

文章编号: 1009-3850(2007)02-0026-11

中太平洋 PC5222 孔岩芯地球化学特征及物源探讨

李国胜^{1,2}, 杨 锐^{1,3}, 张洪瑞⁴

(1. 中科院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075; 3. 广东工业大学, 广东 广州 510076; 4. 中国地质调查局航遥中心, 北京 100083)

摘要:通过对中太平洋 PC5222 孔 45 个岩芯样品进行常量微量元素的测试分析与研究, 发现元素含量在垂向上有 4 次比较明显的变化。早期沉积物中, 随着 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 MnO 、 TiO_2 、 CaO 、 CaCO_3 含量的增加, SiO_2 含量呈递减趋势; 晚期变化不明显。元素的相关性分析和 R 型因子分析表明, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 MnO 、 TiO_2 之间存在明显的正相关关系, 而与 SiO_2 为负相关。前者主要受陆源碎屑沉积的影响, 后者与生物作用及火山活动有关。进一步探讨了晚渐新世沉积环境的演变规律。

关键词: 中太平洋; 地球化学; 因子分析; 物源

中图分类号: P595

文献标识码: A

20 世纪 70 年代以来, 国际上对中太平洋地区的调查在沉积学、古海洋学、地质构造、火山活动、海底锰结核成因等方面^[1-5] 已取得了大量研究成果, 而对晚渐新世沉积物的地球化学研究较少。广州海洋地质调查局海洋四号船在太平洋中部我国开辟区内首次进行了大面积的调查。该勘探区位于夏威夷群岛东南海域, 其地理坐标大致为 $8^{\circ}52.5' \sim 11^{\circ}22.5' \text{N}$, $151^{\circ}7.5' \sim 153^{\circ}22.5' \text{W}$ (图 1)。PC5222 孔岩芯是科考船使用大型重力活塞取样器获得的。

PC5222 孔沉积类型多样^[6], 岩性主要由硅质粘土、沸石粘土、硅质软泥和深海粘土组成, 且上部为浅褐黄色, 下部为深褐色。古生物化石较为丰富, 主要为放射虫、有孔虫及硅藻类。据对放射虫等化石的研究^[6], PC5222 孔的沉积物主要形成于晚渐新世, 钻孔顶部未见有第四纪地层覆盖。

1 样品采集与测试方法

PC5222 孔岩芯柱状样长 897 cm, 岩芯采取率为 100%。按每间隔 20 cm 取样, 分别对岩芯进行了岩

性、古生物、化学成分的测试分析。样品测试由广州海洋地质调查局实验测试中心完成。样品在室内低温 (60°C) 烘干, 粉碎过 160 目筛经处理后进行化学分析。 Fe_2O_3 、 P_2O_5 、 TiO_2 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 NaO 等元素氧化物和 Cu 、 Co 、 Ni 、 Pb 、 Zn 、 Ba 、 Sr 、 Sc 采用王水—氢氟酸—高氯酸分解样品, 制成 7% 盐酸试样熔液, Al_2O_3 、 Cr 和 Zr 采用过氧化钠和氢氧化钠熔融法分解样品, 其水提取液制成 7% 盐酸溶液, 采用 ICP 全谱直读光谱法进行分析测定, SiO_2 采用动物胶凝重量法进行测定。测试标准为 GB/T 14505, 仪器测量精度由多次测量国家标准物质样品 (GSD9、GSD10、GSS1 和 GSS8) 控制, 其中常量元素的测试精度低于 1.6%, 微量元素的测量精度低于 2.96%。沉积物中 CaCO_3 含量使用体积法测量, 多次重复测量的精度低于 2%。同时采用 GBW-07313、GBW-07314 海洋沉积物标样作为样品分析的质量监控样。

2 元素的垂向变化

对 PC5222 孔 45 个样品常量微量元素进行了测试

收稿日期: 2007-04-27

第一作者: 李国胜, 1958 年生, 博士生, 地球化学, 沉积学, 古生物学。

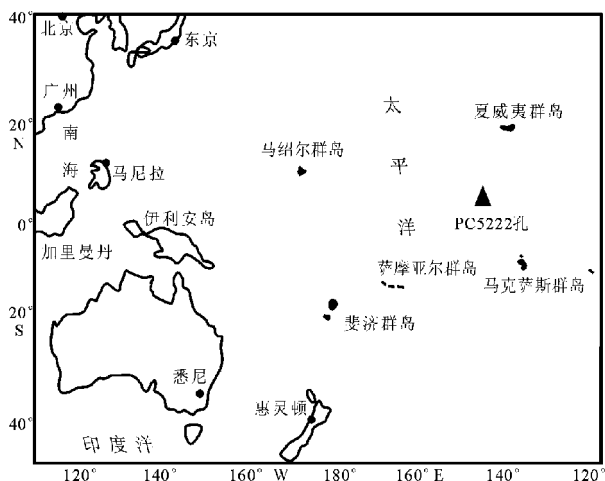


图1 中太平洋 PC5222 孔岩芯取样位置图

Fig. 1 Location of the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean

分析(表1,表2)。根据沉积物的埋藏深度及常、微量元素的垂向变化情况(图2)可看出,元素在垂向上有4次比较明显的变化:

(1) 0~380cm, 主要为沸石粘土, 软塑状, 具粘性, 硅质生物碎屑约占12%~15%。0~223cm, SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 P_2O_5 、 MnO 的含量变化不明显, 仅 Al_2O_3 、 TiO_2 有些波动。223~380cm, 主要为浅褐黄色含沸石粘土, 其中粘土矿物含量为62%~83%, 硅质生物10%~28%, 沸石5%~10%。沉积物岩性的变化导致常量元素氧化物亦随之变化。尤其在223~228cm和243~248cm, Al_2O_3 、 K_2O 、 MnO 含量明显递减, 而 Na_2O 、 P_2O_5 则明显增加。

微量元素亦有明显变化, 其中 Y、V、Zr、Mo、Ba、Sr 等元素总的趋势是随着深度的增加而增加: Zr 从 92×10^{-6} 增加到 196×10^{-6} ; Ba 有两个比较明显的变化区间, 在26~51cm 从 1656×10^{-6} 增加到 2535×10^{-6} , 在146~151cm 突增到 2672×10^{-6} ; Co 在66~71cm 由 75×10^{-6} 增加到 126×10^{-6} 。B、Cr、Sr 呈现随深度增加而明显下降的趋势: Cr 从 147.6×10^{-6} 下降为 29.00×10^{-6} ; Sr 由 263×10^{-6} 下降至 208×10^{-6} ; 在106~111cm, Sc 的含量为 1836×10^{-6} , 而后随深度增加急剧减少。

(2) 380~680cm, 主要为浅褐色含沸石硅质软泥, 其中粘土为56%~62%, 硅质生物为30%~35%, 沸石为6%~10%, 铁锰微结核为1%~2%。 SiO_2 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 含量递减, 其它元素氧化物含量基本无大变化。微量元素 B、V、Y、Ba、Sr、Pb、Cu 随深度增加总体呈增加趋势, 其中 Ba 在462~467cm 其值

