

文章编号: 1000-0550(2002)04-0680-07

冲绳海槽南部表层沉积物地球化学特征及其物源和环境指示意义^①

蒋富清 李安春

(中国科学院海洋研究所 山东青岛 266071)

摘要 对冲绳海槽南部陆架、陆坡和海槽 33 个表层沉积物进行了元素地球化学分析, 结果表明研究区沉积物的主要化学组成为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 CaO , 这三种组分占沉积物总量的 68% 左右。多数元素在陆架和陆坡的变化范围较大, 在海槽区相对稳定。向海槽方向随沉积物粒径变细, SiO_2 和 CaO 减少, Al_2O_3 和其它多数元素含量增加。常量元素和 Al_2O_3 的比值分布特征表明, 本区沉积物由物源区经由陆架向海槽输送, 沉积物主要由陆源碎屑沉积组成, 此外还有生物碎屑沉积和自生沉积。陆架区部分微量元素富集因子(EF)与长江和黄河沉积物的富集因子对比结果表明, 本区的沉积物与长江沉积物的关系更为密切。陆坡区 Cu、Pb、Zn、Co、Ni 和 Cr 的富集因子较高是由于生物的富集作用造成的, Mn 的富集主要是自生沉积的结果。用 R 型因子分析方法对沉积物的化学组成进行了分析, 结合元素的分布特征, 给出了四个主因子所对应的沉积环境和特征元素组合, 分别为 1) 陆架型的元素组合: SiO_2 、 TiO_2 、Zr、CaO 和 Sr, 2) 陆坡型的元素组合 Fe_2O_3 、MgO 和 P_2O_5 , 3) 海槽型的元素组合: Al_2O_3 、 K_2O 、Cu、Zn、Co、Ni、Cr 和 Ba, 4) 反映沉积环境氧化-还原属性的元素组合: MnO 和 FeO。

关键词 地球化学特征 物源和环境指示意义 表层沉积物 冲绳海槽南部

第一作者简介 蒋富清 男 1972 年出生 助研 博士 海洋沉积学

中图分类号 P736.4⁺1 **文献标识码** A

1 前言

冲绳海槽是太平洋西北部的一个边缘海盆, 北起日本的九州岛, 向西南方向一直延伸到我国的台湾岛(图 1)。海槽东南部的琉球岛弧, 西北部为宽阔平坦的东海大陆架。研究区位于冲绳海槽南部。研究表明, 每年由长江汇入东海陆架的沉积物可达 $478 \times 10^6 \text{ t/yr}$ ^[1], 此外黑潮暖流经台湾岛东北部, 沿冲绳海槽陆坡北上, 对本区的沉积物的塑造起到了不可忽视的作用。冲绳海槽所处环境复杂, 沉积物既有陆源沉积, 又有生源沉积, 还有火山和自生沉积, 在不同海区各类沉积物所占的比重不同^[2~5]。对于冲绳海槽表层沉积物的地球化学特征已有研究报道^[6~8], 但是以往的研究侧重于区域性的调查, 研究地域广, 但取样站位相对稀疏, 对于元素地球化学特征及其所蕴含的物源和环境信息尚缺乏深入的分析, 因此, 有必要在前人工作的基础上, 针对局部海区作进一步深入的研究工作。

