

冲绳海槽沉积物的化学成分特征 及其地质意义*

吴明清 王贤觉

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

摘要 本文根据1983年采集样品系统地研究了冲绳海槽沉积物的化学成分, 结果表明, 冲绳海槽沉积物的主要化学成分为 SiO_2 , CaCO_3 和 Al_2O_3 , 尤其以 CaCO_3 含量较高而明显地区别于深海沉积物或陆架沉积物。从常量元素与微量元素之间的关系来看, 冲绳海槽沉积物的绝大部分样品接近于陆壳物质, 只有少数样品与洋壳物质相近。上述特征表明, 冲绳海槽沉积物的物质来源除了生物沉积成因以外, 在一定程度上仍以陆源碎屑沉积为主体, 同时也有部分海底火山物质的加入。

冲绳海槽是一个处于活动大陆边缘的年轻弧后海盆, 由于大地构造位置特殊, 加之沉积环境复杂, 不仅是研究沟-弧-盆系的典型海区, 而且也是研究半深海沉积模式的重要海区之一, 因而早已引起了国内、外地质学家的关注。70年代以来, 继苏联、美国、日本等国之后, 我国许多单位相继对冲绳海槽开展了海洋地质和地球物理调查, 取得了不少研究成果。1983年10月, 作者之一随同中国科学院海洋研究所科研人员, 乘“科学一号”考察船详细考察了冲绳海槽, 并进行了系统取样。在此基础上, 我们对采集的30个表层沉积物样品, 在室内进行了岩石化学成分、稀土和微量元素地球化学特征的系统研究。本文主要报道冲绳海槽沉积物的化学成分特征及其地质意义, 而有关稀土和微量元素的地球化学特征拟在另文专门论述。

一、样品的采集及分析

冲绳海槽由于处在活动大陆边缘, 槽内火山活动强烈, 火成岩极为发育。槽内水深一般大于1000m。在垂直于海槽的横剖面上, 地形变化十分明显, 其特征为两侧槽坡坡度较大, 槽底则较为平坦。海槽南部的东、西两侧槽坡较陡, 槽底起伏较大, 水深一般在2000m左右, 最深处可达2334m^[1]。同南部相比, 海槽中部及北部(尤其北部)不仅水深较浅, 两侧槽坡起伏较小, 且槽底也较为平坦。本次考察历时近20天, 调查了6条大体垂直于海槽的剖面, 共30余个站位(图1)。测站横跨东、西两侧槽坡及海槽底部。考察过程中系统采集了30个站位的表层沉积物样品, 它们分布在25—30°N, 124—129°E范围内, 样品