增加到 2883×10^{-6} , Co 在542~547cm 其最大值为 134×10^{-6} , B 在622~627cm 已增加到 56.4×10^{-6} , 其它元素变化不明显。

(3) 680~780cm, 主要为深褐色含沸石深海粘土, 其中粘土矿物为78%~90%, 沸石5%~8%, 铁锰微结核2%~3%, 碎屑矿物明显减少, 无生物碎屑, 见浅黄色斑状团块。在700~710cm, 沸石含量明显增多, 为薄层含沸石粘土。常量元素 Al_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 P_2O_5 、 MnO 、 Na_2O 均呈明显的增加趋势, 最大增幅可达20%~30%, SiO_2 含量由50.77%明显减少为46.43%。微量元素中 Mo、Ni、Ba 含量总体随深度增加而增加, 其中 Mo 元素在788~793cm 为 27.5×10^{-6} , Ba 在788~793cm 为 2972×10^{-6} , Co、V、Sr 随着深度的增加而减少, Sr 在788~793cm 已降至 $(255 \sim 305) \times 10^{-6}$ 。

(4) 780~880cm, 主要为深褐色硅质软泥, 硅质生物含量为40%~45%, 粘土55%~60%, 铁锰微结核剧增, 约占3%~4%, 其它碎屑呈团块零星分布, 偶见生物虫管。 TiO_2 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 MaO 含量逐渐降低, 而 SiO_2 则逐渐增加。微量元素中 B、Y、Ba、V、Mo 的含量随深度增加而增加, 其中 B、Mo 的增加最为明显, 而 Ni、Cr、Cu、Zn、Pb、V、Sr、Zr 的含量则随深度增加而减少, 其中 Ni 在808~813cm 为 296×10^{-6} , 而在890~897cm 已减至 261×10^{-6} 。

由上分析显见, Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 TiO_2 含量随深度增加变化不大, CaO 、 CaCO_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 P_2O_5 、 MnO 、 MgO 早期含量较高, SiO_2 含量则相对较低, 晚期含量变化不明显。早期沉积物中微量元素 B、Mo、Ni、Sr、Ba、Li、Rb 含量较高, 而 Co、Sc、Pb、Cu、Zn 含量较低; 晚期 Cu、Zn、Pb、Co、Sc 含量增加比较明显。

3 地球化学特征

虽然常微量元素含量的变化在垂向上能比较直观的反映出来, 但由于海洋沉积物元素含量的控制因素较多, 可以造成同一个元素变化的多解性。因此, 笔者利用 grapher、spss 软件及投点方式对45个样品进行了元素之间的相关性分析及 R 型因子分析, 以对元素进行成因分类, 探讨其物源及沉积环境的总体变化趋势。

3.1 元素的相关性

从表3、图3可以明显看出, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 、 MnO 之间存在明显的正相关关系, 说明这些元素氧化物在成因上有很大的专属性。 SiO_2 与 Al_2O_3 、

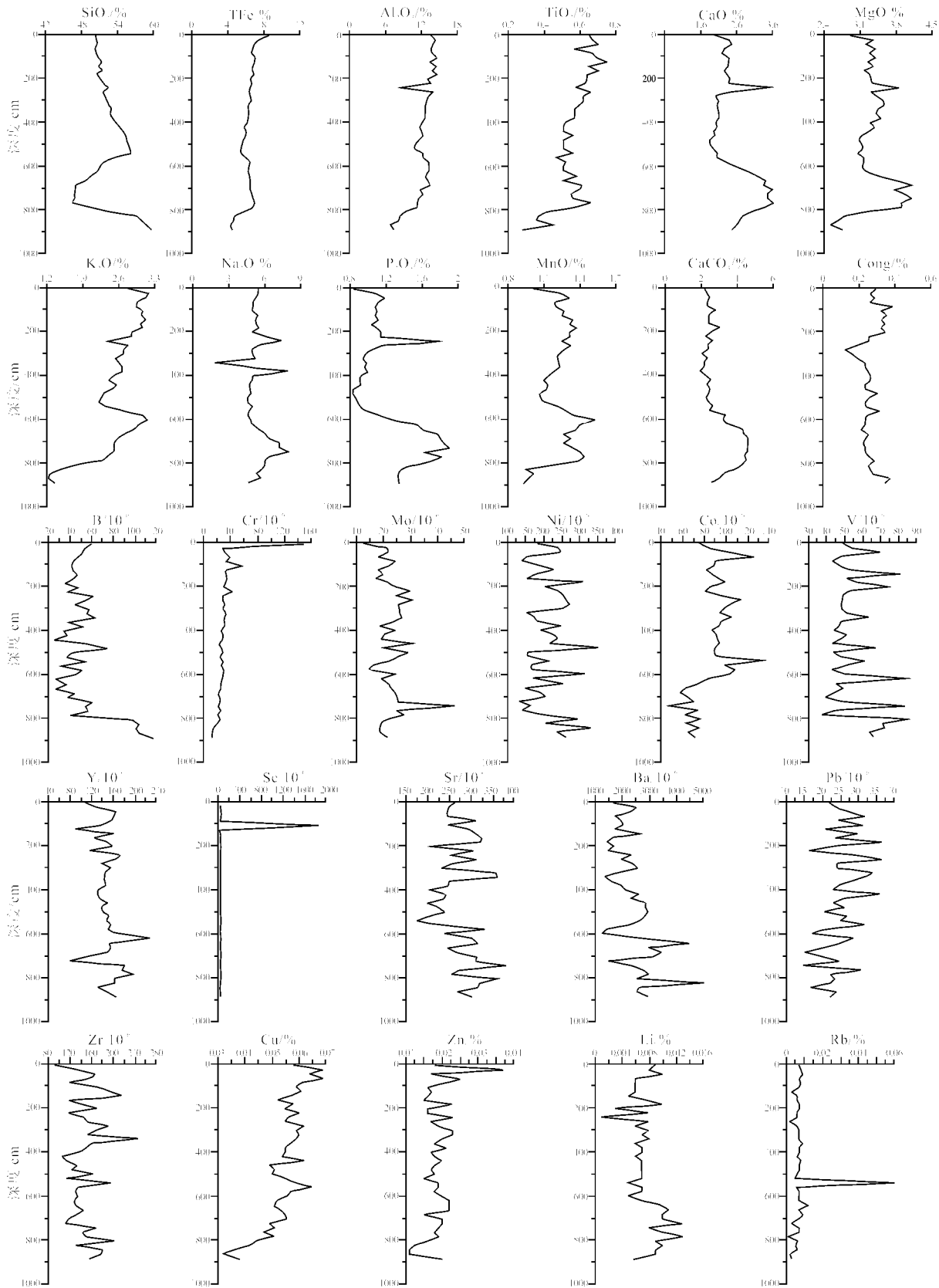


图 2 PC5222 孔岩芯常量、微量元素垂向变化特征图

Fig. 2 Vertical variations of the major and trace element contents in the core samples from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean

表 1 中太平洋 PC5222 钻孔岩芯常量元素表($w_B/\%$)

