区内那些 $Q_{B,i}$ 值并不十分高的站位,云母及绿泥石的含量的确较低,而且又含有相当数量的白云石或角闪石。白云石、角闪石则是长江物质中含量丰富的矿种(见表 1, 205 站)。由此可知,西部矿物区的特征矿物组分是云母、绿泥石和白云石,它的 Q 值统计特征是参差不齐。

图 3 是 $Q_{209,i}$ 图。它和图 2 结果一致。

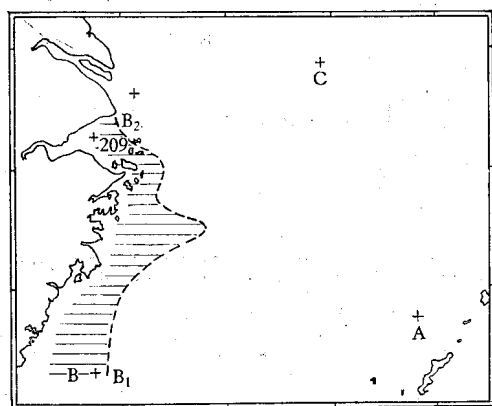


图 3 $Q_{209,i}$ 图

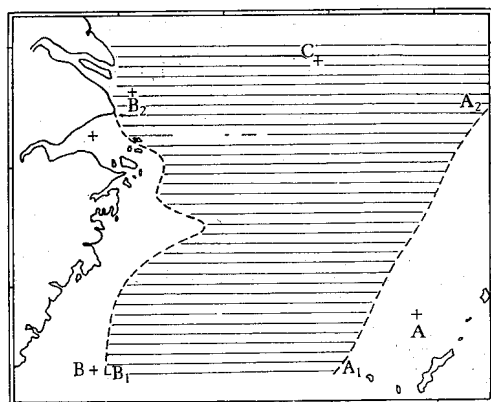


图 4 $Q_{C,i}$ 图

图 4 是 $Q_{C,i}$ 图,依 $Q_{C,i}$ 值的高低很容易在站位图上作出在图 1 和图 2 中分别出现的分界线 A_1A_2 和 B_1B_2 ,并没有产生新的分界线。在 B_1B_2 线以东、 A_1A_2 线以西的广大地区,包括长江口在内,共有 193 个站位,它们的 $Q_{C,i}$ 值高而且稳定,平均值为 0.66。而在 A_1A_2 线以东 $Q_{C,i}$ 值低至平均只有 0.07,在 B 区中 $Q_{C,i}$ 的平均值也只有 0.19。

图 4 中 Q 值高的地区构成了一个 C 区,称为长江口-中部矿物区。但是,本区中仅有少数站位的 $Q_{C,i}$ 值高达 0.90,绝大多数站位的 $Q_{C,i}$ 值在 0.55—0.75 之间。因此,这里的 C 站作为 Q 型分析中的第三端元虽然可有效地用于分区,但按 Q 因子的涵义,还不适宜作为本区绝大多数站位的代表。

根据研究海区的地理特征,我们又选取本区中长江口外的 205 站 ($122^{\circ}15'E$, $31^{\circ}15'N$) 作为参比站位标绘出 $Q_{205,i}$ 图(图 5)。结果又获得了相同的分界线 A_1A_2 和 B_1B_2 。但是区内 193 个站的 $Q_{205,i}$ 值不仅又高又整齐,而且绝大部分 (150 个) 高于 0.90, 低于 0.80 的只有七站, 0.80 至 0.90 者有 36 站。由此可见,这个面积广阔的矿物区中的重矿物百分组成与现代长江口的沉积物是极为相似的。表 1 说明该区的矿物组合特征是富含角闪石、绿帘石,并且矿种较多。