2 材料及方法

本文研究区域和样品的取样站位分布如图 1、2 所示。所有样品由中科院海洋研究所的“科学一号”考察

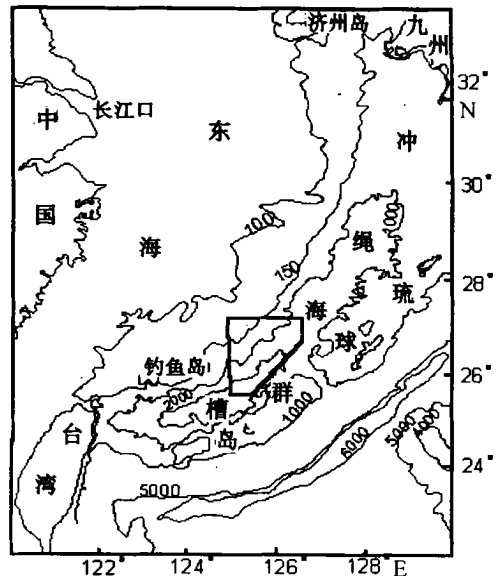


图 1 冲绳海槽及研究区位置

Fig. 1 Location of the Okinawa Trough and the study area

船于 1999 年 5 月取得, 采样方法为抓斗取样。沉积物采样站位水深为 120~2 093 m。包括陆架边缘(水深

^① 国家自然科学基金重点项目(批准号: 49736210)和国家重点基础研究发展规划项目(编号: G2000046701)资助

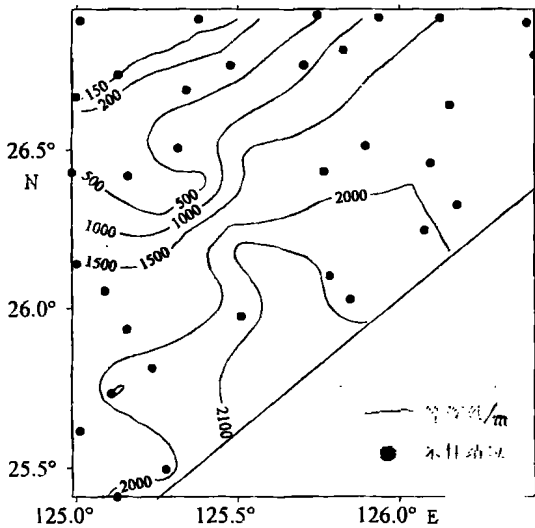


图 2 采样站位分布

Fig. 2 Distribution of sampling sites

小于 150 m)、陆坡(水深在 150 ~ 1 000 m 之间)和海槽底部(水深大于 1 000 m)的沉积物样品。大陆架边缘沉积物主要为砂质沉积, 含生物碎屑丰富, 大陆坡样品多为粉砂质沉积, 海槽底部沉积物主要为粉砂和粘土沉积, 由陆架向海槽沉积物的颗粒由粗变细, 与等深

线的分布基本一致。

所有的样品在恒温 (60 °C) 下烘干后, 研磨至 200 目以下进行化学分析。分析项目包括常量元素的化学全分析和 8 种微量元素的分析。其中 SiO₂ 和烧失量(LOI)采用重量法分析, Al₂O₃和 FeO 为容量法, Fe₂O₃、K₂O、Na₂O、CaO 和 MnO 等用原子吸收分析, P₂O₅、TiO₂、Cu、Zn、Pb、Co、Ni、Cr、Sr 和 Ba 采用 ICP 直读光谱进行分析, Zr 用 X-荧光光谱分析。

3 元素地球化学特征

3.1 元素组成特征

不同沉积区沉积物的主要化学组成见表 1。沉积物主要由 SiO₂、Al₂O₃ 和 CaO 组成, 这三种组分占沉积物总量的 68% 左右。在陆架区、陆坡区和海槽区, SiO₂ 的平均含量分别为 49.91%、42.01% 和 49.26%, 变化范围依次为 20.74% ~ 70.1%、15.04% ~ 61.42% 和 43.34% ~ 57.32%; Al₂O₃ 的平均含量分别为 6.71%、8.35% 和 13.96%, 变化范围分别为 3.24% ~ 8.83%、3.13% ~ 11.99% 和 12.69% ~ 15.75%; CaO 的平均含量分别为 17.21%、16.28% 和 6.78%, 变化范围分别为 4.86% ~ 36.25%、8.05% ~ 35% 和 2.66% ~ 12.47%。陆架区和陆坡区 SiO₂、Al₂O₃ 和 CaO 的含量

表 1 冲绳海槽南部表层沉积物化学组成

Table 1 Chemical compositions of surface sediments from the Southern Okinawa Trough