Table 1 Major element contents ($w_B/\%$) in the core samples from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean												
深度/cm	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	CaCO ₃	有机碳
5~10	50.32	8.57	13.54	0.65	1.97	2.91	2.78	5.5	0.83	1.01	2.16	0.34
26~31	50.52	7.33	14.32	0.67	2.38	3.35	3.17	5.53	1.1	1.24	2.26	0.37
46~51	50.74	6.88	13.85	0.7	2.45	3.22	3.12	5.36	1.18	1.31	2.46	0.27
66~71	50.17	6.75	13.54	0.57	2.25	3.39	2.96	5.08	1.11	1.19	2.34	0.26
86~91	50.4	6.67	13.65	0.67	2.18	3.29	2.94	5.07	1.08	1.2	2.3	0.25
106~111	50.85	7.04	14.56	0.69	2.38	3.39	3.06	5.03	1.1	1.26	2.75	0.28
126~131	51.39	6.96	13.39	0.75	2.36	3.25	3.03	5.45	1.08	1.25	2.41	0.25
146~151	50.88	6.77	14.42	0.65	2.35	3.36	3.11	5.27	1.11	1.34	2.39	0.23
166~171	51.45	6.7	13.78	0.7	2.24	3.18	3.02	5.32	1.04	1.31	2.39	0.23
183~188	50.63	6.9	14.5	0.64	2.32	3.28	3.06	5.54	1.1	1.37	3	0.22
203~208	51.23	6.49	12.98	0.64	2.4	3.32	2.85	4.97	1.14	1.31	2.57	0.23
223~228	51.62	6.65	13.52	0.63	2.37	3.33	2.85	5.99	1.14	1.31	2.23	0.25
243~248	52.45	6.48	8.53	0.58	3.51	3.85	2.38	7.38	1.78	1.25	2.59	0.21
263~268	51.7	6.37	13.85	0.66	2.45	3.32	2.78	5.47	1.16	1.32	2.34	0.23
283~288	51.9	6.49	13.13	0.62	2.01	3.42	2.7	4.99	1.02	1.26	2.36	0.23
303~308	52.24	6.58	12.87	0.62	2.09	3.56	2.69	5.02	0.97	1.22	2.03	0.24
323~328	52.51	6.27	12.61	0.6	2.05	3.57	2.54	5.21	0.95	1.21	2.32	0.31
342~247	52.99	6.31	12.56	0.57	2.07	3.45	2.6	1.95	0.98	1.22	2.14	0.24
362~367	52.74	6.27	12.56	0.57	2.1	3.42	2.66	4.84	0.96	1.23	2.16	0.23
382~387	53.01	6.29	12.56	0.57	2.1	3.5	2.66	7.97	1	1.18	1.93	0.25
402~407	53.63	6.19	12.1	0.52	2.01	3.29	2.5	5.02	0.92	1.13	2.27	0.3
422~427	54.36	5.81	11.68	0.51	2.05	3.38	2.4	4.98	0.91	1.1	2.52	0.23
442~447	54.85	6.05	11.93	0.51	1.95	3.28	2.55	4.77	0.92	1.13	2.28	0.23
462~467	55.43	5.99	12.23	0.56	1.98	3.12	2.48	4.77	0.83	1.12	2.45	0.26
482~487	55.55	5.66	11.51	0.51	1.84	3.08	2.31	4.89	0.83	1.06	2.42	0.26
502~507	55.82	5.59	10.91	0.51	1.85	3.14	2.25	4.65	0.86	1.07	2.27	0.25
522~527	56.04	5.42	10.81	0.51	1.94	3.16	2.21	4.6	0.88	1.1	2.36	0.23
542~547	56.21	5.41	12.15	0.56	2.05	3.06	2.35	5.06	0.91	1.23	2.62	0.23
562~567	53.3	6.11	12.25	0.47	2.04	3.17	2.67	4.75	1	1.28	2.46	0.19
582~587	51.67	6.48	13.18	0.52	2.29	3.17	3.06	4.63	1.16	1.36	3.3	0.16
602~607	51.15	6.35	13.15	0.51	2.53	3.14	3.15	4.85	1.26	1.52	3.2	0.12
622~630	50.77	6.24	13.21	0.51	2.85	3.18	2.99	4.95	1.54	1.4	3.39	0.18
647~652	49.38	6.44	12.6	0.58	3.18	3.47	2.89	5.6	1.61	1.36	4.28	0.25
667~672	48.86	6.47	13.06	0.51	3.39	3.84	2.7	6.11	1.78	1.26	4.32	0.25
687~692	47.09	6.51	13.4	0.61	3.34	4.11	2.58	6.29	1.8	1.32	4.59	0.34
707~712	47	6.5	11.8	0.6	3.58	3.78	2.5	7.26	1.84	1.26	4.59	0.32
728~733	46.82	6.71	12.16	0.55	3.45	3.98	2.51	7.24	1.9	1.34	4.57	0.34
748~753	46.92	6.82	11.51	0.56	3.44	4.11	2.49	8	1.64	1.4	4.57	0.32
768~773	46.43	6.97	11.3	0.66	3.6	3.9	2.37	6.41	1.81	1.43	4.39	0.35
788~793	49.22	6.76	11.26	0.58	3.37	3.91	2.28	6.04	1.7	1.39	4.48	0.32
808~813	52.69	5.72	9.29	0.43	3.01	3.19	1.78	6.05	1.49	1.17	4.25	0.38
828~833	57.18	4.71	8.42	0.37	2.76	2.81	1.47	5.82	1.36	0.95	4	0.26
848~853	58	4.65	8.27	0.36	2.68	2.69	1.26	5.37	1.33	1.01	3.25	0.28
868~873	58.62	4.28	6.77	0.45	2.6	2.53	1.23	5.69	1.33	0.97	3.02	0.26
890~897	59.66	4.47	7.39	0.28	2.45	2.77	1.35	4.7	1.34	0.93	2.62	0.29
平均值	52.15	6.22	11.6	0.58	2.48	3.35	2.56	5.42	1.22	1.23	2.96	0.26

样品测试由广州海洋地质调查局实验测试中心完成. 下同

表 2 中太平洋 PCS222 钻孔岩心微量元素表

Table 2 Trace element contents in the core samples from the PCS222 drill hole in the mid-Pacific Ocean