* 在海上调查和完成此项工作过程中, 曾得到陈毓蔚研究员、赵一阳研究员以及官晨钟、张君元、翟世奎、杨永亮、王金土、肖小月等同志的关心和帮助, 特志谢忱。

收稿日期: 1987年1月7日。

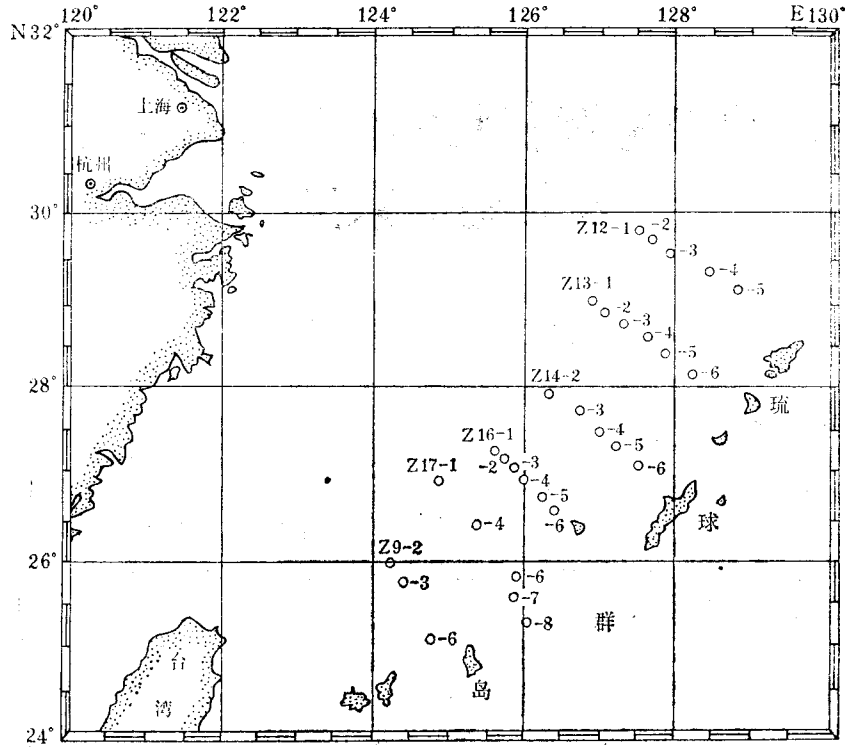


图 1 冲绳海槽沉积物取样站分布图

Fig. 1 Distribution of sediment sampling stations in the Okinawa Trough

的状况详见表 1。

样品的岩石化学系统全分析采用经典的化学分析法来完成,其中 SiO_2 采用重量法, Al_2O_3 采用酸碱容量法,高铁和亚铁采用重铬酸钾连续滴定法, P_2O_5 和 TiO_2 利用比色法, MnO , CaO , MgO , K_2O 和 Na_2O 采用原子吸收法, CO_2 采用非水滴定容量法,结晶水采用平菲尔特管法,部分微量元素采用原子吸收法,钕族稀土 (ΣCe) 和钇族稀土 (ΣY) 采用等离子体光谱测定单一稀土元素以后再相加。

二、结果与讨论

1. 冲绳海槽沉积物的主要化学成分及特征

由于冲绳海槽所处的特殊地理位置,不仅直接受到西太平洋潮波及黑潮暖流的影响,而且海槽内曾经历过两期火山活动^[1],沉积作用方式多样。在沉积物性质上,既不完全等同于陆架浅海区,也与深海大洋有所不同。从沉积物的粒度来看,海槽东坡及西坡较粗,多为细砂或粉砂,且含大量生物碎屑,海槽底部则较细,多为含有孔虫的泥;从颜色上看,海槽西坡多呈暗色或暗绿色,海槽底部及东坡样品颜色较浅,多呈灰白或浅黄色。从沉积物的化学成分来看(表 2),除个别位于海槽西坡样品 (Z9-2, Z14-2, Z12-1) 的 SiO_2 含量大于 60% 以外,绝大部分样品的 SiO_2 含量均小于 50%,其分布趋势为由西向东逐渐降低,其中大部分位于海槽东坡的样品,它们的 SiO_2 含量往往低到 20% 左右,个别站位

表 1 冲绳海槽沉积物的样品情况

Tab. 1 Samples conditions of the Okinawa Trough sediments

样品号	经度(E)	纬度(N)	水深(m)	大体部位	样品描述
Z9-2	124°07'	26°00'	160	西坡	灰色细砂
Z9-3	124°17.2'	25°50'	225	西坡	黑色稀泥(含砾石)
Z9-6	124°45'	25°04'	1940	底部	灰褐色粉砂质泥
Z17-1	124°47'	26°50'	118	西坡	灰黄粗砂(含生物碎屑)
Z17-4	125°23'	26°20'	1600	底部	灰色泥
Z17-6	125°52'	25°54'	1560	底部	灰白色泥
Z17-7	125°50.4'	25°37.5'	1600	底部	灰白色泥
Z17-8	126°5'2''	25°21.5'	180	东坡	粗砂(含大量生物碎屑)
Z16-1	126°34'	27°13'	135	西坡	中粗砂(含生物碎屑)
Z16-2	125°43'	27°07'	153	西坡	细砂(含生物碎屑)
Z16-3	125°50'	27°02'	650	西坡	粉砂质泥
Z16-4	126°00'	26°56'	1480	底部	青灰色泥
Z16-5	126°08'	26°44.2'	1890	底部	青灰色泥
Z16-6	126°25.8'	26°35.2'	1660	底部	青灰色泥(含较多有孔虫)
Z14-2	126°28'	27°55'	290	西坡	灰色细砂
Z14-3	126°40.2'	27°45'7''	1460	底部	青灰色泥
Z14-4	126°55.5'	27°32.5'	1600	底部	灰黄色泥
Z14-5	127°12'	27°18'	850	东坡	粉砂质泥(含生物碎屑)
Z14-6	127°27'	27°07'	750	东坡	钙质泥(含较多有孔虫)
Z13-1	126°55.5'	29°01'	140	西坡	褐黄色细砂
Z13-2	127°9'2''	28°51.5'	400	西坡	粉砂质泥
Z13-3	127°18'8''	28°45'2''	935	西坡	含砂钙质泥
Z13-4	127°36.7'	28°33.3'	1130	底部	青灰色泥
Z13-5	127°54'	28°25'	750	东坡	灰黄粗砂(含生物碎屑)
Z13-6	128°15'	28°09'	1130	底部	青灰色泥(含较多有孔虫)
Z12-1	127°26'	29°46'	140	西坡	褐黄细砂
Z12-2	127°37'	29°41'	410	西坡	泥质粉砂(含生物碎屑)
Z12-3	127°56'	29°32'	1050	底部	粉砂质泥
Z12-4	128°20'	29°15'	1080	底部	钙质泥
Z12-5	128°42'	29°08'	1184	底部	钙质泥

