

末次盛冰期以来冲绳海槽中段岩心中 黏土粒级沉积物地球化学特征及 物质来源的阶段性

郭 峰¹, 杨作升¹, 刘振夏², 郭志刚¹, 范德江¹, Sato Y³, Berne S⁴

(1. 青岛海洋大学, 山东 青岛 266003; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 3. 日本地质调查所, Tsukuba 305- 8567; 4. 法国海洋研究所, IFREMER, Plouzane 29280)

摘要: 测定了冲绳海槽 DGKS9603 孔 21 个样品中黏土粒级沉积物的常、微量元素组成, 利用因子分析的方法, 识别出对冲绳海槽中段沉积物物源有重要影响的陆源成因因子、生物成因因子及火山作用和海底热液因子. 陆源成因因子的元素组合为 Fe_2O_3 , Al_2O_3 , V 等惰性元素及 K_2O , MgO 等氧化物; 生源因子的元素组合为 CaO , Sr , Ba , Mn , P ; 火山和海底热液成因因子的元素组合为 Na , Co , N . 据样品的因子得分将柱样由上而下划分出物源的 4 个不同阶段: A 段生物成因因子得分高, 沉积物质主要是本地生物沉积, 但也有富含生物成因物质的陆源物质的贡献; B 段火山作用所产生的沉积物质特征显著, Na , Co , N 呈现高含量; C 段以陆源物质和生源物质沉积混杂为特征, 元素垂向上变化不大; D 段主要为陆源物质, 其他来源物质相对较少, 且可能主要来自在末次冰期最盛期所出露的陆架沉积. 提出了冲绳海槽物源具有阶段性的论点. 由于末次盛冰期以来全球气候呈现冷暖交替的阶段性变化, 本区物源的阶段性变化是这一时期气候和古环境阶段性变化的良好反映.

关键词: 冲绳海槽; 黏土粒级; 物源; 地球化学; 因子分析

中图分类号: P735.21⁺3; P736.4⁺1 文献标识码: A 文章编号: 0253- 4193(2001)03- 0117- 10

1 引言

冲绳海槽在构造上属于太平洋沟弧盆体系中的一个扩张型弧后盆地, 也是末次盛冰期以来东海仅存的沉积盆地, 广泛发育着自第三纪以来的连续沉积, 厚度较大. 末次盛冰期以来全

收稿日期: 2000- 05- 16; 修订日期: 2000- 10- 27.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49976014, 49776292); 中法合作项目.

作者简介: 郭 峰(1976-), 男, 山东省东营市人, 硕士, 从事海洋地质学研究.

球气候变化频繁,如新仙女木事件和 Heinrich 事件等^[1];海平面升降变化幅度大,特别是黑潮主轴偏移^[2]、黄河改道^[3]等事件对冲绳海槽区的物质来源和沉积环境有巨大影响.这些气候变化、突发事件引起的环境变化问题是当今国际上海洋地质学研究的前沿,而这些变化都可能保存在冲绳海槽的沉积岩心记录中,揭示岩心中记录的信息,也必将推动这些研究的进展.在此区前人进行了部分有关矿物学^[4-5]、古海洋学^[1,6-7]和地球化学^[8-13]等方面的研究,但前人进行的多是冲绳海槽表层沉积物的矿物组合以及地球化学分区等研究,对末次盛冰期以来冲绳海槽的物质来源变化分析涉及少.对此区利用柱样中的黏土粒级沉积物的地球化学特征来分析其物源变化,是一个新的尝试.

黏土粒级矿物是一种具有超强吸附性的载体,据元素的粒度控制律^[8],黏土粒级的沉积物中富集了多种元素,其蕴涵的地球化学信息非常丰富.国内外众多学者利用黏土矿物组合及其化学特征^[14]或黏土粒级矿物中的稀土元素地球化学特征来分析沉积物质的来源变化^[15-16].对黏土矿物展开矿物学及地球化学分析来获得物源和古环境变化信息,已成为一个公认的手段.通过岩性和粒度分析可知,柱样 DGKS9603 孔的沉积物以黏土为主,浊流沉积少,其沉积层序是连续和较稳定的,因此通过黏土粒级沉积物的地球化学组分研究来揭示冲绳

海槽中段末次盛冰期以来的物源变化是可行的.

本文拟通过对黏土粒级沉积物进行地球化学分析,运用数学统计方法(R 型聚类分析及因子分析)充分考虑多因素的交叉影响,对冲绳海槽末次盛冰期以来的物源进行研究.