深度/m	B	Cr	Mo	Ni	Co	V	Y	Sc	Sr	Ba	Pb	Zr	Cu	Zn	Li	Rb
5~10	59.3	147.6	12.5	183	75	49	107.7	15	263	1656	21.9	92	0.058	0.018	0.009	0.007
26~31	53.3	28.6	21.4	242	83	54	131.7	19.5	248	2535	24	135	0.069	0.037	0.008	0.008
46~51	51.3	31.6	21.7	246	100	70	164.3	25.2	245	2323	27	168	0.064	0.017	0.01	0.009
66~71	47	38.5	18	154	126	47	161	33	247	1716	31.6	155	0.069	0.025	0.006	0.007
86~91	42.6	33	24.2	140	90	43	156.7	20.2	311	1944	24.5	120	0.061	0.021	0.006	0.008
106~111	41.5	56.4	22.4	192	89	47	141.2	1836	248	1993	31.2	173	0.059	0.016	0.006	0.007
126~131	42.4	32.7	17.9	230	82	52	88.7	17.7	295	1723	20.7	196	0.061	0.017	0.006	0.003
146~151	46.6	33.2	19.7	178	87	81	161.3	25.7	313	2672	29.8	217	0.057	0.016	0.005	0.006
166~171	42.2	35	17.2	155	93	51	123.9	17.6	326	1630	23.3	120	0.052	0.015	0.008	0.006
183~188	35.4	33.1	21.5	311	99	56	147.1	18.2	321	1430	36.5	141	0.058	0.023	0.01	0.007
203~208	46.9	29	24.6	203	86	75	158.3	24	208	1672	23.5	171	0.055	0.016	0.003	0.007
223~228	38	42.1	29.8	241	81	52	115.9	14.4	307	1455	16	118	0.06	0.016	0.008	0.006
243~248	61.4	28.1	24.7	255	94	49	174.1	19.4	254	2320	28.3	147	0.056	0.023	0.001	0.006
263~268	54.5	28.2	30.6	261	114	49	165.4	18.5	313	1966	36.5	152	0.055	0.017	0.008	0.002
283~288	44.6	30.9	25.4	272	105	48	139.6	18.8	255	2383	24	192	0.062	0.019	0.006	0.006
303~308	57.5	28.8	25.9	254	98	48	156.1	19.4	232	2539	24.1	168	0.059	0.023	0.008	0.007
323~328	55.8	32.8	26	151	94	50	144.6	19.8	359	1890	33.9	153	0.06	0.023	0.007	0.007
342~247	62.9	30.6	26.8	173	105	64	144.8	18.6	361	1343	32.1	247	0.059	0.02	0.008	0.007
362~367	38.8	29.7	24.1	183	95	48	143.6	18.3	250	1562	28.2	159	0.057	0.018	0.006	0.009
382~387	51.6	30.8	18.7	248	94	47	145.7	17.8	248	1965	24.5	151	0.055	0.021	0.007	0.007
402~407	34.2	25.8	24.3	191	87	44	132.2	18.1	205	2078	23	139	0.055	0.017	0.007	0.007
422~427	37.3	28.1	20	229	91	51	130.2	18.1	243	2598	35.9	106	0.054	0.018	0.006	0.006
442~447	25.3	28.3	19.2	238	92	48	134.6	18.5	238	2301	25.9	116	0.062	0.02	0.007	0.008
462~467	56.1	22.9	30.6	217	94	43	149.5	20.7	200	2883	23	134	0.049	0.018	0.007	0.007
482~487	74.4	26.6	20.1	352	90	67	138.3	18.6	226	2828	26.1	124	0.051	0.017	0.007	0.007
502~507	41.4	28.7	29.1	157	89	44	140.4	18.4	239	2947	20.4	162	0.05	0.018	0.007	0.006
522~527	37.1	24.1	25.5	157	91	47	152	18.7	206	2824	26.8	115	0.055	0.015	0.007	0.005
542~547	53.9	28.7	22.5	213	134	61	148.3	25.1	175	2639	24.9	196	0.058	0.019	0.005	0.06
562~567	31.5	25.7	15.8	165	99	52	155.3	18.3	230	2296	31.9	135	0.065	0.019	0.007	0.006
582~587	50.7	29.8	14.5	167	108	43	151.3	18	333	1388	20.3	130	0.057	0.018	0.007	0.007
602~607	44.9	28.8	24.2	315	104	50	164.4	19.4	238	1252	17.1	135	0.056	0.02	0.005	0.007
622~630	26.4	27.1	19.2	171	84	84	228.2	28.2	305	2548	28.7	129	0.052	0.022	0.007	0.007
647~652	36.2	25.3	22.1	255	74	45	153.8	17	316	4511	24.9	130	0.051	0.022	0.01	0.012
667~672	26.5	25.2	23	148	62	49	156.4	18	246	2978	20.6	146	0.053	0.022	0.011	0.007
687~692	43.8	21.5	24.3	191	58	44	149.8	25.7	265	3431	15.1	133	0.055	0.015	0.01	0.009
707~712	37.7	23.3	25.2	206	64	39	110.4	19.3	314	3123	19.6	118	0.0555	0.02	0.01	0.007
728~733	60.6	23.7	25.3	133	70	49	79.2	18.5	312	1466	24.5	113	0.049	0.02	0.013	0.003
748~753	53.8	21.7	46.5	164	47	83	181.7	31.9	382	2315	14.3	170	0.051	0.019	0.008	0.007
768~773	56.7	25.1	24.8	142	74	45	175.5	19.5	272	2783	30.7	144	0.047	0.018	0.01	0.007
788~793	40.3	20.6	27.5	192	62	37	197.4	20.9	255	2972	22.3	151	0.051	0.019	0.013	0.001
808~813	97.6	24.4	21.4	296	76	85	162.6	26.3	363	2530	23.3	203	0.044	0.016	0.009	0.006
828~833	103.5	20.7	18.9	207	63	71	162.1	25.9	320	5000	22.2	132	0.042	0.012	0.01	0.005
848~853	101.1	13.7	18.7	331	75	72	132.1	22.5	316	2625	16.7	181	0.036	0.011	0.009	0.006
868~873	104	12.6	18.6	238	65	64	148.6	20.7	270	2525	23.7	179	0.032	0.011	0.009	0.002
890~897	116.8	12.5	21.3	261	71	66	166.3	24.2	303	2937	22.1	157	0.038	0.02	0.006	0.003
平均值	53.2	30.6	23	213.5	87	54.7	148.5	20.7	275	2367	25	145.9	0.054	0.023	0.007	0.006