元素	陆架			陆坡			槽底		
	平均	变化范围	偏差	平均	变化范围	偏差	平均	变化范围	偏差
SiO ₂	49.91	20.74 ~ 70.1	25.88	42.01	15.04 ~ 61.42	14.65	49.26	43.34 ~ 57.32	3.84
Al ₂ O ₃	6.71	3.24 ~ 8.83	3.03	8.35	3.13 ~ 11.99	3.17	13.96	12.69 ~ 15.75	0.83
Fe ₂ O ₃	1.73	1.5 ~ 2.01	0.26	4.28	1.05 ~ 16.43	5.64	3.69	1.25 ~ 5.7	1.07
FeO	1.76	1.1 ~ 2.2	0.58	2.11	0.99 ~ 3.08	0.72	1.77	0.38 ~ 3.74	0.80
P ₂ O ₅	0.17	0.15 ~ 0.19	0.02	0.40	0.15 ~ 1.46	0.49	0.19	0.16 ~ 0.26	0.02
TiO ₂	0.63	0.28 ~ 0.84	0.31	0.57	0.14 ~ 0.86	0.25	0.78	0.67 ~ 0.87	0.05
CaO	17.21	4.86 ~ 36.25	16.73	16.28	8.05 ~ 35.00	8.93	6.78	2.66 ~ 12.47	2.39
MgO	1.72	1.57 ~ 1.93	0.19	2.34	1.82 ~ 3.56	0.64	2.59	2.16 ~ 3.12	0.27
K ₂ O	1.57	0.93 ~ 1.95	0.56	1.95	1.35 ~ 2.40	0.35	2.35	1.85 ~ 2.91	0.26
Na ₂ O	1.60	1.44 ~ 1.69	0.14	1.80	1.14 ~ 2.50	0.46	2.81	1.98 ~ 5.2	0.81
MnO	0.09	0.09 ~ 0.1	0.01	0.14	0.07 ~ 0.44	0.13	1.35	0.1 ~ 3.68	1.03
LOI	16.61	5.34 ~ 33.18	14.66	19.73	9.74 ~ 33.88	7.31	14.00	8.26 ~ 17.96	2.47
Cu	13.00	11 ~ 14	1.73	20.71	8 ~ 31.00	8.36	45.86	31 ~ 73	9.75
Pb	83.33	48 ~ 126	39.51	90.43	52 ~ 166.00	44.37	88.18	49 ~ 186	35.74
Zn	48.67	38 ~ 58	10.07	86.00	53 ~ 162.00	35.39	107.59	83 ~ 160	16.19
Co	8.67	4 ~ 11	4.04	9.43	8 ~ 12.00	1.40	14.05	11 ~ 17	1.96
Ni	24.67	19 ~ 28	4.93	38.86	26 ~ 57.00	10.88	56.09	40 ~ 80	12.06
Cr	48.00	43 ~ 51	4.36	60.14	39 ~ 81.00	13.64	74.86	56 ~ 87	7.65
Sr	842.00	236 ~ 1 789	830.76	692.29	379 ~ 1 581.00	409.81	317.45	153 ~ 499	98.86
Ba	308.67	145 ~ 426	146.12	324.14	94 ~ 440.00	142.87	530.64	352 ~ 816	105.62
Zr	231.00	98 ~ 322	117.76	170.57	34 ~ 469.00	138.96	155.05	131 ~ 202	19.51
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + CaO	68.67	53.17 ~ 83.79	14.35	66.65	53.17 ~ 79.13	9.67	70.0	65.38 ~ 75.35	2.55

注: Zr 由地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所分析, 其他元素由武警黄金部队分析测试。

SiO₂、LOI 为百分含量(wt%), 其他元素为 μg/g 分析样品数为 33 个。

在不同样品间的变化较大,在海槽中的变化相对较小, SiO_2 和 Al_2O_3 与 CaO 之间呈现此消彼长的负相关关系。从陆架到海槽, Al_2O_3 逐渐增加, CaO 逐渐减少。 Fe_2O_3 的平均含量在小于 5%, 在陆坡区变化范围较大, 在陆架和海槽区的变化范围相对较小。 FeO 、 K_2O 、 Na_2O 和 MgO 的平均含量均小于 3%, 变化范围普遍不大。 MnO 、 TiO_2 和 P_2O_5 的含量一般小于 1%, 仅在海槽 MnO 含量超过 1%。 LOI 在所有沉积区的含量均在 14% 以上。微量元素 Sr 、 Ba 和 Zr 的含量相对较高, 普遍大于 $100\mu\text{g/g}$, Cu 、 Pb 、 Zn 、 Co 、 Ni 和 Cr 的含量相对较低, 其平均含量一般小于 $100\mu\text{g/g}$ 。从陆架到海槽, 除了 Sr 和 Zr 之外, 其它所有微量元素的含量逐渐增加, 与 Al_2O_3 的变化趋势一致, 具有明显的在海槽富集的特征。

3.2 元素与 Al_2O_3 比值及其地质意义

元素之间的比值往往能够消除由于粒度和矿物组成变化所造成的化学元素的变化, 从而能够更准确地了解沉积物的元素地球化学特征。图 3 给出了部分常量元素和 Al_2O_3 比值的分布。从陆架到海槽, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值逐渐减小, 说明向海槽方向, SiO_2 的含量降低, 而 Al_2O_3 的含量增加。这与沉积物向海槽方向粗粒沉积物减少而细粒沉积物增加相对应, 说明 SiO_2 主要赋存在粗粒矿物相中, 而 Al_2O_3 主要赋存在细粒矿物相中。这种渐变的规律同时也表明, 碎屑沉积物是由源区向海槽方向输送的, 在搬运过程中, 由于沉积物的机械分异作用, 富含 SiO_2 的粗粒矿物相优先在陆架区沉积; 向海槽, 随着沉积物搬运距离增加, 富含 Al_2O_3 细粒矿物相沉积相对增加。

$\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值与 $\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值向海槽方向逐渐减小, 这与 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值的分布是一致的, 表现出明显的正相关关系, 同时也说明 TiO_2 和 Zr 在粗粒矿物相中相对富集。 Ti 在本区的沉积物中一般稳定的碎屑矿物金红石和钛铁矿等形式存在, 在海水中以离子状态迁移的 Ti 是微不足道的^[9], 因此 $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 可以反映水流搬运能力大小的一种指标^[10]。从 $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值分布可以看出, 比值为 0.06 的等直线与其它等值线之间明显不协调, 但从等深线的变化可以看出, 此处的地形变化是均匀的。这说明图中箭头所指的周围区域沉积物很可能是在较强的水动力条件下堆积形成的。