2 样品和研究方法

2.1 样品

本文样品来自 1996 年中法合作项目在冲绳海槽所取得的柱样, DGKS9603 孔位于冲绳海槽中段近槽底(28°08.869' N, 127°16.238' E; 图 1).水深为 1 100 m 处,柱长为 5.85 m.岩

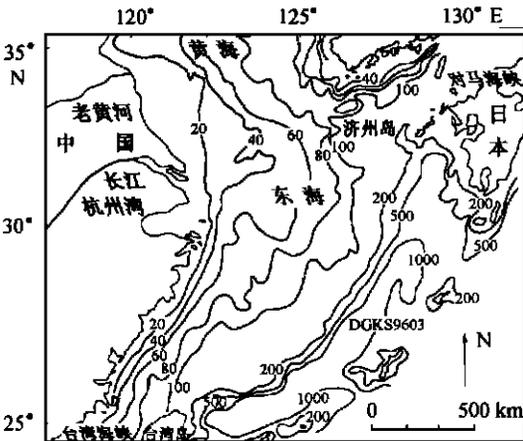


图 1 DGKS9603 孔站位置(水深等值线单位为 m)

心以粉砂质黏土为主,为半远洋沉积.在 41~46 和 481~527 cm 富集火山玻璃和碎屑.全柱含有大量有孔虫,无明显浊流沉积^[1].

2.2 研究方法

2.2.1 取样

根据本区已获取的有关地质信息,在变化显著处加密取样,不明显处按 10~20 cm 间隔取样.因为分析的时间为末次盛冰期以来,年龄跨度为 20 ka 左右,所以据测年资料[AMS ¹⁴C 年龄由美国 Beta Analyses 公司测定,各样品的 ¹⁴C 年龄均已转化为日历年龄(见表 1).据刘振夏^[1,17],取样至 230 cm(距今 24.3 ka)处,共取 22 个样品.

2.2.2 样品处理

黏土粒级矿物的提取(< 2 μm): 首先将所得样品加蒸馏水稀释,离心洗去盐分,加过氧化氢(15%),尽可能完全除去有机质,用超声波充分分散,据 Stocks 公式多次提取黏土粒级矿物

表1 冲绳海槽 DGKS9603 孔 AMS¹⁴C 测年 (美国 Beta Analyses 公司)

深度/cm	物质	校正距今时间/a	距今日历时间/a	深度/cm	物质	校正距今时间/a	距今日历时间/a
11~ 13	G. men	2 740	2 840	128~ 130	G. sac	12 980	15 510
26~ 31	G. men	4 500	5 300	174~ 179	G. sac	16 580	19 640
47~ 49	G. sac	8 080	8 950	209~ 211	G. sac	19 070	22 510
63~ 65	G. sac	9 690	11 090	300~ 302	N. dut	26 350	29 790
89~ 94	G. sac	11 230	13 140				

(< 2 μm), 直到全部黏土粒级从沉积物中被提出为止。

化学常量、微量元素分析采用 ICP-AES 方法。共分析了 Fe₂O₃, Al₂O₃, T O₂, P₂O₅, MgO, CaO, MnO, Na₂O, K₂O 九种氧化物和 Cu, Co, N, Ba, Sr, L, Rb, V, Pb 九个元素。分析仪器为等离子体直读光谱仪(法国 JY-38S 单道扫描型), 带 ICP 激发源、雾化装置及计算机系统。实验标准遵守 GB/T 14505 的规定, 所用国家标准 GBW 7313 的实验回收率为 95%~ 102%。

3 结果和讨论

3.1 元素地球化学垂向分布趋势及特征分析

据 ICP-AES 分析结果和 AMS¹⁴C 测年绘制了沉积物岩心中各化学组分的剖面垂直变化系列图(见图 2), 并研究了某些化学组分的特征比值, 其垂向变化趋势见图 3。图 2, 3 表明, 由上到下各化学组分的含量变化较为显著。通过研究反映数据相对离散程度(数据变化)的变异系数($C_v = S/\bar{X}$, 其中 C_v 为变异系数; S 为标准差; \bar{X} 为平均值)可知, 生源元素 Ca, P, Sr 的变异系数均超过了 Al 和 Fe 的变异系数, 表明本区的生物成因物质占有重要的地位。

据柱样的粒度和化学组分垂向变化特征(见图 3), 可将 DGKS9603 孔分为 0~ 32, 32~ 48, 48~ 230 cm 3 段来讨论元素的垂向变化特征。

(1) 0~ 32 cm(距今 0.0~ 6.0 ka): 此段以高 Ca, P, Sr, Ba, Mn, 低 Na, T, Co, N 内生成因组分为特征, 其他元素含量变化较小。由元素比值图上看, 被普遍作为指示生源自生组分含量的 CaO/Al₂O₃ 的值明显高于其他段位, 而指示沉积环境的 MnO/Fe₂O₃^[8] 的值较低。

(2) 32~ 48 cm(距今 6.0~ 8.9 ka): 此段明显地以高 Na, P, Co, N, 低 Ca, Sr, Ba, Cu, Rb, L 为特征, 同时 Al₂O₃, Fe₂O₃ 等惰性金属的含量与其他段位相比较最低。特征元素 K₂O/Na₂O 的比值在此区最低, 说明同为碱金属的 K 与 Na 在本段的地化行为及物质来源不同, 经研究表明, Na 元素与本区的(混层)蒙皂石有明显的相关性, 相关系数可达 0.730, 而 K 与黏土四大亚族的相关系数不大, 这说明 Na 元素的变化主要与蒙皂石含量变化有关(有关本区黏土矿物及其与化学组分的关系的研究另文论述)。CaO/Al₂O₃ 的值在本段较低, 而 MnO/Fe₂O₃, 气候变化指数 T O₂/Al₂O₃^[8] 的值较高。