如 Z17-8 的 SiO_2 含量甚至低到仅有 1.83%。除 SiO_2 以外, Al_2O_3 也是含量较多的成分之一, 其中绝大部分样品(主要产于海槽底部)的 Al_2O_3 含量均大于 10%, 反映了泥质沉积物的特点。在同一条剖面上, 由西向东, Al_2O_3 的含量有从低变到高、再由高变到低的变化趋势, 基本上从属于粒度控制规律, 同时亦表明 Al_2O_3 主要赋存于细粒粘土物质中。此外, CaCO_3 的含量[以 CO_2 为标准, 按 $\text{CaO}:\text{CO}_2 = 1:1$ (分子比)的含量两者相加]变化也是十分明显的, SiO_2 含量低的样品, 往往具有相当高的 CaCO_3 含量, 且由西到东, CaCO_3 的含量由低变到高。除海槽西坡的部分样品 CaCO_3 含量仅为 10% 左右以外, 海槽底部及东坡的样品绝大部分的 CaCO_3 含量均大于 20%, 部分样品为 30—40%, 甚至个别位于海槽东坡的样品竟高达 89.10%。这些含量不等的 CaCO_3 , 显然是钙质生物碎屑沉积的重要标志, 表明了生物碎屑组分是冲绳海槽沉积物的一个不可忽视的基本成

