

黄海沉积物地球化学分析*

赵一阳

喻德科

(中国科学院海洋研究所)

(中国科学院兰州地质研究所)

海洋沉积物地球化学研究,国外学者以往多集中于深海大洋;近年已逐渐对大陆架浅海引起注目。黄海是一个有代表性的半封闭型的陆架浅海,查明其地球化学特征将具有一定的意义。

我们对比较均匀分布的62个表层沉积物样品进行了12种化学元素的分析,这些元素是Fe, Mn, Ti, P, Si, Cu, Co, Ni, Zn, Cr, Li和V。Fe, Mn, Ti, P采用分光光度法测定;Cu, Co, Ni, Zn, Cr, Li采用原子吸收分光光度法测定;V采用发射光谱法测定;Si采用经典的重量法测定。

本文所涉及的范围为32°30'N以北、124°E以西的黄海海域。

一、元素的丰度特征

沉积物中化学元素的丰度特征是沉积物地球化学最基本的特征之一。现将黄海沉积物的元素丰度列表如下:

表1 黄海沉积物的元素丰度

| 元 素 | 样 品 数 | 含 量 范 围 | 丰 度 |
|-----|-------|-------------|-------|
| Fe | 62 | 1.33—4.45 | 3.06 |
| Mn | 62 | 0.018—0.24 | 0.082 |
| Ti | 62 | 0.12—0.78 | 0.33 |
| P | 62 | 0.021—0.071 | 0.048 |
| Si | 20 | 26.77—37.89 | 31.36 |
| Cu | 62 | 5—28 | 18 |
| Co | 62 | 6—20 | 13 |
| Ni | 62 | 7—43 | 24 |
| Zn | 62 | 26—146 | 64 |
| Cr | 62 | 15—95 | 53 |
| Li | 62 | 8—65 | 32 |
| V | 62 | 41—230 | 120 |

为了同其他海区、地壳、大陆岩石、大洋沉积物作比较,我们把有关元素的丰度列入表2。由该表不难看出黄海沉积物元素的丰度具有以下几点特征:

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第878号。

参加工作的还有中国科学院海洋研究所的车承惠、夏青、杨惠兰、贾凤梅同志和兰州地质研究所的周泽、耿桂元、毛晓岫、王懿同志。

收稿日期:1981年9月1日。

1. 就中国海而论, 黄海大部分元素的丰度与其他海区均无显著的变化, 只在个别元素上稍有高低之分, 如黄海大陆架的 Mn 稍高于东海大陆架就是一例。

2. 与世界其他海区相比, 黄海元素之丰度同许多陆架浅海的丰度基本相当。

3. 与大陆岩石和大洋沉积物相比, 对于那些在大陆和大洋之间存在明显差异的指示性元素来说 (如 Mn, Cu, Co, Ni, Zn 等), 黄海元素的丰度均是相对地接近于大陆而远离大洋沉积物的丰度。此外黄海沉积物元素丰度的分布模式与大陆地壳元素丰度的分

表 2 元素丰度的比较

| 元素 | | 黄海 | 东海* ^[2] | 南海 ¹⁾ | 渤海 ²⁾ | 日本七尾湾 ^[23, 24] | 印度东海岸大陆架 ^[7] | 华盛顿一俄勒冈大陆架 ^[22] | 墨西哥湾 ^[20] | 帕里亚湾 ^[9, 10] | 巴洋兹湾 ^[16] | 黑海 ^[11] | 爱琴海** ^[18] |
|----|-----|-------|--------------------|------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| Fe | % | 3.06 | 3.20 | 2.35 | 3.48 | 4.62 | | 3.01 | 2.98 | 3.96 | 1.52 | 3.87 | 3.53 |
| Mn | | 0.082 | 0.052 | 0.050 | 0.076 | 0.023 | | 0.062 | 0.055 | 0.09 | 0.023 | 0.080 | 0.078 |
| Ti | | 0.33 | 0.35 | 0.32 | | 0.49 | | 0.54 | 0.33 | 0.35 | 0.30 | 0.35 | 0.33 |
| P | | 0.048 | 0.050 | 0.044 | | 0.079 | | | | 0.05 | 0.039 | 0.074 | |
| Si | | 31.36 | 26.28 | | | 23.11 | | 30.29 | | 30.02 | | 22.86 | |
| Cu | ppm | 18 | 12 | 12.6 | | 18 | 205.6 | 28 | | 11.8 | 18 | 38 | 37 |
| Co | | 13 | | | | 5 | 14.3 | 12 | | 9.1 | | 26 | |
| Ni | | 24 | 39 | | | 20 | 83.5 | 100 | 46 | 22.0 | | 82 | 77 |
| Zn | | 64 | 68 | | | 139 | | | | | 47 | 98 | 93 |
| Cr | | 53 | | | | 30 | 93.8 | 191 | | 53 | | 143 | 137 |
| Li | | 32 | | 36.5 | | | | | | 47.1 | | 67 | |
| V | | 120 | | | | 39 | | 93 | | 95.1 | | 225 | |

| 元素 | | 波罗的海 ^[15] | 卡迪根湾 ^[12, 13] | 波弗特海 ^[17] | 日本海 ^[25] | 鄂霍茨克海 ^[25] | 白令海 ^[25] | 地壳 ^[19] | 大陆岩石 | | 太平洋粘土 ^[6, 8, 14] | 深海粘土 ^[21] |
|----|-----|----------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| | | | | | | | | | 花岗岩 ^[19] | 页岩 ^[21] | | |
| Fe | % | 3.57 | 1.46 | 3.57 | 3.72 | 3.82 | 3.74 | 5.63 | 2.70 | 4.72 | 5.44 | 6.50 |
| Mn | | 0.37 | 0.031 | 0.03 | 0.1 | 0.1 | 0.094 | 0.095 | 0.04 | 0.085 | 0.74 | 0.67 |
| Ti | | 0.37 | 0.15 | | 0.43 | 0.29 | 0.35 | 0.57 | 0.23 | 0.46 | 0.47 | 0.46 |
| P | | | | 0.044 | | 0.086 | 0.07 | 0.105 | 0.07 | 0.07 | 0.105 | 0.15 |
| Si | | 28.04 | | | | | | 28.15 | 32.3 | 7.3 | 23.0 | 25.0 |
| Cu | ppm | 44 | 11 | 57 | 24.8 | 32 | | 55 | 10 | 45 | 338 | 250 |
| Co | | 13 | | 29 | | 7.7 | | 25 | 1 | 19 | 87 | 74 |
| Ni | | 28 | | 47 | 25 | 32 | | 75 | 0.5 | 68 | 224 | 225 |
| Zn | | 71 | 36 | 98 | 64 | 54 | | 70 | 40 | 95 | | 165 |
| Cr | | 64 | | | 46.7 | | | 100 | 4 | 90 | 102 | 90 |
| Li | | 29 | | 47 | | | | 20 | 30 | 66 | | 57 |
| V | | 80 | | | | 101.5 | 119 | 135 | 20 | 130 | 215 | 120 |