(3) 48~ 230 cm(距今 8.9~ 24.3 ka): 本段以 Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO, Rb, L 的含量高, Ca, Sr, Ba, Cu 的含量低为特征。在元素比值图上, CaO/Al₂O₃, T O₂/Al₂O₃ 及 MnO/Fe₂O₃ 的值较前两段低, K₂O/Na₂O 的比值与第一段相似。

另外, 由普遍作为地球化学沉积环境成因指示剂的 MnO/Fe₂O₃ 的值来看, 在本区其值均小于 0.002。赵一阳^[1]对东海表层沉积物中 MnO/Fe₂O₃ 的研究表明, 其值小于 0.002 说明该沉积物所代表的沉积环境为海相环境。这说明本区 20 ka 来的沉积物均是在海相环境下沉积的。

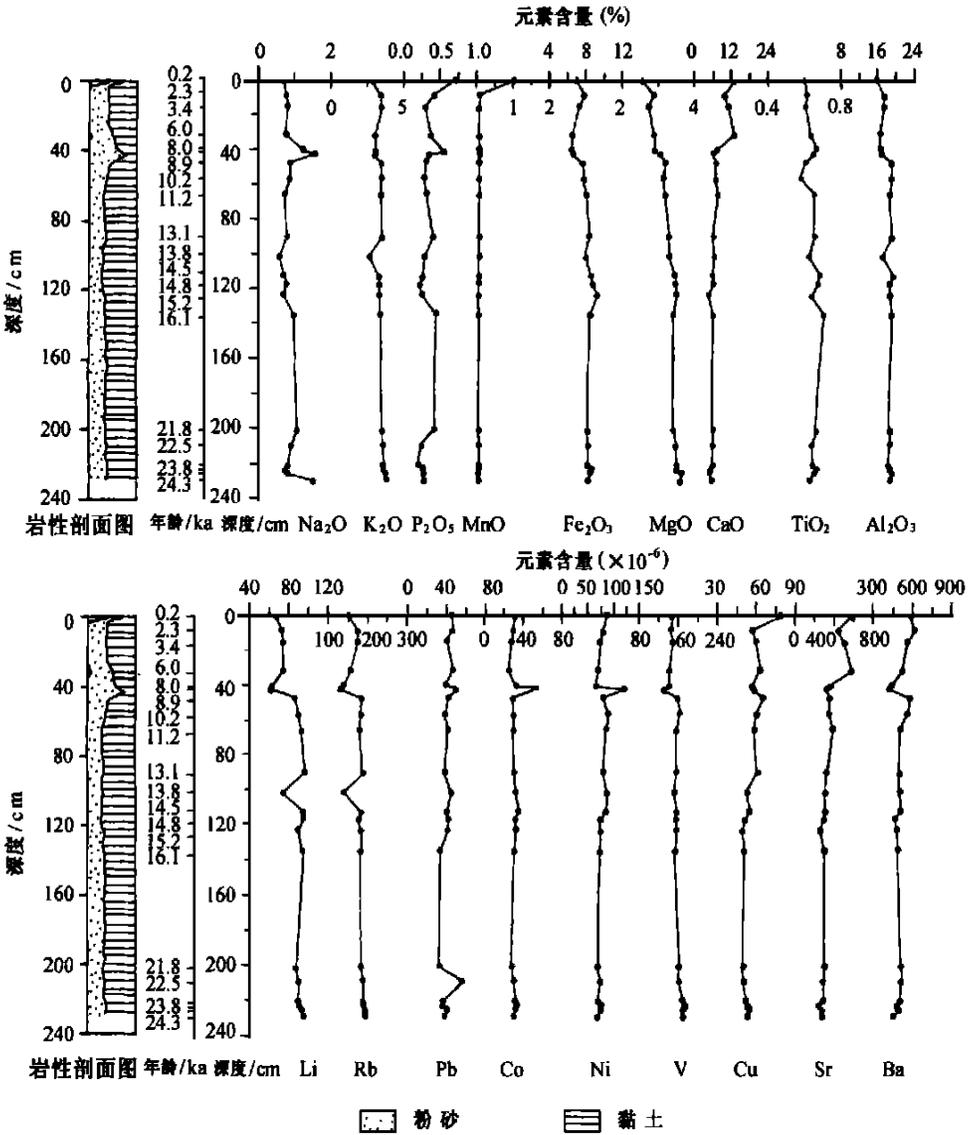


图2 DGKS9603 孔常、微量组分垂向变化

3.2 元素的聚类分析及因子分析

总体来讲, 各元素含量的变化较为复杂, 一方面与元素固有的地球化学行为有关, 另一方面又与沉积物化学组成复杂的多因素控制有关, 仅通过单个元素或某些元素的变化趋势, 很难全面准确地分析本区的物质来源变化. 因此, 为能充分了解控制沉积物化学组成的主要因素, 又进行了 R 型聚类分析(见图 4) 以及 R 型因子分析来解决此问题.