$\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值和 $\text{Sr}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值的分布基本一致, 表现出从陆架区到海槽区减少的趋势, 但在陆坡区有高异常值出现。研究表明本区的 CaO 主要以生物 CaCO_3 的形式存在^[7], 因此生物碎屑是造成 Ca 值高

的主要原因。 Sr 和 Ca 由于具有相似的晶体化学特征, Sr^{2+} 容易进入到晶体晶格中取代 Ca^{2+} 的位置, 因此在沉积物中二者往往表现出相同的地球化学行为, 二者的分布表现出惊人的一致性。

$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值和 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的比值分布几乎完全一致。在陆坡有两个高值区, 向陆架和海槽方向都呈减小的趋势。冲绳海槽陆坡区普遍存在在黑潮引起的上升流^[11], 大量营养盐上涌, 使营养元素 Fe 和 P 在陆坡富集, 同时使生物沉积作用大大增加, 造成了相应地区 CaO 的含量大大增加。

$\text{FeO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值和 $\text{MnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值分布截然相反, 从陆架到陆坡至海槽, 前者逐渐减小, 后者则逐渐增加, FeO 一般存在于还原环境中, 而 MnO 则主要存在于氧化环境中, 由二者的变化说明向海槽方向沉积环境由还原向氧化过渡。

3.3 元素富集因子

富集因子法 (EF) 主要是以 Al 作为参比值, 将某一微量元素与地壳中该元素进行标准化, 用以消除由于矿物和粒度变化所产生的影响, 从而被用以达到判断沉积物物源的目的^[12]。某一元素 (Me) 相对于地壳元素丰度^[13] 的富集因子定义为:

$$EF = (\text{Me}/\text{Al})_{\text{沉积物}} / (\text{Me}/\text{Al})_{\text{地壳}}$$

当富集因子为 1 时, 认为元素来源于地壳, 当 EF 大于 10 时, 该元素被认为是非地壳源的。表 2 中给出了陆架、陆坡、海槽、长江和黄河沉积物中部分元素 (包括 Cu 、 Zn 、 Pb 、 Co 、 Ni 、 Cr 和 Mn) 的富集因子。可以看出, 除了 Pb 和 Mn 之外, 其它元素的富集因子都在 1 左右变化, 表现出强烈的陆源属性。与长江和黄河沉积物的富集因子相比, 陆架区元素的富集因子与长江沉积物的更接近, 说明沉积物与长江的关系更为密切。

Cu 、 Zn 、 Pb 、 Co 、 Ni 和 Cr 的富集因子分布如图 3 所示。这六种元素的富集因子分布特征极为相似, 其高值区都在陆坡。由 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值的分布可以看出, 在陆坡区这些元素的高含量与上述六种元素富集因子的高值区相对应。这不是一种偶然现象, 前已述及, 陆坡区普遍存在的上

表 2 部分元素的富集因子

Table 2 Mean enrichment factors of some elements

元素	陆架	陆坡	海槽	长江	黄河
Cu	0.55	0.70	0.93	0.79	0.39
Zn	1.61	2.29	1.71	1.39	0.95
Pb	15.45	13.47	7.86	1.69	1.25
Co	0.80	0.70	0.63	0.85	0.60
Ni	0.76	0.96	0.83	0.55	0.45
Cr	1.11	1.12	0.83	1.02	1.00
Mn	1.71	2.16	12.31	1.06	0.79