表 2 冲绳海槽沉积物的化学全分析结果(%)
Tab. 2 Chemical analyses of the Okinawa Trough sediments

样品 项目	Z9-2	Z9-3	Z9-6	Z17-1	Z17-4	Z17-6	Z17-7	Z17-8	Z16-1	Z16-2	Z16-3	Z16-4	Z16-5	Z16-6	Z14-2
SiO ₂	64.37	48.93	31.86	56.40	48.45	43.64	38.14	1.83	54.68	53.35	45.38	46.23	45.93	42.73	69.85
TiO ₂	0.54	0.37	0.16	0.31	0.43	0.43	0.34	—	0.37	0.51	0.40	0.48	0.52	0.47	0.59
Al ₂ O ₃	8.61	11.00	8.65	6.99	13.46	12.34	11.80	—	7.46	7.04	10.11	12.94	13.50	11.63	8.39
Fe ₂ O ₃	3.17	4.04	3.87	2.44	2.58	2.56	3.30	0.22	1.88	2.64	1.74	2.69	3.83	2.44	1.90
FeO	2.35	2.23	0.21	1.33	2.55	2.01	1.31	0.13	1.36	1.65	2.24	2.73	1.87	1.88	1.64
MnO	0.12	0.08	0.86	0.08	0.07	0.08	0.56	0.06	0.08	0.09	0.07	0.09	0.30	0.10	0.09
MgO	2.12	2.67	2.19	1.57	2.57	2.57	2.63	3.61	1.97	1.85	2.13	2.43	2.51	2.06	1.38
CaO	7.58	12.40	22.74	12.34	9.20	12.37	14.81	47.38	13.78	14.02	13.17	8.84	8.80	13.64	5.36
Na ₂ O	1.87	1.41	2.19	1.46	2.61	2.73	3.32	0.90	2.19	2.28	3.30	3.38	2.94	2.92	2.34
K ₂ O	1.58	2.09	1.44	1.37	2.38	2.22	1.89	0.14	1.32	1.26	1.90	2.37	2.20	1.94	1.52
H ₂ O ⁺	1.68	2.91	3.95	2.02	3.77	3.51	3.90	1.65	2.01	1.76	1.73	2.48	3.52	3.44	1.19
H ₂ O ⁻	1.09	3.39	4.77	1.38	4.40	5.23	5.28	1.16	1.77	1.79	1.69	3.69	4.43	3.22	1.20
P ₂ O ₅	0.29	0.34	0.29	0.24	0.24	0.19	0.29	0.25	0.28	0.24	0.24	0.18	0.10	0.25	0.23
CO ₂	4.46	7.28	16.10	11.24	6.76	9.56	11.87	41.72	10.40	10.99	15.45	10.34	8.96	12.75	3.57
总计	99.92	99.14	99.28	99.17	99.47	99.44	99.44	99.05	99.55	99.47	99.55	99.37	99.41	99.47	99.25
CaCO ₃	10.06	16.55	36.59	23.58	15.36	21.73	26.68	89.10	23.64	24.98	23.51	15.78	15.71	24.36	8.11

续表 2

样品 项目	Z14-3	Z14-4	Z14-5	Z14-6	Z13-1	Z13-2	Z13-3	Z13-4	Z13-5	Z13-6	Z12-1	Z12-2	Z12-3	Z12-4	Z12-5
SiO ₂	45.05	58.47	24.61	19.62	57.38	49.46	44.44	57.97	36.26	38.86	70.80	51.36	51.70	46.18	41.33
TiO ₂	0.55	0.48	0.34	0.22	0.42	0.45	0.36	0.41	0.04	0.37	0.43	0.23	0.38	0.28	0.27
Al ₂ O ₃	12.58	12.53	7.03	4.49	7.03	11.60	13.16	11.96	8.59	10.88	7.71	8.35	11.18	11.86	10.20
Fe ₂ O ₃	2.65	1.67	1.69	1.24	2.00	3.12	2.28	1.75	1.28	3.86	1.43	1.94	1.53	2.36	2.30
FeO	2.53	1.96	1.20	0.84	1.24	1.66	2.05	1.85	1.54	0.32	1.15	1.14	1.77	2.13	1.48
MnO	0.09	0.08	0.10	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.10	0.78	0.08	0.06	0.08	0.10	0.17
MgO	2.33	1.82	1.19	1.57	1.73	2.51	2.34	1.75	1.43	2.14	1.25	1.43	1.59	2.15	1.85
CaO	9.86	4.72	32.82	34.19	12.59	10.45	11.48	6.20	23.74	14.50	6.57	15.16	13.31	11.12	16.55
Na ₂ O	3.31	4.36	2.74	2.65	2.21	2.91	3.56	4.48	3.32	3.63	2.37	2.73	3.78	3.68	3.69
K ₂ O	2.26	2.19	0.94	0.83	1.69	2.25	2.09	2.23	0.74	1.79	1.83	1.77	2.00	2.09	1.82
H ₂ O ⁺	3.54	4.05	2.23	2.15	1.60	3.75	3.24	3.91	1.82	4.02	1.20	1.62	2.77	3.45	3.90
H ₂ O ⁻	5.42	3.88	3.00	3.26	1.94	5.34	4.58	5.60	2.57	3.99	1.37	2.58	3.11	4.95	3.46
P ₂ O ₅	0.24	0.19	0.10	0.19	0.19	0.19	0.15	0.19	0.19	0.28	0.19	0.14	0.20	0.25	0.15
CO ₂	9.10	2.87	21.19	28.78	9.44	6.33	9.87	1.69	18.10	14.24	3.14	11.51	7.12	9.12	12.71
总计	99.51	99.27	99.18	100.09	99.53	100.09	99.66	100.07	99.72	99.66	99.52	100.02	100.52	99.72	99.88
CaCO ₃	17.61	6.52	48.16	61.05	21.45	14.39	20.50	3.84	41.14	25.89	7.14	26.16	16.18	20.24	28.89