图 4 表明, 常、微量组分元素可分为较明显的 3 组: (1) CaO, Sr, Ba, P₂O₅, MnO, Cu; (2) K₂O, Rb, V, Fe₂O₃, L, Al₂O₃, MgO; (3) Co, N, Pb. 由于 T O₂ 和 Na₂O 与其他组合的修正距离 (rescaled distance) 较远, 归类不明确, 对样品又进行 R 型因子分析中的主成分分析. 设置公因

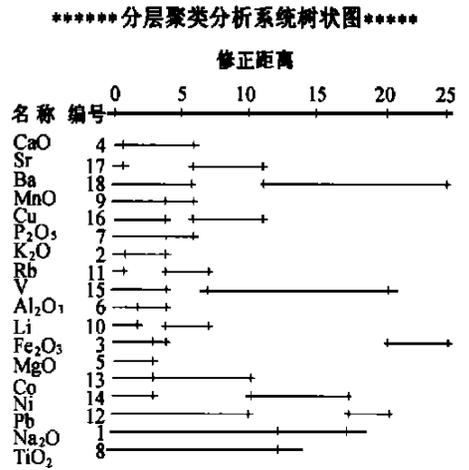
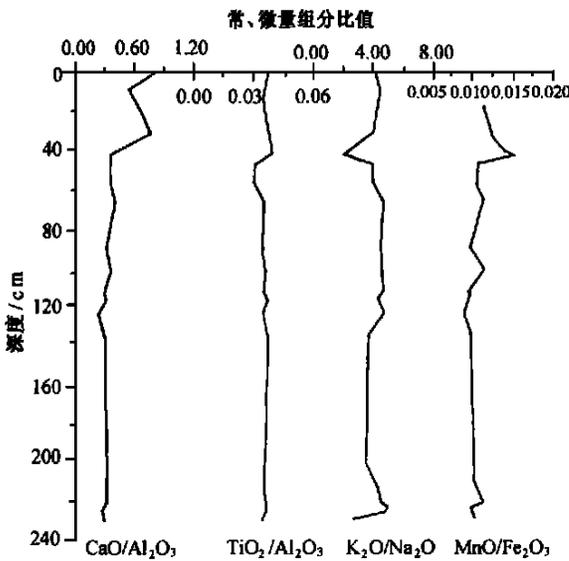


图4 DGKS9603 孔常、微量元素 R 型聚类分析系统树状图

图3 DGKS9603 孔常、微量组分特征比值垂向变化

子最小特征值为 1, 经方差极大正交旋转以后, 选取公因子负载(factor loading) 大于 0.6 的元素, 可得 5 个因子 F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 , 这 5 个因子的方差贡献在 88% 以上(即代表了原始数据全部信息的 88% 以上), 经因子分析后, 可明显看出元素的相关组合(表 2) .

表 2 因子分析结果

公因子	变量及公因子负载	方差贡献(%)
F_1	K_2O 0.837, Fe_2O_3 0.762, MgO 0.710, Al_2O_3 0.879, Li 0.882, Rb 0.914, V 0.887	34.696
F_2	CaO 0.647, TiO_2 -0.876, Sr 0.636, Ba 0.811	19.288
F_3	P_2O_5 0.777, MnO 0.860, Cu 0.687	13.804
F_4	Co 0.783, Ni 0.915	12.513
F_5	Na_2O 0.923	8.713

3.3 因子分析解释

F_1 因子: F_1 因子方差贡献占总方差贡献的 34.696%, 远高于其他因子, 因而该因子对冲绳海槽的沉积物化学组分有决定性的影响. 它主要包括一组在表生环境下地球化学性质稳定、赋存在陆源碎屑矿物中的化学元素和氧化物, 如 Fe_2O_3, Al_2O_3, V 等惰性组分, 另外还有活性组分 K_2O . 通过前人对冲绳海槽的研究可知, 陆源碎屑是冲绳海槽的主要来源, F_1 因子从地球化学信息上很好地体现了这一点, 因此 F_1 因子可以看作陆源沉积物的特征因子.

F_2 因子: F_2 因子主要包含了碱土金属元素如 Ca, Sr, Ba , 其方差贡献占总贡献的 19.288%. 虽然 TiO_2 也包含在此因子中, 但它的因子负载为负数, 其含量变化与其他几种元素呈消长关系(见图 2) . 一般而言, 在半深海环境下 Ca 的富集多与生物活动有关, Sr, Ba 与 Ca 的离子半径相似, 3 者之间极易发生类质同象替换, 所以 Ca 与 Sr, Ba 常呈现很好的相关性. Ti 是典型的亲碎屑元素, 所以本因子可被看成冲绳海槽沉积物组分中的生物影响因子. 由其方差贡献可知, 生物成因物质在冲绳海槽沉积物中也起着重要作用.

