

渤海沉积物地球化学分区的模糊分析*

刘彬昌 卢中发 张守法

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

渤海是一个三面环陆的半封闭式内陆浅海, 流入本海区的主要河流有黄河、海河、滦河和辽河等。由于它们来自广大的内陆不同区域, 携带入海物质各有差异, 在运移和扩散等相互作用中形成了较为复杂的沉积体系。因此借助一般经典方法定量地分区与分析较困难。鉴于应用模糊数学的原理与方法分析海洋、地质等现象是可行的^[3-5,7], 因此我们试图从地球化学角度, 采用 PFS 模糊聚类与模型识别贴近度分析方法, 进行多元组分的综合研究。

一、沉积物模糊分析方法

1. PFS 模糊聚类法

参照文献^[3,4,7], 对渤海湾沉积物(1983—1988年)进行地球化学分区。具体步骤简述如下:

设 $X = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m\}$ 为沉积物的样品集, 其中 $\bar{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})^T \in R^n$ ($i \leq m$), 而 x_{ij} ($i \leq m, j \leq n$) 为样品集的地球化学指标(为了方便起见, 记号 $i \leq m$, 表示 $i = 1, 2, \dots, m$ 。以下记号 $j \leq n, t \leq k$ 等类同)。

(1) 对样品集进行标准化和加权处理 令

$$a_j = \bar{y}_j / \sum_{i=1}^n \bar{y}_i, z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{y}_j}{\sigma_j}, x'_{ij} = z_{ij} \times a_j \quad (i \leq m, j \leq n).$$

这里 \bar{y}_j, σ_j 分别为第 j 项指标的平均值和均方差。

(2) 给定类数 k 的取值范围 k 的取值范围设定为 $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ (一般 $k_{\min} \geq 2, k_{\max} \leq m - 1$)。

(3) 确定初始划分 任给初始划分 $A = (\mu_{it}^0)_{m \times k} \in M_{fk}$, 它可为任意的软划分或硬划分。选取 $\varepsilon = 10^{-3}$ 为迭代精度。

(4) 计算聚类中心 令 $\bar{v}'_t = \sum_{i=1}^m (\mu_{it}^0)^\alpha \bar{x}'_i / \sum_{i=1}^m (\mu_{it}^0)^\alpha$, ($t \leq k$) 取 $\alpha = 2$, 可使

划分方案得到局部最优解。

(5) 修改 Fuzzy 划分 由计算出的聚类中心将 Fuzzy 划分 A 修改成

$$A^* = (\mu_{it}^*)_{m \times k},$$

其中

* 国家海洋局海洋图集课题。
接受日期: 1991年3月20日。

$$\mu_{it}^* = 1 / \sum_{i=1}^k \left(\frac{d_{it}}{d_{i1}} \right)^{2/\alpha-1}, \quad d_{it}^2 = (\bar{x}'_i - \bar{v}'_i)^T (\bar{x}'_i - \bar{v}'_i), \quad (i \leq m, t \leq k).$$

(6) 判断精度要求 若 $|\mu_{it}^* - \mu_{it}^0| < \varepsilon$, ($i \leq m, t \leq k$), 则 μ_{it}^* 即为所求。否则返回 3, 用 μ_{it}^* 替换 μ_{it}^0 并重复步骤 3—6, 直到 $|\mu_{it}^{(l)} - \mu_{it}^{(l-1)}| < \varepsilon$ 为止。式中 $\varepsilon = 10^{-3}$ 为迭代精度; l 为迭代次数。

(7) 确定最佳分类数 设 S_{BF}^n, S_{WF}^n 分别为 Fuzzy 类间散布矩阵与 Fuzzy 类内散布矩阵, 其表达式为:

$$S_{BF}^n = \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^m (\mu'_{it})^\alpha \bar{v}'_i \bar{v}'_i{}^T, \quad S_{WF}^n = \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^m (\mu'_{it})^\alpha (\bar{x}'_i - \bar{v}'_i) (\bar{x}'_i - \bar{v}'_i)^T$$

计算 S_{BF}^n, S_{WF}^n 的迹及 Fuzzy 伪统计比率:

$$F-PFS = T_r(S_{BF}^n) / T_r(S_{WF}^n) \cdot (m-k) / (k-1)$$

当 $k \rightarrow k+1$ 时, 如 $k \leq k_{\max}$, 则返回步骤 2, 否则往下执行, 以最大 $F-PFS$ 值所对应的 k_{\max} 作为最佳分类数。

