

东太平洋海盆 CC 区沉积物因子分析揭示的 沉积环境地球化学演化信息

匡耀求¹ 黄永祥² 钟和贤²

(1.中国科学院广州地球化学研究所与南海海洋研究所 边缘海地质重点实验室,广东 广州 510640;
2.国土资源部广州海洋地质调查局,广东 广州 510075)

摘要:对中国大洋矿产资源开发研究协会 DY851 和 DY853 航次获得的东太平洋晚新生代沉积物(包括 61 个表层沉积物样品和 16 个沉积物柱状岩芯)进行了系统的地球化学和数理统计分析,揭示了东太平洋海盆 CC 区晚新生代沉积环境地球化学演化的一些特征。认为洋底扩张、沉积区离东太平洋洋脊的距离、海底的地热强度及地热活动频率影响了研究区 CCD 的深度和 CCD 波动的频率及幅度,从而在一定程度上制约了研究区的沉积环境。

关键词:东太平洋海盆;碳酸盐补偿深度;地热;因子分析

中图分类号:P736.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2004)03-0325-07

1 研究区位置、样品的时空分布 和研究方法

研究区位于夏威夷群岛东南 154°W~143°W, 7°N~12°N 区域,地处莱恩西断裂以东的东太平洋海盆,南北夹于克拉里昂断裂带与克里伯顿断裂带之间(图 1)。东部主要为深海丘陵和深海平原,水深 5 000~5 300 m;西部海底地形较为复杂,由海山链、海山、山间洼地、深海平原及台地等地貌单元构成,海山顶部水深 3 600~4 580 m,山间洼地和盆地水深 5 100~5 400 m。中国大洋矿产资源开发研究协会 DY85-1 和 DY85-3 航次在 5 个站位(PC5222、PC5263、PC5653、PC5794 和 PC5813)用大型重力活塞采样器取得沉积物长柱状岩芯,在 11 个站位用无缆重力活塞取得沉积物短柱状岩芯,另外在 61 个站位用有缆抓斗或箱式采样器取得表层沉积物样品。其中 5 个站位(PC5222、PC5263、PC5653、PC5813 和 PC5794)的沉积物长柱状岩芯较好地揭示了该区下中新统以来的沉积历史(图 2)。

根据地层发育特征、沉积物类型分布、沉积间断及其他古海洋环境资料,将研究区晚新生代沉积演化史归结为 3 个沉积阶段和 2 个较明显的间断阶段,即:早中新世早期钙质

沉积阶段;早中新世中期底流侵蚀和沉积间断阶段;早中新世晚期至中中新世初期的硅质沉积阶段;中中新世至晚中新世大规模侵蚀及沉积间断阶段;晚中新世晚期至今的粘土沉积阶段(图 2)^[1]。获得的所有沉积物对应于其中的 3 个沉积阶段:其中第一沉积阶段(相当于早中新世早期)的沉积物只在研究区东部的 PC5653 和 PC5794 两个沉积物芯柱有所揭露;第二沉积阶段(相当于早中新世晚期至中中新世初期)的沉积物在 3 个沉积物芯柱(除 PC5653 和 PC5794 外还有 PC5813)有揭露;第三沉积阶段(相当于晚中新世晚期—第四纪)的沉积物分布在表层,易于取样,样品分布广泛,但沉积物的类型和厚度变化很大,在研究区西部的 PC5222 和 PC5263 两个站位揭露的厚度达 8 m,而在研究区东部的 PC5653、PC5813 以及 PC5794 站位的厚度只有约 10 cm。各阶段沉积物的矿物成分、化学成分和古生物特征见文献[1]。

本研究选择了 4 个站位的长柱状沉积物芯和 6 个站位的短柱状沉积物芯按约 10 cm 的间距取样,加上 41 个站位获得的表层沉积物样品,共获得样品 368 个,其中第一沉积阶段沉积物样品 78 个,第二沉积阶段沉积物样品 114 个,第三沉积阶段沉积物样品 176 个。对全部样品分析了 31 个项目。化学分析由广州海洋地质调查局实验测试中心完成。

收稿日期:2003-10-21;改回日期:2004-03-26

基金项目:大洋深海研究项目(DY85-02-01-2)后续研究成果及中国科学院广州地球化学研究所知识创新工程领域前沿项目(GIGCX-04-01)资助。

作者简介:匡耀求,男,1963年生,博士,研究员,主要从事地球化学、区域可持续发展以及地热对地表环境与生态演变的影响研究;
E-mail: yaoqiuk@gig.ac.cn。

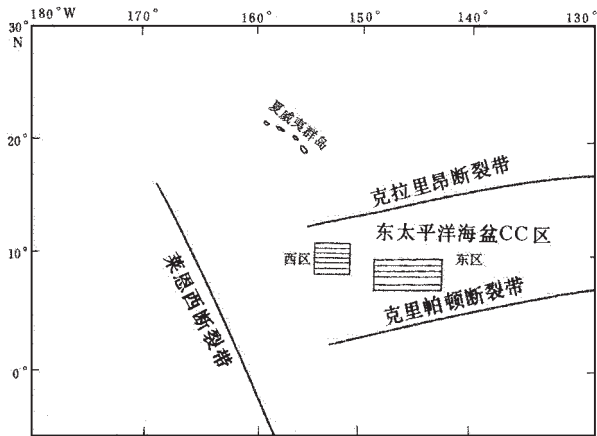


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

对分析结果中未检出的项目按该项目检出限的 1/2 处理。为了揭示这些沉积物形成过程的地球化学作用,对全部样品的 31 项分析结果按样品所属的沉积阶段分别作因子分析(因子分析由笔者在广州海洋地质调查局工作期间完成),通过方差极大旋转获得因子载荷矩阵,以方差贡献大于 1% 为标准选取主因子数。