F_3 因子: F_3 因子的方差贡献为 13.804%, 其组合为 P_2O_5 , MnO , Cu . 一般而言, P 多是指示生物生产力多少的元素. 结合常量组分 R 型聚类分析可以看到, CaO , P_2O_5 有良好的相关性, 故 F_3 因子也可被看作与生物成因物质有关的因子变量.

F_4 因子: F_4 因子元素组合为 Co , N , 其方差贡献占总贡献的 12.513%. Co 和 N 同为铁族元素, 在表生沉积物的地球化学研究中, Co , N 在冲绳海槽的含量高于我国浅海陆架的含量^[8], 而 Co , N 在远洋的富集除与元素的迁移能力较强有关之外, 尚与海底热液作用有关^[18], 故 F_4 因子代表了与海底热液活动产物有关的一组元素.

F_5 因子: F_5 因子仅有 Na_2O 一个显著的元素, 其方差贡献为 8.713%. Na 作为碱金属被单独提取, 说明在冲绳海槽它有着与其他碱金属不同的成因或沉积环境. Na 的高含量区(33~41 cm) 位于 B 段内, 而通过粒度分析和黏土矿物分析可知本区富含火山玻璃和蒙皂石, 所以可以肯定此处 Na 的高含量与冲绳海槽所存在的强烈的火山作用有关.

由上述分析可知, F_4 , F_5 两个因子可被看作代表与海底火山作用以及热液活动有关的影响因子.

3.4 DGKS9603 孔的物质来源分析

上述分析表明, 本区沉积物主要受陆源物质因子(F_1)、生物成因因子(F_2 , F_3)、火山热液来源因子(F_4 , F_5) 3 个因素所决定. 通过各样品的各因子得分可以对整个岩心进行聚类分析. 根据因子得分聚类分析可把 DGKS9603 孔分为 4 段(表 3).

表 3 DGKS9603 孔分段后常、微量元素平均值(a, b)及各段因子得分(c)

a									
分段/cm	Na_2O (%)	K_2O (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	$T O_2$ (%)	MnO (%)
0~ 32	0.76	3.19	7.14	11.57	2.77	16.71	0.45	0.61	0.32
32~ 48	1.41	3.05	6.57	6.53	2.98	16.58	0.46	0.66	0.10
48~ 66	0.84	3.49	7.83	7.21	3.17	18.79	0.30	0.61	0.08
66~ 230	0.87	3.48	8.48	5.68	3.46	18.46	0.30	0.65	0.08
b									
分段/cm	L	Rb	Pb	Co	N	V	Cu	Sr	Ba
	($\times 10^{-6}$)								
0~ 32	71.78	162.50	43.78	28.00	76.28	143.25	63.20	515.75	563.25
32~ 48	62.20	133.50	43.55	42.20	92.45	133.00	56.15	332.00	423.00
48~ 66	89.53	183.00	40.53	29.53	83.37	158.33	60.57	356.00	539.00
66~ 230	90.75	182.67	40.29	31.63	75.35	160.33	52.29	287.83	486.00
c									
分段/cm	距今时间/ka	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5			
A: 0~ 32	0.0~ 6.0	- 0.703 6	1.357 1	0.842 3	- 0.199 6	- 0.300 7			
B: 32~ 48	6.0~ 8.9	- 1.801 8	- 0.320 0	- 0.269 6	0.177 9	1.000 7			
C: 48~ 66	8.9~ 13.0	0.671 4	1.040 8	- 0.024 9	0.312 2	0.155 6			
D: 66~ 230	13.0~ 24.3	0.458 5	- 0.519 5	- 0.137 0	- 0.072 6	- 0.213 9			

由表 3c 可知:

A 段: 生源成因因子 F_2 得分最高, F_3 次之. 同时由表 3b 中可以看到, Ca , Sr , Ba 的含量比其他 3 段要高得多. 此段 Ca , Sr , Ba 含量高可能有两个原因, 一是距今 6.0 ka 左右黑潮西

移重新进入冲绳海槽^[2],此后黑潮及上升流对冲绳海槽的影响加剧,使海水中营养盐丰富而导致浮游生物大量繁衍生息,死后即可造成海底生物遗体大量沉积。另外,由于黑潮水体自身的多营养、高温等特点,使其富含海洋微生物,从而使沉积在本区的沉积物的Ca, Sr, Ba的含量升高;二是发生在距今6 ka的高海平面过后,冲绳海槽成为较稳定的半深海环境,作为沉积盆地接收富含Ca, Sr, 等组分的陆源物质,如古黄河物质也以高Ca, Sr, 低Fe, Al为特征^[14, 19]。因此,此段冲绳海槽体现的高Ca, Sr, 低Fe, Al的特征可能是生物成因和陆地来源的双贡献,由因子得分可知,生源因子影响较大。