综上所述,利用 Q 因子作为数值指标,整个研究海区分成了 A, B, C 三区(图 6)。各区的特征矿物组合可由相应的端元样品说明(表 1)。

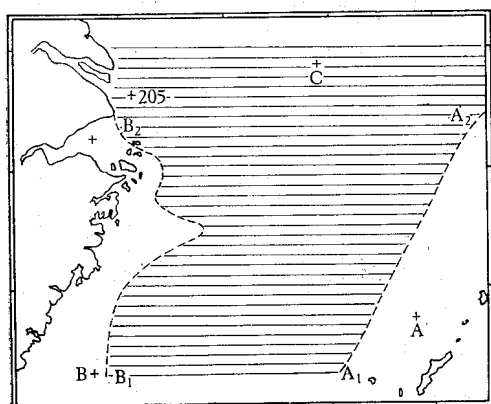


图 5 $Q_{205,i}$ 图

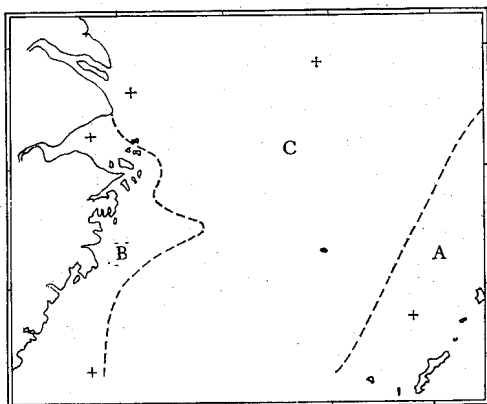


图 6 矿物分区图

二、R 型分析

我们还对所述 235 个站位中含量较高的十种重矿物在本区的分布态势进行了 R 型分析。

资料矩阵是

$$X = (X_{iK})_{N \times M}$$

这里, $N = 235$, $M = 10$.

这十个矿种的编号见表 1。

第 i, j 两个矿种在分布态势上的相关程度由它们之间的相关系数来度量:

$$r_{i,j} = \frac{\sum_{K=1}^N (X_{Ki} - \bar{X}_i)(X_{Kj} - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{K=1}^N (X_{Ki} - \bar{X}_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{K=1}^N (X_{Kj} - \bar{X}_j)^2}}$$

其中

$$\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N X_{Ki}, \quad \bar{X}_j = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N X_{Kj}.$$

各为第 i, j 种矿物的百分含量在全区的平均值。

计算结果见表 2。

应用 A-B 相关法于 r 因子 (r 因子实际上是矩阵 X 的“剩余”列向量之间的 Q 因子), 得到端元矿种 $A = 1$ (角闪石), $B = 4$ (云母等), $C = 3$ (辉石类)。

表 2 说明, 矿种 4 仅与矿种 9 是正相关; 矿种 3 仅与矿种 7 有正相关; 而矿种 1, 2, 5, 6, 8, 10 之间存在正相关。最明显的负相关存在于 1 与 4, 2 与 4, 1 与 3, 1 与 7 和 2 与 9 之间。

利用紧邻联结的一次成群法^[4]可由表 2 绘出矿种群分枝状图(图 7)。

表 2 十个矿种分布态势相关系数方阵

矿种 矿种	角闪石 1	绿帘石 2	辉石类 3	云母及 绿泥石 4	十字石等 5	柘榴石 6	磁铁矿 7	钛铁矿 8	白云石 9	橄榄石 10
1	1.00	0.53	-0.38	-0.61	0.31	0.22	-0.39	0.02	-0.12	0.04
2	0.53	1.00	-0.26	-0.58	0.42	0.57	-0.23	0.30	-0.40	0.11
3	-0.38	-0.26	1.00	-0.18	-0.15	-0.12	0.86	-0.10	-0.16	-0.02
4	-0.61	-0.58	-0.18	1.00	-0.31	-0.39	-0.14	-0.28	0.17	-0.08
5	0.31	0.42	-0.15	-0.31	1.00	0.35	-0.17	0.12	-0.31	0.13
6	0.22	0.57	-0.12	-0.39	0.35	1.00	-0.11	0.57	-0.41	0.09
7	-0.39	-0.23	0.86	-0.14	-0.17	-0.11	1.00	-0.04	-0.13	-0.04
8	0.02	0.30	-0.10	-0.28	0.12	0.57	-0.04	1.00	-0.24	0.08
9	-0.12	-0.40	-0.16	0.17	-0.31	-0.41	-0.13	-0.24	1.00	-0.10
10	0.04	0.11	-0.02	-0.08	0.13	0.09	-0.04	0.08	-0.10	1.00