2 因子分析结果及解释

对第一沉积阶段(相当于早中新世早期)沉积物的 78 个样品 31 项分析数据做因子分析,以方差贡献大于 1% 为标准选取因子数 6 个,且第一主因子的方差贡献已达 84.5%,表明该区第一沉积阶段沉积物地球化学特征是由一种占绝对优势的沉积地球化学作用所控制,影响因素较简单(表 1)。

从方差极大旋转因子载荷表可以看出,在 F_1 主因子轴上,Cu、TFe、Zn、 K_2O 、MnO、 P_2O_5 、 Na_2O 、 SiO_2 、Yb、Ni、MgO、 Al_2O_3 、Y、Co、Zr、V、Be、有机碳、La、Mo、Sc 等组分有较大的正载荷值,而 Sr、烧失量、 $CaCO_3$ 和 CaO 等碳酸盐相关组分有较大的负载荷值,显然,该因子反映的是碳酸盐和非碳酸盐组分之间的反相关关系,这种地球化学作用反映的是碳酸盐的溶解—沉淀交替过程,即在碳酸盐沉淀时,非碳酸盐组分的浓度降低,而在碳酸盐出现溶解时,沉积物中的非碳酸盐组分浓度增大。说明在该区的第一沉积阶段虽然碳酸盐沉积占主导地位,但碳酸盐沉积的速率是波动的,有碳酸盐的溶解—沉淀交替过程存在,这表明该区第一沉积阶段碳酸盐的补偿深度(CCD)虽然总体上处在海底深度之下,即海底沉积环境总体上处在 CCD 之上,碳酸盐得以沉积。考虑到洋底扩张的影响,该区的海底在第一沉积阶段应该处于现今位置($W149^\circ\sim 143^\circ, N7^\circ\sim 10^\circ$)以东偏南约 1 400~950 km 处,相当于 $W137^\circ\sim 131^\circ, N5^\circ\sim 8^\circ$,虽然离东太平洋洋脊的距离较近,但仍处于东太平洋洋盆内,海水的深度并没有明显变浅,碳酸盐

表 1 第一沉积阶段因子分析方差极大旋转因子载荷

Table 1 Varimax rotation factor load of the first

sedimentary period factor analysis						
主因子	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
Cu	0.865	0.158	0.258	0.183	0.280	-0.136
Zn	0.805	0.201	0.310	0.216	0.160	-0.343
V	0.698	0.151	0.182	0.245	0.228	-0.578
La	0.644	0.096	0.270	0.185	0.276	-0.611
Yb	0.771	0.184	0.236	0.178	0.279	-0.430
Y	0.724	0.138	0.225	0.185	0.258	-0.539
Sc	0.595	0.061	0.231	0.218	0.271	-0.675
Sr	-0.889	-0.104	-0.122	-0.232	-0.001	0.300
Ba	0.455	0.263	0.280	0.113	0.688	-0.353
Pb	0.144	0.950	0.047	-0.085	-0.058	-0.053
Ga	0.167	0.816	0.199	0.227	0.349	-0.091
Nb	0.392	0.038	0.249	0.299	0.142	-0.770
Zr	0.712	0.220	0.039	0.283	0.044	-0.558
Cr	0.313	0.196	0.861	0.118	0.192	-0.239
Mo	0.639	0.219	0.421	0.344	-0.028	-0.431
Ni	0.748	0.183	0.259	0.216	0.251	-0.449
Co	0.717	0.178	0.191	0.220	0.188	-0.568
Be	0.682	0.179	0.275	0.251	0.291	-0.507
K_2O	0.797	0.175	0.217	0.251	0.165	-0.435
Na_2O	0.786	0.165	0.260	0.205	0.218	-0.436
CaO	-0.775	-0.142	-0.239	-0.210	-0.255	0.457
MgO	0.731	0.144	0.256	0.086	0.306	-0.477
TFe	0.810	0.215	0.237	0.240	0.218	-0.358
MnO	0.789	0.176	0.219	0.211	0.219	-0.447
Al_2O_3	0.724	0.135	0.202	0.300	0.125	-0.513
P_2O_5	0.786	0.262	0.297	0.183	0.289	-0.292
TiO_2	0.401	0.030	0.146	0.798	0.119	-0.360
SiO_2	0.783	0.129	0.227	0.206	0.260	-0.448
烧失量	-0.812	-0.138	-0.195	-0.225	-0.202	0.427
有机碳	0.668	0.197	0.275	0.188	0.173	-0.464
$CaCO_3$	-0.776	-0.149	-0.235	-0.215	-0.258	0.452
方差贡献/%	84.463	5.099	2.379	2.076	1.561	1.210
累积方差贡献/%	84.463	89.562	91.941	94.017	95.578	96.788

的沉积只能说明其 CCD 界面较深,而碳酸盐溶解—沉淀交替现象的出现又表明这一界面(CCD)是波动变化的,当 CCD 变浅时,碳酸盐沉积速率下降,沉积物中非碳酸盐组分浓度增大,这种 CCD 的波动变化是控制该区第一沉积阶段沉积物地球化学特征的主要因素。