* 东海及南海均为大陆架区元素的丰度。

** 爱琴海、鄂霍茨克海、白令海元素的丰度系根据除去碳酸盐计算。

1) 根据中国科学院南海海洋研究所 1977 年研究报告及陈汝勤等 1972 年的资料。

2) 根据郭津年等 1963 年研究报告。

布模式相似(图 1), 两模式线接近平行, 而大洋沉积物元素丰度的分布模式特征是 Cu 呈现明显的正异常。所有这些均体现了陆架浅海沉积物中化学元素的亲陆性^[1]。

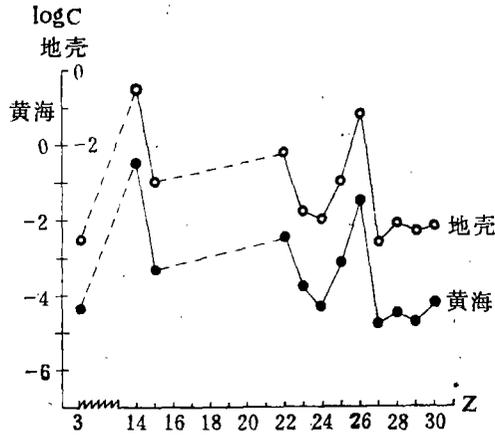


图 1 黄海沉积物及地壳中元素丰度分布的模式

二、不同类型的沉积物中元素含量变化的规律 ——元素的粒度控制律

和东海一样^[3], 黄海不同类型沉积物(砂、粉砂、泥)中的元素含量呈有规律的变化(表 3), 而且明显地受粒度控制, 主要表现为两种类型: 第一类是绝大多数元素均随沉积物粒度由粗变细而含量逐渐增高, 如 Fe, Ti, P, Cu, Co, Ni, Zn, Cr, Li, V 等; 第二类是个别元素随沉积物粒度变细而含量降低, 如 Si。而 Mn 虽情况不同, 但从粉砂到泥其含量仍是增大, 只是最大值出现在砂中, 表现出异常, 这主要是由于黄海的砂质沉积均处于

表 3 不同类型沉积物中元素的含量

| 沉积物类型 | 样品数 | Fe | | Mn | | Ti | | P | | Cu | | Co | |
|-------|------------|-----------|------|------------|-------|-----------|------|-------------|-------|--------|-----|-------------|-------|
| | | % | | % | | % | | % | | ppm | | ppm | |
| | | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 |
| 砂 | 17 | 1.33—3.51 | 2.62 | 0.018—0.24 | 0.091 | 0.12—0.78 | 0.29 | 0.021—0.071 | 0.046 | 5—22 | 12 | 6—16 | 11 |
| 粉砂 | 32 | 2.02—3.82 | 3.01 | 0.042—0.19 | 0.076 | 0.20—0.40 | 0.34 | 0.032—0.060 | 0.047 | 9—28 | 19 | 10—17 | 13 |
| 泥 | 13 | 2.12—4.45 | 3.76 | 0.041—0.17 | 0.086 | 0.28—0.44 | 0.38 | 0.039—0.069 | 0.051 | 13—28 | 23 | 11—20 | 16 |
| 沉积物类型 | 样品数 | Ni | | Zn | | Cr | | Li | | V | | Si | |
| | | ppm | | ppm | | ppm | | ppm | | ppm | | % | |
| | | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 | 范围 | 平均 |
| 砂 | 17 (9)* | 7—25 | 17 | 26—81 | 47 | 15—84 | 37 | 8—40 | 20 | 41—135 | 94 | 28.81—37.89 | 33.20 |
| 粉砂 | 32 (8) | 12—35 | 25 | 35—98 | 62 | 31—77 | 54 | 12—49 | 34 | 85—195 | 120 | 28.02—35.22 | 30.87 |
| 泥 | 13 (3) | 18—43 | 33 | 44—146 | 91 | 45—95 | 70 | 27—65 | 47 | 98—230 | 150 | 26.77—27.54 | 27.13 |

* 括号内的数字为 Si 的样品数。

明显的氧化环境,在这种环境里有自生 Mn 的沉积,从而影响了陆源碎屑对 Mn 的控制,例如成山头以东海域的砂中含 Mn 高达 0.142%,出现异常,经分析其中碎屑 Mn 仅为 0.020%,自生 Mn 为 0.122%,即自生 Mn 占锰含量的 86%,如果扣除自生的影响,显然也就无所谓异常了。在研究元素的粒度控制时,有时必须考虑自生作用的影响,另外当个别元素偏离粒度控制律时,可能预示有该元素自生作用的存在。

通过沉积物中元素与各种粒级的相关分析,同样也说明元素受粒度控制。上述第一类元素均与砂粒级的含量呈负相关,与粘土粒级呈正相关,即细粒级愈多,元素的含量愈高;而第二类元素恰恰相反,与砂粒级呈正相关,与粘土粒级呈负相关。由于 Si 与其他元素是互为消长的关系,而且又是陆源碎屑沉积的主要成分,因此它的含量将对其他元素起稀释作用^[4],以致表现出 Si 与其他元素均为负相关。

三、元素的地球化学区

除 Si 以外,我们分别绘制了每个元素的区域分布图(图 2—12),可以看出每个元素具体的分布特点。这些元素在分散与富集上具有共同之处,形成一定的地球化学区,并且该区与一定的沉积环境、水动力条件、沉积物类型相一致。通过综合分析可初步粗分以下几区:

1. 元素聚集区 主要包括威海以北海域、南黄海中部海域、海阳以东海域和射阳的东北海域(即老黄河口)。该区属现代沉积环境,水动力相对稳静,沉积物以细粒泥质和粉砂质沉积为主体,形成许多元素的高含量区,分布最明显的如 Cu, Co, Ni, Cr; 其次如