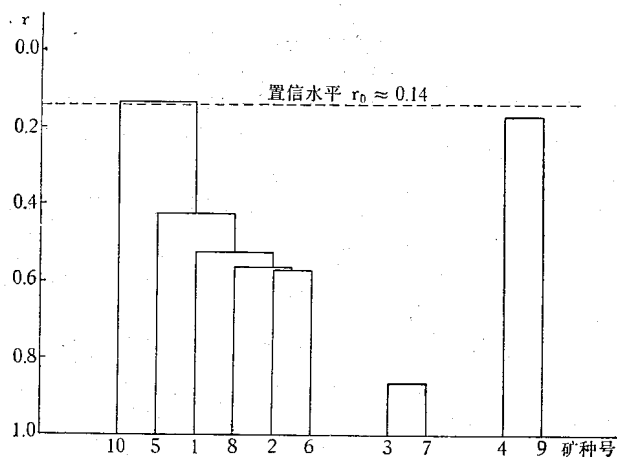


图 7 东海十种重矿物群分枝状图

该图清楚地显示出三群。各群之间不再联结，因为它们之间互为负相关，已如上述。其中，A群由3—7组成，是辉石类-磁铁矿组合；B群是4—9组合，即云母类、绿泥石-白云石组合（但组合并不紧密，因相关系数值 $r_{4,9} = 0.17$ ，刚刚在置信水平 $r_0 \approx 0.14$ 之内）；C群含有多个矿种，1, 2, 6, 8和5是其基本组合，矿种10（橄榄石）实际上与C群仅有微弱的正相关。

对比图7和表1可知，这里的A、B和C三群正是前述三个矿物区的特征矿物组合。此外，原始资料表明，橄榄石仅出现在长江口-中部矿物区的少数站位。陈丽蓉等^[1]曾按橄榄石的分布又细划出一个虎皮礁矿物区，但它只是长江口-中部矿物区中的一个亚区。

综上所述，Q型和R型统计分析均得出了与文献[1]相同的结论。

各区的地质意义已有专述^[1]，这里不再重复。

参 考 文 献

- [1] 陈丽蓉等, 1979. 东海沉积物的矿物组合及其分布特征. 科学通报 **79** (15): 709—712.
[2] 陈丽蓉、范守志, 1981. 渤海沉积物中矿物组合的统计分析. 海洋与湖沼 **12** (3): 235—239.
[3] 范守志, 1979. 应用 Q 因子进行样品分类的 $A-B$ 相关法. 海洋与湖沼 **10** (4): 319—328.
[4] 中国科学院地质研究所, 1977. 数学地质引论. 地质出版社, 64—103 页.

THE STATISTICAL ANALYSIS OF THE HEAVY MINERAL ASSEMBLAGE IN THE SEDIMENTS OF THE EAST CHINA SEA*

Chen Lirong Fan Shouzhi Mao Yanping

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The heavy mineral content data of 235 bottom-surface sediment samples collected from the East China Sea were subjected to statistical analysis by means of the Q -model and R -model. As a result of the Q -model analysis, the area investigated may be divided into 3 mineral provinces: A — the Okinawa Trough mineral province of pyroxene and magnetite; B — the western mineral province of mica, chlorite and dolomite; C — the mouth of the Changjiang River and the middle mineral province of hornblende and epidote.

On the other hand, the results of the R -model analysis indicated that the 10 heavy minerals of the area investigated may be divided into 3 mineral groups: A — pyroxene and magnetite; B — mica, chlorite and dolomite; C — hornblende, epidote, granet, ilmenite, staurolite etc.. These three mineral groups are similar to the characteristic mineral assemblages of the A , B and C end-members produced by Q -model analysis, respectively.

The results of this paper are similar to those obtained in the former paper^[1] using characteristic minerals as a basis for delineation of mineral provinces.

*Contribution No. 677 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.