对第二沉积阶段(相当于早中新世晚期至中中新世初期)的 114 个沉积物样品的 31 项分析数据做因子分析,以方差贡献大于 1% 为标准选取的因子数达 13 个,但第一主因子的方差贡献达 49%,前 3 个因子累积方差贡献达 74%,表明控制这一时期沉积物特征的地球化学因素较为复杂,但存在一种主要因素,主次分明(表 2)。

在 F_1 主因子轴上,只有 SiO_2 有较大的负载荷,而 V、 K_2O 、 Al_2O_3 、Co、MnO、Sc、TFe、Cu、Be、Pb、Mo 具有较大的正载荷,这反映的是硅质软泥组分与粘土质火山碎屑组分的反消长关系,是二者交替堆积的一种地球化学过程,该过程是控制第二沉积阶段沉积物地球化学特征的主要因素; F_2 主因子的方差贡献为 19%,该主因子以 La、Y、 P_2O_5 、CaO、Yb、MgO 等组分具较大的负载荷为特征,它们主要为钙质生物骨屑组分和海水中的可溶组分,可能是钙质生物下沉后在 CCD 以下溶解释放的组分,该因子反映了钙质生物的溶解过程; F_3 主因子的方差贡献为 6%,以 Cr、 $CaCO_3$ 、Ga、Ni、烧

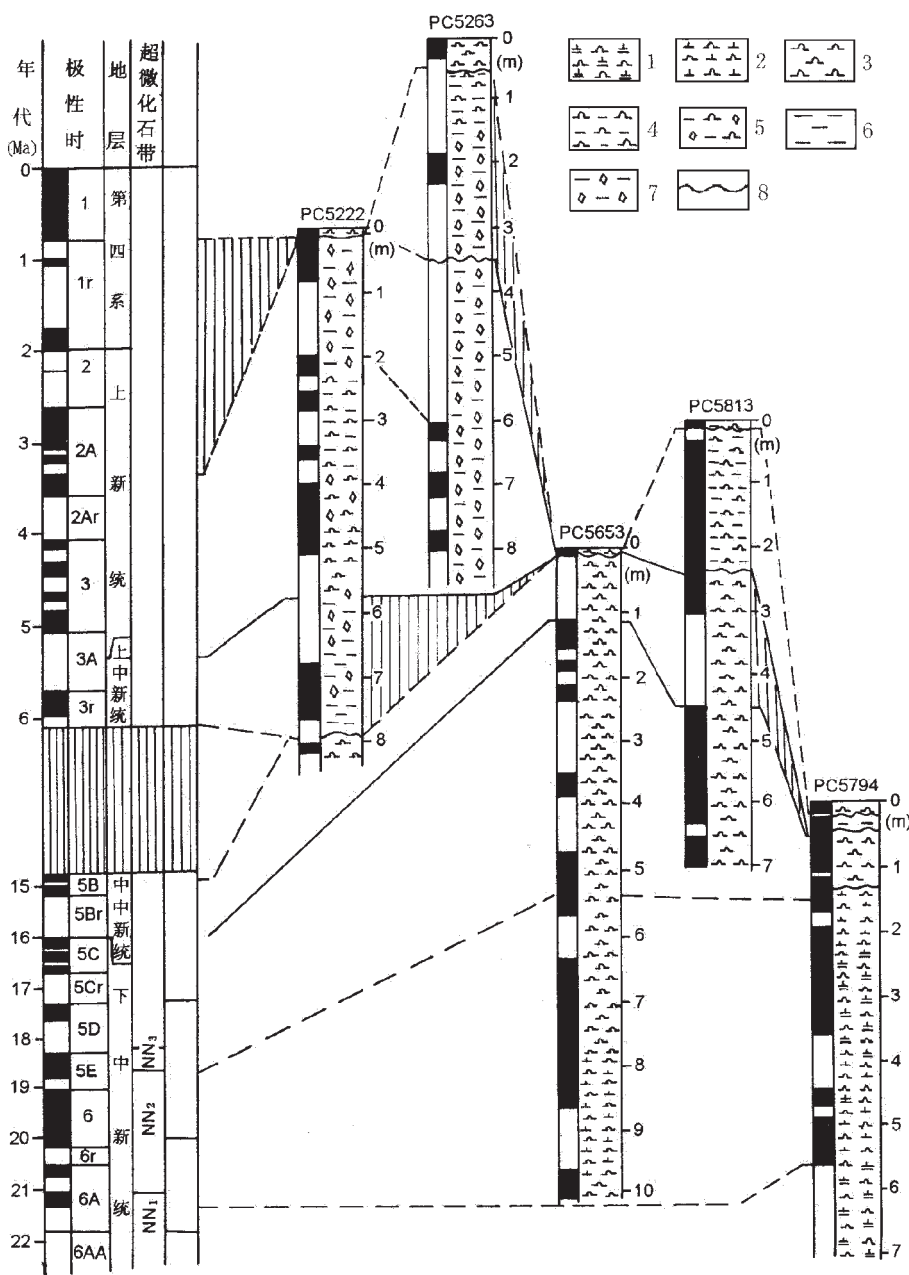


图 2 沉积物芯柱地层对比图

1—硅钙质软泥;2—钙硅质软泥;3—硅质软泥;4—硅质粘土;5—含沸石硅质粘土;
6—深海粘土;7—沸石粘土;8—沉积间断面(极性时据文献[2])

Fig. 2. Stratigraphic correlation of the sedimentary core columns

1-Siliceous-calcareous ooze;2-Calcareous-siliceous ooze;3-Siliceous ooze;4-Siliceous clay;5-Zeolite-bearing siliceous clay;
6-Deep sea clay;7-Zeolite clay;8- Sedimentary discontinuity (polarity chron from reference [2])