分。以 CaCO_3 的含量来说, 冲绳海槽沉积物远远高于邻近海域如东海陆架区沉积物或太平洋深海沉积物^[3], 这主要反映了冲绳海槽的特殊沉积环境。由于冲绳海槽强烈受到太平洋黑潮和底部上升流的影响, 海水中营养盐极其丰富, 导致浮游生物, 如有孔虫等大量繁衍生息, 死后即可造成海底生物沉积; 加之海槽东侧接受了南琉球群岛广泛发育的生物碎屑灰岩破碎物的大量供给^[4], 洋流又受到琉球群岛的阻拦而减弱, 促使大量生物碎屑富集, 从而导致沉积物样品中 CaCO_3 含量增大。上述事实表明, 冲绳海槽的生物沉积作用由西向东不断地加强。

2. 常量元素与某些微量元素的地球化学关系及其意义

如上所述, 正是由于冲绳海槽所处的特殊沉积环境, 从而导致该海区沉积物显著地区别于深海沉积物或陆架沉积物。因此, 我们有必要从常量元素相互之间的关系和常量元素与某些微量元素之间的关系, 来探讨一下冲绳海槽沉积物与其他物质的差别。

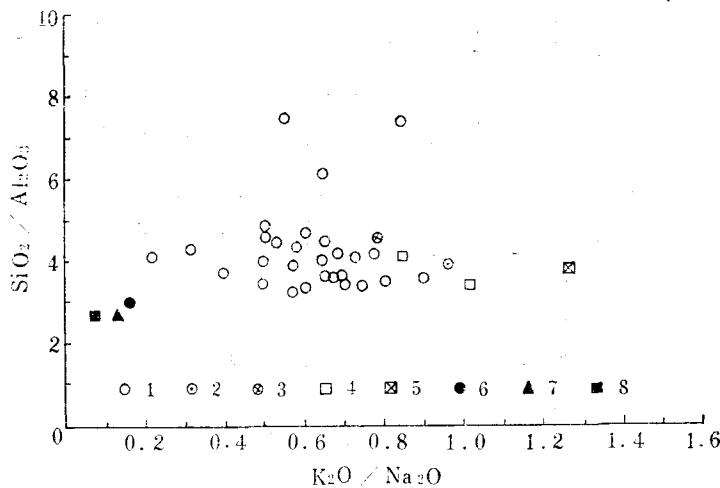


图2 冲绳海槽沉积物及其它物质的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 关系图
Fig. 2 Variations of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ of the Okinawa Trough sediments and other related samples

1. 冲绳海槽沉积物; 2. 陆壳^[2]; 3. 福建花岗岩^[3]; 4. 页岩^[6]; 5. 沉积壳层^[2]; 6. 洋壳^[2]; 7. 深海沉积物^[2]; 8. 大洋玄武岩壳层^[2]。

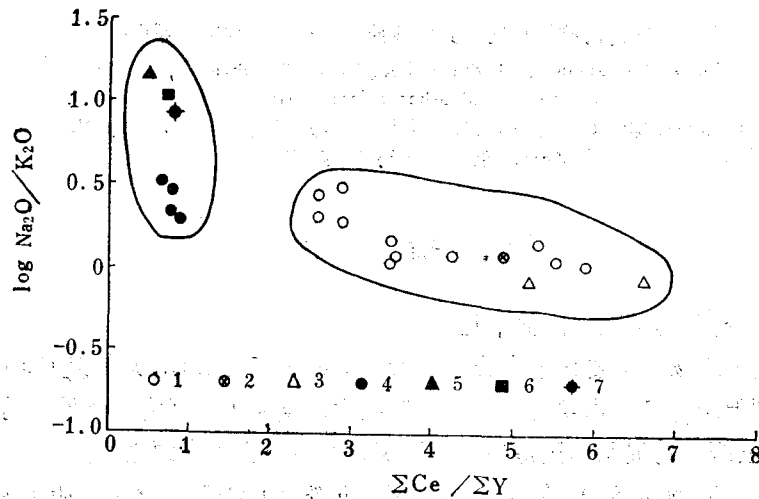
从常量元素之间的相互关系来看, 在 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 关系图中(见图2), 冲绳海槽沉积物位于深海沉积物、洋壳物质与页岩、陆壳物质之间, 其中绝大部分样品与陆壳物质接近, 而少数样品则接近于洋壳物质。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值在冲绳海槽沉积物中变化不大, 而 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值变化范围较宽。这一事实表明, 冲绳海槽沉积物的物质来源是复杂的, 除了以上论及的生物沉积成因以外, 既有陆源物质的加入, 也不排除有洋壳物质(即海底火山物质)加入的可能性, 反映了冲绳海槽作为陆架浅海向深海大洋过渡的半深海沉积环境特点。