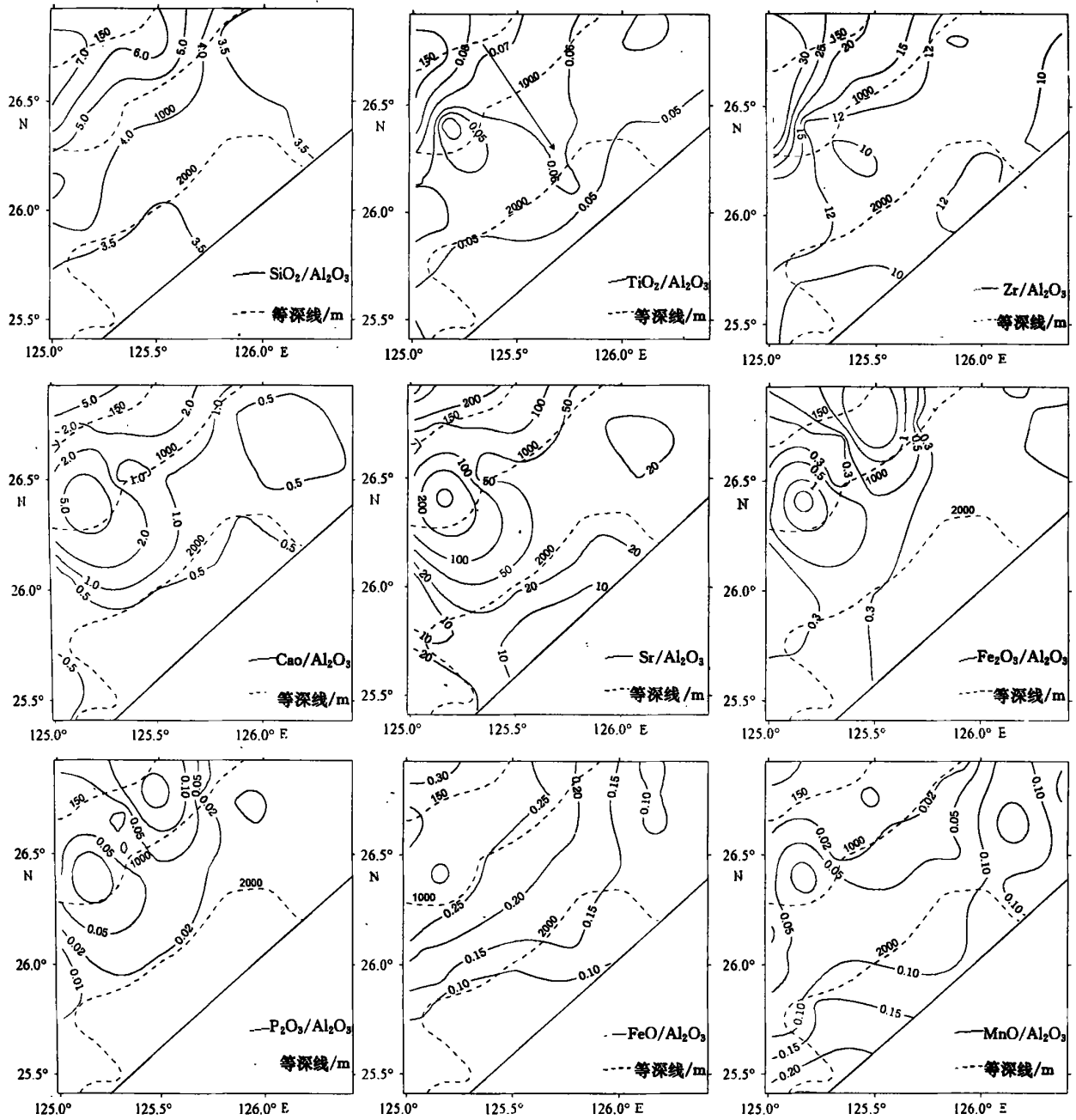


图 3 常量元素与 Al₂O₃ 的比值分布

Fig. 3 Distribution of major elements/Al₂O₃ ratio

升流使得生物沉积作用明显加强, 由于生物对重金属元素普遍具有富集作用^[14], 因此, 造成了上述六种元素在陆坡局部区域的相对富集。

由陆架向海槽, Zn、Pb、Co、Ni 和 Cr 的富集因子减小, 而 Cu 的富集因子增加。由前述的分析结果, 向海槽方向随细粒沉积物增加, 上述元素和 Al 的含量都在增加, 但与 Zn、Pb、Co、Ni 和 Cr 相比, 显然 Al 增加的速度更快, 致使这些元素和 Al 的比值减小, 这说明 Al

的迁移能力强于这几种元素。相反, 向海槽方向, Cu 的含量增加得比 Al 更快, 这可能有两种原因造成, 其一是 Cu 在沉积物中的迁移能力强于 Al; 其二是向海槽, 很可能有火山或热液来源的 Cu 加入, 具体属于何种情况还有待进一步的研究。Mn 的富集因子在陆架区接近于 1, 具有陆源属性; 向海槽方向, Mn 的富集因子明显增加, 其值大于 10, 说明有非壳源的 Mn 的存在。赵一阳^[6]对冲绳海槽南部 Mn 的自生指数的研