Cu、Zn、Li、Rb 的单位为%，其余为 10⁻⁶

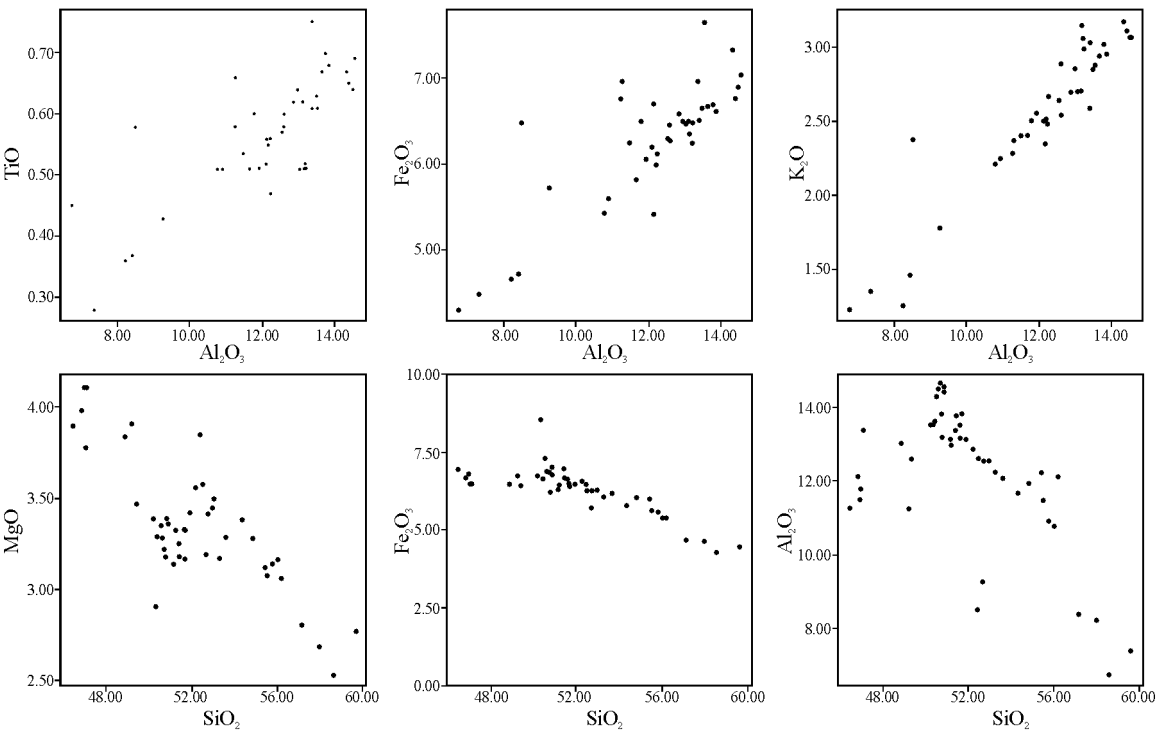


图3 PC5222 孔常量元素相关图

Fig. 3 Correlation of the major element oxides from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean

表 3 PC5222 孔岩芯常量元素的相关性

Table 3 Correlation of the major element oxides from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	CaCO ₃	C
SiO ₂	1.000											
Al ₂ O ₃	-0.597	1.000										
Fe ₂ O ₃	-0.793	0.773	1.000									
CaO	-0.566	-0.236	0.098	1.000								
MgO	-0.797	0.321	0.513	0.585	1.000							
K ₂ O	-0.627	0.939	0.803	-0.150	0.356	1.000						
Na ₂ O	-0.436	-0.144	0.175	0.658	0.491	-0.084	1.000					
MnO	-0.770	0.596	0.566	0.407	0.611	0.688	0.205	1.000				
P ₂ O ₅	-0.533	-0.257	0.039	0.985	0.555	-0.172	0.617	0.388	1.000			
TiO ₂	-0.628	0.772	0.801	-0.035	0.413	0.776	0.093	0.538	-0.105	1.000		
CaCO ₃	-0.483	-0.232	-0.028	0.877	0.461	-0.233	0.514	0.331	0.873	-0.205	1.000	
C	-0.274	-0.160	0.173	0.376	0.300	-0.290	0.396	-0.199	0.331	0.063	0.381	1.000

Fe₂O₃、MgO、P₂O₅、CaCO₃、K₂O、MnO、CaO、TiO₂ 之间存在明显的消长关系,说明 SiO₂ 与这些常量元素在成因上有很大差异。

3.2 元素的组合特征

为了较客观地反映元素在沉积作用中的亲疏关系,作者选择了20个有成因指示意义的常、微量元素进行了R型因子分析。根据特征值大于1的原则,经方差极大正交旋转后,剔除有缺值的观测量,最后得到5个主因子,其累计方差贡献占总方差贡献的77.47%,说明R型因子分析能较好地揭示元素之间的共生组合特点,探讨元素组合在成因方面的专属

性(表4)。

F1主因子的方差贡献为31.87%,是影响PC5222孔沉积物元素组合变化的主要地质因素。从正交因子载荷矩阵中可以明显看出,Fe₂O₃、Al₂O₃、TiO₂、K₂O、MgO、MnO、Zn、Cu为正载荷,说明该组合中常微量元素共生关系好。由于它们主要赋存在表生环境下地球化学性质比较稳定的陆源碎屑沉积物中,因此,F1正载荷的常量元素组合多代表陆源成因物质^[7]。根据元素的特性,Al是粘土矿物和沸石的主要成分,而Fe、Ti、Cu、Mn又是组成锰结核的主要元素,揭示铁锰结核的形成与这些元素之间存在

表4 中太平洋 PC5222 孔岩芯元素因子分析
Table 4 R-mode factor analysis of major and trace elements in the core samples from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean

公因子	F1	F2	F3	F4	F5
SiO ₂	-0.739	-0.598	0.017	-0.056	-0.225
Al ₂ O ₃	0.901	-0.179	-0.077	-0.059	0.096
Fe ₂ O ₃	0.888	0.163	-0.312	-0.067	0.148
CaO	-0.023	0.933	0.182	0.135	0.069
CaCO ₃	-0.136	0.901	0.082	0.106	0.090
MgO	0.503	0.622	0.281	-0.048	0.279
K ₂ O	0.941	-0.118	-0.005	-0.090	0.058
Na ₂ O	0.056	0.789	-0.084	-0.150	-0.144
MnO	0.741	0.360	0.307	0.205	-0.014
P ₂ O ₅	-0.061	0.914	0.215	0.132	0.081
TiO ₂	0.844	-0.003	-0.132	0.051	0.075
Cu	0.808	-0.316	0.092	-0.267	0.107
Co	0.342	-0.763	0.299	-0.045	-0.097
Ni	-0.164	-0.101	0.107	-0.011	-0.882
Pb	0.190	-0.466	0.372	0.014	0.399
Cr	0.362	-0.188	-0.781	-0.106	0.118
Sr	-0.004	0.327	-0.075	0.678	0.162
Zn	0.493	0.019	0.358	-0.418	0.058
Zr	-0.035	-0.220	0.353	0.681	-0.139
Ba	-0.541	0.349	0.173	-0.325	0.080
特征值	6.056	4.499	1.525	1.4118	1.228
特征值/%	31.871	23.674	8.028	7.431	6.465
累计特征值/%	31.871	55.545	63.573	71.004	77.469

一定的成因联系。此外, 负荷荷常、微量元素以 SiO₂、Ba 为代表。说明随着 SiO₂、Ba 的增加, Fe₂O₃、P₂O₅、Al₂O₃、K₂O、TiO₂、Zn、Cu 的含量将减少, 二者呈互为消长的关系。表明富含 Si、B、Ba 的沉积环境, 不利于铁锰结核形成。据韩建修^[9]的研究, 沉积物的 SiO₂ 主要来自硅质放射虫生物碎屑, 由此推断硅质放射虫越发育, 对锰结核的形成越不利。此外, 由表 5 分析可知, PC5222 中 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、K₂O、Na₂O、TiO₂、P₂O₅ 的平均含量多明显高于大洋平均值及南海、东海和中国大陆, 亦说明 F1 因子主要受陆源沉积物的影响较大。