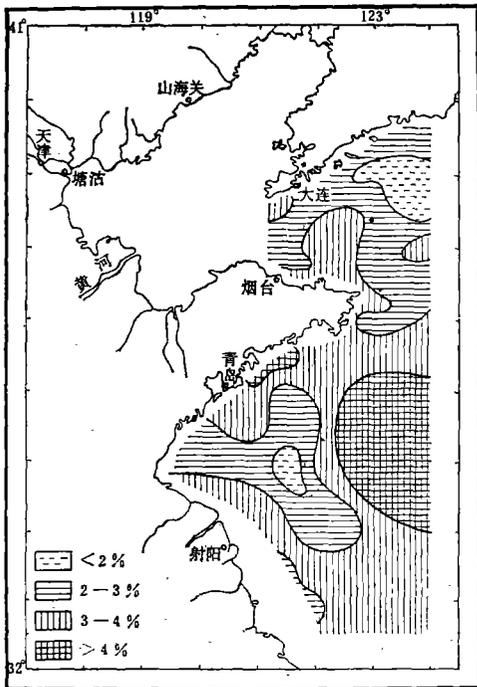


图 2 黄海沉积物中 Fe 的分布

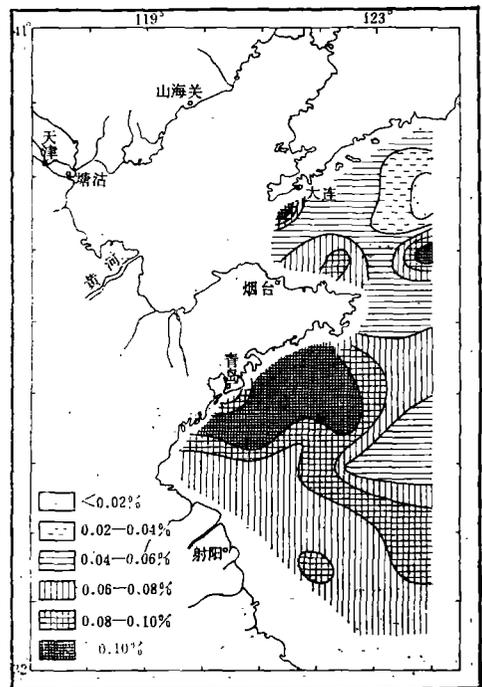


图 3 黄海沉积物中 Mn 的分布

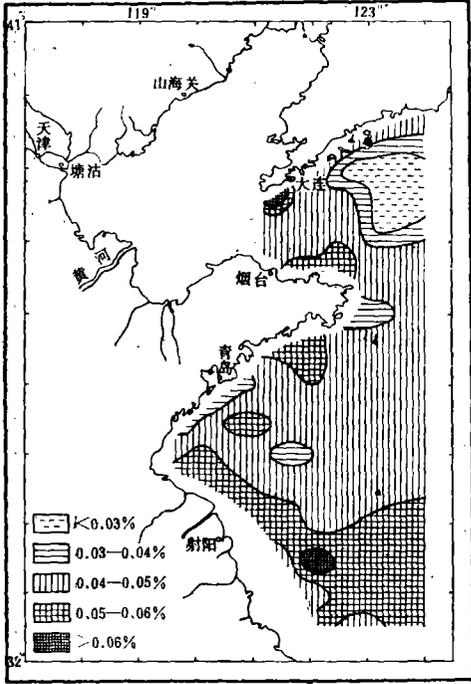


图 4 黄海沉积物中 Ti 的分布

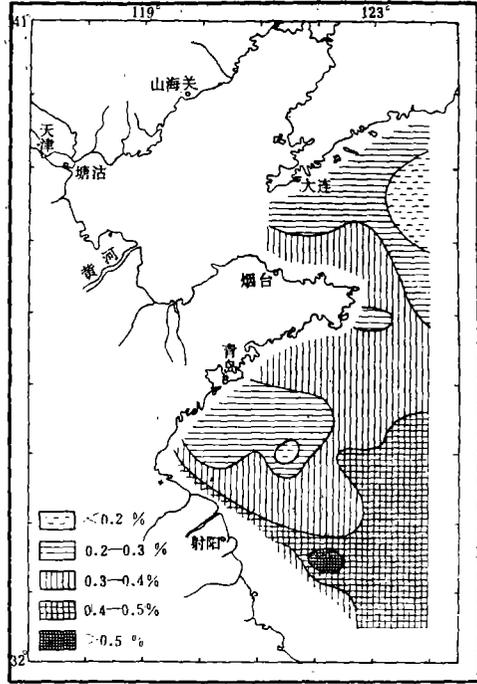


图 5 黄海沉积物中 P 的分布

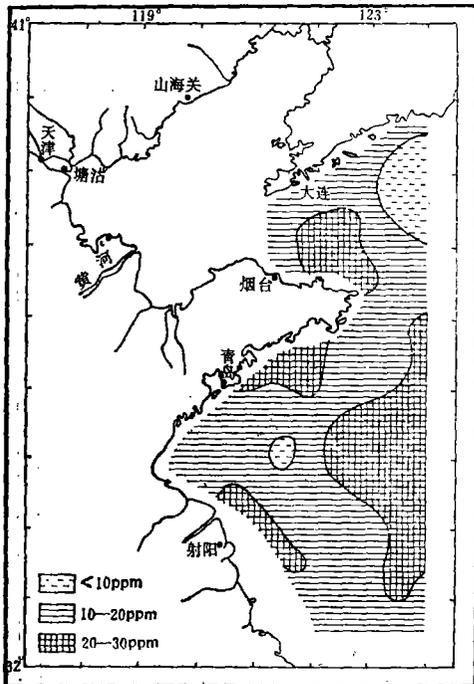


图 6 黄海沉积物中 Cu 的分布

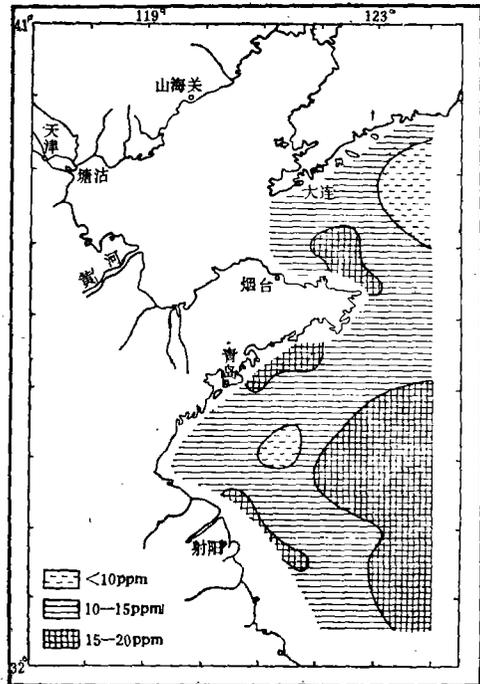


图 7 黄海沉积物中 Co 的分布

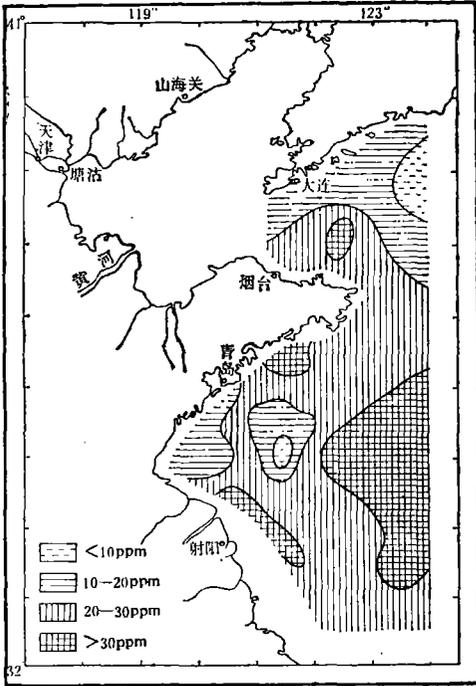


图 8 黄海沉积物中 Ni 的分布

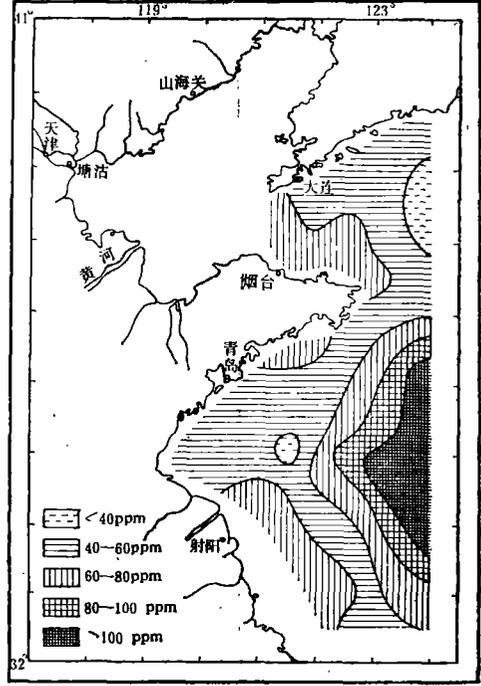


图 9 黄海沉积物中 Zn 的分布

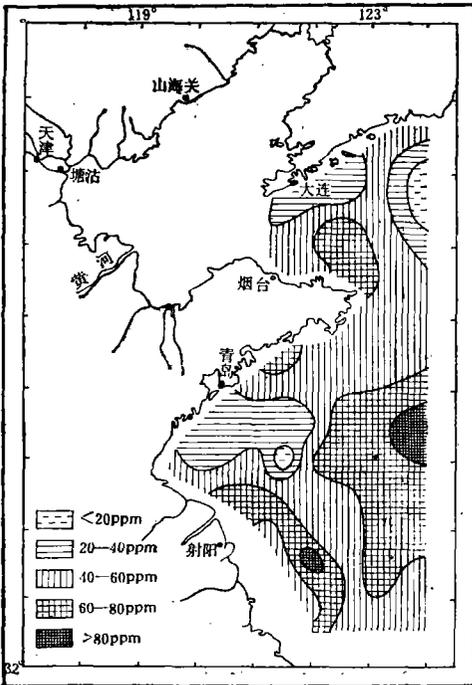


图 10 黄海沉积物中 Cr 的分布

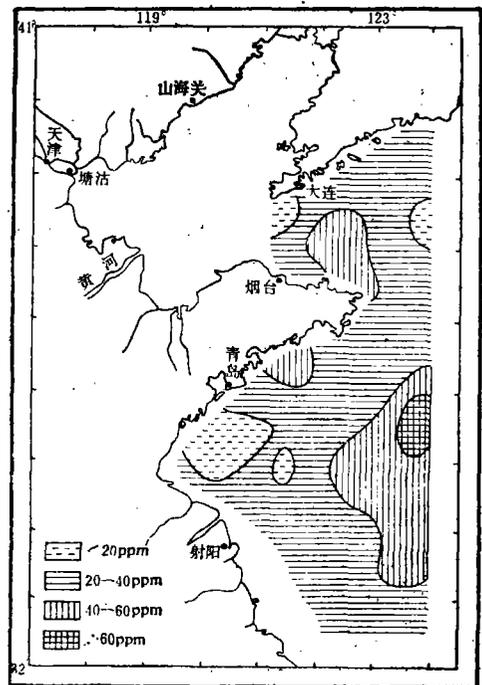


图 11 黄海沉积物中 Li 的分布

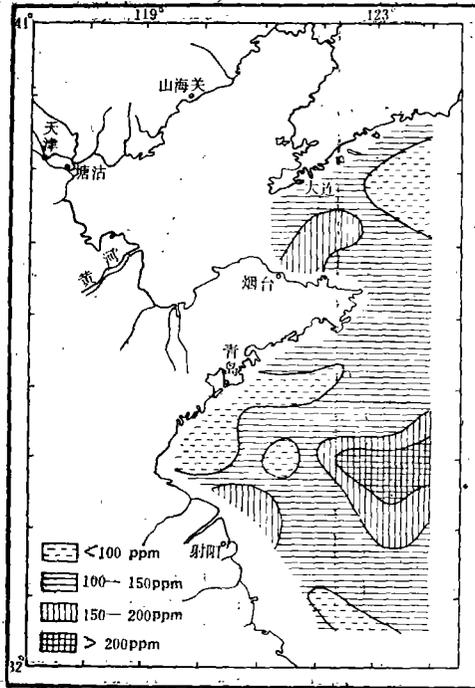


图 12 黄海沉积物中 V 的分布

Fe, Mn, Ti, P, Zn, Li, V 等。

2. 元素分散区 主要包括北黄海中部、海州湾中部海域以及渤海海峡的北端。该区现代沉积作用不显著,水动力活跃,局部有冲刷侵蚀现象,多呈氧化环境,分布着粗粒砂质沉积物,形成上述许多元素的低含量区。不过须指出的是, Mn, P, Fe 亦可在该区局部形成高值,这是由于在氧化条件下有较多的自生组分参与的结果(如生成氧化锰、氧化铁以及铁的磷酸盐等)。

3. 元素分散与聚集的过渡区 介于上述两区之间,构成元素的中等含量区。

四、元素的赋存状态