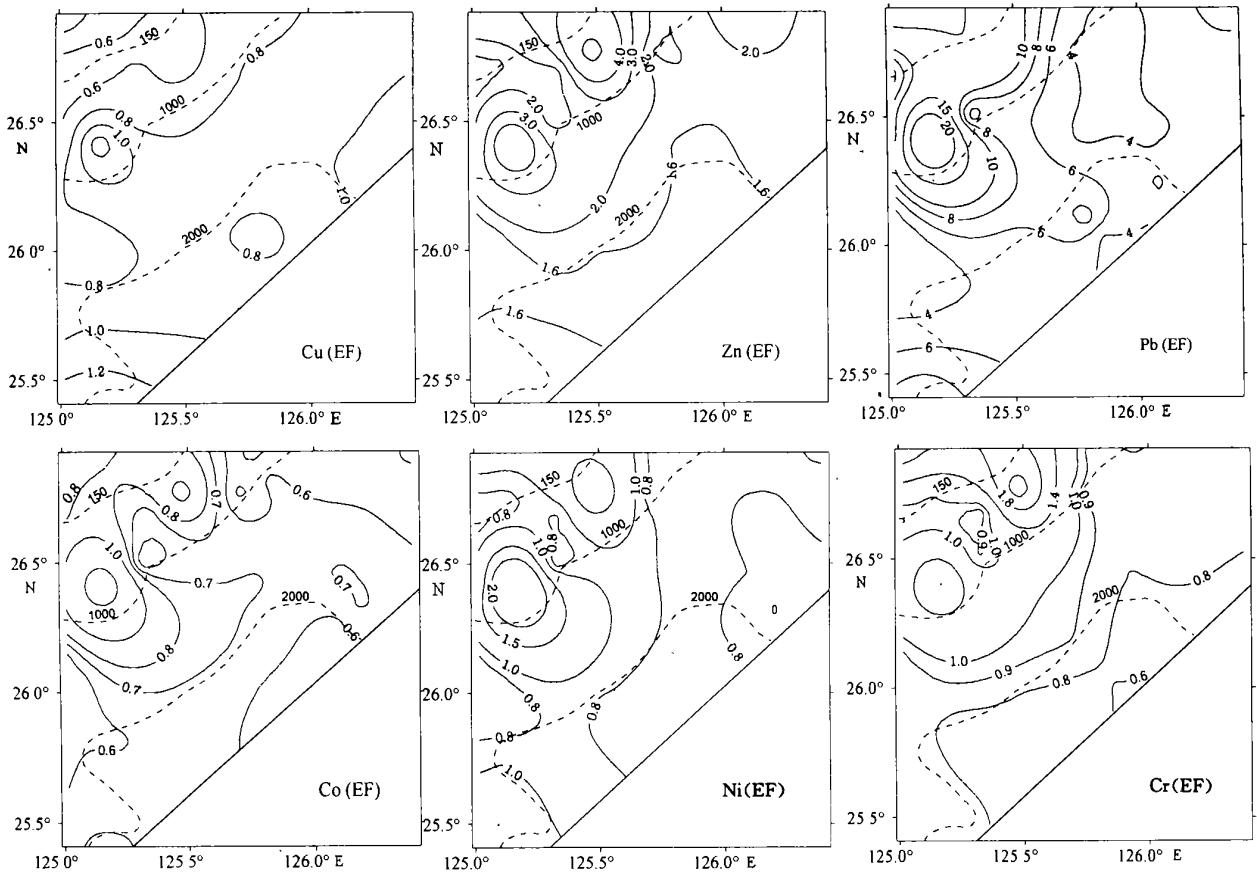


图4 元素富集因子分布

Fig. 4 Distribution of enrichment factors of elements

究表明, Mn 的自生指数可达 76%, 因此 Mn 的富集很可能是由于自生 Mn 的沉积造成的。

3.4 元素组合及环境指示意义

对所分析的常量和微量元素进行了 R 型因子分析(表 2)。结果表明, 多数变量的公因子方差在 0.85 以上, 4 个因子的累计方差贡献为 89%(表 2), 分析结果较为理想, 足以说明所有分析样品的情况。

第一主因子 F1 的方差贡献为 22%, 元素组合是 SiO_2 、 TiO_2 、Zr、CaO 和 Sr, 其中 SiO_2 、 TiO_2 和 Zr 位正载荷, 与 CaO 和 Sr 负相关。前述元素分布特征可以看出, 上述元素的高含量在陆架区, 而且 SiO_2 与 CaO 之间呈现此消彼长的关系, 因此可以认 F1 因子为陆架沉积环境, SiO_2 、 TiO_2 、Zr、CaO 和 Sr 则是陆架型的典型元素组合, 其中 SiO_2 、 TiO_2 和 Zr 属陆源物质的元素组合, CaO 和 Sr 为生源碎屑沉积组合。F2 因子的方差贡献为 17%, 元素组合为 Fe_2O_3 、MgO 和 P_2O_5 , 这些元素的分布特点是在陆坡相对富集, 且变化较显著, 因此可以认为 F2 代表的是陆坡沉积环境, Fe_2O_3 、