图3表明,此段表层样品的P, Mn, Cu较其他样品明显偏高,其高含量的原因可能与海底热液及火山作用等自生成因有关。另外, Mn的高含量据推测可能是锰离子在底层的活化过程中具有向上迁移特性,又易被黏土吸附从而导致表层Mn的高含量。

B段: F_5 因子得分最高, F_4 次之, 元素含量以Na, Co, N的高含量、Ca, Sr, Ba, Cu, Rb, L, Al, Fe的低含量为特征。Co, N是与海底火山作用及热液产生组分相关密切的元素。Na在海洋沉积物中的来源之一是陆源中含Na的风化物质,其二是源于火山喷发的产物。由代表陆源成因的惰性元素如Al, Fe, V的含量较低来看,本区含Na组分陆源的比重少,冲绳海槽是第四纪火山活动的高发区^[20-21],所以本段Na的来源主要应是火山作用产生的。同时对柱样观察和黏土粒级矿物分析显示,此段含有大量的火山玻璃,且蒙皂石的含量在此处也突然升高,可以断定,此段冲绳海槽的沉积物以火山喷发物质来源居多。黏土矿物对应的是蒙皂石的高含量,可能在那时本取样站附近有火山喷发事件,其喷发物质在本区发生沉积蚀变,造成本区火山沉积物源显著,但也有可能是距今8.0 ka时,由于黑潮主流开始进入冲绳海槽,从其他富含火山沉积物地区携带至此沉积所致。

C段: F_2 因子得分为1.048,较其他因子得分高,但比A段的得分低, F_1 是次大因子。在元素垂向分布上,与B段相比陆源惰性组分含量及生源有所增加,Na, Co, N的含量明显降低,反映了生物成因物质和陆源物质交互为主的特点。据刘振夏等^[1]的研究,新仙女木事件在冲绳海槽本岩心¹⁴C测年反映的时间为距今10.36~9.29 ka(日历年龄:距今11.1 ka左右),正位于本段年龄段之内(距今8.9~13.0 ka),说明在距今11.1 ka新仙女木变冷事件刚结束不久冲绳海槽中段地区气候有所回升,海平面开始升高,生物活动相对有所加强,所以此时既有陆源物质随地表径流入海,又有本地生物消亡后的遗体沉积,两者相互交替或受动力搅动混杂,从而使本段体现出了陆源和生源物质为主要特点的特征。

D段:由表3c可知,代表陆源成因因子的 F_1 得分最高。元素含量以高Al, Fe, V, 低Ca, Sr, Ba为特征。由古海洋学研究可知,在距今13.0~24.3 ka之间,即氧同位素第2期,本段正处末次盛冰期阶段,气候寒冷,海平面较现在低,意味着东海陆架大面积出露成为陆地,冲绳海槽作为沉积盆地,主要以接受陆源沉积物为主。当时现代陆架出露物质可能在河流或风等营力的作用下,被带到冲绳海槽沉积。与现代东海陆架沉积物比较可知,其富Fe, Al, V, 贫Ca, Sr, Ba的特点与现代东海陆架元素组分含量特点非常相似。虽然长江黏土粒级沉积物的元素含量特征也与其相似,但本阶段寒冷干旱的气候特点与长江沉积物形成环境不同,所以本段在距今13.0~24.3 ka的物质主要应来自当时出露海面成为陆地的今东海陆架。

3.5 冲绳海槽物源的阶段性与古气候和环境变化对应关系的讨论

距今23 ka以来,全球进入末次冰期的最后时期,气温开始降低,海平面下降,冰川发育。

在最盛期(18 ka)海平面较现在下降了 130 m 多,海岸线后退到今东海济州岛东部以外,导致今东海陆架大面积出露为陆地。那时黑潮也东移出了冲绳海槽至琉球群岛以外的一定距离^[2,22]。当时的冲绳海槽地区气候同样也是寒冷干燥,生物活动少,其沉积物质主要为陆源物质且主要来自当时所出露的东海陆架。图 5 表明在距今 24.3~13.0 ka 陆源因子的得分高于