为查明元素的赋存状态,我们采用浸取自生组分的方法而使元素的陆源碎屑组分与自生组分分开^[2]。所选 20 个样品的测定结果见表 4。

由表 4 可知,各元素的平均陆源碎屑指数分别为: Fe = 87, Mn = 44, Ti = 96, P = 38, Cu = 82, Co = 80, Ni = 83, Zn = 93, Cr = 86, 显然除了 Mn 和 P 外,其他元素的陆源碎屑指数均 >80, 也就是说元素的陆源碎屑组分高达 80% 以上,所以黄海沉积物中绝大多数元素均主要赋存于陆源碎屑矿物的晶格之中,只是 Mn, P 除了以碎屑态存在外,还有相当一部分是属于自生的产物。若把元素按陆源碎屑指数的大小排列,则得 Ti > Zn > Fe, Cr > Ni, Cu, Co > Mn, P 的序列,显而易见这种顺序与河流中元素形成悬浮体迁移的能力大小大体一致,与元素在表生作用中的化学惰性次序也大体一致。

另外我们还分别绘制了沉积物中元素自生组分与粘土含量的相关图(图 13)以及元素碎屑组分与砂含量的相关图(图 14),前者表明元素自生组分随沉积物中粘土含量的增加而增加,足见元素自生组分与粘土的吸附作用有关;后者表明元素碎屑组分随沉积物中砂含量的增加而降低,这说明元素碎屑组分主要并不存在于砂粒级中,而是存在于细粒的粉砂和粘土粒级中。基于这种事实,既然元素的自生组分与粘土有关,元素的碎屑组分也多存在于粘土部分,所以这就进一步阐明了为什么绝大多数元素随着沉积物粒度变细而含量升高的原因。

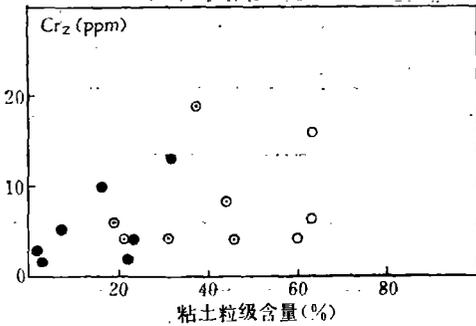


图 13 元素的自生组分与粘土含量的关系
(以 Cr 为例)
● 砂 ○ 粉砂 ○ 泥

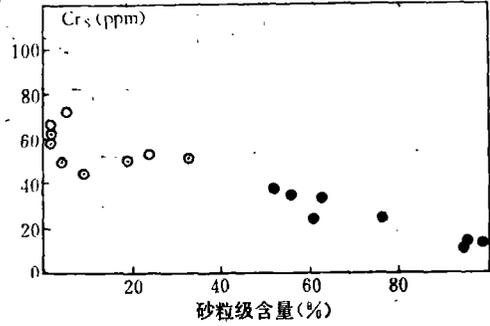


图 14 元素的碎屑组分与砂含量的关系
(以 Cr 为例)
● 砂 ○ 粉砂 ○ 泥

再从元素之间的相关性来看,除 Si 外,所有元素都不同程度地存在正相关,只是 Mn 由于自生作用有时使相关性不如其他元素明显,P 虽自生性亦较显著,但 P 的倾向与 Mn 不尽同, Mn 较强的自生作用有时发生在粗粒沉积中,而 P 多半发生于较细的沉积中,因大多数元素都有向“细”富集的趋势,因此一般不太影响其相关性。鉴于所研究的微量元