F2 因子的方差贡献为 23.67%, 是影响 PC5222 孔沉积物元素变化的第二大因素。该因子正负荷荷常、微量元素代表有 CaO、CaCO₃、MgO、Na₂O、P₂O₅、Sr、Ba, 由于伊利石中 Mg、Na 含量较高, 其成分主要来自大陆, 说明该组分受深海陆源物质的再沉积作用影响较大, 而 CaO、CaCO₃、P₂O₅ 相关性较强, 主要受生物作用的影响^[8]。SiO₂、Pb、Co 为负荷荷元素, 说明物源复杂, 与前者关系较疏远。由此可见, F2 因子反映了陆源、生物源的成因特点^[9]。

F3 因子的方差贡献率为 8.02%, 该因子体现

MgO、MnO、Co、Pb、Zr、Zn 为正负荷荷, 但相关系数均较小。Cr 元素具有较大的负荷荷, 由于 Cr 多与海底火山作用或深海物质组分关系密切, 说明它们可能与火山活动有关^[10]。

F4、F5 因子的方差贡献率为 7.43% 和 6.47%, 其中 F4 因子中 Sr 和 Zr 为正负荷荷元素代表, 由于 Sr 是亲生物元素^[11]。Zr 是滨海重砂钛铁矿、锆石的主要成分, 因此, 该因子可能与陆源碎屑及生物作用有关。F5 因子的 Ni 为显著负荷荷(-0.882), 由于 Ni 亦多是海底火山或深海物质的组分, 因此, F5 因子反映沉积物受到了火山活动的影响。

由上分析显见, PC5222 孔岩芯中, Al₂O₃、TiO₂、K₂O、MgO、MnO、Zn、Cu 等常、微量元素组分之间存在明显的正相关关系, 说明这些元素的共生关系较好, 在成因上有一定的专属性。加上其含量明显高于远洋沉积物的平均值, 说明主要受陆源沉积的影响。SiO₂ 与 Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO 等存在明显的消长关系, 说明随着 Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO 等含量的增加, SiO₂ 含量递减。由于沉积物中的 SiO₂ 主要来源于硅质放射虫, 因此 Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO 的含量增减与放射虫生物碎屑的含量有关。沉积物中 Cr、Ni 为较大负相关系数, 说明在晚渐新世的沉积物中不同程度地受到了火山活动的影响。

3.3 物源分析

据 Bischoff(1979) 的研究^[12], Al₂O₃ 在大洋沉积物中对其它元素起“稀释”作用。因此, 其它元素氧化物与 Al₂O₃ 的比值(标准值), 可以有效地反映沉积物的组成和物源特征。若以 PPC 代表陆源性质的太平洋深海粘土, 以 Engel(1965) 的 APT 比值代表火山碎屑特征的太平洋拉班玄武岩, 以 BNL(Baker, 1979) 代表生物或生物吸附物质的太平洋底栖浮游层, 则 PC5222 孔沉积物元素氧化物与 Al₂O₃ 及 Ba/Sr 比值标准化后如表 6 所示。

根据 Bischoff(1979) 的研究, SiO₂/Al₂O₃ = 3.3 代表太平洋深海粘土, 7.63 代表生物源, 2.97 代表火山源。PC5222 孔 SiO₂/Al₂O₃ 的最大值为 8.66, 最小值为 3.53, 多数变化在 3.72 ~ 5.67 之间。尤其在 748 ~ 897 cm, 比值都在 4.08 ~ 8.66 之间变化, 说明晚渐新世早期沉积时物源供应以陆源生物源为主, 并稍有深海粘土的沉积, 这正好与微体古生物放射虫在该时期的大量繁衍有关(图 4)。沉积后期 SiO₂、Al₂O₃ 值多变化在 3.71 ~ 5.18 之间, 个别区间。如 243 ~ 248 cm, 比值可达 6.15, 说明以深海粘土沉积为主,

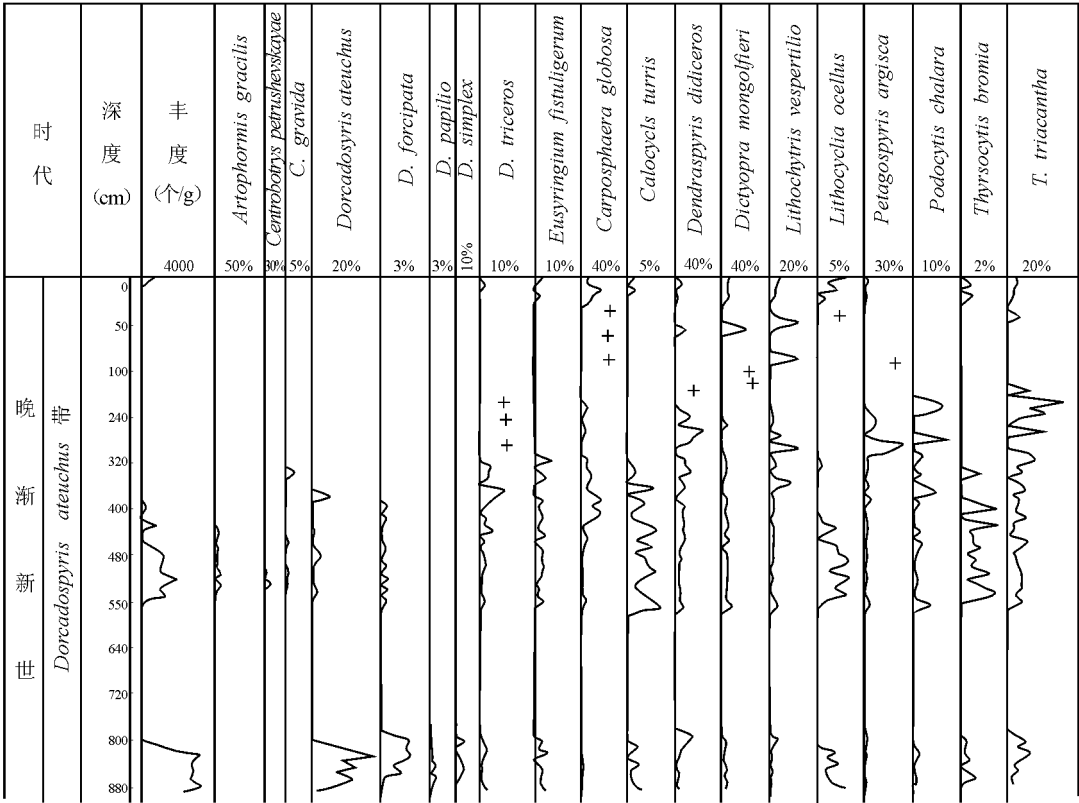


图 4 PC5222 孔岩芯主要放射虫含量分布图(据文献^[6])

Fig. 4 Distribution of the radiolarian contents in the core samples from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean (after Han Jianxiu et al. , 1997)

表 5 PC5222 孔沉积物常量组合含量与其它地区比较($w_B/\%$)

Table 5 Comparison of the major element contents in the core samples from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean and other regions ($w_B/\%$)