MgO 和 P_2O_5 是陆坡型的典型元素组合。F3 因子的方差贡献为 34%, 元素组合为 Al_2O_3 、 K_2O 、Cu、Zn、Co、Ni、Cr 和 Ba。这些元素有一个共同的特点, 即在海槽为高含量区, 可以认为 F3 代表的海槽区沉积环境, 该组元素是海槽型的典型元素组合。F4 因子的方差贡献为 16%, 元素组合为 FeO 和 MnO, 这两种元素呈负相关关系, 反映的是整个沉积区氧化—还原环境属性的元素组合。

4 结论

(1) 冲绳海槽南部表层沉积物主要化学组成为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 CaO, 这三种组分占沉积物总量的 68% 左右。陆架和陆坡区多数元素的变化范围较大, 海槽区的元素含量相对变化较小多数元素在陆架和陆坡的变化范围较大, 在海槽区相对稳定。向海槽方向随沉积物粒径变细, SiO_2 和 CaO 减少、 Al_2O_3 和其它多数元素含量增加。

(2) 常量元素和 Al_2O_3 的比值分布特征表明, 本

表3 因子载荷矩阵(经过方差极大旋转)

Table 3 Matrix of factor loading (Varimax raw)

变量	F1	F2	F3	F4	公因子方差
SiO ₂	0.95	0.20	0.13	-0.07	0.97
Al ₂ O ₃	0.40	0.22	0.83	0.22	0.95
Fe ₂ O ₃	-0.15	-0.95	0.05	0.21	0.98
FeO	0.18	0.29	0.10	-0.89	0.92
P ₂ O ₅	-0.22	-0.94	-0.18	-0.06	0.97
TiO ₂	0.78	0.32	0.52	0.02	0.98
CaO	-0.79	0.03	-0.58	-0.08	0.97
MgO	-0.08	-0.67	0.55	0.31	0.86
K ₂ O	0.37	-0.25	0.81	-0.03	0.86
Na ₂ O	0.10	0.10	0.55	0.61	0.69
MnO	0.09	-0.06	0.40	0.85	0.89
Cu	0.06	0.16	0.81	0.51	0.95
Zn	-0.06	-0.61	0.66	0.23	0.86
Co	0.39	-0.03	0.65	0.43	0.77
Ni	-0.09	-0.25	0.67	0.61	0.89
Cr	0.23	-0.30	0.84	0.08	0.86
Sr	-0.79	-0.02	-0.58	0.02	0.95
Ba	0.35	0.30	0.72	0.21	0.77
Zr	0.84	0.19	-0.39	-0.06	0.90
方差贡献	4.24	3.27	6.48	3.00	17
累计方差百分数	22	17	34	16	89

区沉积物由物源区经由陆架向海槽输送, 沉积物的主体是陆源碎屑沉积, 此外还有生物碎屑沉积和自生沉积。

(3) 部分微量元素富集因子(EF)与长江和黄河沉积物的富集因子对比结果表明, 本区的沉积物与长江沉积物的关系更为密切。陆坡区 Cu、Pb、Zn、Co、Ni 和 Cr 的富集因子较高是由于生物的富集作用造成的, Mn 在海槽的富集主要是自生沉积作用加强的结果。

(4) 冲绳海槽南部表层沉积物的元素可以分为四组, 1) SiO₂、TiO₂、Zr、CaO 和 Sr, 2) Fe₂O₃、MgO 和 P₂O₅, 3) Al₂O₃、K₂O、Cu、Zn、Co、Ni、Cr 和 Ba, 和 4) MnO 和 FeO。前三组元素分别代表陆架、陆坡和海槽三种沉积环境的典型元素组合, 第 4 组元素代表的是整个沉积区氧化—还原环境属性的元素组合。

参考文献(References)

1 Milliman J D, Meade R H. World wide delivery of river sediment to the oceans[J]. *Journal of Geology*, 1983, 91: 1~21

2 陈丽蓉, 徐文强, 申顺喜. 东海沉积物的矿物组合特征及其分布规律[A]. 黄东海地质[C]. 北京: 科学出版社, 1982. 82~97[Wen-qiang and Shen Shunxi. Mineral assemblages and their distribution patterns in the sediments of the East China Sea[A]. In: Department of Marine Geology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. The Geology of the Yellow Sea and the East China Sea[C]. Beijing: Sci-

ence press, 1982. 82~97]