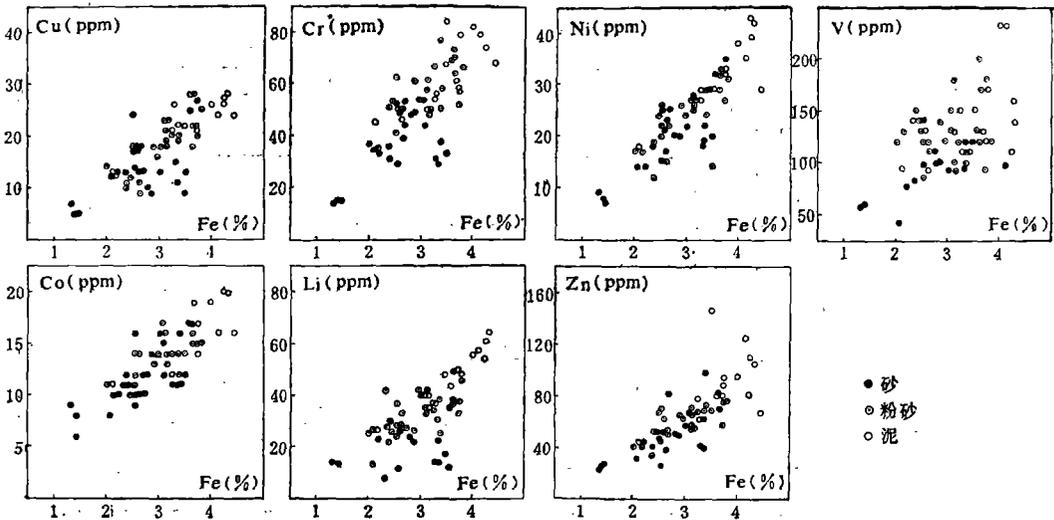


图 15 微量元素与主元素(以 Fe 为例)的相关关系

表 4 元 素 的 碎 屑 组 分 及 自 生 组 分

| 样 品 号 | Fe | | | | | Mn | | | | | Ti | | | | | P | | | | |
|-------|------|------|------|----|----|-------|-------|-------|----|----|------|------|------|-----|----|-------|-------|-------|----|----|
| | % | | | | | % | | | | | % | | | | | % | | | | |
| | ΣFe | Fes | Fez | Zs | Zz | ΣMn | Mng | Mnz | Zs | Zz | ΣTi | Tis | Tiz | Zs | Zz | ΣP | Ps | Pz | Zs | Zz |
| 2004 | 2.55 | 2.26 | 0.29 | 89 | 11 | 0.055 | 0.025 | 0.030 | 45 | 55 | 0.35 | 0.35 | 0 | 100 | 0 | 0.045 | 0.015 | 0.030 | 33 | 67 |
| 2006 | 2.40 | 1.95 | 0.45 | 81 | 19 | 0.059 | 0.019 | 0.040 | 32 | 68 | 0.20 | 0.20 | 0 | 100 | 0 | 0.047 | 0.016 | 0.031 | 34 | 66 |
| 2015 | 3.12 | 2.80 | 0.32 | 90 | 10 | 0.062 | 0.024 | 0.038 | 39 | 61 | 0.32 | 0.32 | 0 | 100 | 0 | 0.040 | 0.017 | 0.023 | 43 | 57 |
| 2027 | 3.82 | 3.32 | 0.50 | 87 | 13 | 0.088 | 0.030 | 0.058 | 34 | 66 | 0.40 | 0.40 | 0 | 100 | 0 | 0.051 | 0.018 | 0.033 | 35 | 65 |
| 2036 | 3.67 | 3.43 | 0.24 | 93 | 7 | 0.046 | 0.027 | 0.019 | 59 | 41 | 0.39 | 0.39 | 0 | 100 | 0 | 0.046 | 0.016 | 0.030 | 35 | 65 |
| 2038 | 2.63 | 2.52 | 0.11 | 96 | 4 | 0.044 | 0.022 | 0.022 | 50 | 50 | 0.31 | 0.31 | 0 | 100 | 0 | 0.035 | 0.016 | 0.019 | 46 | 54 |
| 2043 | 2.98 | 2.62 | 0.36 | 88 | 12 | 0.059 | 0.026 | 0.033 | 44 | 56 | 0.34 | 0.33 | 0.01 | 97 | 3 | 0.042 | 0.018 | 0.024 | 43 | 57 |
| 2059 | 1.46 | 1.14 | 0.32 | 78 | 22 | 0.018 | 0.010 | 0.008 | 56 | 44 | 0.12 | 0.12 | 0 | 100 | 0 | 0.028 | 0.012 | 0.016 | 43 | 57 |
| 2060 | 1.44 | 1.27 | 0.17 | 88 | 12 | 0.019 | 0.011 | 0.008 | 58 | 42 | 0.14 | 0.14 | 0 | 100 | 0 | 0.021 | 0.015 | 0.006 | 71 | 29 |
| 2061 | 3.36 | 2.14 | 1.22 | 64 | 36 | 0.142 | 0.020 | 0.122 | 14 | 86 | 0.20 | 0.16 | 0.04 | 80 | 20 | 0.039 | 0.019 | 0.020 | 49 | 51 |
| 3056 | 2.59 | 2.39 | 0.20 | 92 | 8 | 0.060 | 0.025 | 0.035 | 42 | 58 | 0.46 | 0.29 | 0.17 | 63 | 37 | 0.045 | 0.019 | 0.026 | 42 | 58 |
| 3058 | 2.10 | 1.72 | 0.38 | 82 | 18 | 0.059 | 0.019 | 0.040 | 32 | 68 | 0.24 | 0.22 | 0.02 | 92 | 8 | 0.053 | 0.012 | 0.041 | 23 | 77 |
| 3059 | 2.37 | 2.05 | 0.32 | 87 | 13 | 0.077 | 0.022 | 0.055 | 29 | 71 | 0.26 | 0.25 | 0.01 | 96 | 4 | 0.047 | 0.013 | 0.034 | 28 | 72 |
| 3061 | 1.33 | 1.12 | 0.21 | 84 | 16 | 0.069 | 0.014 | 0.055 | 20 | 80 | 0.18 | 0.18 | 0 | 100 | 0 | 0.030 | 0.011 | 0.019 | 37 | 63 |
| 3063 | 4.01 | 3.79 | 0.22 | 95 | 5 | 0.057 | 0.028 | 0.029 | 49 | 51 | 0.44 | 0.41 | 0.03 | 93 | 7 | 0.049 | 0.021 | 0.028 | 43 | 57 |
| 3066 | 4.15 | 3.70 | 0.45 | 89 | 11 | 0.044 | 0.029 | 0.015 | 66 | 34 | 0.40 | 0.40 | 0 | 100 | 0 | 0.045 | 0.022 | 0.023 | 49 | 51 |
| 4004 | 2.69 | 2.39 | 0.30 | 89 | 11 | 0.056 | 0.027 | 0.029 | 48 | 52 | 0.32 | 0.32 | 0 | 100 | 0 | 0.049 | 0.014 | 0.035 | 29 | 71 |
| 4006 | 3.50 | 3.26 | 0.24 | 93 | 7 | 0.091 | 0.063 | 0.028 | 69 | 31 | 0.78 | 0.78 | 0 | 100 | 0 | 0.071 | 0.015 | 0.056 | 21 | 79 |
| 4008 | 3.65 | 3.25 | 0.40 | 89 | 11 | 0.060 | 0.030 | 0.030 | 50 | 50 | 0.40 | 0.38 | 0.02 | 95 | 5 | 0.059 | 0.016 | 0.043 | 27 | 73 |
| 4012 | 3.75 | 3.39 | 0.36 | 90 | 10 | 0.098 | 0.037 | 0.061 | 38 | 62 | 0.38 | 0.37 | 0.01 | 97 | 3 | 0.055 | 0.019 | 0.036 | 35 | 65 |
| 平均 | | | | 87 | 13 | | | | 44 | 56 | | | | 96 | 4 | | | | 38 | 62 |