常量元素组合 地 点	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂
PC5222 孔	52. 16	11. 6	6. 22	2. 48	3. 35	2. 56	5. 42	1. 23	1. 22	0. 58
大洋平均	47. 72	12. 29	5. 83	0. 60	2. 18	2. 10	1. 10	0. 41	0. 16	0. 59
中国浅海	62. 51	11. 09	4. 43	5. 08	1. 82	2. 32	2. 00	0. 068	—	0. 58
中国大陆	64. 18	11. 00	4. 50	3. 11	2. 01	2. 17	1. 70	0. 084	—	0. 70
南海	47. 40	9. 54	3. 93	12. 31	2. 04	1. 81	—	0. 37	—	0. 53
东海	54. 43	12. 03	4. 59	10. 5	1. 84	1. 98	2. 24	0. 12	0. 12	0. 57
南海中部	43. 53	13. 13	4. 73	9. 71	1. 14	2. 54	3. 23	1. 14	0. 17	0. 44
南海南部	42. 25	7. 29	3. 37	18. 35	2. 17	1. 82	—	0. 26	0. 13	0. 37
南海北部	—	10. 91	2. 61	4. 20	1. 97	2. 27	—	0. 07	0. 11	0. 62

据文献^[11], 略有修改

并稍受生物源的影响。用 Fe_2O_3/Al_2O_3 来判断物质的标准^[12], 0. 46代表深海粘土, 0. 55代表火山碎屑物质, 1. 18代表胶体或生物吸附的成分。从表 6 可看出, PC5222 孔从 5 ~ 897cm 的标准值都略大于 0. 46, 多数值都在 0. 5 ~ 0. 6 之间变化, 说明该区晚渐新世晚

期主要为深海粘土沉积, 并受到火山作用的影响, 且从早期到晚期火山碎屑物的影响在逐渐减弱。由 TiO_2/Al_2O_3 值来判断物质的标准^[6], 0. 05 为太平洋深海粘土, 0. 09 为火山碎屑岩, 0. 11 为生物源, 从表 5 可知, PC5222 孔从早期到晚期 TiO_2/Al_2O_3 值都十分接

近或等于0.05,亦说明该区晚期以深海粘土沉积为主,个别深度(243~248cm)亦受到火山碎屑物的影响。大洋沉积物中的Ba主要来源于深海粘土,火山热液,自生源和生物源,但一般自生源和生物源中的Ba含量都较高,因此,Ba/Sr值的高低可以从另一个侧面来反映沉积物的物源^[13]。从PC5222孔对Ba/Sr的分析来看,其比值在早期沉积物中含量较高,最高为15.63,晚期含量渐低,说明早期的沉积以生物源,自生源为主,晚期则为深海粘土沉积,并稍受火山热液的影响。

从表6、图5可看出,PC5222孔的岩芯晚渐新世的沉积物源,早期以深海粘土硅质软泥为主,并受陆源碎屑和生物作用的影响较大,后期以含沸石硅质粘土、硅质粘土及沸石粘土为主,并受到火山活动及生物作用的影响,这从该孔含放射虫化石的情况亦可得到证实(图4):有3个放射虫富集部位,即下部(805~888cm)为硅质软泥,含丰富的放射虫化石,达4400~5200个/g,无蚀变放射虫。中部(400~562cm)为含沸石硅质软泥及硅质软泥,有较多放射虫,达100~3200个/g;但蚀变放射虫相当丰富,达100~3300个/g。上部0~41cm为硅质粘土、沸石粘土,有少量放射虫,未蚀变个体为100~910个/g,蚀变个体200~400个/g。

4 结 论

(1) PC5222孔岩芯在垂向上常、微量元素有4次比较明显的变化:CaO、CaCO₃、K₂O、Na₂O、P₂O₅、MnO、MgO在晚渐新世早期沉积物中含量较高,而

SiO₂含量较低并呈互为消长关系,晚期变化不明显。微量元素B、Mo、Ni、Sr、Ba、Li、Rb在早期沉积物中含量较高;晚期明显递减。Pb、Cu、Zn的含量变化则相反。

(2) 元素的相关分析表明,Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、MnO、TiO₂之间存在明显的正相关关系,说明在成因方面比较相近。SiO₂与Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、MnO、TiO₂、P₂O₅、CaO、CaCO₃为负相关关系,说明在物源供给及成因方面差异较大。

(3) R型因子分析表明,PC5222孔岩芯中Fe₂O₃、Al₂O₃、TiO₂、K₂O、MgO、MnO、Cu、Zn为正载荷,说明该组合元素共生关系较好。由于其值的平均含量明显高于大洋平均值,说明这些元素在成因上主要受陆源碎屑沉积物的影响,SiO₂为负载荷,揭示二者共生关系较差。CaO、CaCO₃、P₂O₅为明显的正相关关系,且相关系数较大,说明PC5222孔沉积物受生物作用影响明显。沉积物中Cr、Ni负相关系数较大,表明在晚渐新世的沉积物中不同程度地受到了火山活动的影响。

(4) 通过物源分析,揭示晚渐新世早期沉积物以深海粘土及硅质软泥为主,并受到了陆源碎屑和生物作用的影响,晚期渐变为含沸石硅质粘土与沸石粘土沉积,并有少量的火山活动及生物作用。这与笔者在沉积物岩性和古生物方面的分析结果完全一致。

致谢: 本文得到李光明研究员的指点,谨致谢意!