(8) 还原聚类中心 利用还原变换公式求出所需要的聚类中心:

$$v_{ij} = v'_{ij} \times \frac{\sigma_j}{a_j} + \bar{y}_j, \quad (t \leq k, j \leq n).$$

2. 贴近度方法

设渤海地球化学分区的最佳分类为 k , 两种不同类型分区 w_i 与 w_j ($i, j \leq k$) 间的接近程度用下述贴近度来表征^[4]:

设 w_i, w_j 的模式样本数分别为 $\alpha_0, \beta_0 \leq k$, 令

$$w_i = \bigcup_{\alpha=1}^{\alpha_0} A_{i\alpha}, \quad w_j = \bigcup_{\beta=1}^{\beta_0} A_{j\beta}$$

其相应的隶属函数分别为:

$$\mu_{w_i}(\bar{x}_\rho) = \bigvee_{1 \leq \alpha \leq \alpha_0} \mu_{A_{i\alpha}}(\bar{x}_\rho), \quad \mu_{w_j}(\bar{x}_\rho) = \bigvee_{1 \leq \beta \leq \beta_0} \mu_{A_{j\beta}}(\bar{x}_\rho)$$

(1) L-贴近度 (Hamming 贴近度)

$$M_L(w_i, w_j) = 1 - \frac{1}{m} \sum_{\rho=1}^m |\mu_{w_i}(\bar{x}_\rho) - \mu_{w_j}(\bar{x}_\rho)|$$

(2) W-贴近度

$$M_W(w_i, w_j) = 1 - \frac{1}{m \ln \left(1 + \frac{m}{2} \right)} \cdot \sum_{\rho=1}^m |\mu_{w_i}(\bar{x}_\rho) - \mu_{w_j}(\bar{x}_\rho)| \\ \cdot \ln \left(1 + \sum_{\rho=1}^m |\mu_{w_i}(\bar{x}_\rho) - \mu_{w_j}(\bar{x}_\rho)| \right)$$

二、结果与讨论

用表层沉积物中的 $P_2O_5, CaO, MnO, Fe_2O_3, CaCO_3$, 有机质和全氮 (Nt) 等多种化学成分的含量, 经上述步骤运算, 得出 $F-PFS$ 最大值所对应的 k_{\max} 作为最佳分区数 (图 1)

以及分区中各指标的特征值(表 1)。

I 区为各化学成分的低含量分布区。它大致处在北纬 $38^{\circ}0'$ — $40^{\circ}30'$ 和东经 120° 以东较广的海域和滦河口的近岸区。它与以往 MgO 含量 $< 2 \times 10^{-2}$ 和 $Fe_2O_3 < 3 \times 10^{-2}$ 低值分布范围相吻合^[1,3]。这种分布特点与所处的地理位置和沉积类型息息相关。该区是黄海暖流余脉北支沿辽东湾东岸北上的必经之地。东部没有大的河流入海,陆源物质影响小^[1],岸边多为基岩,海蚀作用弱,水中悬浮物含量低;同时又是进入渤海海水和黄海传来潮波的主要通道,水动力强,受外来水的影响大。据以往的实测资料,位于该区南部渤海最大的残留沉积底层流速 $> 30\text{cm/s}$,涨潮时最大流速可达 100cm/s ,使一些物质不能沉积而被潮、流带走,沉积物粗化。而流入该区的复州河、六股河和滦河,汛期流量增大,沙、砾等俱倾泻入海,入海后动能骤然减小,大部分粗粒径的砂质沉积物堆积在河口及其附近海区。粗粒径的沉积物透气性好,氧化作用强 (Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值平均为 1.35,是三个区中最高的,有的站位竟高达 5 以上),使一些成分氧化分解后含量变低。形成 I 区 $CaCO_3$ 含量低的原因有二:一是流入该区河流本身携带 $CaCO_3$ 成分少,如滦河河床沉积物所含 $CaCO_3$ 为 1.38×10^{-2} ,其冲积三角洲平原有的站位低于检出限^[2];二是受 $CaCO_3$ 含量高的黄河入海物质影响小。依据控制粒度分异作用的主导因素水动力衡量,渤海海峡、辽东湾中部和滦河口区正是海流和岸流作用强、波浪和潮汐很活跃的地区。因此,水动力强和沉积物粗化,是造成所测成分含量低的主要原因。