| 样品号 | Cu | | | | Co | | | | Ni | | | | Zn | | | | Cr | | | | | | | |
|------|-----|-----------------|-----|----|-----|-----------------|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----------------|-----|----|-----|-----------------|-----------------|-----|----|-----|-----------------|-----------------|----|----|
| | ppm | | % | | ppm | | % | | ppm | | % | | ppm | | % | | ppm | | % | | | | | |
| | ΣCu | Cu _z | Zs | Zz | ΣCo | Co _z | Co _s | Zz | Zs | ΣNi | Ni _s | Ni _z | Zz | Zs | ΣZn | Zn _s | Zn _z | Zz | Zs | ΣCr | Cr _s | Cr _z | Zz | Zs |
| 2004 | 18 | 4 | 78 | 22 | 12 | 11 | 1 | 92 | 8 | 22 | 18 | 4 | 82 | 18 | 70 | 54 | 16 | 77 | 23 | 50 | 44 | 6 | 88 | 12 |
| 2006 | 10 | 7 | 70 | 30 | 12 | 8 | 4 | 67 | 33 | 12 | 11 | 1 | 92 | 8 | 35 | 34 | 1 | 97 | 3 | 31 | 23 | 8 | 74 | 26 |
| 2015 | 23 | 19 | 83 | 17 | 15 | 14 | 1 | 93 | 7 | 27 | 24 | 3 | 89 | 11 | 71 | 71 | 0 | 100 | 0 | 58 | 50 | 8 | 86 | 14 |
| 2027 | 25 | 22 | 88 | 12 | 15 | 14 | 1 | 93 | 7 | 31 | 29 | 2 | 94 | 6 | 77 | 77 | 0 | 100 | 0 | 66 | 62 | 4 | 94 | 6 |
| 2036 | 28 | 25 | 89 | 11 | 15 | 14 | 1 | 93 | 7 | 33 | 28 | 5 | 85 | 15 | 83 | 83 | 0 | 100 | 0 | 64 | 60 | 4 | 94 | 6 |
| 2038 | 13 | 9 | 69 | 31 | 14 | 9 | 5 | 64 | 36 | 17 | 17 | 0 | 100 | 0 | 62 | 57 | 5 | 92 | 8 | 46 | 43 | 3 | 93 | 7 |
| 2043 | 16 | 13 | 81 | 19 | 14 | 12 | 2 | 86 | 14 | 24 | 19 | 5 | 79 | 21 | 63 | 63 | 0 | 100 | 0 | 54 | 50 | 4 | 93 | 7 |
| 2059 | 5 | 4 | 80 | 20 | 6 | 4 | 2 | 67 | 33 | 7 | 5 | 2 | 71 | 29 | 27 | 25 | 2 | 93 | 7 | 15 | 14 | 1 | 93 | 7 |
| 2060 | 5 | 5 | 100 | 0 | 8 | 5 | 3 | 63 | 37 | 8 | 6 | 2 | 75 | 25 | 26 | 25 | 1 | 96 | 4 | 15 | 12 | 3 | 80 | 20 |
| 2061 | 11 | 8 | 73 | 27 | 11 | 10 | 1 | 91 | 9 | 19 | 12 | 7 | 63 | 37 | 40 | 40 | 0 | 100 | 0 | 29 | 25 | 4 | 86 | 14 |
| 3056 | 17 | 13 | 76 | 24 | 10 | 10 | 0 | 100 | 0 | 21 | 18 | 3 | 86 | 14 | 51 | 47 | 4 | 92 | 8 | 48 | 35 | 13 | 73 | 27 |
| 3058 | 12 | 9 | 75 | 25 | 8 | 5 | 3 | 63 | 37 | 14 | 11 | 3 | 79 | 21 | 33 | 33 | 0 | 100 | 0 | 34 | 24 | 10 | 71 | 29 |
| 3059 | 13 | 10 | 77 | 23 | 11 | 10 | 1 | 91 | 9 | 18 | 15 | 3 | 83 | 17 | 41 | 41 | 0 | 100 | 0 | 36 | 34 | 2 | 94 | 6 |
| 3061 | 7 | 6 | 86 | 14 | 9 | 5 | 4 | 56 | 44 | 9 | 5 | 4 | 56 | 44 | 23 | 23 | 0 | 100 | 0 | 14 | 11 | 3 | 79 | 21 |
| 3063 | 26 | 23 | 88 | 12 | 19 | 14 | 5 | 74 | 26 | 38 | 32 | 6 | 84 | 16 | 96 | 90 | 6 | 94 | 6 | 82 | 66 | 16 | 80 | 20 |
| 3066 | 24 | 21 | 88 | 12 | 16 | 15 | 1 | 94 | 6 | 35 | 32 | 3 | 91 | 9 | 124 | 92 | 32 | 74 | 26 | 79 | 73 | 6 | 92 | 8 |
| 4004 | 13 | 10 | 77 | 23 | 12 | 10 | 2 | 83 | 17 | 25 | 22 | 3 | 88 | 12 | 81 | 58 | 23 | 72 | 28 | 44 | 39 | 5 | 89 | 11 |
| 4006 | 9 | 8 | 89 | 11 | 12 | 10 | 2 | 83 | 17 | 20 | 17 | 3 | 85 | 15 | 69 | 49 | 20 | 71 | 29 | 84 | 71 | 13 | 85 | 15 |
| 4008 | 18 | 15 | 83 | 17 | 17 | 13 | 4 | 76 | 24 | 29 | 25 | 4 | 86 | 14 | 71 | 71 | 0 | 100 | 0 | 70 | 51 | 19 | 73 | 27 |
| 4012 | 21 | 20 | 95 | 5 | 14 | 11 | 3 | 79 | 21 | 32 | 31 | 1 | 97 | 3 | 89 | 84 | 5 | 94 | 6 | 58 | 54 | 4 | 93 | 7 |
| 平均 | | | 82 | 18 | | | | 80 | 20 | | | | 83 | 17 | | | | 93 | 7 | | | | 86 | 14 |