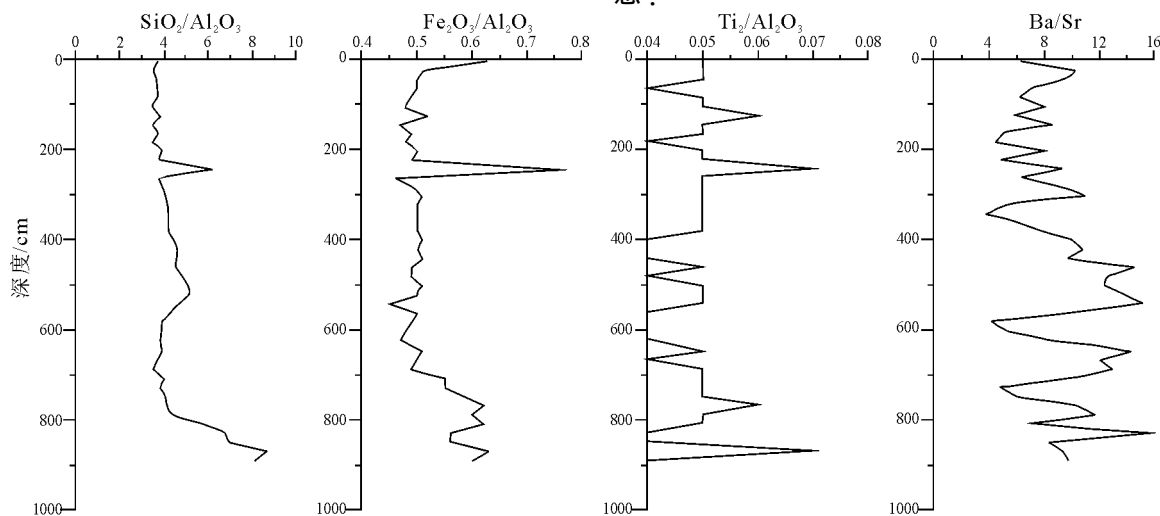


图5 PC5222孔主要元素与Al₂O₃比值垂向变化图

表 6 PC5222 孔主要元素比值表

Table 6 Major element ratios for the core samples from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean				
深度/cm	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ /Al ₂ O ₃	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	Ba /Sr
5~10	3.72	0.63	0.05	6.30
26~31	3.53	0.51	0.05	10.22
46~51	3.66	0.50	0.05	9.48
66~71	3.71	0.50	0.04	6.95
86~91	3.69	0.49	0.05	6.25
106~111	3.49	0.48	0.05	8.04
126~131	3.84	0.52	0.06	5.84
146~151	3.53	0.47	0.05	8.54
166~171	3.73	0.49	0.05	5.00
183~188	3.49	0.48	0.04	4.45
203~208	3.95	0.50	0.05	8.04
223~228	3.82	0.49	0.05	4.74
243~248	6.15	0.76	0.07	9.13
263~268	3.73	0.46	0.05	6.28
283~288	3.95	0.49	0.05	9.35
303~308	4.06	0.51	0.05	10.94
323~328	4.16	0.50	0.05	5.26
342~247	4.22	0.50	0.05	3.72
362~367	4.20	0.50	0.05	6.25
382~387	4.22	0.50	0.05	7.92
402~407	4.43	0.51	0.04	10.14
422~427	4.65	0.50	0.04	10.69
442~447	4.60	0.51	0.04	9.67
462~467	4.53	0.49	0.05	14.42
482~487	4.83	0.49	0.04	12.51
502~507	5.12	0.51	0.05	12.33
522~527	5.18P	0.50	0.05	13.71
542~547	4.63	0.45	0.05	15.08
562~567	4.35	0.50	0.04	9.98
582~587	3.92	0.49	0.04	4.17
602~607	3.89	0.48	0.04	5.26
622~630	3.84	0.47	0.04	8.35
647~652	3.92	0.51	0.05	14.28
667~672	3.74	0.50	0.04	12.11
687~692	3.51P	0.49	0.05	12.95
707~712	3.98	0.55	0.05	9.95
728~733	3.85	0.55	0.05	4.70
748~753	4.08	0.59	0.05	6.06
768~773	4.11	0.62	0.06	10.23
788~793	4.37	0.60	0.05	11.65
808~813	5.67	0.62	0.05	6.97
828~833	6.79	0.56	0.04	15.63
848~853	7.01	0.56	0.04	8.31
868~873	8.66	0.63	0.07	9.35
890~897	8.07	0.60	0.04	9.69
太平洋深海粘土标准值 (PPC)	3.3	0.46	0.05	
太平洋拉斑玄武岩 (APT)	2.97	0.55	0.09	
太平洋底栖浮游层 (BNL)	7.63	1.18	0.11	

参考文献:

[1] OGAWAY L et al. Sedimentological study of piston core off Kyushu-Paku Ridge KT94-10, P-01 [J] . Geological Sciences, 1996, 17(1): 25—38.

[2] UJIE Y et al. Spatial and temporal variability of surface water in the Kuroshio source region, Pacific Ocean, over the past 21,000 years: evidence from planktonic foraminifera [J] . Marine Micropaleontology, 2003, 49(4): 335—364.

[3] SENO T, MARUYAMA S. Paleogeographic reconstruction and origin of the Philippine Sea [J] . Tectonophysics, 1984, 102(1—2): 53—84.

[4] HIROSHIM. Quaternary widespread tephra catalog in and around Japan: Recent progress [J] . The Quaternary Research, 1999, 38 (3): 194—201.

[5] 何高文、薛婷,等. 西太平洋富钴结壳元素组合特征及地质意义 [J] . 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(2): 125—129.

[6] 韩建修,等. 古海洋环境与多金属结核形成的关系 [M] . 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.

[7] 陈守余、张海生、赵鹏大. 中太平洋和中国南海富钴结壳稀土元素地球化学 [J] . 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(4): 45—50.

[8] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M] . 北京: 科学出版社, 1995.

[9] 熊应乾、刘振夏,等. 东海陆架 EA01 孔沉积物常量微量元素变化及其意义 [J] . 沉积学报, 2006, 24(3): 356—364. 356—364.

[10] 方习生、石学法,等. 琉球群岛以东海域表层沉积物元素地球化学特征 [J] . 海洋科学进展, 2006, 24(1): 110—115.

[11] 陈道华、蒋少涌、刘坚. 西沙海槽表层沉积物地球化学特征及地质意义 [J] . 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(2):

[12] BISCHOFF J L, HEATH G R, LEINEN M. Geochemistry of deep-sea sediments from the Pacific manganese nodule province, DOMES sites A, B, C. [A] . Bischoff J L, Piper D Z. Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province [C] . New York: Plenum Press, 397—436.

[13] 李国胜、杨锐. 对硼作为相标志的异议 [J] . 岩相古地理, 1992 (4): 16—19.

Geochemistry and provenance of the PC5222 drill cores from the mid-Pacific Ocean

LI Guo-sheng^{1, 2}, YANG Rui^{1, 3}, ZHANG Hong-ni⁴

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, Guangdong, China; 3. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510076, Guangdong, China; 4. China Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The analyses of the major and trace element contents in 45 pieces of core samples from the PC5222 drill hole in the mid-Pacific Ocean has disclosed that vertically, there are marked changes in element contents in different burial depths of sediments. The SiO_2 contents decrease with the increase of the contents of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MnO , TiO_2 , CaO and CaCO_3 in the early sediments. The things are different in the late sediments. The element correlation analysis and R-mode factor analysis indicate that there is a markedly positive correlation between the contents of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MnO and TiO_2 while a negative correlation with the SiO_2 contents. The former are influenced by the terrigenous clastic sediments, and the latter by the organic action and volcanic activity. The evolution of the sedimentary environments during the late Oligocene is also explored.

Key words: mid-Pacific Ocean; geochemistry; factor analysis; provenance

《沉积与特提斯地质》 征稿启事

《沉积与特提斯地质》(原《岩相古地理》)系国土资源部主管,成都地质矿产研究主办的综合性地质学术期刊,现为中国科技核心期刊(中国科技论文统计期刊)、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、维普中文科技期刊数据库统计源期刊,并被国家图书馆、上海图书馆、地学类及部分综合性大专院校、各省(市、自治区)地学类图书馆等馆藏机构收藏。

《沉积与特提斯地质》办刊20余年来,已形成了沉积学的专业特色和青藏高原的地域特色,集中反映最新的沉积学(含岩相古地理)、区域地质调查、石油地质、以及其他基础地质、矿床地质、能源地质、环境地质(含生态地质和灾害地质)等方面的研究成果和信息。

《沉积与特提斯地质》为季刊,大16开本,每期112页,逢季末出版,国内外公开发行。

诚征相关学术性和综述性稿件

电话: (028) 83234636; 电子信箱: cdgeo@163.com