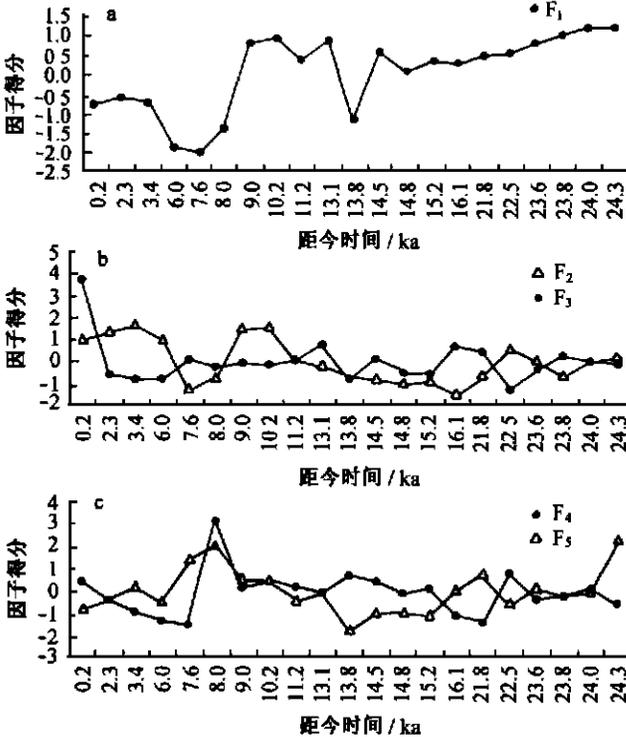


图 5 因子得分垂向变化趋势

其他几段。自距今 14.8 ka 以后,气候开始回升,冰盖融化,海面逐渐上升,至距今 13.0 ka 时,海平面可能上升到较高处,生物活动加强,生源物质也增多,从而使陆源因子得分在此时为最低。此后,冲绳海槽可能进入了新仙女木降温事件 (Younger Dryas)^[1],气候又急剧下降,海平面也有所下降,说明由于此前的温度升高及高海平面、生物生产力强、生物沉积在此区有所保留,使得本区没有体现强烈的陆源物质来源特征,而是陆源和生源交互混杂的特点。物源上体现为在距今 13.0~8.9 ka,陆源因子得分又有所上升,生源因子得分也出现一定的升高(图 5)。发生在距今 13.0 ka 的新仙女木事件在此区大致持续了 1.1~1.3 ka^[17],此后气温开始持续回升,生物活动加强。

在距今 8.0 ka 时,很可能本区火山喷发作用频繁,导致此区的 Na, Co, N 及蒙皂石的含量突然增高,从而使得距今 8.9~6.0 ka 火山及热液源因子得分在此段较高。黑潮在距今 7 ka 左右又重新进入冲绳海槽^[2],海平面在此时也达到全新世以来的高海平面,海水呈现温暖、高营养盐的特点,生物生产力高。同时黑潮对陆源物质进入冲绳海槽有阻隔作用,加上本区高海平面以来自身的高 Ca, Sr, Ba 等生物组分的特点,使本区在高海平面尤其是在距今 6.0 ka 以来生物因子得分很高。

高海平面以后,前人研究本区气候还有几次小的波动,但在我们的化学组分垂向特征上并没有太大的反映,这可能与取样不够细密有关,但从总的趋势看,本区物源变化的“阶段性”与古气候、古环境“冷、暖交替加突变”的特点能很好吻合,说明古环境和古气候的变化是影响本区物源变化的主要因素。

4 结论

(1) 通过对冲绳海槽 DGKS9603 孔的黏土粒级沉积物作化学常、微量组分研究,可得到 3 个反映物源变化的主要影响因素,它们的方差贡献占总贡献的 88% 以上,其中因子 F_1 可以看

作陆源成因因子, 其元素组合为惰性金属元素 $F_{e_2O_3}$, Al_2O_3 , V 等以及 K_2O , MgO , Rb 等; F_2 , F_3 因子为生源物质因子, 在一定程度上反映了该区生物生产力的高低, 其元素组合为 Ca, Sr, Ba, Mn, P; F_4 , F_5 因子可以代表火山和海底热液成因物质因子, 其元素组合为 Na, Co, N. 本文研究表明, 与通过单个元素含量变化趋势, 或简单的加、减、比值等线性处理来表示非线性的元素地球化学行为的方法相比, 因子分析手段更为有效.

(2) 研究表明, 冲绳海槽的古环境、气候演化具有鲜明的阶段性变化特点. 与此相对应的是, 其物源变化也呈现阶段性变化的特点. 可将 DGKS9603 孔(0~230 cm) 岩心分为 4 段来讨论其物质来源: A 段的生物成因因子得分高, 沉积物质主要是本地生物沉积, 但也有陆源富生物成因物质的贡献; B 段以火山作用所产生的沉积物质为显著特征, Na, Co, N 呈现高含量; C 段以陆源物质和生源物质沉积混杂为特征, 元素垂向上无太大变化; D 段主要为陆源物质, 其他来源物质相对较少, 且可能主要来自在末次冰期最盛期所出露的陆架.

(3) 本区物质来源的阶段性变化是末次盛冰期以来气候和古环境阶段性变化的反映. 在距今 24.3~13.0 ka 的末次盛冰期, 气候干旱寒冷, 生物生产力低, 季风活动强烈, 所以本段体现以陆源物质为主的特征; 6.0 ka 至今, 全球气候转暖, 海平面上升, 黑潮又重新进入冲绳海槽, 这些古环境变化导致生物繁盛, 从而使本区物源体现生源占优的趋势.