- 3 陈丽蓉, 徐文强, 申顺喜等. 冲绳海槽的矿物组合、物质来源及原始岩浆性质的初步探讨[J]. *海洋与湖沼*, 1986, 17(1): 3~12[Chen Lirong, Xu Wenqiang, Shen Shunxi, *et al.* A study on sediment mineral assemblages, their sources and the property of proto magma of Okinawa Trough[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1986, 17(1): 3~12]
- 4 陈冠球, 罗曼云. 冲绳海槽海底沉积物中矿物组合及其分布特征的研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1986, 6(1): 75~85[Chen Guanqiu and Luo Manyun. On mineralogical assemblages and distributry characteristics of sediments in Okinawa Trough[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1986, 6(1): 75~85]
- 5 秦蕴珊, 赵一阳等主编. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 1~263[Zhao Yiyang, Chen Lirong, *et al.* *Geology of the East China Sea* [M]. Beijing: Science Press, 1978. 1~263]
- 6 赵一阳, 何丽娟, 张秀莲等. 冲绳海槽沉积物地球化学的基本特征[J]. *海洋与湖沼*, 1984, 15(4): 371~379[Zhao Yiyang, He Lijuan and Zhang Xiulian, *et al.* Basic characteristics of geochemistry of sediments in Okinawa Trough[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1984, 15(4): 371~379]
- 7 赵一阳, 鄢明才著. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 1~200[Zhao Yiyang and Yan Mingcai. *Geochemistry of sediment of the Cina Shelf Sea*[M]. Beijing: Science Press, 1994. 1~200]
- 8 吴明清, 王贤觉. 冲绳海槽沉积物的化学成分特征及其地质意义[J]. *海洋与湖沼*, 1988, 19(6): 585~593[Wu Mingqing, and Wang Xianjue. The chemical composition characteristics of the sediments in Okinawa Trough and their geological significance[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1988, 19(6): 585~593]
- 9 刘英俊. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 50~58[Liu Yingjun. *Element Geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 1984. 50~58]
- 10 蓝先洪. 珠江三角洲第四纪沉积物 TiO₂/Al₂O₃ 值及其地质意义[J]. *台湾海峡*, 1992, 11(3): 228~232[Lan Xianhong. TiO₂/Al₂O₃ ratio in Quaternary sediments of Zhujiang River Delta and its geological significance[J]. *Taiwan Strait*, 1992, 11(3): 228~232]
- 11 管秉贤. 台湾以东及东海黑潮调查研究的主要动向及结果[J]. *海洋学报*, 1983, 5(2): 133~146[Guan Binxian. The main directions and results of investigation on the Kuroshio current on the East China Sea and the East Taiwan Island[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1983, 5(2): 133~146]
- 12 Nolting R F, Ramkema A, Everaerts J M. The geochemistry of Cu, Cd, Zn, Ni and Pb in sediment cores from the continental slope of the Banc d'Arguin (Mauritania)[J]. *Continental Shelf Research*, 1999, 19: 665~691
- 13 Taylor S R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964, 28: 1273~1385
- 14 Rainbow P S. 海洋生物对重金属的积累及意义[J]. *海洋环境科学*, 1992, 11(1): 44~52[Rainbow P S. The accumulation of heavy metals caused by marine biology and its significance[J]. *Marine Environmental Science*, 1992, 11(1): 44~52]

Geochemical Characteristics and Their Implications to Provenance and Environment of Surface Sediments from the South Okinawa Trough

JIANG Fu-qing LI An-chun

(Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences Qingdao Shandong 266071)

Abstract Chemical compositions of 33 surface sediment samples were measured. The samples were collected from the continental shelf, slope and the south Okinawa Trough, respectively. The major chemical compositions are dominantly composed of SiO_2 , CaO and Al_2O_3 , which account for about 68 percent weight of the sediments. Most of the elements change with a wide range in the shelf and slope sediments, but keep stable in the trough sediments. From shelf to trough, the grain size of the sediment becomes finer, at the same time, the content of SiO_2 and CaO decrease, and the content of Al_2O_3 and most of other elements increase. Based on the distributions of the major elements/ Al_2O_3 ratio, it can be concluded that the sediments are transported from the provenance area to the trough. The sediments mainly composed of terrigenous, biogenic and autogenetic deposits in the study area. Comparing the enrichment factors (EF) of some elements of the shelf sediments with the Yangtse River and Yellow River sediments, It can be concluded that the sediments in the study area are similar to the Yangtse River sediments. The high enrichment factors of Cu , Zn , Pb , Co , Ni and Cr in the slope are caused by the biogenic enrichment. The enrichment of Mn is caused by autogenetic deposit. Based on the R-mode factor analysis of the chemical compositions, combined with analysis of the distributions of the elements, four major factors indicate four sedimentary environments respectively. Every sedimentary area has its own typical elements group. They are, 1) Shelf-type elements group: SiO_2 , TiO_2 , Zr , CaO and Sr ; 2) Slope-type elements group: Fe_2O_3 , MgO and P_2O_5 ; 3) Trough-type elements group: Al_2O_3 , K_2O , Cu , Zn , Co , Ni , Cr and Ba , and 4) Redox elements group: MnO and FeO respectively.

Key words geochemical characteristics, implications to provenance and environment, surface sediments, southern Okinawa Trough