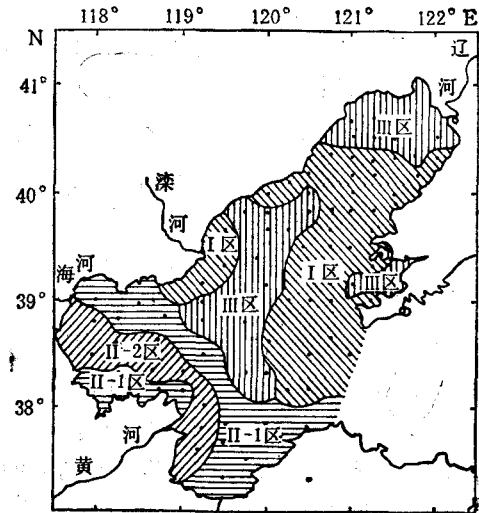


图 1 渤海沉积物的地球化学分区
Fig. 1 Geochemical divisions of surface sediments collected from the Bohai Sea

表 1 渤海沉积物地球化学分区中多指标的特征值

Tab. 1 Characteristic values of each indicator in geochemical divisions of surface sediments collected from the Bohai Sea

代表成分	I	II		III
		II-1	II-2	
P_2O_5	0.12	0.15	0.16	0.16
MnO	0.07	0.09	0.10	0.10
CaO	0.84	2.85	4.15	0.96
MgO	1.48	2.20	3.08	2.49
Fe_2O_3	3.44	3.85	5.29	5.30
$CaCO_3$	3.32	8.84	13.08	4.37
Org.	0.65	0.64	0.82	1.12
Nt	0.03	0.03	0.05	0.06

II 区通常是高含量化学成分分布区。该区低于河北省大清河口至山东蓬莱阁连线以南的海区, 主要包括渤海湾和莱州湾。这里是黄河和海河入海物质的主要堆积区和扩散区。它的分布范围与 CaCO_3 含量 $>5 \times 10^{-2}$ 的区域一致^[6]。II 区又可分成大致呈东西走向的两个亚区, 即 II-1 区和 II-2 区。II-2 区位于 II-1 区的中间(图 1), 是黄河和海河入海物质的直接作用区。它的 CaCO_3 , CaO , MgO 含量最高; 其次是 Fe_2O_3 , P_2O_5 和 MnO , 尤其是 CaCO_3 , 平均含量 $>13 \times 10^{-2}$ 。II-1 区位于 II-2 区的两侧, 其北部受到黄河、海河携带入海物质和渤海中央水的影响; 南部近岸区既受到上述两大河流影响, 又加入了沿岸众多河流对该区物质的输送, 在它们的相互影响共同作用下, 使一些化学成分不及 II-2 区高, 但有些成分接近 II-2 区。尤其是 CaCO_3 , 其含量为 9×10^{-2} 左右, 仅次于 II-2 区, 是 I 区和 III 区的 2—3 倍。由于水体混浊对光线照射的影响, 使浮游生物的生长受到限制, 而浮游生物的生长活动及其遗体和残骸又是沉积物中有机成分的重要来源, 这使与此有关的有机质和全氮含量变低。根据 L-贴近度和 W-贴近度的分析(表 2), 除了各类与其自身最为贴近具有最大的贴近度外, II-1 和 II-2 区贴近度为最高(L-贴近度为 0.76, W-贴近度为 0.95), 因而将 II-1 和 II-2 同归一区(II 区), 不论从地理位置或河流影响都是符合实际的。

表 2 渤海沉积物地球化学分区间的贴近度

Tab. 2 Propinquities between geochemical divisions of surface sediments collected from the Bohai Sea

	I	II		III
		II-1	II-2	
I	1.00/1.00	0.86/0.49	0.87/0.50	0.86/0.48
II-1	0.86 ^① /0.49 ^②	1.00/1.00	0.95/0.76	0.92/0.68
II-2	0.87/0.50	0.95/0.76	1.00/1.00	0.92/0.68
III	0.86/0.48	0.92/0.68	0.92/0.68	1.00/1.00