参考文献:

- [1] 刘振夏, SAITO Y, 李铁刚, 等. 冲绳海槽晚第四纪千年尺度的古海洋学研究[J]. 科学通报, 1999, 44(8): 823~887.
- [2] 翦知缙, Sa to Y, 汪品先, 等. 黑潮主流轴近两万年来位移[J]. 科学通报, 1998, 41(5): 532~536.
- [3] SAITO Y, YANG Z S. Historical change of the Huanghe(Yellow River) and its impact on the sediment budget of the East China Sea[A]. Proceedings of International Symposium on the Global Fluxes of Carbon and Its related Substances in the Coastal-ocean-atmosphere System[C]. Hokkaido University (Sapporo), Japan. 1994. 7~12.
- [4] 陈丽蓉, 徐文强, 申顺喜. 东海沉积物的矿物组合及其分布特征的研究[A]. 黄东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 82~98.
- [5] 高学民, 林振宏, 刘兰. 冲绳海槽中部表层沉积物的成因矿物学研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(1): 165~172.
- [6] 翦知缙, 陈宝华. 冲绳海槽南部 20 ka 来深水底栖有孔虫的古海洋学记录[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(5): 467~473.
- [7] 阎军. 冲绳海槽晚更新世以来古海洋学的研究[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(3): 264~271.
- [8] 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. 1~93, 158~201.
- [9] 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): 370~379.
- [10] 翟世奎, 干晓群. 冲绳海槽海底热液活动区玄武岩的矿物学和岩石化学特征及其地质意义[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(2): 115~122.
- [11] 翟世奎, 张杰, 何良彪, 等. 冲绳海槽北部现代沉积物地球化学研究[J]. 沉积学报, 1997, 15 (Supp): 8~15.
- [12] 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): 588~593.
- [13] 吴明清. 冲绳海槽沉积物稀土和微量元素的某些地球化学特征[J]. 海洋学报, 1991, 13(1): 75~81.
- [14] 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中黏土的矿物组合化学特征与物源区气候环境的关系[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(4): 578~588.
- [15] PIPER D Z. Rare earth elements in ferromanganese nodules and other marine phase[J]. Geochem Cosmochem Acta, 1974, 38: 1007~1022.
- [16] 刘季花, 梁宏锋, 夏宁, 等. 东太平洋深海沉积物小于 $2\mu m$ 组分的稀土元素地球化学特征[J]. 地球化学, 1998, 27(1): 49~58.

- [17] 刘振夏, 李培英, 李铁刚, 等. 冲绳海槽 5 万年以来的古气候事件和原因探讨[J]. 2000.
- [18] 邓文宏, 钱 凯. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州: 甘肃出版社, 1993. 4~ 32.
- [19] 杨守业, 李从先. 长江、黄河沉积物元素组成及地质背景[J]. 海洋地质, 1999, 19(2): 19~ 25.
- [20] 金翔龙. 东海海洋地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [21] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987, 1~ 112, 125~ 137, 210~ 261.
- [22] AHAGON N, TANAKA Y. *Florisphaera profundata*, a possible nannoplankton indicator of late Quaternary changes in seawater turbidity at the northwestern margin of the Pacific[J]. *Mar Micropaleontol*, 1993, 22: 255~ 273
- [23] 刘 健, 李绍全, 王圣洁, 等. 末次冰消期以来黄海海面变化与黄海暖流的形成[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1): 14~ 24.

Geochemical characteristics of sediments from the middle Okinawa Trough since the latest pleniglacial period and periodic characteristics of its sediment sources

GUO Feng¹, YANG Zuosheng¹, LIU Zhenxia², GUO Zhigang¹,
FAN Dejiang¹, SAITO Y³, BERNE S⁴

(1. Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China; 2. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 3. Geological Survey of Japan, Tsukuba 305- 8567, Japan; 4. French Oceanographic Institute, IFREMER, Plouzane 29280, France)

Abstract Chemical compositions of 21 sediment samples from Core DGKS9603 taken in the middle Okinawa Trough are analyzed by ICP-AES. The characteristics of 18 elements are analyzed. By means of correlation analysis and factor analysis, five factors (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5) are acquired and sorted into three major factors. The first factor (F_1), which includes the elements of Fe, Al, V and K, Mg, Rb, etc., stands for the sediments originated from the continental source (for example: the Huanghe River or continental shelf). The second factor (F_2, F_3) is biogenic derivation factor, including Ca, Sr, Ba, Mn and P. The third factor (F_4, F_5) indicates that sediment compositions are controlled by volcanism and hydrothermal fluid in the trough, and the element combination of this factor is Na, Co and N. Core DGKS9603 can be divided into four sections based on the factor scores of the samples. In Section A the score of the second factor is high and biogenic sediments are the major source of this section, and also a little material maybe comes from land source. In Section B the contents of Na, Co and N are higher than those in other sections and the sediments of this section are derived from volcanic activities, including volcanic eruption and hydrothermal activities. In Section C the variety of element contents is small. Terrigenous and biogenic compositions comprise the sediments. Section D is chiefly composed of terrigenous material that may come from the continental shelf exposed to the air during the latest pleniglacial. These four parts with different sediment sources in this core are concordant with the change of paleoclimate and paleoenvironments, the periodic change of material source corresponds the change of paleoclimate and paleoenvironments.

Key words: Okinawa Trough; clay-grained minerals; material source, chemical elements, factor analysis