微量、Sr 具较大的负载荷为特征,可能反映了富含 Cr、Ni 的玄武岩海山区或火山活动期间的钙质软泥沉积作用。显然在第二沉积阶段,该区 3 种最主要的地球化学作用为:硅质软泥与粘土质火山碎屑的交替沉积作用、碳酸盐的溶解作用、海山区或火山活动期间的碳酸盐沉积作用。前 2 个主因子反

映出的地球化学作用表明该区在第二沉积阶段总体上处在 CCD 之下,由于该区海水深度并没有大的变化,这只能说明,与第一沉积阶段相比,CCD 变浅了。这时,由硅质软泥沉积和火山碎屑沉积主导该区的沉积过程,但 F₃ 主因子表明,该区的 CCD 也是波动变化的,尤其是在海山区或火山活动

表 2 第二沉积阶段因子分析方差极大旋转因子载荷

Table 2 Varimax rotation factor load of the second sedimentary period factor analysis

主因子	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃
Cu	0.752	-0.373	-0.268	0.069	-0.088	-0.138	0.058	0.217	0.119	-0.008	-0.115	0.190	-0.116
Zn	-0.062	-0.405	-0.384	-0.008	0.016	0.002	0.008	0.058	0.062	0.035	-0.090	0.800	-0.048
V	0.936	-0.069	-0.019	0.087	0.038	0.025	-0.129	0.062	0.105	0.052	-0.029	-0.139	0.040
La	0.352	-0.809	-0.078	0.024	0.027	-0.309	-0.077	0.207	-0.053	0.052	0.069	0.102	0.068
Yb	0.417	-0.643	-0.506	0.150	0.028	0.006	-0.126	0.017	0.049	0.128	-0.103	0.161	-0.081
Y	0.418	-0.806	-0.189	-0.119	0.016	-0.100	-0.025	0.105	0.207	0.073	-0.055	0.074	-0.039
Sc	0.852	-0.311	-0.251	0.035	0.025	-0.058	-0.021	-0.026	0.119	0.101	-0.138	-0.015	-0.117
Sr	-0.111	-0.300	-0.615	-0.321	0.129	-0.345	0.051	-0.013	-0.090	0.258	0.204	0.298	0.010
Ba	-0.126	0.084	0.341	-0.089	0.156	-0.049	-0.005	-0.045	-0.030	-0.024	0.896	-0.059	0.028
Pb	0.577	-0.193	-0.214	0.082	0.016	0.097	-0.722	0.055	0.108	0.051	0.008	-0.017	-0.024
Ga	0.227	-0.149	-0.737	0.085	-0.038	-0.074	-0.206	0.039	0.454	0.118	-0.097	0.159	-0.156
Nb	0.374	-0.087	-0.049	0.865	0.175	0.104	-0.031	-0.039	0.002	-0.017	-0.104	-0.010	0.001
Zr	0.397	0.171	0.599	0.421	0.006	0.062	-0.160	-0.229	-0.160	-0.002	0.113	0.052	-0.227
Cr	0.278	-0.011	-0.809	0.176	-0.191	0.050	-0.114	0.007	-0.049	0.029	-0.285	0.133	0.090
Mo	0.522	0.175	0.159	0.165	-0.026	0.745	-0.082	-0.063	0.030	-0.010	-0.048	0.021	-0.050
Ni	0.300	-0.387	-0.708	-0.073	-0.074	-0.126	0.001	-0.022	0.035	0.162	-0.288	0.141	-0.229
Co	0.869	-0.226	-0.048	0.235	0.118	0.109	-0.059	0.054	0.050	0.036	-0.004	-0.048	-0.173
Be	0.587	-0.199	-0.374	-0.090	-0.023	0.211	-0.168	-0.038	0.513	0.197	-0.058	0.083	0.045
K ₂ O	0.897	-0.135	-0.043	0.235	0.174	0.066	-0.023	0.055	0.063	0.063	0.015	0.007	0.020
Na ₂ O	0.362	-0.350	-0.430	-0.100	-0.037	-0.090	-0.065	0.683	-0.010	0.179	-0.059	0.052	-0.011
CaO	0.454	-0.675	-0.432	0.117	-0.137	-0.045	-0.090	0.165	-0.001	0.037	0.002	0.105	-0.036
MgO	0.405	-0.572	-0.298	0.065	-0.024	0.193	-0.052	0.049	0.049	-0.048	-0.125	0.143	-0.500
TFe	0.828	-0.291	-0.063	-0.088	0.042	0.146	-0.161	0.021	-0.143	0.100	-0.056	0.265	0.116
MnO	0.865	-0.355	-0.127	0.018	-0.011	0.039	-0.152	0.063	-0.124	0.086	-0.042	0.089	-0.047
Al ₂ O ₃	0.894	-0.080	0.008	0.255	-0.000	0.221	-0.052	-0.050	0.074	0.033	-0.081	-0.115	-0.073
P ₂ O ₅	0.197	-0.742	-0.483	0.065	-0.053	0.167	-0.019	-0.083	-0.006	0.121	-0.145	0.245	-0.041
TiO ₂	0.193	0.043	0.180	0.141	0.928	-0.023	-0.008	-0.020	-0.010	-0.037	0.141	0.014	0.006
SiO ₂	-0.712	0.425	0.414	-0.066	0.001	-0.098	0.095	-0.232	-0.004	-0.163	0.105	-0.098	0.063
烧失量	-0.136	-0.434	-0.691	-0.138	-0.029	-0.023	-0.012	0.385	0.013	0.221	-0.133	0.176	-0.042
有机碳	0.387	-0.186	-0.425	-0.022	-0.072	-0.022	-0.051	0.162	0.096	0.744	-0.043	0.044	0.012
CaCO ₃	0.140	-0.438	-0.791	0.051	-0.151	-0.036	-0.058	0.197	0.040	0.052	-0.091	0.013	-0.058
方差贡献 1%	48.866	19.034	6.234	4.102	3.360	2.682	2.098	1.855	1.710	1.438	1.222	1.128	1.022
累积方差 贡献/%	48.866	67.900	74.133	78.235	81.595	84.277	86.375	88.230	89.940	91.378	92.600	93.728	94.750