ΣFe——总Fe; Fc_s——碎屑Fe; Fc_z——自生Fe; Z_s——碎屑指数; Z_z——自生指数, 类推。

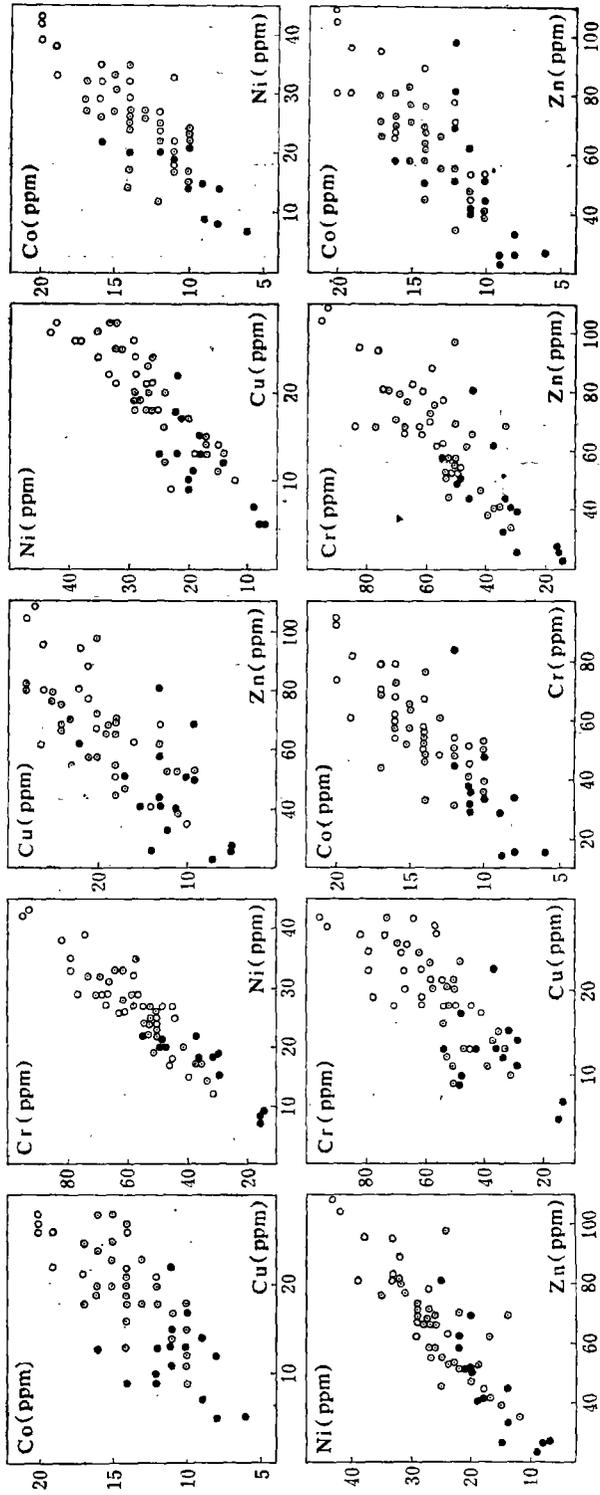


图 16 微量元素之间的相关关系

● 砂 ○ 粉砂 ○ 泥

素都与主成分呈正相关(图 15),而且彼此又都呈现十分明显的正相关(图 16),说明它们是共生一体,加之已知这些元素都以碎屑组分为主,并趋于粘土粒级富集,故可以认为黄海沉积物中微量元素主要是以类质同像混入物的形式共存于陆源粘土矿物之中。

五、元素的聚集速率初探

元素向海底聚集速率的计算,是定量研究海洋沉积地球化学的一个重要标志,已引起越来越多的学者注意。为此我们按下列公式计算了黄海元素的聚集速率:

$$R_c = C \times D_b \times R_s$$

R_c ——元素的聚集速率; C ——元素的含量; D_b ——海底沉积物的密度,即海底沉积物单位体积所含固体物质的重量。中国近海碎屑沉积物的平均值为 $1\text{g}/\text{cm}^3$; R_s ——海底沉积物的沉积速率,黄海平均为 $15.8\text{cm}/10^3$ 年¹⁾。

现将计算的结果,列入下表:

表 5 黄海元素的聚集速率

| 常量元素 | 聚集速率 $\text{g}/\text{cm}^2/10^3$ 年 | 微量元素 | 聚集速率 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/10^3$ 年 |
|------|---------------------------------------|------|--|
| Si | 4.95 | Cu | 284 |
| Fe | 0.48 | Co | 205 |
| Mn | 0.013 | Ni | 379 |
| Ti | 0.052 | Zn | 1011 |
| P | 0.0076 | Cr | 837 |
| | | Li | 506 |
| | | V | 1896 |

六、控制元素分布的因素

一个地区元素的分布状况是受该地区各种因素综合控制的结果,各种因素的综合平衡就导致元素的分散或集中。黄海主要的控制因素可归纳如下:

1. 物质来源的控制 因黄海是一个半封闭型的陆架浅海,其物质主要来源于周边的大陆,几乎不受外海物质的影响,著名的黄河、鸭绿江等大河流每年输入大量的陆源物质,致使黄海沉积物地球化学明显具有亲陆的性质。

2. 沉积物粒度的控制 黄海以陆源碎屑沉积物为基体,沉积物类型的划分是以碎屑物质粒度的大小为依据,不同类型即不同粒度的沉积物支配元素的分布已如前述,例如 Si 在粒度粗的沉积物中聚集,而其他元素则聚集于细粒沉积物中。

3. 矿物成分的控制 在碎屑沉积物中,元素主要以各种矿物的形式存在,即主要赋存于一定的矿物之中,以离子态吸附于物质表面的为数甚少,因此实质上矿物的分布就决定元素的分布。如 Si 在粗粒沉积中居多是由于其中富含石英的缘故;许多元素在细粒沉积中居多是由于其中富含粘土矿物的缘故。

1) 吴世迎,1979。黄海沉积特征的综合研究。

4. 海洋水动力作用的控制 水动力作用是海洋中最活跃的因素之一,它制约着各种碎屑物质以及矿物按不同粒度进行分选和沉积,自然它就进而影响元素的分布。如前述南黄海中部元素的聚集区正是黄海冷水团之所在,水动力相对平静,造成细的粘土集中,成为元素的高含量区;而北黄海中部元素的分散区,恰是水动力活跃区,以粗碎屑沉积为主,使元素趋于分散而含量普遍降低。