冲绳海槽沉积物部分样品的 Li, Rb, Cs, Cu, Co, Ni, ΣCe , ΣY 等微量元素的分析结果列于表3。

表3 冲绳海槽沉积物中部分样品的微量元素分析结果(ppm)

Tab. 3 Trace element analyses of several samples of the Okinawa Trough sediments (ppm)

元素	Z9-2	Z9-6	Z16-5	Z14-2	Z14-3	Z14-5	Z14-6	Z12-1	Z12-2	Z12-5
Li	36	96	59	11	70	19	33	27	33	54
Rb	52	105	110	55	114	31	34	75	78	75
Cs	2	2	7	2	8	2	2	2	3	5
Cu	8	6	41	8	35	11	19	7	10	28
Co	15	14	22	11	23	10	6	10	14	19
Ni	30	24	65	23	58	20	21	17	24	37
$\Sigma\text{Ce}^{1)}$	314.39	99.87	132.49	210.71	126.38	55.04	45.15	192.86	105.78	96.90
$\Sigma\text{Y}^{2)}$	54.14	29.19	36.46	40.88	33.57	21.34	15.30	34.85	25.74	34.36

1) $\Sigma\text{Ce} = (\text{La} + \text{Ce} + \text{Pr} + \text{Nd} + \text{Sm} + \text{Eu})$ 。2) $\Sigma\text{Y} = (\text{Gd} + \text{Tb} + \text{Dy} + \text{Ho} + \text{Er} + \text{Tm} + \text{Yb} + \text{Lu} + \text{Y})$ 。图3 冲绳海槽沉积物与其它物质的 $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 关系图。Fig. 3 $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ diagram of the Okinawa Trough sediments and other samples1. 冲绳海槽沉积物; 2. 福建花岗岩^[3]; 3. 台湾浅滩沉积物^[3]; 4. 沉海沉积物^[3]; 5. 洋壳^[2]; 6. 大洋玄武岩壳层^[2]; 7. 球粒陨石^[3]。

从常量元素与微量元素之间的关系来看, 在 $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 关系图中 (见图3), 冲绳海槽沉积物同样处于深海沉积物、洋壳物质与陆壳物质之间, 大部分样品与陆壳物质接近。洋壳物质处于富 Na_2O 和富钇族稀土 (ΣY) 的范围, 而冲绳海槽沉积物则处于钪族稀土 (ΣCe) 相对较富的区域, 仅有少数样品与深海沉积物相近。这一分布特征同样反映了冲绳海槽沉积物的物质来源特点。

此外, 冲绳海槽沉积物与拉斑玄武岩和碱性玄武岩在 Ti 与 Rb 的含量特征方面也存在差异。冲绳海槽沉积物和一些典型的陆壳物质基本上处在同一区域, 相对比较富 Rb