期间, CCD 可能下降到了海底以下, 出现了与火山物质相伴的钙质软泥沉积作用。

对第三沉积阶段(相当于晚中新世晚期—第四纪)的全部 176 个沉积物样品 31 项分析结果的因子分析, 以方差贡献大于 1% 为标准选取的因子数达 15 个之多, 而且第一主因子的方差贡献仅 28%(表 3)。相对最重要的前 2 个因子累计方差贡献也不到 50%, 方差贡献大于 5% 的主因子有 5 个, 表明控制这一时期沉积物地球化学特征的因素非常复杂, 而且主次不明显, 没有一种绝对主导的因素控制这一阶段沉积物的地球化学特征。仅对其中的 41 个表层沉积物样品或仅对单一岩芯柱(PC5222)的沉积物样品作因子分析也都表明这一沉积阶段沉积物地球化学特征的影响因素最为复杂^[4]。

F₁ 主因子的方差贡献为 28.95%, 在 F₁ 主因子轴上 P₂O₅ 和烧失量、Na₂O、有机碳具有较大的正载荷, 而 Sc、Al₂O₃、V、K₂O 和 TFe 具有较大的负载荷, 前者为硅质生物组分, 后者为过渡金属元素和粘土矿物的主要组分, 二者呈反消长关系, 反映的是硅质软泥与火山碎屑的交替堆积作用; F₂ 主因

子的方差贡献为 20.13%, 在 F₂ 主因子轴上, La、MgO、Y、P₂O₅、Mo 具有较大的正载荷, 而 K₂O、Al₂O₃、SiO₂ 具有较大的负载荷, 前者为玄武岩海解产物的元素组合, 后者具有陆源风成粘土元素组合的特点, 二者负相关, 反映的是玄武岩海解作用与陆源风成粘土沉积作用的交替轮回; F₃ 主因子的方差贡献为 10.07%, 在 F₃ 主因子轴上, CaCO₃、CaO、烧失量和 Sr 等碳酸盐相关组分有较大的正载荷, SiO₂ 具有较大的负载荷, 二者呈反消长关系, 反映出硅质软泥与钙质软泥的交替沉积作用和空间分异作用; F₄ 主因子的方差贡献为 7.28%, 在 F₄ 主因子轴上, MnO、Co、Mo、Zr、Pb 具有较大的正载荷, 除 Zr 为难溶元素外其余均为锰结核的主要成矿元素, 其中 Mn 和 Co 为变价元素, 在氧化状态下易沉淀, 而 SiO₂ 和有机碳为负载荷, 该主因子组合中二类元素组合的反相关关系表明沉积过程中存在硅质生物氧化分解程度的变化, 因此, 这一因子反映的可能是南极底流作用导致的底层水氧化程度的变化; F₅ 主因子的方差贡献为 5%, 以 Pb 和 Cr 具较大的负载荷为特征, 其他元素的载荷均很低, 但 TFe 和有机碳有稍高

的负荷荷,可能与某些生物的选择性富集作用有关。

综观第三沉积阶段沉积物地球化学特征的控制因素,主要的地球化学作用有:硅质软泥与火山碎屑的交替沉积作用、饥饿沉积区海底玄武岩的海解作用与风成陆源粘土沉积作用、硅质软泥和钙质软泥的时空分异作用、南极底流的氧化作用以及生物的选择性富集作用等。该沉积阶段研究区的 CCD 较浅,海底总体上处于 CCD 之下,不能接受碳酸盐沉积,主要为硅质软泥与火山碎屑的交替沉积。虽然存在钙质软泥与硅质软泥的时空分异作用,表明 CCD 也有波动,但波动幅度较小,CCD 下降时也只有在个别海山区有钙质软泥沉积。在主要的盆地,沉积物来源非常有限,沉积速率很慢,沉积厚度很薄,海底玄武岩海解作用与风成陆源粘土沉积作用成为制约沉积物地球化学特征的一个重要因素。

3 讨论和推论

前述分析表明,该区 3 个沉积阶段分别由不同的地球化学作用所控制,沉积物的地球化学特征反映出不同阶段 CCD 的深度和波动幅度及波动频率明显不同。第一沉积阶段,CCD 较深,波动幅度较大且波动较频繁,沉积物以钙质软泥和硅质软泥为主,碳酸盐的溶解—沉淀交替过程控制

该阶段沉积物的地球化学特征。第二沉积阶段,CCD 变浅,沉积环境处于 CCD 之下,碳酸盐不能沉积,由硅质软泥沉积和火山碎屑沉积主导该阶段的沉积过程,但 CCD 也是波动变化的,尤其是在海山区或火山活动期间,CCD 可能下降到了海底以下,出现了与火山物质相伴的钙质软泥沉积作用。第三沉积阶段,CCD 更浅,沉积环境处于 CCD 之下,碳酸盐不能沉积,主要为硅质软泥与火山碎屑粘土的交替沉积,CCD 波动幅度较小,CCD 下降时也只有个别海山区有钙质软泥沉积。

为什么东太平洋海盆沉积物的地球化学特征反映出沉积环境的 CCD 深度、CCD 波动幅度和 CCD 波动频率在不同阶段有明显的变化呢?