① 为 W-贴近度; ② 为 L-贴近度。

III 区为有机质和全氮的高含量分布区。它位于辽东湾北部、渤海中部及金州湾地区。渤海中部区, 水较深(20—25m), 是处在与岸流和黄海水团作用边缘。黄河、海河和辽河携带细颗粒物随海流和潮流向远处扩散影响该区, 形成细的沉积类型。辽河、大凌河入海物质主要堆积扩散在北纬 $40^{\circ}20'$ 向北辽东湾北部近岸浅水区, 形成粉砂质泥的细粒沉积。细粒沉积物透气性差, 氧化作用弱, 成为较弱的还原环境(该区 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 为 0.92, 是 3 个区中最低的), 使得有机质、全氮等成分得以保存, 而出现本区这些成分明显高的特点。Fe, Mn, P 含量高是陆地岩石风化破坏所致, 其所含 Fe, Mn, P 元素部分进入水体, 被水中粘土矿物胶体吸附呈悬浮体搬运, 与有机物等其它细颗粒物一起沉积在水动力相对稳定的细粒沉积区, 形成相应成分的较高含量。

把上述各分区测定成分的统计结果(表 3), 与由聚类中心得出的结果(表 1)进行比较, 两者基本一致, 说明应用模糊数学的原理与方法, 定量地研究多元组分沉积体系是可行的。

表 3 不同地球化学分区中各化学成分的百分含量

Tab. 3 Contents of each chemical compositions in different geochemical divisions

化学成分	I (n = 35) ^{a)}		II				III (n = 22)	
			II-1 (n = 14)		II-2 (n = 9)			
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
P ₂ O ₅	0.068—0.273	0.124	0.106—0.173	0.142	0.104—0.208	0.165	0.094—0.237	0.155
MnO	0.034—0.237	0.073	0.061—0.152	0.082	0.081—0.120	1.00	0.061—0.149	0.097
CaO	0.33—2.30	0.86	2.30—3.82	2.95	3.39—5.70	4.23	0.35—1.96	1.02
MgO	0.80—1.89	1.47	1.84—2.08	2.29	2.87—3.54	3.15	1.89—3.30	2.51
Fe ₂ O ₃	2.21—4.13	3.42	3.47—5.22	4.06	4.82—6.28	5.36	4.44—6.26	5.28
CaCO ₃	1.67—5.48	3.35	7.10—10.60	9.15	11.31—15.85	13.37	3.27—7.39	4.55
Org _s	0.31—1.14	0.64	0.32—1.80	0.77	0.44—1.24	0.83	0.57—1.70	1.11
Nt	0.014—0.046	0.033	0.015—0.071	0.039	0.038—0.067	0.051	0.016—0.091	0.061

a) 括弧内为样品数。

三、小 结

1. 本文采用 PFS 模糊聚类及模型识别贴近度的分析方法进行渤海沉积物划区, 消除单元指标错误引起的误差。文中划分三个大的地球化学分区的一些特征值, 与统计结果对照是符合的。因此本法能较客观的、综合性的反映沉积环境状况。

2. 分析划出的地球化学分区, 是多种成分的综合结果, 对某区内的个别成分来说, 可以存在微小差异, 但这一不同是指某个单一成分在不同区内数值接近的情况下产生的, 它并不影响对分区基本特征的分析。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院海洋研究所, 1985, 渤海地质, 科学出版社, 119—133。
- [2] 刘彬昌等, 1990, 现代滦河口沉积化学特征, 海洋通报, 9(3): 75—83。
- [3] 卢中发, 1989, 模糊目标函数聚类算法及其在东海黑潮水团分析中的应用, 海洋学报, 11(3): 265—274。
- [4] 卢中发, 苏育嵩, 1992, 对马暖流水起源的模糊分析, 海洋学报, 14(1): 11—20。
- [5] 朱政嘉, 1982, 模糊 K-均值聚类法在地质数学中的应用, 长春地质学院学报, 2: 152—160。
- [6] 海洋图集编委会, 1990, 渤海、黄海、东海海洋图集, 海洋出版社, 38—49。
- [7] Lu Zhongfa, 1990, Fuzzy sets study of water mass mixing in the source region of the Tsushima warm current, J. Chin. Oceanol. Limnol., 8(4): 336—347。

FUZZY ANALYSIS OF GEOCHEMICAL DIVISIONS IN SEDIMENTS COLLECTED FROM THE BOHAI SEA

Liu Binchang, Lu Zhongfa and Zhang Shoufa

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003)

ABSTRACT

The PFS-fuzzy clustering and model pressing methods were used for geochemical divisions and analysis of surface sediments collected from the Bohai Sea. Comparison of the obtained characteristic values in three large geochemical regions with actual statistical data showing that they are almost identical proved that fuzzy mathematics is a useful method for quantitative studies of polybasic sediment bodies.