5. 沉积区物理化学条件的控制 主要指环境的 pH 及 Eh 对元素行为的影响。该因素特别对元素的自生作用有重要意义,比如对碎屑 Mn 来说,一般不富集于粗粒沉积中,但由于粗粒砂质沉积孔隙度大,氧含量高, Eh 大,常属氧化环境,结果时常促成 $MnO_2 \cdot nH_2O$ 的沉积,使 Mn 在粗粒沉积中出现高值。成山头以东及渤海海峡北端的砂质沉积物中出现 Mn 的异常高值,就是典型的例子。

参 考 文 献

- [1] 赵一阳, 1980. 中国渤海沉积物中铀的地球化学. 地球化学 1: 101—105.
- [2] 赵一阳、车承惠、杨惠兰等, 1982. 东海沉积物中若干元素的地球化学. 黄东海地质. 科学出版社, 141—159 页.
- [3] 赵一阳、韩桂荣、张静等, 1982. 东海沉积物中锆及稀土元素的若干地球化学特征. 科学通报 22: 1390—1392.
- [4] 赵一阳、车承惠、杨惠兰等, 1981. 中国台湾浅滩海底沉积物中铁、锰、钛、磷元素的地球化学. 地质学报 55(2): 118—126.
- [5] Chester, R. and M. J. Hughes, 1967. A Chemical technique for the separation of ferro-manganese minerals, carbonate minerals and adsorbed trace elements from pelagic sediments. *Chem. Geol.* 2(3): 249—262.
- [6] Cronan, D. S., 1969. Average abundances of Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Pb, Mo, V, Cr, Ti and P in Pacific pelagic clays. *Geochim. Cosmochim. Acta* 33(12): 1562—1565.
- [7] Durgaprasada Rao, N. V. N. and M. Poornachandra Rao, 1973. Trace-element distribution in the continental-shelf sediments off the east coast of India. *Mar. Geol.* 15(3): M43—M48.
- [8] Goldberg, E. D. and Arrhenius, G. O. S., 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 13(2/3): 153—212.
- [9] Hirst, D. M., 1962. The geochemistry of modern sediments from the Gulf of Paria—I. The relationship between the mineralogy and the distribution of major elements. *Geochim. Cosmochim. Acta* 26: 309—334.
- [10] ———, 1962. The geochemistry of modern sediments from the Gulf of Paria—II. The location and distribution of trace elements. *Geochim. Cosmochim. Acta* 26: 1147—1187.
- [11] ———, 1974. Geochemistry of sediments from eleven Black Sea cores. In: *The Black Sea—geology, chemistry, and biology* (E. T. Degens and D. A. Ross, eds.), pp. 430—455.
- [12] Jones, A. S. G., 1972. A partial geochemical study of shallow marine sediments, Cardigan Bay (Wales). *Mar. Geol.* 12(5): 313—333.
- [13] ———, 1973. The concentration of copper, lead, zinc and cadmium in shallow marine sediments, Gardigan Bay (Wales). *Mar. Geol.* 14(2): M1—M9.
- [14] Krishnaswami, S., 1976. Authigenic transition elements in Pacific pelagic clays. *Geochim. Cosmochim. Acta* 40(4): 425—434.
- [15] Manheim, F. T., 1961. A geochemical profile in the Baltic Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta* 25(1): 52—70.
- [16] Moore III, J. R., 1963. Bottom sediments studies, Buzzards Bay, Massachusetts. *J. Sediment. Petrol.* 33(3): 511—558.
- [17] Naidu, A. S., 1974. Sedimentation in the Beaufort Sea: A Synthesis. In: *Marine geology and oceanography of the Arctic Seas* (Y. Herman, ed.). Springer-Verlag New York Inc., pp. 173—190.
- [18] Smith, P. A. and D. S. Cronan, 1975. Chemical composition of Aegean Sea sediments. *Mar. Geol.* 18(2): M7—M11.
- [19] Taylor, S. R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table.

- Geochim. Cosmochim. Acta* 28(8): 1273—1285.
- [20] Tieh, T. T., T. E. Pyle, D. H. Eggler et al., 1973. Chemical variations in sedimentary facies of an inner continental shelf environment, northern Gulf of Mexico. *Sediment. Geol.* 9(2): 101—115.
- [21] Turekian, K. K. and K. H. Wedepohl, 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 72(2): 175—192.
- [22] White, S. M., 1970. Mineralogy and geochemistry of continental shelf sediments off the Washington-Oregon coast. *J. Sediment. Petrol.* 40(1): 38—54.
- [23] Yamamoto, Y., Y. Tanaka and S. Ueda, 1977. The chemical composition and nickel, cobalt, copper, zinc and lead contents of Nanao Bay sediments. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 33(5): 242—246.
- [24] Yamamoto, Y., 1968. Minor element in shallow-water deposits from Nanao Bay, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 24(4): 160—166.
- [25] Страхов, Н. М., 1976. Проблемы Геохимии современного океанского литогенеза. Изд. «Наука», стр. 230—283.

GEOCHEMICAL ANALYSIS OF THE SEDIMENTS OF THE HUANGHAI SEA*

Zhao Yiyang and Yu Deke

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*) (Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

ABSTRACT

This work is chiefly based on the analytical results of the chemical composition of 62 sediment samples from the Huanghai Sea (Yellow Sea) to illustrate the following points:

1. Abundance characteristic of elements in sediments of the study area.
2. Variation regularity of elemental content in the sediments of different types—the law of grain-size control of elements.
3. Geochemical province of the elements.
4. Presence state of the elements.
5. Rate of accumulation of the each element.
6. Primary factor controlling the element distribution.

The 12 chemical elements in the bottom sediments have been studied. Quantitative analyses of the elements Fe, Mn, Ti and P were made by colorimetry, those of Cu, Co, Ni, Zn, Cr, and Li by atomic absorption spectrophotometry, V by emission spectroscopy and Si by the usual gravimetric method. The comparisons of the element abundances obtained in this study area with those in other sediments or rocks show that the abundance characteristic of elements in the study area is of the "philo-continental" property, i.e. the abundance pattern of elements is relatively close to that of the continent, but differ from that of the ocean. The grain size of sediments plays a distinct role in controlling the content of elements. The average contents of most elements increase gradually with decrease in grain

*Contribution No. 878 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

size, only Si decreases with decreasing grain size. We call the variation regularity of element content with grain size "the law of grain-size control of elements". According to the elemental distribution, the area of study can be classified into 3 geochemical provinces: The first has high concentration for the most of elements and is covered with fine sediments. The second is characterized by the low concentration of the elements and covered by coarse sediments. The third province commonly occupies an intermediate position between the other two provinces and has a transition character. The terrigenous fraction and authigenic fraction of the elements have been determined. The terrigenous detrital index of most elements is higher than the authigenic index. The clay minerals act as a reservoir for a majority of elements studied. A clear positive correlation among the elements was found. These facts indicate that most elements are present within the lattices of various terrigenous minerals, in particular within those of the clay minerals. Based on the rate of sedimentation, the concentration of the elements and the bulk sediment density, the accumulation rate of each element in the area of study have been calculated. It has been established that the primary factors controlling the element distribution are: (1) material source; (2) grain size; (3) mineral component; (4) hydrodynamic condition; and (5) physical-chemical environment of sedimentary region.