大家知道,洋底在扩张,东太平洋海盆的洋底正在缓慢向西北方向运动。洋底扩张速率一般为 2.5~5 cm/a,太平洋的扩张速率较快,达 5 cm/a^[3,4]。按此速率推算,研究区在第一沉积阶段(28~19 Ma 期间)所处的位置应位于现今位置的东南方向约 1 400~950 km 处。揭露该区第一阶段沉积的 PC5653 和 PC5794 站位现今位于 145°22'W, 8°20'N 和 145°07'W, 7°30'N,第一阶段沉积物形成时该两个站位的位置应分别相当于 139°22'W~136°22'W,2°20'N~0°40'S 和 139°07'W~136°07'W,

表 3 第三沉积阶段因子分析方差极大旋转因子载荷

Table 3 Varimax rotation factor load of the third sedimentary period factor analysis

主因子	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃	F ₁₄	F ₁₅
Cu	-0.318	0.343	0.051	0.258	0.089	-0.064	0.040	0.020	0.048	-0.103	0.056	0.091	0.269	-0.736	-0.010
Zn	0.121	0.046	-0.005	0.197	-0.031	0.939	0.040	0.064	-0.075	0.010	-0.010	0.129	0.110	-0.009	-0.017
V	-0.791	-0.060	-0.061	0.293	-0.086	-0.020	0.117	-0.074	0.141	-0.099	0.117	-0.054	-0.022	-0.278	0.016
La	0.181	0.892	0.053	-0.010	0.045	-0.011	-0.034	0.069	0.024	0.103	-0.086	0.082	0.190	-0.023	0.071
Yb	-0.144	0.357	-0.128	0.093	0.065	0.067	0.009	0.113	-0.080	-0.187	0.019	0.007	0.762	-0.261	0.114
Y	-0.077	0.622	-0.054	0.115	0.142	0.117	-0.002	0.224	0.220	0.054	0.007	0.071	0.502	-0.329	-0.109
Sc	-0.873	0.116	-0.086	-0.034	-0.021	0.015	0.026	-0.071	0.118	0.047	0.045	0.001	0.234	-0.069	-0.128
Sr	0.243	0.108	0.481	0.105	0.013	0.188	0.017	0.089	0.010	0.152	-0.225	-0.033	0.605	-0.105	-0.208
Ba	0.101	0.144	-0.070	0.125	0.083	0.127	0.064	0.059	0.082	-0.016	-0.034	0.945	0.004	-0.055	-0.039
Pb	-0.035	0.002	0.011	0.453	-0.836	0.032	-0.084	-0.016	0.053	0.063	-0.022	-0.041	-0.029	0.129	-0.093
Ga	-0.477	-0.176	-0.136	0.110	0.002	-0.022	0.057	-0.157	0.174	-0.777	0.072	0.032	0.090	-0.106	-0.050
Nb	0.154	-0.112	0.033	-0.011	-0.097	0.075	-0.073	-0.016	-0.928	0.100	-0.018	-0.079	0.016	0.103	-0.046
Zr	-0.337	-0.101	-0.112	0.590	-0.060	0.059	-0.013	0.019	-0.200	-0.122	0.045	0.156	0.029	-0.181	-0.574
Cr	-0.268	-0.227	-0.094	-0.151	-0.749	0.016	0.252	-0.006	-0.256	-0.083	0.078	-0.090	-0.074	-0.084	0.083
Mo	0.125	0.552	0.125	0.620	0.022	0.150	0.014	-0.013	0.056	-0.042	0.009	0.144	-0.068	-0.327	-0.168
Ni	-0.054	0.124	0.108	0.452	-0.013	0.055	0.004	0.084	0.115	-0.029	-0.037	0.013	0.164	-0.810	-0.065
Co	-0.412	-0.128	0.022	0.776	-0.146	0.021	0.013	-0.083	-0.024	-0.100	0.031	0.111	0.170	-0.213	0.115
Be	-0.143	-0.030	-0.050	0.003	-0.071	0.037	0.975	-0.004	0.068	-0.034	-0.007	0.060	0.013	-0.018	0.002
K ₂ O	-0.754	-0.433	-0.260	-0.066	-0.059	-0.158	0.069	-0.133	-0.005	-0.177	0.157	-0.055	-0.108	0.098	0.029
Na ₂ O	0.440	0.398	-0.040	0.027	0.107	-0.010	-0.028	0.738	0.103	0.115	-0.066	0.114	0.082	-0.032	0.054
CaO	0.177	-0.060	0.963	0.005	0.016	0.001	-0.032	-0.101	-0.045	0.032	-0.075	-0.031	-0.016	-0.004	0.024
MgO	0.062	0.657	-0.148	0.187	0.134	-0.065	-0.003	0.516	0.172	0.001	-0.118	0.101	0.055	-0.290	0.048
TFe	-0.635	0.329	-0.380	0.081	-0.187	0.036	0.131	-0.088	-0.019	-0.247	0.209	-0.090	-0.061	-0.193	0.039
MnO	0.142	0.251	0.082	0.868	-0.091	0.178	-0.003	0.076	0.066	0.018	-0.040	0.014	0.051	-0.223	-0.057
Al ₂ O ₃	-0.840	-0.333	-0.180	0.040	-0.093	-0.136	0.048	-0.185	-0.008	-0.195	0.100	-0.060	-0.067	-0.024	-0.029
P ₂ O ₅	0.560	0.553	-0.036	0.269	0.088	0.163	-0.048	0.233	0.012	0.080	-0.099	0.027	0.263	-0.227	-0.049
TiO ₂	-0.309	-0.139	-0.247	-0.002	-0.033	-0.013	-0.009	-0.102	0.022	-0.054	0.892	-0.040	-0.056	-0.005	-0.014
SiO ₂	0.053	-0.296	-0.724	-0.264	-0.010	0.026	0.005	-0.491	-0.066	0.001	0.066	0.016	-0.079	0.207	0.012
烧失量	0.530	0.357	0.566	0.032	0.064	0.057	-0.058	0.432	0.044	0.166	-0.136	0.048	0.048	-0.043	-0.004
有机碳	0.452	-0.032	-0.081	-0.184	-0.184	0.281	0.037	0.652	-0.210	0.105	-0.075	-0.022	0.210	0.025	-0.111
CaCO ₃	0.132	-0.089	0.965	-0.020	0.017	-0.024	-0.021	-0.128	-0.026	0.029	-0.077	-0.047	-0.041	0.003	0.033
方差贡献/%	27.948	20.128	10.069	7.280	5.000	4.051	3.832	2.804	2.419	2.386	2.319	1.796	1.550	1.408	1.089
累积方差贡献/%	27.948	48.076	58.145	65.425	70.425	74.476	78.308	81.112	83.531	85.917	88.236	90.032	91.582	92.990	94.079