而贫 Ti, 而玄武岩则相对比较富 Ti 和贫 Rb (图 4)。

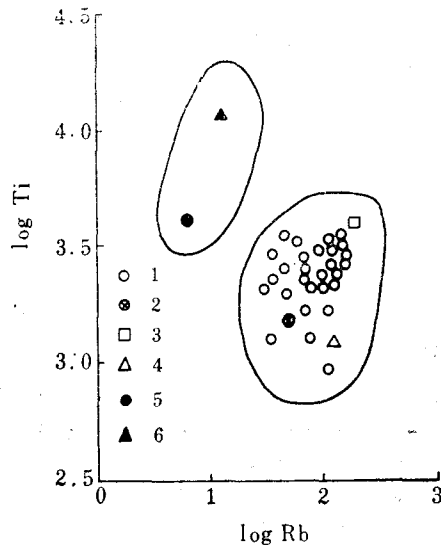


图 4 冲绳海槽沉积物与其它物质的 $\log Ti$ - $\log Rb$ 关系图

Fig. 4 Variations of $\log Ti$ and $\log Rb$ of the Okinawa Trough sediments and other related samples

1. 冲绳海槽沉积物; 2. 台湾浅滩沉积物^[3]; 3. 页岩^[6]; 4. 福建花岗岩^[3]; 5. 拉斑玄武岩^[2]; 6. 碱性玄武岩^[5]。

三、结 语

通过上述讨论, 我们可以得出如下几点认识。

1. 冲绳海槽沉积物的主要化学成分为 SiO_2 , $CaCO_3$ 和 Al_2O_3 , 尤其以 $CaCO_3$ 含量较高而显著地区别于深海沉积物或典型的陆架沉积物, 反映了冲绳海槽所处的特殊沉积环境特点, 同时亦表明生物沉积作用是该海区沉积物的主要物质来源之一。

2. 冲绳海槽沉积物的 SiO_2 含量一般均小于 50%, 而 $CaCO_3$ 含量一般则大于 20%, 且从西向东, 冲绳海槽沉积物的 SiO_2 含量明显地由高变低, 而 $CaCO_3$ 含量则呈相反的变化趋势, 表明了由西向东生物沉积作用逐渐加强。

3. 从常量元素之间的关系来看 (图 2), 冲绳海槽沉积物位于洋壳物质与陆壳物质之间, 其中绝大部分样品接近于陆壳物质, 仅有少数样品与洋壳物质相近。表明物质来源除了生物沉积成因以外, 在一定程度上仍以陆源碎屑沉积为主体, 同时也有部分海底火山物质的加入。

4. 冲绳海槽沉积物比典型的大洋沉积物和玄武岩更富铈族稀土、富 Rb 和富 K, 反映了陆壳物质的微量元素含量特点。

参 考 文 献

- [1] 王舒敏、梁寿生, 1986. 冲绳海槽盆地的地质构造特征与盆地演化历史. 海洋地质与第四纪地质 2: 17-29.
[2] 中国科学院贵阳地球化学研究所, 1977. 简明地球化学手册. 科学出版社, 50-91 页。

- [3] 吴明清, 1983. 我国台湾浅滩海底沉积物稀土元素地球化学. 地球化学 3: 303—313.
- [4] 张明书, 1986. 冲绳海槽沉积物分类和层序划分的初步意见. 海洋地质与第四纪地质 2: 31—40.
- [5] Chen Yuwei, Wang Xianjue, Wu Mingqing and Zhao Yiyang, 1983. Geochemistry and the Material Source of Sediments in the East China Sea. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea. April 12—16, Hangzhou, China. China Ocean Press, 2: 846—855.
- [6] Gromet, L. P., R. F. Dymek, L. A. Haskin et al., 1984. The North American Shale Composite: Its Compilation, Major and Trace Element Characteristics. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 2469—2482.

THE CHEMICAL COMPOSITION CHARACTERISTICS OF THE SEDIMENTS IN OKINAWA TROUGH AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Wu Mingqing and Wang Xianjue

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang)

ABSTRACT

The chemical compositions of the sediments in the Okinawa Trough have been studied in detail based on the data obtained by the research ship "Science No. 1". The results show that the main chemical compositions of the sediments in Okinawa Trough are SiO_2 (less than 50%), CaCO_3 (more than 20%), and Al_2O_3 (more than 10%), which are obviously different from the chemical composition of the sediments of continental shelf and pelagic ocean, but similar to that of continental crust. The above characteristics suggest that the material sources of sediments in Okinawa Trough are mainly terrigenous except the biogenous components and the products of oceanic volcano.