表 4 研究区东部和西部底层海水温度和最低温度测量结果^①
Table 4 Measurements of the bottom seawater temperature and minimum seawater temperature
in the eastern and western parts of the study area

站位	7009	7102	7149	7213	7268	7067	7162	7222	7263	7169	平均
西 最低温时深度/m	4310	4410	4390	4400	4425	4280	4350	4383	4320	4365	4363
部 最低温度/℃	1.354	1.347	1.352	1.352	1.357	1.359	1.367	1.359	1.359	1.376	1.358
底层水温/℃	1.411	1.413	1.418	1.401	1.413	1.427	1.445	1.439	1.432	1.440	1.424
站位	ES01	ES02	ES03	ES04	ES05	ES06	ES07	ES08	ES09	ES10	平均
东 最低温时深度/m	4306	4105	4108	4343	4207	4160	4207	4359	4272	4328	4240
部 最低温度/℃	1.393	1.386	1.401	1.391	1.390	1.389	1.399	1.392	1.376	1.375	1.389
底层水温/℃	1.464	1.469	1.457	1.456	1.443	1.489	1.450	1.464	1.458	1.475	1.463

1°30'N~1°30'S 的范围,经向上离古东太平洋洋脊(克里伯顿脊)较近(但是离洋脊仍有较大距离,沉积环境仍为洋盆,海水深度变化并不大),可能是受到古洋脊附近较强的海底热流的影响,底层海水温度较高,CCD 较深,沉积环境处于 CCD 之上;纬向上处于或靠近赤道,地处赤道生物生产带,生物钙质沉积作用极其发育。

第二沉积阶段(17~15 Ma 期间)研究区所处位置应在现今位置以东约 850~750 km 处,硅质沉积作用发育,钙质生物溶解,说明沉积环境已处于 CCD 之下,与第一沉积阶段相比,CCD 明显变浅,可能与离东太平洋洋脊的距离增大,受洋脊附近海底热流的影响逐步减弱有关。

第三沉积阶段(6 Ma~今),处于现今位置以东 300 km 至目前的位置,基本脱离了洋脊带地下热流的影响,更加靠近夏威夷—莱恩热点火山作用区,受洋岛火山作用的影响逐步增强,CCD 可能会有所下降,但缺乏钙质沉积表明沉积环境总体上仍处于 CCD 之下;火山质粘土等贫生物碎屑沉积发育,生物沉积作用明显减弱,说明此时离赤道生物生产带已经较远。

由此看来,离东太平洋洋脊越近,CCD 越深,钙质与非钙质沉积作用交替的频率越大,在洋脊附近(即第一沉积阶段),这种钙质与非钙质沉积物的交替堆积作用成为控制沉积过程的主要地球化学作用。这也说明当时的沉积环境中,CCD 的深度是经常波动的。因为只有 CCD 的深度在海底上下波动才会造成钙质与非钙质沉积的频繁交替。

因此,笔者认为,东太平洋海盆沉积环境 CCD 的上下波动以及波动的幅度和频率可能受到了海底地热背景以及地热活动强弱的影响,与当时沉积环境离当时的海底扩张中心的远近有关,离洋脊越近,CCD 越深,CCD 波动越频繁并且波动幅度越大。

在 DY95-7 和 DY95-9 两个航次的加密调查过程中对研究区海水温度的测量表明,研究区底层水温度也确实呈现出西部明显低于东部的特点(表 4)。

在温跃层以下,深海水温通常随深度增大而逐渐降低,但是该区各测站海水温度却普遍在靠近海底时出现逆温现象,这表明大洋底层水温受到了来自地下的热流的影响。例

如西部 7067 测站水温在 4 280 m 深处降至 1.359℃,再往下的水温随深度增加而略有回升,至离海底 10 m 处的底层水温度为 1.427℃;东部 ES04 测站水温在 4 343 m 深处降至最低 1.391℃,再往下的水温随深度增加而略有回升,至离海底 30 m 处的底层水温度为 1.456℃。西部最低水温明显低于东部,而且最低水温出现的深度比东部平均浅 123 m(表 4),也就是说,西部海底的逆温层厚度明显小于东部。显然,西部海底的地热强度明显小于东部海底。这也说明东太平洋海盆目前的海底地热强度与离东太平洋洋脊的远近有关。除局部受到海底火山作用和活动断裂的影响外,海底地热强度通常随着离东太平洋洋脊的距离增大而减弱。

通过上述的分析和讨论,可以得出的推论是:洋底扩张及其导致的沉积区离东太平洋洋脊的距离和海底的地热强度及地热活动频率影响了研究区 CCD 的深度和 CCD 波动的频率及幅度,从而在很大程度上制约了研究区的沉积环境。

参考文献(References):

- [1] 黄永祥,杨慧宁,匡耀求,等.海底沉积物类型及其地球化学环境对多金属结核形成和分布的控制作用[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.1~140.
Huang Yongyang, Yang Huining, Kuang Yaoqiu, et al. Control of Sea-floor Sediment Types and Their Geochemical Environment on the Formation and Distribution of Poly-metallic Nodules [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. 1~140 (in China).
- [2] Cande S, Kent D V. A new geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic [J]. J. Geophys. Res., 1992, 97: 13917~13951.
- [3] Naar D F and Hey R N. Recent Pacific-Easter-Nazca plate motions [A]. In: AGU. Evolution of Mid-Oceanic Ridges [C]. Geophysical Monograph Series, 1989, 9~30.
- [4] Korenaga J and Hey R N. Recent dueling propagation history at the fastest spreading center, the East Pacific Rise, 26°~32°S [J]. J. Geophys. Res., 1996, 101(B8): 18023~18041.
- [5] 朱克超,李振韶,何高文,等.东太平洋多金属结核矿产[M].北京:地质出版社,2001.1~206.
Zhu Kechao, Li Zhenshao, He Gaowen, et al. Poly-metallic Nodule Mineral Resources in Eastern Pacific [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 1~206 (in China).

Clues to the geochemical evolution of the sedimentary environment as revealed by factor analysis of sediments in area CC of the East Pacific oceanic basin

KUANG Yao-qiu¹, HUANG Yong-yang², ZHONG He-xian²

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry & South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;

2. Guangzhou Marine Geologic Survey, Ministry of Land Resources, Guangzhou 510075, Guangdong, China)

Abstract: A systematic geochemical and multivariant statistical analysis of Late Cenozoic sediments (including 61 samples of surface sediments and 16 piston cores of sedimentary columns) from the East Pacific oceanic basin during the cruises DY851 and DY853 sponsored by the China Oceanic Mineral Resources Association has revealed some characteristics of geochemical evolution of the sedimentary environment in area CC of the East Pacific oceanic basin during the Late Cenozoic. It is considered that the ocean-floor spreading, distance from the East Pacific ridge, submarine geothermal flow and frequency of geothermal activity might affect the depth of the carbonate compensation depth (CCD) and the frequency and amplitude of CCD fluctuation, and therefore constrained the sedimentary environment of the study area to some extent.

Key words: East Pacific oceanic basin; carbonate compensation depth; heat flow; factor analysis

第一届中国探矿者年会在北京召开

(本刊讯)6月16日,由国土资源部主办、中国矿业联合会承办的第一届中国探矿者年会在北京隆重召开。全国人大常委会副委员长成思危、蒋正华等发来了贺信。全国政协副主席徐匡迪、中国矿业联合会名誉会长袁宝华、中国矿业联合会会长朱训亲临会场。出席本次会议的除了国土资源部在京几乎所有党组成员外,还有来自全国政协、全国人大、国务院各有关部委、各省国土资源厅等各级政府部门的领导及全国地勘单位、矿产勘查公司、矿业公司、矿业中介公司、科研院所、探矿企业等与矿产资源勘查、开发行业密切相关的各界代表 1600 多人。国土资源部副部长李元主持了开幕式。国土资源部部长孙文盛在致辞中强调“这届年会的主题是商业性矿产勘查与探矿权市场建设,这体现了我国地质工作改革的重点、难点和方向。我们要深入研讨、集思广益,为推动商业性矿产勘查工作,促进探矿权市场健康发展发挥积极作用”。国土资源部副部长叶冬松在主题演讲时表示:“举办这次大会的主要目的在于为探矿者构筑一个友好的交流平台,使政府部门、地勘单位、矿山企业、投资者、行业协会(学会)共同探索新时期地质矿产勘查工作的发展方向 and 有效途径,以便更好地提高经济社会可持续发展的资源保障程度”。除了颇具宏观色彩的主题论坛外,所开设的 5 个专题研讨会——公益性矿产勘查的重要进展、探矿权市场建设和商业性矿产勘查的理论及法规、探矿权评估及商业性矿产勘查的运作、我国商业性矿产勘查投资实例分析、地下水及地热资源的勘探与开发等,也各具特色、气氛热烈。总之,这次会议开得及时、隆重、热烈,对推动我国新时期地质事业的发展必将产生十分重要而深远的影响。